

การดูดซับสารอินทรีย์ด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ในคอลัมน์ ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิว  
ชีวภาพที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์



นางสาวปิ่นปิ่นท์ สุทธิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556


ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

SORPTION OF ORGANIC COMPOUNDS IN ALUMINUM OXIDE-PACKED BY  
BIOSURFACTANT MIXED LINKER MOLECULE



Miss Pinpinat Sutthinon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การดูดซับสารอินทรีย์ด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ในคอลัมน์ ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์

โดย

นางสาวปิ่นปิ่นท์ สุทธินนท์

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธิกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)

.....กรรมการ

(ดร. อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาปนบุรี)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. เอมม่า อาสนจินดา)

ปิ่นปิ่นท์ สุทธิพนธ์ : การดูดซับสารอินทรีย์ด้วยอะลูมินัมออกไซด์ในคอลัมน์ ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์. (SORPTION OF ORGANIC COMPOUNDS IN ALUMINUM OXIDE-PACKED BY BIOSURFACTANT MIXED LINKER MOLECULE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. สุชา ขาวเจียร, 213 หน้า.

การใช้วัสดุดูดซับเป็นตัวกลางในการดูดซับสารอินทรีย์เป็นวิธีการที่มีความแพร่หลายทั้งในงานอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการนำสารลดแรงตึงผิวมาเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับ หนึ่งในชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่น่าสนใจ คือ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชีวภาพสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ ทำให้งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์บนพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ โดยทำการศึกษาในระบบไหลแบบต่อเนื่องภายในคอลัมน์ดูดซับ พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีค่าความสามารถทั้งหมดในการดูดซับบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ โดยปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่ใช้ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวได้ดีอยู่ที่ 2.0 กรัม ต่อมาได้ทำวิเคราะห์ ความสามารถในการแอดโซลูชันของสารอินทรีย์ที่มีแรงไดโพล - ไดโพลแตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบกับสไตรีนกับพีแนนทริน พบว่า ความสามารถในการแอดโซลูชันของสไตรีนและพีแนนทรินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ โดยพีแนนทรินมีความสามารถในการแอดโซลูชันได้ดีกว่า สไตรีน ซึ่งเป็นผลมาจากความชอบน้ำไม่ชอบน้ำของสารอินทรีย์สุดท้ายได้ทดลองการสูญเสียสารลดแรงตึงผิว ทำให้ทราบว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์มีเสถียรภาพในการยึดเกาะบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

# # 5470277821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: RHAMNOLIPID BIOSURFACTANT / ADSORPTION / ADSOLUBILIZATION /  
LINKER MOLECULE / COLUMN

PINPINAT SUTTHINON: SORPTION OF ORGANIC COMPOUNDS IN ALUMINUM  
OXIDE-PACKED BY BIOSURFACTANT MIXED LINKER MOLECULE. ADVISOR:  
ASSOC. PROF. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 213 pp.

Using absorbent material as intermediates is one of prevalent methods for both of industry and environment. Various forms of surfactant have been developed to improve the effectiveness in the adsorption process. One kind of interested method is using biosurfactants to adsorb toxic on material. This method enhances the performance of adsorption, because it has low toxicity and is biodegradable in nature. Therefore, this research aims to adsorb rhamnolipid biosurfactant and rhamnolipid biosurfactant mixed linker molecule onto aluminum oxide surface to improve the effectiveness in the organic adsorption process with continuous column experiment. The results showed that the adsorption of rhamnolipid system achieves a higher total adsorption than the rhamnolipid mixed linker molecule system onto aluminum oxide 2 gram. Two organic solutes with different Dipole-Dipole interaction, styrene and phenanthrene, which were evaluated in adsolubilization study. The adsolubilization capacity of both styrene and phenanthrene increased in the rhamnolipid mixed linker molecule system. Phenanthrene has adsolubilization capacity higher than styrene, depending on both hydrophilic and hydrophobic of organic solute. In consideration of surfactant loss from the solid surface, to inform that rhamnolipid mixed with linker molecule has more stability to adsorption onto aluminum oxide than rhamnolipid.

Department: Environmental  
Engineering

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Field of Study: Environmental  
Engineering

Academic Year: 2013

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเอียร ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับเมตตาจิตที่ท่านอาจารย์ได้ให้แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ตลอดการศึกษาและการทำงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาปนธ์ อาจารย์ ดร. เอมมา อาสนจินดา และอาจารย์ ดร. อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดการศึกษาและทำงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทั้งเพื่อนในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เพื่อนร่วมสถาบันฯ สำหรับมิตรภาพที่ดี ความช่วยเหลือ คำปรึกษาและกำลังใจที่มีให้ผู้ทำวิทยานิพนธ์เสมอมา

ขอขอบพระคุณครูห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้ ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือวิเคราะห์และอุปกรณ์ต่างๆ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกด้านเอกสารต่างๆ ทำให้การทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยทั้งในด้านเครื่องมือ อุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสารเคมีบางตัวที่ใช้ในงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยบูรพา ทางผู้ทำวิทยานิพนธ์ต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้บุคคลที่ผู้ทำวิทยานิพนธ์อยากจะขอบพระคุณอย่างสูงสุดคือ บิดา มารดาและครอบครัวของผู้ทำวิทยานิพนธ์ สำหรับความรักความเอาใจใส่ การเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอน รวมทั้งการส่งเสริมในทุกด้านแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งช่วยเหลือ สนับสนุนและให้กำลังใจที่มีค่าอันยิ่งใหญ่แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ให้สามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จลุล่วง

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Biosurfactant).....	4
2.1.1 โครงสร้างทั่วไปของสารลดแรงตึงผิว.....	4
2.1.2 ความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC).....	6
2.2 สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด (Rhamnolipid surfactant).....	6
2.2.1 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิด.....	6
2.2.2 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิด.....	7
2.3 การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์ (Adsorption of surfactant onto metal oxide surface).....	10
2.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์.....	11
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (Parameters affecting surfactant adsorption).....	12
2.4 แอดโซลูบิไลเซชันของสารอินทรีย์ (Adsolubilization of organic solutes).....	13
2.6 การศึกษาในรูปแบบการไหลแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ (Column study).....	16
2.7 สารอินทรีย์ (Organic Solution).....	17
2.8 อะลูมินา (Alumina).....	18

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	20
2.9.1 การศึกษาการดูดซับและกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ แรมโนลิพิด.....	20
3.9.2 การศึกษาการดูดซับและการกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักโดยสารลดแรงตึงผิวด้วย วิธีคอลัมน์ดูดซับแบบไหลต่อเนื่อง .....	24
2.9.3 การศึกษาการดูดซับและการกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักโดยใช้สารลดแรงตึงผิวทั้ง ชนิดเดี่ยวและชนิดที่มีการผสมสารอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ .....	26
บทที่ 3 แผนการทดลองและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 แผนการวิจัย.....	33
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	35
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	35
3.2.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	36
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	38
3.3.1 การศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว .....	39
3.3.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ (Adsorption study) .....	40
3.3.3 การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Adsolubilization study) .....	42
3.3.4 การศึกษาการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลาง (Desorption study) .....	47
3.4 วิธีวิเคราะห์ผลการวิจัย .....	51
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล.....	52
4.1 ผลการศึกษาหาความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์(CMC) ของสารลดแรงตึงผิว .....	52
4.2 การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ (Adsorption study).....	55
4.3 การดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการ ทดลองแบบต่อเนื่อง (Adsolubilization study).....	58
4.3.1 ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยทำการทดลอง แบบต่อเนื่อง.....	59
4.4 การสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ (Desorption study).....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ .....	82



5.1 สรุปผลการวิจัย.....	82
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก.....	94
ภาคผนวก ข.....	95
ภาคผนวก ค.....	97
ภาคผนวก ง.....	99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	213



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2. 1 คุณสมบัติของสไตรีนและเอทิลไซโคลเฮกเซน .....	18
ตารางที่ 2. 2 สมบัติของอะลูมินาบริสุทธิ์ (จิราพร บุญพอ, 2553).....	19
ตารางที่ 2. 3 สรุปสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สามารถย่อยสลาย PAH ทางชีวภาพได้.....	20
ตารางที่ 2. 4 สรุปสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สามารถย่อยสลาย PAH ทางชีวภาพได้ (ต่อ).....	21
ตารางที่ 2. 5 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันมวลเบาชนิดต่างๆ.....	22
ตารางที่ 2. 6 สรุปงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาคัดเลือกและกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักโดยใช้สารลดแรงตึงผิว .....	29
ตารางที่ 3. 1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง.....	35
ตารางที่ 3. 2 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิปิด (JBR 515) .....	37
ตารางที่ 3. 3 คุณสมบัติของออกทานอล .....	37
ตารางที่ 3. 4 คุณสมบัติของสไตรีนและพีแนนทรีน (นวลกมล, 2551).....	38
ตารางที่ 3. 5 คุณสมบัติของอะลูมินัมออกไซด์ (Sun and Jaffe, 1996).....	38
ตารางที่ 3. 6 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว.....	39
ตารางที่ 3. 7 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาศามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์.....	42
ตารางที่ 3. 8 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	45
ตารางที่ 3. 9 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	47
ตารางที่ 3. 10 แสดงตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	49
ตารางที่ 4. 1 ค่า HLB, ค่า CMC ที่ได้จากค่าแรงตึงผิว, ค่าแรงตึงผิวต่ำสุด และพื้นที่ผิวต่อโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจากค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิปิดและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์.....	53

ตารางที่ 4. 2 ความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC), ค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว ( $q_{max}$ ) และพื้นที่ผิวต่อโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ จากไอโซเทอมการดูดซับ.....	56
ตารางที่ 4. 3 ค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน ในการทดลองไหลต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 – 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที โดยมีปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ต่างๆ .....	61
ตารางที่ 4. 4 การแอดโซลูปีไลเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณต่างๆ.....	63
ตารางที่ 4. 5 ค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน ในการทดลองไหลต่อเนื่อง โดยมีปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ต่างๆ.....	65
ตารางที่ 4. 6 การแอดโซลูปีไลเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณต่างๆ .....	67
ตารางที่ 4. 7 ค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนนทริน ในการทดลองไหลต่อเนื่อง โดยมีปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ต่างๆ.....	70
ตารางที่ 4. 8 การแอดโซลูปีไลเซชันของพีแนนทรินโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด บนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณต่างๆ .....	72
ตารางที่ 4. 9 ค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนนทริน ในการทดลองไหลต่อเนื่อง โดยมีปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ต่างๆ.....	74
ตารางที่ 4. 10 การแอดโซลูปีไลเซชันของพีแนนทรินโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณต่างๆ.....	76

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2. 1 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว .....	4
ภาพที่ 2. 2 การเกิดโครงสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวในน้ำเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวซึ่งภาพจนถึงจุดความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ ก) เป็นภาวะที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว ข) สารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในน้ำโดยหันส่วนที่ไม่มีขั้วออกสู่อากาศ ค) ความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) เป็นจุดที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ทำให้เกิดโครงสร้างไมเซลล์ และ ง) เมื่อเกิดเป็นโครงสร้างไมเซลล์แล้วค่าแรงตึงผิวจะมีค่าคงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลงแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวลงไป (Gilman, 1993)....	5
ภาพที่ 2. 3 รูปแบบการรวมตัวกันของสารลดแรงตึงผิวระหว่างวัฏภาคของเหลวและของแข็ง (Charoensaeng, 2008a).....	6
ภาพที่ 2. 4 โครงสร้างของแรมโนลิพิด ชนิด R1, R2, R3, R4, A และ B จาก <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Lang และ Wullbrandt, 1999).....	7
ภาพที่ 2. 5 ความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ ดิน สารปนเปื้อน และสารลดแรงตึงผิว (Volkering และคณะ, 1998).....	9
ภาพที่ 2. 6 ไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์.....	12
ภาพที่ 2. 7 กระบวนการ แอดโซลูบิไลเซชัน (Adsolubilization) และ โซลูบิไลเซชัน (Solubilization) (Charoensaeng, 2008a) .....	14
ภาพที่ 2. 8 ลักษณะโครงสร้างของแอดไมเซลล์ (Saphanuchart และคณะ, 2007) .....	15
ภาพที่ 2. 9 บทบาทของลิแกนด์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการโซลูบิไลเซชัน (Solubilization) (Charoensaeng และคณะ, 2008b) .....	16
ภาพที่ 2. 10 กราฟเบรคทูร หรือ Breakthrough Curve (จิระเดช ฮายุกต์, 2547).....	17
ภาพที่ 2. 11 โครงสร้างของแอลฟาอะลูมินา (อนุรัตน์ ภูวนาคำ, 2548).....	19
ภาพที่ 3. 1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	34
ภาพที่ 3. 2 แผนผังการทดลองการหาค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว	39
ภาพที่ 3. 3 แผนผังการทดลองการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ .....	41
ภาพที่ 3. 4 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ .....	43
ภาพที่ 3. 5 แผนผังการทดลองการดูดซับสารลดแรงตึงบนพื้นผิวอะลูมินาออกไซด์ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	44

ภาพที่ 3. 6 แผนผังการทดลองการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	46
ภาพที่ 3. 7แผนผังการทดลองการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลาง .....	48
ภาพที่ 3. 8 แผนภาพ (1) การทดลองการดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ (2) การดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสารอินทรีย์และ (3) การสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลาง .....	50
ภาพที่ 4. 1ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง (25+2 องศาเซลเซียส).....	53
ภาพที่ 4. 2 การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง (25+2 องศาเซลเซียส).....	56
ภาพที่ 4. 3การดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยวิธีการไหลต่อเนื่องโดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง (25+2 องศาเซลเซียส).....	61
ภาพที่ 4. 4 การแอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ และอุณหภูมิห้อง (25+2 องศาเซลเซียส).....	63
ภาพที่ 4. 5 การดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยวิธีการไหลต่อเนื่องโดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง (25+2 องศาเซลเซียส) .....	65
ภาพที่ 4. 6 การแอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ และอุณหภูมิห้อง (25+2 องศาเซลเซียส) .....	67
ภาพที่ 4. 7 การดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนนทริน ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยวิธีการไหลต่อเนื่องโดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง (25+2 องศาเซลเซียส)..	70

## หน้า

ภาพที่ 4. 8 การแอตโซลูปีไลเซชันของพีแนทรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นที่ผิว ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มข้นของ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ และอุณหภูมิห้อง (25+2 องศาเซลเซียส).....	72
ภาพที่ 4. 9 การดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บน ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนทรีน ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยวิธีการไหลต่อเนื่องโดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 ที่ อุณหภูมิห้อง (25+2 องศาเซลเซียส).....	74
ภาพที่ 4. 10 การแอตโซลูปีไลเซชันของพีแนทรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสม โมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ และอุณหภูมิห้อง (25+2 องศาเซลเซียส) .....	76
ภาพที่ 4. 11 การชะล้างละลายออกของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและที่ผสมโมเลกุลลิง เกอร์ (ออกทานอล) บนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ	79
ภาพที่ 4. 12 ค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและที่ผสมโมเลกุล ลิงเกอร์ (ออกทานอล) ก่อนและหลังการชะละลายออกของสารลดแรงตึงผิว.....	81

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ทำให้กระบวนการการผลิตเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อปริมาณของเสียและการปนเปื้อนของมลพิษในสิ่งแวดล้อมที่ย่อมมากขึ้นตามไปด้วย การปนเปื้อนสารอินทรีย์จัดเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่ง เนื่องจากสารอินทรีย์เป็นส่วนสำคัญที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การชะล้างโลหะ ไขมันหรือใช้เป็นสารละลายในการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ชิ้นส่วนในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมสี รวมถึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิเช่น สี แล็กเกอร์ ยางสังเคราะห์ และพลาสติก เป็นต้น ทำให้สารอินทรีย์เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรม ซึ่งถ้าหากมีการรั่วไหลจะทำให้เกิดการปนเปื้อน จนทำให้เกิดปัญหามลพิษแก่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สารอินทรีย์บางชนิดยังจัดเป็นสารก่อมะเร็งที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์อีกด้วย

การใช้วัสดุดูดซับเป็นตัวกลางในการดูดซับสารอินทรีย์เป็นวิธีการที่มีความแพร่หลายทั้งในงานอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับในรูปแบบต่างๆ วิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจ คือ การนำสารลดแรงตึงผิวมาดูดซับบนตัวกลางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตัวกลางให้ดีขึ้น เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีความสามารถในการกำจัดอนุภาคแขวนลอย คราบน้ำมันและคราบปนเปื้อนออกจากน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่ถูกต้องและสภาวะที่เหมาะสม (วิชา ภูจินดา, 2548) อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการนำตัวกลางไปใช้งานในด้านการบำบัดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม คือ สารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์ทางเคมีส่วนใหญ่ย่อยสลายได้ยาก จึงตกค้างอยู่ในธรรมชาติเป็นระยะเวลานาน จึงได้มีการนำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Biosurfactant) มาเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง โดยปัจจุบันสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้มีบทบาทและเริ่มนำมาใช้แทนที่สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถสังเคราะห์ได้จากแบคทีเรีย ยีสต์และรา ซึ่งสามารถผลิตได้จากสารตั้งต้นที่นำมาจากทรัพยากรที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มีความเป็นพิษต่ำ สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยคุณสมบัติที่กล่าวมาจึงนำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ

งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มโครงสร้างไกลโคลิพิด (Glycolipid) ชนิดแรมโนลิพิด (Rhamnolipid) มาดูดซับบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์และทำการเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพของตัวกลางที่มีการปรับสภาพด้วยแรมโนลิ

ปิดเดี่ยวและแรมโนลิปิดที่มีการผสมกับโมเลกุลลิแกนด์ บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยทำการศึกษาในระบบไหลแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพทั้งที่มีและไม่มีส่วนผสมโมเลกุลลิแกนด์บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ของตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่อยู่บนตัวกลางกับสารอินทรีย์ที่มีแรงไดโพล - ไดโพล (Dipole - Dipole) แตกต่างกันไปบนพื้นผิวในน้ำ

1.2.3 เพื่อศึกษาปริมาณตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวและสารอินทรีย์ในการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ

## 1.3 สมมติฐาน

1.3.1 สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีข้อดี คือ ส่งเคราะห์ได้จากธรรมชาติมีความเป็นพิษต่ำ และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัด คือ ประสิทธิภาพในการแอดโซลูบ์ไลเซชันต่ำ เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชีวภาพมีคุณสมบัติค่อนข้างชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ต่ำ โดยเมื่อทำการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการผสมโมเลกุลลิแกนด์ เช่น แอลกอฮอล์ ลงไป จะเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ และเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ในการดูดซับสารอินทรีย์

1.3.2 ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ในการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับที่เหมาะสมจะสามารถช่วยในการดูดซับสารอินทรีย์ได้ดี และสามารถใช้เป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีคอลัมน์ดูดซับได้

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยในระดับการทดลอง ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการอาคารสรีภาควิชา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1.4.1 สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง คือ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด (Rhamnolipid) ความเข้มข้น  $1 \times 10^{-7}$  -  $1 \times 10^{-1}$  โมลาร์

1.4.2 อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดกับโมเลกุลลิแกนด์



(ออกทานอล) คือ 10:1

1.4.3 ตัวกลางดูดซับที่ใช้ในการทดลอง คือ อะลูมินัมออกไซด์

1.4.4 สารอินทรีย์ที่ศึกษา ได้แก่ สไตรีน (Styrene) และ ฟีนแอนทรีน (Phenanthrene) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีแรงไดโพล - ไดโพล มากและน้อย ตามลำดับ

1.4.5 ทำการทดลองโดยใช้คอลัมน์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร ความสูง 12 เซนติเมตร โดยวิธีการไหลย้อน (Up flow) ด้วยปริมาณอะลูมินัม 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ

1.4.6 ดำเนินการทดลองแบบไหลต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส) โดยใช้ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (NaCl) เท่ากับ 1.0 มิลลิโมลาร์ และปรับพีเอชของสารละลาย เท่ากับ 8.0 - 8.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับบนพื้นผิวโดยเป็นสารที่ไม่เพิ่มภาระให้กับสิ่งแวดล้อม (เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม)

1.5.2 ทราบถึงประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ของตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่อยู่บนตัวกลางกับสารอินทรีย์ที่มีแรงไดโพล - ไดโพล (Dipole - Dipole) แตกต่างกันที่ปนเปื้อนในน้ำ

1.5.3 ทราบถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการใช้ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ในการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการบำบัดน้ำเสียมีสารอินทรีย์ในระบบคอลัมน์ดูดซับที่ต่อไป

## บทที่ 2

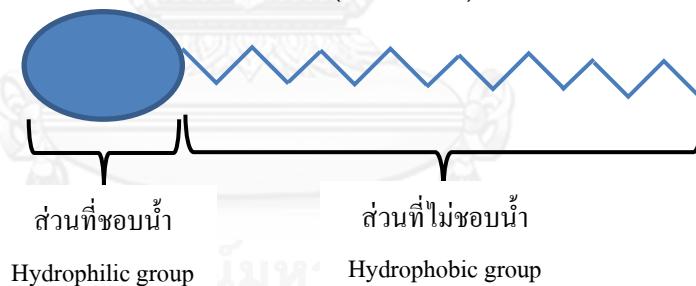
### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Biosurfactant)

สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Biosurfactant) เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการลดแรงตึงผิวระหว่างวัฏภาคสองวัฏภาค สามารถผลิตได้จากจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรีย รา และยีสต์บางชนิด จึงทำให้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแต่ละชนิดมีโครงสร้างเคมีที่แตกต่างกันตามชนิดของจุลินทรีย์ที่ผลิตได้ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างๆที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี

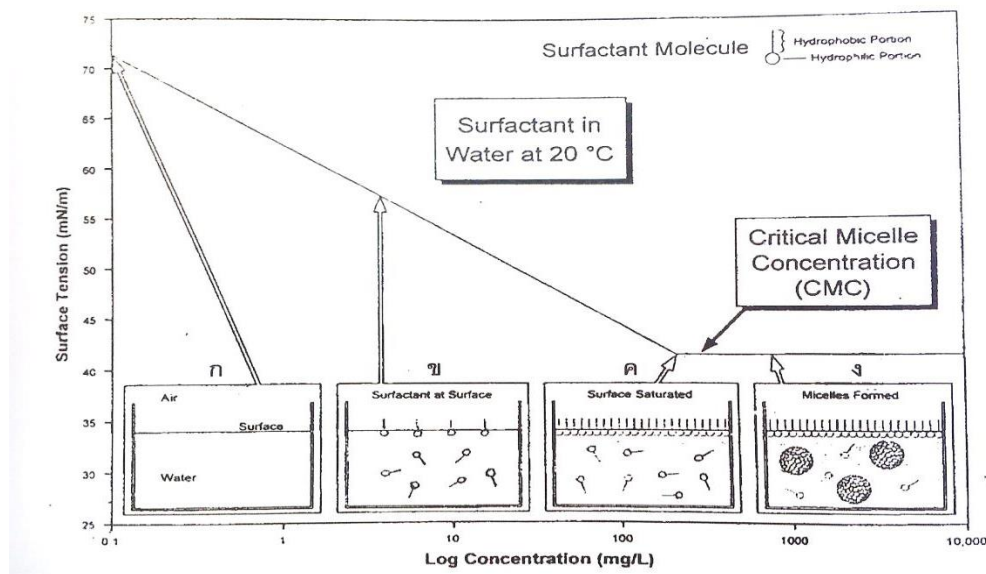
##### 2.1.1 โครงสร้างทั่วไปของสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) หรือ Surface Active Agent มีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบแอมฟิพาติก (Amphipatic molecules) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีขั้วหรือส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) โดยเป็นส่วนหัวที่ละลายอยู่ในน้ำ ได้แก่ โปรตีน และน้ำตาลที่มีหมู่ ไฮดรอกซิล หมู่อะมิโน หมู่ฟอสเฟต เป็นต้น กับส่วนที่ไม่มีขั้วหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic group) เป็นส่วนหางที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่มาจากไขมันและน้ำมันตามธรรมชาติรวมทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และโพลิเมอร์สังเคราะห์ซึ่งมีทั้งโมเลกุลใหญ่และโมเลกุลเล็กซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวแตกต่างกัน โครงสร้างทั้งสองส่วนนี้เรียกรวมกันว่า โมโนเมอร์ (Monomer) ดังภาพที่ 2.1



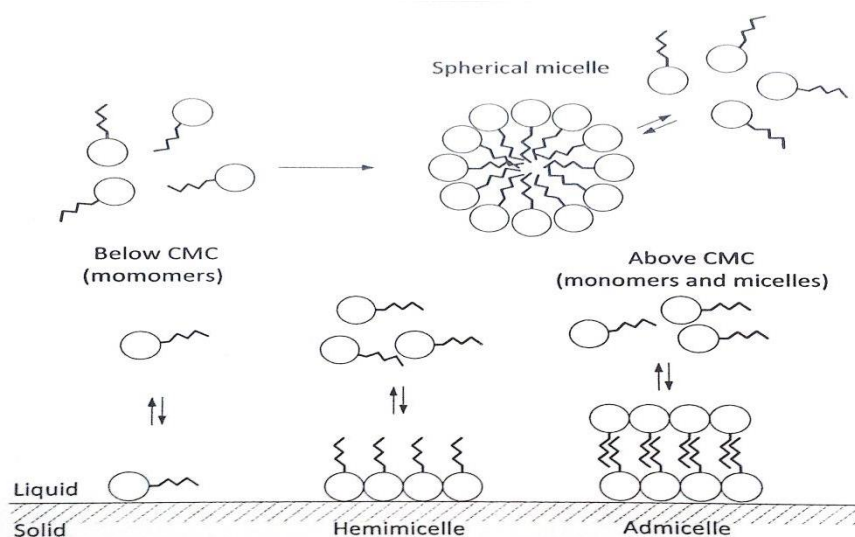
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

หลักการในการทำงานของสารลดแรงตึงผิวที่ทำให้แรงตึงผิว (Surface tension) ของของเหลวลดลงเกิดขึ้นจากโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวสะสมอยู่บริเวณผิวสัมผัสโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่มีขั้วไปหาส่วนที่มีขั้ว เช่น น้ำ และหันส่วนที่ไม่มีขั้วไปหาส่วนที่ไม่มีขั้ว เช่น อากาศ เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในระบบเพิ่มมากขึ้นจะทำให้แรงตึงระหว่างผิวสัมผัสลดลง จนกระทั่งบริเวณผิวสัมผัสนั้นอิ่มไปด้วยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว โมเลกุลส่วนเกินที่ไม่สามารถแทรกตัวในบริเวณผิวสัมผัสจะกระจายตัวอยู่ในน้ำมากขึ้นและรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ โดยจะหันเอาส่วนไม่มีขั้วเข้าหากัน จุดที่ทำให้เกิดการรวมตัวเป็นไมเซลล์นี้เรียกว่า ความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) ดังภาพที่ 2.2 เมื่อทำการเพิ่มโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มลงไปจะไม่มีผลต่อการลดลงของแรงตึงผิว



ภาพที่ 2. 2 การเกิดโครงสร้างไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวในน้ำเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจนถึงจุดความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ ก) เป็นภาวะที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิว ข) สารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในน้ำโดยหันส่วนที่ไม่มีขั้วออกสู่อากาศ ค) ความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) เป็นจุดที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ทำให้เกิดโครงสร้างไมเซลล์ และ ง) เมื่อเกิดเป็นโครงสร้างไมเซลล์แล้วค่าแรงตึงผิวจะมีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวลงไป (Gilman, 1993)

นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวยังมีการรวมตัวกันในรูปแบบต่างๆ (Surfactant aggregates) ในแต่ละวิภาคขึ้นอยู่กับ ชนิดของสารลดแรงตึงผิว อุณหภูมิ และชนิดของตัวทำละลาย เป็นต้น โดยการดูดซับระหว่างสารลดแรงตึงผิวและพื้นผิวของของแข็ง เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นน้อย การดูดซับจะเป็นในรูปแบบที่ส่วนที่มีขั้วจะหันไปหาของแข็งและส่วนไม่มีขั้วจะหันเข้าหากัน โดยจะมีการเรียงตัวแบบชั้นเดียว (Monolayer) เรียกว่า เฮมิไมเซลล์ (Hemimicelles) และเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวค่อยๆเพิ่มมากขึ้นพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารลดแรงตึงผิวและพื้นผิวของของแข็งจะเรียงตัวแบบเฮมิไมเซลล์ จนกระทั่งบริเวณผิวสัมผัสอิมมิดีไปด้วยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดการเรียงตัวแบบสองชั้น (Bilayer) ของสารลดแรงตึงผิวเกิดขึ้น เรียกว่า แอดไมเซลล์ (Admicells) ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 รูปแบบการรวมตัวกันของสารลดแรงตึงผิวระหว่าง

### 2.1.2 ความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC)

ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์หรือค่าซีเอ็มซี (CMC) คือ ค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์เกิดขึ้น หรือกล่าวได้ว่าเป็นจุดที่มีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดที่ทำให้ค่าแรงตึงผิวต่ำที่สุด โดยค่าซีเอ็มซีนั้นเป็นคุณสมบัติเฉพาะของสารลดแรงตึงผิวชนิดนั้นๆ ที่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวได้ เช่น ถ้าสารลดแรงตึงผิวมีค่าซีเอ็มซีต่ำ แสดงว่าต้องใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวน้อยในการลดแรงตึงผิว และถ้าสารลดแรงตึงผิวมีค่าซีเอ็มซีสูง แสดงว่าต้องใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากในการลดแรงตึงผิว ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าซีเอ็มซี ได้แก่ โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว ผลของอิเล็กโทรไลต์ และ อุณหภูมิ (Desai และ Banat, 1997; Volkering และคณะ, 1998)

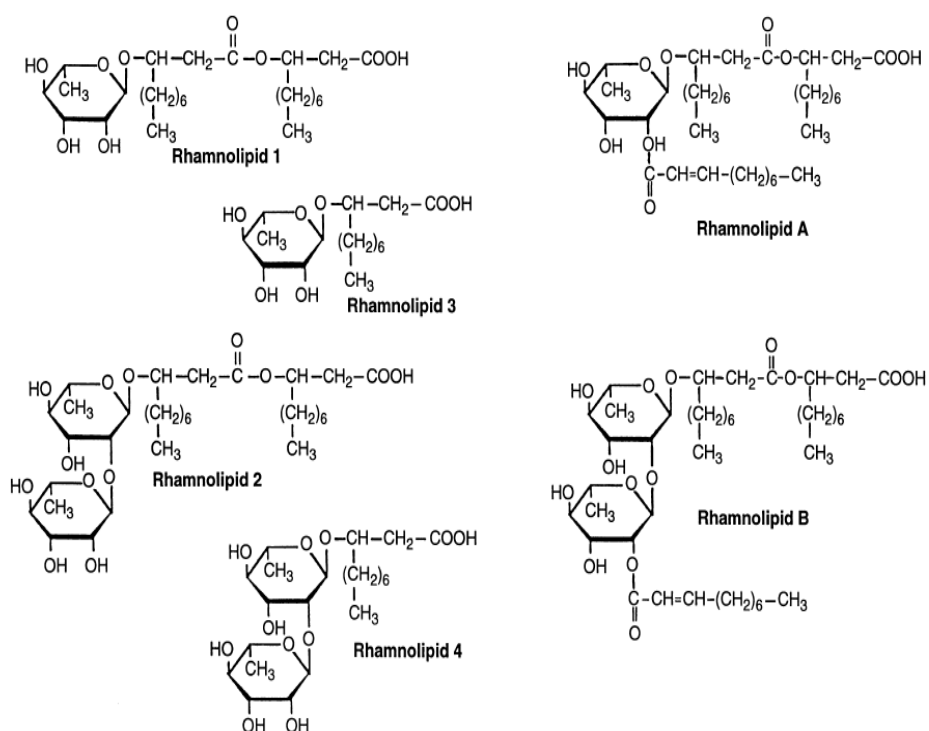
## 2.2 สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด (Rhamnolipid surfactant)

### 2.2.1 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิด

สารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิด เป็นสารลดแรงตึงผิวชีวภาพประเภทไกลโคลิพิด (Glycolipid) ผลิตได้จากจุลินทรีย์จำพวก *Pseudomonas aeruginosa* และ *Pseudomonas sp.* (Desai และ Banat, 1997; Lang และ Wullbrandt, 1999) โดยมีลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยหนึ่งหรือสองโมเลกุลของน้ำตาลแรมโนส (Rhamnose) เชื่อมต่อกับหนึ่งหรือสองโมเลกุลของกรดเบต้า-ไฮดรอกซิลเดคาโนอิก ( $\beta$ -hydroxydecanoic acid) ด้วยพันธะไกลโคซิดิก นอกจากนี้แรมโนลิพิดยังมีโครงสร้างแบบอื่นๆ ขึ้นอยู่กับการออกแบบถังหมัก ค่าพีเอช สารตั้งต้น อุณหภูมิ

องค์ประกอบและชนิดของอาหาร (Mulligan, 2009) ในงานทางด้านสิ่งแวดล้อม แร่โนลิพิดได้ถูกนำมาใช้ในการบำบัดสารพิษโดยวิธีทางชีวภาพ (Bioremediation) อย่างกว้างขวาง

Lang และ Wullbrandt(1999) พบว่าโครงสร้างของแร่โนลิพิดแบ่งได้เป็น 6 กลุ่มใหญ่ ดังภาพที่ 2.4 ซึ่งแต่ละกลุ่มแตกต่างกันตามจำนวนของน้ำตาลแรมโนส และกรดเบต้าไฮดรอกซิลเตคาโนอิก นอกจากนี้แร่โนลิพิดถูกจัดเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ ที่มีคุณสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) และมีช่วงความเป็นกรด-ด่างที่ดีที่สุดในการการทำงาน (Surface activity) อยู่ในช่วงพีเอช 7.0-7.5 (Asci, Nurbas และคณะ, 2010)



ภาพที่ 2. 4 โครงสร้างของแร่โนลิพิด ชนิด R1, R2, R3, R4, A และ B จาก *Pseudomonas aeruginosa* (Lang และ Wullbrandt, 1999)

## 2.2.2 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวแร่โนลิพิด

ปัจจุบันสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้มีบทบาทและเริ่มนำมาใช้แทนที่สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม มีความเป็นพิษต่ำ และสามารถผลิตได้จากสารตั้งต้นที่นำมาจากทรัพยากรที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่

ได้ (จิราภรณ์ และคณะ, 2547) ด้วยคุณสมบัติและโครงสร้างที่กล่าวมาจึงนำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ แรณโนลิพิดมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้ดังนี้

2.2.2.1 ด้านการเกษตร ใช้เป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยจะมีผลกับจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในพืช และแรณโนลิพิดชนิดที่มีน้ำตาลแรณโนสหนึ่งหรือสองโมเลกุลมีผลยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในพืชเป็นอย่างดีในพวก Zoosporic plant pathogen (Abalos และคณะ, 2001)

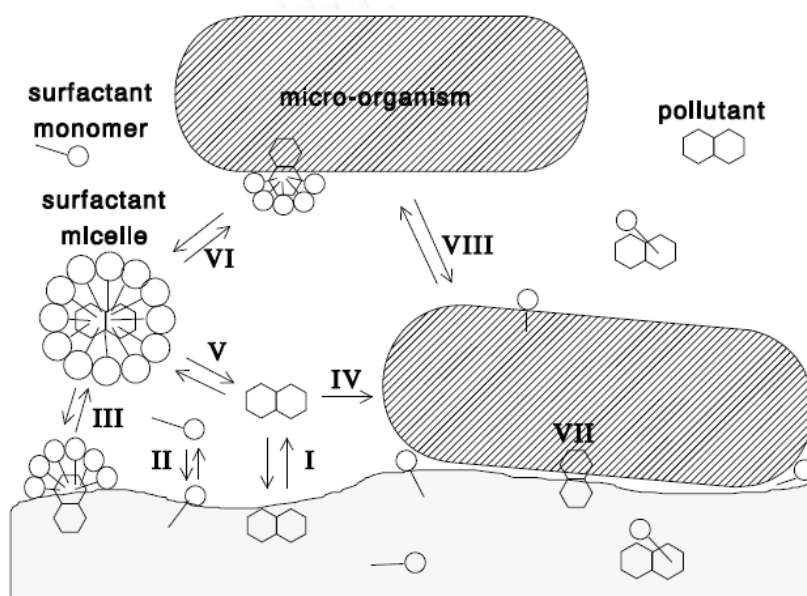
2.2.2.2 ด้านอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็นแหล่งของน้ำตาลแรณโนส (L-rhamnose) ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นและรส และใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารอินทรีย์บางชนิด เนื่องจากมีกระบวนการสังเคราะห์ที่ง่ายกว่าการนำฟิซมาสกัดเป็นน้ำตาลแรณโนสโดยตรง (Linhardt และคณะ, 1989)

2.2.2.3 ด้านอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง สารลดแรงตึงผิวชีวภาพมักจะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางเพื่อใช้ผลิตผลิตภัณฑ์จำพวก สารอิมัลซิฟายเออร์ (Emulsifier solubilization) มีคุณสมบัติในการทำความสะอาดผิวได้ดี เนื่องจากไม่ทำให้ระคายเคืองผิว (Kleckner และ Kosaric, 1993)

2.2.2.4 ด้านสิ่งแวดล้อม ปัญหาสารเคมีตกค้างในสิ่งแวดล้อมทั้งในน้ำและในดินมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น สารเคมีส่วนมากจะเกิดจากอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ เป็นต้น การบำบัดสารพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปมีการบำบัดทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยวิธีที่ได้รับความนิยมในขณะนี้คือการบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพ (Bioremediation) ซึ่งเป็นการบำบัดเพื่อลดปริมาณสารปนเปื้อนให้ออกจากสิ่งแวดล้อมอย่างจำเพาะเจาะจงและได้ผล (Head, 1998) พบว่าวิธีนี้จะไม่ก่อให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม ซึ่งแรณโนลิพิดเป็นสารชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ร่วมในการบำบัด เช่น การกำจัดหรือชะล้าง (Leaching agent) สารอินทรีย์หรือโลหะหนัก เป็นต้น

การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในดินมีการบำบัดหลายวิธี หนึ่งในวิธีที่นิยมนำมาใช้ คือ การย่อยสลายทางชีวภาพ (Bioremediation) การย่อยสลายของสารอินทรีย์หลายชนิดจะเกิดขึ้นได้ช้า เนื่องจากความสามารถในการละลายและอัตราการดูดซึมต่ำ ทำให้สิ่งมีชีวิตนำไปใช้ได้ยาก สารลดแรงตึงผิวจึงมีส่วนช่วยในการเพิ่มค่า bioavailability ให้สูงขึ้นโดยจากภาพที่ 2.5 Vorlkering และคณะ (1998) ได้อธิบายว่า สารอินทรีย์ปนเปื้อนบางส่วนอยู่ในรูปละลายน้ำ บางส่วนถูกดูดซึมและดูดซับในดิน (I) เมื่อเพิ่มสารลดแรงตึงผิวลงไปโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะไปยึดเกาะที่ผิวหน้าดินเกิดเป็นโครงสร้างแบบเฮมิไมเซลล์ (Hemimicelles) หรือ แอดไมเซลล์ (Admicelle)

เกิดขึ้น (II) และมีบางส่วนจะไปยึดเกาะกับเมมเบรนของจุลินทรีย์เนื่องจากมีส่วนที่เป็นฟอสโฟลิพิด คล้ายสารลดแรงตึงผิวและยังไปช่วยเพิ่มการละลายของสารปนเปื้อนเกิดโครงสร้างไมเซลล์ (III) โดยจุลินทรีย์จะสามารถย่อยสลายสารปนเปื้อนที่ละลายอยู่ในน้ำได้ (IV) สารปนเปื้อนบางส่วนเกิดโครงสร้างไมเซลล์ (V) แล้วจึงนำเข้าสู่เซลล์ (VI) บางกรณีจุลินทรีย์สามารถนำสารปนเปื้อนไปใช้ได้โดยตรง (VII) โดยสารลดแรงตึงผิวมีส่วนช่วยทำให้จุลินทรีย์สามารถเคลื่อนที่เข้ายึดเกาะที่ผิวหน้าดินได้



ภาพที่ 2. 5 ความสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์ ดิน สารปนเปื้อน และสารลดแรงตึงผิว (Volkering แลคณะ, 1998)

การใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดร่วมกับการย่อยสลายทางชีวภาพกำจัดสารพวกไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสายและวงมีกลไก 2 แบบ กลไกแรก คือ แรมโนลิพิดจะช่วยเพิ่มการละลายแก่สารไฮโดรคาร์บอนเพื่อที่เซลล์จะย่อยสลายได้ง่ายขึ้น และกลไกแบบที่สอง คือ แรมโนลิพิดจะทำให้ผิวเซลล์มีภาวะไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เซลล์เกาะติดกับสารอินทรีย์ที่ไม่ชอบน้ำเช่นกัน และ Al-Tahhan และคณะ (2000) พบว่าแรมโนลิพิดเป็นสาเหตุที่ทำให้ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์จำพวก *Pseudomonas* sp. สูญเสีย LPS (Lipopolysaccharide) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่เป็นส่วนที่ชอบน้ำของผิวเซลล์ จึงทำให้เซลล์มีภาวะไม่ชอบน้ำเกิดขึ้นเป็นไปตามกลไกแบบที่สอง

เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดในปริมาณมากจะทำให้สารอินทรีย์ละลายได้มากขึ้น และเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดปริมาณน้อยจะทำให้ผิวเซลล์ของจุลินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลง (ชนิษฐา วงษ์นิกร, 2547)

### 2.3 การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์ (Adsorption of surfactant onto metal oxide surface)

ในปัจจุบันการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวของของแข็งเป็นที่ความนิยมและได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายประเภท ทั้งในงานทางด้านอุตสาหกรรมและงานทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยได้มีการนำโลหะออกไซด์ จำพวกอะลูมินา (Alumina) หรือ ซิลิกา (Silica) มาผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) หรือ ion paring หรือการสร้างพันธะไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic bonding) เพื่อให้เกิดการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวลงบนพื้นผิวของโลหะ (Paris และ Khilar, 2004)

การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนผิวสัมผัสระหว่างของแข็งกับของเหลวสามารถศึกษา ลักษณะการดูดซับได้ด้วยรูปแบบของไอโซเทอมการดูดซับ โดยทำการพล็อตค่าระหว่างพื้นที่ผิวของโลหะกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสถานะอุณหภูมิกคงที่ จากนั้นคำนวณหาค่าปริมาณการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์ได้ ดังสมการที่ 2.1

$$q = \frac{(C_i - C_f)V}{W_g} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$q$  = ความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว (mol/g)

$C_i$  = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารลดแรงตึงผิว (mol/l)

$C_f$  = ความเข้มข้นสมดุลของสารลดแรงตึงผิว (mol/l)

$V$  = ปริมาตรของสารละลาย (l)

$W_g$  = น้ำหนักของอะลูมินัมออกไซด์ (g)

การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์สามารถแสดงออกมาอยู่ในรูปโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวต่อพื้นที่ผิวโลหะ ได้จากสมการที่ 2.2

$$q_{\text{molecules/nm}^2} = q_{\text{mole/gram}} \times \text{Avogadro's number}_{\text{molecules/mole}} \times \frac{1}{SSA} \times \frac{1 \text{ m}^2}{10^{18} \text{ nm}^2} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $SSA$  = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางดูดซับ ( $\text{m}^2/\text{g}$ )



### 2.3.1 ไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์

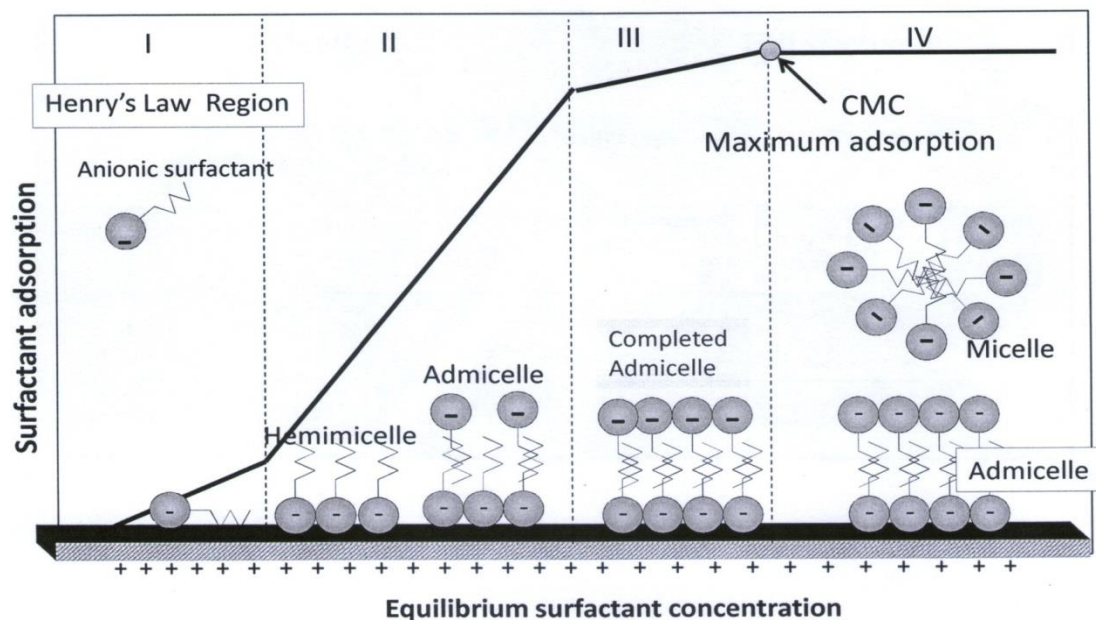
ลักษณะไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์จะมีลักษณะไอโซเทอมเป็นรูปตัวเอส (S-shaped isotherm) แสดงดังภาพที่ 2.6 เมื่อพล็อตกราฟล็อกกาทรีที่มีระหว่างค่าการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวกับค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว จะแบ่งออกเป็น 4 ขอบเขต ดังนี้

ขอบเขตที่1 การดูดซับบนพื้นที่ผิวในบริเวณนี้ยังมีอยู่น้อย เนื่องจากความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายมีเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นตามกฎของเฮนรี (Henry's law) โดยกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงและจะเกิดการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้น การดูดซับหลักที่เกิดขึ้นเป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) โดยสารลดแรงตึงผิวส่วนที่มีขั้วจะดูดซับบนพื้นผิวโลหะ ซึ่งการดูดซับในขั้นตอนนี้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะอยู่ในรูปของโมโนเมอร์เดี่ยวๆ และยังไม่เกิดการรวมตัวเกิดขึ้น

ขอบเขตที่2 เส้นกราฟมีความชันมากขึ้นเมื่อเทียบกับขอบเขตที่1 เนื่องจากเกิดการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์เพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นในสารละลาย ทำให้สารลดแรงตึงผิวเริ่มมีการรวมตัวกันโดยจัดเรียงโครงสร้างแบบเฮมิไมเซลล์ (Hemimicelle) หรือแอดไมเซลล์ (Admicelle) โครงสร้างของเฮมิไมเซลล์นั้นเป็นการจัดเรียงตัวแบบชั้นเดียว (Monolayer) ซึ่งส่วนที่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิวจะดูดซับอยู่บนพื้นผิวโลหะออกไซด์และส่วนที่ไม่มีขั้วจะเป็นส่วนที่สัมผัสกับสารละลาย ส่วนโครงสร้างของแอดไมเซลล์นั้นจะมีการจัดเรียงตัวแบบสองชั้น (Bilayer) โดยส่วนที่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิวจะดูดซับบนพื้นผิวโลหะออกไซด์และส่วนที่ไม่มีขั้วจะเกิด tail-tail interaction ด้วยแรงไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic force) ส่งผลให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างกันของบริเวณส่วนหางของสารลดแรงตึงผิว การเกิดโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแบบเฮมิไมเซลล์หรือแอดไมเซลล์นั้น จะเกิดขึ้นในช่วงความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าต่ำกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) และสามารถติดตามรูปแบบของแอดไมเซลล์ที่เพิ่มขึ้นได้ในช่วงขอบเขตนี้

ขอบเขตที่3 เส้นกราฟมีความชันลดลงเมื่อเทียบกับขอบเขตที่ 2 เนื่องจากเกิดแรงผลักทางไฟฟ้า (Electrostatic repulsion) ระหว่างสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ติดกันที่ดูดซับอยู่บนพื้นผิวโลหะ โดยในขอบเขตนี้ จะเกิดโครงสร้างแอดไมเซลล์อย่างสมบูรณ์

ขอบเขตที่ 4 เป็นขอบเขตที่ไม่มีการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวกับพื้นผิวของโลหะเกิดขึ้น แสดงถึงค่าการดูดซับสูงสุดของสารลดแรงตึงผิว โดยจุดเปลี่ยนระหว่างขอบเขตที่ 3 ไปยังขอบเขตที่ 4 เป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างไมเซลล์หรือมีค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) ดังนั้น ในขอบเขตที่ 4 ความชันของกราฟจึงมีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้น แต่จะไม่มีการดูดซับ เนื่องจากพื้นผิวของโลหะออกไซด์อิ่มตัวด้วยการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวในรูปแบบแอดไมเซลล์ ดังนั้น การเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว จึงเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของไมเซลล์ในระบบนั่นเอง



ภาพที่ 2. 6ไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์  
(ที่มา: [http://www.aocs.org/files/AMPresentation/35839\\_fulltext.pdf](http://www.aocs.org/files/AMPresentation/35839_fulltext.pdf))

## 2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (Parameters affecting surfactant adsorption)

### 2.3.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย (Solution pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างหรือพีเอชของสารละลาย (Solution pH) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์ เมื่อพีเอชของสารละลายลดลง พื้นผิวของโลหะออกไซด์จะแสดงประจุบวกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการดูดซับโปรตอน ( $H^+$ ) ระหว่างพื้นผิวของโลหะกับสารละลาย ทำให้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบเกิดการดูดซับบนโลหะออกไซด์ได้มากขึ้น ในขณะเดียวกัน หากพีเอชของสารละลายเพิ่มมากขึ้นพื้นผิวของโลหะออกไซด์จะแสดงประจุลบเพิ่มขึ้น ทำให้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบที่ดูดซับบนพื้นผิวโลหะออกไซด์

เกิดการคายออก (Desorption) เมื่อเกิดการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบบนพื้นผิวโลหะออกไซด์ จะทำให้พีเอชของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวจะเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับแคตไอออนและไฮดรอกซิลไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ที่ดูดซับบนโลหะออกไซด์ ดังนั้น พีเอชที่สมดุลจึงสัมพันธ์กับการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว (Rosen, 2004)

### 2.3.2.2 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Concentration)

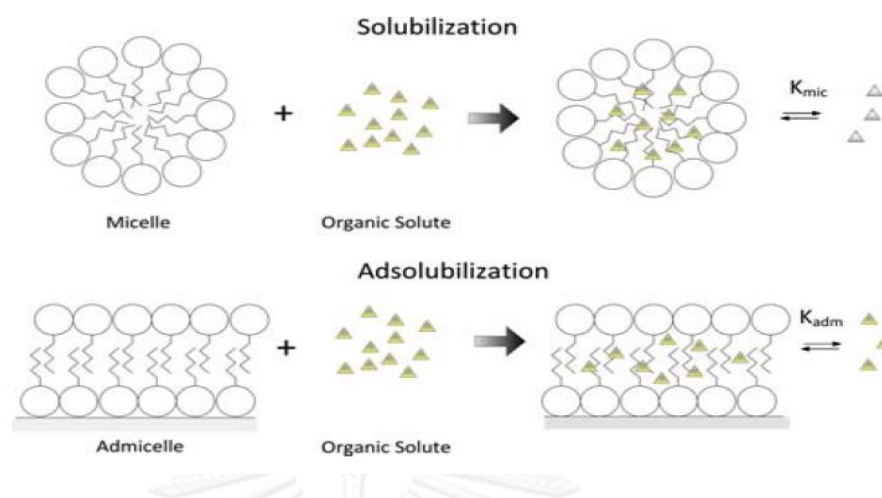
การเติมอิเล็กโทรไลต์ปริมาณเพียงเล็กน้อยลงในสารละลายจะมีผลต่อการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากอิเล็กโทรไลต์ที่เติมลงไปจะช่วยลดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุเหมือนกัน เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของไอออน (Ionic strength) ในระบบ จะทำให้โครงสร้างแอดไมเซลล์เกิดได้ดีและค่าการดูดซับสูงสุดของสารลดแรงตึงผิวจะเพิ่มมากขึ้น (Rosen, 2004; Asnachinda, 2009)

### 2.3.2.3 อุณหภูมิ (Temperature)

การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุมีประสิทธิภาพลดลง ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิให้กับการลดแรงตึงผิวที่ไม่ที่ประจุจะทำให้การดูดซับมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (Paria และ Khilar, 2004) แต่อุณหภูมิมีผลเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลของพีเอชของสารละลาย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น ชนิดของสารลดแรงตึงผิว ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลาย เป็นต้น (Rosen, 2004; เทิดศักดิ์, 2551)

## 2.4 แอดโซลูบิไลเซชันของสารอินทรีย์ (Adsolubilization of organic solutes)

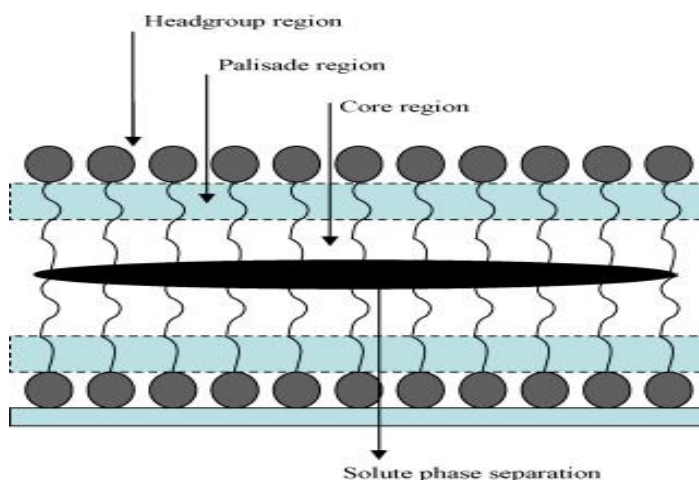
เมื่อสารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในสารละลาย โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างไมเซลล์ทำให้มีความสามารถในการละลายสารอินทรีย์เข้ามาอยู่บริเวณภายในของไมเซลล์ได้ หากเป็นการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางสามารถเกิดโครงสร้าง เฮมิไมเซลล์หรือแอดไมเซลล์ขึ้นระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับตัวกลาง ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลาย เมื่อสารลดแรงตึงผิวเกิดการเรียงตัวแบบสองชั้นหรือแอดไมเซลล์เกิดขึ้น ด้านในจะเป็นส่วนที่เกิด tail-tail interaction เป็นส่วนที่ไม่มีขั้วหรือส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวหันเข้าหากัน เรียกว่า Hydrophobic core ซึ่งเป็นส่วนที่สารอินทรีย์ละลายเข้าไปอยู่ภายในแอดไมเซลล์ โดยการดูดซับสารอินทรีย์ของสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลาง เรียกว่า แอดโซลูบิไลเซชัน (Adsolubilization) ส่วนในกรณีที่ไม่มีตัวกลาง เมื่อสารลดแรงตึงผิวเกิดการรวมตัวในรูปของ ไมเซลล์ การดูดซับสารอินทรีย์เข้าไปในไมเซลล์ เรียกว่า โซลูบิไลเซชัน (Solubilization) (Rosen, 2004; Charoensaeng, 2008) ดังรูปที่ 2.7



ภาพที่ 2. 7กระบวนการ แอดโซลูบิไลเซชัน (Adsolubilization) และ โซลูบิไลเซชัน (Solubilization) (Charoensaeng, 2008a)

โดยทั่วไปโครงสร้างไมเซลล์หรือแอดไมเซลล์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนด้านนอกหรือส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว ซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้ว เรียกว่า เฮดกรุป (Head group region) ส่วนด้านในหรือส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวจะเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว เรียกว่า คอร์ (Core region) และส่วนสุดท้ายเรียกว่า พาลิเซด (Palisade region) เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างเฮดกรุป (Head group region) กับส่วนคอร์ (Core region) มีขั้วปานกลาง ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกผ่านแอดไมเซลล์บริเวณนี้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยมีหลายงานวิจัยแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งในการโซลูบิไลเซชันของสารอินทรีย์ในไมเซลล์หรือแอดไมเซลล์ พบว่าสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วจะละลายหรือซึมผ่านเข้าไปในส่วนคอร์ (Core region) ในขณะที่สารละลายที่มีขั้วจะละลายเข้าไปอยู่ในส่วนพาลิเซด (Palisade region) (Saphanuchart และคณะ, 2007) โดยการโซลูบิไลเซชันและ partition coefficient มีแนวโน้ม ดังนี้

- ถ้าละลายสารอินทรีย์เข้าไปในส่วนคอร์ (Core region) พบว่า partition coefficient จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม mole fraction ของสารอินทรีย์ในแอดไมเซลล์
- ถ้าละลายสารอินทรีย์เข้าไปในส่วนพาลิเซด (Palisade region) พบว่า partition coefficient จะลดลงร่วมกับการเพิ่ม mole fraction ของสารอินทรีย์
- ถ้าละลายสารอินทรีย์เข้าไปในส่วนคอร์ (Core region) และ พาลิเซด (Palisade region) พบว่า partition coefficient จะคงที่กับการโซลูบิไลเซชันของสารอินทรีย์

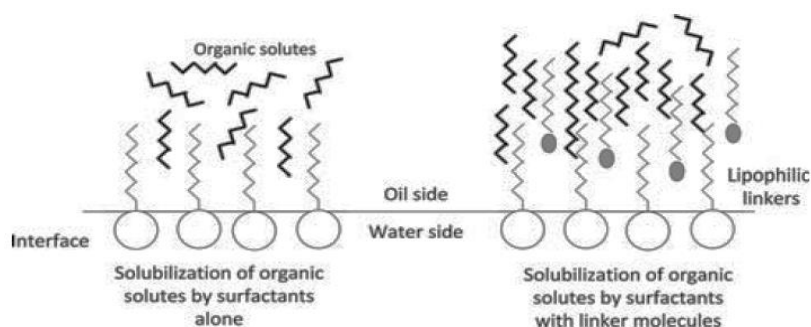


ภาพที่ 2. 8 ลักษณะโครงสร้างของแอดไมเซลล์ (Saphanuchart และคณะ, 2007)

## 2.5 โมเลกุลลิงเกอร์ (Linker Molecules)

โมเลกุลลิงเกอร์ (Linker Molecules) เป็นสารชีวโมเลกุลประเภทไขมัน (Lipid) หรือลิพิดที่มีคุณสมบัติแอมฟิฟิลิก (Amphiphilic) ได้แก่ สายโซ่ยาวของแอลกอฮอล์ เช่น บิวทานอล ออกทานอล โดเดคทานอล (Dodecanol) เป็นต้น โดยโมเลกุลลิงเกอร์จะช่วยเพิ่มความจุในการโซลูบิไลเซชัน (Solubilization) การประยุกต์ใช้โมเลกุลลิงเกอร์ในระบบที่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถปรับแก้สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ให้ได้ตามความต้องการกับงานที่ใช้ อีกทั้งโมเลกุลลิงเกอร์มีราคาที่ถูกกว่าสารลดแรงตึงผิว ซึ่งหากเมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมสารลดแรงตึงผิวอีกชนิดลงไป นั่นก็หมายถึงค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นตามมา (Charoensaeng และคณะ, 2008b)

Graciaa และคณะ (1993) ได้เสนอแนวคิดของโมเลกุลลิงเกอร์เป็นครั้งแรก โดยเสนอว่าโมเลกุลลิงเกอร์ทำหน้าที่ช่วยให้หางของสารลดแรงตึงผิวสามารถจับกับโมเลกุลน้ำมันในเฟสน้ำได้ ซึ่งจากความสัมพันธ์นี้โมเลกุลลิงเกอร์ยังช่วยส่งเสริมทิศทางของโมเลกุลน้ำมันในเฟสน้ำอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าสายโซ่ยาวแอลกอฮอล์มีผลต่อการสะสมโมเลกุลลิงเกอร์ที่อินเทอร์เฟซ โดยเกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ของจำนวนของคาร์บอนในสายโซ่ของแอลกอฮอล์ ซึ่งหากมีแอลกอฮอล์ที่มีโซ่ไฮโดรคาร์บอนจำนวนคาร์บอนเพียง 2-4 คาร์บอน โมเลกุลลิงเกอร์ประเภทนี้จะแสดงตัวเป็นสารตัวร่วมในการทำละลาย (Co-solvent) มีผลทำให้ลดปฏิกิริยาของสารลดแรงตึงผิว หากมีแอลกอฮอล์ปานกลางหรือมีโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอน 4-9 คาร์บอนจะแสดงตัวเป็นสารร่วมลดแรงตึงผิว (Co-surfactants) ที่ทำการดูดซับที่อินเทอร์เฟซระหว่างน้ำมันกับน้ำ และแอลกอฮอล์ที่มีโซ่ไฮโดรคาร์บอนจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 คาร์บอนขึ้นไป จะช่วยเพิ่มปฏิกิริยาของสารลดแรงตึงผิวในการดึงสารที่ชอบน้ำมันลงไปยังบริเวณของอินเทอร์เฟซฝั่งไม่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวได้มากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2. 9 บทบาทของลิงเกอร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการโซลูบิไลเซชัน (Solubilization)

(Charoensaeng และคณะ, 2008b)

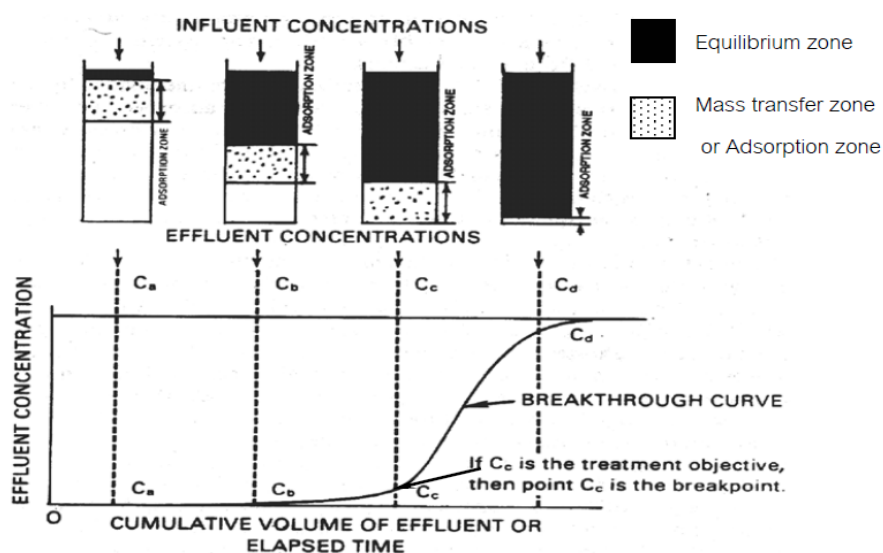
## 2.6 การศึกษาในรูปแบบการไหลแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ (Column study)

การศึกษาหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการดูดซับสามารถหาค่าได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยรูปแบบการศึกษาแบบทีละเท (Batch study) หรือ การศึกษาแบบการไหลแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ (Column study) ข้อดีในการศึกษาแบบทีละเท คือ สามารถศึกษาค่าตัวแปรต่างๆได้ตามที่ต้องการ บอกถึงลักษณะเบื้องต้นในการดูดซับ ส่วนการศึกษาแบบการไหลแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับจะมีความใกล้เคียงกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน กล่าวคือ สามารถนำผลของค่าตัวแปรที่ทำการศึกษาดังกล่าวไปใช้ในการกำจัดหรือบำบัดน้ำเสียได้ โดยการศึกษาแบบการไหลแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับจะเป็นตัวยืนยันว่าผลจากการศึกษาแบบทีละเทนั้นสามารถนำมาใช้ได้จริง

ในการศึกษาพารามิเตอร์ในการดูดซับในคอลัมน์ดูดซับจะรายงานผลในรูปกราฟเบรคทู (Breakthrough curve) หรือขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยน โดยกำหนดในรูปของความจุรวม (Total Capacity) หรือขีดความสามารถเบรคทู (Breakthrough Operating Capacity) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดที่สามารถแลกเปลี่ยนโดยตัวกลางที่มีสารลดแรงตึงผิว ต่อ หน่วยน้ำหนัก หรือหน่วยปริมาตรของตัวกลาง ซึ่งมีลักษณะเดียวกับการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินแบบคอลัมน์ที่มีการรายงานผลเป็นกราฟเบรคทูเช่นเดียวกัน โดยค่าความจุจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราการไหล (Flow rate) ความสูงของชั้นเรซิน (Bed depth) ขนาดของอนุภาคที่แลกเปลี่ยน (Particel size) และค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์

การดูดซับโดยทั่วไปจะให้สารดูดซับบรรจุอยู่ในคอลัมน์และอยู่ในลักษณะคงที่ (Fix Bed) แล้วดูดของเหลวหรืออากาศให้ไหลผ่านคอลัมน์ในลักษณะไหลขึ้น (Up-flow) หรือไหลลง (Down-flow) จากภาพที่ 2.10 เป็นกราฟแสดงความเข้มข้นของสารที่ต้องการกำจัดกับปริมาณน้ำเสียที่ผ่านเข้ามาในระบบ โดยกำหนดให้ แกนตั้งแทนความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่ออกจากคอลัมน์

แกนนอนแทนเวลาที่สารถูกดูดซับถูกบำบัดผ่านชั้นของตัวกลางดูดซับ สารถูกดูดซับที่มีความเข้มข้นคงที่จะไหลเข้าทางด้านบนของคอลัมน์ผ่านตัวกลางดูดซับ เมื่อสารถูกดูดซับผ่านตัวกลางจะสามารถดูดซับและเกาะติดกับสารดูดซับนั้น จนถึงระยะเวลาหนึ่งตรงบริเวณทางเข้าของหลอดดูดซับจะอิ่มตัว ทำให้เกิดเป็นเขตที่มีการอิ่มตัวในการดูดซับ เราเรียกว่า เขตสมดุล (Equilibrium zone) ซึ่งจะเป็นชั้นที่ไม่มีการดูดซับเกิดขึ้น ในขณะที่เขตที่ต่อจากเขตที่มีการอิ่มตัวจะยังเกิดการดูดซับได้อย่างต่อเนื่อง เขตของการดูดซับนี้เรียกว่า เขตการถ่ายเทมวล (Mass transfer zone , MTZ) ทำให้ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลายลดลง ในขณะที่ความเข้มข้นของตัวดูดซับที่มีสารดูดซับไหลผ่านจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง บริเวณที่เกิดการดูดซับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในสารละลายจะค่อยๆ ลดลง จากรูปพบว่าในช่วงแรกน้ำที่ผ่านชั้นตัวกลางจะมีสารถูกดูดซับติดออกมาน้อยมากแต่หลังจากผ่านไปเรื่อยๆ จะพบว่าน้ำที่ออกมาจะมีปริมาณสารถูกดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน จุดนี้เรียกว่า จุดเบรคทูร์ (Breakthrough point) ในบางครั้งจุดเบรคทูร์อาจจะไม่ได้หักมุมโดยทันทีแต่จะค่อยๆ โค้งขึ้น เมื่อถึงจุดนี้จะมีสารถูกดูดซับปนมากับน้ำเรื่อยๆ จนมีปริมาณความเข้มข้นในน้ำขาออกเท่ากับน้ำขาเข้าในที่สุด จุดเบรคทูร์เป็นจุดที่ใช้วัดความสามารถในการแลกเปลี่ยน ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปร่างคล้ายตัว S เรียกว่า กราฟเบรคทูร์ หรือ Breakthrough Curve (จิตตกานต์ สินธุเสก, 2544; จิระเดช ฮายุกต์, 2547)



ภาพที่ 2. 10 กราฟเบรคทูร์ หรือ Breakthrough Curve (จิระเดช ฮายุกต์, 2547)

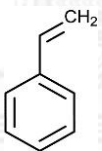
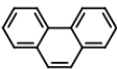
## 2.7 สารอินทรีย์ (Organic Solution)

สารอินทรีย์เป็นสารประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การชะล้างโลหะ ไขมันหรือใช้เป็นสารละลายในการล้างทำความสะอาด อุปกรณ์ชิ้นส่วนในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมสี

รวมถึงถูกนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น สี แล็กเกอร์ ยางสังเคราะห์ และพลาสติก เป็นต้น ทำให้สารอินทรีย์เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรม ซึ่งถ้าหากมีการรั่วไหล จะทำให้เกิดการปนเปื้อน จนทำให้เกิดปัญหามลพิษแก่สิ่งแวดล้อม เช่น สารในกลุ่ม Dense Nonaqueous Phase Liquids หรือ DNAPLs เป็นสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ แต่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ จึงทำให้สารในกลุ่ม DNAPLs มีการปนเปื้อนดินลงไปสู่น้ำใต้ดิน สารประเภทนี้จะจมสู่ด้านล่างสุดของชั้นน้ำใต้ดิน จึงทำให้การบำบัดสารในกลุ่มนี้มีความยากลำบาก เป็นต้น (โอมสุดา และ พงศ์ศักดิ์, 2553) นอกจากนี้สารอินทรีย์บางชนิดยังจัดเป็นสารก่อมะเร็งที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์อีกด้วย

โดยในงานวิจัยนี้จะใช้สารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ มีแรงไดโพล – ไดโพล (dipole-dipole) แตกต่างกันได้แก่ สไตรีน (Styrene) และฟีนแอนทรีน (Phenanthrene) เป็นตัวแทนในการศึกษา โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของสไตรีนและเอทิลไซโคลเฮกเซน

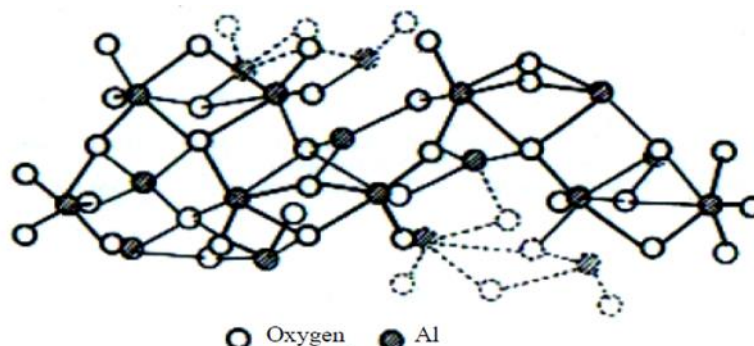
สารอินทรีย์	สูตรโมเลกุล	โครงสร้างโมเลกุล	มวลโมเลกุล	ความสามารถในการละลายน้ำ (mg/L)	ความหนาแน่น 25° (g/ml)	Dipole moment
สไตรีน (Styrene)	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>		104.15	312	0.91	0.13
ฟีนแอนทรีน (Phenanthrene)	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>		178.23	1.60	1.18	0.00

## 2.8 อะลูมินา (Alumina)

อะลูมินา ชื่อทางเคมี คือ อะลูมิเนียมออกไซด์ หรืออะลูมินัมออกไซด์ สูตรทางเคมีคือ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> พบในธรรมชาติในรูปของแร่คอร์ันดัม (Corundum) โดยปกติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่หากมีสิ่งเจือปนในโครงสร้างจะทำให้เกิดสีต่าง ๆ กลายเป็นแร่ที่มีค่า เช่น ทับทิม เกิดจากมีธาตุโครเมียมอยู่ในเนื้ออะลูมินา เป็นต้น โครงสร้างของอะลูมินาประกอบด้วยพันธะระหว่างอะลูมิเนียมกับออกซิเจน โดยอะลูมินาที่มีความเสถียรที่สุดจะอยู่ในรูป แอลฟาอะลูมินา ( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) มีโครงสร้างผลึกเป็นเฮกซะ



โกนัล (Hexagonal) โดยมีออกซิเจนเรียงตัวแบบเฮกซะโกนัลและมีอะลูมิเนียมขนาดเล็กลงในช่องออกตะฮีดรอล 2 ใน 3 ส่วนของช่องทั้งหมด (จิราพร บุญพอ, 2553) ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2. 11 โครงสร้างของแอลฟาอะลูมินา (อนรรัตน์ ภูวนาคำ, 2548)

อะลูมินาเป็นวัสดุออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในหลายๆด้าน เช่น ส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ ลูกบิดและผนังกรูหม้อบดสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ใช้ทำวัสดุทนไฟในเตาเผาและเตาหลอม วัสดุขัดถู ถ้วยเผาสำหรับอุตสาหกรรมอัญมณี หัวฟันทรายสำหรับงานตกแต่งผิวโลหะ แผ่นรองวงจรไฟฟ้ารวมสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ หัวเทียนสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ และทำชิ้นส่วนของอวัยวะทดแทน เช่น ข้อต่อกระดูกเทียม เป็นต้น (โยชียาสู มิซูโนะ, 2542) เนื่องจากอะลูมินามีคุณสมบัติเด่นหลายด้าน อาทิ จุดหลอมเหลวสูง ทนต่อการสึกกร่อน ความแข็งสูง และเฉื่อยต่อปฏิกิริยา ดังแสดงได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 สมบัติของอะลูมินาบริสุทธิ์ (จิราพร บุญพอ, 2553)

คุณสมบัติ	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
ความหนาแน่น (Density, $\text{g/cm}^3$ )	3.98
จุดเดือด (Boiling point, $^{\circ}\text{C}$ )	3000
จุดหลอมเหลว (Melting temperature, $^{\circ}\text{C}$ )	2054
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal expansion coefficient, $10^{-6}/\text{K}$ )	8.5
มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (Elastic modulus, GPa)	300 – 400
ความแข็งของวัสดุ (Indentation hardness, GPa)	20
ความต้านทานต่อการแตกร้าว (Fracture toughness, $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ )	2 – 4
ความสามารถในการทนต่อการดัดโค้ง (Flexural strength, MPa)	200-400

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองนี้แบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ คือ

### 2.9.1 การศึกษาการดูดซับและกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ซึ่งประกอบด้วย

Sandrin และคณะ (2000) ได้ศึกษาผลของการใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดในการลดความเป็นพิษของแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่กับแนฟทาลิน เนื่องจากความเป็นพิษของแคดเมียมมีผลในการขัดขวางการย่อยสลายทางชีวภาพของแนฟทาลินด้วยจุลินทรีย์ชนิด *Burkholderia sp.* พบว่า แรมโนลิพิดสามารถลดความเป็นพิษแคดเมียมเมื่อความเข้มข้นมากกว่า 10 เท่าของแคดเมียม และไม่มีผลต่อการย่อยสลายแนฟทาลินของจุลินทรีย์ โดยกลไกที่ช่วยลดความเป็นพิษอาจเกี่ยวข้องกับการรวมตัวกันของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแรมโนลิพิดและแคดเมียมและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีขึ้น

Makkar และ Rockne (2003) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพในการกำจัดสารจำพวก Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) โดยศึกษาสารลดแรงตึงผิวที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) พบว่า สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์บางชนิดมีผลในการยับยั้งการย่อยสลายทางชีวภาพของ PAH เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์บางชนิดมีฤทธิ์ในการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายได้ ในทางกลับกันสารลดแรงตึงผิวชีวภาพสามารถเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี เนื่องจากไม่มีความเป็นพิษเกิดขึ้น จึงทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้โดยตรง สามารถสรุปสาร PAH ที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพได้ ดังตารางที่ 2.3

#### ตารางที่ 2.3 สรุปสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สามารถย่อยสลาย PAH ทางชีวภาพได้

Compound	Synthetic surfactant	Biosurfactant
Aliphatic and aromatic hydrocarbon	-	Crude surfactin Rhamnolipid Oleophilic
Benzene	-	Di-rhamnolipid
4,4-dichlorobiphenyl	-	Rhamnolipid
Hexachlorobiphenyl	-	Rhamnolipid Emulsan

ตารางที่ 2. 4 สรุปสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่สามารถย่อยสลาย PAH ทางชีวภาพได้ (ต่อ)

Compound	Synthetic surfactant	Biosurfactant
Hexadecane	-	Crude surfactin Rhamnolipid
Metals	-	Rhamnolipid
Naphthalene	Brij-35 Triton X-100	Sophorose lipid Rhamnolipid Oleophilic
Octadecane	-	Rhamnolipid
PCBs	-	Rhamnolipid
Phenanthrene	Brij-30 Brij-35 Triton X-100 Tween 80	Rhamnolipid Sophorolipid
Pyrene	Arkopal N-300 Sapogenat T 300 Triton X-100	-
Toluene	-	Di- rhamnolipid

Ochoa-Loza และคณะ (2007) ได้ศึกษาหาชนิดและองค์ประกอบของดินที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด (Monorhamnolipid: R1) ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น R1 ต่ำ จะทำหน้าที่ส่งเสริมการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ โดยสามารถเรียงดินที่มีประสิทธิภาพจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Kaolinite,  $\text{MnO}_2$ , Illite, Ca-montmorillonite, Gibbsite ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) และ Humic acid-coated silica ตามลำดับ ที่ระดับความเข้มข้น R1 สูง จะทำหน้าที่ในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน หรือกำจัดโลหะหรือสารอินทรีย์ โดยสามารถเรียงดินที่มีประสิทธิภาพจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ Illite, Humic acid-coated silica, Ca-montmorillonite, Hematite,  $\text{MnO}_2$ , Gibbsite และ Kaolinite ตามลำดับ โดยผลดังกล่าวแสดงให้เห็นเมื่อดินและประเภทดินมีปริมาณแร่ธาตุอะลูมิเนียมและเหล็กออกไซด์ต่ำ มีแนวโน้มที่จะดูดซับ R1 ได้ค่อนข้างต่ำ

Nguyen และคณะ(2008) ได้ศึกษาเปรียบเทียบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดกับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการกำจัดน้ำมันมลพิษ (LNAPLs) โดยทำการทดลองแบบที่ละเท พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันของสารแต่ละตัวแสดงในตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 2. 5 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันมลพิษชนิดต่างๆ

Oil	Biosurfactant (w/w%)	Synthetic surfactant (w/w%)
Toluene	Rhamnolipid (0.08)	C <sub>12,13</sub> -8PO sulfate (0.02)
Hexane	Rhamnolipid (0.05)	C <sub>16</sub> -10.7PO sulfate (0.5)
Decane	Rhamnolipid (0.03)	C <sub>16</sub> -18PO-2EO sulfate (0.07)
Hexadecane	Rhamnolipid (0.03)	C <sub>16</sub> -18PO-2EO sulfate (0.07)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ยังมีการผสมสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ที่มีความเป็นไฮโดรโฟบิกมากกับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดจะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น

Chang และคณะ (2009) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ (Triton X-100) และ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดในการกำจัดพีแนทรีนออกจากดินในกระบวนการ electrokinetic (EK) พบว่า อัตราการไหลของพีแนทรีนเร็วกว่า และมีประสิทธิภาพในการกำจัดพีแนทรีนมากกว่าเมื่อมีสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิดในระบบ นอกจากนี้การเติมสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบดินและน้ำ ซึ่งมีผลเกี่ยวกับการย่อยสลายพีแนทรีนทางชีวภาพได้

Ozdemir และ Yapar (2009) ได้ศึกษาประสิทธิภาพและค่าความเป็นกรด-ด่างในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบน Na-montmorillonite แบบที่ละเท พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ทำให้ความสามารถในการดูดซับระหว่างแรมโนลิพิดกับ Na-montmorillonite ได้สูงสุดอยู่ที่ช่วงพีเอช 4.7-4.8 และการนำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดผสมกับ Na-montmorillonite ก่อนจะเติมสารละลายทองแดงลงไปจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายทองแดงได้ดีกว่าการนำเอาสารละลายทองแดงไปผสมกับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดก่อน เนื่องจากแรมโนลิพิดจะสามารถกระจายตัวและเรียงตัวไปในชั้นของ Na-montmorillonite ได้ดี

Chuang และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Layered double hydroxides (LDHs) ของแคลไซน์ (Calcined) ที่มีการแทรกตัวของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ (SDS) และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด (RL) ในการกำจัดแอฟทาลีน พบว่า RL ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ผสมกับ อัตราส่วน 2:1 ของ calcined LDH ต่อ uncalcined LDH มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์และมีพื้นที่สัมผัสสูงสุดและมีพื้นที่สัมผัสมากกว่า SDS-LDH ส่งผลให้ RL-LDH มีประสิทธิภาพในการดูดซับแอฟทาลีนได้มากกว่า SDS-LDH นอกจากนี้ RL-LDH มีความเป็นพิษต่ำทำให้เป็นตัวดูดซับที่มีความปลอดภัยในการนำสารปนเปื้อนอินทรีย์ออกจากสารละลาย

Pei และคณะ (2010) ได้ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ (Tween-80) และ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Rhamnolipid) ในการย่อยสลายพีแนนทริน (PHE) โดยแบคทีเรีย *Sphingomonas* sp. (GF2B) พบว่า GF2B สามารถย่อยสลาย PHE ได้ร้อยละ 83.6 ภายในระยะเวลา 10 วันโดยเมื่อทำการเติม Tween-80 ลงไป Tween-80 ทำปฏิกิริยยับยั้งการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยสามารถย่อยสลาย PHE ได้เพียงร้อยละ 33.5 แต่เมื่อทำการเติม Rhamnolipid ลงไป Rhamnolipid สามารถช่วย GF2B ย่อยสลาย PHE ได้ถึงร้อยละ 99.5 เนื่องจาก Rhamnolipid ช่วยเพิ่มการละลาย PHE ออกจากดิน

Sponza และ Gok (2010) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดในการกำจัด Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) และ สารประกอบของ COD จากน้ำเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม พบว่า เมื่อมีการเติมสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดความเข้มข้น 15 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ลงไป จะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัด PAHs และ COD โดยไม่ส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียที่อยู่ในถัง

Wan และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการโซลูบิไลเซชันของเฮกซะคลอโรเบนซีน (HCB) ที่มีสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิด (Rhamnolipid) และ สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ SDS ผสม พบว่า ลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิดสามารถโซลูบิไลเซชัน HCB ได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ SDS โดยแรมโนลิพิดกำจัด HCB ได้ร้อยละ 60 และเมื่อมีการนำถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC) เป็นตัวกลางในการดูดซับ พบว่า PAC จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับ HCB ได้ถึงร้อยละ 99

An และคณะ (2011) ได้ศึกษาผลของกรดอินทรีย์สายโซ่สั้น คือ SCOAs (กรดอะซิติก, กรดออกซาลิก, กรดทาทาลิก และกรดซิตริก) ในการเพิ่มประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดในการกำจัดพีแนนทรินออกจากระบบดิน-น้ำ (soil-water system) โดยทำการทดลองการคาย (Desorption) เทียบกับแรมโนลิพิดเดี่ยว พบว่า ชุดที่มีกรดซิตริกและแรมโนลิพิดจะเพิ่มประสิทธิภาพในการ desorption ได้ดีที่สุด และการ desorption พีแนนทรินทำได้ดีที่พีเอช 6 และ 9 นอกจากนี้การปรากฏตัวของไอออนของเกลือมากขึ้นทำให้พีแนนทรินติดอยู่กับดินได้ดีขึ้น ส่งผลให้การ desorption พีแนนทรินออกมาจากดินได้น้อยลง

Lin และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารไตรโคซานบนตะกอนดินในระบบที่มีตะกอนดิน น้ำ และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด (SER process) ทำการทดลองแบบที่ละเท โดยใช้ดินตะกอนจากแม่น้ำในประเทศจีนสามแห่ง คือ Tanzhou watercourse (TZW), North River (NR) และ Pearl River (PR) และความเข้มข้นของไตรโคซานที่ทำการทดลองอยู่ในช่วง 50-250 ไมโครกรัม ต่อ กรัม พบว่า ดินตะกอนจาก Pearl River สามารถดูดซับไตรโคซานได้ดีที่สุด เนื่องจากมีรูพรุนมากและช่วงความเข้มข้นของไตรโคซานสูง สามารถ

อธิบายกลไกการดูดซับได้ด้วย S shape isotherm และเมื่อทำการนำไตรโคซานออกจากดิน พบว่า แรมโนลิพิดสามารถจับตัวได้ดีกับไตรโคซานที่ความเข้มข้นของแรมโนลิพิดมากกว่าค่า CMC เนื่องจากเกิดการโซลูบิลิเซชันเกิดขึ้น

Sponza และ Gok (2011) ได้ทำการศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพของ เวลาที่เก็บตะกอน (SRT) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ 3 ชนิด คือ แรมโนลิพิด (RD) อิมัลชัน (EM) และเซอร์แฟคติน (SR) ในการกำจัด Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) ในระบบแอร์บิคแอกติเวตเตดสลัดจ์ (AASR) พบว่า การเติมสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดลงในระบบให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการกำจัด PAHs โดยใช้เวลาในการกักเก็บ ตะกอน 25 วัน และใช้แรมโนลิพิดเข้มข้น 15 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร ซึ่งสามารถกำจัด PAHs ได้มากกว่า ร้อยละ 90 และแรมโนลิพิดสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ร้อยละ 96-98 ซึ่งเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพจากระบบ AASR ร้อยละ 1.2-1.4 สะสมอยู่ในระบบ ร้อยละ 1.1-1.3 ถูกทิ้งไปกับน้ำทิ้ง และ ร้อยละ 1.2-1.4 จะคงอยู่ในตะกอนสลัดจ์

Yu และคณะ (2011) ได้ศึกษาการโซลูบิลิเซชันของสารผสมระหว่างพีแนนทริน (PHE) และ ไพรีน (PYR) โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด (Rhamnolipid) พบว่า โซลูบิลิเซชันของสารทั้งสองเพิ่มขึ้นและเป็นเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นของแรมโนลิพิดมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) โดยความสามารถในการละลายของ PHE ในระบบผสมต่ำกว่าในระบบที่มี PHE เพียงตัวเดียว ในขณะที่การละลายของ PYR ในระบบผสมเพิ่มขึ้น เนื่องจาก PYR มีความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) มากกว่า PHE ดังนั้น PYR จึงโซลูบิลิเซชันได้ดีกว่า PHE นอกจากนี้หากมีการเติมแรมโนลิพิดและสารอินทรีย์ละลายน้ำ (DOM) ลงไปพบว่า ความสามารถในการละลายของสารทั้งสองชนิดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับระบบที่มีเพียงแรมโนลิพิด หรือ DOM

### 3.9.2 การศึกษาการดูดซับและการกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักโดยสารลดแรงตึงผิว ด้วยวิธีคอลัมน์ดูดซับแบบไหลต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วย

Adak และ Pal (2006b) ได้ศึกษาการกำจัดสารฟีนอลออกจากน้ำโดยใช้อะลูมินาที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (SDS) พบว่า อะลูมินาเป็นตัวกลางดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ โดยสารลดแรงตึงผิวจะไปเคลือบบนพื้นผิวของอะลูมินา (SMA) และสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในของเหลวได้ในรูปแบบแอดโซลูบิลิเซชัน ในการศึกษาแบบทีละเท ประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชน้อยกว่า 7 การเพิ่มสารที่มีประจุลบในระบบทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนอลเพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มสารที่มีประจุบวกจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเล็กน้อย และอุณหภูมิไม่มีผลในการกำจัดฟีนอล ในการศึกษาแบบคอลัมน์ คอลัมน์ที่ใช้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ความสูงในคอลัมน์ 10 20 และ 30

เซนติเมตร สามารถบำบัดปริมาณน้ำเสียที่มีภาระฟีนอล 1.65 3.66 และ 5.27 ลิตร ตามลำดับ โดยให้ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัม ต่อ ลิตร และมีอัตราการไหล 8.5 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นแบบไหลย้อน (Up flow)

Dahrazma และ Mulligan (2007) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ( Rhamnolipid) ในการกำจัดโลหะหนัก (ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล) จากตะกอน ในการทดลองแบบไหลต่อเนื่อง (CFC) พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดสามารถกำจัดทองแดง สังกะสี และนิกเกิลออกจากตะกอนได้ร้อยละ 37 13 และ 27 ตามลำดับ และเมื่อทำการทดลองโดยการเพิ่มโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงไปกับแรมโนลิพิดความเข้มข้นร้อยละ 0.5 สามารถกำจัดทองแดงได้ 4 เท่าเมื่อเทียบกับแรมโนลิพิดความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เพียงอย่างเดียว

Fuangswasdi และคณะ (2007) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับในระบบที่มีสารลดแรงตึงผิวผสมประจุลบ โซเดียมไดเตกซิลซัลเฟต (SDS) กับ สารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีสองหัว คือ เพนตะเมททิลโอลิล อัลคิล 1,3- โพรเพน ไดแอมโมเนียม ไดคลอไรด์ (PADD) ที่สัดส่วน 1:3 และระบบที่มีสารลดแรงตึงผิวเดี่ยวบนคอลัมน์ดูดซับที่มีซิลิกาเป็นตัวกลางดูดซับ และศึกษาการละลายและการเคลื่อนย้ายของสารอินทรีย์ชนิดมีแรงไดโพล-ไดโพลสูง (สไตรีน) และมีแรงไดโพล-ไดโพลต่ำ (เอทิลไซโคลเฮกเซน) ในสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางทั้งสองชนิด พบว่า สารลดแรงตึงผิวชนิดผสมจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับ การละลายและอัตราการเคลื่อนย้ายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกชนิดเดียว

Juwarkar และคณะ (2007) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักแคดเมียมและเหล็กที่มีการปนเปื้อนในดินโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดในระบบคอลัมน์ดูดซับ พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดสามารถลดปริมาณแคดเมียมและเหล็กในดินได้ร้อยละ 82 และ 88 ตามลำดับ โดยใช้แรมโนลิพิดความเข้มข้นร้อยละ 0.1 เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และจุลินทรีย์จากดินที่ปนเปื้อนเพิ่มขึ้นหลังจากการกำจัดของโลหะแสดงให้เห็นว่าแรมโนลิพิดมีความสามารถในการลดความเป็นพิษของโลหะหนักและเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีขึ้น

Faki และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาการดูดซับสีย้อมสีเหลือง (Reactive Yellow 176) โดยใช้ซีโอไลต์ธรรมชาติที่มีการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (HTAB) .ในระบบคอลัมน์ดูดซับที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร และความสูงของซีโอไลน์ 25 35, และ 50 เซนติเมตร ในการบำบัดน้ำเสีย 24 36 และ 66 ลิตร โดยมีความเข้มข้นของสีย้อม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการไหล 0.050 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ พบว่าซีโอไลต์ที่มีการปรับสภาพด้วย HTAB ความเข้มข้น 3 กรัมต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการดูดซับสีย้อม ความสูงต่ำสุดในการดูดซับสีย้อมที่มีความสูง 12.02 เซนติเมตร อัตราในการดูดซับครั้งที่ คือ  $6.432 \times 10^{-3}$  ลิตรต่อมิลลิกรัมต่อชั่วโมง

และ มีความสามารถในการดูดซับ 12.05 กรัมต่อลิตร และเมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมและน้ำเสียสังเคราะห์พบว่ามีความสามารถในการดูดซับได้ร้อยละ 25 และ 62 ตามลำดับ

### 2.9.3 การศึกษาการดูดซับและการกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักโดยใช้สารลดแรงตึงผิวทั้งชนิดเดี่ยวและชนิดที่มีการผสมสารอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งประกอบด้วย

Adak และ Pal (2006a) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมคริสตัลไวโอเล็ต (CV) โดยใช้อะลูมินาที่มีสภาพเป็นกลางมาปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุลบ คือ โซเดียมซัลเฟตโตเดซิล (SDS) พบว่า โครงสร้างที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของอะลูมินาซึ่งถูกใช้ในการกำจัดคริสตัลไวโอเล็ต (CV) เรียกว่า Adsolubilization โดยอะลูมินาที่มีการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิว SDS (SMA) จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด CV มากกว่าร้อยละ 99 จากความเข้มข้น CV เริ่มต้น 200 ppm และใช้ปริมาณ SMA 6 กรัมต่อลิตร ในการกำจัด CV

Rao และ He (2006) ได้ศึกษาพฤติกรรมดูดซับของสารลดแรงตึงผิวผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (SDBS) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (A12E9) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผงซักฟอกในประเทศจีนที่ดูดซับในดิน พบว่า ปริมาณการดูดซับของ SDBS และ A12E9 บนดินลดลงตามลำดับ เมื่อ A12E9 ถูกเพิ่มเข้าไปในครั้งที่สองเมื่อเทียบกับครั้งแรก เป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ของโซ่ของไฮโดรคาร์บอนระหว่าง SDBS และ A12E9 และการเพิ่มขึ้นของพีเอช ทำให้การดูดซับของสารลดแรงตึงผิว SDBS และ A12E9 บนดินลดลงตามลำดับ เนื่องจากการลดลงของความแข็งแรงของไอออนของดิน ส่งผลให้ปริมาณการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว SDBS และ A12E9 บนดินลดลงตามลำดับ

นวลกมล อารณพงษ์ (2008) ได้ทำการศึกษาการแอตโซลูปีไลเซชันสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติความมีขั้วที่แตกต่างกันด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุลบชนิดธรรมดาและชนิดที่มีส่วนขยายบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ พบว่า สารลดแรงตึงผิวธรรมดามีประสิทธิภาพในการแอตโซลูปีไลเซชันสไตรีนได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยาย โดยสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยาย ใช้ปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวธรรมดาในการสร้างแอตไมเซลล์ และสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยายมีประสิทธิภาพในการแอตโซลูปีไลเซชันพีแนทรีนได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวธรรมดา โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการแอตโซลูปีไลเซชันของสารอินทรีย์ พบว่า สารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดมีความสามารถในการแอตโซลูปีไลเซชันพีแนทรีนได้ดีกว่าสไตรีน เป็นผลมาจากความชอบน้ำไม่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวและสารอินทรีย์



Charoensaeng และคณะ (2008b) ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์และสารลดแรงตึงผิวชนิดที่มีโพรพิลีนออกไซด์แทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลส่วนขยายในการโซลูบิไลเซชันและแอดโซลูบิไลเซชันสไตรีนบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ จากผลการศึกษาพบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดผสมโมเลกุลลิแกนด์มีระดับการดูดซับสูงสุดมีค่าสูงกว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยาย การศึกษากระบวนการแอดโซลูบิไลเซชันในการละลายและการดูดซับสไตรีนในแอดไมเซลล์สามารถวัดประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ได้จากค่าสัมประสิทธิ์การละลายของสารอินทรีย์ในแอดไมเซลล์ ( $K_{adm}$ ) และการศึกษากระบวนการโซลูบิไลเซชันในการละลายและการดูดซับสไตรีนในไมเซลล์ สามารถวัดประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ได้จากค่าสัมประสิทธิ์การละลายของสารอินทรีย์ในไมเซลล์ ( $K_{mic}$ ) โดยพบว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยายนั้นมีความสามารถในการแอดโซลูบิไลเซชันและโซลูบิไลเซชันสไตรีนมากกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนกลุ่มโพรพิลีนออกไซด์และจำนวนคาร์บอนในส่วนหางของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิว

Wang และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาผลของแอลกอฮอล์ที่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (AMS) เข้าไป โดยใช้ความยาวโซ่ของคาร์บอนที่แตกต่างกัน คือ ethanol, n-butanol, hexanol และ 1-octanol พบว่า แอลกอฮอล์ทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองสามารถเปลี่ยนซิลิกาให้มีขนาดรูพรุนขนาด 20-500 Å<sup>o</sup> (hexagonal mesoporous discs) โดยความยาวของห่วงโซ่คาร์บอน เช่น n-butanol และ Hexanol สามารถทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมในการสังเคราะห์ได้

Attaphong และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาการดูดซับและการแอดโซลูบิไลเซชันของสารลดแรงตึงผิวโพลีเมอร์ไลเซชันประจุลบบนตัวกลางอะลูมินาออกไซด์ โดยในการศึกษาใช้สารลดแรงตึงผิวโพลีเมอร์ไลเซชันประจุลบ (Hitenol BC 05, Hitenol BC 10 และ Hitenol BC 20) และสารลดแรงตึงผิวที่ไม่เป็นโพลีเมอร์ไลเซชัน (Hitenol N 08) พบว่า หากมีการเพิ่มจำนวนกลุ่มของเอทาลีนออกไซด์ (EO) มากขึ้น พื้นที่ผิวต่อโมเลกุล จะเพิ่มขึ้น แต่ค่าการดูดซับสูงสุดจะลดลง และค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันของสารอินทรีย์ (สไตรีนและเอทิลไซโคลเฮกเซน) ไม่ขึ้นกับจำนวน EO ของสารลดแรงตึงผิว โดยเอทิลไซโคลเฮกเซนมีการแอดโซลูบิไลเซชันได้มากกว่าสไตรีน

Javadi และคณะ (2011) ได้ศึกษาการดูดซับร่วมของเฮกเซนในเฟสไอกับสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (SDS) และสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (DoTAB) ในการลดแรงตึงผิวของน้ำพบว่าเฮกเซน ความเข้มข้น  $10^{-5}$  โมลต่อลิตร ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว ให้ค่าสัมบูรณ์ของแรงตึงผิวต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวเพียงอย่างเดียว และการลดลงของแรงตึงผิวแบบร่วมมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวต่ำกว่าค่า CMC เนื่องจากหากใช้สารลด

แรงดึงผิวความเข้มข้นสูงจะทำให้เฮกเซนไม่สามารถลงไปช่วยในการลดแรงดึงผิวได้เนื่องจากโมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวครอบคลุมโมเลกุลของน้ำไว้หมดแต่หากใช้ในปริมาณปานกลางจะทำให้เหลือช่องว่างเพียงพอที่จะให้เฮกเซนลงไปทำปฏิกิริยาได้

Vidal และคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX (เบนซิน โทลูอิน ไซลีน และเอทิลเบนซิน) โดยใช้ซีโอไลต์ที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงดึงผิว HDTMA ที่กำลังการผลิตไอออนบวกแลกเปลี่ยนรวม (CEC) ร้อยละ 50 100 และ 200 ตามลำดับ พบว่า ซีโอไลต์ที่มีการปรับสภาพด้วย HDTMA ในทุกระดับมีประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX มากกว่าร้อยละ 80 เมื่อเทียบกับซีโอไลต์ที่ไม่มีการปรับสภาพ โดยซีโอไลต์ที่มีระดับปรับสภาพ CEC ที่ร้อยละ 100 (SMZ-100) มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการกำจัด BTEX โดยมีการเรียงตัวบนซีโอไลต์แบบชั้นเดียว (Monolayer) และการฟื้นฟู (Regeneration) ของ SMZ-100 สามารถนำกลับมาใช้ในการดูดซับได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดได้ทั้งหมด 4 ครั้ง ยกเว้นการดูดซับเบนซินจะใช้ได้เพียง 1 ครั้ง เท่านั้น

Xie และคณะ (2012) ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับและกลไกการดูดซับของซีโอไลต์ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารลดแรงดึงผิวประจุบวก (Hexadecyltrimethylammonium) ในการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ (Pheonal, p-chlorophenol และ Bisphenol A) และสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่แตกตัวเป็นไอออน (Aniline, Nitrobenzene และ Naphthalene) พบว่าซีโอไลต์ที่มีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารลดแรงดึงผิวมีความสามารถในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ทั้งสองชนิดได้ดีกว่าซีโอไลต์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากพื้นผิวที่มีการปรับสภาพด้วยสารลดแรงดึงผิวได้เกิดการเรียงตัวแบบสองชั้น (Bilayer) จึงสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้ดีกว่า และพบว่า การดูดซับของสารอินทรีย์ที่ไม่มีการแตกตัวเกิดจากการกระทำของการเรียงตัวสองชั้นของสารลดแรงดึงผิว ในขณะที่สารอินทรีย์ที่สามารถแตกตัวได้จะเกิดจากการกระทำของหัว (Head) ประจุบวกของสารลดแรงดึงผิวและการเรียงตัวสองชั้นของสารลดแรงดึงผิวด้วย

Zhang และคณะ (2012) ได้ศึกษาการดูดซับของสารลดแรงดึงผิวผสมระหว่างสารลดแรงดึงผิวประจุลบและลดแรงดึงผิวที่ไม่มีประจุบนเบนโทไนด์และอิทธิพลที่มีต่อการกระจายตัวของ HOCs พบว่า การเพิ่มขึ้นของสารลดแรงดึงผิวประจุลบลดการดูดซับของสารลดแรงดึงผิวที่ไม่มีประจุโดยเกิดขึ้นจากอิทธิพลของการทำงานร่วมกันของลดแรงดึงผิว เป็นผลให้ปริมาณลดแรงดึงผิวที่ใช้ในการดูดซับ HOCs ลดลง นอกจากนี้การที่มีสารลดแรงดึงผิวประจุลบยังช่วยในการคายของ PCP (PCP desorption) จากแร่ดินเหนียวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับสารลดแรงดึงผิวที่ไม่มีประจุเมื่อทำการทดลองแบบเดี่ยว

ตารางที่ 2. 6 สรุปงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการดูดซับและกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักโดยใช้  
สารลดแรงตึงผิว

ปี	ผู้แต่ง	ตัวกลางดูดซับ	รูปแบบการทดลอง	สารลดแรงตึงผิว		สารที่นำมาผสมอื่นๆ	สารอินทรีย์/โลหะหนัก	เวลาในการเขย่า/อัตราการไหล
				สังเคราะห์	ชีวภาพ			
2000	Sandrin และคณะ	ดิน	-	-	แรมโนลิพิด	-	แนฟทาลีนแคดเมียม	-
2006	Adak และ Pal	อะลูมินัมออกไซด์	ที่ละเทและคอลลิมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง	SDS	-	-	ฟีนอล	1.5 ชั่วโมง 8.5 ml/min
	Adak และ Pal	อะลูมินัมออกไซด์	ที่ละเท	SDS	-	-	คริสตัลไวโอเล็ต	1 ชั่วโมง
	Rao และ He	ดิน	ที่ละเท	SDBS A12E9	-	-	-	12 ชั่วโมง
2007	Dahrazma และ Mulligan	ตะกอนดิน	คอลลิมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง	-	แรมโนลิพิด	NaOH	ทองแดงสังกะสีนิกเกิล	0.5 ml/min
	Fuangswas di และคณะ	ซิลิกาออกไซด์	คอลลิมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง	SDS PADD	-	-	สไตรีนเอทิลไซโคลเฮกเซน	0.36 ml/min
	Juwarakar และ คณะ	ดิน	คอลลิมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง	-	ได-แรมโนลิพิด	-	แคดเมียมเหล็ก	0.2 ml/min
	Ochoa-Loza และ คณะ	Hematite (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Kaolinite MnO <sub>2</sub> , Illite Ca-montmorillonite Gibbsite, Al(OH) <sub>3</sub> Humic acid – coated silica	ที่ละเท	-	แรมโนลิพิด	-	-	48 ชั่วโมง
2008	นวลกมล อารักษ์พงษ์	อะลูมินัมออกไซด์	ที่ละเท	SDS	สารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยาย	-	สไตรีนพีแนนทริน	48 ชั่วโมง
	Charoensang และ คณะ	อะลูมินัมออกไซด์	ที่ละเท	สารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยาย	สารลดแรงตึงผิวที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์	NaCl	สไตรีน	48 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.5 สรุปงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการดูดซับและกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักโดยใช้สารลดแรงตึงผิว (ต่อ)

ปี	ผู้แต่ง	ตัวกลางดูดซับ	รูปแบบการทดลอง	สารลดแรงตึงผิว		สารที่นำมาผสมอื่นๆ	สารอินทรีย์/โลหะหนัก	เวลาในการเขย่า/อัตราการไหล
				สังเคราะห์	ชีวภาพ			
2008 (ต่อ)	Faki และคณะ	ซีโอไลท์	คอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง	HTAB	-	-	สีย้อมสีเหลือง	Step1: 0.025 L/min Step2: 0.050 L/min
	Nguyen และคณะ	-	-	C <sub>12,13</sub> -8PO sulfate C <sub>16</sub> -10.7PO sulfate C <sub>16</sub> -18PO-2EO sulfate	แรมโนลิทิด	-	น้ำมันมวลเบา (LNAPLs)	เขย่า 1 นาที 3 วันหลังจากนั้น ปล่อยให้เข้าสู่สมดุลเป็นเวลา 2 อาทิตย์
2009	Chang และคณะ	ดิน	Ek system	Triton X-100	แรมโนลิทิด	-	พีแนนทรีน	24 ชั่วโมง
	Ozdemir และ Yapar	Na-montmorillonite	ที่ละเท	-	แรมโนลิทิด	-	ทองแดง	Step1: 24 ชั่วโมง Step2: 48 ชั่วโมง
	Wang และคณะ	ซิลิกา	ที่ละเท	AMS	-	HCl TEOS	-	3 ชั่วโมง
2010	Attaphong และคณะ	อะลูมิเนียมออกไซด์	ที่ละเท	Hitenol BC 05 Hitenol BC 10 Hitenol BC 20 (Hitenol N 08)	-	NaCl	สไตรีนเอทิลไซโครเฮกเซน	48 ชั่วโมง
	Chuang และคณะ	Calcined Un-calcined	ที่ละเท	SDS	แรมโนลิทิด	-	แนฟทาลีน	-
	Pei และคณะ	-	-	Tween-80	แรมโนลิทิด	-	พีแนนทรีน	-
	Sponza และ Gok	ตะกอนสลัดจ์	CSTR	-	แรมโนลิทิด	-	PAHs COD	Flow rate: 2 L/day HRT: 5 day SRT: 25 day
	Wan และคณะ	PAC	ที่ละเท	SDS	แรมโนลิทิด	Ethanol n-butanol Hexanol 1-octanol	เอทิลไซโครเฮกเซน	6 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.5 สรุปงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการดูดซับและกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักโดยใช้  
สารลดแรงตึงผิว (ต่อ)

ปี	ผู้แต่ง	ตัวกลางดูดซับ	รูปแบบการทดลอง	สารลดแรงตึงผิว		สารที่นำมาผสม อื่นๆ	สารอินทรีย์/ โลหะหนัก	เวลาในการ เขย่า/อัตรา การไหล
				สังเคราะห์	ชีวภาพ			
2011	An และ คณะ	ดิน	ที่ละเท	-	แรมโน ลิพิด	กรดอะซิติก กรดออกซาลิก กรดทาเทอริก กรดซิตริก	ฟีนแธทริน	24 ชั่วโมง
	Javadi และ คณะ	-	-	SDS DoTAB	-	เฮกเซน	น้ำ	-
	Lin และ คณะ	ตะกอนดิน TZW ตะกอนดิน NR ตะกอนดิน PR	ที่ละเท	-	แรมโน ลิพิด	NaCl	โคโคซาน	48 ชั่วโมง
	Sponza และ Gok	ตะกอนสลัดจ์	AASR	-	แรมโน ลิพิด อิมัลชัน เซอร์แฟค ดิน	-	PHAs	Flow rate: 2 L/day HRT: 5 day
	Yu และ คณะ	-	ที่ละเท	-	แรมโน ลิพิด	สารอินทรีย์ ละลายน้ำ	ฟีนแธทริน ไพรีน	48 ชั่วโมง
2012	Vidal และ คณะ	ซีโอไลต์	ที่ละเท	HDTMA	-	-	เบนซีน โทลูอิน ไซลีน เอทิลเบน ซีน	24 ชั่วโมง
	Xie และ คณะ	ซีโอไลต์	ที่ละเท	Hexadecyl trimethyla mmonium	-	-	สารประกอบ อินทรีย์ที่ สามารถ แตกตัวเป็น ไอออนได้ สารประกอบ อินทรีย์ที่ ไม่สามารถ แตกตัวเป็น ไอออนได้	24 ชั่วโมง
	Zhang และ คณะ	เบนโทไนท์	ที่ละเท	สารลดแรง ตึงผิวประจุ ลบ สารลดแรง ตึงผิวไม่มี ประจุ	-	Nacl	HOCs	48 ชั่วโมง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้มีแนวคิดในการนำสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโน-  
ลิพิดซึ่งมีคุณสมบัติในการกำจัดสารอินทรีย์และโลหะหนักและมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาใช้ใน  
งานวิจัย เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีประสิทธิภาพในการ  
กำจัดและมีส่วนช่วยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และโลหะหนัก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำ  
สารลดแรงตึงผิวชีวภาพดังกล่าวมาใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ โดยจะต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย  
การเพิ่มสารจำพวก สารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) จำพวก แอลกอฮอล์ลงไป เพื่อเพิ่มความ  
เป็นไฮโดรฟิลิกให้กับสารลดแรงตึงผิว โดยการเพิ่มความเป็นไฮโดรฟิลิกให้กับสารลดแรงตึงผิวจะมี  
ส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ และทำการทดลองแบบคอลัมน์แลกเปลี่ยน  
เนื่องจากการทดลองแบบคอลัมน์แลกเปลี่ยนเป็นแบบทดสอบแบบจำลองในการนำไปประยุกต์ใช้ใ  
การบำบัดสารอินทรีย์ได้จริงในระบบบำบัดน้ำเสีย

## บทที่ 3

### แผนการทดลองและวิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีแรงไดโพล – ไดโพล (dipole-dipole) แตกต่างกัน ได้แก่ สไตรีน (Styrene) และฟิแนนทรีน (Phenanthrene) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีแรงไดโพล – ไดโพลมากและน้อย ตามลำดับ โดยกระบวนการแอดโซลูบิไลเซชันด้วยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิปิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ในการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ โดยในการทดลองจะใช้ออกทานอล (Octanol) เป็นโมเลกุลลิแกนด์ เนื่องจากการเติมโมเลกุลลิแกนด์ที่มีความยาวทางของโซ่เป็นค่ากลางระหว่างคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวและคาร์บอนของสารอินทรีย์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ (Salager และคณะ, 1998) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

- 1) ค้นคว้าเอกสารและรวบรวมข้อมูล
- 2) จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
- 3) ดำเนินการทดลอง

โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้

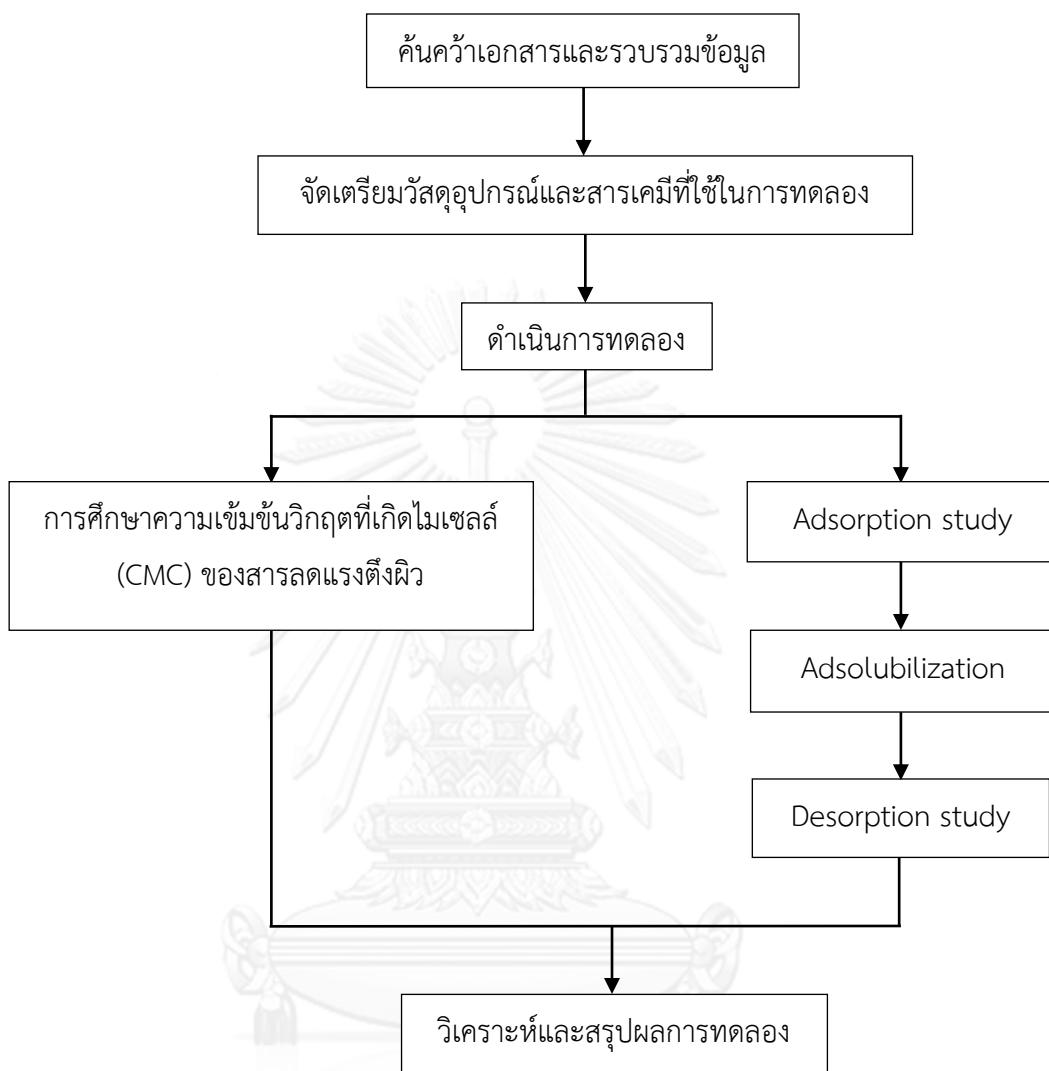
การทดลองช่วงที่ 1 การศึกษาความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิว

การทดลองช่วงที่ 2 การศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ (Adsorption study)

การทดลองช่วงที่ 3 การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Adsolubilization study)

การทดลองช่วงที่ 4 การศึกษาการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ (Desorption study)

- 4) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



ภาพที่ 3. 1แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



### ตารางที่ 3. 1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทความเข้มข้น <math>1 \times 10^{-6}</math> - <math>1 \times 10^{-2}</math> โมลาร์</li> <li>2. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ความเข้มข้น <math>1 \times 10^{-7}</math> - <math>1 \times 10^{-1}</math> โมลาร์</li> <li>3. สไตรีนความเข้มข้น <math>3 \times 10^{-3}</math> โมลาร์</li> <li>4. พีแวนทรีนความเข้มข้น <math>1 \times 10^{-5}</math> โมลาร์</li> <li>5. ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ใช้ในการทดลองแบบไหลต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ คือ 0.5 , 1.0 และ 2.0 กรัม</li> <li>6. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง เก็บตัวทุกๆ 5 นาที จนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวหรือสารอินทรีย์คงที่</li> <li>7. ปริมาณการเก็บตัวอย่างในการล้างสารลดแรงตึงผิว เก็บจนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้</li> </ol>
ตัวแปรคงที่	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ชนิดของตัวกลางในการดูดซับ คือ อะลูมิเนียมออกไซด์</li> <li>2. อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทกับโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) คือ 10:1</li> <li>3. ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ใช้ในการทดลองแบบที่ละเท คือ 0.01 กรัม</li> <li>3. พีเอช 8.0 - 8.5</li> <li>4. อิเล็กโตรไลต์ (NaCl) ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์</li> <li>5. อุณหภูมิห้อง (<math>25 \pm 2</math> องศาเซลเซียส)</li> </ol>
ตัวแปรตาม	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์</li> <li>2. ความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์</li> <li>3. การดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ <ul style="list-style-type: none"> <li>● ระยะเวลาและปริมาณที่ตัวกลางดูดซับสารลดแรงตึงผิวได้มากที่สุด</li> <li>● ระยะเวลาและปริมาณของสไตรีนและพีแวนทรีน</li> </ul> </li> <li>4. การสูญเสียสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ <ul style="list-style-type: none"> <li>● ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง</li> </ul> </li> </ol>

### 3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

#### 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) รุ่น LC 1100 ยี่ห้อ Agilent ของบริษัท Agilent Technologies

- 2) เครื่องวัดแรงตึงผิว Wilhelmy plate tensiometer with a platinum plate รุ่น DCAT 11 ยี่ห้อ DataPhysics
- 3) เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น Heios Alpha Cat no.9423 UVA 1002E ยี่ห้อ Thermo Electron Corporation
- 4) คอลัมน์ดูดซับ เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร
- 5) เครื่องสูบน้ำ (Pump) รุ่น QG20
- 6) เครื่องเขย่า (shaker)
- 7) เครื่องวัดความเป็นกรด - ด่าง (pH meter)
- 8) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)
- 9) ชุดเครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum filter)
- 10) ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)
- 11) ขวดเก็บตัวอย่างขนาด 40 มิลลิลิตร
- 12) ปีกเกอร์ (beaker)
- 13) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
- 14) ปิเปต (pipette)
- 15) ไมโครปิเปต (micro pipette)
- 16) แผ่นใยแก้ว
- 17) ลูกแก้ว (glass beads)
- 18) กระจาดกรอง PTFE 0.45 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร
- 19) PTFE syringe filter 0.45 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร
- 20) สายยาง
- 21) เครื่องเก็บตัวอย่างอัตโนมัติ (Fraction collector) รุ่น Frac-920 ยี่ห้อ Amersham Biosciences

### 3.2.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

#### 1) สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลองเป็นสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโน-ลิพิด (Rhamnolipid) หรือ JBR 515 ของบริษัท JENEIL BIOSURFACTANT CO., LLC เป็นสารลดแรงตึงผิวประจุลบที่มีส่วนผสมระหว่างโมโนแรมโนลิพิด (R1) และไดแรมโนลิพิด (R2) ในอัตราส่วน 50:50 โดยมวลต่อปริมาตร ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3. 2 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิปิด (JBR 515)

JBR 515	ชื่อทางเคมี	สูตรโมเลกุล	มวลโมเลกุล
R1	1-(carboxymethyl)octyl 3-[(6-deoxy-alpha-L-mannopyranosyl)oxy]decanoate	$C_{26}H_{48}O_9$	504
R2	Decanoic acid, 3-[[6-deoxy-2-O-(6-deoxy-alpha-L-mannopyranosyl)-alpha-L-mannopyranosyl]oxy]-, 1-(carboxymethyl)octyl ester	$C_{32}H_{58}O_{13}$	650
			577

### 2) สารโมเลกุลลิ้งเกอร์

สารโมเลกุลลิ้งเกอร์ที่ใช้ในการทดลอง คือ ออกทานอล (1-Octanal) ของบริษัท EMPLURA ซึ่งแสดงคุณสมบัติของสารอินทรีย์แต่ละชนิด ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3. 3 คุณสมบัติของออกทานอล\*

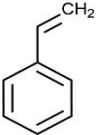
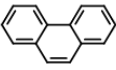
สารโมเลกุลลิ้งเกอร์	สูตร	โครงสร้างโมเลกุล	มวลโมเลกุล	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )
ออกทานอล (1-Octanal)	$C_8H_{18}O$		130.23	0.824

\*ที่มา: <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.932.html>

### 3) สารอินทรีย์ (Organic Solutes)

สารอินทรีย์ 2 ชนิด ที่ใช้ในการทดลองเป็นสารที่มีแรงไดโพล – ไดโพล (dipole-dipole) แตกต่างกัน โดยสารอินทรีย์ที่มีแรงไดโพล – ไดโพลมาก คือ สไตรีน ของบริษัท Fluka chemical และสารอินทรีย์ที่มีแรงไดโพล – ไดโพลน้อย คือ ฟีนนทรีนของบริษัท Aldrich chemical company ซึ่งแสดงคุณสมบัติของสารอินทรีย์แต่ละชนิด ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3. 4 คุณสมบัติของสไตรีนและฟีนแอนทรีน (นวลกมล, 2551)

สารอินทรีย์	สูตรโมเลกุล	โครงสร้างโมเลกุล	มวลโมเลกุล	ความสามารถในการละลายน้ำ (mg/L)	Dipole moment
สไตรีน (Styrene)	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>		104.15	312	0.13
ฟีนแอนทรีน (Phenanthrene)	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>		178.23	1.6	0.00

#### 4) ตัวกลางดูดซับ (Absorbent)

อะลูมินัมออกไซด์ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ของบริษัท Aldrich chemical company ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3. 5 คุณสมบัติของอะลูมินัมออกไซด์ (Sun and Jaffe, 1996)

ตัวกลางดูดซับ	สูตร	PZC *	ขนาดอนุภาค (meshes)	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m <sup>2</sup> /g)
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.1	150	3.97	155

\*PZC = point of zero charge

- 5) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
- 6) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl)
- 7) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl)
- 8) โซเดียมไนเตรท (Sodium nitrate, NaNO<sub>3</sub>)
- 9) เมทานอล (Methanol)
- 10) อะซิโตนไนไตรล์ (Acetonitrile, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>N)

### 3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยจะทำการทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส) โดยใช้ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ (NaOH) เท่ากับ 1.0 มิลลิโมลาร์ และปรับพีเอชของสารละลายเท่ากับ 8.0 - 8.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

### 3.3.1 การศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว

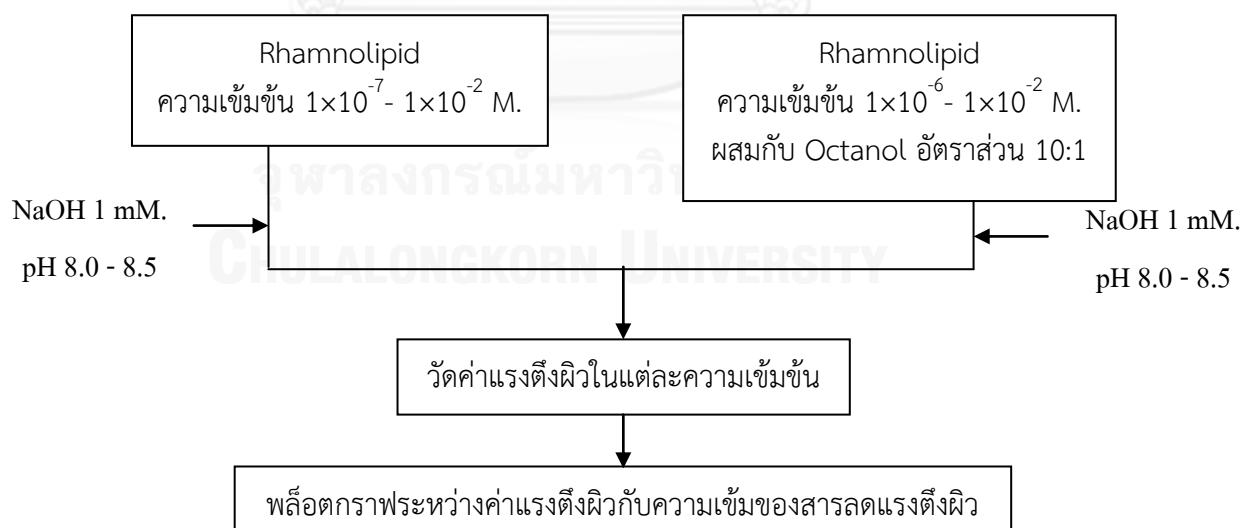
การศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว เป็นการศึกษาหาค่าความเข้มข้นในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวเพื่อให้ทราบถึงจุดที่มีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดที่ทำให้ค่าแรงตึงผิวต่ำที่สุด โดยในการทดลองจะทำให้ทราบถึงความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่จะนำไปใช้ในการทดลองถัดไป โดยมีวิธีการทดลองสรุปได้ดังภาพที่ 3.2 และรายละเอียดวิธีการทดลองดังนี้

1) เตรียมสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่มีความเข้มข้น  $1 \times 10^{-7}$   $1 \times 10^{-6}$   $1 \times 10^{-5}$   $5 \times 10^{-5}$   $7 \times 10^{-5}$   $9 \times 10^{-5}$   $1 \times 10^{-4}$   $2 \times 10^{-4}$   $3 \times 10^{-4}$   $5 \times 10^{-4}$   $7 \times 10^{-4}$   $1 \times 10^{-3}$   $1 \times 10^{-2}$  โมลาร์ โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอชของสารละลาย 8.0 - 8.5

2) นำสารลดแรงตึงผิวในแต่ละความเข้มข้นไปวัดค่าแรงตึงผิวด้วยเครื่องวัดแรงตึงผิว Wilhelmy plate tensiometer with a platinum plate

3) วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวโดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าแรงตึงผิวกับค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว

4) ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1) - 3) โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดความเข้มข้น  $1 \times 10^{-6}$   $1 \times 10^{-5}$   $5 \times 10^{-5}$   $7 \times 10^{-5}$   $9 \times 10^{-5}$   $1 \times 10^{-4}$   $2 \times 10^{-4}$   $3 \times 10^{-4}$   $5 \times 10^{-4}$   $7 \times 10^{-4}$   $1 \times 10^{-3}$   $1 \times 10^{-2}$  โมลาร์ผสมกับโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 โดยปริมาตร



ภาพที่ 3. 2 แผนผังการทดลองการหาค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ 3. 6 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว

ตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	1. ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด $1 \times 10^{-6}$ - $1 \times 10^{-2}$ โมลาร์ 2. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่มีการผสมกับโมเลกุลลิแกนด์ความเข้มข้น $1 \times 10^{-6}$ - $1 \times 10^{-2}$ โมลาร์
ตัวแปรคงที่	1. อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดกับโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) 10:1 2. พีเอช 8.0 - 8.5 3. อิเล็กโตรไลต์ (NaOH) ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ 4. อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$ องศาเซลเซียส)
ตัวแปรตาม	1. ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์

3.3.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ (Adsorption study)

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกลางดูดซับในการดูดซับสารอินทรีย์ โดยสารลดแรงตึงผิวจะมีการเรียงตัวบนตัวกลางดูดซับในรูปแบบต่างๆ ขึ้นกับชนิดของสารลดแรงตึงผิวและตัวกลางดูดซับ โดยมีวิธีการทดลองสรุปได้ดังภาพที่ 3.3 และรายละเอียดการทดลองดังนี้

1) เตรียมสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดความเข้มข้น  $4 \times 10^{-4}$  -  $7 \times 10^{-4}$  -  $8 \times 10^{-4}$  -  $2 \times 10^{-3}$  -  $3 \times 10^{-3}$  -  $4 \times 10^{-3}$  -  $5 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดไวเอิล (Vial) โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอชของสารละลาย 8.0 - 8.5 แล้วเติมอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 0.01 กรัม

2) นำสารละลายไปเขย่าที่อุณหภูมิห้องด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยหลังจากเขย่าเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำการวัดและปรับพีเอชของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 8.0 - 8.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และ/หรือกรดไฮโดรคลอริก แล้วจึงนำสารละลายไปเขย่าอีกครั้งจนครบ 48 ชั่วโมง

3) นำสารละลายไปหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกตัวกลางดูดซับออกจากสารละลาย

4) นำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

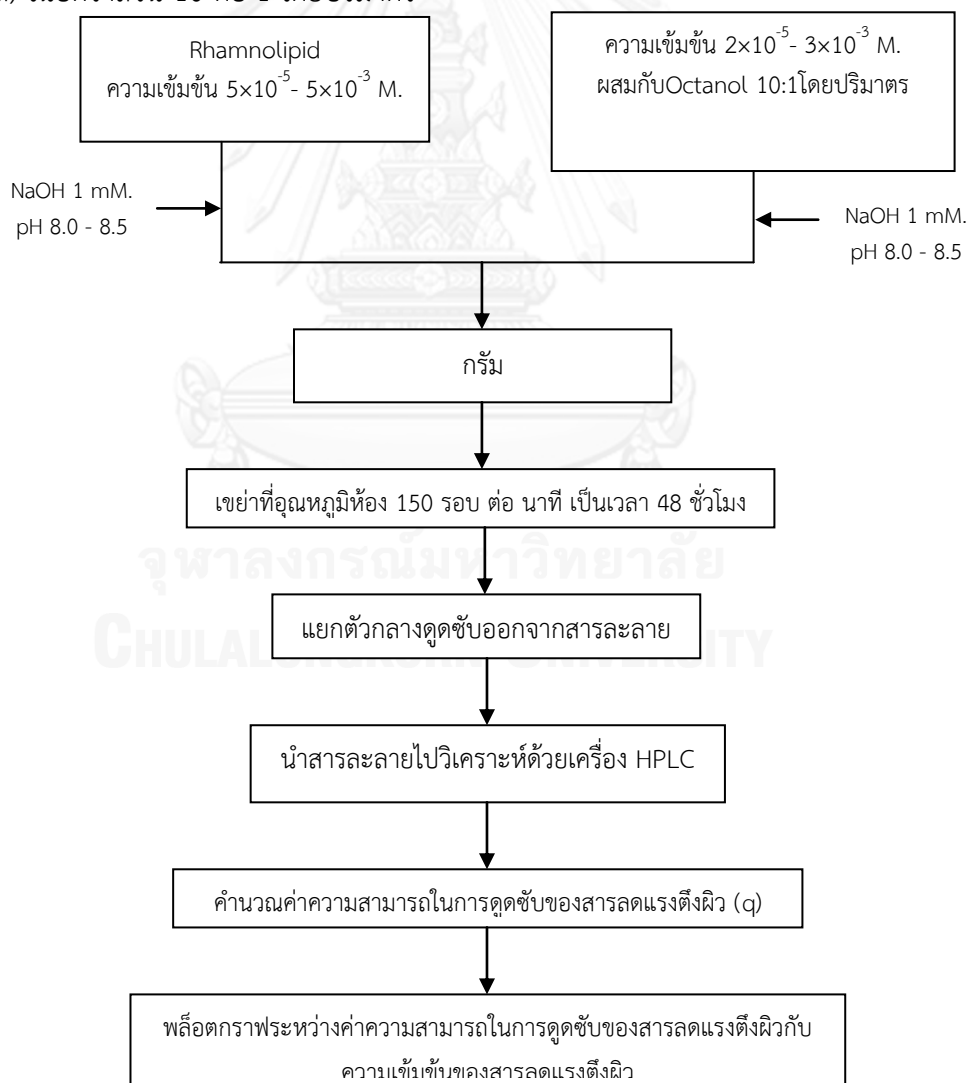
5) นำผลที่ได้มาคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ จากสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$q = \frac{(C_i - C_f)V}{W_g} \quad (2.1)$$

6) ทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว ( $q$ ) กับค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว

7) หาค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) จากกราฟ

8) ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1) – 7) โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดความเข้มข้น  $2 \times 10^{-5}$   $7 \times 10^{-5}$   $1 \times 10^{-4}$   $2 \times 10^{-4}$   $3 \times 10^{-4}$   $4 \times 10^{-4}$   $6 \times 10^{-4}$  โมลาร์ผสมกับโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 โดยปริมาตร



ภาพที่ 3. 3 แผนผังการทดลองการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์

ตารางที่ 3. 7 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์

ตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	1. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทความเข้มข้น $5 \times 10^{-5}$ - $5 \times 10^{-3}$ โมลาร์ 2. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่มีการผสมกับโมเลกุลลิแกนด์ความเข้มข้น $2 \times 10^{-5}$ - $3 \times 10^{-3}$ โมลาร์
ตัวแปรคงที่	1. อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทกับโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) 10:1 2. ชนิดของตัวกลางในการดูดซับ คือ อะลูมิเนียมออกไซด์ 3. ปริมาณตัวกลางในการดูดซับ 0.01 กรัม 4. พีเอช 8.0 - 8.5 5. อิเล็กโทรไลต์ (NaCl) ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ 6. อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$ องศาเซลเซียส)
ตัวแปรตาม	1. ความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์

### 3.3.3 การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Adsorbilization study)

การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันกับตัวกลางที่มีการปรับพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวที่มีโมเลกุลลิแกนด์ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง แบ่งเป็นการเตรียมและการทดลองได้ 2 การทดลอง ดังนี้

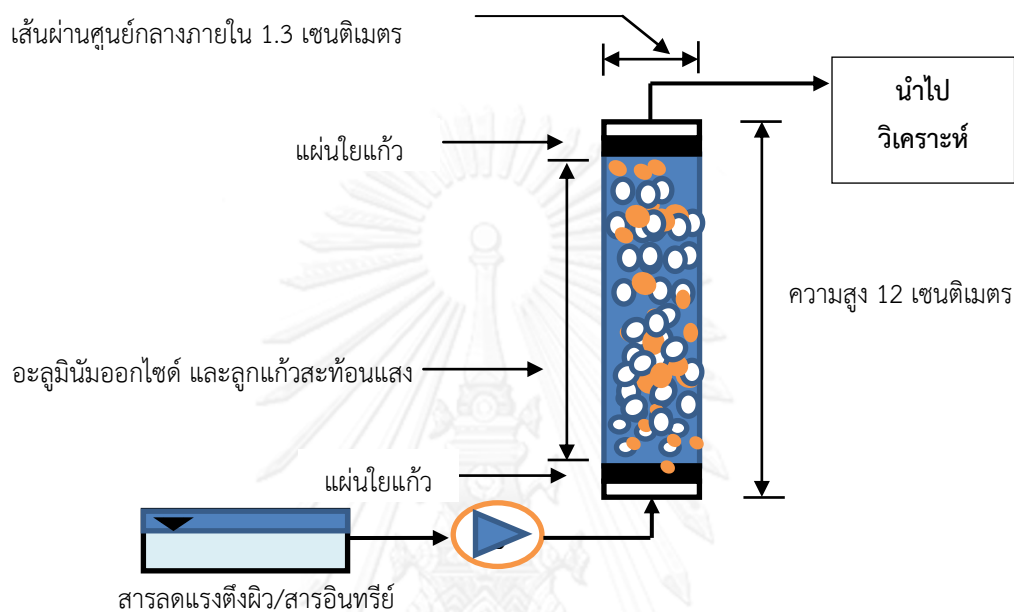
1) การดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

#### 1.1) การเตรียมคอลัมน์ดูดซับและการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

นำคอลัมน์ดูดซับ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.3 เซนติเมตร ความสูง 12 เซนติเมตร บรรจุตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์น้ำหนัก 0.01 กรัม และลูกแก้วสะท้อนแสง (Glass beads) 10 กรัม ผสมกัน โดยลูกแก้วสะท้อนแสง จะทำหน้าที่ช่วยในการเพิ่มความพรุนให้กับตัวกลาง ปลายคอลัมน์ทั้งสองด้านมีแผ่นใยแก้วปิดอยู่ ทำหน้าที่กั้นตัวกลางไม่ให้หลุดออกมากับกระแส น้ำ สารลดแรงตึงผิวและสารอินทรีย์จะไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน โดยมีเครื่องสูบน้ำ (Pump) สำหรับเพิ่มความดัน ดังภาพที่ 3.4 และก่อนการทดลองจะทำการทดสอบการไหลภายในคอลัมน์ด้วยสารละลายโซเดียมไนเตรท ( $\text{NaNO}_3$ ) ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ โดยมีอัตราการไหล 2.7 - 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที



ตามลำดับ นำสารละลายโซเดียมไนเตรท ( $\text{NaNO}_3$ ) ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ความยาวคลื่น 220 นาโนเมตร (Cffet, 2008) แล้วนำมาพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไนเตรท ( $\text{NaNO}_3$ ) และปริมาตรของคอลัมน์ดูดซับ



ภาพที่ 3. 4 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองแบบต่อเนื่องในคอลัมน์ดูดซับ

1.2) การดูดซับสารลดแรงตึงผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

มีวิธีการทดลองสรุป ดังภาพที่ 3.5 และรายละเอียดการทดลองดังนี้

1.2.1) เตรียมสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่มีความเข้มข้นมากกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) 2 เท่า จากผลที่ได้จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอชสารละลาย 8.0 - 8.5

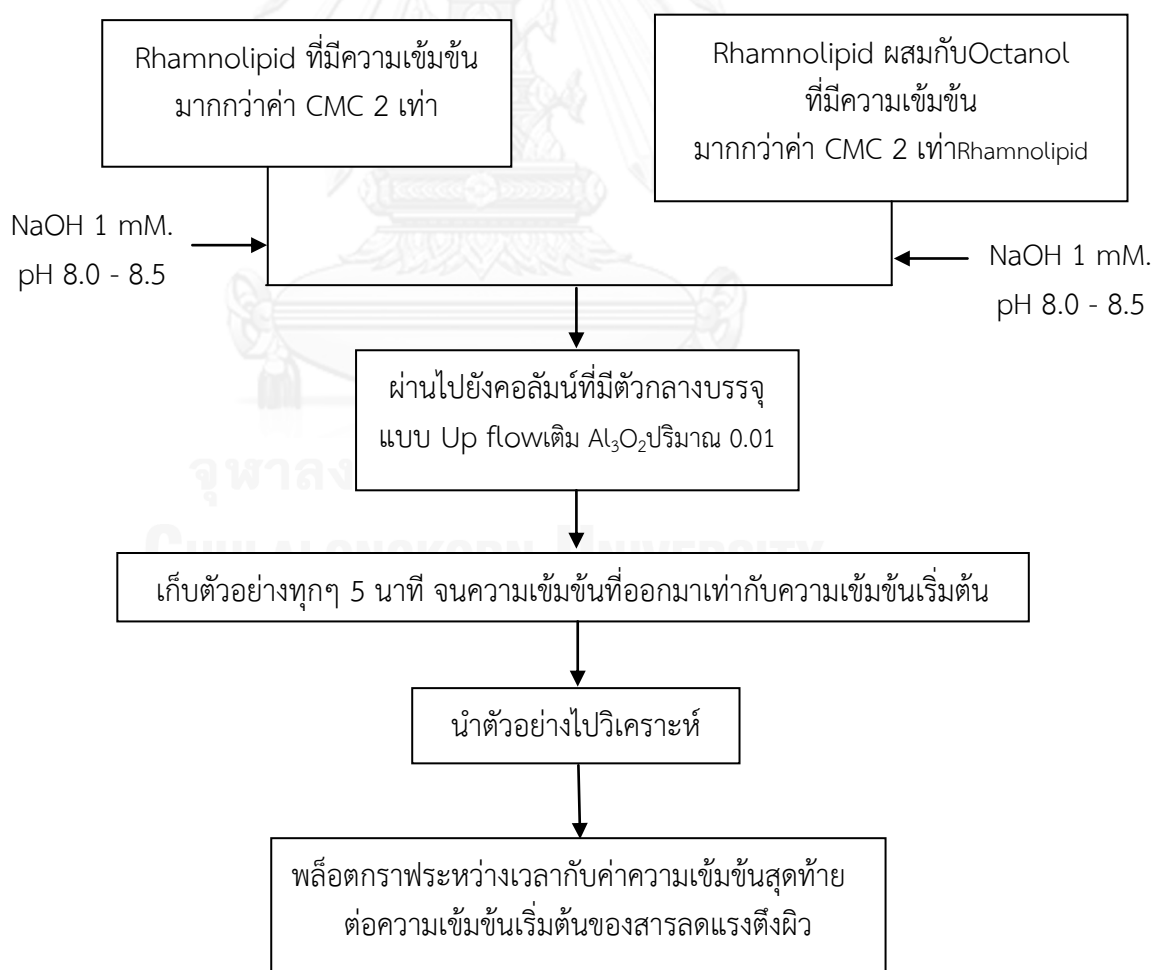
1.2.2) ผ่านสารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดไปยังคอลัมน์ดูดซับที่มีตัวกลางบรรจุปริมาณแตกต่างกัน คือ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ ด้วยวิธีการไหลย้อน (Up flow) โดยมีอัตราการไหล 2.7 - 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที

1.2.3) ทำการเก็บตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวที่ผ่านคอลัมน์ดูดซับ  
ทุกๆ 5 นาที จนค่าความเข้มข้นออกของสารลดแรงตึงผิวจะเท่ากับค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของสารลดแรง  
ตึงผิว

1.2.4) นำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวด้วยเครื่อง  
โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

1.2.5) ทำการพล็อตกราฟระหว่างเวลากับค่าความเข้มข้นสุดท้าย  
ต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารลดแรงตึงผิว (Breakthrough curve)

1.2.6) ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1.2.1) – 1.2.5) โดยใช้สารลดแรง  
ตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดผสมกับออกทานอล อัตราส่วน 10:1 โดยปริมาตร ที่มีค่าความเข้มข้นวิกฤต  
ในการเกิดไมเซลล์ (CMC) 2 เท่า จากผลที่ได้จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรง  
ตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมินาออกไซด์



ภาพที่ 3. 5 แผนผังการทดลองการดูดซับสารลดแรงตึงบนพื้นผิวอะลูมินาออกไซด์ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 3. 8 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

ตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	1. ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม 2. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง เก็บทุกๆ 5 นาที จนกว่าความเข้มข้นที่ออกมาเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้น
ตัวแปรคงที่	1. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทความเข้มข้น 5 เท่าของค่า CMC จากการทดลองที่ 3.2.2 2. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่มีการผสมกับโมเลกุลลิแกนด์ความเข้มข้น 2 เท่าของค่า CMC จากการทดลองที่ 3.2.2 3. ชนิดของตัวกลางในการดูดซับ คือ อะลูมิเนียมออกไซด์ 4. อัตราการไหล 2.7 – 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที 5. พีเอช 8.0 - 8.5 6. อิเล็กโทรไลต์ (NaCl) ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ 7. อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$ องศาเซลเซียส)
ตัวแปรตาม	1. ระยะเวลาและปริมาณที่ตัวกลางดูดซับสารลดแรงตึงผิวได้มากที่สุด

2) การดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

มีวิธีการทดลองสรุป ดังภาพที่ 3.6 และรายละเอียดการทดลอง ดังนี้

2.1) เตรียมสารละลายสไตรีนความเข้มข้น  $3 \times 10^{-3}$  โมลาร์ และสารละลายพีแวนนความเข้มข้น  $1 \times 10^{-5}$  โมลาร์ โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์

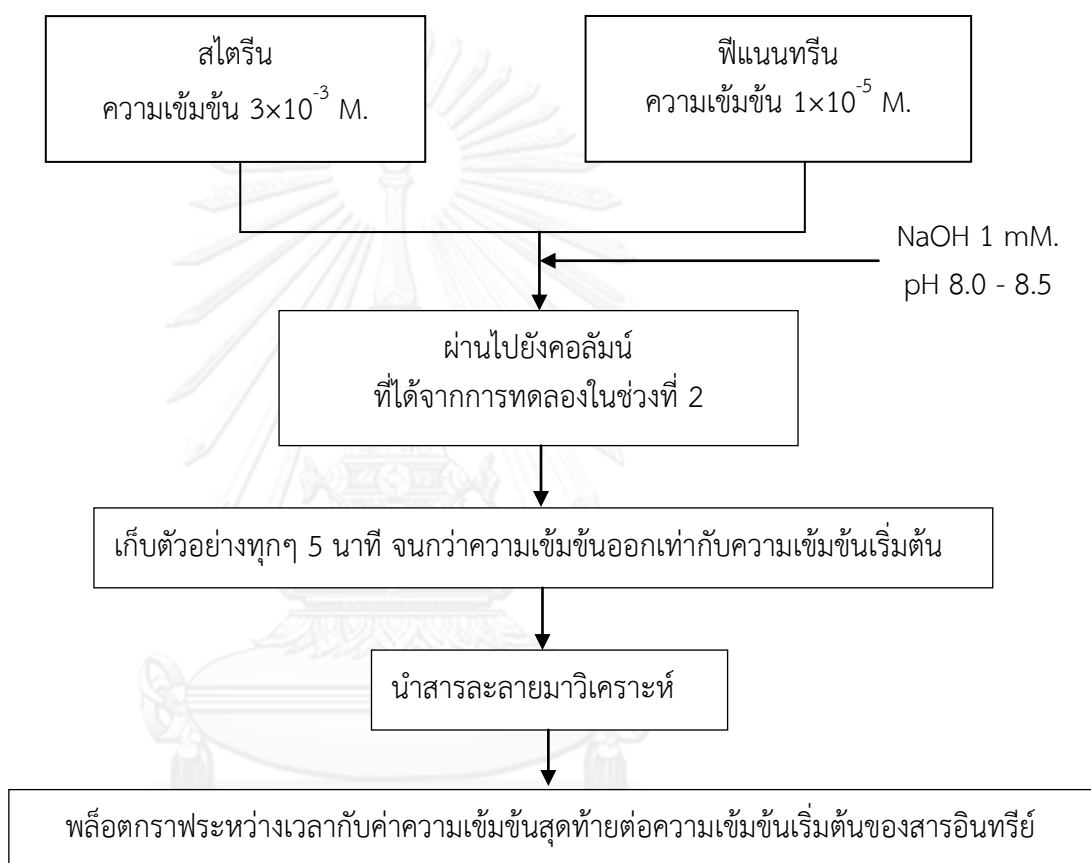
2.2) ผ่านสารละลายไปยังคอลัมน์ที่ได้จากการเตรียมจากการทดลองช่วงที่ 2 โดยมีตัวกลางบรรจุปริมาณแตกต่างกัน คือ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ ด้วยวิธีการไหลย้อน (Up flow) โดยมีอัตราการไหล 2.7 – 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที

2.3) ทำการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ผ่านคอลัมน์ดูดซับทุกๆ 5 นาที จนกว่าความเข้มข้นออกของสารลดแรงตึงผิวจะเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารลดแรงตึงผิว

2.4) นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 275 และ 250 ตามลำดับ

2.5) ทำการพล็อตกราฟระหว่างเวลากับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ (Breakthrough curve)

2.6) ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 2.1) – 2.5) โดยใช้โดยใช้คอลัมน์ที่สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดผสมกับออกทานอล อัตราส่วน 10 : 1 โดยปริมาตร ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 2



ภาพที่ 3. 6 แผนผังการทดลองการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 3. 9 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

ตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สไตรีนความเข้มข้น <math>3 \times 10^{-3}</math> โมลาร์</li> <li>2. พีแวนทรีนความเข้มข้น <math>1 \times 10^{-5}</math> โมลาร์</li> <li>3. ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ 0.5 , 1.0 และ 2.0 กรัม</li> <li>4. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง เก็บตัวทุกๆ 5 นาที จนกว่าความเข้มข้นที่ออกมาเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้น</li> <li>5. คอลัมน์ดูดซับที่ได้จากการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง</li> </ol>
ตัวแปรคงที่	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์จากการทดลองที่ 4.2.2</li> <li>2. สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่มีการผสมกับโมเลกุลสังเกอ์บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์จากการทดลองที่ 4.2.2</li> <li>3. ชนิดของตัวกลางในการดูดซับ คือ อะลูมิเนียมออกไซด์</li> <li>4. อัตราการไหล 2.7 - 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที</li> <li>5. พีเอช 8.0 - 8.5</li> <li>6. อิเล็กโตรไลต์ (NaCl) ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์</li> <li>7. อุณหภูมิห้อง (<math>25 \pm 2</math> องศาเซลเซียส)</li> </ol>
ตัวแปรตาม	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ระยะเวลาและปริมาณของสไตรีนและพีแวนทรีน</li> </ol>

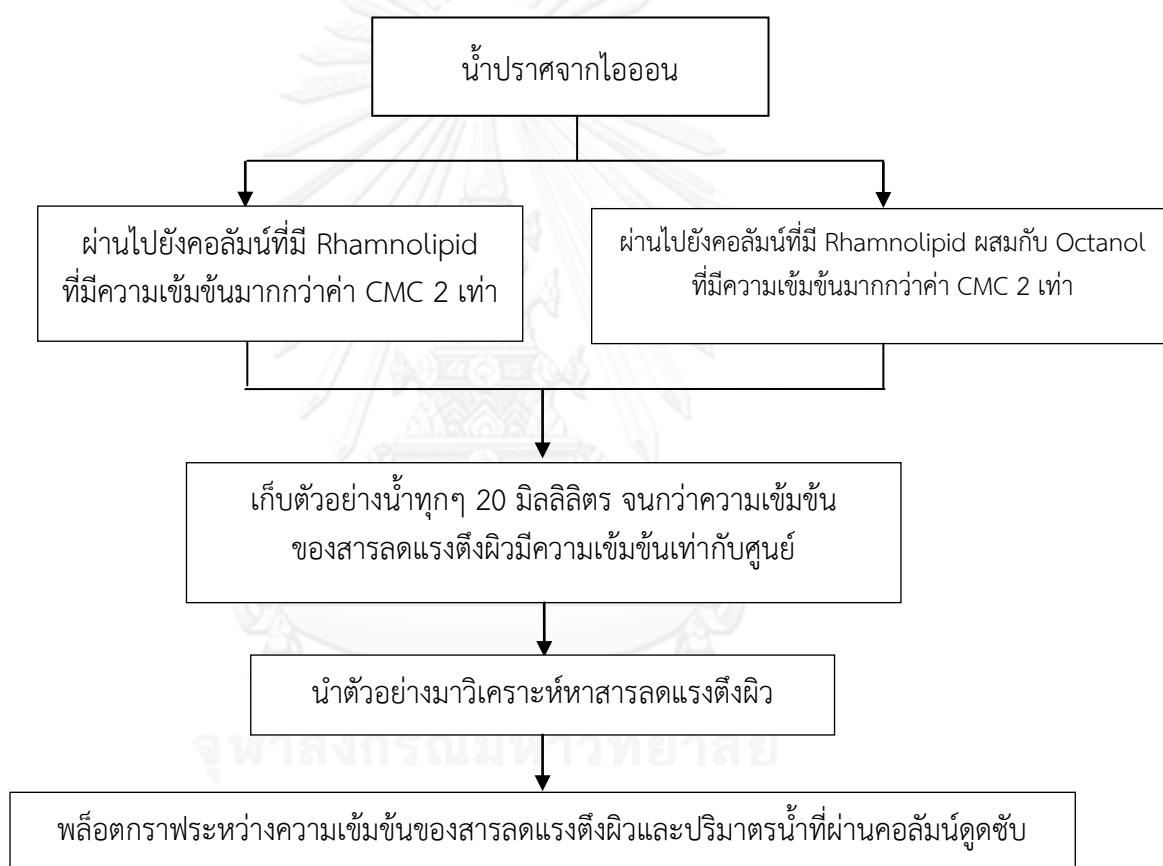
### 3.3.4 การศึกษาการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลาง (Desorption study)

การศึกษาการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลาง เป็นการศึกษาการชะละลายออกของสารลดแรงตึงผิวและสารอินทรีย์ เพื่อให้ทราบว่าสารลดแรงตึงผิวเกิดการดูดซับบนตัวกลางดูดซับในรูปแอดไมเซลล์และมีการดูดซับสารอินทรีย์เข้าไปไว้ภายใน โดยมีวิธีการทดลองสรุปดังภาพที่ 3.7 และรายละเอียดการทดลอง ดังนี้

1) นำน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) ผ่านไปยังคอลัมน์ดูดซับที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่มีความเข้มข้นมากกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) 2 เท่า จากผลที่ได้จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอชสารละลาย 8.0 - 8.5 โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยปริมาณของตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ที่อัตราการไหล 2.7 - 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที ด้วยวิธีการไหลย้อน (Up flow) ทำการเก็บน้ำที่ผ่านคอลัมน์ทุก 20 มิลลิลิตร จนกว่าค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นเท่ากับศูนย์ โดย

ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) และทำการพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ดูดซับ

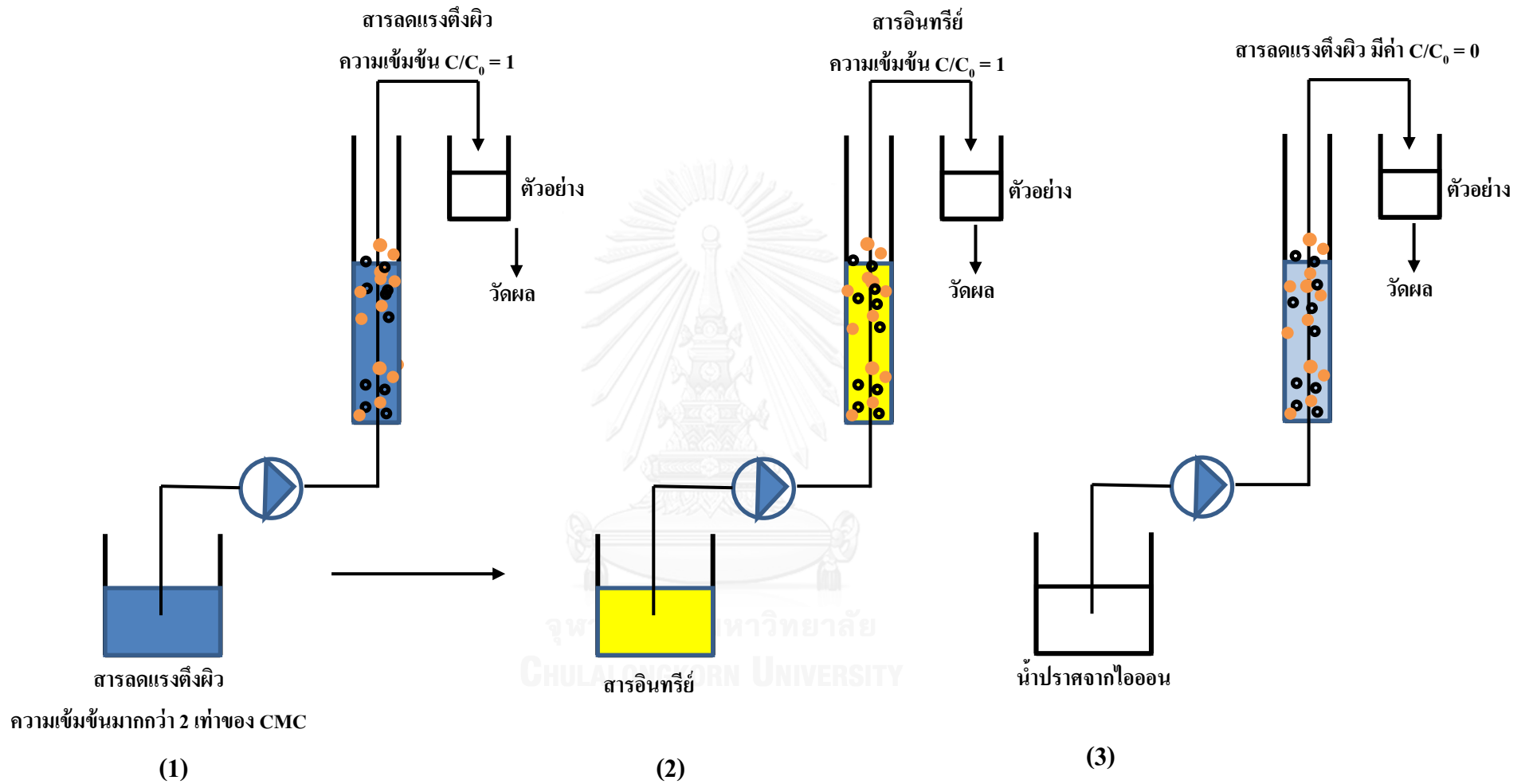
2) ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1) โดยใช้โดยใช้โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ แรมโนลิพิดผสมกับออกทานอล อัตราส่วน 10:1 โดยปริมาตร มีความเข้มข้นมากกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) 2 เท่า จากผลที่ได้จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์



ภาพที่ 3. 7 แผนผังการทดลองการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลาง

ตารางที่ 3. 10 แสดงตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

ตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ปริมาณตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม</li> <li>2. จำนวนรอบในการล้างสารลดแรงตึงผิว คือ ทุกๆ 20 มิลลิลิตร จนกว่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์มีความเข้มข้นเท่ากับศูนย์</li> <li>3. คอลัมน์ดูดซับที่ได้จากการทดลองการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง</li> </ol>
ตัวแปรคงที่	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ชนิดของตัวกลางในการดูดซับ คือ อะลูมิเนียมออกไซด์</li> <li>2. อัตราการไหล 2.7 – 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที</li> <li>3. อุณหภูมิห้อง (<math>25 \pm 2</math> องศาเซลเซียส)</li> </ol>
ตัวแปรตาม	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. จำนวนรอบในการล้าง</li> </ol>



ภาพที่ 3. 8 แผนภาพ (1) การทดลองการดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ (2) การดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์และ (3) การสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลาง



### 3.4 วิธีวิเคราะห์ผลการวิจัย

#### 3.4.1 การวิเคราะห์แรมโนลิพิท (Dionex, 2009)

ทำการวิเคราะห์แรมโนลิพิทด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) โดยใช้อะซิโตรไนโตรลและน้ำปราศจากไอออน (55:45) เป็นเฟสเคลื่อนที่ ใช้คอลัมน์  $C_{18}$  เป็นเฟสคงที่ อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณสารตัวอย่าง 100 ไมโครลิตร และใช้ตัวตรวจวัด Evaporative Light Scattering Detector (ELSD) โดยสามารถวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือ  $10^{-5}$  โมลาร์

#### 3.4.2 การวิเคราะห์สไตรีน

ทำการวิเคราะห์สไตรีนด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ความยาวคลื่น 275 นาโนเมตร โดยสามารถวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือ  $10^{-3}$  โมลาร์

#### 3.4.3 การวิเคราะห์ฟิแนนทริน

ทำการวิเคราะห์ฟิแนนทรินด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร โดยสามารถวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำสุด คือ  $5 \times 10^{-8}$  โมลาร์

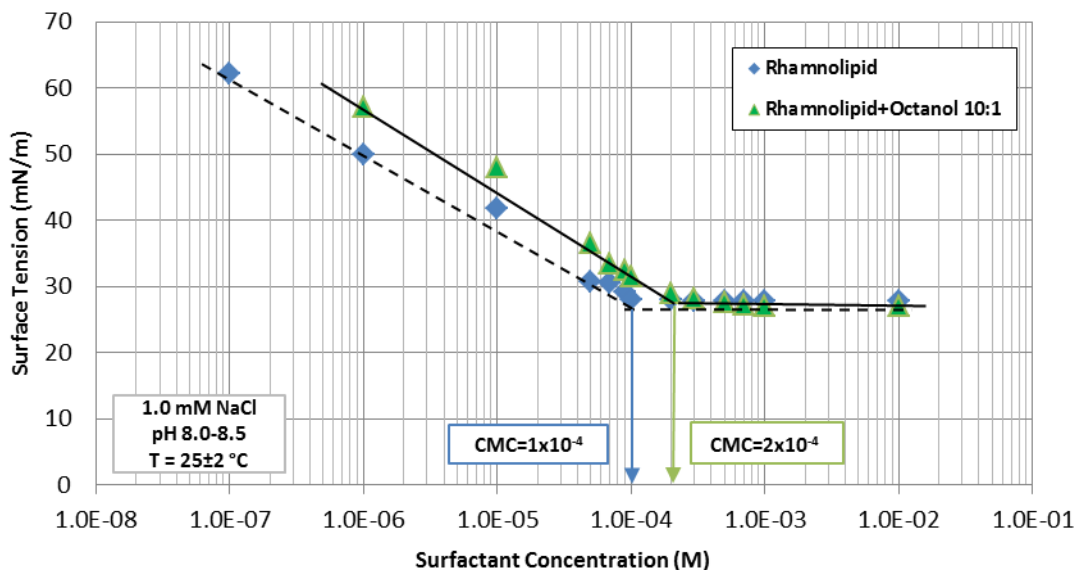
## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือการทดลองที่ 1 ศึกษาหาความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์(CMC) ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) การทดลองที่ 2 ศึกษาและเปรียบเทียบการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ (Adsorption study) การทดลองที่ 3 ศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสารอินทรีย์ 2 ชนิดที่มีแรงไดโพล-ไดโพล แตกต่างกัน คือ สไตรีนและพีแนนทรีน ด้วยการทดลองแบบต่อเนื่อง (Adsolubilization study) และการทดลองที่ 4 ศึกษาการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ (Desorption study)

#### 4.1 ผลการศึกษาหาความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์(CMC) ของสารลดแรงตึงผิว

ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) สามารถวิเคราะห์โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าแรงตึงผิวกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความชันของเส้นกราฟจะมีค่าเท่ากับค่าความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิว และกำหนดค่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส) แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4. 1 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4. 1 ค่า HLB, ค่า CMC ที่ได้จากค่าแรงตึงผิว, ค่าแรงตึงผิวต่ำสุด และพื้นที่ผิวต่อโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจากค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์

สารลดแรงตึงผิว	HLB*	CMC ที่ได้จาก ค่าแรงตึงผิว (mM)	ค่าแรงตึงผิวต่ำสุด		$\Gamma$ (mmol/1000m <sup>2</sup> )**	Effective area per molecule (Å <sup>2</sup> /molecule)***
			mN/m	SD		
สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ - แรมโนลิพิด - แรมโนลิพิด/ออกทานอล	22.00 24.00	0.1	28.02	0.09	0.99	167.8
	20.46 22.28	0.2	28.24	0.53	1.19	139.8
สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ - SDS (นวลกมล, 2551)	40.00	4.0	37.5	1.90	1.15	145

\* HLB - สัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน โดยคิดเป็นอัตราส่วน โดยน้ำหนัก (%w/w) ของมวลโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophile-lipophile balance) คำนวณได้จากภาคผนวก ก.

\*\*Surface excess concentration

\*\*\* คำนวณได้จากภาคผนวก ก).

ผลจากการศึกษาค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) สามารถนำมาสรุปได้ดัง ตารางที่ 4.1 พบว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีค่าอยู่ที่ 0.1 และ 0.2 มิลลิโมลาร์ และมี

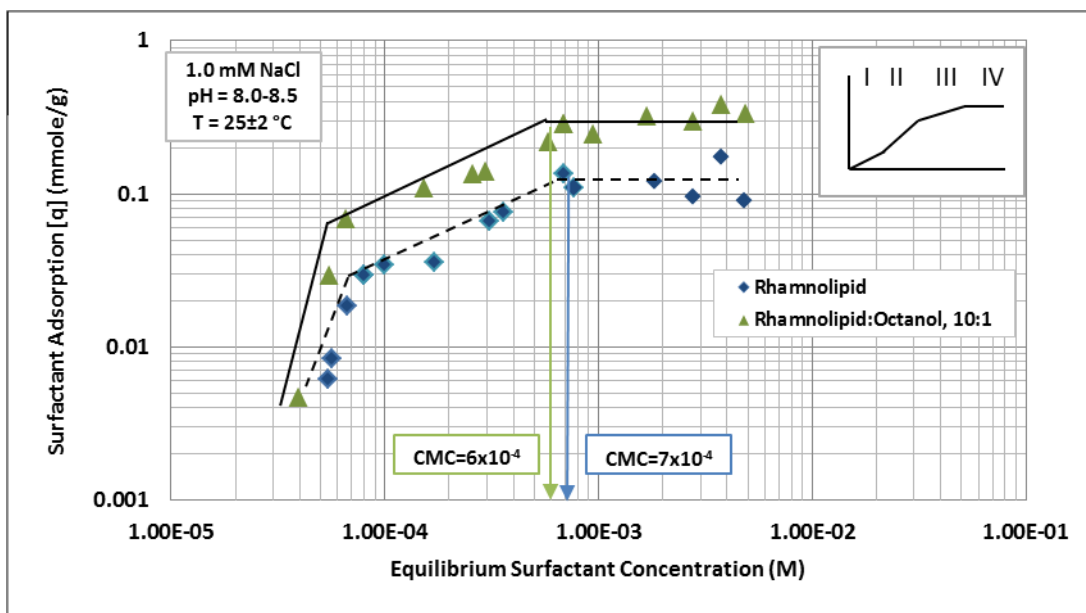
ค่าแรงตึงผิวต่ำสุดอยู่ที่ 28.02 และ 28.24 มิลลินิวตัน ต่อ เมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีค่าความเข้มข้นวิกฤต (CMC) ต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดให้ค่าแรงตึงผิวต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) แต่เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวที่ไปเกาะยังบริเวณพื้นผิวระหว่างเฟสน้ำกับอากาศ (Surface excess concentration;  $\Gamma$ ) พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีค่าความเข้มข้นของการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวที่ไปเกาะบริเวณพื้นผิวระหว่างเฟสน้ำกับอากาศอยู่ 0.99 มิลลิโมลต่อตารางเมตร มีค่าน้อยกว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 1.19 มิลลิโมลต่อตารางเมตร และเมื่อนำมาคำนวณเป็นค่าพื้นที่ผิวต่อจำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวพบว่า พื้นที่ผิวต่อจำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีค่า 139.8 อังสตรอม<sup>2</sup> ต่อโมเลกุล ซึ่งน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิดที่มีค่าอยู่ที่ 167.8 อังสตรอม<sup>2</sup> ต่อโมเลกุล หากพื้นที่ผิวต่อโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมีค่าน้อย แสดงว่าสารลดแรงตึงผิวนั้นมีโมเลกุลไปเกาะระหว่างพื้นผิวของเฟสน้ำกับอากาศมาก จากผลการทดลองดังกล่าว ทำให้ทราบได้ว่าการเพิ่มโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ให้กับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ความเป็นไฮโดรฟิลิกสูง (Nguyen และคณะ, 2007) จะช่วยเพิ่มความเป็นไฮโดรโฟบิกให้กับโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว โดยดูได้จากค่าสัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน โดยคิดเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนัก (%w/w) ของมวลโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophile - lipophile balance, HLB) มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมโมเลกุลลิแกนด์ลงไป (รายละเอียดการคำนวณค่า HLB อยู่ในภาคผนวก ก.) และช่วยในด้านการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวแต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการลดแรงตึงผิวในเฟสของน้ำกับอากาศ หากพื้นที่ผิวต่อโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมีค่าน้อย แสดงว่าสารลดแรงตึงผิวนั้นมีโมเลกุลไปเกาะระหว่างพื้นผิวของเฟสน้ำกับอากาศมาก

เมื่อทำการเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดในงานวิจัยนี้กับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) จากวิจัยของนวลกมล (2551) ซึ่งสารลดแรง-ตึงผิวทั้งสองชนิดนี้เป็นประจุลบเช่นเดียวกัน ดังตารางที่ 4.1 พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) และให้ประสิทธิภาพดีกว่าในการลดแรงตึงผิวในระบบเฟสน้ำกับอากาศ สามารถอธิบายได้จากค่าความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์ (CMC) จะเห็นได้ว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีค่าความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ SDS อยู่ 40 และ 20 เท่า ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS)

และเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดึงผิวต่ำสุดที่สารลดแรงดึงผิวสามารถลดแรงดึงผิวในระบบเฟสน้ำกับอากาศ พบว่า สารลดแรงดึงผิวภาพแรมโนลิพิททั้งสองชนิดสามารถลดแรงดึงผิวได้ต่ำกว่าสารลดแรงดึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) เช่นเดียวกัน แต่ค่าการดูดซับระหว่างโมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวกับเฟสน้ำกับอากาศ พบว่า ค่าพื้นที่ต่อโมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวจากค่าแรงดึงผิวของสารลดแรงดึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) สามารถดูดซับพื้นที่ผิวได้มากกว่าสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิท แต่ยังมีน้อยกว่าสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ด้วยเหตุผลที่ว่าสารลดแรงดึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) สามารถดูดซับพื้นที่ผิวตัวกลางได้มากกว่าสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทเพราะโมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) มีขนาดโครงสร้างที่เล็กกว่าสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิท ส่งผลให้การจัดเรียงตัวของสารลดแรงดึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) ใช้พื้นที่ดูดซับต่อโมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวน้อย แต่การจัดเรียงตัวของสารลดแรงดึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) อาจมีการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบในแนวตั้งหรือแนวนอนจึงทำให้สารลดแรงดึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) ต้องใช้พื้นที่ในการดูดซับมากขึ้น ส่งผลทำให้สารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่มีการจัดเรียงตัวที่ดีกว่ามีค่าพื้นที่ต่อโมเลกุลของสารลดแรงดึงผิวในการดูดซับพื้นที่ผิวในเฟสน้ำกับอากาศได้ดีที่สุด

#### 4.2 การดูดซับของสารลดแรงดึงผิวบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ (Adsorption study)

ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงดึงผิวบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกลางดูดซับในการดูดซับสารอินทรีย์ สามารถวิเคราะห์ผลได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงดึงผิว ( $q$ ) กับค่าความเข้มข้นของสารลดแรงดึงผิว โดยจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความชันของเส้นกราฟจะมีค่าเท่ากับความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงดึงผิว และกำหนดค่าความเข้มข้นของสารละลายยิลเล็กโตรไลต์ในการทดลองที่ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 และอุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส) จากภาพที่ 4.2 จะแสดงกราฟที่ได้จากการพล็อตค่าระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงดึงผิว ( $q$ ) กับค่าความเข้มข้นของสารลดแรงดึงผิว พบว่าผลการทดลองให้เส้นกราฟในลักษณะเช่นเดียวกับไอโซเทอมการดูดซับของสารลดแรงดึงผิวบนพื้นผิวโลหะออกไซด์ ดังภาพที่ 2.6 แต่กราฟที่ทำการทดลองจะแสดงให้เห็นได้เพียงขอบเขตที่ 2 3 และ 4 เท่านั้น ส่วนขอบเขตที่ 1 จะไม่ปรากฏ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการตรวจวัดของเครื่องมือส่งผลทำให้ไม่สามารถแสดงผลของขอบเขตดังกล่าวได้



ภาพที่ 4. 2 การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลึงเกอร์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25\pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4. 2 ความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC), ค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว ( $q_{max}$ ) และพื้นที่ผิวต่อโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพและสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ จากไอโซเทอมการดูดซับ

สารลดแรงตึงผิว	CMC (mM)	Maximum adsorption ( $q_{max}$ )		Molecule per area (molecule/nm <sup>2</sup> )	Area per molecule from adsorption isotherm (Å <sup>2</sup> /molecule)
		mmole/g	SD		
สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ					
- แรมโนลิพิด	0.7	0.12	0.03	0.470	212.8
- แรมโนลิพิด/ออกทานอล	0.6	0.30	0.06	1.158	86.3
สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์					
- SDS (นวลกมล, 2551)	1.5	0.17	0.02	0.66	151.0
- SDS/Dodecanol (Charoensaeng และคณะ, 2008)	3.0	0.54	0.11	2.10	-

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับ ( $q_{max}$ ) สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผสมโมเลกุลลึงเกอร์ (ออกทานอล) พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีค่าความเข้มข้นที่ทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลหรือจุดความเข้มข้นวิกฤตที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC) สูงกว่าสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลึงเกอร์ (ออกทานอล) เพียงเล็กน้อย ซึ่งมีค่าต่างกันเพียง 0.1 มิลลิโมลาร์ โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีค่า

ความสามารถในการดูดซับบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ซึ่งมีค่า 0.12 และ 0.30 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Charoensaeng และคณะ (2008) ที่นำโมเลกุลลิแกนด์ (โตนิกานอล) มาเติมลงในสารลดแรงตึงผิวโซเดียมโคเดคซิลซัลเฟต (SDS) ส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.38 เป็น 0.54 มิลลิโมลต่อกรัม เช่นเดียวกัน

สำหรับเหตุผลอ้างอิงที่ทำให้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวได้มากกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทถึง 2.50 เท่า โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทนั้นมีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ กล่าวคือ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทมีการจัดเรียงตัวกันในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวของอะลูมิเนียมออกไซด์ แต่ก็มีโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทบางส่วนที่อาจไม่ตั้งฉากแต่อาจจะขนานไปกับพื้นและอาจมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเกิดขึ้น สำหรับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) จะมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิท เนื่องจากโมเลกุลลิแกนด์ที่เติมจะไปแทรกอยู่บริเวณช่องว่างระหว่างสารลดแรงตึงผิวเป็นผลทำให้การเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวมีการจัดเรียงตัวกันในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวของอะลูมิเนียมออกไซด์และมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวชิดกันมากขึ้น (Minana-Perez และคณะ, 1995) ส่งผลให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวดูดซับพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ได้มากขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่าจำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวต่อพื้นที่ผิวของอะลูมิเนียมออกไซด์ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีค่ามากกว่า 2.46 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิท ซึ่งผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Graciaa และคณะ(1993) ที่พบว่าการเติมสารโมเลกุลลิแกนด์ที่มีจำนวนคาร์บอนที่เหมาะสมให้กับสารลดแรงตึงผิว จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับภายในระบบนั้นได้นอกจากนี้ยังมีเหตุผลในแง่ของความเป็นไฮโดรโฟบิกของสารลดแรงตึงผิว โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีส่วนที่ไม่ชอบน้ำมากกว่าส่วนที่ชอบน้ำ ส่งผลทำให้สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้จะละลายน้ำได้น้อยและดูดซับอยู่บนพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ได้ดี

จากนั้นนำงานวิจัยนี้ซึ่งใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของนวลกมล (2551) ซึ่งใช้สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ พบว่า ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิท สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) และสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโคเดคซิลซัลเฟต (SDS) มีค่า 0.7 0.6 และ 1.5 มิลลิโมลาร์ โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิททั้งสองชนิดที่ทำการทดลองมีค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโคเดคซิลซัลเฟต (SDS) อยู่

ประมาณ 2.5 เท่า และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีความสามารถในการดูดซับบนตัวกลางสูงกว่าสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) อยู่ 1.76 เท่า โดยจะเห็นได้จากตารางที่ 4.2 จากค่าพื้นที่ผิวต่อโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ที่มีจำนวนโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวต่อพื้นที่ผิวของอะลูมิเนียมออกไซด์ มีค่า 86.3 อังสตรอม<sup>2</sup> ต่อตารางนาโนเมตร ซึ่งน้อยกว่าค่าพื้นที่ผิวต่อโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) มีค่า 151.0 อังสตรอม<sup>2</sup> ต่อตารางนาโนเมตร ส่งผลทำให้มีความสามารถในการดูดซับได้มากที่สุด ผลการทดลองดังกล่าวมีผลมาจากแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างหัวของสารลดแรงตึงผิว โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีส่วนหัวหรือส่วนที่มีขั้วเป็นหมู่คาร์บอกซิเลตซึ่งมีแรงผลักทางไฟฟ้าต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) ซึ่งส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวเป็นหมู่ซัลเฟต (Golub และคณะ, 2004)

ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับการศึกษาหาความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิว พบว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์ (CMC) ของการทดลองการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ให้ความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์ (CMC) ที่สูงกว่าการทดลองหาความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิว เนื่องมาจากการทดลองการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนตัวกลางมีตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ให้สารลดแรงตึงผิวเข้าไปยึดเกาะจึงต้องใช้ความเข้มข้นมากขึ้นเพื่อให้เกิดอิมิตัวทั้งชั้นที่สัมผัสอากาศและบริเวณพื้นผิวของตัวกลาง แต่การทดลองหาความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิวนั้น การดูดซับของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดขึ้นระหว่างเฟสน้ำกับอากาศ สารลดแรงตึงผิวจึงเข้าไปตรงช่วงบริเวณชั้นที่สัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศเท่านั้น จึงทำให้มีค่าความเข้มข้นวิกฤตที่เกิดไมเซลล์ (CMC) ต่ำ

#### 4.3 การดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Adsorbilization study)

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ 2 ชนิดคือ สไตรีนและพีแนนทรีนที่มีแรงไดโพล - ไดโพล แตกต่างกันบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีการปรับพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. ศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ภายในคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่องเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับ การดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์แบบทีละเท 2. ศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิว



ชีวภาพแรมโนลิพิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสารอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ภายในคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง เพื่อนำประสิทธิภาพการแอดโซลูบิไลเซชันของสารอินทรีย์มาเปรียบเทียบกัน โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่แตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัมตามลำดับ

#### 4.3.1 ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกลางดูดซับโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง ด้วยวิธีการไหลย้อน (Upflow) ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 – 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่แตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัมตามลำดับ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความจุรพูน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารลดแรงตึงผิว ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) และค่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) ของสารลดแรงตึงผิวในหน่วย โมเลกุลต่อพื้นที่ผิว คำนวณได้จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอะลูมินัมออกไซด์ ที่มีค่า 155 ตารางเมตรต่อกรัม

##### 4.3.1.1 ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ 2 ชนิดคือ สไตรีนและพี-แนนทรีนที่มีแรงไดโพล – ไดโพลแตกต่างกันบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่มีการปรับพื้นผิวด้วยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. ศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ภายในคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่องเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับ การดูดซับสารลดแรงตึงผิวบนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์แบบที่ละเท 2. ศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสารอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ภายในคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง เพื่อนำประสิทธิภาพการแอดโซลูบิไลเซชันของสารอินทรีย์มาเปรียบเทียบกัน โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่แตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ

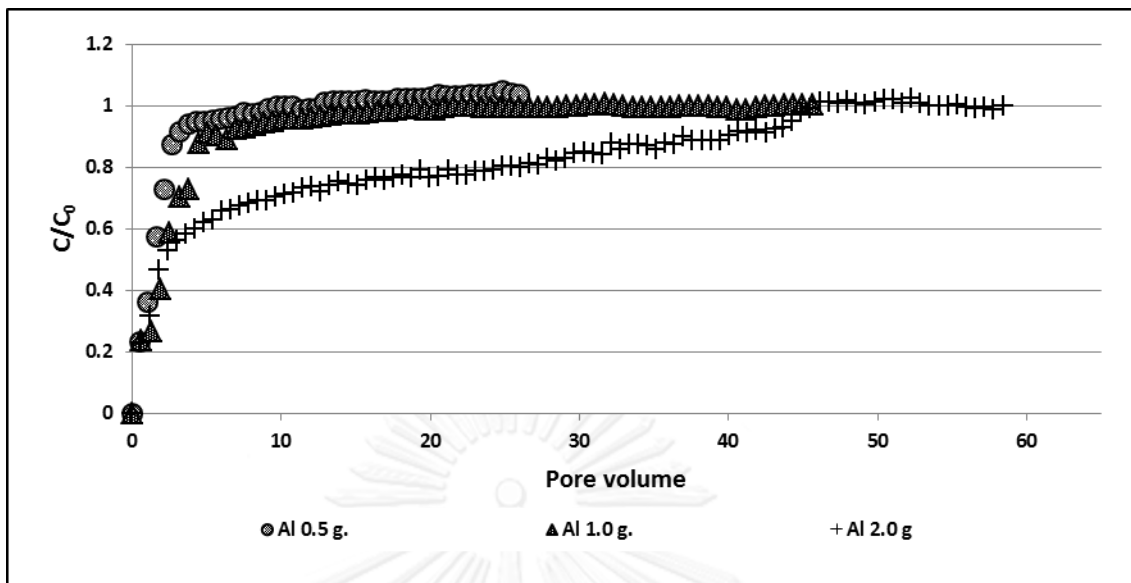
#### 4.3.1 ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสไตรีน โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสไตรีน โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกลางดูดซับโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง 2) การศึกษาความสามารถในการดูดซับสไตรีน (Styrene) ในคอลัมน์ดูดซับที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ โดยการทดลองจะทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่แตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ

##### 4.3.1.1 ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสไตรีน โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

1) ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกลางดูดซับโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง ด้วยวิธีการไหลย้อน (Up flow) ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 – 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่แตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความจุรพูน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารลดแรงตึงผิว ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) และค่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) ของสารลดแรงตึงผิวในหน่วย โมเลกุลต่อพื้นที่ผิว คำนวณได้จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอะลูมินัมออกไซด์ ที่มีค่า 155 ตารางเมตรต่อกรัม โดยในการทดลองภายในคอลัมน์แบบต่อเนื่องนี้ เลือกใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ความเข้มข้น 1.4 มิลลิโมล ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นที่มากกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ได้จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ (Adsorption Study) แบบทีละเท ถึง 2 เท้า เพราะเป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปที่จะทำให้เกิดการแอดไมเซลล์ได้อย่างสมบูรณ์บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์



ภาพที่ 4. 3 การดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยวิธีการไหลต่อเนื่องโดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4. 3 ค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน ในการทดลองไหลต่อเนื่อง ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 - 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที โดยมีปริมาณตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ต่างๆ

ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ (กรัม)	ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว			
	mmole	mmole/g	molecule/nm <sup>2</sup>	C/C <sub>0</sub> / Pore volume
0.5	0.20	0.40	1.553	7.85
1.0	0.21	0.21	0.816	8.47
2.0	0.73	0.36	1.398	22.52

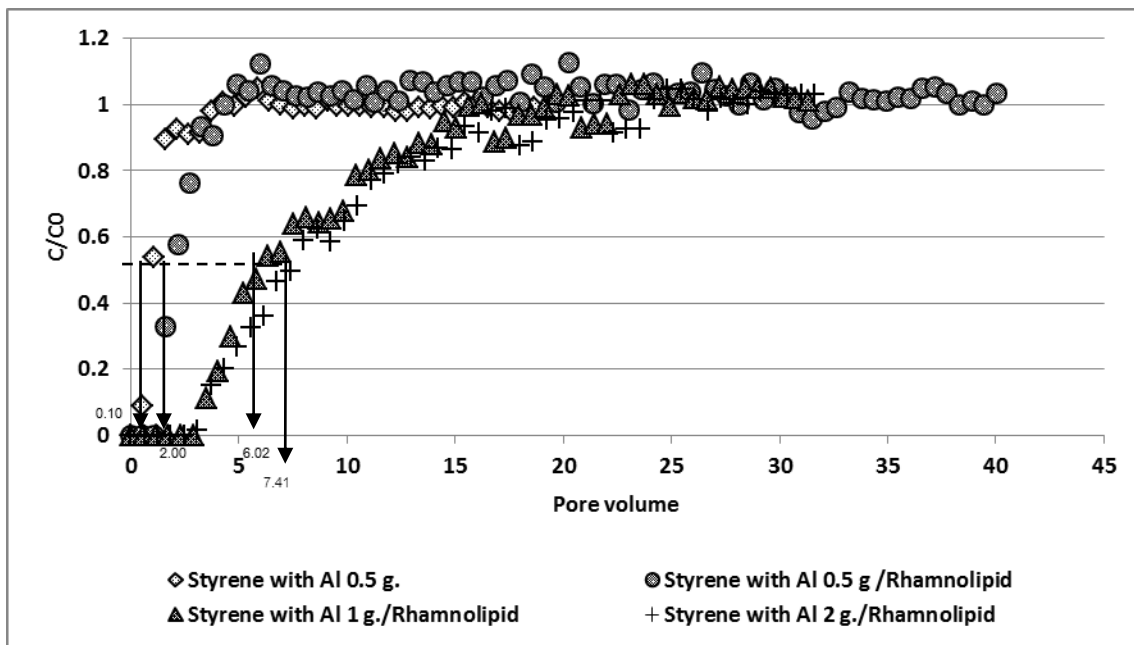
จากภาพที่ 4.3 พบว่า การดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีปริมาณแตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 - 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์เพิ่มขึ้น คือ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ในคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ระยะเวลาในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดใช้ระยะเวลาในการดูดซับบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์เพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาคิดเป็นค่าความสามารถทั้งหมดในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิด (Total adsorption) บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีนที่มีปริมาณ

0.5 1.0 และ 2.0 กรัม พบว่า มีค่า 0.20 0.21 และ 0.73 มิลลิโมล ตามลำดับ ซึ่งค่าความสามารถในการดูดซับที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับในหน่วยของความเข้มข้นต่อกรัมของตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม พบว่ามีค่าความสามารถในการดูดซับ 0.40 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 1.553 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร 0.21 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 0.816 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร และ 0.73 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 0.36 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งจากค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์เพิ่มขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์วิธีการทดลองแบบต่อเนื่องและแบบทีละเทพบว่า ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์วิธีการทดลองแบบต่อเนื่องมีค่าความสามารถในการดูดซับมากกว่าประมาณ 3.33 เท่าของค่าความสามารถในการดูดซับแบบทีละเท

2) การแอดโซลูบิไรเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ (Styrene adsolubilization)

ผลการแอดโซลูบิไรเซชันของสไตรีน ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด โดยกำหนดค่าความเข้มข้นของ สไตรีนอยู่ที่  $3 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ซึ่งเป็นค่าการละลายสูงสุดที่สไตรีนสามารถละลายน้ำได้ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความจุรุกรุน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสไตรีน ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) และค่าการแอดโซลูบิไรเซชันของสไตรีน ในหน่วย โมเลกุลต่อพื้นที่ผิวคำนวณได้จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่มีค่า 155 ตารางเมตร ต่อ กรัม แสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4. 4 การแอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ และอุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4. 4 การแอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณต่างๆ

ปริมาณอะลูมินัมออกไซด์ (กรัม)	แอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีน			
	mmole	mmole/g	molecule/nm <sup>2</sup>	C/C <sub>0</sub> / Pore volume
0.5	0.17	0.34	1.332	2.163
1.0	0.60	0.60	2.174	7.539
2.0	0.60	0.30	1.169	8.535

การแอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด พบว่า ค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันบนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าอยู่ที่ 0.17 0.60 และ 0.60 มิลลิโมล และเมื่อคำนวณในหน่วยความเข้มข้นต่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ พบว่ามีค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันสไตรีนอยู่ที่ 0.34 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 1.332 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร 0.60 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 2.174 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร และ 0.30 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 1.169 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสไตรีนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 67.21 89.01 และ 98.57 ตามลำดับ ซึ่งจากผลของค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีนที่ได้ในตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าความจุของการแอดโซลูบิไลเซชันใกล้เคียงกัน แต่เมื่อดูจากจำนวนกรัมจะเห็น

ได้ว่า ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 1.0 กรัม มีค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันได้สูงสุด โดยตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 0.5 และ 1.0 กรัมมีค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันได้ใกล้เคียงกัน

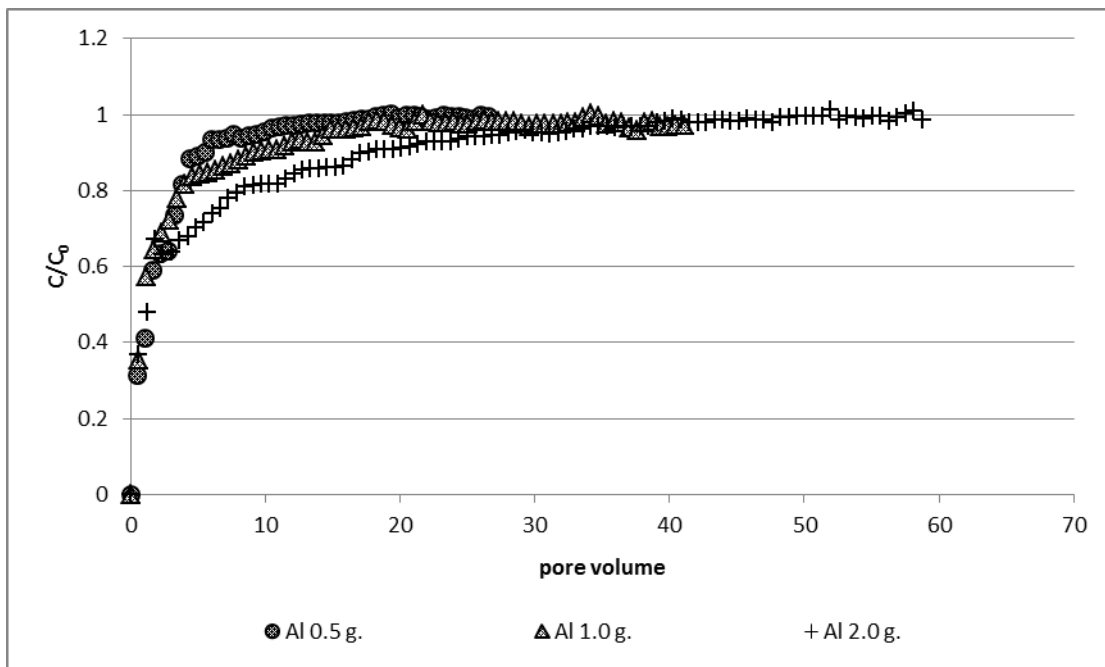
จากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่า ค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันของตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแล้วเข้าสู่สมดุลหรือ เบรคทู (Breakthrough curve) และจากอัตราการเคลื่อนที่ของสาร (Retardation factor,  $R_f$ ) พบว่า อัตราการเคลื่อนที่ของสไตรีนที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทบนพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ มีค่าสูงกว่าตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวเกาะอยู่ นั้นแสดงว่ามีการแอดโซลูปีไลเซชันเกิดขึ้นในระบบจริง (สิตา, 2547) โดยตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าอัตราการเคลื่อนที่ของสาร อยู่ที่ 2.00 6.02 และ 7.41 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ 2.0 กรัม มีอัตราในเคลื่อนที่ของสไตรีนเข้าสู่แอดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวได้มากที่สุด แต่เมื่อเทียบกับปริมาณอะลูมินัมออกไซด์ 1.0 กรัม พบว่า มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในการแอดโซลูปีไลเซชันสไตรีน

#### 4.3.1.2 ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับสไตรีน โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

1) ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์บนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกลางดูดซับโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง ด้วยวิธีการไหลย้อน (Up flow) ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 – 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที และทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่แตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความจุรูพรุน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารลดแรงตึงผิว ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) และค่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) ของสารลดแรงตึงผิวในหน่วย โมเลกุลต่อพื้นที่ผิว คำนวณได้จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอะลูมินัมออกไซด์ ที่มีค่า 155 ตารางเมตรต่อกรัม โดยในการทดลองภายในคอลัมน์แบบต่อเนื่องนี้ เลือกใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ความเข้มข้น 1.2 มิลลิโมล ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นที่มากกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ที่ได้จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลด

แรงดึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ (Adsorption Study) แบบที่ละเท 2 เท่า เพราะเป็นความเข้มข้นที่มากเกินพอที่จะทำให้เกิดการแอดไมเซลส์ได้อย่างสมบูรณ์บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์



ภาพที่ 4. 5 การดูดซับสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยวิธีการไหลต่อเนื่องโดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4. 5 ค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน ในการทดลองไหลต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ต่างๆ

ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ (กรัม)	ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงดึงผิว			
	mmole	mmole/g	molecule/nm <sup>2</sup>	C/C <sub>0</sub> / Pore volume
0.5	0.26	0.52	2.020	8.83
1.0	0.37	0.37	1.437	16.70
2.0	0.57	0.28	0.181	28.20

จากภาพที่ 4.5 พบว่า การดูดซับสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีปริมาณแตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 - 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์เพิ่มขึ้น คือ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ในคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง ปริมาณอะลูมิเนียม-

ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ระยะเวลาในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ใช้ระยะเวลาในการดูดซับบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาคิดเป็นค่าความสามารถทั้งหมดในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) (Total adsorption) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีนที่มีปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม พบว่า มีค่า 0.26 0.37 และ 0.57 มิลลิโมล ตามลำดับ ซึ่งค่าความสามารถในการดูดซับทั้งหมดของสารลดแรงตึงผิวที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวในหน่วยของความเข้มข้นต่อกรัมของตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม พบว่ามีค่าความสามารถในการดูดซับ 0.52 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 2.020 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร 0.37 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 1.437 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร และ 0.28 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 0.181 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งจากค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีค่าลดลงเมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน

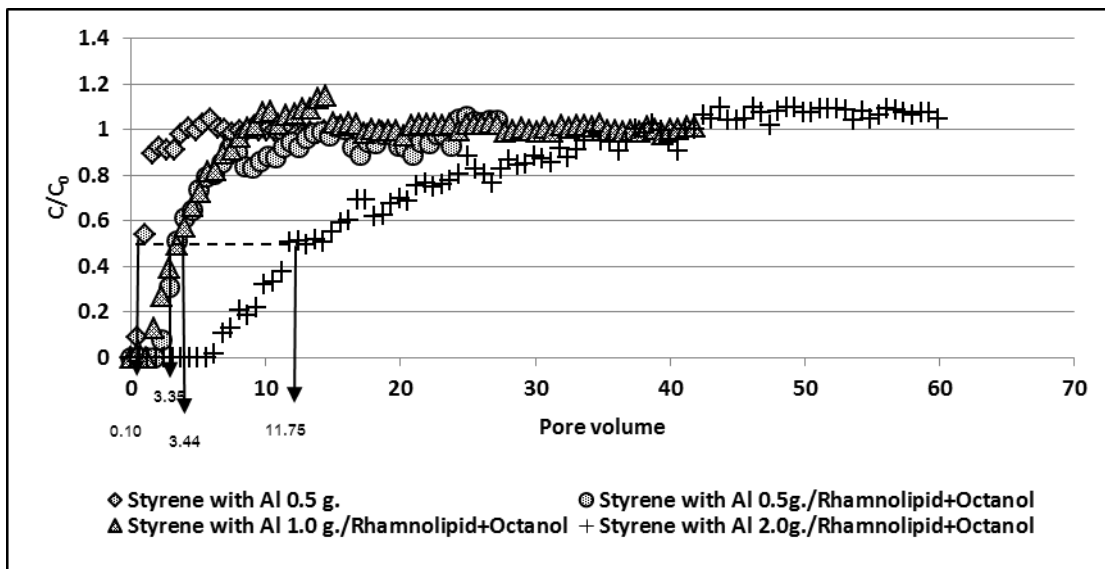
เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์โดยวิธีการทดลองแบบต่อเนื่องและแบบทีละเท พบว่า ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์วิธีการทดลองแบบต่อเนื่องมีค่าความสามารถในการดูดซับมากกว่าประมาณ 1.73 เท่าของค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) แบบทีละเท

2) การแอดโซลูบิไรเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ (Styrene adsolubilization)

ผลการแอดโซลูบิไรเซชันของสไตรีนของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) โดยกำหนดค่าความเข้มข้นของสไตรีนอยู่ที่  $3 \times 10^{-3}$  โมลาร์ ซึ่งเป็นค่าการละลายน้ำสูงสุดที่สไตรีนสามารถละลายน้ำได้ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความจุรุกรุน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสไตรีน ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) และค่าการแอดโซลูบิไรเซชันของสไตรีน



ในหน่วย โมเลกุลต่อพื้นที่ผิว คำนวณได้จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอะลูมินัมออกไซด์ ที่มีค่า 155 ตารางเมตรต่อกรัม แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4. 6 การแอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิเกอร์ (ออกทานอล) บนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ และอุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4. 6 การแอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิเกอร์ (ออกทานอล) บนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณต่างๆ

ปริมาณอะลูมินัมออกไซด์ (กรัม)	แอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีน			C/C <sub>0</sub> / Pore volume
	mmole	mmole/g	molecule/nm <sup>2</sup>	
0.5	0.31	0.62	2.429	3.871
1.0	0.34	0.34	1.320	4.583
2.0	1.15	0.58	2.239	16.455

การแอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิเกอร์ (ออกทานอล) พบว่า ค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันบนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าอยู่ที่ 0.31 0.34 และ 1.15 มิลลิโมล และเมื่อคำนวณในหน่วยความเข้มข้นต่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ พบว่า มีค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันสไตรีนอยู่ที่ 0.62 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 2.429 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร 0.34 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 1.320 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร และ 0.58 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 2.239

โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสไตรีนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 92.33 86.89 และ 98.28 ตามลำดับ ซึ่งจากผลของค่าความจุในการแอตโซลูบีไลเซชันของสไตรีนที่ได้ในตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม เมื่ออยู่ในหน่วยมิลลิโมล มีค่าความจุของการแอตโซลูบีไลเซชันสูงสุด รองลงมาคือ ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 1.0 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความจุของการแอตโซลูบีไลเซชันใกล้เคียงกัน แต่เมื่อดูจากจำนวนกรัมต่อการดูดซับสไตรีนจะเห็นได้ว่า ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 0.5 กรัม มีค่าความจุในการแอตโซลูบีไลเซชันสไตรีนได้สูงสุด โดยเหตุผลที่ทำให้ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม สามารถแอตโซลูบีไลเซชันได้สูงสุดมาจากค่าความสามารถการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) สูงสุด ส่งผลให้เกิดการแอตโซลูบีไลเซชันสไตรีนได้มากที่สุด

จากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่า ค่าความจุในการแอตโซลูบีไลเซชันของตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแล้วเข้าสู่สมดุหรือ เบรคทู (Breakthrough curve) ) เช่นเดียวกับในกรณีของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิท และจากอัตราการเคลื่อนที่ของสาร (Retardation factor,  $R_r$ ) พบว่า อัตราการเคลื่อนที่ของสไตรีนที่มีสารลดสารตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ มีค่าสูงกว่าตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวเกาะอยู่ นั้นแสดงว่ามีการแอตโซลูบีไลเซชันเกิดขึ้นในระบบจริง (สิตา, 2547) โดยตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าอัตราการเคลื่อนที่ของสาร อยู่ที่ 3.35 3.44 และ 11.75 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ 2.0 กรัม มีอัตราในเคลื่อนที่ของสไตรีนเข้าสู่แอตโมเซลล์ได้มากที่สุด

เมื่อทำการเปรียบเทียบการแอตโซลูบีไลสไตรีนของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทและที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) จะพบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีความสามารถในการแอตโซลูบีไลเซชันสไตรีนได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิท โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบพื้นที่เหนือกราฟระหว่างค่าความจุรูพรุน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสไตรีน ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) ปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ 0.5 และ 2.0 กรัม ในสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีค่ามากกว่าพื้นที่เหนือกราฟระหว่างค่าความจุรูพรุน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสไตรีน ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทอยู่ 1.79 และ 1.93 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Charoensaeng และคณะ (2008) เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีการเติมโมเลกุลลิงเกอร์เข้าไป จะทำให้ประสิทธิภาพในการแอตโซลูบีไลเซชันเพิ่มขึ้น แต่พบว่าค่าการแอตโซลูบีไลสไตรีนของสารลดแรงตึง

ผิวทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทำให้สรุปได้ว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสไตรีนใกล้เคียงกัน

#### 4.3.2 ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับพีแนนทริน โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

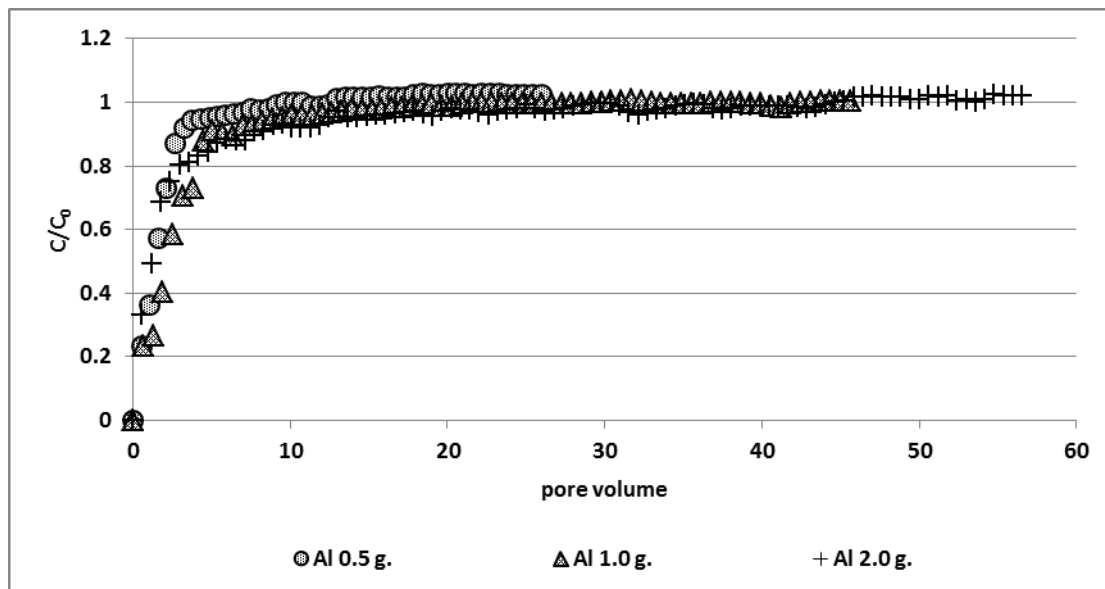
การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับพีแนนทรินโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง สามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกลางดูดซับโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง 2) การศึกษาความสามารถในการดูดซับพีแนนทริน (Phenantrene) ในคอลัมน์ดูดซับที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ โดยการทดลองจะทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่แตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัมตามลำดับ

##### 4.3.2.1 ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับพีแนนทริน โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

1) ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนนทริน

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกลางดูดซับโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง ด้วยวิธีการไหลย้อน (Up flow) ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 – 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่แตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัมตามลำดับ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความจุรพูน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารลดแรงตึงผิว ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) และค่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) ของสารลดแรงตึงผิวในหน่วย โมเลกุลต่อพื้นที่ผิว คำนวณได้จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอะลูมินัมออกไซด์ ที่มีค่า 155 ตารางเมตรต่อกรัม โดยในการทดลองภายในคอลัมน์แบบต่อเนื่องนี้ เลือกใช้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ความเข้มข้น 1.4 มิลลิโมล ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นที่มากกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ได้จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ (Adsorption Study) แบบที่ละเท ถึง 2 เท่า

เพราะเป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปที่จะทำให้เกิดการแอตไมเซลล์ได้อย่างสมบูรณ์บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์



ภาพที่ 4. 7 การดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนนทริน ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยวิธีการไหลต่อเนื่องโดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4. 7 ค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนนทริน ในการทดลองไหลต่อเนื่อง โดยมีปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ต่างๆ

ปริมาณอะลูมินัมออกไซด์ (กรัม)	ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิว			
	mmole	mmole/g	molecule/nm <sup>2</sup>	C/C <sub>0</sub> / Pore volume
0.5	0.22	0.44	1.709	6.14
1.0	0.32	0.32	1.227	10.42
2.0	0.51	0.26	1.010	22.29

จากภาพที่ 4.7 พบว่า การดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนนทรินที่มีปริมาณแตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 - 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้น คือ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ในคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง ปริมาณอะลูมินัมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ระยะเวลาในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดใช้ระยะเวลาในการดูดซับบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาคิดเป็นค่าความสามารถ

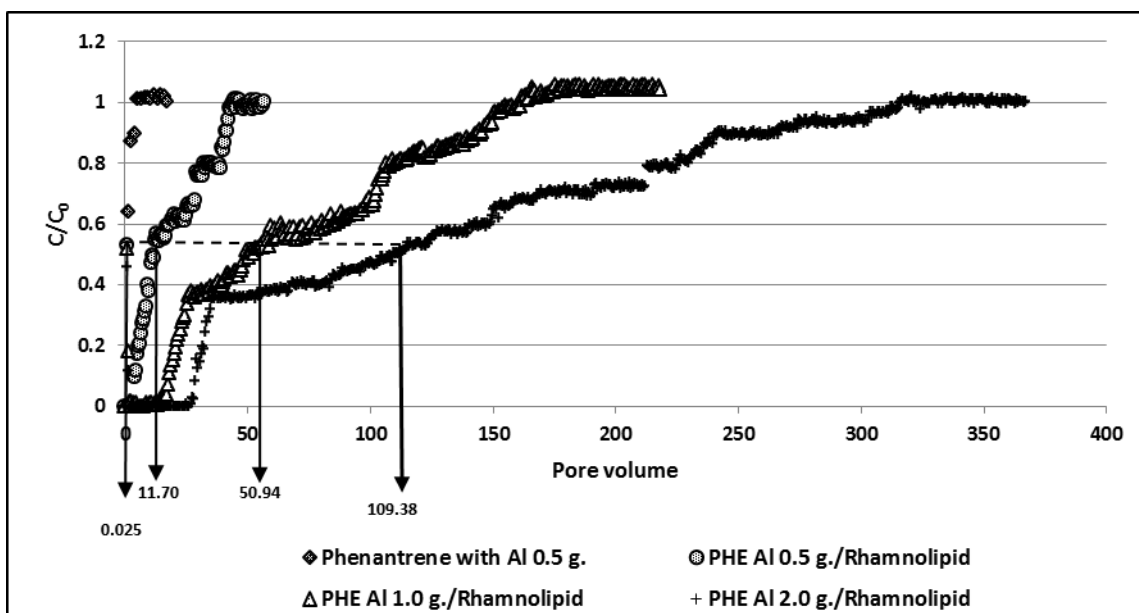
ทั้งหมดในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิท (Total adsorption) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีนที่มีปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม พบว่า มีค่า 0.22 0.32 และ 0.51 มิลลิโมล ตามลำดับ ซึ่งค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อนำมาคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับในหน่วยของความเข้มข้นต่อกรัมของตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม พบว่ามีค่าความสามารถในการดูดซับ 0.44 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 1.709 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร 0.32 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 1.227 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร และ 0.26 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 1.010 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งจากค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทมีค่าลดลงเมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์วิธีการทดลองแบบต่อเนื่องและแบบที่ละเท พบว่า ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์วิธีการทดลองแบบต่อเนื่องมีค่าความสามารถในการดูดซับมากกว่าประมาณ 3.67 เท่าของค่าความสามารถในการดูดซับแบบที่ละเท

ผลการทดลองการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนทรีนมีความสอดคล้องกับการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับสไตรีน กล่าวคือ ค่าความสามารถในการดูดซับใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มของความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทลดลง เมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบในหน่วยความเข้มข้นต่อกรัม โดยค่าความสามารถในการดูดซับมีค่าใกล้เคียงกันในทุกปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของทั้งสองคอลัมน์

2) การแอดโซลูบิไรเซชันของพีแนทรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทบนพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ (Styrene adsolubilization)

ผลการแอดโซลูบิไรเซชันของพีแนทรีนของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิท โดยกำหนดค่าความเข้มข้นของพีแนทรีนเท่ากับ  $1 \times 10^{-5}$  โมลาร์ ซึ่งเป็นค่าการละลายสูงสุดที่พีแนทรีนสามารถละลายน้ำได้ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความจุรุกรุน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของพีแนทรีน ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) และค่าการแอดโซลูบิไรเซชันของพีแนทรีน ในหน่วยโมเลกุลต่อพื้นที่ผิว คำนวณได้จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอะลูมินัมออกไซด์ ที่มีค่า 155 ตารางเมตรต่อกรัม แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4. 8 การแอดโซลูบิไลเซชันของฟีนแอนทรินโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ และอุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4. 8 การแอดโซลูบิไลเซชันของฟีนแอนทรินโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด บนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณต่างๆ

ปริมาณอะลูมินัมออกไซด์ (กรัม)	แอดโซลูบิไลเซชันของฟีนแอนทริน			
	mmole	mmole/g	molecule/nm <sup>2</sup>	C/C <sub>0</sub> / Pore volume
0.5	$4.82 \times 10^{-3}$	$9.65 \times 10^{-3}$	0.037	18.255
1.0	$1.41 \times 10^{-2}$	$1.41 \times 10^{-2}$	0.055	66.695
2.0	$2.80 \times 10^{-2}$	$1.40 \times 10^{-2}$	0.054	124.536

การแอดโซลูบิไลเซชันของฟีนแอนทรินโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด พบว่า ค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันบนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าอยู่ที่  $4.82 \times 10^{-3}$   $1.41 \times 10^{-2}$  และ  $2.80 \times 10^{-2}$  มิลลิโมล และเมื่อคำนวณในหน่วยความเข้มข้นต่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ พบว่า มีค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันฟีนแอนทรินอยู่ที่  $9.65 \times 10^{-3}$  มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 0.037 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร  $1.41 \times 10^{-2}$  มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 0.055 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร และ  $1.40 \times 10^{-2}$  มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 0.054 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟีนแอนทรินสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 90.17, 98.77 และ 99.42 ตามลำดับ ซึ่งจากผลของค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันของสไตรีนที่ได้ในตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม เมื่ออยู่ในหน่วยมิลลิโมล มีค่าความจุของการแอด

โซลูปีไลเซชันสูงที่สุด รองลงมาคือ ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 1.0 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ เมื่อดูจากจำนวนกรัมต่อการดูดซับพีแนทรีนจะเห็นได้ว่า ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันพีแนทรีนได้ใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง  $9.65 \times 10^{-3}$  -  $1.40 \times 10^{-2}$  มิลลิโมลต่อกรัม

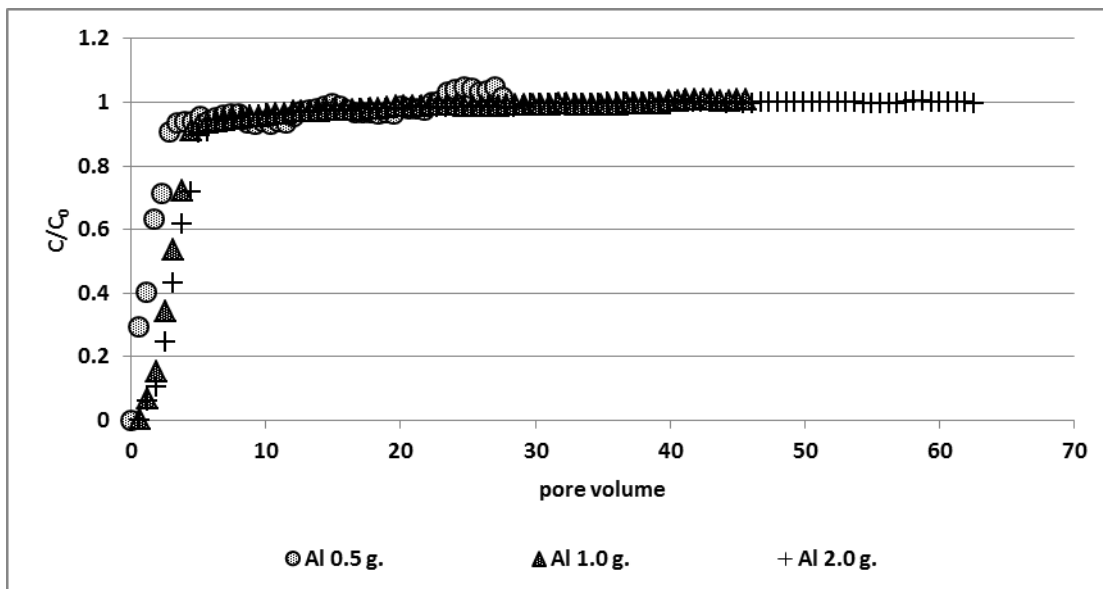
จากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่า ค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันของ ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยมี แนวโน้มเป็นเส้นตรงแล้วเข้าสู่สมดุหรือ เบรคทู (Breakthrough curve) และจากอัตราการ เคลื่อนที่ของสาร (Retardation factor,  $R_f$ ) พบว่า อัตราการเคลื่อนที่ของพีแนทรีนที่มีสารลดสาร ตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด บนพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ มีค่าสูงกว่าตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่ ไม่มีสารลดแรงตึงผิวเกาะอยู่ นั้นแสดงว่ามีการแอดโซลูปีไลเซชันเกิดขึ้นในระบบจริง (สิตา, 2547) โดยตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าอัตราการเคลื่อนที่ของสารอยู่ที่ 11.70 50.94 และ 109.38 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ 2.0 กรัม มีอัตราใน เคลื่อนที่ของพีแนทรีนเข้าสู่แอดไมเซลล์ได้มากที่สุด

**4.3.2.2 ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์กับพีแนทรีน โดยการทำการทดลอง แบบต่อเนื่อง**

1) ผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนทรีน

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ แรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์บนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกลางดูด ซับโดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง ด้วยวิธีการไหลย้อน (Upflow) ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 – 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที และทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่แตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่า ความจुरुพุน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารลดแรงตึงผิว ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) และค่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption capacity) ของสาร ลดแรงตึงผิวในหน่วย โมเลกุลต่อพื้นที่ผิว คำนวณได้จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอะลูมินัมออกไซด์ ที่มี ค่า 155 ตารางเมตรต่อกรัม โดยในการทดลองภายในคอลัมน์แบบต่อเนื่องนี้ เลือกใช้สารลดแรงตึงผิว ชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ความเข้มข้น 1.2 มิลลิโมล ซึ่งเป็นค่าความ เข้มข้นที่มากกว่าค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโน ลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่ได้จากการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลด

แรงดึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ (Adsorption Study) แบบที่ละเท 2 เท่า เพราะเป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปที่จะทำให้เกิดการแอตโมเซลล์ได้อย่างสมบูรณ์บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์



ภาพที่ 4. 9 การดูดซับสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนนทริน ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยวิธีการไหลต่อเนื่องโดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง (25±2 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4. 9 ค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนนทริน ในการทดลองไหลต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ต่างๆ

ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ (กรัม)	ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงดึงผิว			
	mmole	mmole/g	molecule/nm <sup>2</sup>	C/C <sub>0</sub> / Pore volume
0.5	0.30	0.60	2.330	11.17
1.0	0.51	0.51	1.981	19.60
2.0	0.74	0.037	1.437	28.28

จากภาพที่ 4.9 พบว่า การดูดซับสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีปริมาณแตกต่างกันที่ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 2.7 - 2.8 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์เพิ่มขึ้น คือ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ในคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง ปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ระยะเวลาในการดูดซับสารลดแรงดึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสม



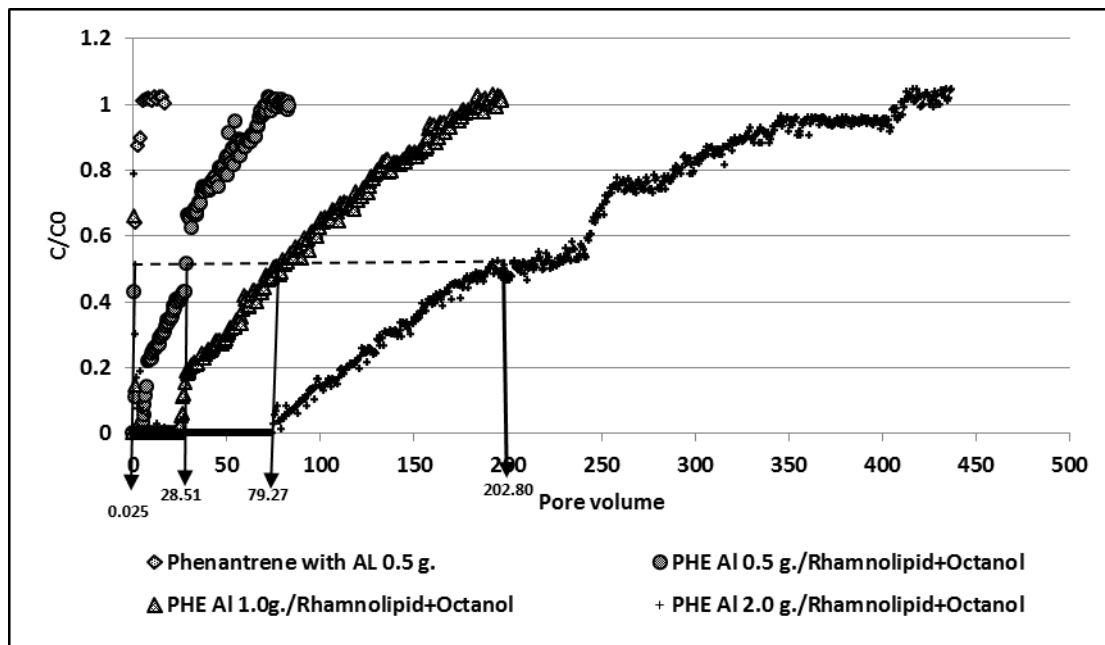
โมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ใช้ระยะเวลาในการดูดซับบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาคิดเป็นค่าความสามารถทั้งหมดในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) (Total adsorption) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนทรีนที่มีปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม พบว่า มีค่า 0.30 0.51 และ 0.74 มิลลิโมล ตามลำดับ ซึ่งค่าความสามารถในการดูดซับทั้งหมดของสารลดแรงตึงผิวที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวในหน่วยของความเข้มข้นต่อกรัมของตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม พบว่ามีค่าความสามารถในการดูดซับ 0.60 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 2.330 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร 0.51 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 1.981 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร และ 0.37 มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 1.437 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งจากค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการดูดซับทั้งหมดของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อคิดในแง่ของความเข้มข้นต่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์มีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ของคอลัมน์ที่จะทำการดูดซับพีแนทรีน

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์โดยวิธีการทดลองแบบต่อเนื่องและแบบทีละเท พบว่า ความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์วิธีการทดลองแบบต่อเนื่องมีค่าความสามารถในการดูดซับมากกว่าประมาณ 2.00 เท่าของค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) แบบทีละเท

2) การแอดโซลูบิไรเซชันของพีแนทรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ (Styrene adsolubilization)

ผลการแอดโซลูบิไรเซชันของพีแนทรีนของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) โดยกำหนดค่าความเข้มข้นของพีแนทรีนอยู่ที่  $1 \times 10^{-5}$  โมลาร์ ซึ่งเป็นค่าการละลายน้ำสูงสุดที่พีแนทรีนสามารถละลายน้ำได้ สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าความจุรุกรุ่น (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของพีแนทรีน ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) และค่าการแอดโซลูบิ

ไรเซชันของฟีแนนทริน ในหน่วย โมเลกุลต่อพื้นที่ผิว คำนวณได้จากค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอะลูมินัมออกไซด์ ที่มีค่า 155 ตารางเมตรต่อกรัม แสดงดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4. 10 การแอดโซลูบิไลเซชันของฟีแนนทรินโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนพื้นที่ผิวดักกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ และอุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4. 10 การแอดโซลูบิไลเซชันของฟีแนนทรินโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนพื้นที่ผิวดักกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณต่างๆ

ปริมาณอะลูมินัมออกไซด์ (กรัม)	แอดโซลูบิไลเซชันของฟีแนนทริน			
	mmole	mmole/g	molecule/nm <sup>2</sup>	C/C <sub>0</sub> / Pore volume
0.5	$6.95 \times 10^{-3}$	$1.39 \times 10^{-2}$	0.054	29.18
1.0	$1.99 \times 10^{-2}$	$1.99 \times 10^{-2}$	0.077	85.39
2.0	$3.21 \times 10^{-2}$	$1.62 \times 10^{-2}$	0.062	206.33

การแอดโซลูบิไลเซชันของฟีแนนทรินโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) พบว่า ค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันบนพื้นที่ผิวดักกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าอยู่ที่  $6.95 \times 10^{-3}$   $1.99 \times 10^{-2}$  และ  $3.21 \times 10^{-2}$  มิลลิโมล และเมื่อคำนวณในหน่วยความเข้มข้นต่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ พบว่า มีค่าความจุในการแอดโซลูบิไลเซชันฟีแนนทรินอยู่ที่  $1.39 \times 10^{-2}$  มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 0.054

โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร  $1.99 \times 10^{-2}$  มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 0.077 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร และ  $1.61 \times 10^{-2}$  มิลลิโมลต่อกรัม หรือ 0.062 โมเลกุลต่อตารางนาโนเมตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดพีแนทรีนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 89.13 98.31 และ 99.21 ตามลำดับ ซึ่งจากผลของค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันของพีแนทรีนที่ได้ในตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม เมื่ออยู่ในหน่วยมิลลิโมล มีค่าความจุของการแอดโซลูปีไลเซชันสูงสุด รองลงมาคือ ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 1.0 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ เมื่อดูจากจำนวนกรัมต่อการดูดซับพีแนทรีนจะเห็นได้ว่า ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันพีแนทรีนได้ใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง  $1.39 \times 10^{-2}$  -  $1.62 \times 10^{-2}$  มิลลิโมลต่อกรัม

จากภาพที่ 4.10 จะเห็นว่า ค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันของตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงแล้วเข้าสู่สมดุลหรือ เบรคทู (Breakthrough curve) และจากอัตราการเคลื่อนที่ของสาร (Retardation factor,  $R_f$ ) พบว่า อัตราการเคลื่อนที่ของพีแนทรีนที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิท บนพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ มีค่าสูงกว่าตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่ไม่มีสารลดแรงตึงผิวเกาะอยู่ นั้นแสดงว่ามีการแอดโซลูปีไลเซชันเกิดขึ้นในระบบจริง (สิตา, 2547) โดยตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าอัตราการเคลื่อนที่ของสาร อยู่ที่ 28.51 79.27 และ 202.80 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ 2.0 กรัม มีอัตราในเคลื่อนที่ของพีแนทรีนเข้าสู่แอดไมเซลล์ได้มากที่สุด

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทและที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ของพีแนทรีน พบว่า ค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันของพีแนทรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) บนพื้นที่ผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ มีค่ามากกว่าค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันของพีแนทรีนโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิท โดยเปรียบเทียบพื้นที่เหนือกราฟของกราฟระหว่างค่าความจुरुพุน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของพีแนทรีน ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) ปริมาณอะลูมินัมออกไซด์ 0.5 1.0 และ 2.0 กรัม ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีค่ามากกว่าพื้นที่เหนือกราฟระหว่างค่าความจुरुพุน (Pore volume) กับค่าความเข้มข้นสุดท้ายต่อความเข้มข้นเริ่มต้นของพีแนทรีน ( $C/C_0$ ) (Breakthrough curve) ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทอยู่ที่ 1.60 1.28 และ 1.65 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Charoensaeng และคณะ (2008) เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีการเติมโมเลกุลลิงเกอร์เข้าไป จะทำให้ประสิทธิภาพในการแอดโซลูปีไลเซชันเพิ่มขึ้น เพิ่มขึ้น แต่พบว่าค่าการแอดโซลูปีไลพีแนทรีนของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทำให้สรุปได้ว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดพีแนทรีนใกล้เคียงกัน

#### 4.3.3 เปรียบเทียบผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง

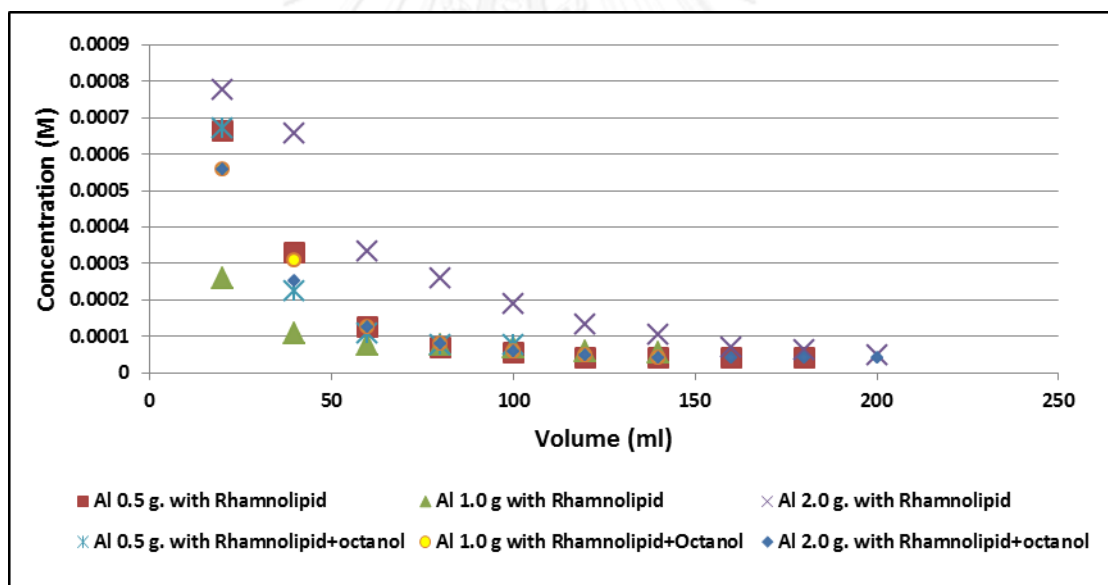
เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) พบว่า ค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีค่าสอดคล้องกัน กล่าวคือ สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีค่าความสามารถทั้งหมดในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ภายในคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่องเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ค่าความสามารถทั้งหมดในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวของอะลูมินัมออกไซด์มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสเพิ่มขึ้น และการเพิ่มปริมาณตัวกลางเป็นการเพิ่มจำนวนรูพรุนในการดูดซับเพิ่มขึ้น (Pahari และคณะ, 1991; Patel และ Vashi, 2011) ส่งผลให้มีการดูดซับได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Ru Chen และ Huang (2010) ซึ่งทำการทดลองนำตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณต่างๆ มาดูดซับสารเตตระไซโคลิน (tetracycline, TTC) จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มเพิ่มปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ จะสามารถดูดซับสารดังกล่าวได้มากขึ้น โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีความสามารถในการดูดซับบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ได้มากกว่า สามารถดูได้จากค่าความสามารถในการดูดซับทั้งหมดของสารลดแรงตึงผิว โดยเหตุผลที่ทำให้สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีความสามารถในการดูดซับบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์มากกว่าเนื่องจากการเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีการจัดเรียงตัวกันได้ดีกว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ (Adsorption Study) แบบทีละเท

เมื่อทำการเปรียบเทียบการแอดโซลูปีไลเซชันสไตรีนและพีแนนทรีน ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีความสามารถในการแอดโซลูปีไลเซชันสารอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด เนื่องมาจากการเพิ่มโมเลกุลลิงเกอร์ที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนอยู่ในช่วง 4-9 อะตอม จัดว่าเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยในการดูดซับสารอินทรีย์ได้ดียิ่งขึ้น (Graciaa และคณะ, 1993) ส่วนค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันของพีแนนทรีนของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด มีค่าสูงกว่าค่าความจุในการแอดโซลูปีไลเซชันของสไตรีน อันเนื่องมาจากผลของค่าไดโพล - ไดโพล ที่แตกต่างกันของสารอินทรีย์ โดยสไตรีนมีค่า ไดโพลโมเมนต์มากกว่าพีแนนทรีน ทำให้สไตรีนมีความสามารถในการละลายน้ำได้มากกว่าพีแนนทรีน ส่งผล

ให้พีแนทรีนชอบที่จะเข้าไปอยู่บริเวณแอดไมเซลล์ซึ่งเป็นส่วนที่สารอินทรีย์ชอบที่จะละลายเข้าไปมากกว่าอยู่ในน้ำ จึงทำให้มีค่าความจุในการแอดโซลูบ์ไอออนมากกว่าสไตรีน สอดคล้องกับงานวิจัยของนวลกมล (2550) ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การละลายของสารอินทรีย์ในแอดโซลูบ์ไอออน ( $K_{adm}$ ) ของพีแนทรีน มีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การละลายของสารอินทรีย์ในแอดโซลูบ์ไอออน ( $K_{adm}$ ) ของสไตรีนเช่นกัน

#### 4.4 การสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ (Desorption study)

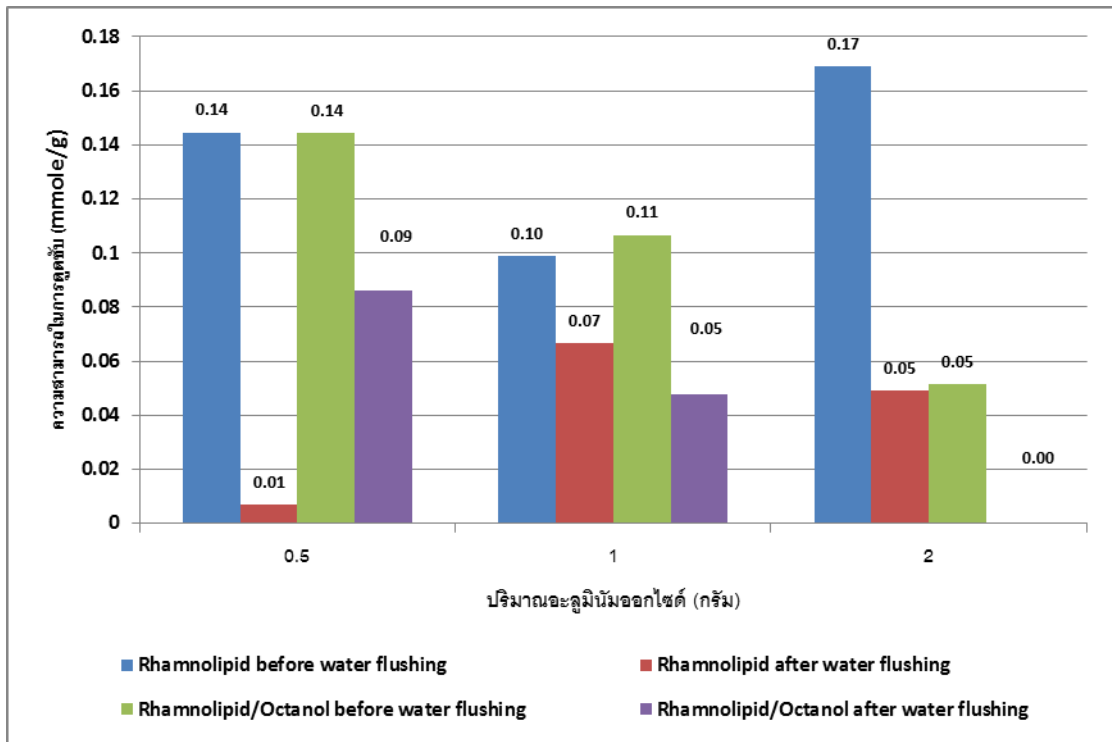
ผลของการศึกษาการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลาง เป็นการศึกษาระยะการละลายสารลดแรงตึงผิวชีวภาพและที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ออกจากคอลัมน์ดูดซับ เพื่อพิจารณาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ในรูปแอดไมเซลล์และการดูดซับสารอินทรีย์เข้าไปไว้ภายในคอลัมน์ โดยให้น้ำไหลผ่านคอลัมน์ในอัตราไหล 2.7 – 2.8 มิลลิลิตร ต่อ นาทีโดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 20 มิลลิลิตร แล้วนำมาวิเคราะห์ผลได้โดยพล็อตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและปริมาตรน้ำที่ผ่านคอลัมน์ดูดซับ แสดงดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4. 11 การชะล้างละลายออกของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) บนพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม ตามลำดับ

จากผลการศึกษาการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลาง พบว่า เมื่อทำการผ่านน้ำไปยังคอลัมน์ดูดซับที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ที่ดูดซับบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม สารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดจะมีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวออกมาลดลงเรื่อยๆตามปริมาณน้ำที่ใช้ล้างเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4.12

โดยพบว่าปริมาณตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นภายในคอลัมน์ดูดซับที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพ แรมโนลิพิดที่ดูดซับบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ใช้ปริมาณน้ำในการล้างสารลดแรงตึงผิวมากที่สุด อยู่ที่ 200 มิลลิลิตร โดยมีความเข้มข้นสุดท้ายเหลือเท่ากับ  $4.94 \times 10^{-5}$  โมลาร์ และคอลัมน์ดูดซับที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่ดูดซับบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ก็ใช้ปริมาณน้ำในการล้างสารลดแรงตึงผิวมากที่สุด อยู่ที่ 200 มิลลิลิตรเช่นกัน โดยมีความเข้มข้นสุดท้ายเหลือเท่ากับ  $4.06 \times 10^{-5}$  โมลาร์ ผลดังกล่าวเกิดเนื่องจากปริมาณตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีมากจึงทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ส่งผลให้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวที่ออกมา มีการติดอยู่บนตัวกลางก่อนจะออกมา จึงทำให้ความเข้มข้นที่ออกมามีความเข้มข้นน้อยและค่อยๆ ล้างออกมา จากภาพที่ 4.12 แสดงความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวดักกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ พบว่า เมื่อทำการชะล้าง สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีปริมาณความสามารถในการดูดซับบนพื้นอะลูมิเนียมออกไซด์มากกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ที่ดูดซับบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากการชะล้าง คิดเป็นร้อยละ 40.28 55.43 และ 100 ตามลำดับ และโดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ดูดซับบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 2.0 กรัม มีค่าการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากการชะล้าง คิดเป็นร้อยละ 95.25 32.59 และ 70.98 ตามลำดับ จากผลดังกล่าวทำให้ทราบว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) มีเสถียรภาพในการยึดเกาะบนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ได้ดี สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด สอดคล้องกับงานวิจัยของอัมพิรา (2551) ที่สารลดแรงตึงผิวที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์มีค่าการสูญเสียน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิว



ภาพที่ 4. 12 ค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและที่ผสม โมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ก่อนและหลังการชะละลายออกของสารลดแรงตึงผิว

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสารอินทรีย์ด้วยอะลูมินัมออกไซด์ในคอลัมน์ ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ ได้แก่ สไตรีนและพีแนนทริน เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการกำจัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลจากการศึกษาค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตชนิดเดี่ยวและสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตชนิดเดี่ยวมีค่าความเข้มข้นวิกฤต (CMC) และค่าแรงตึงผิว ต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) โดยการเพิ่มโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ให้กับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตชนิดเดี่ยว จะช่วยเพิ่มความเป็นไฮโดรโฟบิกให้กับโมเลกุลสารลดแรงตึงผิว โดยดูได้จากค่าสัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน โดยคิดเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนัก (%w/w) ของมวลโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophile-lipophile balance, HLB) มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ลงไป

5.1.2 ผลจากการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตชนิดเดี่ยวมีค่าความเข้มข้นที่ทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลหรือจุดความเข้มข้นวิกฤตที่ทำให้เกิดไมเซลล์ (CMC) สูงกว่าสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิตชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) เพียงเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ที่ 0.6 และ 0.7 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตชนิดเดี่ยวมีความสามารถในการดูดซับบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิตชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ซึ่งมีค่า 0.12 และ 0.30 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ

5.1.3 ผลจากการดูดซับสารลดแรงตึงผิวชีวภาพบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง พบว่า ค่าความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตมีค่าสอดคล้องกัน โดยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิตและที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ภายในคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่องเพิ่มขึ้น โดยค่าความสามารถทั้งหมดในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวแรมโนลิพิต และที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (Total adsorption) บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่มีปริมาณ 2.0 กรัม มีค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวได้ดีที่สุด มีค่า 0.73 มิลลิโมล และ 0.74 มิลลิโมล ตามลำดับ



5.1.4 ผลจากการศึกษาความสามารถในการดูดซับสไตรีน (styrene) และ ฟีนแอนทรีน (phenantrene) ในคอลัมน์ดูดซับที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดและที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ที่อยู่บนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ พบว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีค่าความสามารถในการแอดโซลูบ์ไลเซชันสไตรีนและฟีนแอนทรีนได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด และค่าความจุในการแอดโซลูบ์ไลเซชันของฟีนแอนทรีนของสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิด มีค่าสูงกว่าค่าความจุในการแอดโซลูบ์ไลเซชันของสไตรีน

5.1.5 ผลของการศึกษาการสูญเสียสารลดแรงตึงผิวจากตัวกลาง พบว่า ปริมาณตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นภายในคอลัมน์ดูดซับที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ดูดซับบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ใช้ปริมาณน้ำในการล้างสารลดแรงตึงผิวมากที่สุด อยู่ที่ 200 มิลลิลิตร โดยมีความเข้มข้นสุดท้ายเหลือเท่ากับ  $4.94 \times 10^{-5}$  โมลาร์ และคอลัมน์ดูดซับที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ที่ดูดซับบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ก็ใช้ปริมาณน้ำในการล้างสารลดแรงตึงผิวมากที่สุด อยู่ที่ 200 มิลลิลิตรเช่นกัน โดยมีความเข้มข้นสุดท้ายเหลือเท่ากับ  $4.06 \times 10^{-5}$  โมลาร์ โดยเมื่อทำการชะล้าง สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีปริมาณความสามารถในการดูดซับบนพื้นอะลูมินัมออกไซด์มากกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ชี้ให้เห็นว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) มีเสถียรภาพในการยึดเกาะบนตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ที่ผ่านการปรับด้วยสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดทั้งชนิดเดี่ยวและชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) เป็นสารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสามารถนำมาใช้กำจัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ได้ โดยในการทดลองได้นำไปประยุกต์ใช้ในระบบคอลัมน์ดูดซับแบบต่อเนื่อง สามารถนำไปใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านอัตราการไหลภายในคอลัมน์และการเลือกขนาดคอลัมน์ที่จะต้องนำมาพัฒนา ก่อนที่นำไปประยุกต์ในอนาคตต่อไป

5.2.1 สารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดมีราคาสูง จึงไม่คุ้มทุนที่จะนำมาใช้ปรับสภาพตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ในระบบบำบัดเสียน้ำเสียใหญ่

5.2.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการนำสารอื่นๆมาใช้ปรับสภาพสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสารลดแรงตึงผิวให้ดียิ่งขึ้น

5.2.3 ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในระบบคอลัมน์ดูดซับแบบไหล  
ต่อเนื่อง โดยควรรศึกษารูปแบบและขนาดของคอลัมน์ที่นำมาใช้ รวมถึงอัตราการไหล เพื่อให้การดูด  
ซับมีประสิทธิภาพสูงสุด



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ชนิษฐา วงษ์นิกร. 2547. การโคลนและลักษณะสมบัติของยีนกลุ่ม rhl ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แรมโนลิพิดของ *Pseudomonas aeruginosa* A14. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิระเดช ฮายุกต์ และ วิทยา เทพไพฑูรย์. 2547. การแยกของผสมเอทานอล-น้ำโดยกระบวนการดูดซับ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จิราพร บุญพอ. 2553. ผลของสารเติมแต่งต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ อะลูมินาและทังสเตนคาร์ไบด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิราภรณ์ ธนียวัน, กอบชัย ภัทรกุลวณิช และชนิษฐา วงษ์นิกร. 2547. รายงานผลการวิจัย การโคลนและลักษณะสมบัติของยีนกลุ่ม rhl ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โมโนแรมโนลิพิดทางชีวภาพของ *Pseudomonas aeruginosa* A41. ทุนวิจัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิตตกานต์ สินธุเสก. 2544. การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบทองแดงเชิงซ้อนโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนและทรายเคลือบเหล็กออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โฉมสุดา โสมกุล และ พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์. 2553. ผลกระทบของสาร Dense Nonaqueous Phase Liquids (DNAPLs) ต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 15: 114-120.
- เทิดศักดิ์ คำสุริวร. 2551. การใช้สารลดแรงตึงผิวในการกำจัดหมึกชนิดที่ใช้ตัวทำละลายบนผิวพลาสติกโพลีโพรพิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นวลกมล อารณพงษ์. 2551. แอตโซลูบิลิเซชันและโซลูบิลิเซชันด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุลบ  
ธรรมชาติและชนิดที่มีส่วนขยายบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท  
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โยชิยาสุ มิซึโนะ 2542. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง Alumina Ceramic : Application,  
Processing and Future Potential. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิสาชา ภูจินดา. 2548. การใช้ประโยชน์สารลดแรงตึงผิวในการบำบัดน้ำเสีย. วารสารการจัดการ  
สิ่งแวดล้อม.

อนุรัตน์ ภูวานคำ. 2548. การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบอะลูมินา-มัลติ-เซอร์โคเนีย สำหรับงานทาง  
วิศวกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเซรามิก คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

#### ภาษาอังกฤษ

Abalos, A., Pinazo, A., Infante, M.R., Casals, M., Garcia, F. and Manresa, A. 2001.  
Physicochemical and antimicrobial properties of new rhamnolipids produced  
by *Pseudomonas aeruginosa* AT10 from soybean oil refinery waste. Langmuir.  
17: 1367-1371.

Adaka, A. and Pal, Anjali. 2006a. Removal kinetics and mechanism for crystal violet  
uptake by surfactant-modified alumina. Journal of environmental science and  
health, Part A: Toxic/hazardous substances and environmental engineering.  
41: 2283-2297.

Adaka, A. and Pal, Anjali. 2006b. Removal of phenol from aquatic environment by  
SDS-modified alumina: Batch and fixed bed studies. Separation and  
Purification Technology. 50: 256-262.

Al-Tahhan, R. A., Sandrin, T. R., Bodour, A. A. and Maier, R. M. 2000. Rhamnolipid-  
induced removal of lipopolysaccharide from *Pseudomonas aeruginosa*: effect  
on cell surface properties and interaction with hydrophobic substrates.  
Applied and environmental microbiology. 66: 3262-3268.

- An, C., Huang, G., Wei, J. and Yu, H. 2011. Effect of short-chain organic acids on the enhanced desorption of phenanthrene by rhamnolipid biosurfactant in soil-water environment. Water research. 45: 5501–5510.
- Asçı, Y., Nurbas, M. and Açikel, Y. S. 2010. Investigation of sorption/desorption equilibria of heavy metal ions on/from quartz using rhamnolipid biosurfactant. Journal of environmental management. 91: 724–731.
- Asnachinda, E. 2009. Admicelles and adsolubilization using polymerizable surfactants onto solid oxide surface. Doctoral Dissertation, Environmental Management Program, Graduate School, Chulalongkorn University.
- Attaphong, C., Asnachinda, E., Charoensaeng, A., Sabatini, D. A. and Khaodhiar, S. 2010. Adsorption and adsolubilization of polymerizable surfactants on aluminum oxide. Journal of colloid and interface Science. 344: 126–131.
- Cffet. 2008. W6 – Detrrmination of nitrate in water by uv-visible spectrometry, ion chromatography. [Online] Available from: <http://www.cffet.net/envan/W6.pdf> [2013, Mar 28]
- Chang, J., Qiang, Z., Huang, C. and Ellis, A. V. 2009. Phenanthrene removal in unsaturated soils treated by electrokinetics with different surfactants Triton X-100 and rhamnolipid. Colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects. 348: 157–163.
- Charoensaeng, A. 2008a. Admicelles and adsolubilization using linker molecules and extended surfactants onto aluminum oxide surface. Doctorate dissertation, Department of Graduated School, Chulalongkong University.
- Charoensaeng, A., Sabatini, D. A. and Khaodhiar, S. 2008b. Styrene solubilization and adsolubilization on an aluminum oxide Surface using linker molecules and extended surfactants. J Surfact Deterg. 11: 61–71.
- Chuang, Y., Liu, C., Tzou, Y., Chang, J., Chiang, P. and Wang, M. 2010. Comparison and characterization of chemical surfactants and bio-surfactants intercalated with layered double hydroxides (LDHs) for removing naphthalene from

contaminated aqueous solutions. Colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects. 366: 170–177.

Dahrazma, B. and Mulligan, C. N. 2007. Investigation of the removal of heavy metals from sediments using rhamnolipid in a continuous flow configuration. Chemosphere. 69: 705–711.

Desai, J.D. and Banat, I. M. 1997. Microbial production of surfactants and their commercial potential. Microbiology and molecular biology reviews. 61: 47–64.

Dionex. 2009. Comparison of rhamnolipids profile on three acclaim<sup>®</sup> columns with evaporative light scattering detection. [Online] Available from: <http://www.dionex.com/enus/images/pdf-cgram/78882-25672-comparison-rhamnolipids.pdf> [2013, Mar 25]

Faki, A., Turan, M., Ozdemir, O. and Turan, A. Z. 2008. Analysis of fixed-bed column adsorption of reactive yellow 176 onto surfactant-modified zeolite. Industrial and engineering chemistry research. 47: 6999-7004.

Fuangswasdi, A., Krajangpan, S., Sabatini, D. A., Acosta, E. J., Osathaphan, K. and Tongcumpou, C. 2007. Effect of admicellar properties on adsolubilization: Column studies and solute transport. Water research. 41: 1343–1349.

Gilman, L.B. 1993. A review of instruments for static and dynamicsurface and interfacial tension measurement. Present at the seminar by Kruss Gmbtt and scientific promotion CO., Ltd, at Indra Regent Hotel, BK.Thailand, October 30, 1997.

Graciaa A, Lachaise J, Cucuphat C, Bourrel M, Salager JL (1993) Improving solubilization in microemulsions with additives: 1.The lipophilic linker role. Langmuir 9:669

Head, I. M. 1998. Bioremediation: towards a credible technology. Microbiology. 144: 599-608.

- Javadi, A., Moradi, N., Fainerman, V. B., Möhwald, H. and Miller, R. 2011. Alkane vapor and surfactants co-adsorption on aqueous solution interfaces. Colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects. 391: 19-24.
- Juwarkar, A. A., Nair, A., Dubey, K. V., Singh, S. K. and Devotta, S. 2007. Biosurfactant technology for remediation of cadmium and lead contaminated soils. Chemosphere. 68: 1996–2002.
- Kleckner, V. and Kosaric, N. 1993. Biosurfactants for cosmetic in Kosaric N (ed) biosurfactant, production, properties, applications. Surfactant science series. 48: 373-389.
- Lang, S. and Wullbrandt, D. 1999. Rhamnolipids-biosynthesis, microbial production and application potential. Appl Microbiol Biotechnol. 51: 22-32.
- Lin, H. Hu, Y., Zhang X., Guo, Y. and Chen, G. 2011. Sorption of triclosan onto sediments and its distribution behavior in sediment-water-rhamnolipid system. Environmental toxicology and chemistry. 30: 2416-2422.
- Linhardt, R.J., Bakhit, R., Daniels, L., Mayerl, F. and Pickenhagen, W. 1989. Microbially produce rhamnolipid as a source of rhamnolipid. Biotechnology. 33:365-368.
- Makkar, R. S. and Rockne, K. J. 2003. Comparison of synthetic surfactants and biosurfactants in enhancing biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons. Environmental toxicology and chemistry. 22: 2280–2292.
- Mulligan, C. N. 2009. Recent advances in the environmental applications of biosurfactants. Current Opinion in Colloid & Interface Science. 14: 372-378.
- Nguyen, T. T., Youssef, N. H., McInerney, M. J. and Sabatini, D. A. 2008. Rhamnolipid biosurfactant mixtures for environmental remediation. Water research. 42: 1735–1743.
- NIOSH. 2003a. Hydrocarbons, aromatic. [Online] Available from: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/1501.pdf> [2013, Mar 26]

- Ochoa-Loza, F. J., Noordman, W. H., Janssen, D. B., Brusseau, M. L. and Maier, R. M. 2007. Effect of clays, metal oxides, and organic matter on rhamnolipid biosurfactant sorption by soil. Chemosphere. 66: 1634–1642.
- Özdemir, G. and Yapar, S. 2009. Adsorption and desorption behavior of copper ions on Na-montmorillonite: Effect of rhamnolipids and pH. Journal of hazardous materials. 166: 1307–1313.
- Pahari, P. K. and Sharma, M. M. 1991. Recovery of Heterocyclic Amines From Dilute Aqueous Waste Streams. Chem. Reserch. 30. 1880–1886.
- Paria, S. and Khilar. K.C. 2004. A review on experimental studies of surfactant adsorption at the hydrophilic solid – water interface. Advances in colloid and interface science. 110: 75-95.
- Patel, H. and Vashi, R.T. 2011. Fixed bed column adsorption of acid yellow 17 dye onto tamarind seed powder. The Canadian journal of chemical engineering. 90. 180 – 185.
- Pei, X. H., Zhan, X. H., Wang, S. M., Lin, Y. S. and Zhou, L. X. 2010. Effects of a biosurfactant and a synthetic surfactant on phenanthrene degradation by a Sphingomonas strain. Pedosphere. 20: 771–779.
- Rao, P. and He, M. 2006. Adsorption of anionic and nonionic surfactant mixtures from synthetic detergents on soils. Chemosphere. 63: 1214–1221.
- Rosen, M. J. 2004. Surfactant and interfacial phenomena. 3rd ed. New Jersey: John Willey & Son.
- Salager, J-L., Graciaa, A. and Lachaise, J. 1998. Improving solubilization in microemulsions with additives. Part III: lipophilic linker optimization. Journal of Surfactants and Detergents. 1: 403-406.
- Sandrin, T. R., Chech, A. M. and Maier, R. M. 2000. A Rhamnolipid biosurfactant reduces cadmium toxicity during naphthalene biodegradation. Applied and environmental microbiology. 66: 4585–4588.



- Saphanuchart, W.; Saiwan, C. and O'Haver, J. H. 2007. Effect of adsolubilized solutes on 2-D structure of cationic admicelles. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 307: 71–76.
- Sponza, D. T. and Gök, O. 2010. Effect of rhamnolipid on the aerobic removal of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) and COD components from petrochemical wastewater. Bioresource Technology. 101: 914–924
- Sponza, D. T. and Gök, O. 2011. Effects of sludge retention time (SRT) and biosurfactant on the removal of polyaromatic compounds and toxicity. Journal of Hazardous Materials. 197: 404– 416
- Sun, S., and Jaffe, P. R. 1996. Sorption of phenantrene from water onto alumina coated with dianionic surfactant. Environmental Science Technology.30: 2906-2913.
- Vidal, C. B., Raulino, G. S.C., Barros, A. L., Lima, A. C. A., Ribeiro, J. P., Pires, M. J. R. and Nascimento, R. F. 2012. BTEX removal from aqueous solutions by HDTMA-modified Y zeolite. Journal of environmental management. 112: 178-185.
- Volkering, F., Breure, A. M. and Rulkens, W. H. 1998. Microbiological aspects of surfactant use for biological soil remediation. Biodegradation. 8: 401–417.
- Wan, J., Chai, L., Lu, X., Lin, Y. and Zhang, S. 2010. Remediation of hexachlorobenzene contaminated soils by rhamnolipid enhanced soil washing coupled with activated carbon selective adsorption. Journal of Hazardous Materials. 189: 458–464.
- Wang W., Wang, J., Sun, P., Ding, D. and Chen, T. 2009. Effect of alcohol on morphology and mesostructure control of anionic-surfactant-templated mesoporous silica (AMS). Journal of colloid and interface science. 331: 156–162.
- Xie J., Meng. W., Wu D., Zhang, Z. and Kong, H. 2012. Removal of organic pollutants by surfactant modified zeolite: Comparison between ionizable phenolic

compounds and non-ionizable organic compounds. Journal of hazardous materials. 231– 232: 57– 63.

Yu, H., Huang, G., Wei, J. and An, C. 2011. Solubilization of mixed polycyclic aromatic hydrocarbons through a rhamnolipid biosurfactant. Journal of environmental quality. 40: 477-483.

Zhang, Y., Long, Y., Yuancheng, Z., Zhu, Y., Wang, H., Wu, H. and Lu, W. 2012. Effect of a mixed anionic-nonionic surfactant adsorption on bentonite structure and on distribution of pentachlorophenol. Applied clay science. 69: 93–98.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ภาคผนวก ก

#### คำนวณ

(ก-1.1) การคำนวณ surface excess concentration ( $\Gamma$ ) (Rosen, 2004)

$$\Gamma = -\frac{1}{4.606RT} \left( \frac{\partial \gamma}{\partial \log C_1} \right)_T \quad (\text{mol}/1000 \text{ m}^2)$$

เมื่อ  $R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

$T = 298 \text{ K}$  ที่  $25 \text{ }^\circ\text{C}$

$\gamma$  = ค่าแรงตึงผิวหรือค่าแรงตึงผิวประจัน (N/m)

$C_1$  = ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว (mol/L)

(ก-2) การคำนวณ Effective area per molecule ( $a_1^s$ ) (Rosen, 2004)

$$a_1^s = \frac{10^{23}}{N\Gamma_1} \quad (\text{\AA})$$

เมื่อ  $N = 6.023 \times 10^{23}$

$\Gamma$  = การดูดซับของสารลดแรงตึงผิว (mol/1000 m<sup>2</sup>)

(ก-3) การคำนวณค่า HLB (Hydrophilic-Lipophilic Balance)

การคำนวณค่า HLB ของแอลกอฮอล์ (Akatsu และคณะ, 1999)

$$\text{HLB} = 7 + n(-0.475) + 1.9$$

เมื่อ  $n$  = จำนวนคาร์บอนของแอลกอฮอล์

การคำนวณค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวที่ผสมแอลกอฮอล์ (Xie และคณะ, 2005)

$$\text{HLB}_{AB} = \frac{(\text{HLB}_A \times W_A + \text{HLB}_B \times W_B)}{(W_A + W_B)}$$

เมื่อ  $\text{HLB}_A$  = ค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิว

$\text{HLB}_B$  = ค่า HLB ของแอลกอฮอล์

$W_A$  = ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว

$W_B$  = ปริมาณของแอลกอฮอล์

## ภาคผนวก ข.

(ข-1) ผลการทดลองการศึกษาค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว

ตารางที่ ข -1.1 ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 อุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว (M)	ค่าแรงตึงผิว (mN/m)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1.0E-07	60.351	64.056	62.2035
1.0E-06	49.444	50.523	49.9835
1.0E-05	40.707	42.654	41.6805
5.0E-05	30.492	30.773	30.6325
7.0E-05	30.261	30.57	30.4155
9.0E-05	29.183	29.102	29.1425
1.0E-04	28.073	27.968	28.0205
2.0E-04	27.978	28.023	28.0005
3.0E-04	27.883	27.881	27.882
5.0E-04	27.821	27.806	27.8135
7.0E-04	27.816	27.817	27.8165
1.0E-03	27.813	27.816	27.8145
1.0E-02	27.818	27.816	27.817

ตารางที่ ข -1.2 ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 – 8.5 อุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว (M)	ค่าแรงตึงผิว (mN/m)		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ค่าเฉลี่ย
1.0E-06	57.167	56.983	57.075
1.0E-05	48.025	47.210	47.6175
5.0E-05	36.448	36.082	36.265
7.0E-05	33.498	34.563	34.0305
9.0E-05	31.419	30.756	31.0875
1.0E-04	31.486	28.334	29.91
2.0E-04	28.975	28.133	28.554
3.0E-04	29.248	27.387	28.3175
5.0E-04	27.585	-	27.585
7.0E-04	27.479	-	27.479
1.0E-03	25.945	-	25.945
1.0E-02	26.495	27.606	27.0505

## ภาคผนวก ค.

(ค-1) ผลการทดลองการศึกษาความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ (Adsorption study)

ตารางที่ ค -1.1 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (mL)	ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_i$ )		ความเข้มข้นสมดุล ( $C_{eq}$ )		$C_i - C_{eq}$	$Al_2O_3$ (g)	q (mmol/g)	$q_{ave}$ (mmol/g)
		Area	Conc.(M)	Area	Conc. (M)				
4.0E-04	40	5569.2	3.81E-04	5497.1	3.62E-04	1.86E-05	0.0099	7.52E-02	7.60E-02
4.0E-04	40	5569.2	3.81E-04	5483.2	3.62E-04	1.94E-05	0.0101	7.68E-02	
7.0E-04	40	11375.2	7.19E-04	11356.4	6.92E-04	2.67E-05	0.0100	1.07E-01	1.37E-01
7.0E-04	40	11375.2	7.19E-04	11086.8	6.77E-04	4.19E-05	0.0101	1.66E-01	
8.0E-04	40	12770.2	7.97E-04	12706.6	7.69E-04	2.88E-05	0.0104	1.11E-01	1.09E-01
8.0E-04	40	12770.2	7.97E-04	12747.5	7.71E-04	2.65E-05	0.0099	1.07E-01	
2.0E-03	40	2795.4	1.93E-03	2598.3	1.84E-03	9.55E-05	0.0300	1.27E-01	1.21E-01
2.0E-03	40	2795.4	1.93E-03	2619.6	1.85E-03	8.51E-05	0.0299	1.14E-01	
3.0E-03	40	4687.7	2.85E-03	4561.7	2.79E-03	6.10E-05	0.0303	8.06E-02	9.53E-02
3.0E-03	40	4687.7	2.85E-03	4514.6	2.77E-03	8.38E-05	0.0305	1.10E-01	
4.0E-03	40	6812.5	3.88E-03	6519	3.74E-03	1.42E-04	0.0306	1.86E-01	1.74E-01
4.0E-03	40	6812.5	3.88E-03	6559.4	3.76E-03	1.23E-04	0.0301	1.63E-01	
5.0E-03	40	8945.1	4.91E-03	8863.9	4.87E-03	3.93E-05	0.0304	5.17E-02	9.01E-02
5.0E-03	40	8945.1	4.91E-03	8745.5	4.82E-03	9.67E-05	0.0301	1.28E-01	

ตารางที่ ค -1.2 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

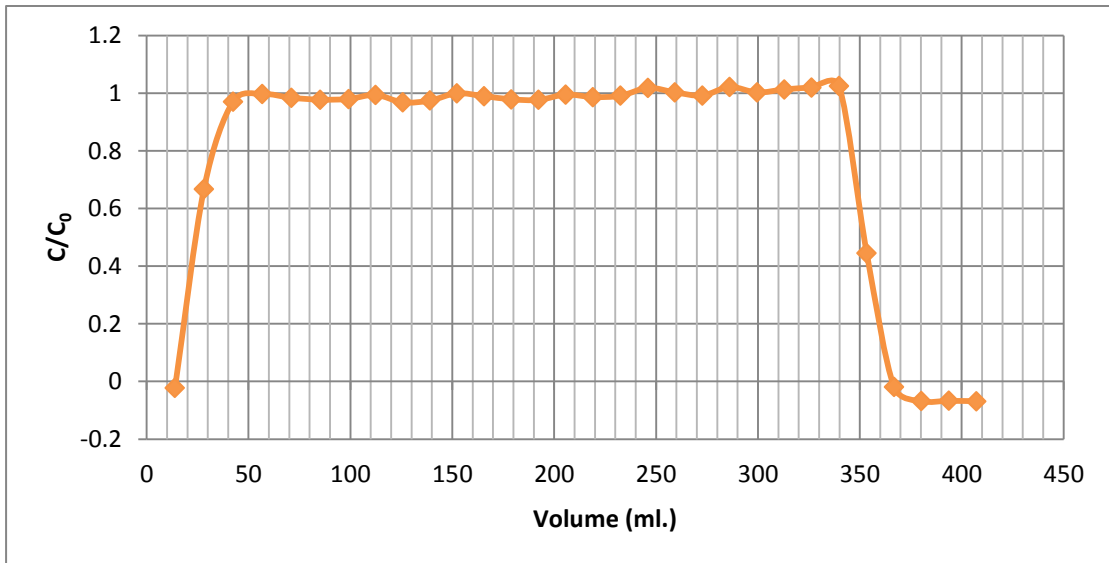
ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (mL)	ความเข้มข้นเริ่มต้น ( $C_i$ )		ความเข้มข้นสมดุล ( $C_{eq}$ )		$C_i - C_{eq}$	$Al_2O_3$ (g)	q (mmol/g)	$q_{ave}$ (mmol/g)
		Area	Conc.(M)	Area	Conc.(M)				
2.0E-05	40	216.9	4.15E-05	166.7	3.83E-05	3.20E-06	0.0101	1.27E-02	4.71E-03
2.0E-05	40	216.9	4.15E-05	203.5	4.06E-05	8.55E-07	0.0105	3.26E-03	
7.0E-05	40	540.2	6.21E-05	423.8	5.47E-05	7.42E-06	0.01	2.97E-02	2.95E-02
7.0E-05	40	540.2	6.21E-05	426.2	5.48E-05	7.27E-06	0.0099	2.94E-02	
1.0E-04	40	873.1	8.33E-05	599	6.59E-05	1.75E-05	0.0102	6.86E-02	6.86E-02
1.0E-04	40	873.1	8.33E-05	237.7	4.28E-05	4.05E-05	0.0101	1.61E-01	
2.0E-04	40	1587.4	1.80E-04	1334.8	1.52E-04	2.76E-05	0.0101	1.09E-01	1.10E-01
2.0E-04	40	1587.4	1.80E-04	1331.5	1.52E-04	2.80E-05	0.0102	1.10E-01	
3.0E-04	40	4170.1	2.94E-04	3556	2.54E-04	3.92E-05	0.0105	1.49E-01	1.36E-01
3.0E-04	40	4170.1	2.94E-04	3672.1	2.62E-04	3.18E-05	0.0103	1.23E-01	
4.0E-04	40	2975.4	3.32E-04	2892.6	3.23E-04	9.06E-06	0.0104	3.48E-02	1.42E-01
4.0E-04	40	2975.4	3.32E-04	2396	2.68E-04	6.34E-05	0.0102	2.49E-01	
6.0E-04	40	5796.1	6.40E-04	5156.2	5.70E-04	7.00E-05	0.0101	2.77E-01	2.20E-01
6.0E-04	40	5796.1	6.40E-04	5421.2	5.99E-04	4.10E-05	0.0101	1.62E-01	



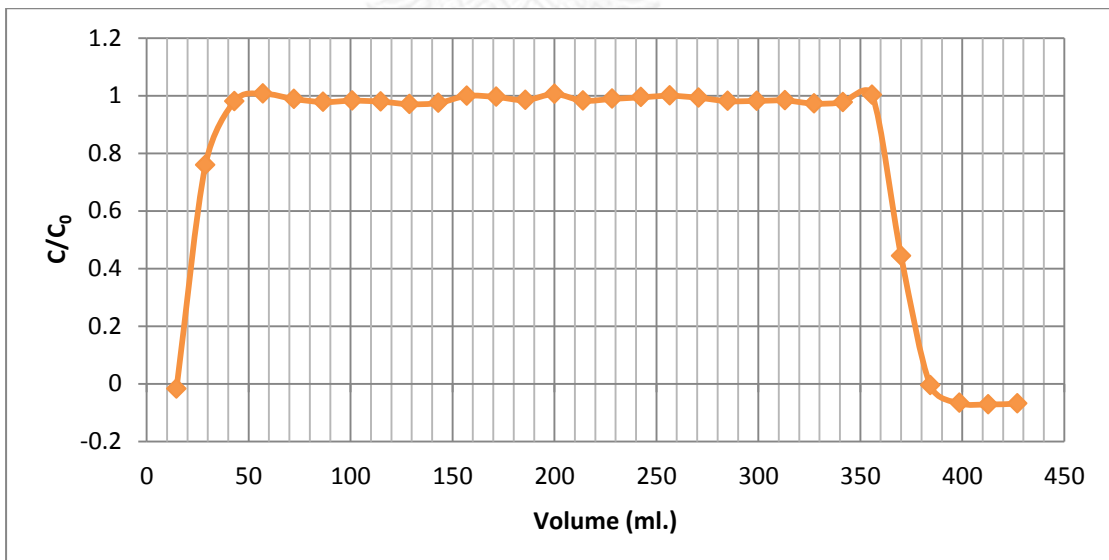
ภาคผนวก ง.

(ง-1) ผลการทดลองการดูดซับสารลดแรงตึงผิวที่อยู่บนตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์กับสารอินทรีย์ โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Adsorbilization study)

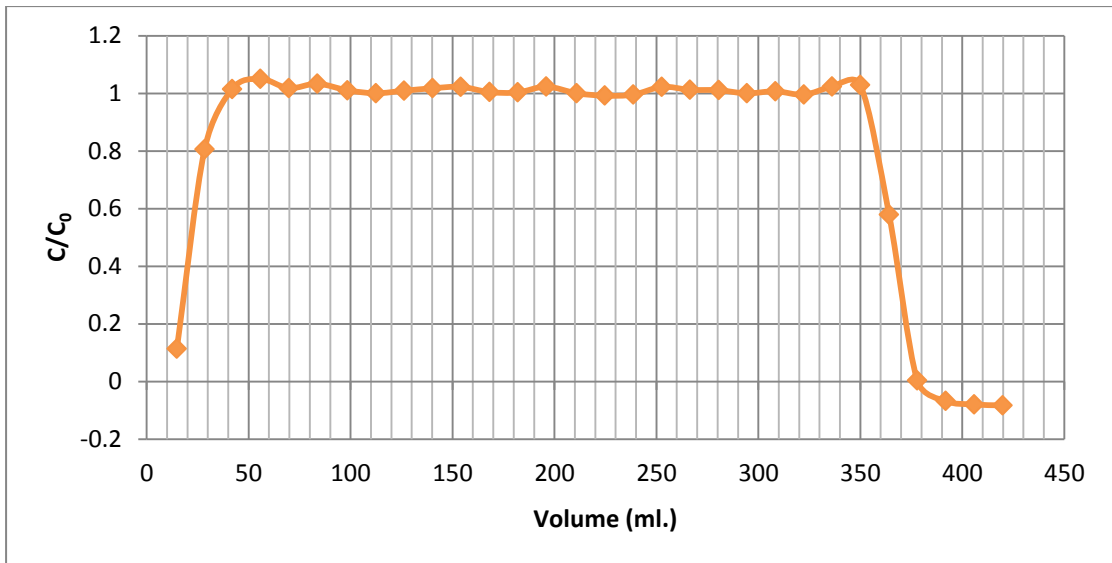
ภาพที่ ง.1 การไหลภายในคอลัมน์ดูดซับที่บรรจุตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณต่างๆ



ภาพที่ ง-1.1 การไหลภายในคอลัมน์ดูดซับที่บรรจุตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม

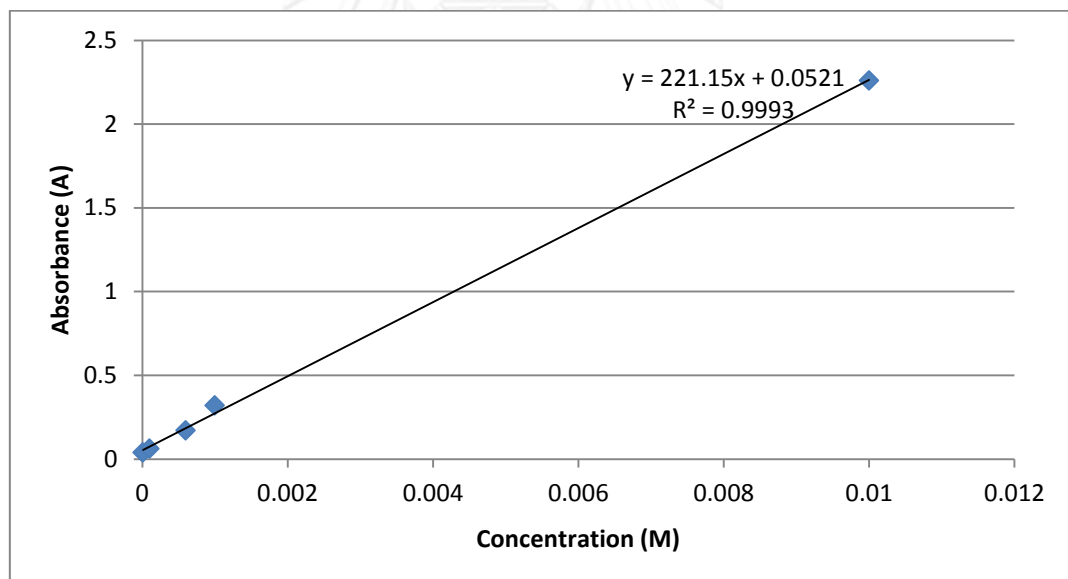


ภาพที่ ง-1.2 การไหลภายในคอลัมน์ดูดซับที่บรรจุตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม

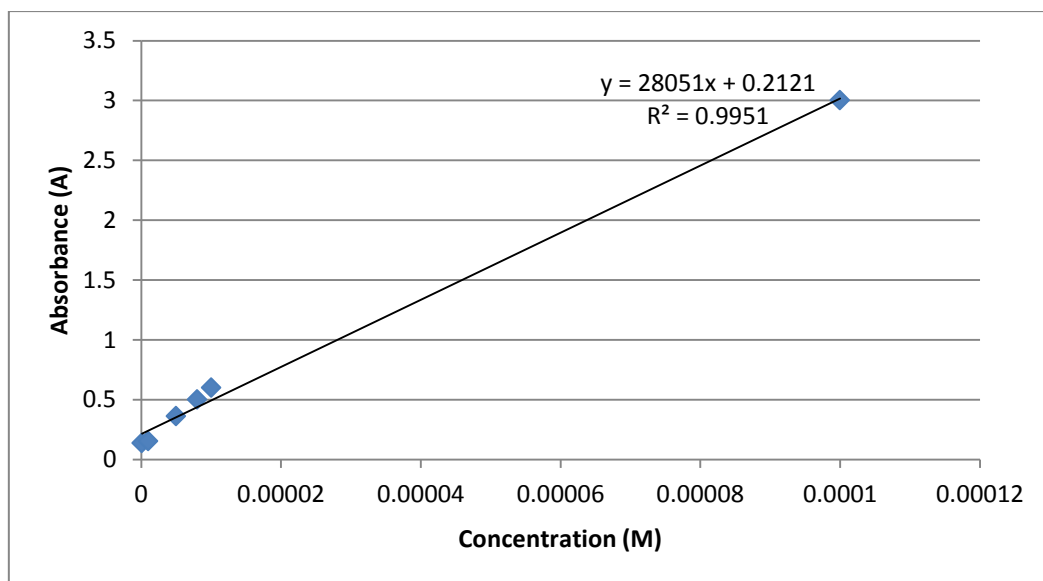


ภาพที่ ง-1.3 การไหลภายในคอลัมน์ดูดซับที่บรรจุตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม

(ง-2) กราฟมาตรฐานของสารอินทรีย์ (Standard curve)



ภาพที่ ง-2.1 กราฟมาตรฐานของสไตรีน



ภาพที่ ง-2.1 กราฟมาตรฐานของพีแนนทริน

ตารางที่ ง -1 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	13.6	ND.	0.000000000	0.000000000	0.539079827
2	10	27.0	522.6	0.000509956	0.363332068	1.070232009
3	15	40.5	1373.9	0.000804467	0.573163818	1.605348014
4	20	54.1	2003.6	0.001022313	0.728374734	2.144427841
5	25	67.6	2589.4	0.001224973	0.872765007	2.679543846
6	30	81.3	2769.9	0.001287418	0.917255352	3.222587495
7	35	95.0	2868.8	0.001321632	0.941632611	3.765631144
8	40	108.7	2895.6	0.001330904	0.948238380	4.308674794
9	45	122.3	2908.8	0.001335471	0.951491967	4.847754621
10	50	136.0	2925.1	0.001341110	0.955509655	5.390798270
11	55	148.7	2938.8	0.001345849	0.958886484	5.894203696
12	60	162.3	2953.6	0.001350969	0.962534446	6.433283523
13	65	176.0	2968.8	0.001356228	0.966281002	6.976327173
14	70	189.6	3023.2	0.001375048	0.979689726	7.515407000
15	75	203.3	3008.8	0.001370066	0.976140358	8.058450649
16	80	217.0	3015.9	0.001372522	0.977890394	8.601494298
17	85	230.6	3068.8	0.001390823	0.990929392	9.140574125
18	90	244.3	3106.8	0.001403969	1.000295781	9.683617774
19	95	258.1	3105.0	0.001403347	0.999852110	10.23062525
20	100	271.9	3105.2	0.001403416	0.999901406	10.77763272
21	105	285.5	3058.8	0.001387364	0.988464553	11.31671254
22	110	299.1	3064.0	0.001389163	0.989746269	11.85579237
23	115	312.8	3068.8	0.001390823	0.990929392	12.39883602
24	120	326.5	3147.4	0.001418015	1.010303027	12.94187967
25	125	340.2	3168.8	0.001425419	1.015577783	13.48492332
26	130	353.9	3168.8	0.001425419	1.015577783	14.02796697
27	135	367.7	3172.9	0.001426837	1.016588367	14.57497444
28	140	381.5	3168.8	0.001425419	1.015577783	15.12198191
29	145	395.2	3184.6	0.001430885	1.019472229	15.66502556
30	150	409.0	3169.5	0.001425661	1.015750322	16.21203303
31	155	422.7	3168.8	0.001425419	1.015577783	16.75507668
32	160	436.4	3177.9	0.001428567	1.017820786	17.29812033

ตารางที่ ง -1 (ต่อ)ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
33	165	450.0	3208.8	0.001439257	1.025437139	17.83720016
34	170	463.7	3213.6	0.001440917	1.026620262	18.38024381
35	175	477.5	3202.8	0.001437181	1.023958236	18.92725128
36	180	491.1	3199.1	0.001435901	1.023046245	19.46633110
37	185	504.8	3218.8	0.001442716	1.027901978	20.00937475
38	190	518.5	3215.3	0.001441505	1.027039285	20.55241840
39	195	532.1	3220.1	0.001443166	1.028222407	21.09149823
40	200	545.7	3206.0	0.001438288	1.024746984	21.63057806
41	205	559.5	3222.0	0.001443823	1.028690727	22.17758553
42	210	573.2	3223.5	0.001444342	1.029060453	22.72062918
43	215	586.9	3221.3	0.001443581	1.028518188	23.26367283
44	220	600.6	3205.4	0.001438080	1.024599094	23.80671648
45	225	614.3	3199.0	0.001435866	1.023021597	24.34976013
46	230	627.9	3204.6	0.001437804	1.024401907	24.88883995
47	235	641.5	3211.3	0.001440122	1.026053349	25.42791978
48	240	655.1	3200.0	0.001436212	1.023268081	25.96699961

ตารางที่ ง -2 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	13.8	ND.	0.000000000	0.000000000	0.637864911
2	10	27.4	123.5	0.000371886	0.265555984	1.266485404
3	15	41.1	686.0	0.000566485	0.404514867	1.899728106
4	20	54.9	1418.7	0.000819965	0.585519620	2.537593017
5	25	68.6	1895.6	0.000984950	0.703332049	3.170835719
6	30	82.3	2000.0	0.001021068	0.729122817	3.804078421
7	35	96.1	2599.6	0.001228502	0.877246811	4.441943332
8	40	109.7	2738.2	0.001276451	0.911486280	5.070563824
9	45	123.5	2699.6	0.001263097	0.901950612	5.708428736
10	50	137.2	2663.9	0.001250747	0.893131355	6.341671438
11	55	150.9	2799.6	0.001297692	0.926654414	6.974914139
12	60	164.5	2805.7	0.001299803	0.928161345	7.603534632
13	65	178.2	2849.6	0.001314990	0.939006314	8.236777334
14	70	191.8	2879.3	0.001325265	0.946343343	8.865397826
15	75	205.5	2899.6	0.001332288	0.951358215	9.498640528
16	80	219.2	2932.7	0.001343739	0.959535173	10.13188323
17	85	232.9	2933.6	0.001344050	0.959757507	10.76512593
18	90	246.6	2933.3	0.001343946	0.959683396	11.39836863
19	95	260.3	2949.6	0.001349586	0.963710116	12.03161134
20	100	274.0	2959.6	0.001353045	0.966180496	12.66485404
21	105	287.7	2982.6	0.001361002	0.971862370	13.29809674
22	110	301.5	3007.2	0.001369512	0.977939505	13.93596165
23	115	315.4	2999.6	0.001366883	0.976062016	14.57844877
24	120	329.1	2996.4	0.001365776	0.975271495	15.21169147
25	125	342.7	3009.6	0.001370343	0.978532397	15.84031197
26	130	356.5	3026.4	0.001376155	0.982682635	16.47817688
27	135	370.1	3029.6	0.001377262	0.983473157	17.10679737
28	140	383.9	3043.4	0.001382036	0.986882281	17.74466228
29	145	397.7	3066.6	0.001390062	0.992613563	18.38252719
30	150	411.4	3083.5	0.001395909	0.996788506	19.01576989
31	155	425.2	3049.6	0.001384181	0.988413917	19.65363480
32	160	438.9	3040.0	0.001380860	0.986042352	20.28687751

ตารางที่ ง -2 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
33	165	452.6	3082.6	0.001395597	0.996566172	20.92012021
34	170	466.3	3097.1	0.001400614	1.000148223	21.55336291
35	175	480.1	3096.6	0.001400441	1.000024704	22.19122782
36	180	493.8	3097.1	0.001400614	1.000148223	22.82447052
37	185	507.5	3079.6	0.001394559	0.995825058	23.45771323
38	190	521.3	3076.6	0.001393522	0.995083944	24.09557814
39	195	535.0	3075.8	0.001393245	0.994886313	24.72882084
40	200	548.8	3076.6	0.001393522	0.995083944	25.36668575
41	205	562.4	3078.0	0.001394006	0.995429797	25.99530624
42	210	576.1	3077.6	0.001393868	0.995330982	26.62854894
43	215	589.8	3079.6	0.001394559	0.995825058	27.26179165
44	220	603.4	3078.5	0.001394179	0.995553316	27.89041214
45	225	617.2	3079.6	0.001394559	0.995825058	28.52827705
46	230	631.0	3091.6	0.001398711	0.998789514	29.16614196
47	235	644.7	3101.3	0.001402067	1.001185782	29.79938466
48	240	658.3	3107.6	0.001404246	1.002742122	30.42800516
49	245	672.0	3115.6	0.001407014	1.004718426	31.06124786
50	250	685.8	3122.8	0.001409505	1.006497100	31.69911277
51	255	699.4	3109.6	0.001404938	1.003236198	32.32773326
52	260	713.2	3098.6	0.001401133	1.000518780	32.96559817
53	265	726.9	3083.4	0.001395874	0.996763802	33.59884087
54	270	740.6	3084.6	0.001396289	0.997060248	34.23208358
55	275	754.2	3078.6	0.001394214	0.995578020	34.86070407
56	280	767.9	3075.6	0.001393176	0.994836906	35.49394677
57	285	781.5	3081.6	0.001395251	0.996319134	36.12256726
58	290	795.2	3094.6	0.001399749	0.999530628	36.75580996
59	295	808.9	3098.9	0.001401236	1.000592891	37.38905267
60	300	822.6	3097.6	0.001400787	1.000271742	38.02229537
61	305	836.3	3088.6	0.001397673	0.998048400	38.65553807
62	310	850.0	3084.2	0.001396151	0.996961432	39.28878077
63	315	863.7	3071.6	0.001391792	0.993848753	39.92202347
64	320	877.4	3045.6	0.001382797	0.987425765	40.55526618

ตารางที่ ง -2 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
65	325	891.2	3037.9	0.001380133	0.985523572	41.19313109
66	330	905.1	3074.6	0.001392830	0.994589867	41.83561821
67	335	918.8	3098.6	0.001401133	1.000518780	42.46886091
68	340	932.4	3102.1	0.001402343	1.001383413	43.09748140
69	345	946.2	3104.6	0.001403208	1.002001008	43.73534631
70	350	959.8	3111.6	0.001405630	1.003730274	44.36396681
71	355	973.6	3119.0	0.001408190	1.005558355	45.00183172
72	360	987.4	3117.6	0.001407706	1.005212502	45.63969663



ตารางที่ ง -3 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	13.0	ND.	0.000000000	0.000000000	0.577397815
2	10	26.6	365.2	0.000455503	0.317461436	1.181444759
3	15	40.3	974.9	0.000666431	0.464466918	1.789933225
4	20	53.9	1240.5	0.000758316	0.528506045	2.393980170
5	25	67.4	1385.7	0.000808549	0.563515387	2.993585593
6	30	81.1	1460.8	0.000834530	0.581622836	3.602074059
7	35	94.8	1544.2	0.000863382	0.601731508	4.210562525
8	40	108.5	1628.1	0.000892408	0.621960736	4.819050991
9	45	122.1	1663.4	0.000904620	0.630471960	5.423097936
10	50	135.8	1776.6	0.000943782	0.657765745	6.031586402
11	55	148.5	1797.0	0.000950839	0.662684413	6.595659651
12	60	162.1	1845.3	0.000967549	0.674330082	7.199706596
13	65	175.8	1884.2	0.000981007	0.683709307	7.808195062
14	70	189.4	1917.2	0.000992423	0.691665975	8.412242007
15	75	203.1	1907.5	0.000989067	0.689327197	9.020730473
16	80	216.8	1972.1	0.001011416	0.704902979	9.629218939
17	85	230.4	2009.5	0.001024355	0.713920537	10.23326588
18	90	244.1	2015.3	0.001026361	0.715318981	10.84175435
19	95	257.9	2080.7	0.001048986	0.731087652	11.45468434
20	100	271.7	2107.1	0.001058120	0.737452987	12.06761433
21	105	285.3	2042.2	0.001035667	0.721804872	12.67166127
22	110	298.9	2120.6	0.001062790	0.740707988	13.27570821
23	115	312.6	2177.2	0.001082371	0.754354880	13.88419668
24	120	326.3	2144.4	0.001071024	0.746446434	14.49268515
25	125	340.0	2127.5	0.001065177	0.742371655	15.10117361
26	130	353.7	2193.9	0.001088148	0.758381437	15.70966208
27	135	367.5	2220.5	0.001097351	0.764794994	16.32259207
28	140	381.3	2191.9	0.001087457	0.757899214	16.93552205
29	145	395.0	2234.6	0.001102229	0.768194662	17.54401052
30	150	408.8	2264.2	0.001112469	0.775331552	18.15694051
31	155	422.5	2222.3	0.001097974	0.765228994	18.76542897
32	160	436.2	2328.2	0.001134610	0.790762667	19.37391744

ตารางที่ ง -3 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
33	165	449.8	2234.0	0.001102021	0.768049995	19.97796439
34	170	463.5	2238.6	0.001103613	0.769159106	20.58645285
35	175	477.3	2322.4	0.001132603	0.789364222	21.19938284
36	180	490.9	2260.6	0.001111224	0.774463552	21.80342978
37	185	504.6	2257.8	0.001110255	0.773788441	22.41191825
38	190	518.3	2306.1	0.001126964	0.785434110	23.02040672
39	195	531.9	2321.4	0.001132258	0.789123111	23.62445366
40	200	545.5	2328.1	0.001134575	0.790738556	24.22850061
41	205	559.3	2389.3	0.001155748	0.805494560	24.84143059
42	210	573.0	2379.8	0.001152461	0.803204004	25.44991906
43	215	586.7	2359.5	0.001145438	0.798309447	26.05840753
44	220	600.4	2414.8	0.001164570	0.811642895	26.66689599
45	225	614.1	2404.0	0.001160833	0.809038894	27.27538446
46	230	627.7	2494.0	0.001191969	0.830738900	27.87943140
47	235	641.3	2454.0	0.001178131	0.821094453	28.48347835
48	240	654.9	2488.1	0.001189928	0.829316344	29.08752529
49	245	668.5	2559.0	0.001214456	0.846411126	29.69157224
50	250	683.1	2571.9	0.001218919	0.849521460	30.34003440
51	255	696.7	2554.0	0.001212726	0.845205570	30.94408134
52	260	710.4	2546.8	0.001210235	0.843469570	31.55256981
53	265	724.0	2698.0	0.001262544	0.879925579	32.15661675
54	270	737.6	2610.0	0.001232100	0.858707796	32.76066370
55	275	751.1	2685.0	0.001258046	0.876791134	33.36026912
56	280	764.6	2676.1	0.001254967	0.874645244	33.95987454
57	285	778.3	2654.0	0.001247322	0.869316687	34.56836301
58	290	791.9	2607.4	0.001231200	0.858080907	35.17240995
59	295	805.7	2698.0	0.001262544	0.879925579	35.78533994
60	300	819.4	2674.5	0.001254414	0.874259466	36.39382841
61	305	832.8	2785.0	0.001292642	0.900902251	36.98899231
62	310	846.7	2730.4	0.001273753	0.887737581	37.60636382
63	315	860.6	2730.0	0.001273614	0.887641136	38.22373533
64	320	874.3	2722.3	0.001270950	0.885784580	38.83222379

ตารางที่ ง -3 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดบนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
65	325	888.1	2722.3	0.001270950	0.885784580	39.44515378
66	330	901.9	2793.3	0.001295513	0.902903473	40.05808377
67	335	915.8	2843.0	0.001312707	0.914886699	40.67545528
68	340	929.6	2840.4	0.001311807	0.914259810	41.28838527
69	345	943.5	2859.0	0.001318242	0.918744477	41.90575678
70	350	957.3	2824.3	0.001306238	0.910377920	42.51868676
71	355	971.2	2890.0	0.001328967	0.926218924	43.13605827
72	360	983.8	2900.2	0.001332495	0.928678258	43.69569000
73	365	997.1	2990.0	0.001363562	0.950330041	44.28641238
74	370	1011.0	3100.0	0.001401617	0.976852270	44.90378389
75	375	1024.9	3151.9	0.001419572	0.989365940	45.52115540
76	380	1038.8	3251.0	0.001453856	1.013260057	46.13852691
77	385	1052.7	3252.0	0.001454202	1.013501168	46.75589842
78	390	1066.5	3223.6	0.001444377	1.006653611	47.36882841
79	395	1080.3	3261.0	0.001457315	1.015671169	47.98175839
80	400	1094.2	3225.0	0.001444861	1.006991167	48.59912990
81	405	1108.0	3210.8	0.001439949	1.003567388	49.21205989
82	410	1121.9	3252.0	0.001454202	1.013501168	49.82943140
83	415	1135.8	3282.0	0.001464580	1.020734503	50.44680291
84	420	1149.6	3283.0	0.001464926	1.020975615	51.05973290
85	425	1163.4	3233.0	0.001447629	1.008920056	51.67266289
86	430	1177.2	3295.0	0.001469078	1.023868949	52.28559287
87	435	1191.1	3229.9	0.001446556	1.008172611	52.90296438
88	440	1204.9	3199.0	0.001435866	1.000722276	53.51589437
89	445	1218.9	3189.0	0.001432407	0.998311164	54.13770740
90	450	1232.6	3200.0	0.001436212	1.000963387	54.74619587
91	455	1246.4	3206.0	0.001438288	1.002410054	55.35912586
92	460	1260.2	3175.0	0.001427563	0.994935608	55.97205584
93	465	1274.0	3152.0	0.001419607	0.989390051	56.58498583
94	470	1287.9	3170.0	0.001425834	0.993730052	57.20235734
95	475	1301.7	3150.0	0.001418915	0.988907829	57.81528733
96	480	1315.6	3200.0	0.001436212	1.000963387	58.43265884

ตารางที่ ง -4 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมกับโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 บนพื้นผิวอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	13.0	ND.	0.000000000	0.000000000	0.526821524
2	10	26.6	1302.5	0.000148690	0.123158424	1.077957888
3	15	40.3	3032.6	0.000338004	0.279964834	1.633146725
4	20	53.9	5563.3	0.000614922	0.509333067	2.184283088
5	25	67.4	7000.0	0.000772131	0.639547372	2.731366979
6	30	81.1	9281.5	0.001021781	0.846329537	3.286555815
7	35	94.8	10445.4	0.001149139	0.951818804	3.841744652
8	40	108.5	10646.2	0.001171111	0.970018172	4.396933489
9	45	122.1	10663.4	0.001172993	0.971577082	4.948069853
10	50	135.8	10694.5	0.001176396	0.974395809	5.503258690
11	55	148.5	10800.3	0.001187973	0.983984918	6.017922794
12	60	162.1	10800.4	0.001187984	0.983993982	6.569059158
13	65	175.8	10813.4	0.001189407	0.985172228	7.124247995
14	70	189.4	10846.3	0.001193007	0.988154096	7.675384358
15	75	203.1	10813.4	0.001189407	0.985172228	8.230573195
16	80	216.8	10832.6	0.001191508	0.986912406	8.785762032
17	85	230.4	10845.4	0.001192908	0.988072526	9.336898396
18	90	244.1	10861.7	0.001194692	0.989549865	9.892087233
19	95	257.9	10891.4	0.001197942	0.992241704	10.45132854
20	100	271.7	10902.3	0.001199134	0.993229617	11.01056985
21	105	285.3	10912.4	0.001200240	0.994145024	11.56170622
22	110	298.9	10915.0	0.001200524	0.994380673	12.11284258
23	115	312.6	10928.4	0.001201990	0.995595173	12.66803142
24	120	326.3	10929.9	0.001202154	0.995731124	13.22322025
25	125	340.0	10933.4	0.001202537	0.996048344	13.77840909
26	130	353.7	10938.6	0.001203106	0.996519643	14.33359793
27	135	367.5	10933.4	0.001202537	0.996048344	14.89283924
28	140	381.3	10931.7	0.001202351	0.995894266	15.45208055
29	145	395.0	10940.4	0.001203303	0.996682784	16.00726938
30	150	408.8	10952.9	0.001204671	0.997815713	16.56651070
31	155	422.5	10962.0	0.001205667	0.998640485	17.12169953

ตารางที่ ง -4 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
32	160	436.2	10965.0	0.001205995	0.998912388	17.67688837
33	165	449.8	10983.4	0.001208009	1.000580060	18.22802473
34	170	463.5	10995.7	0.001209355	1.001694861	18.78321357
35	175	477.3	11010.9	0.001211018	1.003072503	19.34245488
36	180	490.9	10979.4	0.001207571	1.000217522	19.89359124
37	185	504.6	10993.4	0.001209103	1.001486403	20.44878008
38	190	518.3	10994.7	0.001209245	1.001604227	21.00396892
39	195	531.9	10983.4	0.001208009	1.000580060	21.55510528
40	200	545.5	10969.1	0.001206444	0.999283989	22.10624164
41	205	559.3	10973.4	0.001206914	0.999673717	22.66548295
42	210	573.0	10992.3	0.001208982	1.001386705	23.22067179
43	215	586.7	10983.4	0.001208009	1.000580060	23.77586063
44	220	600.4	10990.8	0.001208818	1.001250753	24.33104947
45	225	614.1	10978.4	0.001207462	1.000126888	24.88623830
46	230	627.7	10970.4	0.001206586	0.999401814	25.43737467
47	235	641.3	10991.4	0.001208884	1.001305134	25.98851103
48	240	654.9	10989.8	0.001208709	1.001160119	26.53964739

ตารางที่ 5 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	13.9	0.0	0.000000000	0.000000000	0.642487121
2	10	27.5	681.0	8.06835E-05	0.066702248	1.271107613
3	15	41.2	1636.3	0.000185216	0.153120717	1.904350315
4	20	55.0	3743.2	0.000415760	0.343715370	2.542215226
5	25	68.7	5856.2	0.000646972	0.534861842	3.175457928
6	30	82.4	7906.4	0.000871312	0.720327292	3.808700630
7	35	96.2	9999.3	0.001100325	0.909655475	4.446565541
8	40	109.8	10202.5	0.001122560	0.928037379	5.075186034
9	45	123.6	10295.2	0.001132703	0.936423218	5.713050945
10	50	137.3	10310.1	0.001134334	0.937771104	6.346293647
11	55	151.0	10394.0	0.001143514	0.945360876	6.979536349
12	60	164.6	10430.1	0.001147465	0.948626559	7.608156841
13	65	178.3	10471.7	0.001152017	0.952389783	8.241399543
14	70	191.9	10495.0	0.001154566	0.954497551	8.870020035
15	75	205.6	10524.0	0.001157739	0.957120952	9.503262737
16	80	219.3	10551.4	0.001160738	0.959599615	10.13650544
17	85	233.0	10592.0	0.001165180	0.963272377	10.76974814
18	90	246.7	10615.8	0.001167785	0.965425376	11.40299084
19	95	260.4	10667.3	0.001173420	0.970084175	12.03623354
20	100	274.1	10673.5	0.001174098	0.970645040	12.66947625
21	105	287.8	10686.9	0.001175565	0.971857233	13.30271895
22	110	301.6	10694.7	0.001176418	0.972562837	13.94058386
23	115	315.5	10726.7	0.001179920	0.975457625	14.58307098
24	120	329.2	10751.1	0.001182590	0.977664901	15.21631368
25	125	342.8	10743.9	0.001181802	0.977013574	15.84493417
26	130	356.6	10740.8	0.001181462	0.976733141	16.48279909
27	135	370.2	10749.3	0.001182393	0.977502069	17.11141958
28	140	384.0	10754.5	0.001182962	0.977972472	17.74928449
29	145	397.8	10788.0	0.001186627	0.981002954	18.38714940
30	150	411.5	10826.4	0.001190829	0.984476699	19.02039210
31	155	425.3	10849.0	0.001193302	0.986521143	19.65825701

ตารางที่ ง -5 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
32	160	439.0	10861.3	0.001194648	0.987633827	20.29149972
33	165	452.7	10849.0	0.001193302	0.986521143	20.92474242
34	170	466.4	10857.7	0.001194254	0.987308164	21.55798512
35	175	480.2	10897.0	0.001198554	0.990863325	22.19585003
36	180	493.9	10914.0	0.001200415	0.992401181	22.82909273
37	185	507.6	10894.0	0.001198226	0.990591939	23.46233543
38	190	521.4	10898.1	0.001198675	0.990962834	24.10020035
39	195	535.1	10874.0	0.001196038	0.988782696	24.73344305
40	200	548.9	10879.9	0.001196683	0.989316423	25.37130796
41	205	562.5	10871.7	0.001195786	0.988574634	25.99992845
42	210	576.2	10864.1	0.001194954	0.987887121	26.63317115
43	215	589.9	10873.7	0.001196005	0.988755558	27.26641386
44	220	603.5	10908.6	0.001199824	0.991912686	27.89503435
45	225	617.3	10913.2	0.001200327	0.992328812	28.53289926
46	230	631.1	10907.7	0.001199725	0.991831270	29.17076417
47	235	644.8	10893.7	0.001198193	0.990564800	29.80400687
48	240	658.4	10897.3	0.001198587	0.990890464	30.43262736
49	245	672.1	10927.3	0.001201870	0.993604328	31.06587007
50	250	685.9	10940.9	0.001203358	0.994834613	31.70373498
51	255	699.5	10942.9	0.001203577	0.995015537	32.33235547
52	260	713.3	10925.7	0.001201695	0.993459588	32.97022038
53	265	727.0	10920.0	0.001201071	0.992943954	33.60346308
54	270	740.7	10926.9	0.001201826	0.993568143	34.23670579
55	275	754.3	10914.9	0.001200513	0.992482597	34.86532628
56	280	768.0	10926.0	0.001201728	0.993486727	35.49856898
57	285	781.6	10918.7	0.001200929	0.992826353	36.12718947
58	290	795.3	10938.0	0.001203041	0.994572272	36.76043217
59	295	809.0	10953.8	0.001204770	0.996001574	37.39367488
60	300	822.7	10951.6	0.001204529	0.995802557	38.02691758
61	305	836.4	10949.4	0.001204288	0.995603541	38.66016028
62	310	850.1	10974.0	0.001206980	0.997828909	39.29340298

ตารางที่ ง -5 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
63	315	863.8	11060.0	0.001216390	1.005608652	39.92664568
64	320	877.5	11045.9	0.001214848	1.004333136	40.55988838
65	325	891.3	11071.7	0.001217671	1.006667059	41.19775330
66	330	905.2	11104.3	0.001221238	1.009616124	41.84024042
67	335	918.9	11072.7	0.001217780	1.006757521	42.47348312
68	340	932.5	11070.9	0.001217583	1.006594689	43.10210361
69	345	946.3	11043.9	0.001214629	1.004152212	43.73996852
70	350	959.9	11059.9	0.001216380	1.005599606	44.36858902
71	355	973.7	11072.9	0.001217802	1.006775613	45.00645393
72	360	987.5	11091.6	0.001219848	1.008467255	45.64431884



ตารางที่ ง -6 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาท)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	13.9	0.0	0.0000000000	0.0000000000	0.640198222
2	10	27.5	609.8	0.0000728925	0.060244995	1.266579216
3	15	41.2	1080.1	0.0001243540	0.102777790	1.897565952
4	20	55.0	2663.6	0.0002976270	0.245985702	2.533158432
5	25	68.7	4702.3	0.0005207080	0.430360801	3.164145168
6	30	82.4	6777.4	0.0007477730	0.618027828	3.795131905
7	35	96.2	7879.3	0.0008683470	0.717681000	4.430724384
8	40	109.8	9927.8	0.0010925010	0.902942387	5.057105378
9	45	123.6	9987.6	0.0010990450	0.908350554	5.692697857
10	50	137.3	10368.1	0.0011406800	0.942762054	6.323684594
11	55	151.0	10394.9	0.0011436130	0.945185781	6.954671331
12	60	164.6	10415.3	0.0011458450	0.947030708	7.581052325
13	65	178.3	10489.6	0.0011539750	0.953750220	8.212039061
14	70	191.9	10558.4	0.0011615040	0.959972326	8.838420055
15	75	205.6	10572.9	0.0011630900	0.961283671	9.469406792
16	80	219.3	10590.1	0.0011649720	0.962839197	10.10039353
17	85	233.0	10612.3	0.0011674020	0.964846912	10.73138027
18	90	246.7	10620.0	0.0011682440	0.965543281	11.36236700
19	95	260.4	10664.6	0.0011731240	0.969576797	11.99335374
20	100	274.1	10696.4	0.0011766040	0.972452712	12.62434048
21	105	287.8	10697.5	0.0011767240	0.972552194	13.25532721
22	110	301.6	10698.2	0.0011768010	0.972615500	13.89091969
23	115	315.5	10714.9	0.0011786280	0.974125808	14.53111791
24	120	329.2	10719.6	0.0011791430	0.974550864	15.16210465
25	125	342.8	10712.2	0.0011783330	0.973881626	15.78848564
26	130	356.6	10699.7	0.0011769650	0.972751156	16.42407812
27	135	370.2	10764.6	0.0011840670	0.978620556	17.05045912
28	140	384.0	10784.2	0.0011862110	0.980393132	17.68605160
29	145	397.8	10785.0	0.0011862990	0.980465482	18.32164408
30	150	411.5	10785.6	0.0011863650	0.980519745	18.95263081
31	155	425.3	10777.0	0.0011854240	0.979741982	19.58822329

ตารางที่ ง -6 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
32	160	439.0	10776.0	0.001185314	0.979651544	20.21921003
33	165	452.7	10822.3	0.001190380	0.983838804	20.85019676
34	170	466.4	10848.9	0.001193291	0.986244444	21.48118350
35	175	480.2	10834.9	0.001191759	0.984978318	22.11677598
36	180	493.9	10825.4	0.001190720	0.984119161	22.74776272
37	185	507.6	10819.7	0.001190096	0.983603666	23.37874945
38	190	521.4	10818.4	0.001189954	0.983486097	24.01434193
39	195	535.1	10831.3	0.001191365	0.984652742	24.64532867
40	200	548.9	10842.2	0.001192558	0.985638512	25.28092115
41	205	562.5	10851.3	0.001193554	0.986461494	25.90730214
42	210	576.2	10862.8	0.001194812	0.987501526	26.53828888
43	215	589.9	10822.2	0.001190370	0.983829760	27.16927562
44	220	603.5	10832.0	0.001191442	0.984716049	27.79565661
45	225	617.3	10833.0	0.001191551	0.984806486	28.43124909
46	230	631.1	10866.0	0.001195162	0.987790926	29.06684157
47	235	644.8	10944.9	0.001203796	0.994926452	29.69782830
48	240	658.4	10949.5	0.001204299	0.995342465	30.32420930
49	245	672.1	10968.3	0.001206356	0.997042691	30.95519604
50	250	685.9	10976.3	0.001207232	0.997766192	31.59078851
51	255	699.5	10972.7	0.001206838	0.997440616	32.21716951
52	260	713.3	10969.2	0.001206455	0.997124085	32.85276199
53	265	727.0	10965.3	0.001206028	0.996771378	33.48374872
54	270	740.7	10960.2	0.001205470	0.996310147	34.11473546
55	275	754.3	10969.8	0.001206520	0.997178347	34.74111646
56	280	768.0	10986.4	0.001208337	0.998679611	35.37210319
57	285	781.6	10978.6	0.001207483	0.997974198	35.99848419
58	290	795.3	10998.5	0.001209661	0.999773906	36.62947092
59	295	809.0	11009.2	0.001210832	1.000741588	37.26045766
60	300	822.7	11009.7	0.001210886	1.000786807	37.89144440
61	305	836.4	10986.3	0.001208326	0.998670568	38.52243113
62	310	850.1	10981.6	0.001207812	0.998245511	39.15341787

ตารางที่ ง -6 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
63	315	863.8	10990.9	0.001208829	0.999086580	39.78440461
64	320	877.5	10998.0	0.001209606	0.999728687	40.41539134
65	325	891.3	11022.3	0.001212265	1.001926321	41.05098382
66	330	905.2	11006.0	0.001210482	1.000452188	41.69118204
67	335	918.9	11004.9	0.001210361	1.000352707	42.32216878
68	340	932.5	10991.8	0.001208928	0.999167974	42.94854977
69	345	946.3	10999.8	0.001209803	0.999891475	43.58414225
70	350	959.9	10971.3	0.001206685	0.997314004	44.21052325
71	355	973.7	10979.2	0.001207549	0.998028461	44.84611573
72	360	987.5	10972.1	0.001206772	0.997386354	45.48170821
73	365	1001.3	10976.3	0.001207232	0.997766192	46.11730069
74	370	1015.2	10985.3	0.001208217	0.998580130	46.75749891
75	375	1028.9	10982.1	0.001207866	0.998290730	47.38848564
76	380	1042.5	10978.3	0.001207451	0.997947067	48.01486664
77	385	1056.3	10979.2	0.001207549	0.998028461	48.65045912
78	390	1069.9	10980.8	0.001207724	0.998173161	49.27684011
79	395	1083.7	10981.0	0.001207746	0.998191248	49.91243259
80	400	1097.5	10987.3	0.001208435	0.998761005	50.54802507
81	405	1111.2	10985.4	0.001208227	0.998589174	51.17901181
82	410	1125.0	10988.3	0.001208545	0.998851443	51.81460429
83	415	1138.7	10994.9	0.001209267	0.999448331	52.44559102
84	420	1152.4	10990.5	0.001208786	0.999050405	53.07657776
85	425	1166.1	10988.3	0.001208545	0.998851443	53.70756449
86	430	1179.9	10969.8	0.001206520	0.997178347	54.34315697
87	435	1193.6	10967.5	0.001206269	0.996970341	54.97414371
88	440	1207.3	10965.6	0.001206061	0.996798510	55.60513045
89	445	1221.1	10953.2	0.001204704	0.995677084	56.24072293
90	450	1234.8	10942.4	0.001203522	0.994700358	56.87170966
91	455	1248.6	11018.3	0.001211828	1.001564570	57.50730214

ตารางที่ ง -6 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด ที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์ (ออกทานอล) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 บนพื้นผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม โดยการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Area	ความเข้มข้น (M.)		
92	460	1262.2	11036.2	0.001213786	1.003183403	58.13368314
93	465	1275.9	11042.5	0.001214476	1.003753160	58.76466987
94	470	1289.6	11021.9	0.001212221	1.001890145	59.39565661
95	475	1303.2	11011.3	0.001211062	1.000931507	60.02203760
96	480	1316.9	11000.2	0.001209847	0.999927650	60.65302434
97	485	1330.7	11018.3	0.001211828	1.001564570	61.28861682
98	490	1344.4	11018.3	0.001211828	1.001564570	61.91960356
99	495	1358.1	10962.5	0.001205722	0.996518153	62.55059029

ตารางที่ ง -7 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	13.9	0.000	0.000000000	0.000000000	0.548669507
2	10	27.4	0.026	0.000000000	0.000000000	1.081549964
3	15	41.1	0.279	0.001026000	0.327937563	1.622324946
4	20	54.9	0.450	0.001799231	0.575083104	2.167047190
5	25	68.6	0.579	0.002382546	0.761526232	2.707822172
6	30	82.3	0.698	0.002920642	0.933516404	3.248597154
7	35	96.2	0.680	0.002839249	0.907501084	3.797266661
8	40	109.9	0.744	0.003128646	1.000000000	4.338041643
9	45	123.8	0.787	0.003323084	1.062147709	4.886711150
10	50	137.6	0.774	0.003264300	1.043358867	5.431433395
11	55	151.3	0.830	0.003517522	1.124295418	5.972208377
12	60	165.0	0.783	0.003304997	1.056366527	6.512983359
13	65	179.0	0.774	0.003264300	1.043358867	7.065600129
14	70	192.9	0.762	0.003210038	1.026015320	7.614269636
15	75	206.6	0.760	0.003200995	1.023124729	8.155044618
16	80	219.4	0.772	0.003255257	1.040468276	8.660294236
17	85	233.3	0.763	0.003214560	1.027460616	9.208963743
18	90	247.4	0.774	0.003264300	1.043358867	9.765527776
19	95	261.5	0.755	0.003178386	1.015898251	10.32209181
20	100	275.4	0.785	0.003314040	1.059257118	10.87076132
21	105	285.1	0.750	0.003155777	1.008671773	11.25364579
22	110	299.3	0.773	0.003259778	1.041913571	11.81415709
23	115	313.5	0.753	0.003169342	1.013007660	12.37466838
24	120	327.7	0.795	0.003359258	1.073710074	12.93517968
25	125	341.9	0.771	0.003345693	1.069374187	13.49569097
26	130	356.0	0.784	0.003250735	1.039022980	14.05225500
27	135	370.1	0.793	0.003309518	1.057811823	14.60881904
28	140	384.2	0.793	0.003350215	1.070819483	15.16538307
29	145	398.4	0.760	0.003350215	1.070819483	15.72589436
30	150	412.8	0.785	0.003200995	1.023124729	16.29430018
31	155	427.0	0.796	0.003314040	1.059257118	16.85481148

ตารางที่ ง -7 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
32	160	441.2	0.792	0.003363780	1.075155369	17.41532278
33	165	455.4	0.750	0.003155777	1.008671773	17.97583407
34	170	469.7	0.807	0.003413520	1.091053620	18.54029263
35	175	484.0	0.781	0.003295953	1.053475936	19.10475119
36	180	498.2	0.748	0.003146733	1.005781182	19.66526248
37	185	512.4	0.832	0.003526566	1.127186010	20.22577378
38	190	526.8	0.782	0.003300475	1.054921231	20.79417960
39	195	540.9	0.746	0.003137689	1.002890591	21.35074363
40	200	555.1	0.788	0.003327606	1.063593005	21.91125492
41	205	569.2	0.788	0.003327606	1.063593005	22.46781896
42	210	583.6	0.733	0.003078906	0.984101749	23.03622478
43	215	598.0	0.777	0.003277866	1.047694754	23.60463060
44	220	612.2	0.790	0.003336649	1.066483596	24.16514189
45	225	626.5	0.762	0.003210038	1.026015320	24.72960045
46	230	640.6	0.767	0.003232648	1.033241798	25.28616448
47	235	655.1	0.772	0.003255257	1.040468276	25.85851757
48	240	669.4	0.812	0.003436129	1.098280098	26.42297612
49	245	683.6	0.776	0.003273344	1.046249458	26.98348742
50	250	698.0	0.762	0.003210038	1.026015320	27.55189324
51	255	712.3	0.744	0.003128646	1.000000000	28.11635180
52	260	726.7	0.790	0.003336649	1.066483596	28.68475762
53	265	741.0	0.755	0.003178386	1.015898251	29.24921617
54	270	755.4	0.778	0.003282388	1.049140049	29.81762200
55	275	769.7	0.760	0.003200995	1.023124729	30.38208055
56	280	783.9	0.728	0.003056297	0.976875271	30.94259185
57	285	798.4	0.715	0.002997513	0.958086429	31.51494493
58	290	812.9	0.730	0.003065340	0.979765862	32.08729801
59	295	827.4	0.738	0.003101515	0.991328227	32.65965110
60	300	841.8	0.772	0.003255257	1.040468276	33.22805692
61	305	856.2	0.758	0.003191951	1.020234138	33.79646274
62	310	870.7	0.754	0.003173864	1.014452956	34.36881582

ตารางที่ ง -7 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
63	315	884.8	0.753	0.003169342	1.013007660	34.92537985
64	320	899.1	0.760	0.003200995	1.023124729	35.48983841
65	325	913.5	0.758	0.003191951	1.020234138	36.05824423
66	330	927.8	0.779	0.003286909	1.050585345	36.62270279
67	335	942.2	0.782	0.003300475	1.054921231	37.19110861
68	340	956.5	0.767	0.003232648	1.033241798	37.75556717
69	345	970.8	0.745	0.003133168	1.001445296	38.32002573
70	350	985.2	0.751	0.003160298	1.010117069	38.88843155
71	355	999.6	0.745	0.003133168	1.001445296	39.45683737
72	360	1014.0	0.767	0.003232648	1.033241798	40.02524319

ตารางที่ ง -8 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิว  
 ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิดพิดเกาะอยู่ โดยทำ  
 การทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่  
 อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	14.1	0.000	0.000000000	0.000000000	0.585551908
2	10	27.9	0.000	0.000000000	0.000000000	1.158645264
3	15	41.8	0.000	0.000000000	0.000000000	1.735891471
4	20	55.7	0.000	0.000000000	0.000000000	2.313137678
5	25	69.6	0.000	0.000000000	0.000000000	2.890383886
6	30	83.5	0.127	0.000338684	0.109840153	3.467630093
7	35	97.3	0.184	0.000596428	0.193430122	4.040723449
8	40	111.5	0.254	0.000912955	0.296084470	4.630428207
9	45	125.4	0.345	0.001324440	0.429535122	5.207674414
10	50	139.2	0.373	0.001451051	0.470596862	5.780767771
11	55	153.1	0.422	0.001672620	0.542454905	6.358013978
12	60	167.0	0.430	0.001708795	0.554186831	6.935260185
13	65	181.1	0.489	0.001975582	0.640709781	7.520812093
14	70	195.1	0.501	0.002029844	0.658307670	8.102211150
15	75	208.9	0.491	0.001984626	0.643642763	8.675304507
16	80	222.8	0.498	0.002016279	0.653908198	9.252550714
17	85	236.7	0.513	0.002084106	0.675905558	9.829796921
18	90	250.7	0.519	0.002111237	0.684704502	10.41119598
19	95	264.8	0.539	0.002201673	0.714034316	10.99674789
20	100	278.7	0.568	0.002332806	0.756562546	11.57399409
21	105	293.6	0.533	0.002174542	0.705235372	12.19276880
22	110	307.4	0.507	0.002056975	0.667106614	12.76586216
23	115	321.3	0.510	0.002070540	0.671506086	13.34310837
24	120	335.2	0.503	0.002038888	0.661240651	13.92035458
25	125	349.0	0.542	0.002215239	0.718433788	14.49344793
26	130	362.8	0.520	0.002115759	0.686170993	15.06654129
27	135	376.7	0.536	0.002188108	0.709634844	15.64378750
28	140	390.7	0.531	0.002165499	0.702302390	16.22518655
29	145	404.6	0.508	0.002061497	0.668573105	16.80243276
30	150	418.5	0.516	0.002097671	0.680305030	17.37967897
31	155	432.4	0.516	0.002097671	0.680305030	17.95692517



ตารางที่ ง -8 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
32	160	446.4	0.507	0.002056975	0.667106614	18.53832423
33	165	460.4	0.503	0.002038888	0.661240651	19.11972329
34	170	474.2	0.512	0.002079584	0.674439067	19.69281665
35	175	488.4	0.494	0.001998191	0.648042235	20.28252140
36	180	502.3	0.477	0.001921320	0.623111893	20.85976761
37	185	516.2	0.473	0.001903233	0.617245930	21.43701382
38	190	530.2	0.498	0.002016279	0.653908198	22.01841287
39	195	544.1	0.541	0.002210717	0.716967297	22.59565908
40	200	558.1	0.574	0.002359937	0.765361490	23.17705814
41	205	572.2	0.648	0.002694551	0.873881801	23.76261005
42	210	586.2	0.675	0.002816640	0.913477049	24.34400910
43	215	600.0	0.640	0.002658377	0.957471770	24.91710246
44	220	614.0	0.705	0.002952295	0.957471770	25.49850152
45	225	628.0	0.726	0.003047253	0.988268074	26.07990058
46	230	642.1	0.740	0.003110558	1.008798944	26.66545248
47	235	656.4	0.748	0.003146733	1.020530870	27.25931009
48	240	670.2	0.747	0.003142211	1.019064379	27.83240345
49	245	684.4	0.749	0.003151255	1.021997360	28.42210821
50	250	698.6	0.735	0.003087949	1.001466491	29.01181297
51	255	712.7	0.744	0.003128646	1.014664907	29.59736487
52	260	726.7	0.749	0.003151255	1.021997360	30.17876393
53	265	740.9	0.748	0.003146733	1.020530870	30.76846869
54	270	755.1	0.742	0.003119602	1.011731926	31.35817345

ตารางที่ ง -9 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	13.9	0.000	0.000000000	0.000000000	0.617371509
2	10	27.7	0.000	0.000000000	0.000000000	1.230301497
3	15	41.6	0.000	0.000000000	0.000000000	1.847673007
4	20	55.5	0.000	0.000000000	0.000000000	2.465044516
5	25	69.4	0.062	0.000044766	0.014287776	3.082416026
6	30	83.3	0.156	0.000469817	0.149949488	3.699787535
7	35	97.2	0.192	0.000632602	0.201905037	4.317159045
8	40	111.1	0.236	0.000831562	0.265406264	4.934530554
9	45	124.9	0.278	0.001021479	0.326021071	5.547460542
10	50	138.7	0.302	0.001130002	0.360658104	6.160390530
11	55	152.6	0.374	0.001455573	0.464569202	6.777762039
12	60	166.4	0.395	0.001550531	0.494876606	7.390692027
13	65	180.3	0.459	0.001839928	0.587242026	8.008063536
14	70	194.2	0.484	0.001952973	0.623322269	8.625435046
15	75	208.0	0.456	0.001826362	0.582912397	9.238365034
16	80	222.1	0.501	0.002029844	0.647856834	9.864619586
17	85	236.1	0.532	0.002170020	0.692596334	10.48643262
18	90	250.2	0.587	0.002418720	0.771972868	11.11268717
19	95	264.0	0.600	0.002477504	0.790734594	11.72561716
20	100	278.1	0.622	0.002576984	0.822485207	12.35187171
21	105	292.1	0.634	0.002631246	0.839803723	12.97368474
22	110	306.0	0.626	0.002595071	0.828258046	13.59105625
23	115	320.1	0.654	0.002721682	0.868667917	14.21731080
24	120	334.1	0.652	0.002712638	0.865781498	14.83912384
25	125	348.3	0.700	0.002929686	0.935055564	15.46981991
26	130	362.4	0.687	0.002870902	0.916293837	16.09607446
27	135	376.5	0.731	0.003069862	0.979795064	16.72232902
28	140	390.7	0.737	0.003096993	0.988454322	17.35302509
29	145	404.7	0.658	0.002739769	0.874440756	17.97483812
30	150	418.8	0.666	0.002775944	0.885986434	18.60109267
31	155	432.8	0.713	0.002988469	0.953817290	19.22290570
32	160	446.8	0.714	0.002992991	0.955260499	19.84471874

ตารางที่ ง -9 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
33	165	460.8	0.729	0.003060818	0.976908645	20.46653177
34	170	474.9	0.754	0.003173864	1.012988887	21.09278632
35	175	489.1	0.753	0.003169342	1.011545678	21.72348239
36	180	502.7	0.686	0.002866380	0.914850628	22.32752934
37	185	516.6	0.695	0.002907077	0.927839515	22.94490085
38	190	530.5	0.695	0.002907077	0.927839515	23.56227236
39	195	545.3	0.755	0.003178386	1.014432097	24.21961756
40	200	559.3	0.776	0.003273344	1.044739501	24.84143059
41	205	573.2	0.777	0.003277866	1.046182710	25.45880210
42	210	587.1	0.756	0.003182908	1.015875307	26.07617361
43	215	600.8	0.731	0.003069862	0.979795064	26.68466208
44	220	614.7	0.757	0.003187429	1.017318516	27.30203359
45	225	628.7	0.748	0.003146733	1.004329629	27.92384662
46	230	642.6	0.745	0.003133168	1.000000000	28.54121813
47	235	656.6	0.772	0.003255257	1.038966662	29.16303116
48	240	670.6	0.766	0.003228126	1.030307404	29.78484419
49	245	684.6	0.767	0.003232648	1.031750613	30.40665722
50	250	698.6	0.767	0.003232648	1.031750613	31.02847025
51	255	712.6	0.767	0.003232648	1.031750613	31.65028328

ตารางที่ ง -10 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิว  
 ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิง  
 เกอร์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0  
 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	14.1	0.000	0.000000000	0.000000000	0.571398730
2	10	27.9	0.000	0.000000000	0.000000000	1.130640040
3	15	41.8	0.000	0.000000000	0.000000000	1.693933824
4	20	55.7	0.106	0.000243726	0.076682316	2.257227607
5	25	69.6	0.271	0.000989826	0.311424100	2.82052139
6	30	83.5	0.413	0.001631924	0.513444302	3.383815174
7	35	97.4	0.483	0.001948451	0.613031726	3.947108957
8	40	111.3	0.506	0.002052453	0.645753308	4.510402741
9	45	125.1	0.569	0.002337328	0.735381989	5.069644051
10	50	138.9	0.612	0.002531766	0.796557121	5.628885361
11	55	152.8	0.616	0.002549853	0.80224783	6.192179144
12	60	166.6	0.654	0.002721682	0.856309575	6.751420454
13	65	180.5	0.699	0.002925164	0.920330061	7.314714238
14	70	194.4	0.686	0.002866380	0.901835254	7.878008021
15	75	208.2	0.643	0.002671942	0.840660122	8.437249331
16	80	222.3	0.639	0.002653855	0.834969412	9.008648061
17	85	236.3	0.658	0.002739769	0.862000285	9.575994318
18	90	250.4	0.673	0.002807597	0.883340447	10.14739305
19	95	264.2	0.671	0.002798553	0.880495092	10.70663436
20	100	278.3	0.703	0.002943251	0.926020771	11.27803309
21	105	292.3	0.715	0.002997513	0.943092901	11.84537934
22	110	306.2	0.702	0.002938729	0.924598094	12.40867313
23	115	320.3	0.727	0.003051775	0.960165031	12.98007186
24	120	334.3	0.744	0.003128646	0.984350548	13.54741811
25	125	348.5	0.748	0.003146733	0.990041258	14.12286932
26	130	362.6	0.736	0.003092471	0.972969128	14.69426805
27	135	376.7	0.764	0.003219082	1.012804097	15.26566678
28	140	390.9	0.757	0.003187429	1.002845355	15.84111798
29	145	404.9	0.701	0.002934208	0.923175416	16.40846424
30	150	419.0	0.679	0.002834728	0.891876512	16.97986297
31	155	433.0	0.717	0.003006557	0.945938256	17.54720922

ตารางที่ ง -10 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
32	165	447.0	0.713	0.002988469	0.940247546	18.11455548
33	170	461.0	0.741	0.003115080	0.980082515	18.68190174
34	175	475.1	0.740	0.003110558	0.978659838	19.25330047
35	180	489.3	0.707	0.002961338	0.931711481	19.82875167
36	185	502.9	0.701	0.002934208	0.923175416	20.37988803
37	190	516.8	0.679	0.002834728	0.891876512	20.94318182
38	195	530.7	0.717	0.003006557	0.945938256	21.5064756
39	200	545.5	0.713	0.002988469	0.940247546	22.10624164
40	205	559.5	0.741	0.003115080	0.980082515	22.6735879
41	210	573.4	0.740	0.003110558	0.978659838	23.23688168
42	215	587.3	0.707	0.002961338	0.931711481	23.80017547
43	220	601.0	0.788	0.003327606	1.046948357	24.35536430
44	225	614.9	0.797	0.003368302	1.059752454	24.91865809
45	230	628.9	0.779	0.003286909	1.034144259	25.48600434
46	235	642.8	0.777	0.003277866	1.031298905	26.04929813
47	240	656.8	0.785	0.00331404	1.042680324	26.61664438

ตารางที่ ง -11 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิทชนิดที่ผสมโมเลกุลลิงเกอร์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	13.6	0.073	0.000000000	0.000000000	0.565202857
2	10	27.2	0.042	0.000000000	0.000000000	1.130405713
3	15	40.7	0.147	0.000429121	0.131095455	1.691452667
4	20	54.1	0.247	0.000881302	0.269236082	2.248343717
5	25	68.0	0.337	0.001288266	0.393562647	2.826014284
6	30	81.9	0.410	0.001618359	0.494405305	3.403684850
7	35	95.7	0.466	0.001871580	0.571764056	3.977199514
8	40	109.9	0.532	0.002170020	0.662936870	4.567337791
9	45	123.8	0.578	0.002378024	0.726481558	5.145008358
10	50	137.6	0.644	0.002676464	0.817654372	5.718523021
11	55	151.5	0.646	0.002685508	0.820417185	6.296193588
12	60	165.4	0.699	0.002925164	0.893631717	6.873864155
13	65	179.5	0.713	0.002988469	0.912971405	7.459846528
14	70	193.5	0.752	0.003164820	0.966846249	8.041672998
15	75	207.3	0.782	0.003300475	1.008288438	8.615187662
16	80	221.2	0.790	0.003336649	1.019339688	9.192858229
17	85	235.1	0.830	0.003517522	1.074595939	9.770528796
18	90	249.1	0.834	0.003535609	1.080121564	10.35235527
19	95	263.2	0.792	0.003345693	1.022102500	10.93833764
20	100	277.1	0.824	0.003490391	1.066307501	11.51600821
21	105	292.0	0.827	0.003503957	1.070451720	12.13523781
22	110	305.8	0.841	0.003567262	1.089791408	12.70875247
23	115	319.7	0.844	0.003580827	1.093935626	13.28642304
24	120	333.6	0.874	0.003716482	1.135377815	13.86409360
25	125	347.4	0.882	0.003752657	1.146429065	14.43760827
26	130	361.2	0.796	0.003363780	1.027628125	15.01112293
27	135	375.1	0.789	0.003332128	1.017958282	15.58879350
28	140	389.1	0.798	0.003372824	1.030390938	16.17061997
29	145	403.0	0.795	0.003359258	1.026246719	16.74829053
30	150	416.9	0.767	0.003232648	0.987567344	17.32596110
31	155	430.8	0.778	0.003282388	1.002762813	17.90363167

ตารางที่ ง -11 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
32	160	444.8	0.773	0.003259778	0.995855781	18.48545814
33	165	458.8	0.772	0.003255257	0.994474375	19.06728461
34	170	472.6	0.774	0.003264300	0.997237187	19.64079927
35	175	486.8	0.758	0.003191951	0.975134687	20.23093755
36	180	500.7	0.788	0.003327606	1.016576875	20.80860812
37	185	514.6	0.794	0.003354737	1.024865313	21.38627868
38	190	528.6	0.794	0.003354737	1.024865313	21.96810515
39	195	542.5	0.795	0.003359258	1.026246719	22.54577572
40	200	556.5	0.790	0.003336649	1.019339688	23.12760219
41	205	570.6	0.793	0.003350215	1.023483907	23.71358456
42	210	584.6	0.773	0.003259778	0.995855781	24.29541103
43	215	598.4	0.794	0.003354737	1.024865313	24.86892570
44	220	612.4	0.794	0.003354737	1.024865313	25.45075217
45	225	626.4	0.794	0.003354737	1.024865313	26.03257864
46	230	640.5	0.796	0.003363780	1.027628125	26.61856101
47	235	654.8	0.792	0.003345693	1.022102500	27.21285519
48	240	668.6	0.770	0.003246213	0.991711562	27.78636985
49	245	682.8	0.775	0.003268822	0.998618594	28.37650813
50	250	697.0	0.783	0.003304997	1.009669844	28.96664641
51	255	711.1	0.775	0.003268822	0.998618594	29.55262878
52	260	725.1	0.769	0.003241691	0.990330156	30.13445525
53	265	739.3	0.781	0.003295953	1.006907031	30.72459353
54	270	753.5	0.768	0.003237169	0.988948750	31.31473181
55	275	767.7	0.790	0.003336649	1.019339688	31.90487008
56	280	781.6	0.782	0.003300475	1.008288438	32.48254065
57	285	795.5	0.789	0.003332128	1.017958282	33.06021122
58	290	809.5	0.789	0.003332128	1.017958282	33.64203769
59	295	823.4	0.787	0.003323084	1.015195469	34.21970825
60	300	837.4	0.792	0.003345693	1.022102500	34.80153472
61	305	851.5	0.773	0.003259778	0.995855781	35.38751710
62	310	865.5	0.773	0.003259778	0.995855781	35.96934357

ตารางที่ ง -11 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
63	315	879.3	0.768	0.003237169	0.988948750	36.54285823
64	320	893.3	0.775	0.003268822	0.998618594	37.12468470
65	325	907.3	0.770	0.003246213	0.991711562	37.70651117
66	330	921.4	0.785	0.003314040	1.012432656	38.29249354
67	335	935.7	0.779	0.003286909	1.004144219	38.88678772
68	340	949.5	0.761	0.003205517	0.979278906	39.46030239
69	345	963.7	0.776	0.003273344	1.000000000	40.05044066
70	350	977.9	0.778	0.003282388	1.002762813	40.64057894
71	355	992.0	0.785	0.003314040	1.012432656	41.22656131
72	360	1006.0	0.785	0.003314040	1.012432656	41.80838779



ตารางที่ ง -12 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิว  
 ตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิง  
 เกอร์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0  
 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	13.9	0.000	0.0000000000	0.000000000	0.620513945
2	10	27.7	0.000	0.0000000000	0.000000000	1.236563761
3	15	41.6	0.000	0.0000000000	0.000000000	1.857077706
4	20	55.5	0.000	0.0000000000	0.000000000	2.477591651
5	25	69.4	0.000	0.0000000000	0.000000000	3.098105596
6	30	83.3	0.000	0.0000000000	0.000000000	3.718619541
7	35	97.2	0.000	0.0000000000	0.000000000	4.339133486
8	40	111.1	0.001	0.0000000000	0.000000000	4.959647431
9	45	124.9	0.046	0.0000000000	0.000000000	5.575697247
10	50	138.7	0.064	0.0000538096	0.017199017	6.191747063
11	55	152.6	0.125	0.000329641	0.105362047	6.812261008
12	60	166.4	0.143	0.000411033	0.131377367	7.428310824
13	65	180.3	0.196	0.000650690	0.207978032	8.048824769
14	70	194.2	0.179	0.000573819	0.183408007	8.669338714
15	75	208.0	0.202	0.000677820	0.216649805	9.285388530
16	80	222.1	0.273	0.000998870	0.319265790	9.914830733
17	85	236.1	0.282	0.001039566	0.332273450	10.53980881
18	90	250.2	0.314	0.001184264	0.378522908	11.16925101
19	95	264	0.402	0.001582184	0.505708917	11.78530083
20	100	278.1	0.408	0.001609315	0.514380691	12.41474303
21	105	292.1	0.395	0.001550531	0.495591849	13.03972110
22	110	306	0.409	0.001613837	0.515825986	13.66023505
23	115	320.1	0.404	0.001591228	0.508599509	14.28967725
24	120	334.1	0.433	0.00172236	0.550513080	14.91465533
25	125	348.3	0.462	0.001853493	0.592426651	15.54856166
26	130	362.4	0.468	0.001880624	0.601098425	16.17800386
27	135	376.5	0.531	0.002165499	0.692152045	16.80744607
28	140	390.7	0.530	0.002160977	0.690706750	17.44135240
29	145	404.7	0.479	0.001930364	0.616996676	18.06633047
30	150	418.8	0.483	0.001948451	0.622777858	18.69577268

ตารางที่ ง -12 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
31	155	432.8	0.521	0.002120280	0.677699089	19.32075075
32	160	446.8	0.534	0.002179064	0.696487932	19.94572882
33	165	460.8	0.527	0.002147411	0.686370863	20.57070690
34	170	474.9	0.573	0.002355415	0.752854459	21.20014910
35	175	489.1	0.580	0.002387068	0.762971528	21.83405543
36	180	502.7	0.572	0.002350893	0.751409163	22.44117699
37	185	516.6	0.578	0.002378024	0.760080937	23.06169094
38	190	530.5	0.588	0.002423242	0.774533892	23.68220488
39	195	545.3	0.610	0.002522722	0.806330395	24.34289599
40	200	559.3	0.662	0.002757857	0.881485764	24.96787406
41	205	573.2	0.623	0.002581506	0.825119237	25.58838801
42	210	587.1	0.611	0.002527244	0.807775690	26.20890195
43	215	600.8	0.581	0.002391589	0.764416823	26.82048764
44	220	614.7	0.624	0.002586028	0.826564532	27.44100158
45	225	628.7	0.652	0.002712638	0.867032808	28.06597966
46	230	642.6	0.637	0.002644811	0.845353375	28.68649360
47	235	656.6	0.639	0.002653855	0.848243966	29.31147168
48	240	670.6	0.665	0.002771422	0.885821651	29.93644975
49	245	698.6	0.656	0.002730726	0.872813990	30.56142783
50	250	712.6	0.643	0.002671942	0.854025148	31.18640590
51	255	726.4	0.689	0.002879946	0.920508744	31.81138397
52	260	740.5	0.660	0.002748813	0.878595173	32.42743379
53	265	754.5	0.682	0.002848293	0.910391675	33.05687599
54	270	768.4	0.709	0.002970382	0.949414655	33.68185407
55	275	782.5	0.736	0.003092471	0.988437635	34.30236801
56	280	796.5	0.710	0.002974904	0.950859951	34.93181022
57	285	810.7	0.708	0.002965860	0.947969360	35.55678829
58	290	824.8	0.680	0.002839249	0.907501084	36.19069462
59	295	838.9	0.708	0.002965860	0.947969360	36.82013683
60	300	853.1	0.744	0.003128646	1.000000000	37.44957903
61	305	867.1	0.733	0.003078906	0.984101749	38.08348536

ตารางที่ ง -12 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
62	310	867.1	0.762	0.003210038	1.026015320	38.70846344
63	315	881.2	0.743	0.003124124	0.998554704	39.33790564
64	320	895.2	0.708	0.002965860	0.947969360	39.96288371
65	325	909.2	0.681	0.002843771	0.908946380	40.58786179
66	330	923.2	0.747	0.003142211	1.004335887	41.21283986
67	335	937.3	0.746	0.003137689	1.002890591	41.84228206
68	340	951.5	0.790	0.003336649	1.066483596	42.47618840
69	345	965.1	0.776	0.003273344	1.046249458	43.08330995
70	350	979.0	0.810	0.003427086	1.095389507	43.70382390
71	355	992.9	0.774	0.003264300	1.043358867	44.32433784
72	360	1006.8	0.771	0.003250735	1.039022980	44.94485179
73	365	1020.7	0.777	0.003277866	1.047694754	45.56536573
74	370	1034.6	0.810	0.003427086	1.095389507	46.18587968
75	375	1048.5	0.795	0.003359258	1.073710074	46.80639362
76	380	1062.3	0.758	0.003191951	1.020234138	47.42244344
77	385	1076.1	0.801	0.003386389	1.082381847	48.03849326
78	390	1090.0	0.810	0.003427086	1.095389507	48.65900720
79	395	1103.8	0.810	0.003427086	1.095389507	49.27505702
80	400	1117.7	0.798	0.003372824	1.078045960	49.89557096
81	405	1131.6	0.796	0.003363780	1.075155369	50.51608491
82	410	1145.4	0.809	0.003422564	1.093944212	51.13213472
83	415	1159.5	0.806	0.003408998	1.089608325	51.76157693
84	420	1173.5	0.808	0.003418042	1.092498916	52.38655500
85	425	1187.6	0.803	0.003395433	1.085272438	53.01599720
86	430	1201.4	0.773	0.003259778	1.041913571	53.63204702
87	435	1215.5	0.799	0.003377346	1.079491256	54.26148922
88	440	1229.5	0.777	0.003277866	1.047694754	54.88646730
89	445	1243.4	0.787	0.003323084	1.062147709	55.50698124
90	450	1257.4	0.808	0.003418042	1.092498916	56.13195932

ตารางที่ ง -12 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (สไตรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
91	455	1271.4	0.803	0.003395433	1.085272438	56.75693739
92	460	1285.4	0.796	0.003363780	1.075155369	57.38191547
93	465	1299.2	0.787	0.003323084	1.062147709	57.99796528
94	470	1313.3	0.795	0.003359258	1.073710074	58.62740748
95	475	1327.3	0.796	0.003363780	1.075155369	59.25238556
96	480	1341.2	0.776	0.003273344	1.046249458	59.87289950

ตารางที่ ง -13 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	14.1	0.368	5.55773E-06	0.530452535	0.558898938
2	10	27.9	0.188	0.00000000	0.000000000	1.105906410
3	15	41.8	0.171	0.00000000	0.000000000	1.656877703
4	20	55.7	0.183	0.00000000	0.000000000	2.207848997
5	25	69.6	0.196	0.00000000	0.000000000	2.758820291
6	30	83.5	0.241	1.03027E-06	0.098332766	3.309791585
7	35	97.4	0.240	9.94617E-07	0.094930248	3.860762878
8	40	111.3	0.247	1.24416E-06	0.118747873	4.411734172
9	45	125.1	0.262	1.7789E-06	0.169785641	4.958741644
10	50	138.9	0.270	2.0641E-06	0.197005784	5.505749115
11	55	152.8	0.273	2.17105E-06	0.207213338	6.056720409
12	60	166.6	0.283	2.52754E-06	0.241238517	6.603727880
13	65	180.5	0.292	2.84838E-06	0.271861177	7.154699174
14	70	194.4	0.296	2.99098E-06	0.285471249	7.705670468
15	75	208.2	0.304	3.27618E-06	0.312691392	8.252677939
24	120	334.3	0.374	5.77163E-06	0.550867642	13.25105781
25	125	348.5	0.372	5.70033E-06	0.544062606	13.81392057
26	130	362.6	0.378	5.91423E-06	0.564477714	14.37281950
27	135	376.7	0.377	5.87858E-06	0.561075196	14.93171844
28	140	390.9	0.378	5.91423E-06	0.564477714	15.49458120
29	145	404.9	0.374	5.77163E-06	0.550867642	16.04951632
30	150	419.0	0.377	5.87858E-06	0.561075196	16.60841526
31	155	433.0	0.387	6.23507E-06	0.595100374	17.16335037
32	160	447.0	0.387	6.23507E-06	0.595100374	17.71828549
33	165	461.0	0.388	6.27072E-06	0.598502892	18.27322061
34	170	475.1	0.393	6.44897E-06	0.615515481	18.83211954
35	175	489.3	0.394	6.48462E-06	0.618917999	19.39498230
36	180	502.9	0.398	6.62721E-06	0.632528071	19.93406213
37	185	516.8	0.39	6.34202E-06	0.605307928	20.48503343
38	190	530.7	0.395	6.52027E-06	0.622320517	21.03600472
39	195	545.5	0.397	6.59157E-06	0.629125553	21.62265041

ตารางที่ ง -13 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล์ฟทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดชนิดเดียวเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
40	200	559.5	0.397	6.59157E-06	0.629125553	22.17758553
41	205	573.4	0.392	6.41332E-06	0.612112964	22.72855682
42	210	587.3	0.391	6.37767E-06	0.608710446	23.27952812
43	215	601.0	0.398	6.62721E-06	0.632528071	23.82257177
44	220	614.9	0.391	6.37767E-06	0.608710446	24.37354306
45	225	628.9	0.397	6.59157E-06	0.629125553	24.92847818
46	230	642.8	0.405	6.87676E-06	0.656345696	25.47944947
47	235	656.8	0.408	6.98371E-06	0.666553249	26.03438459
48	240	670.8	0.405	6.87676E-06	0.656345696	26.58931970
49	245	684.7	0.405	6.87676E-06	0.656345696	27.14029099
50	250	698.6	0.406	6.91241E-06	0.659748214	27.69126229
51	255	712.5	0.411	7.09066E-06	0.676760803	28.24223358
52	260	726.4	0.439	8.08884E-06	0.772031303	28.79320488
53	265	740.3	0.435	7.94624E-06	0.758421232	29.34417617
54	270	754.1	0.438	8.05319E-06	0.768628785	29.89118364
55	275	767.9	0.435	7.94624E-06	0.758421232	30.43819111
56	280	781.8	0.439	8.08884E-06	0.772031303	30.98916241
57	285	795.6	0.435	7.94624E-06	0.758421232	31.53616988
58	290	809.5	0.447	8.37403E-06	0.799251446	32.08714117
59	295	823.4	0.443	8.23144E-06	0.785641375	32.63811247
60	300	837.2	0.446	8.33838E-06	0.795848928	33.18511994
61	305	851.3	0.448	8.40968E-06	0.802653964	33.74401888
62	310	865.3	0.448	8.40968E-06	0.802653964	34.29895399
63	315	879.4	0.447	8.37403E-06	0.799251446	34.85785293
64	320	893.2	0.447	8.37403E-06	0.799251446	35.40486040
65	325	907.3	0.445	8.30273E-06	0.79244641	35.96375934
66	330	921.3	0.445	8.30273E-06	0.79244641	36.51869446
67	335	935.2	0.444	8.26708E-06	0.789043892	37.06966575
68	340	949.3	0.443	8.23144E-06	0.785641375	37.62856469

ตารางที่ ง -13 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล์ฟทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
69	345	963.3	0.446	8.33838E-06	0.795848928	38.18349980
70	350	977.5	0.442	8.19579E-06	0.782238857	38.74636256
71	355	991.6	0.462	8.90877E-06	0.850289214	39.30526150
72	360	1005.7	0.460	8.83747E-06	0.843484178	39.86416044
73	365	1019.9	0.467	9.08702E-06	0.867301803	40.42702320
74	370	1033.9	0.479	9.51481E-06	0.908132018	40.98195832
75	375	1048.0	0.479	9.51481E-06	0.908132018	41.54085726
76	380	1062.0	0.490	9.90696E-06	0.945559714	42.09579237
77	385	1075.9	0.501	1.02991E-05	0.982987411	42.64676366
78	390	1089.8	0.500	1.02634E-05	0.979584893	43.19773496
79	395	1103.7	0.505	1.04417E-05	0.996597482	43.74870625
80	400	1117.6	0.507	1.0513E-05	1.003402518	44.29967755
81	405	1131.5	0.509	1.05843E-05	1.010207554	44.85064884
82	410	1145.3	0.501	1.02991E-05	0.982987411	45.39765631
83	415	1159.1	0.509	1.05843E-05	1.010207554	45.94466378
84	420	1173.0	0.508	1.05486E-05	1.006805036	46.49563508
85	425	1186.8	0.502	1.03347E-05	0.986389929	47.04264255
86	430	1200.7	0.501	1.02991E-05	0.982987411	47.59361384
87	435	1214.6	0.500	1.02634E-05	0.979584893	48.14458514
88	440	1228.4	0.504	1.0406E-05	0.993194964	48.69159261
89	445	1242.5	0.502	1.03347E-05	0.986389929	49.25049155
90	450	1256.5	0.505	1.04417E-05	0.996597482	49.80542666

ตารางที่ ง -13 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนานทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
91	455	1270.6	0.504	1.0406E-05	0.993194964	50.36432560
92	460	1284.4	0.501	1.02991E-05	0.982987411	50.91133307
93	465	1298.5	0.508	1.05486E-05	1.006805036	51.47023201
94	470	1312.5	0.500	1.02634E-05	0.979584893	52.02516713
95	475	1326.4	0.506	1.04773E-05	1.000000000	52.57613842
96	480	1340.5	0.502	1.03347E-05	0.986389929	53.13503736
97	485	1354.5	0.508	1.05486E-05	1.006805036	53.68997247
98	490	1368.7	0.504	1.0406E-05	0.993194964	54.25283523
99	495	1382.8	0.502	1.03347E-05	0.986389929	54.81173417
100	500	1396.9	0.501	1.02991E-05	0.982987411	55.37063311
101	505	1411.1	0.503	1.03704E-05	0.989792446	55.93349587
102	510	1425.1	0.507	1.0513E-05	1.003402518	56.48843099



ตารางที่ ง -14 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแวนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	14.1	0.362	5.06189E-06	0.519003650	0.651731540
2	10	27.9	0.204	1.75292E-06	0.179729440	1.289596451
3	15	41.8	0.127	1.40317E-07	0.014386944	1.932083572
4	20	55.7	0.128	1.6126E-07	0.016534250	2.574570693
5	25	69.6	0.126	1.19374E-07	0.012239639	3.217057813
6	30	83.5	0.124	7.74885E-08	0.007945029	3.859544934
7	35	97.3	0.125	9.84314E-08	0.010092334	4.497409845
8	40	111.5	0.119	0.00000000	0.000000000	5.153763595
9	45	125.4	0.115	0.00000000	0.000000000	5.796250716
10	50	139.2	0.120	0.00000000	0.000000000	6.434115627
11	55	153.1	0.120	0.00000000	0.000000000	7.076602748
12	60	167.0	0.112	0.00000000	0.000000000	7.719089868
13	65	181.1	0.126	1.19374E-07	0.012239639	8.370821408
14	70	195.1	0.122	3.56028E-08	0.003650419	9.017930738
15	75	208.9	0.122	3.56028E-08	0.003650419	9.655795650
16	80	222.8	0.125	9.84314E-08	0.010092334	10.29828277
17	85	236.7	0.125	9.84314E-08	0.010092334	10.94076989
18	90	250.7	0.121	1.46600E-08	0.001503114	11.58787922
19	95	264.8	0.126	1.19374E-07	0.012239639	12.23961076
20	100	278.7	0.126	1.19374E-07	0.012239639	12.88209788
21	105	293.6	0.122	3.56028E-08	0.003650419	13.57080710
22	110	307.4	0.131	2.24088E-07	0.022976165	14.20867201
23	115	321.3	0.130	2.03146E-07	0.02082886	14.85115913
24	120	335.2	0.135	3.0786E-07	0.031565385	15.49364625
25	125	349.0	0.133	2.65974E-07	0.027270775	16.13151116
26	130	362.8	0.137	3.49746E-07	0.035859996	16.76937607
27	135	376.7	0.153	6.84831E-07	0.070216878	17.41186319
28	140	390.7	0.170	1.04086E-06	0.106721065	18.05897252
29	145	404.6	0.182	1.29217E-06	0.132488727	18.70145965
30	150	418.5	0.190	1.45972E-06	0.149667168	19.34394677

ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิด เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
31	155	432.4	0.200	1.66914E-06	0.171140219	19.98643389
32	160	446.4	0.211	1.89952E-06	0.194760575	20.63354322
33	165	460.4	0.222	2.12989E-06	0.218380932	21.28065255
34	170	474.2	0.230	2.29743E-06	0.235559373	21.91851746
35	175	488.4	0.237	2.44403E-06	0.250590509	22.57487121
36	180	502.3	0.250	2.71629E-06	0.278505476	23.21735833
37	185	516.2	0.256	2.84194E-06	0.291389306	23.85984545
38	190	530.2	0.260	2.92572E-06	0.299978527	24.50695478
39	195	544.1	0.277	3.28174E-06	0.336482714	25.1494419
40	200	558.1	0.290	3.55400E-06	0.364397681	25.79655123
41	205	572.2	0.289	3.53306E-06	0.362250376	26.44828277
42	210	586.2	0.297	3.70060E-06	0.379428817	27.09539210
43	215	600.0	0.292	3.59589E-06	0.368692291	27.73325701
44	220	614.0	0.287	3.49117E-06	0.357955766	28.38036634
45	225	628.0	0.292	3.59589E-06	0.368692291	29.02747567
46	230	642.1	0.294	3.63777E-06	0.372986901	29.67920721
47	235	656.4	0.290	3.55400E-06	0.364397681	30.34018317
48	240	670.2	0.298	3.72154E-06	0.381576122	30.97804808
49	245	684.4	0.295	3.65872E-06	0.375134207	31.63440183
50	250	698.6	0.290	3.55400E-06	0.364397681	32.29075558
51	255	712.7	0.299	3.74249E-06	0.383723427	32.94248712
52	260	726.7	0.299	3.74249E-06	0.383723427	33.58959645
53	265	740.9	0.295	3.65872E-06	0.375134207	34.24595020
54	270	755.1	0.305	3.86814E-06	0.396607258	34.90230395
55	275	769.2	0.302	3.80532E-06	0.390165342	35.55403549
56	280	783.0	0.299	3.74249E-06	0.383723427	36.19190004
57	285	796.9	0.305	3.86814E-06	0.396607258	36.83438752
58	290	810.8	0.309	3.95192E-06	0.405196478	37.47687464
59	295	824.7	0.313	4.03569E-06	0.413785699	38.11936176
60	300	838.6	0.309	3.95192E-06	0.405196478	38.76184888

ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล์ฟทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
61	305	852.4	0.305	3.86814E-06	0.396607258	39.39971380
62	310	866.6	0.311	3.9938E-06	0.409491089	40.05606754
63	315	880.5	0.314	4.05663E-06	0.415933004	40.69855467
64	320	894.3	0.324	4.26606E-06	0.437406055	41.33641958
65	325	908.2	0.324	4.26606E-06	0.437406055	41.97890670
66	330	922.1	0.321	4.20323E-06	0.430964140	42.62139382
67	335	936.2	0.318	4.1404E-06	0.424522225	43.27312536
68	340	950.2	0.325	4.287E-06	0.439553361	43.92023469
69	345	964.0	0.329	4.37077E-06	0.448142581	44.55809960
70	350	977.9	0.329	4.37077E-06	0.448142581	45.20058672
71	355	991.8	0.324	4.26606E-06	0.437406055	45.84307384
72	360	1005.8	0.321	4.20323E-06	0.430964140	46.49018317
73	365	1019.9	0.328	4.34983E-06	0.445995276	47.14191471
74	370	1033.8	0.333	4.45454E-06	0.456731802	47.78440183
75	375	1048.7	0.343	4.66397E-06	0.478204853	48.47311105
76	380	1062.5	0.359	4.99906E-06	0.512561735	49.11097596
77	385	1076.4	0.354	4.89434E-06	0.501825209	49.75346308
78	390	1090.3	0.347	4.74774E-06	0.486794073	50.39595020
79	395	1104.1	0.355	4.91529E-06	0.503972514	51.03381511
80	400	1117.9	0.360	5.02000E-06	0.514709040	51.67168002
81	405	1131.8	0.353	4.8734E-06	0.499677904	52.31416714
82	410	1145.8	0.364	5.10377E-06	0.523298261	52.96127647
83	415	1159.7	0.362	5.06189E-06	0.519003650	53.60376359
84	420	1173.6	0.364	5.10377E-06	0.523298261	54.24625072
85	425	1187.5	0.365	5.12471E-06	0.525445566	54.88873784
86	430	1201.5	0.369	5.20849E-06	0.534034786	55.53584717
87	435	1215.5	0.364	5.10377E-06	0.523298261	56.18295650
88	440	1229.3	0.376	5.35509E-06	0.549065922	56.82082141
89	445	1243.5	0.381	5.4598E-06	0.559802448	57.47717516
90	450	1257.4	0.376	5.35509E-06	0.549065922	58.11966228

ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล์ฟทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
91	455	1271.3	0.365	5.12471E-06	0.525445566	58.7621494
92	460	1285.3	0.396	5.77394E-06	0.592012025	59.40925873
93	465	1299.2	0.375	5.33414E-06	0.546918617	60.05174585
94	470	1313.2	0.392	5.69017E-06	0.583422804	60.69885518
95	475	1327.3	0.379	5.41791E-06	0.555507838	61.35058672
96	480	1341.3	0.379	5.41791E-06	0.555507838	61.99769605
97	485	1355.1	0.391	5.66923E-06	0.581275499	62.63556096
98	490	1369.1	0.400	5.85771E-06	0.600601245	63.28267029
99	495	1383.1	0.393	5.71111E-06	0.58557011	63.92977962
100	500	1397.2	0.389	5.62734E-06	0.576980889	64.58151116
101	505	1411.5	0.383	5.50169E-06	0.564097058	65.24248712
102	510	1425.3	0.378	5.39697E-06	0.553360533	65.88035203
103	515	1439.5	0.377	5.37603E-06	0.551213227	66.53670578
104	520	1453.7	0.394	5.73206E-06	0.587717415	67.19305953
105	525	1467.8	0.383	5.50169E-06	0.564097058	67.84479107
106	530	1481.8	0.394	5.73206E-06	0.587717415	68.4919004
107	535	1496.0	0.38	5.43886E-06	0.557655143	69.14825415
108	540	1510.2	0.375	5.33414E-06	0.546918617	69.8046079
109	545	1524.1	0.384	5.52263E-06	0.566244363	70.44709502
110	550	1538.0	0.394	5.73206E-06	0.587717415	71.08958214
111	555	1551.9	0.377	5.37603E-06	0.551213227	71.73206926
112	560	1565.7	0.397	5.79489E-06	0.59415933	72.36993417
113	565	1579.9	0.384	5.52263E-06	0.566244363	73.02628792
114	570	1593.8	0.381	5.4598E-06	0.559802448	73.66877504
115	575	1607.6	0.390	5.64829E-06	0.579128194	74.30663995
116	580	1621.5	0.394	5.73206E-06	0.587717415	74.94912707
117	585	1635.4	0.386	5.56451E-06	0.570538974	75.5916142
118	590	1649.5	0.401	5.87866E-06	0.602748551	76.24334574
119	595	1663.5	0.391	5.66923E-06	0.581275499	76.89045507
120	600	1677.3	0.386	5.56451E-06	0.570538974	77.52831998

ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนานทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
121	605	1691.2	0.394	5.73206E-06	0.587717415	78.17080710
122	610	1705.1	0.394	5.73206E-06	0.587717415	78.81329422
123	615	1719.1	0.39	5.64829E-06	0.579128194	79.46040355
124	620	1733.2	0.404	5.94149E-06	0.609190466	80.11213509
125	625	1747.1	0.397	5.79489E-06	0.594159330	80.75462221
126	630	1762.0	0.392	5.69017E-06	0.583422804	81.44333143
127	635	1775.8	0.400	5.85771E-06	0.600601245	82.08119634
128	640	1789.7	0.404	5.94149E-06	0.609190466	82.72368346
129	645	1803.6	0.397	5.79489E-06	0.594159330	83.36617058
130	650	1817.4	0.414	6.15091E-06	0.630663517	84.00403549
131	655	1831.2	0.403	5.92054E-06	0.607043161	84.6419004
132	660	1845.1	0.398	5.81583E-06	0.596306635	85.28438752
133	665	1859.1	0.406	5.98337E-06	0.613485076	85.93149685
134	670	1873.0	0.404	5.94149E-06	0.609190466	86.57398397
135	675	1886.9	0.402	5.8996E-06	0.604895856	87.21647109
136	680	1900.8	0.418	6.23469E-06	0.639252738	87.85895821
137	685	1914.8	0.408	6.02526E-06	0.617779686	88.50606754
138	690	1928.8	0.406	5.98337E-06	0.613485076	89.15317687
139	695	1942.6	0.411	6.08809E-06	0.624221602	89.79104179
140	700	1956.8	0.413	6.12997E-06	0.628516212	90.44739554
141	705	1970.7	0.413	6.12997E-06	0.628516212	91.08988266
142	710	1984.6	0.414	6.15091E-06	0.630663517	91.73236978
143	715	1998.6	0.414	6.15091E-06	0.630663517	92.37947911
144	720	2012.5	0.415	6.17186E-06	0.632810822	93.02196623
145	725	2026.5	0.417	6.21374E-06	0.637105433	93.66907556
146	730	2040.6	0.414	6.15091E-06	0.630663517	94.3208071
147	735	2054.6	0.415	6.17186E-06	0.632810822	94.96791643
148	740	2068.4	0.421	6.29751E-06	0.645694653	95.60578134
149	745	2082.4	0.421	6.29751E-06	0.645694653	96.25289067
150	750	2096.4	0.421	6.29751E-06	0.645694653	96.90000000

ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนานทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
151	755	2110.5	0.426	6.40223E-06	0.656431179	97.55173154
152	760	2124.8	0.434	6.56977E-06	0.67360962	98.21270750
153	765	2138.6	0.427	6.42317E-06	0.658578484	98.85057241
154	770	2152.8	0.440	6.69543E-06	0.686493451	99.50692616
155	775	2167.0	0.429	6.46506E-06	0.662873094	100.1632799
156	780	2181.1	0.429	6.46506E-06	0.662873094	100.8150114
157	785	2195.1	0.434	6.56977E-06	0.67360962	101.4621208
158	790	2209.3	0.444	6.7792E-06	0.695082671	102.1184745
159	795	2223.5	0.454	6.98863E-06	0.716555723	102.7748283
160	800	2237.1	0.467	7.26089E-06	0.744470689	103.4034488
161	805	2250.5	0.473	7.38654E-06	0.75735452	104.0228248
162	810	2264.0	0.468	7.28183E-06	0.746617994	104.6468231
163	815	2277.6	0.474	7.40748E-06	0.759501825	105.2754436
164	820	2291.1	0.480	7.53314E-06	0.772385656	105.8994419
165	825	2304.6	0.493	7.8054E-06	0.800300623	106.5234402
166	830	2318.2	0.488	7.70068E-06	0.789564097	107.1520607
167	835	2331.6	0.488	7.70068E-06	0.789564097	107.7714367
168	840	2345.2	0.496	7.86823E-06	0.806742538	108.4000572
169	845	2358.7	0.499	7.93106E-06	0.813184454	109.0240555
170	850	2372.2	0.491	7.76351E-06	0.796006012	109.6480538
171	855	2385.6	0.494	7.82634E-06	0.802447928	110.2674299
172	860	2399.1	0.495	7.84728E-06	0.804595233	110.8914282
173	865	2412.5	0.495	7.84728E-06	0.804595233	111.5108042
174	870	2426.0	0.500	7.952E-06	0.815331759	112.1348025
175	875	2439.5	0.500	7.952E-06	0.815331759	112.7588008
176	880	2453.0	0.497	7.88917E-06	0.808889843	113.3827991
177	885	2466.5	0.500	7.952E-06	0.815331759	114.0067974
178	890	2480.0	0.497	7.88917E-06	0.808889843	114.6307956
179	895	2493.5	0.500	7.952E-06	0.815331759	115.2547939
180	900	2507.0	0.505	8.05671E-06	0.826068284	115.8787922

ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล์ฟทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
181	905	2520.6	0.504	8.03577E-06	0.823920979	116.5074127
182	910	2534.3	0.508	8.11954E-06	0.832510200	117.1406554
183	915	2547.8	0.511	8.18237E-06	0.838952115	117.7646537
184	920	2561.2	0.509	8.14048E-06	0.834657505	118.3840298
185	925	2574.8	0.510	8.16143E-06	0.836804810	119.0126503
186	930	2588.2	0.515	8.26614E-06	0.847541336	119.6320263
187	935	2601.8	0.514	8.2452E-06	0.845394030	120.2606468
188	940	2615.4	0.516	8.28708E-06	0.849688641	120.8892673
189	945	2628.9	0.514	8.2452E-06	0.845394030	121.5132656
190	950	2642.5	0.502	7.99388E-06	0.819626369	122.1418861
191	955	2656.0	0.502	7.99388E-06	0.819626369	122.7658844
192	960	2669.5	0.502	7.99388E-06	0.819626369	123.3898827
193	965	2683.0	0.507	8.0986E-06	0.830362895	124.0138809
194	970	2696.6	0.504	8.03577E-06	0.823920979	124.6425014
195	975	2710.1	0.511	8.18237E-06	0.838952115	125.2664997
196	980	2723.6	0.510	8.16143E-06	0.836804810	125.8904980
197	985	2737.2	0.511	8.18237E-06	0.838952115	126.5191185
198	990	2750.7	0.519	8.34991E-06	0.856130556	127.1431168
199	995	2764.3	0.518	8.32897E-06	0.853983251	127.7717373
200	1000	2777.7	0.512	8.20331E-06	0.841099420	128.3911133
201	1005	2791.2	0.516	8.28708E-06	0.849688641	129.0151116
202	1010	2804.7	0.517	8.30803E-06	0.851835946	129.6391099
203	1015	2818.1	0.514	8.2452E-06	0.845394030	130.2584860
204	1020	2831.7	0.520	8.37086E-06	0.858277861	130.8871065
205	1025	2845.3	0.517	8.30803E-06	0.851835946	131.5157270
206	1030	2858.8	0.521	8.3918E-06	0.860425166	132.1397252
207	1035	2872.2	0.522	8.41274E-06	0.862572472	132.7591013
208	1040	2886.1	0.519	8.34991E-06	0.856130556	133.4015884
209	1045	2900.0	0.518	8.32897E-06	0.853983251	134.0440756
210	1050	2914.1	0.526	8.49651E-06	0.871161692	134.6958071

ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล์ฟทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
211	1055	2928.1	0.528	8.5384E-06	0.875456302	135.3429164
212	1060	2941.9	0.523	8.43368E-06	0.864719777	135.9807813
213	1065	2955.8	0.529	8.55934E-06	0.877603607	136.6232685
214	1070	2969.7	0.522	8.41274E-06	0.862572472	137.2657556
215	1075	2983.7	0.520	8.37086E-06	0.858277861	137.9128649
216	1080	2997.8	0.528	8.5384E-06	0.875456302	138.5645965
217	1085	3011.7	0.533	8.64311E-06	0.886192828	139.2070836
218	1090	3026.6	0.526	8.49651E-06	0.871161692	139.8957928
219	1095	3040.4	0.529	8.55934E-06	0.877603607	140.5336577
220	1100	3054.3	0.529	8.55934E-06	0.877603607	141.1761448
221	1105	3068.2	0.531	8.60123E-06	0.881898218	141.8186319
222	1110	3082.0	0.537	8.72688E-06	0.894782049	142.4564969
223	1115	3095.8	0.538	8.74783E-06	0.896929354	143.0943618
224	1120	3109.7	0.541	8.81066E-06	0.903371269	143.7368489
225	1125	3123.7	0.545	8.89443E-06	0.911960490	144.3839582
226	1130	3137.6	0.537	8.72688E-06	0.894782049	145.0264453
227	1135	3151.5	0.541	8.81066E-06	0.903371269	145.6689325
228	1140	3165.4	0.551	9.02008E-06	0.924844320	146.3114196
229	1145	3179.4	0.551	9.02008E-06	0.924844320	146.9585289
230	1150	3193.4	0.554	9.08291E-06	0.931286236	147.6056382
231	1155	3207.2	0.556	9.1248E-06	0.935580846	148.2435031
232	1160	3221.4	0.553	9.06197E-06	0.929138931	148.8998569
233	1165	3235.3	0.555	9.10386E-06	0.933433541	149.5423440
234	1170	3249.2	0.569	9.39706E-06	0.963495813	150.1848311
235	1175	3263.2	0.572	9.45988E-06	0.969937728	150.8319405
236	1180	3277.1	0.570	9.418E-06	0.965643118	151.4744276
237	1185	3291.1	0.573	9.48083E-06	0.972085033	152.1215369
238	1190	3305.2	0.572	9.45988E-06	0.969937728	152.7732685
239	1195	3319.2	0.572	9.45988E-06	0.969937728	153.4203778
240	1200	3333.0	0.578	9.58554E-06	0.982821559	154.0582427



ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล์ฟทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
241	1205	3347.0	0.581	9.64837E-06	0.989263474	154.7053520
242	1210	3361.0	0.577	9.5646E-06	0.980674254	155.3524614
243	1215	3375.1	0.577	9.5646E-06	0.980674254	156.0041929
244	1220	3389.4	0.580	9.62743E-06	0.987116169	156.6651689
245	1225	3403.2	0.582	9.66931E-06	0.991410779	157.3030338
246	1230	3417.4	0.575	9.52271E-06	0.976379644	157.9593875
247	1235	3431.6	0.576	9.54366E-06	0.978526949	158.6157413
248	1240	3445.7	0.578	9.58554E-06	0.982821559	159.2674728
249	1245	3459.7	0.584	9.7112E-06	0.995705390	159.9145821
250	1250	3473.9	0.580	9.62743E-06	0.987116169	160.5709359
251	1255	3488.1	0.580	9.62743E-06	0.987116169	161.2272896
252	1260	3502.2	0.596	9.96251E-06	1.021473051	161.8790212
253	1265	3516.0	0.595	9.94157E-06	1.019325746	162.5168861
254	1270	3529.9	0.598	1.00044E-05	1.025767662	163.1593732
255	1275	3543.8	0.590	9.83686E-06	1.008589221	163.8018603
256	1280	3557.7	0.591	9.8578E-06	1.010736526	164.4443475
257	1285	3571.6	0.606	1.01719E-05	1.042946103	165.0868346
258	1290	3585.4	0.610	1.02557E-05	1.051535323	165.7246995
259	1295	3599.6	0.606	1.01719E-05	1.042946103	166.3810532
260	1300	3613.5	0.603	1.01091E-05	1.036504187	167.0235404
261	1305	3627.3	0.594	9.92063E-06	1.017178441	167.6614053
262	1310	3641.2	0.595	9.94157E-06	1.019325746	168.3038924
263	1315	3655.1	0.597	9.98346E-06	1.023620356	168.9463795
264	1320	3669.2	0.603	1.01091E-05	1.036504187	169.5981110
265	1325	3683.2	0.597	9.98346E-06	1.023620356	170.2452204
266	1330	3697.0	0.595	9.94157E-06	1.019325746	170.8830853
267	1335	3710.9	0.599	1.00253E-05	1.027914967	171.5255724
268	1340	3724.8	0.597	9.98346E-06	1.023620356	172.1680595
269	1345	3738.8	0.601	1.00672E-05	1.032209577	172.8151689
270	1350	3752.9	0.604	1.01301E-05	1.038651492	173.4669004

ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
271	1355	3766.8	0.608	1.02138E-05	1.047240713	174.1093875
272	1360	3781.7	0.602	1.00882E-05	1.034356882	174.7980967
273	1365	3795.5	0.613	1.03185E-05	1.057977239	175.4359616
274	1370	3809.4	0.607	1.01929E-05	1.045093408	176.0784488
275	1375	3823.3	0.607	1.01929E-05	1.045093408	176.7209359
276	1380	3837.1	0.606	1.01719E-05	1.042946103	177.3588008
277	1385	3850.9	0.612	1.02976E-05	1.055829933	177.9966657
278	1390	3864.8	0.611	1.02767E-05	1.053682628	178.6391528
279	1395	3878.8	0.604	1.01301E-05	1.038651492	179.2862622
280	1400	3892.7	0.606	1.01719E-05	1.042946103	179.9287493
281	1405	3906.6	0.612	1.02976E-05	1.055829933	180.5712364
282	1410	3920.5	0.607	1.01929E-05	1.045093408	181.2137235
283	1415	3934.5	0.606	1.01719E-05	1.042946103	181.8608329
284	1420	3948.5	0.612	1.02976E-05	1.055829933	182.5079422
285	1425	3962.3	0.610	1.02557E-05	1.051535323	183.1458071
286	1430	3976.5	0.613	1.03185E-05	1.057977239	183.802161
287	1435	3990.4	0.611	1.02767E-05	1.053682628	184.444648
288	1440	4004.3	0.613	1.03185E-05	1.057977239	185.087135
289	1445	4018.3	0.606	1.01719E-05	1.042946103	185.734244
290	1450	4032.2	0.605	1.0151E-05	1.040798798	186.376732
291	1455	4046.2	0.612	1.02976E-05	1.055829933	187.023841
292	1460	4060.3	0.605	1.0151E-05	1.040798798	187.675572
293	1465	4074.3	0.605	1.0151E-05	1.040798798	188.322682
294	1470	4088.1	0.604	1.01301E-05	1.038651492	188.960547
295	1475	4102.1	0.607	1.01929E-05	1.045093408	189.607656
296	1480	4116.1	0.609	1.02348E-05	1.049388018	190.254765
297	1485	4130.2	0.613	1.03185E-05	1.057977239	190.906497
298	1490	4144.5	0.606	1.01719E-05	1.042946103	191.567473
299	1495	4158.3	0.607	1.01929E-05	1.045093408	192.205338
300	1500	4172.5	0.613	1.03185E-05	1.057977239	192.861691

ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
301	1505	4186.7	0.608	1.02138E-05	1.047240713	193.5180452
302	1510	4200.8	0.605	1.0151E-05	1.040798798	194.1697768
303	1515	4214.8	0.609	1.02348E-05	1.049388018	194.8168861
304	1520	4229.0	0.607	1.01929E-05	1.045093408	195.4732398
305	1525	4243.2	0.610	1.02557E-05	1.051535323	196.1295936
306	1530	4257.1	0.605	1.0151E-05	1.040798798	196.7720807
307	1535	4271.0	0.611	1.02767E-05	1.053682628	197.4145678
308	1540	4284.9	0.611	1.02767E-05	1.053682628	198.0570550
309	1545	4298.7	0.610	1.02557E-05	1.051535323	198.6949199
310	1550	4312.9	0.612	1.02976E-05	1.055829933	199.3512736
311	1555	4326.8	0.605	1.0151E-05	1.040798798	199.9937607
312	1560	4340.6	0.608	1.02138E-05	1.047240713	200.6316256
313	1565	4354.5	0.612	1.02976E-05	1.055829933	201.2741128
314	1570	4368.4	0.613	1.03185E-05	1.057977239	201.9165999
315	1575	4382.5	0.613	1.03185E-05	1.057977239	202.5683314
316	1580	4396.5	0.613	1.03185E-05	1.057977239	203.2154408
317	1585	4410.3	0.605	1.0151E-05	1.040798798	203.8533057
318	1590	4424.2	0.609	1.02348E-05	1.049388018	204.4957928
319	1595	4438.1	0.606	1.01719E-05	1.042946103	205.1382799
320	1600	4452.1	0.608	1.02138E-05	1.047240713	205.7853892
321	1605	4466.2	0.605	1.0151E-05	1.040798798	206.4371208
322	1610	4480.1	0.613	1.03185E-05	1.057977239	207.0796079
323	1615	4495.0	0.605	1.0151E-05	1.040798798	207.7683171
324	1620	4508.8	0.611	1.02767E-05	1.053682628	208.4061820
325	1625	4522.7	0.605	1.0151E-05	1.040798798	209.0486691
326	1630	4536.6	0.607	1.01929E-05	1.045093408	209.6911563
327	1635	4550.4	0.611	1.02767E-05	1.053682628	210.3290212
328	1640	4564.2	0.613	1.03185E-05	1.057977239	210.9668861
329	1645	4578.1	0.613	1.03185E-05	1.057977239	211.6093732
330	1650	4592.1	0.607	1.01929E-05	1.045093408	212.2564825

ตารางที่ ง -14 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนานทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
331	1655	4606.0	0.606	1.01719E-05	1.042946103	212.8989697
332	1660	4619.9	0.609	1.02348E-05	1.049388018	213.5414568
333	1665	4633.8	0.608	1.02138E-05	1.047240713	214.1839439
334	1670	4647.8	0.613	1.03185E-05	1.057977239	214.8310532
335	1675	4661.8	0.605	1.0151E-05	1.040798798	215.4781626
336	1680	4675.6	0.607	1.01929E-05	1.045093408	216.1160275
337	1685	4689.8	0.606	1.01719E-05	1.042946103	216.7723812
338	1690	4703.8	0.612	1.02976E-05	1.055829933	217.4148683
339	1695	4717.6	0.605	1.0151E-05	1.040798798	218.0573555

ตารางที่ ง -15 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแวนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	14.1	0.334	4.47549E-06	.0458879107	0.612084885
2	10	27.9	0.174	1.12463E-06	0.115310286	1.211146687
3	15	41.8	0.115	0.00000000	0.000000000	1.814549516
4	20	55.7	0.084	0.00000000	0.000000000	2.417952345
5	25	69.6	0.095	0.00000000	0.000000000	3.021355175
6	30	83.5	0.111	0.00000000	0.000000000	3.624758004
7	35	97.3	0.085	0.00000000	0.000000000	4.223819806
8	40	111.5	0.085	0.00000000	0.000000000	4.840245719
9	45	125.4	0.083	0.00000000	0.000000000	5.443648548
10	50	139.2	0.082	0.00000000	0.000000000	6.042710350
11	55	153.1	0.068	0.00000000	0.000000000	6.646113179
12	60	167.0	0.085	0.00000000	0.000000000	7.249516009
13	65	181.1	0.105	0.00000000	0.000000000	7.861600894
14	70	195.1	0.082	0.00000000	0.000000000	8.469344751
15	75	208.9	0.083	0.00000000	0.000000000	9.068406552
16	80	222.8	0.083	0.00000000	0.000000000	9.671809382
17	85	236.7	0.083	0.00000000	0.000000000	10.27521221
18	90	250.7	0.073	0.00000000	0.000000000	10.88295607
19	95	264.8	0.086	0.00000000	0.000000000	11.49504095
20	100	278.7	0.108	0.00000000	0.000000000	12.09844378
21	105	293.6	0.085	0.00000000	0.000000000	12.74525689
22	110	307.4	0.086	0.00000000	0.000000000	13.34431869
23	115	321.3	0.086	0.00000000	0.000000000	13.94772152
24	120	335.2	0.086	0.00000000	0.000000000	14.55112435
25	125	349.0	0.073	0.00000000	0.000000000	15.15018615
26	130	362.8	0.089	0.00000000	0.000000000	15.74924795
27	135	376.7	0.111	0.00000000	0.000000000	16.35265078
28	140	390.7	0.089	0.00000000	0.000000000	16.96039464
29	145	404.6	0.090	0.00000000	0.000000000	17.56379747
30	150	418.5	0.091	0.00000000	0.000000000	18.16720030

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความ เข้มข้น (M.)		
31	155	432.4	0.092	0.0000000000	0.0000000000	18.77060313
32	160	446.4	0.079	0.0000000000	0.0000000000	19.37834698
33	165	460.4	0.094	0.0000000000	0.0000000000	19.98609084
34	170	474.2	0.118	0.0000000000	0.0000000000	20.58515264
35	175	488.4	0.097	0.0000000000	0.0000000000	21.20157856
36	180	502.3	0.098	0.0000000000	0.0000000000	21.80498138
37	185	516.2	0.100	0.0000000000	0.0000000000	22.40838421
38	190	530.2	0.102	0.0000000000	0.0000000000	23.01612807
39	195	544.1	0.091	0.0000000000	0.0000000000	23.61953090
40	200	558.1	0.107	0.0000000000	0.0000000000	24.22727476
41	205	572.2	0.123	5.65457E-08	0.005797724	24.83935964
42	210	586.2	0.109	0.0000000000	0.0000000000	25.44710350
43	215	600.0	0.110	0.0000000000	0.0000000000	26.04616530
44	220	614.0	0.123	5.65457E-08	0.005797724	26.65390916
45	225	628.0	0.134	2.86917E-07	0.02941808	27.26165302
46	230	642.1	0.132	2.45031E-07	0.02512347	27.87373790
47	235	656.4	0.159	8.10488E-07	0.083100709	28.49450484
48	240	670.2	0.193	1.52254E-06	0.156109083	29.09356664
49	245	684.4	0.178	1.2084E-06	0.123899506	29.70999255
50	250	698.6	0.188	1.41783E-06	0.145372557	30.32641847
51	255	712.7	0.201	1.69009E-06	0.173287524	30.93850335
52	260	726.7	0.213	1.9414E-06	0.199055186	31.54624721
53	265	740.9	0.208	1.83669E-06	0.18831866	32.16267312
54	270	755.1	0.234	2.3812E-06	0.244148594	32.77909903
55	275	769.2	0.249	2.69534E-06	0.276358170	33.39118392
56	280	783.0	0.258	2.88383E-06	0.295683917	33.99024572
57	285	796.9	0.269	3.1142E-06	0.319304273	34.59364855
58	290	810.8	0.284	3.42834E-06	0.35151385	35.19705138
59	295	824.7	0.287	3.49117E-06	0.357955766	35.80045421
60	300	838.6	0.284	3.42834E-06	0.35151385	36.40385704

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล์ฟทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
61	305	852.4	0.288	3.51212E-06	0.360103071	37.00291884
62	310	866.6	0.285	3.44929E-06	0.353661155	37.61934475
63	315	880.5	0.289	3.53306E-06	0.362250376	38.22274758
64	320	894.3	0.284	3.42834E-06	0.351513850	38.82180938
65	325	908.2	0.287	3.49117E-06	0.357955766	39.42521221
66	330	922.1	0.287	3.49117E-06	0.357955766	40.02861504
67	335	936.2	0.288	3.51212E-06	0.360103071	40.64069993
68	340	950.2	0.284	3.42834E-06	0.351513850	41.24844378
69	345	964.0	0.292	3.59589E-06	0.368692291	41.84750558
70	350	977.9	0.286	3.47023E-06	0.355808460	42.45090841
71	355	991.8	0.283	3.4074E-06	0.349366545	43.05431124
72	360	1005.8	0.284	3.42834E-06	0.351513850	43.66205510
73	365	1019.9	0.285	3.44929E-06	0.353661155	44.27413999
74	370	1033.8	0.290	3.554E-06	0.364397681	44.87754281
75	375	1048.7	0.286	3.47023E-06	0.355808460	45.52435592
76	380	1062.5	0.285	3.44929E-06	0.353661155	46.12341772
77	385	1076.4	0.288	3.51212E-06	0.360103071	46.72682055
78	390	1090.3	0.284	3.42834E-06	0.351513850	47.33022338
79	395	1104.1	0.286	3.47023E-06	0.355808460	47.92928518
80	400	1117.9	0.288	3.51212E-06	0.360103071	48.52834698
81	405	1131.8	0.284	3.42834E-06	0.351513850	49.13174981
82	410	1145.8	0.289	3.53306E-06	0.362250376	49.73949367
83	415	1159.7	0.289	3.53306E-06	0.362250376	50.3428965
84	420	1173.6	0.290	3.554E-06	0.364397681	50.94629933
85	425	1187.5	0.288	3.51212E-06	0.360103071	51.54970216
86	430	1201.5	0.290	3.554E-06	0.364397681	52.15744602
87	435	1215.5	0.285	3.44929E-06	0.353661155	52.76518987
88	440	1229.3	0.290	3.554E-06	0.364397681	53.36425168
89	445	1243.5	0.294	3.63777E-06	0.372986901	53.98067759
90	450	1257.4	0.289	3.53306E-06	0.362250376	54.58408042

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
91	455	1271.3	0.295	3.65872E-06	0.375134207	55.18748325
92	460	1285.3	0.291	3.57494E-06	0.366544986	55.79522710
93	465	1299.2	0.294	3.63777E-06	0.372986901	56.39862993
94	470	1313.2	0.298	3.72154E-06	0.381576122	57.00637379
95	475	1327.3	0.298	3.72154E-06	0.381576122	57.61845867
96	480	1341.3	0.294	3.63777E-06	0.372986901	58.22620253
97	485	1355.1	0.295	3.65872E-06	0.375134207	58.82526433
98	490	1369.1	0.299	3.74249E-06	0.383723427	59.43300819
99	495	1383.1	0.297	3.7006E-06	0.379428817	60.04075205
100	500	1397.2	0.300	3.76343E-06	0.385870732	60.65283693
101	505	1411.5	0.297	3.7006E-06	0.379428817	61.27360387
102	510	1425.3	0.300	3.76343E-06	0.385870732	61.87266567
103	515	1439.5	0.295	3.65872E-06	0.375134207	62.48909159
104	520	1453.7	0.297	3.7006E-06	0.379428817	63.10551750
105	525	1467.8	0.302	3.80532E-06	0.390165342	63.71760238
106	530	1481.8	0.301	3.78437E-06	0.388018037	64.32534624
107	535	1496.0	0.300	3.76343E-06	0.385870732	64.94177215
108	540	1510.2	0.301	3.78437E-06	0.388018037	65.55819806
109	545	1524.1	0.294	3.63777E-06	0.372986901	66.16160089
110	550	1538.0	0.296	3.67966E-06	0.377281512	66.76500372
111	555	1551.9	0.304	3.8472E-06	0.394459953	67.36840655
112	560	1565.7	0.31	3.97286E-06	0.407343784	67.96746835
113	565	1579.9	0.309	3.95192E-06	0.405196478	68.58389427
114	570	1593.8	0.307	3.91003E-06	0.400901868	69.18729710
115	575	1607.6	0.304	3.8472E-06	0.394459953	69.78635890
116	580	1621.5	0.311	3.9938E-06	0.409491089	70.38976173
117	585	1635.4	0.306	3.88909E-06	0.398754563	70.99316456
118	590	1649.5	0.312	4.01474E-06	0.411638394	71.60524944
119	595	1663.5	0.306	3.88909E-06	0.398754563	72.21299330
120	600	1677.3	0.311	3.9938E-06	0.409491089	72.81205510



ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอลทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250m)	ความเข้มข้น (M.)		
121	605	1691.2	0.306	3.88909E-06	0.398754563	73.41545793
122	610	1705.1	0.305	3.86814E-06	0.396607258	74.01886076
123	615	1719.1	0.308	3.93097E-06	0.403049173	74.62660462
124	620	1733.2	0.309	3.95192E-06	0.405196478	75.23868950
125	625	1747.1	0.308	3.93097E-06	0.403049173	75.84209233
126	630	1762.0	0.312	4.01474E-06	0.411638394	76.48890544
127	635	1775.8	0.312	4.01474E-06	0.411638394	77.08796724
128	640	1789.7	0.303	3.82626E-06	0.392312648	77.69137007
129	645	1803.6	0.304	3.8472E-06	0.394459953	78.29477290
130	650	1817.4	0.305	3.86814E-06	0.396607258	78.89383470
131	655	1831.2	0.306	3.88909E-06	0.398754563	79.49289650
132	660	1845.1	0.306	3.88909E-06	0.398754563	80.09629933
133	665	1859.1	0.308	3.93097E-06	0.403049173	80.70404319
134	670	1873.0	0.308	3.93097E-06	0.403049173	81.30744602
135	675	1886.9	0.310	3.97286E-06	0.407343784	81.91084885
136	680	1900.8	0.312	4.01474E-06	0.411638394	82.51425168
137	685	1914.8	0.303	3.82626E-06	0.392312648	83.12199553
138	690	1928.8	0.315	4.07757E-06	0.418080309	83.72973939
139	695	1942.6	0.315	4.07757E-06	0.418080309	84.32880119
140	700	1956.8	0.322	4.22417E-06	0.433111445	84.94522710
141	705	1970.7	0.320	4.18229E-06	0.428816835	85.54862993
142	710	1984.6	0.318	4.1404E-06	0.424522225	86.15203276
143	715	1998.6	0.320	4.18229E-06	0.428816835	86.75977662
144	720	2012.5	0.321	4.20323E-06	0.430964140	87.36317945
145	725	2026.5	0.323	4.24512E-06	0.435258750	87.97092331
146	730	2040.6	0.332	4.4336E-06	0.454584496	88.58300819
147	735	2054.6	0.327	4.32889E-06	0.443847971	89.19075205
148	740	2068.4	0.329	4.37077E-06	0.448142581	89.78981385
149	745	2082.4	0.327	4.32889E-06	0.443847971	90.39755771
150	750	2096.4	0.329	4.37077E-06	0.448142581	91.00530156

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล์ฟทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
151	755	2110.5	0.328	4.34983E-06	0.445995276	91.61738645
152	760	2124.8	0.330	4.39172E-06	0.450289886	92.23815339
153	765	2138.6	0.330	4.39172E-06	0.450289886	92.83721519
154	770	2152.8	0.330	4.39172E-06	0.450289886	93.45364110
155	775	2167.0	0.330	4.39172E-06	0.450289886	94.07006701
156	780	2181.1	0.330	4.39172E-06	0.450289886	94.68215190
157	785	2195.1	0.332	4.4336E-06	0.454584496	95.28989576
158	790	2209.3	0.327	4.32889E-06	0.443847971	95.90632167
159	795	2223.5	0.333	4.45454E-06	0.456731802	96.52274758
160	800	2237.1	0.335	4.49643E-06	0.461026412	97.11312733
161	805	2250.5	0.334	4.47549E-06	0.458879107	97.69482502
162	810	2264.0	0.339	4.5802E-06	0.469615632	98.28086374
163	815	2277.6	0.339	4.5802E-06	0.469615632	98.87124348
164	820	2291.1	0.338	4.55926E-06	0.467468327	99.45728220
165	825	2304.6	0.341	4.62209E-06	0.473910243	100.0433209
166	830	2318.2	0.339	4.5802E-06	0.469615632	100.6337007
167	835	2331.6	0.338	4.55926E-06	0.467468327	101.2153984
168	840	2345.2	0.336	4.51737E-06	0.463173717	101.8057781
169	845	2358.7	0.338	4.55926E-06	0.467468327	102.3918168
170	850	2372.2	0.344	4.68491E-06	0.480352158	102.9778555
171	855	2385.6	0.341	4.62209E-06	0.473910243	103.5595532
172	860	2399.1	0.349	4.78963E-06	0.491088684	104.1455920
173	865	2412.5	0.350	4.81057E-06	0.493235989	104.7272897
174	870	2426.0	0.344	4.68491E-06	0.480352158	105.3133284
175	875	2439.5	0.346	4.7268E-06	0.484646768	105.8993671
176	880	2453.0	0.345	4.70586E-06	0.482499463	106.4854058
177	885	2466.5	0.349	4.78963E-06	0.491088684	107.0714445
178	890	2480.0	0.351	4.83151E-06	0.495383294	107.6574832
179	895	2493.5	0.341	4.62209E-06	0.473910243	108.2435220
180	900	2507.0	0.341	4.62209E-06	0.473910243	108.8295607

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอลทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
181	905	2520.6	0.355	4.91529E-06	0.503972514	109.4199404
182	910	2534.3	0.354	4.89434E-06	0.501825209	110.0146612
183	915	2547.8	0.356	4.93623E-06	0.506119820	110.6006999
184	920	2561.2	0.354	4.89434E-06	0.501825209	111.1823976
185	925	2574.8	0.356	4.93623E-06	0.506119820	111.7727774
186	930	2588.2	0.358	4.97811E-06	0.510414430	112.3544751
187	935	2601.8	0.358	4.97811E-06	0.510414430	112.9448548
188	940	2615.4	0.359	4.99906E-06	0.512561735	113.5352345
189	945	2628.9	0.360	5.02000E-06	0.514709040	114.1212733
190	950	2642.5	0.364	5.10377E-06	0.523298261	114.7116530
191	955	2656.0	0.372	5.27131E-06	0.540476702	115.2976917
192	960	2669.5	0.366	5.14566E-06	0.527592871	115.8837305
193	965	2683.0	0.371	5.25037E-06	0.538329397	116.4697692
194	970	2696.6	0.366	5.14566E-06	0.527592871	117.0601489
195	975	2710.1	0.367	5.16660E-06	0.529740176	117.6461876
196	980	2723.6	0.367	5.1666E-06	0.529740176	118.2322264
197	985	2737.2	0.372	5.27131E-06	0.540476702	118.8226061
198	990	2750.7	0.372	5.27131E-06	0.540476702	119.4086448
199	995	2764.3	0.371	5.25037E-06	0.538329397	119.9990246
200	1000	2777.7	0.369	5.20849E-06	0.534034786	120.5807223
201	1005	2791.2	0.365	5.12471E-06	0.525445566	121.1667610
202	1010	2804.7	0.367	5.1666E-06	0.529740176	121.7527997
203	1015	2818.1	0.366	5.14566E-06	0.527592871	122.3344974
204	1020	2831.7	0.371	5.25037E-06	0.538329397	122.9248771
205	1025	2845.3	0.370	5.22943E-06	0.536182091	123.5152569
206	1030	2858.8	0.377	5.37603E-06	0.551213227	124.1012956
207	1035	2872.2	0.375	5.33414E-06	0.546918617	124.6829933
208	1040	2886.1	0.382	5.48074E-06	0.561949753	125.2863961
209	1045	2900.0	0.383	5.50169E-06	0.564097058	125.8897990
210	1050	2914.1	0.384	5.52263E-06	0.566244363	126.5018838

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนานทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
211	1055	2928.1	0.389	5.62734E-06	0.576980889	127.1096277
212	1060	2941.9	0.388	5.6064E-06	0.574833584	127.7086895
213	1065	2955.8	0.388	5.6064E-06	0.574833584	128.3120923
214	1070	2969.7	0.388	5.6064E-06	0.574833584	128.9154952
215	1075	2983.7	0.391	5.66923E-06	0.581275499	129.523239
216	1080	2997.8	0.387	5.58546E-06	0.572686279	130.1353239
217	1085	3011.7	0.389	5.62734E-06	0.576980889	130.7387267
218	1090	3026.6	0.387	5.58546E-06	0.572686279	131.3855398
219	1095	3040.4	0.390	5.64829E-06	0.579128194	131.9846016
220	1100	3054.3	0.389	5.62734E-06	0.576980889	132.5880045
221	1105	3068.2	0.384	5.52263E-06	0.566244363	133.1914073
222	1110	3082.0	0.387	5.58546E-06	0.572686279	133.7904691
223	1115	3095.8	0.391	5.66923E-06	0.581275499	134.3895309
224	1120	3109.7	0.388	5.6064E-06	0.574833584	134.9929337
225	1125	3123.7	0.384	5.52263E-06	0.566244363	135.6006776
226	1130	3137.6	0.388	5.6064E-06	0.574833584	136.2040804
227	1135	3151.5	0.389	5.62734E-06	0.576980889	136.8074832
228	1140	3165.4	0.385	5.54357E-06	0.568391668	137.4108861
229	1145	3179.4	0.388	5.6064E-06	0.574833584	138.0186299
230	1150	3193.4	0.392	5.69017E-06	0.583422804	138.6263738
231	1155	3207.2	0.386	5.56451E-06	0.570538974	139.2254356
232	1160	3221.4	0.387	5.58546E-06	0.572686279	139.8418615
233	1165	3235.3	0.398	5.81583E-06	0.596306635	140.4452643
234	1170	3249.2	0.397	5.79489E-06	0.594159330	141.0486672
235	1175	3263.2	0.394	5.73206E-06	0.587717415	141.6564110
236	1180	3277.1	0.400	5.85771E-06	0.600601245	142.2598138
237	1185	3291.1	0.397	5.79489E-06	0.594159330	142.8675577
238	1190	3305.2	0.402	5.8996E-06	0.604895856	143.4796426
239	1195	3319.2	0.394	5.73206E-06	0.587717415	144.0873864
240	1200	3333.0	0.397	5.79489E-06	0.59415933	144.6864483

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนานทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
241	1205	3347.0	0.400	5.85771E-06	0.600601245	145.2941921
242	1210	3361.0	0.399	5.83677E-06	0.598453940	145.9019360
243	1215	3375.1	0.400	5.85771E-06	0.600601245	146.5140208
244	1220	3389.4	0.395	5.753E-06	0.589864720	147.1347878
245	1225	3403.2	0.400	5.85771E-06	0.600601245	147.7338496
246	1230	3417.4	0.398	5.81583E-06	0.596306635	148.3502755
247	1235	3431.6	0.402	5.8996E-06	0.604895856	148.9667014
248	1240	3445.7	0.412	6.10903E-06	0.626368907	149.5787863
249	1245	3459.7	0.423	6.3394E-06	0.649989263	150.1865302
250	1250	3473.9	0.427	6.42317E-06	0.658578484	150.8029561
251	1255	3488.1	0.422	6.31846E-06	0.647841958	151.4193820
252	1260	3502.2	0.409	6.0462E-06	0.619926992	152.0314669
253	1265	3516.0	0.428	6.44411E-06	0.660725789	152.6305287
254	1270	3529.9	0.432	6.52789E-06	0.669315010	153.2339315
255	1275	3543.8	0.427	6.42317E-06	0.658578484	153.8373343
256	1280	3557.7	0.429	6.46506E-06	0.662873094	154.4407372
257	1285	3571.6	0.423	6.3394E-06	0.649989263	155.0441400
258	1290	3585.4	0.428	6.44411E-06	0.660725789	155.6432018
259	1295	3599.6	0.426	6.40223E-06	0.656431179	156.2596277
260	1300	3613.5	0.428	6.44411E-06	0.660725789	156.8630305
261	1305	3627.3	0.430	6.486E-06	0.665020399	157.4620923
262	1310	3641.2	0.430	6.486E-06	0.665020399	158.0654952
263	1315	3655.1	0.435	6.59071E-06	0.675756925	158.6688980
264	1320	3669.2	0.441	6.71637E-06	0.688640756	159.2809829
265	1325	3683.2	0.437	6.6326E-06	0.680051535	159.8887267
266	1330	3697.0	0.439	6.67449E-06	0.684346146	160.4877885
267	1335	3710.9	0.438	6.65354E-06	0.68219884	161.0911914
268	1340	3724.8	0.437	6.6326E-06	0.680051535	161.6945942
269	1345	3738.8	0.440	6.69543E-06	0.686493451	162.3023380
270	1350	3752.9	0.438	6.65354E-06	0.68219884	162.9144229

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
271	1355	3766.8	0.437	6.6326E-06	0.680051535	163.5178258
272	1360	3781.7	0.440	6.69543E-06	0.686493451	164.1646389
273	1365	3795.5	0.434	6.56977E-06	0.673609620	164.7637007
274	1370	3809.4	0.437	6.6326E-06	0.680051535	165.3671035
275	1375	3823.3	0.435	6.59071E-06	0.675756925	165.9705063
276	1380	3837.1	0.435	6.59071E-06	0.675756925	166.5695681
277	1385	3850.9	0.441	6.71637E-06	0.688640756	167.1686299
278	1390	3864.8	0.444	6.7792E-06	0.695082671	167.7720328
279	1395	3878.8	0.446	6.82109E-06	0.699377282	168.3797766
280	1400	3892.7	0.444	6.7792E-06	0.695082671	168.9831794
281	1405	3906.6	0.451	6.9258E-06	0.710113807	169.5865823
282	1410	3920.5	0.446	6.82109E-06	0.699377282	170.1899851
283	1415	3934.5	0.446	6.82109E-06	0.699377282	170.7977290
284	1420	3948.5	0.445	6.80014E-06	0.697229976	171.4054728
285	1425	3962.3	0.447	6.84203E-06	0.701524587	172.0045346
286	1430	3976.5	0.450	6.90486E-06	0.707966502	172.6209605
287	1435	3990.4	0.451	6.9258E-06	0.710113807	173.2243634
288	1440	4004.3	0.449	6.88391E-06	0.705819197	173.8277662
289	1445	4018.3	0.447	6.84203E-06	0.701524587	174.4355101
290	1450	4032.2	0.449	6.88391E-06	0.705819197	175.0389129
291	1455	4046.2	0.444	6.7792E-06	0.695082671	175.6466567
292	1460	4060.3	0.448	6.86297E-06	0.703671892	176.2587416
293	1465	4074.3	0.451	6.9258E-06	0.710113807	176.8664855
294	1470	4088.1	0.446	6.82109E-06	0.699377282	177.4655473
295	1475	4102.1	0.450	6.90486E-06	0.707966502	178.0732911
296	1480	4116.1	0.452	6.94674E-06	0.712261112	178.681035
297	1485	4130.2	0.456	7.03051E-06	0.720850333	179.2931199
298	1490	4144.5	0.446	6.82109E-06	0.699377282	179.9138868
299	1495	4158.3	0.449	6.88391E-06	0.705819197	180.5129486
300	1500	4172.5	0.451	6.9258E-06	0.710113807	181.1293745

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล์ฟทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
301	1505	4186.7	0.449	6.88391E-06	0.705819197	181.7458004
302	1510	4200.8	0.444	6.7792E-06	0.695082671	182.3578853
303	1515	4214.8	0.452	6.94674E-06	0.712261112	182.9656292
304	1520	4229.0	0.452	6.94674E-06	0.712261112	183.5820551
305	1525	4243.2	0.449	6.88391E-06	0.705819197	184.198481
306	1530	4257.1	0.452	6.94674E-06	0.712261112	184.8018838
307	1535	4271.0	0.445	6.80014E-06	0.697229976	185.4052867
308	1540	4284.9	0.445	6.80014E-06	0.697229976	186.0086895
309	1545	4298.7	0.449	6.88391E-06	0.705819197	186.6077513
310	1550	4312.9	0.444	6.7792E-06	0.695082671	187.2241772
311	1555	4326.8	0.452	6.94674E-06	0.712261112	187.8275800
312	1560	4340.6	0.443	6.75826E-06	0.692935366	188.4266418
313	1565	4354.5	0.448	6.86297E-06	0.703671892	189.0300447
314	1570	4368.4	0.443	6.75826E-06	0.692935366	189.6334475
315	1575	4382.5	0.448	6.86297E-06	0.703671892	190.2455324
316	1580	4396.5	0.446	6.82109E-06	0.699377282	190.8532762
317	1585	4410.3	0.460	7.11429E-06	0.729439553	191.452338
318	1590	4424.2	0.462	7.15617E-06	0.733734164	192.0557409
319	1595	4438.1	0.456	7.03051E-06	0.720850333	192.6591437
320	1600	4452.1	0.455	7.00957E-06	0.718703028	193.2668876
321	1605	4466.2	0.454	6.98863E-06	0.716555723	193.8789724
322	1610	4480.1	0.460	7.11429E-06	0.729439553	194.4823753
323	1615	4495.0	0.460	7.11429E-06	0.729439553	195.1291884
324	1620	4508.8	0.456	7.03051E-06	0.720850333	195.7282502
325	1625	4522.7	0.461	7.13523E-06	0.731586858	196.3316530
326	1630	4536.6	0.460	7.11429E-06	0.729439553	196.9350558
327	1635	4550.4	0.459	7.09334E-06	0.727292248	197.5341176
328	1640	4564.2	0.456	7.03051E-06	0.720850333	198.1331794
329	1645	4578.1	0.453	6.96769E-06	0.714408417	198.7365823
330	1650	4592.1	0.454	6.98863E-06	0.716555723	199.3443261

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนอล) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
331	1655	4606.0	0.459	7.09334E-06	0.727292248	199.9477290
332	1660	4619.9	0.458	7.0724E-06	0.725144943	200.5511318
333	1665	4633.8	0.463	7.17711E-06	0.735881469	201.1545346
334	1670	4647.8	0.453	6.96769E-06	0.714408417	201.7622785
335	1675	4661.8	0.459	7.09334E-06	0.727292248	202.3700223
336	1680	4675.6	0.456	7.03051E-06	0.720850333	202.9690841
337	1685	4689.8	0.455	7.00957E-06	0.718703028	203.5855101
338	1690	4703.7	0.462	7.15617E-06	0.733734164	204.1889129
339	1695	4717.6	0.456	7.03051E-06	0.720850333	204.7923157
340	1700	4731.5	0.463	7.17711E-06	0.735881469	205.3957185
341	1705	4745.3	0.453	6.96769E-06	0.714408417	205.9947803
342	1710	4759.1	0.459	7.09334E-06	0.727292248	206.5938421
343	1715	4773.0	0.455	7.00957E-06	0.718703028	207.1972450
344	1720	4787.0	0.461	7.13523E-06	0.731586858	207.8049888
345	1725	4800.9	0.460	7.11429E-06	0.729439553	208.4083917
346	1730	4814.8	0.455	7.00957E-06	0.718703028	209.0117945
347	1735	4828.7	0.457	7.05146E-06	0.722997638	209.6151973
348	1740	4842.7	0.455	7.00957E-06	0.718703028	210.2229412
349	1745	4856.7	0.460	7.11429E-06	0.729439553	210.830685
350	1750	4870.5	0.456	7.03051E-06	0.720850333	211.4297468
351	1755	4884.7	0.458	7.0724E-06	0.725144943	212.0461727
352	1760	4898.6	0.489	7.72163E-06	0.791711402	212.6495756
353	1765	4912.5	0.487	7.67974E-06	0.787416792	213.2529784
354	1770	4926.5	0.485	7.63786E-06	0.783122182	213.8607223
355	1775	4940.4	0.490	7.74257E-06	0.793858707	214.4641251
356	1780	4954.4	0.486	7.6588E-06	0.785269487	215.071869
357	1785	4968.5	0.491	7.76351E-06	0.796006012	215.6839538
358	1790	4982.5	0.491	7.76351E-06	0.796006012	216.2916977
359	1795	4996.3	0.487	7.67974E-06	0.787416792	216.8907595
360	1800	5010.3	0.484	7.61691E-06	0.780974877	217.4985034



ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
361	1805	5024.3	0.486	7.6588E-06	0.785269487	218.1062472
362	1810	5038.1	0.490	7.74257E-06	0.793858707	218.705309
363	1815	5051.9	0.487	7.67974E-06	0.787416792	219.3043708
364	1820	5065.8	0.492	7.78446E-06	0.798153318	219.9077736
365	1825	5079.8	0.493	7.8054E-06	0.800300623	220.5155175
366	1830	5093.7	0.492	7.78446E-06	0.798153318	221.1189203
367	1835	5107.6	0.486	7.6588E-06	0.785269487	221.7223232
368	1840	5121.5	0.485	7.63786E-06	0.783122182	222.325726
369	1845	5135.5	0.484	7.61691E-06	0.780974877	222.9334698
370	1850	5149.5	0.487	7.67974E-06	0.787416792	223.5412137
371	1855	5163.3	0.484	7.61691E-06	0.780974877	224.1402755
372	1860	5177.5	0.489	7.72163E-06	0.791711402	224.7567014
373	1865	5191.4	0.500	7.952E-06	0.815331759	225.3601042
374	1870	5205.3	0.497	7.88917E-06	0.808889843	225.9635071
375	1875	5219.2	0.504	8.03577E-06	0.823920979	226.5669099
376	1880	5233.0	0.499	7.93106E-06	0.813184454	227.1659717
377	1885	5246.8	0.497	7.88917E-06	0.808889843	227.7650335
378	1890	5260.7	0.496	7.86823E-06	0.806742538	228.3684363
379	1895	5274.7	0.497	7.88917E-06	0.808889843	228.9761802
380	1900	5288.6	0.494	7.82634E-06	0.802447928	229.579583
381	1905	5302.5	0.500	7.952E-06	0.815331759	230.1829859
382	1910	5316.4	0.501	7.97294E-06	0.817479064	230.7863887
383	1915	5330.4	0.504	8.03577E-06	0.823920979	231.3941325
384	1920	5344.4	0.508	8.11954E-06	0.83251020	232.0018764
385	1925	5358.2	0.512	8.20331E-06	0.84109942	232.6009382
386	1930	5372.4	0.512	8.20331E-06	0.84109942	233.2173641
387	1935	5386.3	0.508	8.11954E-06	0.83251020	233.8207669
388	1940	5400.2	0.511	8.18237E-06	0.838952115	234.4241698
389	1945	5414.2	0.507	8.0986E-06	0.830362895	235.0319136
390	1950	5428.1	0.517	8.30803E-06	0.851835946	235.6353165

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาท)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
391	1955	5442.0	0.522	8.41274E-06	0.862572472	236.2387193
392	1960	5456.0	0.520	8.37086E-06	0.858277861	236.8464631
393	1965	5469.9	0.525	8.47557E-06	0.869014387	237.449866
394	1970	5483.9	0.531	8.60123E-06	0.881898218	238.0576098
395	1975	5498.0	0.524	8.45463E-06	0.866867082	238.6696947
396	1980	5512.0	0.523	8.43368E-06	0.864719777	239.2774386
397	1985	5525.8	0.532	8.62217E-06	0.884045523	239.8765004
398	1990	5539.8	0.539	8.76877E-06	0.899076659	240.4842442
399	1995	5553.8	0.534	8.66406E-06	0.888340133	241.0919881
400	2000	5567.9	0.540	8.78971E-06	0.901223964	241.7040730
401	2005	5582.2	0.542	8.8316E-06	0.905518574	242.3248399
402	2010	5596.0	0.542	8.8316E-06	0.905518574	242.9239017
403	2015	5610.2	0.539	8.76877E-06	0.899076659	243.5403276
404	2020	5624.4	0.537	8.72688E-06	0.894782049	244.1567535
405	2025	5638.5	0.542	8.8316E-06	0.905518574	244.7688384
406	2030	5652.5	0.534	8.66406E-06	0.888340133	245.3765823
407	2035	5666.7	0.534	8.66406E-06	0.888340133	245.9930082
408	2040	5680.9	0.537	8.72688E-06	0.894782049	246.6094341
409	2045	5694.8	0.535	8.685E-06	0.890487438	247.2128369
410	2050	5708.7	0.541	8.81066E-06	0.903371269	247.8162398
411	2055	5722.6	0.536	8.70594E-06	0.892634743	248.4196426
412	2060	5736.4	0.538	8.74783E-06	0.896929354	249.0187044
413	2065	5750.6	0.538	8.74783E-06	0.896929354	249.6351303
414	2070	5764.5	0.535	8.685E-06	0.890487438	250.2385331
415	2075	5778.3	0.539	8.76877E-06	0.899076659	250.8375949
416	2080	5792.2	0.540	8.78971E-06	0.901223964	251.4409978
417	2085	5806.1	0.539	8.76877E-06	0.899076659	252.0444006
418	2090	5820.2	0.539	8.76877E-06	0.899076659	252.6564855
419	2095	5834.2	0.533	8.64311E-06	0.886192828	253.2642293
420	2100	5848.0	0.534	8.66406E-06	0.888340133	253.8632911

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
421	2105	5861.9	0.537	8.72688E-06	0.894782049	254.4666940
422	2110	5875.8	0.541	8.81066E-06	0.903371269	255.0700968
423	2115	5889.8	0.538	8.74783E-06	0.896929354	255.6778407
424	2120	5903.9	0.542	8.8316E-06	0.905518574	256.2899255
425	2125	5917.8	0.536	8.70594E-06	0.892634743	256.8933284
426	2130	5932.7	0.538	8.74783E-06	0.896929354	257.5401415
427	2135	5946.5	0.534	8.66406E-06	0.888340133	258.1392033
428	2140	5960.4	0.540	8.78971E-06	0.901223964	258.7426061
429	2145	5974.3	0.535	8.685E-06	0.890487438	259.3460089
430	2150	5988.1	0.536	8.70594E-06	0.892634743	259.9450707
431	2155	6001.9	0.536	8.70594E-06	0.892634743	260.5441325
432	2160	6015.8	0.537	8.72688E-06	0.894782049	261.1475354
433	2165	6029.7	0.534	8.66406E-06	0.888340133	261.7509382
434	2170	6043.7	0.542	8.8316E-06	0.905518574	262.3586821
435	2175	6057.6	0.537	8.72688E-06	0.894782049	262.9620849
436	2180	6071.6	0.539	8.77E-06	0.899076659	263.5698287
437	2185	6085.7	0.541	8.81066E-06	0.903371269	264.1819136
438	2190	6099.7	0.537	8.72688E-06	0.894782049	264.7896575
439	2195	6113.5	0.542	8.8316E-06	0.905518574	265.3887193
440	2200	6127.5	0.537	8.72688E-06	0.894782049	265.9964631
441	2205	6141.5	0.546	8.91537E-06	0.914107795	266.6042070
442	2210	6155.6	0.545	8.89443E-06	0.91196049	267.2162919
443	2215	6169.9	0.551	9.02008E-06	0.92484432	267.8370588
444	2220	6183.7	0.548	8.95726E-06	0.918402405	268.4361206
445	2225	6197.9	0.548	8.95726E-06	0.918402405	269.0525465
446	2230	6212.1	0.551	9.02008E-06	0.92484432	269.6689724
447	2235	6226.2	0.546	8.91537E-06	0.914107795	270.2810573
448	2240	6240.2	0.547	8.93631E-06	0.916255100	270.8888012
449	2245	6254.4	0.549	8.9782E-06	0.92054971	271.5052271
450	2250	6268.6	0.547	8.93631E-06	0.9162551	272.121653

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนานทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
451	2255	6282.5	0.551	9.02008E-06	0.92484432	272.7250558
452	2260	6296.4	0.551	9.02008E-06	0.92484432	273.3284587
453	2265	6310.3	0.546	8.91537E-06	0.914107795	273.9318615
454	2270	6324.1	0.560	9.20857E-06	0.944170067	274.5309233
455	2275	6338.3	0.559	9.18763E-06	0.942022761	275.1473492
456	2280	6352.2	0.557	9.14574E-06	0.937728151	275.750752
457	2285	6366.0	0.554	9.08291E-06	0.931286236	276.3498138
458	2290	6379.9	0.560	9.20857E-06	0.944170067	276.9532167
459	2295	6393.8	0.561	9.22951E-06	0.946317372	277.5566195
460	2300	6407.9	0.552	9.04103E-06	0.926991626	278.1687044
461	2305	6421.9	0.554	9.08291E-06	0.931286236	278.7764483
462	2310	6435.7	0.557	9.14574E-06	0.937728151	279.3755101
463	2315	6449.6	0.561	9.22951E-06	0.946317372	279.9789129
464	2320	6463.5	0.560	9.20857E-06	0.944170067	280.5823157
465	2325	6477.5	0.554	9.08291E-06	0.931286236	281.1900596
466	2330	6491.6	0.563	9.2714E-06	0.950611982	281.8021445
467	2335	6505.5	0.553	9.06197E-06	0.929138931	282.4055473
468	2340	6520.4	0.556	9.1248E-06	0.935580846	283.0523604
469	2345	6534.2	0.556	9.1248E-06	0.935580846	283.6514222
470	2350	6548.1	0.555	9.10386E-06	0.933433541	284.2548250
471	2355	6562.0	0.561	9.22951E-06	0.946317372	284.8582278
472	2360	6575.8	0.554	9.08291E-06	0.931286236	285.4572897
473	2365	6589.6	0.553	9.06197E-06	0.929138931	286.0563515
474	2370	6603.5	0.559	9.18763E-06	0.942022761	286.6597543
475	2375	6617.4	0.559	9.18763E-06	0.942022761	287.2631571
476	2380	6631.3	0.555	9.10386E-06	0.933433541	287.8665599
477	2385	6645.4	0.555	9.10386E-06	0.933433541	288.4786448
478	2390	6659.4	0.554	9.08291E-06	0.931286236	289.0863887
479	2395	6673.2	0.552	9.04103E-06	0.926991626	289.6854505
480	2400	6687.1	0.554	9.08291E-06	0.931286236	290.2888533

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
481	2405	6701.0	0.560	9.20857E-06	0.944170067	290.8922561
482	2410	6715.0	0.560	9.20857E-06	0.944170067	291.5000000
483	2415	6729.1	0.561	9.22951E-06	0.946317372	292.1120849
484	2420	6743.0	0.554	9.08291E-06	0.931286236	292.7154877
485	2425	6757.9	0.562	9.25046E-06	0.948464677	293.3623008
486	2430	6771.7	0.556	9.1248E-06	0.935580846	293.9613626
487	2435	6785.6	0.559	9.18763E-06	0.942022761	294.5647655
488	2440	6799.5	0.559	9.18763E-06	0.942022761	295.1681683
489	2445	6813.3	0.556	9.1248E-06	0.935580846	295.7672301
490	2450	6827.1	0.554	9.08291E-06	0.931286236	296.3662919
491	2455	6841.0	0.558	9.16668E-06	0.939875456	296.9696947
492	2460	6854.9	0.554	9.08291E-06	0.931286236	297.5730975
493	2465	6868.9	0.562	9.25046E-06	0.948464677	298.1808414
494	2470	6882.8	0.563	9.2714E-06	0.950611982	298.7842442
495	2475	6896.8	0.561	9.22951E-06	0.946317372	299.3919881
496	2480	6910.9	0.561	9.22951E-06	0.946317372	300.004073
497	2485	6924.9	0.561	9.22951E-06	0.946317372	300.6118168
498	2490	6938.7	0.554	9.08291E-06	0.931286236	301.2108786
499	2495	6952.7	0.558	9.16668E-06	0.939875456	301.8186225
500	2500	6966.7	0.557	9.14574E-06	0.937728151	302.4263663
501	2505	6980.8	0.566	9.33423E-06	0.957053897	303.0384512
502	2510	6995.1	0.571	9.43894E-06	0.967790423	303.6592182
503	2515	7008.9	0.565	9.31328E-06	0.954906592	304.258280
504	2520	7023.1	0.571	9.43894E-06	0.967790423	304.8747059
505	2525	7037.3	0.567	9.35517E-06	0.959201202	305.4911318
506	2530	7051.4	0.567	9.35517E-06	0.959201202	306.1032167
507	2535	7065.4	0.571	9.43894E-06	0.967790423	306.7109605
508	2540	7079.6	0.571	9.43894E-06	0.967790423	307.3273864
509	2545	7093.8	0.567	9.35517E-06	0.959201202	307.9438124
510	2550	7107.7	0.568	9.37611E-06	0.961348508	308.5472152

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
511	2555	7121.6	0.572	9.45988E-06	0.969937728	309.1506180
512	2560	7135.5	0.569	9.39706E-06	0.963495813	309.7540208
513	2565	7149.3	0.572	9.45988E-06	0.969937728	310.3530827
514	2570	7163.5	0.567	9.35517E-06	0.959201202	310.9695086
515	2575	7177.4	0.571	9.43894E-06	0.967790423	311.5729114
516	2580	7191.2	0.579	9.60648E-06	0.984968864	312.1719732
517	2585	7205.1	0.579	9.60648E-06	0.984968864	312.775376
518	2590	7219.0	0.576	9.54366E-06	0.978526949	313.3787789
519	2595	7233.1	0.574	9.50177E-06	0.974232338	313.9908637
520	2600	7247.1	0.575	9.52271E-06	0.976379644	314.5986076
521	2605	7261.0	0.577	9.5646E-06	0.980674254	315.2020104
522	2610	7274.9	0.586	9.75308E-06	1.000000000	315.8054133
523	2615	7289.0	0.588	9.79497E-06	1.004294610	316.4174981
524	2620	7303.0	0.592	9.87874E-06	1.012883831	317.025242
525	2625	7316.8	0.587	9.77403E-06	1.002147305	317.6243038
526	2630	7330.7	0.587	9.77403E-06	1.002147305	318.2277066
527	2635	7344.6	0.588	9.79497E-06	1.004294610	318.8311095
528	2640	7358.6	0.586	9.75308E-06	1.000000000	319.4388533
529	2645	7372.7	0.592	9.87874E-06	1.012883831	320.0509382
530	2650	7386.6	0.596	9.96251E-06	1.021473051	320.6543410
531	2655	7401.5	0.585	9.73214E-06	0.997852695	321.3011541
532	2660	7415.3	0.590	9.83686E-06	1.008589221	321.9002159
533	2665	7429.2	0.585	9.73214E-06	0.997852695	322.5036188
534	2670	7443.1	0.587	9.77403E-06	1.002147305	323.1070216
535	2675	7456.9	0.589	9.81591E-06	1.006441915	323.7060834
536	2680	7470.7	0.575	9.52271E-06	0.976379644	324.3051452
537	2685	7484.6	0.585	9.73214E-06	0.997852695	324.908548
538	2690	7498.5	0.588	9.79497E-06	1.00429461	325.5119509
539	2695	7512.5	0.585	9.73214E-06	0.997852695	326.1196947
540	2700	7526.4	0.584	9.7112E-06	0.99570539	326.7230975

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
541	2705	7540.4	0.585	9.73214E-06	0.997852695	327.3308414
542	2710	7554.5	0.583	9.69026E-06	0.993558085	327.9429263
543	2715	7568.5	0.589	9.81591E-06	1.006441915	328.5506701
544	2720	7582.3	0.589	9.81591E-06	1.006441915	329.1497319
545	2725	7596.3	0.590	9.83686E-06	1.008589221	329.7574758
546	2730	7610.3	0.592	9.87874E-06	1.012883831	330.3652197
547	2735	7624.4	0.587	9.77403E-06	1.002147305	330.9773045
548	2740	7638.7	0.584	9.7112E-06	0.995705390	331.5980715
549	2745	7652.5	0.589	9.81591E-06	1.006441915	332.1971333
550	2750	7666.7	0.584	9.7112E-06	0.99570539	332.8135592
551	2755	7680.9	0.588	9.79497E-06	1.00429461	333.4299851
552	2760	7695.0	0.591	9.8578E-06	1.010736526	334.0420700
553	2765	7709.0	0.592	9.87874E-06	1.012883831	334.6498138
554	2770	7723.2	0.593	9.89968E-06	1.015031136	335.2662398
555	2775	7737.4	0.588	9.79497E-06	1.00429461	335.8826657
556	2780	7751.3	0.593	9.89968E-06	1.015031136	336.4860685
557	2785	7765.2	0.588	9.79497E-06	1.00429461	337.0894713
558	2790	7779.1	0.587	9.77403E-06	1.002147305	337.6928742
559	2795	7792.9	0.584	9.7112E-06	0.99570539	338.291936
560	2800	7807.1	0.588	9.79497E-06	1.00429461	338.9083619
561	2805	7821.0	0.589	9.81591E-06	1.006441915	339.5117647
562	2810	7834.8	0.592	9.87874E-06	1.012883831	340.1108265
563	2815	7848.7	0.592	9.87874E-06	1.012883831	340.7142293
564	2820	7862.6	0.593	9.89968E-06	1.015031136	341.3176322
565	2825	7876.7	0.585	9.73214E-06	0.997852695	341.9297171
566	2830	7890.7	0.592	9.87874E-06	1.012883831	342.5374609
567	2835	7905.0	0.588	9.79497E-06	1.00429461	343.1582278
568	2840	7918.8	0.586	9.75308E-06	1.000000000	343.7572897
569	2845	7933.0	0.592	9.87874E-06	1.012883831	344.3737156
570	2850	7947.2	0.591	9.8578E-06	1.010736526	344.9901415

ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
571	2855	7961.3	0.591	9.8578E-06	1.010736526	345.6022264
572	2860	7975.3	0.584	9.7112E-06	0.99570539	346.2099702
573	2865	7989.5	0.591	9.8578E-06	1.010736526	346.8263961
574	2870	8003.7	0.588	9.79497E-06	1.00429461	347.442822
575	2875	8017.6	0.592	9.87874E-06	1.012883831	348.0462249
576	2880	8031.5	0.592	9.87874E-06	1.012883831	348.6496277
577	2885	8045.4	0.591	9.8578E-06	1.010736526	349.2530305
578	2890	8059.2	0.589	9.81591E-06	1.006441915	349.8520923
579	2895	8073.4	0.586	9.75308E-06	1.000000000	350.4685182
580	2900	8087.3	0.584	9.7112E-06	0.99570539	351.0719211
581	2905	8101.1	0.589	9.81591E-06	1.006441915	351.6709829
582	2910	8115.0	0.584	9.7112E-06	0.995705390	352.2743857
583	2915	8128.9	0.592	9.87874E-06	1.012883831	352.8777885
584	2920	8143.0	0.594	9.92063E-06	1.017178441	353.4898734
585	2925	8157.0	0.588	9.79497E-06	1.004294610	354.0976173
586	2930	8170.8	0.588	9.79497E-06	1.004294610	354.6966791
587	2935	8184.7	0.591	9.8578E-06	1.010736526	355.3000819
588	2940	8198.6	0.586	9.75308E-06	1.000000000	355.9034847
589	2945	8212.6	0.586	9.75308E-06	1.000000000	356.5112286
590	2950	8226.7	0.584	9.7112E-06	0.99570539	357.1233135
591	2955	8240.6	0.591	9.8578E-06	1.010736526	357.7267163
592	2960	8255.5	0.592	9.87874E-06	1.012883831	358.3735294
593	2965	8269.3	0.584	9.7112E-06	0.99570539	358.9725912
594	2970	8283.2	0.589	9.81591E-06	1.006441915	359.575994
595	2975	8297.1	0.592	9.87874E-06	1.012883831	360.1793969
596	2980	8310.9	0.590	9.83686E-06	1.008589221	360.7784587
597	2985	8324.7	0.588	9.79497E-06	1.00429461	361.3775205
598	2990	8338.6	0.588	9.79497E-06	1.00429461	361.9809233
599	2995	8352.5	0.583	9.69026E-06	0.993558085	362.5843261
600	3000	8366.4	0.591	9.8578E-06	1.010736526	363.187729



ตารางที่ ง -15 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (ฟีนานทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดเกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่าง ที่	เวลา ทั้งหมด (นาที)	ปริมาตร ทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
601	3005	8380.5	0.585	9.73214E-06	0.997852695	363.7998138
602	3010	8394.5	0.589	9.81591E-06	1.006441915	364.4075577
603	3015	8408.3	0.587	9.77403E-06	1.002147305	365.0066195
604	3020	8422.2	0.588	9.79497E-06	1.004294610	365.6100223
605	3025	8436.1	0.585	9.73214E-06	0.997852695	366.2134252
606	3030	8450.1	0.588	9.79497E-06	1.00429461	366.821169

ตารางที่ ง -16 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแวนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	14.1	0.325	4.287E-06	0.430313223	0.589630167
2	10	27.9	0.172	1.08275E-06	0.108681942	1.166715011
3	15	41.8	0.110	0.000000000	0.000000000	1.747981629
4	20	55.7	0.113	0.000000000	0.000000000	2.329248248
5	25	69.6	0.096	0.000000000	0.000000000	2.910514866
6	30	83.5	0.090	0.000000000	0.000000000	3.491781484
7	35	97.3	0.111	0.000000000	0.000000000	4.068866328
8	40	111.5	0.125	9.84314E-08	0.009880177	4.662678269
9	45	125.4	0.136	3.28803E-07	0.033003994	5.243944888
10	50	139.2	0.147	5.59174E-07	0.056127812	5.821029732
11	55	153.1	0.162	8.73317E-07	0.08766029	6.40229635
12	60	167.0	0.174	1.12463E-06	0.112886273	6.983562968
13	65	181.1	0.187	1.39689E-06	0.140214421	7.573193135
14	70	195.1	0.225	2.19272E-06	0.2200967	8.158641528
15	75	208.9	0.226	2.21366E-06	0.222198865	8.735726372
16	80	222.8	0.228	2.25554E-06	0.226403195	9.31699299
17	85	236.7	0.228	2.25554E-06	0.226403195	9.898259608
18	90	250.7	0.236	2.42309E-06	0.243220517	10.4837080
19	95	264.8	0.239	2.48592E-06	0.249527013	11.07333817
20	100	278.7	0.243	2.56969E-06	0.257935674	11.65460479
21	105	293.6	0.243	2.56969E-06	0.257935674	12.27768915
22	110	307.4	0.246	2.63252E-06	0.264242169	12.85477399
23	115	321.3	0.249	2.69534E-06	0.270548665	13.43604061
24	120	335.2	0.249	2.69534E-06	0.270548665	14.01730723
25	125	349	0.257	2.86289E-06	0.287365987	14.59439207
26	130	362.8	0.259	2.90477E-06	0.291570317	15.17147692
27	135	376.7	0.264	3.00949E-06	0.302081144	15.75274353
28	140	390.7	0.264	3.00949E-06	0.302081144	16.33819193
29	145	404.6	0.267	3.07232E-06	0.308387639	16.91945854
30	150	418.5	0.274	3.21892E-06	0.323102796	17.50072516

ตารางที่ ง -16 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
31	155	432.4	0.283	3.4074E-06	0.342022283	18.08199178
32	160	446.4	0.279	3.32363E-06	0.333613622	18.66744017
33	165	460.4	0.281	3.36552E-06	0.337817952	19.25288857
34	170	474.2	0.285	3.44929E-06	0.346226613	19.82997341
35	175	488.4	0.285	3.44929E-06	0.346226613	20.42378535
36	180	502.3	0.290	3.554E-06	0.356737440	21.00505197
37	185	516.2	0.296	3.67966E-06	0.369350431	21.58631859
38	190	530.2	0.304	3.8472E-06	0.386167753	22.17176698
39	195	544.1	0.301	3.78437E-06	0.379861257	22.75303360
40	200	558.1	0.314	4.05663E-06	0.407189405	23.33848199
41	205	572.2	0.309	3.95192E-06	0.396678579	23.92811216
42	210	586.2	0.316	4.09852E-06	0.411393736	24.51356055
43	215	600.0	0.311	3.9938E-06	0.400882909	25.0906454
44	220	614.0	0.316	4.09852E-06	0.411393736	25.67609379
45	225	628.0	0.317	4.11946E-06	0.413495901	26.26154218
46	230	642.1	0.321	4.20323E-06	0.421904562	26.85117235
47	235	656.4	0.324	4.26606E-06	0.428211057	27.44916606
48	240	670.2	0.325	4.287E-06	0.430313223	28.02625091
49	245	684.4	0.366	5.14566E-06	0.516501997	28.62006285
50	250	698.6	0.436	6.61166E-06	0.663653563	29.21387479
51	255	712.7	0.432	6.52789E-06	0.655244902	29.80350496
52	260	726.7	0.436	6.61166E-06	0.663653563	30.38895335
53	265	740.9	0.431	6.50694E-06	0.653142737	30.98276529
54	270	755.1	0.417	6.21374E-06	0.623712424	31.57657723
55	275	769.2	0.438	6.65354E-06	0.667857894	32.1662074
56	280	783.0	0.441	6.71637E-06	0.674164389	32.74329224
57	285	796.9	0.446	6.82109E-06	0.684675215	33.32455886
58	290	810.8	0.436	6.61166E-06	0.663653563	33.90582548
59	295	824.7	0.440	6.69543E-06	0.672062224	34.4870921
60	300	838.6	0.448	6.86297E-06	0.688879546	35.06835871

ตารางที่ ง -16 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
61	305	852.4	0.455	7.00957E-06	0.703594703	35.64544356
62	310	866.6	0.452	6.94674E-06	0.697288207	36.2392555
63	315	880.5	0.470	7.32371E-06	0.735127181	36.82052212
64	320	894.3	0.476	7.44937E-06	0.747740172	37.39760696
65	325	908.2	0.471	7.34466E-06	0.737229346	37.97887358
66	330	922.1	0.469	7.30277E-06	0.733025016	38.5601402
67	335	936.2	0.475	7.42843E-06	0.745638007	39.14977036
68	340	950.2	0.474	7.40748E-06	0.743535842	39.73521876
69	345	964.0	0.475	7.42843E-06	0.745638007	40.3123036
70	350	977.9	0.471	7.34466E-06	0.737229346	40.89357022
71	355	991.8	0.474	7.40748E-06	0.743535842	41.47483684
72	360	1005.8	0.484	7.61691E-06	0.764557494	42.06028523
73	365	1019.9	0.484	7.61691E-06	0.764557494	42.6499154
74	370	1033.8	0.485	7.63786E-06	0.766659659	43.23118202
75	375	1048.7	0.490	7.74257E-06	0.777170486	43.85426638
76	380	1062.5	0.491	7.76351E-06	0.779272651	44.43135122
77	385	1076.4	0.485	7.63786E-06	0.766659659	45.01261784
78	390	1090.3	0.477	7.47031E-06	0.749842338	45.59388446
79	395	1104.1	0.502	7.99388E-06	0.802396468	46.17096930
80	400	1117.9	0.504	8.03577E-06	0.806600799	46.74805415
81	405	1131.8	0.504	8.03577E-06	0.806600799	47.32932076
82	410	1145.8	0.499	7.93106E-06	0.796089973	47.91476916
83	415	1159.7	0.507	8.0986E-06	0.812907295	48.49603577
84	420	1173.6	0.495	7.84728E-06	0.787681312	49.07730239
85	425	1187.5	0.518	8.32897E-06	0.836031112	49.65856901
86	430	1201.5	0.494	7.82634E-06	0.785579147	50.24401740
87	435	1215.5	0.522	8.41274E-06	0.844439773	50.82946580
88	440	1229.3	0.555	9.10386E-06	0.913811226	51.40655064
89	445	1243.5	0.522	8.41274E-06	0.844439773	52.00036258
90	450	1257.4	0.512	8.20331E-06	0.823418121	52.5816292

ตารางที่ ง -16 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
91	455	1271.3	0.533	8.64311E-06	0.86756359	53.16289582
92	460	1285.3	0.508	8.11954E-06	0.81500946	53.74834421
93	465	1299.2	0.536	8.70594E-06	0.873870086	54.32961083
94	470	1313.2	0.572	9.45988E-06	0.949548034	54.91505922
95	475	1327.3	0.535	8.685E-06	0.871767921	55.50468939
96	480	1341.3	0.522	8.41274E-06	0.844439773	56.09013778
97	485	1355.1	0.546	8.91537E-06	0.894891738	56.66722263
98	490	1369.1	0.522	8.41274E-06	0.844439773	57.25267102
99	495	1383.1	0.544	8.87348E-06	0.890687408	57.83811941
100	500	1397.2	0.540	8.78971E-06	0.882278747	58.42774958
101	505	1411.5	0.543	8.85254E-06	0.888585243	59.02574329
102	510	1425.3	0.535	8.685E-06	0.871767921	59.60282814
103	515	1439.5	0.535	8.685E-06	0.871767921	60.19664008
104	520	1453.7	0.544	8.87348E-06	0.890687408	60.79045202
105	525	1467.8	0.544	8.87348E-06	0.890687408	61.38008219
106	530	1481.8	0.542	8.8316E-06	0.886483078	61.96553058
107	535	1496.0	0.542	8.8316E-06	0.886483078	62.55934252
108	540	1510.2	0.541	8.81066E-06	0.884380912	63.15315446
109	545	1524.1	0.550	8.99914E-06	0.903300399	63.73442108
110	550	1538.0	0.553	9.06197E-06	0.909606895	64.3156877
111	555	1551.9	0.549	8.9782E-06	0.901198234	64.89695431
112	560	1565.7	0.549	8.9782E-06	0.901198234	65.47403916
113	565	1579.9	0.563	9.2714E-06	0.930628547	66.0678511
114	570	1593.8	0.564	9.29234E-06	0.932730713	66.64911772
115	575	1607.6	0.566	9.33423E-06	0.936935043	67.22620256
116	580	1621.5	0.576	9.54366E-06	0.957956695	67.80746918
117	585	1635.4	0.587	9.77403E-06	0.981080513	68.3887358
118	590	1649.5	0.578	9.58554E-06	0.962161026	68.97836597
119	595	1663.5	0.582	9.66931E-06	0.970569687	69.56381436
120	600	1677.3	0.582	9.66931E-06	0.970569687	70.1408992

ตารางที่ ง -16 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 0.5 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
121	605	1691.2	0.594	9.92063E-06	0.995795670	70.72216582
122	610	1705.1	0.587	9.77403E-06	0.981080513	71.30343244
123	615	1719.1	0.596	9.96251E-06	1.000000000	71.88888083
124	620	1733.2	0.606	1.01719E-05	1.021021652	72.4785110
125	625	1747.1	0.605	1.0151E-05	1.018919487	73.05977762
126	630	1762.0	0.587	9.77403E-06	0.981080513	73.68286198
127	635	1775.8	0.598	1.00044E-05	1.00420433	74.25994682
128	640	1789.7	0.601	1.00672E-05	1.010510826	74.84121344
129	645	1803.6	0.594	9.92063E-06	0.99579567	75.42248006
130	650	1817.4	0.602	1.00882E-05	1.012612991	75.9995649
131	655	1831.2	0.602	1.00882E-05	1.012612991	76.57664975
132	660	1845.1	0.591	9.8578E-06	0.989489174	77.15791636
133	665	1859.1	0.598	1.00044E-05	1.00420433	77.74336476
134	670	1873.0	0.595	9.94157E-06	0.997897835	78.32463138
135	675	1886.9	0.597	9.98346E-06	1.002102165	78.90589799
136	680	1900.8	0.603	1.01091E-05	1.014715157	79.48716461
137	685	1914.8	0.599	1.00253E-05	1.006306496	80.07261300
138	690	1928.8	0.595	9.94157E-06	0.997897835	80.65806140
139	695	1942.6	0.591	9.8578E-06	0.989489174	81.23514624
140	700	1956.8	0.589	9.81591E-06	0.985284843	81.82895818
141	705	1970.7	0.588	9.79497E-06	0.983182678	82.41022480
142	710	1984.6	0.600	1.00463E-05	1.008408661	82.99149142
143	715	1998.6	0.594	9.92063E-06	0.99579567	83.57693981

ตารางที่ ง -17 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	14.1	0.420	6.27657E-06	0.657669519	0.577496062
2	10	27.9	0.187	1.39689E-06	0.146368225	1.142704973
3	15	41.8	0.128	1.6126E-07	0.016897081	1.712009602
4	20	55.7	0.098	0.000000000	0.000000000	2.28131423
5	25	69.6	0.104	0.000000000	0.000000000	2.850618858
6	30	83.5	0.106	0.000000000	0.000000000	3.419923487
7	35	97.3	0.102	0.000000000	0.000000000	3.985132398
8	40	111.5	0.104	0.000000000	0.000000000	4.566724177
9	45	125.4	0.095	0.000000000	0.000000000	5.136028805
10	50	139.2	0.092	0.000000000	0.000000000	5.701237717
11	55	153.1	0.085	0.000000000	0.000000000	6.270542345
12	60	167.0	0.097	0.000000000	0.000000000	6.839846973
13	65	181.1	0.120	0.000000000	0.000000000	7.417343035
14	70	195.1	0.097	0.000000000	0.000000000	7.99074338
15	75	208.9	0.102	0.000000000	0.000000000	8.555952292
16	80	222.8	0.093	0.000000000	0.000000000	9.12525692
17	85	236.7	0.090	0.000000000	0.000000000	9.694561548
18	90	250.7	0.084	0.000000000	0.000000000	10.26796189
19	95	264.8	0.096	0.000000000	0.000000000	10.84545796
20	100	278.7	0.101	0.000000000	0.000000000	11.41476258
21	105	293.6	0.097	0.000000000	0.000000000	12.02502438
22	110	307.4	0.099	0.000000000	0.000000000	12.59023329
23	115	321.3	0.095	0.000000000	0.000000000	13.15953792
24	120	335.2	0.091	0.000000000	0.000000000	13.72884255
25	125	349.0	0.086	0.000000000	0.000000000	14.29405146
26	130	362.8	0.099	0.000000000	0.000000000	14.85926037
27	135	376.7	0.102	0.000000000	0.000000000	15.42856500
28	140	390.7	0.100	0.000000000	0.000000000	16.00196534
29	145	404.6	0.101	0.000000000	0.000000000	16.57126997
30	150	418.5	0.099	0.000000000	0.000000000	17.1405746

ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
31	155	432.4	0.096	0.00000000	0.000000000	17.70987923
32	160	446.4	0.091	0.00000000	0.000000000	18.28327957
33	165	460.4	0.104	0.00000000	0.000000000	18.85667992
34	170	474.2	0.110	0.00000000	0.000000000	19.42188883
35	175	488.4	0.108	0.00000000	0.000000000	20.00348061
36	180	502.3	0.108	0.00000000	0.000000000	20.57278524
37	185	516.2	0.109	0.00000000	0.000000000	21.14208987
38	190	530.2	0.108	0.00000000	0.000000000	21.71549021
39	195	544.1	0.103	0.00000000	0.000000000	22.28479484
40	200	558.1	0.118	0.00000000	0.000000000	22.85819518
41	205	572.2	0.123	5.65457E-08	0.005924951	23.43569125
42	210	586.2	0.121	1.466E-08	0.001536098	24.00909159
43	215	600.0	0.123	5.65457E-08	0.005924951	24.5743005
44	220	614.0	0.132	2.45031E-07	0.025674786	25.14770085
45	225	628.0	0.144	4.96345E-07	0.05200790	25.72110119
46	230	642.1	0.147	5.59174E-07	0.058591178	26.29859725
47	235	656.4	0.170	1.04086E-06	0.109062980	26.88428475
48	240	670.2	0.174	1.12463E-06	0.117840685	27.44949366
49	245	684.4	0.189	1.43877E-06	0.150757077	28.03108544
50	250	698.6	0.206	1.7948E-06	0.188062322	28.61267722
51	255	712.7	0.203	1.73197E-06	0.181479043	29.19017328
52	260	726.7	0.204	1.75292E-06	0.183673469	29.76357363
53	265	740.9	0.208	1.83669E-06	0.192451174	30.34516540
54	270	755.1	0.211	1.89952E-06	0.199034452	30.92675718
55	275	769.2	0.215	1.98329E-06	0.207812157	31.50425324
56	280	783.0	0.213	1.9414E-06	0.203423305	32.06946216
57	285	796.9	0.218	2.04612E-06	0.214395436	32.63876678
58	290	810.8	0.214	1.96234E-06	0.205617731	33.20807141
59	295	824.7	0.214	1.96234E-06	0.205617731	33.77737604
60	300	838.6	0.215	1.98329E-06	0.207812157	34.34668067



ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
61	305	852.4	0.216	2.00423E-06	0.210006583	34.91188958
62	310	866.6	0.223	2.15083E-06	0.225367566	35.49348136
63	315	880.5	0.225	2.19272E-06	0.229756419	36.06278599
64	320	894.3	0.227	2.2346E-06	0.234145271	36.62799490
65	325	908.2	0.230	2.29743E-06	0.240728549	37.19729953
66	330	922.1	0.223	2.15083E-06	0.225367566	37.76660416
67	335	936.2	0.224	2.17177E-06	0.227561993	38.34410022
68	340	950.2	0.229	2.27649E-06	0.238534123	38.91750056
69	345	964.0	0.232	2.33932E-06	0.245117402	39.48270947
70	350	977.9	0.236	2.42309E-06	0.253895106	40.0520141
71	355	991.8	0.232	2.33932E-06	0.245117402	40.62131873
72	360	1005.8	0.235	2.40214E-06	0.25170068	41.19471908
73	365	1019.9	0.234	2.3812E-06	0.249506254	41.77221514
74	370	1033.8	0.236	2.42309E-06	0.253895106	42.34151977
75	375	1048.7	0.239	2.48592E-06	0.260478385	42.95178156
76	380	1062.5	0.245	2.61157E-06	0.273644942	43.51699047
77	385	1076.4	0.248	2.6744E-06	0.28022822	44.0862951
78	390	1090.3	0.244	2.59063E-06	0.271450516	44.65559973
79	395	1104.1	0.243	2.56969E-06	0.26925609	45.22080864
80	400	1117.9	0.249	2.69534E-06	0.282422646	45.78601755
81	405	1131.8	0.249	2.69534E-06	0.282422646	46.35532218
82	410	1145.8	0.243	2.56969E-06	0.26925609	46.92872253
83	415	1159.7	0.247	2.65346E-06	0.278033794	47.49802715
84	420	1173.6	0.243	2.56969E-06	0.26925609	48.06733178
85	425	1187.5	0.246	2.63252E-06	0.275839368	48.63663641
86	430	1201.5	0.247	2.65346E-06	0.278033794	49.21003676
87	435	1215.5	0.250	2.71629E-06	0.284617073	49.7834371
88	440	1229.3	0.256	2.84194E-06	0.29778363	50.34864601
89	445	1243.5	0.260	2.92572E-06	0.306561334	50.93023779
90	450	1257.4	0.261	2.94666E-06	0.30875576	51.49954242

ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
91	455	1271.3	0.267	3.07232E-06	0.321922317	52.06884705
92	460	1285.3	0.265	3.03043E-06	0.317533465	52.64224739
93	465	1299.2	0.267	3.07232E-06	0.321922317	53.21155202
94	470	1313.2	0.267	3.07232E-06	0.321922317	53.78495237
95	475	1327.3	0.268	3.09326E-06	0.324116743	54.36244843
96	480	1341.3	0.266	3.05137E-06	0.319727891	54.93584877
97	485	1355.1	0.277	3.28174E-06	0.343866579	55.50105769
98	490	1369.1	0.272	3.17703E-06	0.332894448	56.07445803
99	495	1383.1	0.273	3.19797E-06	0.335088874	56.64785838
100	500	1397.2	0.281	3.36552E-06	0.352644284	57.22535444
101	505	1411.5	0.28	3.34457E-06	0.350449857	57.81104193
102	510	1425.3	0.271	3.15609E-06	0.330700022	58.37625084
103	515	1439.5	0.291	3.57494E-06	0.374588545	58.95784262
104	520	1453.7	0.310	3.97286E-06	0.416282642	59.53943440
105	525	1467.8	0.305	3.86814E-06	0.405310511	60.11693046
106	530	1481.8	0.307	3.91003E-06	0.409699364	60.69033081
107	535	1496.0	0.299	3.74249E-06	0.392143954	61.27192259
108	540	1510.2	0.295	3.65872E-06	0.383366250	61.85351437
109	545	1524.1	0.297	3.7006E-06	0.387755102	62.42281899
110	550	1538.0	0.303	3.82626E-06	0.400921659	62.99212362
111	555	1551.9	0.313	4.03569E-06	0.422865921	63.56142825
112	560	1565.7	0.318	4.1404E-06	0.433838051	64.12663716
113	565	1579.9	0.317	4.11946E-06	0.431643625	64.70822894
114	570	1593.8	0.311	3.9938E-06	0.418477068	65.27753357
115	575	1607.6	0.312	4.01474E-06	0.420671494	65.84274248
116	580	1621.5	0.301	3.78437E-06	0.396532807	66.41204711
117	585	1635.4	0.318	4.1404E-06	0.433838051	66.98135174
118	590	1649.5	0.316	4.09852E-06	0.429449199	67.55884780
119	595	1663.5	0.319	4.16134E-06	0.436032478	68.13224814
120	600	1677.3	0.314	4.05663E-06	0.425060347	68.69745705

ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
121	605	1691.2	0.320	4.18229E-06	0.438226904	69.26676168
122	610	1705.1	0.322	4.22417E-06	0.442615756	69.83606631
123	615	1719.1	0.322	4.22417E-06	0.442615756	70.40946666
124	620	1733.2	0.339	4.5802E-06	0.479921001	70.98696272
125	625	1747.1	0.338	4.55926E-06	0.477726575	71.55626735
126	630	1762.0	0.334	4.47549E-06	0.46894887	72.16652914
127	635	1775.8	0.332	4.4336E-06	0.464560018	72.73173805
128	640	1789.7	0.333	4.45454E-06	0.466754444	73.30104268
129	645	1803.6	0.335	4.49643E-06	0.471143296	73.87034731
130	650	1817.4	0.335	4.49643E-06	0.471143296	74.43555622
131	655	1831.2	0.350	4.81057E-06	0.504059688	75.00076513
132	660	1845.1	0.350	4.81057E-06	0.504059688	75.57006976
133	665	1859.1	0.350	4.81057E-06	0.504059688	76.14347011
134	670	1873.0	0.351	4.83151E-06	0.506254115	76.71277474
135	675	1886.9	0.344	4.68491E-06	0.490893131	77.28207936
136	680	1900.8	0.352	4.85246E-06	0.508448541	77.85138399
137	685	1914.8	0.340	4.60114E-06	0.482115427	78.42478434
138	690	1928.8	0.343	4.66397E-06	0.488698705	78.99818468
139	695	1942.6	0.354	4.89434E-06	0.512837393	79.56339359
140	700	1956.8	0.360	5.02E-06	0.526003950	80.14498537
141	705	1970.7	0.355	4.91529E-06	0.515031819	80.71429000
142	710	1984.6	0.353	4.8734E-06	0.510642967	81.28359463
143	715	1998.6	0.356	4.93623E-06	0.517226245	81.85699497
144	720	2012.5	0.357	4.95717E-06	0.519420671	82.4262996
145	725	2026.5	0.362	5.06189E-06	0.530392802	82.99969995
146	730	2040.6	0.363	5.08283E-06	0.532587228	83.57719601
147	735	2054.6	0.369	5.20849E-06	0.545753785	84.15059635
148	740	2068.4	0.363	5.08283E-06	0.532587228	84.71580527
149	745	2082.4	0.367	5.1666E-06	0.541364933	85.28920561
150	750	2096.4	0.368	5.18754E-06	0.543559359	85.86260596

ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแวนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
151	755	2110.5	0.364	5.10377E-06	0.534781655	86.44010202
152	760	2124.8	0.378	5.39697E-06	0.565503621	87.02578951
153	765	2138.6	0.373	5.29226E-06	0.55453149	87.59099842
154	770	2152.8	0.374	5.3132E-06	0.556725916	88.1725902
155	775	2167.0	0.379	5.41791E-06	0.567698047	88.75418198
156	780	2181.1	0.377	5.37603E-06	0.563309195	89.33167804
157	785	2195.1	0.378	5.39697E-06	0.565503621	89.90507839
158	790	2209.3	0.363	5.08283E-06	0.532587228	90.48667017
159	795	2223.5	0.386	5.56451E-06	0.58305903	91.06826195
160	800	2237.1	0.390	5.64829E-06	0.591836735	91.62527942
161	805	2250.5	0.384	5.52263E-06	0.578670178	92.17410547
162	810	2264.0	0.382	5.48074E-06	0.574281325	92.72702723
163	815	2277.6	0.387	5.58546E-06	0.585253456	93.28404471
164	820	2291.1	0.388	5.6064E-06	0.587447882	93.83696647
165	825	2304.6	0.373	5.29226E-06	0.55453149	94.38988823
166	830	2318.2	0.398	5.81583E-06	0.609392144	94.94690571
167	835	2331.6	0.400	5.85771E-06	0.613780996	95.49573175
168	840	2345.2	0.398	5.81583E-06	0.609392144	96.05274923
169	845	2358.7	0.394	5.73206E-06	0.600614439	96.60567099
170	850	2372.2	0.392	5.69017E-06	0.596225587	97.15859275
171	855	2385.6	0.399	5.83677E-06	0.61158657	97.7074188
172	860	2399.1	0.393	5.71111E-06	0.598420013	98.26034056
173	865	2412.5	0.410	6.06714E-06	0.635725258	98.8091666
174	870	2426.0	0.409	6.0462E-06	0.633530832	99.36208837
175	875	2439.5	0.405	5.96243E-06	0.624753127	99.91501013
176	880	2453.0	0.417	6.21374E-06	0.651086241	100.4679319
177	885	2466.5	0.412	6.10903E-06	0.64011411	101.0208536
178	890	2480.0	0.412	6.10903E-06	0.64011411	101.5737754
179	895	2493.5	0.416	6.1928E-06	0.648891815	102.1266972
180	900	2507.0	0.419	6.25563E-06	0.655475093	102.6796189

ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
181	905	2520.6	0.415	6.17186E-06	0.646697389	103.2366364
182	910	2534.3	0.413	6.12997E-06	0.642308536	103.7977496
183	915	2547.8	0.416	6.1928E-06	0.648891815	104.3506714
184	920	2561.2	0.418	6.23469E-06	0.653280667	104.8994974
185	925	2574.8	0.419	6.25563E-06	0.655475093	105.4565149
186	930	2588.2	0.415	6.17186E-06	0.646697389	106.0053409
187	935	2601.8	0.430	6.486E-06	0.679613781	106.5623584
188	940	2615.4	0.424	6.36034E-06	0.666447224	107.1193759
189	945	2628.9	0.428	6.44411E-06	0.675224929	107.6722977
190	950	2642.5	0.425	6.38129E-06	0.66864165	108.2293151
191	955	2656.0	0.428	6.44411E-06	0.675224929	108.7822369
192	960	2669.5	0.426	6.40223E-06	0.670836076	109.3351587
193	965	2683.0	0.413	6.12997E-06	0.642308536	109.8880804
194	970	2696.6	0.432	6.52789E-06	0.684002633	110.4450979
195	975	2710.1	0.438	6.65354E-06	0.69716919	110.9980197
196	980	2723.6	0.432	6.52789E-06	0.684002633	111.5509414
197	985	2737.2	0.436	6.61166E-06	0.692780338	112.1079589
198	990	2750.7	0.44	6.69543E-06	0.701558043	112.6608807
199	995	2764.3	0.435	6.59071E-06	0.690585912	113.2178981
200	1000	2777.7	0.437	6.6326E-06	0.694974764	113.7667242
201	1005	2791.2	0.438	6.65354E-06	0.69716919	114.3196459
202	1010	2804.7	0.431	6.50694E-06	0.681808207	114.8725677
203	1015	2818.1	0.433	6.54883E-06	0.686197059	115.4213937
204	1020	2831.7	0.437	6.6326E-06	0.694974764	115.9784112
205	1025	2845.3	0.438	6.65354E-06	0.69716919	116.5354287
206	1030	2858.8	0.438	6.65354E-06	0.69716919	117.0883505
207	1035	2872.2	0.437	6.6326E-06	0.694974764	117.6371765
208	1040	2886.1	0.429	6.46506E-06	0.677419355	118.2064811
209	1045	2900.0	0.454	6.98863E-06	0.732280009	118.7757858
210	1050	2914.1	0.442	6.73731E-06	0.705946895	119.3532818

ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
211	1055	2928.1	0.448	6.86297E-06	0.719113452	119.9266822
212	1060	2941.9	0.442	6.73731E-06	0.705946895	120.4918911
213	1065	2955.8	0.447	6.84203E-06	0.716919026	121.0611957
214	1070	2969.7	0.448	6.86297E-06	0.719113452	121.6305003
215	1075	2983.7	0.447	6.84203E-06	0.716919026	122.2039007
216	1080	2997.8	0.460	7.11429E-06	0.745446566	122.7813967
217	1085	3011.7	0.453	6.96769E-06	0.730085583	123.3507014
218	1090	3026.6	0.460	7.11429E-06	0.745446566	123.9609632
219	1095	3040.4	0.459	7.09334E-06	0.74325214	124.5261721
220	1100	3054.3	0.452	6.94674E-06	0.727891156	125.0954767
221	1105	3068.2	0.453	6.96769E-06	0.730085583	125.6647813
222	1110	3082.0	0.462	7.15617E-06	0.749835418	126.2299902
223	1115	3095.8	0.469	7.30277E-06	0.765196401	126.7951992
224	1120	3109.7	0.476	7.44937E-06	0.780557384	127.3645038
225	1125	3123.7	0.473	7.38654E-06	0.773974106	127.9379041
226	1130	3137.6	0.472	7.3656E-06	0.77177968	128.5072088
227	1135	3151.5	0.478	7.49126E-06	0.784946237	129.0765134
228	1140	3165.4	0.479	7.5122E-06	0.787140663	129.645818
229	1145	3179.4	0.482	7.57503E-06	0.793723941	130.2192184
230	1150	3193.4	0.485	7.63786E-06	0.80030722	130.7926187
231	1155	3207.2	0.483	7.59597E-06	0.795918367	131.3578276
232	1160	3221.4	0.483	7.59597E-06	0.795918367	131.9394194
233	1165	3235.3	0.483	7.59597E-06	0.795918367	132.508724
234	1170	3249.2	0.491	7.76351E-06	0.813473777	133.0780287
235	1175	3263.2	0.495	7.84728E-06	0.822251481	133.651429
236	1180	3277.1	0.496	7.86823E-06	0.824445907	134.2207336
237	1185	3291.1	0.497	7.88917E-06	0.826640334	134.794134
238	1190	3305.2	0.499	7.93106E-06	0.831029186	135.37163
239	1195	3319.2	0.499	7.93106E-06	0.831029186	135.9450304
240	1200	3333.0	0.481	7.55408E-06	0.791529515	136.5102393

ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (275nm)	ความเข้มข้น (M.)		
241	1205	3347	0.484	7.61691E-06	0.798112794	137.0836396
242	1210	3361	0.487	7.67974E-06	0.804696072	137.65704
243	1215	3375.1	0.483	7.59597E-06	0.795918367	138.234536
244	1220	3389.4	0.494	7.82634E-06	0.820057055	138.8202235
245	1225	3403.2	0.495	7.84728E-06	0.822251481	139.3854325
246	1230	3417.4	0.492	7.78446E-06	0.815668203	139.9670242
247	1235	3431.6	0.496	7.86823E-06	0.824445907	140.548616
248	1240	3445.7	0.494	7.82634E-06	0.820057055	141.1261121
249	1245	3459.7	0.494	7.82634E-06	0.820057055	141.6995124
250	1250	3473.9	0.494	7.82634E-06	0.820057055	142.2811042
251	1255	3488.1	0.492	7.78446E-06	0.815668203	142.862696
252	1260	3502.2	0.495	7.84728E-06	0.822251481	143.440192
253	1265	3516.0	0.495	7.84728E-06	0.822251481	144.0054009
254	1270	3529.9	0.499	7.93106E-06	0.831029186	144.5747056
255	1275	3543.8	0.499	7.93106E-06	0.831029186	145.1440102
256	1280	3557.7	0.496	7.86823E-06	0.824445907	145.7133148
257	1285	3571.6	0.501	7.97294E-06	0.835418038	146.2826195
258	1290	3585.4	0.508	8.11954E-06	0.850779021	146.8478284
259	1295	3599.6	0.504	8.03577E-06	0.842001317	147.4294201
260	1300	3613.5	0.509	8.14048E-06	0.852973447	147.9987248
261	1305	3627.3	0.506	8.07766E-06	0.846390169	148.5639337
262	1310	3641.2	0.507	8.0986E-06	0.848584595	149.1332383
263	1315	3655.1	0.506	8.07766E-06	0.846390169	149.7025429
264	1320	3669.2	0.509	8.14048E-06	0.852973447	150.280039
265	1325	3683.2	0.506	8.07766E-06	0.846390169	150.8534394
266	1330	3697.0	0.506	8.07766E-06	0.846390169	151.4186483
267	1335	3710.9	0.503	8.01483E-06	0.83980689	151.9879529
268	1340	3724.8	0.508	8.11954E-06	0.850779021	152.5572575
269	1345	3738.8	0.511	8.18237E-06	0.8573623	153.1306579
270	1350	3752.9	0.509	8.14048E-06	0.852973447	153.7081539

ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
271	1355	3766.8	0.514	8.2452E-06	0.863945578	154.2774586
272	1360	3781.7	0.520	8.37086E-06	0.877112135	154.8877204
273	1365	3795.5	0.517	8.30803E-06	0.870528857	155.4529293
274	1370	3809.4	0.515	8.26614E-06	0.866140004	156.0222339
275	1375	3823.3	0.513	8.22426E-06	0.861751152	156.5915385
276	1380	3837.1	0.516	8.28708E-06	0.868334431	157.1567474
277	1385	3850.9	0.531	8.60123E-06	0.901250823	157.7219563
278	1390	3864.8	0.541	8.81066E-06	0.923195084	158.291261
279	1395	3878.8	0.548	8.95726E-06	0.938556068	158.8646613
280	1400	3892.7	0.544	8.87348E-06	0.929778363	159.4339659
281	1405	3906.6	0.546	8.91537E-06	0.934167215	160.0032706
282	1410	3920.5	0.547	8.93631E-06	0.936361641	160.5725752
283	1415	3934.5	0.525	8.47557E-06	0.888084266	161.1459755
284	1420	3948.5	0.526	8.49651E-06	0.890278692	161.7193759
285	1425	3962.3	0.523	8.43368E-06	0.883695414	162.2845848
286	1430	3976.5	0.544	8.87348E-06	0.929778363	162.8661766
287	1435	3990.4	0.530	8.58028E-06	0.899056397	163.4354812
288	1440	4004.3	0.550	8.99914E-06	0.94294492	164.0047858
289	1445	4018.3	0.549	8.9782E-06	0.940750494	164.5781862
290	1450	4032.2	0.543	8.85254E-06	0.927583937	165.1474908
291	1455	4046.2	0.544	8.87348E-06	0.929778363	165.7208912
292	1460	4060.3	0.550	8.99914E-06	0.94294492	166.2983872
293	1465	4074.3	0.537	8.72688E-06	0.91441738	166.8717876
294	1470	4088.1	0.543	8.85254E-06	0.927583937	167.4369965
295	1475	4102.1	0.543	8.85254E-06	0.927583937	168.0103968
296	1480	4116.1	0.547	8.93631E-06	0.936361641	168.5837972
297	1485	4130.2	0.547	8.93631E-06	0.936361641	169.1612932
298	1490	4144.5	0.544	8.87348E-06	0.929778363	169.7469807
299	1495	4158.3	0.559	9.18763E-06	0.962694755	170.3121896
300	1500	4172.5	0.553	9.06197E-06	0.949528198	170.8937814



ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
301	1505	4186.7	0.554	9.08291E-06	0.951722625	171.4753732
302	1510	4200.8	0.556	9.1248E-06	0.956111477	172.0528693
303	1515	4214.8	0.552	9.04103E-06	0.947333772	172.6262696
304	1520	4229.0	0.552	9.04103E-06	0.947333772	173.2078614
305	1525	4243.2	0.558	9.16668E-06	0.960500329	173.7894532
306	1530	4257.1	0.553	9.06197E-06	0.949528198	174.3587578
307	1535	4271.0	0.557	9.14574E-06	0.958305903	174.9280624
308	1540	4284.9	0.557	9.14574E-06	0.958305903	175.497367
309	1545	4298.7	0.566	9.33423E-06	0.978055738	176.062576
310	1550	4312.9	0.569	9.39706E-06	0.984639017	176.6441677
311	1555	4326.8	0.564	9.29234E-06	0.973666886	177.2134724
312	1560	4340.6	0.563	9.2714E-06	0.97147246	177.7786813
313	1565	4354.5	0.564	9.29234E-06	0.973666886	178.3479859
314	1570	4368.4	0.568	9.37611E-06	0.982444591	178.9172905
315	1575	4382.5	0.564	9.29234E-06	0.973666886	179.4947866
316	1580	4396.5	0.564	9.29234E-06	0.973666886	180.0681869
317	1585	4410.3	0.566	9.33423E-06	0.978055738	180.6333958
318	1590	4424.2	0.569	9.39706E-06	0.984639017	181.2027005
319	1595	4438.1	0.565	9.31328E-06	0.975861312	181.7720051
320	1600	4452.1	0.570	9.418E-06	0.986833443	182.3454054
321	1605	4466.2	0.573	9.48083E-06	0.993416722	182.9229015
322	1610	4480.1	0.578	9.58554E-06	1.004388852	183.4922061
323	1615	4495.0	0.588	9.79497E-06	1.026333114	184.1024679
324	1620	4508.8	0.574	9.50177E-06	0.995611148	184.6676768
325	1625	4522.7	0.579	9.60648E-06	1.006583278	185.2369815
326	1630	4536.6	0.572	9.45988E-06	0.991222295	185.8062861
327	1635	4550.4	0.580	9.62743E-06	1.008777705	186.371495
328	1640	4564.2	0.580	9.62743E-06	1.008777705	186.9367039
329	1645	4578.1	0.564	9.29234E-06	0.973666886	187.5060086
330	1650	4592.1	0.585	9.73214E-06	1.019749835	188.0794089

ตารางที่ ง -17 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแวนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 1.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
331	1655	4606	0.577	9.5646E-06	1.002194426	188.6487135
332	1660	4619.9	0.575	9.52271E-06	0.997805574	189.2180182
333	1665	4633.8	0.577	9.5646E-06	1.002194426	189.7873228
334	1670	4647.8	0.575	9.52271E-06	0.997805574	190.3607231
335	1675	4661.8	0.583	9.69026E-06	1.015360983	190.9341235
336	1680	4675.6	0.575	9.52271E-06	0.997805574	191.4993324
337	1685	4689.8	0.589	9.81591E-06	1.02852754	192.0809242
338	1690	4703.7	0.573	9.48083E-06	0.993416722	192.6502288
339	1695	4717.6	0.575	9.52271E-06	0.997805574	193.2195334
340	1700	4731.4	0.578	9.58554E-06	1.004388852	193.7847423
341	1705	4745.6	0.572	9.45988E-06	0.991222295	194.3663341
342	1710	4759.5	0.588	9.79497E-06	1.026333114	194.9356387
343	1715	4773.4	0.585	9.73214E-06	1.019749835	195.5049434
344	1720	4787.4	0.587	9.77403E-06	1.024138688	196.0783437
345	1725	4801.6	0.582	9.66931E-06	1.013166557	196.6599355

ตารางที่ ง -18 ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแวนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
1	5	14.1	0.391	5.66923E-06	0.789903706	0.649409707
2	10	27.9	0.223	2.15083E-06	0.29967902	1.285002186
3	15	41.8	0.178	1.2084E-06	0.168368836	1.925200408
4	20	55.7	0.146	5.38231E-07	0.074992705	2.56539863
5	25	69.6	0.151	6.42945E-07	0.089582725	3.205596852
6	30	83.5	0.184	1.33406E-06	0.18587686	3.845795074
7	35	97.3	0.143	4.75403E-07	0.066238693	4.481387553
8	40	111.5	0.143	4.75403E-07	0.066238693	5.135403002
9	45	125.4	0.119	0.000000000	0.000000000	5.775601224
10	50	139.2	0.115	0.000000000	0.000000000	6.411193704
11	55	153.1	0.106	0.000000000	0.000000000	7.051391925
12	60	167.0	0.111	0.000000000	0.000000000	7.691590147
13	65	181.1	0.139	3.91631E-07	0.054566676	8.340999854
14	70	195.1	0.107	0.000000000	0.000000000	8.985803819
15	75	208.9	0.117	0.000000000	0.000000000	9.621396298
16	80	222.8	0.105	0.000000000	0.000000000	10.26159452
17	85	236.7	0.103	0.000000000	0.000000000	10.90179274
18	90	250.7	0.095	0.000000000	0.000000000	11.54659671
19	95	264.8	0.101	0.000000000	0.000000000	12.19600641
20	100	278.7	0.130	2.03E-07	0.02830464	12.83620463
21	105	293.6	0.101	0.000000000	0.000000000	13.52246028
22	110	307.4	0.104	0.000000000	0.000000000	14.15805276
23	115	321.3	0.098	0.000000000	0.000000000	14.79825098
24	120	335.2	0.096	0.000000000	0.000000000	15.43844921
25	125	349.0	0.089	0.000000000	0.000000000	16.07404168
26	130	362.8	0.096	0.000000000	0.000000000	16.70963416
27	135	376.7	0.126	1.19374E-07	0.016632623	17.34983239
28	140	390.7	0.096	0.000000000	0.000000000	17.99463635
29	145	404.6	0.099	0.000000000	0.000000000	18.63483457
30	150	418.5	0.094	0.000000000	0.000000000	19.27503279

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
31	155	432.4	0.093	0.000000000	0.000000000	19.91523102
32	160	446.4	0.084	0.000000000	0.000000000	20.56003498
33	165	460.4	0.093	0.000000000	0.000000000	21.20483894
34	170	474.2	0.123	5.65457E-08	0.007878611	21.84043142
35	175	488.4	0.095	0.000000000	0.000000000	22.49444687
36	180	502.3	0.137	3.49746E-07	0.000000000	23.1346451
37	185	516.2	0.096	0.000000000	0.000000000	23.77484332
38	190	530.2	0.090	0.000000000	0.000000000	24.41964728
39	195	544.1	0.079	0.000000000	0.000000000	25.0598455
40	200	558.1	0.091	0.000000000	0.000000000	25.70464947
41	205	572.2	0.118	0.000000000	0.000000000	26.35405918
42	210	586.2	0.137	3.49746E-07	0.048730668	26.99886314
43	215	600.0	0.109	0.000000000	0.000000000	27.63445562
44	220	614.0	0.091	0.000000000	0.000000000	28.27925958
45	225	628.0	0.089	0.000000000	0.000000000	28.92406355
46	230	642.1	0.078	0.000000000	0.000000000	29.57347325
47	235	656.4	0.111	0.000000000	0.000000000	30.23209445
48	240	670.2	0.116	0.000000000	0.000000000	30.86768693
49	245	684.4	0.112	0.000000000	0.000000000	31.52170238
50	250	698.6	0.098	0.000000000	0.000000000	32.17571783
51	255	712.7	0.090	0.000000000	0.000000000	32.82512753
52	260	726.7	0.089	0.000000000	0.000000000	33.4699315
53	265	740.9	0.078	0.000000000	0.000000000	34.12394695
54	270	755.1	0.088	0.000000000	0.000000000	34.7779624
55	275	769.2	0.117	0.000000000	0.000000000	35.4273721
56	280	783.0	0.115	0.000000000	0.000000000	36.06296458
57	285	796.9	0.095	0.000000000	0.000000000	36.7031628
58	290	810.8	0.09	0.000000000	0.000000000	37.34336103
59	295	824.7	0.090	0.000000000	0.000000000	37.98355925
60	300	838.6	0.080	0.000000000	0.000000000	38.62375747

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
61	305	852.4	0.090	0.000000000	0.000000	39.25934995
62	310	866.6	0.119	0.000000000	0.000000	39.9133654
63	315	880.5	0.112	0.000000000	0.000000	40.55356362
64	320	894.3	0.093	0.000000000	0.000000	41.1891561
65	325	908.2	0.091	0.000000000	0.000000	41.82935432
66	330	922.1	0.091	0.000000000	0.000000	42.46955254
67	335	936.2	0.082	0.000000000	0.000000	43.11896225
68	340	950.2	0.092	0.000000000	0.000000	43.76376621
69	345	964.0	0.120	0.000000000	0.000000	44.39935869
70	350	977.9	0.112	0.000000000	0.000000	45.03955692
71	355	991.8	0.093	0.000000000	0.000000	45.67975514
72	360	1005.8	0.096	0.000000000	0.000000	46.3245591
73	365	1019.9	0.093	0.000000000	0.000000	46.97396881
74	370	1033.8	0.084	0.000000000	0.000000	47.61416703
75	375	1048.7	0.095	0.000000000	0.000000	48.30042268
76	380	1062.5	0.112	0.000000000	0.000000	48.93601516
77	385	1076.4	0.110	0.000000000	0.000000	49.57621338
78	390	1090.3	0.094	0.000000000	0.000000	50.2164116
79	395	1104.1	0.098	0.000000000	0.000000	50.85200408
80	400	1117.9	0.094	0.000000000	0.000000	51.48759656
81	405	1131.8	0.086	0.000000000	0.000000	52.12779478
82	410	1145.8	0.098	0.000000000	0.000000	52.77259875
83	415	1159.7	0.115	0.000000000	0.000000	53.41279697
84	420	1173.6	0.110	0.000000000	0.000000	54.05299519
85	425	1187.5	0.096	0.000000000	0.000000	54.69319341
86	430	1201.5	0.099	0.000000000	0.000000	55.33799738
87	435	1215.5	0.097	0.000000000	0.000000	55.98280134
88	440	1229.3	0.091	0.000000000	0.000000	56.61839382
89	445	1243.5	0.101	0.000000000	0.000000	57.27240927
90	450	1257.4	0.113	0.000000000	0.000000	57.91260749

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
91	455	1271.3	0.113	0.000000000	0.000000	58.55280571
92	460	1285.3	0.101	0.000000000	0.000000	59.19760968
93	465	1299.2	0.102	0.000000000	0.000000	59.8378079
94	470	1313.2	0.104	0.000000000	0.000000	60.48261186
95	475	1327.3	0.092	0.000000000	0.000000	61.13202157
96	480	1341.3	0.105	0.000000000	0.000000	61.77682554
97	485	1355.1	0.112	0.000000000	0.000000	62.41241801
98	490	1369.1	0.116	0.000000000	0.000000	63.05722198
99	495	1383.1	0.104	0.000000000	0.000000	63.70202594
100	500	1397.2	0.107	0.000000000	0.000000	64.35143565
101	505	1411.5	0.104	0.000000000	0.000000	65.01005684
102	510	1425.3	0.097	0.000000000	0.000000	65.64564932
103	515	1439.5	0.112	0.000000000	0.000000	66.29966477
104	520	1453.7	0.114	0.000000000	0.000000	66.95368022
105	525	1467.8	0.119	0.000000000	0.000000	67.60308993
106	530	1481.8	0.108	0.000000000	0.000000	68.24789389
107	535	1496.0	0.117	0.000000000	0.000000	68.90190934
108	540	1510.2	0.118	0.000000000	0.000000	69.55592479
109	545	1524.1	0.110	0.000000000	0.000000	70.19612301
110	550	1538.0	0.113	0.000000000	0.000000	70.83632124
111	555	1551.9	0.111	0.000000000	0.000000	71.47651946
112	560	1565.7	0.117	0.000000000	0.000000	72.11211194
113	565	1579.9	0.116	0.000000000	0.000000	72.76612739
114	570	1593.8	0.114	0.000000000	0.000000	73.40632561
115	575	1607.6	0.111	0.000000000	0.000000	74.04191809
116	580	1621.5	0.118	0.000000000	0.000000	74.68211631
117	585	1635.4	0.13	2.03146E-07	0.02830464	75.32231453
118	590	1649.5	0.139	3.91631E-07	0.054566676	75.97172424
119	595	1663.5	0.143	4.75403E-07	0.066238693	76.6165282
120	600	1677.3	0.148	5.80117E-07	0.080828713	77.25212068

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมิเนียมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
121	605	1691.2	0.133	2.65974E-07	0.037058652	77.8923189
122	610	1705.1	0.132	2.45031E-07	0.034140648	78.53251713
123	615	1719.1	0.125	9.84314E-08	0.013714619	79.17732109
124	620	1733.2	0.136	3.28803E-07	0.045812664	79.8267308
125	625	1747.1	0.135	3.0786E-07	0.04289466	80.46692902
126	630	1762.0	0.139	3.91631E-07	0.054566676	81.15318467
127	635	1775.8	0.149	6.0106E-07	0.083746717	81.78877715
128	640	1789.7	0.140	4.12574E-07	0.05748468	82.42897537
129	645	1803.6	0.141	4.33517E-07	0.060402685	83.06917359
130	650	1817.4	0.142	4.5446E-07	0.063320689	83.70476607
131	655	1831.2	0.143	4.75403E-07	0.066238693	84.34035855
132	660	1845.1	0.143	4.75403E-07	0.066238693	84.98055677
133	665	1859.1	0.145	5.17288E-07	0.072074701	85.62536073
134	670	1873.0	0.144	4.96345E-07	0.069156697	86.26555896
135	675	1886.9	0.147	5.59174E-07	0.077910709	86.90575718
136	680	1900.8	0.149	6.0106E-07	0.083746717	87.5459554
137	685	1914.8	0.140	4.12574E-07	0.05748468	88.19075936
138	690	1928.8	0.152	6.63888E-07	0.09250073	88.83556333
139	695	1942.6	0.152	6.63888E-07	0.09250073	89.47115581
140	700	1956.8	0.154	7.05774E-07	0.098336738	90.12517126
141	705	1970.7	0.157	7.68602E-07	0.10709075	90.76536948
142	710	1984.6	0.155	7.26717E-07	0.101254742	91.4055677
143	715	1998.6	0.157	7.68602E-07	0.10709075	92.05037167
144	720	2012.5	0.148	5.80117E-07	0.080828713	92.69056989
145	725	2026.5	0.160	8.31431E-07	0.115844762	93.33537385
146	730	2040.6	0.160	8.31431E-07	0.115844762	93.98478356
147	735	2054.6	0.164	9.15202E-07	0.127516779	94.62958752
148	740	2068.4	0.166	9.57088E-07	0.133352787	95.26518
149	745	2082.4	0.164	9.15202E-07	0.127516779	95.90998397
150	750	2096.4	0.166	9.57088E-07	0.133352787	96.55478793

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
151	755	2110.5	0.155	7.26717E-07	0.101254742	97.20419764
152	760	2124.8	0.170	1.04086E-06	0.145024803	97.86281883
153	765	2138.6	0.177	1.18746E-06	0.165450832	98.49841131
154	770	2152.8	0.177	1.18746E-06	0.165450832	99.15242676
155	775	2167.0	0.170	1.04086E-06	0.145024803	99.80644221
156	780	2181.1	0.167	9.78031E-07	0.136270791	100.4558519
157	785	2195.1	0.169	1.01992E-06	0.142106799	101.1006559
158	790	2209.3	0.164	9.15202E-07	0.127516779	101.7546713
159	795	2223.5	0.17	1.04086E-06	0.145024803	102.4086868
160	800	2237.1	0.172	1.08275E-06	0.150860811	103.0350678
161	805	2250.5	0.171	1.0618E-06	0.147942807	103.6522373
162	810	2264	0.176	1.16652E-06	0.162532828	104.2740125
163	815	2277.6	0.176	1.16652E-06	0.162532828	104.9003935
164	820	2291.1	0.175	1.14557E-06	0.159614823	105.5221688
165	825	2304.6	0.168	9.98974E-07	0.139188795	106.143944
166	830	2318.2	0.176	1.16652E-06	0.162532828	106.770325
167	835	2331.6	0.175	1.14557E-06	0.159614823	107.3874945
168	840	2345.2	0.173	1.10369E-06	0.153778815	108.0138755
169	845	2358.7	0.175	1.14557E-06	0.159614823	108.6356508
170	850	2372.2	0.171	1.0618E-06	0.147942807	109.257426
171	855	2385.6	0.178	1.2084E-06	0.168368836	109.8745955
172	860	2399.1	0.186	1.37595E-06	0.191712868	110.4963708
173	865	2412.5	0.187	1.39689E-06	0.194630872	111.1135403
174	870	2426.0	0.181	1.27123E-06	0.177122848	111.7353156
175	875	2439.5	0.183	1.31312E-06	0.182958856	112.3570908
176	880	2453.0	0.182	1.29217E-06	0.180040852	112.9788661
177	885	2466.5	0.186	1.37595E-06	0.191712868	113.6006413
178	890	2480.0	0.188	1.41783E-06	0.197548877	114.2224166
179	895	2493.5	0.188	1.41783E-06	0.197548877	114.8441918
180	900	2507.0	0.188	1.41783E-06	0.197548877	115.4659671



ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
181	905	2520.6	0.192	1.5016E-06	0.209220893	116.0923481
182	910	2534.3	0.191	1.48066E-06	0.206302889	116.7233348
183	915	2547.8	0.193	1.52254E-06	0.212138897	117.34511
184	920	2561.2	0.191	1.48066E-06	0.206302889	117.9622796
185	925	2574.8	0.193	1.52254E-06	0.212138897	118.5886605
186	930	2588.2	0.195	1.56443E-06	0.217974905	119.2058301
187	935	2601.8	0.195	1.56443E-06	0.217974905	119.832211
188	940	2615.4	0.196	1.58537E-06	0.220892909	120.458592
189	945	2628.9	0.187	1.39689E-06	0.194630872	121.0803673
190	950	2642.5	0.201	1.69009E-06	0.23548293	121.7067483
191	955	2656.0	0.209	1.85763E-06	0.258826962	122.3285235
192	960	2669.5	0.203	1.73197E-06	0.241318938	122.9502988
193	965	2683.0	0.208	1.83669E-06	0.255908958	123.572074
194	970	2696.6	0.203	1.73197E-06	0.241318938	124.198455
195	975	2710.1	0.204	1.75292E-06	0.244236942	124.8202303
196	980	2723.6	0.194	1.54349E-06	0.215056901	125.4420055
197	985	2737.2	0.209	1.85763E-06	0.258826962	126.0683865
198	990	2750.7	0.209	1.85763E-06	0.258826962	126.6901618
199	995	2764.3	0.208	1.83669E-06	0.255908958	127.3165428
200	1000	2777.7	0.206	1.7948E-06	0.25007295	127.9337123
201	1005	2791.2	0.202	1.71103E-06	0.238400934	128.5554875
202	1010	2804.7	0.204	1.75292E-06	0.244236942	129.1772628
203	1015	2818.1	0.203	1.73197E-06	0.241318938	129.7944323
204	1020	2831.7	0.218	2.04612E-06	0.285088999	130.4208133
205	1025	2845.3	0.217	2.02517E-06	0.282170995	131.0471943
206	1030	2858.8	0.212	1.92046E-06	0.267580975	131.6689695
207	1035	2872.2	0.222	2.12989E-06	0.296761015	132.286139
208	1040	2886.1	0.219	2.06706E-06	0.288007003	132.9263373
209	1045	2900.0	0.220	2.088E-06	0.290925007	133.5665355
210	1050	2914.1	0.211	1.89952E-06	0.264662971	134.2159452

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance(250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
211	1055	2928.1	0.226	2.21366E-06	0.308433032	134.8607492
212	1060	2941.9	0.225	2.19272E-06	0.305515028	135.4963416
213	1065	2955.8	0.225	2.19272E-06	0.305515028	136.1365399
214	1070	2969.7	0.225	2.19272E-06	0.305515028	136.7767381
215	1075	2983.7	0.228	2.25554E-06	0.31426904	137.421542
216	1080	2997.8	0.224	2.17177E-06	0.302597024	138.0709518
217	1085	3011.7	0.226	2.21366E-06	0.308433032	138.71115
218	1090	3026.6	0.224	2.17177E-06	0.302597024	139.3974056
219	1095	3040.4	0.227	2.2346E-06	0.311351036	140.0329981
220	1100	3054.3	0.226	2.21366E-06	0.308433032	140.6731963
221	1105	3068.2	0.221	2.10894E-06	0.293843011	141.3133945
222	1110	3082	0.224	2.17177E-06	0.302597024	141.948987
223	1115	3095.8	0.228	2.25554E-06	0.31426904	142.5845795
224	1120	3109.7	0.235	2.40214E-06	0.334695069	143.2247777
225	1125	3123.7	0.221	2.10894E-06	0.293843011	143.8695817
226	1130	3137.6	0.235	2.40214E-06	0.334695069	144.5097799
227	1135	3151.5	0.234	2.3812E-06	0.331777064	145.1499781
228	1140	3165.4	0.232	2.33932E-06	0.325941056	145.7901764
229	1145	3179.4	0.235	2.40214E-06	0.334695069	146.4349803
230	1150	3193.4	0.229	2.27649E-06	0.317187044	147.0797843
231	1155	3207.2	0.233	2.36026E-06	0.32885906	147.7153768
232	1160	3221.4	0.224	2.17177E-06	0.302597024	148.3693922
233	1165	3235.3	0.235	2.40214E-06	0.334695069	149.0095904
234	1170	3249.2	0.234	2.3812E-06	0.331777064	149.6497887
235	1175	3263.2	0.241	2.5278E-06	0.352203093	150.2945926
236	1180	3277.1	0.237	2.44403E-06	0.340531077	150.9347908
237	1185	3291.1	0.244	2.59063E-06	0.360957105	151.5795948
238	1190	3305.2	0.239	2.48592E-06	0.346367085	152.2290045
239	1195	3319.2	0.241	2.5278E-06	0.352203093	152.8738085
240	1200	3333.0	0.244	2.59063E-06	0.360957105	153.509401

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
241	1205	3347.0	0.247	2.65346E-06	0.369711118	154.1542049
242	1210	3361.0	0.256	2.84194E-06	0.395973154	154.7990089
243	1215	3375.1	0.247	2.65346E-06	0.369711118	155.4484186
244	1220	3389.4	0.252	2.75817E-06	0.384301138	156.1070398
245	1225	3403.2	0.247	2.65346E-06	0.369711118	156.7426323
246	1230	3417.4	0.255	2.821E-06	0.39305515	157.3966477
247	1235	3431.6	0.259	2.90477E-06	0.404727167	158.0506632
248	1240	3445.7	0.259	2.90477E-06	0.404727167	158.7000729
249	1245	3459.7	0.260	2.92572E-06	0.407645171	159.3448768
250	1250	3473.9	0.254	2.80006E-06	0.390137146	159.9988923
251	1255	3488.1	0.259	2.90477E-06	0.404727167	160.6529077
252	1260	3502.2	0.256	2.84194E-06	0.395973154	161.3023174
253	1265	3516.0	0.265	3.03043E-06	0.422235191	161.9379099
254	1270	3529.9	0.260	2.92572E-06	0.407645171	162.5781081
255	1275	3543.8	0.264	3.00949E-06	0.419317187	163.2183064
256	1280	3557.7	0.266	3.05137E-06	0.425153195	163.8585046
257	1285	3571.6	0.260	2.92572E-06	0.407645171	164.4987028
258	1290	3585.4	0.265	3.03043E-06	0.422235191	165.1342953
259	1295	3599.6	0.253	2.77912E-06	0.387219142	165.7883107
260	1300	3613.5	0.265	3.03043E-06	0.422235191	166.428509
261	1305	3627.3	0.267	3.07232E-06	0.428071199	167.0641014
262	1310	3641.2	0.267	3.07232E-06	0.428071199	167.7042997
263	1315	3655.1	0.272	3.17703E-06	0.44266122	168.3444979
264	1320	3669.2	0.268	3.09326E-06	0.430989203	168.9939076
265	1325	3683.2	0.274	3.21892E-06	0.448497228	169.6387116
266	1330	3697.0	0.260	2.92572E-06	0.407645171	170.274304
267	1335	3710.9	0.275	3.23986E-06	0.451415232	170.9145023
268	1340	3724.8	0.274	3.21892E-06	0.448497228	171.5547005
269	1345	3738.8	0.277	3.28174E-06	0.45725124	172.1995044
270	1350	3752.9	0.275	3.23986E-06	0.451415232	172.8489142

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
271	1355	3766.8	0.274	3.21892E-06	0.448497228	173.4891124
272	1360	3781.7	0.277	3.28174E-06	0.45725124	174.175368
273	1365	3795.5	0.261	2.94666E-06	0.410563175	174.8109605
274	1370	3809.4	0.274	3.21892E-06	0.448497228	175.4511587
275	1375	3823.3	0.272	3.17703E-06	0.44266122	176.0913569
276	1380	3837.1	0.272	3.17703E-06	0.44266122	176.7269494
277	1385	3850.9	0.278	3.30269E-06	0.460169244	177.3625419
278	1390	3864.8	0.281	3.36552E-06	0.468923256	178.0027401
279	1395	3878.8	0.283	3.4074E-06	0.474759265	178.6475441
280	1400	3892.7	0.271	3.15609E-06	0.439743216	179.2877423
281	1405	3906.6	0.278	3.30269E-06	0.460169244	179.9279405
282	1410	3920.5	0.283	3.4074E-06	0.474759265	180.5681388
283	1415	3934.5	0.28	3.34457E-06	0.466005252	181.2129427
284	1420	3948.5	0.282	3.38646E-06	0.471841261	181.8577467
285	1425	3962.3	0.284	3.42834E-06	0.477677269	182.4933392
286	1430	3976.5	0.287	3.49117E-06	0.486431281	183.1473546
287	1435	3990.4	0.278	3.30269E-06	0.460169244	183.7875528
288	1440	4004.3	0.286	3.47023E-06	0.483513277	184.4277511
289	1445	4018.3	0.284	3.42834E-06	0.477677269	185.072555
290	1450	4032.2	0.286	3.47023E-06	0.483513277	185.7127532
291	1455	4046.2	0.281	3.36552E-06	0.468923256	186.3575572
292	1460	4060.3	0.285	3.44929E-06	0.480595273	187.0069669
293	1465	4074.3	0.278	3.30269E-06	0.460169244	187.6517709
294	1470	4088.1	0.283	3.4074E-06	0.474759265	188.2873634
295	1475	4102.1	0.287	3.49117E-06	0.486431281	188.9321673
296	1480	4116.1	0.289	3.53306E-06	0.492267289	189.5769713
297	1485	4130.2	0.293	3.61683E-06	0.503939306	190.226381
298	1490	4144.5	0.293	3.61683E-06	0.503939306	190.8850022
299	1495	4158.3	0.296	3.67966E-06	0.512693318	191.5205947
300	1500	4172.5	0.298	3.72154E-06	0.518529326	192.1746101

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแวนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
301	1505	4186.7	0.286	3.47023E-06	0.483513277	192.8286256
302	1510	4200.8	0.291	3.57494E-06	0.498103297	193.4780353
303	1515	4214.8	0.290	3.554E-06	0.495185293	194.1228392
304	1520	4229.0	0.299	3.74249E-06	0.52144733	194.7768547
305	1525	4243.2	0.286	3.47023E-06	0.483513277	195.4308701
306	1530	4257.1	0.289	3.53306E-06	0.492267289	196.0710684
307	1535	4271.0	0.282	3.38646E-06	0.471841261	196.7112666
308	1540	4284.9	0.282	3.38646E-06	0.471841261	197.3514648
309	1545	4298.7	0.296	3.67966E-06	0.512693318	197.9870573
310	1550	4312.9	0.291	3.57494E-06	0.498103297	198.6410727
311	1555	4326.8	0.289	3.53306E-06	0.492267289	199.281271
312	1560	4340.6	0.280	3.34457E-06	0.466005252	199.9168634
313	1565	4354.5	0.285	3.44929E-06	0.480595273	200.5570617
314	1570	4368.4	0.280	3.34457E-06	0.466005252	201.1972599
315	1575	4382.5	0.285	3.44929E-06	0.480595273	201.8466696
316	1580	4396.5	0.283	3.4074E-06	0.474759265	202.4914735
317	1585	4410.3	0.297	3.7006E-06	0.515611322	203.127066
318	1590	4424.2	0.299	3.74249E-06	0.52144733	203.7672642
319	1595	4438.1	0.293	3.61683E-06	0.503939306	204.4074625
320	1600	4452.1	0.292	3.59589E-06	0.501021301	205.0522664
321	1605	4466.2	0.291	3.57494E-06	0.498103297	205.7016761
322	1610	4480.1	0.297	3.7006E-06	0.515611322	206.3418744
323	1615	4495.0	0.287	3.49117E-06	0.486431281	207.02813
324	1620	4508.8	0.293	3.61683E-06	0.503939306	207.6637225
325	1625	4522.7	0.298	3.72154E-06	0.518529326	208.3039207
326	1630	4536.6	0.297	3.7006E-06	0.515611322	208.9441189
327	1635	4550.4	0.286	3.47023E-06	0.483513277	209.5797114
328	1640	4564.2	0.293	3.61683E-06	0.503939306	210.2153039
329	1645	4578.1	0.280	3.34457E-06	0.466005252	210.8555021
330	1650	4592.1	0.291	3.57494E-06	0.498103297	211.5003061

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
331	1655	4606.0	0.296	3.67966E-06	0.512693318	212.1405043
332	1660	4619.9	0.295	3.65872E-06	0.509775314	212.7807025
333	1665	4633.8	0.300	3.76343E-06	0.524365334	213.4209007
334	1670	4647.8	0.290	3.554E-06	0.495185293	214.0657047
335	1675	4661.8	0.296	3.67966E-06	0.512693318	214.7105087
336	1680	4675.6	0.293	3.61683E-06	0.503939306	215.3461012
337	1685	4689.8	0.302	3.80532E-06	0.530201342	216.0001166
338	1690	4703.7	0.309	3.95192E-06	0.550627371	216.6403148
339	1695	4717.6	0.303	3.82626E-06	0.533119346	217.280513
340	1700	4731.4	0.300	3.76343E-06	0.524365334	217.9161055
341	1705	4745.3	0.290	3.554E-06	0.495185293	218.5563037
342	1710	4759.2	0.296	3.67966E-06	0.512693318	219.196502
343	1715	4773.3	0.292	3.59589E-06	0.501021301	219.8459117
344	1720	4787.3	0.298	3.72154E-06	0.518529326	220.4907156
345	1725	4801.1	0.307	3.91003E-06	0.544791363	221.1263081
346	1730	4815.0	0.300	3.76343E-06	0.524365334	221.7665063
347	1735	4828.9	0.304	3.8472E-06	0.53603735	222.4067046
348	1740	4842.9	0.292	3.59589E-06	0.501021301	223.0515085
349	1745	4857.0	0.297	3.7006E-06	0.515611322	223.7009182
350	1750	4870.9	0.293	3.61683E-06	0.503939306	224.3411165
351	1755	4885.8	0.295	3.65872E-06	0.509775314	225.0273721
352	1760	4899.6	0.296	3.67966E-06	0.512693318	225.6629646
353	1765	4913.5	0.294	3.63777E-06	0.50685731	226.3031628
354	1770	4927.4	0.302	3.80532E-06	0.530201342	226.943361
355	1775	4941.2	0.297	3.7006E-06	0.515611322	227.5789535
356	1780	4955.0	0.303	3.82626E-06	0.533119346	228.214546
357	1785	4968.9	0.298	3.72154E-06	0.518529326	228.8547442
358	1790	4982.9	0.298	3.72154E-06	0.518529326	229.4995482
359	1795	4996.8	0.304	3.8472E-06	0.53603735	230.1397464
360	1800	5010.7	0.301	3.78437E-06	0.527283338	230.7799446

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
361	1805	5024.6	0.313	4.03569E-06	0.562299387	231.4201428
362	1810	5038.6	0.307	3.91003E-06	0.544791363	232.0649468
363	1815	5052.6	0.304	3.8472E-06	0.53603735	232.7097508
364	1820	5066.4	0.309	3.95192E-06	0.550627371	233.3453432
365	1825	5080.6	0.300	3.76343E-06	0.524365334	233.9993587
366	1830	5094.5	0.319	4.16134E-06	0.579807412	234.6395569
367	1835	5108.4	0.313	4.03569E-06	0.562299387	235.2797551
368	1840	5122.4	0.312	4.01474E-06	0.559381383	235.9245591
369	1845	5136.3	0.301	3.78437E-06	0.527283338	236.5647573
370	1850	5150.3	0.304	3.8472E-06	0.53603735	237.2095613
371	1855	5164.4	0.301	3.78437E-06	0.527283338	237.858971
372	1860	5178.4	0.306	3.88909E-06	0.541873359	238.503775
373	1865	5192.2	0.317	4.11946E-06	0.573971404	239.1393674
374	1870	5206.2	0.314	4.05663E-06	0.565217391	239.7841714
375	1875	5220.2	0.311	3.9938E-06	0.556463379	240.4289754
376	1880	5234.3	0.306	3.88909E-06	0.541873359	241.0783851
377	1885	5248.6	0.304	3.8472E-06	0.53603735	241.7370063
378	1890	5262.4	0.303	3.82626E-06	0.533119346	242.3725987
379	1895	5276.6	0.324	4.26606E-06	0.594397432	243.0266142
380	1900	5290.8	0.321	4.20323E-06	0.58564342	243.6806296
381	1905	5304.9	0.327	4.32889E-06	0.603151444	244.3300394
382	1910	5318.9	0.328	4.34983E-06	0.606069448	244.9748433
383	1915	5333.1	0.341	4.62209E-06	0.644003502	245.6288588
384	1920	5347.3	0.345	4.70586E-06	0.655675518	246.2828742
385	1925	5361.2	0.339	4.5802E-06	0.638167493	246.9230724
386	1930	5375.1	0.349	4.78963E-06	0.667347534	247.5632707
387	1935	5389.0	0.345	4.70586E-06	0.655675518	248.2034689
388	1940	5402.8	0.348	4.76869E-06	0.66442953	248.8390614
389	1945	5417.0	0.354	4.89434E-06	0.681937555	249.4930768
390	1950	5430.9	0.354	4.89434E-06	0.681937555	250.133275

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
391	1955	5444.7	0.359	4.99906E-06	0.696527575	250.7688675
392	1960	5458.6	0.347	4.74774E-06	0.661511526	251.4090657
393	1965	5472.5	0.362	5.06189E-06	0.705281587	252.049264
394	1970	5486.6	0.368	5.18754E-06	0.722789612	252.6986737
395	1975	5500.6	0.361	5.04094E-06	0.702363583	253.3434776
396	1980	5514.4	0.368	5.18754E-06	0.722789612	253.9790701
397	1985	5528.3	0.369	5.20849E-06	0.725707616	254.6192683
398	1990	5542.2	0.376	5.35509E-06	0.746133645	255.2594666
399	1995	5556.2	0.371	5.25037E-06	0.731543624	255.9042705
400	2000	5570.3	0.377	5.37603E-06	0.749051649	256.5536802
401	2005	5584.2	0.379	5.41791E-06	0.754887657	257.1938784
402	2010	5599.1	0.379	5.41791E-06	0.754887657	257.8801341
403	2015	5612.9	0.386	5.56451E-06	0.775313685	258.5157266
404	2020	5626.8	0.374	5.3132E-06	0.740297636	259.1559248
405	2025	5640.7	0.379	5.41791E-06	0.754887657	259.796123
406	2030	5654.5	0.381	5.4598E-06	0.760723665	260.4317155
407	2035	5668.3	0.381	5.4598E-06	0.760723665	261.067308
408	2040	5682.2	0.384	5.52263E-06	0.769477677	261.7075062
409	2045	5696.2	0.372	5.27131E-06	0.734461628	262.3523102
410	2050	5710.1	0.378	5.39697E-06	0.751969653	262.9925084
411	2055	5724.0	0.373	5.29226E-06	0.737379632	263.6327066
412	2060	5737.9	0.375	5.33414E-06	0.743215641	264.2729048
413	2065	5751.9	0.385	5.54357E-06	0.772395681	264.9177088
414	2070	5765.9	0.382	5.48074E-06	0.763641669	265.5625128
415	2075	5779.7	0.376	5.35509E-06	0.746133645	266.1981052
416	2080	5793.9	0.377	5.37603E-06	0.749051649	266.8521207
417	2085	5807.8	0.372	5.27131E-06	0.734461628	267.4923189
418	2090	5821.7	0.376	5.35509E-06	0.746133645	268.1325171
419	2095	5835.7	0.370	5.22943E-06	0.72862562	268.7773211
420	2100	5849.6	0.381	5.4598E-06	0.760723665	269.4175193



ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
421	2105	5863.6	0.384	5.52263E-06	0.769477677	270.0623233
422	2110	5877.7	0.378	5.39697E-06	0.751969653	270.711733
423	2115	5891.7	0.375	5.33414E-06	0.743215641	271.3565369
424	2120	5905.5	0.379	5.41791E-06	0.754887657	271.9921294
425	2125	5919.5	0.373	5.29226E-06	0.737379632	272.6369334
426	2130	5933.5	0.375	5.33414E-06	0.743215641	273.2817374
427	2135	5947.6	0.381	5.4598E-06	0.760723665	273.9311471
428	2140	5961.9	0.387	5.58546E-06	0.77823169	274.5897683
429	2145	5975.7	0.382	5.48074E-06	0.763641669	275.2253607
430	2150	5989.9	0.373	5.29226E-06	0.737379632	275.8793762
431	2155	6004.1	0.374	5.3132E-06	0.740297636	276.5333916
432	2160	6018.2	0.374	5.3132E-06	0.740297636	277.1828013
433	2165	6032.2	0.371	5.25037E-06	0.731543624	277.8276053
434	2170	6046.4	0.389	5.62734E-06	0.784067698	278.4816208
435	2175	6060.6	0.384	5.52263E-06	0.769477677	279.1356362
436	2180	6074.2	0.386	5.56451E-06	0.775313685	279.7620172
437	2185	6087.6	0.376	5.35509E-06	0.746133645	280.3791867
438	2190	6101.1	0.374	5.3132E-06	0.740297636	281.000962
439	2195	6114.7	0.379	5.41791E-06	0.754887657	281.627343
440	2200	6128.2	0.374	5.3132E-06	0.740297636	282.2491182
441	2205	6141.7	0.383	5.50169E-06	0.766559673	282.8708935
442	2210	6155.3	0.382	5.48074E-06	0.763641669	283.4972744
443	2215	6168.7	0.388	5.6064E-06	0.781149694	284.114444
444	2220	6182.3	0.375	5.33414E-06	0.743215641	284.740825
445	2225	6195.8	0.385	5.54357E-06	0.772395681	285.3626002
446	2230	6209.3	0.388	5.6064E-06	0.781149694	285.9843755
447	2235	6222.7	0.383	5.50169E-06	0.766559673	286.601545
448	2240	6236.2	0.382	5.48074E-06	0.763641669	287.2233202
449	2245	6249.6	0.386	5.56451E-06	0.775313685	287.8404897
450	2250	6263.1	0.394	5.73206E-06	0.798657718	288.462265

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
451	2255	6276.6	0.388	5.6064E-06	0.781149694	289.0840402
452	2260	6290.1	0.398	5.81583E-06	0.810329734	289.7058155
453	2265	6303.6	0.393	5.71111E-06	0.795739714	290.3275907
454	2270	6317.1	0.397	5.79489E-06	0.80741173	290.949366
455	2275	6330.6	0.396	5.77394E-06	0.804493726	291.5711412
456	2280	6344.1	0.394	5.73206E-06	0.798657718	292.1929165
457	2285	6357.7	0.391	5.66923E-06	0.789903706	292.8192975
458	2290	6371.4	0.397	5.79489E-06	0.80741173	293.4502842
459	2295	6384.9	0.408	6.02526E-06	0.839509775	294.0720595
460	2300	6398.3	0.409	6.0462E-06	0.842427779	294.689229
461	2305	6411.9	0.401	5.87866E-06	0.819083747	295.31561
462	2310	6425.3	0.404	5.94149E-06	0.827837759	295.9327795
463	2315	6438.9	0.407	6.00431E-06	0.836591771	296.5591605
464	2320	6452.5	0.407	6.00431E-06	0.836591771	297.1855415
465	2325	6466.0	0.391	5.66923E-06	0.789903706	297.8073167
466	2330	6479.6	0.400	5.85771E-06	0.816165743	298.4336977
467	2335	6493.1	0.390	5.64829E-06	0.786985702	299.055473
468	2340	6506.6	0.393	5.71111E-06	0.795739714	299.6772482
469	2345	6520.1	0.403	5.92054E-06	0.824919755	300.2990235
470	2350	6533.7	0.402	5.8996E-06	0.822001751	300.9254045
471	2355	6547.2	0.408	6.02526E-06	0.839509775	301.5471797
472	2360	6560.7	0.401	5.87866E-06	0.819083747	302.168955
473	2365	6574.3	0.408	6.02526E-06	0.839509775	302.795336
474	2370	6587.8	0.406	5.98337E-06	0.833673767	303.4171112
475	2375	6601.4	0.406	5.98337E-06	0.833673767	304.0434922
476	2380	6614.8	0.412	6.10903E-06	0.851181792	304.6606617
477	2385	6628.3	0.412	6.10903E-06	0.851181792	305.282437
478	2390	6641.8	0.411	6.08809E-06	0.848263788	305.9042122
479	2395	6655.2	0.419	6.25563E-06	0.87160782	306.5213817
480	2400	6668.8	0.411	6.08809E-06	0.848263788	307.1477627

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
481	2405	6682.4	0.417	6.21374E-06	0.865771812	307.7741437
482	2410	6695.9	0.417	6.21374E-06	0.865771812	308.395919
483	2415	6709.3	0.418	6.23469E-06	0.868689816	309.0130885
484	2420	6723.2	0.411	6.08809E-06	0.848263788	309.6532867
485	2425	6737.1	0.409	6.0462E-06	0.842427779	310.2934849
486	2430	6751.2	0.413	6.12997E-06	0.854099796	310.9428946
487	2435	6765.2	0.416	6.1928E-06	0.862853808	311.5876986
488	2440	6779.0	0.416	6.1928E-06	0.862853808	312.2232911
489	2445	6792.9	0.413	6.12997E-06	0.854099796	312.8634893
490	2450	6806.8	0.411	6.08809E-06	0.848263788	313.5036875
491	2455	6820.8	0.415	6.17186E-06	0.859935804	314.1484915
492	2460	6834.9	0.411	6.08809E-06	0.848263788	314.7979012
493	2465	6848.8	0.419	6.25563E-06	0.87160782	315.4380994
494	2470	6863.7	0.400	5.85771E-06	0.816165743	316.1243551
495	2475	6877.5	0.418	6.23469E-06	0.868689816	316.7599475
496	2480	6891.4	0.418	6.23469E-06	0.868689816	317.4001458
497	2485	6905.3	0.418	6.23469E-06	0.868689816	318.040344
498	2490	6919.1	0.421	6.29751E-06	0.877443828	318.6759365
499	2495	6932.9	0.425	6.38129E-06	0.889115845	319.3115289
500	2500	6946.8	0.414	6.15091E-06	0.8570178	319.9517272
501	2505	6960.8	0.423	6.3394E-06	0.883279837	320.5965311
502	2510	6974.7	0.428	6.44411E-06	0.897869857	321.2367293
503	2515	6988.6	0.422	6.31846E-06	0.880361833	321.8769276
504	2520	7002.5	0.425	6.38129E-06	0.889115845	322.5171258
505	2525	7016.5	0.424	6.36034E-06	0.886197841	323.1619297
506	2530	7030.5	0.424	6.36034E-06	0.886197841	323.8067337
507	2535	7044.3	0.428	6.44411E-06	0.897869857	324.4423262
508	2540	7058.5	0.427	6.42317E-06	0.894951853	325.0963416
509	2545	7072.4	0.424	6.36034E-06	0.886197841	325.7365399
510	2550	7086.3	0.425	6.38129E-06	0.889115845	326.3767381

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาท)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
496	2480	6891.4	0.418	6.23469E-06	0.868689816	317.4001458
497	2485	6905.3	0.418	6.23469E-06	0.868689816	318.040344
498	2490	6919.1	0.421	6.29751E-06	0.877443828	318.6759365
499	2495	6932.9	0.425	6.38129E-06	0.889115845	319.3115289
500	2500	6946.8	0.414	6.15091E-06	0.8570178	319.9517272
501	2505	6960.8	0.423	6.3394E-06	0.883279837	320.5965311
502	2510	6974.7	0.428	6.44411E-06	0.897869857	321.2367293
503	2515	6988.6	0.422	6.31846E-06	0.880361833	321.8769276
504	2520	7002.5	0.425	6.38129E-06	0.889115845	322.5171258
505	2525	7016.5	0.424	6.36034E-06	0.886197841	323.1619297
506	2530	7030.5	0.424	6.36034E-06	0.886197841	323.8067337
507	2535	7044.3	0.428	6.44411E-06	0.897869857	324.4423262
508	2540	7058.5	0.427	6.42317E-06	0.894951853	325.0963416
509	2545	7072.4	0.424	6.36034E-06	0.886197841	325.7365399
510	2550	7086.3	0.425	6.38129E-06	0.889115845	326.3767381
511	2555	7100.3	0.429	6.46506E-06	0.900787861	327.021542
512	2560	7114.2	0.429	6.46506E-06	0.900787861	327.6617403
513	2565	7128.2	0.429	6.46506E-06	0.900787861	328.3065442
514	2570	7142.3	0.434	6.56977E-06	0.915377882	328.9559539
515	2575	7156.3	0.438	6.65354E-06	0.927049898	329.6007579
516	2580	7170.1	0.426	6.40223E-06	0.892033849	330.2363504
517	2585	7184.1	0.426	6.40223E-06	0.892033849	330.8811544
518	2590	7198.1	0.423	6.3394E-06	0.883279837	331.5259583
519	2595	7212.2	0.431	6.50694E-06	0.906623869	332.175368
520	2600	7226.5	0.432	6.52789E-06	0.909541873	332.8339892
521	2605	7240.3	0.434	6.56977E-06	0.915377882	333.4695817
522	2610	7254.5	0.423	6.3394E-06	0.883279837	334.1235971
523	2615	7268.7	0.435	6.59071E-06	0.918295886	334.7776126
524	2620	7282.8	0.439	6.67449E-06	0.929967902	335.4270223
525	2625	7296.8	0.423	6.3394E-06	0.883279837	336.0718263

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
526	2630	7310.6	0.435	6.59071E-06	0.918295886	336.7074187
527	2635	7324.5	0.435	6.59071E-06	0.918295886	337.347617
528	2640	7338.4	0.433	6.54883E-06	0.912459877	337.9878152
529	2645	7352.5	0.429	6.46506E-06	0.900787861	338.6372249
530	2650	7366.5	0.433	6.54883E-06	0.912459877	339.2820289
531	2655	7380.3	0.422	6.31846E-06	0.880361833	339.9176213
532	2660	7394.2	0.427	6.42317E-06	0.894951853	340.5578196
533	2665	7408.1	0.432	6.52789E-06	0.909541873	341.1980178
534	2670	7422.1	0.440	6.69543E-06	0.932885906	341.8428217
535	2675	7436.2	0.436	6.61166E-06	0.92121389	342.4922315
536	2680	7450.1	0.442	6.73731E-06	0.938721914	343.1324297
537	2685	7465	0.442	6.73731E-06	0.938721914	343.8186853
538	2690	7478.8	0.445	6.80014E-06	0.947475926	344.4542778
539	2695	7492.7	0.442	6.73731E-06	0.938721914	345.094476
540	2700	7506.6	0.451	6.9258E-06	0.964983951	345.7346742
541	2705	7520.4	0.442	6.73731E-06	0.938721914	346.3702667
542	2710	7534.2	0.440	6.69543E-06	0.932885906	347.0058592
543	2715	7548.1	0.446	6.82109E-06	0.950393931	347.6460574
544	2720	7562.1	0.446	6.82109E-06	0.950393931	348.2908614
545	2725	7576.0	0.447	6.84203E-06	0.953311935	348.9310596
546	2730	7589.9	0.449	6.88391E-06	0.959147943	349.5712578
547	2735	7603.8	0.434	6.56977E-06	0.915377882	350.2114561
548	2740	7617.8	0.441	6.71637E-06	0.93580391	350.85626
549	2745	7631.8	0.446	6.82109E-06	0.950393931	351.501064
550	2750	7645.6	0.441	6.71637E-06	0.93580391	352.1366565
551	2755	7659.8	0.445	6.80014E-06	0.947475926	352.7906719
552	2760	7673.7	0.448	6.86297E-06	0.956229939	353.4308701
553	2765	7687.6	0.449	6.88391E-06	0.959147943	354.0710684
554	2770	7701.6	0.430	6.486E-06	0.903705865	354.7158723
555	2775	7715.5	0.435	6.59071E-06	0.918295886	355.3560705

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
556	2780	7729.5	0.430	6.486E-06	0.903705865	356.0008745
557	2785	7743.6	0.435	6.59071E-06	0.918295886	356.6502842
558	2790	7757.6	0.444	6.7792E-06	0.944557922	357.2950882
559	2795	7771.4	0.441	6.71637E-06	0.93580391	357.9306807
560	2800	7785.4	0.445	6.80014E-06	0.947475926	358.5754846
561	2805	7799.4	0.446	6.82109E-06	0.950393931	359.2202886
562	2810	7813.5	0.446	6.82109E-06	0.950393931	359.8696983
563	2815	7827.8	0.449	6.88391E-06	0.959147943	360.5283195
564	2820	7841.6	0.43	6.486E-06	0.903705865	361.163912
565	2825	7855.8	0.442	6.73731E-06	0.938721914	361.8179274
566	2830	7870.0	0.449	6.88391E-06	0.959147943	362.4719429
567	2835	7884.1	0.445	6.80014E-06	0.947475926	363.1213526
568	2840	7898.1	0.448	6.86297E-06	0.956229939	363.7661565
569	2845	7912.3	0.449	6.88391E-06	0.959147943	364.420172
570	2850	7926.5	0.448	6.86297E-06	0.956229939	365.0741874
571	2855	7940.4	0.448	6.86297E-06	0.956229939	365.7143857
572	2860	7954.3	0.441	6.71637E-06	0.93580391	366.3545839
573	2865	7968.2	0.448	6.86297E-06	0.956229939	366.9947821
574	2870	7982.0	0.445	6.80014E-06	0.947475926	367.6303746
575	2875	7996.2	0.449	6.88391E-06	0.959147943	368.28439
576	2880	8010.1	0.449	6.88391E-06	0.959147943	368.9245883
577	2885	8023.9	0.448	6.86297E-06	0.956229939	369.5601807
578	2890	8037.8	0.446	6.82109E-06	0.950393931	370.200379
579	2895	8051.7	0.443	6.75826E-06	0.941639918	370.8405772
580	2900	8065.8	0.441	6.71637E-06	0.93580391	371.4899869
581	2905	8079.8	0.446	6.82109E-06	0.950393931	372.1347908
582	2910	8093.6	0.441	6.71637E-06	0.93580391	372.7703833
583	2915	8107.5	0.440	6.69543E-06	0.932885906	373.4105815
584	2920	8121.4	0.441	6.71637E-06	0.93580391	374.0507798
585	2925	8135.4	0.445	6.80014E-06	0.947475926	374.6955837

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดชนิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาทีก)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
586	2930	8149.5	0.445	6.80014E-06	0.947475926	375.3449934
587	2935	8163.4	0.448	6.86297E-06	0.956229939	375.9851917
588	2940	8178.3	0.443	6.75826E-06	0.941639918	376.6714473
589	2945	8192.1	0.443	6.75826E-06	0.941639918	377.3070398
590	2950	8206.0	0.441	6.71637E-06	0.93580391	377.947238
591	2955	8219.9	0.448	6.86297E-06	0.956229939	378.5874362
592	2960	8233.7	0.449	6.88391E-06	0.959147943	379.2230287
593	2965	8247.5	0.441	6.71637E-06	0.93580391	379.8586212
594	2970	8261.4	0.446	6.82109E-06	0.950393931	380.4988194
595	2975	8275.4	0.449	6.88391E-06	0.959147943	381.1436234
596	2980	8289.3	0.447	6.84203E-06	0.953311935	381.7838216
597	2985	8303.2	0.445	6.80014E-06	0.947475926	382.4240198
598	2990	8317.1	0.445	6.80014E-06	0.947475926	383.064218
599	2995	8331.1	0.440	6.69543E-06	0.932885906	383.709022
600	3000	8345.1	0.448	6.86297E-06	0.956229939	384.353826
601	3005	8358.9	0.442	6.73731E-06	0.938721914	384.9894185
602	3010	8373.1	0.446	6.82109E-06	0.950393931	385.6434339
603	3015	8387.0	0.444	6.7792E-06	0.944557922	386.2836321
604	3020	8400.9	0.445	6.80014E-06	0.947475926	386.9238303
605	3025	8414.9	0.442	6.73731E-06	0.938721914	387.5686343
606	3030	8428.8	0.445	6.80014E-06	0.947475926	388.2088325
607	3035	8442.8	0.449	6.88391E-06	0.959147943	388.8536365
608	3040	8456.9	0.444	6.7792E-06	0.944557922	389.5030462
609	3045	8470.9	0.448	6.86297E-06	0.956229939	390.1478502
610	3050	8484.7	0.448	6.86297E-06	0.956229939	390.7834426
611	3055	8498.7	0.448	6.86297E-06	0.956229939	391.4282466
612	3060	8512.7	0.443	6.75826E-06	0.941639918	392.0730506
613	3065	8526.8	0.448	6.86297E-06	0.956229939	392.7224603
614	3070	8541.1	0.445	6.80014E-06	0.947475926	393.3810815
615	3075	8554.9	0.445	6.80014E-06	0.947475926	394.016674

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทริน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
616	3080	8569.1	0.443	6.75826E-06	0.941639918	394.6706894
617	3085	8583.3	0.441	6.71637E-06	0.93580391	395.3247049
618	3090	8597.4	0.448	6.86297E-06	0.956229939	395.9741146
619	3095	8611.4	0.446	6.82109E-06	0.950393931	396.6189185
620	3100	8625.6	0.448	6.86297E-06	0.956229939	397.272934
621	3105	8639.8	0.444	6.7792E-06	0.944557922	397.9269494
622	3110	8653.4	0.444	6.7792E-06	0.944557922	398.5533304
623	3115	8666.8	0.437	6.6326E-06	0.924131894	399.1704999
624	3120	8680.3	0.442	6.73731E-06	0.938721914	399.7922752
625	3125	8693.9	0.447	6.84203E-06	0.953311935	400.4186562
626	3130	8707.4	0.448	6.86297E-06	0.956229939	401.0404314
627	3135	8720.9	0.443	6.75826E-06	0.941639918	401.6622067
628	3140	8734.5	0.448	6.86297E-06	0.956229939	402.2885877
629	3145	8747.9	0.441	6.71637E-06	0.93580391	402.9057572
630	3150	8761.5	0.446	6.82109E-06	0.950393931	403.5321382
631	3155	8775.0	0.435	6.59071E-06	0.918295886	404.1539134
632	3160	8788.5	0.439	6.67449E-06	0.929967902	404.7756887
633	3165	8801.9	0.457	7.05146E-06	0.982491975	405.3928582
634	3170	8815.4	0.458	7.0724E-06	0.98540998	406.0146334
635	3175	8828.8	0.454	6.98863E-06	0.973737963	406.6318029
636	3180	8842.3	0.451	6.9258E-06	0.964983951	407.2535782
637	3185	8855.8	0.459	7.09334E-06	0.988327984	407.8753534
638	3190	8869.3	0.447	6.84203E-06	0.953311935	408.4971287
639	3195	8882.8	0.450	6.90486E-06	0.962065947	409.1189039
640	3200	8896.3	0.450	6.90486E-06	0.962065947	409.7406792
641	3205	8909.8	0.465	7.219E-06	1.005836008	410.3624545
642	3210	8923.3	0.452	6.94674E-06	0.967901955	410.9842297
643	3215	8936.9	0.460	7.11429E-06	0.991245988	411.6106107
644	3220	8950.6	0.468	7.28183E-06	1.01459002	412.2415974
645	3225	8964.1	0.476	7.44937E-06	1.037934053	412.8633727



ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอีเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (mL.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
646	3230	8977.5	0.470	7.32371E-06	1.020426029	413.4805422
647	3235	8991.1	0.468	7.28183E-06	1.01459002	414.1069232
648	3240	9004.5	0.471	7.34466E-06	1.023344033	414.7240927
649	3245	9018.1	0.471	7.34466E-06	1.023344033	415.3504737
650	3250	9031.7	0.472	7.3656E-06	1.026262037	415.9768547
651	3255	9045.2	0.479	7.5122E-06	1.046688065	416.5986299
652	3260	9058.8	0.465	7.219E-06	1.005836008	417.2250109
653	3265	9072.3	0.467	7.26089E-06	1.011672016	417.8467862
654	3270	9085.8	0.479	7.5122E-06	1.046688065	418.4685614
655	3275	9099.3	0.471	7.34466E-06	1.023344033	419.0903367
656	3280	9112.9	0.473	7.38654E-06	1.029180041	419.7167177
657	3285	9126.4	0.460	7.11429E-06	0.991245988	420.3384929
658	3290	9139.9	0.470	7.32371E-06	1.020426029	420.9602682
659	3295	9153.5	0.461	7.13523E-06	0.994163992	421.5866492
660	3300	9167.0	0.462	7.15617E-06	0.997081996	422.2084244
661	3305	9180.6	0.471	7.34466E-06	1.023344033	422.8348054
662	3310	9194.0	0.475	7.42843E-06	1.035016049	423.4519749
663	3315	9207.5	0.474	7.40748E-06	1.032098045	424.0737502
664	3320	9221.0	0.472	7.3656E-06	1.026262037	424.6955254
665	3325	9234.4	0.462	7.15617E-06	0.997081996	425.3126949
666	3330	9248.0	0.467	7.26089E-06	1.011672016	425.9390759
667	3335	9261.6	0.467	7.26089E-06	1.011672016	426.5654569
668	3340	9275.1	0.460	7.11429E-06	0.991245988	427.1872322
669	3345	9288.5	0.472	7.3656E-06	1.026262037	427.8044017
670	3350	9302.4	0.476	7.44937E-06	1.037934053	428.4445999
671	3355	9316.3	0.466	7.23994E-06	1.008754012	429.0847981
672	3360	9330.4	0.473	7.38654E-06	1.029180041	429.7342078
673	3365	9344.4	0.462	7.15617E-06	0.997081996	430.3790118
674	3370	9358.2	0.463	7.17711E-06	1.000000000	431.0146043
675	3375	9372.1	0.477	7.47031E-06	1.040852057	431.6548025

ตารางที่ ง -18 (ต่อ) ผลการทดลองความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (พีแนนทรีน) ผ่านคอลัมน์ที่มีพื้นผิวตัวกลางอะลูมินัมออกไซด์ปริมาณ 2.0 กรัม ที่มีสารลดแรงตึงผิวชีวภาพแรมโนลิพิดที่ผสมโมเลกุลลิแกนด์(ออกทานอล) เกาะอยู่ โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง โดยมีความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ 1.0 มิลลิโมลาร์ พีเอช 8.0 - 8.5 ที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่	เวลาทั้งหมด (นาที)	ปริมาตรทั้งหมด (ml.)	ความเข้มข้นสุดท้าย (Rhamnolipid)		C/C <sub>0</sub>	Pore Volume
			Absorbance (250nm)	ความเข้มข้น (M.)		
676	3380	9386.0	0.472	7.3656E-06	1.026262037	432.2950007
677	3385	9400.0	0.477	7.47031E-06	1.040852057	432.9398047
678	3390	9414.1	0.470	7.32371E-06	1.020426029	433.5892144
679	3395	9428.0	0.478	7.49126E-06	1.043770061	434.2294126
680	3400	9442.9	0.467	7.26089E-06	1.011672016	434.9156683
681	3405	9456.7	0.469	7.30277E-06	1.017508025	435.5512607
682	3410	9470.6	0.477	7.47031E-06	1.040852057	436.191459
683	3415	9484.5	0.479	7.5122E-06	1.046688065	436.8316572

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปิ่นปิ่นท์ สุทธินนท์ เกิดเมื่อวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2531 ณ จังหวัด ระ น อ ง สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนอัมพรไพศาล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2553 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**