

การกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเส้นใยหมุน  
ที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก



นางสาวดิษยา เฟื่องฟู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS REMOVAL FROM SYNTHETIC  
WASTEWATER BY MODIFIED KAPOK FIBER WITH CATIONIC SURFACTANT

Miss Dissaya Fuongfu

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

**520745**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน  
ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเส้นใยุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลด  
แรงตึงผิวประจุบวก

โดย

นางสาวดิษยา เฟื่องฟู

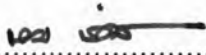
สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

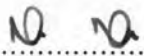
รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว

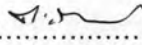
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

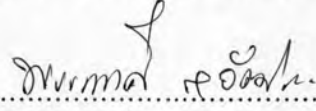
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มเปียกร)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒิมกะ)

ดิษยา เพ็ญฟู : การกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในน้ำ  
 เสียสังเคราะห์ด้วยเส้นใยนุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก  
 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Removal from Synthetic Wastewater by  
 Modified Kapok Fiber with Cationic Surfactant) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก :  
 รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว 123 หน้า.

สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นสารก่อมะเร็งและเป็นพิษต่อ  
 สิ่งมีชีวิต สารอินทรีย์ในกลุ่มนี้หากปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติจะส่งผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตใน  
 น้ำ เช่น ฟลูออรีน (Fluorene) และฟีนแอนทรีน (Phenanthrene) ที่ก่อให้เกิดเนื้องอกและความ  
 ผิดปกติอื่น ๆ งานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษาการดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก  
 ไฮโดรคาร์บอนบนเส้นใยนุ่นที่มีการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ได้แก่  
 โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ (DTAB) และโดเดซิลไพริดีเนียม คลอไรด์ (DPC)  
 โดยเลือกฟลูออรีนและฟีนแอนทรีนเป็นตัวแทนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก  
 ไฮโดรคาร์บอน เส้นใยนุ่นที่นำมาศึกษาการดูดซับนั้นได้ผ่านกระบวนการเพิ่มประจุลบบน  
 เส้นใยเพื่อเหนี่ยวนำให้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกมาเกาะบนเส้นใยมากขึ้น ผลการวิจัยพบว่า  
 เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบช่วยให้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกดูดซับบนพื้นผิวเส้นใยได้ดียิ่งขึ้นและ  
 ส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนใน  
 น้ำเสียสังเคราะห์ของเส้นใยนุ่นเพิ่มมากขึ้น

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
 สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
 ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิสิต..... ดิษยา เพ็ญฟู .....  
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... อ. นว.....

# # 5070557121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON / ADSORPTION /  
CATIONIC SURFACTANT / CAPOK FIBER

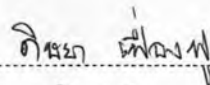
DISSAYA FUONGFU : POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS  
REMOVAL FROM SYNTHETIC WASTEWATER BY MODIFIED KAPOK FIBER  
WITH CATIONIC SURFACTANT.

THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 123 pp.

PAHs are toxic and carcinogenic to plants, animals and humans. Some PAH compounds such as fluorene and phenanthrene is carcinogenic and mutagenic and can accumulate in aquatic organisms. Because of the toxics of these compounds. In this reserch, the adsorption of cationic surfactant, dodecyl trimethylammonium bromide (DTAB) and dodecyl pyridinium chloride (DPC), onto natural sorbent kapok fibers and the coadsorption process of PAHs, fluorene and phenanthrene, were investigated. Kapok fibers were oxidized by oxidation procedure to increase the amount of negative charge on the fibers and induce the surfactant adsorption. In the cationic surfactants adsorption onto oxidized and non-oxidized kapok fibers, the adsorption isotherm of cationic surfactant were investigated. The results showed that oxidized kapok fibers improved surfactants adsorption and PAHs coadsorption.

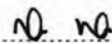
Department :Environmental Engineering ...

Student's Signature



Field of Study : Environmental Engineering

Advisor's Signature



Academic Year : 2009 .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ชาวเขียว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำปรึกษา แนะนำทาง หลักการในการดำเนินงานวิจัยและแก้ไขในสิ่งที่บกพร่อง มาตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล ที่กรุณาเป็นประธาน ในการสอบวิทยานิพนธ์ตลอดจนอาจารย์ ดร.ตะวัน ลิ้มปิยากรและอาจารย์ ดร.พรรณวดี สุวัฒน์ิกะ ที่ได้ให้คำปรึกษาชี้แนะและแก้ไขจนวิทยานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

เจ้าหน้าที่ห้องธุรการและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ช่วยให้คำชี้แนะและให้ความช่วยเหลืองานด้านเอกสาร อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือเสมอมา

ขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และดูแลกันและกันในระหว่างการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอบคุณนางสาวพรทิพย์ คำหล้าและเพื่อน ๆ ที่หอพักนานาชาติศึกษาตึกนิเวศน์ที่ ให้ความช่วยเหลือและดูแลกันในระหว่างการทำเล่มวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ นายวิวัฒน์และนางอุษา เฟื่องฟู บิดามารดาซึ่ง สนับสนุน ส่งเสริม และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 คำสำคัญ (Key Words).....	1
1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	6
2.1.1 นิยาม.....	6
2.1.2 สมบัติ.....	6
2.1.3 แหล่งกำเนิด.....	9
2.1.4 แหล่งที่พบ.....	11
2.1.5 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต.....	13
2.2 กระบวนการดูดซับ.....	17
2.2.1 ตัวกลางที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ.....	17
2.2.2 โมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ต้องการบำบัด.....	19
2.2.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของการดูดซับ.....	20
2.3 การกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	21



บทที่	หน้า
2.4 แนวทางการปรับปรุงกระบวนการกำจัดการประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	23
2.4.1 การปรับสภาพตัวดูดซับ.....	23
2.5 สารลดแรงตึงผิว.....	24
2.5.1 สมบัติ.....	25
2.5.2 ประเภทของสารลดแรงตึงผิว.....	26
2.6 การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารลดแรงตึงผิว.....	27
2.7 กลไกการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกบนเส้นใยเซลลูโลส.....	29
2.8 กลไกการดูดซับสารอินทรีย์บนเส้นใยเซลลูโลสที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	31
2.9 การชะออก.....	31
2.10 ขั้นตอนการดำเนินงานในกระบวนการดูดซับ.....	33
2.10.1 การเตรียมตัวกลาง.....	33
2.10.1.1 การทำความสะอาดเส้นใย.....	33
1) การล้างเส้นใย.....	34
2) การทำความสะอาดและฟอกเส้นใย.....	34
2.10.1.2 การเพิ่มประจุลบให้เส้นใย.....	34
1) การเพิ่มประจุลบให้เส้นใยด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	34
2) การเพิ่มประจุลบให้เส้นใยด้วยการรีฟลักซ์.....	35
2.10.2 การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	36
2.10.2.1 วิธีการเตรียมสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	37
2.10.2.2 วิธีการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	37
2.10.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	37
2.10.4 การศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวและสารอินทรีย์บนเส้นใย...	38
2.10.4.1 การศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนเส้นใย.....	38
2.10.4.2 การศึกษาการดูดซับของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนเส้นใยที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	42



3.1	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	42
3.1.1	วัสดุอุปกรณ์.....	42
3.1.1.1	น้ำเสีย.....	42
3.1.1.2	ตัวกลาง.....	42
3.1.1.3	เครื่องมือ.....	44
3.1.2	สารเคมี.....	44
3.1.2.1	สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	44
3.1.2.2	สารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	45
3.1.2.3	สารเคมีในปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	46
3.1.2.4	สารเคมีอื่น ๆ.....	47
3.2	แผนการทดลอง.....	47
3.2.1	เตรียมเส้นใยุ่นดิบและเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ.....	47
3.2.2	ศึกษาลักษณะทางกายภาพเส้นใยุ่นดิบและเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ.....	48
3.2.4	ศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนเส้นใยุ่น.....	48
3.2.5	ศึกษาการดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนเส้นใยุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	49
3.3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	49
3.3.1	เตรียมเส้นใยุ่น.....	49
3.3.1.1	การเตรียมเส้นใยุ่นดิบ.....	50
3.3.1.2	การเตรียมเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ.....	50
3.3.2	ศึกษาลักษณะทางกายภาพเส้นใยุ่น.....	51
3.3.2.1	ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยุ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	52
3.3.3	การศึกษากการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยุ่น.....	52
3.3.3.1	การหาสภาวะการทดลอง.....	53
	1) การหาปริมาณนุ่นที่เหมาะสม.....	55
	2) การหาเวลาที่เหมาะสม.....	55
3.3.3.2	การศึกษาศามารถของเส้นใยุ่นในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	56

3.3.4 การศึกษาความสามารถในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิก อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยเส้นใยุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลด แรงตึงผิวประจุบวก.....	58
3.3.4.1 การศึกษาการดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนบนเส้นใยุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลด แรงตึงผิวประจุบวกที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน.....	61
3.3.4.2 การศึกษาผลของโครงสร้างที่ต่างกันของสารประกอบโพลี ไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อประสิทธิภาพการดูดซับ บนเส้นใยุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	62
3.4 สมการที่ใช้ในงานวิจัย.....	62
3.5 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....	64
<b>บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....</b>	<b>65</b>
4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยุ่น.....	65
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพเบื้องต้น.....	65
4.1.2 ลักษณะทางกายภาพเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด.....	68
4.2 การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยุ่น.....	69
4.2.1 การหาสภาวะการทดลอง.....	72
4.2.1.1 การหาความเร็วรอบที่เหมาะสม.....	72
4.2.1.2 การหาปริมาณุ่นที่เหมาะสม.....	74
4.2.1.3 การหาเวลาที่เหมาะสม.....	76
4.2.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของ เส้นใยุ่น.....	77
4.3 การศึกษาการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	82
4.3.1 การศึกษาการดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน บนเส้นใยุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มี หมู่ฟังก์ชันต่างกัน.....	91
4.3.2 การศึกษาผลของโครงสร้างที่ต่างกันของสารประกอบโพลีไซคลิก อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อประสิทธิภาพการดูดซับบนเส้นใยุ่น.....	91

บทที่	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	93
5.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่น.....	93
5.2 การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่น.....	93
5.2.1 การหาสภาวะการทดลอง.....	93
5.2.1.1 การหาความเร็วรอบที่เหมาะสม.....	93
5.2.1.2 การหาปริมาณนุ่นที่เหมาะสม.....	93
5.2.1.2 การหาเวลาที่เหมาะสม.....	94
5.2.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่น.....	94
5.3 การศึกษาการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยเส้นใยนุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	95
5.3.1 การศึกษาการดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนเส้นใยนุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน.....	95
5.3.2 การศึกษาผลของโครงสร้างที่ต่างกันของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อประสิทธิภาพการกำจัดของเส้นใยนุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	95
5.4 สรุปผลวัตถุประสงค์การวิจัย.....	96
5.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	97
รายการอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก.....	104
ภาคผนวก ก การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่น.....	105
ภาคผนวก ข การศึกษาความสามารถในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยเส้นใยนุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	111
ภาคผนวก ค ผลของโครงสร้างที่แตกต่างกันของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีต่อความสามารถในการดูดซับของเส้นใยนุ่นแต่ละประเภท.....	120
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	123

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงสมบัติและข้อมูลทั่วไปของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	8
2.2	การนำสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนไปใช้ในอุตสาหกรรม..	10
2.3	บริเวณที่พบสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	11
2.4	ตัวอย่างแสดงค่าความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดพิษแบบเรื้อรังและแบบเฉียบพลันในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม.....	15
3.1	ประเภทและสมบัติของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	45
3.2	แสดงสมบัติของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	46
4.1	แสดงสมบัติของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่ใช้ในการวิจัย.....	71
4.2	แสดงค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	72
4.3	แสดงสมบัติของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ในงานวิจัย.....	82

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ.....	6
2.2	การจัดเรียงโมเลกุลแบบเส้นตรงและแบบสามเหลี่ยม.....	7
2.3	สารลดแรงตึงผิวสารอินทรีย์ถูกล้อมรอบด้วยสารอินทรีย์ในรูปของไมเซลล์.....	7
2.4	แสดงกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์.....	18
2.5	ถ่านกัมมันต์แบบผงและถ่านกัมมันต์แบบเกล็ด.....	19
2.6	สารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบบไซตรงและแบบวงแหวน.....	20
2.7	ภาพพื้นผิวของน้ำที่มีคุณสมบัติเหมือนแผ่นยางเนื่องจากมีแรงตึงผิวสูง.....	24
2.8	โครงสร้างภายในของสารลดแรงตึงผิว.....	25
2.9	การรวมตัวของสารลดแรงตึงผิวในรูปไมเซลล์.....	26
2.10	Dodecyltrimethylammonium bromide (DTAB).....	27
2.11	Dodecylpyridinium chloride (DPC).....	27
2.12	สารลดแรงตึงผิวเกาะบนเส้นใยในรูปโมโนเมอร์.....	29
2.13	สารลดแรงตึงผิวที่เกาะบนเส้นใยในรูปโมโนเมอร์และเฮมิไมเซลล์.....	29
2.14	สารลดแรงตึงผิวที่เกาะบนเส้นใยในรูปเฮมิไมเซลล์.....	29
2.15	สารลดแรงตึงผิวที่เกาะบนเส้นใยในรูปเฮมิไมเซลล์และแอดไมเซลล์.....	30
2.16	สารลดแรงตึงผิวที่เกาะบนเส้นใยในรูปแอดไมเซลล์.....	30
2.17	ไอโซเทอมของสารลดแรงตึงผิวบนเส้นใยเซลลูโลส.....	30
2.18	รูปแบบการดูดซับสารอินทรีย์บนเส้นใยเซลลูโลสที่ปรับสภาพด้วย สารลดแรงตึงผิว.....	31
2.19	การรวมตัวกันของสารลดแรงตึงผิวจนเกิดไมเซลล์.....	32
2.20	การชะออก.....	33
2.21	ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเส้นใยเซลลูโลส.....	34
2.22	สารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่ไตรเมทิลแอมโมเนียมเป็นหมู่ฟังก์ชัน.....	36
2.23	สารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีไพริดีเนียมเป็นหมู่ฟังก์ชัน.....	37
3.1	ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนูน (a.) และเส้นใยนูนเมื่อส่องกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (b.).....	43
3.2	ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเส้นใยเซลลูโลส.....	47

3.3	แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมตัวกลาง.....	48
3.4	ตัวกลางที่ใช้ในการกำจัดฟลูออรีนและพีแนทรีนทั้ง 6 ประเภท.....	49
3.5	ขั้นตอนการดำเนินงานในการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของ เส้นใยนุ่น.....	53
3.6	การเตรียมตัวอย่างจำนวน 1 ชุดการทดลองจากทั้งหมด 2 ชุด โดยตัวอย่าง ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 แปรค่าความเร็วรอบเป็น 150 และ 200 รอบต่อนาที ตามลำดับ.....	54
3.7	การเตรียมตัวอย่างจำนวน 1 ชุดการทดลองจากทั้งหมด 6 ชุดการทดลองโดยแต่ ละชุดการทดลองใช้เวลาในการเขย่า 3, 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับ.....	56
3.8	การเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนการศึกษาความสามารถของเส้นใยนุ่นใน การดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก.....	57
3.9	การเตรียมตัวอย่างจำนวน 1 ชุดการทดลองจากทั้งหมด 6 ชุดการทดลองที่ใช้ใน การกำจัดฟลูออรีนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	60
3.10	การเตรียมตัวอย่างจำนวน 1 ชุดการทดลองจากทั้งหมด 6 ชุดการทดลองที่ใช้ใน การกำจัดพีแนทรีนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน.....	61
4.1	ลักษณะทางกายภาพของ a.) เส้นใยนุ่นดิบ และ b.) เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบเมื่อ ผ่านการเตรียมเส้นใยแล้วนำไปอบแห้ง.....	66
4.2	ลักษณะทางกายภาพของ a.) เส้นใยนุ่นดิบ และ b.) เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบเมื่อ อยู่ในน้ำ.....	67
4.3	a.) เส้นใยนุ่นดิบ และ b.) เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบเมื่อสองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	69
4.4	ลักษณะการรวมตัวของ a.) เส้นใยนุ่นดิบ และ b.) เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบเมื่อ สองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	69
4.5	แผนภาพการทดลองในขั้นตอนที่ 3 การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุ บวกของเส้นใยนุ่นซึ่งทำให้ตัวกลางครบทั้ง 6 ประเภทเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป เพื่อกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	71



- 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถของในการดูดซับ a.) DTAB และ b.) DPC ต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยุ่นในหน่วยมิลลิโมลต่อกรัม ( $q_0$ ; mol/g) กับ น้ำหนักของเส้นใยุ่นดิบ ในหน่วยกรัม (g) เพื่อหาค่าความเร็วรอบในการเขย่าเส้นใยุ่นในสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่เหมาะสมต่อการวิจัย..... 73
- 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถของในการดูดซับ a.) DTAB และ b.) DPC ต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยุ่นในหน่วยมิลลิโมลต่อกรัม ( $q_0$ ; mol/g) กับ น้ำหนักของเส้นใยุ่นในหน่วยกรัม (g) เพื่อหาปริมาณเส้นใยุ่นที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกกราฟแสดงการหาน้ำหนักที่เหมาะสม..... 75
- 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถของในการดูดซับ a.) DTAB และ b.) DPC ต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยุ่นในหน่วยมิลลิโมลต่อกรัม ( $q_0$ ; mmol/g) กับ เวลาที่ใช้ในการเขย่าเส้นใยุ่นหน่วยเป็นชั่วโมง เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมของเส้นใยุ่นต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก..... 76
- 4.9 แสดงสถานะที่สารลดแรงตึงผิวรวมตัวกันจนเกิดไมเซลล์ขึ้นในน้ำ โดยหันส่วนหัวที่ชอบน้ำออกด้านนอกและหันส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำไว้ภายใน ซึ่งทำให้สารอินทรีย์ที่มีความไม่ชอบน้ำเช่นเดียวกันสามารถเข้าไปเกาะกับส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำภายในไมเซลล์ได้จึงทำให้สารอินทรีย์อยู่ในน้ำได้อย่างเสถียร..... 78
- 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีผลต่อ การกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ (Aloulou et al., 2004)..... 79
- 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของเส้นใยุ่นในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยุ่น ( $q_0$ ; mmol/g) กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่เหลืออยู่ในสารละลาย ( $C_0$ ; mmol.L) เพื่อศึกษาความสามารถของเส้นใยุ่นในการดูดซับ a.) DTAB และ b.) DPC... 80
- 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยุ่น ( $q_0$ ; mg Fluorene/g Kapok fibers)กับความเข้มข้นของฟลูออรีน ที่เหลืออยู่ในน้ำ ( $C_0$ ; mg/L)..... 83
- 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนต่อหนึ่งกรัมของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ( $q_0$ ; mg Fluorene/g Surfactants) กับความเข้มข้นของฟลูออรีนที่เหลืออยู่ในน้ำ ( $C_0$ ; mg/L)..... 84



4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดฟลูออรีนกับความเข้มข้นของฟลูออรีนที่ละลายอยู่ในน้ำ ( $C_0$ ; mg/L).....	85
4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกำจัดฟีนแอนทรีนต่อหนึ่งกรัมของ a.) เส้นใยุ่นดิบ+DTAB และ b.) เส้นใยุ่นดิบ ( $q_0$ ; mg Phenanthrene/g Kapok fibers)กับความเข้มข้นของฟีนแอนทรีนที่ละลายอยู่ในน้ำ ( $C_0$ ; mg/L).....	87
4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกำจัดฟีนแอนทรีนต่อหนึ่งกรัมของ a.) เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB และ b.) เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ ( $q_0$ ; mg Phenanthrene/g Kapok fibers) กับความเข้มข้นของฟีนแอนทรีนที่ละลายอยู่ในน้ำ ( $C_0$ ; mg/L)	88
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกำจัดฟีนแอนทรีนต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยุ่น ( $q_0$ ; mg Phenanthrene/g Kapok fibers)กับความเข้มข้นของฟีนแอนทรีนที่ละลายอยู่ในน้ำ ( $C_0$ ; mg/L).....	89
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดฟีนแอนทรีนกับความเข้มข้นของ ฟีนแอนทรีนที่ละลายอยู่ในน้ำ.....	90