

การบำบัดน้ำเสียที่ย้อมโดยกระบวนการ PAC-UF



นางสาว นริษญา กวีนันทวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-031-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

16 2545

116956870

TREATMENT OF DYEHOUSE WASTEWATER BY PAC-UF

Miss Narisada Gaweentawong

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

Department of Environmental Engineering

Graduate School


Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-031-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียสีข้อมโดยกระบวนการ PAC-UF
โดย นางสาวริชฎา กวีนั้นทองศ์
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

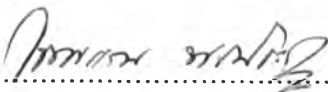
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

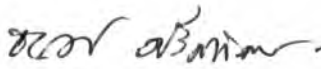

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กีระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเชียร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.รศศ ศรีสถิตย์)

นริชญา กวีนั้นทวงศ์ : การบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยกระบวนการ PAC-UF (Treatment of Dyehouse Wastewater by PAC-UF) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล 237 หน้า. ISBN 974-333-031-3.

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำกระบวนการ PAC-UF มาประยุกต์ใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อม 3 ชนิด คือ สีแวต (Vat dyes) สีดีสเพอร์ส (Disperse dyes) และสีไคเร็กท์ (Direct dyes) รวมทั้งศึกษาผลของความดันในการกรองน้ำตั้งแต่ 2.0-3.5 บาร์ และศึกษาผลของพีเอชของน้ำเสียในช่วง 3-10 ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อม โดย UF ที่ใช้เป็นแบบแผ่นผลิตจาก Regenerated Cellulose Acetate ของ Dow Denmark พื้นที่ผิว 0.0336 m² ความเข้มข้นของสีย้อมแต่ละชนิดใช้สูตรการย้อมผ้าของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งหนึ่ง และผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้มี 3 ชนิด คือ HRO CH M325-60, HRO HM325-60 และ HRO M200-60 ทดสอบด้วย Isotherm Test เพื่อเลือกผงถ่านกัมมันต์ที่ดูดติดสีดีที่สุด

ผลการทดลองพบว่า ณ ที่ความดัน 2 บาร์ กระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมดีที่สุด และเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียสีย้อมลดลงเล็กน้อย ผลของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและทีโอซีของน้ำเสียสีย้อมทั้ง 3 ชนิด โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน มีค่ามากกว่า 80% และกำจัดความเข้มสีได้หมด ณ ที่ความดัน 2 บาร์ ได้อัตราการกรองน้ำมีค่าในช่วง 40-70 l/m²-h ที่ความดันในการดำเนินระบบในช่วง 2.0-3.5 บาร์

ผลของการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียตั้งแต่ 3-10 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและทีโอซีของทุกสีโดยเฉลี่ยมากกว่า 80% และยังคงกำจัดความเข้มสีได้หมด นั่นคือ เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันสามารถใช้งานกับน้ำเสียสีย้อมในช่วงพีเอชที่กว้าง

สำหรับการบำบัดน้ำเสียสีย้อมด้วยกระบวนการ PAC-UF นั้น ใช้ผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60 เนื่องจากมีประสิทธิภาพการดูดติดสีดีที่สุด ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไคเร็กท์ด้วยกระบวนการ PAC-UF นั้นพบว่า ที่ความดัน 2 บาร์ ได้ประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซีมากกว่า 90% และกำจัดซีโอดีได้เกือบ 100% ส่วนความเข้มสียังคงกำจัดได้หมดเช่นกัน ในขณะที่อัตราการกรองน้ำมีค่าในช่วง 20-60 l/m²-h ที่ความดันในการดำเนินระบบในช่วง 2.0-3.5 บาร์ จากผลนี้จะพบว่า ผงถ่านกัมมันต์สามารถดูดติดสารอินทรีย์ละลายซึ่งมีขนาดเล็กมากกว่าขนาดรูพรุนของเมมเบรนได้ ในขณะที่อัตราการกรองน้ำที่ได้ใกล้เคียงกับระบบที่ไม่มีกราดเมมผงถ่านกัมมันต์ นั่นหมายถึง ระบบ PAC-UF มีศักยภาพที่จะใช้ในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต นริชญา กวีนั้นทวงศ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3970769121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: DYEHOUSE WASTEWATER / POWDER ACTIVATED CARBON, (PAC) / ULTRAFILTRATION MEMBRANE.

NARISADA GAWEENUNTAWONG : TREATMENT OF DYEHOUSE WASTEWATER BY PAC-UF.

THESIS ADVISOR : CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D. 237 pp. ISBN 974-333-031-3.

This research studied the application of Powder Activated Carbon and Ultrafiltration (PAC-UF) system for treatment of dyehouse wastewater. Three kinds of wastewater samples were vat, disperse and direct dyes. The operating transmembrane pressure was in the range of 2.0-3.5 bars and pH was in the range of 3-10. The UF membrane used here was a flat-sheet type, made of regenerated cellulose acetate. It has a surface area of 0.0336 m². The composition of wastewater was prepared by the actual production formula of a textile factory. Three kinds of PAC were selected as HRO CH M325-60 HRO HM325-60 and HRO M200-60. The maximum adsorption capacity of PAC was determined by an isotherm test.

From the experimental results, the ultrafiltration membrane has the highest performance at operating transmembrane pressure of 2 bars. When transmembrane pressure was higher than 2 bars, treatment efficiency decreased slightly. The removal efficiencies in terms of COD and TOC were higher than 80% at 2 bars. Whereas the color was completely removed. Permeate fluxes were in the range of 40-70 l/m²-h at transmembrane pressure in the range of 2.0-3.5 bars.

It was found that when pH was varied from 3 to 10, removal efficiencies in terms of COD and TOC were still higher than 80%. The color removal was completed. Therefore, ultrafiltration process is suitable for extensive pH range.

In the case of ultrafiltration process combined with PAC-adsorption, the HRO CH M325-60 was used due to its highest adsorption capacity. At 2 bars, TOC removal efficiency was higher than 90%. COD removal efficiency was almost 100% and color was completely removed. Permeate fluxes were also in the range of 20-60 l/m²-h at transmembrane pressure in the range of 2.0-3.5 bars. Accordingly, PAC was capable of adsorbing organic matters, having size smaller than the UF pore size. Moreover, the permeate fluxes in the case of PAC-UF process were close to the fluxes in the case of ultrafiltration process alone. Therefore, the PAC-UF process can be a promising process for the treatment of dyehouse wastewater.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต..... นววิภา กิ่งนันทวงศ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและทุนมูลนิธิ ซิน ไสภณพานิช จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณผู้ให้การอนุเคราะห์แก่งานวิจัยด้านต่างๆ คือ บริษัท LPE จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องอุปกรณ์การทดลอง บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ผงถ่านกัมมันต์มาใช้ในการวิจัย และบริษัท ยูเนียนอุตสาหกรรมสิ่งทอ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ผงสีย้อมแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณอาจารย์และคณะกรรมการทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขให้วิทยานิพนธ์มีความบกพร่องน้อยลง รวมทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย ที่จะลืมมิได้ต้องขอขอบคุณ เพื่อนสนิท มิตรสหาย โดยเฉพาะ นายชัยณรงค์ งามยิ่งสง่า ที่ให้กำลังใจ และช่วยเหลือผู้วิจัยเสมอมา

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่สนับสนุนทางการเงิน และด้านอื่นๆ อีกมากมายจนสำเร็จการศึกษา

นริษญา กวินันทวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	5
2.1 สีย้อม	
2.1.1 ทฤษฎีการย้อมสี.....	5
2.1.2 การย้อมสี.....	10
2.1.3 ชนิดของสี.....	10
2.1.4 คุณลักษณะของสีย้อม.....	11
2.1.5 โครงสร้างทางเคมีของ โมเลกุลสี.....	11
2.1.6 การจำแนกสีย้อม.....	12
2.2 กระบวนการเมมเบรน.....	26
2.2.1 การจำแนกกระบวนการเมมเบรน.....	29
2.2.2 วัสดุและการผลิตแผ่นเมมเบรนสังเคราะห์.....	33
2.2.3 อุปกรณ์แผ่นเมมเบรน.....	39
2.2.4 ข้อดีของกระบวนการแผ่นเมมเบรน.....	42
2.2.5 ข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน.....	43
2.2.6 การล้างและการทำความสะอาดแผ่นเมมเบรน.....	45
2.2.7 ขั้นตอนการทำความสะอาด.....	48
2.2.8 การเก็บรักษา.....	50
2.2.9 คุณภาพน้ำ.....	51
2.3 กระบวนการอัลตราฟิเตรชัน.....	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1 ฟลักซ์และการกักกัน.....	52
2.3.2 แบบจำลองการถ่ายเทมวล.....	53
2.3.3 Fouling.....	56
2.3.4 แผ่นเมมเบรนและอุปกรณ์.....	58
2.3.5 รูปแบบของกระบวนการ.....	58
2.4 ถ่านกัมมันต์.....	62
2.4.1 กระบวนการดูดติดผิว.....	63
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว.....	65
2.4.3 โมเดลที่แสดงการดูดติดผิว.....	66
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	68
บทที่ 3 แผนการทดลองและการวิจัย.....	72
3.1 แผนการวิจัย.....	72
3.2 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....	73
3.3 การเตรียมน้ำเสียที่ย้อมสังเคราะห์สำหรับการวิจัย.....	73
3.4 การเตรียมสารเคมีและน้ำล้าง.....	74
3.5 ขั้นตอนการทำความสะอาดเมมเบรน.....	76
3.6 การเตรียมความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์และขั้นตอนการทำ Isotherm Test.....	76
3.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	78
3.8 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	80
3.9 การเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....	84
3.10 การวัดสี.....	84
3.11 ปริมาณการทดลองวิจัย.....	85
3.12 ระยะเวลาในการศึกษาวิจัย.....	87
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	88
4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียที่ย้อมที่ใช้ในงานวิจัย.....	88
4.2 คุณสมบัติของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่ใช้ในการวิจัย.....	89
4.3 การศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ย้อมโดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน.....	91
4.3.1 ผลของความดันที่มีต่ออัตราการกรองน้ำของน้ำเสียที่ย้อมทั้ง 3 ชนิด.....	91
4.3.2 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ย้อมทั้ง 3 ชนิด.....	96

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3 ผลของพีเอชของน้ำเสี้ยวที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด น้ำเสี้ยว.....	103
4.3.4 การศึกษาผลของขนาดอนุภาคสี้อมต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี ที่ โอซีและความเข้มข้น.....	108
4.3.5 สมดุลมวลสารและกลไกการบำบัดน้ำเสี้ยวโดยกระบวนการ เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่ไม่มีการเติมผงถ่าน.....	111
4.4 การศึกษาการบำบัดน้ำเสี้ยวโดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ สำหรับน้ำเสี้ยวไคเร็กท์.....	114
4.4.1 การทำ Isotherm Test เพื่อคัดเลือกผงถ่านกัมมันต์ 3 ชนิด.....	114
4.4.1.1 เวลาสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับสี้อมของ ผงถ่านกัมมันต์ ทั้ง 3 ชนิด.....	114
4.4.1.2 การทดสอบ Isotherm Test ของผงถ่านกัมมันต์ ทั้ง 3 ชนิด.....	116
4.4.1.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสี้อมของผงถ่านกัมมันต์ HRO CH M325-60.	122
4.4.2 การประยุกต์ใช้กระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการ ดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ในการบำบัดน้ำเสี้ยว.....	129
4.4.2.1 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำของกระบวนการ เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วย ผงถ่านกัมมันต์.....	129
4.4.2.2 เปรียบเทียบผลของผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำ โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติม ผงถ่านกัมมันต์และที่ไม่มีผงถ่านกัมมันต์.....	133
4.4.2.3 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสี้ยวโดยเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์.....	135
4.4.2.4 เปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสี้ยว ไคเร็กท์โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติม ผงถ่านกัมมันต์ และที่ไม่มีผงถ่านกัมมันต์.....	138

สารบัญ (ต่อ)

4.4.2.5 สมดุลมวลสารและกลไกการบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยกระบวนการ การเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วย ผงถ่านกัมมันต์.....	140
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	142
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ.....	143
รายการอ้างอิง.....	144
ภาคผนวก.....	148
ภาคผนวก ก ผลการทดลองหา Initial Flux	148
ภาคผนวก ข ผลการทดลองหา Permeate Flux ที่ความดันต่างๆ สำหรับการบำบัด น้ำเสียสีย้อมด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน.....	151
ภาคผนวก ค ผลของ %Removal เมื่อเปลี่ยนแปลงความดันการกรองน้ำ และเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียสีย้อม สำหรับการบำบัดน้ำเสีย สีย้อมด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน.....	161
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบ Isotherm Test.....	171
ภาคผนวก จ การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับสีย้อมโดยเรกซ์โทนสีเหลือง โทนสีแดงและ โทนสีน้ำเงินด้วยผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60.	176
ภาคผนวก ฉ ผลการหา Permeate Flux ที่ความดันต่างๆ สำหรับการบำบัดน้ำเสีย สีย้อมด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับ ด้วยผงถ่านกัมมันต์.....	182
ภาคผนวก ช ผลของ %Removal เมื่อเปลี่ยนแปลงความดันการกรองน้ำ และเมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ สำหรับการ บำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยเรกซ์โทนสีเหลืองโดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับ การดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์.....	189
ภาคผนวก ซ ผลการทำสมดุลมวลสารของการบำบัดน้ำเสียสีย้อม โดยกระบวนการ อัลตราฟิลเตรชันที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์และที่ไม่มีการเติม ผงถ่านกัมมันต์.....	192
ภาคผนวก ฌ ภาพถ่าย คุณสมบัติทางฟิสิกส์ และผลการวัดขนาดอนุภาคของ ผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60.....	195
ภาคผนวก ฎ ผลการทดสอบหาขนาดของอนุภาคสีย้อมและสีย้อมโดยเทคนิค Dynamic Light Scattering..	201

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก คุณสมบัติของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน.....	227
ภาคผนวก ก ภาพแสดงระบบ โมดูล Mini Lab-10.....	230
ประวัติผู้เขียน.....	237

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของสีย้อมจำแนกตามลักษณะการใช้งาน.....	13
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของสีย้อมเพอร์สกลุ่มต่างๆ.....	20
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างสีย้อมเพอร์สและผู้ผลิต.....	21
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างชื่อทางการค้าของสีย้อมเพอร์สและผู้ผลิต.....	23
ตารางที่ 2.5 หลักการของกระบวนการเมมเบรน.....	30
ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบอุปกรณ์แผ่นเมมเบรนแบบต่างๆ.....	42
ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างการนำกระบวนการเมมเบรนไปใช้แทนกระบวนการแยกอื่นๆ.....	44
ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างสารลดแรงดึงผิวที่ใช้ทำความสะอาดแผ่นเมมเบรน.....	47
ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างสารทำความสะอาดที่ใช้เดี่ยวๆ หรือเป็นสารผสม เพื่อกำจัดสารอุดตันต่างๆ.....	49
ตารางที่ 2.10 ตัวอย่างช่วงความเข้มข้นของสารทำความสะอาด.....	49
ตารางที่ 2.11 ตัวอย่างสารเก็บรักษาแผ่นเมมเบรนโพลีเมอร์.....	51
ตารางที่ 2.12 วัสดุสำหรับผลิตแผ่นเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน.....	59
ตารางที่ 2.13 ตัวอย่างเยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชันที่จำหน่ายในท้องตลาด พร้อมรายละเอียดโดยย่อ.....	59
ตารางที่ 2.14 รายชื่อผู้ผลิตจำหน่ายแผ่นเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน.....	60
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60.....	77
ตารางที่ 3.2 คุณลักษณะของเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันและ โมดูลที่ใช้ในงานวิจัย.....	79
ตารางที่ 3.3 วิธีวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....	84
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของน้ำเสียดีย้อมสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	89
ตารางที่ 4.2 การคำนวณหาความต้านทานการกรองน้ำจากผลของความดัน ต่ออัตราการกรองน้ำ.....	95
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมทั้ง 3 ชนิด ที่ความดันการกรองน้ำต่างๆ.....	96
ตารางที่ 4.4 ผลของพีเอชของน้ำเสียดีย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียดีย้อม.....	103
ตารางที่ 4.5 การหาเวลาสัมผัสที่สภาวะอิ่มตัวสำหรับการดูดติดสีย้อมไคเร็กซ์ของ ผงถ่านกัมมันต์.....	115
ตารางที่ 4.6 ผลการทำ Isotherm Test ของผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด.....	116
ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณค่าความชันและ k สำหรับผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด.....	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.8 สรุปประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและความเข้มข้นโดยผงถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	128
ตารางที่ 4.9 การคำนวณหาความต้านทานการกรองน้ำสำหรับการบำบัดน้ำเสียสีโคเร็กซ์ โดยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วย ตัวผงถ่านกัมมันต์.....	130
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำโดยกระบวนการเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชันที่มีผงถ่านกัมมันต์และที่ไม่มีผงถ่านกัมมันต์.....	133
ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมโคเร็กซ์โดย กระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันที่มีผงถ่านและที่ไม่มีผงถ่าน.....	138

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 C.I. Acid Red I.....	11
รูปที่ 2.2 การจำแนกกลุ่มสีดิสเพอร์ส โดยอาศัยคุณสมบัติการย้อมและความคงทนต่อความร้อน.	19
รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองธรรมดา กับแผ่นเมมเบรน.....	27
รูปที่ 2.4 การจำแนกกระบวนการแยกตามขนาดของโมเลกุล/อนุภาค.....	28
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างโมเลกุล/อนุภาคที่สามารถแยกได้โดยใช้กระบวนการเมมเบรน และการกรอง.....	28
รูปที่ 2.6 หลักการของกระบวนการเมมเบรน.....	31
รูปที่ 2.7 การแบ่งชนิดของเมมเบรน.....	35
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเยื่อแผ่นเชิงประกอบ FT 30.....	36
รูปที่ 2.9 รูปแบบและทิศทางการไหลในอุปกรณ์แบบแผ่นและกรอง.....	40
รูปที่ 2.10 ลักษณะอุปกรณ์แบบท่อซึ่งประกอบด้วยเยื่อแผ่นเล็กๆ รวมกันอยู่ในตัวบรรจุ.....	40
รูปที่ 2.11 แสดงเยื่อแผ่นแบบเรียบที่นำมาประกอบเป็นท่อม้วน.....	41
รูปที่ 2.12 ก) ภาพขยายของการไหลผ่านเส้นใยกลวงและการไหลผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวง ข) การป้อนสารผ่านในเส้นใย (tube side feed) ค) การป้อนสารผ่านนอกเส้นใย (shell side feed).....	41
รูปที่ 2.13 แสดงความต้านทานต่างๆ ตามแบบจำลองอนุกรมความต้านทาน.....	55
รูปที่ 2.14 ลักษณะการเกิด fouling ของแผ่นเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาดต่างๆ เทียบกับขนาดตัวถูกละลาย.....	57
รูปที่ 2.15 การดำเนินการแบบกะ (ก) วนกลับ (ข) วนกลับบางส่วน.....	61
รูปที่ 2.16 การดำเนินการแบบไดอะฟิลเตรชัน.....	61
รูปที่ 2.17 รูปตัดแสดงถึงโพรงและช่องว่างภายในถ่านกัมมันต์.....	63
รูปที่ 2.18 ลักษณะกราฟของ Freundlich isotherm.....	66
รูปที่ 2.19 ลักษณะกราฟของ Langmuir isotherm.....	67
รูปที่ 2.20 Percentage removal of TOC during UF of PAC pretreated groundwater.....	71
รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินการวิจัย.....	72
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	81
รูปที่ 3.3 กระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน.....	82
รูปที่ 3.4 ภาพด้านบนของ Mini Lab-10 module.....	82

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 แสดงทิศทางการไหลของน้ำ.....	83
รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบและขนาดของ Mini Lab-10.....	83
รูปที่ 4.1 อัตราการกรองน้ำบริสุทธิ์ที่ความดันต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง.....	90
รูปที่ 4.2 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำสำหรับสีแสด.....	92
รูปที่ 4.3 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำสำหรับสีดิสเพอร์ส.....	93
รูปที่ 4.4 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำสำหรับสีไคเร็กซ์.....	94
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีแสดที่ความดันต่างๆ.....	98
รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีดิสเพอร์สที่ความดันต่างๆ.....	99
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีไคเร็กซ์ที่ความดันต่างๆ.....	100
รูปที่ 4.8 น้ำเสียสีแสดก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ที่ความดัน 2 บาร์ และพีเอชของน้ำเสียประมาณ 7.....	101
รูปที่ 4.9 น้ำเสียสีดิสเพอร์ส ก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชัน ที่ความดัน 2 บาร์ และพีเอชของน้ำเสียประมาณ 7.....	101
รูปที่ 4.10 น้ำเสียสีไคเร็กซ์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชัน ที่ความดัน 2 บาร์ และพีเอชของน้ำเสียประมาณ 7.....	102
รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีแสด เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย.....	105
รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีดิสเพอร์ส เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย...	106
รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีไคเร็กซ์ เมื่อเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสีย.....	107
รูปที่ 4.14 ผลของขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำเสียสีแสดต่อประสิทธิภาพการบำบัด น้ำเสียสีแสด.....	110
รูปที่ 4.15 ผลของขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำเสียสีดิสเพอร์ส ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีดิสเพอร์ส.....	110
รูปที่ 4.16 สมดุลมวลของการบำบัดน้ำเสียสีแสดโดยกระบวนการเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชัน.....	112
รูปที่ 4.17 สมดุลมวลของการบำบัดน้ำเสียสีดิสเพอร์สโดยกระบวนการเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชัน.....	112
รูปที่ 4.18 สมดุลมวลของการบำบัดน้ำเสียสีไคเร็กซ์โดยกระบวนการเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชัน.....	113
รูปที่ 4.19 การหาเวลาสัมผัสที่สภาวะอิ่มตัวสำหรับการดูดซับสีไคเร็กซ์ของ ผงถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด.....	115

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.20 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์และเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของซีโอดีที่เหลือ สำหรับผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60.....	117
รูปที่ 4.21 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์และเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือ สำหรับผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO CH M325-60.....	117
รูปที่ 4.22 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์และเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของซีโอดีที่เหลือ สำหรับผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO HM325-60.....	118
รูปที่ 4.23 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์และเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือ สำหรับผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO HM325-60.....	118
รูปที่ 4.24 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์และเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นของซีโอดีที่เหลือ สำหรับผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO M200-60.....	119
รูปที่ 4.25 ผลของความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์และเวลาสัมผัสที่มีต่อความเข้มข้นที่เหลือ สำหรับผงถ่านกัมมันต์ชนิด HRO M200-60.....	119
รูปที่ 4.26 Isotherm Test ซีโอดีเป็นสารถูกดูดคิด.....	120
รูปที่ 4.27 Isotherm Test ความเข้มข้นเป็นสารถูกดูดคิด.....	120
รูปที่ 4.28 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดคิดซีไคเร็กซ์โทนสีเหลือง ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ต่างๆ.....	123
รูปที่ 4.29 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดคิดซีไคเร็กซ์โทนสีเหลือง ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ต่างๆ.....	123
รูปที่ 4.30 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดคิดซีไคเร็กซ์โทนสีแดง ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ต่างๆ.....	124
รูปที่ 4.31 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดคิดซีไคเร็กซ์โทนสีแดง ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ต่างๆ.....	124
รูปที่ 4.32 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดคิดซีไคเร็กซ์โทนสีน้ำเงิน ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ต่างๆ.....	125
รูปที่ 4.33 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดคิดซีไคเร็กซ์โทนสีน้ำเงิน ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ต่างๆ.....	125
รูปที่ 4.34 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำสำหรับซีไคเร็กซ์โดยกระบวนการ PAC-UF สำหรับซีไคเร็กซ์ ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ 1500 มก./ล.	131

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.35 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำสำหรับซีไคเร็กซ์ โดยกระบวนการ PAC-UF สำหรับซีไคเร็กซ์ ที่ความเข้มข้นผลถ่าน 3000 มก./ล.	132
รูปที่ 4.36 ผลของความดันต่ออัตราการกรองน้ำโดยกระบวนการ PAC-UF ที่ความเข้มข้นผงถ่านกัมมันต์ต่างๆ.....	134
รูปที่ 4.37 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ โดยกระบวนการ PAC-UF ที่ความเข้มข้นผงถ่าน 1500 มก./ล.	136
รูปที่ 4.38 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์ โดยกระบวนการ PAC-UF ที่ความเข้มข้นผงถ่าน 3000 มก./ล.	137
รูปที่ 4.39 สมดุลมวลของการบำบัดน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์โทนสีน้ำเงินโดยกระบวนการเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 1500 มก./ล....	140
รูปที่ 4.40 สมดุลมวลของการบำบัดน้ำเสียสีข้อมไคเร็กซ์โทนสีน้ำเงินโดยกระบวนการเมมเบรน อัลตราฟิลเตรชันร่วมกับการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ความเข้มข้น 3000 มก./ล....	140