

ความคุ้มค่าของการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่สำหรับอาคารสูง  
โดยการกรองตรง หรือการดูดติดผิว หรือการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง



นางสาว อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-634-975-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ECONOMY OF WASTEWATER RECLAMATION FOR HIGH-RISE BUILDINGS  
BY USING DIRECT FILTRATION OR ADSORPTION  
OR MEMBRANE FILTRATION



Miss Umpawan Pongsittisak

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-634-975-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ความคุ้มค่าของการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่สำหรับอาคารสูง

โดย

โดยการกรองตรง หรือการดูดติดผิว หรือการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง

ภาควิชา

นางสาว อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

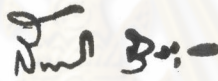
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประแส มงคลศิริ

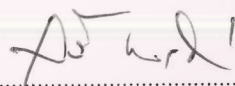
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

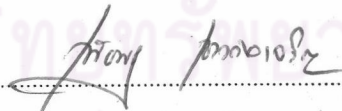
( รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ อุษวรรณ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

( รองศาสตราจารย์ สุธี ชาวเขียว )



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประแส มงคลศิริ )



กรรมการ

( ศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ )

## พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์ : ความคุ้มค่าของการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่สำหรับอาคารสูง โดยการกรองตรง หรือการดูดติดผิว หรือการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ( ECONOMY OF WASTEWATER RECLAMATION FOR HIGH-RISE BUILDINGS BY USING DIRECT FILTRATION OR ADSORPTION OR MEMBRANE FILTRATION ) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.เพชรพร เซาวกิจเจริญ อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.ประแสง มงคลศิริ, 233 หน้า ISBN 974-634-975-9

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ ศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคาร ระหว่างการกรองตรง การดูดติดผิว และการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ขอบเขตการวิจัยประกอบด้วย การทดลองในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ และการสำรวจความคิดเห็นของเจ้าของโครงการ

ในการทดลองจะกรองน้ำเสียจากระบบบำบัดขั้นที่สองผ่านถังกรองที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือถังกรองตรง ( ใช้ทรายขนาด 0.5 มม. และแอนทราไซท์ขนาด 1.0 มม. เป็นสารกรอง ) ถังดูดติดผิว ( ใช้ถ่านกัมมันต์ขนาด 0.8 มม. เป็นสารกรอง ) และถังกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ( ใช้เยื่อกรองแบบเส้นใยกลวงขนาด 0.1 ไมครอน ) ผลการทดลองพบว่า กระบวนการดูดติดผิวสามารถลดสี ซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสฟอรัส ได้ดีกว่าการกรองตรง และการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 87.6 , 65.8 , 39.4 , 9.7 และ 25.9% ตามลำดับ สำหรับการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรองสามารถกำจัดความขุ่นได้ถึง 85.0%

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า วิธีการบำบัดน้ำที่คุ้มทุนมากที่สุดคือการกรองตรง โดยใช้บำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้เป็นน้ำชดเชยในระบบปรับอากาศอาคารสำนักงานที่มีขนาดตั้งแต่ 50,000 ตารางเมตรขึ้นไป หรือมีอัตราการนำกลับมาสูงกว่า 333 ลบ.ม./วัน จะให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนไม่น้อยกว่า 11.5% ที่อัตราดอกเบี้ย 8.0% และคืนทุนในระยะเวลา 5 ปี 9 เดือนเสียค่าใช้จ่ายดำเนินงานและบำรุงรักษารายปีประมาณ 9.80 บาท/ลบ.ม. ซึ่งต่ำกว่าอัตราค่าน้ำประปาอยู่ 1.51 บาท/ลบ.ม. เมื่ออัตราค่าน้ำประปาเท่ากับ 11.31 บาท/ลบ.ม. ส่วนที่อัตราดอกเบี้ย 15.0% การลงทุนจะคุ้มค่าเมื่อนำน้ำกลับมาใช้ในอัตราเฉลี่ยมากกว่า 667 ลบ.ม./วัน ซึ่งให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนประมาณ 16.3% และคืนทุนประมาณ 4 ปี 9 เดือน

จากการสำรวจ เพื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้บริหารโครงการที่มีต่อการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ จำนวน 30 ตัวอย่าง สรุปได้ว่า 80.0% เห็นด้วยกับแนวทางการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ และ 76.7% คิดว่ากิจกรรมที่ควรนำน้ำเสียมาใช้ได้แก่การใช้รดต้นไม้ โดย 56.7% ยอมรับระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 5 ปี

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล  
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิติ ..... อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... เพชรพร เซาวกิจเจริญ  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... ประแสง มงคลศิริ

## C617674 : MAJOR SANITARY ENGINEERING

KEY WORD: HIGH-RISE BUILDING / WASTEWATER RECLAMATION / DIRECT  
FILTRATION / ADSORPTION / MEMBRANE

UMPAWAN PONGSITTISAK : ECONOMY OF WASTEWATER RECLAMATION FOR  
HIGH-RISE BUILDINGS BY USING DIRECT FILTRATION OR ADSORPTION  
OR MEMBRANE FILTRATION. THESIS ADVISER : ASST. PROF.

PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D.

THESIS CO-ADVISER : ASST. PROF. PRASANG MONGKOLSIRI, Ph.D.

233 pp. ISBN 974-634-975-9

This research studied the economy of treatment process for wastewater reclamation in high-rise buildings between direct filtration, adsorption, and membrane filtration. The scope of research work consisted of laboratory scale experiment, economics analysis, and the opinion survey of project owners about water reuse in buildings.

The effluent from secondary treatment was filtered by the three types of filter, such as direct filter ( used 0.5 mm. sand and 1.0 mm. anthracite as media ), adsorption filter ( used 0.8 mm. activated carbon as media ), and membrane filter ( used 0.1 micron hollow fiber membrane ). The result showed that adsorption could reduce color, COD, ammonia, nitrate and phosphorus better than the other method with the corresponding removal efficiency of 87.6, 65.8, 39.4, 9.7 and 25.9 percent, respectively. On the other hand, turbidity was removed by membrane filtration with 85.0 percent efficiency.

According to economics analysis, the most economical treatment for wastewater reclamation was direct filtration. It was suitable for using as make-up water of cooling tower in office buildings which corresponding area larger than 50,000 m<sup>2</sup> or the average reclaimed water flow greater than 333 m<sup>3</sup>/day. The internal rate of return (IRR) was not less than 11.5% at 8.0% interest rate, and payback period was about 5 years and 9 months. The operating and maintenance cost was about 9.80 baht/m<sup>3</sup>, that was lower than water supply cost about 1.51 baht/m<sup>3</sup> when water supply cost equaled to 11.31 baht/m<sup>3</sup>. At 15.0% interest rate, that was economical when the average reclaimed water flow greater than 667 m<sup>3</sup>/day. The internal rate of return (IRR) was 16.3% and payback period was about 4 years and 9 months.

The opinion survey of 30 project managers in the present study revealed that 80.0 percent of them concerned with wastewater reclamation alternative and 76.7 percent considered that reclaimed water was suitable for gardening. About the investment payback period, 56.7 percent accepted that it should be less than 5 years.

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสุขาภิบาล.....

ปีการศึกษา.....2539.....

ลายมือชื่อนิสิต.....วิมลพร หงษ์สิงห์ศักดิ์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....วิมลพร หงษ์สิงห์ศักดิ์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษารวม.....ประเสริฐ งามศิริ.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เพชรพร เขาวกิจเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.ประแสง มงคลศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการทำวิจัยตลอดมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้คำปรึกษาและความรู้ต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณ ดร.บุญไชย สถิตมั่นในธรรม และเจ้าหน้าที่บริษัท วิชชววรรณ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการติดตั้งแบบจำลองและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการทดลอง

ขอขอบคุณกองบรรณาธิการสรรสารตลาดบ้านที่อนุเคราะห์ข้อมูลอาคารชุด  
ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลือในเรื่องการติดต่อประสานงาน

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง ๆ ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเรื่องข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

เนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ครู-อาจารย์ และญาติพี่น้อง ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญรูป .....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	
บทนำ .....	1
วัตถุประสงค์ .....	2
ขอบเขตการวิจัย .....	2
2. ทบทวนเอกสาร	
การวางแผนและการจัดการเพื่อนำน้ำเสียกลับมาใช้ .....	4
การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในอาคารสูง .....	5
1. ลักษณะของอาคารสูง .....	5
2. แนวทางการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ .....	6
3. ปริมาณน้ำที่นำกลับมาใช้ในอาคาร .....	11
4. คุณภาพของน้ำที่นำกลับมาใช้ .....	12
กระบวนการบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ .....	15
1. กระบวนการกรองตรง .....	19
2. กระบวนการดูดติดผิว .....	23
3. กระบวนการเยื่อกรอง .....	26
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	37

บทที่

หน้า

## 3. แผนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....	50
การทดลองในห้องปฏิบัติการ .....	52
1. การกำหนดคุณภาพน้ำและการนำกลับมาใช้ประโยชน์ .....	52
2. การเลือกวิธีการบำบัดน้ำ .....	52
3. การวางแผนการทดลอง .....	53
การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ .....	62
การสำรวจและรวบรวมข้อมูล .....	62
1. การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง .....	62
2. การเก็บข้อมูล .....	62
3. การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจ .....	63
การสรุปผลการวิจัย .....	63

## 4. ผลการวิจัย และการวิจารณ์

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ .....	64
1. ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง .....	64
2. ประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร .....	66
3. ความเหมาะสมในการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ .....	99
4. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำ .....	104
ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ .....	109
1. วิธีวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน .....	109
2. อัตราการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ .....	110
3. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ .....	112
3.1 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำน้ำกลับมาใช้ ในอาคารสำนักงาน .....	112
3.2 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำน้ำกลับมาใช้ ในอาคารพักอาศัย .....	125



	หน้า
การรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจ .....	131
1. ลักษณะของโครงการที่สำรวจ .....	131
2. ทักษะคนที่มีต่อการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ .....	134
3. ความคิดเห็นด้านการเงิน .....	140
4. ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม .....	142
5. สรุปผลการวิจัย	
สรุปผลการวิจัย .....	144
ข้อเสนอแนะ .....	146
รายการอ้างอิง .....	147
ภาคผนวก .....	150
ภาคผนวก ก ข้อมูลทั่วไปของอาคารวิศวกรรมหอพักเมนท์ .....	151
ภาคผนวก ข รูปแสดงอุปกรณ์การทดลอง และข้อมูลการทดลอง .....	153
ภาคผนวก ค รายละเอียดการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ .....	183
ภาคผนวก ง ตัวอย่างแบบสอบถามในการสำรวจ .....	229
ประวัติผู้เขียน .....	233

## สารบัญตาราง

			หน้า
ตารางที่ 2.1		มาตรฐานคุณภาพของน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่โดย U.S.EPA .....	13
ตารางที่ 2.2		มาตรฐานคุณภาพของน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ของประเทศญี่ปุ่น .....	14
ตารางที่ 2.3		ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบระบบกรองในระดับห้องปฏิบัติการ .....	21
ตารางที่ 2.4		ประเภทของกระบวนการเยื่อกรอง .....	28
ตารางที่ 2.5		คุณสมบัติของโมดูลแบบต่าง ๆ .....	31
ตารางที่ 2.6		การนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ของอาคารในประเทศญี่ปุ่น	38
ตารางที่ 2.7		รายละเอียดของอาคารพาณิชย์ที่มีการนำน้ำเสียมกลับมาใช้ในประเทศญี่ปุ่น	40
ตารางที่ 2.8		คุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ในอพาร์ทเมนต์คอมเพล็กซ์ของประเทศญี่ปุ่น	44
ตารางที่ 2.9		การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรายปี (ดอลลาร์) ระหว่างระบบท่อเดียวกับ ระบบสองท่อ ของอาคาร KCI/CG-3 .....	45
ตารางที่ 3.1		ทางเลือกในการนำน้ำเสียมกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ .....	52
ตารางที่ 3.2		ลักษณะสมบัติของสารกรองที่ใช้ในการทดลอง .....	58
ตารางที่ 3.3		ข้อกำหนดที่ใช้ในการทดลอง .....	60
ตารางที่ 3.4		พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำ .....	61
ตารางที่ 4.1		ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง .....	65
ตารางที่ 4.2		ค่าพีเอชโดยเฉลี่ยของน้ำก่อนและหลังการทดลอง .....	68
ตารางที่ 4.3		ปริมาณของแข็งละลายน้ำโดยเฉลี่ยของน้ำก่อนและหลังการทดลอง .....	71
ตารางที่ 4.4		ค่าความขุ่นโดยเฉลี่ยของน้ำก่อนและหลังการทดลอง .....	74
ตารางที่ 4.5		ค่าความเข้มของสีโดยเฉลี่ยของน้ำก่อนและหลังการทดลอง .....	78
ตารางที่ 4.6		ปริมาณซีโอดีโดยเฉลี่ยของน้ำก่อนและหลังการทดลอง .....	82
ตารางที่ 4.7		ปริมาณแอมโมเนียโดยเฉลี่ยของน้ำก่อนและหลังการทดลอง .....	86
ตารางที่ 4.8		ปริมาณไนเตรทโดยเฉลี่ยของน้ำก่อนและหลังการทดลอง .....	90
ตารางที่ 4.9		ปริมาณฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ยของน้ำก่อนและหลังการทดลอง .....	94
ตารางที่ 4.10		สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำโดยเฉลี่ยจากการทดลอง และประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร .....	97
ตารางที่ 4.11		การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำจากการทดลองกับมาตรฐานของ U.S EPA .....	100

	หน้า
ตารางที่ 4.12	การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำจากการทดลองกับมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น 102
ตารางที่ 4.13	อัตราการผลิตน้ำโดยเฉลี่ยและค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำ ..... 107
ตารางที่ 4.14	ขนาดของอาคารที่นำน้ำกลับมาใช้ในอัตราต่าง ๆ ..... 111
ตารางที่ 4.15	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำน้ำกลับมาใช้เป็นน้ำซักโครก ในอาคารสำนักงาน โดยการกรองตรง ..... 114
ตารางที่ 4.16	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำน้ำกลับมาใช้เป็นน้ำซักโครก ในอาคารสำนักงาน โดยการดูดติดผิว ..... 116
ตารางที่ 4.17	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำน้ำกลับมาใช้ในอาคารเป็นน้ำซักโครก สำนักงาน โดยการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 118
ตารางที่ 4.18	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำน้ำกลับมาใช้เป็นน้ำชดเชย ในระบบปรับอากาศ ในอาคารสำนักงาน โดยการกรองตรง ..... 120
ตารางที่ 4.19	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำน้ำกลับมาใช้เป็นน้ำชดเชย ในระบบปรับอากาศ ในอาคารสำนักงาน โดยการดูดติดผิว ..... 122
ตารางที่ 4.20	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำน้ำกลับมาใช้เป็นน้ำชดเชย ในระบบปรับอากาศ ในอาคารสำนักงาน โดยการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 124
ตารางที่ 4.21	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำน้ำกลับมาใช้ ในอาคารพักอาศัย โดยการกรองตรง ..... 126
ตารางที่ 4.22	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำน้ำกลับมาใช้ ในอาคารพักอาศัย โดยการดูดติดผิว ..... 128
ตารางที่ 4.23	ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำน้ำกลับมาใช้ในอาคาร พักอาศัย โดยการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 129
ตารางที่ 4.24	รายชื่อกลุ่มตัวอย่างที่ทำการสำรวจประเภทอาคารสำนักงาน ( สํารวจระหว่าง 20 พ.ค. - 9 ก.ค. 2539 ) ..... 132
ตารางที่ 4.25	รายชื่อกลุ่มตัวอย่างที่ทำการสำรวจประเภทอาคารพักอาศัย ( สํารวจระหว่าง 20 พ.ค. - 9 ก.ค. 2539 ) ..... 133
ตารางที่ 4.26	การยอมรับแนวความคิดการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ..... 135
ตารางที่ 4.27	การรับทราบข้อมูลเกี่ยวกับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ..... 135
ตารางที่ 4.28	โครงการที่มีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในปัจจุบัน ..... 137
ตารางที่ 4.29	โครงการที่คาดว่าจะมีการนำน้ำกลับมาใช้ในอนาคต ..... 137
ตารางที่ 4.30	กิจกรรมที่ควรมีการนำน้ำเสียกลับมาใช้ ..... 140

	หน้า
ตารางที่ 4.31    ความคิดเห็นเกี่ยวกับระยะเวลาคืนทุน .....	142
ตารางที่ 5.1     สรุปค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำจากการทดลอง .....	145



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

			หน้า
รูปที่ 2.1		การนำน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ .....	8
รูปที่ 2.2		ตัวอย่างการนำน้ำเสียกลับมาใช้ในอาคารสูงในประเทศญี่ปุ่น .....	10
รูปที่ 2.3		สัดส่วนการใช้น้ำโดยเฉลี่ยสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ในที่พักอาศัย .....	11
รูปที่ 2.4		ระดับขั้นของการบำบัดสำหรับการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ .....	16
รูปที่ 2.5		รูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคาร .....	17
รูปที่ 2.6		วิธีการกรองแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการแยกอนุภาคของสาร .....	18
รูปที่ 2.7		หลักการทำงานของกระบวนการเยื่อกรอง .....	27
รูปที่ 2.8		ลักษณะของโมดูลแบบท่อ .....	33
รูปที่ 2.9		ลักษณะของโมดูลแบบแผ่น .....	33
รูปที่ 2.10		ลักษณะของโมดูลแบบม้วน .....	34
รูปที่ 2.11		ลักษณะของโมดูลแบบเส้นใยกลวง .....	34
รูปที่ 2.12		การเกิด Concentration Polarization .....	36
รูปที่ 2.13		ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับอาคารพาณิชย์ ในประเทศญี่ปุ่น .....	41
รูปที่ 2.14		ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอพาร์ทเมนต์คอมเพล็กซ์ ในประเทศญี่ปุ่น .....	43
รูปที่ 2.15		กระบวนการบำบัดน้ำเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ของโครงการนำร่อง ในเมืองเดนเวอร์ .....	47
รูปที่ 2.16		ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคาร .....	49
รูปที่ 3.1		ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....	51
รูปที่ 3.2		แผนภาพแสดงชุดอุปกรณ์การทดลองโดยการกรองตรง .....	55
รูปที่ 3.3		แผนภาพแสดงชุดอุปกรณ์การทดลองโดยการดูดติดผิว .....	56
รูปที่ 3.4		แผนภาพแสดงชุดอุปกรณ์การทดลองโดยการกรองด้วยเยื่อกรอง .....	57
รูปที่ 4.1		ค่าพีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองตรง .....	66
รูปที่ 4.2		ค่าพีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกของการดูดติดผิว .....	67
รูปที่ 4.3		ค่าพีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง .....	67

	หน้า
รูปที่ 4.4	ค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองตรง ..... 69
รูปที่ 4.5	ค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำเข้าและน้ำออกของการดูดติดผิว ..... 69
รูปที่ 4.6	ค่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 70
รูปที่ 4.7	ค่าความขุ่นของน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองตรง ..... 72
รูปที่ 4.8	ค่าความขุ่นของน้ำเข้าและน้ำออกของการดูดติดผิว ..... 73
รูปที่ 4.9	ค่าความขุ่นของน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 73
รูปที่ 4.10	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ระหว่างการกรองตรง การดูดติดผิว และการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 75
รูปที่ 4.11	ความเข้มข้นของสีในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองตรง ..... 76
รูปที่ 4.12	ความเข้มข้นของสีในน้ำเข้าและน้ำออกของการดูดติดผิว ..... 77
รูปที่ 4.13	ความเข้มข้นของสีในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 77
รูปที่ 4.14	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสี ระหว่างการกรองตรง การดูดติดผิว และการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 79
รูปที่ 4.15	ปริมาณซีโอติในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองตรง ..... 80
รูปที่ 4.16	ปริมาณซีโอติในน้ำเข้าและน้ำออกของการดูดติดผิว ..... 81
รูปที่ 4.17	ปริมาณซีโอติในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 81
รูปที่ 4.18	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติ ระหว่างการกรองตรง การดูดติดผิว และการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 83
รูปที่ 4.19	ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองตรง ..... 84
รูปที่ 4.20	ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเข้าและน้ำออกของการดูดติดผิว ..... 85
รูปที่ 4.21	ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 85
รูปที่ 4.22	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย ระหว่างการกรองตรง การดูดติดผิว และการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 87
รูปที่ 4.23	ปริมาณไนเตรทในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองตรง ..... 88
รูปที่ 4.24	ปริมาณไนเตรทในน้ำเข้าและน้ำออกของการดูดติดผิว ..... 89
รูปที่ 4.25	ปริมาณไนเตรทในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 89
รูปที่ 4.26	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนเตรท ระหว่างการกรองตรง การดูดติดผิว และการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง ..... 91
รูปที่ 4.27	ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองตรง ..... 92
รูปที่ 4.28	ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้าและน้ำออกของการดูดติดผิว ..... 93

	หน้า
รูปที่ 4.29 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำเข้าและน้ำออกของการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง .....	93
รูปที่ 4.30 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส ระหว่างการกรองตรง การดูดติดผิว และการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง .....	95
รูปที่ 4.31 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดมลสาร ระหว่างการกรองตรง การดูดติดผิว และการกรองด้วยแผ่นเยื่อกรอง .....	98
รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของพลังงานในการบำบัดน้ำกับอัตราค่าน้ำประปา	108



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย