การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบ รีเวอร์สออสโมซีส

และนำน้ำที่ได้มาใช้กับระบบหอทำน้ำเย็น

นางสาว สุกัญญา กิจเจริญธำรงค์

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541
ISBN 974-331-068-1
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18932046

RECYCLING OF WASTE WATER BY THE REVERSE OSMOSIS SYSTEM AND USING IT FOR A COOLING TOWER SYSTEM

Miss Sukunya Kitcharaenthamrong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1998

ISBN 974-331-068-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบ รีเวอรส์ออสโมซีส และนำน้ำที่ได้มาใช้กับระบบหอทำน้ำเย็น
โดย	นางสาว สุกัญญา กิจเจริญชำรงค์
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ
ที่ปรึกษาร่วม	นาย ประพันธ์ อริยเมธี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ)

..... ที่ปรึกษาร่วม
(นายประพันธ์ อริยเมธี)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุพจน์ พัฒนศรี)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุกัญญา กิจเจริญชำรงค์ : การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบ รีเวอร์สออสโมซิส และนำน้ำที่ได้มาใช้กับระบบหอทำน้ำเย็น (RECYCLING OF WASTE WATER BY THE REVERSE OSMOSIS SYSTEM AND USING IT FOR A COOLING TOWER SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา : ร.ศ. ดร. อุรา ปานเจริญ ที่ปรึกษาร่วม : นายประพันธ์ อริยะเมธี, 123 หน้า. ISBN 974-331-068-1

งานวิจัยนี้ ดำเนินการโดยการทดลองสร้างระบบการกรองเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนสุดท้าย ก่อนปล่อยออกสู่สาธารณะ โดยระบบการกรองดังกล่าวได้แก่ กระบวนการกรองด้วย ระบบไมโครฟิลเตรชั่นแบบต่อเนื่อง (CMF) ในขั้นต้น และ ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (RO)ในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อทำการศึกษาหาค่าที่เหมาะสม ของกระบวนการกรองทั้งสองระบบ รวมทั้งศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงจากการเดินเครื่องในระยะยาว ตลอดจนความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์จากการนำน้ำที่ผ่านกระบวนการกรองดังกล่าวไปใช้งานในระบบอื่น และผลพลอยได้ทางด้านการช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ และสนับสนุนกิจกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม

ในการวิจัยนี้ จะใช้น้ำเสียซึ่งมีค่า สารแขวนลอย และซิลิกาอยู่สูง ซึ่งเมื่อนำมาผ่านขบวนการกรองด้วยระบบไมโครฟิลเตรชั่นแล้วสามารถกำจัดสารแขวนลอยได้ 100% ที่ทุกระดับความดัน ส่วนค่าของซิลิกานั้น ระบบไมโครฟิลเตรชั่นสามารถกำจัดได้เพียง 4.27 % แต่เมื่อนำไปผ่านการกรองด้วยระบบรีเวอร์สออสโมซิสแล้ว จะสามารถกำจัดได้ถึง 97.5 %

ที่ระบบไมโครฟิลเตรชั่น จากการทดลองปรับค่าความดันระหว่าง 0.2 - 0.8 บาร์ พบว่าเมื่อความดันสูงขึ้นจะให้อัตราการผลิตน้ำสูงขึ้น และที่ความดัน 0.4 บาร์ จะให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดเกลือแร่สูงสุด สำหรับเหล็กซึ่งมีปริมาณน้อยมากในน้ำเสียประมาณ 0.03 ppm as Fe นั้น สามารถกำจัดได้ 100% ที่ทุกๆระดับความดัน

ที่ระบบรีเวอร์สออสโมซิส จากการทดลองปรับค่าความดันระหว่าง 8 - 17 บาร์ พบว่าที่ความดันสูงขึ้นจะให้อัตราการผลิตน้ำสูงขึ้น และที่ความดันประมาณ 11 - 14 บาร์ จะให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดเกลือแร่สูงสุด สำหรับการทดลองปรับเปอร์เซ็นต์ Recovery โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำดี คงที่นั้น พบว่าที่เปอร์เซ็นต์ Recovery ระหว่าง 40 - 60% จะให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดเกลือแร่ที่สูง แต่เมื่อปรับค่าไปถึง 70% เปอร์เซ็นต์การกำจัดเกลือแร่จะมีค่าลดลง และจากการทดลองเดินเครื่องในระยะยาว โดยเก็บข้อมูลในช่วง 8 - 240 ชั่วโมง ที่ความดัน 11 บาร์และเปอร์เซ็นต์ Recovery ที่ 60% พบว่าระบบให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดระหว่าง 98.67 - 98.81%

นอกจากนี้ คุณภาพน้ำที่ได้จากกระบวนการกรองนี้ สามารถนำไปใช้ได้ดีที่หอทำน้ำเย็น โดยสามารถลดปริมาณน้ำทิ้งจากการ Blow down ได้โดยการลดจาก 220 ลบ.เมตรต่อวัน เหลือเพียง 90-100 ลบ.เมตรต่อวัน และเมื่อคิดความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์แล้ว พบว่าสามารถลดค่าสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนและตะกรันลง 33% หรือสามารถคุ้มทุนได้ภายใน 3 ปี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต สุกัญญา กิจเจริญชำรงค์

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี (นอกเวลาราชการ) ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C817691 :MAJOR CHEMICAL ENGINEER
KEY WORD: REVERSE OSMOSIS / MICROFILTRATION.
SUKUNYA KITCHARAENTHAMRONG :RECYCLING OF WASTE WATER BY THE REVERSE OSMOSIS SYSTEM AND USING IT FOR A COOLING TOWER SYSTEM. THESIS ADVISOR: PROFESSOR. URA PANCHAROEN Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : MR.PRAPAN ARIYAMETHEE 123 pp. ISBN 974-331-068-1

In this research, the experimental equipment has been set up to use for final waste water process before discharge to public drainage. The system consist of Continuous Micro Filtration at the beginning and Reverse Osmosis at the final state. The purpose of this research is to study the optimum value of the process including the parameter and changes in long run, the economics value from using product water in another application including possibility to save water resource and supporting of environmental activities.

At the research, waste water containing high Suspended Solid and Silica will feed to Continuous Micro Filtration system and found that the Suspended Solid can be rejected 100% at all level of pressure while Silica can be rejected only 4.27% at this system, but at Reverse Osmosis system Silica can be rejected 97.5%.

At Continuous Micro Filtration system, by adjusting pressure between 0.2 - 0.8 bar, at higher pressure water flux will be increased and at pressure of 0.4 bar will give the highest % of salt rejection. For Iron which is contain only 0.03 ppm as Fe, the system can be rejected 100% at all level of pressure.

At Reverse Osmosis system, by adjusting pressure between 8-17 bars, at higher pressure water flux will be increased and at pressure between 11 - 14 bars will give the highest % of salt rejection. By adjusting % recovery between 40 - 60% will give high % of salt rejection. But when adjust to 70%, the % of salt rejection will be reduce. And as running the system in long term and collect the data during 8 - 240 hours at pressure of 11 bars and % recovery 60%, the % of salt rejection is running between 98.67 - 98.81%.

Furthermore, the quality of water from this process can be applied to use with Cooling Tower which can reduce the water use at blow down process from 220 M^3 per day down to 90-100 M^3 per day and as studying economic value found that chemicals use to prevent the corrosion and scale in Cooling water system can be reduced by 33% or pay back within 3 years.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต สุกัญญา กิจเจริญธารงค์

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี (นอกเวลาราชการ) ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการวิจัย และข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดจนช่วยแก้ไข และเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพาณิชกุล ประธานกรรมการ อาจารย์ดร. สุพจน์ พัฒนศรี กรรมการ ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณประพันธ์ อริยเมธี ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ กรรมการผู้จัดการ บริษัท Liquid Purification Engineering Co.,ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ทำวิจัยตลอดจนให้ความรู้และคำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณวิชิต ตั้งสุขนิรันดร ผู้อำนวยการฝ่ายอำนวยความสะดวก และ คุณสรศักดิ์ อุตถิน ผู้จัดการแผนกวิศวกรรมโรงงาน ฝ่ายอำนวยความสะดวก บริษัท เอ็นเอส อิเลคโทรนิกส์ กรุงเทพ (1993) จำกัด ที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร สาขาวิศวกรรมเคมี จนประสบความสำเร็จ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา- มารดาซึ่งสนับสนุนส่งเสริม และให้กำลังใจแผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณ คุณสุเมธ อัศว์วัชรพงศ์ และ คุณสุภัทชดา ผาสุข ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ขอขอบคุณ อาจารย์ ,เพื่อน พี่ และน้องๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามในครั้งนี้ ที่ได้มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิจัยนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ณ

บทที่

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของการวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 3

2. หลักการพื้นฐาน

2.1 กระบวนการเมมเบรน..... 6

2.2 ออสโมซิส และ รีเวอร์สออสโมซิส..... 7

2.3 ขีดความสามารถของรีเวอร์สออสโมซิส..... 9

2.4 กลไกการทำงานของรีเวอร์สออสโมซิส..... 11

2.5 ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ
รีเวอร์สออสโมซิส..... 15

2.6 เมมเบรนสำหรับใช้กับกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส..... 19

2.7 โมดูลชนิดต่างๆของระบบรีเวอร์สออสโมซิส..... 19

2.8 ความจำเป็นในการเตรียมน้ำก่อนเข้าระบบรีเวอร์สออสโมซิส..... 25

2.9 การคำนวณหาแรงดันออสโมซิส..... 28

2.10 การคำนวณออกแบบ ระบบรีเวอร์ส์ออสโมซีส..... 30

3. อุปกรณ์การทดลอง และขั้นตอนการทดลอง

3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์การทดลอง.....38

3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....48

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองที่ระบบการกรองไมโครฟิลเตรชั่น..... 50

4.2 ผลการทดลองที่ระบบรีเวอร์สออสโมซีส..... 56

5. สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป.....66

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 68

รายการอ้างอิง.....69

ภาคผนวก

ก. ตารางผลการทดลอง.....71

ข. ระบบการกรองไมโครฟิลเตรชั่นแบบต่อเนื่อง.....77

ค. การนำน้ำกลับมาใช้งานใหม่ และนำระบบ Zero discharge มาใช้ในประเทศ สหรัฐอเมริกา.....79

ง. เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงาน Recycle waste water..... 83

จ การออกแบบ และคำนวณ เมมเบรน " ฟิลม์เทค "..... 86

ฉ. หอทำน้ำเย็น.....102

ช. สรุปค่าใช้จ่าย ด้านอุปกรณ์ ในการทำวิจัย..... 121

ประวัติผู้เขียน.....123

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สรุปความแตกต่างของกระบวนการเมมเบรน.....7

2.2 สรุปความสามารถของกระบวนการรีเวอร์สออสโมซีส ในการกำจัดเกลือต่างๆ.....11

2.3 สรุปความสามารถของกระบวนการรีเวอร์สออสโมซีส ในการกำจัดสารอินทรีย์.....14

2.4 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของโมดูลรีเวอร์สออสโมซีส 4 แบบ.....20

2.5 แสดง แรงดันออสโมซีส ของสารประกอบบางชนิด ที่25^{0} C..... ...28

2.6 แสดง ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้กับระบบ RO..... ...33

3.1 แสดงคุณลักษณะ ของน้ำที่วิเคราะห์ ของน้ำเสีย , อัลตัลฟิลเตอร์ ,ไมโครฟิลเตรชั่น และ รีเวอร์สออสโมซีส..... ...49

3.2 แสดงสภาวะการทดลองของระบบต่างๆ..... ...49

5.1 สรุปความสามารถในรการaกำจัดสูงสุด ของระบบไมโครฟิลเตรชั่นที่ความดันต่างๆ..... ...66

5.2 สรุปความสามารถในรการaกำจัดสูงสุดของระบบรีเวอร์สออสโมซีส ที่ความดันต่างๆ.....67

5.3 สรุปความสามารถในรการaกำจัดสูงสุดของระบบรีเวอร์สออสโมซีส ที่ % Recoveryต่างๆ.....67

ก1 แสดงผลของค่าความดัน ต่ออัตราการผลิตน้ำ ของระบบไมโครฟิลเตรชั่น..... ...71

ก2 แสดงผลของค่าความดัน ต่อคุณลักษณะต่างๆของน้ำ ของระบบไมโครฟิลเตรชั่น.....71

ก3 แสดงผลของค่าความดัน ต่ออัตราการผลิตน้ำ ของระบบรีเวอร์สออสโมซีส.....72

ก4 แสดงผลของค่าความดัน ต่อ % การกำจัดเกลือแร่ ของระบบรีเวอร์สออสโมซีส.....72

ก5 แสดงผลของค่าความดัน ต่อคุณลักษณะต่างๆของน้ำ ของระบบรีเวอร์สออสโมซีส.....73

ก6 แสดงผลของ % Recovery ต่อคุณลักษณะต่างๆของน้ำ ของระบบรีเวอร์สออสโมซีส 74

ก7 แสดงผลการเปรียบเทียบ % การกำจัดของระบบไมโครฟิลเตรชั่น ที่ความดัน 0.4 บาร์ กับ รีเวอร์สออสโมซีส ที่ความดัน 11.0 บาร์ RECOVERY 60%.....75

ก8 แสดง % การกำจัดเมื่อเวลาต่างๆกันที่ความดัน11.0 บาร์ RECOVERY 60% ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส.....76

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	แสดง ขั้นตอนการผลิตแผงวงจรอิเลคโทรนิกส์ ชนิดพลาสติก	4
1.2	แสดง ขั้นตอนการผลิตแผงวงจรอิเลคโทรนิกส์ ชนิดเซรามิกส์	5
2.1	แสดง ปรากฏการณ์ ออสโมซิส และ รีเวอร์สออสโมซีส	8
2.2	แสดง กลไกการกำจัดเกลือต่างๆ ของระบบรีเวอร์สออสโมซีส	12
2.3	แสดง กลไกการกำจัดของสารอินทรีย์ ของระบบออสโมซีสย้อนกลับ	13
2.4	แสดง Concentration Polarization ที่เกิดขึ้นในระบบรีเวอร์สออสโมซีส	15
2.5	แสดง อิทธิพลของ พีเอช และ อุณหภูมิที่มีผลต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของเมมเบรน	16
2.6	แสดง อิทธิพลของ ความเข้มข้นของน้ำดิบ และ Recovery ที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำที่ผลิต	17
2.7	แสดง อิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำดิบที่ และ Recovery มีผลต่ออัตราการผลิตน้ำ	18
2.8	แสดง โมดูล แบบแผ่น (Plate and Frame Module)	21
2.9	แสดง โมดูล แบบท่อ (Tubular Module)	22
2.10	แสดง โมดูล แบบม้วน (Spiral wound Module)	23
2.11	แสดง โมดูล แบบเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Module)	24
2.12	แสดง สัญญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบ RO	33
3.1	แสดง ไดอะแกรม ของระบบ Recycle system	39
3.2	แสดง อัลคัลฟิลเตอร์	40
3.3	แสดง ระบบการกรองแบบต่อเนื่องไมโครฟิลเตรชั่น	41
3.4	แสดง ระบบรีเวอร์สออสโมซีส	42
4.1	แสดงค่าความดันที่มีผลต่ออัตราการผลิตน้ำ ของระบบ CMF	50
4.2	แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่าพีเอช ของระบบ CMF	51
4.3	แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่า TDS ของระบบ CMF	52
4.4	แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่าความกระด้างของระบบ CMF	52
4.5	แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่า M-Alkalinity ของระบบ CMF	53
4.6	แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่าคลอไรด์ ของระบบ CMF	53
4.7	แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่าซัลเฟต ของระบบ CMF	54

4.8 แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่าซิลิกา ของระบบ CMF....54
4.9 แสดงค่าความดันที่มีผลต่ออัตราการผลิตน้ำ ของระบบรีเวอร์สออสโมซีส....56
4.10 แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่าพีเอช ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....57
4.11 แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่า TDS ของระบบรีเวอร์สออสโมซีส....57
4.12 แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่าความกระด้างของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....58
4.13 แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่า M-Alkalinity ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....58
4.14 แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่าคลอไรด์ ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....59
4.15 แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่าซัลเฟต ของระบบรีเวอร์สออสโมซีส....59
4.16 แสดงค่าความดันที่มีผลต่อ ค่าซิลิกา ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....60
4.17 แสดงค่า % Recovery ที่มีผลต่อ ค่าพีเอช ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....61
4.18 แสดงค่า % Recovery ที่มีผลต่อ ค่า TDS ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....62
4.19 แสดงค่า % Recovery ที่มีผลต่อ ค่าความกระด้างของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....62
4.20 แสดงค่า % Recovery ที่มีผลต่อ ค่า M-Alkalinity ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....63
4.21 แสดงค่า % Recovery ที่มีผลต่อ ค่าคลอไรด์ ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....63
4.22 แสดงค่า % Recovery ที่มีผลต่อ ค่าซัลเฟต ของระบบรีเวอร์สออสโมซีส....64
4.23 แสดงค่า % Recovery ที่มีผลต่อ ค่าซิลิกา ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....64
4.24 แสดงค่า % การกำจัดเมื่อเวลาต่างๆกัน ที่ความดัน 11 บาร์ และ Recovery 60% ของระบบ รีเวอร์สออสโมซีส....65
4.25 แสดงค่า % การกำจัดของระบบ ไมโครฟิลเตรชั่น ความดัน 0.4 บาร์ และ ระบบรีเวอร์สออสโมซีส ที่ ความดัน 11 บาร์ และ Recovery 60 %....65
ค1 แสดงราคาน้ำประปาที่เพิ่มขึ้น ระหว่างปี คศ. 1960-995....82
ค2 แสดงค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ระหว่างปี คศ. 1986-1995....82
ฉ1 แสดง การทำงานของหอทำน้ำเย็น....103
ฉ2 แสดงช่วงการทำความเย็น และความใกล้เคียง....103
ฉ3 แสดง หอทำน้ำเย็นแบบไหลสวนทางผ่าน....105
ฉ4 แสดง หอทำน้ำเย็นแบบไหลตัดกัน....106
ฉ5 Open Recirculation System....109
ฉ6 Data for Calculation of pH of saturation of carbonate....113
ฉ7 Average pH of Cooling tower Normally pH level for 90% of toer is withen shaded area....115
ฉ8 Mechanism of Electrochemical corosion: Steel-Air-Water....117