

การปรับปรุงคุณภาพน้ำจากระบบบรีเวอร์ส ออสโมซิสของโรงผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำใน
จังหวัดฉะเชิงเทราโดยการออกแบบการทดลอง

สิริพันธ์ สิ้นลือนาม

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2561

REVERSE OSMOSIS WATER QUALITY IMPROVEMENT
A CASE STUDY OF SEMICONDUCTOR MANUFACTURING FACTORY IN
CHACHEONGSAO, THAILAND

Siripan Sinluenam

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2018

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงคุณภาพน้ำจากระบบรีเวิร์ส ออสโมซิสของโรงผลิต
ชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในจังหวัดฉะเชิงเทราโดยการออกแบบ
การทดลอง

โดย

สิริพันธ์ สิ้นลือนาม

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร. ชลิดา คล้ายโสม)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน)

.....กรรมการ

(ดร. กรกฎ เหมสถาปัตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์)

สิริพันธ์ สิ้นลือนาม : การปรับปรุงคุณภาพน้ำจากระบบรีเวิร์ส ออสโมซิสของโรงผลิตชิ้นส่วน
สารกึ่งตัวนำในจังหวัดฉะเชิงเทราโดยการออกแบบการทดลอง. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์, 56 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส (Reverse Osmosis : RO) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมของโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในจังหวัดฉะเชิงเทรา

การทดลองดำเนินการโดยการวิเคราะห์เก็บตัวอย่างค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) ของน้ำที่จ่ายเข้าระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส และน้ำหลังผ่านระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส โดยการเปรียบเทียบการนำไฟฟ้าโดยปรับค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอน (T-001 Antiscale R.O.) ที่ 10%, 20%, 30% โดยปริมาตร และค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์ (T-002 Antislime R.O.) ที่ 10%, 20%, 30% โดยปริมาตร ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีการใช้งานในระบบรีเวิร์ส ออสโมซิสของโรงงานในการศึกษานี้ โดยใช้ซอฟต์แวร์ MINITAB RELEASE 16 ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบการทดลองด้วยวิธีทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการแปรผันของความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอน (T-001 Antiscale R.O.) มีผลที่เป็นนัยสำคัญเพียงปัจจัยเดียวในคุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส ที่ค่าความนำไฟฟ้าระหว่าง 5.38-9.94 $\mu\text{S}/\text{cm}$ และประสิทธิภาพการกรองระหว่าง 96.32%-98.61% เนื่องจาก แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 การกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบปกติ และความเสถียรของความแปรปรวน แต่ไม่สามารถสร้างสมการทำนายผลตอบแทนได้เนื่องจากมีเพียงปัจจัยเดียวที่มีผลต่อกระบวนการ

SIRIPAN SINLUENAM : REVERSE OSMOSIS WATER QUALITY IMPROVEMENT : A CASE STUDY OF SEMICONDUCTOR MANUFACTURING FACTORY IN CHACHEONGSAO, THAILAND. ADVISOR : ASST. PROF. DR. JINTAWAT CHAICHANAWONG, 56 PP.

This research studies the performance enhancement of Reverse Osmosis (RO) to increase the efficiency of water treatment for industrial use of semiconductor parts factories in Chachoengsao Province.

The experiment was conducted by analyzing the sample conductivity values of water that is supplied and treated from Reverse Osmosis systems by comparing the conductivity by adjusting the concentration of Antiscalant (T-001 Antiscale RO) at 10%, 20%, 30% by volume and the concentration of Microbial Inhibitors (T-002 Antislime RO) at 10%, 20%, 30% by volume, that using in Pilot scale of the studying factory. The collected data was simulated by the MINITAB RELEASE 16 software used in the analysis and statistically design of the experiment at the significance level 0.05 to analyze the interaction between variables. The results indicated that the variation of the Antiscalant concentration (T-001 Antiscale RO) has a single significant effect on the quality of water treated with reverse osmosis systems at the Conductivity between 5.38-9.94 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and Salt rejection between 96.32% -98.61% due to the statistical analysis data that the P-Value is less than 0.05, the distribution of data is normal with the stability of variance. The interpretation equation could not create since only factor was affected the process.

Graduate School

Field of Engineering of Technology

Academic Year 2018

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้กระทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อันเนื่องมาจากความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรุณาเสียเวลาอันมีค่าของท่าน มาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาแนวทางและการพัฒนาในการทำวิจัย ตลอดจนสอนขั้นตอนการวิจัยตลอดการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. ชลิดา คล้ายโสม (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธานคณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ อีกทั้งยังแนะนำแนวทางและความรู้ที่เกี่ยวข้องในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดำรงเกียรติ รัตนอมรพิน (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. กรกฎ เหมสถาปัตย์ (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณบุพการี ครอบครัว เพื่อน เพื่อนร่วมงานที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจอย่างดียิ่งในทุกช่วงเวลาการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

และท้ายที่สุด หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขอภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น ผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยสำหรับผู้สนใจจะศึกษาในหัวข้อที่เกี่ยวข้องต่อไป

สิริพันธ์ สิ้นลือนาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	4
2 หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	25
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	25
3.2 ทำการทดลองและเก็บข้อมูล.....	31
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	31
4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	34
4.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรอง.....	34
4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	4.3 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square).....	41
	4.4 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance).....	41
	4.5 สร้างสมการทำนาย	43
	4.6 สร้างกราฟโครงร่าง	43
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	44
	5.1 บทสรุป.....	44
	5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	44
	5.3 ข้อเสนอแนะ	44
	บรรณานุกรม	46
	ภาคผนวก	51
	ภาคผนวก ก. นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	52
	ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพการกรอง	54
	ประวัติย่อผู้วิจัย.....	56

TNI

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน.....	4
2.1 รูปแบบและลักษณะการทดลอง.....	11
2.2 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมุติฐาน.....	15
2.3 เอกสาร งานวิจัย และกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย	21
3.1 ลักษณะและคุณสมบัติควบคุมการใช้งานของเมมเบรน.....	27
3.2 ปัจจัย ระดับ และขอบเขตสำหรับกระบวนการศึกษาการบำบัดทางเคมีของน้ำในระบบ รีเวิร์ส อออสโมซิส.....	28
3.3 การออกแบบการทดลอง.....	29
4.1 ผลของประสิทธิภาพการกรอง.....	35

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1 กระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรน.....	2
2.1 แผนผังระบบบำบัดน้ำสำหรับใช้ผลิตสารกึ่งตัวนำ.....	5
2.2 หลักการของรีเวิร์สออสโมซิส.....	6
2.3 กระบวนการกรองน้ำระบบรีเวิร์สออสโมซิส	7
2.4 เมมเบรนอัดดันบนผิวสัมผัส	7
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ	9
2.6 แผนภาพจุด (Dot Diagram)	13
2.7 ฮิสโตแกรม (Histogram)	13
2.8 แผนภูมิก้านใบ (Stem and Leaf Diagram).....	13
2.9 แผนภาพกล่อง (Box Plot หรือ Box and Whisker Plot).....	14
2.10 กราฟแสดงกรณีไม่พบผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (No Interaction)	18
2.11 กราฟแสดงกรณีพบผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction).....	18
2.12 การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ของข้อมูลที่มี การกระจายตัวปกติ.....	19
2.13 การพล็อตของค่าความผิดพลาด (Residuals Plot) ของข้อมูลที่มีความแปรปรวนคงที่.....	19
2.14 การพล็อตของค่าความผิดพลาด (Residuals Plot) ของข้อมูลที่มีความแปรปรวนไม่คงที่..	20
2.15 การสร้างพื้นผิวสะท้อน.....	20
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	25
3.2 pH Meter.....	26
3.3 Conductivity Meter.....	26
3.4 ลักษณะของเมมเบรน FILMTEC TM รุ่น LE-440i	27
4.1 ค่า P-Value ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น.....	39
4.2 การกระจายแบบแจกแจงปกติของ Residual ของประสิทธิภาพการกรอง.....	40
4.3 แผนภูมิการกระจายของ Residual กับลำดับของข้อมูลประสิทธิภาพการกรอง.....	40
4.4 แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระดับปัจจัยของประสิทธิภาพ การกรอง	41
4.5 การทดสอบความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกรัน (T-001).....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.6	การทดสอบความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจุลินทรีย์ (T-002)..... 42
4.7	การทดสอบความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำ..... 43



บทที่ 1

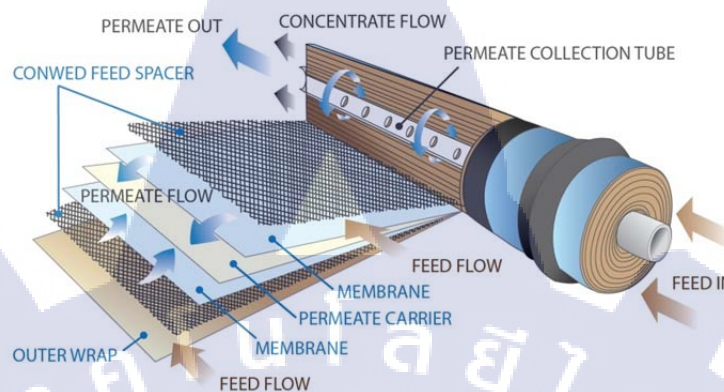
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

สังคมยุคปัจจุบันมีการพัฒนาและขยายตัวทางด้านเทคโนโลยีและการสื่อสารอย่างรวดเร็ว การพัฒนานี้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ซึ่งเป็นหนึ่งในชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานด้านการสื่อสาร อาทิ โทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ สัญญาณตรวจจับคลื่นความถี่ เป็นต้น ในกระบวนการผลิตประกอบด้วย กระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) การฉายของไอออนลงบนพื้นผิววัสดุ (Ion Implantation) การประกอบของสารควบคุมและสารตัวนำไฟฟ้า (Deposition of Conductor and Inductor) การถ่ายทอดลวดลายลงแผงวงจร (Photolithography) การกัดชิ้นงานให้ได้ค่าความถี่ตามคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์โดยใช้สารเคมี (Etching) และกระบวนการประกอบชิ้นงาน (Assembly) ระหว่างกระบวนการผลิตชิ้นส่วนของสารกึ่งตัวนำอาจจะมีกระบวนการปนเปื้อนจากสารเคมี เครื่องจักร และจากผูปฏิบัติงาน การปนเปื้อนชิ้นส่วนของสารกึ่งตัวนำนี้อาจจะมีผลต่อคุณภาพเมื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น การแปรผลและส่งสัญญาณที่คลาดเคลื่อนของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นก่อนที่ชิ้นส่วนของสารกึ่งตัวนำนี้จะนำไปเข้าสู่กระบวนการประกอบชิ้นงานจะต้องนำไปทำความสะอาดก่อน โดยทั่วไปในกระบวนการทำความสะอาดนี้จะใช้น้ำบริสุทธิ์ (Pure Water) เนื่องจากเป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำ ทำให้มีคุณสมบัติปราศจากไอออนที่มีผลต่อคุณสมบัติการนำไฟฟ้าต่อชิ้นส่วนของสารกึ่งตัวนำ [1]

ในกระบวนการบำบัดน้ำสำหรับการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนของสารกึ่งตัวนำที่งานวิจัยนี้ได้นำมาใช้ในการศึกษาประกอบด้วยกระบวนการบำบัดเบื้องต้น (Pretreatment) ซึ่งเป็นกระบวนการพื้นฐานในการปรับปรุงคุณภาพน้ำประกอบด้วยกรองโดยใช้ทราย (Sand Filtration) และการกรองโดยใช้ถ่าน (Carbon Filtration) เพื่อดักจับสิ่งเจือปนเบื้องต้น คือ สารแขวนลอย กลิ่น สี จากนั้นจะผ่านเข้าสู่กระบวนการกรองเพื่อกำจัดไอออนที่ละลายในน้ำ (Desalination) ซึ่งในกระบวนการนี้จะใช้เมมเบรน (Membrane) จะใช้หลักการรีเวิร์ส ออสโมซิส (Reverse Osmosis) เพื่อกำจัดไอออน อนุภาค คอลลอยด์ สารอินทรีย์ และแบคทีเรีย โดยทั่วไปอายุการใช้งานของเมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการกรองนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำที่จ่ายก่อนเข้าสู่เมมเบรน และการบำรุงรักษาระหว่างเดินเครื่องเพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งาน และลดต้นทุนในการผลิตได้ ปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรน [2] ที่พบคือ น้ำที่จ่ายก่อนเข้าสู่ระบบเมมเบรนมีคุณภาพไม่คงที่ เนื่องจากเป็นน้ำที่มาจากบ่อน้ำพัก ส่วนกลางของนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งจะแปรผันตามสภาพแวดล้อม ทำให้พบปัญหาในระหว่างกระบวนการ

กรองโดยเมมเบรน คือ ระยะเวลาในการใช้งานลดลง อันมีสาเหตุมาจากการอุดตัน หรือ ค่าควบคุมในด้านคุณภาพของน้ำลดลงก่อนระยะเวลาอันควร เป็นต้น



รูปที่ 1.1 กระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรน

ในงานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการกรองโดยใช้เมมเบรนเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำรีเวิร์สออสโมซิส โดยนำหลักการออกแบบการทดลองมาใช้ในการประเมินผลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติและหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายในระบบการผลิตน้ำ [3]

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกรองน้ำโดยเมมเบรนของระบบผลิตน้ำรีเวิร์สออสโมซิส

1.2.2 เพื่อนำหลักการออกแบบการทดลองมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการกรองน้ำโดยเมมเบรนของระบบผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิส

1.2.3 เพื่อหาค่า pH ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพน้ำก่อนป้อนเข้าระบบผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการกรองน้ำ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพน้ำจากกระบวนการกรองน้ำโดยเมมเบรนของระบบผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิส โดยศึกษาการปรับสภาพโดยใช้สารเคมี ประกอบด้วย สารป้องกันตะกอนและสารยับยั้งจุลินทรีย์

1.3.2 น้ำที่ใช้ในกระบวนการกรองน้ำโดยเมมเบรน จะมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำเบื้องต้น (Pre Treatment) ก่อนเข้าสู่ระบบมีคุณสมบัติ ค่า pH 6-9 และค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ในช่วง 216-313 $\mu\text{S}/\text{cm}$

1.3.3 เครื่องผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิสที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีจำนวน 3 เครื่องซึ่งมีรายละเอียดอุปกรณ์ และอายุในการใช้งานเหมือนกันทุกประการ เนื่องจากระยะเวลาในการทดลองมีจำกัด และความไม่สะดวกในการทดลองโดยใช้ชุดทดลองจึงทำให้ไม่สามารถใช้เครื่องผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิสเพียงเครื่องเดียวได้ ทำให้ปัจจัยที่มีมาจากเครื่องผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิสไม่ส่งผลต่อการทดลองมากนัก

1.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินผลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติและหาสถานะที่เหมาะสมของการปรับสภาพน้ำโดยใช้สารเคมี คือ หลักการออกแบบการทดลอง โดยใช้โปรแกรม MINITAB RELEASE 16

1.3.5 การดำเนินงานวิจัยจะเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเข้าสู่ระบบรีเวิร์ส ออสโมซิสและน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบรีเวิร์สออสโมซิส เพื่อนำมาทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอน และสารยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์ภายในระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลกระทบระหว่างปัจจัยโดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- 1) การศึกษาข้อมูลพื้นฐานของระบบเพื่อทราบปัจจัยของกระบวนการรีเวิร์ส ออสโมซิส
- 2) นำหลักการออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย
- 3) ทำการทดลองและเก็บข้อมูล
- 4) วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการทางสถิติเพื่อหาค่าสถานะที่เหมาะสมจากการทดลอง
- 5) สรุปผลการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกรองน้ำโดยเมมเบรนของระบบผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิส

1.4.2 ได้นำหลักการออกแบบการทดลองมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการกรองน้ำโดยเมมเบรนของระบบผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิส

1.4.3 ทราบค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพน้ำก่อนป้อนเข้าสู่ระบบผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการกรองน้ำ

1.5 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนงานและระยะเวลาการดำเนินงาน

[illegible]

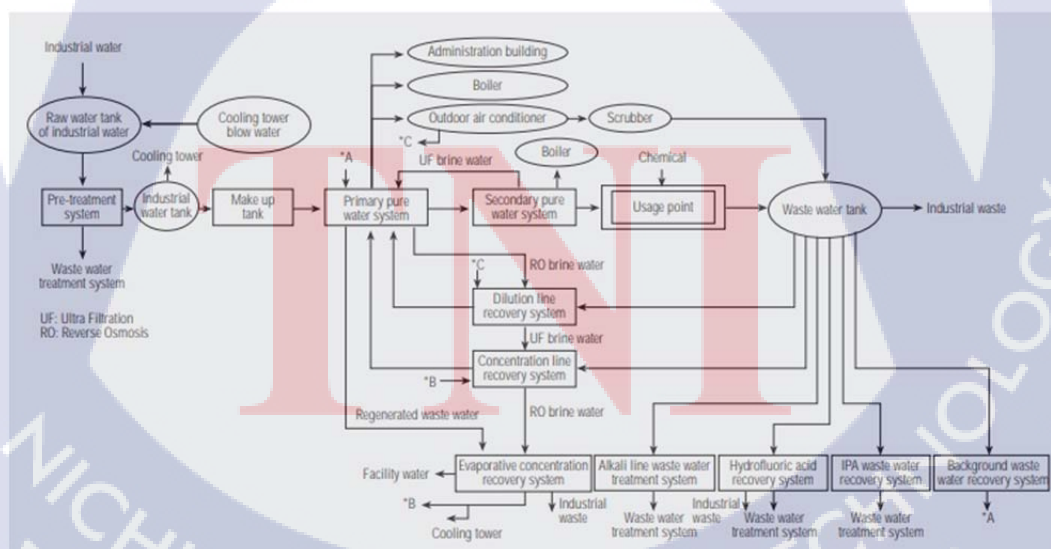
บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ระบบบำบัดน้ำสำหรับใช้ผลิตสารกึ่งตัวนำ

กระบวนการบำบัดน้ำสำหรับการใช้ผลิตสารกึ่งตัวนำเป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สารกึ่งตัวนำ เนื่องจากน้ำที่ต้องการนำมาใช้งานต้องมีการควบคุมคุณภาพ ได้แก่ ค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าปริมาณสารอินทรีย์ (Total Organic Carbon-TOC) การเจือปนของไอออนและโลหะหนักต่างๆ เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปแปรรูปต่อไป ดังนั้นน้ำที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตนั้นต้องผ่านการบำบัดเพื่อกำจัดสิ่งเจือปน และปรับสภาพให้เหมาะสมต่อคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ [4] โดยทั่วไปกระบวนการบำบัดน้ำจะประกอบด้วย ระบบบำบัดน้ำเบื้องต้น (Pre-Treatment) เพื่อกำจัดสิ่งเจือปน ได้แก่ สารแขวนลอย กลิ่น สี จุลินทรีย์ และสารเคมี โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเบื้องต้นจะประกอบด้วย การกรองสารแขวนลอย กลิ่น สี จุลินทรีย์ โดยใช้ทราย (Sand Filtration) และถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) จากนั้นจะลดการเจือปนของไอออนในสารเคมีโดยการแลกเปลี่ยนไอออนโดย Softener เพื่อปรับสภาพน้ำก่อนเข้าสู่กระบวนการกรองเพื่อกำจัดไอออนที่ละลายในน้ำ (Desalination) ได้แก่ ระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส ต่อไป [5] ดังแสดงในรูปที่ 2.1

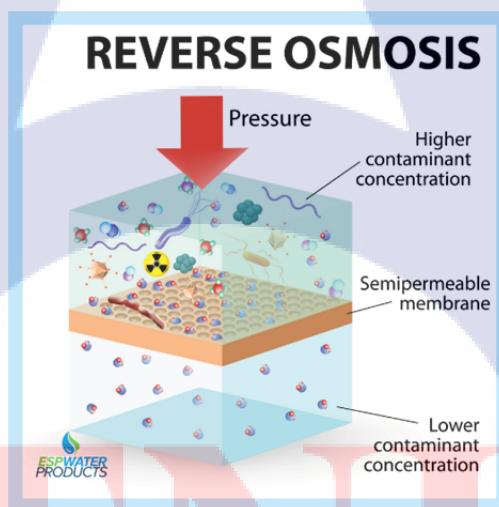


รูปที่ 2.1 แผนผังระบบบำบัดน้ำสำหรับใช้ผลิตสารกึ่งตัวนำ

2.1.2 หลักการทำงานของระบบผลิตน้ำรีเวิร์สออสโมซิส

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพโดยการบำบัดเพื่อกำจัดไอออนในน้ำ (Desalination) ที่นิยมทำอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมคือ กระบวนการกรองน้ำแบบรีเวิร์ส ออสโมซิส เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำได้อย่างหลากหลาย เช่น ไอออน แบคทีเรีย คอลลอยด์ และใช้พลังงานในการเดินเครื่องต่ำ แต่ปัญหาที่เกิดจากการกระบวนการผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิส คือ การเสื่อมสภาพของเมมเบรนที่ใช้เป็นตัวกลางในการกรองน้ำเกิดการอุดตันจากการใช้งาน ซึ่งมีสาเหตุมาจากคุณภาพของแหล่งน้ำที่จ่ายเข้าระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส ทำให้ระบบผลิตน้ำได้น้อยลง และส่งผลทำให้เมมเบรนเกิดความเสียหายก่อนระยะเวลาอันควร

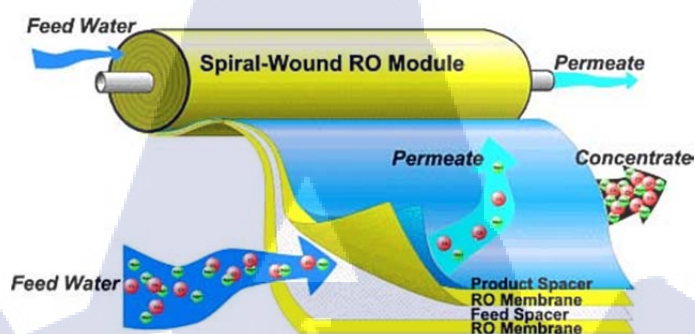
หลักการทำงานของระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส เป็นกระบวนการที่น้ำซึมผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable Membrane) จากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า โดยการเพิ่มแรงดันสูงให้น้ำมีค่ามากกว่าแรงดันออสโมซิส (Osmotic Pressure) [6, 7] ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลักการของรีเวิร์สออสโมซิส

เมมเบรนเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการกรองน้ำของระบบน้ำแบบรีเวิร์ส ออสโมซิส โดยทำหน้าที่กรองหรือกักสิ่งเจือปน เช่น ไอออน จุลินทรีย์ สารอินทรีย์จากน้ำที่จ่าย (Feed Water) เข้ามาในระบบไม่ให้เจือปนไปกับน้ำหลังจากออกจากเมมเบรนแล้ว น้ำที่ผ่านกระบวนการกรองนี้จะเรียกว่า Permeate หรือ Product Water ซึ่งน้ำที่ได้นี้จะมีค่าของสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น ไอออน จุลินทรีย์ลดลงจากน้ำจ่ายเข้าระบบ เนื่องจากไอออน และจุลินทรีย์ดังกล่าวมันได้ถูกกักเอาไว้บน

ผิวสัมผัสของเมมเบรน และระบายออกไปกับน้ำที่มีค่าความเข้มข้นมากในระหว่างกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งที่เรียกว่า Concentrated Water หรือ Rejected Water [8] ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กระบวนการกรองน้ำระบบรีเวอร์สออสโมซิส

จากกระบวนการกรองน้ำโดยใช้เมมเบรนทำหน้าที่กักสิ่งเจือปนทำให้สิ่งเจือปนบนหน้าสัมผัส เมื่อเดินเครื่องในระยะเวลาสั้นๆ สิ่งเจือปนเหล่านี้จะสะสมและตกผลึกบนหน้าสัมผัสทำให้เกิดเป็นสาเหตุที่ทำให้เมมเบรนอุดตัน หรือ เกิดฟาวลิง (Membrane Fouling) ทำให้เมมเบรนมีสมรรถนะในการกรองน้ำลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เมมเบรนอุดตันบนผิวสัมผัส

สาเหตุที่ทำให้เกิดเมมเบรนอุดตัน หรือ เกิดฟาวลิงเกิดจากการสะสมของสิ่งเจือปนบนผิวสัมผัสของเมมเบรนนั้น ส่วนใหญ่มาจากการตกผลึกของสารละลายที่มาจากน้ำที่จ่ายก่อนเข้าระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส ส่วนประกอบของผลึกดังกล่าวจะมีส่วนประกอบของตะกอน และจุลินทรีย์ ในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำรีเวอร์ส ออสโมซิสได้มีการเติมสารเคมี คือ สารยับยั้งจุลินทรีย์ (Microbiocide)

ที่มีส่วนประกอบของกรดอินทรีย์ที่ช่วยยับยั้งการเกิดสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ เพื่อไม่ให้เกิดการรวมตัวของจุลินทรีย์ภายในระบบ และสารป้องกันตะกรัน (Anti Scalants) หรือ Scale Inhibitors ที่มีส่วนประกอบของสารโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (Sodium Hexa Meta phosphate : NaHMP) เพื่อช่วยยับยั้งไม่ให้ไอออนที่เจือปนในสารละลายในระบบรวมตัวกันและเป็นผลึกบนหน้าสัมผัสของเมมเบรน สารเคมีทั้งสองประเภทนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันและยับยั้งให้เมมเบรนเกิดการอุดตันได้น้อยลง โดยทำหน้าที่ปรับสภาพ ค่า pH ของน้ำที่ผ่านเข้าไปในเมมเบรนเพื่อให้มีค่า pH ที่เหมาะสมและทำให้สารเจือปนตกผลึกน้อยที่สุด ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการกรองและยืดอายุการใช้งานของเมมเบรน

การคำนวณประสิทธิภาพของการกรองของเมมเบรนสามารถแสดงได้จากค่าร้อยละของการกักกันเกลือ (%Salt Rejection) เป็นค่าที่บ่งบอกประสิทธิภาพของเมมเบรนในการดักจับไอออนที่เจือปนอยู่ในน้ำ โดยสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.1 [9]

$$\% \text{Salt Rejection} = \left[\frac{EC_{\text{Feed}} - EC_{\text{Product}}}{EC_{\text{Feed}}} \right] \times 100 \quad (2.1)$$

%Salt Rejection หมายถึง ร้อยละของการกักกันเกลือแสดงค่าร้อยละการดักจับไอออนของเมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการรีเวิร์ส ออสโมซิสเป็นค่าชี้บ่งประสิทธิภาพในการกรองของเมมเบรน

EC_{Product} หมายถึง ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการกรองจากกระบวนการรีเวิร์ส ออสโมซิสโดย

เมมเบรน (Product Electric Conductivity) หน่วย $\mu\text{S}/\text{cm}$

EC_{Feed} หมายถึง ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่จ่ายก่อนเข้าสู่การกรองจากกระบวนการรีเวิร์ส ออสโมซิสโดยเมมเบรน (Feed Water Electric Conductivity) หน่วย $\mu\text{S}/\text{cm}$

โดยทั่วไปค่าร้อยละของประสิทธิภาพในการกรอง (%Salt Rejection) ของสารละลายอินทรีย์และสารละลายอินทรีย์มีค่าประมาณ 95-99% ตามลำดับ และของคอลลอยด์ต่างๆ เช่น สารที่มีความขุ่น จุลินทรีย์ มักสูงถึง 100% [9]

การคำนวณปริมาณการกรองของเมมเบรนสามารถแสดงได้จากค่า %Recovery เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนของปริมาณน้ำที่ผลิตได้จากกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิสต่อปริมาณน้ำที่จ่ายเข้าระบบเพื่อใช้ในการผลิตน้ำ บ่งบอกประสิทธิภาพของเมมเบรนในการผลิตน้ำ โดยสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.2

$$\% \text{Recovery} = 100 \times \frac{Q_{\text{Product}}}{Q_{\text{Feed}}} \quad (2.2)$$

%Recovery หมายถึง ร้อยละของปริมาณน้ำที่ผลิตได้ต่อปริมาณน้ำที่จ่ายเข้าเพื่อใช้ในการกรองในกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิส

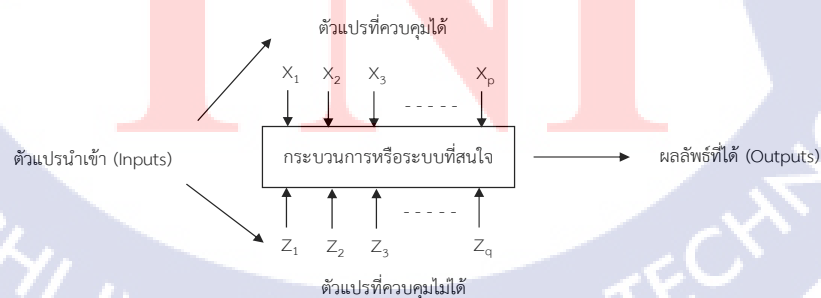
Q_{Product} หมายถึง อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านการกรองจากกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิสโดยเมมเบรน หน่วย m^3/Hr

Q_{Feed} หมายถึง อัตราการไหลของน้ำที่จ่ายก่อนเข้าสู่การกรองจากกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิสโดยเมมเบรน หน่วย m^3/Hr

โดยทั่วไประบบรีเวิร์ส ออสโมซิสจะมี %Recovery ประมาณ 50-70% เพราะต้องมีการระบายน้ำ (Rejection) ของน้ำที่มีค่าความเข้มข้นของไอออนสูงจากกระบวนการกรอง เพื่อลดค่าความเข้มข้นของสารละลายที่สะสมอยู่ภายในระบบรีเวิร์สออสโมซิส [10] – [14]

2.1.3 หลักการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร(หรือปัจจัย)ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หรือ ตัวแปร(หรือปัจจัย)ที่สามารถออกแบบได้ (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร(หรือปัจจัย)ที่รับกวนระบบ (Uncontrollable Variables or Factors) [15] ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ซึ่งโดยหลักการแล้ว ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรที่รบกวน (Noise Variables) มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ หรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์หรือระบบที่ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากต้องใช้ความระมัดระวังอย่างสูง เพราะถ้าชำรุดจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ความดันที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ซึ่งการระบุประเภทของตัวแปรที่ควบคุมได้ และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้จะมีความสำคัญในการออกแบบการทดลองในเรื่องของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ หรือค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ใช้ในระบบหรือกระบวนการเพื่อให้มีความสอดคล้องกับหัวข้อที่ต้องการจะศึกษา

2.1.3.1 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

แนวทางในการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งได้เป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) กำหนดปัญหาที่ต้องการจะแก้ไขเพื่อระบุวัตถุประสงค์ในการทดลอง
- 2) เลือกปัจจัยเพื่อที่จะนำมาใช้ในการแปรค่าในการทดลองและจำนวนระดับที่ใช้ในการทดลอง เพื่อแสดงถึงความละเอียดของข้อมูลว่าผู้ทดลองได้ศึกษากระบวนการนั้นอย่างละเอียดมากน้อยเพียงใด และจำนวนของการทดลองนั้นจะแปรผันตามจำนวนปัจจัยและจำนวนระดับที่ใช้ในการทดลองเสมอ
- 3) กำหนดตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรผลลัพธ์
- 4) การเลือกแบบแผนการทดลอง มีความจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง ดังนั้นการหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่างและประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น เกณฑ์การพิจารณาการเลือกรูปแบบการทดลองได้แก่ เวลาที่มีให้เพื่อการวิเคราะห์ระดับความถูกต้องในการวิเคราะห์ งบประมาณที่มีให้ในการออกแบบการทดลอง เป็นต้น [16], [17] โดยแสดงดังตารางที่ 2.1

TNI

ตารางที่ 2.1 รูปแบบและลักษณะการทดลอง

รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัย โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัย สำคัญที่คาดว่าจะมีผลกระทบสูงสุด ต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัย และเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	ใช้เวลานาน	มากที่สุด	มาก
2^k Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัย และเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ แต่กำหนดระดับของปัจจัยอยู่ ปัจจัยละ 2 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัย แต่ไม่ทำการทดลองเต็มรูปแบบ ทั้งหมด	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

5) การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล จะต้องคำนึงถึงหลัก 3 ประการ ประกอบด้วย การทดลองอย่างสุ่ม (Randomization) แต่ละการทดลองต้องมีการทำซ้ำ (Replication) และพยายามลดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Reduction of Error) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น วิเคราะห์ตรงประเด็น (Relevant) เลือกตัวแปรที่สมเหตุสมผล (Validity) การทดลองต้องมีการวัดผลที่ชัดเจนและแม่นยำ (Precise) และที่สำคัญต้องทำได้จริงในทางปฏิบัติ (Practicable) ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของค่าใช้จ่าย (Economically) เวลา (Timely) และทดลองได้จริง (Executable)

6) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อนำมาใช้ในการตัดสินใจ และวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเพื่อสนับสนุนให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

7) การสรุปผลการทดลองเพื่อยืนยันผลและเสนอแนะ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการนำข้อมูลไปใช้ให้ถูกต้อง โดยต้องมีการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นด้วย

2.1.4 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นและการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

2.1.4.1 หลักการและค่าสถิติที่สำคัญ

สถิติเป็นศาสตร์ที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล (Data Collection) การนำเสนอข้อมูล (Data Presentation) การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) อย่างเป็นระบบ โดยทั่วไปค่าสถิติจะเป็นเครื่องมือช่วยอธิบายลักษณะต่างๆ ของข้อมูล ค่าสถิติที่นิยมใช้ในการประมาณลักษณะที่แท้จริง (Parameter) ของระบบที่สนใจ จัดได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

1) ค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล (Central Tendency) หรือค่าที่ใช้ชี้บ่งตำแหน่ง (Location) หรือ เป็นตัวแทนตำแหน่งของกระบวนการ (ระบบที่สนใจศึกษา) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่ามัธยฐาน (Median) และค่าฐานนิยม (Mode)

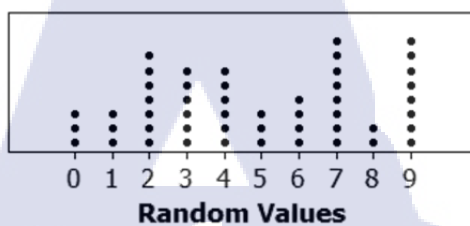
2) ค่าการกระจาย (Dispersion) หรือค่าการเปลี่ยนแปลง (Variability) ในระบบ ได้แก่ ค่าพิสัย (Range) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error)

การใช้ค่าสถิติในแต่ละกลุ่ม จำเป็นต้องทราบข้อจำกัดของสถิติแต่ละค่าและวัตถุประสงค์ในการเก็บข้อมูลเพื่อที่จะได้ทำการวิเคราะห์และสรุปผลได้อย่างถูกต้อง ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลจากการทดลองอย่างง่าย แบ่งออกเป็น 3 วิธี

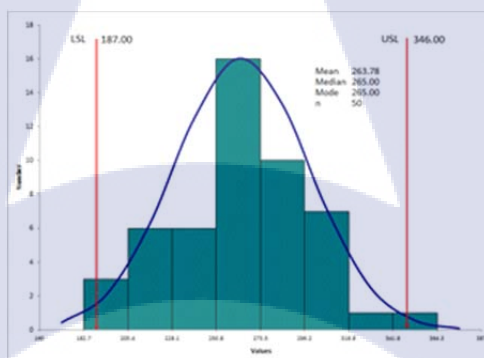
1) การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น (Exploratory Data Analysis) จะใช้การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้กราฟ หรือตาราง โดยกราฟที่นิยมใช้ได้แก่ แผนภาพจุด (Dot Diagram) [18] ตัวอย่างดังรูปที่ 2.6 ฮิสโตแกรม (Histogram) [19] ตัวอย่างดังรูปที่ 2.7 แผนภูมิก้านใบ (Stem and Leaf Diagram)

[20] ตัวอย่างดังรูปที่ 2.8 และแผนภาพกล่อง (Box Plot หรือ Box and Whisker Plot) [21] ตัวอย่างดังรูปที่ 2.9

Dotplot of Random Values



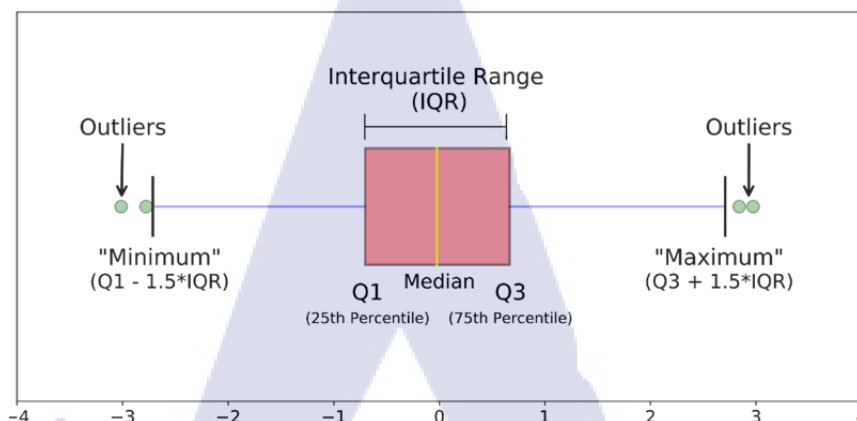
รูปที่ 2.6 แผนภาพจุด (Dot Diagram)



รูปที่ 2.7 ฮิสโตแกรม (Histogram)

Stem and Leaf Plot				
4	1			
5	2	7	8	
6	5	6		
7	0	5	8	8
8	0	0		
9	5			

รูปที่ 2.8 แผนภูมิก้านใบ (Stem and Leaf Diagram)



รูปที่ 2.9 แผนภาพกล่อง (Box Plot หรือ Box and Whisker Plot)

2) การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาข้อสรุปทางสถิติเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของระบบ มักจะใช้ค่าเฉลี่ย (μ) เป็นค่าชี้บ่งตำแหน่ง และค่าความแปรปรวน (σ^2) เนื่องจากแปรผันโดยตรงกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้อธิบายการกระจายของข้อมูล หรือความแตกต่างภายในระบบ

ในการทดสอบสมมติฐานนั้นจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1) สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis; H_0)

ประกอบด้วยข้อสมมติหรือข้อความที่ต้องการพิสูจน์ว่าเท็จ หรือข้อความที่ต้องการปฏิเสธ โดยจะเป็นบทกลับหรือส่วนกลับของสมมติฐานรองเสมอ

2) สมมติฐานรอง (Alternate Hypothesis; H_a หรือ H_1)

ประกอบด้วยข้อสมมติหรือข้อความที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริง หรือข้อความที่ต้องการยอมรับในการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานออกมาแล้วขัดแย้ง หรือไม่ตรงค่าที่แท้จริงของระบบ เรียกว่า ความผิดพลาดในการทดสอบ (Test Error) แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error; α)

คือ โอกาสที่ผลสรุปจากการทดสอบสมมติฐานยืนยันการปฏิเสธข้อความในสมมติฐานหลัก (H_0) เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่ระบุใน H_0 สอดคล้องกับค่าที่แท้จริง ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1 นี้ มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “ระดับนัยสำคัญ (Significance Level) หรือ ระดับการทดสอบ (Level of Test)” เขียนได้ดังสมการที่ 2.3

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 1} \\ &= P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \text{ เมื่อ } H_0 \text{ ถูกต้อง})\end{aligned}\tag{2.3}$$

2) ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error; β)

คือ โอกาสที่ผลสรุปจากการทดสอบสมมุติฐานไม่สามารถปฏิเสธข้อความในสมมุติฐานหลักได้ (Fail to Reject หรือ FTR H_0) เมื่อค่าพารามิเตอร์ที่ระบุใน H_1 ถูกต้องเขียนได้ ดังสมการที่ 2.4

$$\begin{aligned}\beta &= \text{ค่าความผิดพลาดประเภทที่ 2} \\ &= P(\text{ไม่ปฏิเสธ } H_0 \text{ เมื่อ } H_1 \text{ ถูกต้อง})\end{aligned}\quad (2.4)$$

ค่า β ที่ได้นี้จะนำไปใช้คำนวณ “อำนาจการทดสอบ (Power of Test)” เพื่อใช้สรุปผลในสิ่งที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าถูกต้องตามความเป็นจริงของระบบ เขียนได้ดังสมการที่ 2.5

$$\begin{aligned}\text{Power of Test} &= 1 - \beta \\ &= P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \text{ เมื่อ } H_1 \text{ ถูกต้อง})\end{aligned}\quad (2.5)$$

ตารางความผิดพลาดในการทดสอบสมมุติฐาน แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมุติฐาน

ความจริง	ผลทดสอบ ไม่ปฏิเสธ H_0	ผลทดสอบ ปฏิเสธ H_0
H_0 ถูกต้อง	ตัดสินใจถูกต้อง Confidence Level; $1-\alpha$	ตัดสินใจผิด Type I Error; α
H_1 ถูกต้อง	ตัดสินใจผิด Type II Error ; β	ตัดสินใจผิด Power of Test; $1-\beta$

ขั้นตอนในการทดสอบสมมุติฐาน แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ

1) การตั้งสมมุติฐาน คือ การระบุข้อความที่ต้องการพิสูจน์เกี่ยวกับระบบ

โดยจะประกอบด้วย

H_1 คือ ข้อความที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริง

H_0 คือ ข้อความที่เป็นบทกลับของ H_1

2) กำหนดระดับทดสอบหรือระดับนัยสำคัญ (Significance Level; α)

ค่า α ที่ใช้สามารถเลือกใช้ได้ในช่วง 1% ถึง 10% หรือมีระดับความเชื่อมั่นไม่ต่ำกว่า 90% โดยทั่วไปนิยมใช้ $\alpha=0.05$

3) ระบุค่าตัวทดสอบทางสถิติหรือการแจกแจงทางสถิติที่ใช้ทดสอบ (Test Statistics) และคำนวณค่าโดยอาศัยข้อมูลจากตัวอย่าง

ค่าตัวทดสอบทางสถิติ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ (θ) ที่สนใจของระบบ คือ

- สนใจทดสอบเกี่ยวกับค่าเฉลี่ย ($\theta = \{\mu, \mu_1 - \mu_2\}$) แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

(i) ทราบค่าความแปรปรวน (σ^2) ที่แท้จริง ใช้ตัวทดสอบ Z (Z-Test)

(ii) ไม่ทราบค่าความแปรปรวน (σ^2) ที่แท้จริง แต่ทราบค่าความแปรปรวนของตัวอย่าง (S^2) ใช้ตัวทดสอบ t (t-Test)

- สนใจทดสอบเกี่ยวกับความแปรปรวน ($\theta = \{\sigma^2, \sigma_1^2/\sigma_2^2\}$) แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

(i) กรณีศึกษาประชากรเดียว (σ^2) ใช้ตัวทดสอบ χ^2 (Chi-Square Test)

(ii) กรณีศึกษาสองประชากร (σ_1^2/σ_2^2) ใช้ตัวทดสอบ F (F-Test)

4) กำหนดบริเวณวิกฤตหรือบริเวณปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (H_0)

ค่าที่ใช้สำหรับแบ่งบริเวณปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (H_0) และบริเวณปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (H_a) ไม่ได้ คือ ค่าวิกฤต (Critical Value) ซึ่งได้จากการเปิดตาราง หรือสามารถใช้ค่า P-Value หรือ ระดับนัยสำคัญที่น้อยที่สุดที่สามารถปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (H_0) ได้ ในกรณีที่สมมุติฐานหลัก (H_0) นั้นถูกต้อง เป็นตัวช่วยตัดสินใจแทนในโปรแกรมคำนวณทางสถิติ

5) สรุปผลการทดสอบ

(i) พิจารณาค่าสถิติที่คำนวณว่าอยู่ในบริเวณ ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (H_0) หรือไม่ โดยจะปฏิเสธเมื่อค่าที่ได้จากการคำนวณตกในบริเวณปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (H_0)

(ii) พิจารณาเทียบพื้นที่โดยใช้ค่า P-Value เทียบกับพื้นที่ของบริเวณ ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (H_0) (α) แทน จะปฏิเสธเมื่อค่า P-Value $< \alpha$ เท่านั้น

3) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เป็นวิธีการทดสอบเพื่อข้อสรุปทางสถิติเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของระบบที่ต้องการศึกษาเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไปโดยมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์ที่มาของสาเหตุ หรือแหล่งที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของค่าตอบสนอง (Response) หรือค่าผลลัพธ์ลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการควบคุม (Desired Quality Characteristics) การวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้เป็นวิธีการหลักในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวน ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) ตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ
- 2) กำหนดระดับนัยสำคัญ α (Significance Level)
- 3) คำนวณจำนวนตัวอย่างแล้วทำการเก็บข้อมูล(n)
- 4) คำนวณค่าทางสถิติบันทึกลงในตาราง ANOVA เพื่อคำนวณค่า F0
- 5) เปิดตาราง F เพื่อหาค่าวิกฤต (FC) หรือคำนวณค่า P-Value
- 6) สรุปผลว่าสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ได้หรือไม่

ถ้า $F_0 > F_C$ ให้ปฏิเสธ H_0 หรือปฏิเสธ H_0 ถ้า $P\text{-Value} < \alpha$ [22]

2.1.4.2 การทดลองแฟคทอเรียล

การทดลองแฟคทอเรียล คือ การทดลองที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบการทดลอง เนื่องจากสามารถศึกษาหลายปัจจัยพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) เช่น กรณีศึกษา 3 ปัจจัย คือ ปัจจัย A, B, C ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท คือ

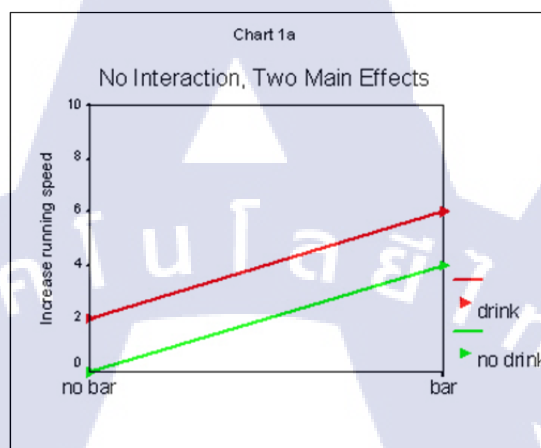
1) ผลกระทบหลัก หรือผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main Effect) คือ ผลกระทบที่สนใจพิจารณาปัจจัยเดี่ยว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B ผลกระทบของปัจจัย C

2) ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factors or 2-Ways Interaction) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม AB, AC, BC

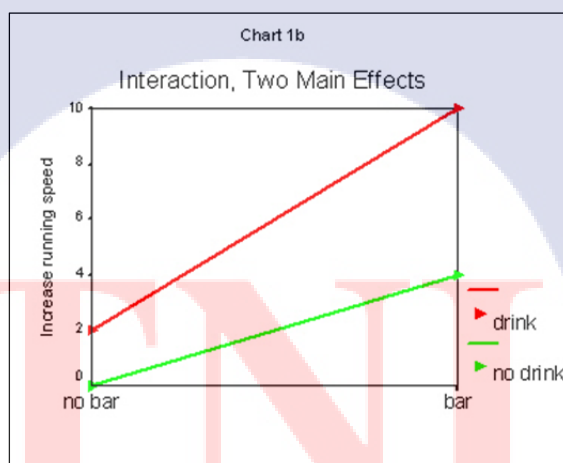
3) ผลกระทบร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย (Two-Factors or 3-Ways Interaction) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณา 3 ปัจจัยพร้อมกัน ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม ABC

โดยทั่วไปผู้ทดลองจะให้ความสำคัญแก่การศึกษาผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยเท่านั้น เนื่องจาก ผลกระทบร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย มีค่าน้อยมากจึงไม่นิยมนำมาพิจารณา [23]

ในการพิจารณาผลปัจจัยร่วมสามารถใช้กราฟแสดงผลกระทบรวม (Interaction Plot) ถ้าเส้นกราฟขนานกัน (Parallel) แสดงว่า ค่าต่างระหว่างเส้นมีค่าเท่ากันหรือคงที่ หมายถึง ไม่พบผลกระทบรวม (No Interaction) ดังรูปที่ 2.10 และในกรณีเส้นกราฟไม่ขนานกัน หรือ มีจุดตัดกัน หมายถึง มีผลกระทบรวม (Interaction) [24] ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงกรณีไม่พบผลกระทบรวมระหว่างปัจจัย (No Interaction)

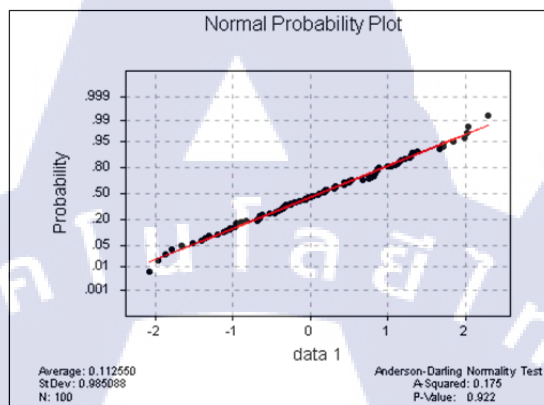


รูปที่ 2.11 กราฟแสดงกรณีพบผลกระทบรวมระหว่างปัจจัย (Interaction)

2.1.4.3 การตรวจสอบรูปแบบเหมาะสมสำหรับการตรวจสอบรูปแบบจำลองสำหรับการทดลองแฟคทอเรียล

1) การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ

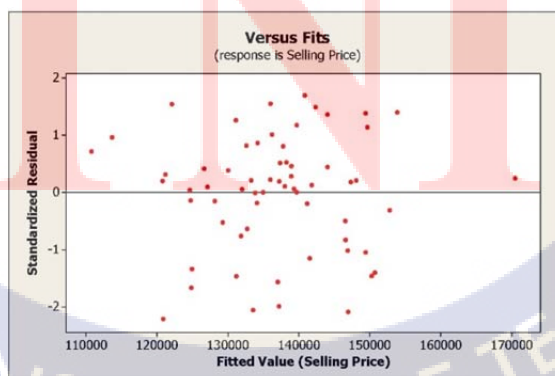
ใช้การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าความผิดพลาด (Residuals) ถ้าข้อสมมติมีความถูกต้อง การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟดังกล่าวควรมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่าข้อมูลมีการกระจายตัวปกติ [25] ดังรูปที่ 2.12



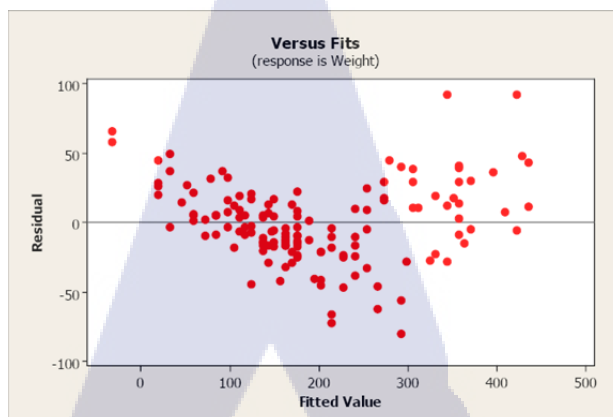
รูปที่ 2.12 การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ของข้อมูลที่มีการกระจายตัวปกติ

2) การตรวจสอบความแปรปรวนที่คงที่

ใช้การพล็อตของค่าความผิดพลาด (Residuals Plot) ถ้าข้อสมมติมีความแปรปรวนคงที่ การนำเสนอข้อมูลของค่าความผิดพลาดควรมีแนวโน้มที่มีการกระจายแบบสุ่ม (ไม่มีรูปแบบ) [26] ดังรูปที่ 2.13 หากพล็อตของค่าความผิดพลาด (Residuals Plot) มีการกระจายตัวเป็นรูปทรง หมายถึง ข้อสมมติมีความแปรปรวนไม่คงที่ [27] ดังรูปที่ 2.14



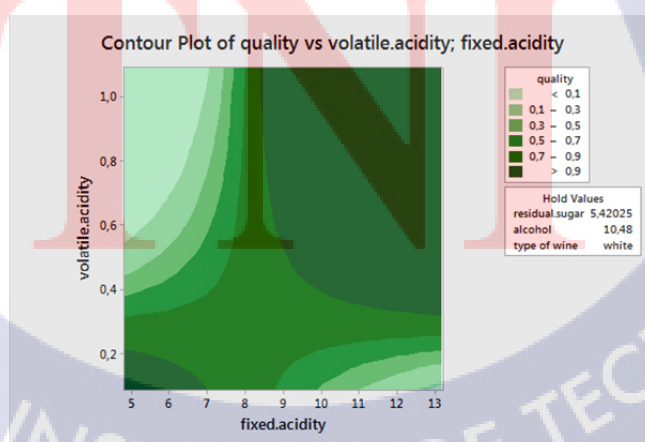
รูปที่ 2.13 การพล็อตของค่าความผิดพลาด (Residuals Plot) ของข้อมูลที่มีความแปรปรวนคงที่



รูปที่ 2.14 การพล็อตของค่าความผิดพลาด (Residuals Plot) ของข้อมูลที่มีความแปรปรวนไม่คงที่

2.1.4.4 การวิเคราะห์ตัวแปรโดยวิธีการหาพื้นผิวสะท้อน

วิธีการหาพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Methodology) เป็นวิธีการที่ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Condition) ของระบบหรือกระบวนการผลิตโดยอาศัยการสร้างแบบจำลอง (Mathematical Model) และการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ ผลตอบสนอง (Response) ของปัญหาเป็นความสัมพันธ์ หรือฟังก์ชันของหลายปัจจัยหรือตัวแปรอิสระโดยมีเป้าหมายเพื่อหาระดับของปัจจัยต่างๆ เพื่อให้ผลตอบสนองมีค่าเหมาะสมที่สุด ซึ่งโดยปกติจะหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของระดับปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการที่ทำให้ค่าเฉลี่ย (Mean) ของผลตอบสนองมีค่าเหมาะสมที่สุดซึ่งสภาวะที่หาได้จะเหมาะสมกับกรณีที่มีความแปรปรวน (Variance) ของผลตอบสนองมีค่าน้อยและมีค่าคงที่ แต่ในกรณีที่ความแปรปรวนของผลตอบสนองมีค่าไม่คงที่ จะต้องใช้วิธีอื่นๆ มาพิจารณาเพิ่มเติมในการแก้ไขปัญหาในกระบวนการต่อไป [28] ตัวอย่างการสร้างพื้นผิวสะท้อน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การสร้างพื้นผิวสะท้อน

2.2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสาร งานวิจัยและกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ ได้มีการสรุปสาระสำคัญ และวิธีการทดลองที่เป็นประโยชน์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 เอกสาร งานวิจัย และกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย

ที่มา	สาระสำคัญ/บทสรุป	ระเบียบวิธีการที่สนใจ	ประเด็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย
D. Kim et al. [29]	จากการศึกษางานวิจัยฉบับนี้ พบว่ามีการพิจารณาการใช้สารเคมีที่ใช้สำหรับยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการกรองน้ำจากระบบรีเวิร์ส ออสโมซิสใช้ในการกรองน้ำทะเล (Sea Water Reverse Osmosis : SWRO) งานวิจัยนี้ได้แสดงเกี่ยวกับการเปรียบเทียบสารเคมียับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีสารประกอบของคลอไรด์ โดยเปรียบเทียบควบคุมกับการเกิดตะกอนเพื่อดูประสิทธิภาพของสารเคมี และไม่ทำลายพื้นที่ผิวสัมผัสของเมมเบรน	1. การเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารยับยั้งจุลินทรีย์ เพื่อเทียบกับการเกิดตะกอนภายในระบบ รีเวิร์สออสโมซิส 2. ขั้นตอนการดำเนินการเก็บข้อมูลและศึกษาผลกระทบต่อเมมเบรนในกระบวนการกรอง	1. การพิจารณากระบวนการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของสารยับยั้งจุลินทรีย์ควบคู่กับสารป้องกันตะกอน 2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกรองของเมมเบรนและผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ได้ขึ้นขณะดำเนินการทดลอง

ตารางที่ 2.3 เอกสาร งานวิจัย และกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

ที่มา	สาระสำคัญ/บทสรุป	ระเบียบวิธีการที่สนใจ	ประเด็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย
M. Al-Shammiri et al [30]	วิธีการที่จะทำให้กระบวนการกรองน้ำรีเวอร์ส ออสโมซิสโดยใช้เมมเบรนมีประสิทธิภาพสูงสุดคือ การปรับปรุงคุณภาพของน้ำที่จ่ายเข้าระบบเบื้องต้นเพื่อป้องกันการสะสมของตะกอนและจุลินทรีย์ภายในระบบ งานวิจัยนี้ได้ทดลองโดยการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจุลินทรีย์และสารป้องกันตะกอนที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ เพื่อหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดกับการเดินเครื่อง เพื่อประเมินคุณภาพการใช้งานของสารเคมีทั้งสองชนิดนี้	1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้สารเคมียับยั้งการเกิดจุลินทรีย์และสารป้องกันตะกอนในชุดการทดลองก่อนที่จะเริ่มเดินเครื่องเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายที่เกิดขึ้น 2. การเลือกใช้ฟาร์มิเตอร์ที่จะนำมาเป็นตัวชี้บ่งในกระบวนการ คือ ร้อยละการกักกันของเกลือ ค่าความดันที่เกิดขึ้นภายในระบบ ค่าความนำไฟฟ้า และอัตราการไหลของน้ำที่ผลิตได้จากเมมเบรน โดยนำมาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของสารเคมีและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ	การเลือกเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจุลินทรีย์และสารป้องกันตะกอนที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ในการทดลองการบ่งชี้ประสิทธิภาพของการทดลองผ่านทางประสิทธิภาพของระบบและค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้

ตารางที่ 2.3 เอกสาร งานวิจัย และกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

ที่มา	สาระสำคัญ/บทสรุป	ระเบียบวิธีการที่สนใจ	ประเด็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย
E. E. A. Ghafour [31]	งานวิจัยฉบับนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารป้องกันตะกรันที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิสเพื่อยับยั้งไม่ให้เกิดตะกรันสะสมภายในระบบ โดยใช้การวิเคราะห์ค่า pH ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการปรับสภาพของน้ำภายในระบบ โดยแสดงประสิทธิภาพในเรื่องของอัตราการไหล และคุณภาพของน้ำกรองที่มีคุณภาพดีขึ้น	การใช้หลักการปรับค่า pH ของสารป้องกันตะกรันภายในระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส	คุณสมบัติพื้นฐานและการทำงานของสารป้องกันตะกรันที่ใช้ปรับสภาพน้ำในกระบวนการรีเวิร์ส ออสโมซิส
A. Al-Rammah [32]	จากการศึกษางานวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาเพื่อประเมินส่วนประกอบสารเคมีที่ใช้เป็นวัตถุดับในสารป้องกันตะกรันที่ใช้เชิงพาณิชย์เพื่อหาสารป้องกันตะกรันที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการบำบัด มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์และมีความปลอดภัยในการใช้งานโดยศึกษาในชุดเมมเบรนสำหรับทดสอบ โดยใช้การดูดตันของเมมเบรนเป็นตัวชี้วัด (Foulant) ประสิทธิภาพของเมมเบรน	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารป้องกันตะกรันที่มีส่วนผสมของสารประกอบต่างๆ ที่ใช้ปรับคุณภาพน้ำในระบบรีเวิร์ส ออสโมซิสเพื่อให้มีคุณภาพเหมาะสม โดยการทดลองในระบบทดสอบก่อนที่จะใช้จริงภายในอุตสาหกรรม	1. การวิเคราะห์ตัวอย่างของน้ำก่อนและหลังเข้าระบบรีเวิร์ส ออสโมซิสเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพ 2. การวิเคราะห์ตัวอย่างของผลึกที่อยู่บนผิวสัมผัสของเมมเบรนเพื่อดูองค์ประกอบของธาตุและสารประกอบโดยหลักการ Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS)

ตารางที่ 2.3 เอกสาร งานวิจัย และกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

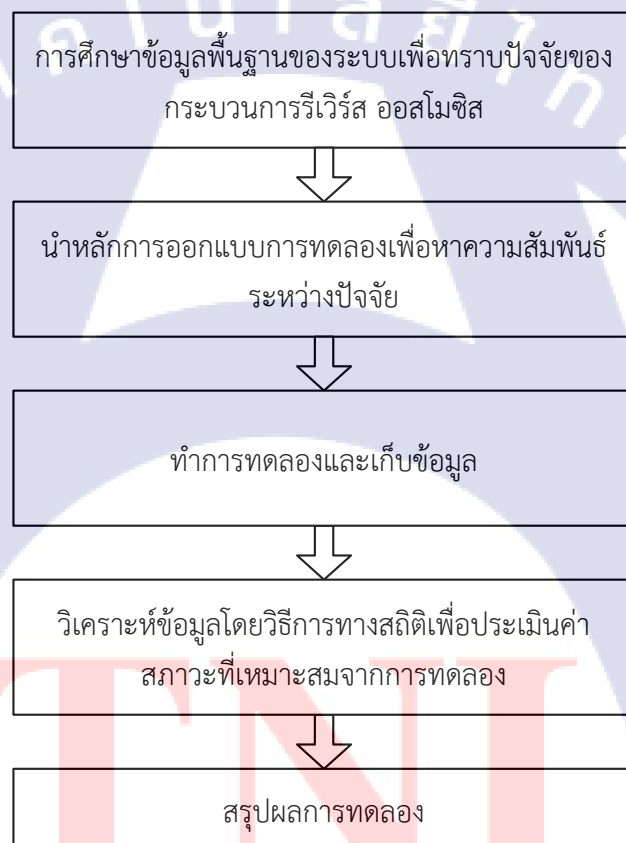
ที่มา	สาระสำคัญ/บทสรุป	ระเบียบวิธีการที่สนใจ	ประเด็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย
เทิดไทย เทิดธรรมวงศ์ [33]	จากการศึกษางานวิจัยฉบับนี้ พบว่าได้มีการนำหลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มาใช้ในการหาค่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการล้างเมมเบรนด้วยสารเคมีพีเอชสูงเพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพกรองและปริมาณการกรองในรูปของร้อยละการกักกันของเกลือ (%Salt Rejection) และ %Recovery	1. การใช้หลักการออกแบบการทดลองที่ใช้หลักการทางสถิติเป็นเครื่องมือในการช่วยวิเคราะห์และกรองปัจจัยที่เกี่ยวข้องและหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นร่วมระหว่างปัจจัยที่สนใจจะศึกษา 2. การทดลองซ้ำเพื่อทดสอบสมมุติฐานจากการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสถานะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการกรองน้ำที่ใช้จริง	การทดสอบสมมุติฐานในกระบวนการผลิตน้ำรีเวิร์ส ออสโมซิสที่ใช้จริงในอุตสาหกรรมเนื่องจากความเหมาะสมทางด้านเวลา

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยจะเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเข้าสู่ระบบรีเวิร์สออสโมซิสและน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบรีเวิร์สออสโมซิส เพื่อนำมาทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอนและสารยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์ภายในระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลกระทบระหว่างปัจจัย โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 เตรียมวัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

- 1) pH Meter (Yokogawa, Model : PH72)



รูปที่ 3.2 pH Meter

- 2) Conductivity Meter (Oakton, Model : CON400)



รูปที่ 3.3 Conductivity Meter

- 3) สารป้องกันตะกรัน (T-001 Antiscale R.O., Manufacturer: Teep Intertech)
- 4) สารยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์ (T-002 Antislime R.O., Manufacturer: Teep Intertech)
- 5) ระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส ที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังนี้
 - Reverse Osmosis Unit RO-MD Model
 - Pre Microfilter (5 μ m)
 - ถังบรรจุสารป้องกันตะกรัน ปริมาตร 400 ลิตร

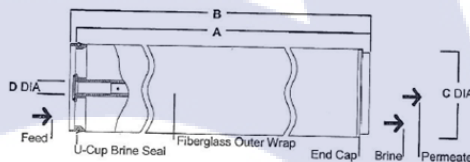
- ถังบรรจุสารยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์ ปริมาตร 100 ลิตร
 - High Pressure Pump
 - High Pressure Vessel บรรจุเมมเบรนไว้ภายใน ประกอบด้วย 5 Vessel แต่ละ Vessel บรรจุเมมเบรนละ 4 ท่อน (Module)
 - เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow Meter) และวาล์วปรับอัตราการไหลที่ค่าควบคุมระหว่าง 15-17 m³/Hr
 - ระบบควบคุมอุณหภูมิ ระหว่าง 25-32 องศาเซลเซียส
 - เมมเบรนที่ใช้ในการทดลอง
- เมมเบรน FILMTECTM ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ความยาว 40 นิ้ว รุ่น LE-440i มีลักษณะดังรูปที่ 3.4 และมีคุณสมบัติควบคุมในการทำงาน [34] ดังตารางที่ 3.1

Product Specifications

Product	Part number	Active area ft ² (m ²)	Feed spacer thickness (mil)	Permeate flow rate gpd (m ³ /d)	Stabilized salt rejection (%)	Minimum salt rejection (%)
---------	-------------	--	--------------------------------	---	----------------------------------	-------------------------------

1. Permeate flow and salt rejection based on the following standard conditions: 2,000 ppm NaCl, 150 psi (10.3 bar), 77°F (25°C), pH 8 and 15% recovery.
2. For comparison, the LE-440i will have a permeate flow of 13,400 gpd (51 m³/d) and stabilized salt rejection of 99.3% when normalized to a feed solution of 1,500 ppm NaCl as used by some manufacturers.
3. Flow rates for individual elements may vary but will be no more than 15% below the value shown.
4. Sales specifications may vary as design revisions take place.
5. Active area guaranteed $\pm 3\%$. Active area as stated by FilmTec is not comparable to nominal membrane area often stated by some manufacturers. Measurement method described in Form No. 605-00434.

Figure 1



Product	Dimensions – inches (mm)			
	A	B	C	D
LE-440i	40.0 (1,016)	40.5 (1,029)	7.9 (201)	1.125 ID (29)

1. Refer to FilmTec Design Guidelines for multiple-element applications and recommended element recovery rates for various feed sources.
 2. Element to fit nominal 8.0-inch (203 mm) I.D. pressure vessel.
 3. Individual elements with μ EC endcaps measure 40.5 inches (1,029 mm) in length (B). The net length (A) of the elements when connected is 40.0 inches (1,016 mm).
 1 inch = 25.4 mm

รูปที่ 3.4 ลักษณะของเมมเบรน FILMTECTM รุ่น LE-440i

ตารางที่ 3.1 ลักษณะและคุณสมบัติควบคุมการใช้งานของเมมเบรน

หัวข้อ	คุณสมบัติควบคุมการใช้งานของเมมเบรน
Membrane Type	Polyamide Thin-Film Composite
Maximum Operating Temperature	113 °F (45 °C)
Maximum Operating Pressure	600 psig (41 bar)
Maximum Pressure Drop	15 psig (1.0 bar)
pH Range, Continuous Operation	2-11

ตารางที่ 3.1 ลักษณะและคุณสมบัติควบคุมการใช้งานของเมมเบรน (ต่อ)

หัวข้อ	คุณสมบัติควบคุมการใช้งานของเมมเบรน
pH Range, Short-Term Cleaning	1-13
Maximum Feed Flow	85 gpm (19 m ³ /Hr)
Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
Free Chlorine Tolerance	< 0.1 ppm

3.1.2 การออกแบบการทดลอง

3.1.2.1 เลือกปัจจัยและขอบเขต

ปัจจัยที่จะนำมาศึกษาคือ ปัจจัยที่มีผลอย่างน้อยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกรองและปริมาณการกรองของเมมเบรนในกระบวนการรีเวิร์ส ออสโมซิส คือ ค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอน (T-001 Antiscale R.O.) และค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์ (T-002 Antislime R.O.) โดยได้กำหนดปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปัจจัย ระดับ และขอบเขตสำหรับกระบวนการศึกษาการบำบัดทางเคมีของน้ำในระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส

ปัจจัย	ต่ำ	กลาง	สูง	หน่วย
ค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอน	10	20	30	% โดยปริมาตร
ค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจุลินทรีย์	10	20	30	% โดยปริมาตร

จากตารางที่ 3.2 ขอบเขตของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่ใช้กำหนดค่าในแต่ละระดับ ผู้วิจัยได้กำหนดตามคำแนะนำของผู้ออกแบบระบบรีเวิร์สออสโมซิสของโรงผลิตสารกึ่งตัวนำได้ออกแบบเอาไว้ที่ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอนและค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจุลินทรีย์ที่ 20% โดยปริมาตร และปรับค่าความเข้มข้นตามความเหมาะสมที่สามารถจะทำได้ในการปรับค่าความเข้มข้นของสารเคมี

3.1.2.2 เลือกตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองที่ใช้เป็นตัวชี้วัดคือ ประสิทธิภาพในการกรองในรูปแบบของร้อยละการกักกันของเกลือ (%Salt Rejection) และร้อยละปริมาณการกรองในรูปแบบ % Recovery โดยเปรียบเทียบที่ค่ามาตรฐานตามที่ระบบรีเวิร์สออสโมซิสได้มีการออกแบบมาเปรียบเทียบกับค่าปัจจัยในแต่ละระดับที่ได้คัดเลือกไว้

3.1.2.3 เลือกรูปแบบการทดลอง

ปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการมี 3 ปัจจัย และต้องการที่จะศึกษาจุดกึ่งกลางแต่ละปัจจัย ผู้วิจัยได้เลือกรูปแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 3 ระดับ 3 ปัจจัย

ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดลอง

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	% ค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกรัน (T-001) โดยปริมาตร	% ค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจุลินทรีย์ (T-002) โดยปริมาตร	อัตราการไหล (m ³ /Hr)
1	30	10	10	19
2	32	10	20	17
3	40	20	20	15
4	5	10	20	17
5	49	30	20	15
6	8	10	30	17
7	23	30	20	17
8	9	10	30	19
9	10	20	10	15
10	46	30	10	15
11	13	20	20	15
12	15	20	20	19
13	24	30	20	19
14	36	10	30	19
15	1	10	10	15
16	21	30	10	19
17	6	10	20	19
18	51	30	20	19
19	20	30	10	17
20	3	10	10	19

ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดลอง (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	% ค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกรัน (T-001) โดยปริมาตร	% ค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจุลินทรีย์ (T-002) โดยปริมาตร	อัตราการไหล (m ³ /Hr)
21	22	30	20	15
22	17	20	30	17
23	29	10	10	17
24	50	30	20	17
25	54	30	30	19
26	45	20	30	19
27	16	20	30	15
28	39	20	10	19
29	25	30	30	15
30	2	10	10	17
31	18	20	30	19
32	47	30	10	17
33	27	30	30	19
34	41	20	20	17
35	52	30	30	15
36	48	30	10	19
37	4	10	20	15
38	44	20	30	17
39	53	30	30	17
40	7	10	30	15
41	33	10	20	19
42	12	20	10	19
43	11	20	10	17
44	43	20	30	15
45	34	10	30	15

ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดลอง (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	% ค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกั่ว (T-001) โดยปริมาตร	% ค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจุลินทรีย์ (T-002) โดยปริมาตร	อัตราการไหล (m^3/Hr)
46	35	10	30	17
47	31	10	20	15
48	14	20	20	17
49	42	20	20	17
50	37	20	10	15
51	38	20	10	17
52	28	10	10	15
53	26	30	30	15
54	19	30	10	17

3.2 ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

3.2.1 การทดลองและเก็บข้อมูลในแต่ละปัจจัย

3.2.1.1 จัดบันทึกข้อมูลการเดินระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส (ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำก่อนเข้าระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส)

3.2.1.2 ผสมสารเคมีตามค่าความเข้มข้นที่ต้องการ

3.2.1.3 เปิดเดินเครื่องระบบปั๊มจ่ายสารเคมีเข้าสู่ระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส

3.2.1.4 จัดบันทึกข้อมูลการเดินระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส (ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำหลังผ่านระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าที่ค่าความเข้มข้นแต่ละค่าของสารยับยั้งจุลินทรีย์ และสารป้องกันตะกั่วมาประมวลผลโดยใช้โปรแกรม MINITAB RELEASE 16 โดยมีวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ดังสมการที่ 3.1 ดังนี้

3.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (3.1)$$

โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองโดยทั่วไปมักจะตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์ค่าตัวแปร (y) มีการกระจายตัวแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ซึ่งต้องให้ค่าความเคลื่อน (ε) มีการกระจายตัวแบบปกติ และต้องมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระ ซึ่งสามารถตรวจสอบค่าความเคลื่อนโดย

3.3.1.1 การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

3.3.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระโดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot)

3.3.1.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) เพื่อดูค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในแต่ละระดับปัจจัย ถ้ารูปร่างการกระจายตัวของข้อมูลที่ออกมาไม่แสดงลักษณะเพิ่มขึ้น หรือลดลงของความแปรปรวนแสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability)

3.3.1.4 การทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

การทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีความเหมาะสมมากเพียงใด ในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าต่ำ แสดงว่าข้อมูลที่นำมาใช้ยังมีความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือยังมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ ซึ่งสามารถแก้ไขได้จาก เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง แล้วนำมาออกแบบการทดลองใหม่ โดยเพิ่มหลักการบล็อก (Blocking) เพื่อลดผลของปัจจัยรบกวน

3.3.1.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม MINITAB RELEASE 16 ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองและวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยคำนวณจากค่า P-Value เพื่อเปรียบเทียบกับค่า α ที่ในงานวิจัยนี้กำหนดที่ $\alpha = 0.05$ ในกรณีที่ P-Value ที่ประเมินผลมีค่ามากกว่าค่า α สรุปได้ว่าความแตกต่างของความแปรปรวนนั้นไม่นัยสำคัญทางสถิติ แต่ในกรณีที่

P-Value ที่ประเมินผลมีค่าน้อยกว่าค่า α สรุปได้ว่าความแตกต่างของความแปรปรวนนั้นมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.3.1.6 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรตอบสนอง (Response Function)

การสร้างสมการทำนายเพื่อใช้ในการทำนายประสิทธิภาพการคำนวณประสิทธิภาพของการกรองของเมมเบรนสามารถแสดงได้จากค่าร้อยละของการกักกันเกลือ (%Salt Rejection) ที่มีค่าที่เหมาะสมที่สุดจากค่าความเข้มข้นแต่ละค่าของสารกำจัดตะไคร่ และสารกำจัดตะกรัน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) ดังสมการที่ 3.2

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + \epsilon \quad (3.2)$$

เมื่อ Y = ร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรน

b_0 = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

b_i = ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรงของตัวแปร

b_{ii} = สัมประสิทธิ์เส้นโค้งของตัวแปร

b_{ij} = สัมประสิทธิ์ของปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ϵ = สัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง

X_i = ปัจจัยที่ต้องการศึกษา

3.3.1.7 การสร้างกราฟโครงร่าง (Contour Plot) และพื้นผิวสะท้อน (Surface Plot)

การสร้างกราฟโครงร่างและพื้นผิวสะท้อนของหลังจากวิเคราะห์ความแปรปรวนและตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองของค่าประสิทธิภาพการคำนวณประสิทธิภาพของการกรองของเมมเบรนขึ้นเทียบกับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือ ค่าความเข้มข้นแต่ละค่าของสารกำจัดตะไคร่ และสารกำจัดตะกรันด้วยโปรแกรม MINITAB RELEASE 16

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรอง

ผลการวิจัยนี้ได้จากการทดลอง โดยการนำปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย คือ 1) อัตราการไหลของน้ำที่ป้อนเข้าระบบบริเวร์ส ออสโมซิส 2) ค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอน (T-001) โดยปริมาตร และ 3) ค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์ (T-002) โดยปริมาตร ไปออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มจำนวน 3 ระดับ 3 ปัจจัย (Full Factorial Experiment Design) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลอย่างน้อยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกรอง โดยเก็บข้อมูลค่าความนำไฟฟ้าของน้ำก่อนเข้าสู่ระบบบริเวร์สออสโมซิสและน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบริเวร์ส ออสโมซิสตามการออกแบบการทดลองครบทั้ง 54 การทดลอง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพการกรอง ดังตารางที่ 4.1

TNI

TAHT - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ตารางที่ 4.1 ผลของประสิทธิภาพการกรอง

ลำดับการ ทดลอง	ลำดับการ ทดลองซ้ำ	EC _{Feed} (μS/cm)	% ค่าความเข้มข้นของสาร ป้องกันตะกอน (T-001) โดยปริมาตร	% ค่าความเข้มข้นของสาร ยับยั้งจุลินทรีย์ (T-002) โดยปริมาตร	อัตรา การไหล (m ³ /Hr)	EC _{Product} (μS/cm)	% ประสิทธิภาพ การกรอง
1	30	231	10	10	19	8.52	97.3889
2	32	335	10	20	17	9.94	97.1661
3	40	350	20	20	15	7.97	97.5965
4	5	297	10	20	17	8.03	97.8273
5	49	298	30	20	15	8.41	97.2963
6	8	276	10	30	17	7.08	96.9570
7	23	286	30	20	17	7.21	97.3357
8	9	299	10	30	19	7.95	97.4348
9	10	305	20	10	15	6.23	97.3411
10	46	296	30	10	15	6.97	97.9574
11	13	296	20	20	15	6.27	98.2130
12	15	314	20	20	19	8.75	98.1207
13	24	272	30	20	19	7.19	97.8818
14	36	364	10	30	19	8.89	97.2148
15	1	288	10	10	15	7.52	97.2134

ตารางที่ 4.1 ผลของประสิทธิภาพการกรอง (ต่อ)

ลำดับการ ทดลอง	ลำดับการ ทดลองคู่	EC _{Feed} (μS/cm)	% ค่าความเข้มข้นของสาร ป้องกันตะกอน (T-001) โดยปริมาตร	% ค่าความเข้มข้นของสาร ยับยั้งจุลินทรีย์ (T-002) โดยปริมาตร	อัตรา การไหล (m ³ /Hr)	EC _{Product} (μS/cm)	% ประสิทธิภาพ การกรอง
16	21	302	30	10	19	7.01	97.8187
17	6	279	10	20	19	8.49	98.0762
18	51	339	30	20	19	9.65	97.3221
19	20	297	30	10	17	8.11	97.0997
20	3	399	10	10	19	9.59	97.2694
21	22	283	30	20	15	8.08	97.6788
22	17	315	20	30	17	6.06	97.1449
23	29	222	10	10	17	7.03	97.4790
24	50	317	30	20	17	8.52	97.3566
25	54	382	30	30	19	8.99	97.2299
26	45	292	20	30	19	6.13	97.6881
27	16	386	20	30	15	8.42	97.0000
28	39	385	20	10	19	5.38	97.1780
29	25	274	30	30	15	7.59	96.8333
30	2	295	10	10	17	8.36	96.3117

ตารางที่ 4.1 ผลของประสิทธิภาพการกรอง (ต่อ)

ลำดับการ ทดลอง	ลำดับการ ทดลองคู่	EC _{Feed} (μS/cm)	% ค่าความเข้มข้นของสาร ป้องกันตะกอน (T-001) โดยปริมาตร	% ค่าความเข้มข้นของสาร ยับยั้งจุลินทรีย์ (T-002) โดยปริมาตร	อัตรา การไหล (m ³ /Hr)	EC _{Product} (μS/cm)	% ประสิทธิภาพ การกรอง
31	18	298	20	30	19	7.98	96.6203
32	47	299	30	10	17	8.34	97.0328
33	27	398	30	30	19	9.62	97.5829
34	41	383	20	20	17	6.78	97.4139
35	52	295	30	30	15	6.92	97.0451
36	48	324	30	10	19	7.83	97.5577
37	4	388	10	20	15	8.43	97.4058
38	44	301	20	30	17	8.75	98.1325
39	53	299	30	30	17	7.09	98.6026
40	7	286	10	30	15	7.62	97.7229
41	33	398	10	20	19	9.62	98.2298
42	12	323	20	10	19	6.07	97.8220
43	11	324	20	10	17	5.79	97.6667
44	43	301	20	30	15	8.75	97.0930
45	34	302	10	30	15	7.81	97.9007

ตารางที่ 4.1 ผลของประสิทธิภาพการกรอง (ต่อ)

ลำดับการ ทดลอง	ลำดับการ ทดลองคู่	EC _{Feed} (μS/cm)	% ค่าความเข้มข้นของสาร ป้องกันตะกอน (T-001) โดยปริมาตร	% ค่าความเข้มข้นของสาร ยับยั้งจุลินทรีย์ (T-002) โดยปริมาตร	อัตรา การไหล (m ³ /Hr)	EC _{Product} (μS/cm)	% ประสิทธิภาพ การกรอง
46	35	288	10	30	17	8.51	97.6453
47	31	266	10	20	15	8.99	97.2107
48	14	284	20	20	17	7.91	97.5833
49	42	382	20	20	19	8.32	97.1779
50	37	345	20	10	15	8.95	97.3123
51	38	317	20	10	17	5.92	97.1534
52	28	236	10	10	15	6.66	97.6542
53	26	388	30	30	15	8.97	97.6288
54	19	291	30	10	17	8.44	97.6466

เมื่อได้ค่าประสิทธิภาพการกรอง ผู้ศึกษาค้นคว้าได้เลือกใช้โปรแกรม MINITAB RELEASE 16 เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลอย่างนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการกรอง โดยนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาค่า P-value ซึ่งได้ผลวิเคราะห์ข้อมูล ดังรูปที่ 4.1

General Linear Model: %Salt rejection versus % T-001, % T-002, Flow rate

Factor	Type	Levels	Values
%T-001	fixed	3	10, 20, 30
%T-002	fixed	3	10, 20, 30
Flow rate	fixed	3	15, 17, 19

Analysis of Variance for %Salt rejection, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
%T-001	2	12.7554	12.7554	6.3777	10.81	0.000
%T-002	2	1.2199	1.2199	0.6100	1.03	0.369
Flow rate	2	0.1324	0.1324	0.0662	0.11	0.894
%T-001*%T-002	4	2.8222	2.8222	0.7055	1.20	0.335
%T-001*Flow rate	4	0.5078	0.5078	0.1270	0.22	0.928
%T-002*Flow rate	4	0.7217	0.7217	0.1804	0.31	0.872
%T-001*%T-002*Flow rate	8	2.3286	2.3286	0.2911	0.49	0.850
Error	27	15.9367	15.9367	0.5902		
Total	53	36.4248				

S = 0.768276 R-Sq = 56.25% R-Sq(adj) = 14.12%

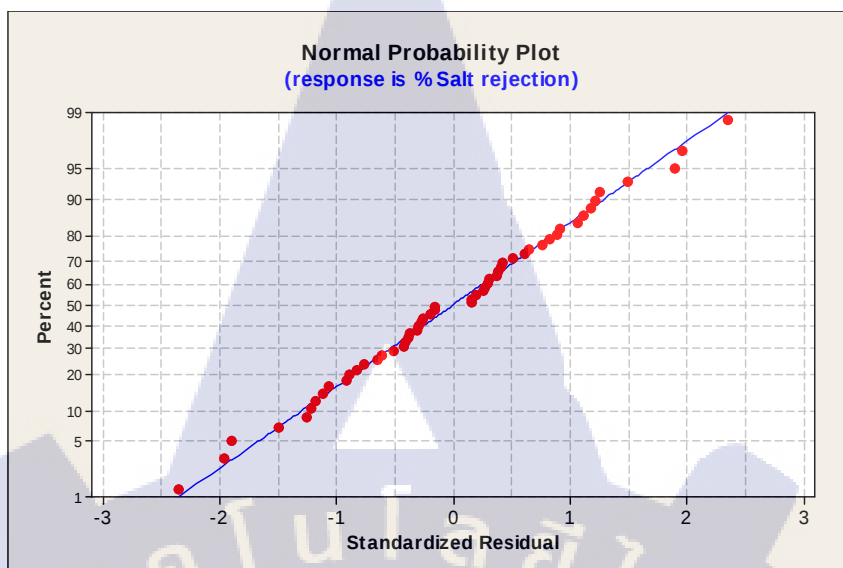
รูปที่ 4.1 ค่า P-Value ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่า P-Value ของปัจจัยจะต้องมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกรองในระดับที่มีนัยสำคัญ คือ % ค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอนโดยปริมาตร (T-001)

4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

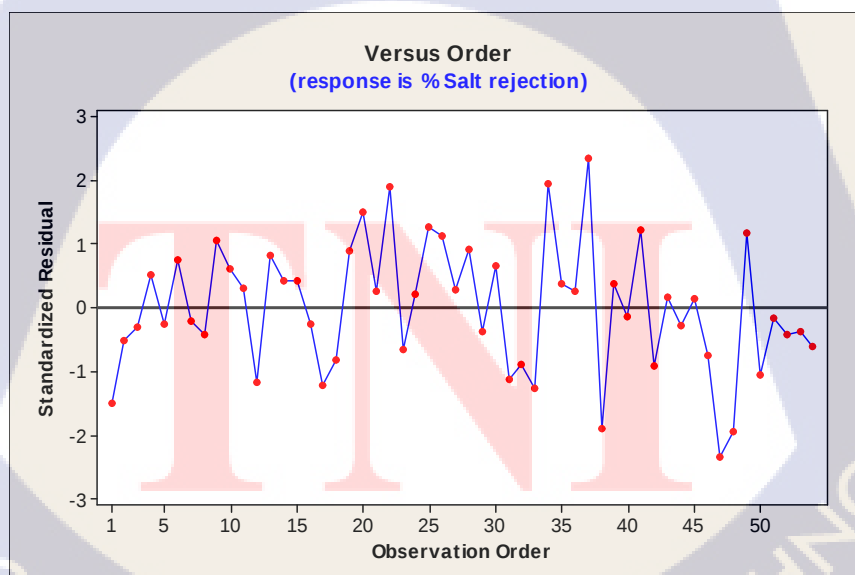
การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ มีวิธีการ ดังนี้

4.2.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เป็นการตรวจสอบการเรียงตัวของ Residual ของข้อมูล จากรูปที่ 4.2 พบว่า Residual จากผลการทดลองค่าประสิทธิภาพของการกรองส่วนใหญ่อยู่บนเส้นตรง แสดงว่ามีการกระจายตัวแบบปกติ



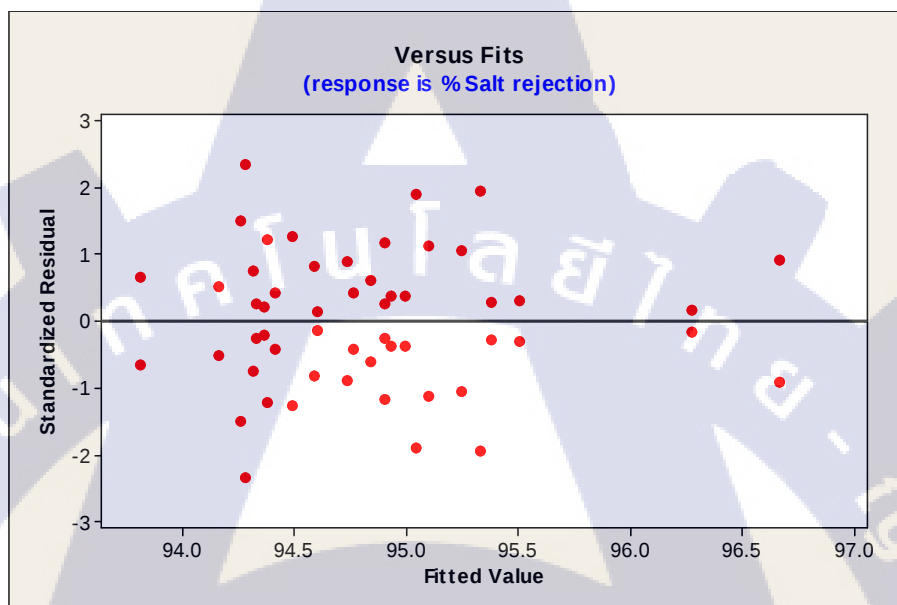
รูปที่ 4.2 การกระจายแบบแจกแจงปกติของ Residual ของประสิทธิภาพการกรอง

4.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล จากรูปที่ 4.3 พบว่า Residual ของผลการทดลองค่าประสิทธิภาพการกรองมีการกระจายตัวแบบสุ่ม และไม่มีแนวโน้ม แสดงว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.3 แผนภูมิการกระจายของ Residual กับลำดับของข้อมูลประสิทธิภาพการกรอง

4.2.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระดับปัจจัย จากรูปที่ 4.4 พบว่า Residual ของผลการทดลองค่าประสิทธิภาพการกรองมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งด้านบวก และด้านลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 4.4 แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระดับปัจจัยของประสิทธิภาพการกรอง

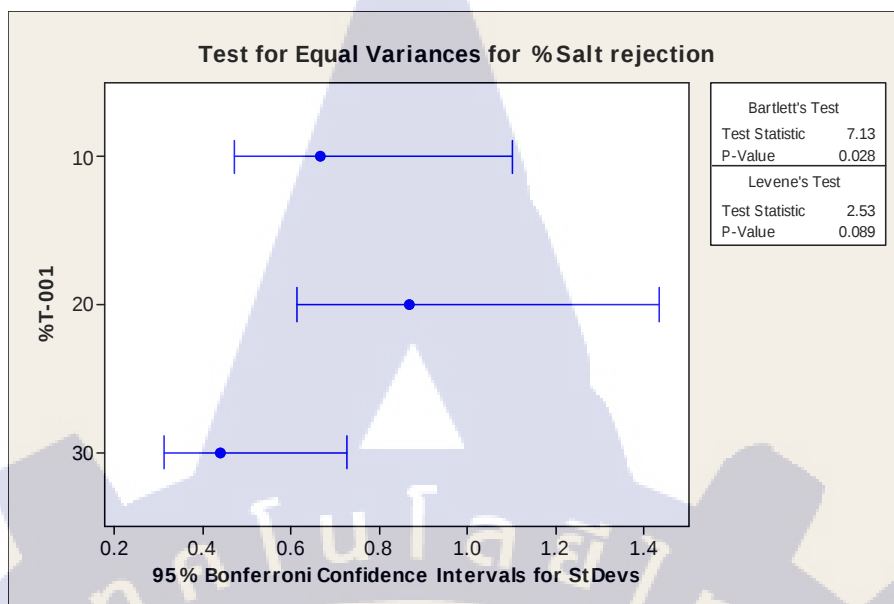
4.3 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square) ของการทดลองครั้งนี้ อ้างอิงจากรูปที่ 4.1 มีค่าเท่ากับ 56.25%

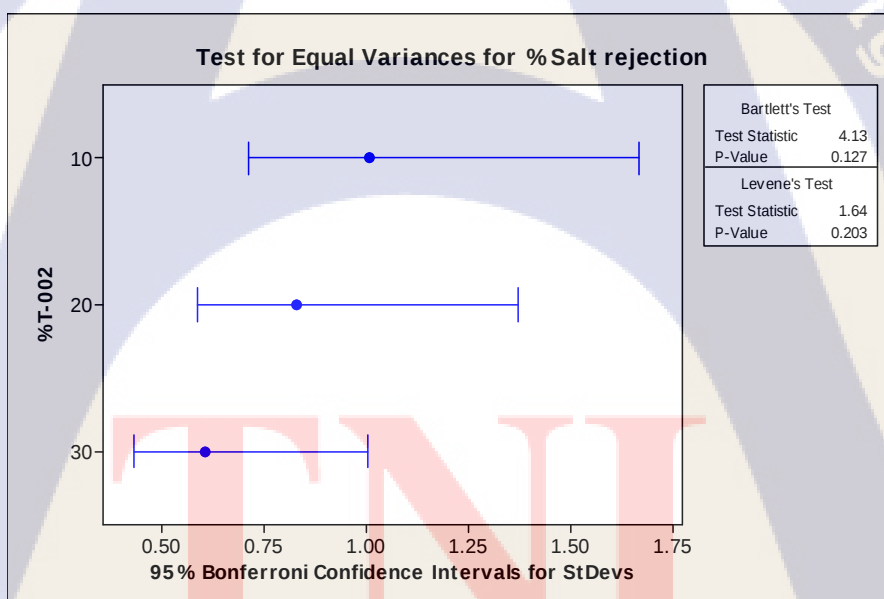
4.4 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อเป็นการตรวจสอบแหล่งแปรผันของแบบจำลอง โดยจะคำนวณค่า P-Value เพื่อเปรียบเทียบกับค่า α ในการวิจัยนี้ได้กำหนดไว้ที่ 0.05

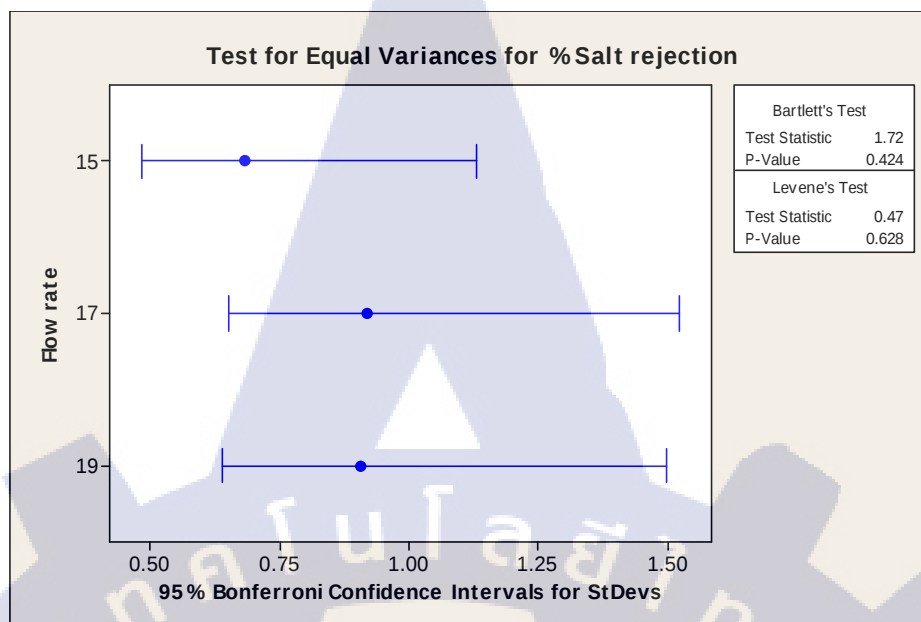
การทดสอบความแปรปรวนโดยใช้ Test of Equal Variance ซึ่งได้กราฟและค่า P-Value ของข้อมูล ดังรูป พบว่าค่า P-Value ในส่วนของ Levene's Test และ Bartlett's Test มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนจากรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.5 การทดสอบความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกรัน (T-001)



รูปที่ 4.6 การทดสอบความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจุลินทรีย์ (T-002)



รูปที่ 4.7 การทดสอบความแปรปรวนของอัตราการไหลของน้ำ

4.5 สร้างสมการทำนาย

การสร้างสมการทำนาย (Regression) สามารถทำได้โดยการนำปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญจากรูปที่ 4.2 มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพของการกรอง พบว่า ปัจจัยที่มีผลนัยสำคัญ ต่อประสิทธิภาพการกรองคือ ค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอน (T-001) เพียงค่าเดียว จึงทำให้ไม่สามารถสร้างสมการทำนายโดยโปรแกรม MINITAB RELEASE 16 ได้

4.6 สร้างกราฟโครงร่าง

การสร้างกราฟโครงร่าง (Contour plot) สามารถทำได้โดยการนำปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญจากรูปที่ 4.2 มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการกรอง พบว่า ปัจจัยที่มีผลนัยสำคัญ ต่อประสิทธิภาพการกรองคือ ค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกอน (T-001) เพียงค่าเดียว จึงทำให้ไม่สามารถสร้างกราฟโครงร่างโดยโปรแกรม MINITAB RELEASE 16 ได้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ในการวิจัยนี้ ต้องการหาค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกรันและสารยับยั้งการเกิดจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตน้ำจากระบบบรีเวียร์สออสโมซิสโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม MINITAB RELEASE 16 พบว่า ปัจจัยที่มีผลเป็นนัยสำคัญต่อการผลิตน้ำจากระบบบรีเวียร์สออสโมซิส คือ ค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกรันเพียงปัจจัยเดียว ที่ทำให้ค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 การกระจายตัวของแบบจำลองเป็นแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระ และมีความสเถียรของการแปรปรวน แต่ไม่สามารถสร้างสมการทำนายผลตอบแทน และกราฟโครงร่างได้ เนื่องจากปัจจัยที่มีผลเป็นนัยสำคัญมีเพียงปัจจัยเดียว

5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

5.2.1 ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตของระดับปัจจัยคือ ค่าเข้มข้นของค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกรัน (T-001) โดยปริมาตร ที่ 10%, 20%, 30% ค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจุลินทรีย์ (T-002) โดยปริมาตร ที่ 10%, 20%, 30% อัตราการไหลของน้ำที่ 15, 17, 19 m³/Hr ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าค่าที่เหมาะสมจะอยู่นอกเหนือขอบเขตที่กำหนดนี้

5.2.2 ในงานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาการศึกษาเปลี่ยนแปลงของความดันภายในระบบบรีเวียร์สออสโมซิส ซึ่งอาจจะมีผลต่อการทดลองและทำให้เกิดประสิทธิภาพการกรองที่เหมาะสมมากกว่าการศึกษาในครั้งนี้

5.2.3 ในงานวิจัยนี้ได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม MINITAB Release 16 ซึ่งอาจจะมีโปรแกรมอื่น หรือซอฟต์แวร์ของโปรแกรม MINITAB รุ่นอื่นที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้แม่นยำกว่าสำหรับการวิเคราะห์ชุดข้อมูลเดียวกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 งานวิจัยฉบับนี้ได้พบปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลและจำนวนครั้งในการทดลองซ้ำ ทำให้ผลการวิจัยไม่สมบูรณ์เพียงพอ จึงควรที่พิจารณาขอบเขตของระดับปัจจัยในการทดลองเพิ่ม

5.3.2 ตัวแปรที่มีผลต่อการทดลองมีน้อย เนื่องจากสิ่งที่นำมาพิจารณาคือ การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารป้องกันตะกรันและสารยับยั้งจุลินทรีย์เพียงเท่านั้น อาจต้องนำพารามิเตอร์อื่นๆ มาพิจารณาเพิ่มได้แก่ ความดัน อัตราการไหล อุณหภูมิ

5.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อยืนยันประสิทธิภาพการกรองของระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส อาจใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการมาตรวจสอบเพิ่มเติม ได้แก่ การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของตะไคร่และตะกอนบนพื้นผิวของเมมเบรนที่ใช้ในระบบระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส

5.3.4 การติดตามวัดผลการปรับปรุงกระบวนการบางโครงการต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินการ จึงไม่สามารถสรุปผลได้ในการดำเนินการวิจัยฉบับนี้



บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] S. Tan, “*Method for Cleaning Semiconductor Fabrication Equipment Parts*,” [Online]. Available : from <http://www.google.com/patents/US6810887/>. [Accessed : March 15, 2016].
- [2] Sitaraml Industries, “*Membrane*,” [Online]. Available from : <http://www.starkwater.com/solution/latest-update/membrane-polluti/260/>. [Accessed : June 7, 2017].
- [3] E-Learning KMUTT, “*กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis, RO)*,” [Online]. Available from : <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/CHE512/>. [Accessed : 22 เมษายน 2562].
- [4] H. Wakamasu et al., “Introduction of ultra pure water close system into semiconductor plant,” *Special Issue on Global Environment*, vol. 63, no. 3, pp. 45-48, January 1998.
- [5] SUEZ, “*Ultra Pure Water Used in Semiconductor and Pharmaceutical Industries*,” [Online]. Available from : <https://www.suezwaterhandbook.com/processes-and-technologies/treatment-and-conditioning-of-industrial-water/process-water-including-ultrapure-water/ultra-pure-water-used-in-semiconductor-and-pharmaceutical-industries/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [6] แสง เกิดประทุม, *การออกแบบระบบรีเวิร์ส ออสโมซิส*, กรุงเทพฯ : สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2558.
- [7] ESP Water Products, “*How Does Reverse Osmosis Works?*,” [Online]. Available from : <https://www.espwaterproducts.com/understanding-ro/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [8] Water Technology, “*Perth Seawater Desalination Plant*,” [Online]. Available from : <https://www.water-technology.net/project/perth/attachment/perth4/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [9] บริษัท โกชู โคชั่น (ประเทศไทย) จำกัด, *การอบรมเรือระบบน้ำ 2551*, ฉะเชิงเทรา : ส.เอเชียเพรส, 2551.
- [10] A. Bennett, “Water processes and production : high and ultra-high purity water,” *Filtration & Separation*, vol. 46, no. 1, pp. 24-27, March-April 2009.

- [11] ASTM International, “*Standard Guide for Ultra-Pure Water Used in the Electronics and Semiconductor Industries : ASTM Standard D5127-13, 2013,*” [Online]. Available : from <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D5127-13.htm/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [12] I. S. Gutman and D. Hasson, “Feed water pretreatment for desalination plants,” *Desalination*, vol. 264, no. 10, pp. 289-296, December 2010.
- [13] L. Henthorne and B. Boysen, “State-of-the-art of reverse osmosis desalination pretreatment,” *Desalination*, vol. 356, no. 10, pp. 129-139, January 2015.
- [14] B. Zhou et al., “Evaluation method for performance of reverse osmosis antiscalants based on the turbidity,” *In 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering, NEDSI 2010 Proceedings*, Wuhan, China, June 2010, pp. 926-929.
- [15] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, *การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง*, กรุงเทพฯ : ท็อป, 2551.
- [16] วชิรพงษ์ สาสีสงห์, *ปฏบัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค*, กรุงเทพฯ : ศิริวัฒนา อินเตอร์พรีนติ้ง, 2548.
- [17] วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, *สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ)*, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2558.
- [18] BRILLIANT, “*Data Presentation-Dot Diagram,*” [Online]. Available : from <https://brilliant.org/wiki/data-presentation-dot-diagram/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [19] QIMacros, “*How to Determine Histogram Bin Intervals,*” [Online]. Available : from <https://www.qimacros.com/histogram-excel/how-to-determine-histogram-bin-interval/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [20] SAS, “*Stem and Leaf Plot,*” [Online]. Available : from <https://blogs.sas.com/content/graphicallyspeaking/2017/06/19/stem-leaf-plot/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [21] Towards Data Science, “*Understanding Boxplots,*” [Online]. Available : from <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcbd51/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [22] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), *เอกสารการอบรมและสัมมนาหลักสูตรการออกแบบการทดลอง DOE : Design of Experiment*, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2558.

- [23] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, New York : John Wiley & Sons, 2005.
- [24] Psychwiki, “What is an Interaction,” [Online]. Available : from http://www.psychwiki.com/wiki/What_is_an_Interaction%3F/. [Accessed : April 22, 2019].
- [25] Statistics at Suny Oswego, “Normal Probability Plots,” [Online]. Available : from http://www.oswego.edu/~srp/stats/normal_prb_plot.htm/. [Accessed : April 22, 2019].
- [26] Stack Exchange, “Why Plot Versus Fitted Values, Not Observed Y Values,” [Online]. Available : from <https://stats.stackexchange.com/questions/155587/residual-plots-why-plot-versus-fitted-values-not-observed-y-values/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [27] ER Services, “Chapter 7 : Correlation and Simple Linear Regression,” [Online]. Available : from <https://courses.lumenlearning.com/suny-natural-resources-biometrics/chapter/chapter-7-correlation-and-simple-linear-regression/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [28] Minitab, “Contour Plots and 3D Surface Plot,” [Online]. Available : from <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/using-fitted-models/supporting-topics/graphs/contour-plots-and-3d-surface-plots/>. [Accessed : April 22, 2019].
- [29] D. Kim et al., “Biocide application for controlling biofouling of SWRO membranes an overview,” *Desalination*, vol. 238, no. 7, pp. 43-54, March 2009.
- [30] M. Al-Shammiri et al., “Evaluation of two different antiscalants in real operation at Doha research plant,” *Desalination*, vol. 128, no. 12, pp. 1-16, November 2000.
- [31] E. E. A. Ghafour, “Enhancing RO system performance utilizing antiscalants,” *Desalination*, vol. 153, no. 3, pp. 149-153, May 2012.
- [32] A. Al-Rammah, “The application of acid free antiscalant to mitigate scaling in reverse osmosis membrane,” *Desalination*, vol. 132, no. 5, pp. 83-87, December 2000.
- [33] เทิดไทย เทิดธรรมวงศ์, “การหาค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการล้างเมมเบรนด้วยสารเคมีฟิเอชสูงโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง,” สารนิพนธ์ บธ.ม. (การจัดการอุตสาหกรรม), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2550.

- [34] Dow Chemical, “*Filmtec Reverse Osmosis Membrane Technical Manual Filmtech*,” [Online]. Available : from http://msdssearch.dow.com/PublishedLiterature_DOWCOM/dh_095b/0901b8038095567b91dd.pdf?filepath=liquidseps/pdfs/noreg/609-00071/. [Accessed : April 22, 2019].



ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.
นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

TNI

นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

เครื่องกรองน้ำ คือ อุปกรณ์ที่ช่วยกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่มากับน้ำ

กระบวนการเมมเบรน (Membrane Process) หมายถึง กระบวนการ ที่อาศัยเมมเบรน-เยื่อเลือกผ่าน (Selective Semipermeable) ในการแยกสารหรือสิ่งเจือปนออกจากน้ำหรือของเหลว กระบวนการเมมเบรนที่มีใช้กันได้แก่

1. Reverse Osmosis (RO)
2. Nanofiltration (NF)
3. Ultrafiltration (UF)
4. Microfiltration (MF)
5. Electrodialysis (ED)

ระบบรีเวิร์สออสโมซิส หมายถึง กระบวนการแบบย้อนกลับของออสโมซิส โดยการใช้แรงดันน้ำให้ไหลผ่านไส้กรองที่มีคุณภาพสูงที่เรียกว่า เยื่อเมมเบรน (Membrane) ที่มีความสามารถในการกรองได้ละเอียดถึง 0.0001 ไมครอน (1 ส่วน 10 ล้านมิลลิเมตร) หรือเล็กกว่าเส้นผมถึง 500,000 เท่า (เส้นผม = 50 ไมครอน) สามารถกรองได้ถึงไอออนและโมเลกุลของสารที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังนั้นจึงมีเพียงอนุของน้ำบริสุทธิ์เท่านั้นที่ผ่านไปได้

กระบวนการดังกล่าวในปัจจุบันได้มีการประยุกต์เพื่อนำมาใช้ในการผลิตน้ำดื่มจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล และผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงสำหรับที่ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม [3]

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพการกรอง

TNI

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพการกรอง

1. การคำนวณประสิทธิภาพการกรอง (% Salt Rejection)

จากสมการที่ 2.1

$$\% \text{Salt Rejection} = \left[\frac{EC_{\text{Feed}} - EC_{\text{Product}}}{EC_{\text{Feed}}} \right] \times 100$$

การคำนวณประสิทธิภาพการกรอง (%Salt Rejection) จากตารางที่ 4.1
ผลการทดลองที่ 1 โดยมีการคำนวณ ดังนี้

$$\% \text{Salt Rejection} = \left[\frac{288 - 7.52}{288} \right] \times 100$$