การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์(พีเอซี)กับค่าความขุ่น

นายภูมิชูพงษ์ พูลสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสหาการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

INVESTIGATION OF RELATIONSHIP

BETWEEN POLY ALUMENIUM CHLORIDE (PAC) AND TURBIDITY

Mr. Bhoomchoopong Poolsuwan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์(พีเอซี)กับค่าความขุ่น
โดย	นายภูมิชูพงษ์ พูลสุวรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

ภูมิชูพงษ์ พูลสุวรรณ: การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์(พีเอซี)กับค่าความขุ่น. (INVESTIGATATION OF RELATIONSHIP BETWEEN POLY ALUMENIUM CHLORIDE (PAC) AND TURBIDITY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, 92 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์(พีเอซี)ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ซึ่งใช้ในการต้มเพื่อปั่นกระแสไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมชุดที่5ของโรงไฟฟ้าบางปะกง โดยการประยุกต์ใช้การทดลองจาร์เทสต์ (Jar Test) เพื่อหาปริมาณของพีเอซีที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของพีเอซีกับค่าความขุ่นและค่าpHของน้ำดิบเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาปริมาณของพีเอซีที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) จากการนำแบบจำลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตพบว่าค่าความขุ่นและpHของน้ำที่วัดได้นั้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และความคลาดเคลื่อนของค่าร้อยละของค่าความขุ่นและpHที่ลดลงที่วัดได้จริงนั้นอยู่ในช่วงการยอมรับที่95%ทุกครั้งที่มีการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่

ปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันไปตามฤดูกาล โดยเดือนธันวาคมและมกราคมซึ่งอยู่ในช่วงฤดูหนาวใช้ปริมาณพีเอซีในการผลิตน้ำมากที่สุดคือ 84ppm ส่วนเดือนสิงหาคมและกันยายนใช้ปริมาณพีเอซีในการผลิตน้ำน้อยที่สุดคือ 60ppm

การปรับลดปริมาณพีเอซีนอกจากจะส่งผลให้ต้นทุนของพีเอซีลดลงยังส่งผลให้ต้นทุนของโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) ลดลงไปด้วยเนื่องจากเมื่อปริมาณพีเอซีในน้ำลดลงความเป็นกรดของน้ำลดลงทำให้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับค่าpHของน้ำน้อยลง โดยต้นทุนในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ของพีเอซีและโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดลง 69.9% และ 86.0% ตามลำดับ ต้นทุนโดยรวมของสารเคมีในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่หนึ่งลูกบาศก์เมตรลดลง 27.5% หรือประมาณ 66,000 บาทต่อปีสำหรับปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

ปีการศึกษา 2555

527-04492-21 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : DEMINERALIZED WATER, JAR TEST, POLY ALUMINUIM CHLORIDE (PAC), TURBIDITY BHOOMCHOOPONG POOLSUWAN: INVESTIGATATION OF RELATIONSHIP BETWEEN POLY ALUMENIUM CHLORIDE (PAC) AND TURBIDITY. ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMKIAT TANGJITSITCHAROEN, Ph.D., 92 pp.

The objective of this research is to reduce the cost of poly-aluminium chloride (PAC) in demineralized water production process, which used for the electricity generating. The jar test is used to determine the optimum PAC dosage requirements and the relation between PAC dosage and the turbidity and pH. The regression analysis is used to generate the mathematical models to determine the PAC dosage. The turbidity and pH are still in quality limit, when the models are applied in the process. The turbidity and pH are still in 95% prediction interval.

The monthly optimum PAC dosage is different by the season. The highest optimum PAC is 84 ppm in December and January, the winter season. The lowest optimum PAC is 60 ppm in August and September, the rainy season.

Changing the PAC dosage not only reduces the cost of PAC, but also reduces the cost of Sodium Hydroxide (NaOH). Since the reduction of PAC causes the decrease in acidity in the raw water. Hence, the NaOH used to adjust the the pH of the raw water, has less dosage. The cost of PAC and NaOH to produce the demineralized water are reduced by 69.9% and 86.0% respectively. The overall chemical cost of the demineralized water production process is reduced by 27.5% or 66,000 baht per year for the quantity of water that used to generate the electricity.

Department : Industrial Engineering Student's Signature ____________________

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature ____________________

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อรองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญซึ่งให้คำปรึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาในการวิจัย สละเวลาในการตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ รวมทั้งขอขอบพระคุณอาจารย์คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาสละเวลามาสอบ ให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำต่างๆส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อจักรพงษ์ และคุณแม่ทรงพร พูลสุวรรณ ที่ได้ให้การอบรม เลี้ยงดู สั่งสอน คอยให้การสนับสนุนด้านการศึกษาอย่างเต็มที่และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณคุณสุรีพร ณ อุบล หัวหน้าแผนกเคมีและสิ่งแวดล้อม รวมถึงผู้ปฏิบัติงานในกองการผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม 3 โรงไฟฟ้าบางปะกง ที่คอยสนับสนุนและเอื้อเฟื้อให้ทำงานวิจัยและปรับปรุงกระบวนการผลิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของงานวิจัย	1
1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา	1
1.3 สภาพและความสำคัญของปัญหา	14
1.4 วัตถุประสงค์การวิจัย	15
1.5 ขอบเขตการวิจัย	16
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย	16
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	18
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	19
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
3 วิธีการวิจัย	36
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	36
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	37
3.3 การเตรียมสารเคมี	38
3.4 การทดลองจาร์เทสต์	38
3.5 การปรับอัตราการเติมสารเคมี	39
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	39
3.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง	40

บทที่ หน้า

4 ผลการทดลองจาร์เทสต์ 41
4.1 ผลของปริมาณพีเอซีต่อค่าความขุ่นของน้ำดิบ 41
4.2 ผลของปริมาณพีเอซีต่อค่าpHของน้ำดิบ 48
4.3 การปรับอัตราการเติมพีเอซี 53
5 ผลการปรับลดพีเอซีตามแบบจำลอง 55
5.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง 55
5.2 ผลต่อค่าความขุ่นและค่าpH 56
5.3 ผลต่อต้นทุนด้านสารเคมี 74
6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 76
6.1 สรุปผลงานวิจัย 76
6.2 ข้อเสนอแนะ 78
6.3 อุปสรรคและข้อจำกัดในการวิจัย 78
รายการอ้างอิง 79
ภาคผนวก 81
ภาคผนวก ก วิธีการคำนวณค่าร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง 82
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณค่าร้อยละของค่าpHที่ลดลง 84
ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณหาค่าปริมาณพีเอซีที่เหมาะสม 86
ภาคผนวก ค ปริมาณและต้นทุนของสารเคมีของกระบวนการผลิต น้ำปลอดเกลือแร่ในแต่ละเดือน 87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 92

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ชนิด ปริมาณ และราคาของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตร 14
4.1 ค่าความขุ่นของน้ำดิบจากการทดลองจาร์เทสต์เมื่อเติมพีเอซีที่ระดับต่างๆ
ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554 41
4.2 ร้อยละของค่าความขุ่นของน้ำดิบจากการทดลองจาร์เทสต์เมื่อเติมพีเอซีที่ระดับต่างๆ
ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554 42
4.3 ผลของปริมาณพีเอซีต่อร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงของน้ำดิบโดยเฉลี่ย
ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554 42
4.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองควอดราติกสำหรับหาค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบ
ที่ลดลงเมื่อทราบปริมาณพีเอซี 44
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองควอดราติกสำหรับหาปริมาณพีเอซี
เมื่อทราบค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลง 46
4.6 ค่าpHของน้ำดิบจากการทดลองจาร์เทสต์เมื่อเติมพีเอซีที่ระดับต่างๆ
ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554 48
4.7 ร้อยละของค่าpHของน้ำดิบจากการทดลองจาร์เทสต์เมื่อเติมพีเอซีที่ระดับต่างๆ
ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554 49
4.8 ผลของปริมาณพีเอซีต่อร้อยละของค่าpHที่ลดลงของน้ำดิบโดยเฉลี่ย
ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554 49
4.9 ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองควอดราติกสำหรับหาค่าร้อยละของpHของน้ำดิบที่ลดลง 51
4.10 สภาพอากาศ คุณภาพน้ำดิบและปริมาณพีเอซีที่ปรับใช้ในเดือนธันวาคม 2553
ถึงเดือนมิถุนายน 2554 54
5.1 สภาพอากาศ คุณภาพน้ำดิบและปริมาณพีเอซีที่ปรับใช้ในเดือนกรกฎาคม 2554
ถึงเดือนธันวาคม 2554 57
5.2 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนกรกฎาคม 2554 58
5.3 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนสิงหาคม 2554 60
5.4 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนกันยายน 2554 62

ตารางที่ หน้า

5.5 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนตุลาคม 2554 64
5.6 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนพฤศจิกายน 2554 66
5.7 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนธันวาคม 2554 68
5.8 เปรียบเทียบปริมาณ และราคาของสารเคมีที่ใช้ผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตร
ก่อนและหลังการปรับลดปริมาณพีเอซี 74

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 5 2
1.2 โรงผลิตน้ำของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 5 3
1.3 กังหันก๊าซ 4
1.4 เครื่องกำเนิดไอน้ำ 5
1.5 สเตเตอร์ 6
1.6 แผนผังกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 7
1.7 อ่างเก็บน้ำของโรงไฟฟ้าบางปะกง 7
1.8 Multimedia Filter 8
1.9 ถังเก็บน้ำประปา 9
1.10 Activated Carbon Filter 10
1.11 Micro Filter 11
1.12 ระบบ RO 12
1.13 Mixed Bed Exchanger 12
1.14 ถังเก็บน้ำปลอดเกลือแร่ 13
2.1 ขนาดอนุภาคต่างๆ 19
2.2 ปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่ใช้ต่อค่าความขุ่นที่ลดลง 21
2.3 เครื่องมือทดลองจาร์เทสต์ 22
2.4 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความขุ่น 23
2.5 เครื่องมือวัดความขุ่น 23
2.6 เครื่องมือวัดค่า pH 24
2.7 วงจรPDCAในยุคแรก 26
2.8 วงจรPDCAที่ได้รับการพัฒนาในญี่ปุ่น 27
2.9 วงจรPDCAกับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง 29
2.10 กราฟความสัมพันธ์แบบควอดราติก 30
2.11 กราฟของส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต 31
2.12 Normal Q-Q Plot ของส่วนตกค้าง 32

รูปที่ หน้า

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีกับร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงโดยเฉลี่ย ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึง เดือนมิถุนายน 2554 43

4.2 กราฟ Normal Q-Q Plot ของค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลง 44

4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ถูกฟิตของแบบจำลองความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลง 45

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงโดยเฉลี่ยกับปริมาณพีเอซี ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึง เดือนมิถุนายน 2554 46

4.5 กราฟ Normal Q-Q Plot ของค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองแบบจำลองควอดราติก สำหรับหาปริมาณพีเอซีเมื่อทราบค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลง 47

4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ถูกฟิตของแบบจำลองควอดราติก สำหรับหาปริมาณพีเอซีเมื่อทราบค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลง 47

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีกับร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงโดยเฉลี่ย ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึง เดือนมิถุนายน 2554 50

4.8 กราฟ Normal Q-Q Plot ของค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลง 51

4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ถูกฟิตของแบบจำลองความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลง 52

5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง กับค่าที่วัดได้จริงสำหรับการผลิตน้ำในแต่ละเดือน 70

5.2 กราฟเปรียบเทียบค่าร้อยละของค่าpHที่ลดลงระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง กับค่าที่วัดได้จริงสำหรับการผลิตน้ำในแต่ละเดือน 71

5.3 กราฟเปรียบเทียบค่าความขุ่นระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จริง สำหรับการผลิตน้ำในแต่ละเดือน 72

5.4 กราฟเปรียบเทียบค่าpHระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จริง สำหรับการผลิตน้ำในแต่ละเดือน 73

รูปที่ หน้า

5.5 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตร
เปรียบเทียบก่อนและหลังทำการปรับลดปริมาณพีเอซี 75
5.6 แผนภูมิแท่งแสดงค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตร
เปรียบเทียบก่อนและหลังทำการปรับลดปริมาณพีเอซี 75
6.1 ช่วงการเติมพีเอซีที่เหมาะสมตลอดการผลิตน้ำปี 2554 77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

ไฟฟ้าเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งในชีวิตของมนุษย์ ดังจะเห็นได้จากกิจกรรมต่างๆ อาทิ การดำเนินชีวิตประจำวัน การคมนาคมขนส่ง การติดต่อสื่อสาร และอุตสาหกรรมทุกประเภทล้วนต้องใช้ไฟฟ้าทั้งนั้น อัตราการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในประเทศไทยที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โรงไฟฟ้าจึงต้องผลิตไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้า

ปัจจุบันโรงไฟฟ้าส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อน และโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ เพราะโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะนำก๊าซร้อนที่เหลือจากการขับกังหันก๊าซไปต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำและไปขับกังหันไอน้ำเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าอีกทอดหนึ่ง ซึ่งน้ำที่นำไปใช้ต้มจะต้องเป็นน้ำที่ปราศจากประจุและแร่ธาตุ หรือที่เรียกว่าน้ำปลอดเกลือแร่ (Demineralized Water) เพื่อไม่ให้เกิดการกัดกร่อนและจับตัวเป็นตะกรันที่ระบบท่อและอุปกรณ์ต่างๆ

ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่จะใช้สารเคมีหลายชนิด โดยโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (พีเอซี) ที่ใช้เพื่อเร่งการตกตะกอนหรือลดความขุ่นนั้นถูกใช้เป็นจำนวนมาก การหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตน้ำด้วยการทดลองจาร์เทสต์หรือด้วยแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีกับความขุ่นนั้น ทำให้ปริมาณพีเอซีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ลดลง และอาจเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยในการลดต้นทุนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าลงได้

1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 5 เป็นโรงไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ตั้งอยู่เลขที่ 4 หมู่ 6 ตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทราสร้างขึ้นตาม

แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า ปี2547-2558 (PDP 2004) เริ่มผลิตและจ่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551 โดยมีกำลังการผลิตรวมสูงสุดประมาณ 763.3 เมกะวัตต์ ประกอบด้วย เครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซจำนวน 2 เครื่อง (กำลังการผลิตสูงสุดประมาณเครื่องละ 246.9 เมกะวัตต์) เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Heat Recovery Steam Gennerator, HRSG) จำนวน 2 เครื่อง และเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันไอน้ำ จำนวน 1 เครื่อง (กำลังการผลิตสูงสุดประมาณ 269.5 เมกะวัตต์) ใช้เชื้อเพลิงได้ 2 ชนิดคือ ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยเป็นเชื้อเพลิงหลัก และใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสำรอง มีความต้องการใช้ก๊าซในอัตราสูงสุดประมาณ 120 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อวัน จากท่อส่งก๊าซธรรมชาติเส้นที่ 3 ของบริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) รูปที่ 1.1 แสดงโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 5

รูปที่ 1.1 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 5

โรงผลิตน้ำดังแสดงในรูปที่ 1.2 มีหน้าที่ในการผลิตน้ำประปา (Service Water) เพื่อใช้ในการอุปโภคและใช้ดับเพลิงภายในโรงไฟฟ้า และผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ (Demineralized Water) เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยรับน้ำดิบมาจากอ่างเก็บน้ำบางบ่อจังหวัดสมุทรปราการ หรืออ่างเก็บน้ำบางพระจังหวัดชลบุรี (ปัจจุบันรับน้ำจากอ่างเก็บน้ำบางพระเป็นหลัก) มีกำลังการผลิตน้ำประปา 720 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน กำลังการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 480 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน อัตราการใช้น้ำปลอดเกลือแร่ประมาณ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

รูปที่ 1.2 โรงผลิตน้ำของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 5

1.2.1 กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

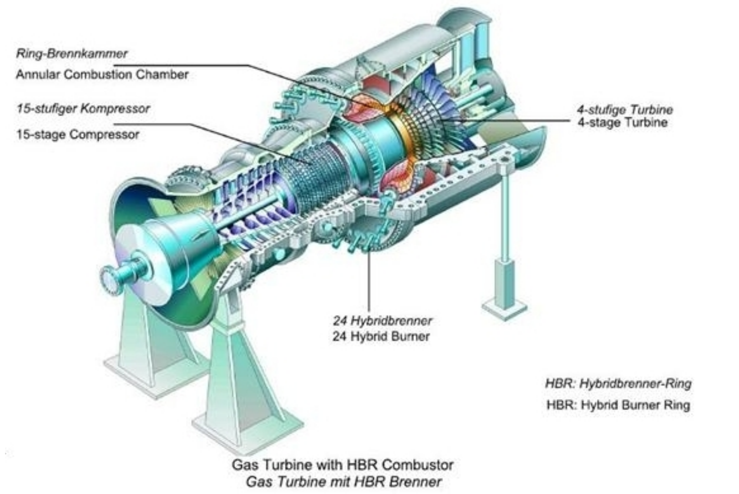
โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เป็นการรวมการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) และกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เข้าเป็นระบบเดียวกัน โดยการนำเอาก๊าซร้อนที่ออกจากการขับเครื่องกังหันก๊าซป้อนเข้าสู่หม้อต้มน้ำ (Boiler) เพื่อต้มน้ำให้เกิดไอน้ำ ไปขับกังหันไอน้ำ การหมุนของกันหันก๊าซและกังหันไอน้ำจะเป็นการปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ให้ได้กระแสไฟฟ้าออกมา

ส่วนประกอบหลักของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

<u>หน่วยผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Unit)</u>

การทำงานจะเริ่มจากการอัดอากาศที่ถูกกรองผ่านเครื่องกรองอากาศ (Air Filter) ให้มีความหนาแน่นและความดันเพิ่มขึ้นประมาณ 17 เท่าด้วยเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ซึ่งประกอบด้วยเพลา ที่มีชุดใบพัด (Blade) ติดตั้งอยู่หลายชุดอัดอากาศไปสู่ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) อากาศจะรวมตัวกับเชื้อเพลิงซึ่งเป็นก๊าซธรรมชาติภายในห้องเผาไหม้ใช้หัวเทียน (Burner) เป็นตัวจุดระเบิด เมื่อเชื้อเพลิงติดไฟจะเกิดการเผาไหม้กลายเป็นก๊าซร้อนที่มีการขยายตัวสูงส่งออกจากห้องเผาไหม้ไปขับดันชุดใบพัดอีกชุดหนึ่งคือกังหันก๊าซ (Gas

Turbine) ดังรูปที่ 1.3 ซึ่งติดตั้งบนเพลาเดียวกันกับเครื่องอัดอากาศและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ให้หมุนจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมา



รูปที่ 1.3 กังหันก๊าซ

(โรงไฟฟ้าจะนะ,2553 : ออนไลน์)

ก๊าซร้อนที่ปล่อยออกมาจากเครื่องกังหันก๊าซ (Exhaust Gas) จะมีอุณหภูมิประมาณ 590 ^{o}C ซึ่งยังมีพลังงานความร้อนเหลืออยู่จึงถูกส่งไปยังหน่วยผลิตไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เพื่อใช้งานต่อไป

หน่วยผลิตไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (Steam Turbine Unit)

ก๊าซเสียที่ออกมาจากการขับกังหันก๊าซจะเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำปลอดเกลือแร่ (Demineralised Water) โดยน้ำและไอน้ำจะไหลเวียนเข้ามารับความร้อนภายในท่อของเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator , HRSG) ดังรูปที่ 1.4 ไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงจากท่อนำไอน้ำจะไหลเข้าสู่เครื่องกังหันไอน้ำผ่านทางวาล์วของระบบควบคุม เพื่อควบคุมการไหลของไอน้ำที่จะไปหมุนกังหันไอน้ำให้เหมาะสมกับความเร็วรอบที่ต้องการ ไอน้ำก็จะไหลเข้าสู่ตัวกังหันโดยมีเพลาหมุนและชุดใบพัดติดตั้งอยู่ภายในตัวถัง เพลานี้จะถูกรองรับด้วยแบริ่ง (Bearing) ไอน้ำที่ไหลเข้ามาในตัวกังหันไอน้ำมีอัตราการไหลสูงขึ้น ไอน้ำที่ความเร็วสูงนี้จะไปปะทะกับใบพัด (Moving Blade) ที่ติดอยู่กับเพลา ทำให้เกิดแรงผลักดันให้เพลาของกังหันไอน้ำหมุนและฉุดให้เพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตามไปด้วย

รูปที่ 1.4 เครื่องกำเนิดไอน้ำ

เมื่อไอน้ำผ่านชุดของใบพัดจนครบ ความดันและอุณหภูมิของไอน้ำลดลง ไอน้ำจะไหลออกจากกังหันไอน้ำเข้าสู่เครื่องควบแน่น เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านท่อ และเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำบริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นจะถูกสูบด้วยปั๊มน้ำไปยังอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนเพื่อรับความร้อนที่หม้อน้ำต่อไป

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่จะเปลี่ยนพลังงานกลจากการหมุนของกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำ มาเป็นพลังงานไฟฟ้า ตามหลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก โดยอาศัยการหมุนของขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก หรือการหมุนสนามแม่เหล็กตัดกับขดลวด ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นเพลาหมุนดังรูปที่ 1.5 ซึ่งเซาะร่องและฝังขั้วแม่เหล็กเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเรียกว่าโรเตอร์ (Rotor) โดยปลายข้างหนึ่งจะต่อเข้ากับเพลาของกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำ เมื่อกังหันหมุนจะทำให้โรเตอร์หมุนไปด้วยกัน อีกส่วนเป็นส่วนที่อยู่กับที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) เป็นทรงกระบอกกลวงที่ทำด้วยแผ่นเหล็กบางเคลือบฉนวนรูปวงแหวนเรียงซ้อน ๆ กันแน่นครอบโรเตอร์ไว้ เมื่อโรเตอร์หมุนจะเกิดสนามแม่เหล็กไปหมุนตัดกับขดลวดของสเตเตอร์ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 1.5 สเตเตอร์

(Siemens, 2002 : online)

กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับหม้อแปลงไฟฟ้า ก่อนส่งผ่านสายส่งเพื่อนำพลังงานไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าต่อไป สำหรับในประเทศไทยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ จึงต้องมีการควบคุมความเร็วในการหมุนของเครื่องให้คงที่ที่ 3,000 รอบต่อนาที เพื่อให้ความถี่ของกระแสไฟฟ้าคงที่

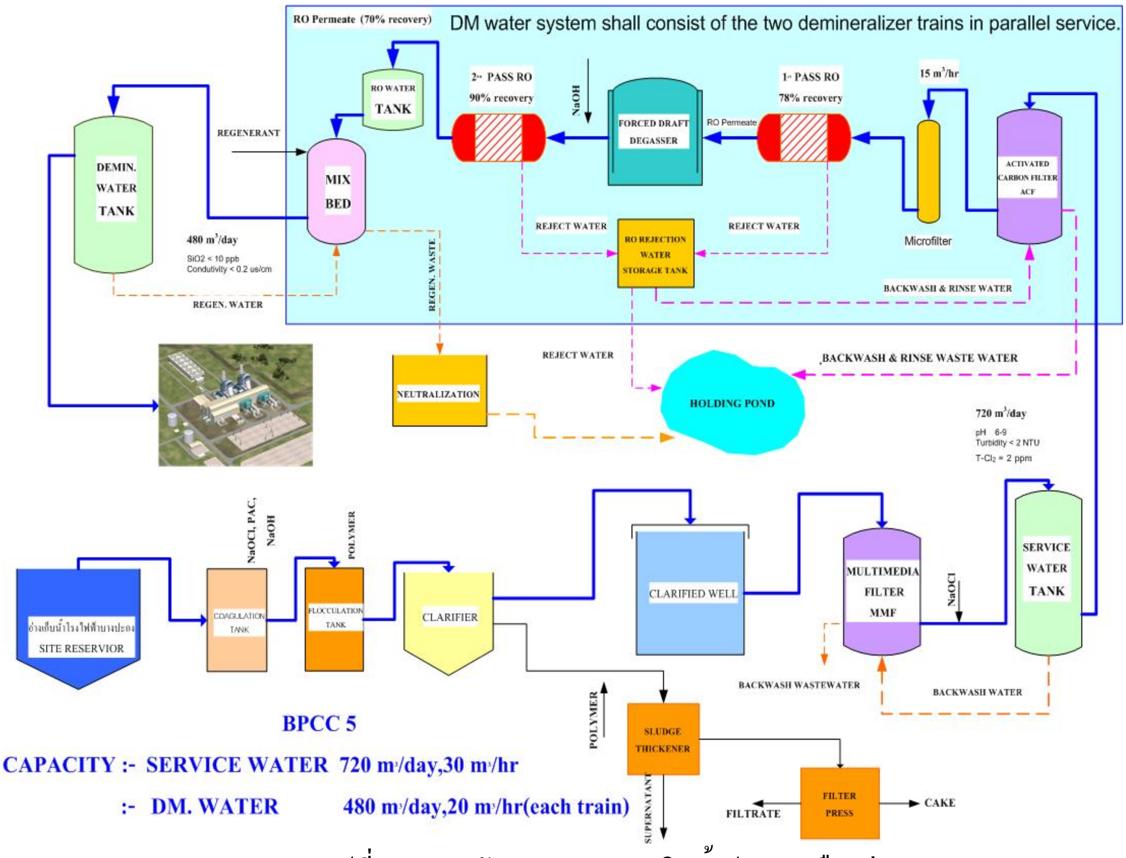
1.2.2 กระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่

กระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่จะประกอบด้วยขั้นตอนหลักหลายขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1.6 โดยเริ่มตั้งแต่การรับน้ำดิบเข้ามาบำบัดขั้นต้นเพื่อให้กลายเป็นน้ำประปา (Service Water) และผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต่อไปให้กลายเป็นน้ำปลอดเกลือแร่ มีรายละเอียดดังนี้

การตกตะกอน

น้ำดิบจากอ่างเก็บน้ำบางบ่อหรือบางพระที่เก็บอยู่ในอ่างเก็บน้ำ (Site Reservoir) ดังรูปที่ 1.7 จะถูกสูบมายังส่วนแรกของบ่อตกตะกอน เรียกว่า Coagulation Tank ในส่วนนี้จะมีการเติมสารเคมี 3ชนิดได้แก่

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อเพิ่มค่าpHให้แก่น้ำ
- โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (พีเอซี) เพื่อเร่งการตกตะกอน
- โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) เพื่อกำจัดเชื้อโรคและแบคทีเรีย



รูปที่ 1.6 แผนผังกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่

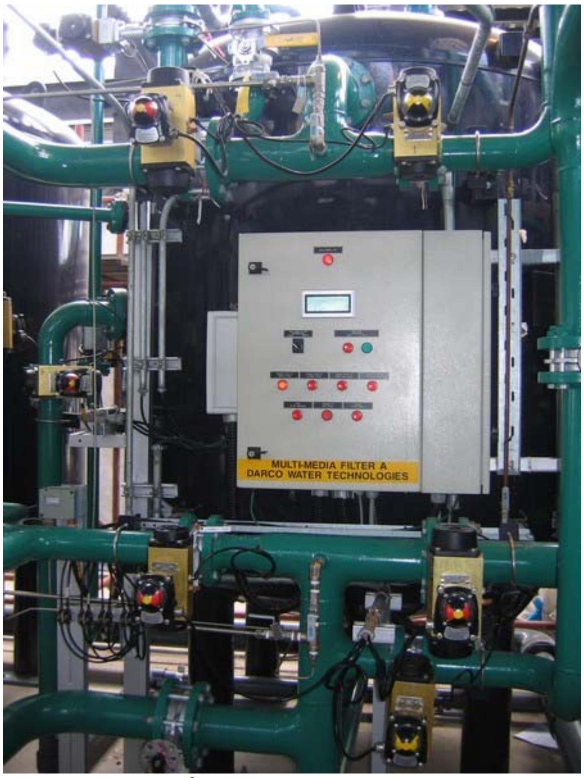
รูปที่ 1.7 อ่างเก็บน้ำดิบ (Site Reservoir) ของโรงไฟฟ้าบางปะกง

น้ำที่ใสมากขึ้นจะผ่านไปยังส่วนที่ 2 เรียกว่า Flocculation tank ในส่วนนี้จะมีการเติมโพลิเมอร์ ประจุลบ (C-0320) ลงไป เพื่อให้ตะกอนขนาดเล็กที่ยังเหลืออยู่ รวมตัวกันเป็นตะกอนใหญ่และส่งไปตกตะกอนยังClarifier tank ในส่วนที่ 3

ใน Clarifier tank จะเป็นส่วนที่กำจัดสารแขวนลอยที่ยังเหลืออยู่ด้วยแรงโน้มถ่วง โดยปล่อยให้น้ำตกตะกอนเอง น้ำส่วนที่ใสจะล้นผ่านไปยังส่วนสุดท้ายที่เรียกว่า Clarified well

การกรองด้วยMultimedia Filter

น้ำใน Clarified well จะถูกปั๊มโดย Multimedia Filter Feed Pump เข้า Multimedia Filter ดังรูปที่ 1.8 ภายใน Multimedia Filter จะประกอบด้วย กรวด 550 กิโลกรัม ทราย 825 กิโลกรัม Garnet 2900 กิโลกรัม และAnthracite 28.5 กิโลกรัม ซึ่งมีหน้าที่กรองดักอนุภาคของสารแขวนลอยอยู่ในรูปของ ของแข็งที่แขวนลอยหรือจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำที่หลงเหลือมาจากถังตกตะกอน



รูปที่ 1.8 Multimedia Filter

น้ำที่ออกมาจาก Multimedia Filter จะต้องมีการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) เพื่อกำจัดเชื้อโรคและแบคทีเรียอีกครั้ง จึงจะได้เป็นน้ำประปาและปั๊มไปเก็บที่ถังเก็บน้ำ (Service & Fire Water Storage Tank) ดังรูปที่ 1.9 เพื่อใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ รวมถึงนำไปใช้ในการชำระล้างหรือเตรียมไว้ดับเพลิงภายในโรงไฟฟ้า

สำหรับคุณภาพของน้ำประปาที่นำไปผลิตน้ำปลอดเกลือแร่นั้นจะใช้พารามิเตอร์3ตัวในการวัด ได้แก่

- ค่าpH อยู่ในช่วง 6.0-9.0
- ค่าความขุ่น (Turbidity) ไม่เกิน 2.00 NTU
- ปริมาณคลอรีนคงเหลือ (Residual Chlorine) 0.3-0.6 ppm

รูปที่ 1.9 ถังเก็บน้ำประปา

สำหรับคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง แตกต่างออกไปเล็กน้อยโดย

- ค่าpH อยู่ในช่วง 6.5-9.5
- ค่าความขุ่น (Turbidity) ไม่เกิน 5.00 NTU
- ปริมาณคลอรีนคงเหลือ (Residual Chlorine) ไม่น้อยกว่า 0.2 ppm

(ที่มา: การประปานครหลวง. www.mwa.co.th)

การกรองด้วย Activated Carbon Filter

น้ำประปาจะถูกปั๊มเข้ามายัง Activated Carbon Filter ดังรูปที่ 1.10 ซึ่งภายในประกอบด้วยกรวด 550 กิโลกรัม และ Activated Carbon 750 กิโลกรัม กรองสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ยังเหลืออยู่ รวมถึงอนุภาคของโลหะหนักเช่นเหล็ก และแมงกานีส

รูปที่ 1.10 Activated Carbon Filter

น้ำที่ออกจากActivated Carbon จะได้รับการเติมสารเคมีอีก 3 ชนิด เพื่อปรับสภาพให้เหมาะสมกับไส้กรองของ Micro Filter และ membrane ของระบบ Reverse Osmosis (RO) ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบ ดังนี้

- โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) เพื่อควบคุมค่าศักยภาพการรับและจ่ายอิเล็กตรอน (Redox Potential) ให้อยู่ในช่วง 349-351 mV และใช้กำจัดคลอรีน
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เพื่อปรับค่า pHให้อยู่ในช่วง 5.2.5.7

- สารป้องกันการเกิดตะกรัน (Anti Scalent) เพื่อกำจัดอนุภาคของแคลเซียม(Ca)และแมกนีเซียม(Mg) ไม่ให้เกิดการจับตัวเป็นตะกรันในระบบ

การกรองด้วย Micro Filter

ก่อนที่น้ำจะเข้าสู่ระบบRO ต้องผ่านการกรองละเอียดอีกครั้งหนึ่ง โดยMicro Filter ดังรูปที่ 1.11 ซึ่งไส้กรอง สามารถกรองอนุภาคที่มีความละเอียดได้ถึงขนาด 5 ไมครอน

รูปที่ 1.11 Micro Filter

การกรองด้วยระบบ Reverse Osmosis (RO)

การที่น้ำจะผ่านเยื่อ membrane ของ RO ได้นั้น ต้องอาศัยแรงดันที่สูงมาก ดังนั้นน้ำที่ออกมาจาก Micro Filter ต้องใช้ High Pressure Pump เพื่อเพิ่มแรงดันของน้ำให้สูงถึง150psi ระบบRO ดังรูปที่ 1.12 จะมี 2 stage เมื่อน้ำผ่านstageแรก จะถูกเติมNaOH เพื่อเพิ่มค่าpH ให้อยู่ในช่วง 6.9-7.4 และถูกส่งไปยังDegasifier เพื่อไล่เอาก๊าซที่ยังค้างอยู่ในน้ำออกไป หลังจากนั้นน้ำจะเข้าสู่RO stageที่2 ซึ่งน้ำที่ผ่านจากRO stageที่2 จะส่งไปเก็บที่ RO Product Tank เยื่อ membraneของROนั้นมีขนาดเล็กมากสามารถกรองแร่ธาตุต่างๆ เกลือที่ละลายในน้ำ รวมถึงแบคทีเรียและไวรัสได้ น้ำROจึงมีความบริสุทธิ์สูง และมีค่าความนำไฟฟ้าที่ต่ำ (ไม่เกิน 50 μS/cm)

รูปที่ 1.12 ระบบRO

การกำจัดประจุด้วย Mixed Bed Exchanger

น้ำ RO จะเข้าสู่ Mixed Bed Exchanger ดังรูปที่ 1.13 ซึ่งภายในบรรจุด้วย Anion Resin เพื่อดึงไอออนประจุลบเช่น SO_4^{2-} , R-COO^-ออก นอกจากนี้ Anion Resin ยังสามารถจับอนุภาคซิลิกาได้ด้วย และ Cation Resin เพื่อดึงไอออนประจุบวกเช่น Ca^{2+}, Mg^{2+} ออก น้ำที่ได้จะเป็นน้ำปลอดเกลือแร่ที่บริสุทธิ์ปราศจากประจุ มีค่าความนำไฟฟ้าต่ำมาก (ไม่เกิน 0.2 µS/cm) จากนั้นปั๊มไปเก็บยังถังเก็บน้ำปลอดเกลือแร่ (Demin Tank) ดังรูปที่ 1.14 เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าต่อไป

รูปที่ 1.13 Mixed Bed Exchanger

สำหรับคุณภาพของน้ำปลอดเกลือแร่ จะใช้พารามิเตอร์เพิ่มเติม 2อย่างในการวัด นอกจากค่าความขุ่นและค่าpH ได้แก่

- ค่าความต้านทานไฟฟ้า (resistivity) ไม่ต่ำกว่า 5 MOhm
  หรือความนำไฟฟ้า (Conductivity) ไม่เกิน 0.2 μS/cm
- ปริมาณซิลิกา ไม่เกิน 10 ppb

(สำหรับ คลอรีนนั้นจะถูกกำจัดด้วยการเติมไบซัลไฟท์ก่อนเข้าสู่ระบบ RO)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อค่าความต้านทานไฟฟ้าหรือความนำไฟฟ้าและปริมาณซิลิกานั้นคือระบบROและ Mixed bed exchanger ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อค่าปริมาณคลอรีนคงเหลือก็คือโซเดียมไฮโปคลอไรท์(NaOCl) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำเพียง 2 อย่าง ได้แก่ค่าความขุ่นและค่า pH ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณพีเอซี

รูปที่ 1.14 ถังเก็บน้ำปลอดเกลือแร่

1.2.3 คุณสมบัติของน้ำดิบ

แม้ว่าพื้นที่ของโรงไฟฟ้าบางปะกงซึ่งติดกับแม่น้ำบางปะกงสะดวกแก่การนำน้ำจากแม่น้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตามคุณภาพของน้ำในแม่น้ำบางปะกงนั้นไม่คงที่ แตกต่างกันมากไปตามฤดูกาล กล่าวคือในช่วงฤดูร้อนเป็นน้ำเค็ม ฤดูฝนเป็นน้ำจืด และฤดูหนาวเป็นน้ำกร่อย อีกทั้งคุณภาพน้ำไม่ดีเท่าที่ควรเพราะมีความขุ่นมาก มีตะกอนมาก มีคลอไรด์และความกระด้างสูง มีพืชและสัตว์น้ำขนาดเล็กอาศัยอยู่ในน้ำเป็นจำนวนมาก ทำให้ยากต่อการบำบัด น้ำจากแม่น้ำบางปะกงจึงถูกใช้เฉพาะระบบหล่อเย็นเท่านั้น ไม่ได้ใช้ต้มเพื่อให้กลายเป็นไอน้ำไปผลิตกระแสไฟฟ้า น้ำดิบที่นำมาใช้ผลิตเป็นน้ำปลอดเกลือแร่เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้นจึงใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำบางบ่อหรือบางพระ ซึ่งคุณภาพน้ำดีกว่าน้ำจากแม่น้ำบางปะกง (ปัจจุบันใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรีเป็นหลัก) โดยน้ำดิบมีค่าความขุ่นประมาณ 6.2 – 14.0 NTU และเป็นด่างเล็กน้อยมีค่าpHประมาณ 7.8-9.3

1.3 สภาพและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่จำเป็นจะต้องใช้สารเคมีหลายชนิด ในปริมาณที่แตกต่างกันดังตารางที่ 1.1 (ข้อมูลเฉลี่ยตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-พฤศจิกายน 2553) จากตารางพบว่าพีเอซีที่ใช้เพื่อเร่งการตกตะกอน(โคแอกกูแลนท์)นั้น ถูกใช้ในปริมาณมากที่สุดและคิดเป็นค่าใช้จ่ายสูงที่สุด

ตารางที่ 1.1 ชนิด ปริมาณ และราคาของสารเคมีที่ใช้ผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตร

สารเคมี	ปริมาณ (กรัม)	ราคา (บาท)
พีเอซี	**313**	**2.03**
โซเดียมไฮโปคลอไรท์	313	1.97
สารป้องกันการเกิดตะกรัน	15.2	1.98
พอลิเมอร์ประจุลบ	0.3	0.05
โซเดียมไฮดรอกไซด์	60.7	0.38
ไบซัลไฟต์	4.9	0.10
กรดไฮโดรคลอริก	49.8	0.12
รวม	**756.9**	**6.63**

แม้ว่าค่าใช้จ่ายของโซเดียมไฮโปคลอไรท์มากเป็นอันดับสองรองจากพีเอซี แต่ปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำมีค่า 0.4-0.6 ppm ซึ่งค่อนข้างพอดีกับเกณฑ์ที่กำหนดคือ 0.3-0.6 ppm ไม่เหมาะแก่การปรับลด ส่วนสารป้องกันการเกิดตะกรันนั้นเติมในปริมาณที่กำหนดไว้ตามคู่มือการปฏิบัติงานสำหรับโรงผลิตน้ำของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่5 ในที่นี้จึงพิจารณาเฉพาะการปรับลดปริมาณพีเอซีเท่านั้น

ในการผลิตน้ำจะใช้อัตราการเติมพีเอซีที่เท่ากันในทุกๆเดือน ทั้งที่ในความเป็นจริงแล้วคุณภาพน้ำในแต่ละเดือนไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝน โดยในเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย อัตราส่วนของความเข้มข้นของคอลลอยด์ในน้ำมีค่ามาก น้ำมีความขุ่นมากจึงต้องใช้พีเอซีในปริมาณมาก ในทางกลับกัน เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมาก อัตราส่วนของความเข้มข้นของคอลลอยด์ในน้ำมีน้อย น้ำมีความขุ่นน้อย สามารถใช้พีเอซีในปริมาณที่น้อยลงได้ การเติมพีเอซีในอัตราที่เท่ากันตลอดทำให้เกิดความสิ้นเปลืองและไม่จำเป็น ยิ่งไปกว่านั้นการเติมพีเอซีในปริมาณมากจะทำให้น้ำมีความเป็นกรดมากทำให้ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับค่าpHมากกว่า6.00 จึงต้องมีการหาปริมาณของพีเอซีที่เหมาะสม ซึ่งการผลิตน้ำโดยใช้อัตราการเติมพีเอซีที่เหมาะสมนั้น นอกจากจะทำให้ค่าใช้จ่ายของพีเอซีลดลงแล้วยังอาจทำให้ค่าใช้จ่ายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ลดลงไปด้วย

การทดลองจาร์เทสต์(Jar Test) ถูกนำมาใช้ในการหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมเพื่อเติมลงในน้ำ เป็นการจำลองสภาวะของการตกตะกอน โดยทำการเติมพีเอซีด้วยปริมาณต่างๆกันลงในตัวอย่างน้ำดิบปริมาณเท่ากันและมาจากแหล่งเดียวกัน ใช้สภาวะในการกวนเหมือนกัน วัดค่าความขุ่นของน้ำที่ได้หลังทำการทดลอง แล้วเลือกปริมาณพีเอซีที่น้อยที่สุดที่ยังทำให้ค่าความขุ่นของน้ำดิบนั้นไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (2.00NTU)

1.4 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหาปริมาณของพีเอซีที่เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ในแต่ละเดือน
2. เพื่อลดปริมาณของพีเอซีในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่
3. เพื่อลดต้นทุนของพีเอซีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่

4. เพื่อทราบความสัมพันธ์ของปริมาณพีเอซีกับค่าความขุ่น และค่าpH สำหรับน้ำดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 5

5. เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการปรับปริมาณพีเอซีในเป็นรายเดือน ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2554 ซึ่งครอบคลุมฤดูกาลและปริมาณน้ำฝนสูง-ต่ำตลอดปี แบ่งการปรับออกเป็นสองช่วง

    - เดือนธันวาคม 2553 – มิถุนายน 2554 ปรับตามผลการทดลองจาร์เทสต์ โดยทำการทดลองเดือนละครั้ง และทำซ้ำ2การทดลอง เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงของการทดลอง
    - เดือนกรกฎาคม 2554 – ธันวาคม 2554 ปรับตามค่าที่ได้จากแบบจำลอง

2. ปริมาณพีเอซีที่ปรับได้ในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนเต็มเท่าของ 4ppm ตามความละเอียดของปั๊มป้อนพีเอซี (PAC Dosing Pump)

3. อาศัยการวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีกับค่าความขุ่น และค่าpH สำหรับน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ สำหรับInput ได้แก่ปริมาณพีเอซี Output ได้แก่ค่าความขุ่นและค่าpHของน้ำเท่านั้น

4. พิจารณาเฉพาะต้นทุนด้านสารเคมีเท่านั้น

5. การวัดค่าต่างๆในการทดลองทำโดย ใช้เครื่องมือวัด วิธีการวัดและผู้ทำการวัดเดียวกัน

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการวางแผน (Plan)

    1) พิจารณาและกำหนดขอบเขตของข้อมูลที่ต้องการจะศึกษา

    2) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลภายในขอบเขตที่กำหนด

        - ศึกษากระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่
        - ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการตกตะกอน การใช้พีเอซี

และการทดลองจาร์เทสต์

3) หาแนวทางการปรับปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต

- ทำการวัดและบันทึกค่าความขุ่นและpH ของน้ำดิบโดยใช้เครื่องมือวัดที่ปรับเทียบแล้ว

- ทำการทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาความเข้มข้นของพีเอซีที่เหมาะสมกับการตกตะกอน โดยเลือกปริมาณที่น้อยที่สุดที่ยังคงทำให้ค่าความขุ่นของน้ำหลังการทดลองไม่เกิน 2.00 NTU

- ทำการวัดและบันทึกค่าความขุ่นและpH ของน้ำตัวอย่างหลังจากทำจาร์เทสต์ที่ความเข้มข้นของพีเอซีต่างๆกัน

- นำผลการทดลองจาร์เทสต์ที่ได้ไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณค่าความขุ่นและpHของน้ำเมื่อทราบปริมาณพีเอซี

2. ขั้นตอนการปฏิบัติ (Do)

1) นำแนวทางการปรับปริมาณพีเอซีที่ได้ไปปรับใช้จริงในกระบวนการผลิตน้ำ

- เดือนธันวาคม 2553 ถึงเดือนมิถุนายน 2554 เลือกปริมาณพีเอซีที่น้อยที่สุดที่ยังคงทำให้ค่าความขุ่นของน้ำหลังทำจาร์เทสต์ไม่เกิน 2.00 NTU โดยปรับปริมาณพีเอซีในกระบวนการผลิตจริงให้เป็นจำนวนเท่าของ4ppmตามปริมาณพีเอซีที่เลือกจากผลจาร์เทสต์ หากปริมาณพีเอซีที่เลือกมานั้นไม่ได้เป็นจำนวนเท่าของ4ppm เช่น70ppmให้ทำการปรับปริมาณพีเอซีให้มากขึ้นกว่าค่าที่ได้จากผลการทดลองเป็น 72ppm เนื่องจากหากปรับลดลงกว่าค่าที่ได้จากผลการทดลอง อาจทำให้น้ำที่ผลิตได้นั้นมีค่าความขุ่นมากกว่า 2.00NTU

- เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2554 ปรับปริมาณในกระบวนการผลิตจริงให้เป็นจำนวนเท่าของ4ppmตามค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง หากจำนวนเต็มของปริมาณพีเอซีที่คำนวณได้นั้นไม่ได้เป็นจำนวนเท่าของ4ppm เช่นหากคำนวณปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมคือ65ppmให้ทำการปรับปริมาณพีเอซีให้มากขึ้นเป็น68ppm เนื่องจากหากปรับลดลงกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลแงอาจทำให้น้ำที่ผลิตได้นั้นมีค่าความขุ่นมากกว่า 2.00NTU

3. ขั้นตอนการตรวจสอบ (Check)

1) สังเกตและติดตามผลจากการปรับปริมาณพีเอซีตามการทดลองจาร์เทสต์

- เก็บตัวอย่างน้ำเมื่อมีการผลิตน้ำมาวัดค่าความขุ่นและค่าpH โดยใช้เครื่องมือวัดที่ปรับเทียบแล้ว

2) สังเกตและติดตามผลจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

- เก็บตัวอย่างน้ำเมื่อมีการผลิตน้ำมาวัดค่าความขุ่นและค่าpH โดยใช้เครื่องมือวัดที่ปรับเทียบแล้ว และสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าร้อยละของค่าความขุ่นและค่าpHที่ลดลงระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จริงโดยกำหนดช่วงการประมาณค่า(Prediction Interval) ที่ 95% เพื่อพิจารณาว่าค่าที่คำนวณจากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่วัดได้จริงเพียงใด

- สร้างกราฟเปรียบเทียบค่าความขุ่นและค่าpHที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง และเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพน้ำที่กำหนด

3) จดระดับของสารเคมีชนิดที่ใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ รวบรวมและคำนวณอัตราการใช้สารเคมีต่อการผลิตน้ำ1ลูกบาศก์เมตร เปรียบเทียบกับก่อนทำการปรับลด

4. ขั้นตอนการดำเนินงานให้เหมาะสม (Act)

1) หากค่าความขุ่นของน้ำไม่เกิน 2.00 NTU ให้คงอัตราการเติมพีเอซีที่ระดับนั้นไว้

2) หากค่าความขุ่นของน้ำมากกว่า 2.00 NTU ให้ปรับอัตราการเติมพีเอซีมากขึ้นอีก 4ppmพร้อมสังเกตและติดตามผล

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

6. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และนำเสนอผลงาน

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณของพีเอซีที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ในแต่ละเดือน
2. สามารถลดปริมาณของพีเอซีในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่
3. สามารถลดต้นทุนด้านสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ได้
4. ทราบความสัมพันธ์ของปริมาณพีเอซีกับค่าความขุ่น และค่าpH สำหรับน้ำดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่
5. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่

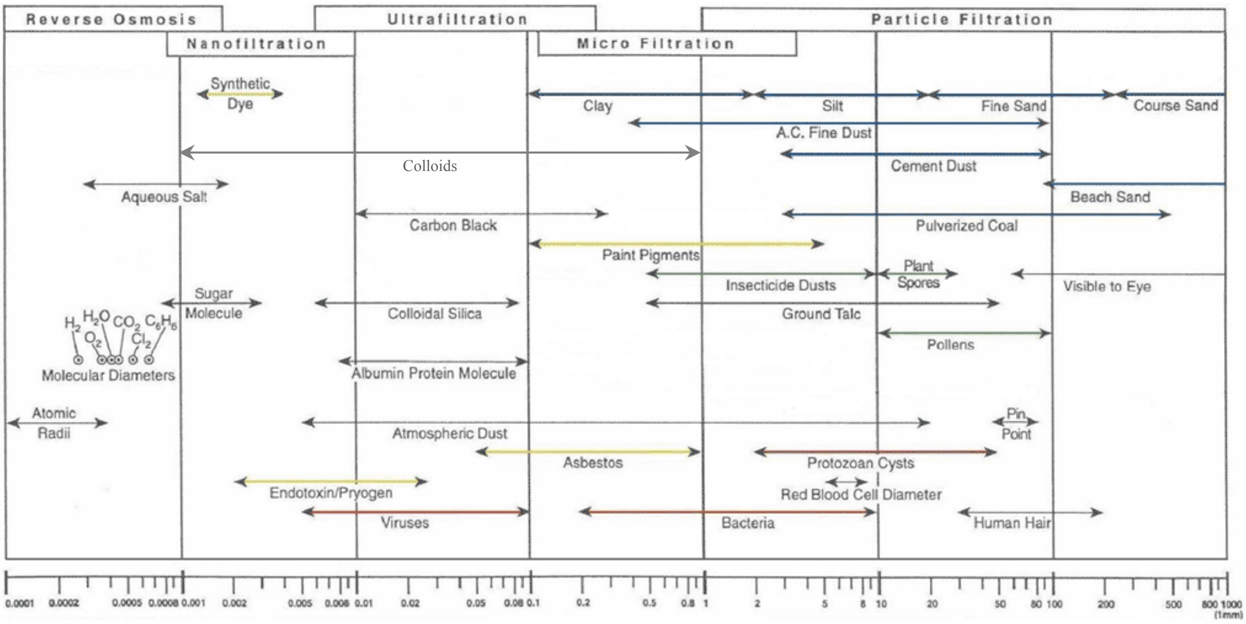
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 กระบวนการ Coagulation-Flocculation

วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้คือตกตะกอนอนุภาคขนาดเล็ก (10^{-6} – 10^{-3} มิลลิเมตร) ที่เรียกว่าคอลลอยด์ (colloid) เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กดังรูปที่ 2.1 และน้ำหนักเบาทำให้ตกตะกอนด้วยน้ำหนักของตัวเองได้ยาก อีกทั้งอนุภาคของคอลลอยด์มีทั้งประจุบวกและลบ ประจุชนิดเดียวกันจะผลักกันทำให้มีเสถียรภาพสูงและไม่รวมตัวกัน ดังนั้นการทำให้อนุภาคต่างๆรวมตัวกันและตกตะกอนได้นั้นต้องอาศัย 2 ขั้นตอนหลักได้แก่การทำลายเสถียรภาพของประจุคอลลอยด์และการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ไม่เสถียรรวมตัวกัน ซึ่งเมื่อตกตะกอนแล้วจะทำให้ความขุ่นของน้ำลดลง



รูปที่ 2.1 ขนาดอนุภาคต่างๆ

(Advancedwaterfilters, 2002 : online)

Coagulation

เป็นขั้นตอนการทำลายเสถียรภาพของประจุคอลลอยด์ ทำให้อนุภาคคอลลอยด์รวมตัวกันและตกตะกอนได้โดยการเติมสารเคมีที่เรียกว่าโคแอกกูแลนท์ (Coagulant) ทำให้ความขุ่นของน้ำลดลง มีกลไกการทำงานแบบใดแบบหนึ่งดังต่อไปนี้ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2537)

- กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer)

กลไกนี้เป็นการเพิ่มประจุตรงกันข้ามกับคอลลอยด์ในชั้นกระจายให้มากขึ้น ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้า (Zeta Potential) ที่ผิวนอกสุดของน้ำลดตามไปด้วย

- กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุของอนุภาคคอลลอยด์ (Adsorption and Charge Neutralization)

กลไกนี้เป็นการใส่สารเคมีบางหมู่ที่มีความสามารถให้ประจุตรงกันข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์และดูดติดผิวได้ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของคอลลอยด์ลดลง

- กลไกการสร้างผลึกขึ้นมาเพื่อให้อนุภาคคอลลอยด์มาเกาะจับ (Sweep Coagulation)

ใช้ผลึกสารอินทรีย์ในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์โดยให้อนุภาคมาเกาะแล้วรวมตัวกันเป็นตะกอนได้

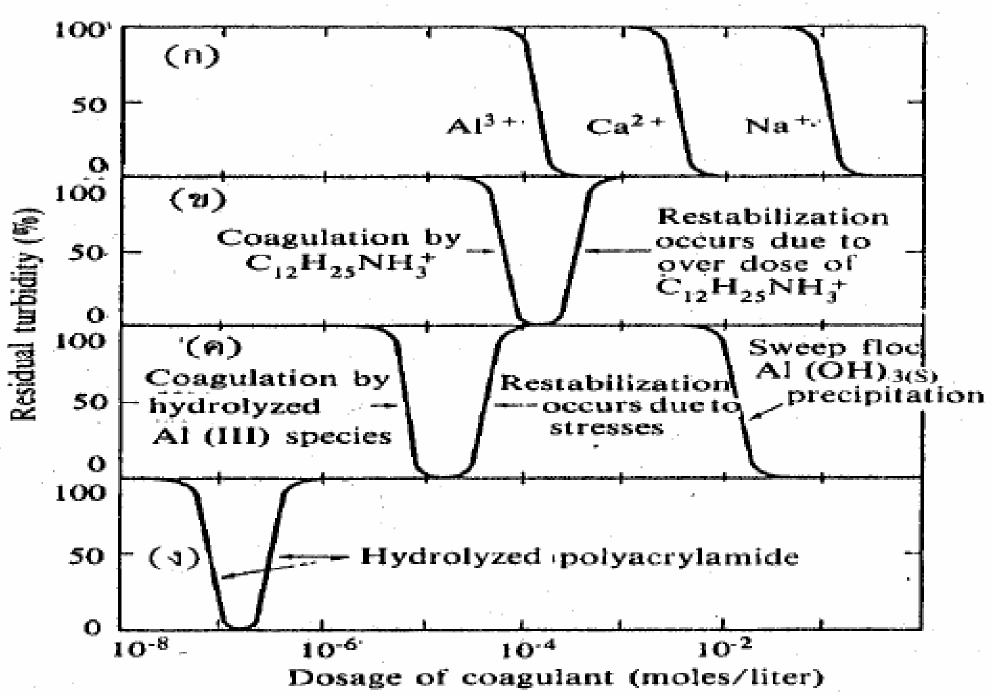
- กลไกสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาคคอลลอยด์ด้วยโพลิเมอร์ (Polymer Coagulation)

ใช้โพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สร้างสะพานเชื่อมต่อกับอนุภาคคอลลลอยด์โดยเมื่อโพลิเมอร์ละลายน้ำจะให้ไอออนเป็นจำนวนมากเกาะจับกับอนุภาคคอลลอยด์เกิดเป็นตะกอนได้

กลไกที่ใช้โพลิเมอร์นั้นเป็นกลไกที่ได้รับความนิยม เนื่องจากใช้ปริมาณโคแอกกูแลนท์น้อยกว่ากลไกอื่น ดังรูปที่ 2.2

<u>กลไกการเกิดตะกอนของพีเอซี</u>

โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์หรือพีเอซีเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอลูมิเนียมมีสูตรทั่วไปคือ$Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ เมื่อแตกตัวในน้ำให้ประจุบวกและลบแล้วสร้างตะกอนด้วยกลไก 2 ประการคือกลไกแบบดูดติดและทำลายประจุไฟฟ้าโดยพีเอซีจะแตกตัวให้ $Al(OH)^{2+}$ และ $Al_8(OH)^{4+}_{20}$ สามารถดูดติดบนผิวคอลลอยด์และทำลายประจุลบทำให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพและพร้อมจะรวมตัวกลายเป็นฟล็อค(Floc) และประการที่สองคือการสร้างสะพานเชื่อมต่อกับอนุภาคคอลลลอยด์โดย $Al(OH)_3$ ที่มีลักษณะเป็นปุยเมื่ออนุภาคคอลลอยด์มาจับมากขึ้นจะทำให้เกิดฟล็อคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 2.2 ปริมาณโคแอกกูแลนท์ที่ใช้ต่อค่าความขุ่นที่ลดลง (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์,2537)

(ก) กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย (ค) กลไกการสร้างผลึก

(ข) กลไกดูดติดผิวและทำลายประจุ (ง) กลไลการสร้างสะพานเชื่อมต่ออนุภาค

Flocculation

ขั้นตอนนี้เป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่หมดเสถียรภาพแล้วเคลื่อนที่มาสัมผัสและจับตัวกันตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่เรียกว่าฟล็อค(Floc) วิธีการสร้างสัมผัสให้อนุภาคมีอยู่ 2 วิธีหลัก (Bratby, 2006) ได้แก่

- Orthokinetic Flocculation

การรวมตัวแบบนี้อาศัยการเคลื่อนที่ของน้ำโดยกวนน้ำให้เคลื่อนที่ในลักษณะที่ส่วนต่างๆของน้ำมีอัตราเร็วในการไหลแตกต่างกัน ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำมีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากันและมีการสัมผัสเกิดขึ้น วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไป อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่ของน้ำต้องไม่รวดเร็วจนเกินไป มิฉะนั้นแล้วฟล็อคที่เกิดขึ้นอาจกระจายหรือหลุดออกจากกันได้

- Perikinetic Flocculation

การรวมตัวแบบนี้อาศัยการเคลื่อนที่ของอนุภาคคอลลอยด์ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน (Brownian’s Movement) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบสุ่มทำให้อนุภาคคอลลอยด์ชนกันเองหรือชนกับโมเลกุลของน้ำและจับตัวกันขึ้น

2.1.2 วิธีศึกษาการตกตะกอนในห้องปฏิบัติการ (จาร์เทสต์, Jar Test)

การทดลองหาปริมาณของโคแอกกูแลนท์ที่เหมาะสมเพื่อเติมลงในน้ำ เป็นสิ่งสำคัญสำหรับกระบวนการผลิตน้ำประปา สามารถหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยการทำจาร์เทสต์ เครื่องมือทดลองจาร์เทสต์แสดงดังรูปที่ 2.3

รูปที่2.3 เครื่องมือทดลองจาร์เทสต์

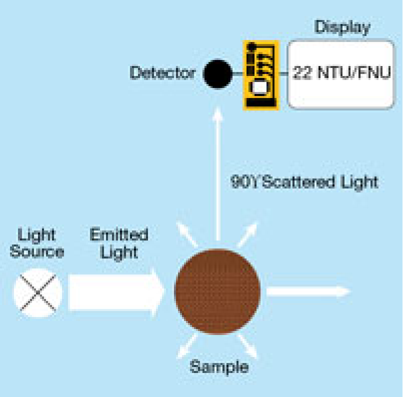
(Indotrading, 2012 : online)

การทดลองจะทำโดยเติมปริมาณของโคแอกกูแลนท์ต่างๆกันลงในน้ำดิบปริมาณเท่าๆกัน กวนน้ำอย่างเร็วในช่วงเวลาสั้นๆเพื่อให้โคแอกกูแลนท์ผสมเข้ากับน้ำ และเกิดการแตกตัวทำลายเสถียรภาพของโคแอกกูแลนท์และคอลลอยด์ (กระบวนการโคแอกกูเลชัน) จากนั้นจึงลดความเร็วลงเป็นการกวนช้าเพื่อให้ คอลลอยด์จับกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้น (ฟล็อค) ซึ่งมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (กระบวนการฟล็อคคูเลชัน) จากนั้นจึงตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน การเลือกเอาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโคแอกกูแลนท์ในการตกตะกอนนั้นพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณตะกอน ค่า pH สี ค่าความขุ่น ค่า Alkalinity ของน้ำหลังการตกตะกอนโดยเทียบกับน้ำดิบที่นำมาใช้

2.1.3 ความขุ่นของน้ำ (Turbidity)

ความขุ่นของน้ำเกิดจากสารแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำ โดยสารแขวนลอยเหล่านี้จะสะท้อนหรือดูดซับแสงไว้ซึ่งขัดขวางไม่ให้แสงสว่างส่องลงไปได้ สารแขวนลอยได้แก่ อนุภาคดิน, ทรายหรือสารอื่นๆ แพลงก์ตอน แบคทีเรียตลอดจนแร่ธาตุต่างๆ อย่างไรก็ตามระดับความขุ่นของน้ำไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารแขวนลอยดังกล่าว เนื่องจากความขุ่นของน้ำเป็นการพิจารณาถึงความเข้มของแสงที่สามารถส่องผ่านลงไปในน้ำ ซึ่งสารแขวนลอยมีอยู่หลายชนิดแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดซึมหรือสะท้อนแสงแตกต่างกัน ดังนั้นระดับความขุ่นของน้ำจึงไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ

เครื่องวัดความขุ่นของน้ำจะทำงานโดยยิงแสงจากแหล่งกำเนิดแสงให้ผ่านน้ำตัวอย่าง เมื่อแสงตกกระทบอนุภาคในน้ำจะกระเจิงไปยัง Photo Detector และประมวลผลข้อมูลออกมาดังรูปที่ 2.4 สำหรับหน่วยที่ใช้วัดความขุ่นคือFTU (Formazin Turbidity Unit) หรือ NTU (Nephelometric Turbidity Unit) เครื่องมือวัดความขุ่นแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดความขุ่น

(Aqualytic, 2010 : online)

รูปที่ 2.5 เครื่องมือวัดความขุ่น

(Hellotrade, 2008 : online)

2.1.4 ค่า pH

ค่าpHเป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (H^+) ที่มีอยู่ในน้ำสามารถทดสอบได้หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมและง่ายสุดคือทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสจากการเปลี่ยนสีสำหรับตัวเลขที่แสดงค่าพีเอช ถ้ามีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารนั้นเป็นกลาง ถ้ามีค่าน้อยกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 แสดงว่าเป็นเบส

เครื่องมือวัดค่าpH (pH meter) แสดงดังรูปที่ 2.6 ใช้วัดค่า pH ของสารละลายด้วยหลักการของ potentiometry โดยการใช้ electrolytic cell ที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า (electrode) 2 ชนิดจุ่มลงไปในสารละลายที่ต้องการทดสอบทำการวัดที่ความดันและอุณหภูมิคงที่ และวัดค่าความเข้มข้นของ H+ จากความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองชนิดโดยปฏิกิริยาที่เกิดมีความสัมพันธ์ดังสมการ Nernst equation คือ

$$E = Eo + 2.303 \log A (RT/NF)$$

โดยที่ E คือ ค่า electrode potential ที่วัดได้

Eo คือค่า electrode potential มาตรฐาน

A คือ ระดับกิจกรรมของไอออนที่วัดได้

R คือค่าคงที่ของแก๊ส = 8.313 J/degree/g.mol.wt

T คือ อุณหภูมิ (องศาเคลวิน)

N คือ จำนวนประจุของไอออน

F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ = 96,490 coulombs per g.equiv.wt

รูปที่ 2.6 เครื่องมือวัดค่า pH

(Dhakacity, 2006: online)

โดยขั้วไฟฟ้าทั้ง2ชนิด ได้แก่

- ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Electrode) จะมีศักย์ไฟฟ้าคงที่ตลอดเวลาแม้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในสารละลาย ใช้เกลือโปแทสเซียมอิ่มตัว (saturated KCl) เป็นสะพานเกลือ เนื่องจากสามารถแตกตัวได้โปแทสเซียมไอออนและคลอไรด์ไอออนซึ่งมีขนาดไอออนใกล้เคียงกันทำให้การเคลื่อนที่ออกจากอิเล็กโทรดไม่เกิดความต่างศักย์ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าจึงคงที่ตลอด และใช้แบบเกลืออิ่มตัวเพื่อป้องกันไม่ให้ไอออนจากสารละลายวิ่งสวนทาง

- ขั้วไฟฟ้าตรวจวัด (Indicator Electrode) จะมีศักย์ไฟฟ้าผันแปรตามความเข้มข้นของไอออนที่เปลี่ยนไปโดยขั้วไฟฟ้าตรวจวัดที่นิยมใช้คือGlass electrode ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญได้แก่ ส่วน Silver–silver chloride electrode ที่มีส่วนของปรอทผสมอยู่เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิด potentiometer สารละลายบัฟเฟอร์ที่ช่วยให้ค่า pH คงที่ และเยื่อแก้ว (glass membrane) ที่ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนตามค่า pH ของสารละลายตัวอย่าง

2.1.5 ความสามารถของระบบการวัด (Gauge Repeatability and Reproducibility, Gauge R&R)

การวัดเป็นขั้นตอนขั้นแรกที่มีความสำคัญต่อการควบคุม และการปรับปรุงกระบวนการซึ่งต้องอาศัยข้อมูลจากการวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และหาสาเหตุในการแก้ปัญหา เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างถูกต้อง ต้องอาศัยข้อมูลที่เที่ยงตรง แม่นยำ ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ เครื่องมือวัด วิธีการวัด และตัวผู้วัด

ความละเอียดของเครื่องมือวัด (Resolution)

เครื่องมือวัดที่ใช้ควรมีความละเอียดมากพอเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการวัด เช่น ถ้าต้องการวัดความยาวของชิ้นงานที่มีความยาวของชิ้นงานในระดับเซนติเมตร เครื่องมือวัดควรมีความละเอียดถึงระดับมิลลิเมตร เครื่องมือวัดที่ไม่ละเอียดพออาจทำให้เกิดปัญหา เช่นวัดตัวอย่างหลายตัวอย่างที่มีขนาดใกล้เคียงกัน แต่ค่าจากการวัดได้เท่ากัน

ความเที่ยงตรง (Precision)

ความเที่ยงตรงเป็นคุณสมบัติหนึ่งของวิธีวัด (Measurement Method) หรือเครื่องมือวัด (Measurement Device) ซึ่งพิจารณาจากขนาดของความผันแปรที่เกิดขึ้น โดยการวัดวัตถุชิ้นเดียวกันหลายครั้ง ด้วยผู้วัด วิธีวัด และเครื่องมือวัด ชุดเดียวกัน ถ้าค่าจากการวัดวัตถุชิ้นเดียวกันซ้ำหลายครั้งได้ค่าใกล้เคียงกัน หรือขนาดของความผันแปรในการวัดซ้ำเกิดขึ้นน้อย แสดงว่าระบบการวัดมีความเที่ยงตรงสูง อย่างไรก็ตามความเที่ยงตรงไม่ได้ให้ความสำคัญว่าค่าที่วัดได้นั้นจะเป็นค่าที่ถูกต้องหรือไม่

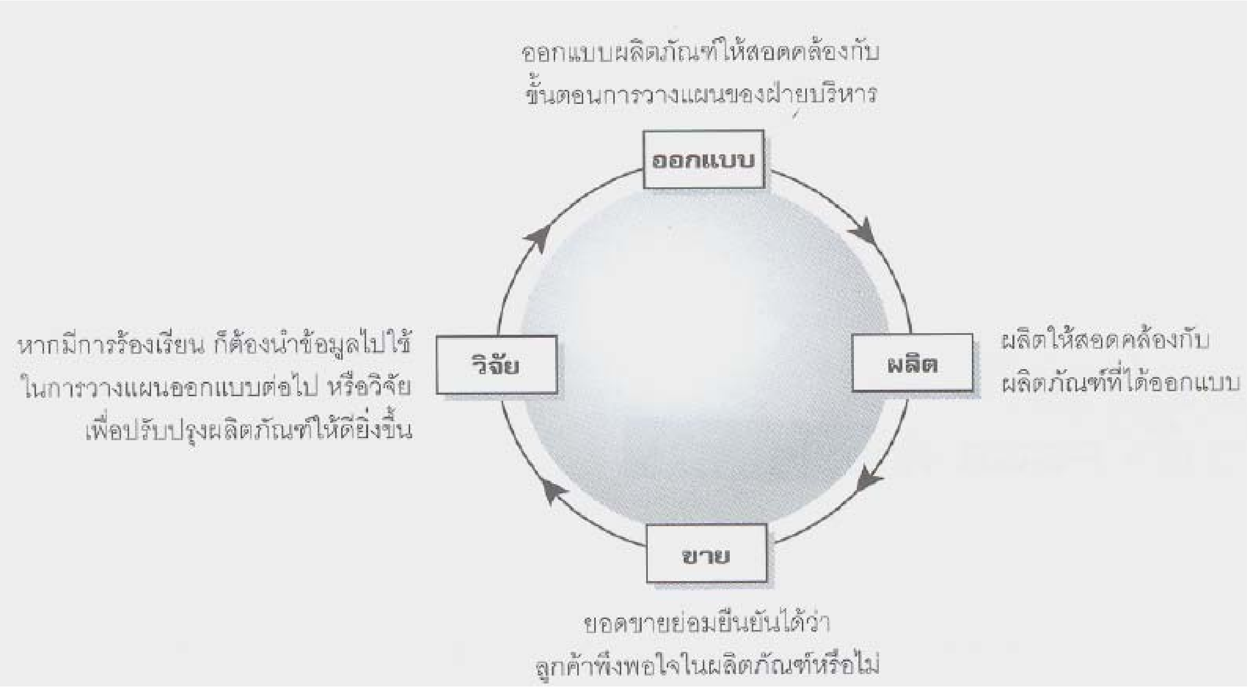
ความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำคือความสามารถของระบบวัดที่สามารถวัดค่าได้ใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้อง หรือค่าจริง สำหรับกรณีที่มีการวัดวัตถุชิ้นเดียวกันซ้ำหลายครั้ง ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดควรมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องหรือค่าจริง

2.1.6 วงจร PDCA

Walter Shewhart ซึ่งได้พัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับวงจร PDCA จากการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติที่ Bell Laboratories ในสหรัฐอเมริกาเมื่อทศวรรษ 1930 วงจรดังกล่าวเป็นที่รู้จักกันในชื่อ "วงจร Shewhart" ในระยะแรก จนกระทั่งราวทศวรรษที่ 1950 W.Edwards Deming ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการบริหารคุณภาพ ได้เผยแพร่อย่างกว้างขวาง จึงเรียกวงจรนี้ว่า "วงจร Deming" (พัชรี อินทร์อำนวย,2549 : ออนไลน์)

Deming เน้นถึงความสัมพันธ์ 4 ฝ่าย ในการดำเนินธุรกิจเพื่อให้มีคุณภาพ และนำมาซึ่งความพึงพอใจของลูกค้า ได้แก่ ฝ่ายออกแบบ ฝ่ายผลิต ฝ่ายขาย และฝ่ายวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของทั้ง 4 ฝ่ายนั้น จะต้องดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อยกระดับคุณภาพของสินค้าตามความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยให้ถือว่าคุณภาพจะต้องมาก่อนสิ่งอื่นใด

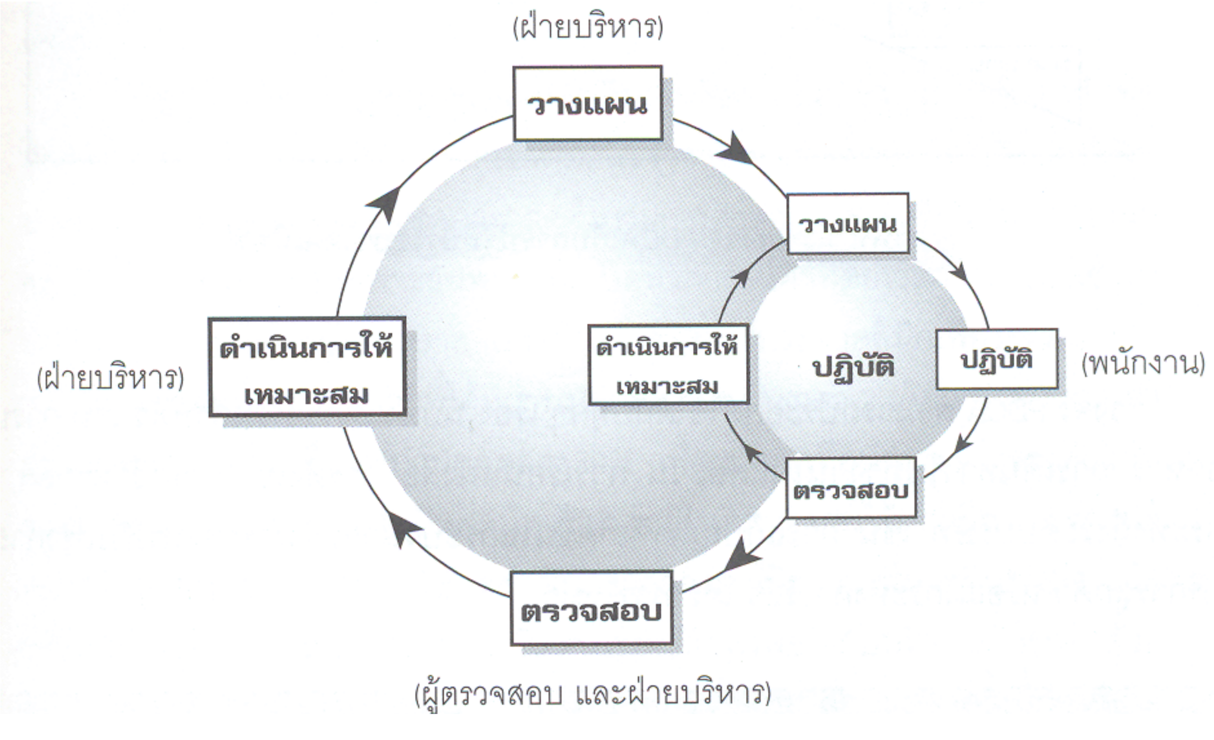


รูปที่ 2.7 วงจรPDCAในยุคแรก
(พัชรี อินทร์อำนวย,2549 : ออนไลน์)

ต่อมาแนวคิดเกี่ยวกับกับวงจร Deming ได้ถูกดัดแปลงให้เข้ากับวงจรการบริหาร ประกอบด้วย ขั้นตอนการวางแผน ขั้นตอนการปฏิบัติ ขั้นตอนการตรวจสอบ และขั้นตอนการดำเนินการให้เหมาะสม (การปรับปรุงแก้ไข) แต่ยังมีข้อเสีย เพราะแต่ละขั้นตอนถูกมอบหมายให้

เป็นหน้าที่รับผิดชอบของแต่ละฝ่าย ขณะที่ฝ่ายบริหารกำหนดแผนงานและตั้งเป้าหมายสำหรับพนักงาน พนักงานก็ต้องลงมือปฏิบัติให้บรรลุตามเป้าหมายที่ฝ่ายบริหารได้กำหนดขึ้น ในขณะที่ผู้ตรวจสอบคอยตรวจสอบผลการปฏิบัติงานของพนักงานเป็นระยะๆและรายงานผลให้ผู้บริหารทราบ หากการปฏิบัติงานมีความผิดพลาดหรือเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายจะได้แก้ไขได้ทันที พนักงานที่สามารถปฏิบัติงานได้ตามเป้าหมายจะได้รับรางวัล แต่ถ้าไม่สามารถทำได้ตามเป้าหมายก็จะถูกประเมินผลงานต่ำ การดำเนินงานในลักษณะนี้จะเห็นได้ว่าค่อนข้างแข็งกระด้าง นอกจากผู้บริหารจะไม่ประเมินศักยภาพของพนักงานซึ่งเป็นผู้ที่รู้ดีที่สุดเกี่ยวกับกระบวนการทำงานแล้ว ยังขาดการประสานงานภายในหน่วยงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้พนักงานมีส่วนร่วมในขั้นตอนการวางแผนและแก้ไขปรับปรุง

อย่างไรก็ตาม วงจร Deming ได้พัฒนาไปในทิศทางที่ดีขึ้นโดยให้ความสำคัญกับพื้นฐานการบริหารงานคือการสื่อสารและความร่วมมือร่วมใจจากทุกคนในหน่วยงาน ผู้บริหารยังคงเป็นผู้กำหนดแผนงาน แต่จะสื่อสารผ่านทางหัวหน้างานและพนักงานตามลำดับขั้น เป้าหมายถูกกำหนดขึ้นตามความเหมาะสมและเป็นไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรPDCAที่ได้รับการพัฒนาในญี่ปุ่น
(พัชรี อินทร์อำนวย,2549 : ออนไลน์)

โครงสร้างของวงจร PDCA

ขั้นตอนของวงจร PDCA ประกอบด้วย การวางแผนอย่างรอบคอบ เพื่อการปฏิบัติอย่างค่อยเป็นค่อยไป แล้วจึงตรวจสอบผลที่เกิดขึ้น วิธีการปฏิบัติใดมีประสิทธิผลที่สุดก็จะจัดให้เป็นมาตรฐาน หากไม่สามารถบรรลุเป้าหมายได้ ก็ต้องมองหาวิธีการปฏิบัติใหม่หรือใช้ความพยายามให้มากขึ้นกว่าเดิม รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

- ขั้นตอนการวางแผน (P, Plan)

ขั้นตอนการวางแผนครอบคลุมถึงการกำหนดกรอบหัวข้อที่ต้องการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง ซึ่งรวมถึงการพัฒนาสิ่งใหม่ ๆ การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน พร้อมกับพิจารณาว่ามีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลใดบ้างเพื่อการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงนั้น โดยระบุวิธีการเก็บข้อมูลให้ชัดเจน นอกจากนี้จะต้องวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้ แล้วกำหนดทางเลือกในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

การวางแผนช่วยให้สามารถคาดการณ์สิ่งที่เกิดขึ้นในอนาคต และช่วยลดความสูญเสียต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ ทั้งในด้านแรงงาน วัตถุดิบ ชั่วโมงการทำงาน เงิน เวลา โดยสรุปแล้ว การวางแผนช่วยให้รับรู้สภาพปัจจุบัน พร้อมกับกำหนดสภาพที่ต้องการให้เกิดขึ้นในอนาคต ด้วยการผสานประสบการณ์ ความรู้ และทักษะอย่างลงตัว โดยทั่วไปการวางแผนมีอยู่ด้วยกัน 2ประเภทหลัก ๆ ได้แก่การวางแผนเพื่ออนาคต เป็นการวางแผนสำหรับสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตหรือกำลังจะเกิดขึ้น บางอย่างเราไม่สามารถควบคุมสิ่งนั้นได้เลย แต่เป็นการเตรียมความพร้อมของเราสำหรับสิ่งนั้น และการวางแผนเพื่อการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง เป็นการวางแผนเพื่อเปลี่ยนแปลงสภาพที่เกิดขึ้นในปัจจุบันเพื่อสภาพที่ดีขึ้น ซึ่งเราสามารถควบคุมผลที่เกิดในอนาคตได้ด้วยการเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ปัจจุบัน

- ขั้นตอนการปฏิบัติ (D, DO)

ขั้นตอนการปฏิบัติคือการลงมือปรับปรุงเปลี่ยนแปลงตามทางเลือกที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการวางแผน ในขั้นนี้ต้องตรวจสอบระหว่างการปฏิบัติด้วยว่าได้ดำเนินไปในทิศทางที่ตั้งใจหรือไม่ พร้อมกับสื่อสารให้ผู้ที่เกี่ยวข้องรับทราบด้วย

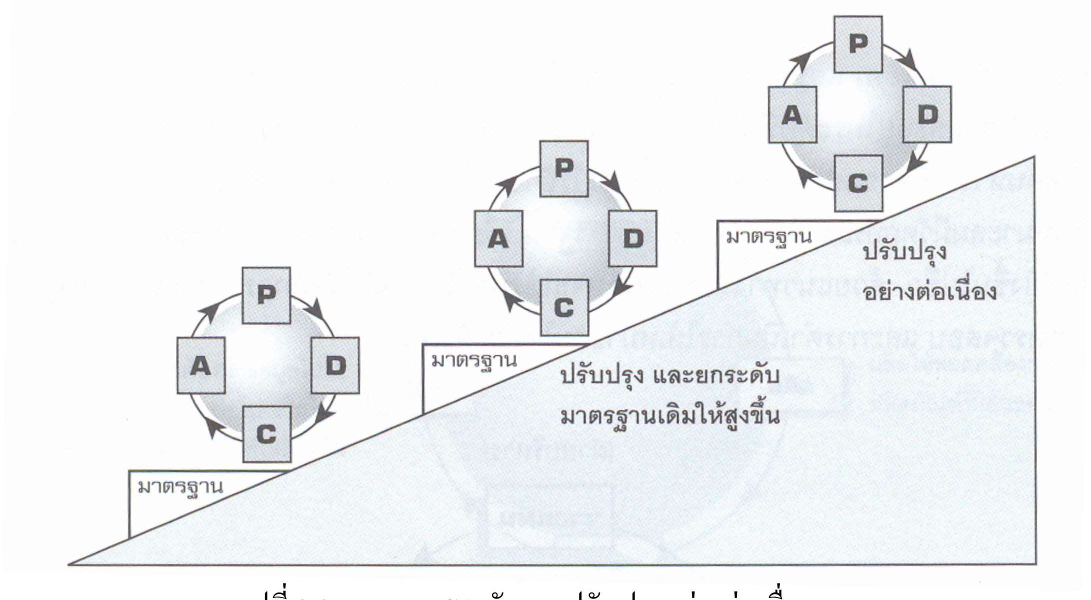
- ขั้นตอนการตรวจสอบ (C, Check)

ขั้นตอนการตรวจสอบคือการประเมินผลที่ได้รับจากการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง การตรวจสอบทำให้เราทราบว่าการปฏิบัติในขั้นที่สองสามารถบรรลุเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ สิ่งสำคัญคือต้องทราบว่าจะตรวจสอบอะไรบ้างและบ่อยครั้งแค่ไหน ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบจะเป็นประโยชน์สำหรับขั้นตอนถัดไป

- ขั้นตอนการดำเนินงานให้เหมาะสม (A, Act)

ขั้นตอนการดำเนินงานให้เหมาะสมจะพิจารณาผลที่ได้จากการตรวจสอบ ซึ่งมีอยู่ 2 กรณีคือ ผลที่เกิดขึ้นเป็นไปตามแผนที่วางไว้ หรือไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ หากเป็นกรณีแรกให้นำแนวทางหรือกระบวนการปฏิบัตินั้นมาจัดทำให้เป็นมาตรฐาน พร้อมทั้งหาวิธีการที่จะปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นไปอีก ซึ่งอาจหมายถึงสามารถบรรลุเป้าหมายได้เร็วกว่าเดิม หรือเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าเดิม หรือทำให้คุณภาพดียิ่งขึ้น แต่ถ้าหากผลที่ได้ไม่บรรลุวัตถุประสงค์ตามแผนที่วางไว้ เราควรนำข้อมูลที่รวบรวมไว้มาวิเคราะห์ และพิจารณาว่าควรจะดำเนินการอย่างไรต่อไปนี้โดยอาจมองหาทางเลือกใหม่ที่น่าจะเป็นไปได้ ใช้ความพยายามให้มากขึ้นกว่าเดิม ขอความช่วยเหลือจากผู้รู้ หรืออาจเปลี่ยนเป้าหมายใหม่

วงจร PDCA ใช้ปรับปรุงงานได้อย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 2.9 วิธีการใหม่ ๆ ที่ทำให้เกิดการปรับปรุงจะถูกจัดทำเป็นมาตรฐานการทำงาน ซึ่งทำให้การทำงานมีการพัฒนาอย่างไม่สิ้นสุด โดยอาจเริ่มด้วยการปรับปรุงเล็ก ๆ น้อย ๆ ก่อนที่จะก้าวไปสู่การปรับปรุงที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.9 วงจร PDCA กับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

(พัชรี อินทร์อำนวย,2549 : ออนไลน์)

2.1.7 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้สร้างแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวหรือมากกว่า ซึ่งประกอบตัวแปรตามหนึ่งตัว(dependent variable) กับตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (independent variable)อย่างน้อยหนึ่งตัว เพื่อประมาณค่าหรือการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม เมื่อ

กำหนดค่าของตัวแปรอิสระโดยพยายามให้ค่าที่ประมาณหรือค่าที่พยากรณ์ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยหรือใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง

แบบจำลองการถดถอยที่เป็นสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงจะถูกหาก็ต่อเมื่อพบว่าสมการแบบเส้นตรงไม่เหมาะสมกับข้อมูล อย่างไรก็ตามการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบการถดถอยก็ยุ่งยากขึ้นด้วย ดังนั้นในกรณีที่สมการถดถอยแบบเส้นตรงไม่เหมาะสมกับข้อมูลเราสามารถทำได้ 2 วิธีการคือ

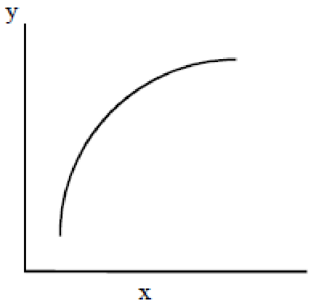
- การแปลงข้อมูล (transformation) ซึ่งจะทำให้สมการถดถอยแบบเส้นตรงเหมาะสมกับข้อมูลที่แปลงแล้ว
- การหาตัวแบบสถิติใหม่ที่ไม่ใช่สมการเส้นตรงซึ่งเหมาะสมกับข้อมูลนั้น

วิธีการนี้ผู้วิเคราะห์ต้องมีความสามารถในการคาดคะเนรูปแบบความสัมพันธ์ที่อาจเป็นไปได้โดยการพล๊อตกราฟเพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาตัวแบบสถิติใหม่ที่เหมาะสมกับข้อมูล

แบบจำลองควอดราติก

ในกรณีที่ตัวแปรตาม(y)มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วตามการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของตัวแปรต้น(x) แต่เมื่อตัวแปรต้นมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเรื่อยๆ ตัวแปรตามกลับมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์แบบควอดราติก

รูปแบบความสัมพันธ์เป็นแบบควอดราติกดังสมการที่ 2.1 โดย β_0, β_1 และ β_2 คือสัมประสิทธิ์ที่ต้องประมาณค่าและ e คือความผิดพลาดแบบสุ่ม

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + e \qquad (2.1)$$

การวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ตัวแปรและผลตอบของแบบจำลองโดยตั้งสมมติฐานดังนี้

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$

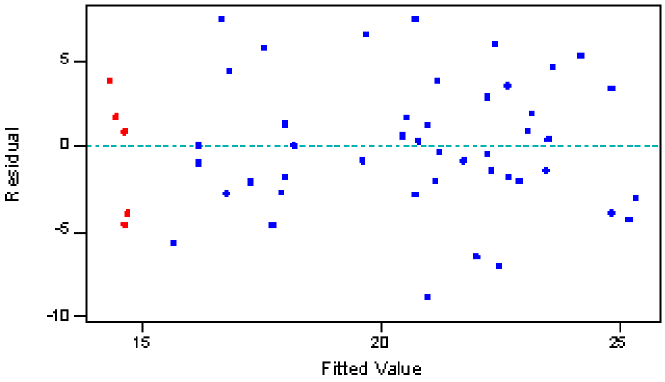
$H_1 : \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า , $\alpha = 0.05$

อาศัยการทดสอบ F ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนถ้าเรายอมรับสมมติฐานหลัก จะสรุปว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของแบบจำลองและตัวแปรผลตอบ แต่หากมีการปฏิเสธสมมติฐานหลักจะบอกให้ทราบว่าอย่างน้อยที่สุดตัวแปรของแบบจำลองหนึ่งตัวจะมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์

<u>การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง</u>

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเชื่อถือได้ก็ต่อเมื่อสามารถตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานว่าเป็นจริง การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยเกี่ยวกับค่าความคลาดเคลื่อนคือค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีค่าความแปรปรวนเป็นค่าคงที่เท่ากับ σ^2 เราสามารถตรวจสอบสมมติฐานและความถูกต้องของแบบจำลองจากการตรวจสอบรูปแบบของค่าความคลาดเคลื่อนหรือส่วนตกค้าง (Residual) และการตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นปกติของความคลาดเคลื่อน (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

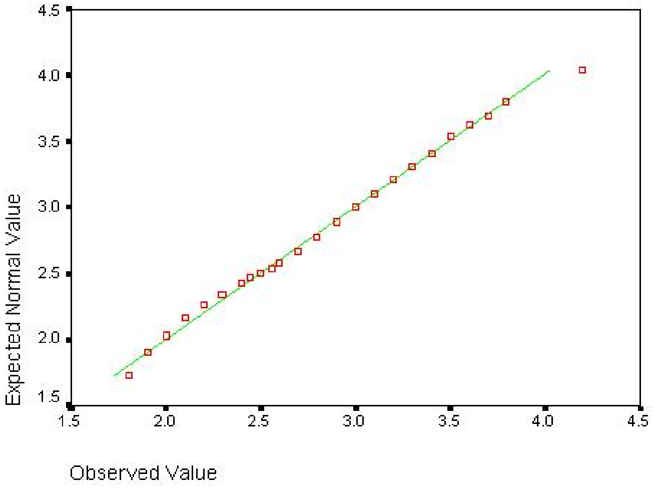
หากแบบจำลองถูกต้องและสมมติฐานมีความเหมาะสม กราฟที่ได้จากการพล๊อตส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ไม่ควรจะมีรูปแบบใดๆดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กราฟของส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต

(Penn state, 2004: online)

การตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นปกติสามารถทำได้โดยการสร้าง Normal Q-Q Plot ของส่วนตกค้าง หากความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติจริงรูปแบบของกราฟที่พล๊อตออกมาควรใกล้เคียงกับเส้นตรงของตัวอย่างที่ได้จากการแจกแจงปกติดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Normal Q-Q Plot ของส่วนตกค้าง

(Wellesley Collage, 2010 : online)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ (พีเอซี) เป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายแทนสารสร้างตะกอนที่นิมกันอยู่เดิมคือสารส้ม (Alum) ตั้งแต่ทศวรรษที่ 1980 เป็นต้นมา ด้วยสาเหตุหลายประการดังจะเห็นได้จากงานวิจัยของ **Hundt** และ **O’Melia** (1985) พบว่า พีเอซี สามารถกำจัดกรดฟูลวิก (Fulvic Acid) ที่มีความเข้มข้น และpHต่ำ ได้ดีกว่าสารส้มและยังพบว่า พีเอซี มีความเหมาะสมที่จะใช้กับน้ำที่มีสารอินทรีย์และค่าpHต่ำ เพราะจะใช้ พีเอซี ในปริมาณที่น้อยกว่าสารสร้างตะกอนที่เป็นอลูมิเนียมชนิดอื่นๆ

Simpson et al. (1988) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มแล้วพบว่า พีเอซี จะให้อลูมิเนียมคงเหลือในปริมาณที่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอลูมิเนียมละลายกลับออกมาจาก พีเอซี ในปริมาณที่น้อยกว่านั้นเอง และ พีเอซี สามารถใช้กับน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำได้ นอกจากนี้ Simpson et al. พบว่าน้ำที่ได้ภายหลังการบำบัดด้วย พีเอซี จะมีpH ไม่ต่ำมากเหมือนกับน้ำที่ได้จากการบำบัดโดยใช้สารส้ม

Viraraghavan และ **Wimmer** (1988) ได้ทำการทดลองหาปริมาณการใช้สารส้มและ พีเอซี ที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 7,10 และ 20 °C พบว่าในการกำจัดความขุ่นนั้น พีเอซี สามารถกำจัดความขุ่นได้มากกว่าการใช้สารส้มร้อยละ 20 ในทุกๆอุณหภูมิที่ทดสอบและสามารถใช้ พีเอซี ได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างกว่าการใช้สารส้ม นอกจากนี้คุณสมบัติของน้ำภายหลังการบำบัดยังมีค่าpHสูงกว่าการใช้สารส้มจึงทำให้ไม่จำเป็นต้องปรับค่า pHของน้ำในภายหลัง Viraraghavan และ Wimmer ยังพบอีกว่า การนำ พีเอซี มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นไม่ทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงเครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ รวมทั้งไม่ต้องเปลี่ยนแปลงจุดที่จะใส่สารสร้างตะกอนเข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำเลย น้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วจะมีความขุ่นอยู่ในระดับที่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ head loss ของระบบการกรองอยู่ในระดับที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสารส้ม

พีเอซีkham และ **Ratnayaka** (1992) พบว่า พีเอซี สามารถใช้กับน้ำในช่วงpH ที่กว้างกว่าการใช้สารส้ม โดยสามารถใช้กับน้ำที่มี pH น้อยกว่า 5.5 และมากกว่า 7 ได้ อีกทั้งการใช้ พีเอซี ทำให้การรวมตัวกับอนุภาคคอลลอยด์เกิดเป็นกลุ่มตะกอนได้เร็ว มีความแข็งแรงกว่าและตกตะกอนได้เร็วกว่าการใช้สารส้ม

Povillot และ **Suty** (1992) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้มแล้ว พีเอซี จะมีอลูมิเนียมตกค้างในปริมาณที่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอลูมิเนียมละลายกลับออกมาจาก พีเอซี ในปริมาณที่น้อยกว่านั้นเอง และพีเอซี สามารถใช้กับน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำได้

ไม่เพียงแค่งานวิจัยช่วงทศวรรษที่ 1980 เท่านั้น ในปัจจุบันนี้งานวิจัยเกี่ยวกับ พีเอซี ยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่องอาทิ **Ghafari** et al. (2009) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาพื้นที่ผิวผลตอบ (Response Surface Method, RSM) แบบ Central Composite Design (CCD) เพื่อสร้างแบบจำลองและหาปริมาณและค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมที่สุดของพีเอซี และสารส้ม ในการบำบัดน้ำเสียจากหลุมฝังกลบPalau Burung รัฐปีนัง ประเทศมาเลเซีย โดยทำการทดลองเดือนละ2ครั้ง เป็นเวลา 3 เดือนใช้พีเอซี 1 ถึง 3 กรัมต่อลิตร และปรับค่า pH ของน้ำให้อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ส่วนสารส้มใช้ 9 ถึง 10 กรัมต่อลิตรและปรับค่า pH ของน้ำให้อยู่ในช่วง 6.0-8.0 จากการทดลองพบว่าปริมาณของพีเอซีและค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียด้วย พีเอซี คือ 2 กรัมต่อลิตร และpH 7.5 ซึ่งสามารถลดค่า Chemical Oxygen Demand (COD) ค่าความขุ่น สี และค่า Total Suspend Solid (TSS) ได้ 46.7%, 94.4%, 92.0% และ 92.6% ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณของพีเอซีและค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียด้วยสารส้มคือ 9.5 กรัมต่อลิตร และpH 7.0 ซึ่งสามารถลดค่า Chemical Oxygen Demand (COD) ค่าความขุ่น สี และค่า Total Suspend Solid (TSS) ได้60.8%, 88.9%, 83.2.% และ 92.5% ตามลำดับ แบบจำลองที่ได้อยู่ในรูปของสมการควอดราติก คุณภาพของน้ำที่วัดได้จากการทดลองไม่แตกต่างจากค่าที่คำนวนได้จากแบบจำลองมากนัก

Yang et al. (2010) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำจากแม่น้ำเหลืองบริเวณมณฑลซานตง ประเทศจีน ระหว่าง พีเอซี และสารส้ม พิจารณาค่าความขุ่น, ค่า Dissolved Organic Carbon (DOC) และค่า Ultraviolet Adsorption at Wavelength 254 nm (UV_{254}) หาอัตราการป้อนสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดด้วยการทำจาร์เทสต์ ทำการทดลอง 4 ครั้งโดยกวนเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้า 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้ตกตะกอนอีก 25 นาที พบว่าอัตราการป้อนสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้ คือ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่าพีเอซีมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่น และค่า UV_{254} ได้ดีกว่าสารส้ม โดย พีเอซี ลดความขุ่น และค่า UV_{254} ได้ 96.3% และ 57.1% ตามลำดับ ในขณะที่สารส้มลดความขุ่น และค่า UV_{254} ได้ 94.5% และ 53.5% ตามลำดับ ส่วนค่า DOC นั้น สารส้มสามารถลดได้มากกว่าคือลดได้34.8% ในขณะที่พีเอซี ลดได้32.7% นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้ทำการทดลองที่ pH ต่างๆกันตั้งแต่ 4.0-9.0 พบว่าทั้งพีเอซี และสารส้มนั้น มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ pHของน้ำตัวอย่างเท่ากับ 6.0

Ghafari et al. (2010) ยังได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากหลุมฝังกลบPalau Burung รัฐปีนัง ประเทศมาเลเซีย ระหว่าง พีเอซี และสารส้ม โดยพิจารณาค่าความขุ่น สี pH ค่า Chemical Oxygen Demand (COD) และค่า Total Suspend Solid (TSS) ก่อนและหลังการบำบัด จากการศึกษาพบว่า พีเอซี มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่น สี และค่าTSS ได้ดีกว่าสารส้ม โดย พีเอซี ลดความขุ่น สี และค่าTSS ได้ 99.18% 97.26% และ 99.22%ตามลำดับ ในขณะที่สารส้มลดความขุ่น สี และค่าTSS ได้ 94.82% 92.23% และ 95.92% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามสารส้มมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD ได้มากกว่า พีเอซี โดยค่า COD ของน้ำลดลง84.50% ส่วนพีเอซีลดค่าCODของน้ำได้ 56.76% Ghafari et al.ได้หาอัตราเร็วและเวลาที่ใช้ในการกวนเร็วและกวนช้าที่เหมาะสมที่สุดในการทำจาร์เทสต์สำหรับการทดลองนี้ คือกวนเร็ว 100รอบต่อนาที เป็นเวลา 45วินาที และกวนช้า 40รอบต่อนาที เป็นเวลา 15นาที สำหรับ พีเอซี และกวนเร็ว 80รอบต่อนาที เป็นเวลา 45วินาที และกวนช้า 30รอบต่อนาที เป็นเวลา 20นาที สำหรับสารส้ม จากนั้นทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเองเป็นเวลา 30 นาที สำหรับอัตราการป้อนสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดนั้น หาจากการทำจาร์เทสต์ พบว่าพีเอซีใช้เพียงแค่ 1.9 กรัมต่อลิตร ในขณะที่สารส้มต้องใช้ถึง 9.4 กรัมต่อลิตร

ปฐมพร พูลสวัสดิ์ (2551) ทดลองหาปริมาณ พีเอซี ที่ใช้ในการตกตะกอนคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นภายหลังการใช้สารละลายคลอรีนไดออกไซด์และคลอรีนในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย สำหรับน้ำจากอ่างเก็บน้ำของโรงไฟฟ้าวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยาซึ่งมีความขุ่นเริ่มต้นประมาณ 90-93 NTU ใช้พีเอซีปริมาณ 0.5, 1, 2 mlไปจนกระทั่ง 14ml ในน้ำตัวอย่างปริมาณ 800 ml (มีความเข้มข้น 6 .25 – 175.0 mg/l) ทำการทดลองจาร์เทสต์เดือนละครั้งในเดือน เมษายน

มิถุนายน กันยายน และพฤศจิกายน รวม 4 ครั้ง โดยใช้อัตรากวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วเปลี่ยนมากวนช้า 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที ทำการวิเคราะห์ pH, ค่าความขุ่น และ Alkalinity ก่อนและหลังเติม พีเอซี พบว่า พีเอซี ที่ปริมาณ ตั้งแต่ 7 ml ขึ้นไปสามารถลดความขุ่นของน้ำได้มากกว่า 94 % ทำให้ความขุ่นของน้ำตัวอย่างน้อยกว่า 5 NTU นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า pH ของน้ำตัวอย่างมีค่าลดลงแต่ไม่มากนัก โดยpH ลดลงมากที่สุดจาก 6.76 เหลือ 5.24 เมื่อเติม พีเอซี 14ml ปฐมพรแนะนำว่าในการเลือกใช้ความเข้มข้นของ พีเอซี เท่าไรนั้นอาจพิจารณาทั้งช่วงค่า pH ที่ลดลง และปริมาณของ พีเอซี ที่ใช้เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่ดีและคุ้มค่าใช้จ่าย

พีเอซี นอกจากมีประสิทธิภาพที่ดีในการลดความขุ่น สี ค่าTSS และค่า UV_{254} แล้ว พีเอซียังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนู (Arsenic) ออกจากน้ำเสีย โดย **Wu** et al. (2010) ได้ทำการเติมพีเอซีลงในน้ำเสียโดยทำการทดลองซ้ำ2ครั้ง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนูเพิ่มขึ้นจากเดิมมาก ก่อนมีการเติมพีเอซีนั้น เมื่อเติม Fe–Mn binary oxide (FMBO) ซึ่งเป็นตัวกำจัดสารหนูลงไปในน้ำ 30 และ 60มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่ากำจัดสารหนูได้ 70.2% และ 71.8% ตามลำดับ แต่เมื่อเติมพีเอซีลงไป 80 มิลลิกรัมต่อลิตร สารหนูถูกกำจัดได้มากถึง 97.1% และ 98.7% ในน้ำที่เติม FMBO30 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้น พบว่า พีเอซี เป็นสารสร้างตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำดีกว่าสารสร้างตะกอนที่เคยเป็นที่นิยมอย่างสารส้ม ทั้งประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่น สี ค่าTSS และค่า UV_{254} นอกจากนี้ค่าpHของน้ำหลังการบำบัดก็ไม่ได้ลดลงมากเกินไปเมื่อเทียบกับสารส้ม ในแต่ละงานวิจัยยังได้แนะนำอัตราการป้อน พีเอซี ที่เหมาะสม รวมถึงความเร็วรอบและเวลาที่ใช้ในการทำจาร์เทสต์

อย่างไรก็ตามอัตราการเติมพีเอซีที่เหมาะสมนั้นแตกต่างกันไปตามคุณภาพของน้ำดิบแต่ละแห่งซึ่งแตกต่างกัน ดังจะเห็นได้จากในแต่ละงานวิจัยที่มีอัตราการเติมที่เหมาะสมแตกต่างกัน จึงมีความจำเป็นที่ต้องทำงานวิจัยนี้เพื่อหาอัตราการป้อนพีเอซีที่เหมาะสมกับน้ำดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ของโรงไฟฟ้าบางปะกงชุดที่ 5

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การทดลองนี้เป็นการหาปริมาณของโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์(พีเอซี) ที่เหมาะสมในกระบวนผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ เพื่อลดปริมาณของพีเอซีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นการประหยัดสารเคมีและประหยัดค่าใช้จ่าย การทดลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์จะทำที่ห้องปฏิบัติการภายในโรงผลิตน้ำของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกงชุดที่ 5 และนำปริมาณของพีเอซีที่ได้จากการทดลองจาร์เทสต์ไปประยุกต์ใช้จริงในกระบวนการผลิตน้ำ ทำการทดลองจาร์เทสต์เดือนละครั้งตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนมิถุนายน 2554 ซึ่งเป็นการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อให้ได้ตัวแทนของคุณภาพน้ำดิบทั้ง 3 ฤดู ได้แก่ฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝนตามลำดับที่มีค่าความขุ่นและค่าpHแตกต่างกันไป โดยทำซ้ำ2ครั้ง เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงของผลการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีกับค่าความขุ่นและค่าpHของน้ำดิบและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมแล้วนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2554

โดยทั่วไปความถี่การทำจาร์เทสต์ในกระบวนการผลิตน้ำของโรงไฟฟ้าคือเดือนละครั้ง ในขณะที่ความถี่ของการทำจาร์เทสต์สำหรับงานวิจัยที่ได้ศึกษามาพบว่า **Yang** et al. (2010) ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำจากแม่น้ำเหลืองบริเวณมณฑลซานตง ประเทศจีน ระหว่าง พีเอซี และสารส้มหาอัตราการป้อนสารเคมีที่เหมาะสมที่สุดด้วยการทำจาร์เทสต์โดยทำการทดลอง 4 ครั้ง **Wu** et al. (2010) ศึกษาการเติมพีเอซีลงในน้ำเสียเพื่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารหนู (Arsenic)โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง**ปฐมพร พูลสวัสดิ์** (2551) ทดลองหาปริมาณ พีเอซี ที่ใช้ในการตกตะกอนคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นภายหลังการใช้สารละลายคลอรีนไดออกไซด์และคลอรีนในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย สำหรับน้ำจากอ่างเก็บน้ำของโรงไฟฟ้าวังน้อยทำการทดลองจาร์เทสต์เดือนละครั้งในเดือน เมษายน มิถุนายน กันยายน และพฤศจิกายน รวมทั้งสิ้น 4 ครั้ง **Ghafari** et al. (2009) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาพื้นที่ผิวผลตอบ (Response Surface Method, RSM) แบบ Central Composite Design (CCD) เพื่อสร้างแบบจำลองและหาปริมาณและค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมที่สุดของพีเอซี และสารส้ม ในการบำบัดน้ำเสียจากหลุมฝังกลบPalau Burung รัฐปีนังโดยทำการทดลองเดือนละ2ครั้ง เป็นเวลา 3 เดือนรวม 6 ครั้ง

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องมือทดลองจาร์เทสต์ ยี่ห้อ VELP รุ่น JLT4
2. เครื่องมือวัดค่าความขุ่น ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI98703
3. เครื่องมือวัดค่าpH ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI123
4. บีกเกอร์ยี่ห้อ SCHOTT ขนาด 1000ml
5. บีกเกอร์ยี่ห้อ KIMAX ขนาด 100ml
6. ขวดแก้วใสสำหรับใส่น้ำตัวอย่างเพื่อวัดความขุ่น ขนาด10ml
7. กระบอกฉีดยาพลาสติกขนาด 3ml

3.3 การเตรียมสารเคมี

3.3.1 สารละลายพีเอซี

ใช้กระบอกฉีดยาดูดพีเอซีมา 1ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100ml เติมน้ำกลั่นจนครบ 100ml จะได้สารละลายพีเอซี ซึ่งเมื่อเติมสารละลายพีเอซี 1ml ลงในน้ำดิบ 1000ml จะได้น้ำดิบที่มีพีเอซีอยู่ 10ppm หากต้องการน้ำดิบที่มีความเข้มข้นของพีเอซีมากขึ้น ให้เพิ่มปริมาณสารละลายพีเอซีลงไปตามสัดส่วน โดยทุก 1mlของสารละลายพีเอซี จะทำให้ความเข้มข้นของพีเอซีในน้ำดิบเพิ่มขึ้น 10ppm

***หมายเหตุ** : 1 ml ของสารละลายเมื่อเติมลงในน้ำดิบ 1,000 ml จะเทียบเท่า 1/100/1,000 = 1 ml (พีเอซี) /100,000 ml (น้ำดิบ) หรือ 10 ml (พีเอซี) / 1,000,000 ml (น้ำดิบ) = 10 ppm*

3.3.2 โซเดียมไฮโปคลอไรท์

เติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ปริมาณ 0.2ml ลงในน้ำดิบขนาด 1000ml เพื่อให้ได้น้ำดิบที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรท์อยู่ 200ppm

3.3.2 สารละลายโพลิเมอร์ประจุลบ C-0320

ใช้วิธีเตรียมเช่นเดียวกับวิธีเตรียมสารละลายพีเอซี โดยใช้กระบอกฉีดยาดูดโพลิเมอร์ประจุลบมา 1ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100ml เติมน้ำกลั่นจนครบ 100ml จะได้สารละลายโพลิเมอร์ประจุลบ ซึ่งเมื่อเติมสารละลายโพลิเมอร์ประจุลบ 1ml ลงในน้ำดิบ 1000ml จะได้น้ำดิบที่มีโพลิเมอร์ประจุลบอยู่ 10ppm

3.3.4 น้ำดิบ

เก็บน้ำดิบจากท่อเติมน้ำดิบของบ่อตกตะกอน แล้วเทน้ำดิบลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 ml ให้ถึงขีดบอกปริมาตร 1,000 ml

3.4 การทดลองจาร์เทสต์

1. นำบีกเกอร์ที่ใส่น้ำดิบ 1,000 ml มาวางบนเครื่องมือทดลองจาร์เทสต์

2. นำตัวอย่างน้ำดิบใส่ในขวดแก้ววัดความขุ่นขนาด 10ml เช็ดขวดแก้วให้สะอาดด้วยกระดาษชำระเนื้อละเอียด แล้วใส่ในเครื่องวัดความขุ่น ปิดฝาให้สนิท กดปุ่มเพื่ออ่านค่า ทำการวัดซ้ำสามครั้ง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกผลการวัด

3. นำตัวอย่างน้ำดิบใส่ในบีกเกอร์ขนาด 200ml เป็นจำนวน 100ml เพื่อวัดค่า pH ของน้ำโดยจุ่ม probe ของpH meter ลงในน้ำตัวอย่าง รอจนกระทั่งตัวเลขแสดงค่าpHนิ่ง ทำการวัดซ้ำสามครั้ง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกผลการวัด

4. เติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ปริมาณ 0.2ml และเติมสารละลายพีเอซีลงในน้ำดิบให้ได้ความเข้มข้น 10 ppm ,20 ppm ,30 ppm เพิ่มขึ้นทีละ10ppm เรื่อยไปจนถึง 120 ppm เพื่อให้ครอบคลุมช่วงปริมาณพีเอซีที่สามารถปรับได้กว้างหลายค่า

เปิดเครื่องมือทดลองจาร์เทสต์ กวนเร็วที่อัตราเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้สารละลายพีเอซี กระจายตัวในน้ำดิบ

5. เติมสารละลายโพลิเมอร์ประจุลบ C-0320 ลงในน้ำดิบ ให้ได้ความเข้มข้น 10ppm กวนช้าที่อัตราเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ตะกอนรวมตัวกัน

6. กวนช้าที่อัตราเร็ว 20 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที และตั้งทิ้งไว้อีก 10 นาที เพื่อให้ตะกอนตกลงด้านล่างบีกเกอร์

7. เก็บตัวอย่างน้ำที่ได้ในแต่ละบีกเกอร์ ใส่ในขวดแก้ววัดความขุ่นขนาด 10ml เช็ดขวดแก้วให้สะอาดด้วยกระดาษชำระเนื้อละเอียด แล้วใส่ในเครื่องวัดความขุ่น ปิดฝาให้สนิท กดปุ่มอ่านค่า ทำการวัดซ้ำสามครั้ง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกผลการวัด

8. เก็บตัวอย่างน้ำที่ได้ในแต่ละบีกเกอร์ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 200ml เป็นจำนวน 100ml เพื่อวัดค่า pH ของน้ำโดยจุ่ม probe ของpH meter ลงในน้ำตัวอย่าง รอจนกระทั่งตัวเลขแสดงค่าpHนิ่ง ทำการวัดซ้ำสามครั้ง หาค่าเฉลี่ยและบันทึกผลการวัด

9. ล้างเครื่องแก้วต่างๆ จัดเก็บเครื่องแก้วและอุปกรณ์ให้เรียบร้อย พร้อมทำความสะอาดบริเวณที่ทำการทดลอง

3.5 การปรับอัตราการเติมพีเอซีตามปริมาณที่ได้จากผลจาร์เทสต์

1. ปรับปริมาณพีเอซีโดยปรับจังหวะการทำงาน(stroke)ของปั๊มป้อนพีเอซี (PAC dosing pump) โดยการเปลี่ยนstrokeของปั๊มไป 1% จะทำให้ปริมาณของพีเอซีเปลี่ยนไป 4ppm ปรับให้ได้ปริมาณพีเอซีเท่ากับค่าปริมาณพีเอซีน้อยที่สุดที่ที่ทำให้ค่าความขุ่นของน้ำจากการทดลองจาร์เทสต์ไม่เกิน 2.00 NTU หากปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมนั้นไม่ใช่จำนวนเท่าของ 4ppm ทำการปัดขึ้นให้เป็นจำนวนเต็มเท่าของ 4 ppm เนื่องจากการปัดลงอาจทำให้ค่าความขุ่นของน้ำมากกว่า 2.00 NTU

2. เก็บตัวอย่างน้ำในถังน้ำใส (Clarified Well) เมื่อมีการผลิตน้ำมาวัดค่าความขุ่นและค่า pH เพื่อพิจารณาผลของการปรับปริมาณพีเอซีตามค่าที่ได้จากการทดลองจาร์เทสต์ โดยไม่มีอิทธิพลของอุปกรณ์ที่ใช้ในการกรอง (Filter) ใดๆ หากค่าความขุ่นของน้ำเกิน 2.00 NTU ให้ทำการปรับ stokeปั๊มเพิ่ม เพื่อเพิ่มปริมาณของพีเอซีให้มากขึ้นอีกครั้งละ 4ppm พร้อมสังเกตและติดตามผล

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เนื่องจากคุณภาพน้ำดิบในแต่ละเดือนมีค่าความขุ่นและค่าpHที่แตกต่างกันจึงต้องมีการแปลงผลการทดลองให้อยู่ในรูปของร้อยละของค่าความขุ่นและค่าpHที่ลดลงดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

$$\text{ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง} = \frac{(\textit{ความขุ่น}_{(\text{ก่อน})} - \textit{ความขุ่น}_{(\text{หลัง})})}{\textit{ความขุ่น}_{(\text{ก่อน})}} \times 100 \qquad (3.1)$$

$$\text{ร้อยละของค่า pH ที่ลดลง} = \frac{(pH_{(\text{ก่อน})} - pH_{(\text{หลัง})})}{pH_{(\text{ก่อน})}} \times 100 \qquad (3.2)$$

นำค่าร้อยละของความขุ่นและpHที่ลดลงไปพล๊อตกราฟกับปริมาณพีเอซีที่เติมลงไป เพื่อหาแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีกับค่าร้อยละของความขุ่นและpHที่ลดลง เมื่อทราบความสัมพันธ์แล้วทำการวิเคราะห์ถดถอยเพื่อสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SPSS

ใช้การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) ในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีกับร้อยละของค่าความขุ่นและpHที่ลดลง และตรวจสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของแบบจำลองการถดถอย โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่ามีค่าความแปรปรวนคงที่และความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่โดยพิจารณารูปแบบกราฟที่ได้จากการพล๊อตส่วนตกค้าง (residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) และพิจารณารูปแบบกราฟ Normal Q-Q Plot ของส่วนตกค้างตามลำดับ

3.7 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

1. ทำการวัดค่าความขุ่นและpHของน้ำดิบก่อนเริ่มการผลิตน้ำ

2. คำนวณหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมด้วยแบบจำลองที่ได้จากผลการทดลองจาร์เทสต์

3. ปรับปริมาณพีเอซีในกระบวนการผลิตน้ำตามค่าที่คำนวณได้ โดยปัดให้เป็นจำนวนเต็มเท่าของ 4ppm แล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำในถังน้ำใส (Clarified Well) มาวัดค่าความขุ่นและค่า pH หากค่าความขุ่นที่วัดได้จริงมากกว่า 2.00NTU ให้ปรับเพิ่มปริมาณพีเอซีอีก 4ppm

4. พล๊อตกราฟเปรียบเทียบค่าร้อยละของความขุ่นและpHที่ลดลง ระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง โดยกำหนดช่วงการประมาณค่า(Prediction Interval) ที่ 95% เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองว่าแตกต่างจากค่าที่วัดได้จริงเพียงใด

5. พล๊อตกราฟเปรียบเทียบค่าความขุ่นและค่าpHของน้ำที่ผลิตได้ระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง และพิจารณาว่าค่าความขุ่นของน้ำที่วัดได้จริงนั้นไม่เกิน 2.00NTU และค่าpHของน้ำที่วัดได้จริงไม่น้อยกว่า 6.00

บทที่ 4

ผลการทดลองจาร์เทสต์

4.1 ผลของปริมาณพีเอซีต่อค่าความขุ่นของน้ำดิบ

การหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ทำได้โดยการทดลองจาร์เทสต์ซึ่งเป็นการจำลองการตกตะกอนในกระบวนการผลิตจริง ในการทดลองเติมปริมาณพีเอซีที่แตกต่างกันช่วงละ10ppmตั้งแต่ 10-120 ppm เพื่อให้ครอบคลุมช่วงการปรับปริมาณพีเอซีในกระบวนการผลิตได้กว้างและสามารถปรับใช้ได้กับน้ำดิบที่มีค่าความขุ่นแตกต่างกันมาก ทำการทดลองเดือนละครั้งตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนมิถุนายน 2554 เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่แตกต่างกันไปใน3ฤดู และทำซ้ำ2การทดลองในแต่ละเดือนเพื่อเพิ่มความเที่ยงตรง ค่าความขุ่นของน้ำดิบเมื่อเติมปริมาณพีเอซีต่างๆกันสำหรับการทดลองจาร์เทสต์ในแต่ละเดือน แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความขุ่นของน้ำดิบจากการทดลองจาร์เทสต์เมื่อเติมพีเอซีที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554 (เฉลี่ยจากการทำซ้ำ 2 การทดลอง)

พีเอซี (ppm)	ธ.ค.-53	ม.ค.-54	ก.พ.-54	มี.ค.-54	เม.ย.-54	พ.ค.-54	มิ.ย.-54
0 (น้ำดิบ)	12.4	13.0	9.95	6.25	10.2	11.6	8
10	11.6	12.3	9.5	5.91	9.73	10.9	7.48
20	8.00	9.08	6.55	4.47	7.14	7.73	5.79
30	7.21	7.78	5.64	3.78	6.42	7.00	4.80
40	6.26	7.27	4.91	3.54	5.93	6.13	4.26
50	5.86	5.47	3.98	3.16	4.11	4.84	3.55
60	4.51	4.34	2.99	2.25	3.04	4.17	2.64
70	2.46	2.47	1.67	1.25	1.92	2.42	1.43
80	2.05	2.26	1.26	0.99	1.47	1.79	1.00
90	1.07	1.25	0.94	0.71	1.01	1.11	0.77
100	0.99	0.98	0.73	0.53	0.88	0.96	0.62
110	0.82	0.80	0.60	0.42	0.67	0.75	0.51
120	0.56	0.62	0.45	0.28	0.56	0.62	0.37

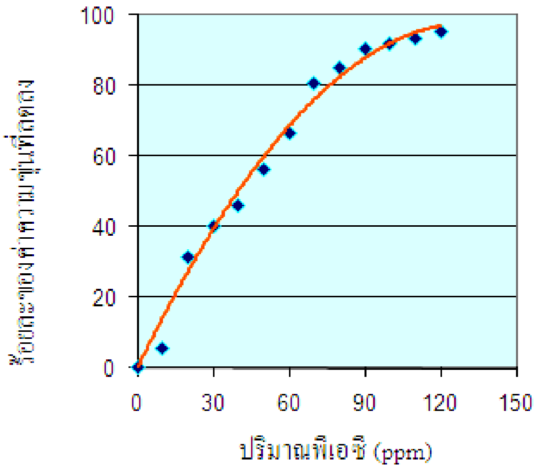
อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความขุ่นเริ่มต้นของน้ำดิบในแต่ละเดือนที่ทำการทดลองมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก การนำค่าความขุ่นไปสร้างแบบจำลองอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้มาก จึงต้องนำค่าความขุ่นที่ได้มาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลงโดยคำนวณตามสมการที่ 3.1 ได้ค่าดังตารางที่ 4.2 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.3 แล้วพล๊อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำกับร้อยละของค่าความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลง ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ร้อยละของค่าความขุ่นของน้ำดิบจากการทดลองจาร์เทสต์
เมื่อเติมพีเอซีที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554

พีเอซี (ppm)	ธ.ค.-53	ม.ค.-54	ก.พ.-54	มี.ค.-54	เม.ย.-54	พ.ค.-54	มิ.ย.-54
0 (น้ำดิบ)	0	0	0	0	0	0	0
10	6.45	5.38	4.52	5.44	4.61	6.03	6.50
20	35.48	30.15	34.17	28.48	30.00	33.36	27.63
30	41.85	40.15	43.32	39.52	37.06	39.66	40.00
40	49.52	44.08	50.65	43.36	41.86	47.16	46.75
50	52.74	57.92	60.00	49.44	59.71	58.28	55.63
60	63.63	66.62	69.95	64.00	70.20	64.05	67.00
70	80.16	81.00	83.22	80.00	81.18	79.14	82.13
80	83.47	82.62	87.34	84.16	85.59	84.57	87.50
90	91.37	90.38	90.55	88.64	90.10	90.43	90.38
100	92.02	92.46	92.66	91.52	91.37	91.72	92.25
110	93.39	93.85	93.97	93.28	93.43	93.53	93.63
120	95.48	95.23	95.48	95.52	94.51	94.66	95.38

ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณพีเอซีต่อร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงของน้ำดิบโดยเฉลี่ย
ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึง เดือนมิถุนายน 2554

พารามิเตอร์	ปริมาณพีเอซี (ppm)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง	5.56	31.33	40.22	46.20	56.24	66.49	80.97	85.03	90.26	92.00	93.58	95.18



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีกับร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงโดยเฉลี่ย ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึง เดือนมิถุนายน 2554

จากรูปที่4.1 พบว่าร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงเมื่อปริมาณพีเอซีอยู่ในช่วง 10-70ppm นั้นมีความชันค่อนข้างมาก แต่ความชันของกราฟจะลดลงสำหรับปริมาณพีเอซีในช่วงที่มากกว่า 70ppm เป็นต้นไป จึงตั้งสมมติฐานในเบื้องต้นไว้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติม ลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลงนั้น มีความสัมพันธ์กันในเชิงพหุนามโดยใช้แบบจำลองควอดราติกเป็นตัวอธิบาย

แบบจำลองควอดราติกที่ถูกนำมาใช้ในการทำนายร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงแสดงดังสมการที่ (4.1)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 \tag{4.1}$$

ทำการวิเคราะห์แบบจำลองควอดราติกโดยใช้โปรแกรมทางสถิติและทดสอบความมีนัยสำคัญของการถดถอย(Regression) เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลตอบคือค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลง กับตัวแปรในแบบจำลองการถดถอยคือปริมาณของพีเอซีที่เติมลงไป

จากการใช้โปรแกรมทางสถิติวิเคราะห์การถดถอยหาค่าสัมประสิทธ์ของแบบจำลองควอดราติก ดังตารางที่ 4.4 พบว่าทุกพจน์ของแบบจำลองมีค่า P-Value < 0.05 หมายถึงมีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% จึงได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหาค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลงเมื่อมีการเติมพีเอซีในความเข้มข้นที่เราทราบค่าได้ดังสมการที่ 4.2

$$Y_1 = -0.007X^2 + 1.684X - 6.537 \tag{4.2}$$

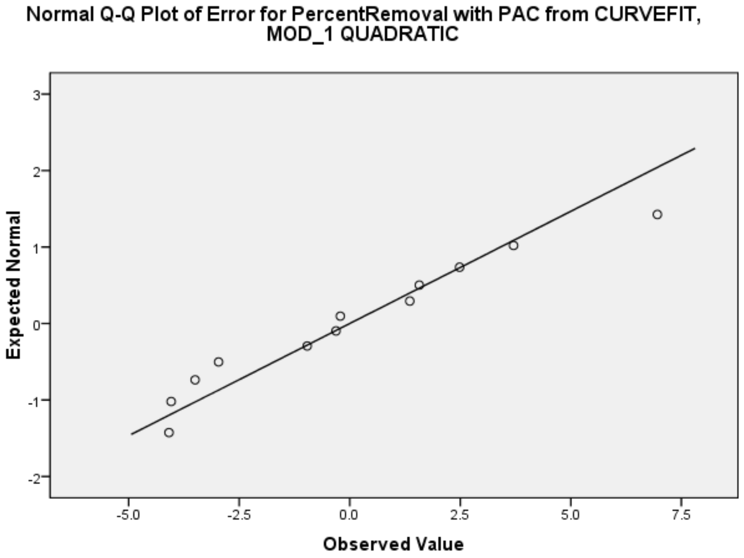
เมื่อ Y_1 คือร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง และ X คือปริมาณของพีเอซี มีหน่วยเป็น ppm

พิจารณาสมการที่ 4.2 พบว่าการเพิ่มXให้มากขึ้นจะทำให้ค่า Y_1 เพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากการเพิ่มปริมาณพีเอซีจะทำให้สารประกอบเชิงซ้อนของอลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้นเกิดการจับตัวกันของคอลลอยด์ได้ดียิ่งขึ้น (ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2) ความสามารถในการลดค่าความขุ่นของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ค่าร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงนั้นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

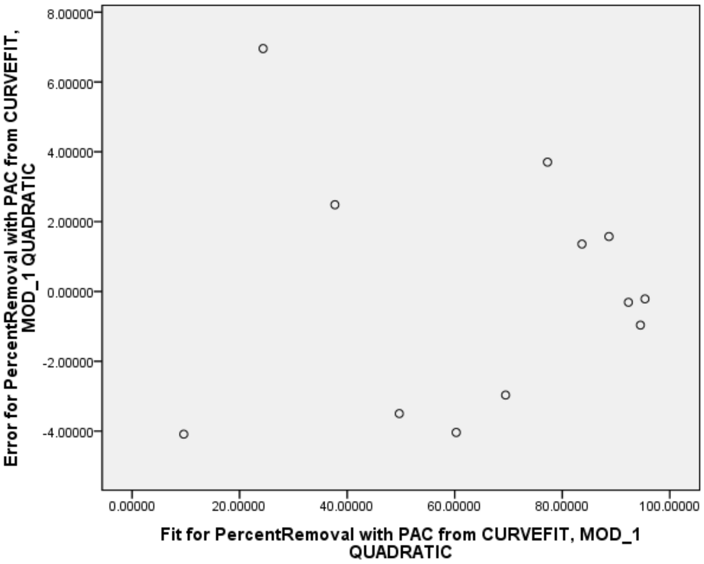
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองควอดราติก
สำหรับหาค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลงเมื่อทราบปริมาณพีเอซี

	β	Standard Error	t	P-Value
X	1.684	0.138	12.229	<0.05
X^2	-0.007	0.001	-6.746	<0.05
ค่าคงที่	-6.537	3.894	-1.679	0.027

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองควอดราติก ว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติและมีค่าความแปรปรวนคงที่หรือไม่ ด้วยการพล๊อตกราฟ Normal Q-Q Plot ของค่าความคลาดเคลื่อนและพล็อตกราฟระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ถูกฟิต ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



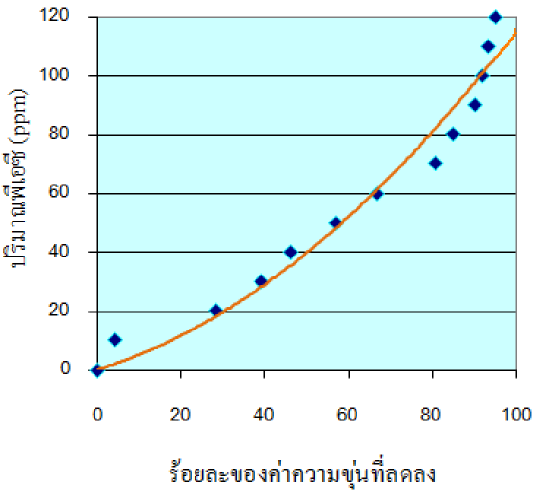
รูปที่ 4.2 กราฟ Normal Q-Q Plot ของค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองควอดราติก
สำหรับหาค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลงเมื่อทราบปริมาณพีเอซี



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ถูกฟิตของแบบจำลองควอดราติกสำหรับหาค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลงเมื่อทราบปริมาณพีเอซี

พิจารณารูปที่ 4.2 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเข้าใกล้เส้นตรงแสดงว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ และพิจารณารูปที่ 4.3 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการกระจายอย่างไม่เป็นระบบแสดงว่าความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่ ดังนั้นแบบจำลองควอดราติกจึงเพียงพอที่มาใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลง

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้ว การคำนวณโดยอาศัยสมการที่ 4.2 นั้นต้องทำการสุ่มปริมาณพีเอซีขึ้นมา เพื่อทราบค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลง แล้วนำค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลงที่คำนวณได้นั้น ไปคำนวณค่าความขุ่นอีกครั้ง อาจทำให้เสียเวลา จึงทำการพล๊อตกราฟโดยเปลี่ยนให้ค่าร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงอยู่ในรูปของตัวแปรต้น และปริมาณพีเอซีอยู่ในรูปของตัวแปรตามดังรูปที่ 4.4 เพื่อให้ได้แบบจำลองที่ใช้คำนวณปริมาณพีเอซีที่เหมาะสม เมื่อกำหนดค่าร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงได้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงโดยเฉลี่ยกับปริมาณพีเอซี ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึง เดือนมิถุนายน 2554

จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อเปลี่ยนปริมาณพีเอซีในช่วง 10-70ppm จะทำให้ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงเปลี่ยนไปอย่างมาก แต่เมื่อเปลี่ยนปริมาณพีเอซีในช่วงที่มากกว่า 70ppm เป็นต้นไป พบว่าร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย จึงตั้งสมมติฐานในเบื้องต้นไว้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลงนั้นมีความสัมพันธ์กันในเชิงพหุนามโดยใช้แบบจำลองควอดราติกเป็นตัวอธิบาย

ทำการวิเคราะห์แบบจำลองควอดราติกโดยใช้โปรแกรมทางสถิติและทดสอบความมีนัยสำคัญของการถดถอยดังตารางที่ 4.5 พบว่าค่า P-Value < 0.05 ดังนั้นทุกพจน์ของแบบจำลองมีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% จึงได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณหาปริมาณพีเอซีเมื่อกำหนดค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลงได้ดังสมการที่ 4.3

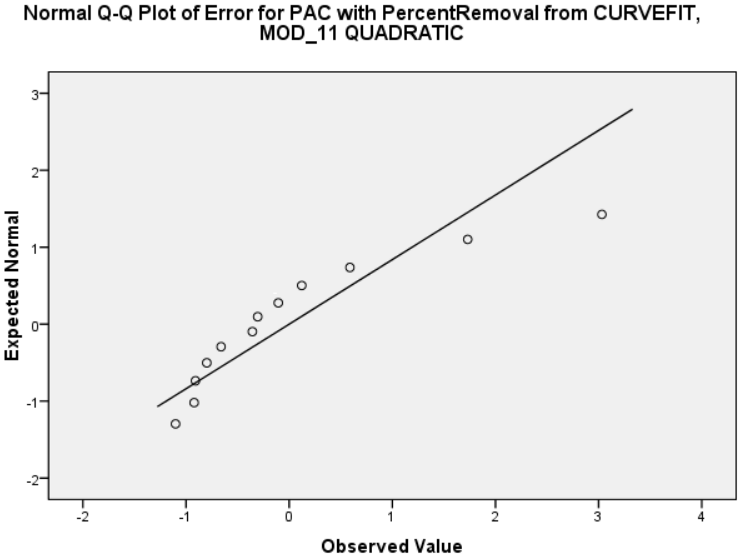
$$y = 0.007x^2 + 0.43x \tag{4.3}$$

เมื่อ y คือปริมาณของพีเอซีมีหน่วยเป็น ppmและ x คือร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง

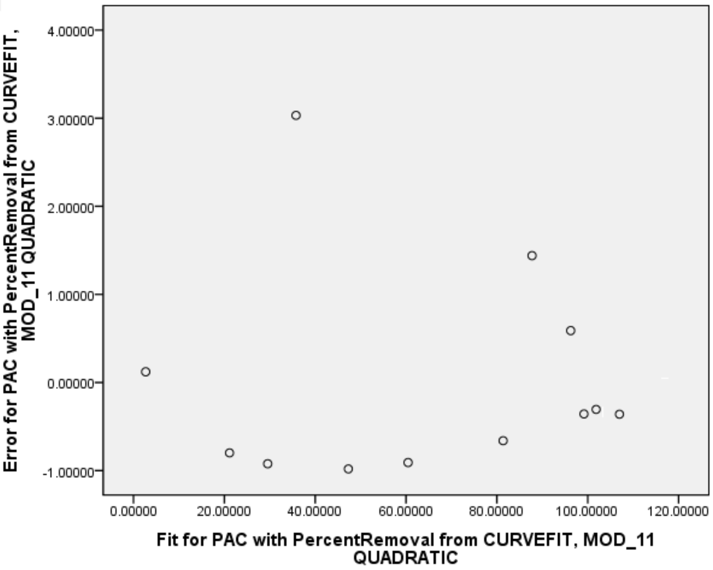
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองควอดราติก
สำหรับหาปริมาณพีเอซีเมื่อทราบค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลง

	β	Standard Error	t	P-Value
x	0.43	0.060	7.846	<0.05
x^2	0.007	0.001	12.520	<0.05
ค่าคงที่	-0.148	1.520	-0.097	0.924

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองควอดราติก ว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติและมีค่าความแปรปรวนคงที่หรือไม่ ด้วยการพล๊อตกราฟ Normal Q-Q Plot ของค่าความคลาดเคลื่อนและพล็อตกราฟระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ถูกฟิต ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 กราฟ Normal Q-Q Plot ของค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองควอดราติก สำหรับหาปริมาณพีเอซีเมื่อทราบค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลง



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ถูกฟิตของแบบจำลองควอดราติกสำหรับหาปริมาณพีเอซีเมื่อทราบค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลง

4.2 ผลของปริมาณพีเอซีต่อค่าpHของน้ำ

แม้ว่าในการปรับปริมาณพีเอซีจะเลือกปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าความขุ่นเป็นหลัก อย่างไรก็ตามเมื่อเติมพีเอซีมากขึ้นจะทำให้น้ำเป็นกรดมากขึ้น และหากค่าpHของน้ำในกระบวนการผลิตน้อยกว่า 6.00 จะต้องทำการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเพิ่มค่า pH ให้กลับมาอยู่ในช่วง 6.00-9.00 การทราบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีกับค่าpHของน้ำนั้นจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้ทราบว่าที่ปริมาณของพีเอซีเท่าใดจะทำให้น้ำมีค่าpHน้อยกว่า 6.00 จนต้องทำการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ยังเป็นการพิสูจน์ว่าการปรับลดปริมาณพีเอซีลงมีผลทำให้การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ลดลงตามไปด้วย ทำการวัดpHของน้ำดิบก่อนและหลังการทดลองควบคู่กันไปกับการวัดค่าความขุ่นจากการทดลองจาร์เทสต์ ค่าpHของน้ำดิบเมื่อเติมปริมาณพีเอซีตั้งแต่ 10-120 ppm ของการทดลองจาร์เทสต์ในแต่ละเดือน แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าpHของน้ำดิบจากการทดลองจาร์เทสต์เมื่อเติมพีเอซีที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554 (เฉลี่ยจากการทำซ้ำ 2 การทดลอง)

พีเอซี (ppm)	ธ.ค.-53	ม.ค.-54	ก.พ.-54	มี.ค.-54	เม.ย.-54	พ.ค.-54	มิ.ย.-54
0 (น้ำดิบ)	9.18	9.25	8.7	8.01	8.25	8.3	8.22
10	8.32	8.54	7.82	7.40	7.50	7.13	7.57
20	7.55	8.29	7.46	7.21	7.22	6.97	7.13
30	7.30	7.85	7.19	7.00	7.03	6.82	6.98
40	7.16	7.66	7.01	6.74	6.74	6.70	6.68
50	7.09	7.38	6.93	6.48	6.56	6.58	6.50
60	6.91	7.17	6.78	6.35	6.47	6.46	6.39
70	6.81	6.92	6.56	6.22	6.30	6.32	6.24
80	6.68	6.74	6.37	6.00	6.11	6.17	6.10
90	6.50	6.51	6.20	5.86	5.98	6.05	5.98
100	6.43	6.43	6.12	5.71	5.84	5.97	5.76
110	6.40	6.39	6.05	5.60	5.76	5.81	5.72
120	6.33	6.35	6.00	5.53	5.70	5.73	5.66

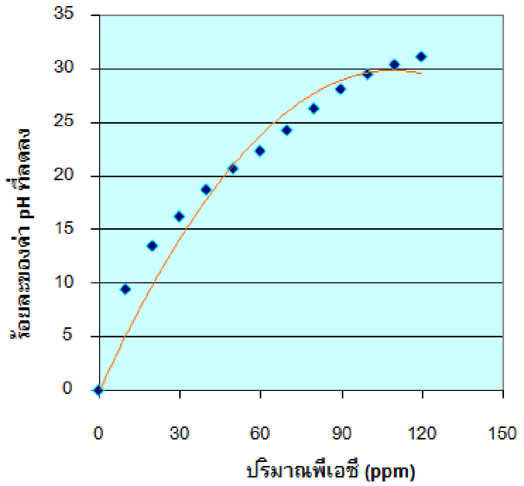
นำค่าpHที่ได้มาคำนวณหาค่าร้อยละของค่าpHที่ลดลง โดยอาศัยสมการที่ 3.2 ได้ค่าดังตาราง ที่ 4.7 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.8 แล้วพล๊อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำกับร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลง ดังรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ร้อยละของค่าpHของน้ำดิบจากการทดลองจาร์เทสต์
เมื่อเติมพีเอซีที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554

พีเอซี (ppm)	ธ.ค.-53	ม.ค.-54	ก.พ.-54	มี.ค.-54	เม.ย.-54	พ.ค.-54	มิ.ย.-54
0 (น้ำดิบ)	0	0	0	0	0	0	0
10	9.37	7.68	10.11	7.62	9.09	14.10	7.91
20	17.76	10.38	14.25	9.99	12.48	16.02	13.26
30	20.48	15.14	17.36	12.61	14.79	17.83	15.09
40	22.00	17.19	19.43	15.86	18.30	19.28	18.73
50	22.77	20.22	20.34	19.10	20.48	20.72	20.92
60	24.73	22.49	22.07	20.72	21.58	22.17	22.26
70	25.82	25.19	24.60	22.35	23.64	23.86	24.09
80	27.23	27.14	26.78	25.09	25.94	25.66	25.79
90	29.19	29.62	28.74	26.84	27.52	27.11	27.25
100	29.96	30.49	29.66	28.71	29.21	28.07	29.93
110	30.28	30.92	30.46	30.09	30.18	30.00	30.41
120	31.05	31.35	31.03	30.96	30.91	30.96	31.14

ตารางที่ 4.8 ผลของปริมาณพีเอซีต่อร้อยละของค่าpHที่ลดลงของน้ำดิบ โดยเฉลี่ย
ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึง เดือนมิถุนายน 2554

พารามิเตอร์	ปริมาณ พีเอซี (ppm)											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
ร้อยละของค่าpH ที่ลดลง	9.41	13.45	16.18	18.68	20.65	22.29	24.22	26.23	28.04	29.43	30.33	31.06



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีกับร้อยละของค่าpHที่ลดลงโดยเฉลี่ย ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึง เดือนมิถุนายน 2554

จากรูปที่ 4.7 พบว่าร้อยละของค่าpHที่ลดลงเมื่อปริมาณพีเอซีอยู่ในช่วง 10-40ppm นั้นมีความชันค่อนข้างมาก แต่ความชันของกราฟจะลดลงสำหรับปริมาณพีเอซีในช่วงที่มากกว่า 40ppm เป็นต้นไป จึงตั้งสมมติฐานในเบื้องต้นไว้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลงนั้นมีความสัมพันธ์กันในเชิงพหุนาม โดยใช้แบบจำลองควอดราติกเป็นตัวอธิบาย

ทำการวิเคราะห์แบบจำลองควอดราติกโดยใช้โปรแกรมทางสถิติและทดสอบความมีนัยสำคัญของการถดถอย(Regression) เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลตอบคือค่าร้อยละของpH ที่ลดลง กับตัวแปรในแบบจำลองการถดถอยคือปริมาณของพีเอซีที่เติมลงไปดังตารางที่ 4.9 พบว่าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นตัวแปรผลตอบกับตัวแปรในแบบจำลองจึงมีความสัมพันธ์กัน และทุกพจน์ของแบบจำลองมีนัยสำคัญ จึงได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหาค่าร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลงเมื่อมีการเติมพีเอซีในปริมาณที่เราทราบค่าได้ดังสมการที่ 4.4

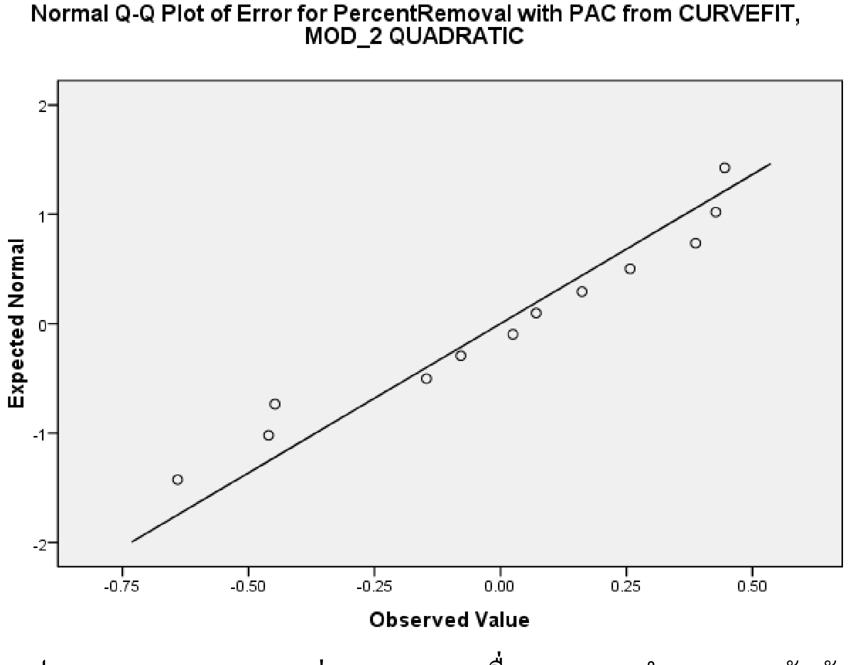
$$Y_2 = -0.001X^2 + 0.327X + 6.887 \quad (4.4)$$

เมื่อ Y_2 คือร้อยละของค่าpHที่ลดลง และ X คือปริมาณของ พีเอซี มีหน่วยเป็น ppm

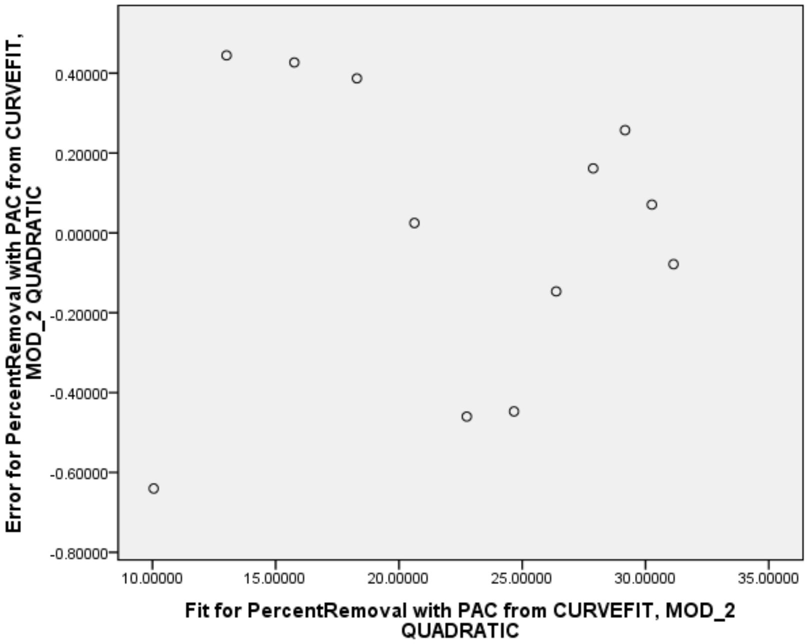
ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
สำหรับหาค่าร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลง

	β	Standard Error	t	P-Value
X	.327	.015	22.062	<0.05
X^2	-.001	.000	-9.362	<0.05
ค่าคงที่	6.887	.419	16.452	<0.05

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองควอดราติกว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติและมีค่าความแปรปรวนคงที่หรือไม่ ด้วยการพล๊อตกราฟ Normal Q-Q Plot ของค่าความคลาดเคลื่อนและพล็อตกราฟระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ถูกฟิต ดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 กราฟ Normal Q-Q Plot ของค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลง



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ถูกฟิตของแบบจำลอง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลง

พิจารณารูปที่4.8พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเข้าใกล้เส้นตรงแสดงว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ และพิจารณารูปที่4.9 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการกระจายอย่างไม่เป็นระบบแสดงว่าความคลาดเคลื่อนมีความแปรปรวนคงที่ ดังนั้น ความสัมพันธ์แบบควอดราติก จึงมีความเพียงพอที่มาใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพีเอซีที่เติมลงไปในน้ำดิบกับร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลง

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติการเลือกปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมนั้นจะพิจารณาจากค่าความขุ่น เนื่องจากพีเอซีมีผลโดยตรงต่อค่าความขุ่นของน้ำ ในขณะที่ค่าpHนั้นสามารถปรับได้ด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเนื่องจากปริมาณพีเอซีนั้นเราทราบค่าแล้ว แบบจำลองดังสมการที่ 4.4 จึงนำมาใช้ได้เลยโดยไม่ต้องแปลงให้อยู่ในรูปแบบเดียวกับสมการที่ 4.3 เพื่อพิจารณาว่าการปรับปริมาณพีเอซีตามค่าที่เราทราบแล้วดังหัวข้อ 4.1 นั้น จะมีผลต่อค่าpHของน้ำมากน้อยเพียงใด และต้องมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่ม หากค่าpHของน้ำต่ำกว่า 6.00 หรือไม่

4.3 การปรับอัตราการเติมพีเอซี

การปรับอัตราการเติมพีเอซีตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554 จะเลือกปริมาณพีเอซีที่น้อยที่สุดที่ทำให้ค่าความขุ่นของน้ำหลังการทดลองจาร์เทสต์ไม่เกิน 2.00 NTU อย่างไรก็ตามเนื่องจากการปรับจังหวะการทำงาน (stroke) ของปั๊ม ปรับได้ละเอียดที่สุดครั้งละ 4ppm ทำให้ต้องปัดค่าพีเอซีที่ได้จากการทดลองให้เป็นจำนวนเต็มเท่าของ 4ppm

ตารางที่ 4.10 แสดงสภาพอากาศในแต่ละเดือน รวมถึงค่าคุณภาพน้ำดิบและปริมาณพีเอซีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ในแต่ละเดือน จากตารางพบว่าปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมกับการผลิตน้ำในแต่ละเดือนนั้นมีความแตกต่างกันออกไปเพราะคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันตามสภาพอากาศและปริมาณน้ำฝน ทั้งนี้เมื่อฝนตก ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำดิบเพิ่มมากขึ้นทำให้น้ำดิบได้รับการเจือจาง อัตราส่วนคอลลอยด์ต่อปริมาณน้ำลดลงส่งผลให้ค่าความขุ่นของน้ำดิบลดลงไปด้วย นอกจากนี้น้ำฝนซึ่งมีลักษณะเป็นกรดอ่อนเมื่อรวมกับน้ำดิบจะทำให้ค่าpHของน้ำดิบลดลงเล็กน้อย โดยในเดือนธันวาคมและมกราคมที่แทบไม่มีฝนตกนั้นปรับใช้ปริมาณพีเอซีในกระบวนการผลิตน้ำมากที่สุดคือ84ppm ในขณะที่เดือนมีนาคมซึ่งมีฝนตกชุกหนาแน่นใช้ปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้อยที่สุดคือ64ppm

ตารางที่ 4.10 สภาพอากาศ คุณภาพน้ำดิบและปริมาณพีเอซีที่ปรับใช้ในเดือนธันวาคม 2553ถึงเดือนมิถุนายน 2554

เดือน	สภาพอากาศ	ค่าความขุ่นของน้ำดิบ (NTU)*	ค่าpHของน้ำดิบ	ปริมาณพีเอซีที่ใช้(ppm)	ความขุ่นของน้ำที่ผลิตได้ (NTU)
ธันวาคม 2553	บริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนได้แผ่เข้ามาทางตอนบนของประเทศทำให้มีอากาศเย็น ฝนตกเพียงเล็กน้อย	11.5–12.7	9.13-9.24	84	$\leq$ 2.00
มกราคม 2554	บริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนยังคงแผ่เข้ามาทางตอนบนของประเทศไทยอย่างต่อเนื่องทำให้มีอากาศเย็น ไม่พบฝนตก	11.0-13.2	8.90-9.30	84	$\leq$ 2.00
กุมภาพันธ์ 2554	บริเวณความกดอากาศสูงได้แผ่เสริมไปทางด้านตะวันออกกับมีลมตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุมตอนบน ทำให้อากาศเย็น และมีฝนตก	7.68-9.30	8.30-8.71	68	$\leq$ 2.00
มีนาคม 2554	คลื่นกระแสลมตะวันตกเคลื่อนเข้าปกคลุมประเทศไทย และมีลมตะวันออกพัดปกคลุมเกือบตลอดเดือน ทำให้เกิดฝนตกชุกหนาแน่น	6.05-8.00	7.90-8.20	64	$\leq$ 2.00
เมษายน 2554	ลมใต้และลมตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทยทำให้มีอากาศร้อน อย่างไรก็ตามบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนได้แผ่ลงมาปะทะกับมวลอากาศร้อนที่ปกคลุมประเทศไทยเป็นระยะๆทำให้มีฝนตก	9.20-10.4	8.20-8.30	72	$\leq$ 2.00
พฤษภาคม 2554	มีอากาศร้อนและมีฝนตกบ้างเล็กน้อย จากอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่เริ่มพัดปกคลุม	10.5-11.8	8.25-8.38	80	$\leq$ 2.00
มิถุนายน 2554	อากาศร้อนและมีฝนตกหนัก จากอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ประกอบกับมีร่องมรสุมพาดผ่านและอิทธิพลจากพายุโซนร้อนไหหม่า	7.50-9.45	8.10-8.23	68	$\leq$ 2.00

บทที่ 5

ผลจากการปรับลดปริมาณพีเอซีตามแบบจำลอง

5.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

สำหรับการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ในเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2554 นั้นจะประยุกต์ใช้แบบจำลองในการคำนวณหาปริมาณพีเอซีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ โดยยึดแบบจำลองของค่าความขุ่นเป็นหลัก เนื่องจากค่าpHของน้ำในกระบวนการผลิตนั้นหากน้อยลงกว่า 6.00 สามารถปรับเพิ่มได้ด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์

เก็บตัวอย่างน้ำดิบมาวัดค่าความขุ่นและpHก่อนทำการผลิตน้ำ นำค่าความขุ่นเริ่มต้นของน้ำดิบไปแทนในสมการที่ 3.1 โดยกำหนดให้ค่าความขุ่นของน้ำหลังเติมพีเอซีเป็น 2.00NTU ซึ่งเป็นค่าความขุ่นที่มากที่สุดที่ยังคงอยู่ในเกณฑ์เพื่อคำนวณหาปริมาณพีเอซีที่น้อยที่สุดจะทราบค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลง จากนั้นนำค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลงแทนค่า x ในสมการที่ 4.3 $y = 0.007x^2 + 0.43x$ จะทราบค่าปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมในทางทฤษฎี (y) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความละเอียดของจังหวะการทำงาน (Stroke)ของปั๊มที่ใช้ป้อนพีเอซี (PAC Dosing Pump)สามารถป้อนพีเอซีที่ปริมาณต่างกันช่วงละ4ppm ดังนั้นปริมาณพีเอซีที่ปรับได้ในทางปฏิบัติจึงเป็นจำนวนเต็มเท่าของ 4 ppm

เมื่อทราบปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมที่สามารถปรับได้แล้วให้ทำการปรับใช้ค่านั้นในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ ทำการวัดค่าความขุ่น และจากสมการที่ 4.2 $Y_1 = -0.007X^2 + 1.684X - 6.537$ แทนค่า X ด้วยปริมาณพีเอซีที่ปรับใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อคำนวณค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลง(Y_1)และเปรียบเทียบกับค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลงที่วัดได้จริงเมื่อมีการผลิตน้ำ

นอกจากนี้เพื่อพิจารณาว่าปริมาณพีเอซีที่ปรับในกระบวนการผลิตนั้นมีผลทำให้ค่า pH น้อยกว่า6.00จนต้องเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือไม่ จากสมการที่ 4.4 $Y_2 = -0.001X^2 + 0.327X + 6.887$ แทนค่า X ด้วยปริมาณพีเอซีที่ปรับใช้ในกระบวนการผลิต คำนวณค่าร้อยละของpHที่ลดลง (Y_2) และเมื่อมีการผลิตน้ำให้เก็บน้ำตัวอย่างมาวัดค่าpH และเปรียบเทียบค่าร้อยละของpHที่ลดลงระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จริง สำหรับตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค

5.2 ผลต่อค่าความขุ่นและค่าpH

ทำการปรับปริมาณพีเอซีที่ใช้ผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ในเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2554 ด้วยการคำนวณจากแบบจำลองดังที่กล่าวไว้ข้างต้นพบว่าปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมกับการผลิตน้ำในแต่ละเดือนนั้นมีความแตกต่างกันออกไปเพราะคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันตามสภาพอากาศและปริมาณน้ำฝน ทั้งนี้เมื่อฝนตก ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำดิบเพิ่มมากขึ้นทำให้น้ำดิบได้รับการเจือจาง อัตราส่วนคอลลอยด์ต่อปริมาณน้ำลดลงส่งผลให้ค่าความขุ่นของน้ำดิบลดลงไปด้วย นอกจากนี้น้ำฝนซึ่งมีลักษณะเป็นกรดอ่อนเมื่อรวมกับน้ำดิบจะทำให้ค่าpHของน้ำดิบลดลงเล็กน้อย สำหรับสภาพอากาศในแต่ละเดือน รวมถึงค่าคุณภาพน้ำดิบและปริมาณพีเอซีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ในแต่ละเดือนแสดงดังตารางที่ 5.1 จากตารางพบว่าในเดือนธันวาคมที่แทบไม่มีฝนตกนั้นปรับใช้ปริมาณพีเอซีในกระบวนการผลิตน้ำมากที่สุดคือ84ppm ในขณะที่เดือนสิงหาคมและกันยายนซึ่งมีฝนตกชุกหนาแน่นใช้ปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้อยที่สุดคือ60ppm

ทำการเก็บน้ำตัวอย่างบริเวณถังน้ำใส (Clearified Well) เมื่อมีการผลิตน้ำมาวัดค่าความขุ่นและค่าpH แล้วคำนวณหาค่าร้อยละของค่าความขุ่นและค่าpHที่ลดลง เพื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง โดยค่าคุณภาพน้ำดิบก่อนและหลังการผลิต รวมถึงค่าร้อยละของค่าความขุ่นและค่าpHที่ลดลงเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริงและค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองของเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2554 นั้น แสดงดังตารางที่ 5.2-5.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 สภาพอากาศ คุณภาพน้ำดิบและปริมาณพีเอซีที่ปรับใช้ในเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2554

เดือน	สภาพอากาศ	ค่าความขุ่นของน้ำดิบ (NTU)*	ค่าpHของน้ำดิบ	ปริมาณพีเอซีที่ใช้(ppm)	ความขุ่นของน้ำที่ผลิตได้ (NTU)
กรกฎาคม 2554	อิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีฝนตกชุกเกือบตลอดทั้งเดือนและฝนตกหนักมากขึ้นในช่วงปลายเดือน	6.47-7.23	8.01-8.19	64	$\leq$ 2.00
สิงหาคม 2554	ร่องมรสุมกำลังค่อนข้างแรงประกอบกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมทำให้มีฝนตกชุกหนาแน่น	6.00-6.31	7.80-7.90	60	$\leq$ 2.00
กันยายน 2554	ผลจากพายุโซนร้อนไห่ถางและไต้ฝุ่นเนสาดทำให้เกิดฝนตกหนัก	6.10-6.23	7.88-8.00	60	$\leq$ 2.00
ตุลาคม 2554	ความกดอากาศสูงจากประเทศจีนได้แผ่ลงมาปกคลุมและลมที่พัดปกคลุมประเทศเปลี่ยนเป็นมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ปริมาณน้ำฝนเริ่มลดต่ำลง	6.20-7.26	7.90-8.20	60, 64	$\leq$ 2.00
พฤศจิกายน 2554	ลมใต้และลมตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทยทำให้มีอากาศร้อน อย่างไรก็ตามบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนได้แผ่ลงมาปะทะกับมวลอากาศร้อนที่ปกคลุมประเทศไทยเป็นระยะๆทำให้มีฝนตกเล็กน้อย	8.22-10.53	8.02-8.21	72, 80	$\leq$ 2.00
ธันวาคม 2554	ผลจากความกดอากาศสูงจากประเทศจีนที่แผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทยและลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้เดือนนี้แทบไม่มีฝนตก	10.52-12.70	8.20-8.44	80, 84	$\leq$ 2.00

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนกรกฎาคม 2554

วันที่	ปริมาณ พีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
1	64	6.59	8.18	1.81	72.57	6.24	23.72	1.89	71.26	6.28	23.22
2	64	6.64	8.15	1.82	72.57	6.22	23.72	1.89	71.57	6.21	23.74
3	64	6.53	8.13	1.79	72.57	6.20	23.72	1.86	71.51	6.20	23.82
4	ไม่มีการผลิตน้ำ										
5	ไม่มีการผลิตน้ำ										
6	64	6.91	8.14	1.90	72.57	6.21	23.72	1.92	72.26	6.21	23.73
7	ไม่มีการผลิตน้ำ										
8	64	6.92	8.15	1.90	72.57	6.22	23.72	1.95	71.80	6.21	23.85
9	64	7.02	8.19	1.93	72.57	6.25	23.72	1.93	72.54	6.28	23.34
10	ไม่มีการผลิตน้ำ										
11	ไม่มีการผลิตน้ำ										
12	64	7.09	8.11	1.94	72.57	6.19	23.72	1.95	72.50	6.21	23.47
13	64	7.19	8.10	1.97	72.57	6.18	23.72	1.97	72.56	6.18	23.66
14	ไม่มีการผลิตน้ำ										
15	ไม่มีการผลิตน้ำ										
16	64	7.21	8.09	1.98	72.57	6.17	23.72	1.98	72.57	6.17	23.75
17	64	7.23	8.10	1.98	72.57	6.18	23.72	1.98	72.55	6.22	23.15
18	64	7.19	8.06	1.97	72.57	6.15	23.72	1.97	72.60	6.15	23.67
19	ไม่มีการผลิตน้ำ										

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนกรกฎาคม 2554 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณพีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
20	64	7.10	8.01	1.95	72.57	6.11	23.72	1.98	72.10	6.13	23.41
21	ไม่มีการผลิตน้ำ										
22	ไม่มีการผลิตน้ำ										
23	ไม่มีการผลิตน้ำ										
24	ไม่มีการผลิตน้ำ										
25	64	6.47	8.02	1.77	72.57	6.12	23.72	1.85	71.44	6.14	23.43
26	64	6.48	8.04	1.78	72.57	6.13	23.72	1.81	71.99	6.15	23.46
27	ไม่มีการผลิตน้ำ										
28	ไม่มีการผลิตน้ำ										
29	64	6.54	8.02	1.79	72.57	6.12	23.72	1.81	72.39	6.12	23.65
30	ไม่มีการผลิตน้ำ										
31	ไม่มีการผลิตน้ำ										

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนสิงหาคม 2554

วันที่	ปริมาณพีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
1	ไม่มีการผลิตน้ำ										
2	ไม่มีการผลิตน้ำ										
3	ไม่มีการผลิตน้ำ										
4	ไม่มีการผลิตน้ำ										
5	60	6.31	7.90	1.94	69.30	6.09	22.91	1.98	68.62	6.09	22.86
6	ไม่มีการผลิตน้ำ										
7	ไม่มีการผลิตน้ำ										
8	ไม่มีการผลิตน้ำ										
9	60	6.17	7.81	1.89	69.30	6.02	22.91	1.95	68.39	6.01	23.05
10	ไม่มีการผลิตน้ำ										
11	ไม่มีการผลิตน้ำ										
12	60	6.19	7.84	1.90	69.30	6.04	22.91	1.92	69.00	6.03	23.12
13	ไม่มีการผลิตน้ำ										
14	ไม่มีการผลิตน้ำ										
15	ไม่มีการผลิตน้ำ										
16	ไม่มีการผลิตน้ำ										
17	60	6.02	7.87	1.85	69.30	6.07	22.91	1.92	68.16	6.11	22.38

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนสิงหาคม 2554 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณพีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
18	60	6.04	7.84	1.85	69.30	6.04	22.91	1.91	68.31	6.07	22.54
19	ไม่มีการผลิตน้ำ										
20	60	6.03	7.83	1.85	69.30	6.04	22.91	1.92	68.21	6.02	23.16
21	60	5.98	7.81	1.84	69.30	6.02	22.91	1.84	69.27	6.00	23.15
22	60	6.02	7.84	1.85	69.30	6.04	22.91	1.92	68.13	6.05	22.78
23	60	6.07	7.81	1.86	69.30	6.02	22.91	1.88	69.06	6.02	22.91
24	60	6.12	7.82	1.88	69.30	6.03	22.91	1.89	69.11	6.06	22.53
25	60	6.00	7.85	1.84	69.30	6.06	22.91	1.90	68.36	6.06	22.83
26	60	6.03	7.86	1.85	69.30	6.06	22.91	1.92	68.14	6.03	23.28
27	60	6.08	7.87	1.87	69.30	6.07	22.91	1.92	68.42	6.08	22.78
28	60	6.07	7.80	1.86	69.30	6.02	22.91	1.95	67.88	6.05	22.45
29	60	6.08	7.83	1.87	69.30	6.04	22.91	1.94	68.13	6.06	22.69
30	60	6.15	7.83	1.89	69.30	6.04	22.91	1.93	68.56	6.01	23.22
31	60	6.14	7.88	1.88	69.30	6.08	22.91	1.95	68.18	6.07	23.02

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนกันยายน 2554

วันที่	ปริมาณ พีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
1	60	6.15	7.90	1.89	69.30	6.09	22.91	1.91	68.91	6.11	22.70
2	ไม่มีการผลิตน้ำ										
3	ไม่มีการผลิตน้ำ										
4	ไม่มีการผลิตน้ำ										
5	ไม่มีการผลิตน้ำ										
6	ไม่มีการผลิตน้ำ										
7	60	6.11	7.96	1.88	69.30	6.13	22.91	1.94	68.19	6.13	22.95
8	60	6.17	7.96	1.89	69.30	6.14	22.91	1.96	68.14	6.18	22.37
9	60	6.14	7.94	1.89	69.30	6.12	22.91	1.92	68.73	6.13	22.80
10	60	6.18	7.96	1.90	69.30	6.13	22.91	1.92	68.98	6.16	22.57
11	60	6.20	7.90	1.90	69.30	6.09	22.91	1.91	69.15	6.09	22.94
12	60	6.20	7.95	1.90	69.30	6.13	22.91	1.92	69.06	6.12	23.06
13	60	6.22	7.91	1.91	69.30	6.10	22.91	1.97	68.35	6.15	22.28
14	60	6.16	7.90	1.89	69.30	6.09	22.91	1.95	68.33	6.11	22.63
15	60	6.18	7.97	1.90	69.30	6.15	22.91	1.94	68.62	6.19	22.29
16	60	6.20	7.89	1.90	69.30	6.08	22.91	1.93	68.83	6.09	22.87
17	60	6.14	7.97	1.89	69.30	6.15	22.91	1.94	68.42	6.19	22.37
18	60	6.23	8.00	1.91	69.30	6.17	22.91	1.93	68.97	6.21	22.33
19	60	6.15	7.93	1.89	69.30	6.11	22.91	1.93	68.68	6.12	22.78
20	60	6.20	7.96	1.90	69.30	6.14	22.91	1.96	68.41	6.18	22.45

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนกันยายน 2554 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณพีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
21	60	6.16	7.97	1.89	69.30	6.14	22.91	1.92	68.84	6.17	22.50
22	60	6.11	7.88	1.87	69.30	6.08	22.91	1.92	68.58	6.07	23.01
23	60	6.12	7.90	1.88	69.30	6.09	22.91	1.95	68.14	6.13	22.43
24	60	6.11	7.95	1.87	69.30	6.13	22.91	1.89	69.12	6.12	22.94
25	60	6.20	7.90	1.90	69.30	6.09	22.91	1.93	68.89	6.10	22.85
26	60	6.17	7.93	1.89	69.30	6.11	22.91	1.96	68.17	6.15	22.48
27	60	6.18	7.96	1.90	69.30	6.14	22.91	1.92	68.89	6.12	23.14
28	60	6.22	7.96	1.91	69.30	6.14	22.91	1.94	68.75	6.18	22.44
29	60	6.10	7.93	1.87	69.30	6.11	22.91	1.94	68.26	6.13	22.70
30	60	6.13	7.90	1.88	69.30	6.09	22.91	1.91	68.82	6.10	22.77

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนตุลาคม 2554

วันที่	ปริมาณพีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
1	60	6.20	7.93	1.90	69.30	6.12	22.91	1.90	69.36	6.16	22.40
2	60	6.40	7.91	1.96	69.30	6.10	22.91	1.97	69.15	6.12	22.66
3	60	6.48	7.92	1.99	69.30	6.11	22.91	1.99	69.30	6.14	22.46
4	60	6.46	8.02	1.98	69.30	6.18	22.91	1.98	69.28	6.20	22.63
5	64	7.00	7.90	1.92	72.57	6.09	23.72	1.91	72.76	6.03	23.71
6	64	7.08	7.88	1.94	72.57	6.07	23.72	1.93	72.72	6.04	23.40
7	ไม่มีการผลิตน้ำ										
8	64	7.10	8.00	1.95	72.57	6.17	23.72	1.98	72.13	6.12	23.52
9	ไม่มีการผลิตน้ำ										
10	64	7.02	7.96	1.93	72.57	6.07	23.72	1.93	72.58	6.08	23.54
11	64	7.06	8.00	1.94	72.57	6.11	23.72	1.94	72.46	6.12	23.49
12	64	7.07	7.97	1.94	72.57	6.08	23.72	1.95	72.46	6.10	23.48
13	64	7.10	8.01	1.97	72.57	6.11	23.72	1.97	72.26	6.12	23.56
14	64	7.13	7.87	1.96	72.57	6.00	23.72	1.96	72.46	6.00	23.73
15	64	7.02	8.03	1.93	72.57	6.12	23.72	1.97	71.91	6.15	23.34
16	64	7.15	8.03	1.96	72.57	6.13	23.72	1.97	72.41	6.13	23.65
17	64	7.14	7.99	1.97	72.57	6.09	23.72	1.99	72.15	6.10	23.64
18	64	7.05	8.05	1.93	72.57	6.14	23.72	1.98	71.99	6.15	23.58
19	64	7.02	7.89	1.93	72.57	6.02	23.72	1.95	72.29	6.06	23.28
20	64	7.00	7.86	1.92	72.57	5.99	23.72	1.97	71.93	6.03	23.30
21	64	7.11	8.01	1.95	72.57	6.11	23.72	1.97	72.33	6.11	23.70
22	64	7.09	7.92	1.95	72.57	6.04	23.72	1.96	72.41	6.07	23.35

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนตุลาคม 2554 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณพีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
23	64	7.12	7.91	1.95	72.57	6.04	23.72	1.98	72.15	6.07	23.30
24	64	7.13	7.93	1.96	72.57	6.05	23.72	1.99	72.05	6.05	23.71
25	64	7.04	7.98	1.93	72.57	6.09	23.72	1.93	72.53	6.13	23.27
26	64	7.07	7.88	1.94	72.57	6.01	23.72	1.97	72.11	6.03	23.58
27	64	7.12	7.92	1.95	72.57	6.04	23.72	1.99	72.04	6.06	23.41
28	64	7.02	7.88	1.92	72.57	6.01	23.72	1.90	72.97	6.02	23.54
29	64	7.26	8.01	2.00	72.57	6.11	23.72	1.99	72.65	6.13	23.47
30	64	7.20	8.02	2.00	72.57	6.12	23.72	1.99	72.35	6.14	23.44
31	ไม่มีการผลิตน้ำ										

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนพฤศจิกายน 2554

วันที่	ปริมาณพีเอซี	น้ำดิบ		ค่า ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
	(ppm)	ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
1	72	8.22	8.17	1.77	78.42	6.10	25.25	1.73	79.01	6.13	24.97
2	ไม่มีการผลิตน้ำ										
3	ไม่มีการผลิตน้ำ										
4	ไม่มีการผลิตน้ำ										
5	ไม่มีการผลิตน้ำ										
6	ไม่มีการผลิตน้ำ										
7	ไม่มีการผลิตน้ำ										
8	72	8.62	8.21	1.86	78.42	6.14	25.25	1.85	78.51	6.14	25.20
9	72	8.65	8.15	1.87	78.42	6.09	25.25	1.88	78.32	6.12	24.93
10	72	8.57	8.05	1.85	78.42	6.02	25.25	1.82	78.74	6.01	25.29
11	72	8.57	8.13	1.85	78.42	6.08	25.25	1.85	78.45	6.10	25.01
12	72	8.60	8.20	1.86	78.42	6.13	25.25	1.81	78.98	6.15	25.00
13	ไม่มีการผลิตน้ำ										
14	ไม่มีการผลิตน้ำ										
15	72	9.18	8.12	1.98	78.42	6.07	25.25	1.92	79.12	6.09	25.00
16	72	9.28	8.05	2.00	78.42	6.02	25.25	1.95	79.04	6.03	25.15
17	72	9.17	8.11	1.98	78.42	6.06	25.25	1.94	78.82	6.09	24.89
18	72	9.13	8.21	1.97	78.42	6.14	25.25	1.97	78.46	6.14	25.27
19	72	9.29	8.12	2.00	78.42	6.07	25.25	1.97	78.80	6.11	24.81

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนพฤศจิกายน 2554 (ต่อ)

วันที่	ปริมาณพีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่า ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
20	72	9.29	8.11	2.00	78.42	6.06	25.25	1.93	79.16	6.09	24.91
21	72	9.13	8.02	1.97	78.42	6.00	25.25	1.96	78.53	6.02	24.96
22	72	9.16	8.15	1.98	78.42	6.09	25.25	1.91	79.11	6.12	24.94
23	72	9.23	8.14	1.99	78.42	6.08	25.25	1.98	78.54	6.08	25.27
24	72	9.25	8.08	2.00	78.42	6.04	25.25	1.99	78.45	6.04	25.24
25	ไม่มีการผลิตน้ำ										
26	ไม่มีการผลิตน้ำ										
27	ไม่มีการผลิตน้ำ										
28	ไม่มีการผลิตน้ำ										
29	80	10.53	8.19	1.75	83.38	6.01	26.65	1.75	83.40	6.03	26.40
30	ไม่มีการผลิตน้ำ										

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนธันวาคม 2554

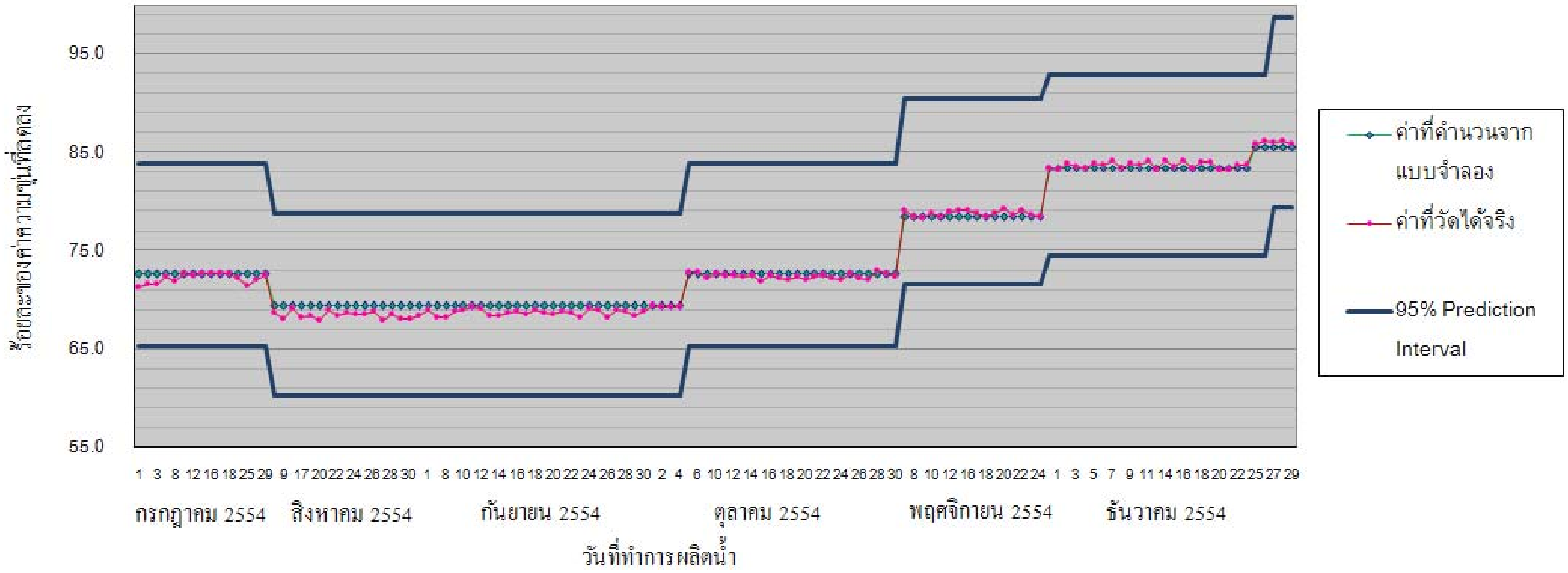
วันที่	ปริมาณพีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
1	80	10.52	8.34	1.75	83.38	6.11	26.65	1.76	83.25	6.13	26.43
2	80	10.38	8.30	1.72	83.38	6.09	26.65	1.68	83.80	6.10	26.50
3	80	10.36	8.20	1.72	83.38	6.02	26.65	1.71	83.51	6.03	26.45
4	80	10.41	8.24	1.73	83.38	6.04	26.65	1.73	83.37	6.05	26.57
5	80	10.40	8.32	1.73	83.38	6.10	26.65	1.69	83.76	6.10	26.67
6	80	10.87	8.28	1.81	83.38	6.07	26.65	1.77	83.73	6.10	26.37
7	80	10.97	8.40	1.82	83.38	6.16	26.65	1.73	84.20	6.17	26.59
8	80	11.01	8.39	1.83	83.38	6.15	26.65	1.84	83.32	6.17	26.42
9	80	10.91	8.41	1.81	83.38	6.17	26.65	1.77	83.81	6.19	26.38
10	80	11.22	8.33	1.86	83.38	6.11	26.65	1.83	83.67	6.13	26.38
11	80	11.06	8.24	1.84	83.38	6.05	26.65	1.76	84.06	6.05	26.54
12	80	10.93	8.36	1.82	83.38	6.13	26.65	1.83	83.27	6.15	26.51
13	ไม่มีการผลิตน้ำ										
14	80	11.01	8.38	1.83	83.38	6.14	26.65	1.75	84.13	6.15	26.60
15	80	11.17	8.42	1.86	83.38	6.18	26.65	1.85	83.47	6.17	26.67
16	80	11.13	8.24	1.85	83.38	6.04	26.65	1.76	84.18	6.05	26.60
17	80	11.11	8.41	1.85	83.38	6.17	26.65	1.85	83.31	6.20	26.31
18	80	11.44	8.24	1.90	83.38	6.05	26.65	1.83	84.00	6.07	26.40
19	80	11.33	8.38	1.88	83.38	6.15	26.65	1.81	83.99	6.15	26.60
20	80	11.39	8.33	1.89	83.38	6.11	26.65	1.91	83.25	6.13	26.49
21	80	11.32	8.34	1.88	83.38	6.12	26.65	1.90	83.24	6.12	26.59
22	80	11.30	8.42	1.88	83.38	6.17	26.65	1.84	83.70	6.20	26.38

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลการผลิตน้ำเดือนธันวาคม 2554 (ต่อ)

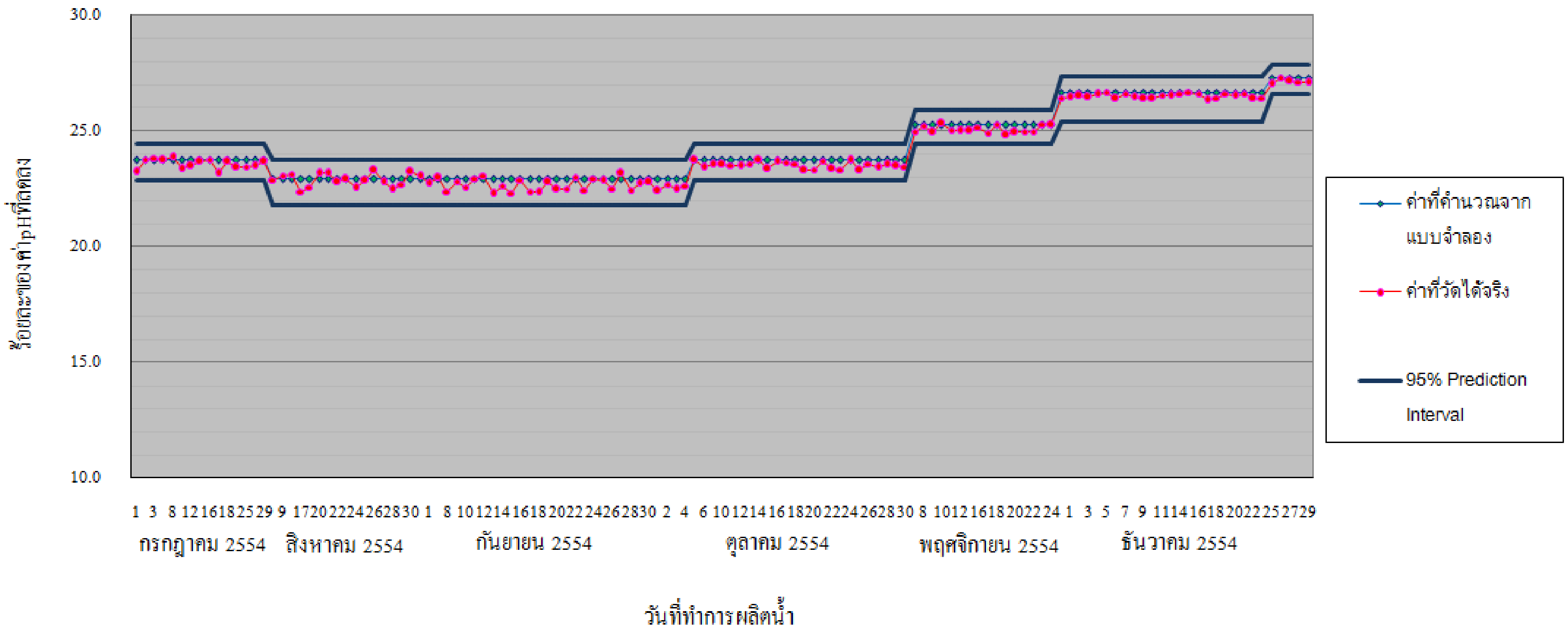
วันที่	ปริมาณพีเอซี (ppm)	น้ำดิบ		ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง				ค่าที่วัดได้จริง			
		ความขุ่น (NTU)	pH	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง	ความขุ่น (NTU)	%ความขุ่นที่ลดลง	pH	%ค่าpHที่ลดลง
23	ไม่มีการผลิตน้ำ										
24	80	11.80	8.30	1.96	83.38	6.09	26.65	1.92	83.72	6.10	26.42
25	84	12.10	8.30	1.75	85.53	6.04	27.30	1.71	85.83	6.06	27.00
26	84	12.20	8.44	1.77	85.53	6.14	27.30	1.69	86.18	6.14	27.30
27	84	12.44	8.43	1.80	85.53	6.13	27.30	1.75	85.95	6.14	27.14
28	84	12.56	8.29	1.82	85.53	6.02	27.30	1.74	86.16	6.04	27.09
29	84	12.70	8.28	1.84	85.53	6.02	27.30	1.80	85.79	6.04	27.07
30	ไม่มีการผลิตน้ำ										
31	ไม่มีการผลิตน้ำ										

เพื่อพิจารณาว่าค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองนั้นมีความแตกต่างจากค่าที่วัดได้จริงมากน้อยเพียงใด และค่าที่คำนวนจากแบบจำลองนั้นมีความน่าเชื่อถือเพียงใด นำข้อมูลในตารางที่ 5.2 ถึง 5.7 ไปสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าร้อยละของค่าความขุ่นและค่าpHที่ลดลงระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จริงแสดงดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ โดยกำหนดช่วงการประมาณค่า (Prediction Interval) ที่ 95% พบว่าค่าร้อยละของความขุ่นและpHที่ลดลงจากการวัดจริงนั้นมีค่าแตกต่างจากค่าที่คำนวณได้เล็กน้อยแต่ยังอยู่ในช่วงการประมาณค่าที่ 95%

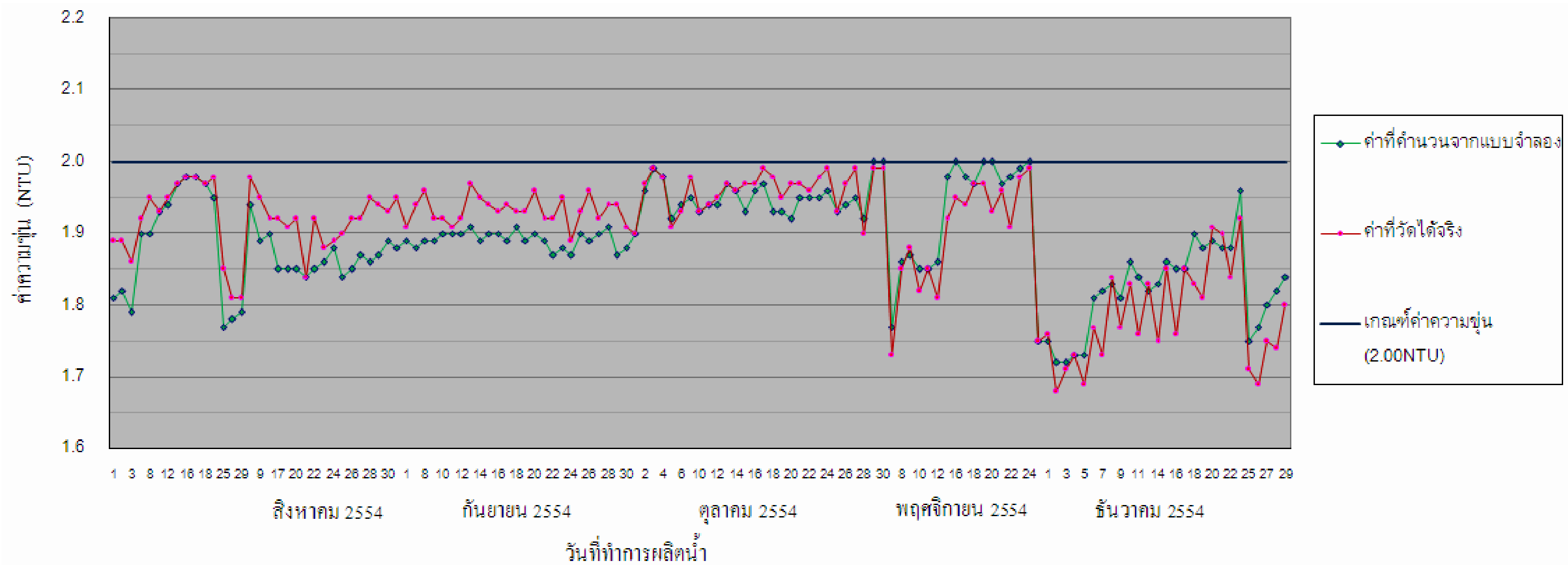
พิจารณาค่าความขุ่นและค่าpHที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองพบว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อยแต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำที่กำหนด คือค่าความขุ่นไม่เกิน 2.00 NTU และค่าpHไม่น้อยกว่า 6.00 โดยพล๊อตกราฟเปรียบเทียบดังรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ



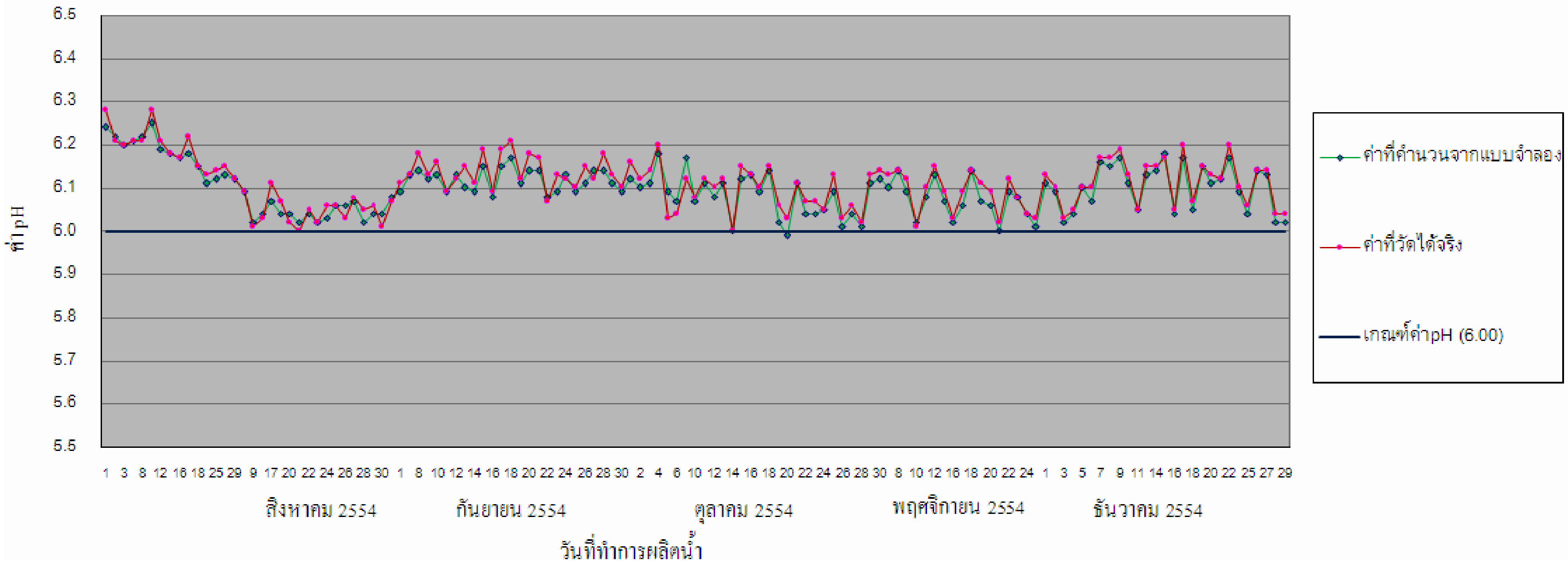
รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบค่าร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลงระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง กับค่าที่วัดได้จริงสำหรับการผลิตน้ำในแต่ละเดือน



รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบค่าร้อยละของค่า pH ที่ลดลงระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง กับค่าที่วัดได้จริงสำหรับการผลิตน้ำในแต่ละเดือน



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบค่าความขุ่นระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จริงสำหรับการผลิตน้ำในแต่ละเดือน



รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบค่าpHระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จริงสำหรับการผลิตน้ำในแต่ละเดือน

5.3 ผลต่อต้นทุนค่าสารเคมี

หลังจากที่ได้มีการปรับลดปริมาณของพีเอซีลง พบว่าปริมาณของสารเคมีที่ใช้ผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตรลดลงดังตารางที่ 5.8 ส่งผลให้ต้นทุนด้านสารเคมีในการผลิตน้ำลดลงไปด้วย ปริมาณสารเคมีและต้นทุนด้านสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตรเปรียบเทียบกับก่อนที่จะทำการปรับลดแสดงดังรูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6 ตามลำดับ

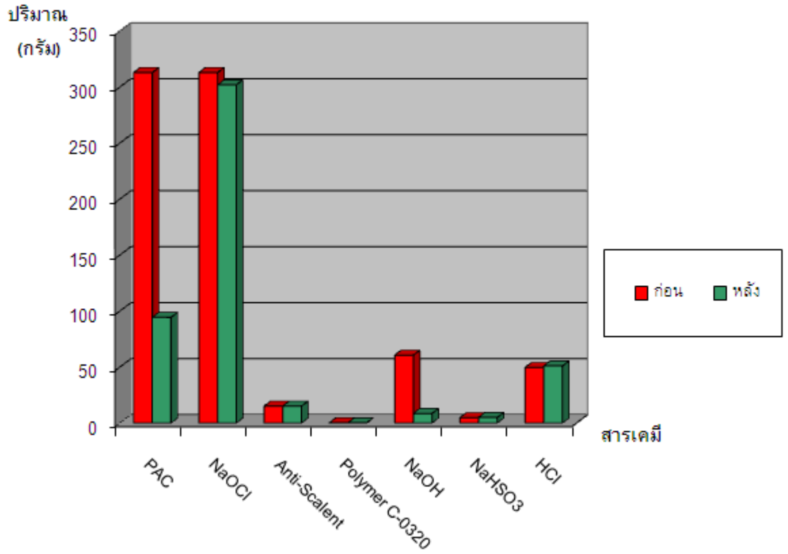
ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบปริมาณ และราคาของสารเคมีที่ใช้ผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตร ก่อนและหลังการปรับลดปริมาณพีเอซี

สารเคมี	ก่อนปรับ (พ.ค.53-พ.ย.53)		หลังปรับ (ธ.ค.53-ธ.ค.54)	
	ปริมาณ (กรัม)	ราคา (บาท)	ปริมาณ (กรัม)	ราคา (บาท)
พีเอซี	**313**	**2.03**	**94.2**	**0.61**
โซเดียมไฮโปคลอไรท์	313	1.97	303.1	1.91
สารป้องกันการเกิดตะกรัน	15.2	1.98	15.2	1.97
โพลิเมอร์ประจุลบ	0.31	0.05	0.3	0.05
โซเดียมไฮดรอกไซด์	**60.7**	**0.38**	**8.5**	**0.05**
ไบซัลไฟต์	4.88	0.10	4.9	0.10
กรดไฮโดรคลอริก	49.8	0.12	50.9	0.12
รวม	**756.9**	**6.63**	**477.1**	**4.81**

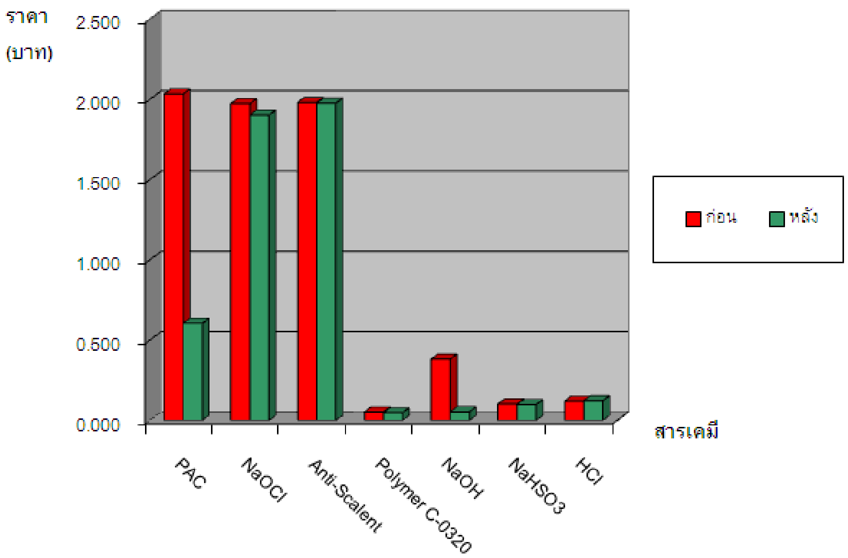
หลังจากที่ได้มีการปรับปริมาณพีเอซีตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2554(ธ.ค. 53 – มิ.ย. 54 ตามค่าจากการทำจาร์เทสต์ และตั้งแต่ก.ค. 54 – ธ.ค. 54 ตามค่าจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง) พบว่าค่าใช้จ่ายของพีเอซีที่ใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ลดลง 69.9% และส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ลดลงถึง 86.0% เนื่องจากเมื่อลดปริมาณของพีเอซีลงจะทำให้น้ำมีความเป็นกรดน้อยลง จึงใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณน้อยลงในการปรับค่าpH ของน้ำให้มากกว่า 6.00

เมื่อพิจารณาต้นทุนด้านสารเคมีโดยรวมพบว่าต้นทุนด้านสารเคมีในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ลดลง 1.82 บาทต่อน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 27.5% พิจารณาใน

ส่วนของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจะใช้น้ำปลอดเกลือแร่โดยเฉลี่ยวันละ 100 ลูกบาศก์เมตร ผลจากการปรับปริมาณพีเอซีจึงทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีสำหรับปริมาณน้ำที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าลงได้ 182 บาทต่อวัน หรือประมาณ 66,000 บาทต่อปี



รูปที่ 5.5 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตร เปรียบเทียบก่อนและหลังทำการปรับลดปริมาณพีเอซี



รูปที่ 5.6 แผนภูมิแท่งแสดงค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ใช้ในการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ 1 ลูกบาศก์เมตร เปรียบเทียบก่อนและหลังทำการปรับลดปริมาณพีเอซี

บทที่ 6

สรุปและอภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

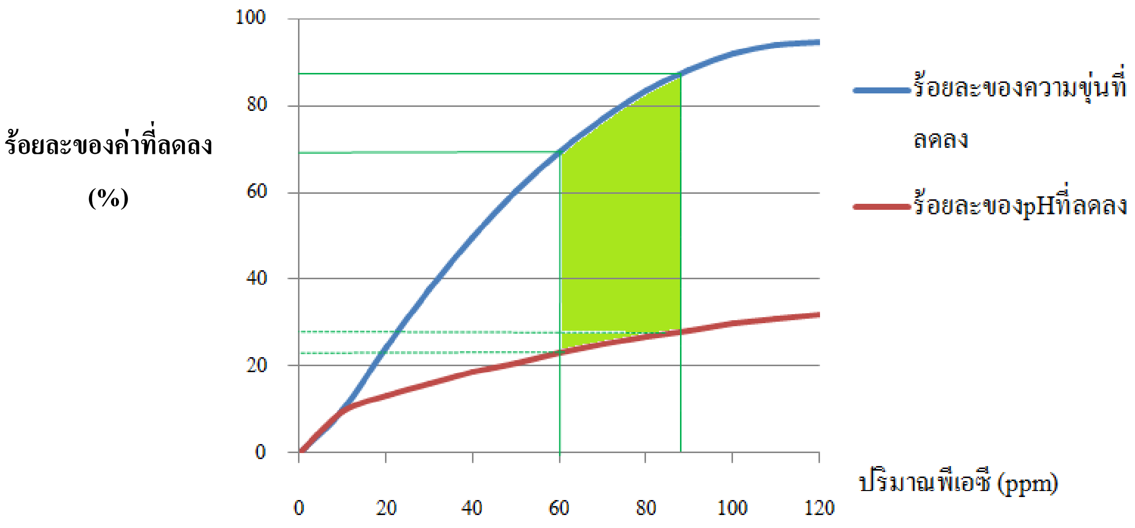
การปรับปริมาณพีเอซีในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ในช่วงแรกตั้งแต่เดือนธันวาคม 2553 จนถึงเดือนมิถุนายน 2554 ใช้การทดลองจาร์เทสต์ในการหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสม ส่วนในช่วงที่สองตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2554 ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาปริมาณของพีเอซีที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมเมื่อทราบค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลงคือ $y = 0.007x^2 + 0.43x$ จากปริมาณพีเอซีที่คำนวณได้ นำไปปัดค่าให้เป็นจำนวนเต็มเท่าของ 4 ppmเพื่อให้สามารถปรับใช้ในกระบวนการผลิตได้ นำค่าปริมาณพีเอซีที่ปรับใช้ในกระบวนการผลิตน้ำนั้นไปคำนวณค่าร้อยละของความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลงและร้อยละของค่าpHที่ลดลงดังสมการ $Y_1 = -0.007X^2 + 1.684X - 6.537$ และ $Y_2 = -0.001X^2 + 0.327X + 6.887$ เมื่อ Y_1 คือร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง Y_2 คือร้อยละของค่าpHที่ลดลง และ X คือปริมาณของ พีเอซี มีหน่วยเป็น ppm ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าร้อยละของค่าความขุ่นและค่าpHที่วัดได้จริง

จากการนำแบบจำลองที่ได้มาคำนวณหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนธันวาคม 2554นั้นพบว่าแบบจำลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง โดยที่ค่าความขุ่นและpHของน้ำที่วัดได้นั้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และความคลาดเคลื่อนของค่าร้อยละของความขุ่นและค่าร้อยละของpHที่วัดได้จริงนั้นอยู่ในช่วงการยอมรับที่95%ทุกครั้งที่มีการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่

ปริมาณพีเอซีที่ใช้ในการผลิตน้ำมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละเดือนเนื่องจากลักษณะอากาศและปริมาณน้ำฝนทำให้น้ำดิบมีความขุ่นแตกต่างกันส่งผลให้ใช้ปริมาณพีเอซีแตกต่างกันไปด้วย โดยเดือนธันวาคม 2553 เดือนมกราคมและเดือนธันวาคม 2554 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวใช้ปริมาณพีเอซีในกระบวนการผลิตสูงที่สุดคือ 84 ppm เดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน 2554 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนใช้ปริมาณพีเอซีในกระบวนการผลิตน้อยที่สุดคือ 60 ppm การเพิ่มปริมาณพีเอซีแม้ว่าจะทำให้ค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลงเพิ่มมากขึ้น (ค่าความขุ่นน้อยลง) แต่จะทำให้ร้อยละของค่าpHที่ลดลงเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยนั่นคือทำให้น้ำมีค่า pH ลดลง ปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ

ผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ตลอดปี 2554 อยู่ในพื้นที่แรเงาดังรูปที่ 6.1 ที่ปริมาณพีเอซี 84 ppm จะทำให้ค่าความขุ่นลดลงไปร้อยละ 85.53 นั่นคือสามารถใช้กับน้ำดิบที่มีความขุ่นเริ่มต้นได้สูงถึง 13.8 NTU อย่างไรก็ตามที่ปริมาณพีเอซี 84ppm จะทำให้ค่าpHลดลงไปร้อยละ 27.3 หากน้ำดิบมีค่าpH น้อยกว่า 8.26 อาจทำให้ค่าpHของน้ำที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่า 6.00 ทำให้ต้องมีการเติมโซเดียม-ไฮดรอกไซด์เพื่อเพิ่มค่าpH หรือหากค่าความขุ่นของน้ำดิบมากกว่า 13.8NTU ทำให้ต้องใช้พีเอซีมากกว่า 84ppm อาจทำให้ค่าpHของน้ำที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่า 6.00 เช่นเดียวกัน ทั้งนี้พิจารณาที่ค่าความขุ่นเป็นหลัก เนื่องจากการปรับปริมาณพีเอซีส่งผลโดยตรงต่อค่าความขุ่นของน้ำ ในขณะที่ค่า pHนั้นสามารถปรับเพิ่มได้ด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 6.1 ช่วงการเติมพีเอซีที่เหมาะสมตลอดการผลิตน้ำปี 2554

การปรับลดปริมาณของพีเอซีให้เหมาะสมนอกจากจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของพีเอซีลดลงแล้วยังส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)ลดลงด้วย เนื่องจากเมื่อปริมาณพีเอซีในน้ำลดลงความเป็นกรดของน้ำลดลงทำให้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับค่าpHของน้ำน้อยลง ช่วยให้ต้นทุนด้านสารเคมีของการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่หนึ่งลูกบาศก์เมตรลงลงจาก 6.63 บาทเป็น 4.81 บาท หรือคิดเป็น 27.5% ผลจากการปรับลดปริมาณพีเอซีนอกจากจะเป็นการประหยัดสารเคมีส่งผลให้ต้นทุนในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ลดลงแล้ว ยังไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำหรืออุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. การพล๊อตกราฟเปรียบเทียบค่าร้อยละของค่าความขุ่นและค่าpHที่ลดลงระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จริงเพื่อพิจารณาความแตกต่างนั้นนอกเหนือจากการพล๊อตค่าให้อยู่ในช่วงการประมาณค่า (Prediction interval) ที่ 95% แล้ว อาจพล๊อตเปรียบเทียบโดยพิจารณาจากค่า Mean square error ได้อีกทางหนึ่ง
2. ในการทดลองและวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลองนั้นใช้ผู้วัดคนเดียว และใช้เครื่องมือวัดและวิธีการวัดเหมือนกันในทุกการทดลอง อย่างไรก็ตามควรทำการิจารณาความสามารถของระบบการวัด (Gauge Repeatability and Reproducibility, Gauge R&R) เพิ่มเติมด้วย
3. แม้แนวโน้มของค่าความขุ่นของน้ำดิบจะเปลี่ยนไปเป็นรายเดือน อย่างไรก็ตามการปรับเปลี่ยนอัตราการเติมพีเอซีเป็นรายวันอาจช่วยให้ลดต้นทุนลงได้อีก ซึ่งปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมอาจพิจารณาจากกราฟและข้อมูลที่เก็บตลอดปีทำให้ลดเวลาในการคำนวณลงได้

6.3 อุปสรรคและข้อจำกัดในการวิจัย

1. เนื่องจากการวัดค่าความขุ่นวัดในลักษณะของการสุ่มเก็บตัวอย่างเมื่อมีการผลิตน้ำ ไม่ได้วัดและเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลวิจัยที่ดียิ่งขึ้น จึงควรมีการติดตั้งเครื่องมือวัดความขุ่นแบบออนไลน์ที่สามารถติดตามวัดและเก็บบันทึกข้อมูลค่าความขุ่นได้อย่างต่อเนื่อง
2. ชุดทดลองจาร์เทสต์ที่ใช้ สามารถวางบีกเกอร์ได้เพียง 4 บีกเกอร์ ทำให้การทำการทดลองจาร์เทสต์ใช้เวลามาก

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ข้อมูลด้านการผลิตไฟฟ้า. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา : http://www.egat.go.th [5 มิถุนายน 2553]

การประปานครหลวง. คุณภาพน้ำประปา. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: http://www.mwa.co.th [10 กรกฎาคม 2553]

กรมอุตุนิยมวิทยา. ลักษณะอากาศประเทศไทย. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา:http://www.tmd.go.th [3 มีนาคม 2555]

โรงไฟฟ้าจะนะ. กระบวนการผลิตไฟฟ้า. [ออนไลน์]. 2553.แหล่งที่มา:http://www.chana.egat.co.th /newweb/technical-process.php [5 มิถุนายน 2553]

พัชรี อินทร์อำนวย. วงจรPDCAคืออะไร. [ออนไลน์]. 2549. แหล่งที่มา: eduserv.ku.ac.th/km [19 มิถุนายน 2553]

แน่งน้อย วิจิตรจรรยากุล. 2543. การบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกหนังโดยวิธีตกตะกอนและออกซิเดชั่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปฐมพร พูลสวัสดิ์. 2551. การใช้คลอรีนไดออกไซด์และคลอรีนเพื่อกำจัดสาหร่าย ในกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงไฟฟ้าวังน้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปารเมศ ชุติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2537. วิศวกรรมการประปา. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สันติชัย ชีวสุทธิศิลป์. 2547. ความสามารถของกระบวนการวัด. เอกสารประกอบการเรียน วิชา การควบคุมคุณภาพสำหรับวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาษาอังกฤษ

Franco, A. and Russo, A. 2002. Combined cycle plant efficiency increase based on the optimization of the heat recovery steam generator operating parameters. International Journal of Thermal Sciences 41: 843-859

Čuda, P., Pospíšil, P. and Tenglerová, J. 2006. Reverse osmosis in water treatment for boilers. Desalination 198: 41–46.

Bratby, J. 2006. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. 2nd edition IWA Publishing

Ghafari, S. Aziz, H. A. Isa, M. H. and Zinatizadeh, A. A. 2009. Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation–flocculation treatment of leachate using poly-aluminum chloride (PAC) and alum. Journal of Hazardous Materials. 163: 650–656.

Ghafari, S. Aziz, H. A. and Bashir, M. J. K. 2010. The use of poly-aluminum chloride and alum for the treatment of partially stabilized leachate: A comparative study. Desalination 257: 110–116.

Hundt, T.R. and Melia, C.R.O. 1988. Aluminum-fulvic acid integration : mechanism and applications. Journal of the American Water Works Association . 80 (4): 176-186.

Packham, R.F. and Ratanayaka, D.D. 1992. Water clarification with aluminium coagulation in the UK. Journal of Water Supply. 10 (4): 35-48.

Povilot, M. and Suty, H. 1992. High-basicity polymeric aluminium salts for drinking water production. Journal of Water Supply. 10 (4): 133-154.

Simpson, A.M., Hatton, W. and Brockbank, M. 1988. Aluminium,its use and control in potable water. Journal of Environmental Technology and Management . Left 9 (9): 907-916.

Virrahavan, T. and Wimmer, C.H. 1988. Polyaluminium Chloride as an altenative to alum coagulation a case study. Aqua Journal. 6: 316-321.

Wu , K., Wang, H. , Liua, R. , Zhaoa, X. , Liua, H. and Qua, J. 2010. Arsenic removal from a high-arsenic wastewater using in situ formed Fe–Mn binary oxide combined with coagulation by poly-aluminum chloride. Journal of Hazardous Materials. 185 : 990-995

Yang, Z., Gao B. and Yue, Q. 2010. Coagulation performance and residual aluminum speciation of $Al_2(SO_4)_3$ and polyaluminum chloride (PAC) in Yellow River water treatment. Chemical Engineering Journal. 165: 122–132

Darco Engineering Pte. Ltd.2008. WTP-Operation Manual for BPCC#5

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีการคำนวณค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลง

ร้อยละของค่าความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลงคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง} = \frac{(\textit{ความขุ่น}_{(\text{ก่อน})} - \textit{ความขุ่น}_{(\text{หลัง})})}{\textit{ความขุ่น}_{(\text{ก่อน})}} \times 100 \qquad (3.1)$$

ในที่นี้ขอยกตัวอย่างข้อมูลการทดลองจาร์เทสต์ในเดือนธันวาคม 2553 ความขุ่นเริ่มต้นของน้ำดิบคือ 12.4 NTU ร้อยละของค่าความขุ่นของน้ำดิบที่ลดลงในช่วงการเติมพีเอซีที่ปริมาณต่างๆ คำนวณได้ดังนี้

<u>พีเอซี 10ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 11.6 NTU</u>

$$\text{ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง} = \frac{(12.4 - 11.6)}{12.4} \times 100 = 6.45\%$$

<u>พีเอซี 20ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 8.00 NTU</u>

$$\text{ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง} = \frac{(12.4 - 8.00)}{12.4} \times 100 = 35.48\%$$

<u>พีเอซี 30ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 7.21 NTU</u>

$$\text{ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง} = \frac{(12.4 - 7.21)}{12.4} \times 100 = 41.85\%$$

<u>พีเอซี 40ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 6.26 NTU</u>

$$\text{ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง} = \frac{(12.4 - 6.26)}{12.4} \times 100 = 45.92\%$$

<u>พีเอซี 50ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 5.86 NTU</u>

$$\text{ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง} = \frac{(12.4 - 5.86)}{12.4} \times 100 = 52.74\%$$

<u>พีเอซี 60ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 4.51 NTU</u>

$$\text{ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง} = \frac{(12.4 - 4.51)}{12.4} \times 100 = 63.63\%$$

<u>พีเอซี 70ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 2.46 NTU</u>

ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง = $\frac{(12.4 - 2.46)}{12.4} \times 100$ = 80.16%

<u>พีเอซี 80ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 2.05 NTU</u>

ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง = $\frac{(12.4 - 2.05)}{12.4} \times 100$ = 83.47%

<u>พีเอซี 90ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 1.07 NTU</u>

ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง = $\frac{(12.4 - 1.07)}{12.4} \times 100$ = 91.37%

<u>พีเอซี 100ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 0.99 NTU</u>

ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง = $\frac{(12.4 - 0.99)}{12.4} \times 100$ = 92.02%

<u>พีเอซี 110ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 0.82 NTU</u>

ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง = $\frac{(12.4 - 0.82)}{12.4} \times 100$ = 93.39%

<u>พีเอซี 120ppm ความขุ่นของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 0.56 NTU</u>

ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง = $\frac{(12.4 - 0.56)}{12.4} \times 100$ = 95.48%

ภาคผนวก ข

วิธีการคำนวณค่าร้อยละของค่าpHที่ลดลง

ร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลงคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{ร้อยละของค่าpH ที่ลดลง} = \frac{(pH_{(ก่อน)} - pH_{(หลัง)})}{pH_{(ก่อน)}} \times 100 \qquad (3.2)$$

ในที่นี้ขอยกตัวอย่างข้อมูลการทดลองจาร์เทสต์ในเดือนธันวาคม 2553 ค่าpH เริ่มต้นของน้ำดิบคือ9.18ร้อยละของค่าpHของน้ำดิบที่ลดลงในช่วงการเติมพีเอซีที่ปริมาณต่างๆคำนวณได้ดังนี้

<u>พีเอซี 10ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 8.32</u>

$$\text{ร้อยละของค่าpHที่ลดลง} = \frac{(9.18 - 8.32)}{9.18} \times 100 = 9.37\%$$

<u>พีเอซี 20ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 7.55</u>

$$\text{ร้อยละของค่าpHที่ลดลง} = \frac{(9.18 - 7.55)}{9.18} \times 100 = 17.76\%$$

<u>พีเอซี 30ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 7.30</u>

$$\text{ร้อยละของค่าpHที่ลดลง} = \frac{(9.18 - 7.30)}{9.18} \times 100 = 20.48\%$$

<u>พีเอซี 40ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 7.16</u>

$$\text{ร้อยละของค่าpHที่ลดลง} = \frac{(9.18 - 7.16)}{9.18} \times 100 = 20.48\%$$

<u>พีเอซี 50ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 7.09</u>

$$\text{ร้อยละของค่าpHที่ลดลง} = \frac{(9.18 - 7.09)}{9.18} \times 100 = 22.77\%$$

<u>พีเอซี 60ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 6.91</u>

$$\text{ร้อยละของค่าpHที่ลดลง} = \frac{(9.18 - 6.91)}{9.18} \times 100 = 24.73\%$$

<u>พีเอซี 70ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 6.81</u>

ร้อยละของค่าpHที่ลดลง = $\frac{(9.18 - 6.81)}{9.18} \times 100$ = 25.82%

<u>พีเอซี 80ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 6.68</u>

ร้อยละของค่าpHที่ลดลง = $\frac{(9.18 - 6.68)}{9.18} \times 100$ = 27.23%

<u>พีเอซี 90ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 6.50</u>

ร้อยละของค่าpHที่ลดลง = $\frac{(9.18 - 6.50)}{9.18} \times 100$ = 29.19%

<u>พีเอซี 100ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 6.43</u>

ร้อยละของค่าpHที่ลดลง = $\frac{(9.18 - 6.43)}{9.18} \times 100$ = 29.96%

<u>พีเอซี 110ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 6.40</u>

ร้อยละของค่าpHที่ลดลง = $\frac{(9.18 - 6.40)}{9.18} \times 100$ = 30.28%

<u>พีเอซี 120ppm ค่าpHของน้ำดิบหลังทำการทดลอง 6.33</u>

ร้อยละของค่าpHที่ลดลง = $\frac{(9.18 - 6.33)}{9.18} \times 100$ = 31.05%

ภาคผนวก ค

วิธีการคำนวณหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสม

จากสมการที่ 4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับหาปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมเมื่อทราบค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลงคือ $y = 0.007x^2 + 0.43x$ เมื่อ y คือปริมาณของพีเอซีมีหน่วยเป็น ppm และ x คือร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง ในที่นี้ขอยกตัวอย่างข้อมูลการผลิตน้ำในวันที่ 1 กรกฎาคม 2554 น้ำดิบมีความขุ่นเริ่มต้น 6.59 NTU สมมติให้น้ำที่ผ่านการเติมพีเอซีแล้วมีความขุ่น 2.00NTU ทำการคำนวณค่าร้อยละของความขุ่นที่ลดลงด้วยสมการที่ 3.1

$$\text{ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง} = \frac{(\textit{ความขุ่น}_{(\text{ก่อน})} - \textit{ความขุ่น}_{(\text{หลัง})})}{\textit{ความขุ่น}_{(\text{ก่อน})}} \times 100 \qquad (3.1)$$

$$\text{ร้อยละของค่าความขุ่นที่ลดลง} = \frac{(6.59 - 2.00)}{6.59} \times 100 = 69.65\ \%$$

จากนั้นแทนค่าที่ได้ในสมการที่ 4.3

$$y = 0.007x^2 + 0.43x \qquad (4.3)$$

$$y = 0.007(69.65)^2 + 0.43(69.65) = 64 \text{ ppm}$$

จะได้ปริมาณพีเอซีที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตน้ำคือ 64 ppm

ภาคผนวก ง

ปริมาณและต้นทุนของสารเคมีของกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ในแต่ละเดือน

ปริมาณน้ำประปา (Service Water) และน้ำปลอดเกลือแร่ที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2554 แสดงดังตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 ปริมาณน้ำประปาและน้ำปลอดเกลือแร่ที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน

เดือน	ปริมาณน้ำประปา	ปริมาณน้ำปลอดเกลือแร่
พฤษภาคม 2553	2456	2347.3
มิถุนายน 2553	3159	2160
กรกฎาคม 2553	3497	2724
สิงหาคม 2553	2278	2196
กันยายน 2553	2448	1964
ตุลาคม 2553	2589	2473
พฤศจิกายน 2553	4108	2351
ธันวาคม 2553	4120	2770
มกราคม 2554	5160.4	3460
กุมภาพันธ์ 2554	5034	2708.8
มีนาคม 2554	6506	4109.4
เมษายน 2554	5396	2431.4
พฤษภาคม 2554	2549.96	823.8
มิถุนายน 2554	1000	0
กรกฎาคม 2554	628	0
สิงหาคม 2554	2997	1512.5
กันยายน 2554	5416.5	3210
ตุลาคม 2554	5150	3425
พฤศจิกายน 2554	2588	2299
ธันวาคม 2554	4889	2911

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่แต่ละเดือนตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2554 แสดงดังตารางที่ ง.2

ตารางที่ ง.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่แต่ละเดือน

สารเคมี	พ.ค.-53	มิ.ย.-53	ก.ค.-53	ส.ค.-53	ก.ย.-53	ต.ค.-53	พ.ย.-53	ธ.ค.-53	ม.ค.-54	ก.พ.-54
พีเอซี	844.4	1066.7	877.8	666.7	933.3	888.9	1144.4	466.7	577.8	488.9
โซเดียมไฮโปคลอไรท์	863.6	1136.4	1250.0	772.7	1000.0	681.8	727.4	1363.6	1636.4	1613.6
สารป้องกันการเกิดตะกรัน	35.3	33.5	42.4	52.1	17.6	26.5	39.7	48.5	61.8	57.4
พอลิเมอร์ประจุลบ	0.8	1.0	1.1	0.7	0.8	0.8	1.3	1.3	1.6	1.5
โซเดียมไฮดรอกไซด์	144.6	197.2	385.4	94.7	86.2	137.6	181.5	31.8	33.3	30.3
ไบซัลไฟต์	12.0	10.0	13.6	7.2	9.3	10.0	17.0	16.0	19.0	17.0
กรดไฮโดรคลอริก	140.4	119.3	147.4	157.9	105.3	42.1	94.7	94.7	126.3	210.5

ตารางที่ ง.2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่แต่ละเดือน (ต่อ)

สารเคมี	มี.ค.-54	เม.ย.-54	พ.ค.-54	มิ.ย.-54	ก.ค.-54	ส.ค.-54	ก.ย.-54	ต.ค.-54	พ.ย.-54	ธ.ค.-54
พีเอซี	555.6	477.8	244.4	100.0	55.6	266.7	411.1	433.3	266.7	500.0
โซเดียมไฮโปคลอไรท์	1818.2	1659.1	727.3	409.1	295.5	1079.5	1704.5	1250.0	590.9	1443.2
สารป้องกันการเกิดตะกรัน	66.2	48.5	17.6	-	-	-	35.3	35.3	30.9	48.5
พอลิเมอร์ประจุลบ	2.0	1.7	0.8	0.3	0.2	0.9	1.7	1.6	0.8	1.5
โซเดียมไฮดรอกไซด์	62.0	47.5	17.2	13.6	0.0	13.6	46.9	46.0	19.1	34.8
ไบซัลไฟต์	21.0	15.0	5.0	-	-	-	15.5	15.0	10.2	12.0
กรดไฮโดรคลอริก	231.6	147.4	70.2	-	-	-	210.5	200.0	70.2	147.4

หมายเหตุ : เดือนมิถุนายน – สิงหาคม 2554 ผลิตเฉพาะน้ำประปา ไม่มีการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ เนื่องจากอยู่ในช่วงงานซ่อมบำรุง

ราคาของสารเคมีและต้นทุนของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่แต่ละเดือนตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2554 แสดงดังตารางที่ง.3

ตารางที่ ง.3 ต้นทุนของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่แต่ละเดือน

สารเคมี	ราคาต่อ 1 kg.	พ.ค.-53	มิ.ย.-53	ก.ค.-53	ส.ค.-53	ก.ย.-53	ต.ค.-53	พ.ย.-53	ธ.ค.-53	ม.ค.-54	ก.พ.-54
พีเอซี	6.5	5488.6	6933.6	5705.7	4333.6	6066.5	5777.9	7438.6	3033.4	3755.6	3177.8
โซเดียมไฮโปคลอไรท์	6.3	5440.7	7159.3	7875.0	4868.0	6300.0	4295.3	4582.6	8590.7	10309.3	10165.7
สารป้องกันการเกิดตะกรัน	130	4588.2	4358.8	5505.9	6767.6	2294.1	3441.2	5161.8	6308.8	8029.4	7455.9
พอลิเมอร์ประจุลบ	170	128.1	164.8	182.4	118.8	127.7	135.0	214.3	214.9	269.1	262.5
โซเดียมไฮดรอกไซด์	6.3	910.9	1242.5	2427.9	596.5	543.1	867.1	1143.5	200.1	209.6	190.6
ไบซัลไฟต์	21	252.0	210.0	285.6	151.2	195.3	210.0	357.0	336.0	399.0	357.0
กรดไฮโดรคลอริก	2.4	336.8	286.3	353.7	378.9	252.6	101.1	227.4	227.4	303.2	505.3

ตารางที่ ง.3 ต้นทุนของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่แต่ละเดือน (ต่อ)

สารเคมี	ราคาต่อ 1 kg.	มี.ค.-54	เม.ย.-54	พ.ค.-54	มิ.ย.-54	ก.ค.-54	ส.ค.-54	ก.ย.-54	ต.ค.-54	พ.ย.-54	ธ.ค.-54
พีเอซี	6.5	3611.1	3105.6	1588.9	650.0	361.1	1733.3	2672.2	2816.6	1733.3	3250.0
โซเดียมไฮโปคลอไรท์	6.3	11454.7	10452.3	4582.0	2577.3	1861.7	6800.9	10738.4	7875.0	3722.7	9092.2
สารป้องกันการเกิดตะกรัน	130	8602.9	6308.8	2294.1	-	-	-	4588.2	4588.2	4017.0	6308.8
พอลิเมอร์ประจุลบ	170	339.3	281.4	133.0	52.2	32.8	156.3	282.5	268.6	135.0	255.0
โซเดียมไฮดรอกไซด์	6.3	390.7	299.2	108.6	85.8	0.0	85.8	295.4	289.7	120.0	219.2
ไบซัลไฟต์	21	441.0	315.0	105.0	-	-	-	325.5	315.0	214.2	252.0
กรดไฮโดรคลอริก	2.4	555.8	353.7	168.4	-	-	-	505.3	480.0	168.4	353.8

หมายเหตุ : เดือนมิถุนายน – สิงหาคม 2554 ผลิตเฉพาะน้ำประปา ไม่มีการผลิตน้ำปลอดเกลือแร่ เนื่องจากอยู่ในช่วงงานซ่อมบำรุง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภูมิชูพงษ์ พูลสุวรรณ เกิดวันที่ 28 มีนาคม 2529 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีพ.ศ.2551 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปีพ.ศ.2552 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกรระดับ 4 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย