บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 บทนำ

การวิจัยได้เลือกศึกษากระบวนการตกแต่งผิวโลหะประเภทชุบสังกะสี – โครเมี่ยมแห่งหนึ่ง ซึ่งมีกระบวนการชุบเป็นแบบบาร์เรลอัตโนมัติ ดำเนินการชุบชิ้นงานประเภทสลักเกลียวเหล็ก (anchor bolt) มีแผนภาพกระบวนการ (ดังรูป 4.1)

กระบวนการของโรงงานเริ่มต้นจากการชั่งน้ำหนักและคำนวณพื้นที่ผิวของชิ้นงานที่จะทำการชุบให้อยู่ในเกณฑ์ที่ควบคุมแล้วจึงบรรจุใส่บาร์เรล จากนั้นจึงเริ่มเข้าสู่กระบวนการชุบชิ้นงาน โดยเริ่มจากการล้างไขมันด้วยด่างร้อน (soak clean) เพื่อล้างคราบไขมันออกจากชิ้นงานโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงเข้าสู่การล้างชิ้นงานโดยใช้ไฟฟ้า (electro clean) ซึ่งเป็นการล้างให้ชิ้นงานมีความสะอาดยิ่งขึ้นโดยสารละลายที่ใช้เป็นชนิดเดียวกับการต้มล้างไขมันซึ่งใช้เวลา 10 นาที จากนั้นต้องทำการล้างด้วยน้ำในบ่อน้ำล้าง (rinsing) เพื่อกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ติดมากับชิ้นงาน

การกัดด้วยกรด (acid pickling) เป็นกระบวนการถัดมาเพื่อกำจัดสนิมและสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บริเวณผิวชิ้นงานโดยการจุ่มในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงทำล้างชิ้นงานด้วยน้ำก่อนเข้าสู่การล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้า (ครั้งที่ 2) และการล้างน้ำ เช่นเดียวกับตอนต้นอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการกระตุ้นผิวชิ้นงานด้วยกรดไฮโดรคลอริก (acid activate) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกัดผิวชิ้นงานออกบาง ๆ ก่อนทำการชุบรองพื้น พร้อมทั้งผ่านการล้างน้ำอีกครั้งหนึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการถัดไป

ต่อมาชิ้นงานจะเข้าสู่กระบวนการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นการชุบรองพื้นชิ้นงานด้วยสังกะสี โดยมีแท่งโลหะสังกะสีเป็นแอโนด (anode) และมีแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นสารละลายนำไฟฟ้า กระบวนการนี้ใช้เวลา 55 นาที จึงเสร็จสิ้นแล้วจึงเข้าสู่กระบวนการล้างน้ำเพื่อทำความสะอาดชิ้นงาน จากนั้นจึงเข้าจึงสู่กระบวนการจุ่มกรดไนตริกเพื่อกระตุ้นผิวอีกครั้งหนึ่ง แล้ว

จึงเข้าสู่ขั้นสุดท้ายคือ การปรับปรุงคุณภาพและตกแต่งชิ้นงานด้วยการขุบชิ้นงานในบ่อโครเมี่ยม และจึงทำการล้างน้ำสุดท้าย จึงถือว่าเสร็จสิ้นกระบวนการ

การวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาหาแนวทางจัดการน้ำและน้ำเสีย ในขั้นตอนการล้างน้ำของช่วงกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีการใช้น้ำในปริมาณมากที่สุดและน้ำเสียที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทปนเปื้อนกรดไฮโดรคลอริก และปนเปื้อนโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยมีกระบวนการล้างน้ำที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 4 กระบวนการ ดังนี้

1) **กระบวนการล้างน้ำหลังการล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้า ครั้งที่** 1

ลักษณะเป็นการล้างน้ำแบบน้ำล้น 2 ขั้นต่ออนุกรม ประกอบด้วย บ่อน้ำล้าง "A1RIN1" และบ่อน้ำล้าง "A1RIN2" (ดังรูป 4.1) ซึ่งน้ำที่ใช้ในการล้างเป็นน้ำบาดาลเปิดไหลล้นตลอดเวลา โดยสารเคมีที่ต้องการทำความสะอาดออกคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ติดมาจากบ่อ "ANO1"

2) **กระบวนการล้างน้ำหลังการกัดกรด**

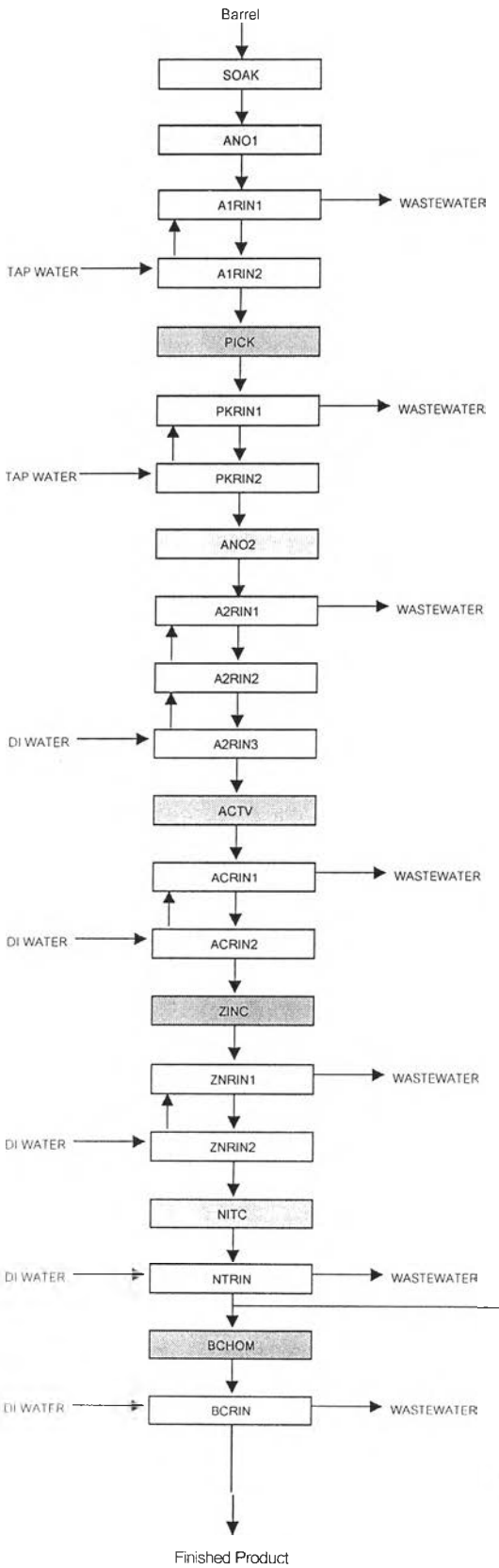
ลักษณะเป็นการล้างน้ำแบบน้ำล้น 2 ขั้นต่ออนุกรม ประกอบด้วย บ่อน้ำล้าง "PKRIN1" และบ่อน้ำล้าง "PKRIN2" ใช้น้ำบาดาลในการล้างสารเคมีที่ติดมากับชิ้นงานจากบ่อ "PIK" คือ กรดไฮโดรคลอริก

3) **กระบวนการล้างน้ำหลังการล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้า ครั้งที่** 2

เป็นการล้างน้ำแบบน้ำล้น 3 ขั้นต่ออนุกรม ประกอบด้วย บ่อน้ำล้าง "A2RIN1", "A2RIN2" และ "A2RIN3" ใช้น้ำบาดาลในการล้างเพื่อกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์จากบ่อ "ANO2" ที่ติดมากับชิ้นงาน

4) **กระบวนการล้างน้ำหลังการกัดกรดกระตุ้นผิว**

ลักษณะเป็นการล้างน้ำแบบน้ำล้น 2 ขั้นต่ออนุกรม ประกอบด้วย บ่อน้ำล้าง "ACRIN1" และ "ACRIN2" แต่ต่างจากการล้างน้ำข้างต้น คือ มีการใช้น้ำบริสุทธิ์ซึ่งผ่านกระบวนการดิไอออไนซ์เซชั่น หรือที่เรียกว่า น้ำดีไอออไนซ์ (DI water) โดยสารเคมีที่ต้องการทำความสะอาดออกคือ กรดไฮโดรคลอริก จากบ่อ "ACTV"



<u>กระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน</u>

SOAK	บ่อล้างไขมันด้วยด่างร้อน
ANO1	บ่อล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้า ครั้งที่1
A1RIN1	บ่อน้ำล้างที่ 1 หลังการล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้าครั้งที่ 1
A1RIN2	บ่อน้ำล้างที่ 2 หลังการล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้า ครั้งที่ 1
PICK	บ่อกัดด้วยกรด
PKRIN1	บ่อน้ำล้างที่ 1 หลังการกัดชิ้นงานด้วยกรด
PKRIN2	บ่อน้ำล้างที่ 2 หลังการกัดชิ้นงานด้วยกรด
ANO2	บ่อล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้า ครั้งที่2
A2RIN1	บ่อน้ำล้างที่ 1 หลังการล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้า ครั้งที่ 2
A2RIN2	บ่อน้ำล้างที่ 2 หลังการล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้า ครั้งที่ 2
A2RIN3	บ่อน้ำล้างที่ 3 หลังการล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้า ครั้งที่ 2
ACTV	บ่อกระตุ้นผิวชิ้นงาน
ACRIN1	บ่อน้ำล้างที่ 1 หลังการกระตุ้นผิวชิ้นงาน
ACRIN2	บ่อน้ำล้างที่ 2 หลังการกระตุ้นผิวชิ้นงาน

<u>กระบวนการชุบเคลือบผิวโลหะ</u>

ZINC	บ่อชุบเคลือบผิวชิ้นงานด้วยสังกะสี
ZNRIN1	บ่อน้ำล้างที่ 1 หลังการชุบด้วยสังกะสี
ZNRIN2	บ่อน้ำล้างที่ 2 หลังการชุบด้วยสังกะสี

<u>กระบวนการปรับปรุงคุณภาพชิ้นงาน</u>

NITC	บ่อกรดไนตริก
NTRIN	บ่อน้ำล้างหลังกระตุ้นผิวชิ้นงานด้วยกรดไนตริก
BCHOM	บ่อชุบโครเมี่ยมสีฟ้า
BCRIN	บ่อน้ำล้างหลังชุบโครเมี่ยมสีฟ้า
YCHOM	บ่อชุบโครเมี่ยมสีเหลือง
YCRIN1	บ่อน้ำล้างที่ 1 หลังชุบโครเมี่ยมสีเหลือง
YCRIN2	บ่อน้ำล้างที่ 2 หลังชุบโครเมี่ยมสีเหลือง

รูป 4.1 กระบวนการชุบสังกะสี – โครเมี่ยมของโรงงานแห่งหนึ่ง

4.2 แนวทางการวิจัย

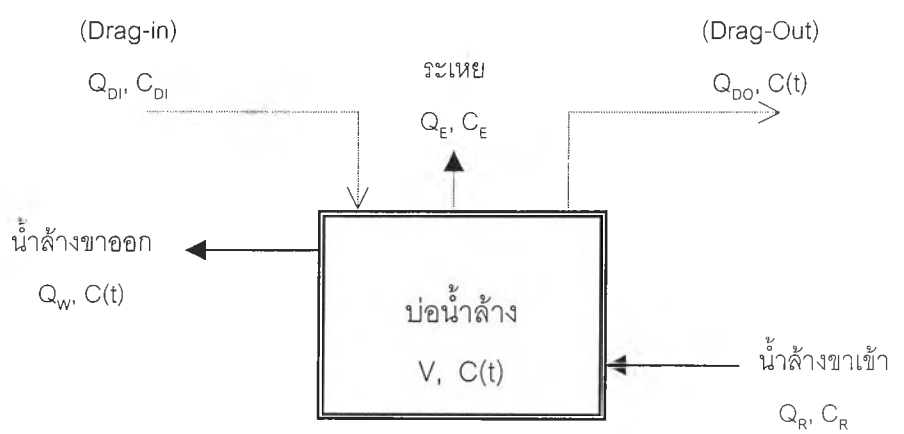
ขั้นตอนการศึกษาวิจัยหาแนวทางจัดการน้ำและน้ำเสีย สรุปได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ตามลำดับดังนี้

1. การสร้างและทดสอบแบบจำลองของกระบวนการล้างน้ำทั้ง 4 ขั้นตอน
2. จัดทำดุลมวลสารกระบวนการล้างน้ำของโรงงานที่ศึกษาในสภาวะคงที่
3. สร้างแบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำเสีย
4. การออปติไมซ์แบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำเสีย

4.2.1 การสร้างและทดสอบแบบจำลองกระบวนการล้างน้ำ

1) การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการล้างน้ำไหลต่อเนื่อง เป็นแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และสามารถใช้เป็นตัวแทนกระบวนการล้างน้ำของที่โรงงานที่จะทำการศึกษาได้ ซึ่งมีรูปแบบทั่วไปดังรูป 4.2 (สำหรับในกรณีที่เป็นการล้างน้ำล้นหลายขั้น ก็ยังคงใช้แบบจำลองดังกล่าวนี้ได้ โดยแยกคิดแต่ละบ่อ)



รูป 4.2 แบบจำลองแสดงสารขาเข้า-ออกของกระบวนการล้างน้ำ

สมมติฐานของกระบวนการล้างน้ำ

1. การผสมเกิดแบบสมบูรณ์ (Perfect Mixing)
2. อัตราการไหลของน้ำล้างขาเข้าและขาออกคงที่
3. อัตราการระเหยของน้ำคงที่
4. ปริมาตรของน้ำล้างในบ่อมีค่าคงที่

สมการดุลมวลสาร

$$dC(t)\frac{dC(t)}{dt} = Q_R C_R + Q_{DI}(t)C_{DI}(t) - Q_W C(t) - Q_{DO}(t)C(t) - Q_E C_E \qquad (4.1)$$

เมื่อ $C(t)$ = ความเข้มข้นขององค์ประกอบหลักในบ่อน้ำล้าง (มิลลิกรัม/ลิตร)

Q_R = อัตราการไหลของน้ำล้างขาเข้า (ลิตร/ชั่วโมง)

C_R = ความเข้มข้นขององค์ประกอบหลักในน้ำล้างขาเข้า (มิลลิกรัม/ลิตร)

Q_w = อัตราการไหลของน้ำล้างขาออก (ลิตร/ชั่วโมง)

$Q_{DI}(t)$ = ปริมาณแดรก-อิน (ลิตร/ชั่วโมง)

$C_{DI}(t)$ = ความเข้มข้นขององค์ประกอบหลักในแดรก-อิน (มิลลิกรัม/ลิตร)

$Q_{DO}(t)$ = ปริมาณแดรก-เอาท์ (ลิตร/ชั่วโมง)

V = ปริมาณน้ำล้างในบ่อน้ำล้าง (ลิตร)

2) การทดสอบแบบจำลอง

การทดสอบแบบจำลอง ดำเนินการโดยเก็บข้อมูลของกระบวนการล้างน้ำทั้ง 4 ขั้นตอนที่ทำการศึกษา ซึ่งจากสมการที่ (4.1) พบว่า ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการใช้งานในแบบจำลอง และข้อมูลจริงจากกระบวนการเพื่อนำมาเปรียบเทียบซึ่งเป็นข้อมูลที่ต้องเก็บจริงจากโรงงาน ประกอบด้วย

1. ความเข้มข้นขององค์ประกอบหลัก (key component) ในบ่อเคมี ซึ่งในที่นี้มี 2 สารคือ กรดไฮโดรคลอริก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการเลือกเก็บข้อมูลขึ้นกับว่าเป็นกระบวนการใด

I20477132.

2. ความเข้มข้นขององค์ประกอบหลักในบ่อน้ำล้างทุกบ่อ (การเลือกองค์ประกอบหลักขึ้นกับว่าบ่อน้ำล้างดังกล่าวเป็นของกระบวนการใด)
3. ปริมาตรของน้ำในบ่อน้ำล้างทุกบ่อ
4. อัตราการไหลของน้ำที่เข้า – ออกแต่ละบ่อพร้อมทั้งของของโรงงาน
5. ความเข้มข้นขององค์ประกอบหลักในน้ำที่ใช้ในบ่อล้างน้ำ
6. ปริมาณแดรก-เอาท์ (Drag-out) ของบาร์เรล
7. อัตราการระเหยไปขององค์ประกอบหลัก

4.2.2 การจัดทำดุลมวลสารของระบบที่สภาวะคงตัว

นำผลข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูล และจากแบบจำลองของกระบวนการล้างน้ำมาแทนค่าจัดทำดุลมวลสารของกระบวนการล้างน้ำทั้ง 4 ขั้นตอนที่สภาวะคงตัว เพื่อนำผลดังกล่าวนี้ไปศึกษาหาแนวทางการจัดการน้ำและน้ำเสียโดยวิธีการออปติไมซ์ต่อไป

4.2.3 การสร้างแบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำเสีย

แบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำทิ้ง สร้างขึ้นโดยการหาแนวทางน้ำเสียจากกระบวนการกลับมาใช้ให้มากที่สุด โดยหลักการแยกน้ำเสียแต่ละสาย การผสม และ การนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการที่สามารถยอมรับน้ำนั้นได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การใช้น้ำดี (freshwater) ต่ำที่สุด และมีข้อจำกัดต่าง ๆ ขึ้นกับลักษณะของกระบวนการจริงภายในโรงงาน เช่น ข้อจำกัดของอัตราการไหล ข้อจำกัดของความสกปรกที่ยอมรับได้ เป็นต้น

4.2.4 การทำออปติไมซ์แบบจำลอง

รูปแบบของชุดสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากแบบจำลองข้างต้น จะมีลักษณะเป็นโปรแกรมแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งสามารถทำออปติไมซ์เพื่อหาการใช้น้ำต่ำที่สุดในกระบวนการล้างน้ำทั้ง 4 ขั้นได้ด้วยโปรแกรมแกมส์ ซึ่งมีเครื่องมือหาคำตอบ (Solver) ที่ใช้สำหรับการศึกษาประกอบด้วย MINOS5, CONOPT และ CONOPT2