บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัย

6.1 แบบจำลองกระบวนการล้างน้ำ

แบบจำลองของกระบวนการล้างน้ำที่ได้จากการทำดุลมวลสาร พบว่า ผลการจำลองกระบวนการล้างน้ำเมื่อแทนด้วยข้อมูลปฏิบัติงานจริงของกระบวนการผลิต จะมีค่าสอดคล้องและใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดได้จริง เมื่อได้ดำเนินการปรับเพิ่มค่าแดรก-เอาท์ ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้ยากที่สุดในการชุบโลหะ เมื่อปรับให้ค่าแดรก-เอาท์มีค่าสูงขึ้นจากเดิมซึ่งเริ่มที่ 1.50 ลิตร/บาร์เรล มาเป็น 2.00 ลิตร/บาร์เรล (สูงขึ้นร้อยละ 25) จะทำให้ผลการจำลองกระบวนการล้างน้ำทั้ง 4 ขั้นตอนข้างต้นสอดคล้องกับข้อมูลจริง

เหตุผลของการปรับจูนค่าแดรก-อินและแดรก-เอาท์ เนื่องจากเป็นค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ยากที่สุดในกระบวนการผลิตจริงของโรงงาน ซึ่งต่างจากการวัดค่าความเข้มข้นหรือการวัดค่าอัตราการไหลของน้ำล้าง (Q_R) ที่เข้าสู่ระบบซึ่งวัดได้ง่ายกว่า ในการทดลองนี้ได้วัดค่าแดรก-เอาท์โดยการสร้างภาชนะรองรับ และนำบาร์เรลที่ออกจากบ่อน้ำล้างมายกไว้เหนือภาชนะดังกล่าวเพื่อรองรับปริมาณแดรก-เอาท์ที่ติดมาบาร์เรล ซึ่งเป็นวิธีที่คลาดเคลื่อนได้เล็กน้อยเนื่องจากปริมาณแดรก-เอาท์ที่หยดลงภาชนะรองรับยังออกมาไม่หมดจึงทำให้ค่าที่ได้น้อยกว่าความเป็นจริงดังนั้นการปรับจูนให้ค่าแดรก-เอาท์สูงขึ้นจึงมีความเป็นไปได้สูง

แบบจำลองกระบวนการล้างน้ำที่ถูกต้อง จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างมากกับการศึกษาหรือทำนายพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นขององค์ประกอบที่เราสนใจซึ่งในที่นี้ได้แก่โซเดียมไฮดรอกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก เมื่อมีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ขาเข้าแตกต่างกันออกไป ซึ่งรูปแบบการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับการศึกษากระบวนการล้างน้ำมีหลายรูปแบบ ดังต่อไปนี้

1) การใช้แบบจำลองศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นหรือปริมาณองค์ประกอบที่สะสมในบ่อน้ำล้างเมื่อมีการปรับพารามิเตอร์ขาเข้า สำหรับพารามิเตอร์ขาเข้าที่จำเป็นต้องมีการศึกษาในกระบวนการล้างน้ำ ประกอบด้วย 3 ตัวหลัก ดังต่อไปนี้

- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำล้างเมื่อมีการปรับแดรก-อิน และแดรก-เอาท์
- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำล้างเมื่อมีการปรับอัตราการไหลของน้ำล้าง
- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำล้างเมื่อมีการปรับเปลี่ยนปริมาตรน้ำในบ่อน้ำล้าง

การศึกษาพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีในการปรับปรุงกระบวนการล้างน้ำทั้งในอุตสาหกรรมชุบโลหะ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ส่วนใหญ่มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดการใช้น้ำล้างได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด หรือเพื่อให้เกิดการสูญเสียสารเคมีที่สำคัญหรือมีมูลค่าน้อยที่สุด ดังนั้นแนวทางปรับปรุงกระบวนการล้างน้ำซึ่งมีอยู่หลากหลายวิธีมาก (United States Environmental Protection Agency, 1995) แต่หลักใหญ่จะอยู่ในรูปของวิธีการลดปริมาณแดรก-อิน หรือแดรก-เอาท์ให้น้อยที่สุด หรือวิธีการลดปริมาณการใช้น้ำล้างให้น้อยที่สุด ซึ่งการปรับพารามิเตอร์เหล่านี้หากโรงงานมีแบบจำลองที่ถูกต้อง จะช่วยให้สามารถศึกษาและคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งรวมถึงช่วยให้สามารถประเมินความเป็นไปได้เบื้องต้น เช่น ระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งเทคโนโลยี

2) การใช้แบบจำลองสำหรับศึกษาและทำออปติไมซ์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ในการปฏิบัติงานของโรงงาน

3) การใช้แบบจำลองสำหรับการออกแบบระบบควบคุมกระบวนการล้างน้ำ เช่น การควบคุมความเข้มข้นของบ่อน้ำล้างสุดท้ายกับอัตราการไหลของน้ำล้างที่ใช้ให้สัมพันธ์กัน

อย่างไรก็ตามแบบจำลองของกระบวนการล้างน้ำในการวิจัยนี้จัดเป็นรูปแบบทั่วไปของกระบวนการล้างน้ำแบบไหลล้นต่อเนื่อง ซึ่งการนำไปประยุกต์ใช้จำเป็นต้องมีการทดสอบแบบจำลองกับกระบวนการจริงว่ามีความถูกต้องเพียงใด ซึ่งมีโอกาสคลาดเคลื่อนได้สูงกับกระบวนการที่เป็นการชุบแบบบาร์เรล เนื่องจากการชุบแบบบาร์เรลจะมีผนังกั้นระหว่างชิ้นงานกับน้ำล้าง ดังนั้นหากระยะเวลาในการผสมไม่นานเพียงพอ หรือในบ่อน้ำล้างไม่มีการกวนให้เกิดการผสมดีพอจะมีผลให้ค่าแดรกเอาท์ที่ติดมากับชิ้นงานและวัดได้คลาดเคลื่อนกับปริมาณที่เกิดการผสมจริงใน

บ่อน้ำล้างจริงไม่เท่ากัน ดังนั้นหากสามารถใช้วิธีวัดค่าแดรก-อินและแดรก-เอาท์โดยวิธีอื่นที่เคยมีการนำเสนอไว้ (Kushner, 1994) เช่น วิธีการไตเตรต และวิธีการวัดค่าองค์ประกอบที่ไม่เปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำล้างจะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากกว่า แต่เนื่องจากการนำวิธีการดังกล่าวมาใช้กับโรงงานพบว่ามีอุปสรรค เช่น วิธีการไตเตรตจำเป็นต้องมีการหยุดกระบวนการผลิตเพื่อทดการไตเตรตและวัดค่าจริงที่เปลี่ยนไปในบ่อน้ำล้างจึงไม่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตจริงของโรงงาน หรือวิธีการวัดค่าองค์ประกอบที่ไม่เปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำล้างพบว่าจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์เพิ่มขึ้นซึ่งปัจจุบันโรงงานยังไม่มี ดังนั้นวิธีการปรับจูนค่าแดรก-เอาท์จึงมีความเป็นไปได้กับการทดสอบแบบจำลองเพื่อให้มีผลสอดคล้องกับข้อมูลจริง

6.2 แบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำเสีย

หลักการของการนำน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการมาทำการแยกสาย การผสม การนำกลับไปใช้ใหม่โดยตรง สามารถนำมาประยุกต์สร้างเป็นแบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำเสีย ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการศึกษาทั้งภาพรวมของกระบวนการผลิต ว่ามีโอกาสในการนำน้ำทิ้งที่ออกจากหน่วยปฏิบัติการหรือกระบวนการต่าง ๆ กลับไปใช้ในกระบวนอื่นที่ยอมรับได้ การนำกลับไปใช้มีทั้งแบบการนำกลับไปโดยตรง หรือการนำไปผสมก่อนแล้วจึงนำกลับไปใช้ใหม่ เพื่อเป้าหมายคือให้มีปริมาณการใช้น้ำใหม่น้อยที่สุด

โครงสร้างของแบบจำลองข้างต้น เมื่อนำไปใช้งานกับกระบวนการผลิตจริง จึงต้องมีการนำหลักการข้างต้นรวมเข้ากับข้อจำกัดของกระบวนการ พร้อมสังเคราะห์ทั้งหลักการและข้อจำกัดทั้งหมดให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อทำออปติไมซ์ต่อไป โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการออปติไมซ์ คือ ปริมาณการใช้น้ำใหม่ในกระบวนการน้อยที่สุด ซึ่งรูปแบบของโปรแกรมที่ได้จะเป็นโปรแกรมแบบไม่เป็นเชิงเส้น และการแก้ปัญหาทำได้โดยใช้โปรแกรมแกมส์

ผลการประยุกต์แบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำเสียกับกระบวนการล้างน้ำทั้ง 4 ขั้นตอน พบว่าในการศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มน้ำล้างด่าง และกลุ่มน้ำล้างกรด ซึ่งผลการออปติไมซ์แบ่งได้เป็น 4 กรณี ได้แก่

กรณีศึกษาที่ 1 ผลการออปติไมซ์พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้น้ำใหม่ลงได้ 790.000 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ลดลงได้ร้อยละ 40 ของปริมาณการใช้น้ำปัจจุบัน) แต่รูปแบบการนำน้ำกลับไปใช้

ในกรณีศึกษานี้ไม่เหมาะกับการใช้งานจริง เนื่องจากค่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริกที่ออกจากบ่อ "A1RIN2" และบ่อ "PKRIN2" มีค่าสูงเกินกว่าค่าเกณฑ์ที่ควบคุมไว้ ซึ่งอาจส่งผลให้บ่อเคมีที่อยู่ถัดไปเสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติ

กรณีศึกษาที่ 2 ผลการออปติไมซ์พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้น้ำใหม่ลงได้ 967.448 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ลดลงได้ร้อยละ 49 ของปริมาณการใช้น้ำปัจจุบัน) แต่จากรูปแบบการนำกลับมาใช้จะพบว่ามีความซับซ้อนมากจนไม่เหมาะกับการนำไปใช้งาน รวมถึงมีความเสี่ยงในเรื่องการปนเปื้อนของไขมันหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ ในกระบวนการผลิตที่อยู่ด้านหลัง

กรณีศึกษาที่ 3 ผลการออปติไมซ์พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้น้ำใหม่ลงได้ 679.773 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ลดลงได้ร้อยละ 32 ของปริมาณการใช้น้ำปัจจุบัน)

กรณีศึกษาที่ 4 ผลการออปติไมซ์พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้น้ำใหม่ลงได้ 145.989 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ลดลงได้ร้อยละ 7.45 ของปริมาณการใช้น้ำปัจจุบัน) หรือประมาณ 588 ลบ.ม./ปี

ซึ่งจากการประเมินโดยเบื้องต้นพบว่าในกรณีศึกษาที่ 4 จัดเป็นรูปแบบของการนำน้ำกลับไปใช้ที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานของโรงงานจริง เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ง่ายทำให้มีค่าใช้จ่ายในการนำไปปรับปรุงต่ำ รวมถึงมีความเสี่ยงด้านการปกเปื้อนสิ่งสกปรกในกระบวนการน้อยที่สุด เพราะไม่มีการนำน้ำล้างจากบ่อที่อยู่ด้านหน้ากลับเข้าไปใช้กับบ่อที่อยู่ด้านหลังเลย

อย่างไรก็ตามผลการออปติไมซ์ข้างต้นเป็นการออปติไมซ์จากข้อมูลของกระบวนการผลิตจริงที่สภาวะคงตัว ซึ่งในความเป็นจริงในปัจจุบันได้มีการนำเสนอแนวทางการจัดน้ำและน้ำเสียของกระบวนการล้างน้ำด้วยเทคนิคหลายรูปแบบ (U.S.EPA, 1995) เช่น การลดปริมาณแดรก-เอาท์ การติดตั้งตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำล้างตามความเข้มข้น ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มีความเป็นอย่างยิ่งสำหรับโรงงานที่ควรปฏิบัติเป็นอันดับแรกตามหลักการป้องกันมลพิษ จากนั้นเทคนิคของการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ด้วยรูปแบบต่าง ๆ จึงเป็นเทคนิคอันดับรองลงมาที่ควรปฏิบัติต่อเนื่องกันเพื่อให้กระบวนการมีประสิทธิภาพในการหมุนเวียนน้ำสูงสุด

งานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบและทำออปติไมซ์กระบวนการที่พารามิเตอร์เปลี่ยนไป อันประกอบด้วย

1) แดรก-อินเพิ่มขึ้น 25%
2) แดรก-อินลดลง 25%
3) ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกในบ่อ "PICK" เพิ่มขึ้น 20%
4) ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกในบ่อ "PICK" ลดลง 20%

ผลที่ได้พบว่าภายใต้ขอบเขตของกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4 พบว่า เส้นของการหมุนเวียนน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยนไป แต่ที่เปลี่ยนแปลงเป็นเพียงปริมาณการหมุนเวียนน้ำที่นำกลับมาใช้ได้ซึ่งจะลดลงเมื่อกระบวนการมีค่าแดรก-อิน หรือมีค่า ความเข้มข้นของบ่อสารเคมี เช่น ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกในบ่อ "PICK" มีค่าสูงขึ้น แต่กระบวนการจะสามารถหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ได้มากขึ้นหากปริมาณแดรก-อิน หรือความเข้มข้นของสารเคมีในบ่อเคมีมีค่าลดลง

สำหรับการใช้โปรแกรมแกมส์ในการแก้ปัญหาแบบไม่เชิงเส้นตรง จะพบว่าผลที่ได้ทั้งหมดนี้เป็นเพียงค่าที่ดีที่สุดเฉพาะจุดเท่านั้น (Local optimum) โดยยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดของทั้งภาพรวม (Global optimum) หรือไม่ และสำหรับจุดอ่อนของการใช้โปรแกรมแกมส์สำหรับแก้ปัญหาแบบไม่เชิงเส้นตรงอีกอย่างหนึ่งคือ ในการคำตอบนั้นจะขึ้นกับการกำหนดค่าเริ่มต้น และเส้นทางของการคำนวณหาคำตอบ ซึ่งเส้นทางของการคำนวณหาคำตอบนี้จะเป็นลักษณะเฉพาะของเครื่องมือหาคำตอบ (Solver) แต่ละชนิดที่เราเลือกใช้ ดังนั้นในบางครั้งการเลือกใช้เครื่องมือหาคำตอบ เช่น MINOS5, CONOPT หรือ CONOPT2 จะพบว่าได้ว่าเครื่องมือหาคำตอบบางชนิดอาจไม่สามารถหาคำตอบได้ แต่หากใช้เครื่องมือหาคำตอบอีกชนิดหนึ่งจะสามารถหาคำตอบได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

<u>สำหรับงานวิจัย</u>

การศึกษาโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำเสียจะมีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมอื่นต่อไป แต่ควรยึดหลักที่อุตสาหกรรมดังกล่าวควรมีการแหล่งของการใช้น้ำ และการปล่อยน้ำเสียหลายแหล่ง

สำหรับโรงงาน

ผลจากงานวิจัยสามารถสรุปได้เป็นรูปแบบทางเลือกสำหรับโรงงานนำไปปรับปรุงการใช้น้ำในกระบวนการล้างน้ำของขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยอาศัยผลจากการจำลองกระบวนการล้างน้ำและผลการออปติไมซ์ ควรมีลำดับขั้นตอนในการประยุกต์ใช้ในดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 : ปรับปรุงกระบวนการเพื่อปรับลดปริมาณแดรก-อินและแดรก-เอาท์ ซึ่งมีแนวทางในการปรับปรุงหลายวิธี ดังเช่น การเพิ่มระยะเวลาการหยด (Dripping Time) หรือการปรับกระบวนการให้มีการแกว่งบาร์เรลมากขึ้นเพื่อให้มีแดรก-เอาท์ติดออกมาน้อยที่สุด

แต่เนื่องจากขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานเป็นขั้นตอนในการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนทำการชุบสังกะสี โดยอาศัยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจัดเป็นสารเคมีที่ไม่มีราคาแพงหรือมีมูลค่ามากนัก ดังนั้นแนวทางในการลดสารเคมีหรือการเก็บสารเคมีกลับมาใช้จึงไม่มีความจำเป็นมากนักกับการพิจารณา

ขั้นที่ 2 : การควบคุมอัตราการไหลของน้ำล้างให้เหมาะสม ซึ่งมีวิธีการ เช่น

- การติดตั้งวาล์วแบบทั่วไป (Manual) และใช้พนักงานในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้เหมาะสม
- การติดตั้งตัวควบคุมอัตโนมัติ เพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำล้างตามความเข้มข้นในบ่อน้ำล้างสุดท้าย ซึ่งอาจเลือกควบคุมด้วยค่าความนำไฟฟ้า หรือค่าพีเอช ก็ได้

ขั้นที่ 3 : การปรับกระบวนการผลิตให้อยู่ในสภาวะคงตัวมากที่สุด ซึ่งประกอบด้วย 2 แนวทางหลัก ได้แก่

- การปรับวิธีการชุบให้มีการป้อนชิ้นงานเข้าชุบอย่างต่อเนื่องเท่ากันทุกชั่วโมง เพื่อให้มีแดรก-อิน และแดรก-เอาท์คงที่
- การติดตั้งตัวควบคุมอัตราการไหลน้ำให้สัมพันธ์กับความเข้มข้นในบ่อน้ำล้าง

ขั้นที่ 4 : การทำดุลมวลสารที่สภาวะคงตัว และการออปติไมซ์เพื่อหาแนวทางนำน้ำกลับไปใช้ให้มากที่สุดจึงเป็นแนวทางต่อมาในการนำมาปฏิบัติ เนื่องจากหากกระบวนการมีการปรับ

ปรุงในขั้นที่ 1 – 3 แล้วนั้นจะทำให้ผลการทำดุลมวลสารมีค่าเปลี่ยนไปจึงต้องมีการทำดุลมวลสารที่สภาวะคงตัวและทำออปติไมซ์เพื่อหารูปแบบในการหมุนเวียนน้ำจากจุดต่าง ๆ ไปใช้อย่างเหมาะสมที่สุด

อย่างไรก็ตามจากการทำออปติไมซ์ทดสอบสภาวะที่พารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงไป ผลที่ได้พบว่ารูปแบบเส้นทางของการหมุนเวียนน้ำจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ปริมาณที่จะหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะความเข้มข้น ดังนั้นเส้นทางการหมุนเวียนน้ำจากกรณีศึกษาทั้งหมดในงานวิจัยนี้ยังคงเป็นแนวทางหลักที่สามารถใช้ได้อยู่ แต่เมื่อทำออปติไมซ์แล้วจำเป็นต้องมีการศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินในการนำไปปรับปรุงต่อไป