บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 ผลการทดสอบแบบจำลองกระบวนการล้างน้ำ

โรงงานแบ่งการทำงานของกระบวนการชุบเคลือบผิวชิ้นงาน ออกเป็น 2 รอบ รอบละ 12 ชั่วโมง โดยภายหลังจบการทำงานทุกรอบพนักงานจะทำความสะอาดบ่อน้ำล้างทั้งหมดพร้อมทั้งเติมน้ำใหม่เข้าไปเพื่อเตรียมไว้ผลิตในรอบต่อไป โดยในช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลมีรายการชิ้นงานและปริมาณที่เข้าบาร์เรลที่เข้ากระบวนการชุบดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ปริมาณชิ้นงานที่ผ่านการชุบเคลือบผิวชิ้นงานของโรงงานในรอบ 12 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	ประเภทชิ้นงานที่ผ่านการชุบ	จำนวนบาร์เรลที่ผ่านการชุบ	ปริมาณแดรก-เอาท์ (ลิตร/ชั่วโมง)
1	สลักเกลียวใน (CP-850)	3	6
2	สลักเกลียวใน (CP-1270)	11	22
3	สลักเกลียวใน (CP-1270)	11	22
4	สลักเกลียวใน (CP-1270)	8	16
5	สลักเกลียวใน (CP-1270)	11	22
6	สลักเกลียวใน (CP-1270)	10	20
7	สลักเกลียวใน (CP-1270)	11	22
8	สลักเกลียวใน (CP-850)	6	12
10	สลักเกลียวใน (CP-1270)	5	10
11	สลักเกลียวใน (CP-1270)	8	16
12	สลักเกลียวใน (CP-850)	2	4

*ปริมาณแดรก-เอาท์ = 2 ลิตร/บาร์เรล

จากสมการแบบจำลองของกระบวนการล้างน้ำ

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

การนำสมการ 4.1 มาใช้จำลองเข้ากับข้อมูลจริงของกระบวนการล้างน้ำทั้ง 4 ขั้นตอน จำเป็นต้องมีการตั้งสมมติฐานเพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

สมมติฐานของแบบจำลองกระบวนการล้างน้ำ

1. ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือกรดไฮโดรคลอริกที่อยู่ในน้ำล้างขาเข้าถือว่าเท่ากับศูนย์ (C_R = 0) เนื่องจากน้ำล้างขาเข้าที่ใช้เป็นน้ำบาดาลและน้ำบริสุทธิ์

2. ปริมาณแดรก-อินเท่ากับแดรก-เอาท์ ($Q_{DI}(t) = Q_{DO}(t)$) และถือว่าปริมาณแดรก-เอาท์ต่อบาร์เรลมีค่าคงที่ เพราะกระบวนการชุบชิ้นงานมีการควบคุมปริมาณชิ้นงานที่เข้าทำการชุบแต่ละบาร์เรลให้มีน้ำหนัก และพื้นที่ผิวเฉลี่ยเท่ากัน และลักษณะชิ้นงานที่เข้าทำการชุบในช่วงที่ทำการวิจัยเป็นประเภทเดียวกันทั้งหมด (แต่เนื่องจากกระบวนการมีจำนวนบาร์เรลที่เข้าชุบต่อชั่วโมงไม่คงที่ ดังนั้นปริมาณแดรก-เอาท์จึงมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังตารางที่ 5.1

3. ความเข้มข้นของของสารเคมี ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในบ่อล้างชิ้นงานด้วยไฟฟ้า "ANO1" และ "ANO2" และ กรดไฮโดรคลอริก ในบ่อกัดกรด "PICK" และบ่อกระตุ้นผิว "ACTV" มีความเข้มข้นสูงเมื่อเทียบกับค่าปริมาณแดรก-อินที่ติดมากับชิ้นงาน จึงไม่มีผลต่อการลดความเข้มของสารเคมีดังกล่าว (C_p คงที่)

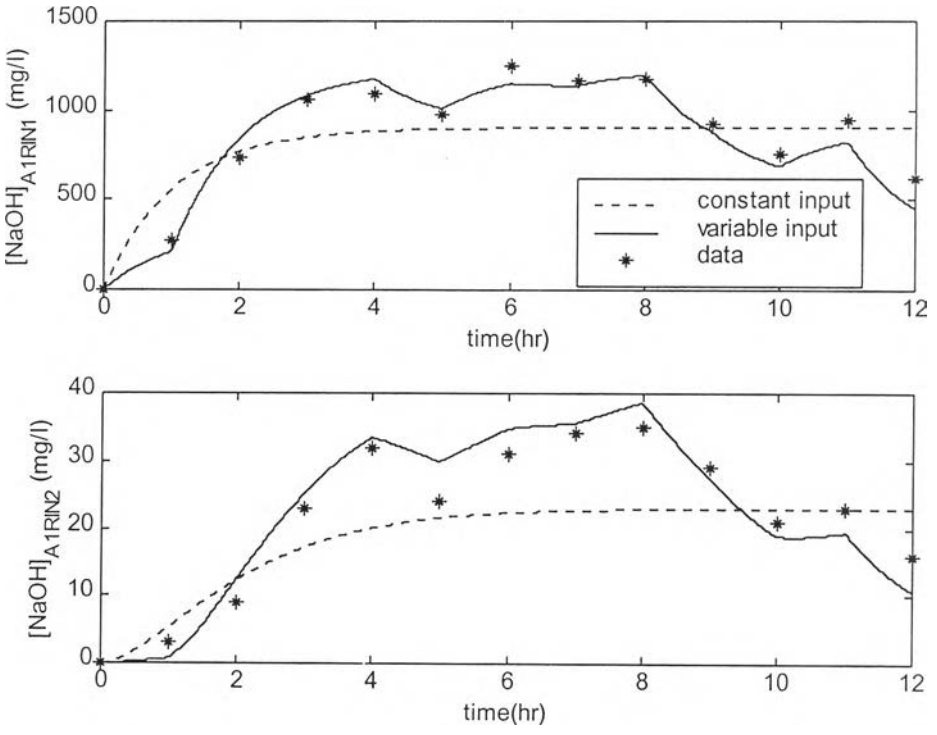
4. การผสมเป็นแบบสมบูรณ์ (Perfect Mixing) ดังนั้นความเข้มข้นขององค์ประกอบจึงเท่ากันตลอดทั้งบ่อ เนื่องจากระหว่างการจุ่มล้างในบ่อน้ำล้างจะมีการหมุนบาร์เรลตลอดเวลาทำให้เกิดการผสมได้อย่างดี

5. อัตราการไหลของน้ำล้างขาเข้าและขาออกมีค่าคงที่และเท่ากัน เพราะบ่อน้ำล้างเป็นแบบเปิดน้ำไหลล้นต่อเนื่องตลอด และไม่มีการสูญเสียจากทางอื่น เช่น การรั่วหกของบ่อ ($Q_R = Q_W$)

6. ไม่มีการระเหยของน้ำหรือองค์ประกอบอื่น ๆ ในกระบวนการล้างน้ำ ($Q_E = 0$) เนื่องจากเป็นกระบวนการที่อุณหภูมิปกติ และไม่มีการให้ความร้อนจากภายนอก

สมการ 4.1 สามารถหาความเข้มข้นองค์ประกอบที่สนใจภายในบ่อน้ำล้างตามช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปได้โดยวิธีการของออยเลอร์ (Euler Method) ได้ผลเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

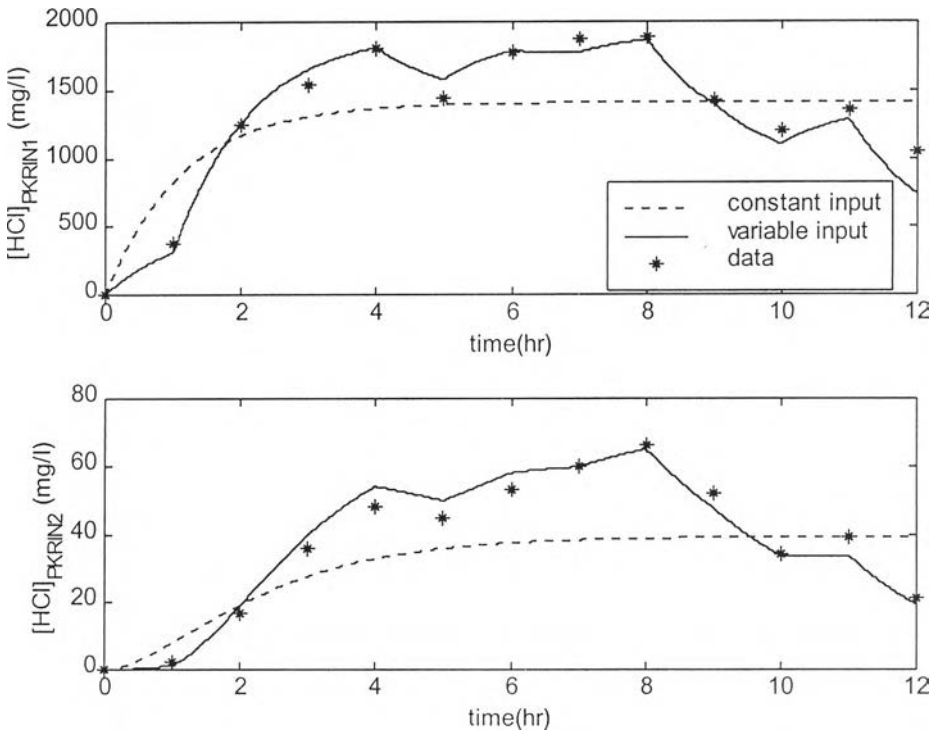
5.1.1 ผลเปรียบเทียบกระบวนการล้างน้ำหลังการล้างด้วยไฟฟ้า ครั้งที่ 1



รูป 5.1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในบ่อน้ำล้างหลังการล้างด้วยไฟฟ้า ครั้งที่ 1

รูป 5.1 ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สะสมภายในบ่อน้ำล้าง "A1RIN1" และ "A1RIN2" แทนด้วย $[NaOH]_{A1RIN1}$ และ $[NaOH]_{A1RIN2}$ ตามลำดับ

5.1.2 ผลเปรียบเทียบกระบวนการล้างน้ำหลังการกัดกรด

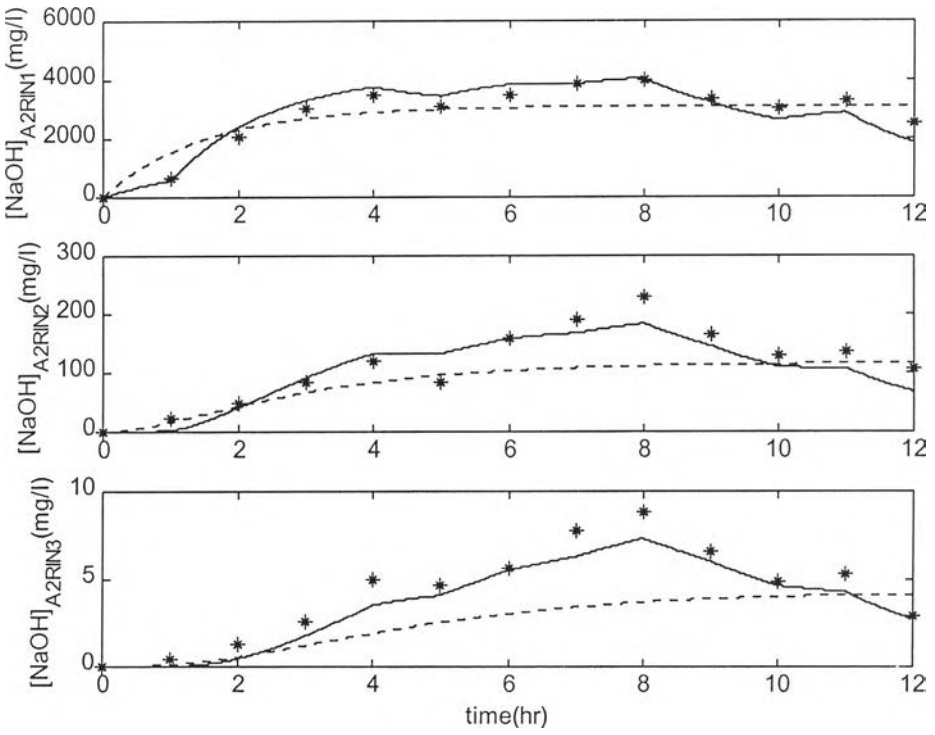


รูป 5.2 ปริมาณไฮโดรคลอริกในบ่อน้ำล้างหลังการกัดกรด

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่สะสมภายในบ่อน้ำล้าง "PKRIN1" และ "PKRIN2" แทนด้วย $[HCl]_{PKRIN1}$ และ $[HCl]_{PKRIN2}$ ตามลำดับ (ดังรูป 5.2)

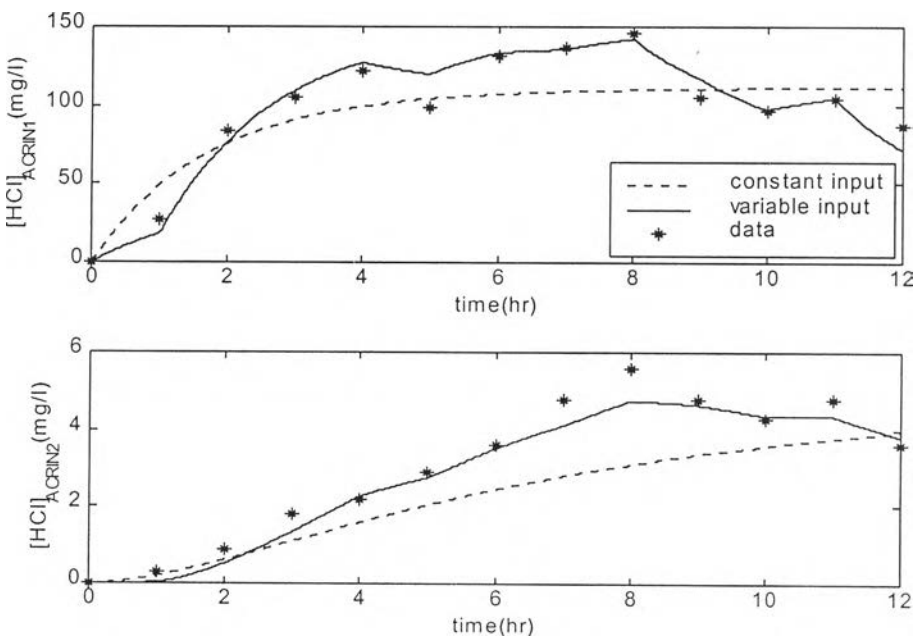
5.1.3 ผลเปรียบเทียบระบวนการล้างน้ำหลังการล้างด้วยไฟฟ้า ครั้งที่ 2

ผลเปรียบเทียบความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สะสมภายในบ่อน้ำล้าง "A2RIN1", "A2RIN2" และ "A2RIN3" ของกระบวนการล้างน้ำภายหลังหลักการล้างด้วยไฟฟ้าครั้งที่ 2 แทนด้วย $[NaOH]_{A2RIN1}$, $[NaOH]_{A2RIN2}$ และ $[NaOH]_{A2RIN3}$ ตามลำดับ (ดังรูปที่ 5.3)



รูป 5.3 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ในบ่อน้ำล้างหลังการล้างด้วยไฟฟ้า ครั้งที่ 2

5.1.4 ผลเปรียบเทียบกระบวนการล้างน้ำหลังการกัดกรดกระตุ้นผิว



รูป 5.4 ปริมาณไฮโดรคลอริกในบ่อน้ำล้างหลังการกัดกรดกระตุ้นผิว

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่สะสมภายในบ่อน้ำล้าง "PKRIN1" และ "PKRIN2" แทนด้วย $[HCl]_{ACRIN1}$ และ $[HCl]_{ACRIN2}$ ตามลำดับ (ดังรูป 5.4)

5.1.5 วิจารณ์ผลการทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลจริง

ผลการจำลองกระบวนการล้างน้ำของโรงงานโดยใช้ข้อมูลปฏิบัติงานจริงของโรงงานและสมมติฐานข้างต้น เมื่อนำมาเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริง พบว่า ความเข้มข้นขององค์ประกอบที่สะสมอยู่ในบ่อน้ำล้างจะสอดคล้องใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดได้จริง เมื่อมีการปรับเพิ่มค่าแดรก-อิน (Q_{DI}) และแดรก-เอาท์ (Q_{DO}) ในการจำลองให้สูงขึ้นจากเดิมเริ่มที่ 1.50 ลิตร/บาร์เรลมาเป็น 2.00 ลิตร/บาร์เรล จะทำให้ผลการจำลองกระบวนการล้างน้ำทั้ง 4 ขั้นตอนข้างต้นสอดคล้องกับข้อมูลจริงดังรูป 5.1 – 5.4 แสดงถึงว่าข้อมูลกระบวนการและสมมติฐานที่ใช้ในแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับลักษณะที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการล้างน้ำของโรงงาน เว้นแต่ค่าแดรก-อินและแดรก-เอาท์ที่มีความคลาดเคลื่อน

เหตุผลของการปรับจูนค่าแดรก-อินและแดรก-เอาท์ เนื่องจากเป็นค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ยากที่สุดในกระบวนการผลิตจริงของโรงงาน ซึ่งต่างจากการวัดค่าความเข้มข้นหรือการวัดค่าอัตราการไหลของน้ำล้าง (Q_R) ที่เข้าสู่ระบบ ซึ่งสามารถวัดได้ง่ายกว่า สำหรับการทดลองนี้ได้วัดค่าแดรก-เอาท์โดยการสร้างภาชนะรองรับ และนำบาร์เรลที่ออกจากบ่อน้ำล้างมายกไว้เหนือภาชนะดังกล่าวเพื่อรองรับปริมาณแดรก-เอาท์ที่ติดมาบาร์เรล ซึ่งเป็นวิธีที่คลาดเคลื่อนได้เล็กน้อยเนื่องจากปริมาณแดรก-เอาท์ที่หยดลงภาชนะรองรับยังออกมาไม่หมดจึงทำให้ค่าที่ได้น้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งหากสามารถใช้วิธีวัดค่าแดรก-อินและแดรก-เอาท์โดยวิธีอื่นที่เคยมีการนำเสนอไว้ (Kushner, 1994) เช่น วิธีการไตเตรต และวิธีการวัดค่าองค์ประกอบที่ไม่เปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำล้างอาจทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากกว่า แต่เนื่องจากการนำวิธีการดังกล่าวมาใช้กับโรงงานพบว่ามีอุปสรรค เช่น วิธีการไตเตรตจำเป็นต้องมีการหยุดกระบวนการผลิตเพื่อทดการไตเตรตและวัดค่าจริงที่เปลี่ยนไปในบ่อน้ำล้างจึงไม่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตจริงของโรงงาน หรือวิธีการวัดค่าองค์ประกอบที่ไม่เปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำล้างพบว่าจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์เพิ่มขึ้นซึ่งปัจจุบันโรงงานยังไม่มี ดังนั้นวิธีการปรับจูนค่าแดรก-เอาท์จึงมีความเป็นไปได้กับการทดสอบแบบจำลองเพื่อให้มีผลสอดคล้องกับข้อมูลจริง

นอกจากนี้การจำลองได้ทดสอบแบบจำลองที่สภาวะแดรก-อินและแดรก-เอาท์คงที่ เท่ากันทุกชั่วโมง (Q_{DI} = Q_{DO} = 16 ลิตร/ชั่วโมง) พบว่า ถ้าเป็นที่สภาวะคงตัวดังกล่าว ความเข้มข้นขององค์ประกอบในบ่อน้ำล้างจะเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง (เส้น Constant Input ในรูปที่ 5.1–5.4) ซึ่งค่าที่สภาวะคงตัวดังกล่าวนี้จะถูกใช้สำหรับทำดุลมวลสารของกระบวนการในสภาวะคงตัว และการทำออปติไมซ์ต่อไป ยกเว้นบ่อน้ำล้าง "ACRIN2" ซึ่งพบว่าในช่วงเวลา 1 รอบการผลิต (12 ชั่วโมง) จะยังไม่เกิดสภาวะคงตัวขึ้น เนื่องจากปริมาตรของบ่อมีขนาดใหญ่มากทำให้การเข้าสู่สภาวะคงตัวเป็นไปได้อย่างช้ามากเมื่อเทียบกับบ่ออื่น ๆ

แบบจำลองที่ถูกต้องใกล้เคียงกับข้อมูลจริงของโรงงาน สามารถใช้ในการศึกษาผลกระทบหรือปัจจัยอื่น ๆ ต่อกระบวนการล้างน้ำได้ เช่น การปรับลดค่าแดรก-เอาท์ หรือการปรับลดอัตราการไหลของน้ำล้าง อันจะนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงการใช้น้ำของโรงงานได้ในอนาคต

5.1.6 วิจารณ์แนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองของกระบวนการล้างน้ำ

แบบจำลองกระบวนการล้างน้ำที่มีความถูกต้องสามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการศึกษาหรือทำนายพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นขององค์ประกอบที่เราสนใจซึ่งในที่นี้ได้แก่โซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก เมื่อมีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ขาเข้าแตกต่างกันออกไป มีรูปแบบของการประยุกต์ใช้แบบจำลองหลายรูปแบบดังตัวอย่างต่อไปนี้

5.1.6.1 การใช้แบบจำลองศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นหรือปริมาณองค์ประกอบที่สะสมในบ่อน้ำล้างเมื่อมีการปรับพารามิเตอร์ขาเข้า สำหรับพารามิเตอร์ขาเข้าที่จำเป็นต้องมีการศึกษาในกระบวนการล้างน้ำ ประกอบด้วย 3 ตัวหลัก ดังต่อไปนี้

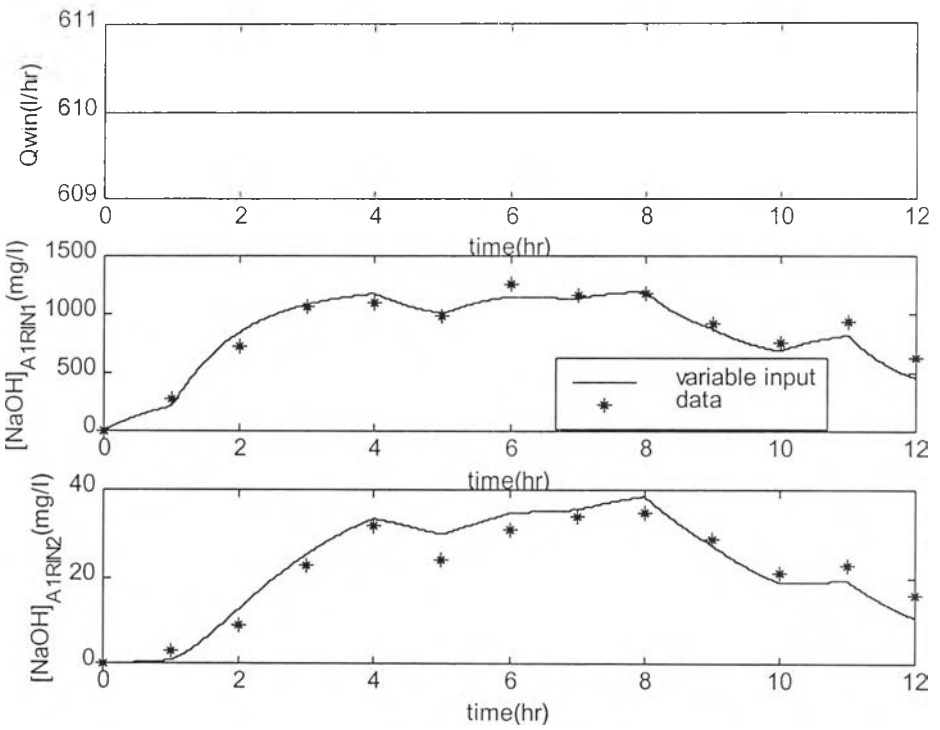
- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำล้างเมื่อมีการปรับแดรก-อิน และแดรก-เอาท์
- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำล้างเมื่อมีการปรับอัตราการไหลของน้ำล้าง
- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในบ่อน้ำล้างเมื่อมีการปรับเปลี่ยนปริมาตรน้ำในบ่อน้ำล้าง

การศึกษาพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีในการปรับปรุงกระบวนการล้างน้ำทั้งในอุตสาหกรรมชุบโลหะส่วนใหญ่มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดการใช้น้ำล้างได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด หรือเพื่อให้เกิดการสูญเสียสารเคมีที่มีมูลค่าไปน้อยที่สุด

ดังนั้นแนวทางปรับปรุงกระบวนการล้างน้ำส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของวิธีการลดปริมาณแดรก-อิน หรือแดรก-เอาท์ให้น้อยที่สุด หรือวิธีการลดปริมาณการใช้น้ำล้างให้น้อยที่สุด (United States Environmental Protection Agency [U.S.EPA], 1995) ซึ่งหากโรงงานมีแบบจำลองที่ถูกต้องจะช่วยให้สามารถศึกษาและคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ปรับปรุงกระบวนการ โดยการปรับพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไปในแบบจำลอง

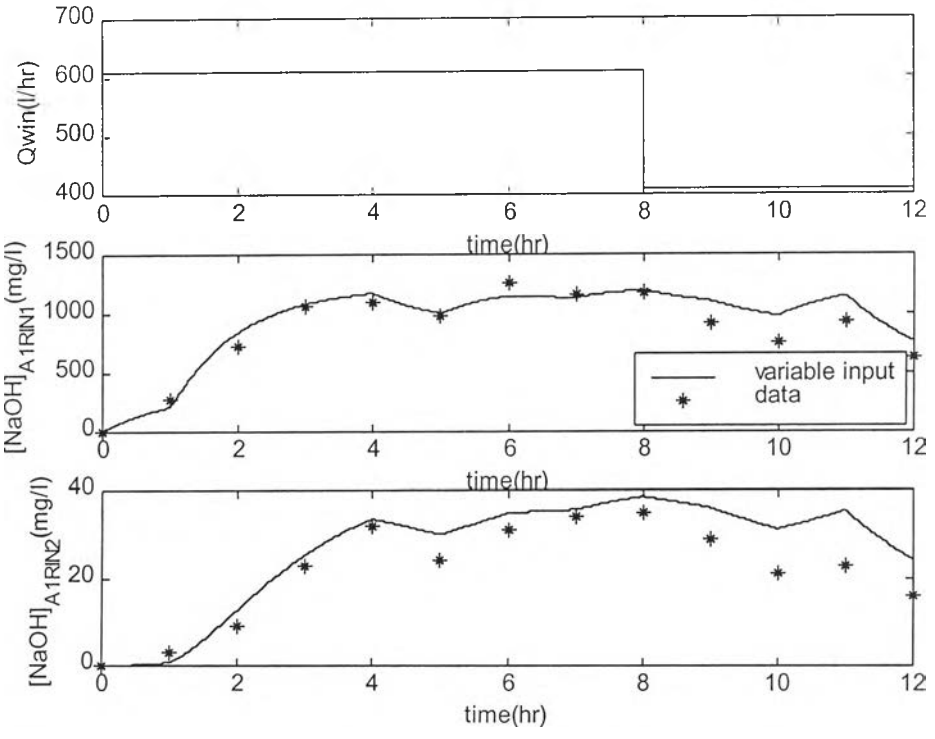
ตัวอย่างการจำลองโดยปรับลดอัตราการไหลของน้ำล้าง

ตัวอย่างการจำลองโดยปรับลดอัตราการไหลของน้ำล้างในกระบวนการล้างน้ำหลังการล้างด้วยไฟฟ้า ครั้งที่ 1 พบว่ากระบวนการล้างน้ำของโรงงานมีโอกาสในการลดการใช้น้ำได้ เนื่องจากปัจจุบันโรงงานมีการเปิดน้ำล้างเข้าในอัตราคงที่ตลอด แต่ในความเป็นจริงปริมาณบาร์เรลที่เข้าทำการชุบแต่ละชั่วโมงไม่เท่ากัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงหลังจากชั่วโมงที่ 8 ที่จะมีปริมาณงานลดลง (ดังรูป 5.5)



รูป 5.5 อัตราการไหลน้ำ และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สะสมในบ่อน้ำล้าง "A1RIN1" และบ่อน้ำล้าง "A1RIN2"

จากรูป 5.5 หากโรงงานมีปรับลดการใช้น้ำลงตามปริมาณชิ้นงาน โดยเฉพาะในช่วงหลังจากชั่วโมงที่ 8 จะมีผลจำลองได้ดังรูป 5.6



รูป 5.6 อัตราการไหลน้ำ และปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สะสมในบ่อน้ำล้าง "A1RIN1" และบ่อน้ำล้าง "A1RIN2" ภายหลังปรับลดการใช้น้ำหลังชั่วโมงที่ 8

รูป 5.6 หลังจากชั่วโมงที่ 8 มีการปรับลดอัตราการไหลของน้ำล้างเหลือ 410 ลิตร/ชั่วโมง ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในบ่อ "A1RIN2" ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งโรงงานจะสามารถลดการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียในช่วงหลังจากชั่วโมงที่ 8 ลงได้ 200 ลิตร/ชั่วโมง หรือคิดเป็น 800 ลิตร/รอบการผลิต 12 ชั่วโมง

5.1.6.2 การใช้แบบจำลองสำหรับศึกษาและทำออปติไมซ์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ในการปฏิบัติงานของโรงงาน

5.1.6.3 การใช้แบบจำลองสำหรับการออกแบบระบบควบคุมกระบวนการล้างน้ำ เช่น การควบคุมความเข้มข้นของบ่อน้ำล้างสุดท้ายกับอัตราการไหลของน้ำล้างที่ใช้ให้สัมพันธ์กัน

อย่างไรก็ตามแบบจำลองของกระบวนการล้างน้ำในการวิจัยนี้จัดเป็นรูปแบบทั่วไปของกระบวนการล้างน้ำแบบไหลล้นต่อเนื่อง ซึ่งการนำไปประยุกต์ใช้จำเป็นต้องมีการทดสอบแบบจำลองกับกระบวนการจริงว่ามีความถูกต้องเพียงใด ซึ่งมีโอกาสคลาดเคลื่อนได้สูงกับกระบวนการที่เป็นการชุบแบบบาร์เรล เนื่องจากการชุบแบบบาร์เรลจะมีผนังกั้นระหว่างชิ้นงานกับน้ำล้าง ดังนั้นหากระยะเวลาในการผสมไม่นานเพียงพอ หรือในบ่อน้ำล้างไม่มีการกวนให้เกิดการผสมดีพอจะมีผลให้ค่าแดรกเอาท์ที่ติดมากับชิ้นงานและวัดได้คลาดเคลื่อนกับปริมาณที่เกิดการผสมจริงในบ่อน้ำล้างจริงไม่เท่ากัน ดังนั้นวิธีทดลองเพื่อวัดค่าปริมารแดรก-เอาท์จึงควรเลือกใช้วิธีทดลองที่เหมาะสม รวมถึงควรทดลองหาค่าอัตราประสิทธิผลการผสม (Effective Mixing Rate, k) ของกระบวนการจริงหากไม่แน่ใจที่จะใช้สมมติฐานว่าเป็นการผสมแบบสมบูรณ์ (Kushner, 1994) พร้อมกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการที่ 3.2–3.9 ขึ้นกับประเภทของบ่อน้ำล้างที่ทำการศึกษาว่าเป็นแบบใด เช่น การล้างแบบน้ำนิ่ง หรือการล้างแบบน้ำล้นต่อเนื่อง เป็นต้น

ในกรณีที่บ่อน้ำล้างของกระบวนการที่จะทำการศึกษาเป็นแบบต่ออนุกรมหรือต่อขนาน ก็ยังคงสามารถใช้แบบจำลองดังกล่าวในการศึกษาได้เช่นกัน แต่เป็นการศึกษาทุกบ่อแยกอิสระต่อกันในรูปแบบของไดนามิกส์ อย่างไรก็ดีในกรณีที่จะทำการศึกษากระบวนการล้างน้ำดังกล่าวในสภาวะคงตัวอาจใช้แบบจำลองดังสมการที่ 3.13 – 3.14 ได้เช่นเดียวกันหากกระบวนการล้างน้ำที่ทำการศึกษามีความสอดคล้อง หรือเป็นไปตามสมมติฐานที่ถูกตั้งขึ้นในสมการดังกล่าว

5.2 แบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำเสีย

แนวคิดของการนำน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการมาทำการแยกสาย การผสม การนำกลับไปใช้ใหม่โดยตรง สามารถนำมาประยุกต์สร้างแบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำทิ้งสำหรับกระบวนการล้างน้ำทั้ง 4 ขั้นตอนที่ทำการศึกษาได้เช่นกัน

แบบจำลองโครงข่ายดังกล่าว จะนำมาคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำน้อยที่สุด โดยมีข้อจำกัดอยู่ที่ความปนเปื้อนของน้ำที่ออกจากบ่อน้ำล้างบ่อสุดท้ายของแต่ละขั้นตอนต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ควบคุมไว้ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียต่อชิ้นงานและบ่อเคมีที่อยู่ถัดไป สำหรับน้ำเสียที่ปล่อยออกจากกระบวนการล้างน้ำที่ทำการศึกษาสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มน้ำล้างด่าง และกลุ่มน้ำล้างกรด

กลุ่มน้ำล้างด่าง ประกอบด้วยสายของน้ำล้างด่างที่มาจากบ่อน้ำล้าง "A1RIN1", "A1RIN2", "A2RIN1", "A2RIN2" และ 'A2RIN3' ขณะที่ในกลุ่มน้ำล้างกรด จะประกอบด้วยสายของน้ำล้างกรดซึ่งมาจากบ่อน้ำล้าง "PKRIN1", "PKRIN2", "ACRIN1" และ "ACRIN2"

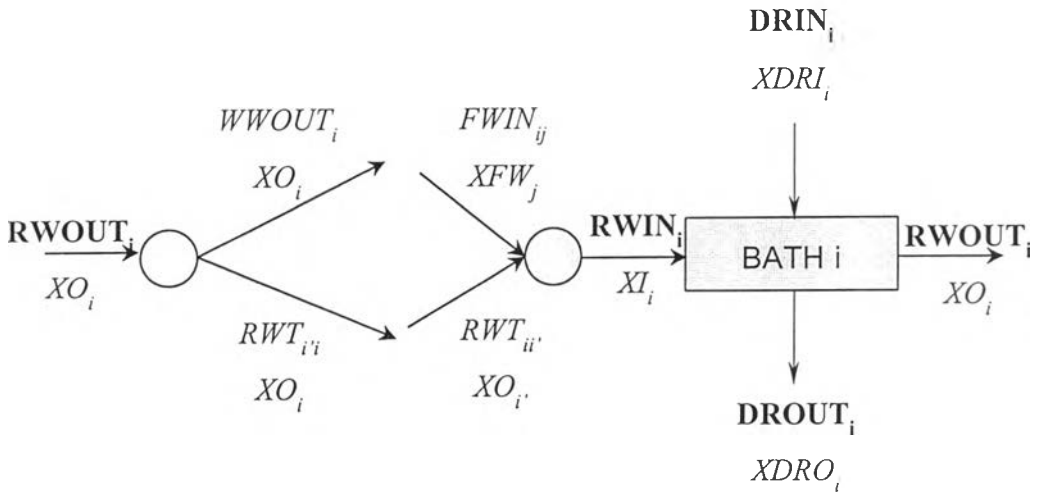
5.2.1 สมมติฐานสำหรับการสร้างแบบจำลอง

1. แบบจำลองของระบบเป็นการศึกษาที่สภาวะคงตัว (Steady State) โดยทำการจำลองในสภาวะที่มีปริมาณแดรก-อิน และแดรก-เอาท์ เข้าระบบคงที่ตลอด (ปริมาณแดรก-อิน เท่ากับ 16 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของโรงงาน)

2. สิ่งเจือปนในน้ำเสียถือว่ามีอยู่เพียง 2 ชนิด คือ กรดไฮโดรคลอริกและน้ำ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ขึ้นกับว่าเป็นน้ำเสียประเภทใด โดยสิ่งเจือปนอื่น ๆ ถือว่าไม่มีความสำคัญต่อการควบคุมกระบวนการจึงไม่นำมาศึกษา

3. การถ่ายโอนมวลของโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือกรดไฮโดรคลอริกกับน้ำล้าง ถือว่าไม่มีข้อจำกัด หรือไม่มีสภาวะสมดุลเกิดขึ้น

5.2.2 โครงสร้างแบบจำลอง



รูป 5.7 น้ำเสียที่ออกจากกระบวนการ และรูปแบบการนำกลับไปใช้

สำหรับแบบจำลองที่สร้างขึ้น จะประกอบด้วยนิยามของพารามิเตอร์ ตัวแปร และสัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

ตัวชี้ (Indices)

i,i'	ตัวชี้แสดงบ่อน้ำล้าง หรือแสดงถึงสาย (stream) ที่เข้าและออกว่ามาจากบ่อน้ำล้างบ่อใด
j	ตัวชี้ประเภทของน้ำใหม่ที่ใช้ในกระบวนการ ในที่นี้มี 2 ชนิด ได้แก่ น้ำบาดาล ซึ่งในที่นี้ใช้เป็นคำว่า "Tap Water" และ น้ำดีไอออไนซ์ ซึ่งใช้เป็นคำว่า "DI water"

เซต (Sets)

B, BP	กลุ่มของบ่อน้ำล้าง i
S	กลุ่มของน้ำใหม่ที่ใช้ในกระบวนการ

พารามิเตอร์ (Parameters)

$DRIN_i$	ปริมาณแดรก-อิน (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
$DROUT_i$	ปริมาณแดรก-เอาท์ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
$RWIN_i$	ปริมาณน้ำล้างขาเข้าแต่ละบ่อ i (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
$RWOUT_i$	ปริมาณน้ำล้างขาออกแต่ละบ่อ i (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
XFW_j	ส่วนประกอบ (composition) ของสารที่ติดตาม (เช่น ไฮโดรคลอริก หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์) ที่มีอยู่ในน้ำใหม่ที่ใช้ (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
$TDSOUT_i$	ส่วนประกอบของสารที่ติดตามที่มีอยู่ในน้ำขาออกของบ่อน้ำล้าง i (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
$TDSDRI_i$	ส่วนประกอบของสารที่ติดตามที่มีอยู่ในแดรก-อินของบ่อน้ำล้าง i (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
$TDSRWI_i$	ส่วนประกอบของสารที่ติดตามที่มีอยู่น้ำล้างขาเข้าของบ่อน้ำล้าง i (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
$REFF_i$	ประสิทธิภาพในการถ่ายเทสารที่ติดตามของบ่อน้ำล้าง i

ตัวแปร (Variables)

$XDRI_i$	ส่วนประกอบของสารที่ติดตามในสายแดรก-อินที่เข้าบ่อน้ำล้าง i (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
$XDRO_i$	ส่วนประกอบของสารที่ติดตามในสายแดรก-อินที่เข้าบ่อน้ำล้าง i (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
XI_i	ส่วนประกอบของสารที่ติดตามในสายน้ำล้างขาเข้าบ่อน้ำล้าง i (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
XO_i	ส่วนประกอบของสารที่ติดตามในสายน้ำล้างขาออกบ่อน้ำล้าง i (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
$WWOUT_i$	อัตราการไหลของสายที่ออกจากบ่อน้ำล้าง i เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
RWT_{ii}	อัตราการไหลของน้ำล้างที่ส่งจากบ่อน้ำล้างที่ i ไปยังบ่อน้ำล้างที่ i อื่น ๆ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

$FWIN_{ij}$	อัตราการไหลของน้ำใหม่จากแหล่ง j ไปยังบ่อน้ำล้าง i (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
Z	ตัวแปรวัตถุประสงค์
TFW	อัตราการไหลรวมของน้ำใหม่ทั้งหมด (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
TWW	อัตราการไหลรวมของน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดทั้งหมด (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
LOAD	ปริมาณสารติดตามทั้งหมดที่อยู่ในน้ำเสีย (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

5.2.3 แบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำเสียของกระบวนการล้างน้ำ

สมมติฐานเพิ่มเติมนอกเหนือจากข้างต้นแล้วนั้น ในแบบจำลองนี้จะไม่รวมถึงบ่อเคมี ซึ่งประกอบด้วย บ่อ "ANO1", "PICK", "ANO2" และ "ACTV" โดยถือว่ามีความเข้มข้นคงที่

ในการสร้างแบบจำลอง และทำการออปติไมซ์โครงข่ายการจัดการน้ำเสียของกระบวนการล้างน้ำนี้ จะต้องแยกทำเป็น 2 ชุด คือ ชุดของน้ำล้างด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) และชุดของน้ำล้างกรด (ไฮโดรคลอริก) โดยมีรายละเอียดแบบจำลองที่สังเคราะห์แล้วดังนี้

B = เซตของบ่อน้ำล้าง i แบ่งออกเป็น

= $\{i \mid$ 'A1RIN1', 'A1RIN2, 'A2RIN1', 'A2RIN2', 'A2RIN3'$\}$ (กรณีชุดของด่าง)

หรือ = $\{i \mid$ 'PKRIN1', 'PKRIN2, 'ACRIN1', 'ACRIN2'$\}$ (กรณีชุดของกรด)

S = เซตของน้ำใหม่ที่ใช้เติมในบ่อน้ำล้าง

= $\{j \mid$ 'Tap Water', 'DI Water'$\}$

1. **ดุลมวลสารทั้งหมดรอบตัวแยก (splitter) ขาออกของทุกบ่อน้ำล้าง B**

$$RWOUT_i - \sum_{i' \in B} RWT_{i'i} - WOUT_i = 0 \qquad (i \in B) \qquad (5.1)$$

2. **ดุลมวลสารทั้งหมดรอบตัวผสม (mixer) ขาเข้าของทุกบ่อน้ำล้าง B**

$$RWIN_i - \sum_{i \in B, j \in S} FWIN_{ij} - \sum_{i' \in B} RWT_{ii'} = 0 \qquad (i \in B, j \in S) \qquad (5.2)$$

3. ดุลมวลของสารที่ติดตามรอบตัวผสมขาเข้าของทุกบ่อน้ำล้าง B

$$(RWIN_i)(XI_i) - \sum_{j \in S} FWIN_{ij}(XFW_j) - \sum_{i' \in B} RWT_{ii'}(XO_{i'}) = 0 \quad (i \in B, j \in S) \quad (5.3)$$

4. ดุลมวลของสารที่ติดตามรอบบ่อน้ำล้างทุกบ่อ B

$$(RWIN_i)(XI_i) - (DRIN_i)(XDRI_i) - (RWOUT_i)(XO_i) - (DROUT_i)(XDRO_i) = 0$$

โดย $(i \in B, j \in S)$ (5.4)

5. ผลรวมอัตราการไหลของน้ำใหม่ที่ใช้กระบวนการ

$$FW = \sum_{i \in B, j \in S} FWIN_{ij} \quad (5.5)$$

6. ผลรวมอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด

$$WW = \sum_{i \in B} WWOUT_i \quad (5.6)$$

7. ประสิทธิภาพของการกำจัดสารที่ติดตามของบ่อน้ำล้าง

$$XO_i = REFF_i^* \frac{[(XDRI_i)(DRIN_i) + (XI_i)(RWIN_i)]}{[(RWOUT_i) + (DROUT_i)]} \quad (5.7)$$

8. นิยามของข้อจำกัดประสิทธิภาพของบ่อล้างน้ำ

$$REFF_i^* = \frac{[(TDSOUT_i)(RWOUT_i) + (TDSOUT_i)(DROUT_i)]}{[(TDSDRI_i)(DRIN_i)]} \quad (5.8)$$

9. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการออปติไมซ์ โดยกำหนดให้หาค่าต่ำสุด

$$\min Z = FW \quad (5.9)$$

5.2.4 ขอบเขตของกระบวนการ

ผลการทำดุลมวลสารของกระบวนการที่สภาวะคงตัวดังรูป 5.8 สรุปได้เป็นขอบเขตของกระบวนการล้างน้ำที่สภาวะปัจจุบัน และค่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริกสูงสุดที่โรงงานยอมรับให้ปนอยู่ในบ่อน้ำล้างได้ ดังตารางที่ 5.2 และ 5.3

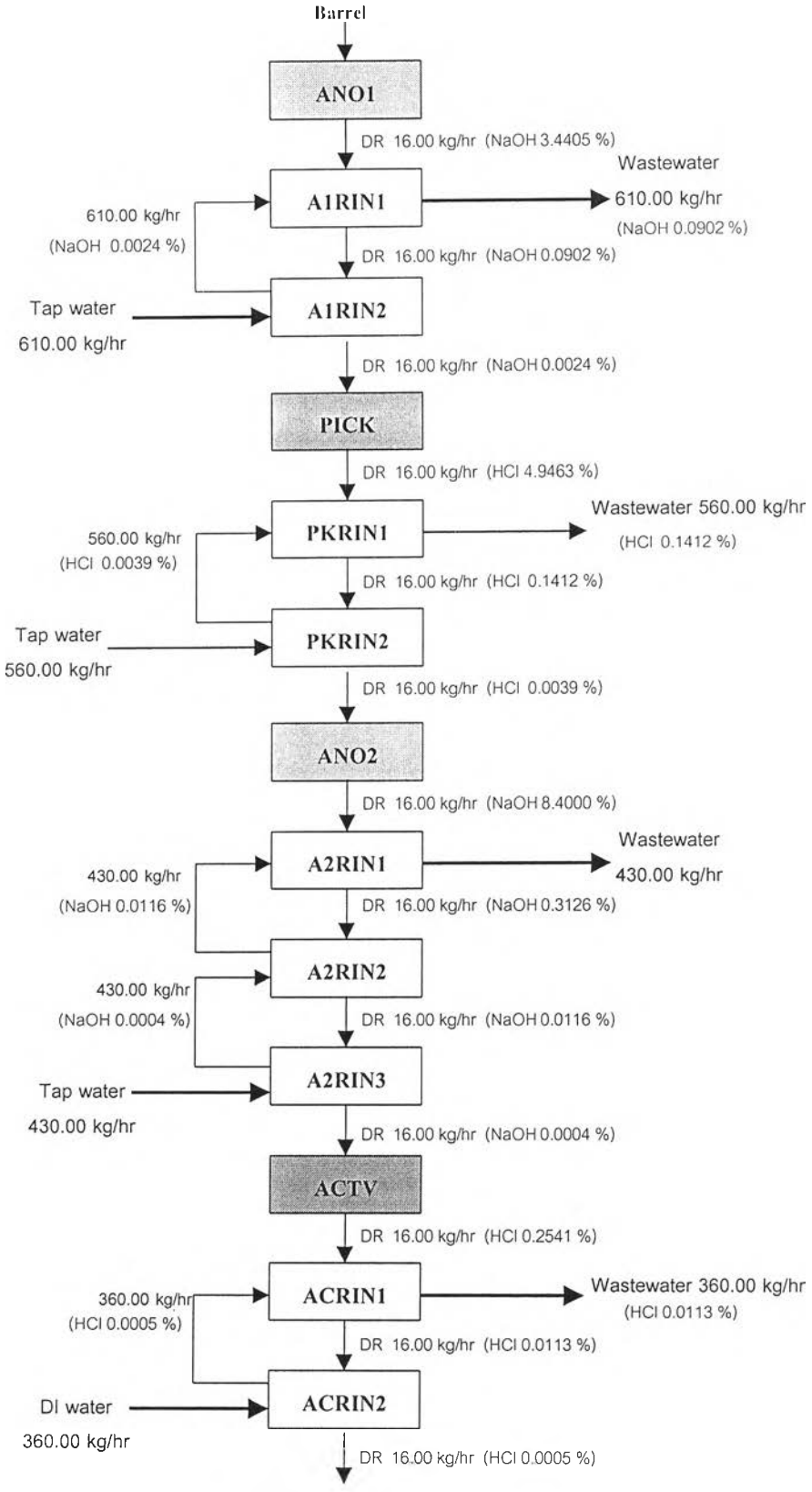
ตารางที่ 5.2 ขอบเขตของกระบวนการล้างน้ำ (บ่อน้ำล้างด่าง)

บ่อน้ำล้างด่าง	ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์		
	น้ำล้างที่เข้าบ่อ (XI) ในปัจจุบัน (น้ำหนัก/น้ำหนัก)	น้ำล้างที่ออกจากบ่อ (XO) ในปัจจุบัน (น้ำหนัก/น้ำหนัก)	ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ (XDRO) (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
A1RIN1	0.000023	0.000902	-
A1RIN2	0.000000	0.000023	0.000038
A2RIN1	0.000116	0.003126	-
A2RIN2	0.000004	0.000116	-
A2RIN3	0.000000	0.000004	0.000009

ตารางที่ 5.3 ขอบเขตของของกระบวนล้างน้ำ (บ่อน้ำล้างกรด)

บ่อน้ำล้างกรด	ความเข้มข้นของไฮโดรคลอริก		
	น้ำล้างที่เข้าบ่อ (XI) ในปัจจุบัน (น้ำหนัก/น้ำหนัก)	น้ำล้างที่ออกจากบ่อ (XO) ในปัจจุบัน (น้ำหนัก/น้ำหนัก)	ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ (XDRO) (น้ำหนัก/น้ำหนัก)
PKRIN1	0.000040	0.001412	-
PKRIN2	0.000000	0.000040	0.000068
ACRIN1	0.000005	0.000113	-
ACRIN2	0.000000	0.000005	0.000008

5.3 ดุลมวลสารของกระบวนการที่สภาวะคงตัว (ปัจจุบัน)



รูป 5.8 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานก่อนทำการปรับปรุง

5.4 ผลการออปติไมซ์แบบจำลอง

สมการแบบจำลองโครงข่าย (สมการ 5.1–5.8) และข้อจำกัดของกระบวนการในแต่ละกรณีศึกษาจะถูกนำมาสร้างเป็นโปรแกรมเชิงไม่เป็นเส้นตรง สำหรับนำมาทำออปติไมซ์โดยใช้โปรแกรมแกมส์ เพื่อหาค่าการใช้น้ำใหม่ต่ำสุด

5.4.1 กรณีศึกษาที่ 1: ไม่จำกัดขอบเขตความเข้มข้นของน้ำล้างในบ่อสุดท้าย

5.4.1.1 ข้อจำกัดของการทำออปติไมเซชั่นในกลุ่มของบ่อน้ำล้างด่าง

1) ไม่มีการนำสายของน้ำกลับเข้ากระบวนการเดิม เพื่อป้องกันการสะสมของสิ่งสกปรกภายในบ่อ
2) ไม่มีการนำสายของน้ำที่ออกจากกระบวนการล้างน้ำก่อนหน้า มาใช้ในกระบวนการล้างน้ำที่อยู่ด้านหลังเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกอื่นที่ไม่ต้องการ
3) ความเข้มข้นของสารที่ติดตามในแดรก-อินที่เข้าบ่อน้ำล้างที่ 1 มีค่าคงที่ เนื่องจากเป็นแดรก-เอาท์ที่มาจากบ่อเคมีซึ่งเราถือว่ามีค่าคงที่
4) ไม่มีการใช้น้ำดีไอออไนซ์ในกระบวนการ มีเพียงการใช้น้ำบาดาลเท่านั้น

5.4.1.2 ข้อจำกัดของการทำออปติไมเซชั่นในกลุ่มของบ่อน้ำล้างกรด

1) ไม่มีการนำสายของน้ำกลับเข้ายังกระบวนการเดิม เพื่อป้องกันการสะสมของสิ่งสกปรกภายในบ่อ
2) ไม่มีการนำสายของน้ำที่ออกจากกระบวนการล้างน้ำก่อนหน้า มาใช้ในกระบวนการล้างน้ำที่อยู่ด้านหลังเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกอื่นที่ไม่ต้องการ
3) ความเข้มข้นของสารที่ติดตามในแดรก-อินที่เข้าบ่อน้ำล้างที่ 1 มีค่าคงที่ เนื่องจากเป็นแดรก-เอาท์ที่มาจากบ่อเคมีซึ่งเราถือว่ามีค่าคงที่
4) บ่อ "ACRIN2" ใช้ได้เฉพาะน้ำดีไอออไนซ์เท่านั้น เพื่อให้เกิดความสะอาดมากที่สุดและป้องกันสิ่งเจือปนอื่น ๆ อันจะส่งผลต่อการชุบสังกะสีต่อไป ขณะที่บ่ออื่น ๆ ให้ใช้น้ำบาดาลได้เท่านั้นเนื่องจากน้ำดีไอออไนซ์มีราคาสูงกว่าน้ำบาดาลมาก

ผลการออปติไมซ์ด้วยโปรแกรมแกมส์ โดยใช้เครื่องมือหาคำตอบ (solver) สำหรับโปรแกรมแบบไม่เชิงเส้นตรง ประกอบด้วย "MINOS5", "CONOPT" และ "CONOPT2" พบว่า ผลการออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างด่างจะมีรูปแบบของการนำน้ำกลับมาใช้ 3 รูปแบบแตกต่างกันตามเครื่องมือหาคำตอบแต่ละชนิด ดังรูป 5.9–5.11 ขณะที่ผลการออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างกรดจะมีรูปแบบของการนำน้ำกลับมาใช้ 2 รูปแบบ (ดังรูป 5.12–5.13)

5.4.1.3 ผลการออปติไมซ์กลุ่มของน้ำล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์

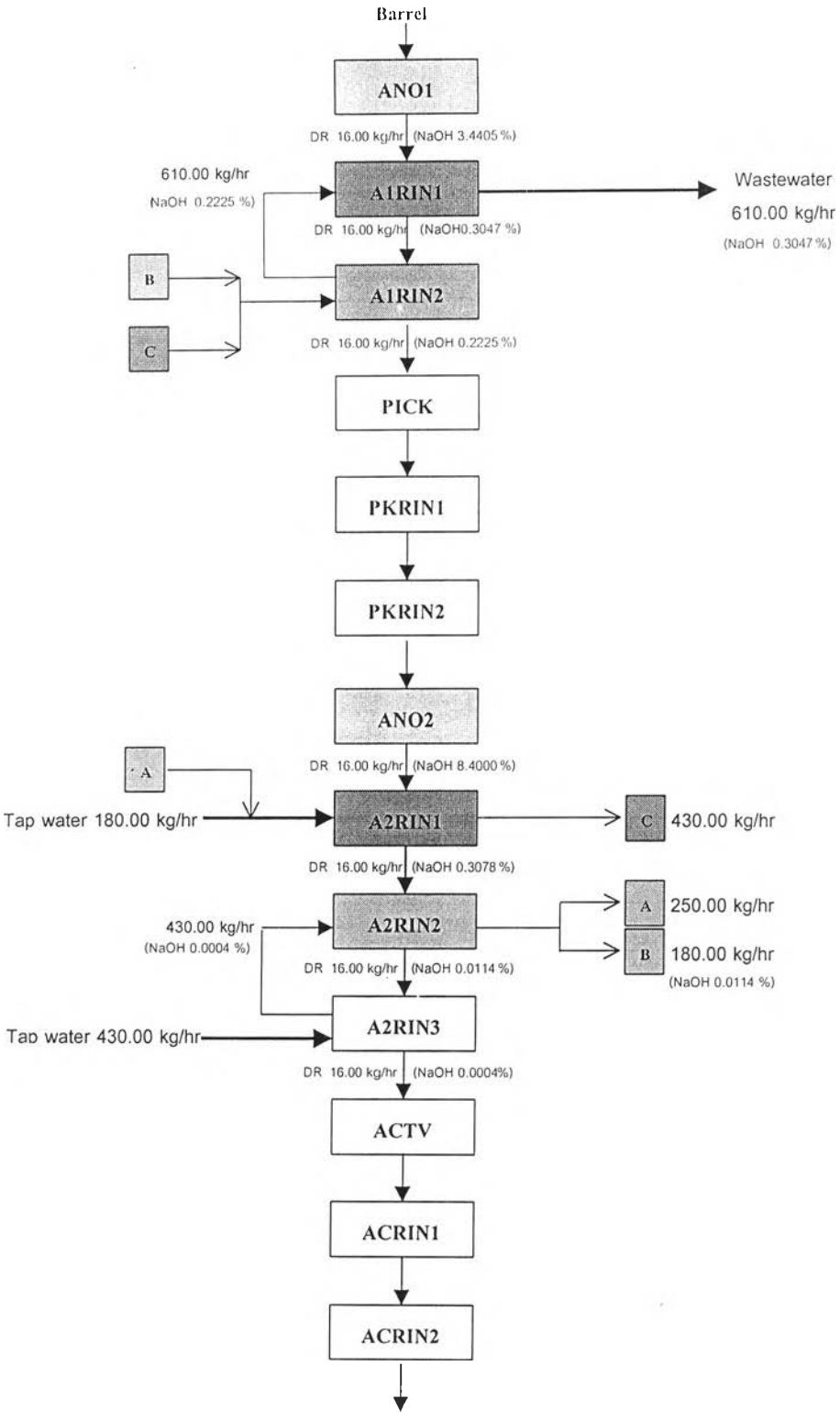
ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบผลการออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างด่าง (กรณีศึกษาที่ 1)

เครื่องมือหาคำตอบ	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	TWW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
MINOS5	610.000	610.000	1.859
CONOPT	610.000	610.000	1.859
CONOPT2	610.000	610.000	1.859

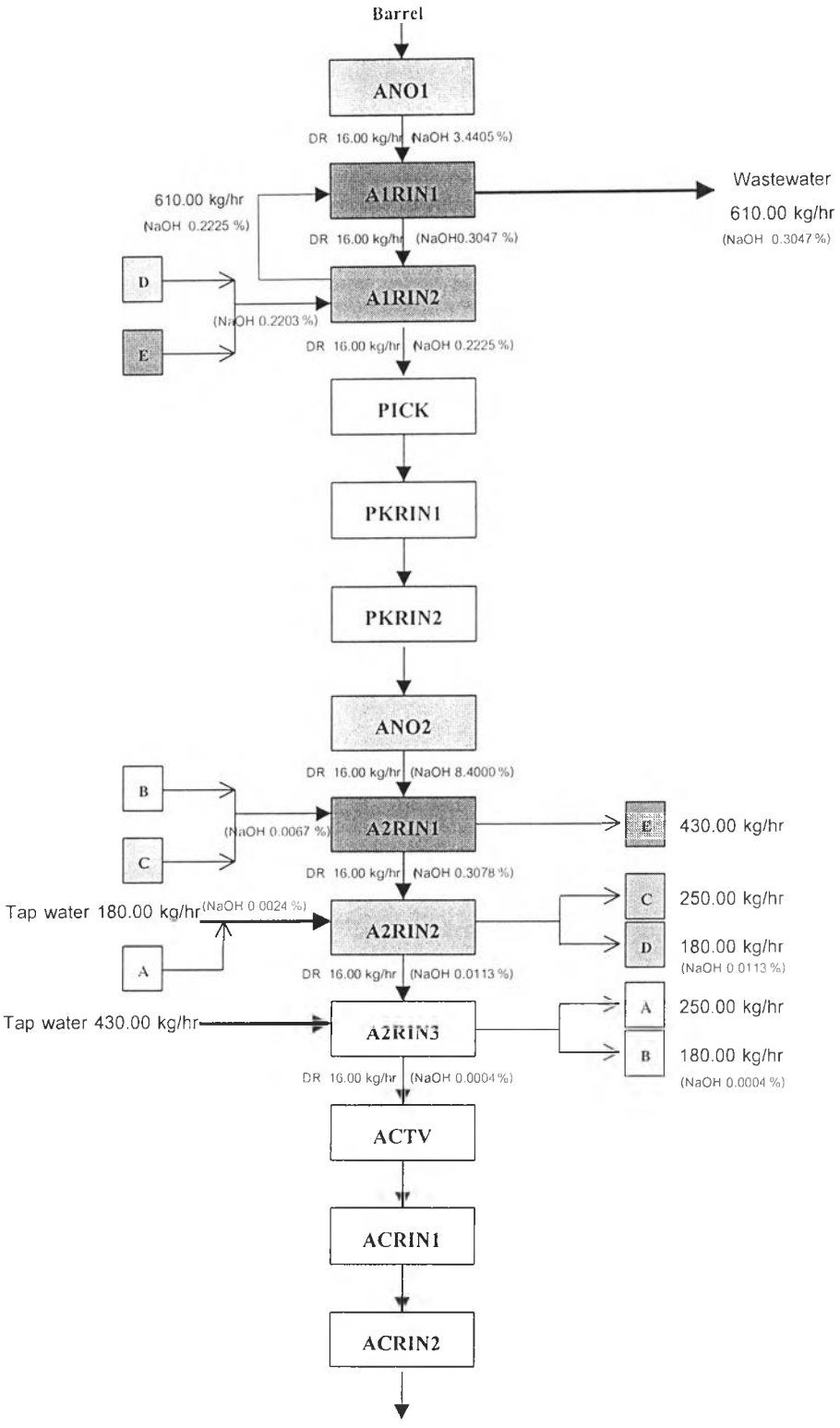
5.4.1.4 ผลการออปติไมซ์กลุ่มของน้ำล้างไฮโดรคลอริก

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบผลการออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างกรด (กรณีศึกษาที่ 1)

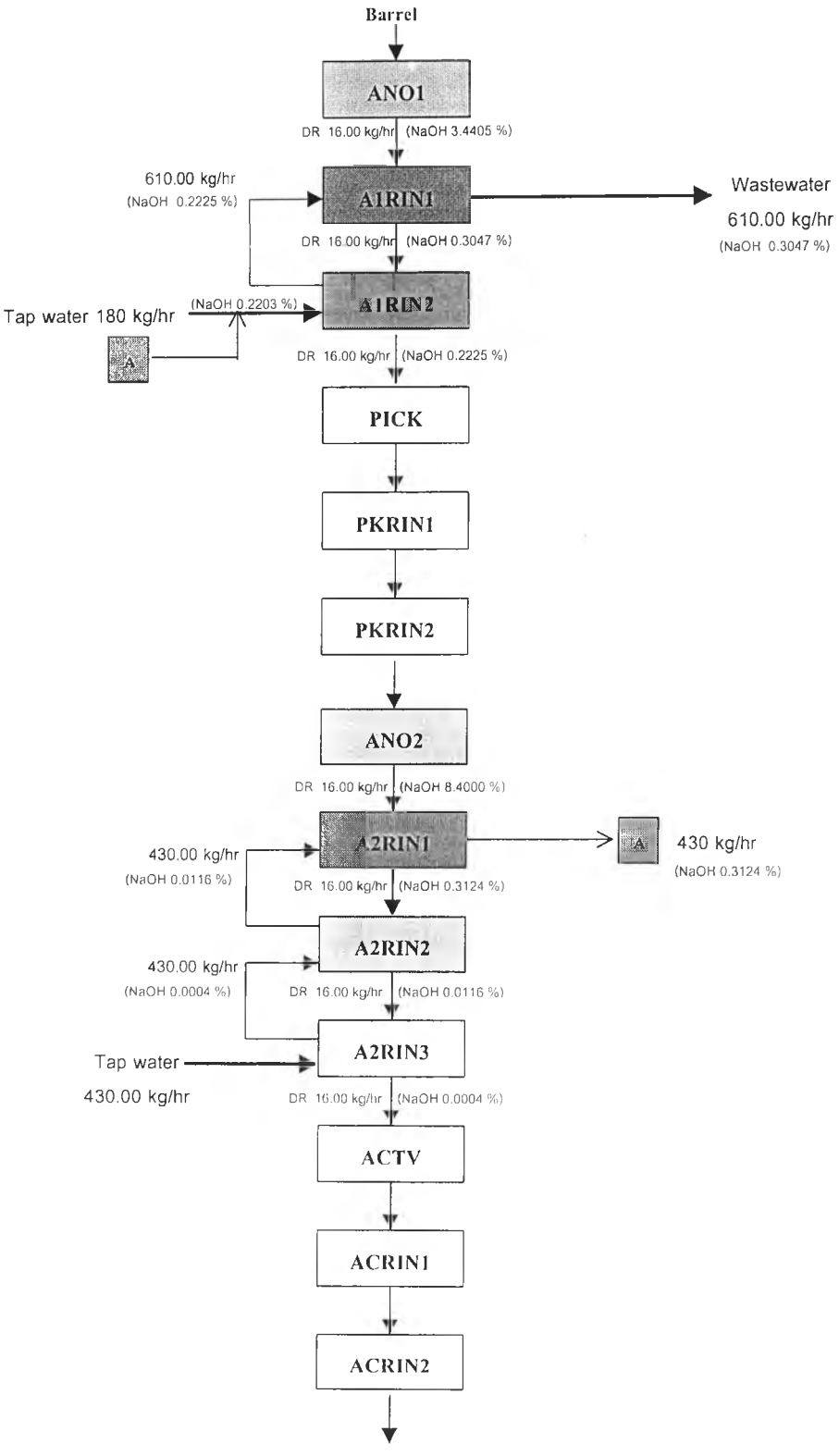
เครื่องมือหาคำตอบ	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	TWW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
MINOS5	560.000	560.000	0.830
CONOPT	560.000	560.000	0.830
CONOPT2	560.000	560.000	0.830



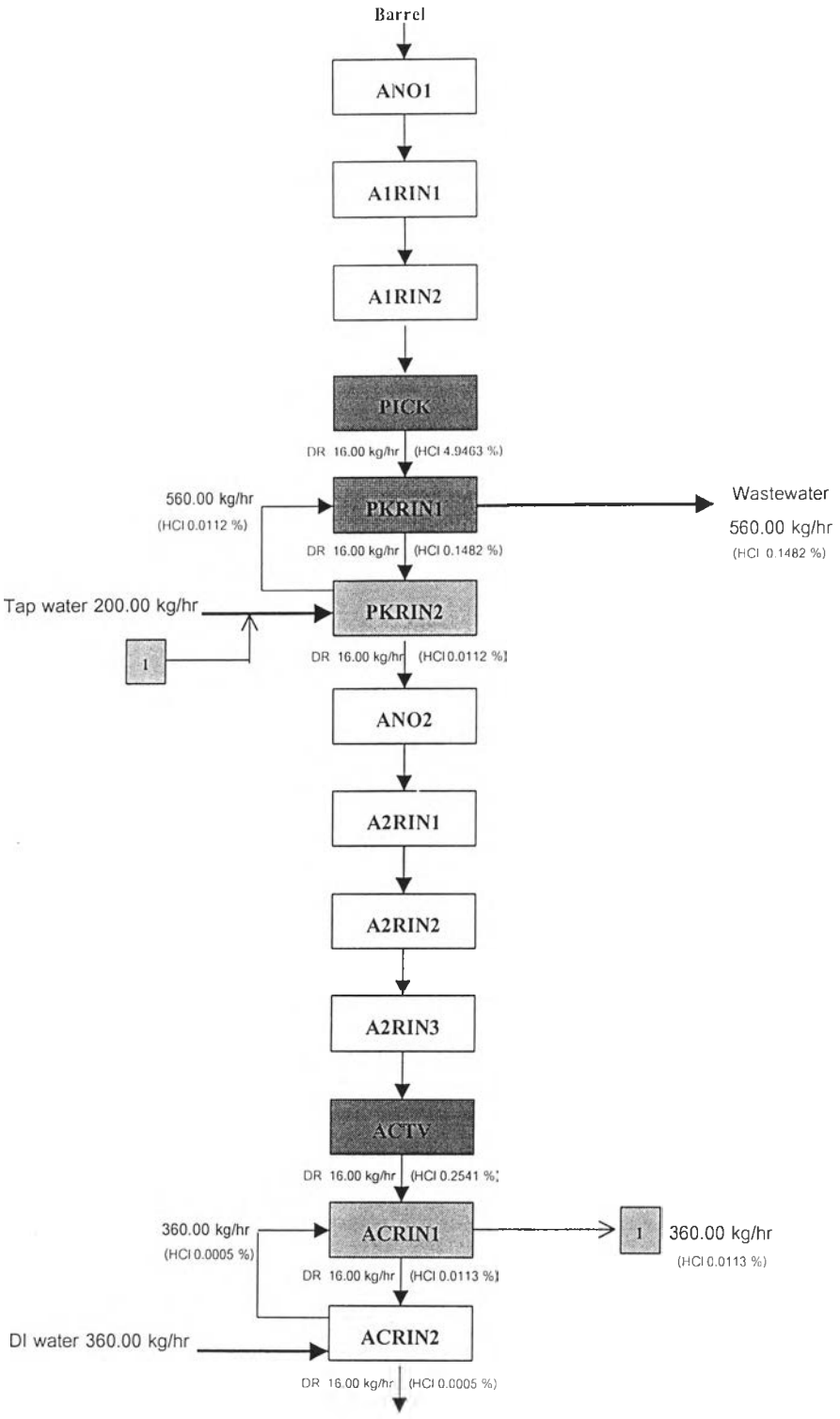
รูป 5.9 ผลออปติไมซ์การนำน้ำล้างด่างกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 1 โดย MINOS5



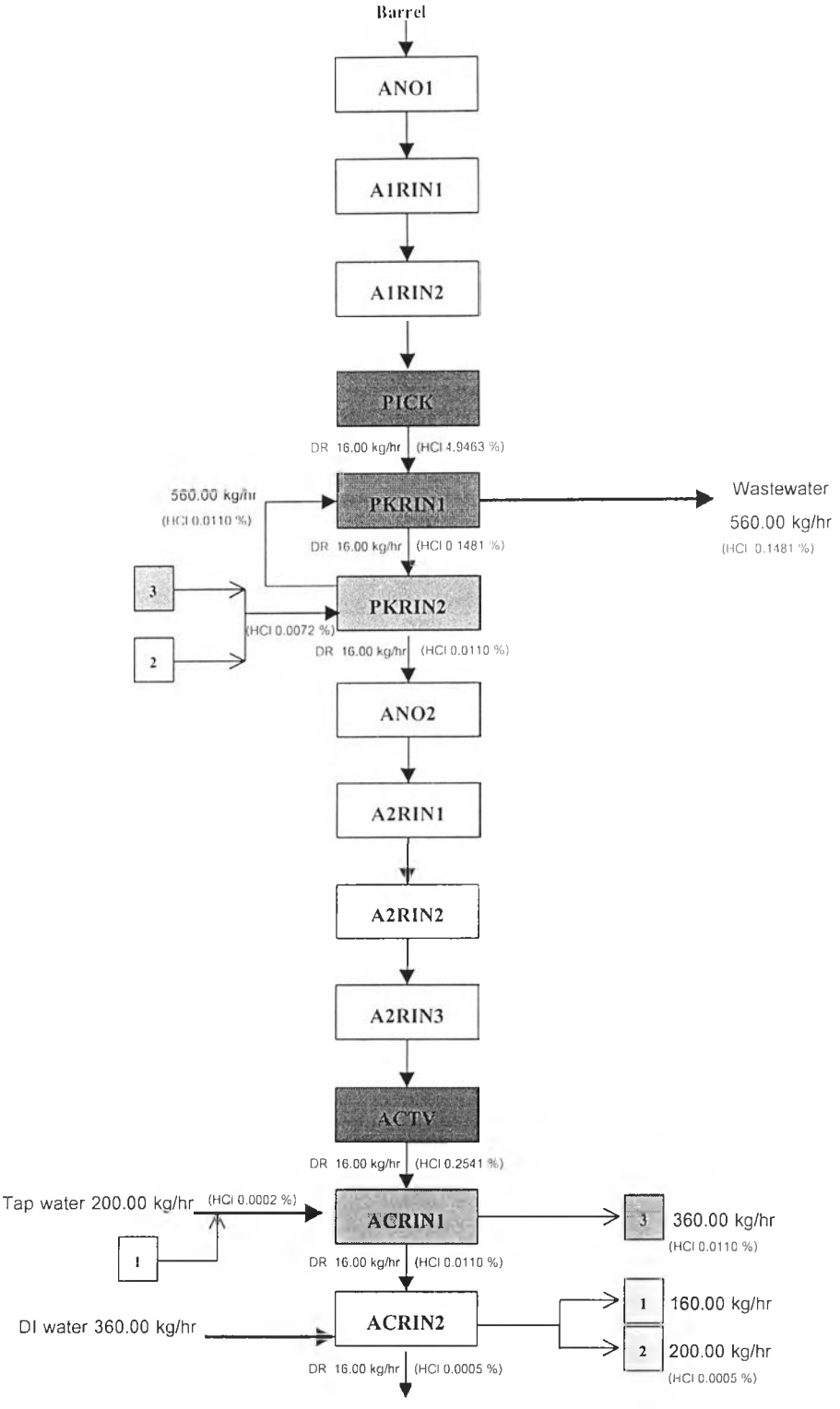
รูป 5.10 ผลออปติไมซ์การนำน้ำล้างด่างกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 1 โดย CONOPT



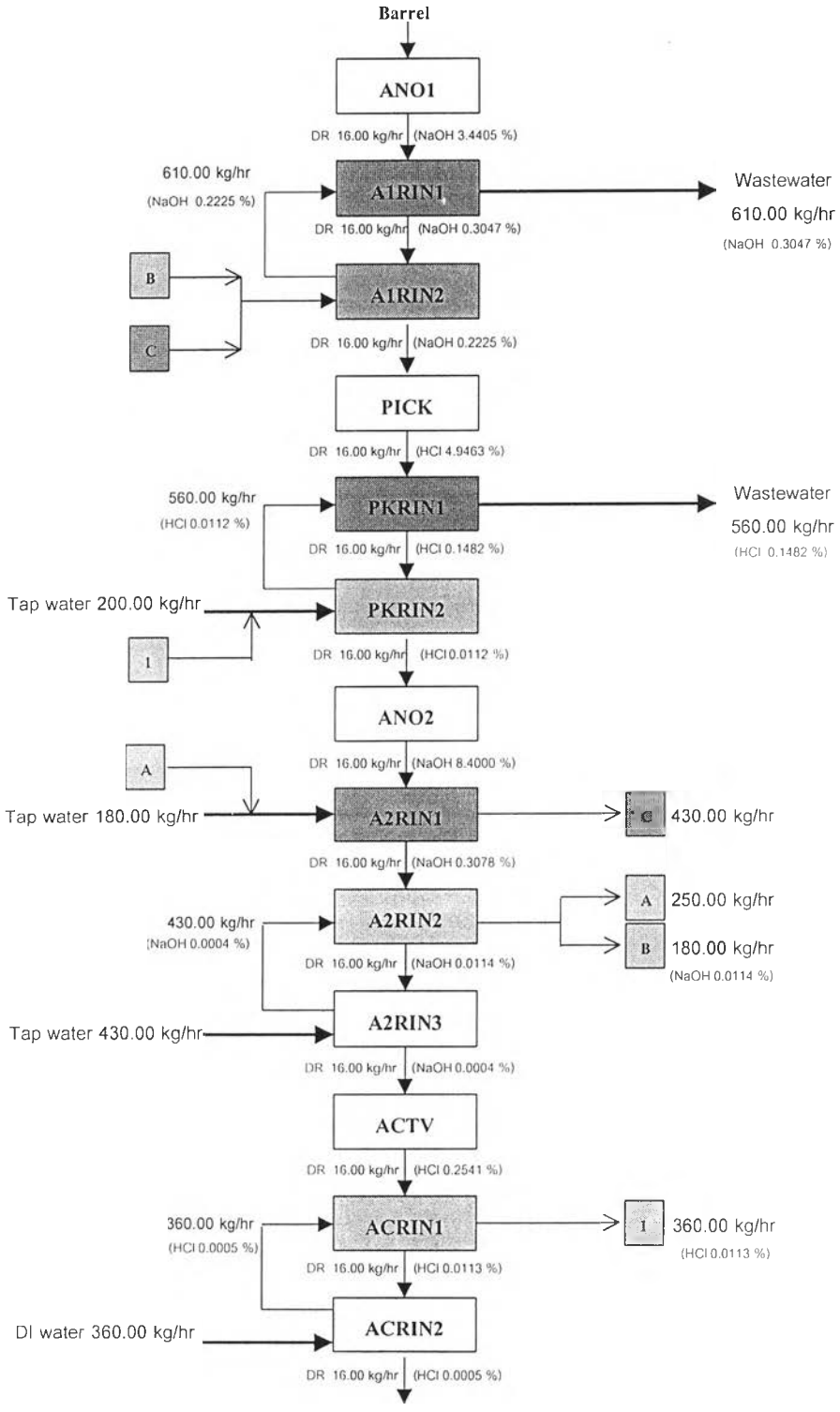
รูป 5.11 ผลออปติไมซ์การนำน้ำล้างด่างกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 1 โดย CONOPT2



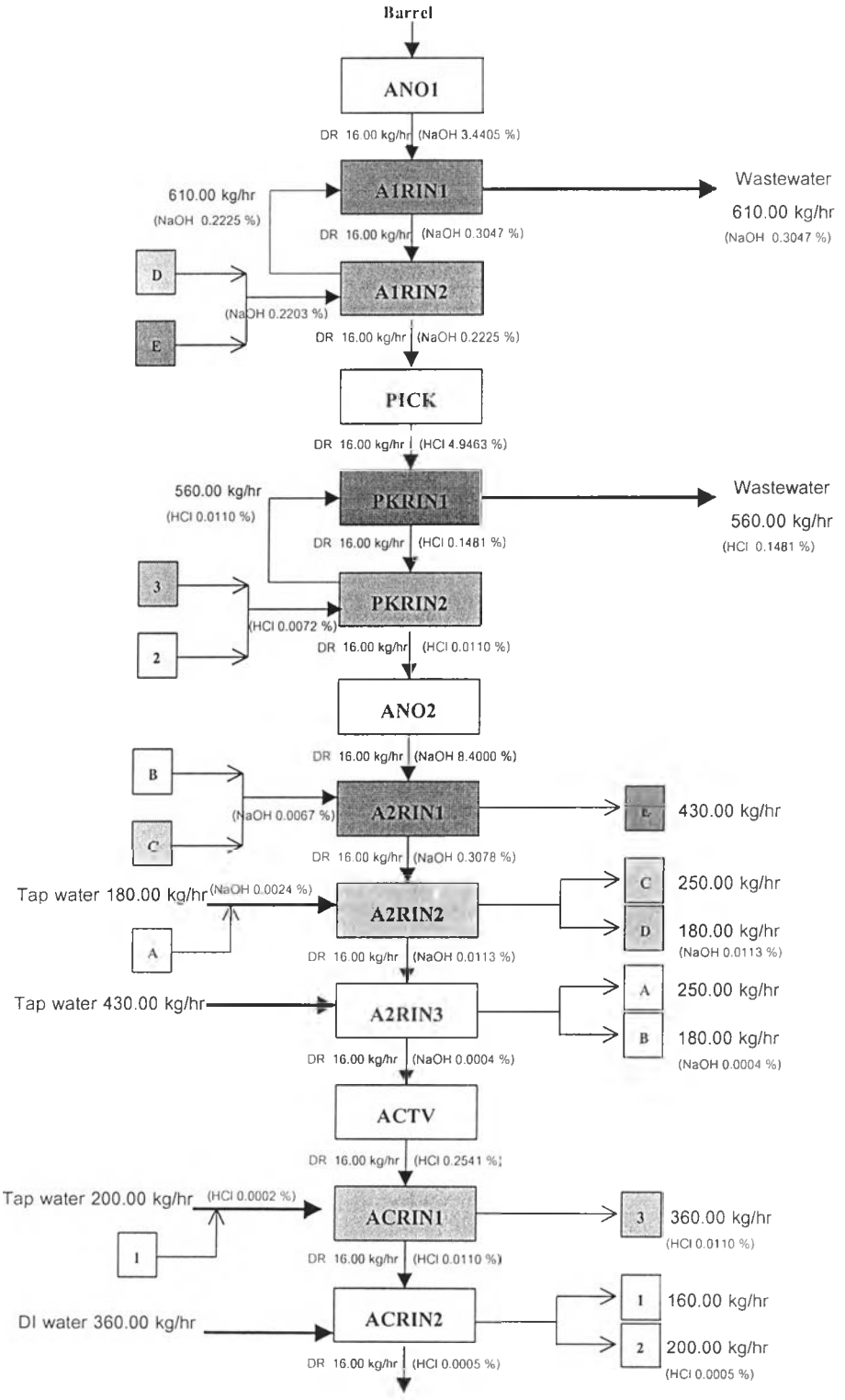
รูป 5.12 ผลออปติไมซ์การนำน้ำล้างกรดกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 1 โดย MINOS5



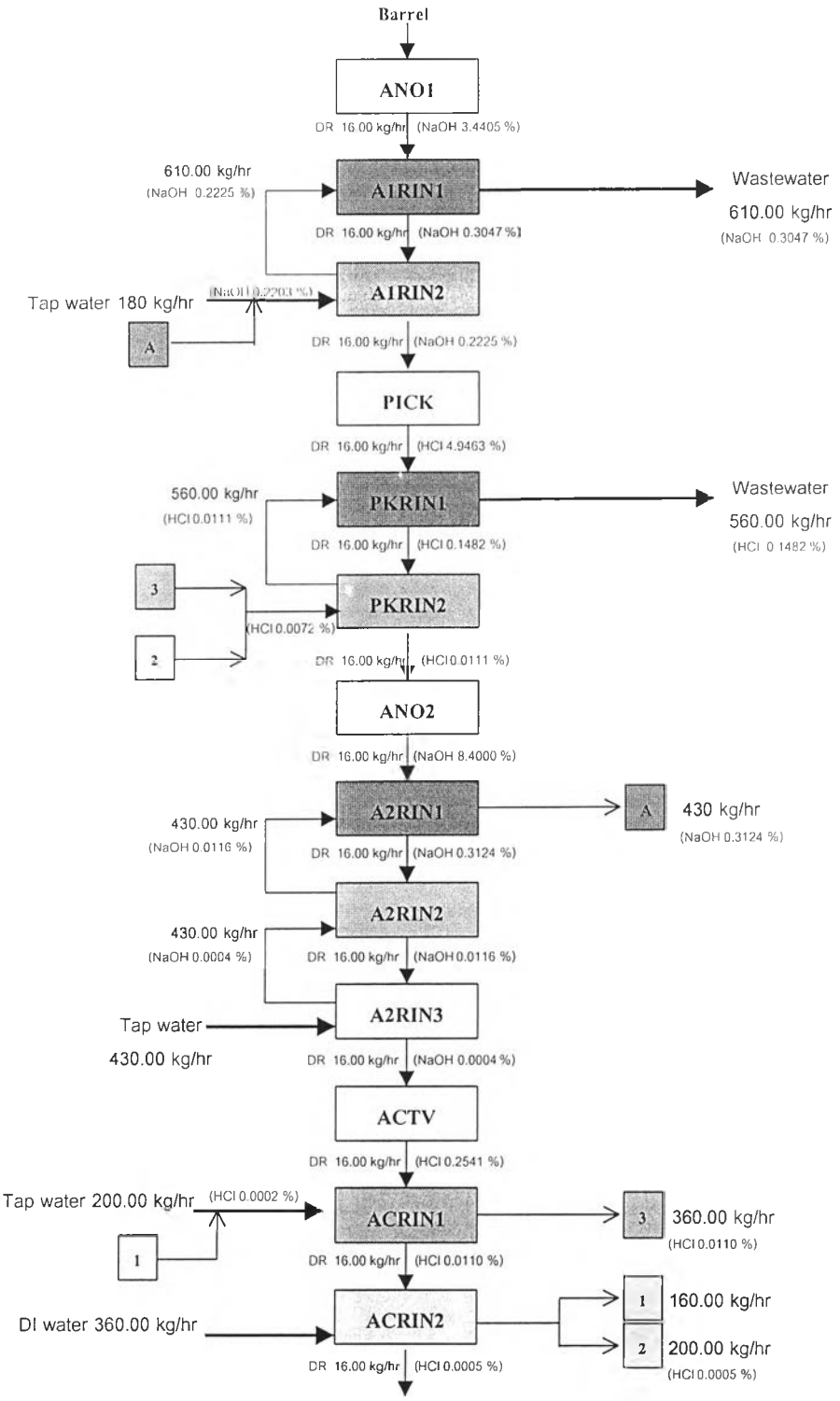
รูป 5.13 ผลออปติไมซ์การนำน้ำล้างกรดกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 1 โดย CONOPT และ CONOPT2



รูป 5.14 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 1) โดย MINOS5



รูป 5.15 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 1) โดย CONOPT



รูป 5.16 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 1) โดยCONOPT2

5.4.2 กรณีศึกษาที่ 2: ควบคุมความเข้มข้นของน้ำล้างบ่อสุดท้าย แบบที่ 1

5.4.2.1 ข้อจำกัดของการทำออปติไมเซชั่นในกลุ่มของบ่อน้ำล้างด่าง

1) น้ำทิ้งที่ออกจากทุกบ่อสามารถสามารถหมุนเวียนใช้ร่วมกันได้หมด รวมถึงน้ำที่ออกจากบ่อเดิมสามารถผสมและวนกลับไปใช้ในบ่อเดิมได้
2) ความเข้มข้นของสารที่ติดตามในแดรก-อินที่เข้าบ่อน้ำล้างที่ 1 มีค่าคงที่ เนื่องจากเป็นแดรก-เอาท์ที่มาจากบ่อเคมีซึ่งเราถือว่ามีค่าคงที่
3) ไม่มีการใช้น้ำดีไอออไนซ์ในกระบวนการ มีเพียงการใช้น้ำบาดาลเท่านั้น
4) ความเข้มข้นของแดรก-เอาท์ที่ออกจากบ่อน้ำล้าง "A1RIN2" และ บ่อน้ำล้าง "A2RIN3" มีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.000038 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และ 0.000009 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ตามลำดับ

5.4.2.2 ข้อจำกัดของการทำออปติไมเซชั่นในกลุ่มของบ่อน้ำล้างกรด

1) น้ำทิ้งที่ออกจากทุกบ่อสามารถสามารถหมุนเวียนใช้ร่วมกันได้หมด รวมถึงน้ำที่ออกจากบ่อเดิมสามารถผสมและวนกลับไปใช้ในบ่อเดิมได้
2) ความเข้มข้นของสารที่ติดตามในแดรก-อินที่เข้าบ่อน้ำล้างที่ 1 มีค่าคงที่ เนื่องจากเป็นแดรก-เอาท์ที่มาจากบ่อเคมีซึ่งเราถือว่ามีค่าคงที่
3) บ่อ "ACRIN2" ใช้ได้เฉพาะน้ำดีไอออไนซ์เท่านั้น เพื่อให้เกิดความสะอาดมากที่สุดและป้องกันสิ่งเจือปนอื่น ๆ อันจะส่งผลต่อการชุบสังกะสีต่อไป ขณะที่บ่ออื่น ๆ ให้ใช้น้ำบาดาลได้เท่านั้นเนื่องจากน้ำดีไอออไนซ์มีราคาสูงกว่าน้ำบาดาลมาก
4) ความเข้มข้นของแดรก-เอาท์ที่ออกจากบ่อน้ำล้าง "PKRIN2" และ บ่อน้ำล้าง "ACRIN2" มีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.000068 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และ0.000008 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ตามลำดับ

ผลการออปติไมซ์ที่ได้ทั้งในกลุ่มของน้ำล้างด่างและกลุ่มของน้ำล้างกรดพบว่าจะมีรูปแบบของการนำน้ำกลับมาใช้เพียงกลุ่มละ 1 รูปแบบ ดังรูป 5.17 – 5.19

5.4.2.3 ผลการออปติไมซ์กลุ่มของน้ำล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์

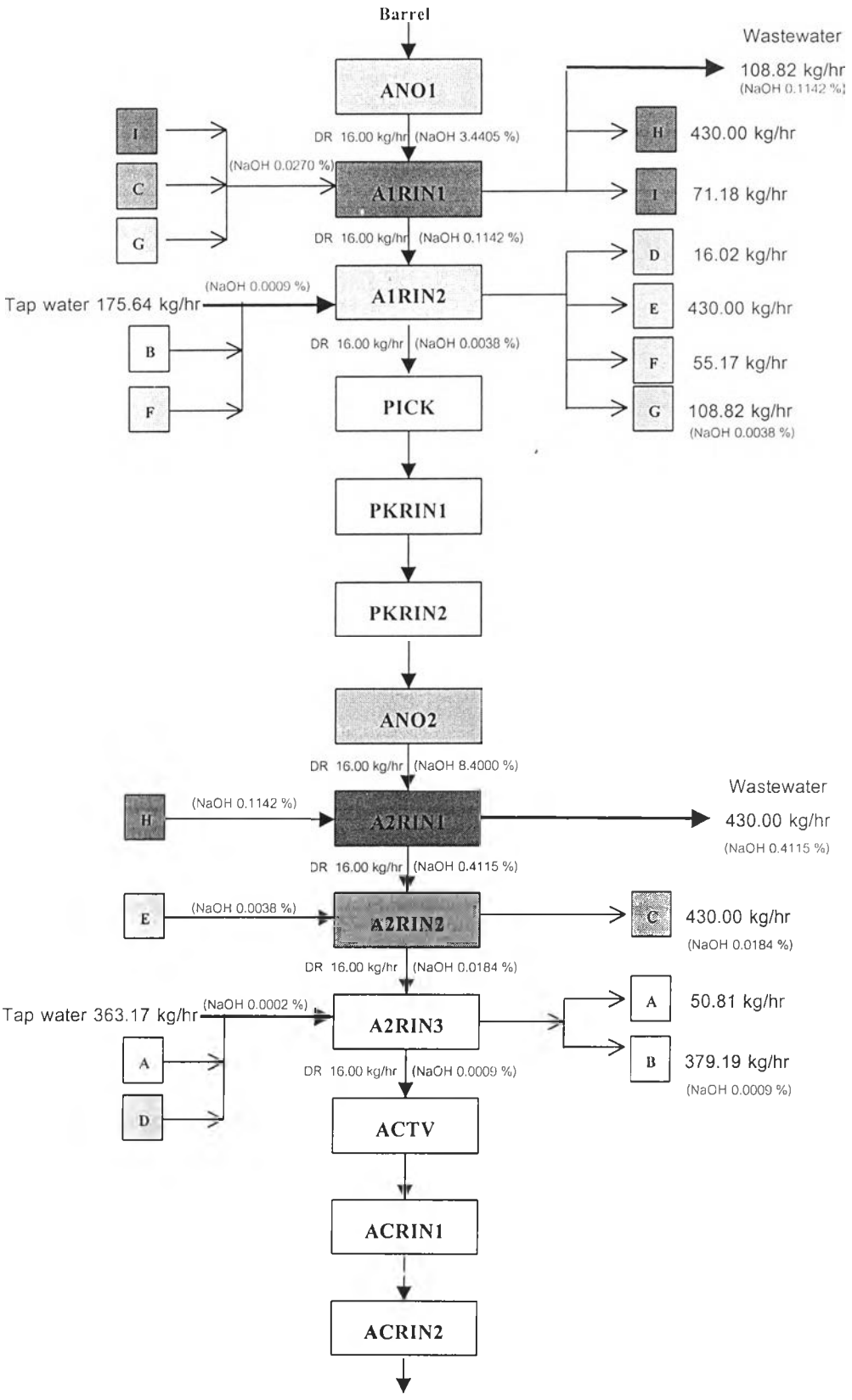
ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบผลการออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างด่าง (กรณีศึกษาที่ 2)

เครื่องมือหาคำตอบ	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	TWW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
MINOS5	หาค่าไม่ได้	หาค่าไม่ได้	หาค่าไม่ได้
CONOPT	538.818	538.818	1.894
CONOPT2	538.818	538.818	1.894

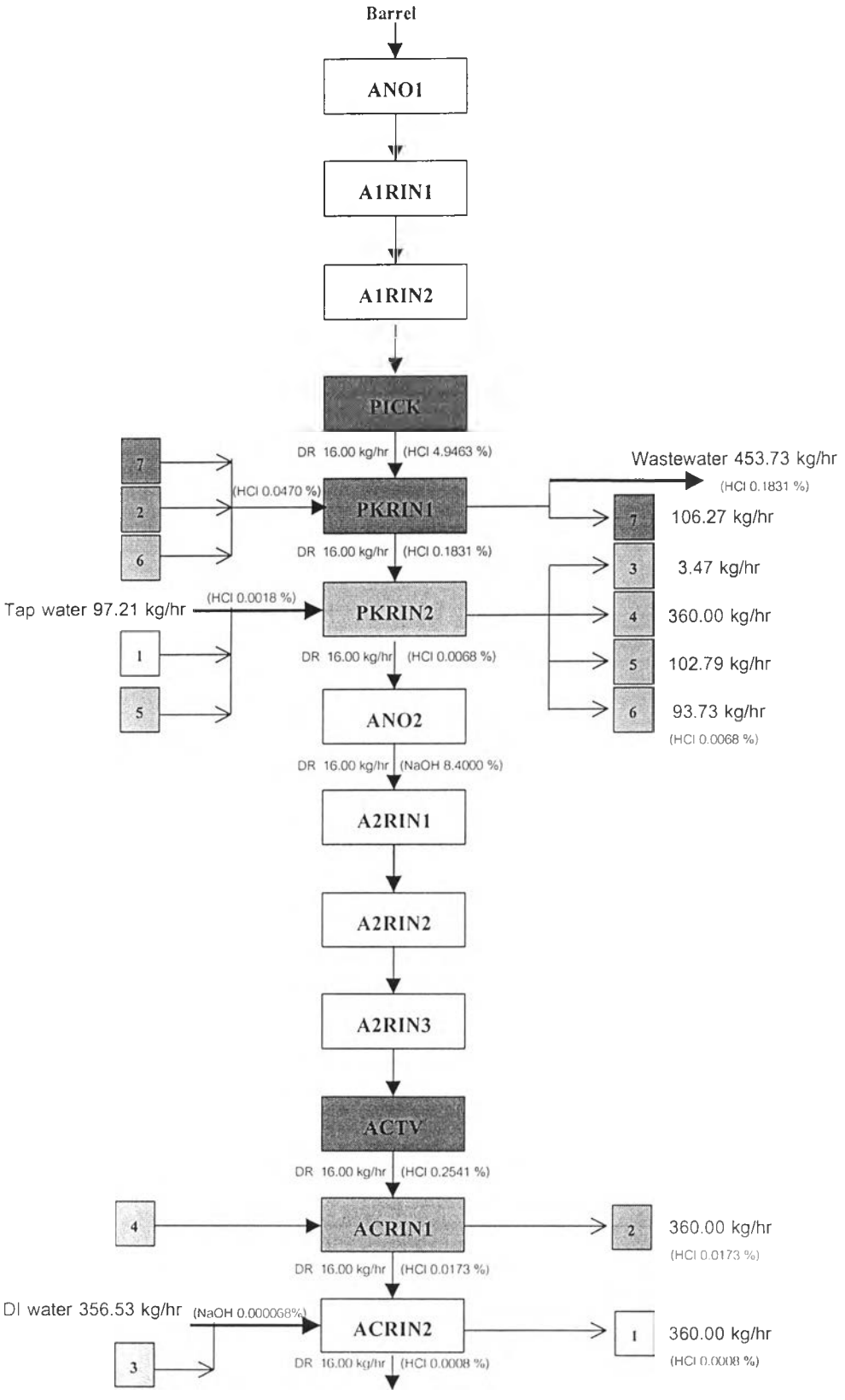
5.4.2.4 ผลการออปติไมซ์กลุ่มของน้ำล้างไฮโดรคลอริก

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบผลการออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างกรด (กรณีศึกษาที่ 2)

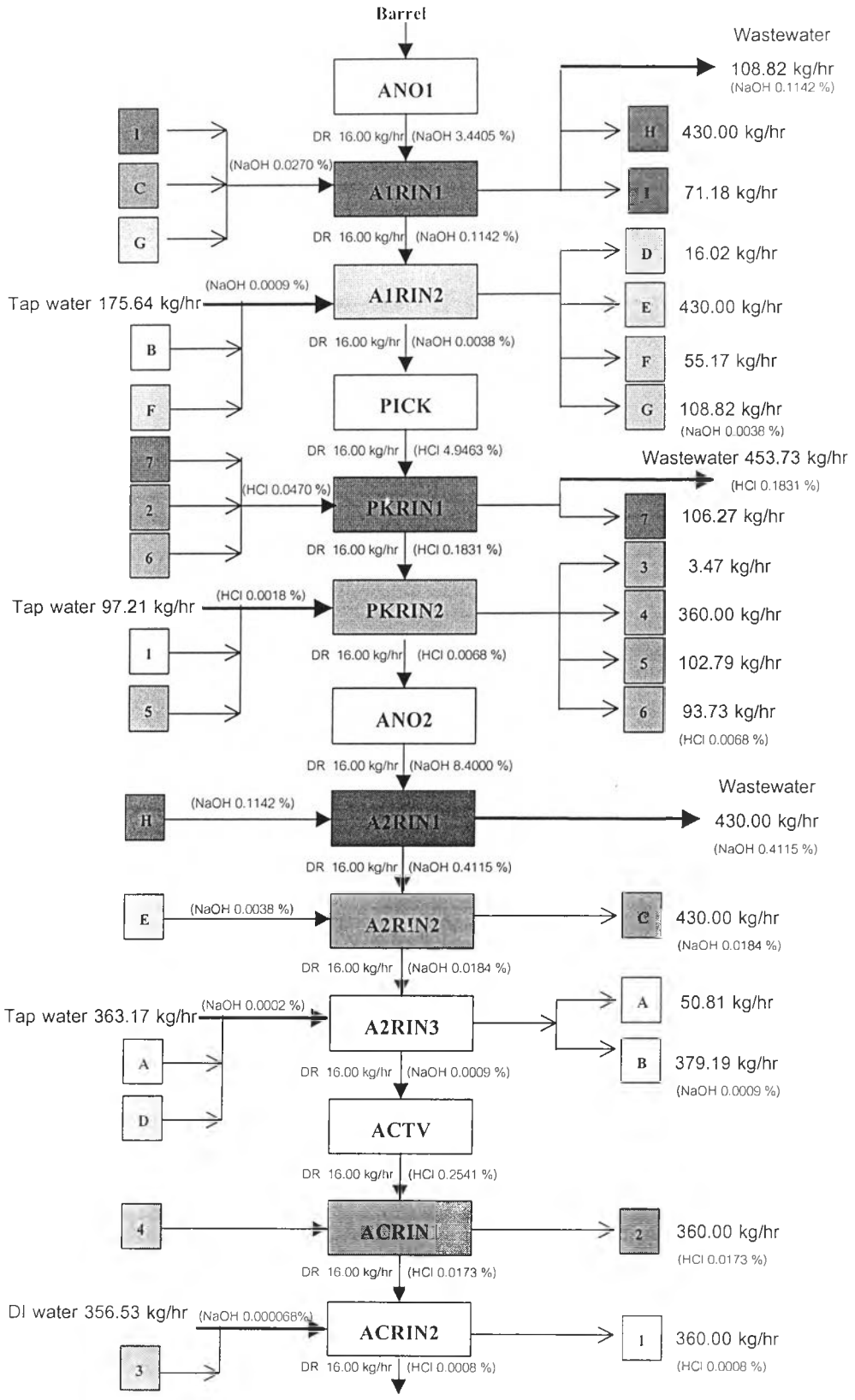
เครื่องมือหาคำตอบ	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	TWW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
MINOS5	หาค่าไม่ได้	หาค่าไม่ได้	หาค่าไม่ได้
CONOPT	453.734	453.734	0.831
CONOPT2	453.734	453.734	0.831



รูป 5.17 ผลออปติไมซ์การนำน้ำล้างด่างกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 2 โดย CONOPT2



รูป 5.18 ผลออปติไมซ์การนำน้ำล้างกรดกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 2 โดย CONOPT2



รูป 5.19 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง(กรณีศึกษาที่ 2) โดย CONOPT2

5.4.3 กรณีศึกษาที่ 3: ควบคุมความเข้มข้นของน้ำล้างบ่อสุดท้าย แบบที่ 2

5.4.3.1 ข้อจำกัดของการทำออปติไมเซชั่นในกลุ่มของบ่อน้ำล้างด่าง

1) สามารถนำสายของน้ำกลับเข้ายังกระบวนการเดิมได้ แต่ไม่มีการนำสายของน้ำทิ้งจากบ่อ "A1RIN1" และ "A1RIN2" กลับไปใช้กับบ่ออื่น ๆ ที่อยู่ถัดจาก 2 บ่อนี้ เพื่อป้องกันไขมันที่จะกลับเข้ามาปนเปื้อนในบ่อและชิ้นงานอีกครั้ง นอกนั้นทุกบ่อที่เหลือสามารถหมุนเวียนใช้กันได้หมด
3) ความเข้มข้นของสารที่ติดตามในแดรก-อินที่เข้าบ่อน้ำล้างที่ 1 มีค่าคงที่ เนื่องจากเป็นแดรก-เอาท์ที่มาจากบ่อเคมีซึ่งเราถือว่ามีค่าคงที่
4) ไม่มีการใช้น้ำดีไอออไนซ์ในกระบวนการ มีเพียงการใช้น้ำบาดาลเท่านั้น
5) ความเข้มข้นของแดรก-เอาท์ที่ออกจากบ่อน้ำล้าง "A1RIN2" และ บ่อน้ำล้าง "A2RIN3" มีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.000038 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และ0.000009 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ตามลำดับ

5.4.3.2 ข้อจำกัดของการทำออปติไมเซชั่นในกลุ่มของบ่อน้ำล้างกรด

1) สามารถนำสายของน้ำกลับเข้ายังกระบวนการเดิมได้ แต่ไม่มีการนำสายของน้ำทิ้งจากบ่อ "PKRIN1" และ "PKRIN2" กลับไปใช้กับบ่ออื่น ๆ ที่อยู่ถัดจาก 2 บ่อนี้ เพื่อป้องกันสิ่งปนเปื้อนอื่นติดกลับมาในบ่อและชิ้นงานอีกครั้ง นอกนั้นทุกบ่อที่เหลือสามารถหมุนเวียนใช้กันได้หมด
3) ความเข้มข้นของสารที่ติดตามในแดรก-อินที่เข้าบ่อน้ำล้างที่ 1 มีค่าคงที่ เนื่องจากเป็นแดรก-เอาท์ที่มาจากบ่อเคมีซึ่งเราถือว่ามีค่าคงที่
4) บ่อ "ACRIN2" ใช้ได้เฉพาะน้ำดีไอออไนซ์เท่านั้น เพื่อให้เกิดความสะอาดมากที่สุดและป้องกันสิ่งเจือปนอื่น ๆ อันจะส่งผลต่อการซุบสังกะสีต่อไป ขณะที่บ่ออื่น ๆ ให้ใช้น้ำบาดาลได้เท่านั้นเนื่องจากน้ำดีไอออไนซ์มีราคาสูงกว่าน้ำบาดาลมาก
5) ความเข้มข้นของแดรก-เอาท์ที่ออกจากบ่อน้ำล้าง "PKRIN2" และ บ่อน้ำล้าง "ACRIN2" มีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.000068 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และ0.000008 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ตามลำดับ

ผลการออปติไมซ์ที่ได้ทั้งในกลุ่มของน้ำล้างด่าง และกลุ่มของน้ำล้างด่างพบว่าจะมีรูปแบบของการนำน้ำกลับมาใช้เพียงกลุ่มละ 1 รูปแบบ ดังรูป 5.20 – 5.22

5.4.3.3 ผลการออปติไมซ์กลุ่มของน้ำล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบผลการออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างด่าง (กรณีศึกษาที่ 3)

เครื่องมือหาคำตอบ	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	TWW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
MINOS5	หาคำตอบไม่ได้	หาคำตอบไม่ได้	หาคำตอบไม่ได้
CONOPT	780.229	780.229	1.894
CONOPT2	780.229	780.229	1.894

5.4.3.4 ผลการออปติไมซ์กลุ่มของน้ำล้างไฮโดรคลอริก

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบผลการออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างกรด (กรณีศึกษาที่ 3)

เครื่องมือหาคำตอบ	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	TWW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
MINOS5	หาคำตอบไม่ได้	หาคำตอบไม่ได้	หาคำตอบไม่ได้
CONOPT	559.998	559.998	0.831
CONOPT2	559.998	559.998	0.831

5.4.3.5 การทดสอบผลการออปติไมซ์เมื่อกระบวนการเปลี่ยนแปลง

การทดสอบผลการออปติไมซ์ของกรณีศึกษาที่ 3 เพิ่มเติม เมื่อกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงไปจากกระบวนการเดิม เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ใหม่ โดยมีกรณีที่ศึกษาเพิ่มเติมดังกรณีต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 3-1: กรณีเมื่อแดรก-อินเพิ่มขึ้น 25%

กรณีศึกษาที่ 3-2: กรณีเมื่อแดรก-อินลดลง 25%

กรณีศึกษาที่ 3-3: กรณีเมื่อความเข้มข้นบ่อ "PICK" สูงขึ้น 20%

กรณีศึกษาที่ 3-4: กรณีเมื่อความเข้มข้นบ่อ "PICK" ลดลง 20%

การออปติไมซ์กระบวนการได้เลือกใช้เครื่องมือหาคำตอบ CONOPT2 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาแบบไม่เชิงเส้นตรงมากที่สุดในโปรแกรมแกมส์ มาใช้ในการศึกษาทั้ง 4 กรณี ผลการออปติไมซ์กรณีศึกษาที่ 3-1 ถึง 3-4 สรุปผลได้ดังต่อไปนี้

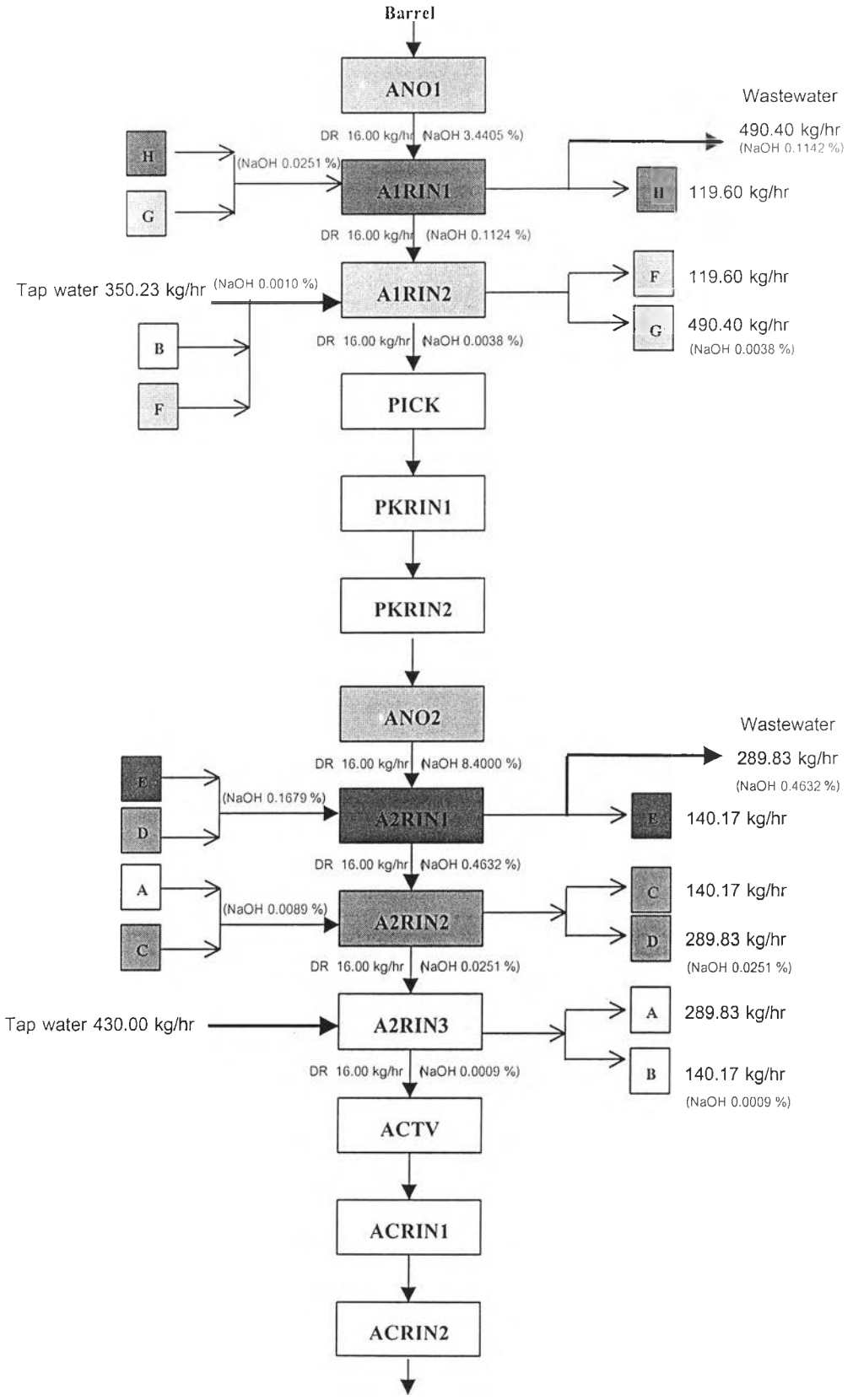
ตารางที่ 5.10 ผลออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างด่าง (กรณีศึกษาที่ 3) เมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยน

กรณีศึกษา	เงื่อนไข	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
1) กรณีศึกษาที่ 3 (ปกติ)	Q_{DI} = 16	780.229	1.894
2) กรณีศึกษาที่ 3-1	Q_{DI} สูงขึ้น 25%	1000.726	2.367
3) กรณีศึกษาที่ 3-2	Q_{DI} ลดลง 25%	572.655	1.420
4) กรณีศึกษาที่ 3-3	$[HCl]_{PICK}$ สูงขึ้น 20%	780.229	1.894
5) กรณีศึกษาที่ 3-4	$[HCl]_{PICK}$ ลดลง 20%	780.229	1.894

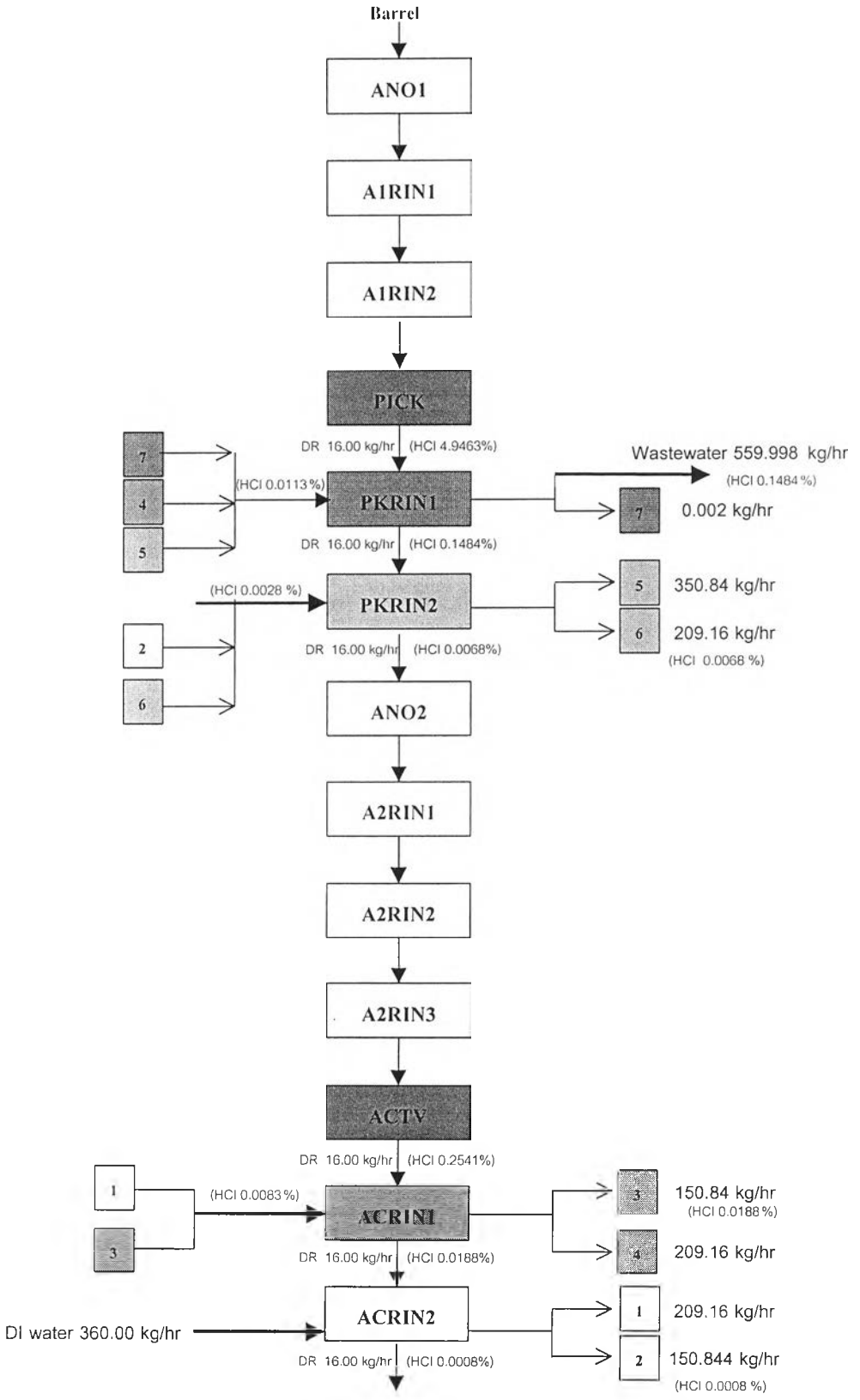
ตารางที่ 5.11 ผลออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างกรด (กรณีศึกษาที่ 3) เมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยน

กรณีศึกษา	เงื่อนไข	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
1) กรณีศึกษาที่ 3 (ปกติ)	Q_{DI} = 16	559.998	0.831
2) กรณีศึกษาที่ 3-1	Q_{DI} สูงขึ้น 25%	838.362	1.039
3) กรณีศึกษาที่ 3-2	Q_{DI} ลดลง 25%	403.825	0.623
4) กรณีศึกษาที่ 3-3	$[HCl]_{PICK}$ สูงขึ้น 20%	621.637	0.989
5) กรณีศึกษาที่ 3-4	$[HCl]_{PICK}$ ลดลง 20%	516.996	0.673

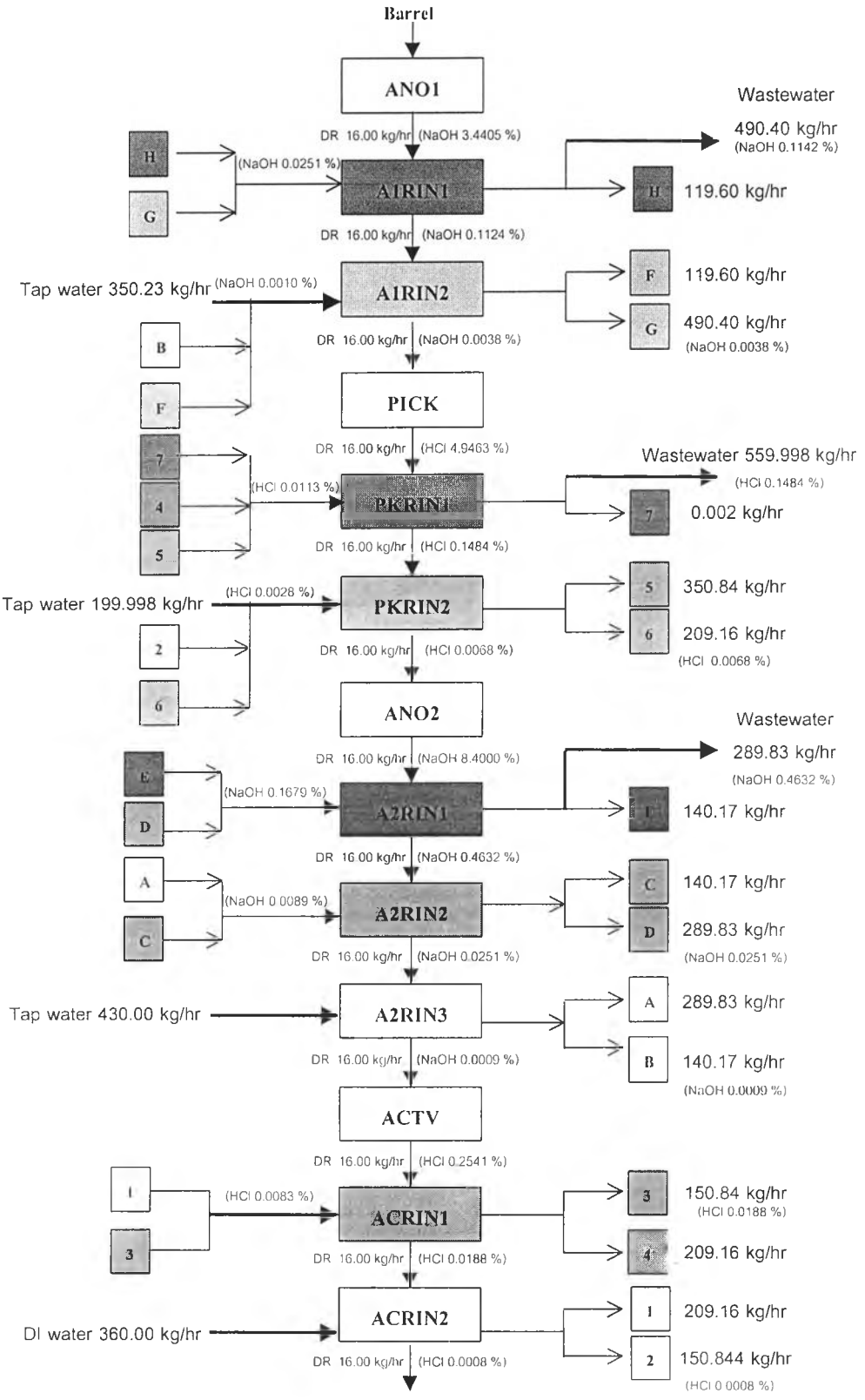
โดยมีรายละเอียดผลการออปติไมซ์และรูปแบบการหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการ ดังรูปที่ 5.23 - 5.26



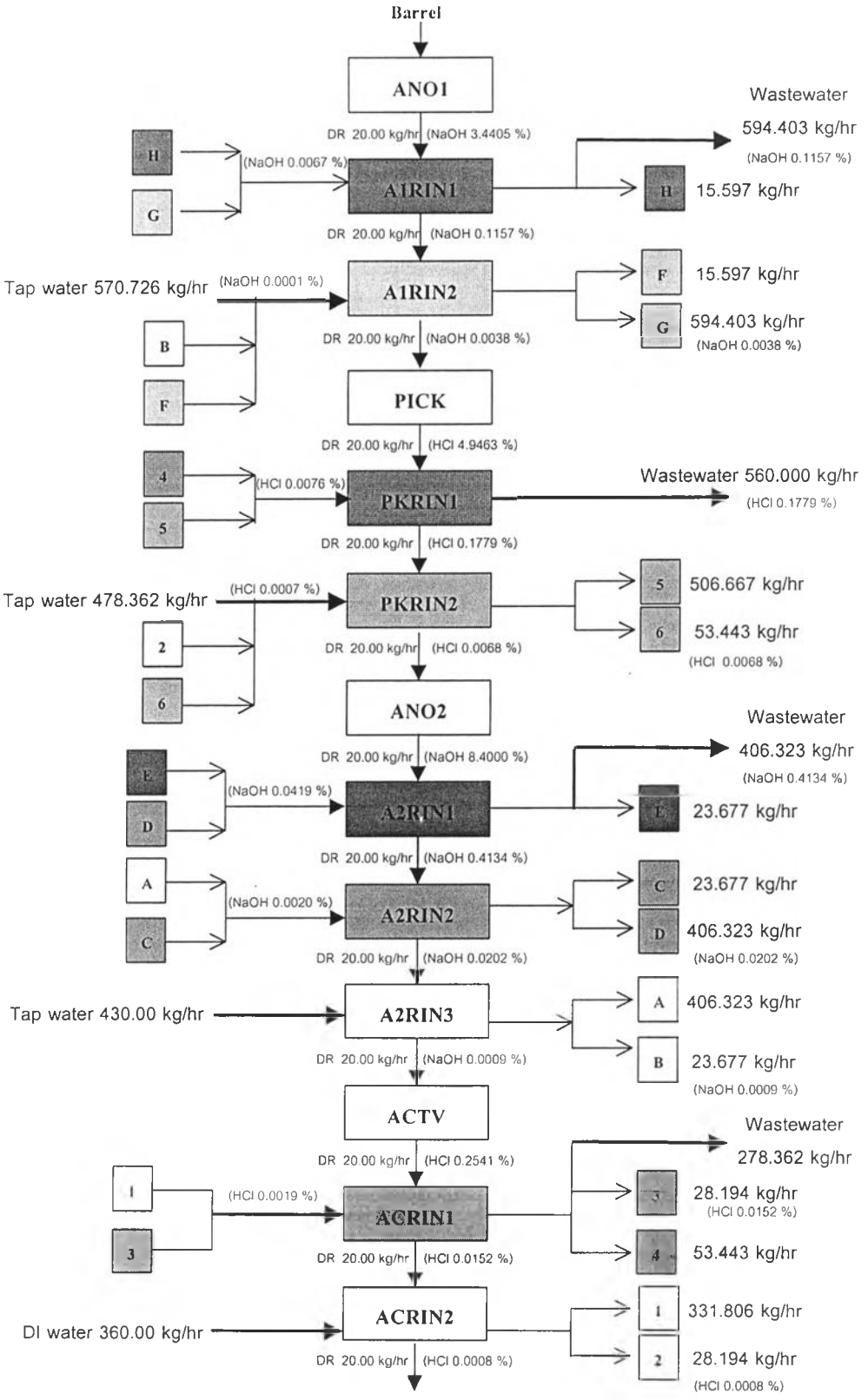
รูป 5.20 ผลออปติไมซ์การนำน้ำล้างด่างกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 3 โดย CONOPT2



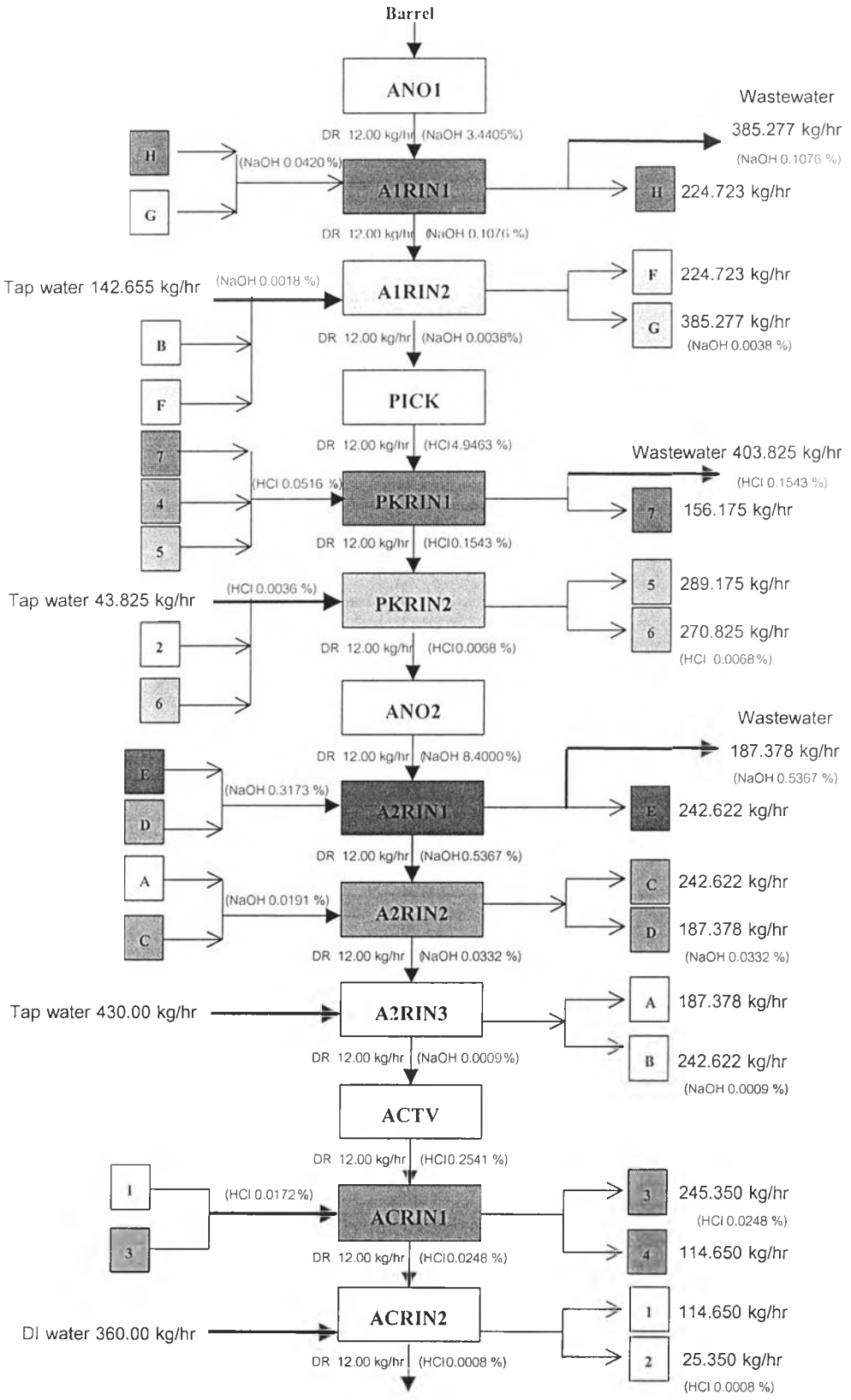
รูป 5.21 ผลออปติไมซ์การนำน้ำล้างกรดกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 3 โดย CONOPT2



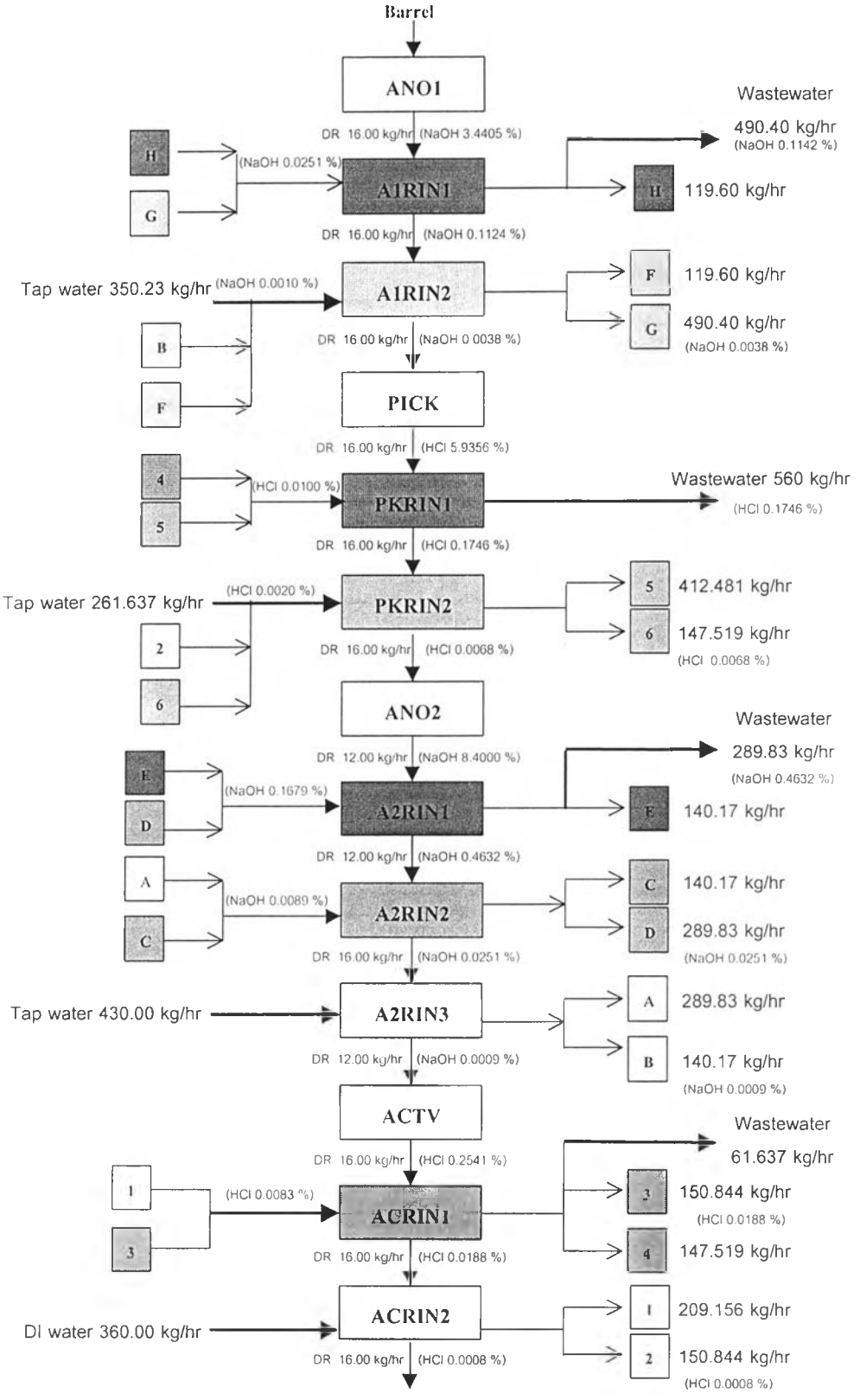
รูป 5.22 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 3) โดยCONOPT2



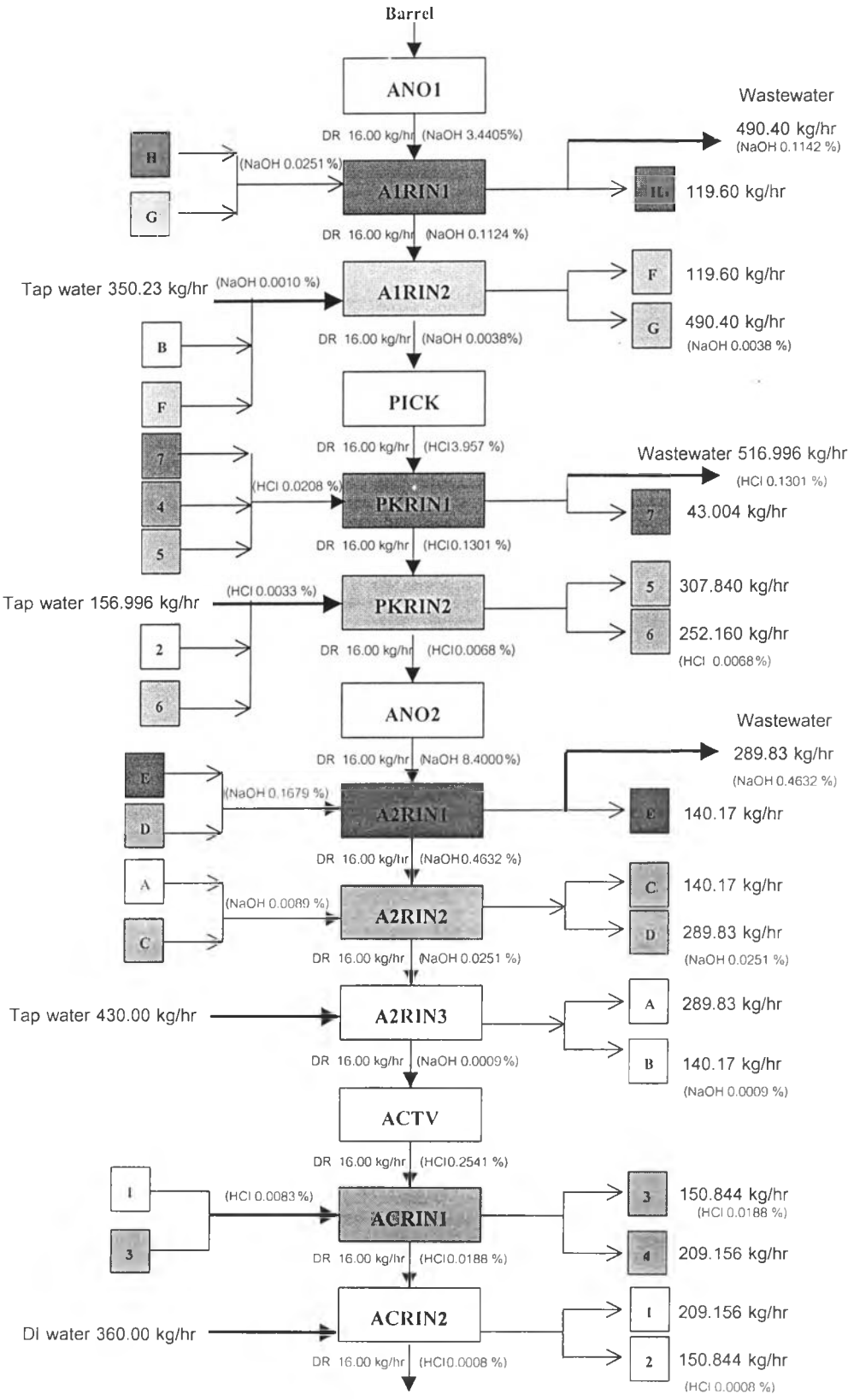
รูป 5.23 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 3-1)



รูป 5.24 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 3-2)



รูป 5.25 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 3-3)



รูป 5.26 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 3-4)

5.4.4 กรณีศึกษาที่ 4: ควบคุมความเข้มข้นของน้ำล้างบ่อสุดท้าย แบบที่ 3

5.4.4.1 ข้อจำกัดของการทำออปติไมเซชั่นในกลุ่มของบ่อน้ำล้างด่าง

1) ไม่มีการนำสายของน้ำกลับเข้ายังกระบวนการเดิม เพื่อป้องกันการสะสมของสิ่งสกปรกภายในบ่อ
2) ไม่มีการนำสายของน้ำที่ออกจากกระบวนการล้างน้ำก่อนหน้า มาใช้ในกระบวนการล้างน้ำที่อยู่ด้านหลังเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกอื่นที่ไม่ต้องการ
3) ความเข้มข้นของสารที่ติดตามในแดรก-อินที่เข้าบ่อน้ำล้างที่ 1 มีค่าคงที่ เนื่องจากเป็นแดรก-เอาท์ที่มาจากบ่อเคมีซึ่งเราถือว่ามีค่าคงที่
4) ไม่มีการใช้น้ำดีไอออไนซ์ในกระบวนการ มีเพียงการใช้น้ำบาดาลเท่านั้น
5) ความเข้มข้นของแดรก-เอาท์ที่ออกจากบ่อน้ำล้าง "A1RIN2" และ บ่อน้ำล้าง "A2RIN3" มีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.000038 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และ0.000009 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ตามลำดับ

5.4.4.2 ข้อจำกัดของการทำออปติไมเซชั่นในกลุ่มของบ่อน้ำล้างกรด

1) ไม่มีการนำสายของน้ำกลับเข้ายังกระบวนการเดิม เพื่อป้องกันการสะสมของสิ่งสกปรกภายในบ่อ นอกนั้นทุกบ่อที่เหลือสามารถหมุนเวียนใช้กันได้หมด
2) ไม่มีการนำสายของน้ำที่ออกจากกระบวนการล้างน้ำก่อนหน้า มาใช้ในกระบวนการล้างน้ำที่อยู่ด้านหลังเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกอื่นที่ไม่ต้องการ
3) ความเข้มข้นของสารที่ติดตามในแดรก-อินที่เข้าบ่อน้ำล้างที่ 1 มีค่าคงที่ เนื่องจากเป็นแดรก-เอาท์ที่มาจากบ่อเคมีซึ่งเราถือว่ามีค่าคงที่
4) บ่อ "ACRIN2" ใช้ได้เฉพาะน้ำดีไอออไนซ์เท่านั้น เพื่อให้เกิดความสะอาดมากที่สุดและป้องกันสิ่งเจือปนอื่น ๆ อันจะส่งผลต่อการซุบสังกะสีต่อไป ขณะที่บ่ออื่น ๆ ให้ใช้น้ำบาดาลได้เท่านั้นเนื่องจากน้ำดีไอออไนซ์มีราคาสูงกว่าน้ำบาดาลมาก
5) ความเข้มข้นของแดรก-เอาท์ที่ออกจากบ่อน้ำล้าง "PKRIN2" และ บ่อน้ำล้าง "ACRIN2" มีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.000068 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) และ0.000008 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ตามลำดับ

ผลการออปติไมซ์ที่ได้ทั้งในกลุ่มของน้ำล้างด่าง และกลุ่มของน้ำล้างด่างพบว่าจะมีรูปแบบของการนำน้ำกลับมาใช้เพียงกลุ่มละ 1 รูปแบบ ดังรูป 5.27 – 5.29

5.4.4.3 ผลการออปติไมซ์กลุ่มของน้ำล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 5.12 เปรียบเทียบผลการออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างด่าง (กรณีศึกษาที่ 4)

เครื่องมือหาคำตอบ	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	TWW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
MINOS5	1,037.080	1,037.080	1.894
CONOPT	1,037.080	1,037.080	1.894
CONOPT2	1,037.080	1,037.080	1.894

5.4.4.4 ผลการออปติไมซ์กลุ่มของน้ำล้างไฮโดรคลอริก

ตารางที่ 5.13 เปรียบเทียบผลการออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างกรด (กรณีศึกษาที่ 4)

เครื่องมือหาคำตอบ	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	TWW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
MINOS5	776.931	776.931	0.831
CONOPT	776.931	776.931	0.831
CONOPT2	776.931	776.931	0.831

5.4.4.5 การทดสอบผลการออปติไมซ์เมื่อกระบวนการเปลี่ยนแปลง

การทดสอบผลการออปติไมซ์ของกรณีศึกษาที่ 4 เมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงไป เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ใหม่ โดยมีกรณีที่ศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

กรณีศึกษาที่ 4-1: กรณีเมื่อแดรก-อินเพิ่มขึ้น 25%

กรณีศึกษาที่ 4-2: กรณีเมื่อแดรก-อินลดลง 25%

กรณีศึกษาที่ 4-3: กรณีเมื่อความเข้มข้นบ่อ "PICK" สูงขึ้น 20%

กรณีศึกษาที่ 4-4: กรณีเมื่อความเข้มข้นบ่อ "PICK" ลดลง 20%

ผลการออปติไมซ์กรณีศึกษาที่ 4-1 ถึง 4-4 สามารถสรุปเปรียบเทียบผลปริมาณการใช้น้ำใหม่ทั้งกระบวนการ ได้ดังต่อไปนี้

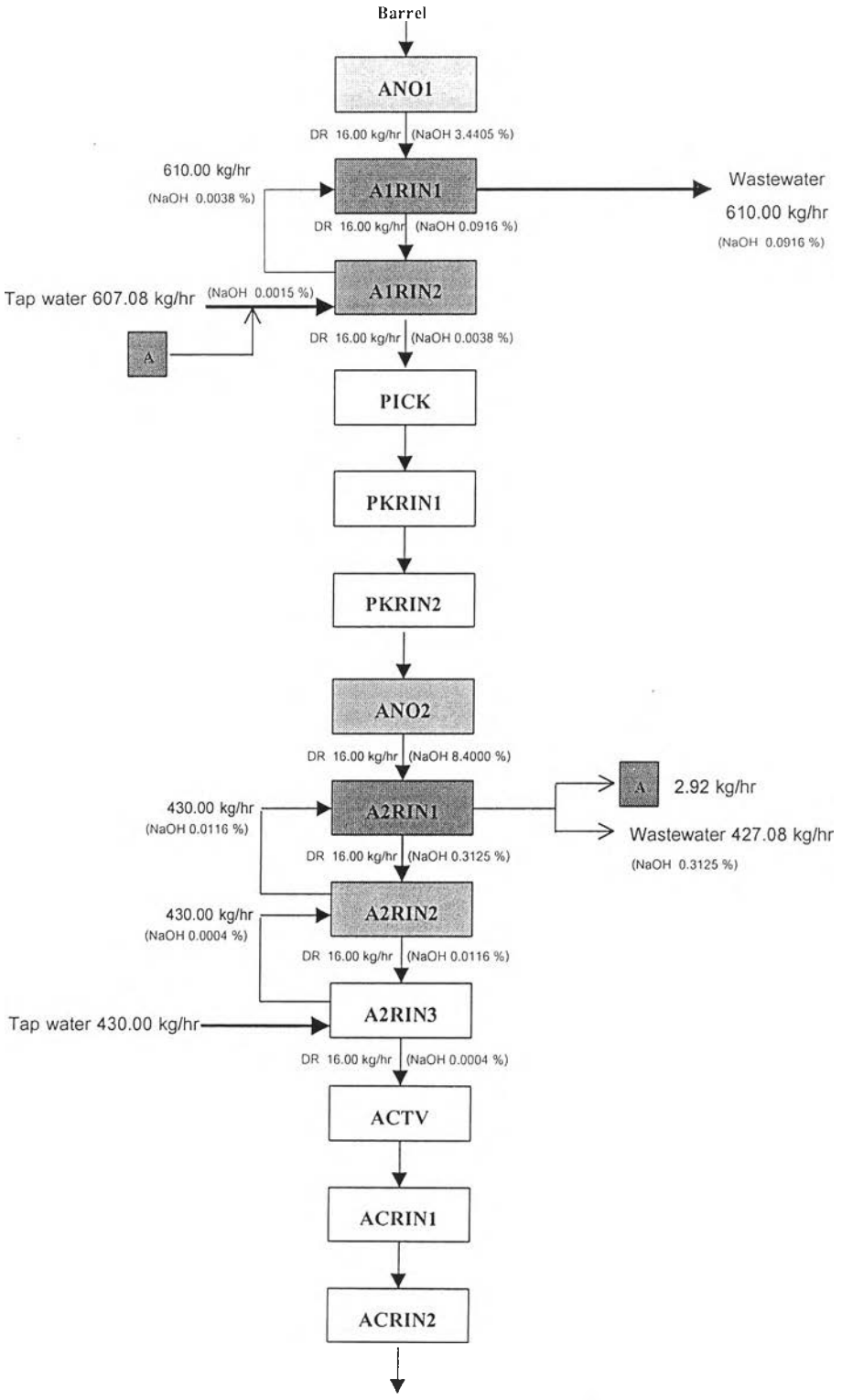
ตารางที่ 5.14 ผลออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างด่าง (กรณีศึกษาที่ 4) เมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยน

กรณีศึกษา	เงื่อนไข	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
1) กรณีศึกษาที่ 4 (ปกติ)	Q_{DI} = 16	1,037.080	1.894
2) กรณีศึกษาที่ 4-1	Q_{DI} สูงขึ้น 25%	1039.652	2.367
3) กรณีศึกษาที่ 4-2	Q_{DI} ลดลง 25%	1033.506	1.420
4) กรณีศึกษาที่ 4-3	$[HCl]_{PICK}$ สูงขึ้น 20%	1,037.080	1.894
5) กรณีศึกษาที่ 4-4	$[HCl]_{PICK}$ ลดลง 20%	1,037.080	1.894

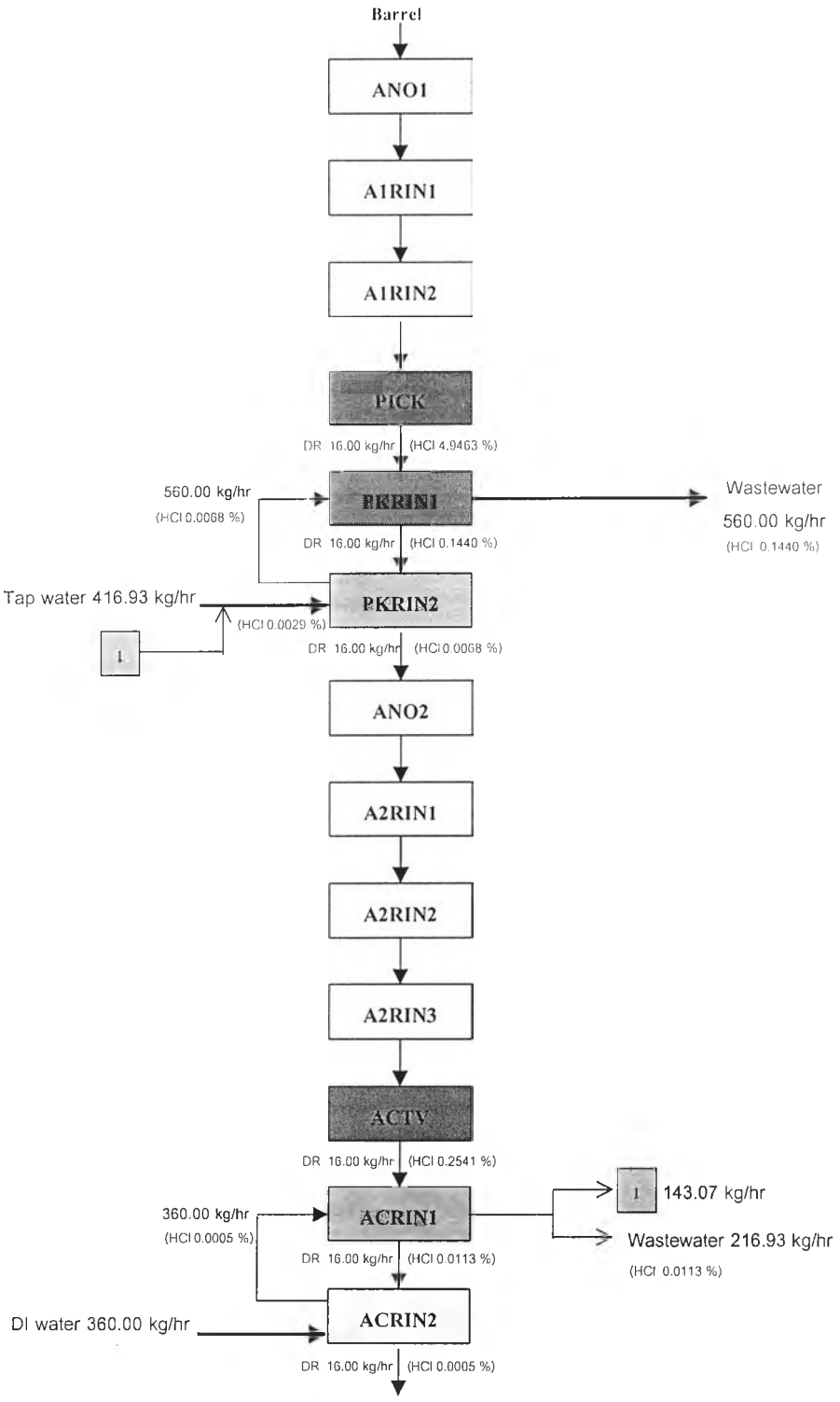
ตารางที่ 5.15 ผลออปติไมซ์ในกลุ่มของน้ำล้างกรด (กรณีศึกษาที่ 4) เมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยน

กรณีศึกษา	เงื่อนไข	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
1) กรณีศึกษาที่ 4 (ปกติ)	Q_{DI} = 16	776.931	0.831
2) กรณีศึกษาที่ 4-1	Q_{DI} สูงขึ้น 25%	891.479	1.039
3) กรณีศึกษาที่ 4-2	Q_{DI} ลดลง 25%	560.000	0.623
4) กรณีศึกษาที่ 4-3	$[HCl]_{PICK}$ สูงขึ้น 20%	815.939	0.989
5) กรณีศึกษาที่ 4-4	$[HCl]_{PICK}$ ลดลง 20%	737.924	0.673

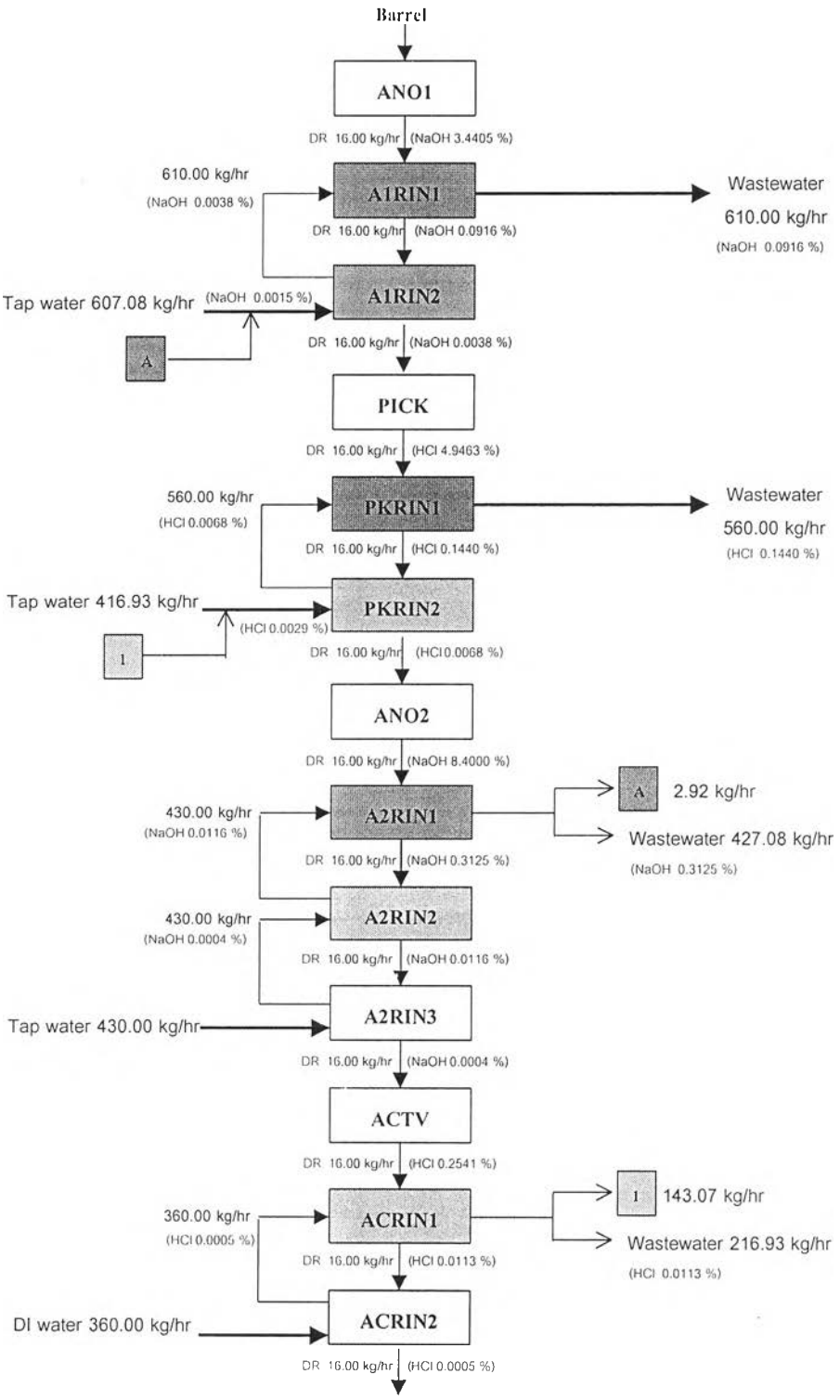
โดยมีรายละเอียดผลการออปติไมซ์และรูปแบบการหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการ ดังรูปที่ 5.30 – 5.33



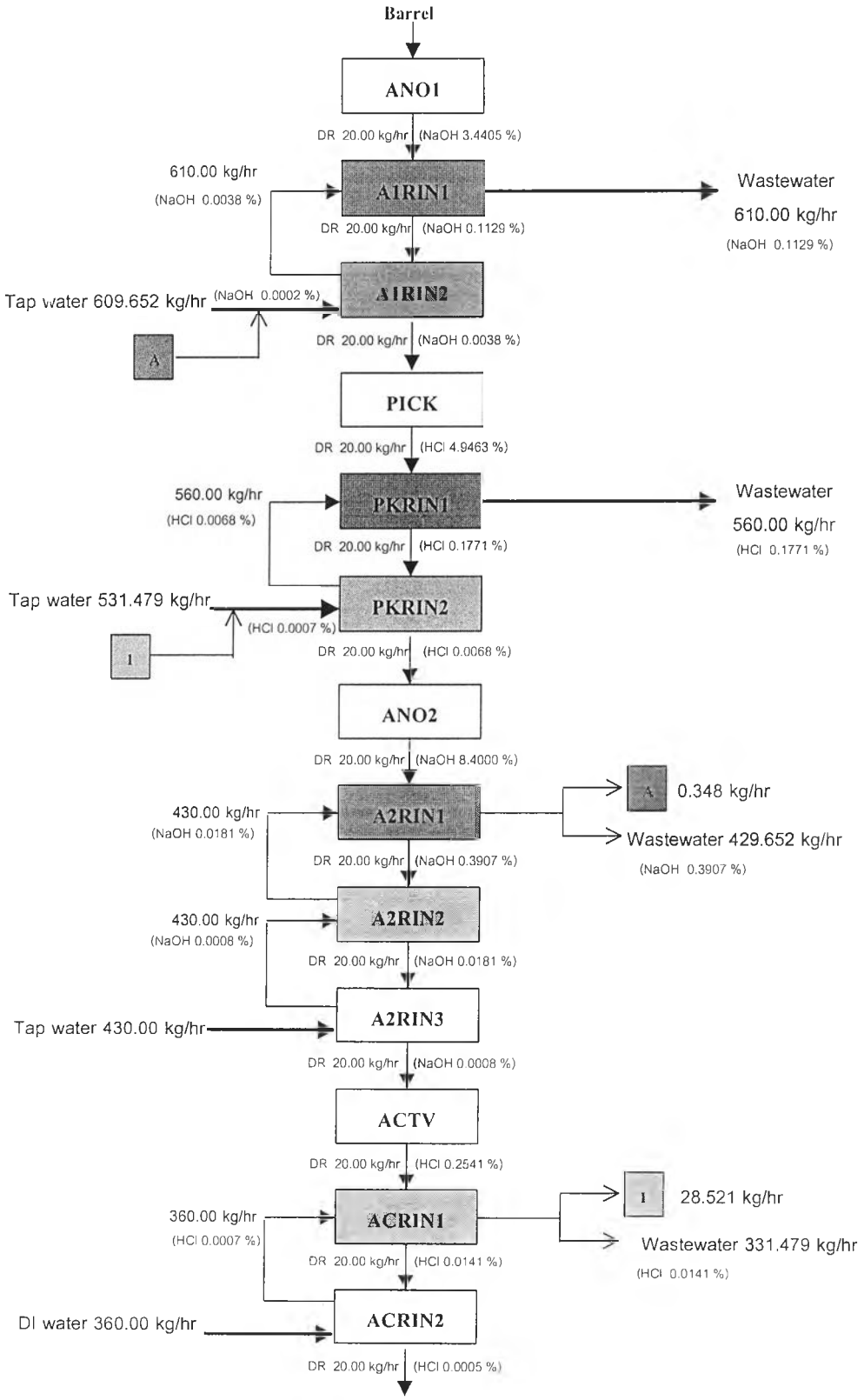
รูป 5.27 ผลออปติไมซ์และรูปแบบการนำน้ำล้างด่างกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 4 โดย MINOS5, CONOPT และ CONOPT2



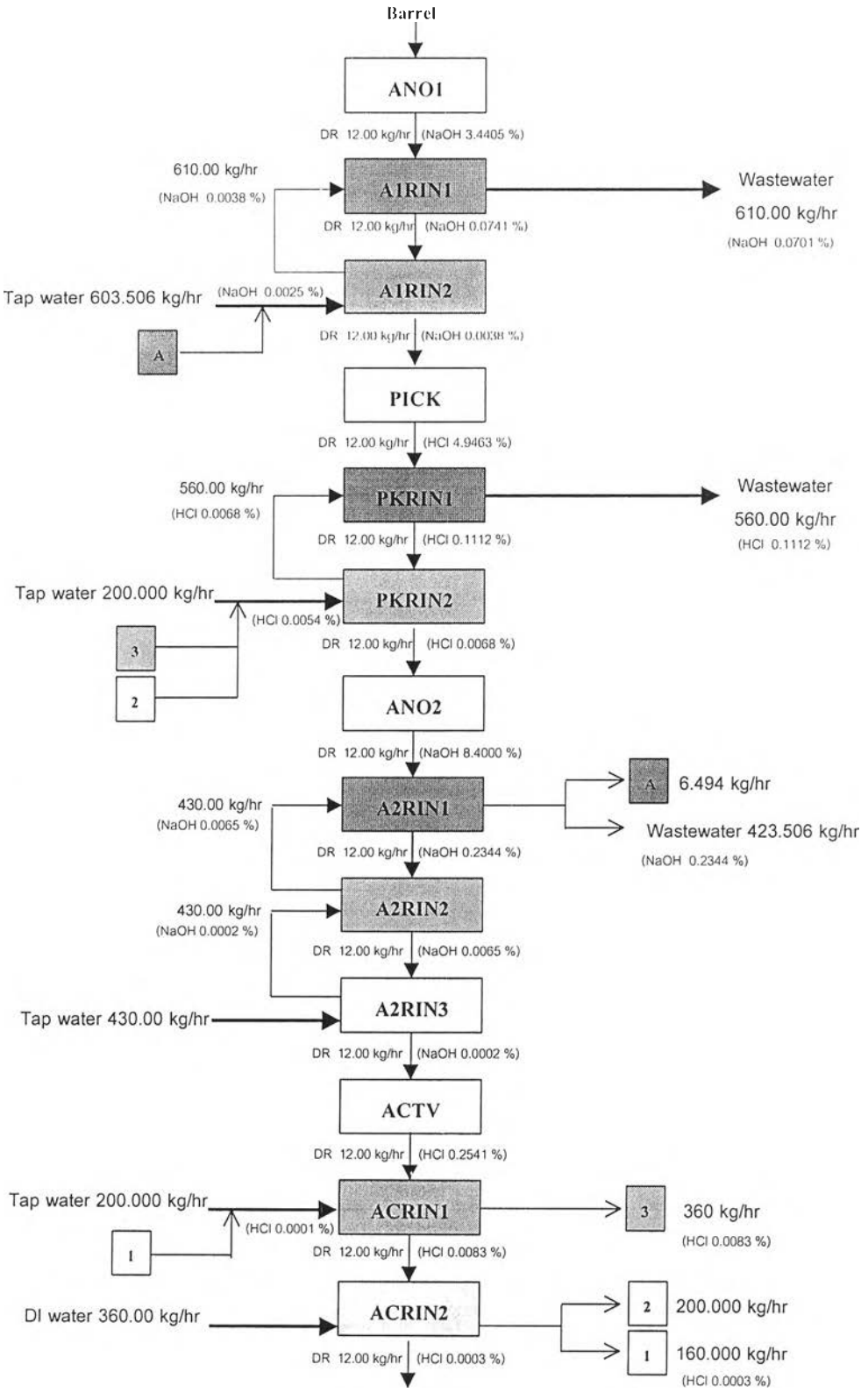
รูป 5.28 ผลออปติไมซ์และรูปแบบการนำน้ำล้างกรดกลับมาใช้ในกรณีศึกษาที่ 4 โดย MINOS5, CONOPT และ CONOPT2



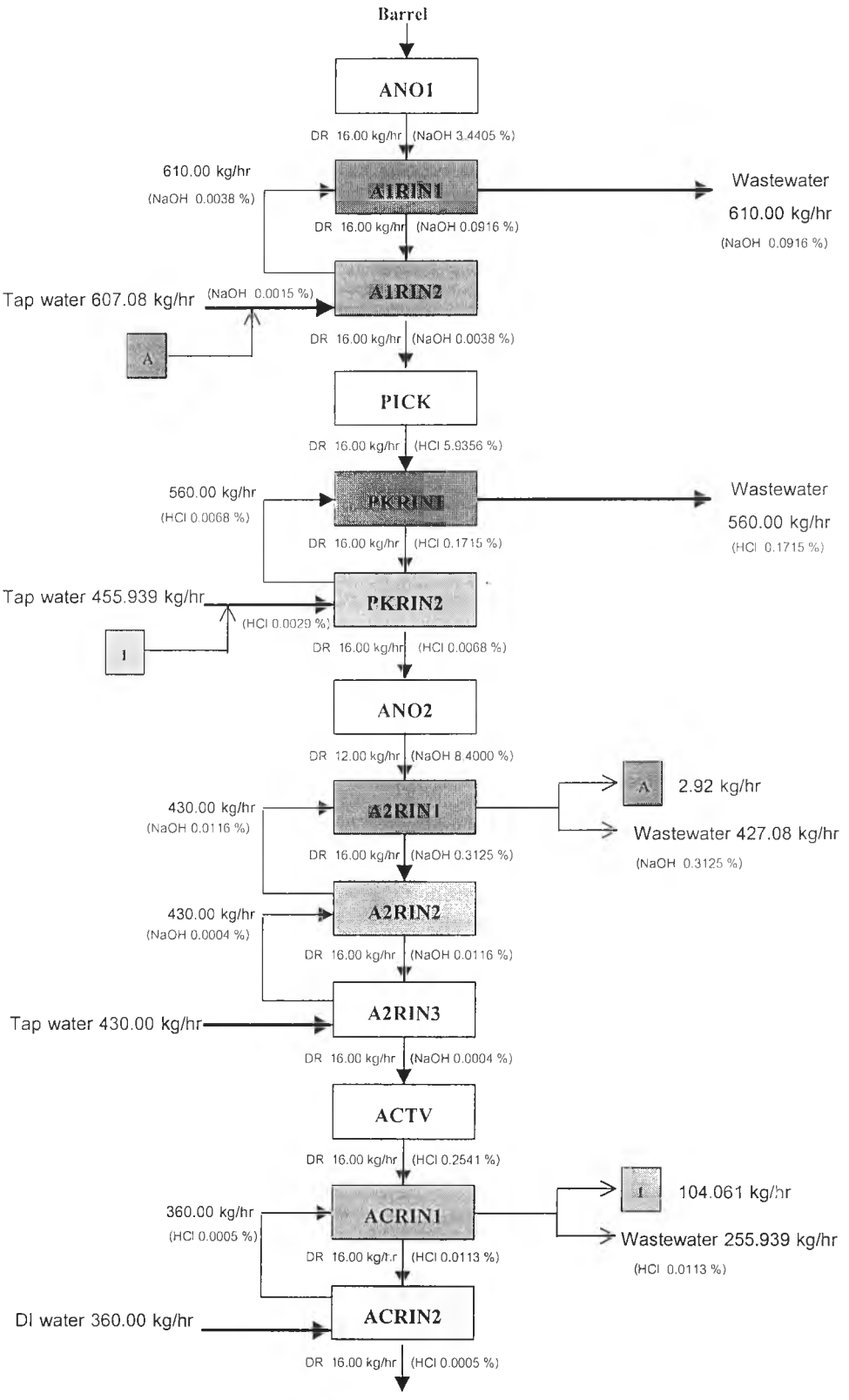
รูป 5.29 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 4) โดย MINOS5, CONOPT และ CONOPT2



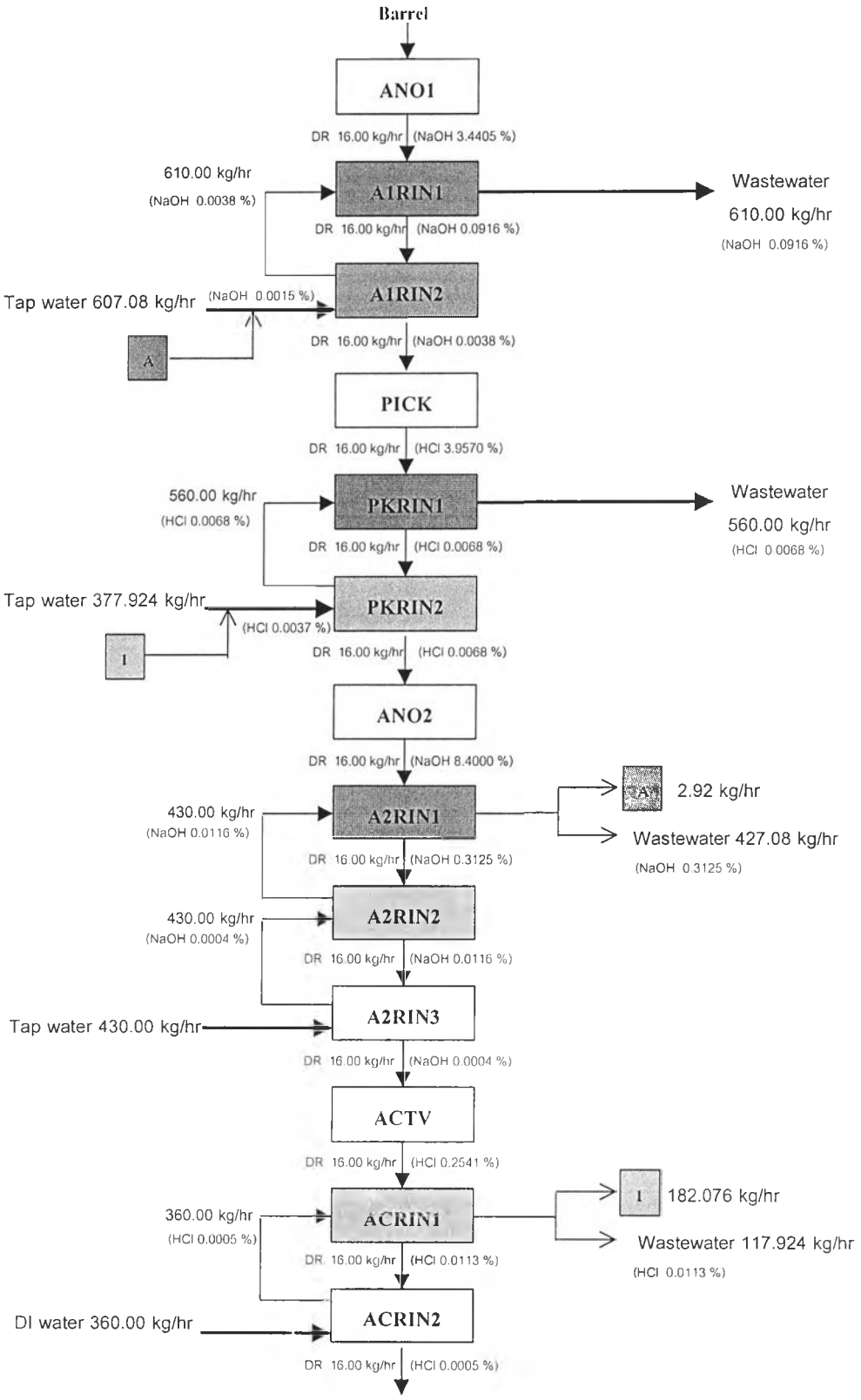
รูป 5.30 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 4-1)



รูป 5.31 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 4-2)



รูป 5.32 โฟลวซีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 4-3)



รูป 5.33 โฟลวชีทของกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงานหลังปรับปรุง (กรณีศึกษาที่ 4-4)

5.4.5 วิจารณ์ผลการออปติไมซ์แบบจำลอง

5.4.5.1 การออปติไมซ์แบบจำลองภายใต้ข้อจำกัดของกระบวนการที่แตกต่างกัน

ผลการออปติไมซ์กระบวนการล้างน้ำในขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงานในแต่ละกรณีศึกษา ซึ่งมีข้อจำกัดของกระบวนการที่แตกต่างกัน สรุปผลได้ดังตารางที่ 5.16 และ 5.17

ตารางที่ 5.16 เปรียบเทียบผลการออปติไมซ์ของกระบวนการล้างน้ำ (บ่อน้ำล้างด่าง)

กรณี	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก)	
			$XDRO_{A1RIN2}$	$XDRO_{A2RIN3}$
1) ปัจจุบัน	1040.000	1.894	0.000023	0.000004
2) กรณีศึกษาที่ 1	610.000	1.859	0.002225	0.000004
3) กรณีศึกษาที่ 2	538.818	1.894	0.000038	0.000009
4) กรณีศึกษาที่ 3	780.229	1.894	0.000038	0.000009
5) กรณีศึกษาที่ 4	1037.080	1.894	0.000038	0.000004

ตารางที่ 5.17 เปรียบเทียบผลการออปติไมซ์ของกระบวนการล้างน้ำ (บ่อน้ำล้างกรด)

กรณี	TFW (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	LOAD (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (น้ำหนัก/น้ำหนัก)	
			$XDRO_{PKRIN2}$	$XDRO_{ACRIN2}$
1) ปัจจุบัน	920.000	0.831	0.000039	0.000005
2) กรณีศึกษาที่ 1	560.000	0.829	0.000112	0.000005
3) กรณีศึกษาที่ 2	453.734	0.831	0.000068	0.000008
4) กรณีศึกษาที่ 3	559.998	0.831	0.000068	0.000008
5) กรณีศึกษาที่ 4	776.931	0.831	0.000068	0.000005

ตารางที่ 5.18 เปรียบเทียบผลการประหยัดน้ำใหม่ในภาพรวมทั้งกระบวนการเตรียมผิวชิ้นงาน

กรณี	ปริมาณการใช้น้ำใหม่ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	คิดเป็นปริมาณการใช้น้ำที่ลดลงได้ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	% การลดลงเทียบกับค่าปัจจุบัน
1) ปัจจุบัน	1960.000	-	-
2) กรณีศึกษาที่ 1	1170.000	790.000	40.306
3) กรณีศึกษาที่ 2	992.552	967.448	49.360
4) กรณีศึกษาที่ 3	1340.227	619.773	31.621
5) กรณีศึกษาที่ 4	1814.011	145.989	7.448

ผลการออปติไมซ์แบบจำลองโครงข่ายการจัดการน้ำและน้ำเสีย โดยเลือกศึกษาเป็นกรณีศึกษาที่ 1 – 4 เพื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการใช้น้ำปัจจุบัน สรุปได้ว่า

<u>กรณีศึกษาที่ 1</u>

ผลการออปติไมซ์พบว่ากระบวนการสามารถนำน้ำล้างด่างกลับมาใช้ได้ปริมาณ 430 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยมีรูปแบบการนำกลับมาใช้ได้ถึง 3 รูปแบบ (ดังรูป 5.9–5.11) และนำล้างกรดกลับมาใช้ได้ปริมาณ 360 กิโลกรัม/ชั่วโมง มีรูปแบบการนำกับมาใช้ 2 รูปแบบ (ดังรูป 5.12-5.13) รวมแล้วสามารถลดปริมาณการใช้น้ำใหม่ในกระบวนการลงได้ 790 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ลดลงได้ร้อยละ 40 ของปริมาณการใช้น้ำปัจจุบัน) หรือคิดประมาณเป็นปริมาณน้ำที่ประหยัดได้เท่ากับ 3,182 ลบ.ม./ปี (คิดที่ 4,028 ชั่วโมงทำงาน/ปี)

เส้นทางการนำน้ำกลับไปใช้จะเป็นไปตามข้อจำกัดที่วางไว้ คือจะมีการนำน้ำกลับไปใช้เฉพาะจากบ่อที่อยู่ด้านหลังของกระบวนการไปใช้ในบ่อน้ำล้างที่อยู่ด้านหน้า แต่จากผลดังตารางที่ 5.16 และ 5.17 เห็นได้ว่ารูปแบบที่ได้นี้อาจไม่เหมาะกับการใช้งานจริง เนื่องจากค่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และค่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ออกจากบ่อ "A1RIN2" และบ่อ "PKRIN2" มีค่าเท่ากับ 0.002225 และ 0.000115 น้ำหนัก/น้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งสูงเกินกว่าค่าเกณฑ์ที่โรงงานจะยอมรับได้ นั่นหมายถึงว่าแดรก-เอาท์ที่ติดออกไปกับชิ้นงานจะส่งผลให้บ่อสารเคมีที่อยู่ถัดไปเสื่อมสภาพเร็วกว่าปกติ

กรณีศึกษาที่ 2

ผลการออปติไมซ์พบว่ากระบวนการสามารถนำน้ำล้างด่างกลับมาใช้ได้ปริมาณ 501.182 กิโลกรัม/ชั่วโมง และนำล้างกรดกลับมาใช้ได้ปริมาณ 466.266 กิโลกรัม/ชั่วโมง รวมแล้วสามารถลดปริมาณการใช้น้ำใหม่ในกระบวนการลงได้ 967.448 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ลดลงได้ร้อยละ 49 ของปริมาณการใช้น้ำปัจจุบัน) หรือคิดประมาณได้ 3,897 ลบ.ม./ปี

การออปติไมซ์ดังกรณีศึกษาที่ 2 นี้ได้มีการควบคุมความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริกที่ออกจากบ่อ "A1RIN2" และบ่อ "PKRIN2" ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ควบคุมแล้วแต่จากรูปแบบการนำกลับมาใช้ (รูป 5.17-5.19) ซึ่งจากเส้นทางของการนำน้ำกลับไปใช้จะพบว่ามีความซับซ้อนมาก รวมถึงการนำน้ำกลับไปใช้นี้มีความเสี่ยงในเรื่องของไขมันที่ถูกกำจัดออกไปในช่วงแรกจะกลับเข้าไปปนเปื้อนในกระบวนการอื่นอีก เพราะจะมีการนำน้ำจากบ่อน้ำล้างช่วงแรก เช่น บ่อ "A1RIN1" หรือ "A1RIN2" กลับไปใช้ในบ่อน้ำล้างช่วงหลัง เช่น "A2RIN1" และ "A2RIN3" จากอุปสรรคเหล่านี้จึงไม่ค่อยเหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริง

กรณีศึกษาที่ 3

ผลการออปติไมซ์พบว่ากระบวนการสามารถนำน้ำล้างด่างกลับมาใช้ได้ปริมาณ 259.771 กิโลกรัม/ชั่วโมง และนำล้างกรดกลับมาใช้ได้ปริมาณ 360.002 กิโลกรัม/ชั่วโมง รวมแล้วสามารถลดปริมาณการใช้น้ำใหม่ในกระบวนการลงได้ 619.773 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ลดลงได้ร้อยละ 32 ของปริมาณการใช้น้ำปัจจุบัน) หรือประมาณ 2,496 ลบ.ม./ปี

การออปติไมซ์ดังกรณีศึกษาที่ 3 (รูป 5.20-5.22) มีการข้อจำกัดเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 2 แต่มีการควบคุมเพิ่มเติมโดยไม่ให้มีการนำน้ำล้างจากบ่อน้ำล้างด่างชุดแรก และบ่อน้ำล้างกรดชุดแรกกลับมาใช้ในกระบวนการที่อยู่ภายหลัง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนไขมันและสิ่งสกปรกอื่น ๆ ซึ่งจากเส้นทางการหมุนเวียนน้ำที่ได้รับพบว่าการหมุนเวียนน้ำส่วนใหญ่จะเป็นการนำน้ำจากบ่อเดิมไปทำการเจือจางและหมุนกลับเข้ากระบวนการเดิม แต่จากรูปแบบการหมุนเวียนน้ำก็ยังคงมีความซับซ้อนของระบบค่อนข้างมาก

<u>กรณีศึกษาที่ 4</u>

ผลการออปติไมซ์พบว่ากระบวนการสามารถนำน้ำล้างด่างกลับมาใช้ได้ปริมาณ 2.920 กิโลกรัม/ชั่วโมง และนำล้างกรดกลับมาใช้ได้ปริมาณ 143.069 กิโลกรัม/ชั่วโมง รวมแล้วสามารถลดปริมาณการใช้น้ำใหม่ในกระบวนการลงได้ 145.989 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ลดลงได้ร้อยละ 7.45 ของปริมาณการใช้น้ำปัจจุบัน) หรือประมาณ 588 ลบ.ม./ปี

การออปติไมซ์ดังกรณีศึกษาที่ 4 (รูป 5.23-5.25) แม้ว่าจะสามารถลดปริมาณการใช้น้ำใหม่ลงได้เพียงร้อยละ 7.45 ซึ่งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาอื่น ๆ แต่รูปแบบการนำน้ำกลับไปใช้ของกรณีศึกษาที่ 4 นี้เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดทำให้ค่าใช้จ่ายในการนำไปปรับปรุงต่ำสุด รวมถึงจะส่งผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด เนื่องจากจะไม่มีการนำน้ำล้างจากบ่อที่อยู่ด้านหน้ากลับเข้าไปใช้กับบ่อที่อยู่ด้านหลังเลย ดังนั้นจึงไม่เกิดปัญหาเรื่องความปนเปื้อนไขมันหรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ จึงมีความเหมาะสมอย่างมากกับการนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิต

อย่างไรก็ตามผลออปติไมซ์ทั้งหมดนี้ทำให้ทราบถึงรูปแบบเส้นทางและปริมาณการหมุนเวียนน้ำในกระบวนการล้างน้ำของโรงงานภายใต้สภาวะขอบเขตต่าง ๆ ว่ารูปแบบใดที่จะทำให้เกิดปริมาณการใช้น้ำได้มีประสิทธิภาพที่สุด ทำให้โรงงานสามารถทราบรูปแบบและคัดเลือกหาแนวทางหมุนเวียนน้ำกลับไปใช้ภายใต้ข้อจำกัดในการปฏิบัติจริงของโรงงานได้ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาหาความเป็นไปได้ทางการเงินยังเป็นสิ่งที่ทางโรงงานต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

5.4.5.2 การออปติไมซ์แบบจำลองเมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลง

จากผลการออปติไมซ์ข้างต้นเป็นการออปติไมซ์จากข้อมูลของกระบวนการผลิตจริงภายใต้สภาวะคงตัว เพื่อหาแนวทางหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ให้มากที่สุด แต่ในปัจจุบันแนวทางในการจัดการน้ำและน้ำเสียของกระบวนการล้างน้ำตามหลักการป้องกันมลพิษประกอบด้วยหลายเทคนิค (U.S.EPA, 1995) ดังเช่น การลดปริมาณแดรก-เอาท์ การติดตั้งตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำล้างตามความเข้มข้น ซึ่งเทคนิคเหล่านี้จัดเป็นเทคนิคที่แก้ปัญหาที่ต้นเหตุอย่างแท้จริง และมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับโรงงานที่ควรเลือกปฏิบัติเป็นอันดับแรกตามหลักการป้องกันมลพิษ จากนั้นเทคนิคของการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ด้วยรูปแบบต่าง ๆ จึงเป็นเทคนิคอันดับรองลงมาที่ควรปฏิบัติต่อเนื่องกันเพื่อให้กระบวนการมีประสิทธิภาพในการหมุนเวียนน้ำสูงสุด

งานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบและทำออปติไมซ์กระบวนการเมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยนไป อันจะช่วยให้ทราบถึงผลที่เปลี่ยนไปในการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ หากโรงงานได้ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีการอื่น ๆ ก่อน ซึ่งการทดสอบประกอบด้วยกรณีดังต่อไปนี้

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

<u>กรณีแดรก-อินเปลี่ยนแปลง</u>

กรณีแดรก-อินเพิ่มขึ้น แสดงถึงว่าปริมาณสิ่งเจือปนที่เข้ามาสู่กระบวนการล้างน้ำมีมากขึ้น อันจะมีผลทำให้กระบวนการล้างน้ำจะมีการใช้น้ำดีเข้าสู่กระบวนการมากขึ้นเพื่อให้สามารถกำจัดสิ่งเจือปนที่เข้ามาสู่กระบวนการได้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ อันมีผลให้ความเข้มข้นของสิ่งเจือปนที่ออกจากกระบวนการสายของกระบวน ดังผลกรณีศึกษาที่ 3-1 และ4-1 (ดังรูป 5.23 และ 5.30) ซึ่งเห็นได้ว่าเส้นทางการหมุนเวียนน้ำยังคงเป็นรูปแบบเดิมแต่ปริมาณการหมุนเวียนน้ำได้จะน้อยลง

กรณีแดรก-อินลดลง (กรณีที่ 3-2 และ 4-2) แสดงถึงว่าปริมาณสิ่งเจือปนที่เข้าสู่กระบวนการล้างน้ำน้อยลง ซึ่งกรณีดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นเมื่อโรงงานมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การเพิ่มระยะเวลาการหยด (Dripping Time) เป็นต้น จากผลที่ได้จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบเส้นทางการนำน้ำกลับไปใช้เหมือนเดิม แต่การนำน้ำกลับไปใช้สามารถนำกลับไปใช้ได้มากขึ้นเนื่องจากสิ่งเจือปนในน้ำมีน้อยลง (ดังรูป 5.24 และ 5.31)

<u>กรณีความเข้มข้นของสารเคมีเปลี่ยนแปลง</u>

กรณีความเข้มข้นของสารเคมีเพิ่มขึ้น จะมีความหมายคล้ายคลึงกับกรณีแดรก-อินเพิ่มขึ้น นั้นคือแสดงว่าปริมาณสิ่งเจือปนที่เข้ามาสู่กระบวนการล้างน้ำมีมากขึ้น อันจะมีผลทำให้กระบวนการล้างน้ำต้องใช้น้ำดีมากขึ้นเพื่อให้สามารถกำจัดสิ่งเจือปนที่เข้ามาให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ อันมีผลให้ความเข้มข้นของสิ่งเจือปนที่ออกจากกระบวนการสายของกระบวน ดังผลกรณีศึกษาที่ 3-3 และ4-3 (ดังรูป 5.25 และ 5.32) ซึ่งเห็นได้ว่าในชุดของน้ำล้างกรดซึ่งมีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงจะ

ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการหมุนเวียนน้ำ แต่ปริมาณในการหมุนเวียนน้ำได้จะน้อยลง ขณะที่ในส่วนของชุดของน้ำล้างด่างจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เพราะพารามิเตอร์ไม่ได้ถูกปรับให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

กรณีความเข้มข้นของสารเคมีลดลง (กรณีที่ 3-4 และ 4-4) แสดงถึงว่าปริมาณสิ่งเจือปนที่เข้าสู่กระบวนการล้างน้ำน้อยลง ซึ่งผลที่ได้จะมีรูปแบบเส้นทางการนำน้ำกลับไปใช้เหมือนเดิม แต่การนำน้ำกลับไปใช้สามารถนำกลับไปใช้ได้มากขึ้นเนื่องจากสิ่งเจือปนในน้ำมีน้อยลง (ดังรูป 5.26 และ 5.33)

สรุปผลที่ได้ภายใต้ขอบเขตของกรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4 พบว่า เส้นทางของการหมุนเวียนน้ำจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อพารามิเตอร์เปลี่ยนไป แต่ที่เปลี่ยนแปลงเป็นเพียงปริมาณการหมุนเวียนน้ำที่นำกลับมาใช้ได้ซึ่งจะลดลงเมื่อกระบวนการมีค่าแดรก-อิน หรือมีค่าความเข้มข้นของบ่อสารเคมี เช่น ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกในบ่อ "PICK" มีค่าสูงขึ้น แต่กระบวนการจะสามารถหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ได้มากขึ้นหากปริมาณแดรก-อิน หรือความเข้มข้นของสารเคมีในบ่อเคมีมีค่าลดลง

5.4.5.3 ผลการออปติไมซ์ด้วยโปรแกรมแกมส์

ผลการออปติไมซ์กระบวนการล้างน้ำที่ได้ทั้งหมดนี้ เป็นการออปติไมซ์โปรแกรมแบบไม่เชิงเส้นตรง ซึ่งคทำให้ผลออปติไมซ์ที่ได้ทั้งหมดนี้เป็นเพียงค่าที่ดีที่สุดเฉพาะจุดเท่านั้น (Local optimum) โดยยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดของทั้งภาพรวม (Global optimum) หรือไม่

สำหรับจุดอ่อนของการใช้โปรแกรมแกมส์สำหรับแก้ปัญหาแบบไม่เชิงเส้นตรงอีกอย่างหนึ่งคือ ในการคำตอบนั้นจะขึ้นกับการกำหนดค่าเริ่มต้น และเส้นทางของการคำนวณหาคำตอบ ซึ่งเส้นทางของการคำนวณหาคำตอบนี้จะเป็นลักษณะเฉพาะของเครื่องมือหาคำตอบ (Solver) แต่ละชนิดที่เราเลือกใช้ ดังนั้นในบางครั้งการเลือกใช้เครื่องมือหาคำตอบ เช่น MINOS5, CONOPT หรือ CONOPT2 จะพบว่าได้ว่าเครื่องมือหาคำตอบบางชนิดอาจไม่สามารถหาคำตอบได้ แต่หากใช้เครื่องมือหาคำตอบอีกชนิดหนึ่งจะสามารถหาคำตอบได้ ดังกรณีศึกษาที่ 2 และ 3

จากการทำออปติไมซ์แบบจำลองของกระบวนการล้างน้ำ พบว่าเครื่องมือหาคำตอบ CONOPT และCONOPT2 ซึ่งมีอัลกอริทึมเป็นแบบ Generalized Reduced Gradient (GRG) สามารถใช้หาคำตอบของโปรแกรมแบบไม่เชิงเส้นตรงกับแบบจำลองที่ทำการศึกษานี้ได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับเครื่องมือหาคำตอบ MINOS5 ซึ่งในการแก้ปัญหาโปรแกรมแบบไม่เชิงเส้นตรงจะใช้วิธีการ Successive linear programming (SLP)