

บทที่ 4

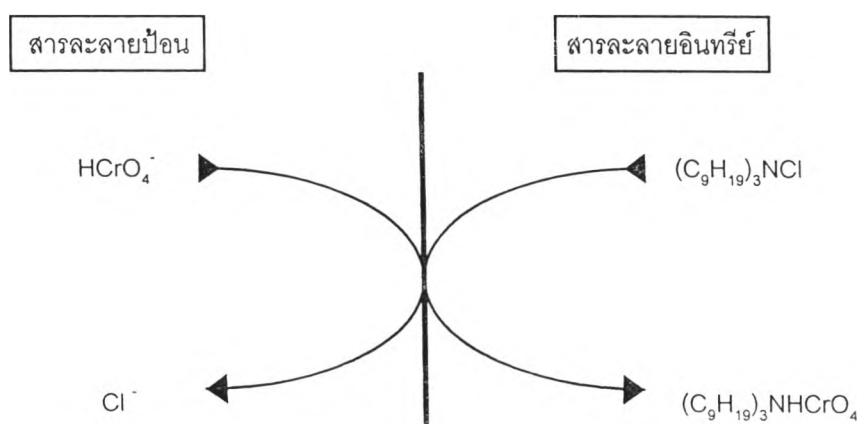
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล



4.1 ผลของความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อน

4.1.1 การสกัดและการนำกลับในการทดลองแบบกะ

ลักษณะกลไกการเกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนของโครเมียม ในกระบวนการการสกัด โดยใช้ อะลิควอตซึ่งอยู่ในรูปเกลือคลอไรด์ เป็นสารสกัด แสดงได้ดังนี้



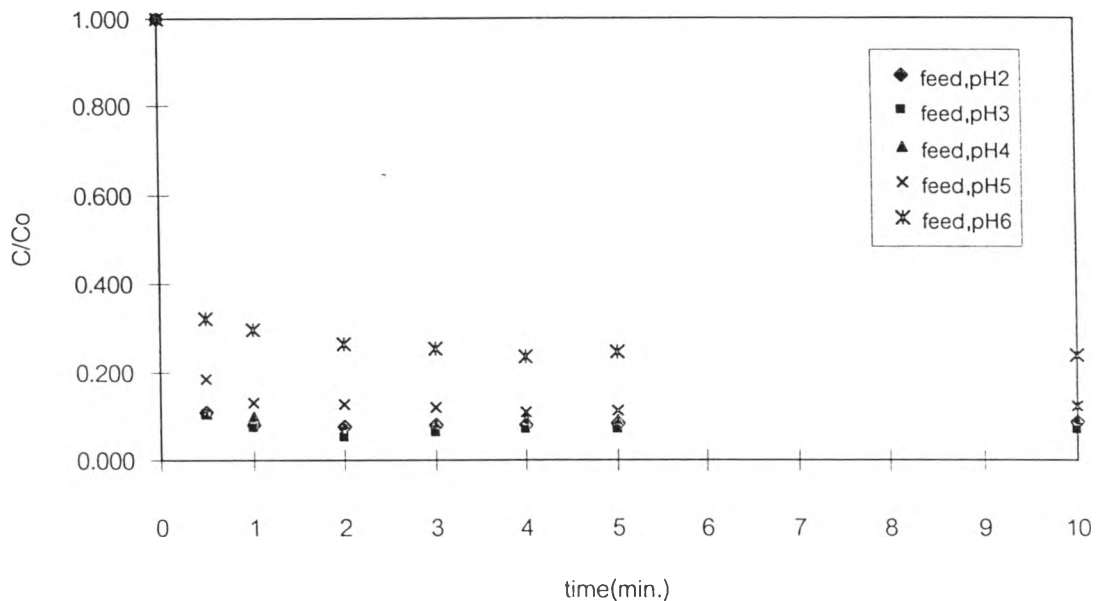
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการการสกัดโครเมตด้วยอะลิควอตในการทดลองแบบกะ

ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง ที่ทำการทดลองนั้น โครเมตในสารละลายป้อนจะปรากฏอยู่ในรูปของ HCrO_4^- จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยาการสกัด โดยโครเมตจะเคลื่อนที่จากสารละลายป้อนผ่านไปยังอินเทอร์เฟซระหว่างสารละลายป้อนกับสารละลายอินทรีย์ จากนั้นจึงเกิดปฏิกิริยากับอะลิควอตในสารละลายอินทรีย์มีการแลกเปลี่ยนไอออนกับคลอไรด์ไอออน ได้สารประกอบเชิงซ้อนของโครเมต-อะลิควอต ซึ่งละลายอยู่ในเฟสของสารละลายอินทรีย์ ปฏิกิริยาเกิดจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ค่าคงที่สมดุล (K_{eq}) สามารถอธิบายได้โดย

$$K_{eq} = \frac{[(C_9H_{19})_3NHCrO_4][Cl^-]}{[HCrO_4^-][(C_9H_{19})_3NCl]} \quad (4.1)$$

ค่าคงที่สมดุลสามารถอธิบายได้ถึงความสามารถของการเกิดปฏิกิริยา เมื่อค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยามีค่ามาก ปฏิกิริยาจะเกิดมาก หรือมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมาก

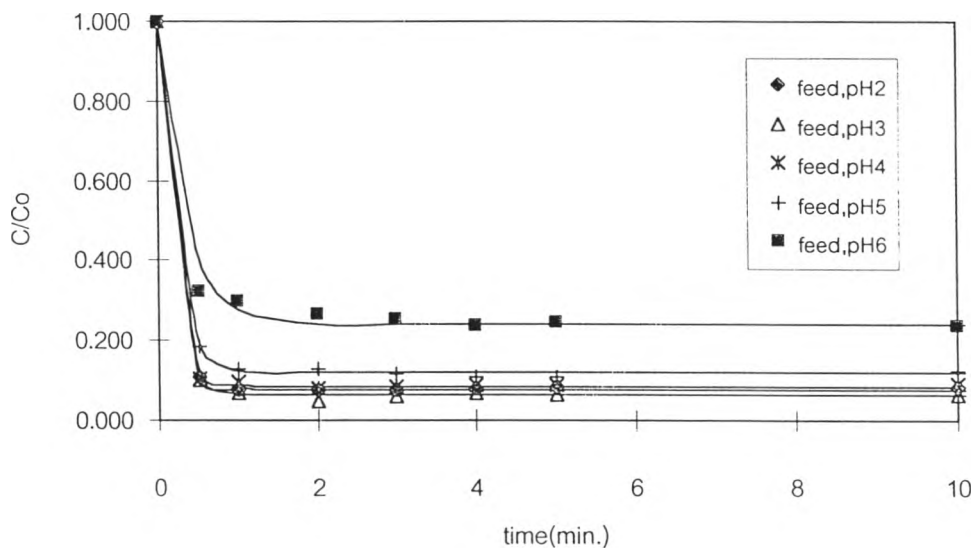
ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดคือ ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อน เพราะค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายระหว่าง 2-6 ซึ่งโครเมตยังอยู่ในรูปของ $HCrO_4^-$ การทดลองในขั้นตอนแรกจึงเป็นการทดลองที่แสดงถึงผลของค่าความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนที่มีผลต่อการสกัด รูปที่ 4.2 แสดงสัดส่วนความเข้มข้นของโครเมตที่เหลืออยู่ในสารละลายป้อนที่เวลา และค่าความเป็นกรด-ด่างที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนโครเมตที่เหลืออยู่ในสารละลายป้อน กับเวลาในการสกัด ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนเริ่มต้นอยู่ในช่วง 2-6 ความเข้มข้นของโครเมตในสารละลายป้อน 100 ส่วนในล้านส่วน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายอินทรีย์คือ เครอซีน มีอะลิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร อัตราการกวนเป็น 1,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิห้อง

จากกราฟรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าลักษณะสัดส่วนโครเมตลดลงอย่างรวดเร็วมาก ในช่วงเวลาไม่ถึงครึ่งนาที สัดส่วนโครเมตจะหายไปจากสารละลายป้อนมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ที่ทุก ๆ ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย หลังจากนั้นสัดส่วนโครเมตจะลดลงอีกเล็กน้อยโดยแทบจะไม่มีกร

เปลี่ยนแปลง และเข้าสู่ค่าคงที่โดยใช้เวลาประมาณ 2 นาที ซึ่งหมายถึงว่าปฏิกิริยาได้เข้าสู่สมดุลแล้ว เมื่อพิจารณาสัดส่วนของโครเมตที่เหลือในสารละลายป้อน ในสภาพที่พิจารณาว่าปฏิกิริยาการสกัดได้เข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว จะเห็นว่าที่ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนช่วง 2-4 ให้ผลการสกัดมากกว่าที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนเป็น 5 และ 6 เพราะค่าสัดส่วนโครเมตที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุลน้อยกว่า โดยมีค่าอยู่ประมาณ 7-9 เปอร์เซ็นต์ ความสัมพันธ์ของสัดส่วนโครเมตที่เหลือในสารละลายป้อนกับเวลา และความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนที่แสดงในรูปแบบที่ 4.2 สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนโครเมตกับเวลาจากการทดลอง (จุด) และจากการคำนวณ (เส้น)

$$C/C_0 = \left(1 - (C/C_0)_{eq} e^{\left[\left(1 - \frac{[H_3O^+]_t}{[H_3O^+]_{int}} \right) k_0 \right]} \right) + (C/C_0)_{eq} \quad (4.2)$$

เมื่อ $[H_3O^+]_t$ เป็นความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนในสารละลายป้อนที่เหลืออยู่ที่เวลา t โดย

t คือเวลา

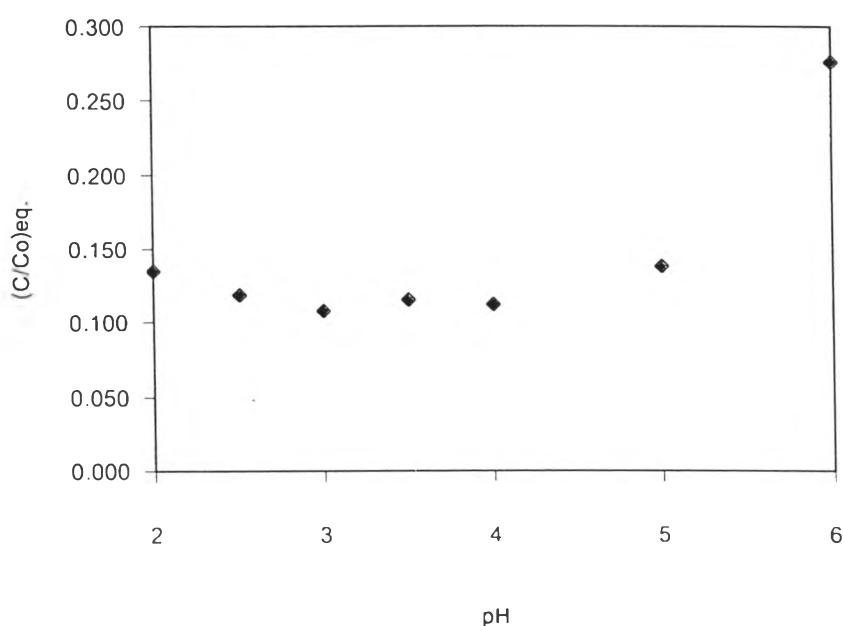
k_0 เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของสารละลายป้อน

$(C/C_0)_{eq}$ เป็นสัดส่วนความเข้มข้นที่ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลแล้ว

สมการ 4.2 แสดงให้เห็นถึงผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน และเวลาที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนโครเมต จากข้อมูลการทดลอง พบว่าที่เวลาต่าง ๆ ความ

เข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนมีค่าลดลงไป เพราะโครเมตถูกแทนที่ด้วยคลอไรด์ โดยความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนลดลงอย่างมากในช่วงแรก ๆ จึงทำให้สัดส่วนโครเมตที่เหลืออยู่ลดลงอย่างมากตามไปด้วย แต่เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนก็เริ่มคงที่ ทำให้สัดส่วนโครเมตที่เหลืออยู่ลดลงเพียงเล็กน้อยจนแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เมื่อพิจารณาสัดส่วนโครเมตที่เหลืออยู่ในสารละลายป้อนหลังจากปฏิกิริยาอยู่ในสภาวะสมดุลพบว่าที่แต่ละความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อน สัดส่วนโครเมตมีค่าแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 4.4



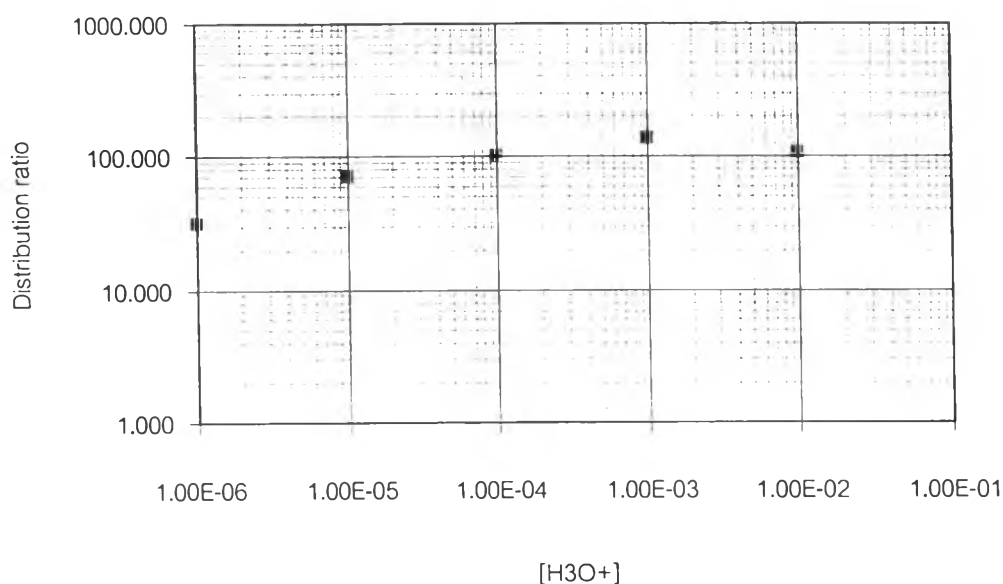
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าสัดส่วนโครเมตที่เหลือในสารละลายป้อน หลังจากปฏิกิริยาการสกัดเข้าสู่สมดุลเทียบกับความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนในช่วง 2-6

สัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนที่มีความเป็นกรด-ด่างเป็น 6 ที่สภาวะสมดุล มีเหลืออยู่มากที่สุด แสดงว่ามีปริมาณการสกัดต่ำที่สุดด้วย แนวโน้มที่พบอย่างชัดเจนคือ เมื่อความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนลดลง สัดส่วนโครเมตที่สภาวะสมดุลก็ลดลงตาม โดยช่วงที่สารละลายป้อนมีความเป็นกรด-ด่าง เป็น 3 มีสัดส่วนโครเมตเหลืออยู่น้อยที่สุด แต่ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง เป็น 2 สัดส่วนโครเมตที่เหลือมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ความสามารถในการสกัดสามารถบ่งชี้ได้จากค่าของการกระจาย (Distribution ratio, D) โดยพิจารณาจากความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่อยู่ในเฟสของสารละลายอินทรีย์ เทียบกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่อยู่ในเฟสของสารละลายป้อนเมื่อระบบอยู่

ในสภาวะสมดุล ได้ถูกนำมาใช้เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนเริ่มต้นในสารละลายป้อน ค่าสัดส่วนการกระจายของโครเมตแสดงได้ดังนี้

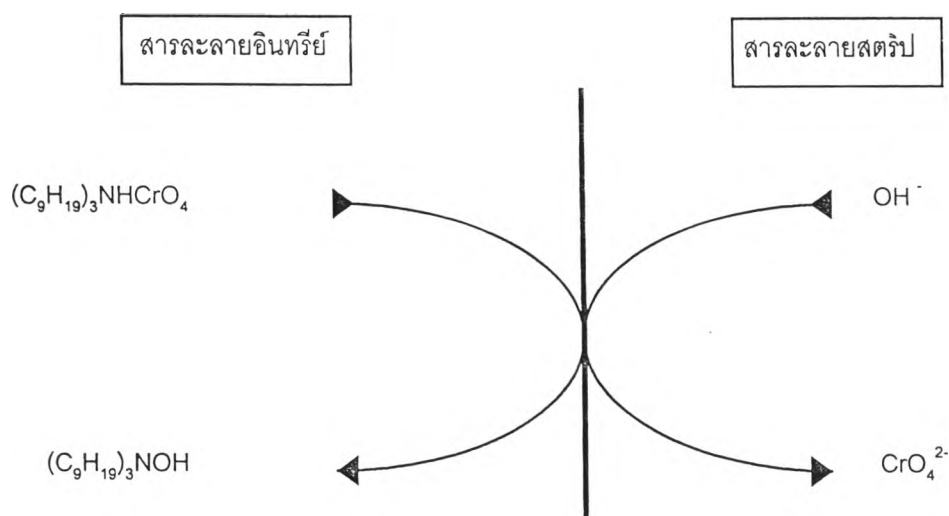
$$D = \frac{[HCrO_4^-]_{i,eq}}{[HCrO_4^-]_{ii,eq}} \quad (4.3)$$

โดยตัวห้อย i แสดงถึงเฟสของสารละลายป้อน และตัวห้อย ii แสดงถึงเฟสของสารละลายอินทรีย์ สำหรับโครเมตในเฟสของสารละลายอินทรีย์นั้น ก็คือสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมต-อะลิควอต เมื่อนำค่าสัดส่วนการกระจายนี้มาเปรียบเทียบกับค่าความเป็นกรด-ด่างดังแสดงในรูปที่ 4.5 จะเห็นว่า สัดส่วนการกระจายมีค่าสูงสุดเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนมีค่าเป็น 3



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าสัดส่วนการกระจายที่สภาวะสมดุล เทียบกับความเข้มข้นไฮโดรเนียมไอออนของสารละลายป้อนเริ่มต้นในปฏิบัติการสกัด

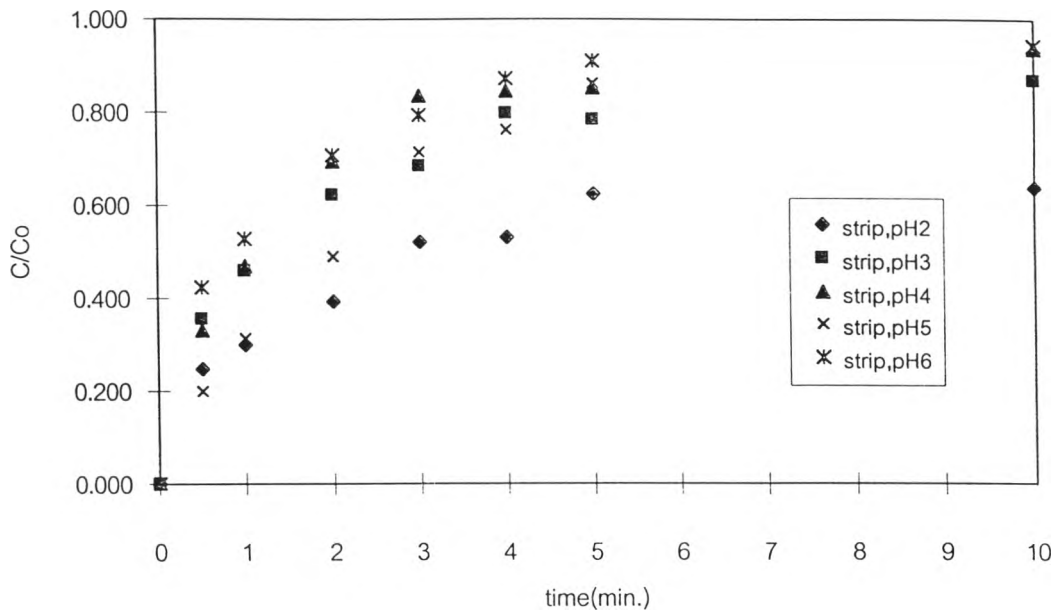
สำหรับในกระบวนการการสกัดที่นั้น การถ่ายโอนของโครเมตที่เกิดขึ้นเริ่มจากโครเมตที่อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมต-อะลิควอต ถูกสกัดโดยเกิดปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ (OH⁻) ซึ่งทำหน้าที่เป็นรีเอเจนต์ในสารละลายสกัด กลไกการเกิดปฏิกิริยาของการสกัดเป็นดังในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาการสตริปโครเมตด้วยไฮดรอกไซด์ ในกระบวนการการสตริป การทดลองเป็นแบบกะ

ไฮดรอกไซด์ในสารละลายสตริป จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมต-อะลิควอต และจะได้โครเมตกลับคืนมาอยู่ในสารละลายสตริป ในขณะที่เดียวกันก็จะได้สารสกัดกลับคืนมาอยู่ในสารละลายอินทรีย์ เนื่องจากว่าอะลิควอตในตอนเริ่มต้นอยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์ ปฏิกิริยาการสกัดที่เกิดขึ้นเป็นการแลกเปลี่ยนโลหะไอออนกับคลอไรด์ไอออน แต่ในส่วนของปฏิกิริยาการสตริป รีเอเจนต์ในสารละลายสตริปคือไฮดรอกไซด์ การแลกเปลี่ยนไอออนที่เกิดขึ้นเป็นการแลกเปลี่ยนของไฮดรอกไซด์กับโลหะไอออนแทน

สัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริปที่ความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นในสารละลายป้อนแต่ละค่าเทียบกับเวลาแสดงในรูปที่ 4.7 โดยสารละลายอินทรีย์จากส่วนของการทดลองในกระบวนการการสกัดมาทำปฏิกิริยากับสารละลายสตริป จากกราฟ พบว่าสัดส่วนความเข้มข้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และวิ่งเข้าสู่ค่าคงที่ ชุดการทดลองที่ความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของสารละลายป้อนเป็น 2 ให้ผลของอัตราการเพิ่มสัดส่วนโครเมตและผลการสตริปที่สภาวะสมดุลต่ำสุด ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนเป็น 6 ให้ผลของสัดส่วนโครเมตในสภาวะสมดุลสูงที่สุดในช่วงของชุดการทดลองนี้ เมื่อความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนมีค่าสูงขึ้น พบว่าแนวโน้มของสัดส่วนโครเมตเมื่อระบบอยู่ในสภาวะสมดุลมีค่าสูงขึ้นในระดับที่ลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง



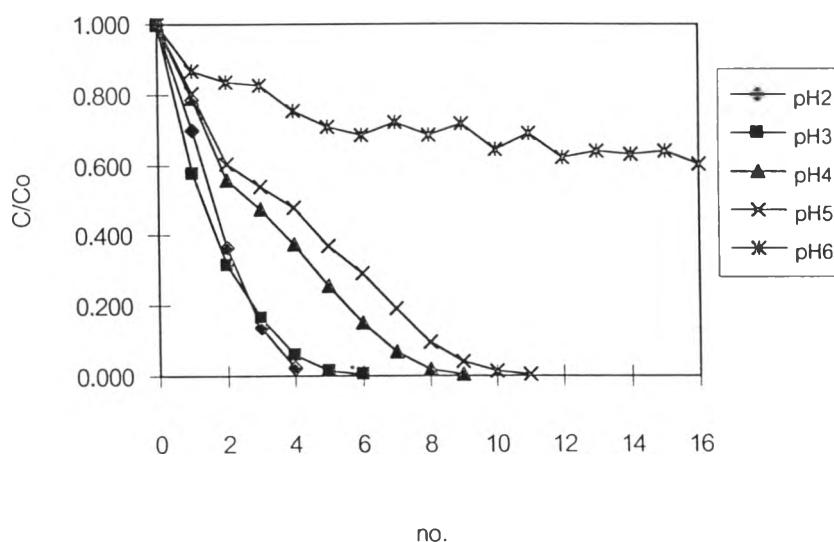
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนโครเมตที่เกิดขึ้นในสารละลายstripsเทียบกับเวลาในกระบวนการการstripsที่ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนเริ่มต้นค่าอยู่ในช่วง 2-6 สารละลายอินทรีย์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร สารละลายstripsมีความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการกวนเป็น 1,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิห้อง

เมื่อเปรียบเทียบผลของการสกัดและการstrips สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนอีกอย่างหนึ่ง คือ อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ในส่วนของการสกัดนั้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโครเมตกับอะลิควอดเกิดขึ้นรวดเร็วมากโดยใช้ระยะเวลาเพียง 1-2 นาที แต่ในส่วนของการstrips การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมต-อะลิควอดกับไฮดรอกไซด์เกิดขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป ซึ่งใช้เวลานานกว่า 5 นาที ในการเข้าสู่สมดุล

หากเมื่อมีการนำส่วนของสารสกัดและส่วนของสารstripsมารวมเข้าในหน่วยเดียวกันในระบบของเยื่อแผ่นเหลว จากผลการทดลองข้างต้น สิ่งที่จำกัดการถ่ายโอนโครเมตจากสารละลายป้อนมายังสารละลายstripsก็คือ ปฏิกิริยาในส่วนการstripsเพราะเกิดขึ้นได้ช้า พิจารณาได้จากความชันของเส้นกราฟในรูปที่ 4.7 จะมีค่าน้อยกว่าความชันของเส้นกราฟในรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นส่วนของการสกัด ความชันมากแสดงถึงปฏิกิริยาเกิดได้เร็ว ปัจจัยที่น่าจะส่งเสริมปฏิกิริยาการstripsให้เกิดได้เร็วขึ้นคือ การเพิ่มความเข้มข้นของรีเอเจนต์ในสารละลายstripsและการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดในสารละลายอินทรีย์

4.1.2 การสกัดและการนำกลับในอุปกรณ์เส้นใยกลวง

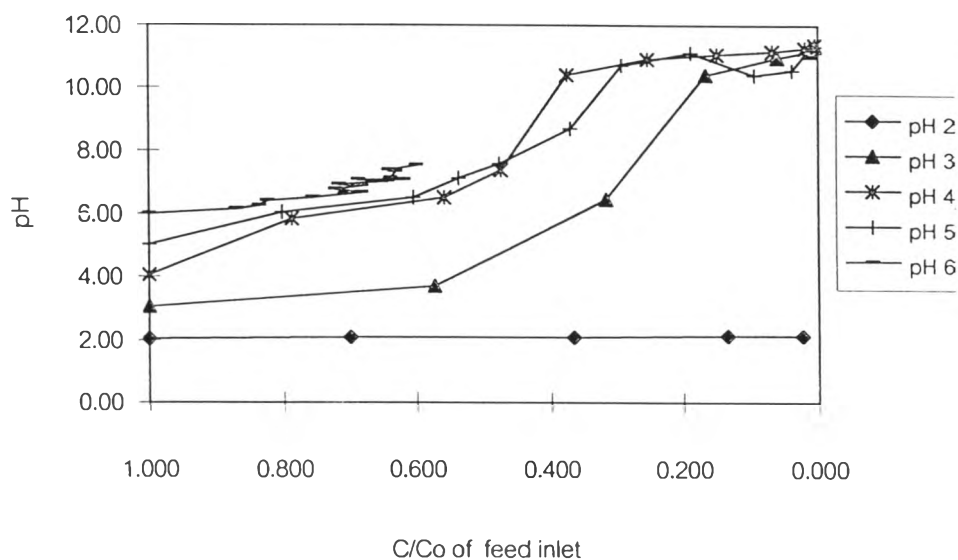
เมื่อทำการทดลองศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อการสกัดและการนำกลับ โดยใช้อุปกรณ์เส้นใยกลวง การปฏิบัติการเป็นแบบไหลผ่านเพียงครั้งเดียว ทั้งสารละลายป้อนและสารละลายสตริบมีทิศทางการไหลเป็นการไหลในทิศเดียวกันดำเนินการทดลองไปจนกว่าสารละลายป้อนแทบไม่เหลือโครเมตอยู่เลย โดยใช้การสังเกตสีของโครเมตในสารละลายเป็นตัวบ่งชี้ก่อนจะหยุดการทดลองและนำสารละลายไปวิเคราะห์ ผลที่ได้สำหรับการสกัดแสดงดังในรูปที่ 4.8 เพื่อให้ความเข้มข้นของโครเมตในสารละลายป้อนมีค่าต่ำกว่า 1 ส่วนในล้านส่วนจากสารละลายป้อนเริ่มต้นเป็น 100 ส่วนในล้านส่วน เมื่อความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนมีค่ามากขึ้นจาก 2-5 จำนวนครั้งในการผ่านสารละลายป้อนเข้าสู่ระบบเยื่อแผ่นเหลวจะมากขึ้นจาก 5-11 ครั้ง ความเข้มข้นของโครเมตในสารละลายป้อนจึงจะเหลือน้อยกว่า 1 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ สำหรับที่ความเป็นกรด-ด่าง ในสารละลายป้อนเริ่มต้นเป็น 6 จำนวนครั้งในการผ่านอุปกรณ์มากกว่า 16 ครั้ง ก็ยังไม่สามารถกำจัดโครเมตในสารละลายป้อนได้มากนัก จากกราฟรูปนี้ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงผลของความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนเมื่อมีค่าต่างกัน การสกัดโครเมตจะไม่เท่ากัน ลักษณะของการลดลงของสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนที่ความเป็นกรด-ด่างเป็น 2 และ 3 มีความใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่ช่วงความเป็นกรด-ด่างเป็น 4 และ 5 จะมีอัตราการลดลงของสัดส่วนโครเมตที่ต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ที่ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนเป็น 6 การลดลงของสัดส่วนโครเมตเกิดขึ้นได้น้อยมากเมื่อผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงในแต่ละครั้ง และมีแนวโน้มเป็นไปได้ยากในการสกัดโครเมตให้มีความเข้มข้นเหลืออยู่ในสารละลายป้อนต่ำกว่า 1 ส่วนในล้านส่วน



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนเทียบกับจำนวนครั้งในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวง ที่ความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนเริ่มต้นอยู่ในช่วง 2-6 โครเมตในสารละลายป้อนเป็น 100 ส่วนในล้านส่วน ปริมาตร 2 ลิตร สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซิน มีอะลิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ สารละลายสตริปคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 ลิตร V_{soi} เป็น 200 ml/min. การปฏิบัติการเป็นแบบไหลผ่านครั้งเดียว ทิศทางการไหลเป็นแบบไหลในทิศเดียวกัน

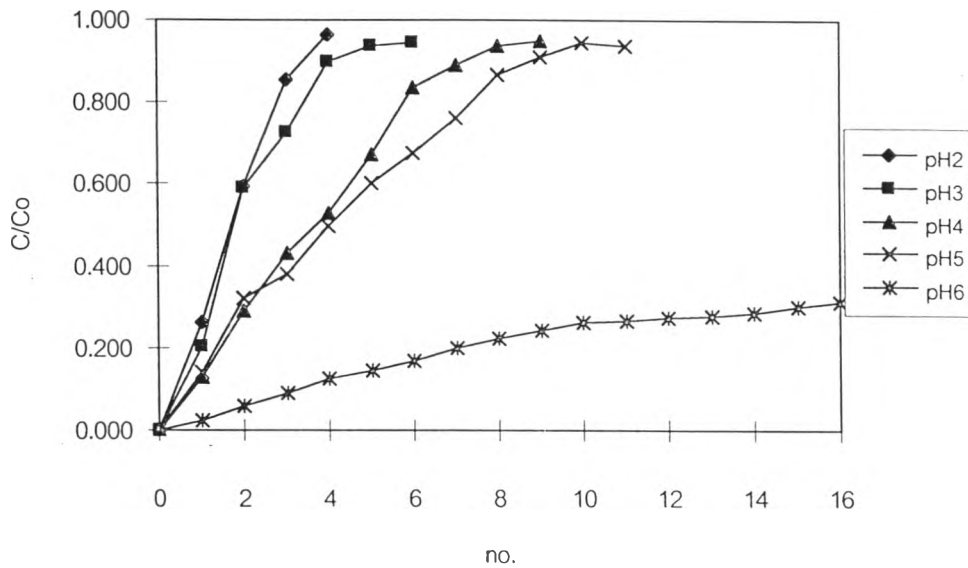
ในการผ่านเส้นใยกลวงของสารละลายแต่ละครั้ง ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของโครเมตลดลงนั้น ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาซึ่งเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนซึ่งกันและกัน การเปลี่ยนแปลงนี้ก็ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการสกัดโครเมต รูปที่ 4.9 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนที่แต่ละครั้งของการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวง พิจารณาที่ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนเป็น 2 พบว่า ตลอดการทดลอง ความเป็นกรด-ด่างมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบ ๆ หรืออาจกล่าวได้ว่า แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างเลย อีกทั้งค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าค่อนข้างต่ำ ทำให้โครเมตอยู่ในรูปของ $HCrO_4^-$ ที่สภาวะการแลกเปลี่ยนไอออนกับคลอไรด์ไอออนและเกิดปฏิกิริยาการสกัดได้ดี เช่นเดียวกันกับในช่วงต้นของชุดการทดลองที่ความเป็นกรด-ด่างเป็น 3 ซึ่งยังคงมีความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่างในแต่ละด้านของสารละลาย และอยู่ในระดับที่สูงพอที่จะให้เกิดการสกัดที่ดี แต่เมื่อความเป็นกรด-ด่างของสารละลายมีค่าสูงขึ้น ประสิทธิภาพของการสกัดโครเมตก็ลดลง เนื่องจากความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่างในด้านสารละลายป้อนและด้านของสารละลายสตริปมีน้อยลง

นั้นแสดงให้เห็นถึงว่าความเป็นกรด-ด่างสามารถทำหน้าที่ควบคุมความสามารถในการสกัด โดยในช่วงของความเป็นกรด-ด่างเป็น 2-3 จะให้ค่าความสามารถในการสกัดได้ดีกว่าในช่วงอื่น ๆ



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างในชุดการทดลองที่ความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนเริ่มต้นอยู่ในช่วง 2-6 เทียบกับสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อน แต่ละรอบสารละลายป้อนเริ่มต้นโครเมตเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน ปริมาตร 2 ลิตร สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะลิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารละลายสตริปคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 ลิตร V_{sol} เป็น 200 ml/min. การปฏิบัติการเป็นแบบไหลผ่านครั้งเดียว ทิศทางการไหลเป็นแบบไหลในทิศเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม สำหรับการทดลองที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 2-3 พบว่าเมื่อผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงในครั้งแรก ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนขาออกมีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ความสามารถในการสกัดมีประสิทธิภาพด้อย เพราะเกิดความแตกต่างของความเป็นกรด-ด่างระหว่างสารละลายทั้งสองด้านน้อยลงไป ความเป็นกรด-ด่างที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละรอบของการดำเนินการทดลอง จึงเป็นอุปสรรคที่ทำให้ประสิทธิภาพ ในการสกัดและการนำกลับด้อยลงไป ฉะนั้นจึงควรพยายามรักษาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนให้มีค่าคงที่ให้ได้มากที่สุด จะช่วยให้ใช้จำนวนรอบของการดำเนินการทดลองน้อยลง การรักษาความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนให้คงที่สามารถทำได้โดยการใช้สารละลายบัฟเฟอร์เดิมลงไป หรือมีการปรับความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนเป็นระยะ ๆ เพื่อให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเคลื่อนไหวอยู่ในช่วงแคบ ๆ



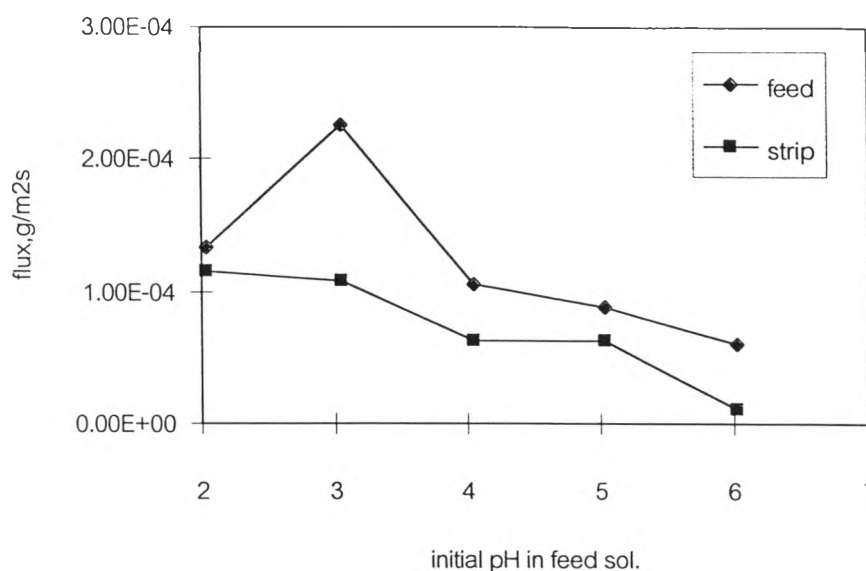
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริป เทียบกับจำนวนครั้งในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงที่ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายป้อนเริ่มต้น 2-6 สารละลายป้อนเริ่มต้นมีโครเมตเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน ปริมาตร 2 ลิตร สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือโครซิน มีอะลิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ สารละลายสตริปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 ลิตร V_{sol} เป็น 200 ml/min. การปฏิบัติการเป็นแบบไหลผ่านครั้งเดียว ทิศทางการไหลเป็นแบบไหลในทิศเดียวกัน

การนำกลับโครเมตด้วยสารละลายสตริป สามารถกระทำได้อย่างพร้อม ๆ กับการสกัดในอุปกรณ์เส้นใยกลวง ผลการทดลองการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนที่มีต่อความสามารถในการนำกลับแสดงในรูปที่ 4.10 ลักษณะที่เพิ่มขึ้นของสัดส่วนโครเมตในการนำกลับแปรผันตามการลดลงของสัดส่วนโครเมตในกระบวนการการสกัดของแต่ละการทดลอง เช่นเดียวกันกับการสกัด การนำกลับเกิดขึ้นได้ดีในช่วงของความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนมีค่า 2-3 และเมื่อสารละลายป้อนมีความเป็นกรด-ด่าง น้อยลง จำเป็นต้องใช้จำนวนครั้งในการนำกลับมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการนำกลับที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนโครเมตที่หายไปในการสกัด และสัดส่วนโครเมตที่เพิ่มขึ้นในการสตริป ความแตกต่างที่เกิดขึ้นของทั้งสองค่า คือโครเมตบางส่วนที่ยังเป็นสารประกอบเชิงซ้อนในสารละลายอินทรีย์ คำนี้นี้แสดงในตารางที่ 4.1 ปริมาณโครเมตที่สะสมอยู่ในสารละลายอินทรีย์ของเยื่อแผ่นเหลวในทุก ๆ การทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน นั้นแสดงให้เห็นถึงไม่มีการสะสมของโครเมตในเยื่อแผ่นเหลวในแต่ละรอบของการทดลอง เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร เป็นรีเอเจนต์ในการสตริป

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าของสัดส่วนโครเมตที่เกิดการสะสมอยู่ในเยื่อแผ่นเหลว

จำนวนครั้ง	สัดส่วนโครเมตในเยื่อแผ่นเหลว				
	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5	pH 6
1	0.04	0.22	0.09	0.06	0.11
2	0.04	0.09	0.15	0.08	0.11
3	0.01	0.11	0.10	0.08	0.09
4	0.01	0.04	0.10	0.03	0.12
5	-	0.05	0.07	0.03	0.15
6	-	0.04	0.02	0.03	0.15
7	-	-	0.04	0.05	0.08
8	-	-	0.05	0.04	0.09
9	-	-	0.05	0.05	0.04
10	-	-	-	0.04	0.10
11	-	-	-	0.06	0.05
12	-	-	-	-	0.11
13	-	-	-	-	0.08
14	-	-	-	-	0.08
15	-	-	-	-	0.06
16	-	-	-	-	0.09

ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมตในสารละลายป้อนประมาณ 100 ส่วนในล้านส่วน ฟลักซ์ของการสกัดในสารละลายป้อน และฟลักซ์ของการนำกลับในสารละลายstrippingในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงเพียงครั้งเดียว เทียบกับความเป็นกรด-ด่างค่าต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของฟลักซ์ของโครเมต ทั้งในส่วนของการสกัดและการสตริปในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงครั้งแรกเทียบกับที่ความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของสารละลายป้อนอยู่ในช่วง 2-6 สารละลายป้อนโครเมตเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน ปริมาตร 2 ลิตร สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะลิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารละลายสตริปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 ลิตร V_{sol} เป็น 200 ml/min. การปฏิบัติการเป็นแบบไหลผ่านครั้งเดียว ทิศทางการไหลเป็นแบบไหลในทิศเดียวกัน

ในทุก ๆ ความเป็นกรด-ด่าง ฟลักซ์ของการสกัดมีค่ามากกว่าฟลักซ์ของการนำกลับเล็กน้อย ค่าที่แตกต่างกันนี้ คือส่วนของโครเมตที่เกิดการสะสมอยู่ในเยื่อแผ่นเหลวซึ่งเกิดอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนโครเมต-อะลิควอต ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ค่าฟลักซ์ทั้งในส่วนของการสกัดและการนำกลับจะลดลงเมื่อความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนมีค่าสูงขึ้น

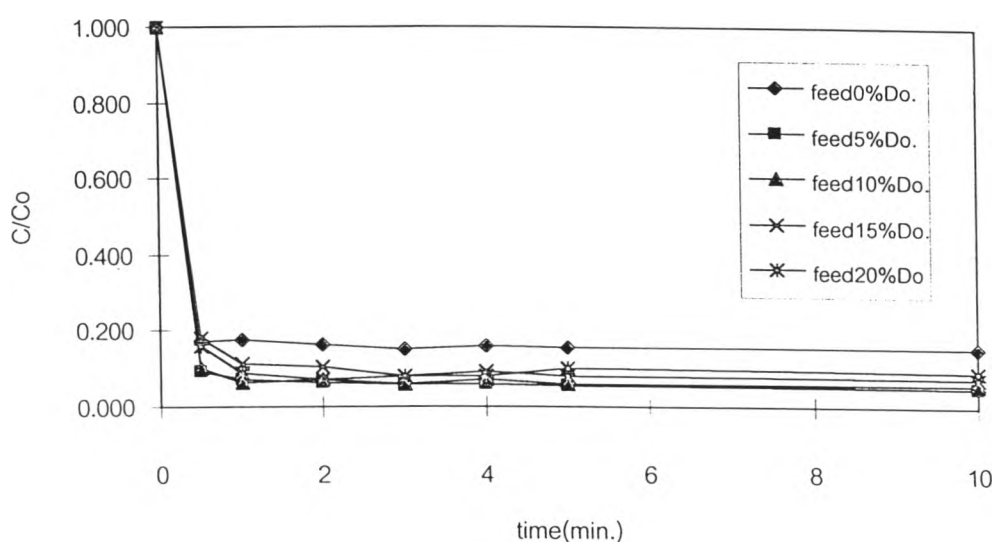
4.2 ผลของความเข้มข้นของโดเดคคานอลในสารละลายอินทรีย์

สารจำพวกแอลกอฮอล์สายตรงยาว มักถูกนำมาเป็นส่วนประกอบของสารละลายอินทรีย์ในกระบวนการสกัดที่เกิดปฏิกิริยา สารกลุ่มนี้ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (modifier) เพื่อป้องกันการเกิดสารละลายอินทรีย์อิกเฟสเนื่องจากสารสกัดจับตัวกันเองกลายเป็นสารเชิงซ้อนโพลีเมอร์ (Ortiz et al. 1996) ดังแสดงในสมการดังนี้



สารเชิงซ้อนโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้นนี้จะแยกตัวออกมาจากสารละลายอินทรีย์อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นธรรมชาติของตัวมัน และเมื่อเกิดการรวมตัวกัน อาจทำให้เกิดการอุดตันในรูพรุนจุลภาคของเยื่อแผ่นเหลวได้ ส่งผลต่อความสามารถในการสกัดให้มีประสิทธิภาพด้อยลงไป

โดเดคคานอล เป็นหนึ่งในกลุ่มของแอลกอฮอล์สายตรงยาว ได้ถูกเลือกใช้ในการทดลองนี้ด้วยจำนวนของคาร์บอนในโมเลกุลที่มีมากถึง 12 อะตอม โดเดคคานอลจึงสามารถละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ ปัจจัยที่น่าสนใจคือ สัดส่วนของโดเดคคานอลในสารละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมในการสกัดและการสตริปโครเมต การทดลองดำเนินการโดยปั่นกววนสารละลายโครเมตเข้ากับสารละลายอินทรีย์ของอะลิควอตในเคโรซีน โดยมีโดเดคคานอลที่ความเข้มข้นโดยปริมาตรค่าต่าง ๆ อยู่ในสารละลายอินทรีย์ รูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนโครเมตที่เหลืออยู่ในสารละลายป้อนที่เวลาต่าง ๆ กัน ลักษณะการลดลงของสัดส่วนโครเมตเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาไม่เกิน 1 นาทีแรกของการทดลองสำหรับทุก ๆ ความเข้มข้นของโดเดคคานอลในสารละลายอินทรีย์ หลังจากนั้นปฏิกิริยาการสกัดจึงเริ่มเข้าสู่สมดุล



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนโครเมตกับเวลาในกระบวนการสกัดแบบกะ สารละลายป้อนมีโครเมตเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน ความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นเป็น 3 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายอินทรีย์คือเคโรซีน มีอะลิควอต 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและโดเดคคานอลช่วงความเข้มข้น 0-20 เปอร์เซ็นต์โดย ปริมาตร 10 มิลลิลิตร อัตราการกวน 1,000 รอบต่อนาที

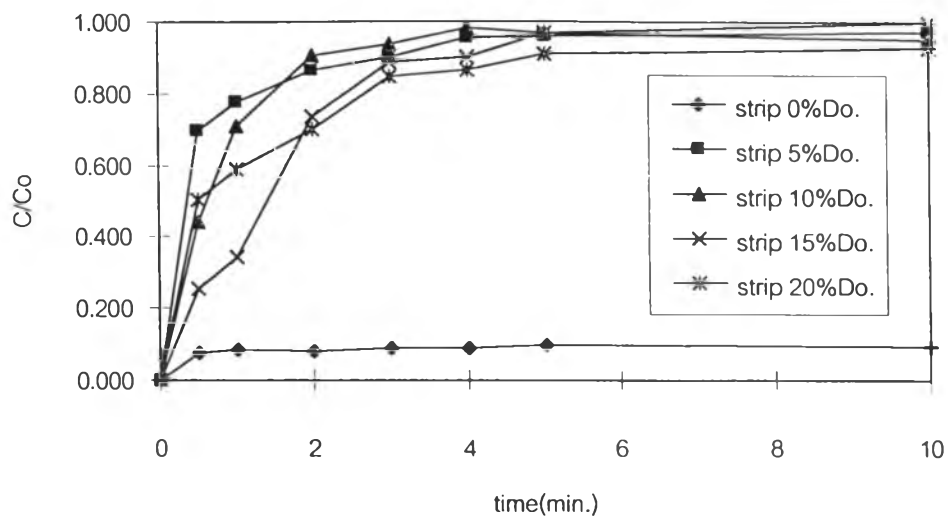
เมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟแต่ละเส้น ที่ความเข้มข้นของโดเดคคานอลในสารละลายอินทรีย์ค่าต่าง ๆ กัน จะเห็นว่าการเติมโดเดคคานอลทำให้การสกัดมีมากกว่าการไม่เติมสารโดเดคคานอล ซึ่ง

ให้เห็นว่าโดเดคคานอลเป็นตัวที่ช่วยในการส่งเสริมให้ปฏิกิริยาระหว่างสารสกัดอะลิควอตในสารละลายอินทรีย์และโครเมตในสารละลายป้อนเกิดได้มากขึ้น ที่สัดส่วนโดเดคคานอลตั้งแต่ 5-20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะส่งผลต่อความสามารถในการสกัดโครเมตได้ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันมาก ในที่นี้จึงเสนอว่าความเข้มข้นของโดเดคคานอลที่ใช้ไม่ควรมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แม้ว่าจะมีการใช้ที่สูงกว่านี้ก็แทบไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดให้แตกต่างไปจากเดิม

หลังจากแยกสารละลายอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการการสกัดที่ภาวะสมดุลในการทดลองก่อนหน้านี้อมาแล้ว นำส่วนของสารละลายอินทรีย์ที่ได้มาทำการทดลองในส่วนของกระบวนการการสกัด โดยการกวนผสมร่วมกับสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ซึ่งทำหน้าที่เป็นรีเอเจนต์ในสารละลายสกัด ความเข้มข้นของโครเมตเริ่มต้นซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนในสารละลายอินทรีย์ คำนวณจากผลต่างของความเข้มข้นเริ่มต้นในสารละลายป้อนที่เวลาเริ่มต้น และที่เวลาที่สภาวะสมดุลในกระบวนการการสกัด ส่วนที่หายไป คือส่วนที่เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนในสารละลายอินทรีย์

จากกราฟรูปที่ 4.13 แสดงผลของความเข้มข้นของโดเดคคานอลในสารละลายอินทรีย์ต่อการสกัดโครเมตกลับเข้าไปในสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ กรณีที่ไม่มีโดเดคคานอลอยู่ในสารละลายอินทรีย์ การสกัดจะเกิดขึ้นได้น้อยมาก ($C/C_0 \sim 0.10$) การสกัดเข้าสู่สภาวะสมดุลภายในเวลาครั้นานที่ กรณีที่มีโดเดคคานอลอยู่ในสารละลายอินทรีย์ 5-10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ประสิทธิภาพการสกัดจะใกล้เคียงกันมาก เมื่อเวลาผ่านไปถึง 10 นาที การสกัดมีมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้นของโดเดคคานอล 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ระยะเวลาการเข้าสู่สมดุลของการสกัดจะรวดเร็วกว่าการสกัดที่ความเข้มข้นของโดเดคคานอลมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

จากผลการทดลองการสกัดและการสกัดแบบกะที่ผ่านมานั้น สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่าโดเดคคานอลในสารละลายอินทรีย์ ได้ช่วยให้ประสิทธิภาพในการสกัดและการสกัดดีขึ้น โดยโดเดคคานอลได้ช่วยให้โครเมตเกิดปฏิกิริยาไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนโครเมต-อะลิควอตได้มากขึ้น เนื่องจากป้องกันอะลิควอตที่ยังคงเป็นโมเลกุลเดี่ยวจับตัวกันเองเกิดเป็นสารอินทรีย์ซีกเฟสซึ่งแยกตัวออกมาชัด จึงเหลืออะลิควอตเกิดปฏิกิริยากับโครเมตน้อยลง และสารอินทรีย์ที่แยกตัวออกมานั้นจะอุดตันรูพรุนจุลภาคของตัวรองรับ ในส่วนของกระบวนการการสกัด โดเดคคานอลยังมีผลอย่างมากต่อการทำให้สารประกอบเชิงซ้อนที่อยู่ในสารละลายอินทรีย์เกิดปฏิกิริยากลับมาเป็นโครเมตและสารสกัดอะลิควอตที่สูงขึ้น โดยโดเดคคานอลช่วยลดความแข็งแรงของพันธะระหว่างโครเมต-อะลิควอต จึงทำให้ไฮดรอกไซด์สามารถสกัดโครเมตได้ดีขึ้น (Ortiz et al. 1996)



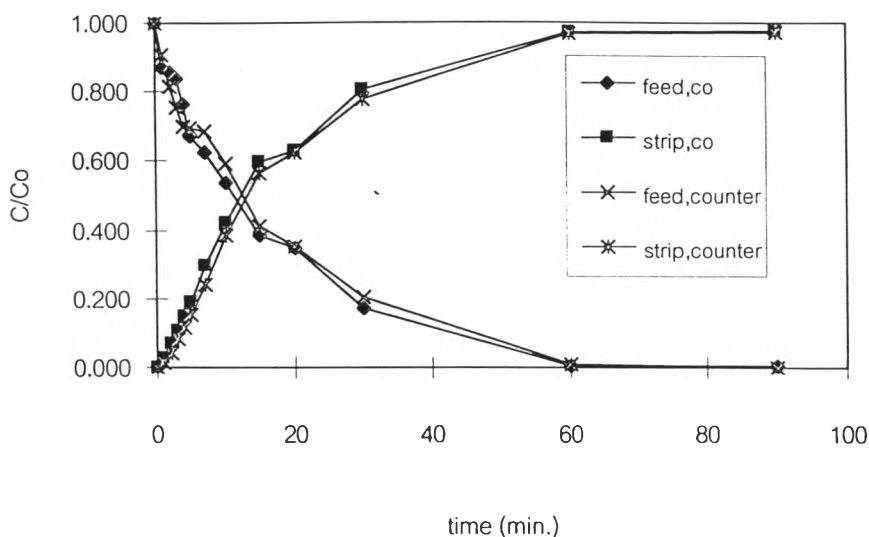
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนโครเมต กับเวลาในกระบวนการการสตริปที่ความเข้มข้นของโดเดคานอลค่าต่าง ๆ สารละลายอินทรีย์มีปริมาตร 5 มิลลิลิตร สารละลายสตริปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อัตราการกววน 1,000 รอบต่อนาที

4.3 ผลของทิศทางการไหลต่อการสกัดและการนำกลับ

การปฏิบัติการเพื่อนำกลับโครเมตโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง สามารถทำได้ทั้งในลักษณะของรูปแบบการไหลในทิศทางเดียวกัน หรือการไหลแบบไหลสวนทางกัน ผลการทดลองในที่นี้แสดงถึงผลของทิศทางการไหลต่อการสกัดและการนำกลับเพื่อหาสภาวะที่เกิดผลดีกว่านำไปดำเนินการทดลองต่อไป การทดลองกระทำโดยให้สารละลายป้อน และสารละลายสตริปไหลวนกลับ และดำเนินการไปเรื่อย ๆ จนกว่าสีเหลืองของโครเมตในสารละลายป้อนจะจางลงจนเกือบใสไม่มีสี และเกิดสีเหลือง-เขียวของโครเมตในสารละลายสตริปแทนที่ ซึ่งแสดงว่าโครเมตได้ถูกสกัดจากสารละลายป้อนและถูกนำกลับมาอยู่ในสารละลายสตริปเกือบหมดแล้ว จากกราฟรูปที่ 4.14 แสดงถึงสัดส่วนโครเมตทั้งในสารละลายป้อนและสารละลายสตริปเทียบกับเวลา ทั้งการทดลองเมื่อการไหลของของสารละลายป้อนและสารละลายสตริปเป็นการไหลในทิศทางเดียวกันและสวนทางกัน พิจารณาโครเมตในสารละลายป้อนเปรียบเทียบกับลักษณะการไหลทั้งสองแบบ การลดลงของเส้นกราฟสัดส่วนโครเมตทั้งสองคล้ายคลึงกันและมีค่าที่ใกล้เคียง เช่นเดียวกันกับในส่วนของโครเมตในสารละลายสตริป เส้นกราฟก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และในช่วงเวลาเดียวกัน ค่าสัดส่วน

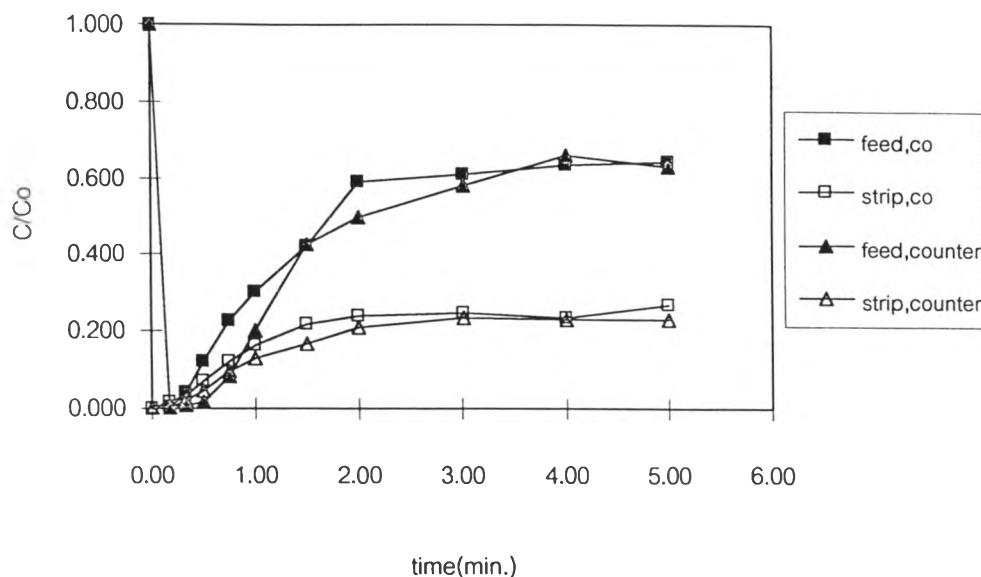
โครเมตก็ใกล้เคียงกัน เห็นได้ว่าการปฏิบัติการเมื่อการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายสตรีปเป็นแบบไหลในทิศเดียวกัน สัดส่วนโครเมตในสายของสารละลายป้อนจะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการปฏิบัติการเป็นแบบไหลสวนทางกัน แสดงให้เห็นว่าเกิดการสกัดได้ดีกว่า และในส่วนของสารละลายสตรีปค่าสัดส่วนโครเมตก็สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการนำกลับเกิดขึ้นดีกว่าเล็กน้อย

ได้มีการนำรูปแบบการไหลแบบไหลผ่านครั้งเดียวมาใช้ในการทดลองนี้ เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการสกัดและการสตรีปได้เด่นชัดขึ้น จากกราฟรูปที่ 4.15 แสดงถึงสัดส่วนโครเมตเทียบกับเวลาในลักษณะการไหลผ่านครั้งเดียว ทั้งในรูปแบบการไหลในทิศทางเดียวกันและไหลสวนทางกัน เห็นได้ชัดว่าในช่วงเวลาเริ่มต้น โครเมตในสารละลายป้อนลดลงอย่างมาก ในขณะที่โครเมตในสารละลายสตรีปเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โครเมตส่วนที่หายไปจะปรากฏอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมต-อะลิควอตในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่แทรกอยู่ในรูพรุนของตัวรองรับ ดังที่ได้อธิบายแล้วว่า การเกิดปฏิกิริยาการสกัดเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าการเกิดปฏิกิริยาการสตรีป เมื่อสารละลายป้อนที่มีโครเมตละลายอยู่ผ่านเข้าไปในอุปกรณ์เส้นใยกลวง และสัมผัสกับสารละลายอินทรีย์บนพื้นผิวของตัวรองรับ จะเกิดปฏิกิริยาการสกัด ประกอบกับในช่วงเวลานี้ยังไม่มีสารประกอบเชิงซ้อนเกิดขึ้น จึงมีอะลิควอตในปริมาณมากที่คอยทำปฏิกิริยากับโครเมต ทำให้ความสามารถในการสกัดเกิดขึ้นได้ดี ในส่วนของสารละลายสตรีปที่ผ่านเข้าไปในอุปกรณ์เส้นใยกลวงพร้อม ๆ กับสารละลายป้อน การเกิดปฏิกิริยาในกระบวนนี้จะช้ากว่าในกระบวนกรการสกัด จึงมีโครเมตที่ถูกสตรีปจากสารละลายอินทรีย์น้อยกว่าโครเมตที่ถูกสกัดเข้าไปในสารละลายอินทรีย์ ในช่วงนี้จึงมีการสะสมโครเมตในสารละลายอินทรีย์อยู่ในสัดส่วนที่สูง



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตเทียบกับเวลา ทั้งในส่วนของสารสกัดและการสตริป การปฏิบัติการแบบไหลวนกลับ ทั้งการดำเนินการแบบไหลในทิศเดียวกันและไหลสวนทางกัน สารละลายป้อนเริ่มต้นมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เป็น 3 ปริมาตร 2 ลิตร สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะลิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร สารละลายสตริปมีไซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 ลิตร V_{sol} เป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาที

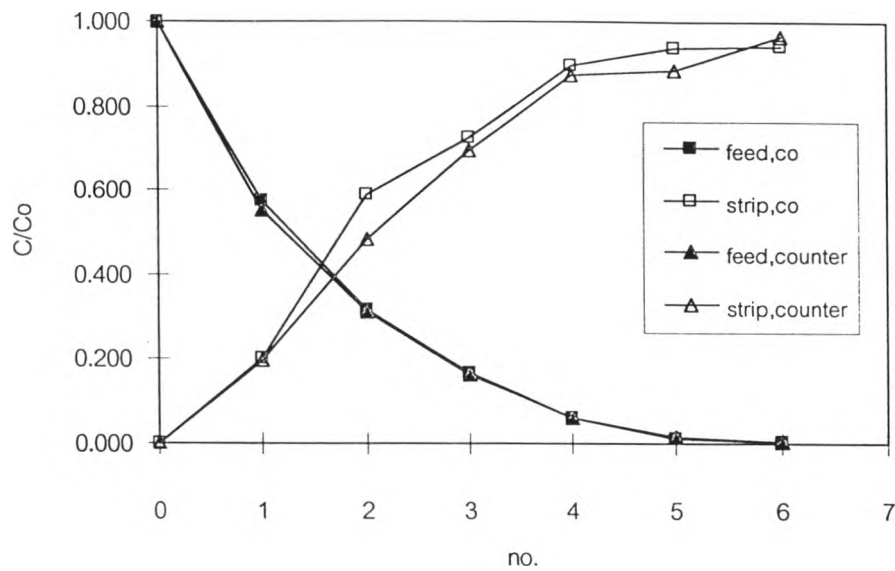
ในช่วงเวลาถัดมา เส้นกราฟของสารละลายป้อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่เส้นกราฟของสารละลายสตริปยังคงเพิ่มขึ้น ลักษณะนี้เกิดขึ้นเนื่องจากหลังจากสารละลายเยื่อแผ่นเหลวได้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนเป็นปริมาณมาก ทำให้มีอะลิควอตที่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับโครเมตน้อยลง ปฏิกิริยากับโครเมตในสารละลายป้อนจึงมีลดลงตามไปด้วย จึงทำให้อัตราการสกัดต่ำลงไป สัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนจึงเพิ่มขึ้นมาเรื่อย ๆ ในอีกด้านหนึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาสตริปที่ช้าจะยังคงทำให้มีโครเมตเกิดขึ้นในสารละลายสตริปอยู่ แต่ยังเป็นอัตราที่ต่ำเมื่อเทียบกับอัตราการสกัดที่เกิดขึ้นได้เร็ว จนเมื่อสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนในช่วงเวลาถัดมา เริ่มมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เช่นเดียวกับโครเมตในสารละลายสตริปซึ่งเริ่มมีค่าคงที่ ในช่วงเวลาดังกล่าวนี้อะไรที่เกิดขึ้นคือ อัตราการถ่ายโอนโครเมตจากสารละลายป้อนไปยังสารละลายเยื่อแผ่นเหลว เกิดขึ้นเท่ากับอัตราการถ่ายโอนของโครเมตที่เกิดอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนไปยังสารละลายสตริป ซึ่งชี้ให้เห็นถึงสภาวะคงที่ของระบบ หากยังมีการดำเนินการทดลองต่อไปก็ยังคงได้ค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ในช่วงเวลานี้ ในการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงการเข้าสู่สภาวะคงที่ของระบบโดยใช้เวลาไม่เกิน 5 นาที



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตเทียบกับเวลาทั้งการสกัดและการนำกลับ การปฏิบัติการเป็นแบบไหลผ่านครั้งเดียว การดำเนินการแบบไหลในทิศเดียวกัน และไหลสวนทางกัน สารละลายป้อนเริ่มต้นมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เริ่มต้นเป็น 3 ปริมาตร 2 ลิตร สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะลิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารละลายสตริปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 2 ลิตร V_{sol} เป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของลักษณะการไหลที่มีต่อการสกัดและการนำกลับโครเมต จากรูปกราฟที่ 4.14 พบว่าไม่ค่อยมีความแตกต่างกันมากนักในแง่ของค่าสัดส่วนโครเมตที่เวลาใด ๆ โดยที่การไหลแบบไหลสวนทางกันมีค่าน้อยกว่าเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับลักษณะการไหลแบบไหลในทิศเดียว

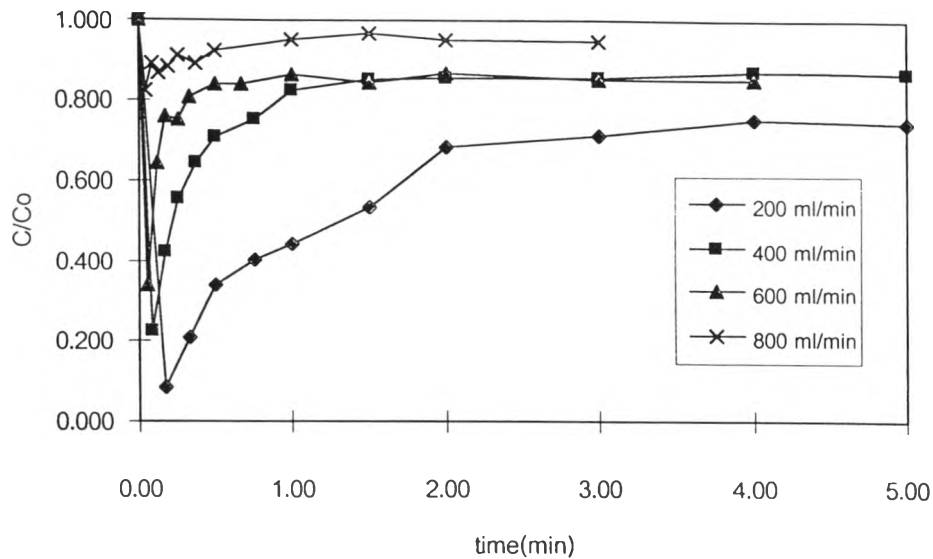
การศึกษาถึงความสามารถในการนำกลับโครเมตให้ได้มากที่สุดโดยการปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว แต่ปฏิบัติการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงหลาย ๆ ครั้งจนมีสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนเหลือน้อยมาก หรือสารละลายใสไม่มีสีแสดงว่าเกือบจะไม่มีโครเมตเหลืออยู่ ในแต่ละรอบของการปฏิบัติการจะทำให้โครเมตในสารละลายป้อนมีสัดส่วนที่ลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากกราฟรูปที่ 4.16 ในส่วนของสารละลายป้อน ลักษณะการไหลแบบไหลสวนทางและไหลในทิศทางเดียวกันให้ค่าสัดส่วนโครเมตใกล้เคียงกันมาก และเช่นเดียวกับในส่วนของสารละลายสตริป ผลการทดลองสนับสนุนว่า ลักษณะการไหลแทบไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดเลย รวมทั้งการนำกลับโครเมตด้วย การไหลในทิศเดียวกันจะให้ผลดีกว่าเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตกับจำนวนครั้งในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวง ทั้งการสกัดและการนำกลับ การปฏิบัติการเป็นแบบไหลผ่านครั้งเดียว ดำเนินการแบบไหลในทิศเดียวกันและไหลสวนทางกัน สารละลายป้อนมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เริ่มต้นเป็น 3 สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะลิวคอตและโดเดคคานอล 1 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารละลายสตริปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1.0 โมลต่อ V_{sol} เป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาที

4.4 ผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายสตริปต่อความสามารถในการนำกลับ

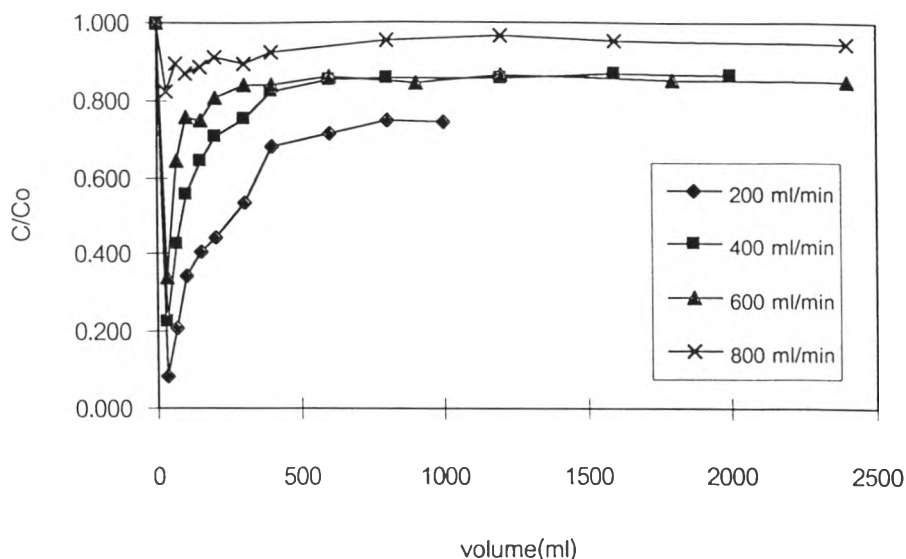
ในการศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายสตริปต่อความสามารถในการนำกลับโครเมต กำหนดให้สารละลายทั้งสองมีอัตราการไหลเท่ากันในแต่ละการทดลอง อัตราการไหลที่เลือกใช้ในการทดลองคือ 200-800 มิลลิลิตรต่อนาที ให้สารละลายทั้งสองผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงที่มีสารละลายเยื่อแผ่นเหลวของอะลิวคอตเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดเดคคานอล 5 เปอร์เซ็นต์ บรรจุอยู่ในรูปทรงจุลภาค การปฏิบัติการเป็นแบบไหลผ่านเพียงครั้งเดียว สัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนเทียบกับเวลาที่อัตราการไหลของสารละลายต่าง ๆ กัน ในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงครั้งแรกแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนเทียบกับเวลาที่ผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวง V_{sol} อยู่ในช่วง 200-800 มิลลิลิตรต่อนาที การปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว การไหลในทิศทางเดียวกัน สารละลายป้อนมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เริ่มต้นเป็น 3 สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะลิวคอตและโดเดคคานอล 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารละลายสตริปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1.0 โมลต่อลิตร

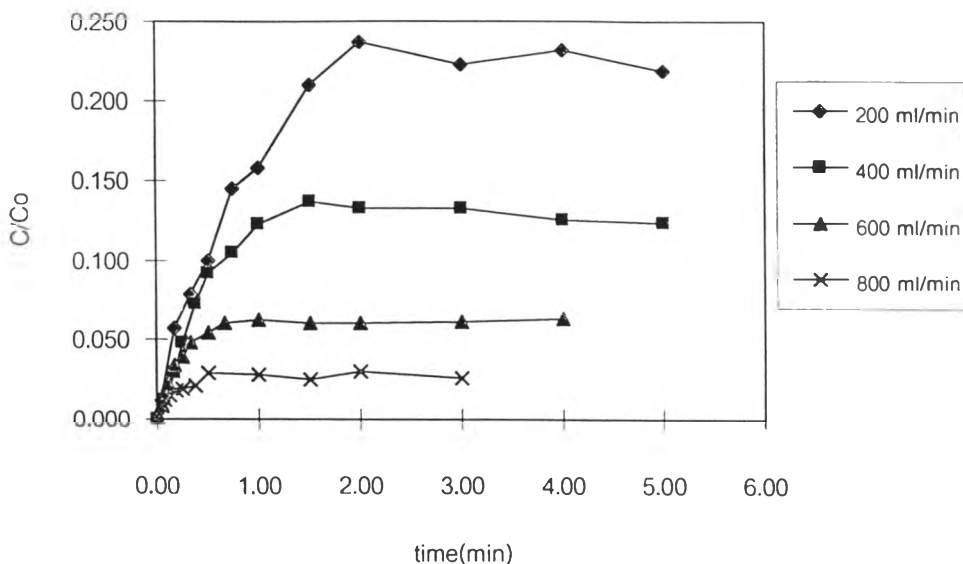
จากรูปเห็นได้ว่า ที่อัตราการไหลของสารละลายต่าง ๆ สัดส่วนโครเมตในช่วงเวลาเริ่มต้นจะมีค่าลดลงมาก หลังจากนั้นจึงเริ่มมีค่าสูงขึ้นจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ลักษณะการลดลงแล้วเพิ่มขึ้นจนค่าสัดส่วนโครเมตเข้าสู่ค่าคงที่ เกิดขึ้นเพราะที่อัตราการสกัดรวดเร็วกว่าอัตราการสตริป ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้ เมื่อพิจารณาที่อัตราการไหลค่าต่าง ๆ ตลอดเวลาของการทดลอง พบว่าสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนที่อัตราการไหลเป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาที มีค่าเหลือประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ และเมื่ออัตราการไหลของสารละลายป้อนเพิ่มสูงขึ้น ค่าสัดส่วนโครเมตที่เหลือในสารละลายป้อนเป็น 86, 85, 95 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราการไหลของสารละลายป้อนเป็น 400, 600 และ 800 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ ค่าสัดส่วนโครเมตที่เหลือในสารละลายป้อนแปรผันตามอัตราการไหลที่สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าสัดส่วนโครเมตในช่วงก่อนเข้าสู่ค่าคงที่เมื่อการไหลเป็น 800 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้ช่วงระยะเวลาสั้นกว่าเมื่ออัตราการไหลเป็น 600, 400 และ 200 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ





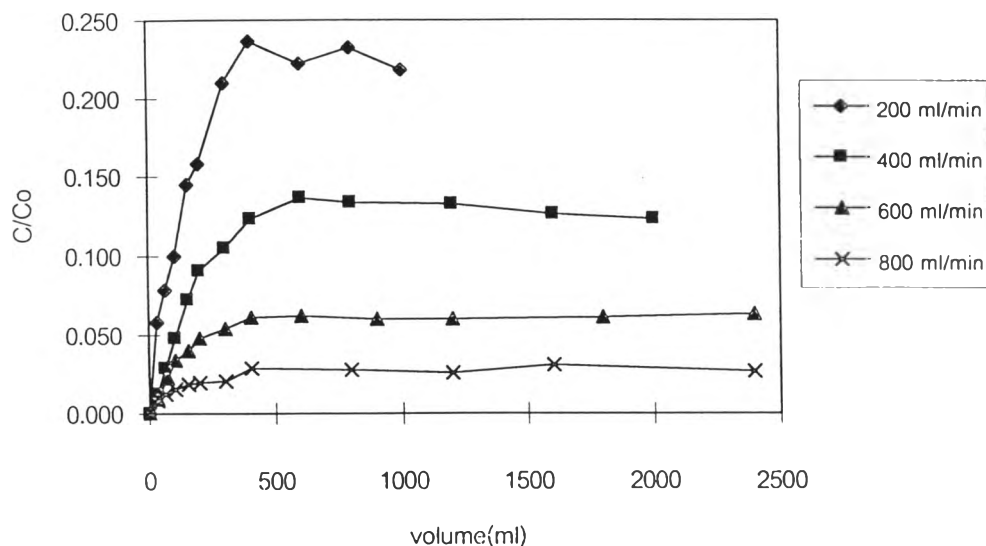
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนเทียบกับปริมาตรขาออกที่ V_{soi} อยู่ในช่วง 200-800 มิลลิลิตรต่ออนาที การปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว ดำเนินการแบบไหลในทิศเดียวกัน สารละลายป้อนมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เริ่มต้นเป็น 3 สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะซิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารละลายสตรปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร

พิจารณาผลของอัตราการไหลของสารละลาย เห็นได้ว่า เมื่ออัตราการไหลของสารละลายสูงขึ้น ความสามารถในการสกัดจะลดลง แสดงว่า ในช่วงอัตราเร็วที่ทำการทดลองนี้ มีผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาการสกัด เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นทำให้ระยะเวลาที่สารละลายป้อนสัมผัสกับเยื่อแผ่นเหลวล้นลง ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาที่น้อยลงด้วย แต่ในขณะเดียวกันอัตราการไหลที่สูงขึ้นจะทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม ที่อัตราการไหลสูงปริมาตรของสารละลายที่ผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงย่อมมากกว่าที่อัตราการไหลต่ำเมื่อใช้เวลาเท่ากัน รูปที่ 4.18 แสดงถึงสัดส่วนโครเมตที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาตรของสารละลายป้อนขาออก ลักษณะกราฟคล้ายรูปที่ 4.17 แต่เมื่อพิจารณาในแง่ของปริมาตรขาออก พบว่าไม่ว่าอัตราการไหลของสารละลายเป็นเท่าใดก็ตาม สัดส่วนโครเมตจะเข้าสู่ค่าคงที่ เมื่อปริมาตรขาออกของสารละลายป้อนไม่เกิน 600 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริปเทียบกับเวลา V_{sol} อยู่ในช่วง 200-800 มิลลิลิตรต่อนาที การปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว ดำเนินการแบบไหลในทิศเดียวกัน สารละลายป้อนมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เริ่มต้นเป็น 3 สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะลิวคอตและโดเดคคานอล 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารละลายสตริปโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1.0 โมลต่อลิตร

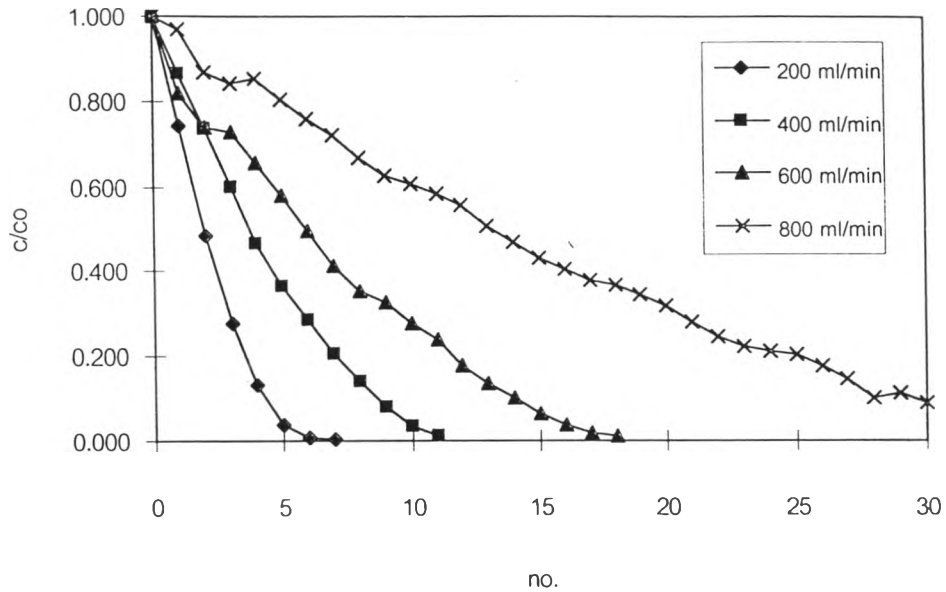
ในส่วนของสารละลายสตริป สัดส่วนโครเมตจากการนำกลับที่เวลาต่าง ๆ กัน เมื่อผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงเพียงครั้งเดียว แสดงในรูปที่ 4.19 ที่อัตราการไหลของสารละลายทุก ๆ ค่า สัดส่วนโครเมตจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่ ที่อัตราการไหลของสารละลายเป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาที สัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริปมีค่าสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาของการเพิ่มขึ้นจนเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่ของสัดส่วนโครเมตในส่วนของอัตราเร็วของสารละลายเป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาที เกิดขึ้นนานกว่า 2 นาที ในขณะที่อัตราการไหลของสารละลายเป็น 800 มิลลิลิตรต่อนาที ระยะเวลาที่เกิดขึ้นเพียงไม่ถึง 0.5 นาที ซึ่งบอกถึงแนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงที่ ว่าต้องใช้เวลามากขึ้นเมื่ออัตราการไหลลดต่ำลง เช่นเดียวกันกับในส่วนของการสกัด ที่อัตราการไหลต่ำลง ความสามารถในการนำกลับเกิดขึ้นได้ดี เนื่องมาจากระยะเวลาในการสัมผัสกันของเฟสสารละลายสตริปกับเฟสของเยื่อแผ่นเหลวมากกว่า ทำให้โอกาสเกิดปฏิกิริยามีมากกว่าเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของสารละลายสูงกว่า



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริปเทียบกับปริมาตรขาออกที่ V_{sol} อยู่ในช่วง 200-800 มิลลิลิตรต่อนาที การปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว ดำเนินการแบบไหลในทิศทางเดียวกัน สารละลายป้อนมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เริ่มต้นเป็น 3 สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือโครซีน มีอะลิวคอตและโดเดคคานอล 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สารละลายสตริปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1.0 โมล ต่อลิตร

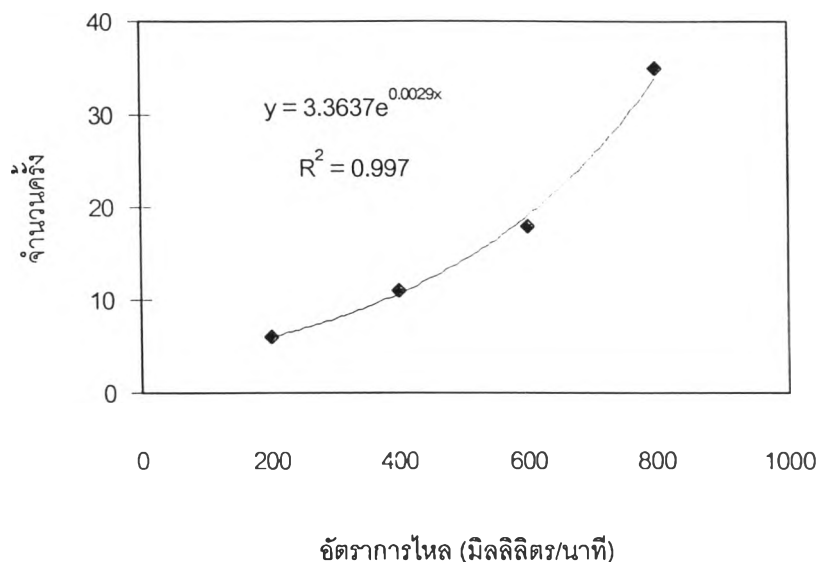
เมื่อเปรียบเทียบผลของการนำกลับกับปริมาตรขาออกของสารละลายสตริป ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าช่วงของค่าสัดส่วนโครเมตที่เพิ่มขึ้นจนเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่ เกิดขึ้นในช่วงปริมาตรขาออกของสารละลายสตริปไม่เกิน 600 มิลลิลิตร สำหรับทุก ๆ อัตราการไหล ซึ่งสอดคล้องกับผลของการสกัดที่เกิดขึ้นในอีกด้านของเยื่อแผ่นเหลว เป็นการชี้ให้เห็นว่าการเข้าสู่สภาวะคงที่ของระบบนี้เกิดขึ้นหลังจากที่สารละลายผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงที่ปริมาตรสารละลายแต่ละชนิดมากกว่า 600 มิลลิลิตร ในรูปแบบของการไหลผ่านเพียงครั้งเดียว

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการกำจัดโครเมตออกจากสารละลายป้อน โดยให้เหลือโครเมตต่ำกว่า 1 ส่วนในล้านส่วนที่อัตราการไหลของสารละลายต่าง ๆ ลักษณะการไหลยังคงเป็นแบบไหลผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงเพียงครั้งเดียว ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.21 การทำให้โครเมตในสารละลายป้อนมีความเข้มข้นน้อยกว่า 1 ส่วนในล้านส่วน จำเป็นต้องใช้การผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงจำนวน 6, 11, 18 และมากกว่า 30 ครั้ง สำหรับที่อัตราการไหลของสารละลายเป็น 200, 400, 600 และ 800 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ



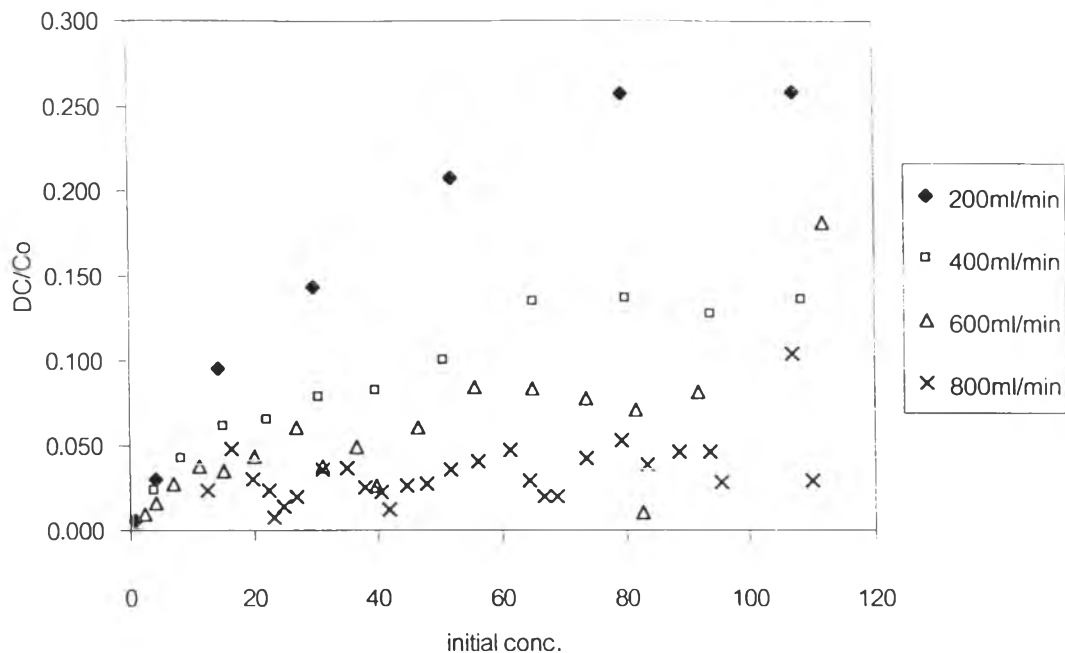
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อน เทียบกับจำนวนครั้งในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวง อัตราการไหลของสารละลาย 200-800 มิลลิลิตรต่อนาที การปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว สารละลายไหลในทิศเดียวกัน สารละลายป้อนมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เริ่มต้นเป็น 3 สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะซิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ สารละลายสตริปมีโซเดียม ไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร

จากกราฟรูปที่ 4.21 สามารถคาดเดาจำนวนครั้งในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงนี้ ที่อัตราการไหลค่าต่าง ๆ โดยมีความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมต ประมาณ 100 ส่วนในล้านส่วน ความเป็นกรด-ด่างในสารละลายป้อนเป็น 3 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.22



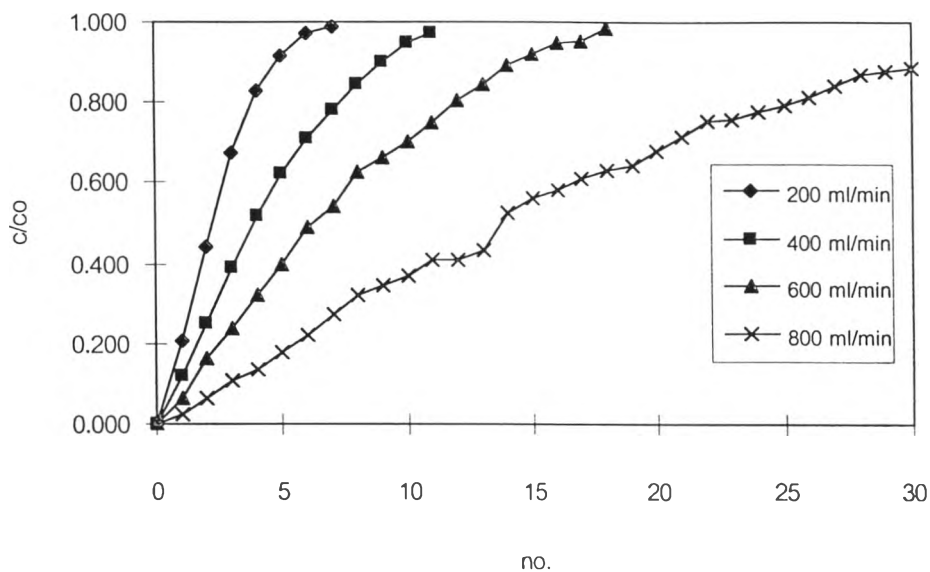
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงสมการของจำนวนครั้งในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงเพื่อลดโครเมตจาก 100 ส่วนในล้านส่วน ให้เหลือโครเมตไม่เกิน 1 ส่วนในล้านส่วน อัตราการไหลของสารละลาย 200-800 มิลลิลิตรต่อนาที การปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว สารละลายไหลในทิศเดียวกัน สารละลายป้อนมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เริ่มต้นเป็น 3 สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือโครซิน มีอะซิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ สารละลายสตริปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร

พิจารณาการลดลงของสัดส่วนโครเมตที่ผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงในแต่ละรอบที่อัตราการไหลเป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาทีดังในรูปที่ 4.21 พบว่าสัดส่วนโครเมตที่ลดลงไปมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งแสดงได้ในกราฟรูปที่ 4.23 แต่เมื่อมีสัดส่วนโครเมตเหลืออยู่ 60 ส่วนในล้านส่วน โครเมตที่หายไปในการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงแต่ละครั้งเริ่มมีค่าลดลง และที่อัตราการไหลของสารละลายป้อนเป็น 400, 600 และ 800 มิลลิลิตรต่อนาที ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน คือโครเมตที่หายไปในแต่ละรอบของการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงจะมีค่าต่ำลงไปเรื่อย ๆ เมื่อความเข้มข้นของโครเมตก่อนเข้าอุปกรณ์เส้นใยกลวงมีค่าต่ำกว่า 60 ส่วนในล้านส่วน



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตที่ถูกสกัดในแต่ละครั้ง เทียบกับความเข้มข้นของโครเมตก่อนเข้า อุปกรณ์เส้นใยกลวง อัตราการไหล 200-800 มิลลิลิตรต่อนาที การปฏิบัติการแบบไหลผ่าน ครั้งเดียว สารละลายไหลในทิศเดียวกัน สารละลายป้อนมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เริ่มต้นเป็น 3 สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะลิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ สารละลายสตริปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้ว่า โครเมตที่เกิดการสะสมอยู่ในสารละลายอินทรีย์ของเยื่อแผ่นเหลวเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ฉะนั้น ในส่วนการนำกลับลักษณะของค่าสัดส่วนโครเมตที่เพิ่มขึ้นในแต่ละครั้งของการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.24 จึงมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการลดลงของสัดส่วนโครเมตในสารละลายป้อนในแต่ละครั้งของการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงของแต่ละอัตราการไหล เช่นเดียวกันกับการสกัด ความสามารถในการนำกลับโครเมตในสารละลายสตริปโดยพิจารณาจากจำนวนครั้งของการผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวงที่อัตราการไหลของสารละลายเป็น 200 มิลลิลิตรต่อนาที เกิดขึ้นดีกว่าที่อัตราการไหลของสารละลายเป็น 400, 600 และ 800 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงสัดส่วนโครเมตในสารละลายสตริปเทียบกับจำนวนครั้งในการไหลผ่านอุปกรณ์เส้นใยกลวง อัตราการไหล 200-800 มิลลิลิตรต่อนาที การปฏิบัติการแบบไหลผ่านครั้งเดียว สารละลายไหลในทิศเดียวกัน สารละลายป้อนมีโครเมต 100 ส่วนในล้านส่วน pH เริ่มต้นเป็น 3 สารละลายเยื่อแผ่นเหลวคือเคโรซีน มีอะลิควอตและโดเดคคานอล 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตามลำดับ สารละลายสตริปมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร