บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการทดลอง

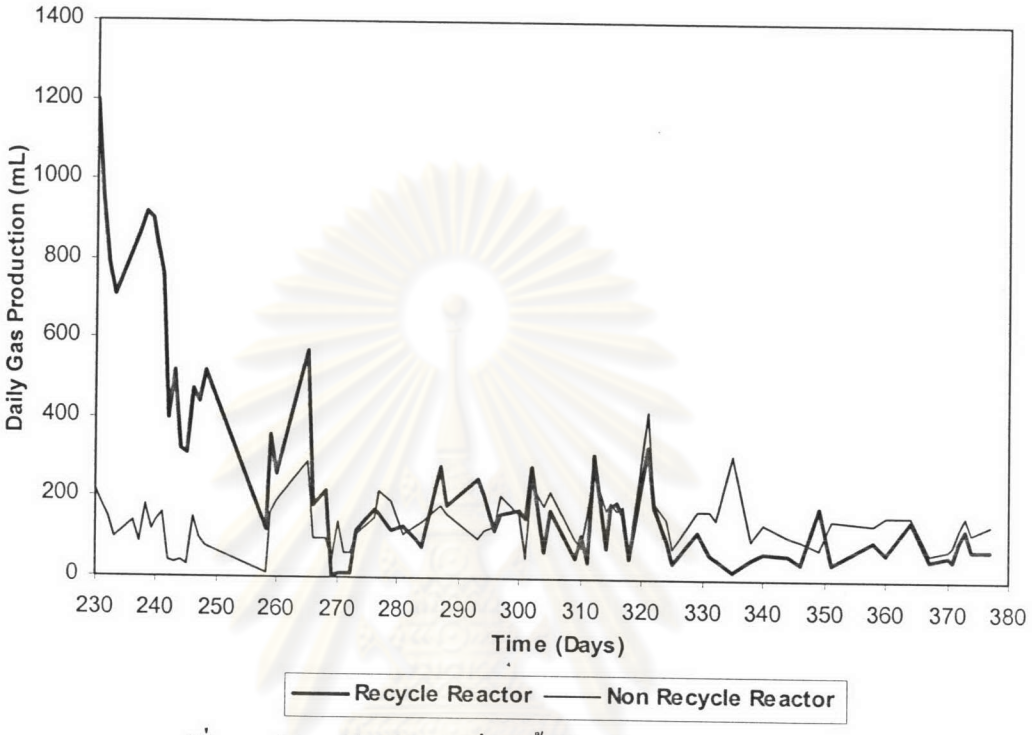
4.1 ก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังหมักขยะ เป็นตัวแปรหนึ่งที่แสดงถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่รวมอยู่เป็นก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมด จะเป็นตัวชี้วัดถึงระยะต่างๆของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอย ซึ่งกลายไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นเอง

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจากถังหมักขยะ ทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงดังรูปที่ 4.1 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ก ตาราง ก.1 และปริมาณสะสมของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากถังหมักขยะ ทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงดังรูปที่ 4.2 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ก ตาราง ก.2

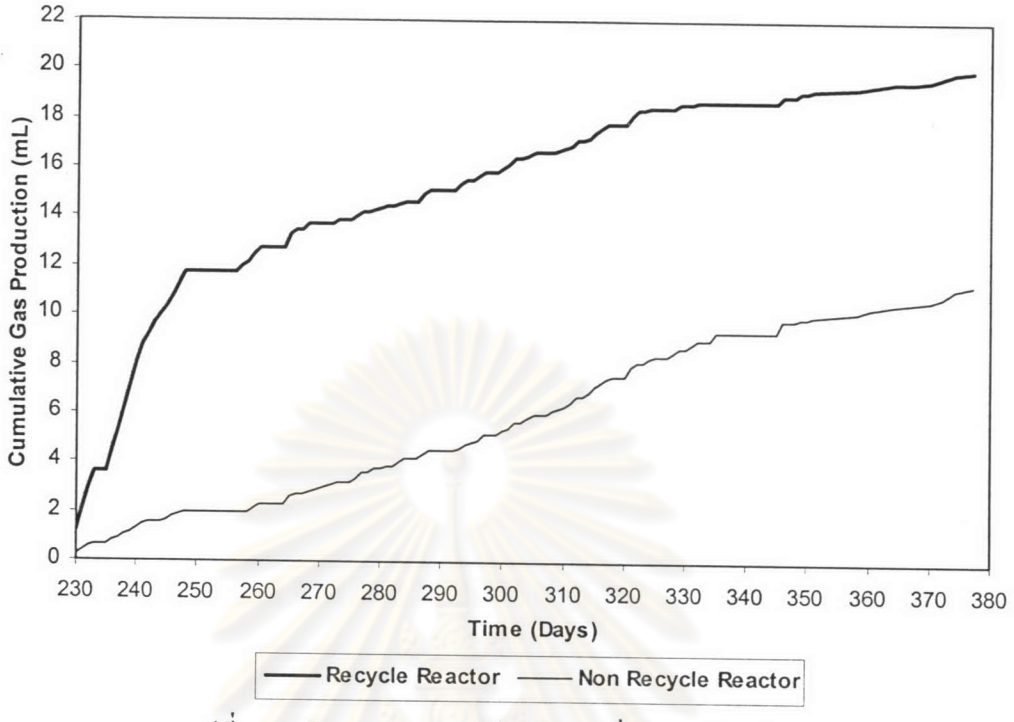
ถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมด มากกว่าถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ คือ 20.06 ลิตร และ 11.30 ลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายขยะในถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ในช่วงสุดท้ายคือตั้งแต่วันที่ 230 ถึงวันที่ 377 เกิดขึ้นได้รวดเร็วและสมบูรณ์กว่าในถังหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ อันเป็นผลมาจากการหมุนเวียนน้ำชะขยะที่ทำให้กรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายในน้ำชะขยะ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในระยะที่ 4 (Methane Fermentation Phase) ของกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ มีโอกาสถูกจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจนกลุ่ม Methanogenic ในถังหมักย่อยสลายเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซมีเทนมากขึ้น ต่างกับถังหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ที่กรดอินทรีย์ระเหยและสารอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ ถูกทิ้งไปกับน้ำชะขยะที่ระบายออกจากถังหมัก รวมทั้งการที่ความชื้นกระจายไม่ทั่วถึง ทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยกว่า และพบว่าในช่วงสุดท้ายของการทดลอง คือตั้งแต่วันที่ 320 ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีปริมาณน้อยกว่าถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ อัน

เนื่องมาจากส่วนของสารอินทรีย์ที่ยังไม่ถูกย่อยสลายมีเหลืออยู่ในปริมาณที่น้อยกว่า แสดงถึงการใช้เวลาที่น้อยกว่าในการทำเสถียรในถังหมักขยะ

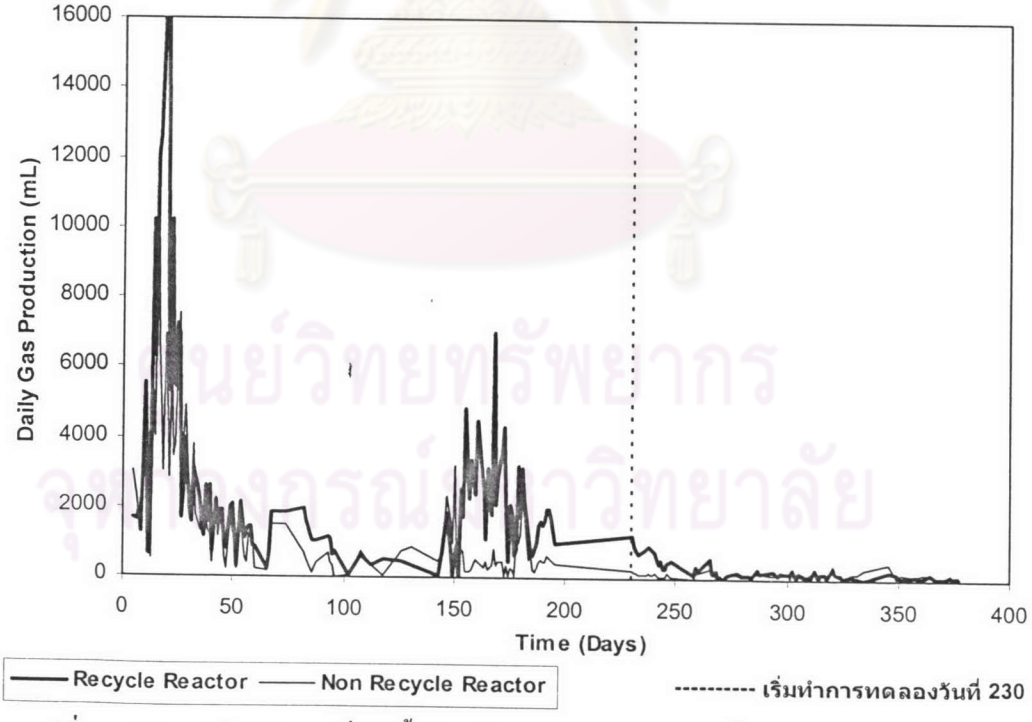


รูปที่ 4.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจากถังหมักขยะ

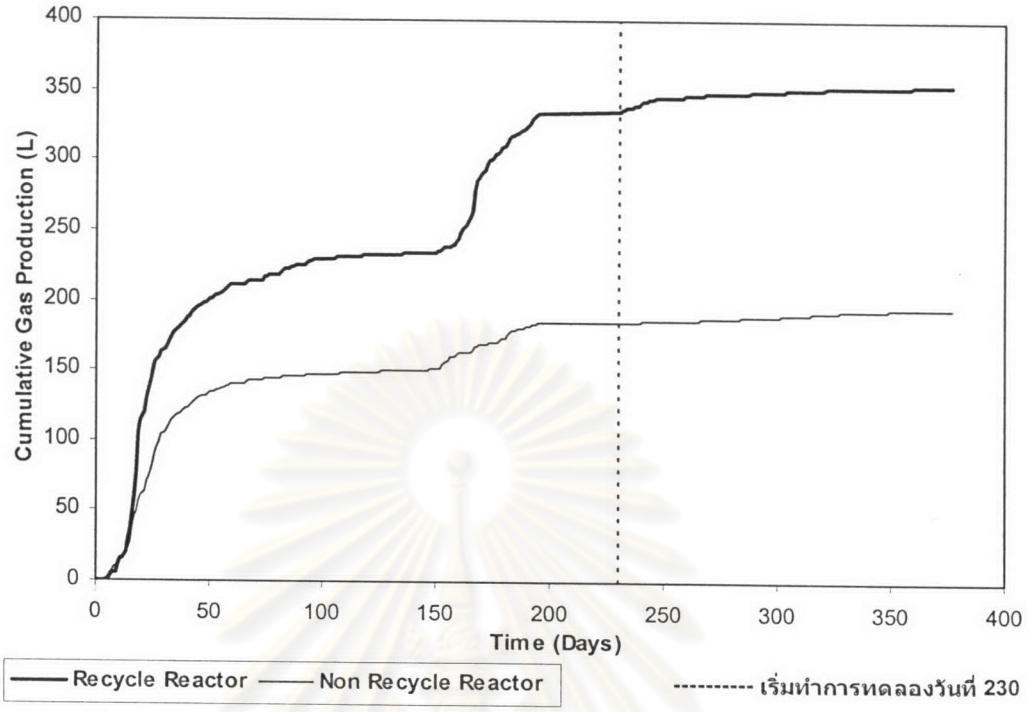
เมื่อรวมข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่ได้จากถังหมักขยะ กับข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ (Krispol Jaijongrak, 2004) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าตั้งแต่วันที่ 230 เป็นต้นไปซึ่งเป็นวันที่เริ่มทำการทดลอง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจะมีปริมาณน้อยลงอย่างชัดเจน และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ จนกระทั่งค่อนข้างคงที่ในช่วงท้ายของการทดลอง ซึ่งแสดงถึงสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้มีปริมาณน้อยลงมากและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังหมัก กำลังเข้าสู่ช่วงสุดท้ายของกระบวนการปรับเสถียร ซึ่งก็คือระยะที่ 5 (Maturation Phase) นั่นเอง



รูปที่ 4.2 ปริมาณสะสมของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากถังหมักขยะ



รูปที่ 4.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจากถังหมักขยะตั้งแต่การทดลองก่อนหน้า (Krispol Jaijongrak, 2004)



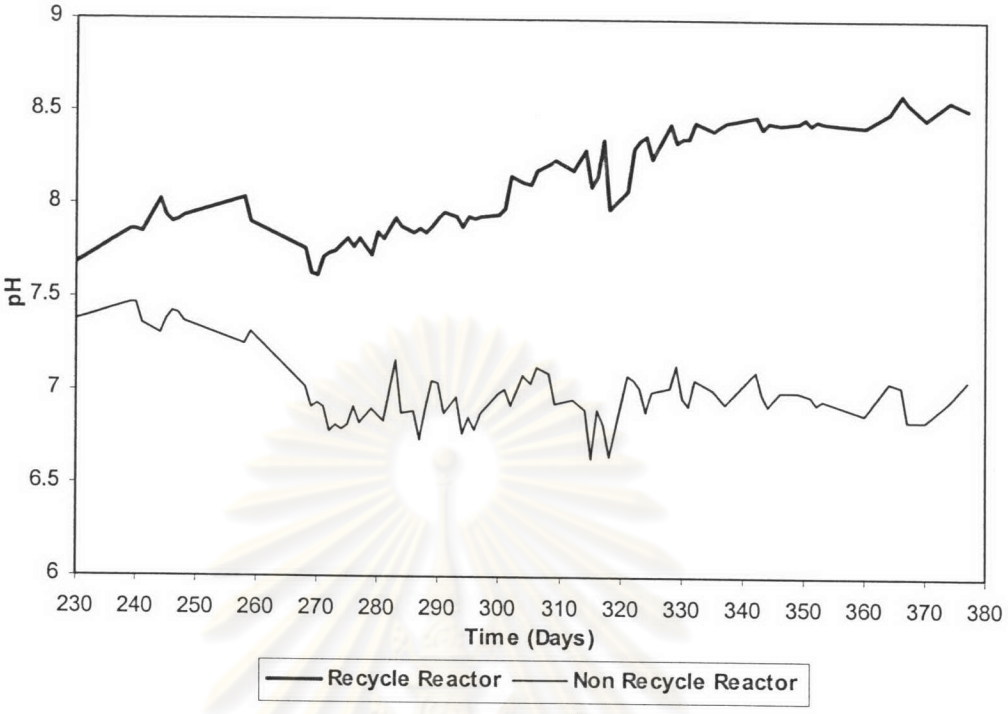
รูปที่ 4.4 ปริมาณสะสมของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากถังหมักขยะตั้งแต่การทดลองก่อนหน้า (Krispol Jaijongrak, 2004)

4.2 น้ำชะขยะ

ตัวแปรต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำชะขยะ เป็นสิ่งสำคัญที่จะอธิบายถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งระยะต่างๆของการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ รวมทั้งแสดงถึงคุณลักษณะของน้ำชะขยะ ที่ต้องมีการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

4.2.1 ค่าพีเอช

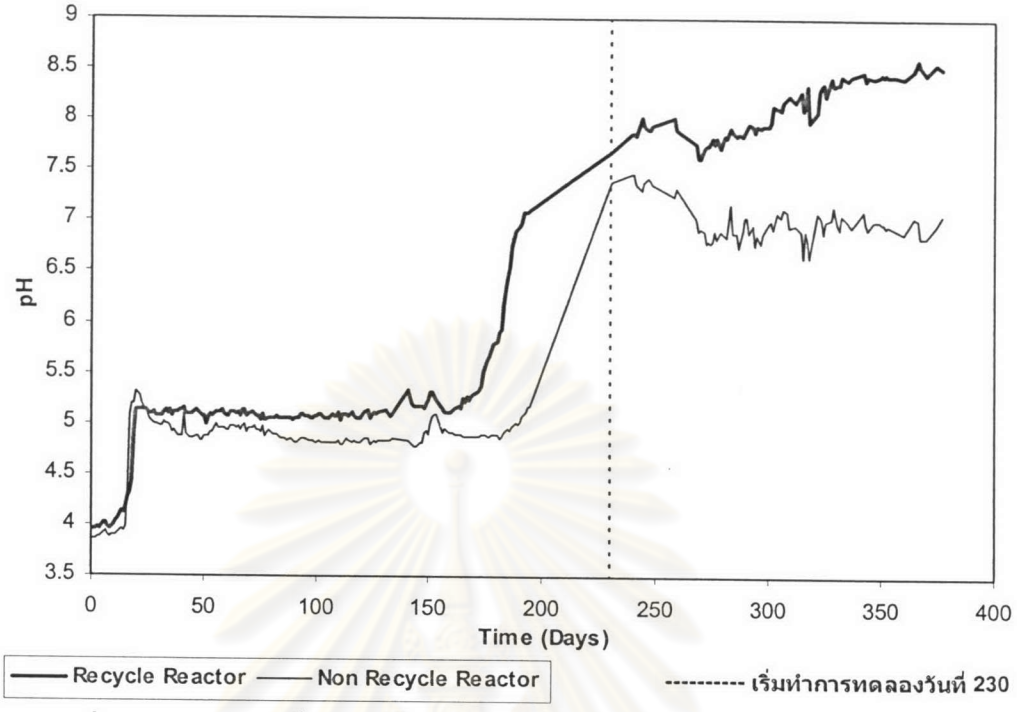
ค่าพีเอชของน้ำชะขยะเป็นตัวแปรหนึ่ง ที่แสดงถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระยะต่างๆของการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ ค่าพีเอชของน้ำชะขยะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น รวมทั้งสภาพความเป็นด่างของน้ำชะขยะที่แสดงถึงระดับบัฟเฟอร์ของระบบ ค่าพีเอชของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงดังรูปที่ 4.5 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ข ตาราง ข.1



รูปที่ 4.5 ค่าพีเอชของน้ำชะขยะ

ค่าพีเอชของน้ำชะขยะตั้งแต่วันที่ 230 เป็นต้นไปซึ่งเป็นวันที่เริ่มต้นทำการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 7.62 ถึง 8.60 และ 6.64 ถึง 7.47 ในถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน และพบว่าค่าพีเอชของน้ำชะขยะในถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีค่าสูงกว่าค่าพีเอชของน้ำชะขยะในถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ สืบเนื่องจากการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับค่าพีเอชของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ให้อยู่ในระดับที่เป็นกลาง (Krispol Jaijongrak, 2004)

เมื่อรวมข้อมูลค่าพีเอชของน้ำชะขยะ กับข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ (Krispol Jaijongrak, 2004) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่าค่าพีเอชของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งประมาณวันที่ 230 ค่าพีเอชของน้ำชะขยะมีค่าอยู่ในระดับที่เป็นกลางอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงถึงกรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะมีปริมาณน้อยลง อันเนื่องมาจากถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งในระยะเวลาต่อมาก็เกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยลงเช่นกัน สอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.3



รูปที่ 4.6 ค่าพีเอชของน้ำชะขยะตั้งแต่การทดลองก่อนหน้า (Krispol Jaijongrak, 2004)

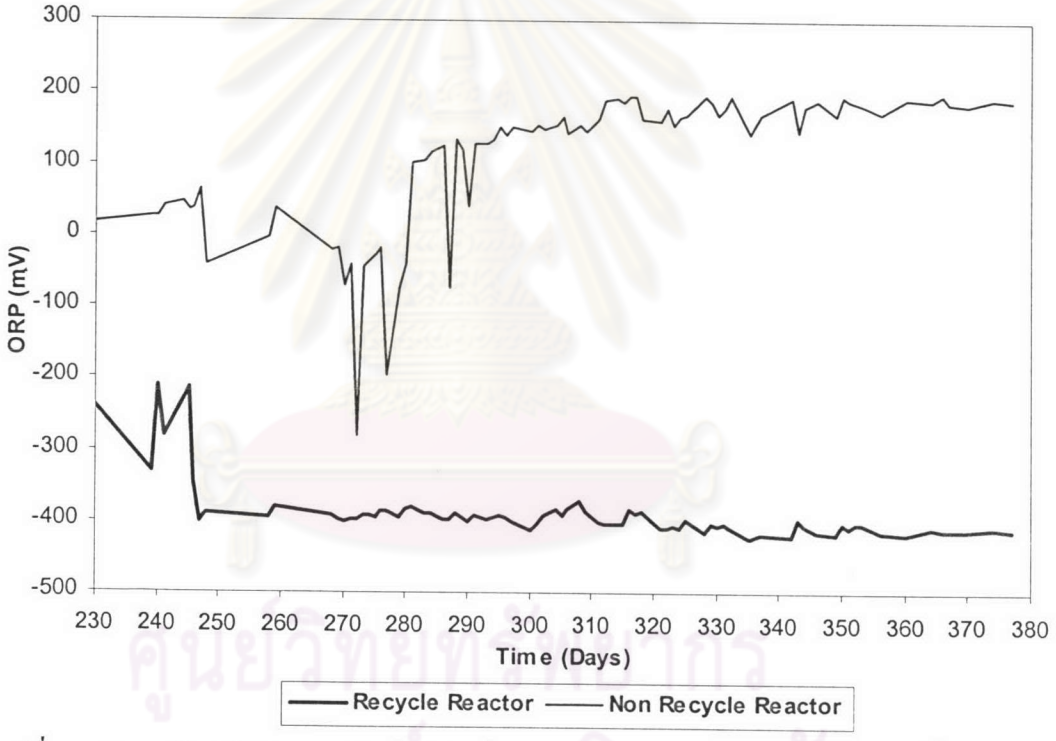
4.2.2 ค่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น -รีดักชั่น (Oxidation-Reduction Potential, ORP)

ค่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น (Oxidation-Reduction Potential, ORP) แสดงถึงสภาวะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและปฏิกิริยารีดักชั่นภายในถังหมักขยะ ซึ่งแสดงถึงสภาวะที่เหมาะสม ที่จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแบบไม่ใช้ออกซิเจน ค่าโออาร์พีของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงดังรูปที่ 4.7 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ข ตาราง ข.2

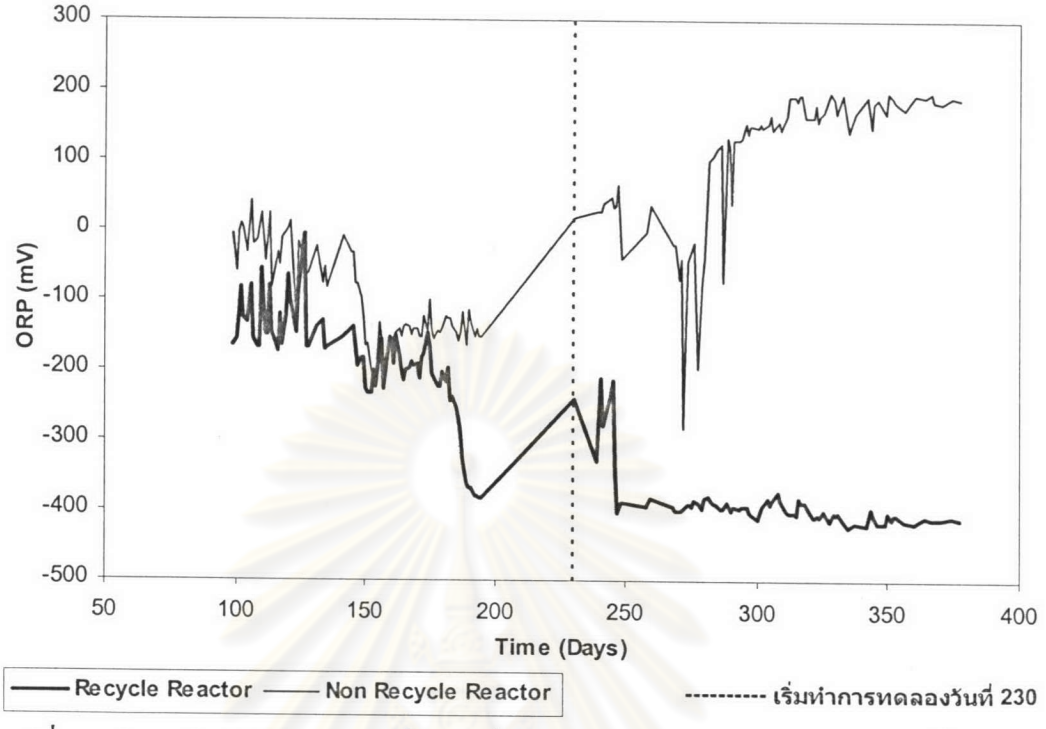
ค่าโออาร์พีของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่วันที่ 247 คือมีค่าอยู่ในช่วง -372.7 มิลลิโวลต์ ถึง -422.8 มิลลิโวลต์ แสดงถึงสภาวะที่เหมาะสมและค่อนข้างคงที่ภายในถังหมักขยะ ที่มีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเกิดปฏิกิริยารีดักชั่นที่มีการเปลี่ยนรูปกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน ในขณะที่ค่าโออาร์พีของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีค่าที่แปรปรวนและเปลี่ยนเป็นค่อนข้างคงที่ตั้งแต่วันที่ 291 คือมีค่าอยู่ในช่วง 129.1 มิลลิโวลต์ ถึง 197.8 มิลลิโวลต์ แสดงถึงสภาวะที่ไม่เหมาะสมภายในถังหมักขยะ ที่จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีน้อยกว่าจากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ

4.4 ทั้งนี้ค่าโออาร์พีที่สูงอาจเนื่องมาจากการเติมน้ำกลั่นแทนการไหลซึมของน้ำฝนตามธรรมชาติในถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ เป็นการเพิ่มก๊าซออกซิเจนให้กับระบบ ทำให้ค่าโออาร์พีของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าสูงกว่า

เมื่อรวมข้อมูลค่าโออาร์พีของน้ำชะขยะกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ (Krispol Jaijongrak, 2004) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าค่าโออาร์พีของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าค่อนข้างคงที่อย่างชัดเจน คือมีค่าประมาณ -400 และ 190 มิลลิโวลต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังหมักขยะกำลังเข้าสู่ช่วงสุดท้ายของกระบวนการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ



รูปที่ 4.7 ค่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น (Oxidation-Reduction Potential) ของน้ำชะขยะ



รูปที่ 4.8 ค่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น-รีดักชั่น (Oxidation-Reduction Potential) ของน้ำชะขยะตั้งแต่การทดลองก่อนหน้า (Krispol Jaijongrak, 2004)

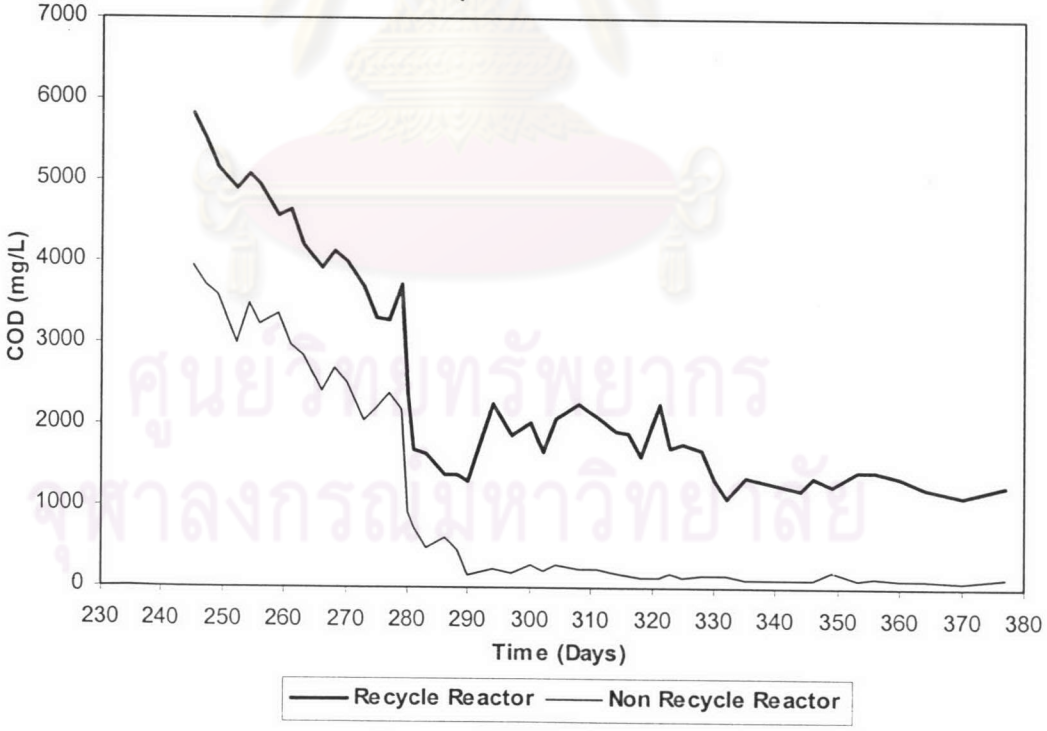
4.2.3 ค่าซีโอดี

ค่าซีโอดีของน้ำชะขยะ เป็นตัวแปรที่บอกถึงสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะ ที่สำคัญ คือ กรดอินทรีย์ระเหย ที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะซึ่งเกิดขึ้นในระยะที่ 3 (Acid Phase) ของกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ โดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ค่าซีโอดีเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญ ในการบอกถึงจุดยุติที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำชะขยะโดยการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ในช่วงสุดท้ายของการทำเสถียรในหลุมฝังกลบ ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ค่าซีโอดีของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงดังรูปที่ 4.9 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ข ตาราง ข.3

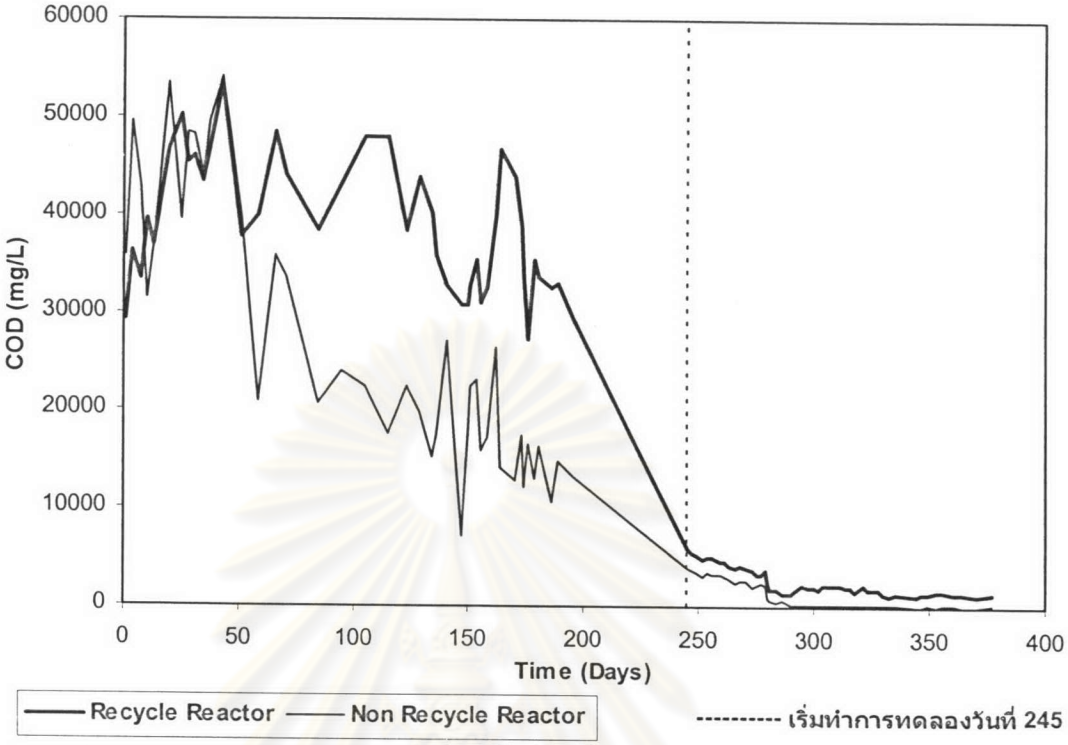
ค่าซีโอดีของน้ำชะขยะจากถังหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีค่าต่ำกว่าค่าซีโอดีของน้ำชะขยะจากถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะตลอดการทดลอง อันเนื่องมาจากการที่กรดอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะรวมทั้งสารอาหารที่สำคัญ ถูกชะออกจากถังหมักขยะโดยน้ำชะขยะที่ปล่อยทิ้งออกไปสัปดาห์ละครั้งตลอดการทดลอง ก่อนที่จะมีการเติมน้ำกลั่นสัปดาห์ละ 0.85 ลิตร แทนปริมาณน้ำฝนตามธรรมชาติ อันเป็นสาเหตุให้ค่าซีโอดีของน้ำชะขยะจากถังหมักที่ไม่มี

การหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าต่ำกว่า และมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ประมาณวันที่ 281 เป็นต้นไป และในการที่ค่าซีโอดีของน้ำชะขยะจากถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีค่าสูงกว่าค่าซีโอดีของน้ำชะขยะจากถังหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะนั้น เนื่องมาจากการหมุนเวียนน้ำชะขยะเป็นการนำเอาสารอินทรีย์และสารอาหารที่สำคัญเวียนกลับเข้าสู่ถังหมักขยะ ซึ่งเป็นการเพิ่มปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยมากขึ้น ทำให้ค่ากรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะมีค่าสูงกว่าด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.12

เมื่อรวมข้อมูลค่าซีโอดีของน้ำชะขยะกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ (Krispol Jaijongrak, 2004) ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าค่าซีโอดีของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าค่อนข้างคงที่อย่างชัดเจนตั้งแต่วันที่ 281 เป็นต้นไป และที่สำคัญคือ ค่าซีโอดีลดลงอย่างมาก คือจากค่าสูงสุด 54,134 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 43 ลดลงมาเป็น 1,111 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 332 จากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในถังหมักขยะกำลังเข้าสู่ช่วงสุดท้ายของกระบวนการปรับเสถียร และการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีประสิทธิภาพในการบำบัดตัวเอง



รูปที่ 4.9 ค่าซีโอดีของน้ำชะขยะ



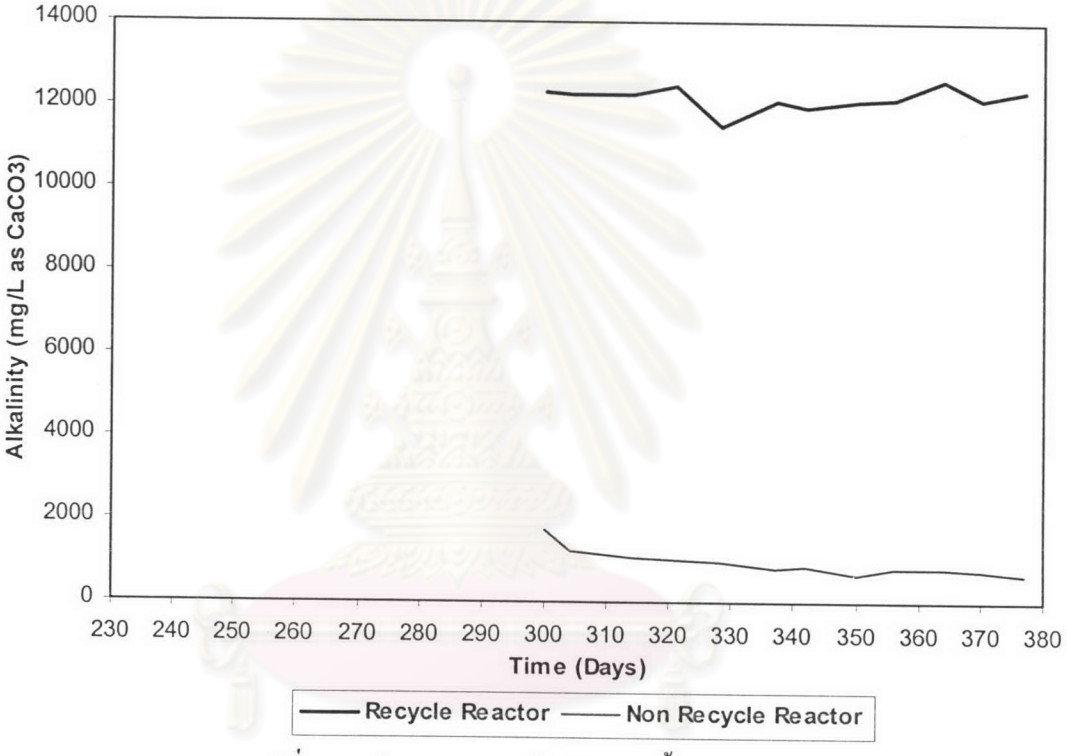
รูปที่ 4.10 ค่าซีโอดีของน้ำชะขยะตั้งแต่การทดลองก่อนหน้า (Krispol Jaijongrak, 2004)

4.2.4 ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำชะขยะ

ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำชะขยะ แสดงถึงการมีอยู่ของกลุ่มคาร์บอเนตในน้ำชะขยะ เช่น HCO_3^-, CO_3^{-2}, OH^- ซึ่งแสดงถึงระดับบัฟเฟอร์ของระบบ ที่ต้องเพียงพอในการที่จะป้องกันไม่ให้เกิดสภาพความเป็นกรดมากเกินไป โดยการทำลายฤทธิ์กรดของระบบบัฟเฟอร์ เนื่องจากจุลินทรีย์ประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจนกลุ่ม Methanogenic ต้องการสภาพที่เป็นกลางในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยไปเป็นก๊าซมีเทน ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงดังรูปที่ 4.11 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ข ตาราง ข.4

ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำชะขยะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ที่เริ่มตั้งแต่วันที่ 300 คือมีค่าอยู่ในช่วง 11,511 ถึง 12,601 mg/L as $CaCO_3$ จากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงถึงระดับบัฟเฟอร์ของระบบที่มีค่าสูงและคงที่ เป็นการรักษาสภาวะความเป็นกลางในระบบ สอดคล้องกับค่าพีเอชที่อยู่ในระดับค่อนข้างเป็นกลางดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นในถังหมักขยะ ในขณะที่ค่าสภาพ

ความเป็นด่างของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีค่าลดต่ำลงจาก 1,760 ถึง 672 mg/L as $CaCO_3$ แสดงถึงระดับบัฟเฟอร์ของระบบที่มีค่าลดต่ำลง สอดคล้องกับค่าพีเอชที่อยู่ในระดับปานกลางค่อนข้างต่ำเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ซึ่งทำให้ในถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีสภาวะเหมาะสมมากกว่า ในการที่จุลินทรีย์จะทำการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยไปเป็นก๊าซมีเทน จึงทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีปริมาณมากกว่าดังที่ได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 4.2 และ 4.4

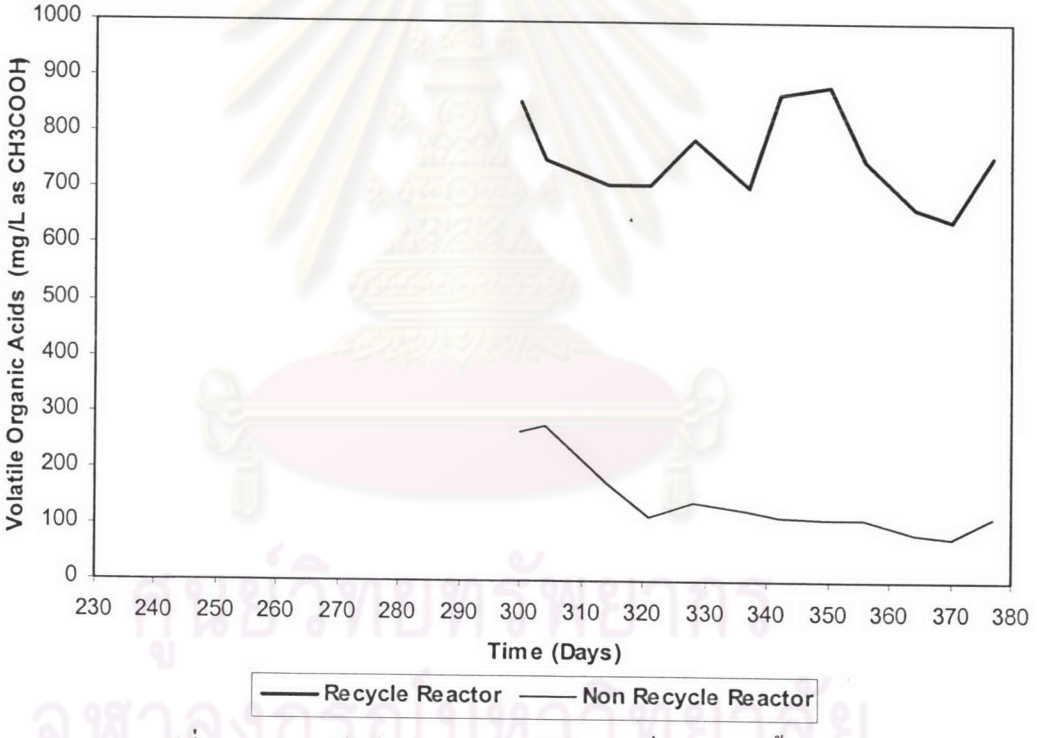


รูปที่ 4.11 ค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำชะขยะ

4.2.5 กรดอินทรีย์ระเหย

กรดอินทรีย์ระเหยของน้ำชะขยะ แสดงถึงปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในขยะซึ่งเริ่มเกิดขึ้นในระยะที่ 3 (Acid Phase) ของกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ โดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ค่ากรดอินทรีย์ระเหยของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงดังรูปที่ 4.12 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ข ตาราง ข.5

พบว่าค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะ จากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ มีค่าสูงกว่าจากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ เนื่องมาจากการหมุนเวียนน้ำชะขยะ เป็นการเพิ่มปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นกรดอินทรีย์ระเหยมากขึ้น ซึ่งเป็นการทำให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากกว่าดังที่ได้แสดงไว้แล้วในตอนต้น นอกจากนั้นแล้วพบว่าอัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยและค่าสภาพความเป็นด่างของน้ำชะขยะ มีค่าประมาณ 0.1 จากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ และมีค่าประมาณ 0.1-0.2 จากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นในถังหมักขยะอยู่ในสภาวะที่ดี ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหย และค่าสภาพความเป็นด่างของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.4 (Sawyer, 1994)

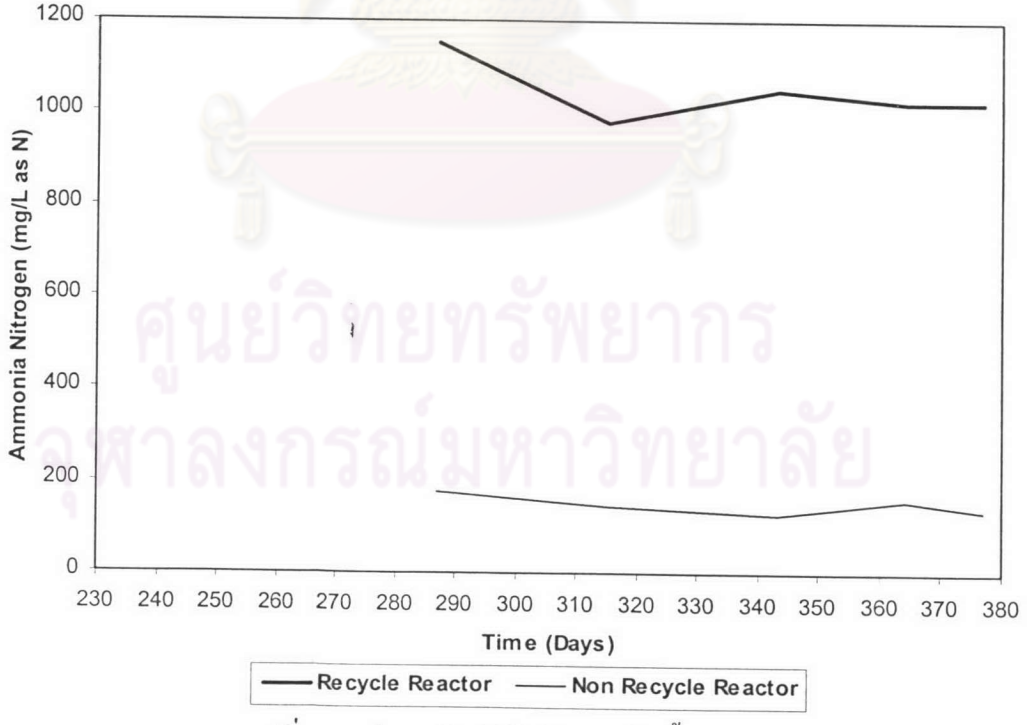


รูปที่ 4.12 ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายในน้ำชะขยะ

4.2.6 แอมโมเนียไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นสารอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจนเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น โปรตีนและกรดอะมิโน ดังนั้นการวัดค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำชะขยะ จึงเป็นการประเมินปริมาณสารอาหารที่มีอยู่ในถังหมักขยะ ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงดังรูปที่ 4.13 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ข ตาราง ข.6

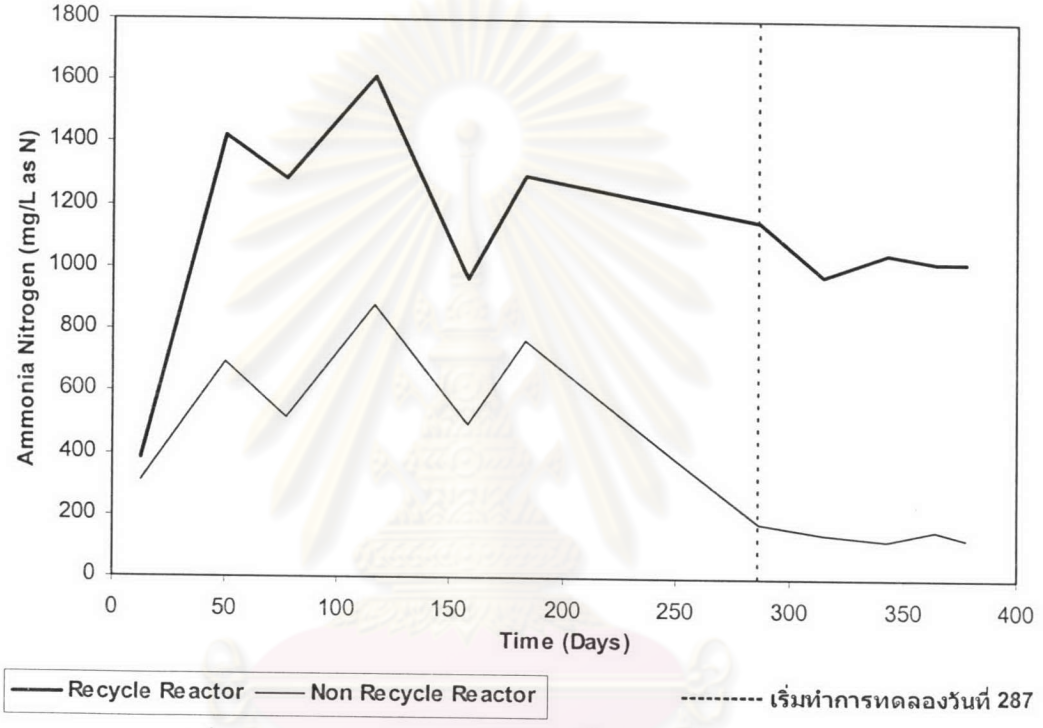
ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าสูงกว่าค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะตลอดการทดลอง เนื่องมาจากการหมุนเวียนน้ำชะขยะเป็นการนำเอาสารอาหารซึ่งถูกชะออกไปโดยน้ำชะขยะกลับเข้าสู่ถังหมัก ในขณะที่สารอาหารในถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ถูกชะออกจากถังหมักขยะโดยน้ำชะขยะที่ปล่อยทิ้งออกไปสัปดาห์ละครั้งตลอดการทดลอง ดังนั้นจึงเป็นเหตุที่ทำให้ในถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในปริมาณมากกว่าดังที่ได้แสดงไว้แล้วในตอนต้น



รูปที่ 4.13 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำชะขยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

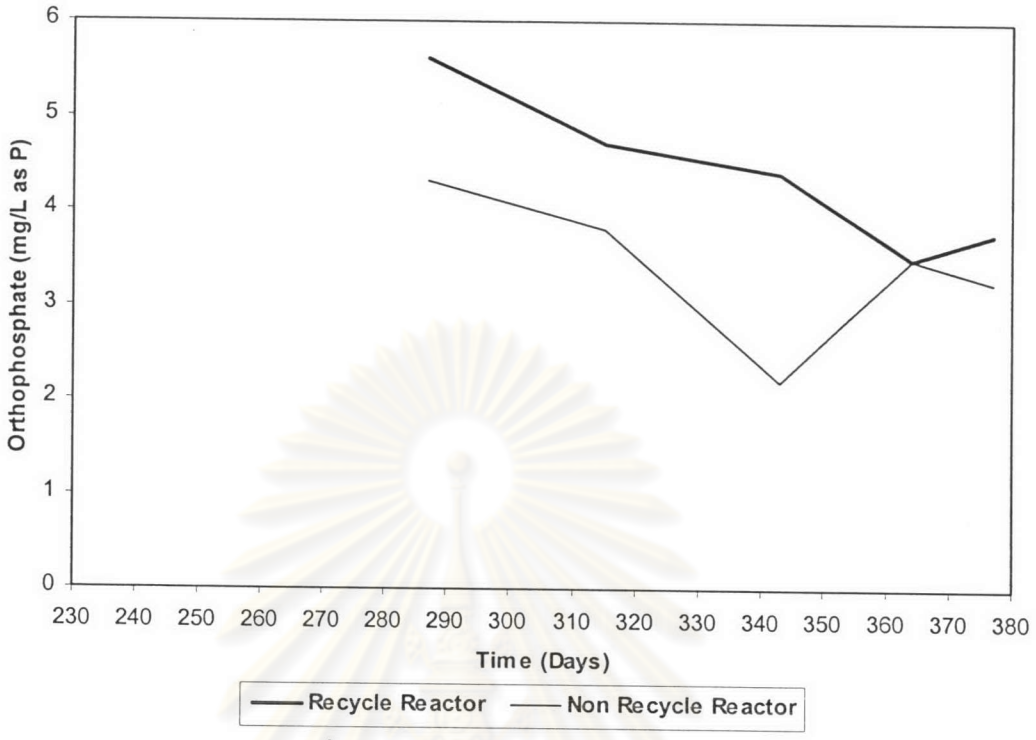
เมื่อรวมข้อมูลค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำชะขยะกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ (Krispol Jaijongrak, 2004) ดังแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่าค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำชะขยะจากถังหมักขยะทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าลดลง แสดงว่าในช่วงสุดท้ายของกระบวนการปรับเสถียร สารอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ลดน้อยลงเนื่องมาจากการถูกนำไปใช้ สอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นน้อยลงเช่นกันดังที่ได้แสดงไว้แล้วในตอนต้น



รูปที่ 4.14 ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำชะขยะตั้งแต่การทดลองก่อนหน้า (Krispol Jaijongrak, 2004)

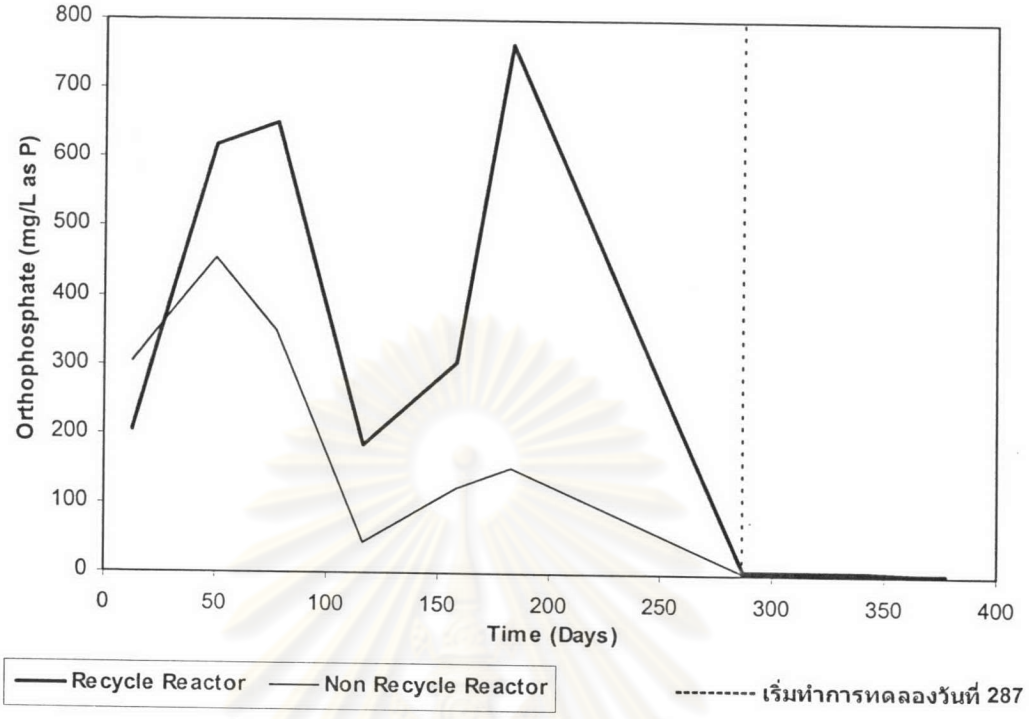
4.2.7 ออร์โทฟอสเฟต

ค่าออร์โทฟอสเฟตที่วัดได้เป็นตัวชี้วัดถึงปริมาณของฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นสารอาหารหลักที่จำเป็นอีกตัวหนึ่งของแบคทีเรียในปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ค่าออร์โทฟอสเฟตในน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ แสดงดังรูปที่ 4.15 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ข ตาราง ข.7



รูปที่ 4.15 ค่าออร์โทฟอสเฟตในน้ำชะขยะ

ค่าออร์โทฟอสเฟตในน้ำชะขยะให้ผลเช่นเดียวกันกับค่าแอมโมเนียไนโตรเจนกล่าวคือ ค่าออร์โทฟอสเฟตในน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าสูงกว่าออร์โทฟอสเฟตในน้ำชะขยะจากถังหมักขยะ ที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะเล็กน้อยตลอดการทดลอง ด้วยเหตุผลเดียวกันคือ การหมุนเวียนน้ำชะขยะเป็นการนำเอาสารอาหารซึ่งถูกชะออกไปโดยน้ำชะขยะกลับเข้าสู่ถังหมัก ในขณะที่สารอาหารในถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ถูกชะออกจากถังหมักขยะโดยน้ำชะขยะที่ปล่อยทิ้งออกไปสัปดาห์ละครั้งตลอดการทดลอง ดังนั้นจึงเป็นเหตุที่ทำให้ในถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ เกิดปฏิกิริยากรย่อยสลายสารอินทรีย์มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในปริมาณมากกว่าดังที่ได้แสดงไว้แล้วในตอนต้น และยังพบว่าค่าออร์โทฟอสเฟตมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และเห็นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อรวมข้อมูลค่าออร์โทฟอสเฟตในน้ำชะขยะ กับข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ (Krispol Jaijongrak, 2004) ดังแสดงในรูปที่ 4.16 แสดงว่าในช่วงสุดท้ายของกระบวนการปรับเสถียร สารอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ลดน้อยลงเนื่องมาจากการถูกนำไปใช้ สอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นน้อยลงเช่นกันดังที่ได้แสดงไว้แล้วในตอนต้น



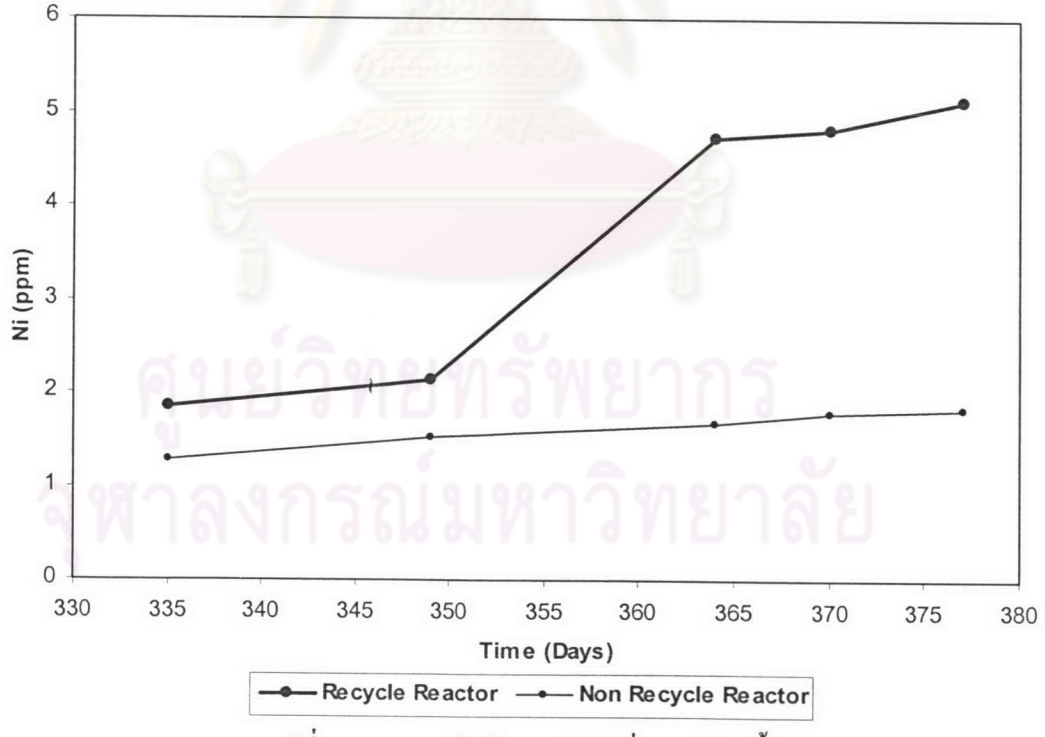
รูปที่ 4.16 ค่าออร์โทฟอสเฟตในน้ำชะขยะตั้งแต่การทดลองก่อนหน้า

(Krispol Jaijongrak, 2004)

4.2.8 โลหะหนัก

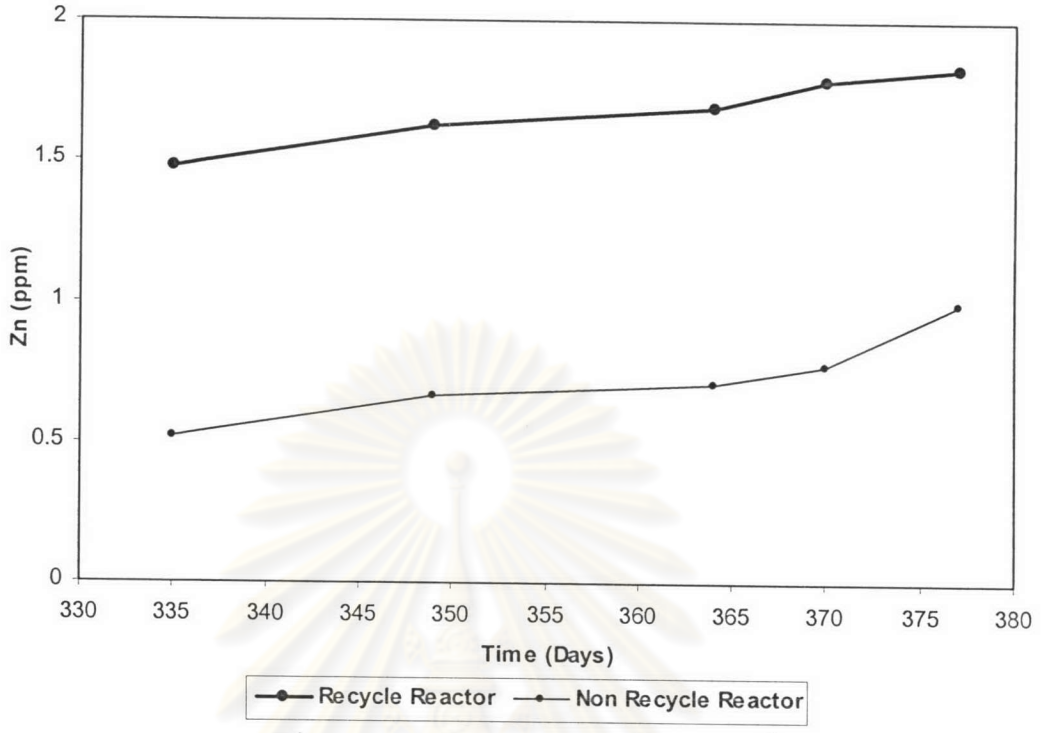
การทดสอบการชะโลหะหนักโดยน้ำชะขยะ ในช่วงสุดท้ายของกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบ เพื่อต้องการศึกษาผลกระทบของการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ที่มีต่อความสามารถในการชะโลหะหนัก ซึ่งโลหะหนักจะสามารถละลายในน้ำชะขยะได้มากขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลง ดังนั้นในช่วงแรกโลหะหนักจะมีความเข้มข้นสูงสุดที่ระยะที่ 3 (Acid Phase) ซึ่งค่าพีเอชต่ำที่สุด ต่อมาในการสร้างก๊าซมีเทนซึ่งเกิดขึ้นในระยะที่ 4 (Methane Fermentation Phase) จะมีค่าพีเอชเป็นกลางจึงทำให้โลหะหนักละลายได้น้อยลง ในช่วงท้ายของกระบวนการปรับเสถียรในหลุมฝังกลบ การละลายของโลหะหนักในน้ำชะขยะจะขึ้นอยู่กับการเกิดขึ้นของกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกในระยะที่ 5 (Maturation Phase) ค่าความเข้มข้นของนิเกิลที่ถูกชะโดยน้ำชะขยะจากถังหมักขยะทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะแสดงดังรูปที่ 4.17 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ข ตาราง ข.8 ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของสังกะสีที่ถูกชะโดยน้ำชะขยะจากถังหมักขยะทั้งที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะแสดงดังรูปที่ 4.18 และแสดงข้อมูลทั้งหมดในภาคผนวก ข ตาราง ข.9

จากการทดลองพบว่า ค่าความเข้มข้นของนิเกิลที่ถูกชะโดยน้ำชะขยะจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำชะขยะจากถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของนิเกิลที่ถูกชะออกมามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ความเข้มข้นของสังกะสีที่ถูกชะโดยน้ำชะขยะก็ให้ผลเช่นเดียวกันกล่าวคือ จะมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป แต่ความเข้มข้นของสังกะสีที่ถูกชะโดยน้ำชะขยะจากถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะจะมีค่ามากกว่าความเข้มข้นของสังกะสีที่ถูกชะโดยน้ำชะขยะ จากถังหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากการหมุนเวียนน้ำชะขยะในช่วงสุดท้ายของกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบซึ่งหมายถึงตั้งแต่ระยะที่ 5 (Maturation Phase) เป็นต้นไป ทำให้เกิดกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิกในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้สามารถชะโลหะหนักได้มากขึ้น สอดคล้องกับอัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยที่ละลายในน้ำชะขยะ และค่าซีโอดีของน้ำชะขยะ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.31 ถึง 0.61 และ 0.82 ถึง 0.97 จากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนและไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ซึ่งแสดงถึงสัดส่วนของกรดฮิวมิกและกรดฟัลวิก ที่ละลายอยู่ในน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะในปริมาณที่มากกว่า โดยเป็นส่วนประกอบหลักของค่าซีโอดีในน้ำชะขยะนอกเหนือจากกรดอินทรีย์ระเหย

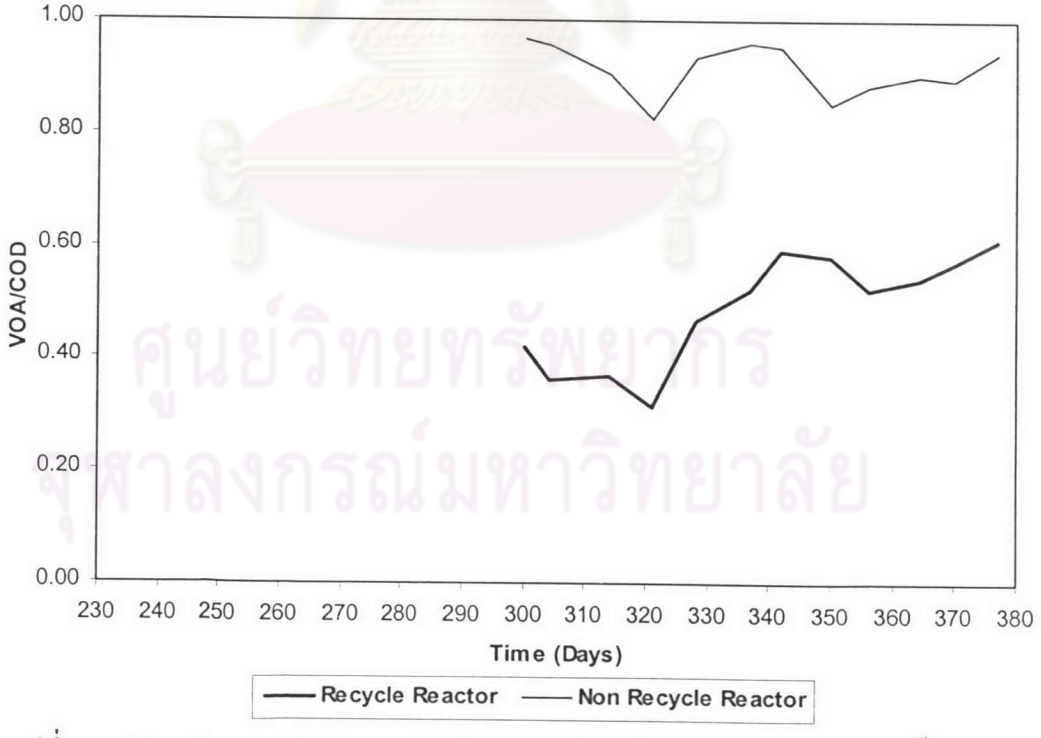


รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของนิเกิลที่ถูกชะโดยน้ำชะขยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 ความเข้มข้นของสังกะสีที่ถูกชะโดยน้ำชะขยะ



รูปที่ 4.19 อัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยและค่าซีโอดีของน้ำชะขยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้แสดงไว้แล้วในตอนต้น แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ อยู่ในช่วงสุดท้ายของกระบวนการปรับเสถียรภายในหลุมฝังกลบซึ่งแสดงได้โดย ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในปริมาณน้อยลงจนกระทั่งค่อนข้างคงที่ ค่าพีเอชเป็นกลางอย่างต่อเนื่อง ค่าซีโอดีมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ ค่าโออาร์พีและค่าสภาพความเป็นด่างมีค่าคงที่ รวมถึงค่าแอมโมเนียไนโตรเจนและออร์โทฟอสเฟตซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญมีค่าลดลง สิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ในถังหมักขยะเหลืออยู่ในปริมาณน้อย นอกจากนั้นแล้ว เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยและค่าซีโอดีของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ พบว่ามีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยและค่าซีโอดีของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่ยังสามารถย่อยสลายได้ในถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะยังมีอยู่ในปริมาณที่มากกว่า ในขณะที่ถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น กรดฮิวมิกและกรดฟัลวิก ซึ่งเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ในปริมาณมาก ดังแสดงได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหย และค่าซีโอดีของน้ำชะขยะจากถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะที่มีค่าต่ำสอดคล้องกับความสามารถของน้ำชะขยะในการชะโลหะหนักที่มีมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และ 4.18

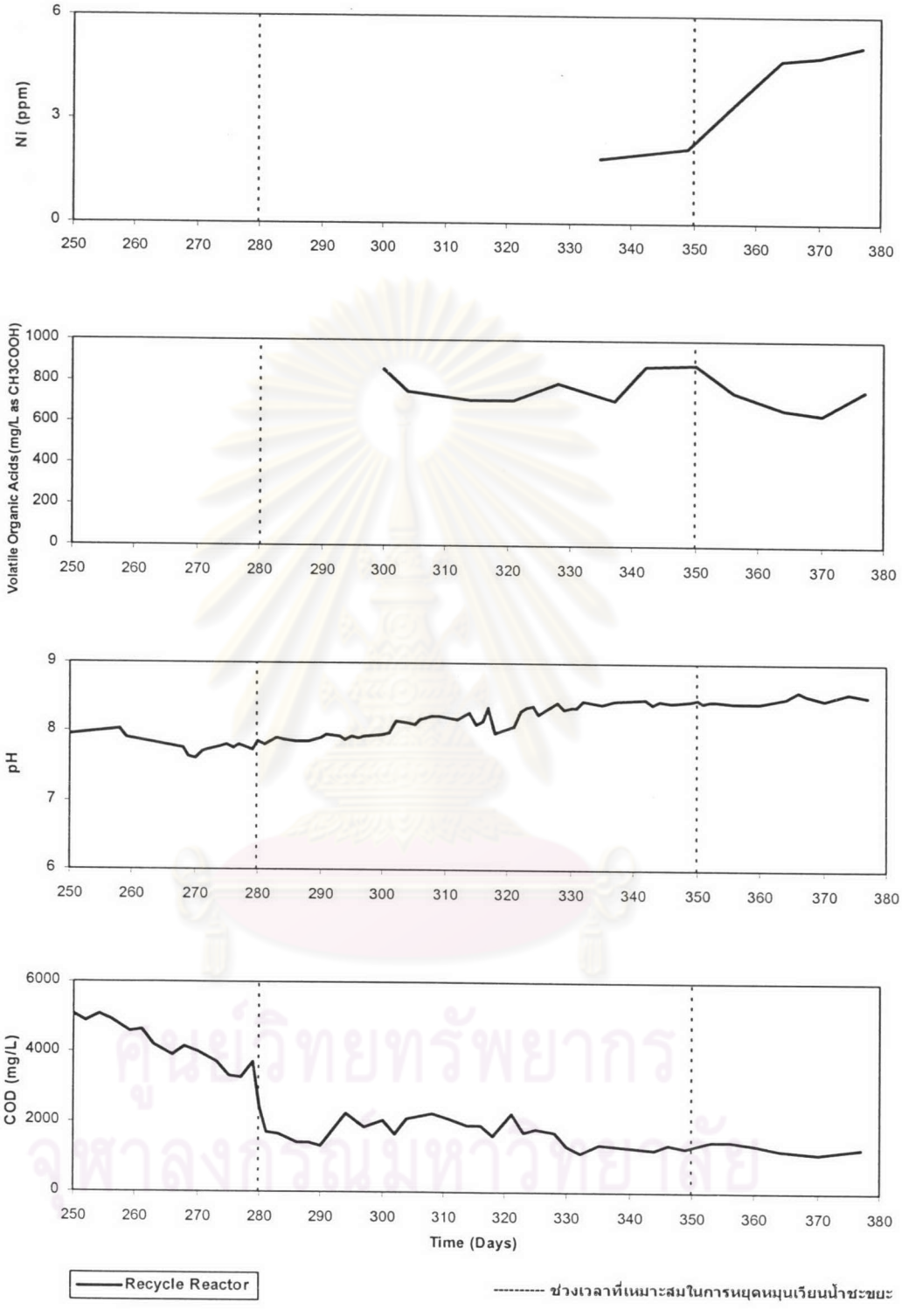
เมื่อพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆในช่วงสุดท้ายของการทดลองในถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 และ 4.21 พบว่า ในช่วงเวลาระหว่างวันที่ 280-350 ค่าซีโอดีมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ คือมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1,100 ถึง 1,300 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นของนิเกิลและสังกะสีที่ถูกชะออกมามีค่าต่ำ ดังนั้นในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดหมุนเวียนน้ำชะขยะ ซึ่งนอกจากการพิจารณาจุดยุติในการหยุดหมุนเวียนน้ำชะขยะจากเวลาแล้ว เกณฑ์อื่นๆที่อาจนำมาพิจารณาด้วยคือ อัตราส่วนของค่าซีโอดีต่ำสุดและค่าซีโอดีสูงสุดซึ่งมีค่าประมาณ 0.02 (1,100 มิลลิกรัมต่อลิตร/54,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และอัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยและค่าซีโอดีซึ่งมีค่าประมาณ 0.50

รูปที่ 4.22 และ 4.23 แสดงปริมาณมวลซีโอดีที่ถูกกำจัดในแต่ละวันจากถังหมักขยะ และปริมาณสะสมของมวลซีโอดีที่ถูกกำจัดจากถังหมักขยะตามลำดับ ซึ่งได้แสดงข้อมูลทั้งหมดและ

การคำนวณในภาคผนวก ข ตาราง ข.10 และตาราง ข.11 พบว่าถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะสามารถกำจัดมวลซีโอดีได้ถึง 447.83 กรัมซีโอดี แต่ในส่วนของถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะสามารถกำจัดมวลซีโอดีได้เพียง 247.63 กรัมซีโอดี แสดงให้เห็นว่าถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่า ซึ่งเป็นการบำบัดตัวเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก่อนที่จะส่งน้ำชะขยะนั้นไปบำบัดต่อยังขั้นตอนต่อไป

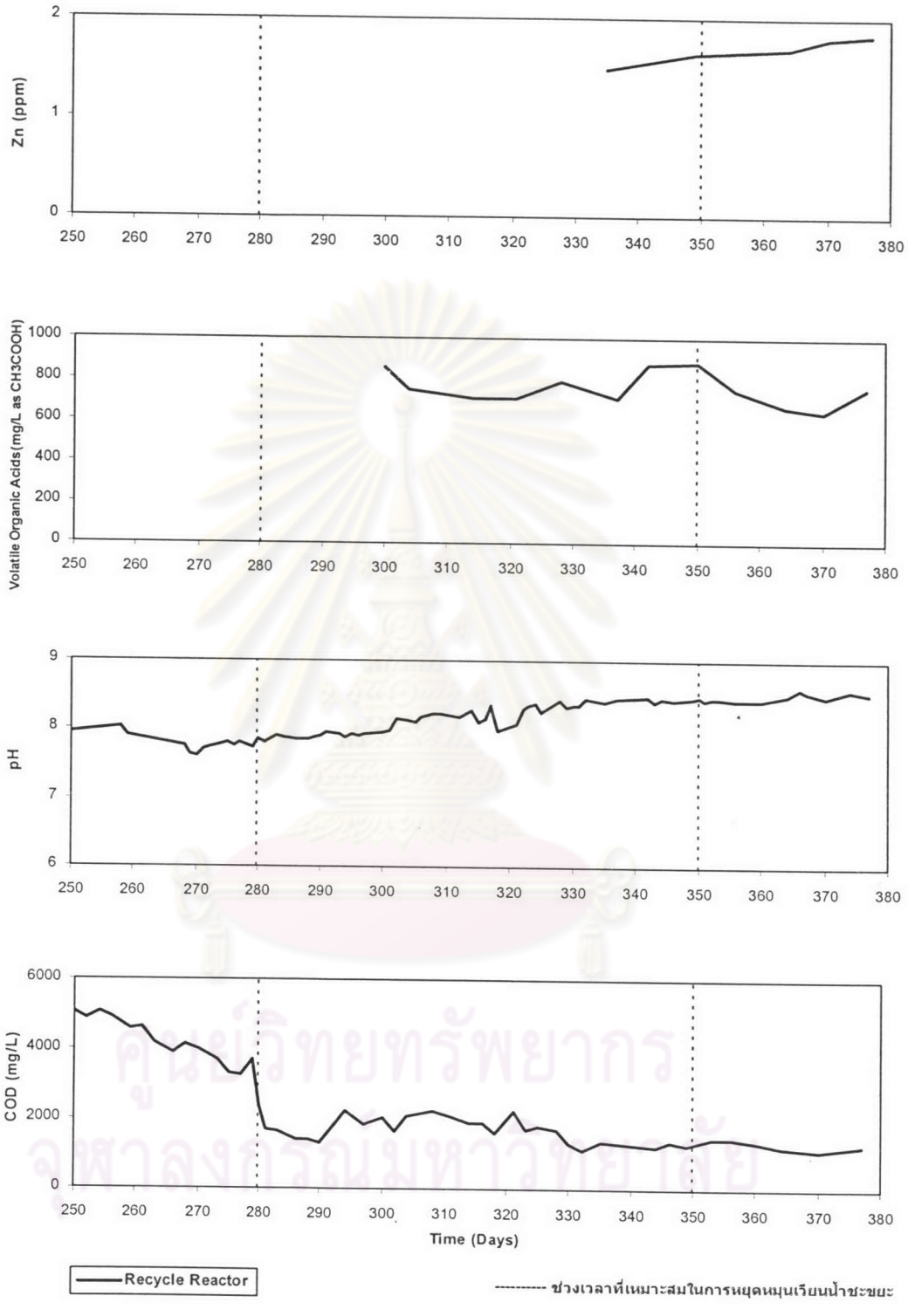
รูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงปริมาณมวลซีโอดีที่ถูกชะทิ้งจากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ และปริมาณสะสมของมวลซีโอดีที่ถูกชะทิ้งจากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะตามลำดับ ซึ่งได้แสดงข้อมูลทั้งหมดและการคำนวณในภาคผนวก ข ตาราง ข.12 และตาราง ข.13 พบว่าค่ามวลซีโอดีทั้งหมดที่ถูกชะทิ้งออกไปโดยน้ำชะขยะมีค่าสูงถึง 659.16 กรัมซีโอดี แสดงให้เห็นว่าน้ำชะขยะที่ถูกปล่อยทิ้งออกจากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะยังมีความเข้มข้นสูง ก่อให้เกิดปัญหาในการบำบัดและเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในส่วนของถังหมักขยะที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ จะไม่มีการปล่อยน้ำชะขยะทิ้งออกจากถังหมักขยะ นอกจากนำกลับมาหมุนเวียนเข้าสู่ถังหมัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



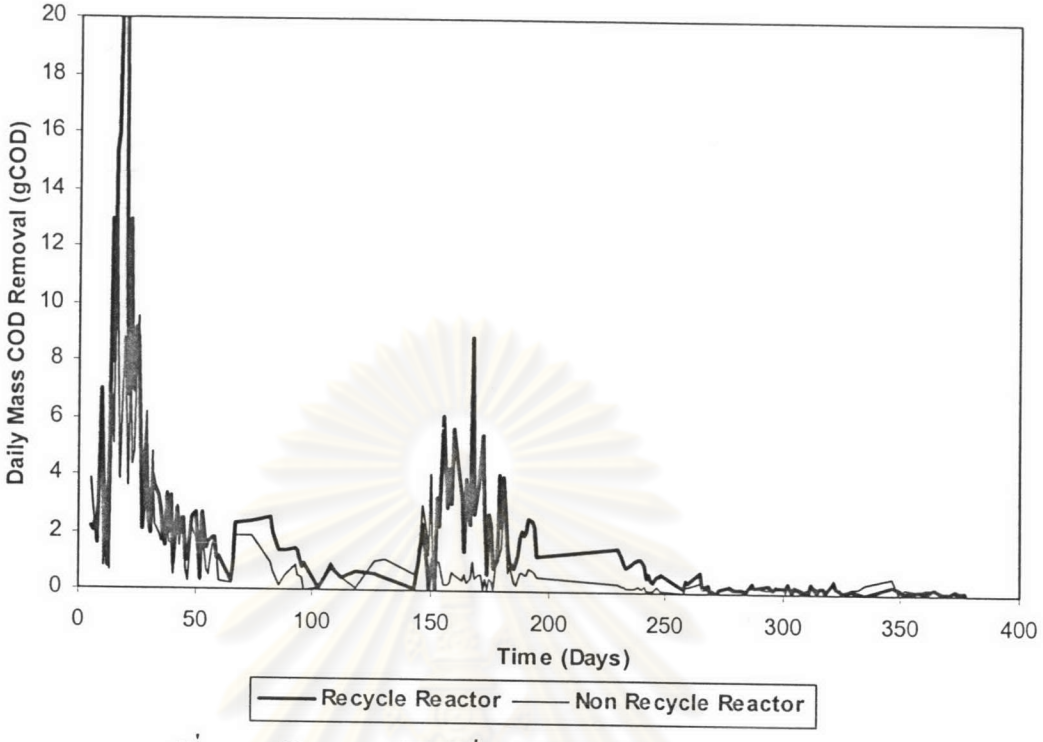
รูปที่ 4.20 การวิเคราะห์ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการหยุดหมุนเวียนน้ำชะขยะโดยเทียบกับความเข้มข้นของนิเกิลที่ถูกชะออกมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

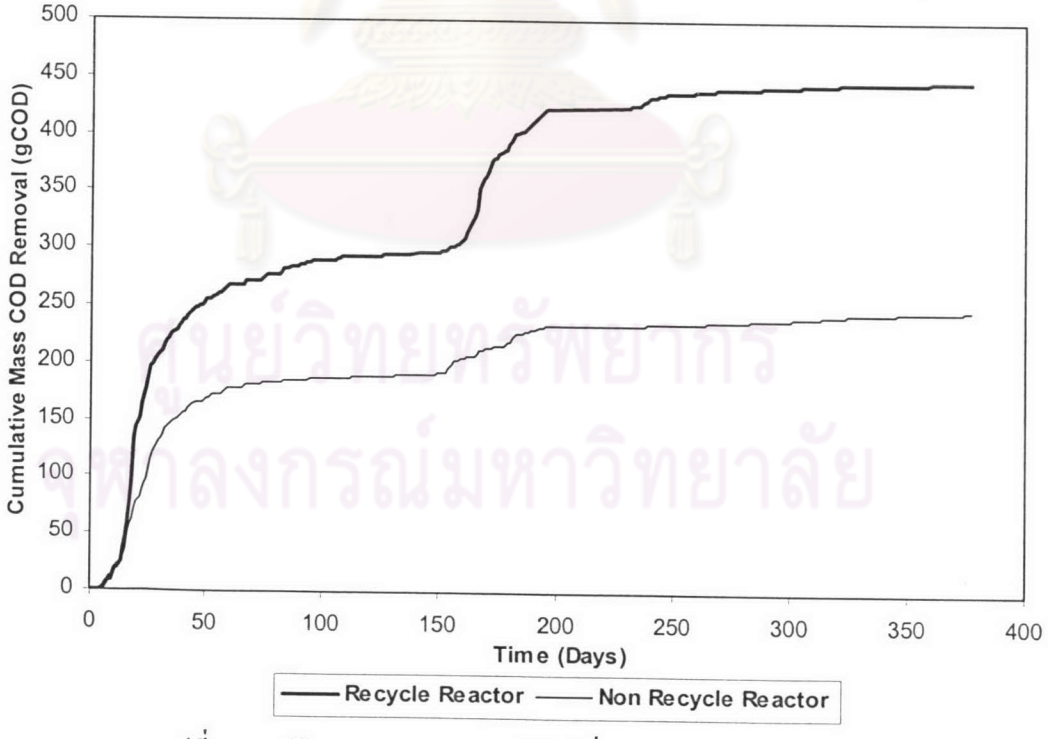


รูปที่ 4.21 การวิเคราะห์ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการหยุดหมุนเวียนน้ำชะขยะโดยเทียบกับความเข้มข้นของสังกะสีที่ถูกชะออกมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

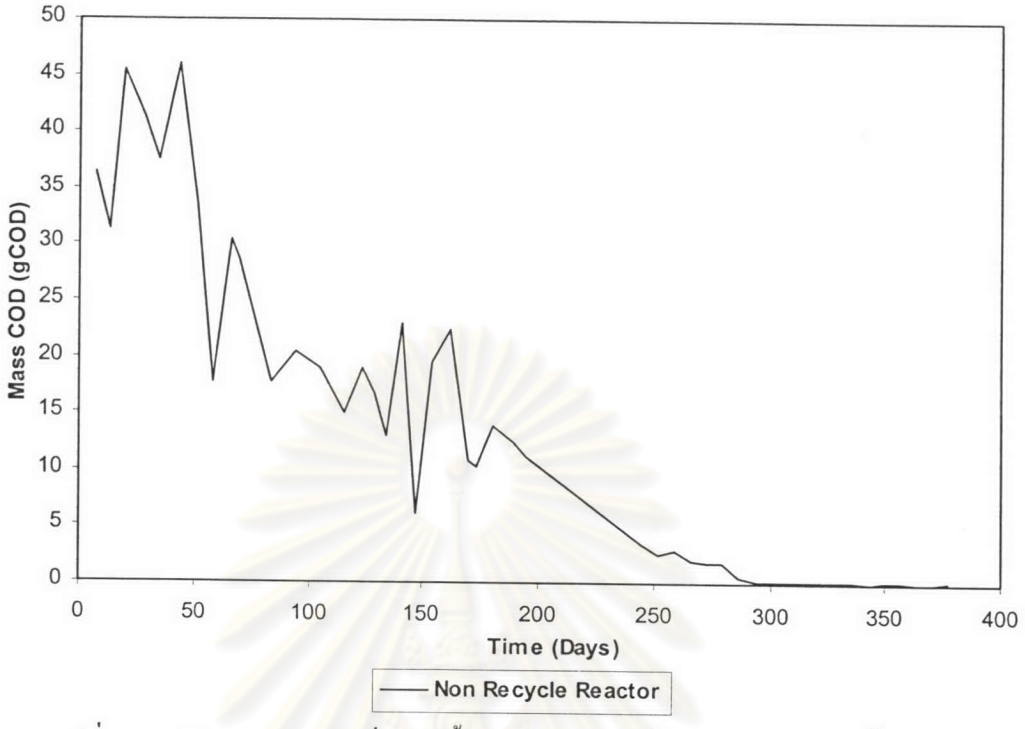


รูปที่ 4.22 ปริมาณมวลซีโอดีที่ถูกกำจัดในแต่ละวันจากถังหมักขยะ

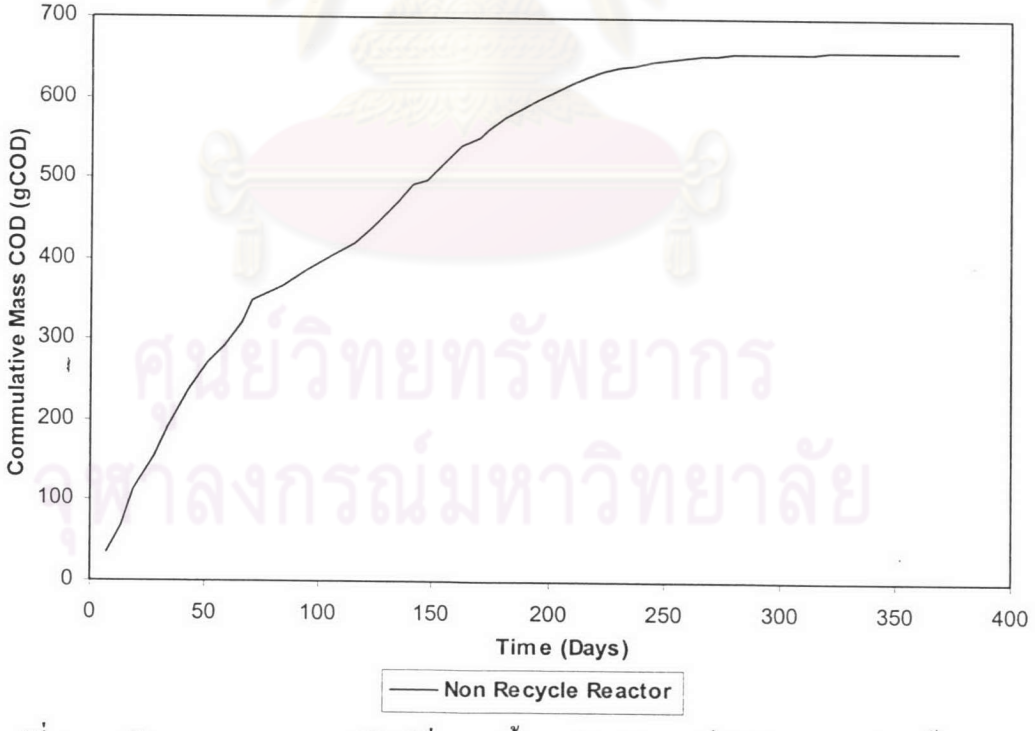


รูปที่ 4.23 ปริมาณสะสมของมวลซีโอดีที่ถูกกำจัดจากถังหมักขยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.24 ปริมาณมวลซีโอดีที่ถูกชะทิ้งจากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ



รูปที่ 4.25 ปริมาณสะสมของมวลซีโอดีที่ถูกชะทิ้งจากถังหมักขยะที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย