



บทที่ 4

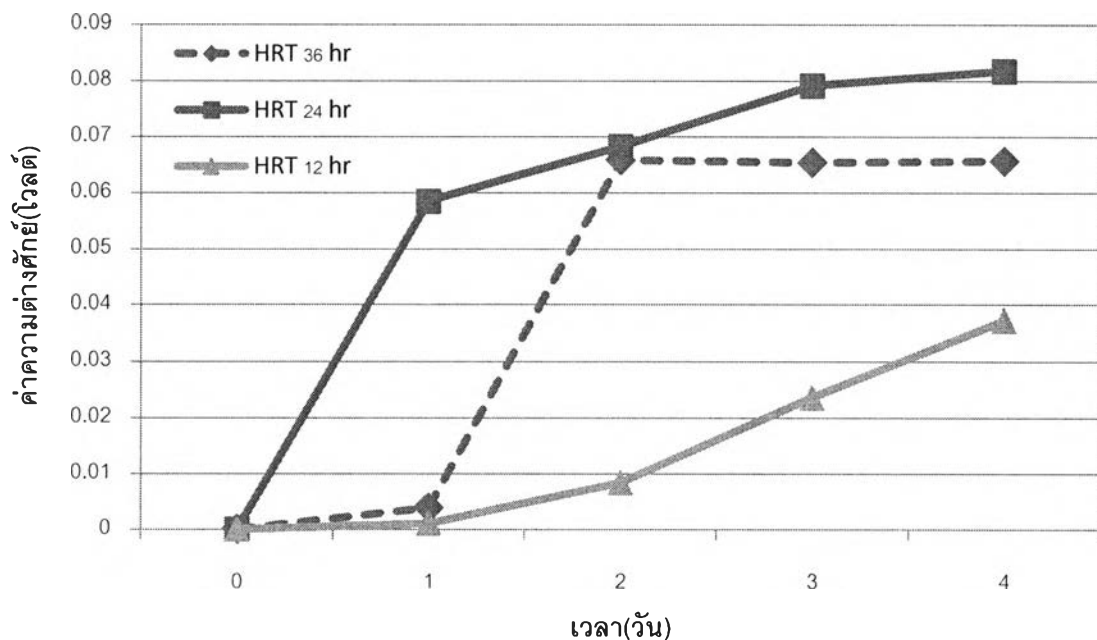
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 หาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่ประกอบขึ้น

4.1.1 แปรผันระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ (Hydraulic retention time หรือ HRT)

วิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้า

ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์เป็นเวลาที่น้ำอยู่ในระบบบำบัดโดยทำการทดลองแปรผันที่เวลา 36 24 และ 12 ชั่วโมง มีอัตราการไหลของน้ำเสีย คือ 19.5 29.2 และ 58.3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

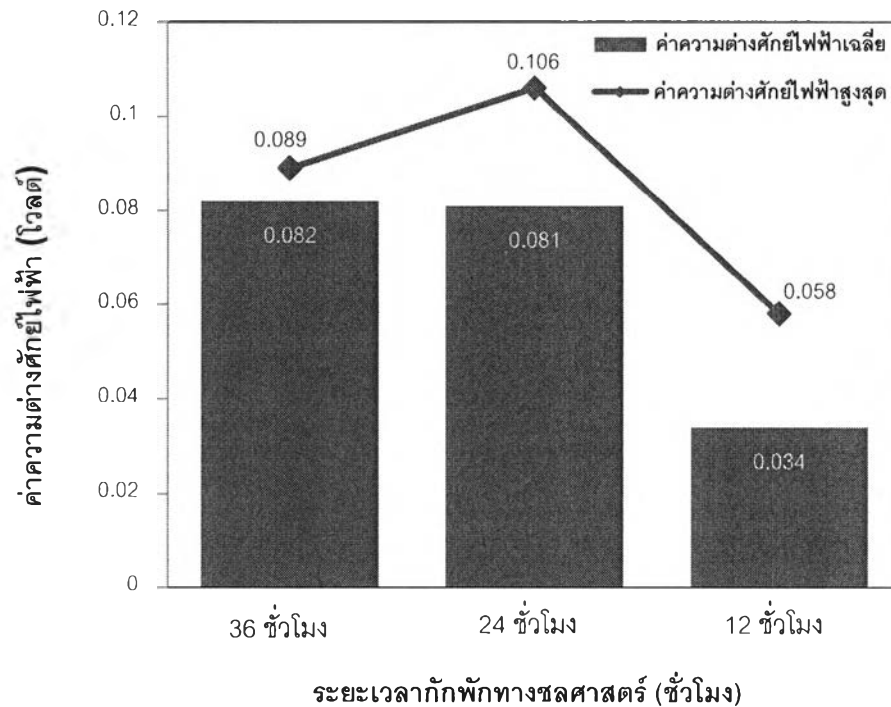


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 36 24 และ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 วัน

จากกราฟรูปที่ 4.1 แสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ที่ 36 24 และ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 วัน พบว่าที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ที่ 24 ชั่วโมง ให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าที่เวลาอื่น โดยมีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 และยังคงเพิ่มขึ้นไปจนถึงวันที่ 3 แล้วคงที่ ขณะที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมงจะเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 2 ด้วยอัตราการเพิ่มใกล้เคียงกับที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงในวันที่ 1 จากนั้นความต่างศักย์ไฟฟ้าก็คงที่ไปจน

สิ้นสุดการทดลองในวันที่ 4 อัตราการไหลของอาหารทำให้การเจริญจำเพาะของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น ($\text{Dilution rate} = \text{specific growth rate}$) ในระยะแรก อัตราการไหลของระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ที่ 36 และ 24 ชั่วโมง น่าจะยังไม่เกินอัตราการเจริญจำเพาะ ($\text{specific growth rate, } \mu$) เพราะความต่างศักย์ไฟฟ้ายังเกิดได้สูงพอๆ กัน โดยที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงผลิตไฟฟ้าได้ดีตั้งแต่วันแรก ดังนั้นอัตราการไหลน่าจะใกล้เคียงกับอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด (μ_{max}) แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอาหารโดยให้ระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์เป็น 12 ชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราการไหลที่เร็วจนชะล้างจุลินทรีย์ออกจากระบบเร็วกว่าที่เวลา 36 และ 24 ชั่วโมง ทำให้จุลินทรีย์เกาะบนขั้วไฟฟ้าได้ช้ากว่าดังนั้นความต่างศักย์ไฟฟ้าจึงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ที่ 36 ชั่วโมง มีอัตราการไหลที่ช้าอาหารจึงอยู่ในระบบนาน ทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อสร้างพลังงานสำหรับการเจริญ เมื่อจุลินทรีย์มีปริมาณมากขึ้นจุลินทรีย์บางส่วนจึงไปยึดเกาะบนขั้วไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าอัตราการไหลช้าทำให้จุลินทรีย์เกาะบนขั้วไฟฟ้าได้ง่ายจึงได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงในวันที่ 2 ขณะที่ระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ที่ 12 ชั่วโมง มีแนวโน้มของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ อาจเนื่องมาจากอัตราการไหลที่เร็วส่งผลให้จุลินทรีย์ถูกชะออกจากระบบ จึงมีปริมาณจุลินทรีย์ยึดเกาะบนขั้วไฟฟ้าน้อย เมื่อเวลาผ่านไปมีจุลินทรีย์บางส่วนยึดเกาะบนขั้วไฟฟ้าได้จึงช่วยให้จุลินทรีย์สามารถยึดเกาะได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น

เมื่อให้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ทำงานจนกระทั่งระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้วจึงพิจารณาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยขณะอยู่ในภาวะคงตัว พบว่าที่ระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ 36 และ 24 ชั่วโมง มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 0.082 และ 0.081 โวลต์ตามลำดับ แสดงว่าที่อัตราการไหลของอาหารที่ระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ทั้งสองนี้ จุลินทรีย์สามารถนำอาหารเข้าสู่เซลล์และสร้างพลังงานได้พอๆ กัน ขณะที่ระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ที่ 12 ชั่วโมง มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 0.034 โวลต์ อาจเป็นเพราะอัตราการไหลที่เร็วทำให้จุลินทรีย์นำอาหารไปใช้ได้น้อยลง แต่เมื่อพิจารณาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดแล้วพบว่าที่ระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ 24 ชั่วโมง ให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามากที่สุดคือ 0.106 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

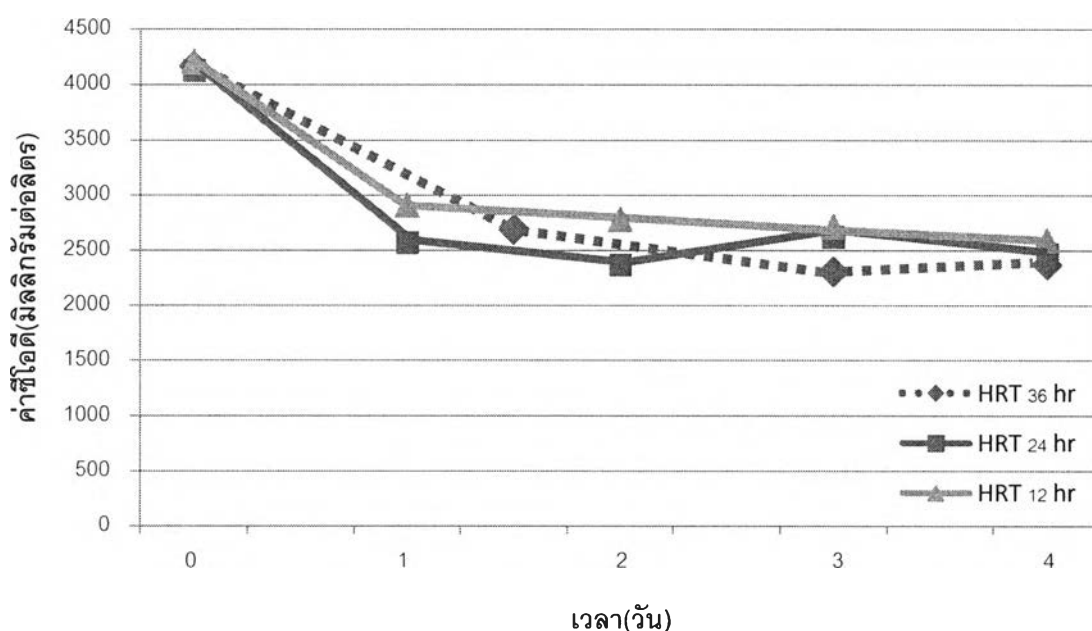


รูปที่ 4.2 กราฟการแสดงผลเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดที่ระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ 36 24 และ 12 ชั่วโมง

วิเคราะห์ค่าการกำจัดซีโอดี

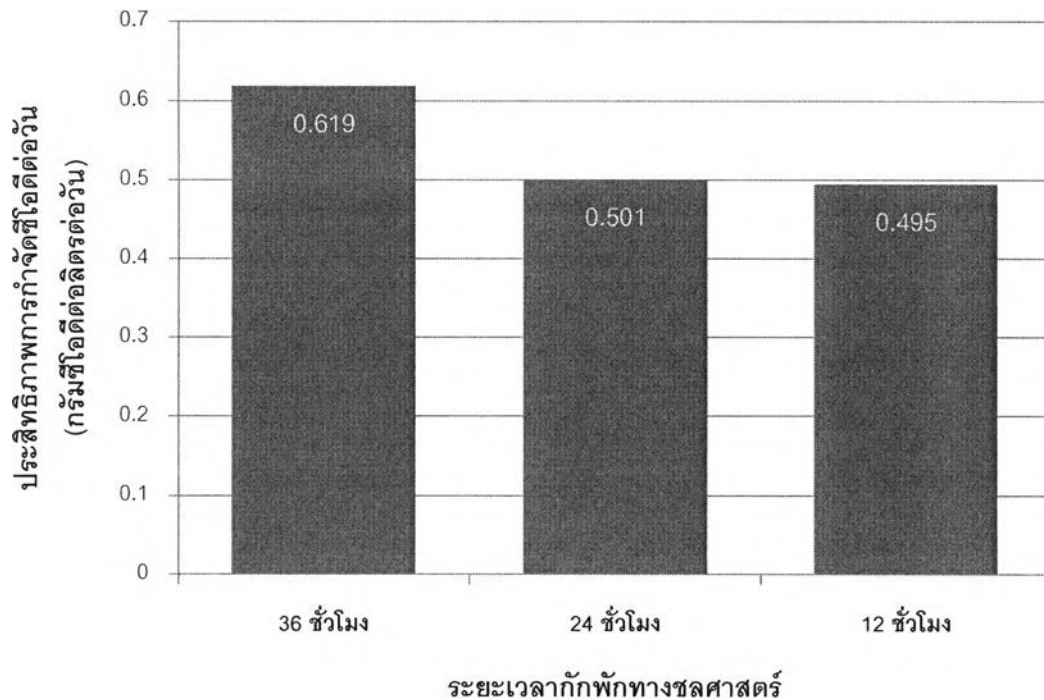
อาหารที่ให้แก่อุณหภูมิในถังแอนดของเซลล์เชื้อเพลิงอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญหลายงานวิจัยได้ให้ความสนใจศึกษาปัจจัยในส่วนความเข้มข้นของอาหารและอัตราการไหลผ่านระบบของอาหาร ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาปัจจัยระยะเวลาที่กักพักทางชลศาสตร์ เนื่องจากต้องจำกัดความเข้มข้นของอาหารหรือน้ำเสียให้ใกล้เคียงกับแหล่งพลังงานจริง จึงกำหนดความเข้มข้นของสารอินทรีย์โดยใช้ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง มาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม คือ 2500 กรัมซีโอดีต่อลิตร (สุนทรีย์ อยู่สถาน, 2550)

จากกราฟรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 4 วันที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ที่ 36 24 และ 12 ชั่วโมง มีค่าซีโอดีคือ 2368 2464 และ 2598 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถลดซีโอดีได้ 1792 1664 และ 1609 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียช้าจะสามารถลดค่าซีโอดีได้มาก ขณะที่อัตราการไหลของน้ำเสียเร็วจะสามารถลดค่าซีโอดีได้น้อย อาจเป็นผลมาจากอัตราการไหลของน้ำเสียผ่านระบบที่ช้าทำให้น้ำเสียอยู่ในระบบนาน จุลินทรีย์จึงสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้มากดังนั้นค่าซีโอดีจึงมีปริมาณต่ำ ขณะที่อัตราการไหลที่เร็วทำให้น้ำเสียอยู่ในระบบสั้นและไหลออกเร็ว จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ไม่ทันดังนั้นค่าซีโอดีจึงมีปริมาณสูง



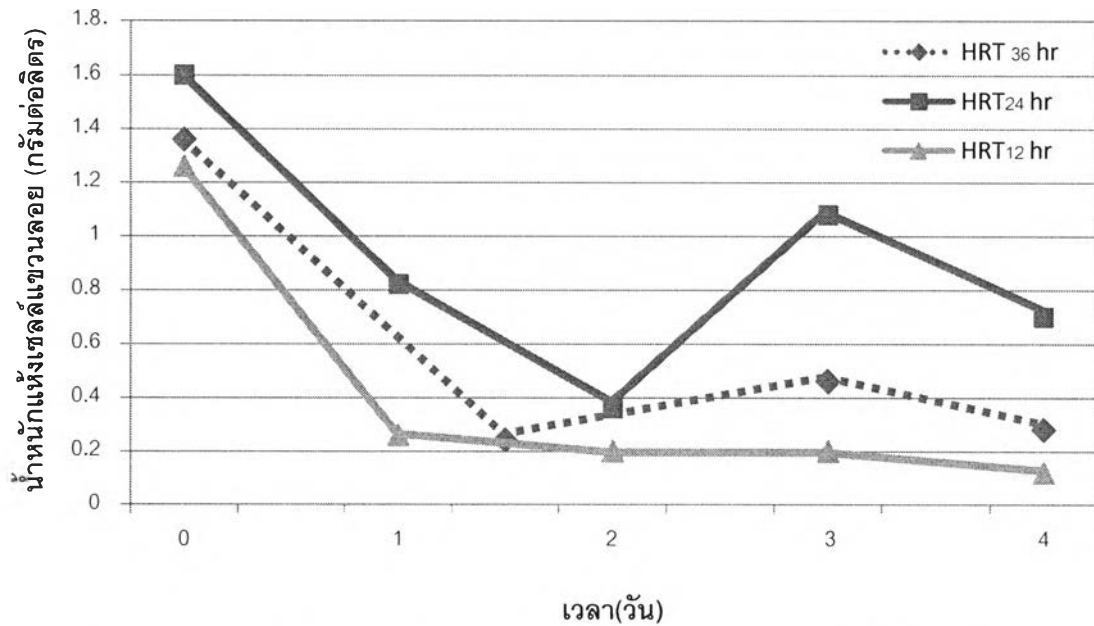
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าซีโอดีในถังแอนด็อกของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ 36 24 และ 12 ชั่วโมง

คำนวณประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเปรียบเทียบระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ทั้งสาม โดยพิจารณาในวันที่ค่าซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบคงที่ ซึ่งระบบที่ทดลองทุกภาวะใช้เวลา 3 วัน ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ที่นานที่สุดในการทดลองคือ 36 ชั่วโมง สามารถลดค่าซีโอดีได้สูงที่สุด คือ 0.619 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ดังแสดงในกราฟ รูปที่ 4.4 ส่วนระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ที่น้อยลงจะบำบัดน้ำเสียได้พอๆ กัน คือ 0.501 และ 0.495 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน สำหรับที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ที่ 24 ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกับที่ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ



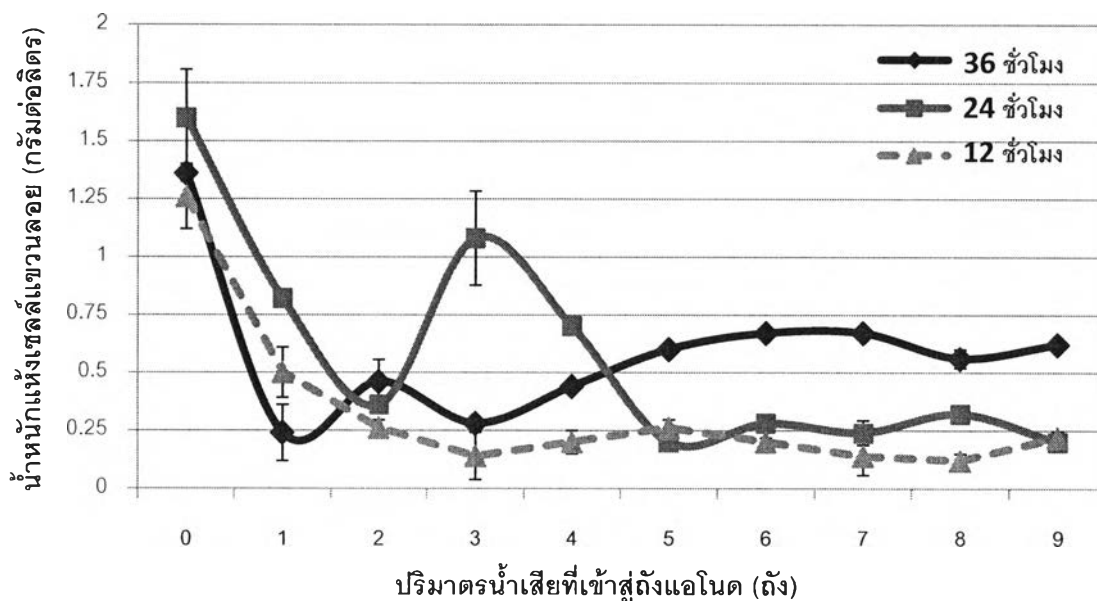
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีของแต่ละระยะเวลาการกักพิกทางชลศาสตร์

จากผลของประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีดังกล่าวไม่สอดคล้องกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ความแตกต่างดังกล่าวอาจอธิบายได้ว่าการลดค่าซีไอดีเป็นผลของจุลินทรีย์ทั้งหมดที่อยู่ในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ซึ่งหมายถึงความถึงทั้งจุลินทรีย์ที่เกาะบนขั้วไฟฟ้าและที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย ส่วนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านั้นเกิดจากจุลินทรีย์ที่เกาะบนขั้วไฟฟ้าอยู่เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งต้องลำเลียงอาหารผ่านชั้นจุลินทรีย์จึงต้องการระยะเวลาการกักพิกทางชลศาสตร์ที่นาน อย่างไรก็ตามเห็นได้ชัดว่าระยะเวลาการกักพิกทางชลศาสตร์ที่ 24 ชั่วโมง ส่งผลดีต่อการผลิตความต่างศักย์ไฟฟ้าและการกำจัดซีไอดี



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงน้ำหนักรวมของเซลล์แขวนลอยในถังแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ที่ 36 24 และ 12 ชั่วโมง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักรวมของเซลล์แขวนลอยที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ทั้งสาม (รูปที่ 4.5) จะเห็นว่าระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ทั้งสามมีแนวโน้มของปริมาณน้ำหนักรวมของเซลล์แขวนลอยลดลงนับตั้งแต่เริ่มให้อาหาร การให้อาหารในถังแอโนดเป็นแบบต่อเนื่องและมีการให้อาหารไหลออกเพื่อไม่ให้ให้อาหารในถังล้น ดังนั้นจุลินทรีย์จึงถูกชะออกจากระบบด้วย นอกจากนี้ส่วนหนึ่งยังไปเกาะบนขั้วไฟฟ้า ดังนั้นวันแรกจึงมีเซลล์แขวนลอยลดลงเร็วที่สุด ดังที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าจุลินทรีย์ในระบบที่เติมอาหารอย่างต่อเนื่องจะมีการปรับอัตราการเจริญจำเพาะ (specific growth rate, μ) ให้เท่ากับ dilution rate หรือระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ ดังนั้นหากอัตราการให้อาหารไหลเร็วขึ้น ค่า μ จึงเพิ่มขึ้นจนเข้าใกล้ μ_{max} หากอาหารไหลเกินกว่านี้เซลล์แขวนลอยจะถูกชะออกจากระบบจนหมด (wash out) จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าระยะเวลาพักทางชลศาสตร์ที่ 24 ชั่วโมง น่าจะใกล้เคียงกับ μ_{max} ของจุลินทรีย์โดยรวมของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ทำให้ได้เซลล์แขวนลอยมากที่สุด เมื่ออัตราการไหลที่ระยะเวลาพักทางชลศาสตร์สูงหรือต่ำไปกว่านี้เซลล์แขวนลอยก็จะน้อยลง

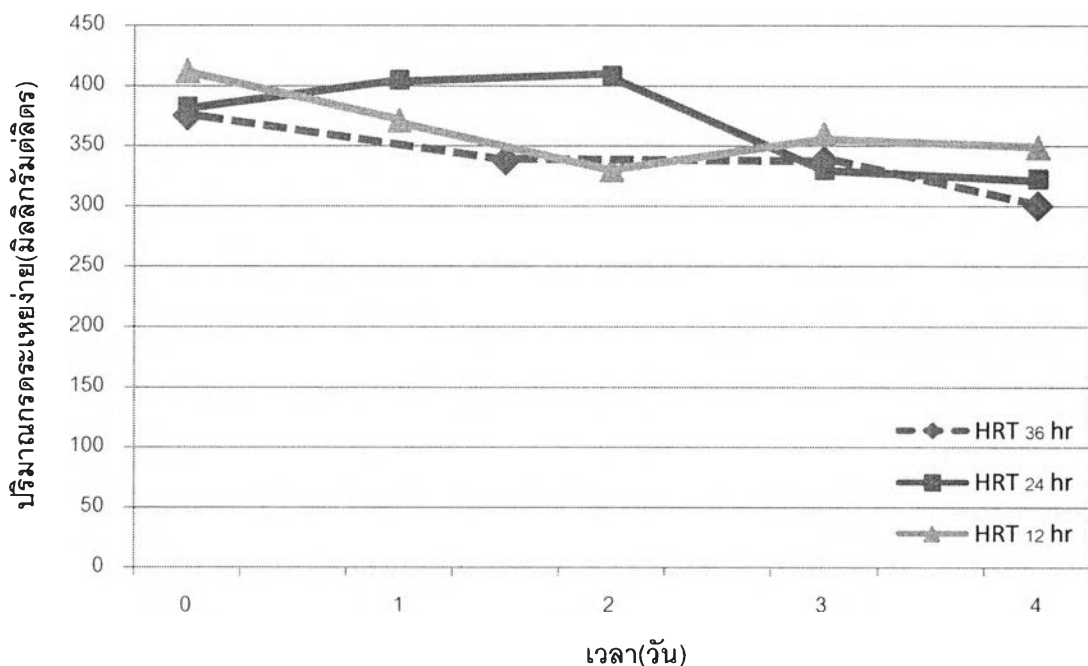


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงน้ำหนักรวมของเซลลูโลสที่ละลายในถังแอมโมเนียของเซลลูโลสเชื้อเพลิงจุลินทรีย์เปรียบเทียบที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ทั้งสาม เมื่อปริมาณอาหารที่เข้าสู่ถังแอมโมเนียมีค่าเท่ากันจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะคงตัว

การแปรผันระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์นั้นส่งผลทำให้ปริมาณอาหารที่จุลินทรีย์ได้รับต่อวันไม่เท่ากัน เพื่อให้เห็นผลของระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ที่ชัดเจน จึงทำการทดลองโดยกำหนดปริมาณอาหารที่ให้เข้าสู่ถังแอมโมเนีย 10 เท่าของปริมาณของถังแอมโมเนีย หรือ 7000 มิลลิลิตร จากกราฟรูปที่ 4.6 เปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักรวมของเซลลูโลสที่ทำการแปรผันระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ทั้งสาม แสดงให้เห็นว่าเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัวปริมาณของน้ำหนักรวมของเซลลูโลสที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ที่ 36 ชั่วโมงมีค่าสูงกว่าที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์อื่น ขณะที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ที่ 24 และ 12 ชั่วโมงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณน้ำหนักรวมของเซลลูโลสเฉลี่ยคือ 0.624 0.248 และ 0.188 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

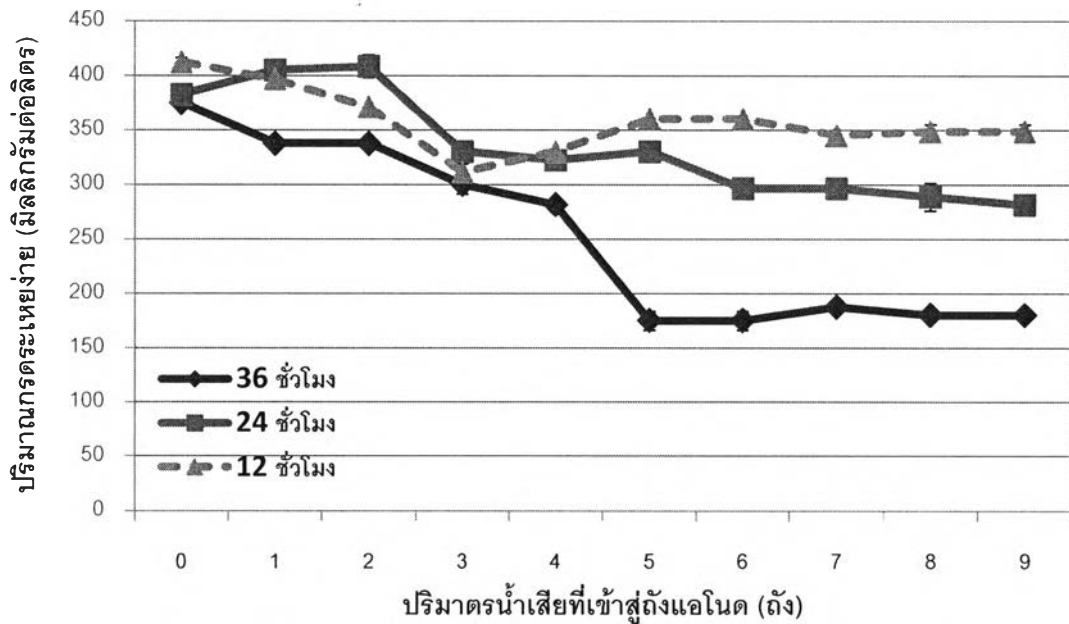
เมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัวปริมาณของน้ำหนักรวมของเซลลูโลสที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ที่ 36 ชั่วโมงมีค่าสูงกว่าที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์อื่น เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำเสียช้าที่สุดจึงทำให้น้ำเสียอยู่ในระบบนานกว่าที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์อื่น เป็นผลให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อการสร้างมวล เพิ่มขนาดและปริมาณได้มากกว่า ขณะที่น้ำหนักรวมของเซลลูโลสที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ที่ 12 ชั่วโมงมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากอัตราการไหลของน้ำเสียเร็วจึงทำให้อาหารมีเวลาอยู่ในระบบสั้นกว่า นอกจากนี้อัตราการไหลของน้ำเสีย

ที่เร็วยังมีผลต่ออัตราการชะออกจากระบบของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ถูกชะออกมากจึงส่งผลให้ปริมาณเซลล์แขวนลอยมีค่าต่ำกว่าระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์อื่น การผลิตไฟฟ้าที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 24 และ 36 ชั่วโมง ให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่าที่เวลา 12 ชั่วโมง ขณะที่น้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยของระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ที่ 36 ชั่วโมง มีค่ามากที่สุด แต่น้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยที่เวลา 24 ชั่วโมง กลับมีค่าต่ำใกล้เคียงกับเวลาที่ 12 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัว อาจมีสาเหตุมาจากอัตราการไหลของน้ำเสียที่เวลา 24 ชั่วโมง มีอัตราที่ไม่เร็วเกินไปจึงทำให้จุลินทรีย์มีเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย นอกจากนี้ยังส่งผลให้การชะออกจากระบบของจุลินทรีย์มีอัตราที่ไม่สูงนัก จึงน่าจะเอื้อประโยชน์ให้จุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตไฟฟ้าสามารถยึดเกาะบนขั้วไฟฟ้าได้ดี ดังนั้น น้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยจึงมีค่าต่ำแต่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ค่าความศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยสูง ดังนั้นระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ที่ 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาที่สมดุลกันระหว่างอัตราการไหลของอาหารให้แก่จุลินทรีย์ในระบบเพื่อผลิตไฟฟ้าและอัตราการชะล้างออกของจุลินทรีย์



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงปริมาณกรตระเหียง่ายในถังแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 36 24 และ 12 ชั่วโมง

จากกราฟรูปที่ 4.7 ปริมาณกรตระเหียง่ายที่ระยะเวลากักพักทางชลศาสตร์ 24 ชั่วโมง มีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 2 แล้วจึงลดลง ขณะที่ระยะเวลาอื่นไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากระยะเวลาที่ 24 ชั่วโมง ให้อัตราการไหลที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในการผลิตกรตระเหียง่ายจึงมีปริมาณเพิ่มสูง ขณะที่เวลาอื่นอาจมีอัตราการไหลที่ช้าหรือเร็วเกินไปไม่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรตระเหียง่าย จึงมีปริมาณลดลง



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงปริมาณกรดระเหยง่ายในถังแอมโมเนียของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เปรียบเทียบที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ทั้งสาม เมื่อปริมาณอาหารที่เข้าสู่ถังแอมโมเนียมีค่าเท่ากันจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะคงตัว

ปริมาณกรดระเหยง่ายในช่วงแรกของทั้งสามระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์มีค่าอยู่ในช่วง 375 ถึง 420 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งคงที่ โดยปริมาณกรดระเหยง่ายที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ 36 ชั่วโมง มีปริมาณต่ำกว่าที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์อื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 175 ถึง 190 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ที่ 24 และ 12 ชั่วโมง มีปริมาณกรดระเหยง่ายประมาณ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 350 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.8 ระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ที่ 12 ชั่วโมงมีปริมาณกรดระเหยง่ายสูง และระยะเวลากักพักทางชีวศาสตร์ที่ 36 ชั่วโมงมีปริมาณกรดระเหยง่ายต่ำ อาจมีเหตุผลมาจากอัตราการไหลของน้ำเสียผ่านระบบ โดยอัตราการไหลที่เร็วทำให้อาหารอยู่ในระบบสั้น จุลินทรีย์จึงย่อยสลายอาหารไม่ทันและบางส่วนถูกชะออกจากระบบสารอินทรีย์อย่างกรดระเหยง่ายจึงปริมาณสูง ขณะที่อัตราการไหลที่ช้าทำให้อาหารอยู่ในระบบนานจุลินทรีย์จึงสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้มากขึ้น กรดระเหยง่ายจึงถูกย่อยสลายทำให้มีปริมาณต่ำ

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ ประกอบด้วยขั้นตอนที่ 1 สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ในน้ำเสีย ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต จะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายโดยปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสลายนอกเซลล์ ทำให้สารอินทรีย์มีโมเลกุลเล็กลง เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน กลูโคส ขั้นตอนที่ 2 จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดจะสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเหล่านี้ ให้กลายเป็นกรดระเหยง่ายหรือแอลกอฮอล์โดยส่วนใหญ่จะเป็นกรดระเหยง่าย ขั้นตอนที่ 3 กรดระเหยง่ายจะถูกสลายเป็นก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทน (สุภณจิต นิรมรัตน์, 2548) ขณะที่ในระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่ประยุกต์กับระบบบำบัดน้ำเสียนั้น กรดระเหยง่ายจะถูกใช้เพื่อสร้างเป็นกระแสไฟฟ้าโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตไฟฟ้า (Logan, 2007)

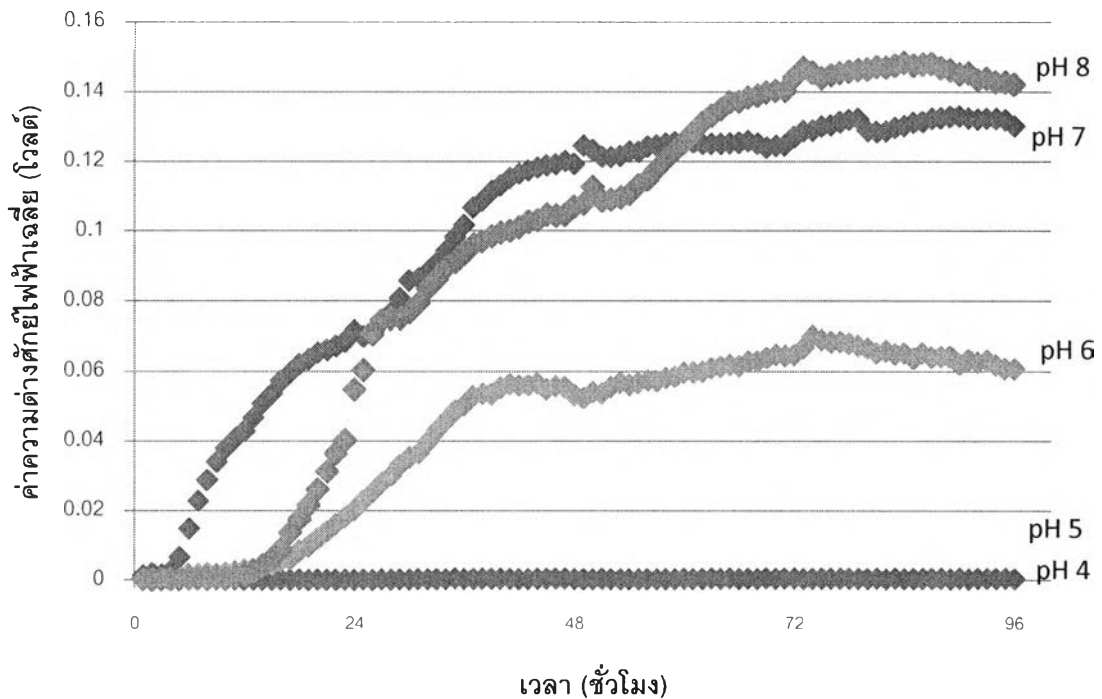
ในขั้นตอนการแปรผันระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ พบว่าระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 12 ชั่วโมง มีปริมาณกรดระเหยง่ายสูงกว่าที่ระยะเวลาอื่นแต่ให้ค่าความศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำที่สุด ขณะที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 36 ชั่วโมง มีปริมาณกรดระเหยง่ายต่ำกว่าที่ระยะเวลาอื่นแต่ก็ให้ค่าความศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่า จึงอาจอธิบายสาเหตุได้ว่าที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 12 ชั่วโมง มีปริมาณกรดระเหยง่ายมากเนื่องจากขั้นตอนการเปลี่ยนกรดระเหยง่ายไปเป็นไฟฟ้าถูกจำกัด อาจเกิดจากอัตราการไหลของอาหารไม่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตไฟฟ้าจึงส่งผลให้ไม่สามารถเปลี่ยนกรดระเหยง่ายให้กลายเป็นกระแสไฟฟ้าได้จึงทำให้มีปริมาณกรดระเหยง่ายสะสม เมื่อพิจารณาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 24 ชั่วโมง มีค่าสูงใกล้เคียงกับที่เวลา 36 ชั่วโมง แต่ที่เวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณกรดระเหยง่ายสูงกว่าที่ 36 ชั่วโมง ซึ่งจากกราฟรูปที่ 4.5 สังเกตเห็นว่าปริมาณกรดระเหยง่ายที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 24 ชั่วโมง มีปริมาณเพิ่มสูงในช่วงแรกแล้วลดลงจนคงที่ ขณะที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 36 ชั่วโมง ไม่มีการเพิ่มปริมาณกรดระเหยง่ายกราฟมีแนวโน้มลดลงจนที่ แสดงว่าที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 36 ชั่วโมง เป็นภาวะที่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตไฟฟ้าเพราะสามารถใช้กรดระเหยง่ายในการผลิตไฟฟ้าได้ตั้งแต่ช่วงแรก ขณะที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 24 ชั่วโมง เป็นภาวะที่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดระเหยง่าย เนื่องจากกราฟแสดงปริมาณกรดระเหยง่ายมีแนวโน้มเพิ่มสูงในช่วงแรก และยังเป็นภาวะที่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตไฟฟ้าจึงสามารถใช้กรดระเหยง่ายเหล่านั้นในการผลิตไฟฟ้าทำให้ปริมาณกรดระเหยง่ายมีแนวโน้มลดลง ที่ภาวะคงตัวปริมาณกรดระเหยง่ายที่เวลา 24 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าที่เวลา 36 ชั่วโมง ซึ่งหากมีการปรับเปลี่ยนปัจจัยอื่นให้ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตไฟฟ้าก็จะช่วยให้จุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนกรดระเหยที่ผลิตได้ปริมาณมากนั้นให้กลายเป็นไฟฟ้าได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่อวัน ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่อการกำจัดซีโอดี ปริมาณกรดระเหยง่ายที่ลดลงจากเริ่มต้น และ น้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยที่ปริมาตรสุดท้ายที่ภาวะคงตัว ของระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 36 24 และ 12 ชั่วโมง

ระยะพักทางชีวศาสตร์	36 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ภาวะคงตัว (มิลลิโวลต์)	82	81	34
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่อวัน (กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน)	0.619	0.501	0.495
ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่อการกำจัดซีโอดี (มิลลิโวลต์ต่อกรัมซีโอดีต่อวัน)	132	161	68
ปริมาณกรดระเหยง่ายที่ลดลงจากเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	195	101	64
น้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยที่ภาวะคงตัว (กรัมต่อลิตร)	0.62	0.20	0.22

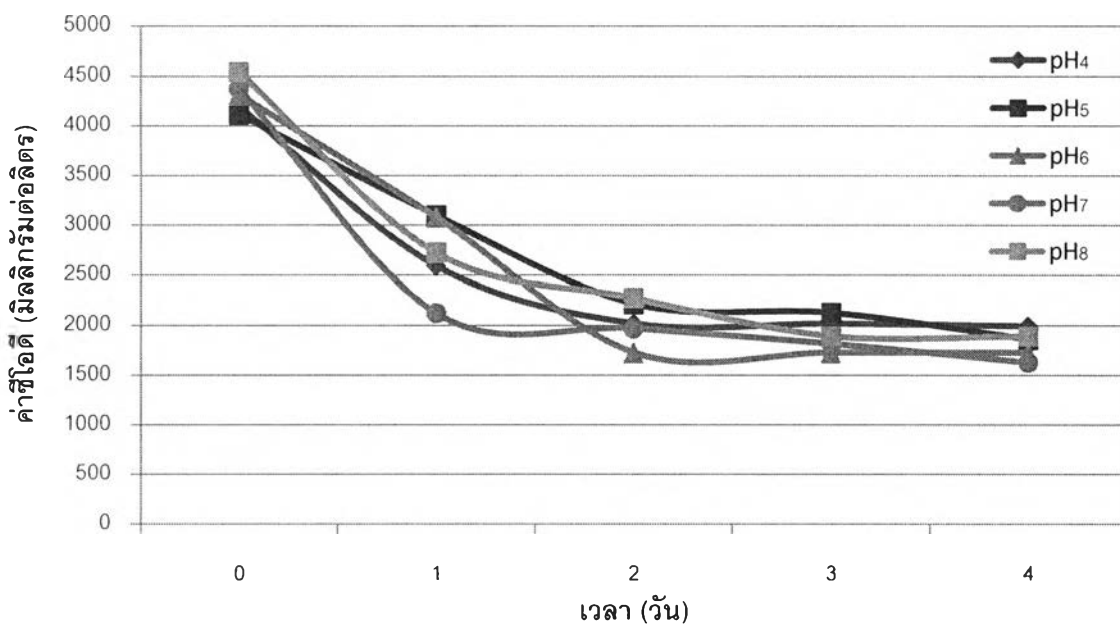
จากตารางที่ 4.1 สังเกตเห็นว่าที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่เวลา 36 ชั่วโมง สามารถกำจัดซีโอดีได้มากกว่าที่เวลาอื่นๆ เนื่องจากมีอัตราการไหลผ่านระบบของอาหารเข้าอาหารจึงอยู่ในระบบนานกว่าที่ระยะเวลาอื่น จุลินทรีย์จึงสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้มากดังนั้นจึงสามารถลดค่าซีโอดีและปริมาณกรดระเหยง่ายได้มากกว่าที่ระยะเวลาอื่น และยังส่งผลให้จุลินทรีย์มีขนาดและปริมาณเพิ่มสูงดังจะเห็นได้จากปริมาณน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยที่มีค่าสูง ขณะที่เวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 12 ชั่วโมง มีอัตราการไหลที่เร็วจึงชะล้างจุลินทรีย์ออกมากกว่าที่เวลาอื่นทำให้มีจุลินทรีย์ในระบบน้อยจะลดค่าซีโอดีและผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่ำ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีพบว่าที่ระยะเวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 36 ชั่วโมง สามารถลดได้ดีที่สุด แต่ในงานวิจัยนี้คำนึงถึงประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าซึ่งที่เวลาพักทางชีวศาสตร์ที่ 24 ชั่วโมง ให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ภาวะคงตัวสูงใกล้เคียงกับที่เวลา 36 ชั่วโมง และประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าต่อการกำจัดซีโอดีมีค่าสูงที่สุด นอกจากนี้ปริมาณน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยต่ำกว่ายังเป็นผลดีต่อระบบบำบัดน้ำเสีย เพราะช่วยลดต้นทุนในการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์อีกด้วย

4.1.2 แปรผันค่าความเป็นกรดเบส



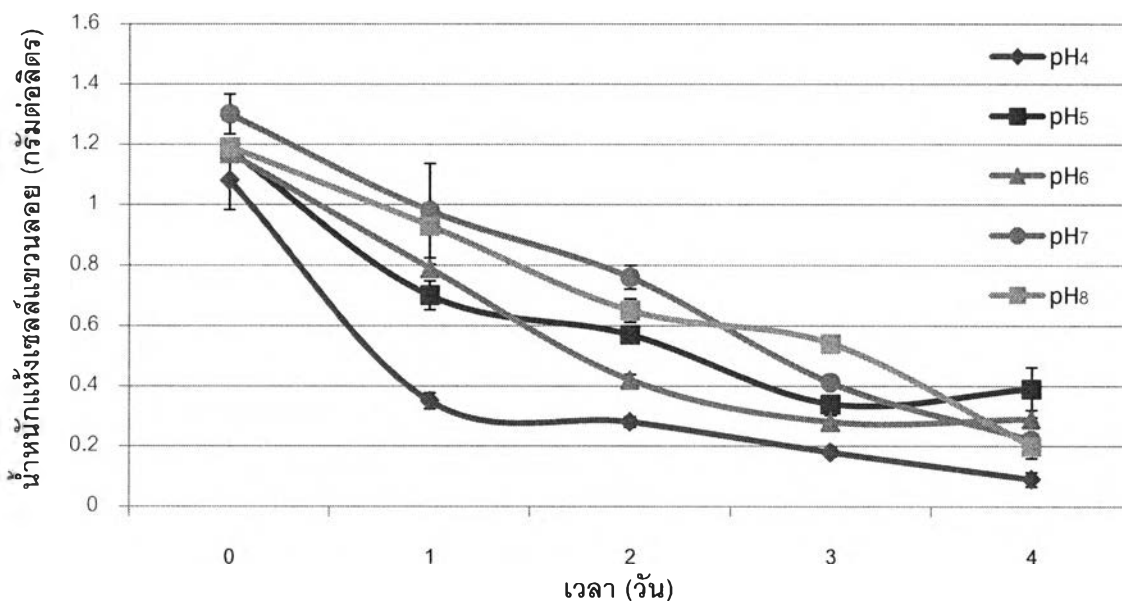
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมง ที่ค่าพีเอช 4 5 6 7 และ 8 ในถังแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 96 ชั่วโมง

เมื่อทำการทดลองแปรผันค่าความเป็นกรดเบสที่ 4 5 6 7 และ 8 พบว่าที่ค่าพีเอช 7 และ 8 ในถังแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยมากที่สุดใกล้เคียงกันในช่วง 0.13 ถึง 0.15 โวลต์ เมื่อพิจารณาแนวโน้มจะเห็นว่าที่พีเอช 8 มีแนวโน้มของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นช้ากว่าพีเอช 7 อาจเนื่องมาจากพีเอช 7 เป็นภาวะกรดเบสที่เป็นกลางจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จึงสามารถเจริญได้ดีทำให้ผลิตไฟฟ้าได้เร็วกว่า ส่วนที่พีเอช 8 เป็นเบสมากขึ้นดังนั้นจุลินทรีย์จึงอาจต้องปรับตัวในช่วงแรกทำให้ผลิตไฟฟ้าได้ช้ากว่า ขณะที่ค่าพีเอช 4 5 และ 6 ให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำกว่า 0.07 โวลต์ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.9 โดยที่พีเอช 4 และ 5 ให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำที่สุด จึงสามารถบอกได้ว่าที่พีเอช 4 และ 5 เป็นภาวะความเป็นกรดเบสที่ไม่เหมาะสมต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า ขณะที่พีเอช 7 และ 8 เป็นภาวะความเป็นกรดเบสที่เหมาะสมต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า



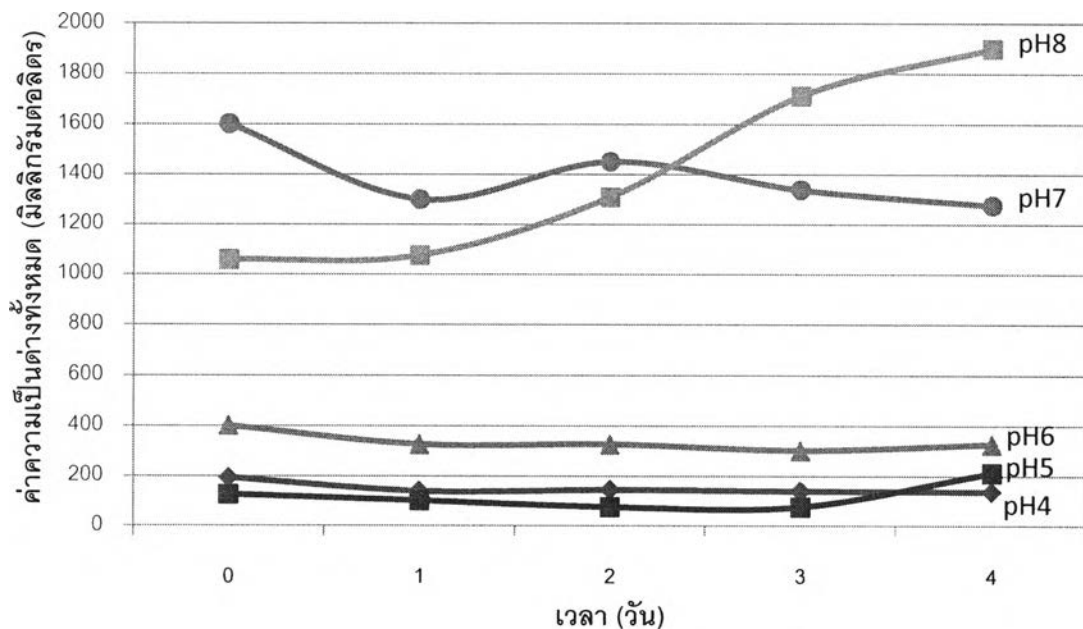
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าซีไอดีที่ค่าพีเอช 4 5 6 7 และ 8 ในถังแวนของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน

พบว่าหลังจากวันที่ 3 ระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จะเข้าสู่ภาวะคงตัว ค่าซีไอดีที่พีเอชต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 1600 ถึง 1900 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.10



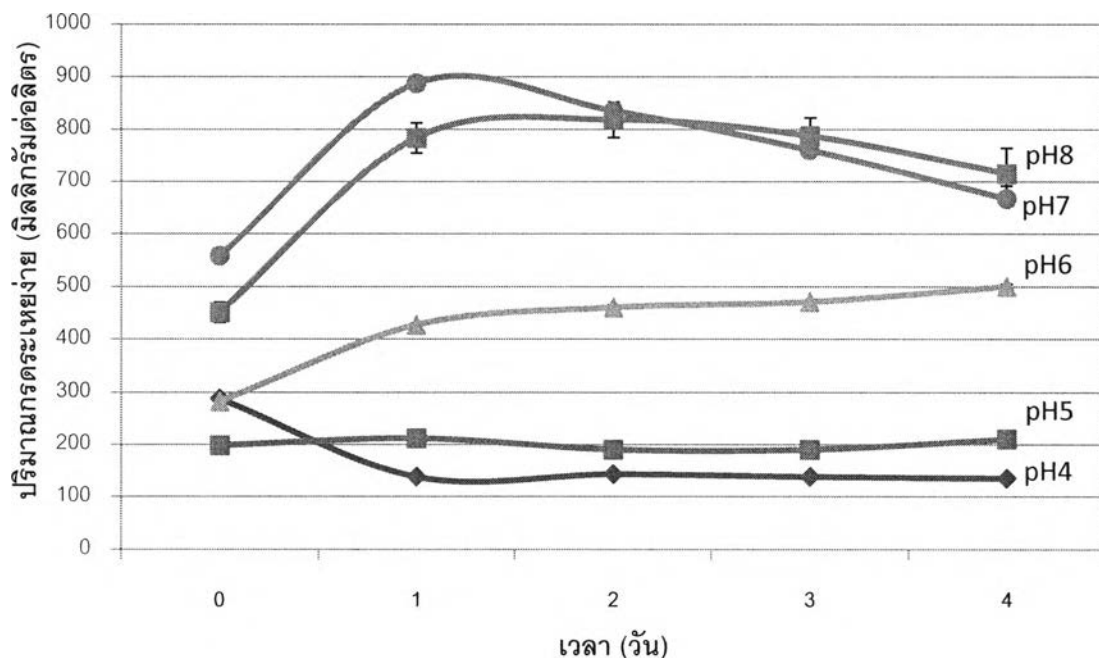
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงน้ำหนักระงเซลล์แขวนลอยที่ค่าพีเอช 4 5 6 7 และ 8 ในถังแวนของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน

ปริมาณน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยในแต่ละค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลง โดยที่พีเอช 7 และ 8 มีค่าสูงที่สุดและใกล้เคียงกัน ขณะที่พีเอช 4 มีค่าน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยต่ำที่สุด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.11 อาจอธิบายได้ว่าที่พีเอช 4 เป็นพีเอชที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญต่ำดังแสดงได้จากน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยที่มีปริมาณต่ำ ซึ่งอาจคาดเดาได้ว่าจุลินทรีย์ที่เกาะบนขั้วไฟฟ้าก็น่าจะมีปริมาณต่ำด้วยจึงส่งผลให้ผลิตไฟฟ้าได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตเห็นว่าที่พีเอช 5 มีแนวโน้มปริมาณน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยสูงกว่าที่พีเอช 4 และ 6 แต่ต่ำกว่าที่พีเอช 7 และ 8 ขณะที่สามารถผลิตไฟฟ้าให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำที่สุดใกล้เคียงกับที่พีเอช 4 แสดงว่าที่พีเอช 5 เป็นภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าแต่เป็นภาวะที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ ดังนั้นจึงอาจบอกได้ว่าที่พีเอช 7 และ 8 เป็นภาวะที่เหมาะสมทั้งต่อการเจริญของจุลินทรีย์และการผลิตกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความต่างทั้งหมดที่ค่าพีเอช 4 5 6 7 และ 8 ในถังแอกโนดของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน

จากกราฟรูปที่ 4.12 พบว่าค่าความต่างทั้งหมดที่พีเอช 7 และ 8 มีค่าสูงที่สุด โดยมีค่ามากกว่า 1200 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่พีเอช 4 5 และ 6 มีค่าต่ำกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าความต่างทั้งหมดจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเป็นบัฟเฟอร์ในถังแอกโนด หากมีค่าความต่างทั้งหมดมากแสดงว่ามีความเป็นบัฟเฟอร์มาก ที่พีเอช 7 และ 8 มีค่าความต่างทั้งหมดสูงมากกว่าที่พีเอชอื่นๆ จึงมีผลในการรักษาสภาพความเป็นกรดเบสช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงปริมาณกรดระเหยง่ายที่ค่าพีเอช 4 5 6 7 และ 8 ในถังแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 4 วัน

ปริมาณกรดระเหยง่ายที่พีเอช 7 และ 8 ก็มีค่าสูงที่สุดใกล้เคียงกัน โดยปริมาณกรดระเหยง่ายมีค่าสูงกว่า 700 มิลลิกรัมต่อลิตร จากกราฟสังเกตเห็นแนวโน้มที่มีปริมาณกรดระเหยง่ายเพิ่มสูงขึ้นมากในวันที่ 2 หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลง ขณะที่พีเอชอื่นๆ มีปริมาณกรดระเหยง่ายคงที่หลังจากวันที่ 2 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.13

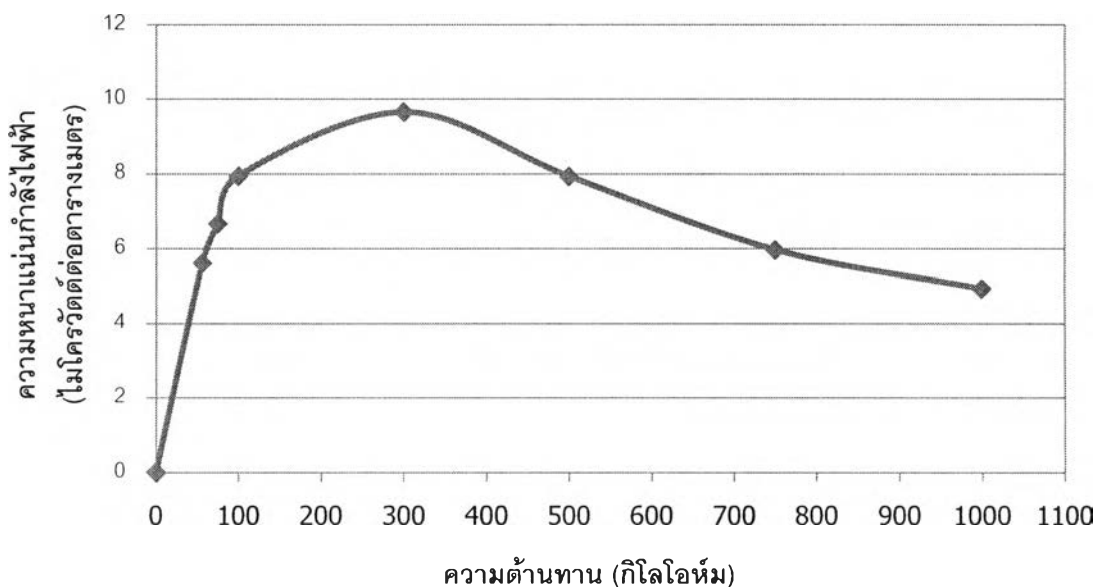
ในขั้นตอนการแปรผันค่าความเป็นกรดเบส พบว่าที่พีเอช 4 และ 5 มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยและปริมาณกรดระเหยง่ายต่ำกว่าที่พีเอชอื่นๆ อาจมีเหตุผลมาจากเป็นค่าพีเอชที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดระเหยง่ายจึงมีปริมาณกรดระเหยง่ายต่ำ ซึ่งกรดระเหยง่ายเป็นสารตั้งต้นให้แก่จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างไฟฟ้า ส่งผลให้ได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำด้วย ขณะที่พีเอช 7 และ 8 ในช่วงแรกจะมีปริมาณกรดระเหยง่ายเพิ่มสูงขึ้นแล้วลดลงอย่างต่อเนื่องพร้อมทั้งสามารถผลิตไฟฟ้าให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าสูง จึงอาจอธิบายได้ว่าพีเอช 7 และ 8 เป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดระเหยง่ายจึงมีปริมาณกรดระเหยง่ายเพิ่มสูง และเหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างไฟฟ้าจึงสามารถใช้กรดระเหยง่ายเหล่านั้นในการผลิตไฟฟ้าทำให้ได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าสูง

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่อวัน ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่อการกำจัดซีโอดี ปริมาณกรดระเหยง่ายที่เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น ค่าความเป็นต่างทั้งหมด และน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยที่ภาวะคงตัวของค่าความเป็นกรดเบส 4 5 6 7 และ 8

ค่าความเป็นกรดเบส	พีเอช 4	พีเอช 5	พีเอช 6	พีเอช 7	พีเอช 8
ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ภาวะคงตัว (มิลลิโวลต์)	0.4	0.41	65	131	146
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีต่อวัน (กรัมต่อลิตรต่อวัน)	0.55	0.564	0.646	0.689	0.663
ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าต่อการกำจัดซีโอดี (มิลลิโวลต์ต่อกรัมซีโอดีต่อวัน)	0.727	0.727	101	190	220
ปริมาณกรดระเหยง่ายที่เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	-152	12	218	109	264
ความเป็นต่างทั้งหมดที่ภาวะคงตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)	135	210	325	1275	1900
น้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอย ที่ภาวะคงตัว (กรัมต่อลิตร)	0.09	0.39	0.29	0.22	0.22

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่พีเอช 6 ถึง 8 มีค่ามากกว่าที่พีเอช 4 และ 5 และพบว่าที่พีเอช 7 และ 8 มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าต่อการกำจัดซีโอดีสูงถึง 190 และ 220 มิลลิโวลต์ต่อกรัมซีโอดีต่อวัน ที่ค่าพีเอชต่างๆ มีผลต่อการสร้างกรดระเหยง่าย ความเป็นกรดเบสที่เหมาะสมจะทำให้จุลินทรีย์สามารถผลิตปริมาณกรดระเหยง่ายเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปริมาณกรดระเหยง่ายจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ยังพบว่าความเป็นต่างทั้งหมดน่าจะมีผลต่อการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากความเป็นต่างทั้งหมดเป็นตัวบอกถึงความเป็นบัฟเฟอร์ในการควบคุมพีเอชในถังแอนโอด จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าที่พีเอช 7 และ 8 มีค่าความเป็นต่างทั้งหมดสูงมาก จึงมีความสามารถในการควบคุมพีเอชได้ดีส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าได้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง นอกจากนี้ปริมาณน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยยังมีค่าน้อยกว่าที่พีเอชอื่น จึงสามารถช่วยลดต้นทุนในการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสียได้

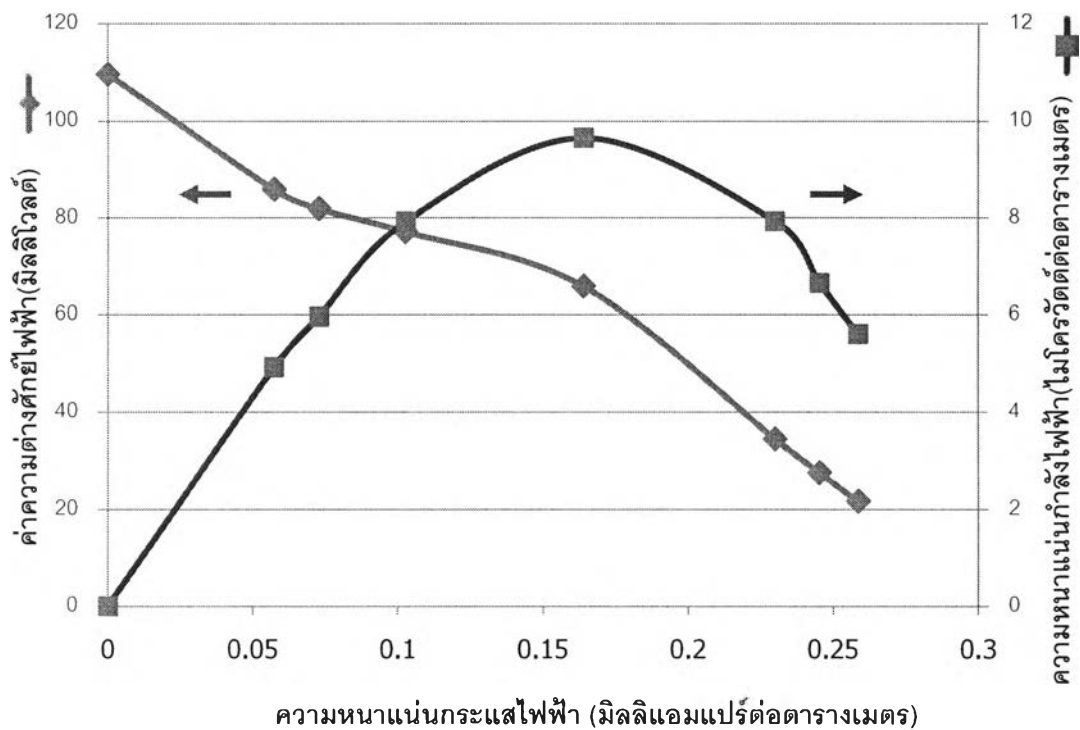
4.1.3 แปรผันค่าความต้านทานภายนอก



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ความต้านทานต่างๆ

เมื่อทำการแปรผันตัวต้านทานภายนอกขนาด 0.1 56 75 100 300 500 750 1000 กิโลโอห์ม พบว่าค่าความต้านทานที่ทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดคือ 300 กิโลโอห์ม โดยให้กำลังไฟฟ้า 9.65 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร ดังแสดงที่รูปที่ 4.14 และสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสปริมาณต่างๆ ได้ดังกราฟรูปที่ 4.15

เมื่อมีการดึงกระแสที่ค่าต่างๆ พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง จากกราฟที่ 4.15 จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าแนวโน้มค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ลดลงนั้นประกอบด้วย 3 ช่วงที่ชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟโพลาริเซชันของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ทั่วไป (Logan, 2007) พบว่าในแนวโน้มช่วงแรกเป็นการสูญเสียพลังงานจากการกระตุ้น (Activation loss) ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานจากความช้าของอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของจุลินทรีย์ ซึ่งเกิดในขั้นตอนการย่อยสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เช่น ไฮโดรไลซิส นอกจากนี้เมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ก็เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียในส่วนนี้ด้วยเช่นกัน เพราะเป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์ผลิตอิเล็กตรอนขึ้น



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ

ขณะที่แนวโน้มช่วงที่ 2 เป็นการสูญเสียพลังงานจากความต้านทาน (Ohmic losses) ซึ่งการสูญเสียนี้เกิดจากการต้านทานการนำไฟฟ้าของประจุในสารละลายและการต้านทานการไหลของอิเล็กตรอนที่วงจรรายนอก เนื่องจากจุดเชื่อมต่อของวงจรไม่ดีทำให้เกิดการต้านทานมาก อาจช่วยลดการสูญเสียในส่วนนี้ได้โดยการเติมตัวกลางนำพาอิเล็กตรอนเพื่อนำอิเล็กตรอนไปส่งต่อที่ขั้วไฟฟ้า แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการเติมตัวกลางนำพาอิเล็กตรอนเนื่องจากน้ำดีที่ถูกปล่อยออกจากการบำบัดน้ำเสียจะออกสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งอาจจะมีตัวกลางหลุดออกไปด้วย ตัวกลางนำพาอิเล็กตรอนนั้นเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมจึงอาจเป็นอันตรายได้ นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่มีนาโนไวร์เพื่อช่วยในการขนส่งอิเล็กตรอนจะช่วยลดการสูญเสียในส่วนนี้ได้ เมื่ออิเล็กตรอนไหลเข้าสู่วงจรรายนอกต้องตรวจสอบระหว่างจุดเชื่อมต่อเพื่อลดการต้านทานการไหล ส่วนในถังแคโทดหากมีการเติมคะตะลิสต์ที่ดีก็จะสามารถช่วยลดการสูญเสียในส่วนนี้ได้ โดยงานวิจัยนี้มีการเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นคะตะลิสต์ลงในถังแคโทดด้วย นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่เพิ่มปริมาณบนขั้วไฟฟ้ามากขึ้นจะเกิดเป็นไบโอฟิล์ม (biofilm) ซึ่งไบโอฟิล์มที่หนาขึ้นจะสร้างเมือกเป็นการจำกัดการไหลของอิเล็กตรอนไปยังขั้วไฟฟ้าจึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สูญเสียพลังงานในส่วนนี้ไป

ส่วนแนวโน้มที่ 3 การสูญเสียจากการถ่ายโอนมวล (Mass transfer losses) เกิดจากการไหลของอิเล็กตรอนถูกจำกัดจึงมีผลต่อการผลิตไฟฟ้า ในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์การสูญเสียพลังงานในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอาหาร และชนิดของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ความหนาของไบโอฟิล์มก็ยังมีผลทำให้เกิดการสูญเสียในส่วนนี้ด้วยเนื่องจากเมือกที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นจะจำกัดการถ่ายโอนมวลได้ ซึ่งการถ่ายโอนมวลจะจำกัดการไหลของโปรตอนไปยังฝั่งแคโทด มีผลให้เกิดการสะสมโปรตอนซึ่งทำให้พีเอชในฝั่งแอโนดมีค่าลดลงส่งผลกระทบต่อ การเจริญและการผลิตไฟฟ้าของจุลินทรีย์ อีกทั้งเยื่อเลือกผ่านประจุบวก (Proton exchange membrane) ที่ผ่านการใช้งานเป็นเวลานานอาจหมดประสิทธิภาพและจำกัดการไหลผ่านของประจุบวกได้ทำให้เกิดการสูญเสียในส่วนนี้ได้เช่นกัน

4.2 ผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง

4.2.1 เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม

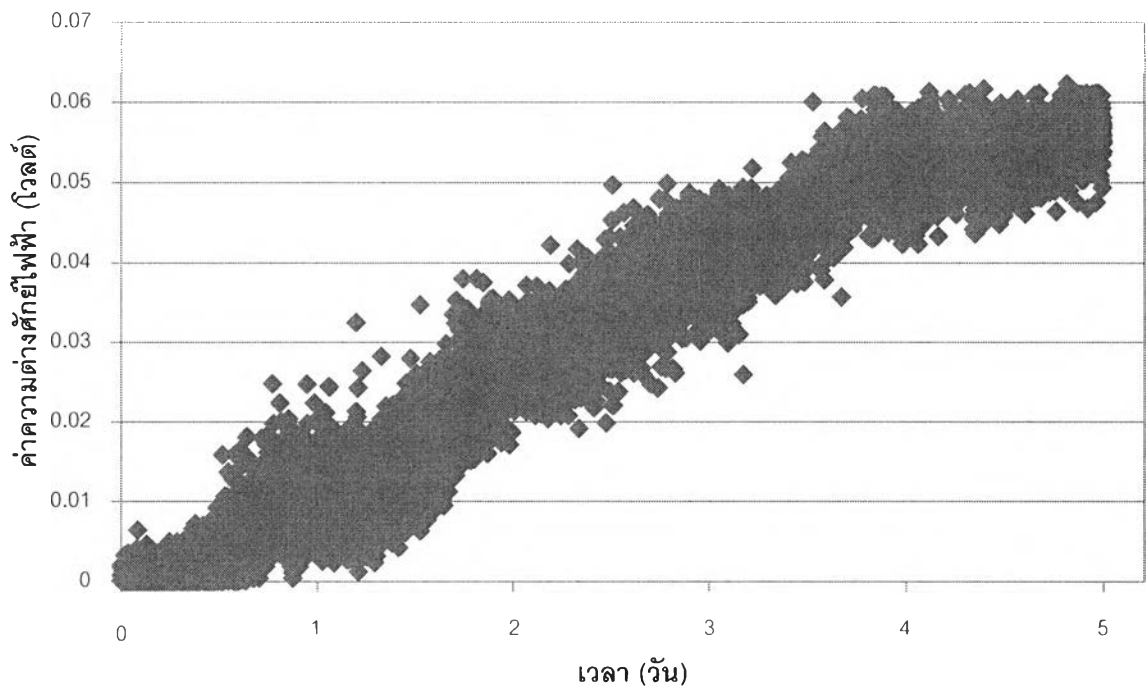
เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม น้ำเสียตัวอย่างมีค่าพีเอช 8.5 ขณะนั้นเป็นช่วงที่โรงงานกำลังมีการผลิตผลไม้จำพวกสับปะรดและข้าวโพดเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งน้ำเสียที่ทำการเก็บมาเป็นน้ำเสียรวมของทั้งโรงงาน น้ำเสียมีลักษณะสีขาวขุ่น



รูปที่ 4.16 ภาพแสดงบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียรวมของโรงงาน

4.2.2 ผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ผลไม้กระป๋อง

กำหนดภาวะที่ได้จากการทำการทดลองแปรผัน คือ ให้อัตราการไหลของอาหารเป็นระยะเวลาที่กักทางศาสตร์ที่ 24 ชั่วโมง ควบคุมค่าความเป็นกรดเบสในถังแอนโนดที่ 7 ถึง 8 และต่อตัวต้านทานภายนอกขนาด 300 กิโลโอห์ม ทดลองใช้กับน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม พบว่าให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยเมื่อเข้าสู่ภาวะคงที่แล้วคือ 0.053 โวลต์ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.17 โดยเมื่อคำนวณหาค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 0.12 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเมตรและ 6.24 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร



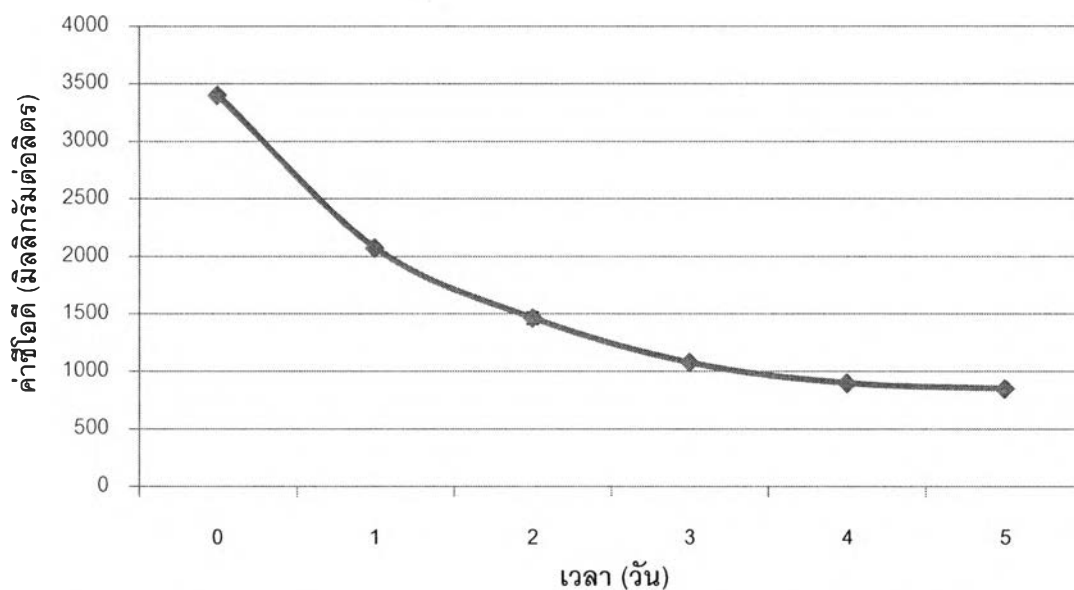
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในถังแอนโนดของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน

เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าในขั้นตอนทดลองน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องที่มีค่า 6.24 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร พบว่ามีค่าต่ำกว่าในขั้นตอนการทดลองแปรผันความต้านทานภายนอกที่มีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 9.65 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร อาจมีสาเหตุมาจากส่วนประกอบในอาหารที่ให้แก่จุลินทรีย์ซึ่ง คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำดังแสดงได้จากค่าซีไอดีซึ่งมีค่า

เท่ากับ 1888 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ขณะที่ในขั้นตอนการทดลองใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 2500 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร อีกทั้งเมื่อพิจารณาน้ำตาลกลูโคสพบว่าในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการแปรรูปปัจจัยต่างๆ มีน้ำตาลกลูโคส 3.168 กรัมต่อลิตร ขณะที่น้ำเสียจริงมีน้ำตาลกลูโคสเริ่มแรกเพียง 1.33 กรัมต่อลิตรเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 4.3 จึงส่งผลให้ในการทดลองน้ำเสียจริงมีผลิตไฟฟ้าได้ต่ำกว่า

กมล รอดอยู่ (2551) ทำการวิจัยในหัวข้อเรื่องการศึกษาการคัดเลือกแบคทีเรียเพื่อใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระแสไฟฟ้า ได้คัดเลือกแบคทีเรียด้วยกระแสไฟฟ้าค่าต่างๆ และนำมาทดสอบในเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพที่ปราศจากตัวนำพาอิเล็กตรอน จากการคัดเลือกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการรีดิวซ์ไอออนของเหล็กภายใต้ภาวะที่ไม่มีอากาศพบว่า *Proteus vulgaris* ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดถึง 0.62 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร หรือ 620 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร โดยงานวิจัยนี้สามารถผลิตไฟฟ้าให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าได้ 6.24 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าประมาณ 100 เท่า เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ให้แก่อจุลินทรีย์ กมล รอดอยู่ ทดลองโดยใช้น้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 18 กรัมต่อลิตร ขณะที่งานวิจัยนี้ทดลองใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม มีน้ำตาลกลูโคสเพียง 1.33 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าประมาณ 13.5 เท่า นอกจากนี้กมล รอดอยู่ ใช้จุลินทรีย์บริสุทธิ์ที่ผ่านขั้นตอนทดลองคัดเลือกให้มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ขณะที่งานวิจัยนี้ใช้จุลินทรีย์ผสมเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียให้ได้น้ำสะอาด

Sarinee และคณะ (2007) ทำการวิจัยศึกษาค่าอิมพีแดนซ์ของวัสดุขั้วไฟฟ้าแอโนด 5 ชนิด เพื่อวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ซึ่งเป็นค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อของขั้วไฟฟ้ากับสารละลาย พบว่าผ้าเส้นใยคาร์บอนมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำทำให้ถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างขั้วไฟฟ้ากับสารละลายได้สะดวกส่งผลให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูง สามารถยืนยันได้จากค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ผ้าเส้นใยคาร์บอนเป็นขั้วไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.8 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร หรือ 1800 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ประมาณ 300 เท่า เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ให้แก่อจุลินทรีย์แล้ว sarinee ใช้น้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 9.54 กรัมต่อลิตร ซึ่งมากกว่าในงานวิจัยนี้ประมาณ 7 เท่าและใช้จุลินทรีย์บริสุทธิ์ของ *saccharomyces cerevisiae* เป็นหัวเชื้อในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ นอกจากนี้ในห้องแอโนดยังมีการเติมเมธิลีนบลู (Methylene blue) ให้เป็นตัวกลางนำพาอิเล็กตรอนเพื่อช่วยขนส่งอิเล็กตรอนจากจุลินทรีย์ไปยังขั้วไฟฟ้าได้ดี เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าให้ดีขึ้นด้วย



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าซีไอดีในถังแอนไดคของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน

กราฟรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าค่าซีไอดีในถังแอนไดคเข้าสู่ภาวะคงตัวในวันที่ 5 และ 6 โดยมีค่าซีไอดีคงที่เฉลี่ยคือ 872 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งระบบสามารถลดค่าซีไอดีจากน้ำเสียของโรงงานได้ 74 %

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงปริมาณน้ำตาล 3 ชนิดในน้ำเสียและตัวอย่างในถังแอนไดค เมื่อทดลองใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องเป็นเวลา 6 วัน วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC

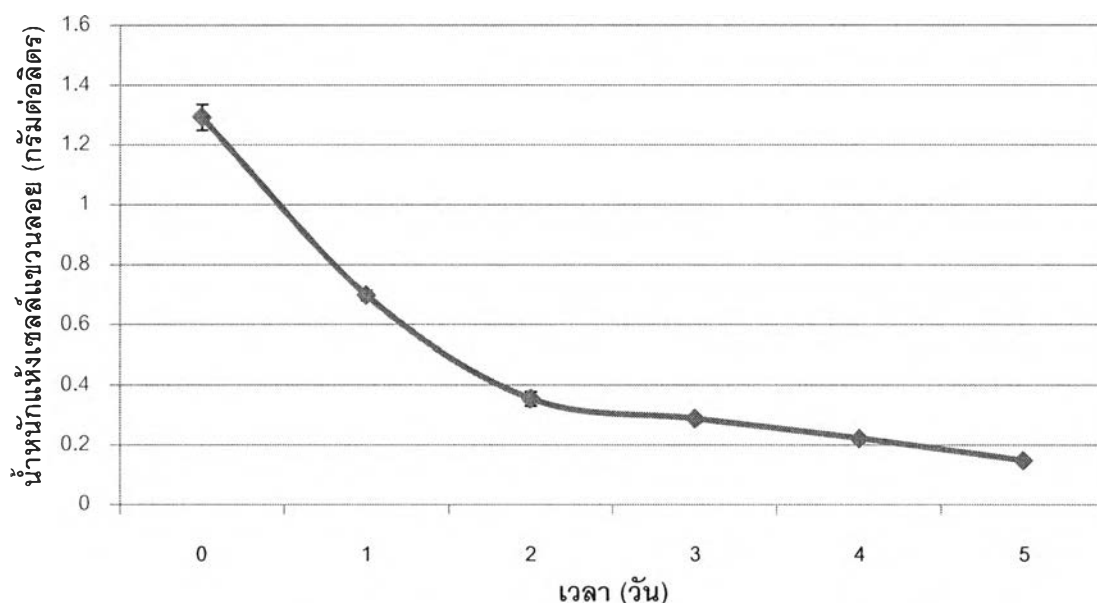
น้ำตาล \ เวลา	ฟรุกโตส (กรัมต่อลิตร)	กลูโคส (กรัมต่อลิตร)	ซูโครส (กรัมต่อลิตร)
น้ำเสีย	0	1.33	0
0 วัน	0	1.425	0
1 วัน	0	-	0
2 วัน	0	-	0
3 วัน	0	-	0
4 วัน	0	-	0
5 วัน	-	-	-

(-) : ไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลได้

0 : ไม่มีปริมาณน้ำตาล

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียจากโรงงานผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐมไม่พบน้ำตาลฟรุกโตสและซูโครส แต่พบน้ำตาลกลูโคส เมื่อให้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ทำงานเป็นเวลา 5 วัน สามารถวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสในถังแอนโดเพียงวันเริ่มแรกเท่านั้น หลังจากวันที่ 1 ไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสได้

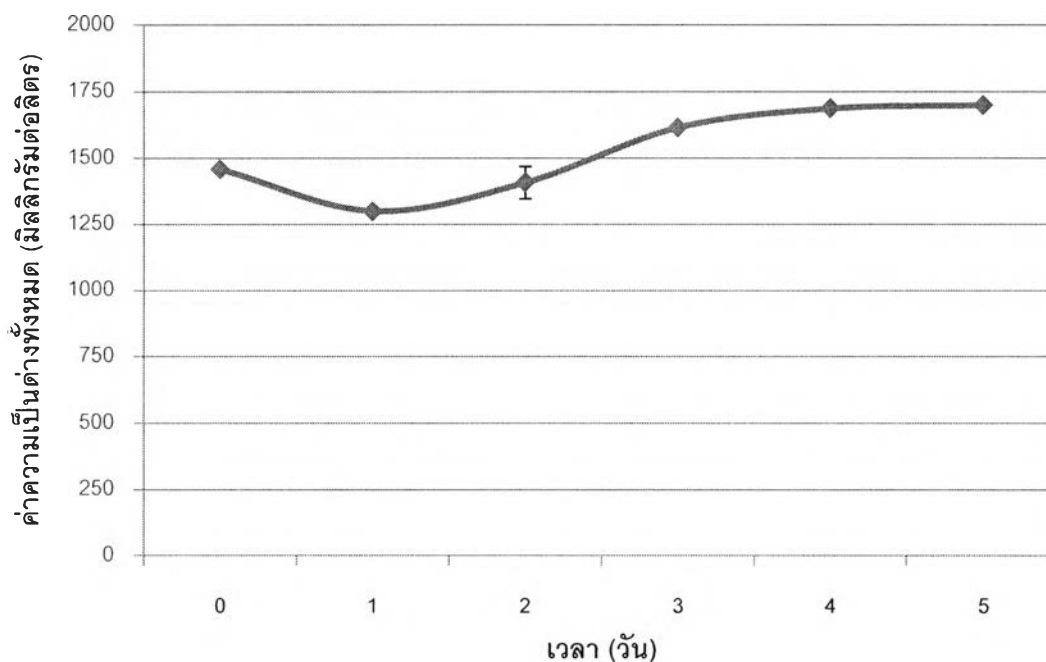
ในขั้นตอนการทดลองใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ใช้เวลาทำงานนานขึ้นกว่าที่ระบบจะเข้าสู่ภาวะคงตัว อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์ต้องปรับตัวจึงเจริญได้ช้าลงจึงให้เวลายาวนานขึ้นในการผลิตกระแสไฟฟ้า ตารางแสดงปริมาณน้ำตาลตารางที่ 4.3 พบว่าไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสได้หลังจากวันที่ 1 อาจเป็นเพราะมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสต่ำมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ แสดงว่าจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลกลูโคสหมดอย่างรวดเร็วแม้ว่าจะมีการให้อาหารเพิ่มอย่างต่อเนื่องก็ตาม จุลินทรีย์น่าจะมีการใช้สารอื่นร่วมกับการใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนในการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งในน้ำเสียจากโรงงานขณะนั้นมีกำลังการผลิตผลไม้จำพวกสับปะรดและข้าวโพด โดยมีรายงานว่าเส้นใยจำพวกเซลลูโลส หรือเฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบที่พบในผลไม้จำพวกสับปะรดและข้าวโพดปริมาณมาก รวมไปถึงน้ำตาลชนิดอื่น เช่น ไซโลส (xylose) อะราบิโนส (arabinose) กาแลคโตส (galactose) แมนโนส (mannose) เป็นต้น (Bartolome และ Ruperez, 1995)



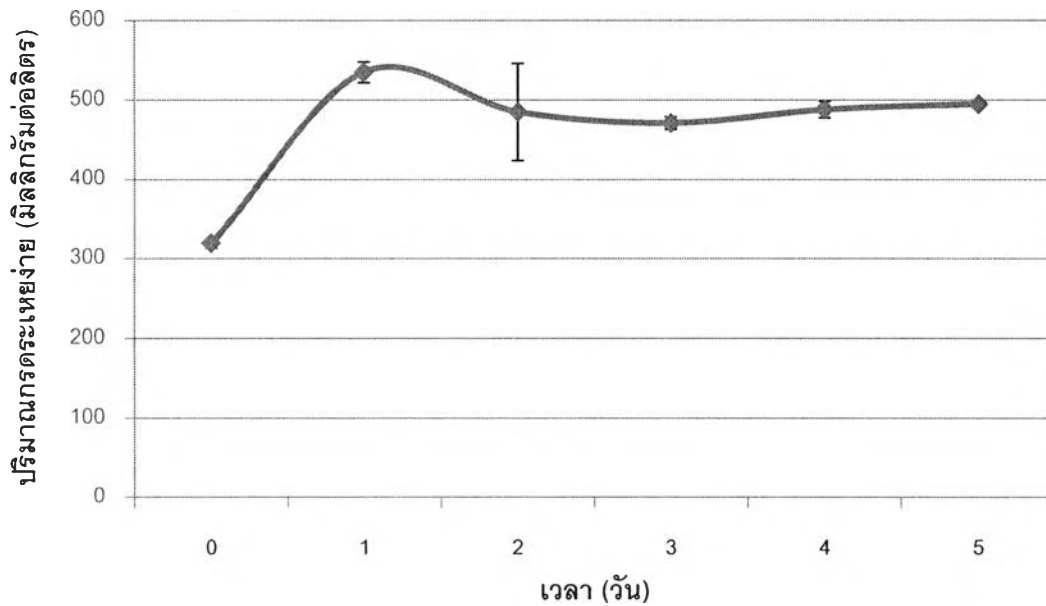
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยในถังแอนโดของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน

เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยพบว่าปริมาณต่ำ โดยใน 3 วันสุดท้ายที่ทำการทดลองมีค่าน้ำหนักแห้งเซลล์แขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 0.219 กรัมต่อลิตร ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.19 แสดงว่าอัตราการเจริญของจุลินทรีย์มีค่าต่ำ อาจเป็นผลเนื่องมาจากมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสในน้ำเสียจริงต่ำ จึงต้องอาศัยแหล่งคาร์บอนอื่นร่วมกับน้ำตาลกลูโคส จุลินทรีย์จึงต้องปรับตัวในการใช้สารอื่นเป็นแหล่งคาร์บอน อีกทั้งสารเหล่านั้นอาจมีโครงสร้างที่ซับซ้อน จึงส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและลดอัตราการผลิตไฟฟ้าลง แต่ก็มีข้อดีคือลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียที่ต้องใช้ในการกำจัดตะกอนจุลินทรีย์

ปริมาณความเป็นต่างทั้งหมดมีค่าลดลงในวันที่ 1 และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งคงที่เข้าสู่ภาวะคงตัว ที่ภาวะคงตัวมีค่าความเป็นต่างทั้งหมดเฉลี่ย 1668 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.20 แสดงว่าระบบมีความเป็นบัพเฟอร์สูงจะรักษาสภาพความเป็นกรดเบสได้ดี จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงปริมาณความเป็นต่างทั้งหมดในถังแอนด็อกของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงปริมาณกรดระเหยง่ายในถังแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ โดยใช้ น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม แบบต่อเนื่อง เป็นเวลา 5 วัน

จากกราฟรูปที่ 4.21 พบว่าปริมาณกรดระเหยง่ายมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 1 แล้วลดลง จนกระทั่งคงที่ ปริมาณกรดระเหยง่ายเมื่อเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้วมีค่าเฉลี่ย 485 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาปริมาณกรดระเหยง่ายในขั้นตอนการทดลองแปรผันความเป็นกรดเบสที่พีเอช 7 และ 8 มีค่าสูงมากกว่า 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่เมื่อทดลองใช้น้ำเสียจริงปริมาณกรดระเหยง่ายมีค่าไม่ถึง 500 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดระเหยง่ายเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฟฟ้าให้แก่ น้ำตาลกลูโคสเหมือนในน้ำเสียสังเคราะห์ และแหล่งคาร์บอนเหล่านั้นอาจมีโครงสร้างที่ซับซ้อน จึงทำให้จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดระเหยง่ายย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร ปริมาณกรดระเหยง่ายในขั้นตอนการทดลองใช้น้ำเสียจริงจึงมีค่าต่ำกว่าในขั้นตอนการทดลองแปรผันปัจจัยต่างๆ จึงน่าจะเป็นสาเหตุทำให้ผลิตไฟฟ้าได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า