

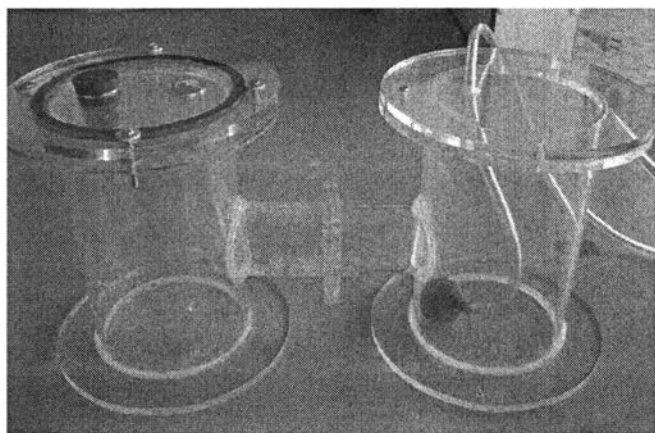


อุปกรณ์ เคมีภัณฑ์ และวิธีดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์

1. กระจกอลูมิเนียม
2. ขวดสีชาขนาด 2.5 ลิตร
3. ขวดแก้วสำหรับบรรจุตัวอย่างวิเคราะห์ HPLC ขนาด 1.5 มิลลิลิตร
4. คอมพิวเตอร์
5. เครื่องกวนแม่เหล็ก รุ่น ARE บริษัท VELP Scientifica ประเทศ Europe
6. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น 4-15 บริษัท sigma ประเทศ Germany
7. เครื่องนึ่งความดันฆ่าเชื้อ (Autoclave) รุ่น SS-325 บริษัท Tomy ประเทศ ประเทศ Germany
8. เครื่องชั่งหยاب 2 ตำแหน่ง รุ่น BJ100C บริษัท Presica ประเทศ Switzerland
9. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น AB204-5 บริษัท Mettler ประเทศ Switzerland
10. เครื่องปั่นผสม (Vortex mixer) รุ่น VSM-3 บริษัท Shelton scientific ประเทศ Japan
11. เครื่องปั๊มรีดสาย (Peristaltic pump) รุ่น 505U บริษัท Watson Marlow ประเทศ England
12. เครื่องปั๊มอากาศ รุ่น 6500 บริษัท Regent ประเทศ Germany
13. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเบส(pH meter) รุ่น SevenEasy บริษัท Mettler Toledo ประเทศ Switzerland
14. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
15. เครื่องวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
16. เครื่องแก้ว บริษัท pyrex ประเทศ U.S.A.
17. เครื่องสั่นคลื่นเสียงความถี่สูง (Sonicator) รุ่น E 30H บริษัท Lio Lab international ประเทศ Germany
18. เครื่องโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography) รุ่น LC1100 บริษัท Agilent ประเทศ Japan
19. คอลัมน์ HPLC ชนิด Prevail Carbohydrate ES บริษัท Alltech
20. ถังเซลล์เชื้อเพลิงประกอบทำจากอะคริลิก

21. ตัวกรองที่มีรูกรองขนาด 0.2 ไมครอน
22. ตู้เย็นยี่ห้อ Sharp ประเทศ Japan
23. ตู้แช่แข็งจุดเยือกแข็งต่ำ (deep freezer) อุณหภูมิลบ 20 องศาเซลเซียส รุ่น MDF-U332
บริษัท Sanyo Electric ประเทศ Japan
24. ตู้อบอุณหภูมิสูง บริษัท memmert ประเทศ Germany
25. ตู้อบแห้ง (oven) บริษัท memmert ประเทศ Germany
26. สายยางซิลิโคน ขนาด 3 มิลลิเมตร และขนาด 5 มิลลิเมตร
27. สายไฟฟ้าขนาด 2 มิลลิเมตร
28. ผ้าเส้นใยคาร์บอน ชนิด CF บริษัท ACELAN ประเทศ Korea
29. แผ่นเยื่อเลือกผ่านประจุบวก (Proton exchange membrane) ชนิด neosepta
บริษัท ASTOM ประเทศ Japan
30. หลอดย้อยสลายขนาด 20 × 150 มิลลิเมตร
31. หัวทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 รูปแสดงถังเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่รูปทรงตัวเอสที่ทำจากอะคริลิก

เคมีภัณฑ์

1. กลูโคส (glucose) บริษัท Merck ประเทศ Germany
2. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) บริษัท J.T baker ประเทศ U.S.A.
3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) บริษัท Analar ประเทศ England
4. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) บริษัท Merck ประเทศ Germany
5. ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) บริษัท Merck ประเทศ Germany
6. โซเดียมอะซิเตต (CH_3COONa) บริษัท Unilab ประเทศ Australia
7. โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) บริษัท Unilab ประเทศ Australia
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Analar ประเทศ England
9. โพตัสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) บริษัท Fisher scientific ประเทศ UK
10. โพตัสเซียมไฮโดรเจนพธาลเลต ($HOOC_6H_4COOK$) บริษัท Fisher scientific ประเทศ UK
11. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$) บริษัท Fisher scientific ประเทศ UK
12. เมอคิวริกซัลเฟต ($HgSO_4$) บริษัท Fisher scientific ประเทศ UK
13. ยูเรีย (Urea) บริษัท Unilab ประเทศ Australia
14. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Merck ประเทศ Germany
15. 1,10-ฟีแนนโทลีนโมโนไฮเดรต บริษัท Fisher scientific ประเทศ UK
16. เฟอริกซัลเฟต ($FeSO_4$) บริษัท Fisher scientific ประเทศ UK
17. อะซิโตไนโตรที่มาตรฐาน HPLC (Acetonitrile) บริษัท Chemical Express
18. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน HPLC (ammonium hydroxide) บริษัท Chemical Express

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ประกอบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ และเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ
2. หาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่ประกอบขึ้น
3. ผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม่
กระทบ
4. วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าและการบำบัดน้ำเสีย

3.1 ประกอบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ และเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ

3.1.1 ประกอบถังเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

ถังเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ทำจากอะคริลิกซึ่งเป็นวัสดุที่ทนสภาวะกรด ไม่ถูกกัดกร่อนสามารถขึ้นรูปได้ง่าย และราคาไม่แพง โดยใช้ท่ออะคริลิกกลวงและแผ่นอะคริลิกประกอบเป็นถังเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ลักษณะรูปทรงตัวเอช (H-shape) ถังแอดและถังแคโทดรูปทรงกระบอกมีความจุถังละ 800 มิลลิลิตร ส่วนข้างของแต่ละถังมีท่อกลวงยื่นออกมาเชื่อมกัน ตรงรอยเชื่อมจะประกบเข้ากับเยื่อเลือกผ่านประจุวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.4 เซนติเมตรและยึดด้วยสกรู ฝาด้านบนของถังแอดมีรูสำหรับจุกยาง 2 รู เป็นรูใส่จุกยางที่ต่อกับท่อสำหรับสายอาหารเข้าและออก และรูใส่จุกยางที่ต่อกับท่อสำหรับเก็บตัวอย่างและท่อปล่อยก๊าซโดยท่อปล่อยก๊าซจะถูกหล่อน้ำไว้เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปภายในถัง ได้แผ่นฝาด้านบนของถังแอดใช้ยางวงใหญ่ (O-ring) วางก่อนขันสกรูเพื่อป้องกันอากาศเข้า ปิดให้แน่นด้วยสกรู ส่วนถังแคโทดให้ออกซิเจนโดยเครื่องปั๊มอากาศและมีสายสำหรับบัพเฟอร์เข้าและออก ท่ออาหารและท่อสำหรับบัพเฟอร์ที่เข้าและออกในถังใช้สายยางซิลิโคนเป็นวัสดุ ต่อท่ออาหารและท่อสำหรับบัพเฟอร์ผ่านเครื่องปั๊มรีดสาย ป้องกันการรั่วซึมโดยใช้กาวซิลิโคนเหลวทาทุกส่วนของรอยต่อของถังอะคริลิก

3.1.2 วัสดุในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

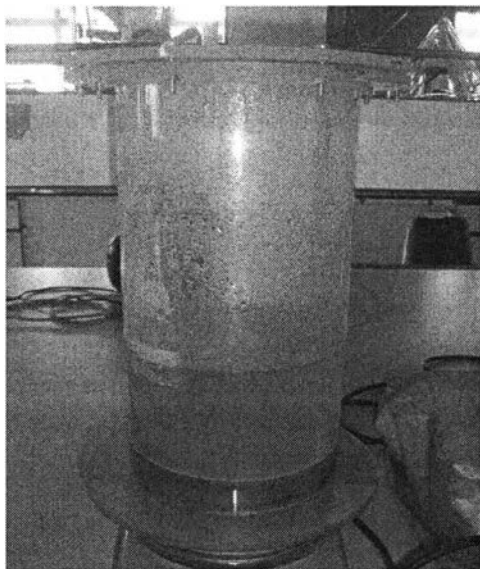
นำเยื่อเลือกผ่านโปรตอนไปซึ่งให้รูปร่างที่แบนปลายท่อเชื่อมกลางแล้วยึดให้แน่นด้วยสกรู ขั้วไฟฟ้าแอโนดและขั้วไฟฟ้าแคโทดใช้ผ้าเส้นใยคาร์บอนเป็นวัสดุ ขั้วไฟฟ้าแอโนดมีพื้นที่ผิวขนาด 15 ตารางเซนติเมตรและขั้วไฟฟ้าแคโทดมีพื้นที่ผิวขนาด 75 ตารางเซนติเมตร โดยขั้วไฟฟ้าแคโทด มีขนาดเป็น 5 เท่าของพื้นที่ผิวแอโนดเพื่อให้กระแสจำกัดอยู่ที่ขั้วไฟฟ้าแอโนดเท่านั้น (Alim และ คณะ, 2008) เชื่อมต่อขั้วไฟฟ้าทั้งสองกับวงจรภายนอกผ่านโวลต์มิเตอร์จากห้องปฏิบัติการไบโออิเล็กทรอนิกส์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 สารละลายในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

ถังแอโนดใช้น้ำเสียเป็นสารละลายเพื่อเป็นอาหารแก่จุลินทรีย์ โดยในขั้นตอนการทดลองหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์แทนน้ำเสียจริงดัดแปลงจากสูตรของณัฐฐริกา ตันติวงศ์ (2550) ตามภาคผนวก ก โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 700 มิลลิลิตร ประกอบด้วยประกอบและความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสในน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อให้ค่าซีโอดีเป็น 2500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าซีโอดีที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม (สุนทรีย์ อยู่สถาน, 2550) ควบคุมอัตราการไหลเข้าออกของน้ำเสียอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องปั๊มรีดสาย มีการกวนให้น้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์ผสมกันในถังแอโนดโดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็ก ส่วนถังแคโทดใช้ฟอสเฟตบัพเฟอร์เป็นสารละลายที่ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 700 มิลลิลิตร ตามภาคผนวก ข และเพิ่มประสิทธิภาพของสารละลายในฝั่งแคโทดโดยเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ความเข้มข้น 0.1 กรัมต่อลิตร ตามShijie และคณะ (2006) ไหลเวียนในระบบอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราเดียวกันกับอัตราการให้อาหาร และเติมอากาศอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องปั๊มอากาศ

3.1.4 เตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

เตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์ผสมจากถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศจากห้องปฏิบัติการของหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่ผ่านการทำวิจัยเรื่องผลของแหล่งคาร์บอนต่อการลดไนโตรเจนในน้ำเสียโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นน้ำเสียจากโรงงานผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม เช่นกัน ตะกอนในถังปฏิกรณ์ถูกเลี้ยงด้วยน้ำเสียชุมชนเป็นเวลานานจนกระทั่งสามารถกำจัดจุลินทรีย์พวกที่สร้างก๊าซมีเทนได้ จึงเอื้อประโยชน์ต่อการวิจัยนี้ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่จะนำมาใช้เป็นหัวเชื้อในการผลิตไฟฟ้านั้นไม่ต้องการจุลินทรีย์พวกที่สร้างก๊าซมีเทน เพราะจุลินทรีย์เหล่านั้นจะแย่งกรดอินทรีย์ เช่น กรดแอสซิติค ไปผลิตเป็นก๊าซมีเทน แทนที่ให้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าแก่จุลินทรีย์พวกที่สร้างไฟฟ้า ดูดตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณ 20 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงในน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 80 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เตรียมตะกอนหัวเชื้อให้มีปริมาตรประมาณ 1 กรัม ต่อลิตร



รูปที่ 3.2 รูปแสดงถังปฏิกรณ์แบบไร้อากาศจากห้องปฏิบัติการของหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 หาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่ประกอบขึ้น

3.2.1 เตรียมระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

ใส่จุลินทรีย์เริ่มต้นที่ได้ทำการเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ในถังแอโนดที่ประกอบขึ้นจากข้อ 3.1.4 ให้อาหารเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่ควบคุมการไหลเข้าออกอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องปั๊มรีดสาย กำหนดระยะกักพักทางชลศาสตร์เป็น 36 ชั่วโมง ต่อตัวด้านทานภายนอกขนาด 100 โอห์ม แบบอนุกรมกับโวลต์มิเตอร์ วิเคราะห์ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และค่าซีไอดี ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเข้าสู่ภาวะคงตัว (steady state)

3.2.2 แปรผันปัจจัยในการหาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้า

แปรผันระยะเวลาการกักพักทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time หรือ HRT) ที่ 36 24 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ควบคุมอัตราการไหลเข้าออกของน้ำเสียอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องปั๊มรีดสาย ในแต่ละระยะเวลาการกักพักทางชลศาสตร์ที่ทำการแปรผันจะกำหนดให้น้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ถังแอโนดทั้งหมด 10 ปริมาตรของถังอาหาร หรือ 7000 มิลลิลิตร เพื่อให้แน่ใจว่าได้เข้าสู่ภาวะคงตัว (Steady state) โดยสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของอาหารจากการกำหนดระยะเวลาการกักพักทางชลศาสตร์ได้ดังนี้ คือ

$$\text{ระยะเวลาการกักพักทางชลศาสตร์ (ชั่วโมง)} = \frac{\text{ปริมาตรของของเหลวในถังแอโนด (มิลลิลิตร)}}{\text{อัตราการไหลของอาหาร (มิลลิลิตรต่อชั่วโมง)}}$$

ของเหลวในถังแอโนดมีปริมาตร 700 มิลลิลิตร เมื่อกำหนดระยะเวลาการกักพักทางชลศาสตร์ที่ 36 24 และ 12 ชั่วโมง จึงสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบที่ระยะเวลาการกักพักทางชลศาสตร์ที่ 36 24 และ 12 ชั่วโมง ได้เป็น 19.5 29.2 และ 58.3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับ แล้วจึงวิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้า อัตราการกำจัดซีไอดี ปริมาณกรดระเหยง่าย และปริมาณจุลินทรีย์ในรูปของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย , 2545) แล้วคัดเลือกระยะเวลาการกักพักทางชลศาสตร์ที่ทำให้ได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงที่สุด

แปรผันค่าความเป็นกรดเบสเป็น 4 5 6 7 และ 8 ของน้ำเสียในถังแอโนด ในแต่ละค่าความเป็นกรดเบสที่ทำการแปรผันจะกำหนดให้น้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ถังแอโนดทั้งหมด 3500 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรดเบสในน้ำเสียสังเคราะห์ ตามภาคผนวก ก วิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้า อัตราการกำจัดซีไอดี ปริมาณกรดระเหยง่าย และปริมาณจุลินทรีย์ในรูปของแข็งแขวนลอยทั้งหมด และคัดเลือกค่าความเป็นกรดเบสที่ทำให้ได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงที่สุด

แปรผันค่าความต้านทานภายนอกที่เหมาะสมที่ทำให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงที่สุด โดยแปรผันในช่วง 100 โอห์มถึง 1 เมกะโอห์ม ต่อตัวต้านทานขนาด 0.1 56 75 100 300 500 750 1000 กิโลโอห์ม แบบขนานกับโวลต์มิเตอร์ วัดค่าทางไฟฟ้าโดยใช้โวลต์มิเตอร์ คัดเลือกขนาดความต้านทานภายนอกที่ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงที่สุด

3.3 ผลิตรกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์โดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง

นำภาวะเหมาะสมที่ทดลองได้จากข้อ 3.2 มาปรับใช้กับน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาจากโรงงานอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องมาลีสามพราน จังหวัดนครปฐม กรองกากผลไม้และเศษสิ่งสกปรกออกด้วยผ้าขาวบาง ปรับพีเอชและเติมบัฟเฟอร์ในน้ำเสียตัวอย่างโดยเติมโซเดียมอะซิเตทความเข้มข้น 0.1 กรัมต่อลิตร และเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้น 3 กรัมต่อลิตร จากนั้นปรับค่าความเป็นกรดเบสโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 โมลาร์ ให้มีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับค่าที่ได้จากผลการทดลองที่ 3.2.2 ก่อนให้น้ำเสียเข้าในถังแอโนดของระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ รักษาสภาพน้ำเสียโดยเก็บรักษาตัวอย่างน้ำเสียไว้ที่อุณหภูมิติดลบ 20 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียเปลี่ยนแปลง แล้วเปลี่ยนขวดน้ำเสียทุกวันโดยต้องทำให้น้ำเสียละลายที่อุณหภูมิห้องก่อนให้เข้าระบบ ให้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ทำงานโดยกำหนดค่าระยะเวลา กักพักทางศาสตร์ ค่าความเป็นกรดเบส และค่าความต้านทานภายนอกที่ทำให้ได้ค่าต่างศักย์สูงที่สุดจากข้อ 3.2.2 จากนั้น วิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้า อัตราการกำจัดซีไอดี ปริมาณกรดระเหยง่าย ปริมาณน้ำตาล และปริมาณจุลินทรีย์ในรูปของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะเสถียร แล้วจึงวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียขณะผลิตค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์และประเมินประสิทธิภาพของการผลิตรกระแสไฟฟ้า

3.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการผลิตกระแสไฟฟ้าและการบำบัดน้ำเสีย

3.4.1 วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545)

วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยใช้วิธีวัดค่าซีโอดีด้วยวิธีย่อยสลายโดยโพแทสเซียมไดโครเมตตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากการกำจัดค่าซีโอดี โดยสามารถคำนวณได้จากอัตราร้อยละของการลดลงของค่าซีโอดี

วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างน้ำไปปั่นเหวี่ยงก่อนเพื่อให้สารแขวนลอยตกตะกอน แล้วจึงดูดเอาส่วนใสมาทำการเจือจางตัวอย่าง ปิเปิดตัวอย่างน้ำปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดย่อยสลาย แล้วเติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต(ภาคผนวก ข) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆเติมสารละลายกรดซัลฟูริก(ภาคผนวก ข) ปริมาตร 3.5 มิลลิลิตร ให้เกิดขึ้นกรดอยู่ที่ก้นหลอดแก้ว ปิดฝาให้แน่นพอดีแล้วแกว่งหลอดให้วนไปมาเพื่อให้สารละลายผสมกันดี นำหลอดย่อยสลายใส่ลงในขวดหลอดแก้ว แล้วเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วเทสารละลายที่ได้ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นหยดเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์(ภาคผนวก ข) 1-2 หยดแล้วจึงไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮโดรเจนพธาลเลตความเข้มข้น 0.1 โมลาร์(ภาคผนวก ข) เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง จดบันทึกปริมาณของสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮโดรเจนพธาลเลตเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ(B) ต้องทำแบบลงค์ด้วยทุกครั้งเพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮโดรเจนพธาลเลต โดยใช้ น้ำกลั่นแทนตัวอย่างน้ำและทำการวิเคราะห์เหมือนตัวอย่างน้ำ จดบันทึกปริมาณของสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮโดรเจนพธาลเลตที่ใช้ในการไตเตรทเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ (A)

การคำนวณ

$$\text{ซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(A-B) \times N \times 8,000}{\text{ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)}}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณของสารละลายมาตรฐานปดัสเซียมไฮโดรเจนพธาลेटที่ใช้ไตเตรทแบลงค์

B คือ ปริมาณของสารละลายมาตรฐานปดัสเซียมไฮโดรเจนพธาลेटที่ใช้ไตเตรทน้ำตัวอย่าง

N คือความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานปดัสเซียมไฮโดรเจนพธาลेट

การหาความเข้มข้นของของสารละลายมาตรฐานปดัสเซียมไฮโดรเจนพธาลेट

วิเคราะห์โดยใช้สารละลายมาตรฐานปดัสเซียมไดโครเมตแทนสารละลาย แล้วไตเตรทน้ำกลั่นด้วยของสารละลายมาตรฐานปดัสเซียมไฮโดรเจนพธาลेट

การคำนวณ

นอร์มัลลิตีของสารละลายมาตรฐานปดัสเซียมไฮโดรเจนพธาลेट

$$= \frac{\text{ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานปดัสเซียมไดโครเมต (มล.)} \times 0.1}{\text{ปริมาตรมาตรฐานปดัสเซียมไฮโดรเจนพธาลेटที่ใช้ไตเตรท (มล.)}}$$

3.4.2 วิเคราะห์ปริมาณกรดระเหยง่าย (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545)

วิเคราะห์กรดระเหยง่ายโดยใช้วิธีไตเตรทตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย โดยนำตัวอย่างน้ำไปปั่นเหวี่ยงก่อนเพื่อให้สารแขวนลอยตกตะกอน แล้วจึงดูดเอาส่วนใสปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์ วัดค่าความเป็นกรดเบสของตัวอย่างน้ำ หาความเป็นต่างทั้งหมดโดยไตเตรทน้ำตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.05 โมลาร์(ภาคผนวก ข) จนกระทั่งมีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 4 จดจำนวนปริมาณของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้เพื่อนำไปคำนวณค่าความเป็นต่างทั้งหมด จากนั้นไตเตรทต่อไปจนกระทั่งค่าความเป็นกรดเบสมีค่าในช่วง 3.3-3.5 ระหว่างการทดลองใช้เครื่องกวนแม่เหล็กเพื่อให้สารผสมกันอย่างสมบูรณ์ แล้วนำสารละลายที่ไตเตรทข้างต้นไปไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

โดยต้มตัวอย่างน้ำให้เดือดเบาๆ ประมาณ 3 นาที แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำตัวอย่างน้ำมาหยดด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ (ภาคผนวก ข) จนกระทั่งมีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 4 แล้วทำการไตเตรทต่อจนกระทั่งมีค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7 จุดปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรทจากค่าความเป็นกรดเบสที่ 4 จนถึง 7 เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ

การคำนวณ

$$\text{ค่ากรดระเหยง่าย (มก./ล ในรูปของ CH}_3\text{COOH)} = \frac{\text{ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรท} \times \text{นอร์มัลลิตี} \times 50 \times 1,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)}}$$

$$\text{ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (มก./ล ในรูปของ CaCO}_3\text{)} = \frac{\text{ปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรท} \times \text{นอร์มัลลิตี} \times 50 \times 1,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)}}$$

3.4.3 วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล

วัดปริมาณน้ำตาลโดยใช้เครื่องโครมาโตกราฟีชนิดเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography หรือ HPLC) วิเคราะห์ตัวอย่างโดยอาศัยการกระจายแสงผ่าน RID (Refractive Index Detector) และประมวลผลด้วยโปรแกรม Chemstation Software ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลใช้คอลัมน์ชนิด Prevail Carbohydrate ES ขนาด 250 × 4.6 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 ไมครอน ในการวิเคราะห์ตัวอย่างอาศัยสารตัวพา 2 ชนิด คือ อะซีโตไนไตรท์มาตรฐาน HPLC และสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์มาตรฐาน HPLC ความเข้มข้น 0.04 % ในน้ำ Milli Q บริสุทธิ์ ใช้สารตัวพาที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 และ 30 ปริมาตรโดยปริมาตรตามลำดับ ด้วยอัตรา 1.0 มิลลิลิตรต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ต้องผ่านการกรองด้วยตัวกรองที่มีรูขนาด 0.2 ไมครอน ปริมาณของน้ำตาลสามารถวิเคราะห์ได้โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน (ภาคผนวก จ) ที่ทราบค่าความเข้มข้นของน้ำตาล ซึ่งสามารถวิเคราะห์น้ำตาลได้ 3 ชนิด คือ ฟรุคโตส กลูโคส ซูโครส

3.4.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (i) สามารถคำนวณได้จาก i เท่ากับ $\frac{I}{A}$ หรือ $\frac{V}{R_{ex}A}$ โดยที่ I คือค่ากระแสมีหน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์ A คือค่าขนาดพื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าแอนโนดมีหน่วยเป็นตารางเมตร V คือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ R_{ex} คือค่าความต้านทานภายนอกมีหน่วยเป็นโอห์ม

กำลังไฟฟ้า (P) มีหน่วยเป็นไมโครวัตต์ คำนวณได้จาก P เท่ากับ iV หรือ $\frac{V^2}{R_{ex}}$ และค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (P) มีหน่วยเป็นไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร สามารถคำนวณได้จาก $P = iV$