

รายงานการวิจัย

**เรื่อง การผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดย
กระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์**

Electricity Production from Organic Wastes

Fermentation by Microbial Fuel Cell Process

โดย

ปิยรัตน์ มุลศรี และคณะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

2556

รายงานการวิจัย

**เรื่อง การผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดย
กระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์**

Electricity Production from Organic Wastes

Fermentation by Microbial Fuel Cell Process

โดย

ปิยรัตน์ มุลศรี และคณะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

2556

ประกาศคุณูปการ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดยกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ โดยได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2556 โดยผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่ได้อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อการใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านการจัดการขยะอินทรีย์และการได้มาซึ่งแหล่งพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง กลุ่มเกษตรกร และผู้สนใจทั่วไปสามารถนำข้อมูลและผลการวิจัยที่ได้นี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ต่อไป

คณะผู้วิจัย

2556

หัวข้อวิจัย:	การผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดยกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ
ประเภทการวิจัย:	การวิจัยประยุกต์ (เคมี)
ชื่อผู้วิจัย:	ปิยรัตน์ มุลศรี วิไลพร ปองเพียร และ พยัคฆ์ จวนตรง
มหาวิทยาลัย:	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ปีการศึกษา:	2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดยกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ โดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยว และศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการหมักเศษขยะอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ โดยสูตรการเตรียมน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้รวบรวมจากภูมิปัญญาท้องถิ่นของกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดเพชรบูรณ์ จากการศึกษาพบว่าเตรียมน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพนี้สามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่งเกิดขึ้นมาได้ โดยการดัดแปลงเล็กน้อยในส่วนที่ทำให้เกิดการหมักซึ่งจะใช้เป็นเซลล์สำหรับขั้วแอโนดซึ่งจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนขึ้นจากการย่อยสลายอินทรีย์สาร ในขณะที่ขั้วแคโทดจะจมอยู่ภายนอกส่วนนี้และสัมผัสกับอากาศเพื่อให้ปฏิกิริยารีดักชันเกิดได้ดีขึ้น เมื่อต่อครบวงจรจะทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าและเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยการนำไปประยุกต์ใช้สามารถทำได้โดยการนำเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพหลาย ๆ เซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่สามารถใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการกระแสไฟฟ้าปริมาณน้อยได้

Research title: Electricity Production from Organic Wastes Fermentation by Microbial Fuel Cell

Type of research: Applied research (Chemistry)

Researcher: Piya-rut Moonsri, Wilaiporn Pongpian, and Payak Jountrong

University: Phetchabun Rajabhat University

Year: 2013

ABSTRACT

This research studied the electricity production from organic wastes fermentation by microbial fuel cell by using the single chamber microbial fuel cell. And studied the electricity production from fermentation process of various organic debris. Formula preparation fermented liquid bio fertilizers, bio and used in this study were collected from local knowledge of farmers in Phetchabun province. The study found that the fermented biomass and liquid bio fertilizer can cause a certain amount of electricity going up. By altering slightly modification of the fermentation zone which is used as the anode electrode cells for anaerobic microbes, which causes electrons from the decomposition of organic substances. While the cathode electrode dips outside of the microbes zone and exposed to air, so the reduction reaction was better. When the circuit was completed, electron will flow from the anode electrode to the cathode electrode and causes a potential difference between the electrodes and the electrical current. By navigating to the application of microbial fuel cells can be made by introducing several cells connected in series to get the voltage and current, which can be used with electrical current required portions.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ประกาศคุณูปการ	๗
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	3
1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์	4
2.2 ขยะ	12
2.3 น้ำหมักชีวภาพ	17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	32
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	32
3.2 การเตรียมวัตถุดิบและสารละลาย	34
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	38
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	44
4.1 ผลการศึกษาการคัดเลือกชนิดจุลินทรีย์และสูตรการเตรียมน้ำหมักและ ปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลินทรีย์	44
4.2 ผลการศึกษาการเตรียมเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์	50
4.3 ผลการศึกษาการออกแบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ระดับภาคสนาม	53

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	59
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	63

สารบัญตาราง

ลำดับ	หน้า
ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	32
ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	33
ตารางที่ 4.1 จุลินทรีย์และแหล่งที่มา ที่มีการนำมาใช้ผลิตน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพ	44
ตารางที่ 4.2 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายและความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพแต่ละชนิด	49
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาผ่านไป	51
ตารางที่ 4.4 แสดง Current density, Potential density และ power density ที่เปลี่ยนแปลงไป ที่เวลาต่าง ๆ ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ	51
ตารางที่ 4.5 สมรรถนะของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพในการสร้างกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ของเซลล์ และกำลังไฟฟ้าของเซลล์ จากการหมักเศษ ขยะอินทรีย์ โดยการใช้สูตรการหมักต่าง ๆ	54
ตารางที่ 4.6 สมบัติทางกายภาพของน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้	56
ตารางที่ 4.7 ปริมาณธาตุอาหารหลัก N P K ที่พบในน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพ ที่เตรียมได้	56
ตารางที่ 4.8 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วนของ C/N ที่พบใน น้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้	57
ตารางที่ 4.9 ปริมาณธาตุอาหารหลัก N P K ที่พบในกากที่เหลือทิ้งจากการทำ น้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้	57
ตารางที่ 4.10 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วนของ C/N ที่พบในกากที่ เหลือทิ้งจากการทำน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้	58
ตารางที่ 4.11 ปริมาณโลหะที่ตกค้างอยู่ในน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้	58

สารบัญรูป

ลำดับ	หน้า
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์	5
รูปที่ 2.2 กลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังขั้วแอโนดแบบต่าง ๆ	7
รูปที่ 2.3 เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องคู่	8
รูปที่ 2.4 เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยว	9
รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์ต้นแบบพลังงานเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์	11
รูปที่ 3.1 แสดงแผนภูมิหลักการทำงานของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ	39
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพระดับห้องปฏิบัติการ	50
รูปที่ 4.2 แสดงค่า Current density (mA/m^2) ที่เวลาต่าง ๆ จากการใช้ขั้วไฟฟ้า ของเซลล์ชนิดต่าง ๆ	52
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะและอุปกรณ์ของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพระดับภาคสนาม	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีความจำเป็นต้องใช้ตั้งแต่ระดับครัวเรือน ระดับชุมชน จนกระทั่งถึงระดับอุตสาหกรรม ปัญหาการขาดแคลนพลังงานเชื้อเพลิงที่จะนำไปใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าทำให้ต้องมีการเสาะแสวงหาพลังงานทางเลือกใหม่ ๆ เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า เช่น พลังงานจากน้ำ จากลม และจากพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น แต่พลังงานดังกล่าวยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น สถานที่การผลิต ปริมาณที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เช่น ปริมาณน้ำ ความเร็วลม การต่อต้านการใช้นิวเคลียร์ และการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ทำให้การใช้พลังงานดังกล่าวในการผลิตกระแสไฟฟ้ายังไม่เกิดประสิทธิภาพดีเท่าที่ควร ในปัจจุบันเทคโนโลยีการหมักได้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น การผลิตน้ำหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพ การกำจัดขยะ และการนำไปใช้ผลิตเชื้อเพลิงแก๊สชีวภาพ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหมักเศษอาหาร เศษขยะ สารชีวมวลทางการเกษตร และน้ำเสีย ที่จะทำได้แก๊สชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ดังนั้นการผลิตพลังงานเชื้อเพลิงจากกระบวนการหมักสารอินทรีย์ต่าง ๆ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ได้รับการสนใจในการนำไปใช้ผลิตพลังงาน และมีความเหมาะสมสำหรับเกษตรกรไทยรวมถึงหน่วยงานและองค์กรที่มีปริมาณขยะชีวภาพหรือชีวมวลที่สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการหมักทางชีวภาพ ทำให้สามารถผลิตพลังงานทดแทนและใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้อย่างคุ้มค่า ตามหลักการทางไฟฟ้าเคมีแล้ว เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (microbial fuel cell) สามารถที่จะสร้างขึ้นได้เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ควบคู่กับกระบวนการหมักเพื่อย่อยสลายอินทรีย์สารโดยใช้จุลินทรีย์ โดยอาศัยหลักการของการสร้างขั้วอิเล็กโทรดที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมใส่ลงไปในกระบวนการหมักเศษขยะอาหารหรือชีวมวลเหล่านั้น เมื่อจุลินทรีย์ทำการย่อยเศษขยะอาหารหรือชีวมวลเหล่านั้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็จะทำให้ได้แก๊สมีเทน และอิเล็กตรอนเกิดขึ้น ที่สามารถเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้าแอโนดไปยังขั้วไฟฟ้าแคโทดในเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพได้ ทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพนี้ จึงมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ควบคู่กับการหมักแก๊สชีวภาพ การทำน้ำหมักชีวภาพและการทำปุ๋ยหมักชีวภาพ เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิตประจำวัน การทำการเกษตร และใช้ในอุตสาหกรรมได้ โดยไม่เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อม ไม่มีมลพิษตกค้าง ช่วยจัดการปัญหาขยะจากเศษอาหารและชีวมวล เป็นต้น อีกทั้งระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพดังกล่าว ยังมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ทำการเกษตรอินทรีย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากไม่ใช้สารเคมีและไม่มี

สารพิษตกค้างจากกระบวนการผลิตเลย ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาและพัฒนาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ เพื่อให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยการออกแบบระบบของการสร้างเซลล์ไฟฟ้าจากจุลชีพที่มีประสิทธิภาพในการสร้างกระแสไฟฟ้า การออกแบบเครื่องมือของการนำหลักการทางเคมีไฟฟ้าและเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพนี้ให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในภาคสนาม เพื่อสร้างแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยการแก้ไขปัญหาขยะของทางมหาวิทยาลัยและกลุ่มเกษตรกรและหน่วยงานที่มีขยะจากชุมชนในปริมาณมาก และนำไปใช้ในธุรกิจการเกษตรอินทรีย์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาด้านแบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากกระบวนการหมัก
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ
3. เพื่อแก้ไขปัญหาด้านการจัดการขยะของมหาวิทยาลัยและของเกษตรกร
4. เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยและข้อมูลด้านการออกแบบเครื่องมือและการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ แก่ท้องถิ่น

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อจุลินทรีย์และสูตรการเตรียมน้ำหมักและปุ๋ยหมักชีวภาพที่สามารถนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพได้
2. ได้การออกแบบอุปกรณ์ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าเชื้อเพลิงจากจุลชีพได้ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและระดับการนำไปใช้งานจริง
3. ได้ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ และประสิทธิภาพของเซลล์ไฟฟ้านี้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม
4. ได้ชุดอุปกรณ์และกระบวนการที่สามารถสร้างกระแสไฟฟ้า ที่เป็นพลังงานทางเลือกได้ และเหมาะสมต่อหน่วยงาน ท้องถิ่น และชุมชน
5. กลุ่มเกษตรกรทางเกษตรอินทรีย์ หน่วยงานภาครัฐและผู้ประกอบการ หรือผู้สนใจทั่วไปสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
6. ทำให้เกิดการจัดการขยะของหน่วยงานและท้องถิ่น โดยการนำไปผลิตพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมการแข่งขันในธุรกิจเกษตรอินทรีย์ และช่วยรักษาสีเขียวสิ่งแวดล้อม
7. ได้บทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารในประเทศหรือต่างประเทศอย่างน้อย 1 เรื่อง หรือสามารถนำไปจดสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตรได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการสำรวจและศึกษาเชื้อจุลินทรีย์และสูตรการเตรียมน้ำหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เป็นสูตรจากภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัด ที่มีประสิทธิภาพในการหมักและได้สารละลายที่สามารถนำมาใช้งานทางไฟฟ้าเคมีได้อย่างน้อย 10 สูตร เพื่อคัดเลือกนำไปใช้ศึกษาในขั้นต่อไปอย่างน้อย 3 ชนิด
2. ทำการออกแบบและประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากกระบวนการเตรียมน้ำหมักหรือปุ๋ยหมักชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการและในระดับการใช้งานจริง จะพิจารณาถึงขนาดและรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละระดับ ตามความต้องการของผู้ใช้
3. ทำการศึกษาการทำงานและคุณสมบัติของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากที่ได้ เช่น อัตราการย่อยสลายสาร การผลิตกระแสไฟฟ้า และผลิตผลพลอยได้จากกระบวนการ เป็นต้น และทำการประเมินประสิทธิภาพทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในระดับการใช้งานจริง
4. ทำการศึกษาการเตรียมขยะสดที่ได้จากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และสารชีวมวลของเกษตรกรที่ทำการเกษตรอินทรีย์ที่ร่วมโครงการ เพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน เช่น ลักษณะทางกายภาพ ความชื้น และปริมาณองค์ประกอบ เป็นต้น
5. ทำการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิต ผลผลิตภาพและประสิทธิภาพการจากชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้งานจริง และศึกษาแนวทางในการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์
6. ทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีและผลงานวิจัยแก่ตัวแทนของกลุ่มหน่วยงานภาครัฐและเอกชน เครือข่ายกลุ่มเกษตรอินทรีย์ในจังหวัดเพชรบูรณ์ และนำเสนอในการประชุมวิชาการต่าง ๆ

1.5 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ตั้งแต่ 1 มกราคม 2556 ถึง 31 มีนาคม 2557

1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย

- ห้องปฏิบัติการทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
- ศูนย์เรียนรู้พลังงานทดแทนภาคเหนือ ต.ทุ่งสมอ อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

ในอดีตปรากฏการณ์ที่จุลินทรีย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ หลายคนอาจคิดว่าเป็นแค่ปรากฏการณ์แปลก ๆ ทางชีวภาพเท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้มีนักวิทยาศาสตร์นำเอาความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าของจุลินทรีย์มาสร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ ได้แก่ เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (microbial fuel cell) หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานในนาฬิกาและกล้องถ่ายรูป ความเชื่อมโยงระหว่างกระแสไฟฟ้าและกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ในสิ่งมีชีวิตถูกค้นพบครั้งแรกในคริสต์ศตวรรษที่ 18 โดย Galvani จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และพบว่าขาของเขาคือการกระตุ้นเมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าลงไป และได้ตั้งทฤษฎีกระแสไฟฟ้าในสัตว์ (animal electricity) ขึ้นมา ต่อมาในปี ค.ศ. 1910 Potter ศาสตราจารย์ทางพฤกษศาสตร์ ณ มหาวิทยาลัยเดอแฮม (Durham University) ประเทศสหราชอาณาจักร เป็นบุคคลแรกที่มีแนวคิดในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อจุลินทรีย์ โดยสาธิตการผลิตกระแสไฟฟ้าจาก *Escherichia coli* และ *Saccharomyces* โดยใช้อิเล็กโทรดแพลทินัม แต่ผลงานวิจัยของเขาไม่ได้รับการยอมรับมากนัก ต่อมา Cohen ได้สานต่อแนวความคิดของ Potter โดยทำการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์หลาย ๆ เซลล์มาต่อกัน และสามารถผลิตความต่างศักย์ไฟฟ้าได้มากกว่า 35 โวลต์ อย่างไรก็ตามเมื่อคิดเป็นค่ากระแสไฟฟ้าเซลล์ที่นำมาต่อกันสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพียง 2 มิลลิแอมป์เท่านั้น เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เริ่มได้รับความสนใจในปี 1960-1969 เมื่อองค์การนาซา (National Aeronautics and Space Administration, NASA) ได้ให้ความสนใจในการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งทางชีวภาพให้เป็นกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในกระสวยอวกาศ โดยสาหร่ายและแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ชนิดแรก ๆ ที่ถูกนำมาใช้ในเชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ในปี ค.ศ. 1963 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ได้ถูกนำออกจำหน่ายในท้องตลาดเพื่อใช้เป็นพลังงานในวิทยุ สัญญาณไฟและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในทางทะเล ต่างอย่างไรก็ตามเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เหล่านี้ไม่ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์มากนัก เนื่องจากความสำเร็จในการพัฒนาเทคโนโลยีทางเลือกอื่น ๆ มากขึ้น ต่อมาเมื่อเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันระหว่างปี 1970-1989 ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์กลับมาได้รับความสนใจอีกครั้ง เนื่องจากสามารถทำงานภายใต้สภาวะไม่รุนแรงคือ ที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ สามารถใช้อิเล็กโทรไลต์ที่เป็นกลางและตัวเร่งปฏิกิริยาราคาถูก เช่น แพลทินัม (platinum) ได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้สารตั้งต้นได้หลากหลายชนิดนับตั้งแต่น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส จนถึงสารประกอบจำพวกของเสียที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำเสีย เป็นต้น ข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

- 1) สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากสารตั้งต้นทางชีวภาพได้โดยตรง
- 2) พลังงานที่ผลิตได้เป็นพลังงานสะอาด
- 3) สามารถใช้สารตั้งต้นทางชีวภาพได้หลากหลายชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต กรดไขมัน โปรตีน และน้ำเสีย เป็นต้น

2.1.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

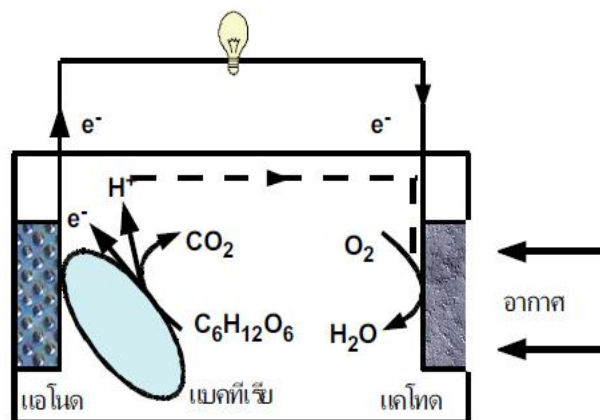
สำหรับหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์นั้น เป็นเครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานทางเคมีที่มีอยู่ในสารตั้งต้นทางชีวภาพไปเป็นกระแสไฟฟ้าผ่านปฏิกิริยาแคทาไลติก (catalytic) ของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์นี้จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ได้แก่ ขั้วแอโนด (anode) และขั้วแคโทด (cathode) ประกบติดกับสารอิเล็กโทรไลต์ เมื่อทำการป้อนสารอินทรีย์ตั้งต้น เช่น กลูโคส ลงไปในเซลล์ไฟฟ้า สารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกจุลินทรีย์ที่อยู่รอบ ๆ ขั้วแอโนดย่อยสลายได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โปรตอน (H^+) และอิเล็กตรอน (e^-) เป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด (Oxidation) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 24\text{H}^+ + 24\text{e}^-$ $E^0 = 0.014 \text{ V}$

ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด (Reduction) $6\text{O}_2 + 24\text{H}^+ + 24\text{e}^- \longrightarrow 12\text{H}_2\text{O}$ $E^0 = 1.23 \text{ V}$

ปฏิกิริยารวม คือ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ $E^0 = 1.244 \text{ V}$

จากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด โปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารอิเล็กโทรไลต์ และอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกไปยังขั้วแคโทด และปฏิกิริยรีดักชันที่ขั้วแคโทด เมื่อโปรตอนและตัวรับอิเล็กตรอนเช่น ออกซิเจน รวมตัวกับอิเล็กตรอน จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็น น้ำ และจากความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ทำให้อิเล็กตรอนสามารถเกิดการเคลื่อนที่ระหว่างขั้วไฟฟ้าได้ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์นี้ได้



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

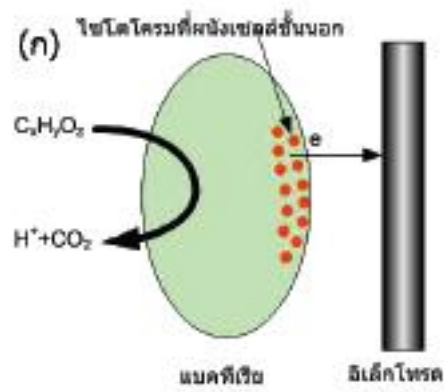
2.1.2 กลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอนภายในเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

สำหรับกลไกในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากจุลินทรีย์ไปยังขั้วแอโนด อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

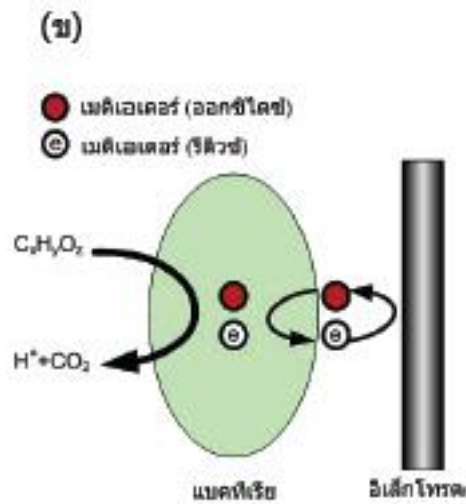
2.1.2.1 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากจุลินทรีย์ไปยังขั้วแอโนด โดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้า (non-conductive) เนื่องจากเยื่อหุ้มผนังเซลล์ชั้นนอกของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ประกอบด้วยไขมัน ได้แก่ เปปทิโดไกลแคน (peptidoglycan) และไลโปพอลิแซ็กคาไรด์ (lipopolysaccharide) ซึ่งขัดขวางไม่ให้จุลินทรีย์ถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังขั้วแอโนดได้โดยตรง แต่มีจุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Geobacter sulfurreducens* และ *Shewanella putrefaciens* สามารถถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะมีไซโตโครมอยู่ที่ผนังเซลล์ชั้นนอกเป็นจำนวนมาก ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากเซลล์จุลินทรีย์ไปยังขั้วแอโนด

2.1.2.2 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนด้วยเมดิเอเตอร์ (mediator) ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากภายในเซลล์จุลินทรีย์ไปยังขั้วแอโนดสามารถทำได้โดยการใช้เมดิเอเตอร์ เช่น นิวโทรลเรด (neutral red) และเมทิลีนบลู (methyleneblue) เป็นต้น โดยเมดิเอเตอร์จะแทรกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในเซลล์จุลินทรีย์และนำเอาอิเล็กตรอนออกมานอกเซลล์ในรูปของรีดิวซ์เมดิเอเตอร์ และปลดปล่อยอิเล็กตรอนไปยังขั้วแอโนด แต่อย่างไรก็ตามเมดิเอเตอร์ก็มีข้อเสียคือ มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์และเพิ่มต้นทุนในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า

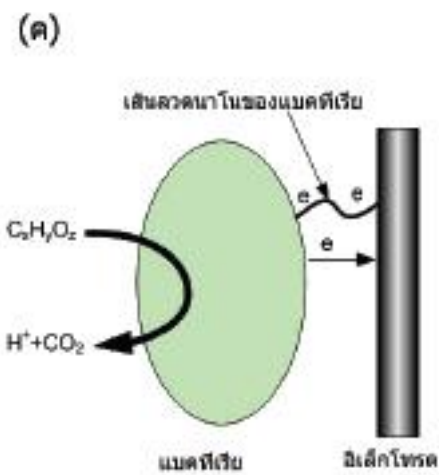
2.1.2.3 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนผ่านเส้นลวดนาโน (nanowire) ของแบคทีเรีย โดยได้มีการค้นพบว่าเส้นลวดนาโนของแบคทีเรียซึ่งมีโครงสร้างคล้ายเส้นผม (pillus-like) พบอยู่ที่ผนังเซลล์ชั้นนอกของจุลินทรีย์ มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า และอาจเกี่ยวข้องโดยตรงต่อการถ่ายโอนอิเล็กตรอน โดยมีการพบเส้นลวดนาโนใน *Geobacter sulfurreducens* PCA, *Shewanella oneidensis* MR-1 สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Synechocystis* sp. PCC6803 และแบคทีเรีย *Pelotomaculum thermopropionicum* เป็นต้น



การถ่ายโอนอิเล็กตรอนโดยตรงผ่าน
ไซโตโครมที่ฝังเซลล์ชั้นนอก



การถ่ายโอนอิเล็กตรอนด้วยเมดิเอเตอร์



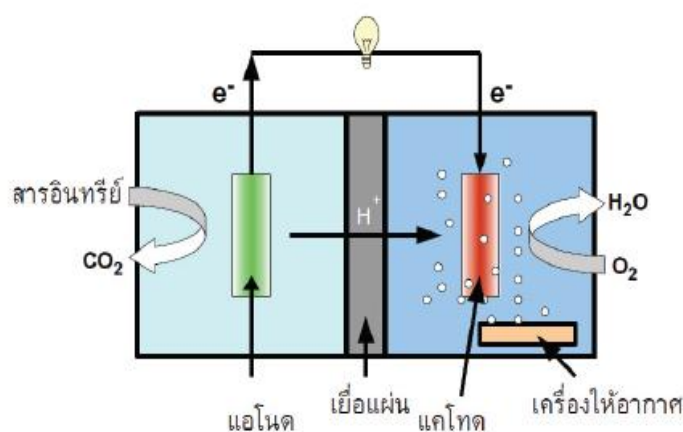
การถ่ายโอนอิเล็กตรอนผ่านเส้นลวด
นาโนของแบคทีเรีย

รูปที่ 2.2 กลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังขั้วแอโนดแบบต่าง ๆ

2.1.3 ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

ในการแบ่งประเภทของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพนี้ สามารถแบ่งได้ตามลักษณะ โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

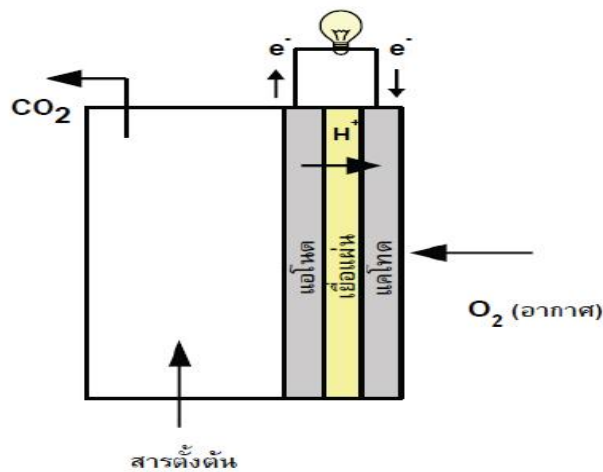
2.1.3.1 เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องคู่ (Two-chamber microbial fuel cell) โดยเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบนี้สามารถทำงานได้ทั้งแบบกะ (batch) และแบบต่อเนื่อง และนิยมใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ประกอบด้วยห้องแอโนดและห้องแคโทดที่กั้นกลางด้วยเยื่อแผ่นเลือกผ่านโปรตอน (proton exchange membrane) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 หรือในเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพบางชนิดอาจใช้สะพานเกลือ (salt bridge) ที่ยอมให้โปรตอนเคลื่อนที่ผ่านเป็นตัวเชื่อมระหว่างห้องแอโนดและห้องแคโทด โดยโปรตอนจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านโปรตอนไปยังห้องแคโทดได้ แต่ออกซิเจนในห้องแคโทดไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นเลือกผ่านโปรตอนนี้ไปยังห้องแอโนดได้ เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพบางชนิดจะใช้น้ำเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ในห้องแคโทด หรือแคโทไลต์ (catholyte) โดยจะพ่นอากาศผ่านน้ำเพื่อให้ได้ออกซิเจนละลายในน้ำส่งไปที่ขั้วแคโทด วิธีนี้จะสิ้นเปลืองพลังงานและมีประสิทธิภาพต่ำ การใช้เฟอร์ริไซยาไนด์ (ferricyanide) เป็นแคโทไลต์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพชนิดนี้ได้อย่างมาก แต่กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่ยั่งยืน เนื่องจากสารเฟอร์ริไซยาไนด์ที่ถูกใช้ไปในการเกิดปฏิกิริยาในห้องแคโทดจะค่อย ๆ หมดไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเฟอร์ริไซยาไนด์เพิ่มเข้าไปในระหว่างการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 2.3 เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องคู่

2.1.3.1 เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยว (Single-chamber microbial fuel cell) จากการที่เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องคู่มีความซับซ้อนในการออกแบบเพื่อขยายขนาด และยังพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องคู่ยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสีย เนื่องจากความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าต่ำ เมื่อใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน หรือจำเป็นต้องเติมสารแคโทไลต์ เช่น เฟอร์ริไซยาไนด์ ลงไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาด้วย ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

ชีฟแบบห้องเดี่ยวที่สามารถออกแบบได้ง่าย และประหยัดกว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวโดยทั่วไปจะประกอบด้วยห้องแอโนด และในส่วนห้องแคโทดจะไม่มี การให้อากาศ เนื่องจากขั้วแคโทดสัมผัสกับอากาศโดยตรง โปรตอนจะถูกส่งถ่ายจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในห้องแอโนดไปยังขั้วแคโทดซึ่งถูกติดตั้งไว้ด้านนอกของเซลล์เชื้อเพลิงแบบห้องเดี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยที่เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดียวนี้นี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่านไอออนมวลของออกซิเจนในอากาศมีค่าสูงกว่าในน้ำ อีกทั้งยังเลือกผ่านโปรตอนในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยวจะทำหน้าที่ป้องกันการแพร่ของออกซิเจนเข้าไปยังห้องแอโนด แต่เนื่องจากเยื่อชนิดนี้มีราคาแพง จึงได้มีการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบไร้เยื่อขึ้นมา โดยการทำให้เกิดไบโอฟิล์มของแบคทีเรียพวกใช้อากาศบนพื้นผิวขั้วแคโทด ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าเนื่องจากการลดความต้านทานภายในเนื่องจากเยื่อเลือกผ่าน



รูปที่ 2.4 เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว

2.1.4 การประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

การใช้ประโยชน์ของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพลังงานไฟฟ้า ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.1.4.1 ด้านการขนส่งและการผลิตพลังงาน โดยแหล่งพลังงานฟอสซิลที่คาดกันว่าอาจจะหมดไปในระยะเวลาอีกไม่นานนักประมาณ 200 ปี ข้างหน้า อีกทั้งการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนเนื่องจากการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกมาด้วยในขณะที่เผาไหม้ ดังนั้นพลังงานทางเลือกหนึ่งซึ่งเป็นพลังงานสะอาด ที่สามารถใช้ทดแทนแหล่งพลังงานดั้งเดิมคือพลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ที่สามารถผลิตพลังงานได้โดยตรงจากสารตั้งต้นคาร์โบไฮเดรตในยานพาหนะ พลังงานที่ปลดปล่อยระหว่างการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ของสารตั้งต้นคาร์โบไฮเดรตจำพวกน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส หรือน้ำตาลโมเลกุลคู่ เช่น ซูโครส มีค่าประมาณ 16×10^6 จูลต่อกิโลกรัม ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับกระแสไฟฟ้าประมาณ 5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยจากการ

คำนวณพบว่าเมื่อใช้สารละลายเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรต 1 กิโลกรัม จะสามารถทำให้รถยนต์ขนาดเล็กที่ต้องการพลังงานประมาณ 200 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลเมตร สามารถวิ่งได้เป็นระยะทาง 25-30 กิโลเมตร ดังนั้นถ้าใช้สารละลายน้ำตาลเข้มข้น 50 ลิตร จะสามารถทำให้รถยนต์วิ่งได้เป็นระยะทางมากกว่า 1,000 กิโลเมตร โดยไม่ต้องเติมเชื้อเพลิงระหว่างทาง ดังนั้นการผลิตพลังงานโดยเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์นอกจากจะไม่สร้างมลภาวะแล้ว ยังสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกหนึ่งทดแทนการใช้พลังงานจากฟอสซิลได้อีกทางหนึ่ง

2.1.4.2 ด้านการใช้เป็นแหล่งพลังงานในเครื่องมือทางการแพทย์ที่ฝังในร่างกาย โดยได้มีการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ขนาดเล็กแค่ 0.07 ตารางเซนติเมตร เพื่อใช้ในระบบการขนส่งยาระดับไมโคร (microscopic drug-delivery system) โดยเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถสร้างศักย์ไฟฟ้าได้ 300 ไมโครโวลต์ ได้เป็นเวลานานถึง 2 ชั่วโมง เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานให้แก่เครื่องมือทางการแพทย์ที่ต้องฝังในร่างกายได้ และสามารถช่วยในการขนส่งยาให้กับผู้ป่วยที่ต้องการยาในปริมาณสม่ำเสมอ เช่น ผู้ป่วยโรคเอดส์ นอกจากนี้เรื่องขนาดของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กแล้ว ระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ยังมีลักษณะเฉพาะตัวคือ สามารถใช้น้ำตาลกลูโคสซึ่งก็คือ น้ำตาลที่มีอยู่ในกระแสเลือดเป็นเชื้อเพลิงได้ด้วย นอกจากนี้แล้วเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ หรือเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ยังสามารถใช้ในการขับเคลื่อนให้เครื่องมือต่าง ๆ ทำงานภายในร่างกายได้ เช่น เครื่องควบคุมจังหวะการเต้นของหัวใจ (pacemaker) เครื่องวัดระดับน้ำตาล รวมถึงเครื่องฉีดอินซูลินขนาดเล็กที่ฝังไว้ในร่างกายของผู้ป่วยโรคเบาหวาน เป็นต้น โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ให้ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าต่ำแต่เสถียร จึงเหมาะที่จะใช้ขับเคลื่อนเครื่องมือที่สร้างโดยใช้เทคโนโลยี MEMS (Micro electromechanic systems)

2.1.4.3 ด้านการพัฒนาหุ่นยนต์ ได้มีการพัฒนาสร้างหุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนโดยใช้กำลังจากการย่อยอาหาร (digestion) ในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ หุ่นยนต์นี้เรียกว่า Gastrobot เมื่อหมักยีสต์ในสารละลายที่อุดมด้วยคาร์โบไฮเดรตในถึงปฏิกรณ์ชีวภาพ จะมีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาและนำเอาแรงดันจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้นไปใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ได้ นอกจากนี้ Wikinson นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเซาท์ฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นผู้ซึ่งสนใจทางด้านการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพไฮบริด ได้พัฒนาหุ่นยนต์ Gastronome (Chew Chew) ซึ่งได้รับกำลังจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ โดยหุ่นยนต์นี้ประกอบด้วยรถ 3 คัน เชื่อมต่อกันคล้ายรถไฟดังแสดงในรูปที่ 2.x ซึ่งรถคันหน้าบรรทุกถังแอโนด (เสมือนกระเพาะอาหาร) ปั๊มกระเพาะอาหาร (gastric pump) ระบบป้อนและระบายใจ (venting) มอเตอร์ขับเคลื่อน และวงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ รถคันกลางประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่มี *E.coli* เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพจำนวน 6 เซลล์ ส่วนรถคันหลังบรรทุกถังออกซิเจน (ปอด) ปั๊มหัวใจ และแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม มีการป้อนน้ำตาลลงในถึงกระเพาะอาหารเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเวสต์ออสเตรเลีย ประเทศอังกฤษ ได้พัฒนาหุ่นยนต์ EcoBotIII ซึ่งในตัวหุ่นยนต์ประกอบด้วย

เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่มีขั้วแคโทดแบบออกซิเจนจำนวน 8 เซลล์ จุลินทรีย์ที่ใช้คือกลุ่มจุลินทรีย์จากกากตะกอนเร่งของเสีย (activated sewage sludge) สารตั้งต้นที่ใช้ได้แก่แมลงวัน โดยแบคทีเรียที่อยู่ภายในกากตะกอนเร่งของเสียจะทำหน้าที่ย่อยสลายเปลือกหุ้มตัวแมลงวันที่ประกอบไปด้วยสารไคติน (chitin) ในสภาวะไร้อากาศ และจะมีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนที่ได้จะนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าให้แก่หุ่นยนต์ โดยที่หุ่นยนต์กินแมลงวัน 8 ตัว สามารถเดิน เครื่องทำงานได้ 12 วัน ในตัวหุ่นยนต์มีการติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูลและตัวรับรู้ (sensor) สิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ระดับสารพิษ และความชื้น ไว้ภายในหุ่นยนต์ เมื่อหุ่นยนต์ตอบสนองต่อสิ่งเร้าจะมีการประมวลผลและสามารถสื่อสารได้ด้วยการส่งสัญญาณไร้สายกลับมาที่สถานีฐานด้วย



รูปที่ 2.5 หุ่นยนต์ต้นแบบพลังงานเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์

2.1.4.4 ด้านการกำจัดน้ำเสีย โดยการประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่สำคัญอีกด้านหนึ่งคือ การใช้งานในด้านวิศวกรรมน้ำเสีย จุลินทรีย์สามารถใช้สารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยจุลินทรีย์จะออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสีย และปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งจากการศึกษาและวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาพบว่าสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 26 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร พร้อมกับลดค่าซีโอดี (chemical oxygen demand, COD) ของน้ำเสียได้ถึงร้อยละ 80 โดยการใช้เชื้อจุลินทรีย์แบบห้องเดี่ยว จึงแสดงให้เห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์มีศักยภาพในการใช้เพื่อกำจัดน้ำเสียได้

2.2 ขยะ

ในปัจจุบันประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ทำให้ทรัพยากรทั้งที่มีอยู่ในธรรมชาติและทรัพยากรที่มนุษย์สร้างขึ้นถูกใช้ในการอุปโภค บริโภค เพื่อใช้ในการดำรงชีวิต และอำนวยความสะดวกสบายของคนในสังคมเพิ่มมากขึ้น สิ่งที่เหลือทิ้งจากการอุปโภค บริโภคเหล่านั้นทำให้เกิดขยะมูลฝอยที่อาจก่อให้เกิดปัญหาให้กับสังคม ชุมชนได้ หากไม่ได้รับการดูแล และจัดการอย่างถูกต้องเหมาะสม ซึ่งนอกจากจะทำให้สภาพแวดล้อมดูไม่สวยงามแล้ว การหมักหมมเน่าเปื่อยของขยะยังทำให้เกิดกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค เป็นแหล่งชุมนุมของสัตว์พาหนะนำโรค และเกิดสารพิษปนเปื้อนลงไปในดินและน้ำได้ เป็นต้น ดังนั้นการจัดการขยะหรือการใช้ประโยชน์จากขยะจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่คนในชุมชนทุกชุมชนควรตระหนัก และช่วยกันจัดการและป้องกันปัญหาจากขยะที่เกิดขึ้นอยู่ในชุมชนนั้น

2.2.1 ความหมายของขยะมูลฝอย

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน ให้คำจำกัดความของคำว่า “มูลฝอย” หมายถึง เศษสิ่งของที่ทิ้งแล้ว หยาก เชื้อ และคำว่า “ขยะ” หมายถึง หยาก เชื้อมูลฝอย ซึ่งทั้งสองคำนี้มีความหมายเหมือนกัน จึงใช้แทนกันได้ และในบางครั้งจะพบว่ามีการใช้คำควบคู่กันเป็น ขยะมูลฝอย สำหรับพระราชบัญญัติสาธารณสุข พ.ศ. 2484 แก้ไขเพิ่มเติม ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2497 ได้ให้คำจำกัดความและความหมายของคำว่า “มูลฝอย” หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า แก้ว มูลสัตว์ และซากสัตว์ รวมถึงวัตถุอื่นใด ซึ่งเก็บกวาดจากถนน ตลาดที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่น ๆ ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ให้คำจำกัดความของคำว่า ของเสีย หมายความว่า ขยะมูลฝอย สิ่งปฏิกูล น้ำเสีย อากาศเสีย มลสารหรือวัตถุอันตรายอื่นใด ซึ่งถูกปล่อยทิ้งหรือมีที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษ รวมทั้งกากตะกอนหรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้น ที่อยู่ในสภาพของแข็งของเหลวหรือก๊าซ

ในทางวิชาการได้ให้ความหมายของขยะหรือขยะมูลฝอย (refuse or solid waste) หมายถึง ของเสียที่อยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งอาจจะมีมากขึ้นปะปนมาด้วยจำนวนหนึ่ง ขยะที่เกิดขึ้นจากอาคารที่พัก สถานที่ทำการ โรงงานอุตสาหกรรม หรือตลาดสดก็ตาม จะมีปริมาณและลักษณะแตกต่างกันออกไป โดยปกติแล้ววัตถุต่าง ๆ ที่ถูกทิ้งมาในรูปของขยะนั้น จะมีทั้งประเภทอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร สารวัตถุต่าง ๆ เหล่านี้บางชนิดก็สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ในเวลาอันรวดเร็ว โดยเฉพาะพวกเศษอาหาร เศษพืชผัก แต่บางชนิดก็อาจจะไม่ย่อยสลายได้เลย เช่น พลาสติก เศษแก้ว เป็นต้น

2.2.2 ประเภทของขยะมูลฝอย

การจำแนกประเภทของขยะมูลฝอย สามารถจำแนกได้ตามพิษภัยที่เกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และจำแนกตามลักษณะของขยะ ดังนี้

2.2.2.1 การจำแนกตามพิษภัยที่เกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) ขยะทั่วไป (general waste) หมายถึง ขยะมูลฝอยที่มีอันตรายน้อย ได้แก่ พวกล้างอาหาร เศษกระดาษ เศษผ้า พลาสติก เศษหญ้า และใบไม้ เป็นต้น

2) ขยะอันตราย (hazardous waste) เป็นขยะที่มีภัยต่อคนและสิ่งแวดล้อม อาจมีสารพิษติดไฟหรือระเบิดง่าย ปนเปื้อนเชื้อโรค เช่น ไฟแช็กแก๊ส กระป๋องสเปรย์ ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ หรืออาจเป็นพวกสาลีและผ้าพันแผลจากสถานพยาบาลที่มีเชื้อโรค เป็นต้น

2.2.2.2 การจำแนกตามลักษณะของขยะ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) ขยะเปียกหรือขยะสด (garbage) คือ ขยะที่มีความชื้นปนอยู่มากกว่าร้อยละ 50 จึงติดไปได้ยาก ส่วนใหญ่ได้แก่ เศษอาหาร เศษเนื้อ เศษผัก และผักผลไม้จากบ้านเรือน ร้านจำหน่ายอาหาร และตลาดสด รวมทั้งซากพืชและสัตว์ที่ยังไม่เน่าเปื่อย ขยะประเภทนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเนื่องจากแบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์สาร นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคโดยติดไปกับแมลง หนู และสัตว์อื่นที่มากินหรือกินเป็นอาหาร

2) ขยะแห้ง (rubbish) เป็นสิ่งที่เหลือใช้ซึ่งมีความชื้นอยู่น้อยจึงไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น แบ่งออกได้อีก 2 ชนิด คือ ขยะที่เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นพวกที่ติดไฟได้ เช่น เศษผ้า เศษกระดาษ หญ้า ใบไม้ และกิ่งไม้แห้ง เป็นต้น และอีกชนิดหนึ่งคือ ขยะที่ไม่เป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ เศษโลหะ เศษแก้ว และเศษก้อนอิฐ เป็นต้น

2.2.3 แหล่งกำเนิดและสาเหตุที่ทำให้เกิดขยะมูลฝอย

หากพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย ซึ่งเป็นสิ่งที่เหลือทิ้ง หรือสิ่งที่ไม่ต้องการอีกต่อไป ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ตามแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยที่สำคัญมีดังนี้

2.2.3.1 จากแหล่งอุตสาหกรรม โดยของเสียอันตรายทั่วไปประมาณ 73% มาจากระบบอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ไม่มีการจัดการที่เหมาะสมโดยทิ้งกระจายอยู่ตามสิ่งแวดล้อมและทิ้งร่วมกับมูลฝอย รัฐบาลได้ก่อตั้งศูนย์กำจัดกากอุตสาหกรรมขึ้นแห่งแรกที่แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน เริ่มเปิดบริการตั้งแต่ พ.ศ. 2531 ซึ่งก็เพียงสามารถกำจัดของเสียได้บางส่วน

2.2.3.2 จากโรงพยาบาลและสถานศึกษาวิจัย ของเสียจากโรงพยาบาลเป็นของเสียอันตรายอย่างยิ่ง เช่น ขยะติดเชื้อ เศษอวัยวะจากผู้ป่วย และการรักษาพยาบาล รวมทั้งของเสียที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี สารเคมี ได้ทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมโดยปะปนอยู่กับมูลฝอย สิ่งปฏิกูลเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการแพร่กระจายของเชื้อโรคและสารอันตราย

2.2.3.3 จากภาคเกษตรกรรม เช่น ขาฆ่าแมลง ปุ๋ย มูลสัตว์ น้ำทิ้งจากการทำปศุสัตว์ เป็นต้น

2.2.3.4 จากบ้านเรือนแหล่งชุมชน เช่น หลอดไฟ ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ แก้ว เศษอาหาร พลาสติก โลหะ หินไม้ กระเบื้อง ผนัง ยาง เป็นต้น

2.2.3.5 จากสถานประกอบการในเมือง เช่น ภัตตาคาร ตลาดสด วัด สถานเริงรมย์ เป็นต้น

ปริมาณของขยะมูลฝอยที่เกิดจากการดำรงชีพหรือมูลฝอยชุมชนนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ ได้แก่ ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ฤดูกาล รายได้ โครงสร้างของครอบครัว อุปนิสัยในการซื้อสินค้า พฤติกรรมในการบริโภคอาหาร รูปแบบของการดำรงชีวิต ทักษะคิดในการดำรงชีวิต และกฎหมายข้อบังคับ เป็นต้น

สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาขยะมูลฝอย อาจเกิดขึ้นได้จากความมั่งคั่งและขาดความสำนึกถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้น เป็นสาเหตุที่พบบ่อยมาก ซึ่งจะเห็นได้จากการทิ้งขยะลงตามพื้น หรือแหล่งน้ำ โดยไม่ทิ้งลงในถังรองรับที่จัดไว้ให้และโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งลักลอบนำสิ่งปฏิกูลไปทิ้งตามที่ว่างเปล่า และอีกสาเหตุหนึ่งคือการผลิตหรือใช้สิ่งของมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น เช่น การผลิตสินค้าที่มีกระดาษหรือพลาสติกหุ้มหลายชั้น และการซื้อสินค้าโดยห่อแยกหรือใส่ถุงพลาสติกหลายถุง ทำให้มีขยะปริมาณมาก นอกจากนี้การเก็บและทำลายหรือนำขยะไปใช้ประโยชน์ไม่มีประสิทธิภาพก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดขยะตกค้าง กองหมักหมมและส่งกลิ่นเหม็นไปทั่วบริเวณจนก่อให้เกิดปัญหามลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม

2.2.4 ผลเสียและปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมหลายประการ ได้แก่

1) ทำให้เกิดทัศนะยะอูจาดตา แลดูสกปรก ขาดความเป็นระเบียบเรียบร้อย เป็นที่น่ารังเกียจแก่ผู้อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียงรวมทั้งผู้พบเห็น โดยเฉพาะนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ

2) เป็นแหล่งเพาะและแพร่เชื้อโรค โดยเฉพาะขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาลและขยะเปียกที่แบคทีเรียทำหน้าที่ย่อยสลาย เชื้อโรคตามขยะจะแพร่ไปกับน้ำ แมลง หนู และสุนัขที่มากดมหรือคุ้ยเขี่ย เช่น เชื้อที่ทำให้เกิดโรคอหิวาต์ ไทฟอยด์และโรคบิด เป็นต้น

3) ทำให้ดินเสื่อมโทรม และเกิดมลพิษ เพราะจะทำให้พื้นดินสกปรก ดินมีสภาพเป็นเกลือ ค้างหรือกรด หรือมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในดิน ตลอดจนทำให้สมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลงไป เช่น โซเดียมทำให้เนื้อดินแตก่วน เป็นต้น

4) ทำลายแหล่งน้ำ โดยขยะที่ถูกทิ้งลงในแหล่งน้ำล้นคลองและท่อระบายน้ำ จะทำให้แหล่งน้ำนั้นตื้นเขิน การไหลของน้ำไม่สะดวก ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำเน่าเหม็น เป็นพิษ และมีเชื้อโรคหรือบางครั้งอาจมีคราบน้ำมัน เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะพืชและสัตว์น้ำ เมื่อจำเป็นต้องนำน้ำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค ก็จะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนถูกนำมาใช้ประโยชน์ ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งหากมีการเผาทิ้งขยะจะทำให้เกิดควัน ฝุ่น และก๊าซพิษ ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ อีกทั้งเมื่อขยะเกิดการย่อยสลาย ก็จะมีกลิ่นเหม็น จากกองขยะ ก่อให้เกิดความรำคาญและบั่นทอนสุขภาพ นอกจากนี้กองขยะหลายชนิดติดไฟได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อแห้ง ก็เป็นสาเหตุทำให้เกิดอัคคีภัยได้ด้วย

ขยะมูลฝอยเป็นตัวการสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เมื่อมีขยะมูลฝอยจำนวนมาก แต่ชุมชนไม่สามารถเก็บขนและกำจัดขยะมูลฝอยได้อย่างหมดจดหรือจัดการขยะมูลฝอยได้อย่างไม่ถูกสุขลักษณะ ดังนั้นขยะมูลฝอยจึงเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ได้ดังนี้ คือ

- 1) ทำให้อากาศเสีย เกิดจากการเผาขยะมูลฝอยกลางแจ้ง ก่อให้เกิดควันและสารพิษทางอากาศ ทำให้คุณภาพอากาศเสื่อมโทรม
- 2) ทำให้น้ำเสีย เกิดจากกองขยะมูลฝอยบนพื้นดิน เมื่อฝนตกลงมาบนกองขยะมูลฝอย จะเกิดน้ำเสีย มีความสกปรกมาก ซึ่งจะไหลลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้เกิดภาวะมลพิษของแหล่งน้ำ
- 3) เป็นแหล่งพาหะนำโรค เกิดจากกองขยะมูลฝอยบนพื้น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของหนู และแมลงวัน เป็นต้น ซึ่งเป็นพาหะนำโรคติดต่อทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน
- 4) เกิดความรำคาญและความไม่น่าดู จากการเก็บขนขยะมูลฝอยไม่หมด รวมทั้งการกองขยะมูลฝอยบนพื้น ซึ่งจะส่งกลิ่นเหม็นรบกวนประชาชนและเกิดภาพไม่สวยงาม ไม่เป็นสุนทรียภาพ

2.2.5 วิธีการคัดแยกขยะ

การคัดแยกขยะมูลฝอยที่มีอยู่ทั่วไป และเกิดขึ้นทุกวันอย่างต่อเนื่อง มีวิธีการคัดแยกขยะเป็นประเภทต่าง ๆ 5 ประเภท ดังนี้

- 1) ขยะประเภทที่ 1 ได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก สามารถนำไปเลี้ยงสัตว์ได้
- 2) ขยะประเภทที่ 2 ได้แก่ เปลือกผลไม้ เศษพืช และอาหารเน่าบูด
- 3) ขยะประเภทที่ 3 ได้แก่ เศษกิ่งไม้ เศษใบไม้ วัชพืชจากการลอกคูคลอง จำเป็นต้องใช้เครื่องย่อยสับกิ่งไม้

- 4) ขยะประเภทที่ 4 ได้แก่ วัสดุที่สามารถ recycle ได้
- 5) ขยะประเภทที่ 5 ได้แก่ สิ่งที่เหลือจากที่กล่าวแล้วข้างต้น เช่น ซากสัตว์ที่ตาย

ตัวอย่างการคัดแยกประเภทขยะเพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ หรือนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี และใช้ช่วยให้มีการจัดการขยะอย่างเหมาะสมโดยอาจมีการคัดแยกใส่ถังขยะต่าง ๆ ดังนี้

- ขยะประเภทกระดาษ เช่น กระดาษถ่ายเอกสาร กระดาษพิมพ์ ควรแยกใส่ถังสีน้ำเงิน
- ขยะประเภทขวดพลาสติกใส และขวดน้ำดื่มต่าง ๆ ควรแยกใส่ถังสีส้ม
- ขยะประเภท กิ่ง ใบไม้ ขยะจากสวนภายในบริเวณบ้าน ดอกไม้ รากไม้ หญ้า เศษกิ่งไม้ ต้น วัชพืช เศษไม้ เปลือกผลไม้ เศษผลไม้ ผักสด และเศษพืชต่าง ๆ ควรแยกใส่ถังขยะสีเขียว
- ขยะประเภทถ้วยพลาสติก ถ้วยเครื่องดื่มต่าง ๆ ควรแยกใส่ถังขยะสีแดง
- ขยะทั่วไป เช่น กระดาษชำระ เศษขยะจากพื้น ถ้ำ ผุ่นผง แผ่นดิสเก็ต เศษของเล่น ก่อของนม กระป๋อง โลหะ เป็นต้น ควรแยกใส่ถังขยะสีเหลือง

นอกจากนี้สามารถแยกชนิดของขยะได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ ขยะสด ขยะแห้ง และขยะอื่น ๆ เช่น ถ้ำ ขยะดังกล่าวแต่ละชนิดจะแยกกันเก็บรวบรวมไว้ในถังขยะแต่ละถัง วิธีดังกล่าวนี้จะ

ทำให้เกิดความสะดวกมากยิ่งขึ้นในการเก็บรวบรวมเพื่อนำไปกำจัด ทั้งยังเลือกวิธีการกำจัดได้อย่างเหมาะสมอีกด้วย เช่น ขยะสดนำไปกำจัดด้วยวิธีหมักทำเป็นปุ๋ย ขยะแห้งนำไปกำจัดโดยวิธีการเผาด้วยเตาเผาขยะ และพวกอิเล็กทรอนิกส์นำไปใช้ถมที่ถมเป็นต้น

2.2.6 การกำจัดขยะมูลฝอยตามแนวคิด 5R และการนำกลับมาใช้ใหม่

การที่จะลดปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน สิ่งที่สำคัญที่ควรได้รับการส่งเสริมให้เกิดขึ้นกับคนในสังคม คือ การลดปริมาณขยะซึ่งสามารถใช้แนวคิด 5R ดังนี้

R.1 (Reduce) เป็นการลดปริมาณมูลฝอยที่อาจเกิดขึ้น เช่น ใช้ตะกร้าใส่ของแทนถุงพลาสติก การลดปริมาณวัสดุ (Reduce material volume) เป็นการพยายามเลือกใช้สินค้าที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่แทนบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กเพื่อลดปริมาณของบรรจุภัณฑ์ที่จะกลายเป็นขยะมูลฝอย การลดความเป็นพิษ (reduced toxic) เป็นการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

R.2 (Reuse) นำขยะมูลฝอยเศษวัสดุมาใช้ใหม่อีกครั้งหรือเป็นการใช้ซ้ำ ใช้แล้วใช้อีก เช่น ขวดน้ำหวานนำมาบรรจุน้ำดื่ม ขวดกาแฟที่หมดแล้วนำมาใส่น้ำตาล การนำผลิตภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่ (product reuse) เป็นการพยายามใช้สิ่งของต่าง ๆ หลาย ๆ ครั้ง ก่อนที่จะทิ้งหรือเลือกซื้อของใหม่

R.3 (Repair) การนำมาแก้ไข นำวัสดุอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหาย ซึ่งจะทิ้งเป็นมูลฝอยมาซ่อมแซมใช้ใหม่ เช่น แก้ว โต๊ะ ตู้ เป็นต้น

R.4 (Recycle) การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ นำขยะมาแปรรูป ตามกระบวนการของแต่ละประเภท เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ หรือเปลี่ยนแปลงสภาพจากเดิมแล้วนำมาใช้ใหม่ เช่น พลาสติก กระดาษ ขวด โลหะต่าง ๆ นำมาหลอมเพื่อขึ้นรูปเป็นสินค้าใหม่ นำยางรถยนต์ที่ไม่ได้ใช้แล้วมาทำรองเท้า นำแก้วแตกมาหลอมผลิตเป็นแก้วหรือกระจกใหม่ การนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ (material recycling) เป็นการนำวัสดุมาผ่านกระบวนการเพื่อผลิตเป็นสินค้าใหม่

R.5 (Reject) การหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่ทำลายยาก หรือวัสดุที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เช่น โฟม ปฏิเสธการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายยาก หลีกเลี่ยงการใช้ที่ผลิตจากพลาสติก เป็นต้น

การใช้ประโยชน์จากขยะหรือมูลฝอย จะช่วยลดปริมาณขยะ หรือมูลฝอยที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีวิธีการต่างๆ ดังนี้

1) การคัดแยกของเสียจากแหล่งกำเนิดมาหมุนเวียนใช้ใหม่ การคัดแยกของเสียจากแหล่งกำเนิดคือ ของเสียจากอาคารบ้านเรือนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ขวด กระดาษ พลาสติก ยาง โลหะ ซึ่งจะนำของเสียดังกล่าวไปขายต่อ ๆ ไปจนถึงโรงงานเพื่อผลิตเป็นสินค้าได้

2) การนำมูลฝอยหรือของเสียมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน ของเสียมีสารประกอบจำนวนมากที่สามารถเปลี่ยนเป็นผลผลิตทางพลังงานโดยกระบวนการเผาไหม้จากมูลฝอยสามารถใช้ประโยชน์ในด้านพาณิชย์และอุตสาหกรรม ทั้งสามารถเก็บเป็นพลังงานได้อีก

3) การนำกากของเสียไปเป็นอาหารสัตว์ และใช้ประโยชน์ทางการเกษตร กากของเสียชนิดมูลฝอยสดประเภทอาหารจำนวน 2.5-3.0 กิโลกรัม มีคุณค่าเทียบเท่าข้าวบาเลย์คุณภาพดีจำนวน 1 กิโลกรัม สามารถนำไปเลี้ยงสัตว์ได้ และขยะหรือของเสียยังผลิตเป็นโปรตีนโดยเทคโนโลยีใหม่ เรียกว่า ไบโอเวสเทค (Biowastech) หมายถึง การแปรรูปขยะโดยชีววิธี สามารถเปลี่ยนขยะหรือกากของเสียทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากบ้านเรือนให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ นอกจากนี้สามารถใช้มูลฝอยสดเป็นประโยชน์ทางการเกษตร คือ ใช้เป็นอาหารของพืชได้ เพราะมูลฝอยสดมีคาร์บอนและไนโตรเจนสูง มูลฝอยสดยังมีคุณสมบัติปรับดินให้ร่วนซุยด้วย ทั้งนี้การนำกากของเสียไปเป็นอาหารสัตว์และพืชจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเสีย บดอัด และฆ่าเชื้อโรคในกากของเสียก่อนเพื่อมิให้เป็นอันตรายต่อสัตว์และพืช และให้ได้ประโยชน์จากอาหารในกากของเสียอย่างมีประสิทธิภาพ

4) การนำมูลฝอยมาหมักทำปุ๋ย การหมักทำปุ๋ยเป็นขบวนการทางชีวเคมีที่เปลี่ยนแปลงหรือย่อยสลายอินทรีย์ในของเสีย เพื่อให้ได้ปุ๋ยเป็นอาหารของพืช หรือให้ดินกลับฝังมูลฝอยในขบวนการฝังกลบ มูลฝอย กากของเสียหรือมูลฝอยที่เหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ย ได้แก่ มูลฝอยสด พืช ผัก ผลไม้ กระดาษ เป็นต้น

5) การนำขยะหรือมูลฝอยมาแปรสภาพให้เป็นวัสดุก่อสร้าง ในประเทศญี่ปุ่นมีโรงงานอัดขยะหรือของเสียให้เป็นแท่ง แท่งขยะที่ได้นำไปซูปยางและแอสฟัลต์หรือเทคอนกรีต จากนั้นนำไปใช้ในการก่อสร้างแทนอิฐ หรือคอนกรีตบล็อก

6) การนำกากของเสียมาปรับปรุงพื้นที่ กากของเสียสามารถนำไปใช้ปรับปรุงพื้นที่ โดยถมพื้นที่ที่เป็นหลุมเป็นบ่อ พื้นที่ที่ต้องการยกระดับความสูงเมื่อถมกากของเสียในพื้นที่ดังกล่าว สามารถนำพื้นที่นั้น ๆ ไปใช้ประโยชน์ เช่น ปลูกพืช สร้างอาคาร สร้างสวนสาธารณะ เป็นต้น

2.3 น้ำหมักชีวภาพ

น้ำหมักชีวภาพ (Bioextract; B.E.) คือ การนำเอาพืช ผัก ผลไม้ สัตว์ชนิดต่าง ๆ มาหมักกับน้ำตาลหรือกากน้ำตาล กากน้ำตาลจะทำให้เกิดกระบวนการพลาสโมไลซิส (plasmolysis) คือ ทำให้สารละลายภายในเซลล์พืชและสัตว์ที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่าง ๆ ไหลออกมาจากเซลล์ การหมักมี 2 แบบ คือ แบบต้องการออกซิเจน (แบบเปิดฝา) และแบบไม่ต้องการออกซิเจน (แบบปิดฝา) จุลินทรีย์จะใช้น้ำตาลเหล่านี้เป็นอาหารในการเพิ่มจำนวนและชนิดทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์จำนวนมาก จุลินทรีย์ที่พบในน้ำหมักชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ มีทั้งที่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการออกซิเจน มักเป็นกลุ่มแบคทีเรีย *Bacillus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Streptococcus sp.*, นอกจากนี้ยังอาจพบเชื้อราได้แก่ *Aspergillus niger* และยีสต์ ได้แก่ *Candida sp.*, *Streptococcus sp.* ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะไปช่วยสลายธาตุอาหารต่าง ๆ ที่อยู่ในพืช มีคุณค่าในแง่ของธาตุอาหารพืช เมื่อถูกย่อยสลายโดยกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์สารต่าง ๆ จะถูกปลดปล่อยออกมา เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง สอร์บอนควบคุมการเจริญเติบโต สารควบคุม

แมลง สารป้องกันกำจัดโรคพืช เอนไซม์ วิตามิน คุณภาพของน้ำหมักชีวภาพขึ้นกับองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกระบวนการหมัก และสภาวะแวดล้อมขณะหมัก

จากการตรวจวิเคราะห์กระบวนการด้านวิทยาศาสตร์ในการหมักของน้ำหมักชีวภาพ พอสรุปได้โดยสังเขปได้ดังนี้

1. ถ้าในน้ำหมักชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำมีสภาพเป็นกรดและมีแก๊สออกซิเจนในการหมัก คือ เปิดฝาเวลาหมัก ในสารละลายมีแบคทีเรียชนิด Methanotrophic ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เปลี่ยนแก๊สมีเทนได้ กลายเป็นเมทิลแอลกอฮอล์ (methanol) และมีธาตุเหล็กหรือไอออนเหล็ก (Fe^{2+} , Fe^{3+}) ในพืชที่ใช้หมัก เช่น พริก ผักขม ผักคะน้า เป็นต้น เมทิลแอลกอฮอล์จะถูกออกซิเจนในอากาศทำให้กลายเป็นเอสเตอรืของแอลกอฮอล์ ซึ่งสารพวกเอสเตอรืนี้จะมีกลิ่นหอมและกลิ่นเหม็นเฉพาะตัว ใช้เป็นสารดึงดูดแมลง และสารไล่แมลงได้

2. กลูโคสในพืชที่ใช้หมัก ถ้าในขณะหมักมีแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (gram positive) คือ eubacterium, Sareina ventriculi และมีออกซิเจน คือ เปิดฝาเวลาหมักพร้อมกับในสารละลายมีเอนไซม์ 3 ตัว ซึ่งมีอยู่ในพืชเอง คือ pyruvate dehydrogenase, phosphotran sacetylase, acetate kinase ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารกลูโคส ให้กลายเป็นสารไพรูเวท และจะถูกย่อยสลายต่อไปจนสุดท้ายได้สาร acetic acid และ acetate เมื่ออนุมูลอะซิเตตมารวมตัวกับ minor elements เช่น Ca, Mg จะได้เป็น calcium acetate และ magnesium acetate ถ้ารวมตัวกับพวก major elements จะได้เป็น $NaOOCCH_3C$ (sodium acetate) หรือ $KOOCCH_3C$ (potassium acetate) ซึ่งพืชพร้อมจะดูดเอาไปใช้เป็นอาหารได้เลย

3. ถ้าหมักแบบปิดฝาไม่มีออกซิเจน เอทานอลซึ่งสารผลิตภัณฑ์สุดท้ายเมื่อเจออากาศจะได้เป็นสารพวกเอสเตอรืซึ่งมีกลิ่นเหม็นเช่นกัน ซึ่งใช้เป็นสารดึงดูดแมลงและเป็นสารไล่แมลงได้

4. แบคทีเรียชนิดแกรมลบ (gram negative) ชื่อ eubacterium, Zymomonas mobilis จะได้สาร ethanol แล้วเปลี่ยนเป็นเอสเตอรืเช่นกัน

5. กลูโคสเป็นสารที่มีอยู่ในพืชทุกชนิดในรูปน้ำตาลชนิดหนึ่งที่ถูกระดมเอาไว้ใช้เมื่อจำเป็นต้องเปลี่ยนเป็นรูปอื่น ๆ ที่พร้อมจะนำไปใช้เช่น พลังงาน อาหารต่าง ๆ ฯลฯ เมื่อได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นกรดอะซิติกและกรดแลคติก เมื่ออยู่ในสารละลายถ้ามี major elements และ minor elements จะเปลี่ยนรูปเป็นสารอาหารเช่นกัน ซึ่งพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที

ดังนั้นการใช้เทคนิคจุลินทรีย์ในการเกษตรจึงเป็นแนวทางที่จะก่อให้เกิดจุดเน้นที่สำคัญในเรื่องเกี่ยวกับการผลิตอาหารที่มีรสชาติธรรมชาติ ผู้ผลิตอาหารและผู้บริโภคปลอดภัยจากสารพิษ เป็นระบบทำการเกษตรแบบยั่งยืน และรักษาสมดุลธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประเทศ

2.3.1 สมบัติทั่วไปของน้ำหมักชีวภาพ

น้ำหมักชีวภาพจะมีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นของแอลกอฮอล์ผสมกับกลิ่นเปรี้ยวของกรดอินทรีย์ ซึ่งเมื่อชิมดูแล้วจะมีรสเปรี้ยว โดยคุณสมบัติทั่วไปของน้ำหมักชีวภาพ เป็นดังนี้

2.3.1.1 คุณสมบัติทางเคมี ของน้ำหมักชีวภาพโดยทั่วไปแล้ว เป็นดังนี้คือ

- มีค่า pH (ความเป็นกรดเป็นด่าง) อยู่ในช่วง 3.5 – 5.6 ปฏิกริยาเป็นกรดถึงกรดจัด ซึ่ง pH ที่เหมาะสมกับพืชควรอยู่ในช่วง 6-7

- ความเข้มข้นของสารละลายสูง โดยค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, E.C) อยู่ระหว่าง 2-12 desimen/meter (ds/m) ซึ่งค่า E.C. ที่เหมาะสมกับพืชควรจะอยู่ต่ำกว่า 4 ds/m

- ความสมบูรณ์ของการหมักพิจารณาจากค่า C/N ratio ซึ่งหากมีค่า C/N สูง เมื่อนำไปฉีดพ่นบนดินพืชอาจแสดงอาการใบเหลืองเนื่องจากขาดธาตุไนโตรเจนได้

2.3.1.2 ปริมาณธาตุอาหาร ที่พบในน้ำหมักชีวภาพโดยทั่วไปแล้ว มีดังนี้

ธาตุอาหารหลัก (N, P, K)

- ไนโตรเจน (% Total N) เป็นองค์ประกอบของโปรตีน คลอโรฟิลล์ เอนไซม์และวิตามินหลายชนิด ช่วยในการเจริญเติบโตของพืช ถ้าใช้พืชหมักจะพบไนโตรเจน 0.03-1.66% แต่ถ้าใช้ปลาและหอยหมักจะพบปริมาณ 1.06-1.70%

- ฟอสฟอรัส (% Total P_2O_5) เป็นองค์ประกอบกรดนิวคลีอิกฟอสโฟลิปิด หรือ ATP และโคเอนไซม์หลายชนิด ช่วยเร่งการออกดอกและการสร้างเมล็ดในน้ำหมักจากพืชจะมีตั้งแต่ไม่พบเลยจนถึง 0.4% แต่ในน้ำหมักจากปลาและหอยจะพบ 0.18-1.14%

- โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (% water soluble K_2O) การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดที่ทำหน้าที่ในการสร้างแป้ง น้ำตาล และโปรตีน ควบคุมการเปิดปิดของปากใบ ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบสู่ผล ในน้ำหมักพืชพบ 0.05-3.53% และในน้ำหมักจากปลาและหอยพบ 1.0-2.39%

ธาตุอาหารรอง (Ca, Mg, S)

- แคลเซียม เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ จำเป็นสำหรับกระบวนการแบ่งเซลล์และเพิ่มขนาดเซลล์ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์บางชนิด ในน้ำหมักจากพืชพบ 0.05-0.49% และน้ำหมักจากปลาและหอยจะพบ 0.29-1.0%

- แมกนีเซียมและซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง ในน้ำหมักจากพืชและปลาพบในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 0.1-0.37%

ธาตุอาหารเสริม

- เหล็ก (Fe) ในน้ำหมักจากพืชพบ 30-350 ppm และน้ำหมักจากปลาและหอยพบในปริมาณ 500-1,700 ppm

- คลอไรด์ (Cl) น้ำหมักจากพืชและปลามีปริมาณเกลือคลอไรด์สูง 2,000-11,000 ppm

- ธาตุอาหารเสริมอื่น ๆ ได้แก่ แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) โบรอน (B) และโมลิบดีนัม (Mo) น้ำหมักทั้งจากพืชและปลาพบในปริมาณน้อยมากไม่เกิน 130 ppm

2.3.1.3 ปริมาณฮอร์โมนพืช ที่มักพบอยู่น้ำหมักชีวภาพโดยทั่วไปแล้ว มีดังนี้

ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณฮอร์โมนพืช 3 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มออกซิน (Auxin ; Indole acetic acid : IAA) มีสมบัติควบคุมการขยายตัวของเซลล์กระตุ้นการแบ่งเซลล์ เร่งการเกิดราก การเจริญของราก ลำต้น ควบคุมการเจริญของใบ ส่งเสริมการออกดอก เปลี่ยนเพศดอก เพิ่มการติดผล ควบคุมการพัฒนาของผล ควบคุมการสุกแก่ และการร่วงหล่นของผล IAA ตรวจพบทั้งในน้ำหมักจากพืชและสัตว์ แต่พบในปริมาณน้อย มีค่าตั้งแต่เล็กน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้จนถึง 2.37 ppm

2) กลุ่มจิบเบอเรลลิน (Gibberellins ; Gibberellic acid : GA3) มีสมบัติกระตุ้นการยืดตัวของเซลล์พืชในทางยาว เร่งการเกิดดอก เปลี่ยนเพศดอก เพิ่มการติดผล ยืดช่อดอก กระตุ้นการงอกของเมล็ดและตา GA3 ตรวจพบในน้ำหมักจากพืชบางชนิดในปริมาณ 18-140 ppm ไม่พบ GA3 ในน้ำหมักจากปลา

3) กลุ่มไซโทไคนิน (Cytokinins ; Zeatin และ Kinetin) กระตุ้นการแบ่งเซลล์การเจริญด้านลำต้นของพืช กระตุ้นการเจริญของตาข้างทำให้ตาข้างเจริญออกเป็นกิ่งได้ ช่วยเคลื่อนย้ายสารอาหารจากรากไปสู่ยอด รักษาระดับการสังเคราะห์โปรตีนให้นานขึ้น ป้องกันคลอโรฟิลล์ให้ถูกทำลายช้าลงทำให้ใบเขียวอยู่นานและร่วงหล่นช้าลง ช่วยทำให้ใบเลี้ยงคลี่ขยาย ช่วยให้มีเมล็ดงอกได้ในที่มืด Zeatin ตรวจพบในน้ำหมักจากพืชบางตัวอย่างในปริมาณน้อย 1-20 ppm และพบในน้ำหมักจากปลาที่ใส่น้ำมะพร้าว 2-4 ppm ส่วน Kinetin จะตรวจพบในน้ำหมักจากพืชบางชนิดในปริมาณ 1-14 ppm แต่ไม่พบในน้ำหมักจากปลา

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้น จะเห็นว่าคุณภาพและประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ จุลินทรีย์ที่ทำให้ย่อยสลาย กระบวนการย่อยสลายที่สมบูรณ์ไม่เน่าเสีย ความเข้มข้นของสารละลาย และความเป็นกรดเป็นด่าง

2.3.1.4 คุณสมบัติของน้ำหมักชีวภาพในด้านการป้องกันกำจัดศัตรูพืช

การหมักพืชหรือสัตว์ในกระบวนการหมักจะมีแก๊สมีเทน (CH_4) เกิดขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียจะเปลี่ยนแก๊สมีเทนให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ และแอลกอฮอล์เมื่อถูกออกซิเจนในอากาศจะกลายเป็นสารเอสเทอร์ของแอลกอฮอล์ ซึ่งจะมีกลิ่นหอมหรือเหม็นเฉพาะตัว ถ้ามีกลิ่นหอมก็เป็นสารดึงดูดแมลง ถ้ามีกลิ่นเหม็นก็จะเป็นสารไล่แมลง จากการศึกษาพบว่าสารกลุ่มแอลกอฮอล์พบมากในสัตว์ผลไม้และผัก ตามลำดับ โดยเฉพาะการหมักผักหรือผลไม้รวมกับสัตว์จะให้สารกลุ่มแอลกอฮอล์ในปริมาณที่สูง ส่วนกลุ่มเอสเทอร์และฟีนอล พบมากเมื่อใช้ปลาและหอยเป็นวัสดุหลักในการหมัก จากการศึกษา น้ำหมักชีวภาพที่หมักจากผลไม้ ผักสด หรือจากสมุนไพรจะมีสารจำพวก polyphenol ได้แก่ 1,2 Benzenediol หรือ 1,3 Benzenediol พวกร dimethoxy phenol, benzoic acid derivatives สารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นกรด เช่น 1,3 Benzenediol (resorcinol) ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อเมือกทางสัตวแพทย์เคยใช้เป็น antiseptic ดังนั้นสารพวกนี้อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังของ

แมลงได้ นอกจากนี้ยังพบสารพวก ethylester ของพวกกรดไขมัน เช่น ethyl palmitate, ethyl linoleate ในสารละลายบางตัวพบแอลกอฮอล์ ได้แก่ benzene ethanol นอกจากนี้ น้ำสกัดจากหอยและไข่ดาว พบสารพวก poly phenol และ ethyl ester ของกรดไขมันเช่นเดียวกัน ethyl ester เกิดจากแอลกอฮอล์ชนิด ethyl alcohol ที่สกัดจากการหมักย่อยสารของพืชแล้ว แอลกอฮอล์นั้นก็ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่มีในพืชที่เป็น ethyl ester คุณสมบัติของสารเอสเทอร์พวกนี้จะมีคุณสมบัติเป็นสารไล่แมลงและสารล่อแมลงได้

ปัจจุบันได้มีการเรียกชื่อน้ำหมักชีวภาพที่แตกต่างกันออกไป เช่น น้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยน้ำจุลินทรีย์ เป็นต้น และผู้ที่คิดค้นวิธีการทำน้ำหมักชีวภาพขึ้นมาในขณะนี้ไม่ต่ำกว่า 100 สูตร ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นและราคาถูก โดยผู้สนใจสามารถทดลองทำและเรียนรู้การนำไปใช้กับพืชผลของตนเองก็จะเห็นถึงความมหัศจรรย์ของน้ำหมักชีวภาพนี้ว่าสามารถทำให้พืชผลของตนเองเจริญเติบโตงอกมากขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ในระยะเวลาไม่นาน และศัตรูพืชที่เคยเข้ามารบกวนพืชผลต่าง ๆ หลังจากปลูกไม่ว่าจะเป็นโรคแมลงค่อย ๆ ลดน้อยถอยลงไปเป็นลำดับ หลังจากที่ได้ใช้น้ำหมักชีวภาพนี้แล้ว จึงแสดงให้เห็นว่าน้ำหมักชีวภาพมีความสำคัญ และมีความจำเป็นต่อการทำเกษตรอินทรีย์อย่างแท้จริง

2.3.2 การผลิตน้ำหมักชีวภาพ

การทำน้ำหมักชีวภาพได้มีการพัฒนาสูตรไปตามวัตถุดิบที่หาได้ง่ายและราคาถูก โดยเน้นความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ แต่ทั้งนี้วิธีการผลิตยังคงเหมือนเดิม น้ำหมักชีวภาพสามารถแบ่งออกตามประเภทของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืช และน้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากสัตว์ โดยตัวอย่างของการผลิตน้ำหมักชีวภาพทั้งสองประเภท มีดังนี้

1) น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากพืชสูตร สทม.

วัสดุและอุปกรณ์

พืชผักทุกชนิดสามารถนำมาทำน้ำหมักชีวภาพได้ ประกอบด้วย ฟักทอง สับปะรดและผักต่าง ๆ 10-15 กิโลกรัม กากน้ำตาล ½ แกลลอน ถังหมักขนาด 30 ลิตรแบบมีฝาปิดสนิท หัวเชื้อจุลินทรีย์ EM 1/3 ลิตร หรือที่ขยายเชื้อเป็นน้ำหมักชีวภาพแล้ว และน้ำสะอาดประมาณ 20 ลิตร

วิธีทำ

1) นำฟักทอง สับปะรดและผักต่าง ๆ มาหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 10-15 กิโลกรัม เทลงในถังหมัก จากนั้นเติมน้ำสะอาดให้พอท่วม เดิมกากน้ำตาลแล้วตามด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ EM ที่เตรียมไว้ คลุกเคล้าให้เข้ากัน หรือถ้ามีปริมาณมากจะโรยทับสลับกันเป็นชั้น ๆ ก็ได้

2) ใช้ของหนักรวมทั้งบนพืชผักที่หมัก เพื่อปิดฝาอากาศที่อยู่ระหว่างพืชผัก ของหนักที่ใช้ทับควรมีน้ำหนักประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำหนักพืชผัก วางทับไว้ 1 คืน ก็เอามาใช้ได้

3) ปิดฝาภาชนะที่หมักให้สนิท ถ้าเป็นถุงพลาสติกก็มัดปากถุงพลาสติกให้แน่น เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปได้เป็นการสร้างสภาพที่เหมาะสมให้แก่จุลินทรีย์หมักต้องลงไปทำงาน

4) หมักทิ้งไว้ 3-5 วัน จะเริ่มมีของเหลวสีน้ำตาลอ่อนถึงแก่เกิดขึ้น จากการละลายตัวของน้ำตาลและน้ำเลี้ยงจากเซลล์ของพืชผัก น้ำตาลและน้ำเลี้ยงเป็นอาหารของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์หมักคงจะเพิ่มปริมาณมากมาย พร้อมกับผลิตสารอินทรีย์หลากหลายชนิด ของเหลวที่ได้เรียกว่า “น้ำหมักชีวภาพ”

5) เมื่อน้ำหมักชีวภาพมีปริมาณมากพอประมาณ 10-14 วัน ก็ถ่ายน้ำหมักชีวภาพออกบรรจุลงในภาชนะพลาสติก อย่ารีบถ่ายน้ำหมักชีวภาพออกเร็วเกินไป เพราะเราต้องการให้มีปริมาณจุลินทรีย์มาก ๆ เพื่อเร่งกระบวนการหมักน้ำหมักชีวภาพที่ถ่ายออกมาใหม่ ๆ กระบวนการหมักยังไม่สมบูรณ์จะมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ต้องคอยเปิดฝาภาชนะบรรจุทุกวันจนกว่าจะหมดแก๊ส

6) ควรเก็บถังหมักและน้ำหมักชีวภาพไว้ในที่ร่ม อย่าให้ถูกฝนและแสงแดดจัด ๆ น้ำหมักชีวภาพที่ผ่านการหมักสมบูรณ์แล้ว ถ้าปิดฝาสนิทสามารถเก็บไว้ได้หลาย ๆ เดือน

7) การที่เหลือจากการหมัก สามารถนำไปฝังเป็นปุ๋ยบริเวณทรงพุ่มของต้นไม้ได้หรือจะคลุกกับดินหมักเอาไว้ใช้เป็นดินปลูกต้นไม้ก็ได้

น้ำหมักชีวภาพที่มีคุณภาพดีจะมีกลิ่นหมักคอง และมีกลิ่นแอลกอฮอล์บ้างเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาลและปริมาณผลไม้ที่หมัก ถ้าชิมดูน้ำหมักชีวภาพจะมีรสเปรี้ยว

2) น้ำหมักชีวภาพที่ผลิตจากปลา

วัสดุและอุปกรณ์

ปลาสดประมาณ 40 กิโลกรัม กากน้ำตาล 20 กิโลกรัม และสารเร่งผลิตปุ๋ยหมัก 200 กิโลกรัมจำนวน 1 ซอง โดยอัตราส่วนผสมนี้ใช้สำหรับการเตรียมน้ำหมักถึง 200 ลิตร

วิธีทำ

1) เตรียมสารเร่งผลิตปุ๋ยหมัก 1 ซอง ละลายน้ำอุ่นประมาณ 20 ลิตร คนให้เข้ากันประมาณ 15-30 นาที (อย่าให้น้ำนิ่ง)

2) นำปลาสดและกากน้ำตาลที่เตรียมไว้ใส่ถัง 200 ลิตร และนำสารเร่งทำปุ๋ยหมักที่เตรียมเสร็จแล้วใส่ในถังรวมกับปลาสด และกากน้ำตาล

3) ใส่น้ำพอท่วมตัวปลา (1/2 ถัง) แล้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิปกติ (30-35 °C) ไม่ปิดฝา คนวันละ 4-5 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการหมัก

4) ระยะเวลาในการหมักประมาณ 20-30 วัน ปลาจะย่อยสลายหมด เติมน้ำให้เต็มถัง และคนให้เข้ากันก่อนที่จะนำไปใช้ จะได้ปุ๋ยชีวภาพ 200 ลิตร

5) การใช้ประโยชน์สำหรับเพื่อฉีดพ่นทางใบใช้อัตราส่วนของปุ๋ยชีวภาพ 1 ลิตร ต่อน้ำ 200 ลิตร หากใช้สำหรับรดโคน จะใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพ 1 ลิตร ต่อ น้ำ 200 ลิตร เช่นกัน

3) นำหมักชีวภาพจากปลา (สูตรที่2)

วิธีทำ

- 1) นำฟองปลาและเลือดปลามาทำการบดให้มีขนาดเล็ก
- 2) นำไปหมักโดยใช้กรดฟอร์มิกเข้มข้น (formic acid) หรือกรดน้ำส้มสายชู (acetic acid) เข้มข้น 3.5 % (โดยปรกติ น้ำส้มสายชูที่ขายในท้องตลาดจะมีความเข้มข้น 5% สามารถนำไปใช้ผสมในสูตรได้เลย) ปริมาณที่ใช้ร้อยละ 3.5
- 3) ผสมให้เข้ากันแล้วเติมน้ำตาลในปริมาณร้อยละ 20 เพื่อช่วยดับกลิ่นคาวจากเศษปลา
- 4) คนให้เข้ากันและคนติดต่อกัน อย่างน้อยเป็นเวลานาน 7 วัน ในระยะนี้จะสังเกตเห็นว่า ฟองปลาเริ่มมีการละลายออกมาเป็นสารละลายเกือบหมดแล้ว ทำการหมักต่อไปอีกเป็นเวลา 21 วัน ระหว่างนี้ทำการคนเป็นครั้งคราว การหมักปุ๋ยปลาถ้าใช้เวลานานจะได้ปุ๋ยปลาที่มีคุณภาพและกลิ่นที่ดี
- 4) นำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่

วัสดุและอุปกรณ์

ใช้เนื้อหอยเชอรี่ที่ไม่มีเปลือก ไข่หอยเชอรี่ ฟีชสดอ่อน-แก่ เนื้อหอยเชอรี่พร้อมเปลือก กากน้ำตาล ถึงหมักที่มีสภาพขนาด 30 ลิตร หรือ 200 ลิตร หัวเชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติ ถึงบรรจุหัวเชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติ แกลลอน/ถัง บรรจุผลิตภัณฑ์หมักจากหอยเชอรี่ และกรวยกรองปุ๋ยน้ำหมักจากหอยเชอรี่

วิธีที่ 1 การทำน้ำหมักชีวภาพจากหอยเชอรี่ทั้งตัวพร้อมเปลือก

- 1) นำตัวหอยเชอรี่ทั้งตัวมาทุบหรือบดให้ละเอียด จะได้เนื้อหอยเชอรี่พร้อมเปลือกและน้ำจากตัวหอยเชอรี่ และนำไปผสมกับกากน้ำตาล และน้ำหมักหัวเชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติ อัตรา 3:3:1
- 2) คนให้เข้ากันและนำไปบรรจุในถังหมักขนาด 30 ลิตร หรือ 200 ลิตร อย่างใดอย่างหนึ่งปิดฝาทิ้งไว้ อาจคนให้เข้ากันหากมีการแบ่งชั้น ให้สังเกตดูว่ามีกลิ่นเหม็นหรือไม่ ถ้ามีกลิ่นเหม็นให้ใส่กากน้ำตาลเพิ่มขึ้นและคนให้เข้ากันจนกว่าจะหายเหม็น
- 3) ทำอย่างนี้เรื่อยไปจนกว่าจะไม่เกิดแก๊สให้เห็นบนผิวหน้าของน้ำหมักหอยเชอรี่ แต่จะเห็นความระยิบระยับอยู่ที่ผิวหน้าน้ำหมักดังกล่าว บางครั้งอาจจะพบว่ามีตัวหนอนลอยอยู่บนผิวหน้า และบริเวณข้างถังภาชนะบรรจุ ควรรองก้นว่าตัวหนอนดังกล่าวตัวใหญ่เต็มที่และตายไป ถือว่าน้ำหมักหอยเชอรี่ทั้งตัวเสร็จสิ้นขบวนการกลายป็นน้ำหมักชีวภาพหอยเชอรี่สามารถนำไปใช้ได้หรือนำไปพัฒนาผสมกับปุ๋ยน้ำอื่น ๆ ใช้ประโยชน์ต่อไป

วิธีที่ 2 การทำน้ำหมักชีวภาพจากไข่หอยเชอรี่

- 1) นำไข่หอยเชอรี่หรือกลุ่มไข่หอยเชอรี่มาทุบหรือบดให้ละเอียด จะได้น้ำไข่หอยเชอรี่พร้อมเปลือก แล้วนำไปผสมกับกากน้ำตาลและน้ำหมักหัวเชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติ อัตรา 3:3:1
- 2) คนให้เข้ากันแล้วนำไปหมักตามขบวนการเช่นเดียวกับวิธีที่ 1

วิธีที่ 3 การทำน้ำหมักชีวภาพจากไข่หอยเชอรี่และพืช

- 1) นำไข่หอยเชอรี่หรือกลุ่มไข่หอยเชอรี่มาทุบหรือบดให้ละเอียด และนำไปผสมกับพืชส่วนที่อ่อน ๆ หรือส่วนยอดความยาวไม่เกิน 6 นิ้ว หรือไม่เกิน 1 กีบ ที่หั่นหรือบดละเอียดแล้วเช่นกัน
- 2) นำมาผสมกันในอัตราส่วน ไข่หอยละเอียด : กากน้ำตาล : พืชส่วนอ่อนบดละเอียด และน้ำหมัก หัวเชื้อจุลินทรีย์ธรรมชาติ คือ 3:3:1 แล้วนำไปหมักตามขบวนการเช่นเดียวกับวิธีที่ 1

2.3.2 การใช้ประโยชน์จากน้ำหมักชีวภาพ

2.3.2.1 ใช้ในการเลี้ยงสัตว์และประมงด้วยเทคนิคจุลินทรีย์

การเลี้ยงสัตว์ด้วยเทคนิคจุลินทรีย์เป็นการเลี้ยงโดยไม่ใช้สารเคมีเร่งการเจริญเติบโตของยาปฏิชีวนะและสารเร่งอื่น ๆ ที่อาจเหลือตกค้างอยู่ในเนื้อนมและไม่ทำให้เป็นโทษต่อผู้บริโภค

ขั้นตอนการใช้จุลินทรีย์น้ำหมักชีวภาพในนาุ้ง

- การเตรียมบ่อ ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1) การบำบัดดิน โดยหลังจากดูดขี้กุ้งออกแล้วในขณะที่พื้นที่บ่อยังหมาด ๆ อยู่ นั้น หว่านด้วยน้ำหมักแห้งมูลสัตว์ในอัตราส่วนไร่ละ 20 กิโลกรัม หรือมากกว่าแล้วฉีดพ่นรดราดด้วยน้ำหมักชีวภาพแล้ว ไร่ละ 120 ลิตร ปล่อยทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 5 วัน

2) การบำบัดน้ำ เมื่อปฏิบัติตามข้อ 1 แล้ว จึงสูบน้ำเข้าบ่อจนได้ระดับสูงสุดที่ต้องการในการเลี้ยงระบบเปิด พร้อมกับใส่น้ำหมักชีวภาพแล้วในอัตราส่วนไร่ละ 200 ลิตร หรือมากกว่า ปล่อยทิ้งไว้ 5-7 วัน พร้อมกับตีน้ำวันละ 4-5 ชั่วโมง จนถึงวันปล่อยลูกกุ้ง

3) การสร้างอาหารธรรมชาติ ก่อนปล่อยลูกกุ้ง 4 วัน ให้หว่านโบกาชีมูลสัตว์ให้ทั่วบ่อเพื่อสร้างไรแดง

- การปล่อยลูกกุ้ง

ควรปล่อยลูกกุ้งในอัตราไร่ละ 80,000 -100,000 ตัว อย่างให้มากกว่านี้เพราะการใช้น้ำหมักชีวภาพ กุ้งมีอัตราการรอดสูง

- การปฏิบัติหลังการปล่อยกุ้ง ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1) เมื่อกุ้งอายุได้ 10 วัน ให้เติมน้ำหมักชีวภาพลงในบ่อไร่ละ 150-200 ลิตร หลังจากนั้นให้เติมน้ำหมักชีวภาพในอัตราเดียวกันเช่นนี้ทุก ๆ 7 วัน จนกุ้งมีอายุครบ 1 เดือน

2) เมื่อกุ้งอายุครบ 1 เดือน ให้ใส่น้ำหมักชีวภาพแห้ง ไร่ละ 5 ลิตร แทนน้ำหมักชีวภาพธรรมดา โดยใส่สลับกับน้ำหมักชีวภาพธรรมดาทุก ๆ 5-7 วัน สลับครั้งกัน จนกุ้งมีอายุครบ 75 วัน

3) เมื่อกุ้งมีอายุครบ 75 วัน ให้ใส่น้ำหมักชีวภาพแห้ง ไร่ละ 5 ลิตร ทุก ๆ 3-5 วัน จนกว่าจะจับกุ้ง ทั้งนี้อาจใส่น้ำหมักชีวภาพสลับบ้างเป็นครั้งคราว เพื่อปรับสีน้ำให้เขียวเข้มในระดับที่ต้องการ

4) ใช้น้ำหมักชีวภาพคลุกเคล้ากับอาหารให้กุ้งกิน โดยหมักกับอาหารไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง ก่อนหว่านในอัตราน้ำหมักชีวภาพ 1 ลิตร ต่ออาหารกุ้งก่อน 10 กิโลกรัม

5) ในขณะที่เลี้ยง หากมีอาการผิดปกติใด ๆ เกิดขึ้นกับตัวกุ้ง หรือสภาพน้ำ ให้เติมน้ำหมักชีวภาพ ในอัตราไร่ละไม่น้อยกว่า 200 ลิตร เสมอ แล้วคอยสังเกตความเปลี่ยนแปลง หากยังไม่เกิดผลดีให้เติมน้ำหมักชีวภาพจนกว่าจะบังเกิดผล จึงค่อยลดปริมาณน้ำหมักชีวภาพลง

6) งดใช้สารเคมี ผงฆ่าเชื้อ และวัสดุปนทุกชนิด

- การขยายน้ำหมักชีวภาพในบ่อกุ้ง

ในหัวเชื่อน้ำหมักชีวภาพ 1 ลิตร กากน้ำตาล 1 ลิตร น้ำจืดสะอาด 50-100 ลิตร ใส่ภาชนะมีฝาปิด ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง 3 วัน และใช้ให้หมด เมื่อจะใช้ใหม่ ให้ใช้หัวเชื้อใหม่มาขยายทุกครั้ง ไม่ควรขยายต่อหลายชั้น เพราะจุลินทรีย์บางตัวขยายไม่ได้สัดส่วน และบางตัวอาจตายได้ เนื่องจากสิ่งแวดล้อมหรือภาชนะไม่สะอาด น้ำไม่สะอาด ทำให้น้ำหมักชีวภาพขาดประสิทธิภาพ

2.3.2.2 ประโยชน์ของจุลินทรีย์หรือน้ำหมักชีวภาพในการเลี้ยงสัตว์

น้ำหมักชีวภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการเลี้ยงสัตว์ได้หลายชนิด เนื่องจากคุณสมบัติของจุลินทรีย์ในน้ำหมัก โดยประโยชน์ที่สำคัญ คือ

- ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหารของสัตว์ เมื่อสัตว์ได้รับน้ำหมักชีวภาพโดยใส่น้ำให้สัตว์กินในอัตราส่วนน้ำหมัก 1 ส่วนต่อน้ำ 1000 ส่วน (1:1,000) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหารที่สัตว์กิน

สัตว์ปีกและสุกร : สัตว์ปีกและสุกรเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยว ไม่สามารถย่อยหญ้าได้ดีเท่าสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว ควาย แต่น้ำหมักชีวภาพจะช่วยให้สัตว์ปีกและสุกร สามารถย่อยหญ้าสดหรือพืชสดได้ดีขึ้น อีกทั้งเป็นการประหยัดอาหารได้ถึง 30%

สัตว์เคี้ยวเอื้อง : สัตว์เคี้ยวเอื้องพวกวัว ความผิดปกติสามารถย่อยอาหารหลักพวกหญ้าได้ดีอยู่แล้ว เมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพ โดยใส่น้ำให้กินในอัตรา 1:1,000 หรือผสมลงบนหญังก่อนให้สัตว์กิน ก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหารได้ดีขึ้น

- ช่วยเพิ่มความต้านทานโรคแก่สัตว์ โดยสัตว์ที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพอย่างสม่ำเสมอไม่ว่าทางน้ำหรือทางอาหารจะมีความต้านทานโรคต่าง ๆ ได้ดี โดยเฉพาะโรคทางระบบอาหาร จะช่วยลดความเครียดจากการเปลี่ยนอาหารระยะต่าง ๆ จากการขนย้ายสัตว์และการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้ดี

- ช่วยกำจัดกลิ่นเหม็นในคอกสัตว์ และบริเวณคอกสัตว์

กลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นในการเลี้ยงสัตว์มักเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทั้งภายในฟาร์มและบริเวณใกล้เคียงอย่างมาก หากไม่จัดการให้ดี โดยเฉพาะกลิ่นเหม็นจะทำให้เป็นแหล่งเพาะแมลงวัน ทำให้เกิดปัญหากับสัตว์มาก

ผสมน้ำหมักชีวภาพในน้ำ โดยใช้อัตราส่วน 1:1,000 ให้สัตว์กินทุกวัน จะช่วยลดกลิ่นเหม็นของมูลสัตว์ลงได้มากจนเกือบไม่มีเลย

คอกสัตว์โดยเฉพาะสุกรและโคนม ที่ได้รับการล้างด้วยน้ำหมักชีวภาพในอัตราเข้มข้น 1: 100-300 เป็นประจำ กลิ่นจะไม่เหม็นและน้ำที่ได้จากการล้างคอก ถ้ากำจัดอย่างถูกวิธีก็สามารถนำไปรดต้นไม้ รดผัก หรือนำไปใช้ล้างคอกสัตว์ได้อีก และสามารถปล่อยลงแม่น้ำลำคลองได้ โดยไม่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

- ช่วยลดปัญหาเรื่องแมลงวันและยุง

บริเวณคอกสัตว์ที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยน้ำหมักชีวภาพอย่างสม่ำเสมอ จะช่วยลดปัญหาเรื่องแมลงวันได้จนแทบไม่มีเลย แม้แต่ยุงก็จะลดน้อยลงด้วยถ้าใช้น้ำหมักชีวภาพฉีดพ่นตามแหล่งน้ำฟาร์มอย่างสม่ำเสมอ

2.3.2.3 ประโยชน์ของจุลินทรีย์หรือน้ำหมักชีวภาพในการเลี้ยงสัตว์น้ำ

การใส่น้ำหมักชีวภาพในบ่อปลา บ่อกุ้ง และบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอื่น ๆ ในอัตรา 1: 1,000 หรือ 1: 10,000 หรือ 1 ลิตร ต่อน้ำในบ่อ 1-10 ลูกบาศก์เมตร (หนึ่งพันถึงหนึ่งหมื่นลิตร) อย่างสม่ำเสมอ จะช่วยย่อยสลายเศษอาหารที่ตกค้างและมูลสัตว์น้ำที่ก้นบ่อให้หมดไป ทำให้น้ำสะอาดขึ้น ไม่ต้องถ่ายน้ำบ่อย ๆ ทำให้อัตว์น้ำมีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง ผิดสะอาดไม่มีกลิ่นโคลนตม

บ่อที่มีการให้น้ำหมักชีวภาพเป็นประจำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงกุ้งหรือปลา เมื่อวิดน้ำจับกุ้งหรือปลาแล้ว เลนที่ก้นบ่อจะน้อยและไม่เหม็น จนไม่จำเป็นต้องลอกเลนที่ก้นบ่อ เป็นการช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย

2.3.2.4 การใช้แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม

ปัญหาสิ่งแวดล้อมควรเริ่มต้นแก้ตั้งแต่ในครัวเรือน โดยนำเศษอาหารมาทำน้ำหมักชีวภาพเพื่อใช้ประโยชน์ลดของเสีย หรือก่อนจะนำขยะเปียกไปทิ้งถึงขยะควรฉีดพ่นด้วยน้ำหมักชีวภาพเสียก่อน เพื่อป้องกันกลิ่นเหม็นและแมลงวัน

ปัญหาเรื่องขยะเปียกและน้ำเสียในชุมชน น้ำหมักชีวภาพสามารถช่วยได้ โดยการฉีดพ่นขยะเปียกเหล่านั้นที่มีกลิ่นเหม็นด้วยน้ำหมักชีวภาพในอัตราเข้มข้น จะช่วยลดกลิ่นเหม็นและปริมาณแมลงวันได้

สำหรับแหล่งน้ำในชุมชนที่เน่าเสียจนปลาตาย เมื่อใส่น้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยหมักชีวภาพบ่อย ๆ จะช่วยแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นแล้วได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กันขรัตน์ โหละสุต และคณะ (2550) ได้ศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยว โดยการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยว (Single chamber microbial fuel cell, SCMFC) ที่ไม่ใช่เมมเบรนและเมดิเอเตอร์ โดย SCMFC มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.4 cm ปริมาตร 5.6 ลิตร เมื่อใช้ความต้านทาน 100 โอห์ม ต่ออนุกรมเพื่อเป็นโหลด พบว่ากำลังไฟฟ้าคงที่ที่ระดับ 0.38 มิลลิวัตต์ต่อพื้นที่ผิวตารางเมตรของขั้วแอโนด และ SCMFC สามารถบำบัดน้ำเสียโดยลดค่า COD ได้ร้อยละ 92 ในเวลาหนึ่งสัปดาห์ พร้อมกับได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกำลังและกระแสไฟฟ้า ซึ่งพบว่าสิ่งที่จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้น ทำได้โดยการปรับปัจจัยภายนอก ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศ ขนาดของขั้วอิเล็กโทรด อัตราการป้อนของน้ำเสียสังเคราะห์และระยะห่างระหว่างขั้ว มีผลต่อความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งส่งผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ของ SCMFC

ไชยวัฒน์ ไชยสุต (2552) ได้คัดแยกแบคทีเรียแลคติกจากน้ำหมักชีวภาพที่มีส่วนผสมของฟางข้าวและดินนาอินทรีย์จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยบนอาหาร MRS agar ได้แบคทีเรียแลคติกทั้งหมด 46 ไอโซเลท และพบว่าแบคทีเรียแลคติกสายพันธุ์ L35 มีความสามารถในการเจริญสูงสุดเมื่อเลี้ยงใน MRS agar เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแบคทีเรียแลคติกสายพันธุ์ L35 มาศึกษาการอยู่ร่วมกันกับแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ DK5 ในอาหาร Tryptic Soy Broth (TSB) และอาหาร Nutrient Broth (NB) พบว่าแบคทีเรียทั้งสองชนิดสามารถเจริญร่วมกันได้ในอาหารทั้งสองชนิด โดยเจริญร่วมกันในอาหาร TSB ได้ดีกว่าอาหาร NB และเจริญร่วมกันในอาหารปกติดีกว่าอาหารที่เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) รวมทั้งเจริญร่วมกันในสภาวะ anaerobic light ได้ดีกว่าสภาวะ aerobic dark ดังนั้นแบคทีเรียแลคติกสายพันธุ์ L35 และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสายพันธุ์ DK5 จึงมีความสามารถในการอยู่ร่วมกันเพื่อที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้

ณัฐศิริ แสงธรรมธร (2552) ได้ศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสีย 3 ชนิดในการทดลองคือน้ำเสียสังเคราะห์ น้ำกากส่า และน้ำเสียโรงอาหาร โดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องคู่ ในการทดลองได้ทำการแปรผันความเข้มข้น ค่าบีโอดีของน้ำเสียเริ่มต้น คือ 125, 250, 400, 600, 800 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นเท่ากับ 7 อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าเครื่องเซลล์แอโนดตลอดการทดลองเท่ากับ 0.35 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนน้ำที่อิ่มตัวด้วยออกซิเจนถูกป้อนเข้าเครื่องเซลล์แคโทดที่อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากำหนดคงที่เท่ากับ 10 โอห์ม ผลการทดลองพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าผลิตได้สูงสุดจากน้ำเสียสังเคราะห์ รองลงมาคือน้ำกากส่า และน้ำเสียโรงอาหารที่ความเข้มข้นของบีโอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับ 0.92, 0.78 และ 0.70 มิลลิแอมป์ ตามลำดับ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้แปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของค่าบีโอดีของน้ำเสียเริ่มต้นที่ป้อนเข้าสู่เครื่องเซลล์แอโนดสำหรับน้ำเสียทั้ง 3 ชนิด สำหรับประสิทธิภาพ

ในการกำจัดค่าบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีสูงสุด คือ ประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ น้ำเสียโรงอาหารและน้ำกากส่า เท่ากับ 67 และ 63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของการกำจัดซีโอดี น้ำเสียสังเคราะห์มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงสุด รองลงมาคือ น้ำเสียโรงอาหาร และน้ำกากส่า ได้เท่ากับ 76, 50 และ 30 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปตามลำดับ เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ 0.145 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

นันทวัน ฤทธิ์เดช (2550) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกลุ่มของจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักปุ๋ยน้ำชีวภาพเป็นเวลา 30 วัน พบว่า amylolytic bacteria, proteolytic bacteria, cellulolytic bacteria, yeast & mold, lactic acid bacteria และ total bacteria จะมีจำนวนสูงในช่วง 0-3 วันแรกของการหมัก โดยจะพบแบคทีเรียทั้งหมดในปริมาณสูงสุด รองลงมาคือ lactic acid bacteria ราและยีสต์ cellulolytic bacteria proteolytic bacteria และ amylolytic bacteria ตามลำดับ ผลจากการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของปุ๋ยน้ำชีวภาพจากถังควบคุม (ไม่ใส่หัวเชื้อ) และถังที่ใส่หัวเชื้อ พบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วงประมาณ 5.6-3.2

ปริญญ์ ขันการนาวิ (2550) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้จุลินทรีย์ดินจากแหล่งต่าง ๆ ในเขตจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดนครราชสีมาของประเทศไทยเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์สำหรับการผลิตปุ๋ยน้ำชีวภาพ จัดแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ทำการทดลองหมักเพื่อผลิตปุ๋ยน้ำชีวภาพโดยใช้วัตถุดิบคือ ผัก ผลไม้ กากน้ำตาล และรำข้าวเจ้าละเอียดประกอบด้วย 8 ดำรับทดลอง ได้แก่ วัตถุดิบร่วมกับจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินแหล่งต่าง ๆ (ชุดดินจอมพระ ชุดดินห้วยแถลง ชุดดินขามทะเลสอ ชุดดินขามทะเลสอ ชุดดินราชบุรี ชุดดินร้อยเอ็ด และชุดดินยโสธร) 6 ดำรับ วัตถุดิบปราศจากจุลินทรีย์ดิน 1 ดำรับ และวัตถุดิบร่วมกับสารเร่ง พด.2 จากกรมพัฒนาที่ดิน 1 ดำรับ หลังจากหมักเป็นเวลา 30 วัน วิเคราะห์สมบัติทางเคมีฟิสิกส์และจำนวนจุลินทรีย์ในปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ผลิตได้ และจำแนกชนิดจุลินทรีย์ที่โดดเด่นในปุ๋ยน้ำชีวภาพประสิทธิภาพดีกว่าทำการศึกษาผลของปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ผลิตได้ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด โดยปลูกข้าวโพดหวานพันธุ์ขอนแก่นหวานสลัสสีในกระถางที่บรรจุดินชุดห้วยแถลงหนัก 5 กิโลกรัม ใส่ปุ๋ยน้ำชีวภาพที่อัตราเจือจาง 1:1,000, 1:500 และ 1:250 เปรียบเทียบกับดำรับควบคุมไม่ใส่ปุ๋ยโดยจัดแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 25 ดำรับทดลอง ผลการทดลองพบว่าปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ผลิตได้ทุกดำรับมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในช่วง 3.50-3.59 ค่าความนำไฟฟ้า (EC) ในช่วง 15.04-15.56 เดซิซีเมน/เมตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ในช่วง 11.50-12.50 องศาบริกซ์ อุณหภูมิในช่วง 27.77-28.47 องศาเซลเซียส จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในช่วง 8.05-10.47 log CFU/มิลลิลิตร ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในช่วง 12.37-16.70 กรัม/ลิตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ในช่วง 1.20-2.35% ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในช่วง 3.44-11.43 และปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ฟอสฟอรัสเพนตะทอกไซด์ (P_2O_5) และโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ในช่วง 0.12-0.21, 0.12-0.17 และ 0.23-0.43% ตามลำดับ

จำนวนแบคทีเรีย ราและยีสต์ในช่วง 8.26-8.93, 5.56-7.39 และ 6.87-7.47 log CFU/มิลลิลิตร ตามลำดับ หลักจากพิจารณาปริมาณธาตุอาหารพืช พบว่าปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพดำรับที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินชุดร้อยเอ็ดมีประสิทธิภาพดีกว่าดำรับอื่น ๆ โดยพบแบคทีเรีย รา และยีสต์ที่โดดเด่นคือ *Bacillus subtilis*, *Penicillium sp.* และ *Candida krusei* ตามลำดับ และพบว่าข้าวโพดส่วนใหญ่ที่ได้รับปุ๋ยน้ำชีวภาพอัตราเจือจาง 1:250 มีแนวโน้มให้ผลการเจริญเติบโตด้านความกว้างใบ ความยาวใบ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น เส้นผ่านศูนย์กลางโคนต้น น้ำหนักสดต้น และน้ำหนักแห้งต้น สูงกว่าข้าวโพดที่ได้รับ ปุ๋ยน้ำชีวภาพอัตราเจือจาง 1:500 และ 1:1,000 ทั้งเมื่อวัดที่อายุ 56 และ 67 วัน

สุภาภรณ์ ศุภวิทยานันท์ (2550) ได้ศึกษาการผลิตไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยก๊าซไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากกระบวนการหมักทางชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน แต่ น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการหมักยังคงมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่สูงจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้าด้วยวิธีดังกล่าวจากน้ำเสียอุตสาหกรรมอาหาร 3 ประเภท ได้แก่ น้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง น้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตซ็อกโกแลต และน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเก็บจากจุดปล่อยน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีปริมาณซีโอไซด์เริ่มต้นเท่ากับ 10,976 1,176 และ 570 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าน้ำเสียทั้ง 3 ประเภทมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ โดยแสดงสัดส่วนไฮโดรเจนในปริมาณที่แตกต่างกัน นั่นคือ น้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังจะให้สัดส่วนไฮโดรเจนในก๊าซชีวภาพมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตซ็อกโกแลตและน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยมีค่าเท่ากับ 138.8 102.4 และ 28.4 มิลลิลิตรไฮโดรเจนต่อลิตรน้ำเสีย ตามลำดับ และเมื่อนำน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทั้ง 3 ประเภทที่ผ่านกระบวนการหมักมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่าน้ำเสียทั้ง 3 ประเภทสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกัน โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง น้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตซ็อกโกแลต และน้ำเสียอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว มีปริมาณเท่ากับ 0.56 0.55 และ 0.59 ไมโครแอมป์ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการผลิตไฮโดรเจนด้วยกระบวนการหมักควบคู่กับการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพเป็นแนวทางการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ โดยมีผลทำให้ค่าความสกปรกของน้ำเสียในรูปซีโอไซด์ลดลงสูงสุด 60 เปอร์เซ็นต์

อนุวัฒน์ ยินดีสุข และบรร พิชยา (2550) ได้ศึกษาธาตุอาหารหลักในน้ำหมักที่ได้จากการหมักขยะและเศษวัสดุเหลือทิ้งในการเกษตรจากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในน้ำหมักที่ได้จากการหมักหัวมันเทศ หัวผักกาด ยอดข้าวโพด ชานอ้อย กระดูกหัวหมูและต้นกล้วย จากผลการวิจัยพบว่าปริมาณไนโตรเจนในน้ำหมักจากหัวมันเทศมีปริมาณสูงสุดคือ ร้อยละ 1.31 ปริมาณฟอสฟอรัสพบในน้ำหมักจากหัวหมูมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.06 และปริมาณโพแทสเซียมพบในน้ำหมักจากมันเทศมีปริมาณสูงสุดคือ ร้อยละ 0.70

อภิญญา แสงสุวรรณ (2546) ได้ศึกษาการผลิตปุ๋ยน้ำหมักจากขยะอินทรีย์ (เศษผักกะหล่ำปลี และผักกาดขาวปลี) จากการทดลองพบว่า การหมักแบบเดิมอากาศทำให้เศษผักมีการย่อยสลายร้อยละ 88.04 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งเร็วกว่าการหมักแบบไม่เติมอากาศที่มีการย่อยสลายร้อยละ 55.34 ของน้ำหนักแห้ง ในการหมักแบบเดิมเชื้อแบคทีเรียเศษผักเกิดการย่อยสลายร้อยละ 36.39 การเติมปลาป่น 16.40 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมต่อการหมักแบบเดิมอากาศ ทำให้เกิดการย่อยสลายของเศษผักสูงสุดเท่ากับร้อยละ 87.93 และจากการใช้ปุ๋ยพบว่าน้ำหนักอัตราเจือจาง 1:500 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15-15-15 และปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) เป็นปุ๋ยแต่งหน้าทำให้ผักบ่งจิ้นมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุด และการใช้ปุ๋ยน้ำหมักอัตราเจือจาง 1:250 ร่วมกับการใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 15-15-15 มีผลทำให้ผักบ่งจิ้นมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุด

Zhong *et. al.*, (2011) ได้ศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียกากน้ำตาลโดยเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ชนิดท่อแบบมีแผ่นกั้นในสภาวะไร้อากาศ โดยเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (Microbial fuel cell) เป็นเทคโนโลยีสำหรับใช้ผลิตพลังงานควบคู่กับการบำบัดน้ำเสีย แต่การนำเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ยังมีข้อจำกัด ซึ่งได้ทำการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ ชนิดท่อแบบมีแผ่นกั้นในสภาวะไร้อากาศแบบใหม่ (ABSMFC : Anaerobic baffled stacking microbial fuel cell) ที่ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์ 4 ส่วนต่อกัน เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียกากน้ำตาล ผลการทดลองพบว่า ABSMFC ใช้งานได้โดยการป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (OLRs : Organic loading rates) ในอัตรา 3 ระดับ และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด 115.5 ± 2.7 เมกะวัตต์ต่อตารางเมตร ด้วยอัตราการป้อนสารอินทรีย์ 3.20 กิโลกรัม $\text{COD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ประสิทธิภาพการกำจัด COD ได้ 50-70 เปอร์เซ็นต์ การผลิตพลังงานไฟฟ้าช่วยให้แรงดันและกระแสไฟฟ้าดีขึ้นทั้งแบบอนุกรมหรือแบบขนาน สรุปว่า ABSMFC มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียกากน้ำตาลช่วยให้ได้กระแสหรือแรงดันไฟฟ้าดีขึ้นและช่วยลดการสูญเสียพลังงานระหว่างต่ออนุกรมลงได้ สถาปัตยกรรมนี้มีแนวโน้มที่จะประสบความสำเร็จด้วยการนำมาต่อยอดและใช้ร่วมกับเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอื่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ได้

Scott and Murano (2007) ได้ศึกษาการใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ตัวมีเดียเอเตอร์ (Mediator) ทำการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะคาร์โบไฮเดรต (ปุ๋ยคอก) โดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือแผ่นเมมเบรนโปรตอนในระบบ ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่ใช้สารเคมีในการกำจัดขยะของเสีย โดยเซลล์จะใช้กากตะกอนคาร์โบไฮเดรตในส่วนของข้าวแอนด์ และในส่วนของข้าวแอนด์โทดจะใช้สารละลายเกลือ (จากน้ำทะเล) ที่มีออกซิเจนละลายอยู่ ซึ่งอิทธิพลของรูปร่างและตำแหน่งของข้าวแอนด์ และข้าวแอนด์โทดจะมีผลต่อสมรรถนะในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์ ค่าสูงสุดของกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์คือ 4.21 mW m^{-2} เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารมีเดียเอเตอร์เป็นเมทิลีนบลู (Methylene blue) ร่วมด้วยในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ที่ใช้โยเกิร์ตแบคทีเรีย (Yogurt bacteria) จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เท่ากับ 13 mW m^{-2} ซึ่งจากปริมาณกำลังของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถใช้

สนับสนุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพโดยใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาได้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	บริษัทผู้ผลิต
เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer)	UV-1700	Simadzu Japan
เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer, AAS)	3110	Perkin Elmer USA
เครื่องวัดพีเอชและค่าการนำไฟฟ้า (pH – Conductivity meter)	GC700	EUTECH Singapore
เตาอบ (Hot air oven)	UM500	Memmert Germany
เครื่องให้ความร้อนและหมุนเวียน (Hotplate & Stirrer)	4658	Cole-Parmer USA
เครื่องมัลติมิเตอร์ (Multimeter)	UT61B	Guangdong China
ตู้เย็น (Refrigerator)	GR-S32 KT	Toshiba Japan
เครื่องดิจิตัลรีแฟรคโตมิเตอร์ (Digital refractometer)	HI 96813	Woonsocket USA
เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)	BP 210S	Sartorius Germany

3.1.2 สารเคมี

ในการวิจัยนี้ สารเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรเคมี	MW (g/mol)	เกรด	บริษัทผู้ผลิต
กรดไนตริก (Nitric acid)	HNO_3	63.01	AR	Fluka Switzerland
กรดเปอร์คลอริก (Perchloric acid)	HClO_4	100.46	AR	Merck, Germany
กรดไฮโดรคลอริก 37% (v/v) (Hydrochloric acid)	HCl	36.46	AR	Merck, Germany
คอปเปอร์ไนเตรตไตรไฮเดรต (Copper nitrate trihydrate)	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	241.60	AR	Fluka Switzerland
โซเดียมไธโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate)	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	158.11	AR	Carlo Erba, Italy
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	NaOH	40.00	Lab	Carlo Erba, Italy
ซาลิไซลิก แอซิด (Salicylic acid)	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$	138.12	AR	Merck, Germany
ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต (Zinc nitrate hexahydrate)	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	297.48	AR	Fluka Switzerland
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide)	KOH	56.11	AR	Merck, Germany
โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate)	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	294.19	AR	Fisher, USA
เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (Ferrous sulfate heptahydrate)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	278.02	AR	Fluka Switzerland
โมลิบดีวนาเตด (Molybdavanadate reagent)	$\text{H}_3\text{MoO}_7\text{V}$	261.90	AR	Sigma-aldrich, USA
น้ำตาลทราย (Table Sugar)	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	342.29	Lab	MITR PHOL, Thailand

3.2 การเตรียมวัตถุดิบและสารละลาย

3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดยกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ โดยขยะอินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากเศษอาหารและเศษผลไม้ จากโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งในการเตรียมวัตถุดิบเบื้องต้นนั้นทำการคัดแยกขยะอินทรีย์ที่เป็นเศษอาหารที่เหลือทิ้งจากการบริโภคของนักศึกษา โดยคัดแยกออกจากส่วนที่เป็นของเหลวซึ่งเป็นเศษอาหารที่มีความชื้นอยู่มากกว่าร้อยละ 50 บรรจุไว้ในถังพลาสติกและปิดฝาให้สนิทเพื่อป้องกันฟุ้งกระจายสำหรับเศษผลไม้หาได้จากร้านจำหน่ายผลไม้ภายในโรงอาหาร ซึ่งทำการคัดแยกเป็นเศษขยะอินทรีย์ที่ได้จากผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวและผลไม้ที่มีรสหวาน เมื่อรวบรวมได้บรรจุลงในถังพลาสติกและปิดฝาเพื่อป้องกันกลิ่น เพื่อเตรียมนำไปใช้งานต่อไป โดยเศษขยะอินทรีย์ที่เก็บรวบรวมได้ จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 วัน

3.2.2 การเก็บเชื้อจุลินทรีย์ในท้องถิ่น

3.2.2.1 การเก็บเชื้อจุลินทรีย์ท้องถิ่น (ไอเอ็มโอ 1)

1) นำข้าวเหนียวที่นึ่งเสร็จใหม่ ๆ ใส่ในกล่องไม้หรือไม้ไผ่ผ่าตามยาว ควรใส่ข้าวหนาไม่เกิน 7 เซนติเมตร เพราะจะทำให้เกิดสภาพที่เหมาะสมกับทั้งจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศและไม่ต้องการอากาศ

2) ปิดกล่องด้วยกระดาษเนื้อมหยาบ (ที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้) และมัดด้วยยางเพื่อให้กระดาษติดกับกล่อง

3) ผึ่งกล่องข้าวหรือไม้ไผ่ไว้ในบริเวณป่าที่อุดมสมบูรณ์ ป่าไผ่ หรือบริเวณที่มีใบไม้ผู้ผึ่งเน่าสลายจากเชื้อรา ควรเลือกพื้นที่บริเวณเชิงเขา และระวังไม่ให้ใบไม้กดทับกระดาษลงไปถูกผิวหนังของข้าวหนึ่ง

4) กลุมผ้าพลาสติกทับอีกชั้น เพื่อป้องกันน้ำฝนไหลซึมเข้าไปในกล่อง

5) ในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิประมาณ 20°C ใช้เวลาประมาณ 4-5 วัน ในการให้จุลินทรีย์ท้องถิ่นเจริญจนเต็มผิวหน้าข้าว แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะใช้ระยะเวลาสั้นกว่านี้ เมื่อจุลินทรีย์ในท้องถิ่นเกิดขึ้นเต็มผิวหน้ากล่องแล้ว ให้นำก้อนข้าวลงในโถงดิน การเก็บจุลินทรีย์ในป่าไผ่ควรเก็บในช่วงที่มีความชื้นในดินเพียงพอ หรือเก็บในช่วงฤดูฝน

3.2.2.1 การเก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ท้องถิ่น (ไอเอ็มโอ 2)

จุลินทรีย์ท้องถิ่น (ไอเอ็มโอ 1) ที่รวบรวมมาจากธรรมชาตินั้น เมื่อรวบรวมได้แล้วก็สามารถนำมาเก็บรักษาไว้เพื่อนำไปบำรุงดินทำให้ดินมีชีวิต และยังสามารถนำไปเป็นหัวเชื้อสำหรับการผลิตน้ำหมักสูตรต่าง ๆ ได้ โดยนำจุลินทรีย์ท้องถิ่น (ไอเอ็มโอ 1) ที่เก็บได้ มาผสมกับน้ำตาลในอัตราส่วน 1:1 เพื่อให้น้ำตาลเป็นอาหารของจุลินทรีย์และเป็นการเพิ่มปริมาณ การเก็บรักษาไอเอ็มโอ 2 ทำได้โดยใส่ไว้ในโอง ปิดฝาด้วยกระดาษที่อากาศผ่านเข้าออกได้ และเก็บโองไว้ในที่ร่ม ปิดโองดินด้วยกระดาษหรือกระดาษหนังสือพิมพ์ และมัดด้วยยางหรือเชือกก็ได้ สามารถเก็บรักษาไว้ใช้ได้นาน 1 ปี การเก็บรักษาจุลินทรีย์ท้องถิ่นควรใช้น้ำตาลทรายแดงเท่านั้น ไม่ควรใช้กากน้ำตาล เนื่องจากขั้นตอนนี้มีความสำคัญในการเก็บรักษาหัวเชื้อจุลินทรีย์ท้องถิ่นให้อยู่ในระยะเวลาานาน ๆ ได้

3.2.3 การเตรียมสารละลาย

3.2.3.1 สารละลายสังเคราะห์ที่มีค่าความหวาน 22 %Brix

ตวงน้ำมะพร้าว น้ำหอม (มะพร้าวอ่อน) ปริมาตร 250 ml เติมน้ำตาลทรายแดงจำนวน 100 กรัม เติมน้ำกลั่นลงไปให้มีปริมาตรของสารละลายเท่ากับ 500 ml คนให้น้ำตาลทรายละลายแล้วนำไปวัดความหวานด้วยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ จะได้สารละลายสังเคราะห์ที่มีความหวาน ≈ 22 %Brix หากมีค่าความหวานไม่ถึงให้เติมน้ำตาลทรายแดงลงไปอีกเพื่อปรับให้ได้ค่าความหวานที่ต้องการ

3.2.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาผสม (mixed catalyst)

ผสมคอปเปอร์ซัลเฟต จำนวน 10 กรัม และโพแทสเซียมซัลเฟตจำนวน 90 กรัม แล้วคนให้เข้ากันจะได้ตัวเร่งผสมที่ในอัตราส่วน 1:9 โดยน้ำหนัก

3.2.3.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5-20 %

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 5, 10, 15 และ 20 g จากนั้นนำไปละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดปริมาตรขนาด 100 ml จำนวน 4 ขวด ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปริมาตรแต่ละขวดจนถึงขีดปริมาตร

3.2.3.4 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5-20 %

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37%) ปริมาตร 13.5, 27.1, 40.5 และ 54.1 ml ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 ml ที่บรรจุน้ำกลั่นไว้บางส่วนแล้วจำนวน 4 ขวด ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร ภายหลังการเขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5, 10, 15, และ 20 % ตามลำดับ

3.2.3.5 สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator)

ซังเมทิลเรด (methyl red) จำนวน 0.20 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเอทานอล (90% ethanol) จำนวน 100 มิลลิลิตร และคนให้เข้ากัน จากนั้นซังโบรโมครีซอลกรีน (bromocresol green) จำนวน 0.10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์อีกใบหนึ่ง แล้วเติมเอทานอลที่มีความเข้มข้นเดียวกันจำนวน 100 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์นั้น แล้วนำสารละลายทั้งสองนี้ผสมรวมกัน แล้วนำไปกวนให้ผสมเข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลาย

3.2.3.6 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.025 N

ซังโซเดียมไธโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) หนักประมาณ 6.205 กรัม แล้วเทใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นที่เดือดประมาณ 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ละลายแล้วเติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ประมาณ 0.03 กรัม เพื่อป้องกันการสลายตัวของโซเดียมไธโอซัลเฟตเนื่องจากแบคทีเรีย นำสารละลายที่ได้เทลงในขวดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตร จากนั้นเทสารละลายนี้ลงในขวดสีชาและปิดฝาให้สนิทเก็บไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 4 วัน ก่อนนำมาใช้งาน

3.2.3.7 สารละลายโพแทสเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 ppm

อบโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นทิ้งไว้ในเย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งสารนี้จำนวน 0.1907 กรัม เทลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นประมาณ 80 มิลลิลิตร พร้อมกับใช้แท่งแก้วคนให้ละลาย นำสารละลายที่ได้เทลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมความเข้มข้น 1,000 ppm จากนั้นปิเปตสารละลายนี้จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นเทสารละลายนี้เก็บไว้ในขวดสีชาและปิดฝาให้สนิท

3.2.3.8 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส ความเข้มข้น 100 ppm

นำ KH_2PO_4 อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งสารนี้จำนวน 1.0984 กรัม เทลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นประมาณ 150 มิลลิลิตร พร้อมกับใช้แท่งแก้วคนให้ละลาย นำสารละลายที่ได้เทลงในขวดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสความเข้มข้น 1,000 ppm จากนั้นปิเปตสารละลายนี้จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นเทสารละลายนี้เก็บไว้ในขวดสีชาและปิดฝาให้สนิท

3.2.3.9 สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1%

ปิเปตกรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) มา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนจืดวัดปริมาตร จะได้สารละลายกรดไนตริกความเข้มข้น 1%

3.2.3.10 สารละลายมาตรฐานตะกั่ว

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเลดไนเตรต (lead nitrate standard stock solution) ความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (น้ำดีไอ) จะได้สารละลายมาตรฐานเลดไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นทำการปิเปตสารละลายเลดไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตร โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน จะได้ สารละลายมาตรฐานเลดไนเตรตความเข้มข้น 10 ppm ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 0.50, 1.00, 2.00, 3.00 และ 4.00 ppm โดยทำการปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 10 ppm มา 0.50, 1.00, 2.00, 3.00 และ 4.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น 1% จนถึงขีดบอกริมาตร จะได้ สารละลายมาตรฐานตะกั่วที่มีความเข้มข้น 0.50, 1.00, 2.00, 3.00 และ 4.00 ppm ตามลำดับ

3.2.3.11 สารละลายมาตรฐานแคดเมียม

ปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียม ความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วย สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5.0 จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานแคดเมียมความเข้มข้น 10 ppm มา 0.40, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 5.0 จนถึงขีดปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 0.40, 0.80, 1.20, 1.60 และ 2.00 ppm ที่มีพีเอชเท่ากับ 5.0 ตามลำดับ

3.2.3.12 สารละลายมาตรฐานทองแดง

ปิเปตสารละลายมาตรฐานคอปเปอร์ไนเตรต (copper nitrate standard stock solution) ความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (น้ำดีไอ) จะได้สารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นทำการปิเปตสารละลายคอปเปอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตร โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 10 ppm ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานทองแดงที่มีความเข้มข้น 0.50, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 6.00 ppm โดยทำการปิเปต สารละลายมาตรฐานทองแดงความเข้มข้น 10 ppm มา 0.50, 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 6.00 มิลลิลิตร

ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนและปรับพีเอชของสารละลายด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1% จนถึงขีดบอกระดับ ให้มีพีเอชเท่ากับ 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ

3.2.3.13 สารละลายมาตรฐานสังกะสี

เปิดสารละลายมาตรฐานซิงค์ไนเตรต (zinc nitrate standard stock solution) ความเข้มข้น 1,000 ppm มาปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (น้ำดีไอ) จะได้สารละลายมาตรฐานซิงค์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm จากนั้นทำการเปิดสารละลายซิงค์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm มาปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตร โดยใช้ น้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานซิงค์ไนเตรตความเข้มข้น 10 ppm ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานซิงค์ไนเตรตที่มีความเข้มข้น 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 และ 1.00 ppm โดยทำการเปิดสารละลายมาตรฐานซิงค์ไนเตรตความเข้มข้น 10 ppm มา 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 และ 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น 1% จนถึงขีดบอกระดับ จะได้สารละลายมาตรฐานสังกะสีที่มีความเข้มข้น 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 และ 1.00 ppm ตามลำดับ

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การศึกษาการคัดเลือกชนิดจุลินทรีย์และสูตรการเตรียมน้ำหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ

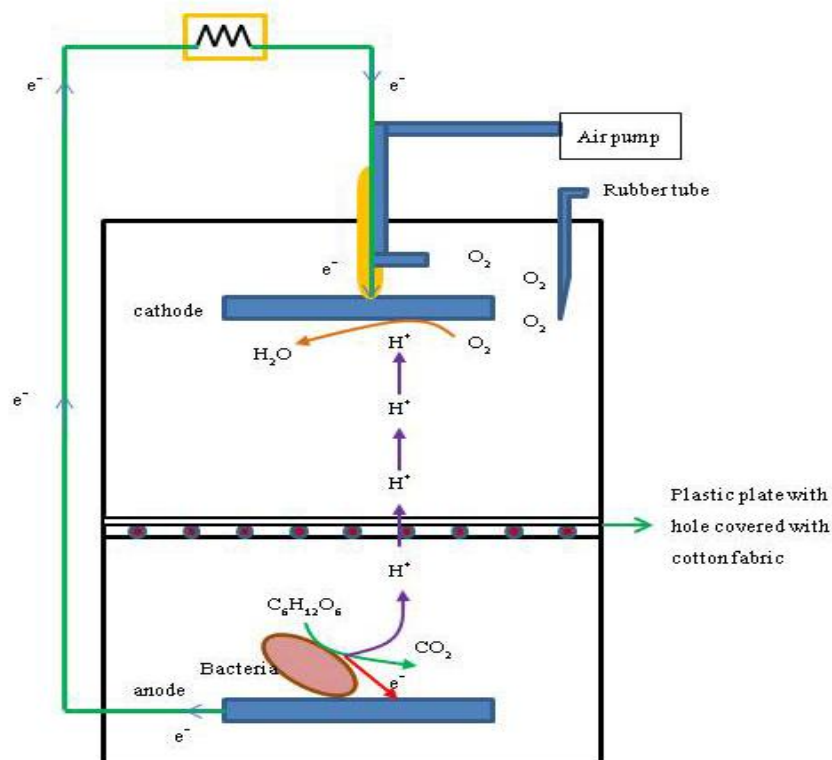
ทำการสำรวจและศึกษาชนิดของจุลินทรีย์และสูตรการเตรียมน้ำหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เป็นภูมิปัญญาของท้องถิ่นในจังหวัดเพชรบูรณ์ ที่มีศักยภาพสูงในการหมักชีวมวลเพื่อให้เกิดการย่อยสลาย และได้ผลผลิตพลอยได้ที่มีคุณภาพ อย่างน้อย 5 สูตรของการเตรียมน้ำหมักและปุ๋ยหมัก แล้วทำการคัดเลือกการใช้จุลินทรีย์และสูตรการเตรียมน้ำหมักชีวภาพหรือปุ๋ยน้ำชีวภาพ มาประมาณ 2 ชนิด เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาการทำเซลล์เชื้อไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพต่อไป

3.3.2 การศึกษาการเตรียมชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ

3.3.2.1 การศึกษาการเตรียมชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ

ทำการออกแบบชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพในระดับห้องปฏิบัติการ โดยเลือกใช้วัสดุที่ทนทาน เหมาะสม และสามารถหาซื้อได้ในท้องถิ่น เพื่อประกอบเป็นเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพขนาดเล็กที่มีปริมาณประมาณ 500-1,000 มิลลิลิตร สำหรับอิเล็กโทรดที่ใช้ทำการศึกษาโดยการใช้ขั้วอิเล็กโทรดแกรไฟท์ (พื้นที่ผิว 1,381 mm²) ขั้วทองแดงและขั้วสังกะสี (พื้นที่ผิว 4,000 mm²) ใน

การศึกษาถึงค่าความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยอาศัยหลักการประกอบเซลล์ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงแผนภูมิหลักการทำงานของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ

3.3.2.2 การศึกษาสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ

ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากสารละลายสังเคราะห์ซึ่งใช้น้ำมะพร้าว น้ำหอมผสมกับน้ำตาลซูโครส เพื่อให้มีความหวานเริ่มต้นประมาณ 22 %brix เนื่องจากการทำงานของจุลชีพต้องการสารอาหารอื่น ๆ ร่วมด้วย มิใช่เพียงแต่สารละลายซูโครสอย่างเดียว โดยน้ำมะพร้าว น้ำหอมมีสารอาหารที่เพียงพอต่อการทำงานของจุลชีพ คือ มีปริมาณแมกนีเซียม แคลเซียม และสารละลายกลูโคส โดยศึกษาถึงระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่เหมาะสม การให้ออกซิเจนเพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน เพื่อให้มีจลรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการวัดค่าปริมาณกระแสไฟฟ้า ค่าความต่างศักย์ของเซลล์ โดยใช้เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และคำนวณหาค่า current density potential density และค่า powder density จากการใช้ขั้วอิเล็กโทรดที่ต่างกันคือ ขั้วคาร์บอน ขั้วสังกะสี และขั้วทองแดง และระยะเวลาในการหมักนาน 36 ชั่วโมง ตลอดจนศึกษาถึงค่าความหวานที่ลดลง (เพื่อหาอัตราการย่อยสลาย) และค่าพีเอชของสารละลายที่ได้จากการหมัก เป็นต้น

3.3.3 การศึกษาการเตรียมชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพในระดับภาคสนาม

3.3.3.1 การศึกษาการเตรียมชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพระดับภาคสนาม

ทำการออกแบบชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพในระดับภาคสนาม โดยอาศัยข้อมูลของสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพในระดับห้องปฏิบัติการที่ได้ทำการศึกษามาแล้วก่อนหน้านี้ ในการออกแบบเพื่อเตรียมชุดเซลล์ไฟฟ้า จะคำนึงถึงการกักใช้วัสดุที่ทนทาน เหมาะสม และสามารถหาซื้อได้ในท้องถิ่น เพื่อประกอบเป็นชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพที่มีขนาดปริมาณประมาณ 5,000-10,000 มิลลิลิตร (5-10 ลิตร) สำหรับอิเล็กโทรดที่ใช้ในการประกอบเซลล์นอกจากพิจารณาจากข้อมูลในหัวข้อ 3.3.2.2 แล้ว การเลือกใช้โลหะที่จะทำเป็นอิเล็กโทรด จะคำนึงถึงการใช้งานจริงในระดับชาวบ้านด้วย

3.3.3.2 การศึกษาสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ

1) การศึกษาลักษณะและองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษา

ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ได้แก่ ลักษณะและองค์ประกอบของเศษอาหารที่ผ่านการคัดแยกจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เศษผลไม้ หรือเศษผักที่ใช้ในการศึกษา เช่น ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาล และความเป็นกรดต่าง เป็นต้น เพื่อนำมาใช้ประกอบการทำการวิจัย

2) การศึกษาสมรรถนะและประสิทธิภาพของชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ

ทำการศึกษาสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเศษขยะอินทรีย์แต่ละประเภท ได้แก่ อัตราการย่อยสลายเศษขยะ การผลิตกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ เป็นต้น โดยเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพที่ผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากการใช้วัตถุดิบแต่ละชนิด เพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม

3.3.4 การวิเคราะห์ผลพลอยได้จากการกระบวนการเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ

3.3.4.1 การศึกษาสมบัติและปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมักชีวภาพ

ทำการศึกษาสมบัติและปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหมักชีวภาพหรือปุ๋ยน้ำชีวภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณธาตุอาหาร N P K ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณแอลกอฮอล์ และปริมาณโลหะหนักตกค้าง

1) การวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดต่าง หรือค่า pH

ทำการปรับเทียบมาตรฐาน pH meter ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4, 7 และ 10 ก่อนใช้เครื่อง เทสารตัวอย่างปุ๋ยน้ำชีวภาพปริมาตร 40 ml ใส่ลงไปในบีกเกอร์ แล้วนำไปวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter

2) การหาปริมาณไนโตรเจน

ชั่งปุ๋ยน้ำชีวภาพประมาณ 1.0-1.4 กรัม ใส่ลงใน kjeldahl flask ขนาด 800 ml เติม salicylic acid จำนวน 2 กรัม เติม 98% H_2SO_4 จำนวน 40 ml เติม sodium thiosulfate 5 กรัม และเติม ตัวเร่งผสม (mixed catalyst) จำนวน 10 กรัม จากนั้นนำสารผสมไปตั้งบนเตาสำหรับย่อยสารตัวอย่างที่ อุณหภูมิ 360°C จนได้สารละลายสีเขียวใส บางตัวอย่างมีตะกอน ทิ้งไว้ให้เย็น หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 50 ml แล้วนำ kjeldahl flask ต่อเข้ากับเครื่องกลั่น โดยให้ปลายเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 ml ที่บรรจุสารละลายกรดบอริกจำนวน 10 ml ที่ผสมสารอินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator) ประมาณ 4-5 หยด แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสารละลายสีน้ำตาล หรือบางตัวอย่างจะได้สารละลายสีน้ำเงิน ซึ่งกลั่นที่อุณหภูมิ 85°C ใช้เวลาการกลั่นประมาณ 100 วินาที ทำการกลั่นจนได้ปริมาณของสารละลายใน kjeldahl flask เหลืออยู่ประมาณ 50 ml จากนั้นนำสารละลาย ที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.2 N ทำการบันทึกผล และนำค่าที่ได้ไป คำนวณหาปริมาณร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดตามสูตรในการคำนวณและวิธีการคำนวณในภาคผนวก

3) การหาปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (% P_2O_5)

เตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ คือ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ppm โดยการเปิดสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสที่มีความเข้มข้น 100 ppm จำนวน 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ml ใส่ลงไปในขวดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วเติม molybdovanadate reagent ลงไปขวดละ 10 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตรและตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายมาตรฐาน ฟอสฟอรัสที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน โดยพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส

ชั่งปุ๋ยน้ำชีวภาพประมาณ 0.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติมสารละลายกรดผสมระหว่าง HNO_3 : HClO_4 ที่มีอัตราส่วน 1:1 จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220°C จนมีควันสีขาวเกิดขึ้น เหนือสารละลาย โดยสารละลายจะมีลักษณะใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30-40 นาที จากนั้นยกออกจาก hot plate แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำสารละลายที่ย่อยได้มาปรับปริมาตรแรกด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 หรือ 200 ml (ขึ้นกับตัวอย่างแต่ละชนิด) ในกรณีที่สารละลายมีตะกอนขุ่นให้นำไปกรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 92 ก่อน ต่อจากนั้นให้เปิดสารละลายตัวอย่างจำนวน 1, 5 หรือ 20 มิลลิลิตร (ขึ้นอยู่กับตัวอย่างแต่ละชนิด) ใส่ลงไปในขวดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วเติมสารละลาย molybdovanadate ปริมาตร 10 ml ลงไป แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้นาน 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาปริมาณร้อยละฟอสเฟตทั้งหมดตามสูตรในการคำนวณและวิธีการคำนวณในภาคผนวก

4) การหาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (% K_2O)

เตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ คือ 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm (working standard) โดยการปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่มีความเข้มข้น 100 ppm จำนวน 10, 20, 30, 40 และ 50 ml ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 ml เติมสารละลาย suppressor จำนวน 10 ml จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร นำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS และบันทึกผล แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน โดยพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม

ชั่งปุ๋ยน้ำชีวภาพประมาณ 1.0-1.5 กรัม ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติมสารละลายกรดผสมระหว่าง HNO_3 : HClO_4 ที่มีอัตราส่วน 1:1 จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220°C จนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย โดยสารละลายจะมีลักษณะใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30-40 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำสารละลายที่ย่อยได้มาปรับปริมาตรแรกด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 หรือ 200 ml (ขึ้นกับตัวอย่างแต่ละชนิด) ในกรณีที่สารละลายมีตะกอนปูนให้นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 92 ก่อน จากนั้นให้ปิเปตสารละลายตัวอย่างจำนวน 5 ml ใส่ลงไปในขวดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วเติมสารละลาย suppressor ปริมาตร 10 ml ลงไป แล้วปรับปริมาตรให้ถึงขีดปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณหาปริมาณร้อยละโพแทสเซียมทั้งหมด ($\%\text{K}_2\text{O}$) ตามสูตรในการคำนวณและวิธีการคำนวณในภาคผนวก

5) การหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

เตรียมสารตัวอย่างปุ๋ยน้ำชีวภาพ โดยการชั่งปุ๋ยน้ำชีวภาพด้วยเครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ปริมาณ 0.3-0.5 กรัม ใส่ลงไปใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml เติมสารละลาย potassium dichromate ความเข้มข้น 1 N จำนวน 10 ml จากนั้นเติม 98% H_2SO_4 หรือ silver sulfate ใน 98% H_2SO_4 (ในกรณีตัวอย่างมีคลอไรด์) จำนวน 10 ml เติมสารละลาย o-phenanthroline ferrous sulfate จำนวน 0.5 ml จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างปุ๋ยน้ำชีวภาพนี้มาทำการไทเทรต ด้วยสารละลาย ferrous sulfate ความเข้มข้น 0.5 N จนได้สารละลายจากสีเขียวเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลปนแดง แสดงว่าถึงจุดยุติแล้วทำการบันทึกผลการทดลอง แล้วคำนวณหาอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ดังสูตรและวิธีการคำนวณดังภาคผนวก

3.3.4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและปริมาณธาตุอาหารในเศษกากที่เหลือจากการหมัก

ทำการศึกษาสมบัติและปริมาณ ธาตุอาหารหลักในเศษกากที่เหลือจากการกระบวนการเตรียมน้ำหมักชีวภาพหรือปุ๋ยน้ำชีวภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณธาตุอาหาร N P K ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณแอลกอฮอล์

และปริมาณโลหะหนักตกค้าง โดยวิธีการทำและขั้นตอนการวิเคราะห์ทำดังหัวข้อ 3.3.4.1 แต่มีข้อแตกต่างจากการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่ปฏิกิริยาชีวภาพ ดังนี้

1) การวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด่าง หรือค่า pH

ชั่งกากปฏิกิริยาจำนวน 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 ml อัตราส่วนของปฏิกิริยาหมักชีวภาพต่อน้ำ คือ 1:2 แล้วคนผสมให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว ทิ้งสารละลายผสมไว้นานครึ่งชั่วโมง แล้วจึงนำไปวัดค่า

2) การหาปริมาณไนโตรเจน

ชั่งกากปฏิกิริยาแห้งประมาณ 0.2-0.4 กรัม ใส่ลงใน kjeldahl flask ขนาด 800 ml เติม salicylic acid จำนวน 2 กรัม เติม 98% H_2SO_4 จำนวน 40 ml เติม sodium thiosulfate 5 กรัม และเติมตัวเร่งผสม (mixed catalyst) จำนวน 10 กรัม จากนั้นนำสารผสมไปตั้งบนเตาสำหรับย่อยสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 360°C จนได้สารละลายสีเขียวใส และทำตามขั้นตอนต่าง ๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปฏิกิริยาชีวภาพ

3) การหาปริมาณฟอสเฟตทั้งหมด (% P_2O_5)

ชั่งกากปฏิกิริยาแห้งประมาณ 0.3-0.4 กรัม ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติมสารละลายกรดผสมระหว่าง HNO_3 : HClO_4 ที่มีอัตราส่วน 1:1 จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220°C จนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย โดยสารละลายจะมีลักษณะใส และทำตามขั้นตอนต่าง ๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปฏิกิริยาชีวภาพ

4) การหาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (% K_2O)

ชั่งกากปฏิกิริยาแห้งประมาณ 0.3-0.45 กรัม ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่งใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติมสารละลายกรดผสมระหว่าง HNO_3 : HClO_4 ที่มีอัตราส่วน 1:1 จำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิไม่เกิน 220°C จนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย โดยสารละลายจะมีลักษณะใส และทำตามขั้นตอนต่าง ๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปฏิกิริยาชีวภาพ

5) การหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ชั่งกากปฏิกิริยาแห้งหนักประมาณ 0.3-0.5 กรัม และทำตามขั้นตอนต่าง ๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปฏิกิริยาชีวภาพ

3.3.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่ตกค้างในปฏิกิริยาหมักชีวภาพ

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักบางชนิดที่ตกค้างในปฏิกิริยาหมักชีวภาพ ซึ่งโลหะบางชนิดที่ทำการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะ ได้แก่ Fe, Mn, Cu, Zn, Pb และ Cd โดยการใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ได้ทำการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดยกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ โดยในการวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ ขั้นตอนที่ 1 ทำการศึกษาการคัดเลือกชนิดจุลินทรีย์และสูตรการเตรียมน้ำหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ ขั้นตอนที่ 2 ทำการศึกษาการเตรียมชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการและทำการศึกษาการทำงานของเซลล์และประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า และขั้นตอนที่ 3 ทำการออกแบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพในระดับภาคสนาม ที่เป็นการใช้งานจริง ผลิตชุดอุปกรณ์เครื่องมือ และศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องมือจากการใช้งานในภาคสนาม ซึ่งรายละเอียดของผลการศึกษาในแต่ละขั้นตอน เป็นดังนี้คือ

4.1 ผลการศึกษาการคัดเลือกชนิดจุลินทรีย์และสูตรการเตรียมน้ำหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ

4.1.1 ผลการสำรวจศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ สูตรการเตรียมน้ำหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพ

ได้ทำการสำรวจและศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ สูตรการเตรียมน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่มีอยู่ในภูมิปัญญาท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์ ที่มีศักยภาพในการย่อยสลายขยะและชีวมวล ซึ่งจากการสำรวจจุลินทรีย์ที่มีการใช้งานเพื่อผลิตน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพในท้องถิ่น จังหวัดเพชรบูรณ์ มีดังนี้

ตารางที่ 4.1 จุลินทรีย์และแหล่งที่มา ที่มีการนำมาใช้ผลิตน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่ใช้	แหล่งที่มา
พด.1	กรมพัฒนาที่ดิน
พด.2	กรมพัฒนาที่ดิน
พด.3	กรมพัฒนาที่ดิน
พด.7	กรมพัฒนาที่ดิน
EM	บริษัท เอ็มโร เอเชีย จำกัด
จากธรรมชาติ	ปนเปื้อนติดมากับเศษวัตถุดิบเองและในอากาศ
	จากดินสวนไผ่ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

จากการสำรวจศึกษาสูตรการเตรียมน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยหมักชีวภาพจากผลผลิตเหลือทิ้งทางการเกษตรและเศษอาหาร เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพและน้ำหมักชีวภาพ ตามภูมิปัญญาในท้องถิ่น จังหวัดเพชรบูรณ์ ผลที่ได้มีดังนี้

1) สูตรการทำน้ำหมักจากผลไม้

- 1) เตรียมผลไม้ที่หาได้จากท้องถิ่นซึ่งเป็นผลไม้ที่สุกจัดหรือที่ร่วงหล่นจากต้น
- 2) ล้างภาชนะที่จะใช้หมัก และตากแดดให้แห้ง
- 3) ชั่งผลไม้ 3 กิโลกรัม และน้ำตาลทรายแดง 1 กิโลกรัม (อัตราส่วน 3:1 โดยน้ำหนัก) หากผลไม้มีความหวานมากให้ใช้น้ำตาลทรายประมาณ $1/2 - 1/3$ กิโลกรัม
- 4) ผสมน้ำตาลทรายแดงลงบนผลไม้แล้วใส่ลงในภาชนะบรรจุ ปิดภาชนะหมักด้วยกระดาษ และผูกด้วยเชือก เก็บภาชนะที่หมักไว้ในที่ร่มและเย็น
- 5) ใช้แท่งไม้คนหรือกวน 2-3 ครั้ง ในฤดูหนาวควรกวนบ่อยครั้งและการหมักจะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ใช้เวลาการหมักประมาณ 21 วัน ส่วนในฤดูร้อนกระบวนการหมักจะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ภายใน 15 วัน เมื่อใช้ผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลมาก
- 6) เมื่อครบกำหนดระยะเวลา กรองเอากากออก นำน้ำหมักผลไม้ใส่ขวดโหลปิดปากขวดให้แน่น สามารถเก็บไว้ได้นาน 1 ปี
- 7) วิธีการใช้น้ำหมักจากผลไม้ ให้ใช้ในอัตราเจือจาง 1,000 เท่า ผิดพันกับพืชเมื่อเข้าสู่ระยะการออกดอกออกผล จะเป็นตัวเร่งให้พืชมีความอุดมสมบูรณ์ ช่วยเพิ่มความหวาน และเร่งรากและหัวของพืช ทำให้พืชติดผลได้ดี ผลผลิตมีปริมาณและคุณภาพมากขึ้น

2) สูตรการทำน้ำหมักจากพืชสีเขียว

- 1) เลือกเก็บและรวบรวมพืชสีเขียวที่จะใช้ ควรนำมาทั้งต้นและราก หากมีดินติดอยู่ควรแยกเอาดินออก แต่ไม่ควรนำไปล้างน้ำ เพราะจะทำให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ซึ่งมีประโยชน์ต่อการหมักหลุดออกไป ถ้าวัตถุดิบมีขนาดใหญ่เกินไป ให้ตัดให้มีขนาดพอดีประมาณ 5-10 เซนติเมตร
- 2) ชั่งน้ำหนักของพืชวัตถุดิบที่จะใช้หมัก และน้ำหนักของน้ำตาลทรายแดง ซึ่งจะใช้ประมาณ $1/3 - 1/2$ ของน้ำหนักพืชวัตถุดิบที่ใช้ โดยอาจเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำตาลได้ขึ้นกับลักษณะการอบน้ำของพืช
- 3) ผสมพืชวัตถุดิบและน้ำตาลตามอัตราส่วน แล้วเทใส่ลงในภาชนะปากกว้าง คลุมด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ หรือกระดาษสา ทิ้งไว้ 1-2 ชั่วโมง
- 4) นำส่วนผสมของวัตถุดิบพืชที่คลุกเคล้าด้วยน้ำตาลตามข้อ 3 ใส่ในภาชนะสำหรับหมัก ประมาณ $3/4$ ของภาชนะ ไม่ควรใส่จนเต็มเพราะต้องเว้นที่ไว้ให้อากาศ

สามารถหมุนเวียนในภาชนะได้ วางของหนักทับเพื่อไล่อากาศ ปิดปากภาชนะด้วยกระดาษ และมัดด้วยเชือก

- 5) ทิ้งไว้ 1-2 วัน แล้วเปิดฝาภาชนะเอาวัสดุที่ทับออก ปล่อยให้อากาศถ่ายเทอีกครั้ง จากทั้งปิดฝาและหมักต่อไป
- 6) เมื่อหมักได้ประมาณ 4-5 วัน หากพบว่าไม่มีน้ำหมักออกมาให้เติมน้ำสะอาดให้พอท่วมเศษวัตถุดิบ แล้วปิดฝาภาชนะไว้เช่นเดิม เก็บภาชนะที่ทำการหมักไว้ในที่ร่ม และมีอากาศเย็น
- 7) ไม่ควรคนระหว่างการหมัก ซึ่งการหมักนี้จะเสร็จสมบูรณ์ภายใน 15-21 วัน โดยน้ำหมักที่ได้จะมีกลิ่นเปรี้ยวและมีฟองเล็ก ๆ ผุดขึ้นช้า ๆ กรองเอากากออก เก็บน้ำหมักไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท สามารถเก็บไว้ใช้ได้ 1 ปี
- 8) วิธีการใช้ประโยชน์ให้นำน้ำหมักมาเจือจาง 500 – 1,000 เท่า ใช้ในขณะที่ยังเริ่มงอกและในระยะกล้าโดยใช้ในความเข้มข้นต่ำ เมื่ออยู่ในระยะการขยายลำต้นจึงใช้ที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นฉีดพ่นที่ใบและผล เหมาะสำหรับการใช้ปรับปรุงลำต้นหลังจากผ่านสภาพแวดล้อมที่เลวร้าย ช่วยให้ฟื้นตัวกลับสู่สภาพเดิมได้อย่างรวดเร็ว

3) สูตรการทำน้ำหมักจากเศษปลาและเนื้อสัตว์ชนิดอื่น ๆ

- 1) ชั่งน้ำหนักปลาและเศษซากปลา (หัว กระดูก ไข่) รกหมูหรือหอยเชอรี่ที่ต้องการหมัก และชั่งน้ำตาลทรายแดง ในอัตราส่วนประมาณ 1 ต่อ 1 ของน้ำหนัก หากในกระบวนการหมักเกิดกลิ่นเหม็นอาจเพิ่มปริมาณน้ำตาลได้
- 2) ผสมปลาเศษซากปลา รกหมู หรือหอยเชอรี่ และน้ำตาลทรายในภาชนะปากกว้างให้เข้ากัน น้ำหมักจะเกิดกลิ่นหอมของน้ำตาลมากกว่ากลิ่นคาวปลา แล้วเทใส่ในภาชนะที่ใช้หมักประมาณ 3/4 ของภาชนะ เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศ ภายในภาชนะ ปิดปากภาชนะด้วยกระดาษสาหรือผ้าขาวบางเพื่อให้อากาศผ่านเข้าออกได้ เก็บไว้ในที่แสงแดดไม่สามารถส่องถึง
- 3) หมักทิ้งไว้ประมาณ 2-3 วัน ของเหลวในตัวปลาจะซึมออกจากเนื้อปลา กลายเป็นของเหลวภายหลังจากการหมักนาน 7-10 วัน จะมีไขมันลอยออกมาเหนือสารละลาย ให้ใส่จุลินทรีย์ท้องถิ่นไอลีเอ็มโอ 2 ประมาณ 2-3 กำมือ
- 4) เมื่อการหมักเกิดสมบูรณ์ น้ำหมักจากปลาและเนื้อสัตว์ที่ได้จะมีกลิ่นเปรี้ยว และไม่มีกลิ่นเหม็นปะปน ซึ่งการหมักนี้มักจะใช้เวลาประมาณ 21 วัน
- 5) กรองน้ำหมักและแยกกากที่เหลือออกไป เก็บน้ำหมักไว้ในภาชนะที่ปิดฝาสนิท สามารถเก็บไว้ใช้ได้ 1 ปี

- 6) การใช้งานทำโดยนำมาเจือจางด้วยน้ำ 1,000 เท่า ใช้ในการฉีดพ่นหรือรดบนดินให้กับต้นพืช เพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุใน โตรเจน ให้กับพืช และส่งเสริมการเจริญเติบโตด้านลำต้นและใบได้ดี นอกจากนี้ยังช่วยขับไล่แมลงบางชนิดได้

4) สูตรการทำปุ๋ยน้ำชีวภาพจากเศษอาหาร

- 1) ชั่งเศษอาหาร จำนวน 3 กิโลกรัม ผสมกับกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม หัวเชื้อ EM ครึ่งลิตร น้ำสะอาด 5 ลิตร (อาจใช้น้ำมะพร้าว หรือน้ำข้าวข้าว)
- 2) ใช้เวลาในการหมัก 3 เดือน
- 3) ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย รดผักผลไม้ บำรุงดิน โดยใช้ในอัตราส่วน ปุ๋ยน้ำชีวภาพ 3 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 20 ลิตร ในการบำรุงพืชผัก และดิน

5) สูตรการทำปุ๋ยน้ำชีวภาพจากหน่อไม้หรือหน่อกล้วย

- 1) นำหน่อไม้หรือหน่อกล้วยมาหนัก 3 กิโลกรัม โดยใช้ทั้งหน่อไม่ต้องล้างดิน ใส่ลงในกระสอบหรือถุงปุ๋ย แล้วนำไปทิ้งไว้บนดินในที่ร่มที่มีการย่อยสลายเศษซากพืชหรือกิ่งไม้ ใบไม้ นาน 2-3 วัน จนสังเกตเห็นการย่อยสลายของหน่อไม้บางส่วน (มีกลิ่นเหม็นเน่า)
- 2) นำเศษหน่อไม้หรือหน่อกล้วยข้างต้น ผสมกับกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม และน้ำ 5 ลิตร กวนให้เข้ากัน
- 3) นำของผสมใส่ลงไปในถังหมัก ปิดฝาให้แน่น นำไปหมักทิ้งไว้ในที่ร่มนานประมาณ 15-30 วัน
- 4) เมื่อครบกำหนดเวลานำไปกรอง และบรรจุใส่ขวดพลาสติก ปิดฝาให้แน่น สามารถเก็บไว้ใช้ได้นานเป็นปี
- 5) อัตราส่วนการนำไปใช้งานให้ใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพผสมกับน้ำให้เจือจาง ในอัตราส่วน ปุ๋ยน้ำ 1.5 ลิตร ต่อน้ำ 200 ลิตร

6) สูตรการทำปุ๋ยน้ำชีวภาพจากสัตว์ (ฮอร์โมนเปิดตาดอก)

- 1) นำเศษปลาหรือหอยหนัก 3 กิโลกรัม ผสมกับน้ำ 5 ลิตร กากน้ำตาล 1 กิโลกรัม และเชื้อจุลินทรีย์ พด. 3 จำนวน 2 ชอง กวนให้เข้ากัน
- 2) นำของผสมที่ได้เทลงไปในถังหมัก ปิดฝาให้แน่น แล้วเก็บไว้ในที่ร่ม 15-30 วัน
- 3) เมื่อครบกำหนดครองน้ำหมัก บรรจุใส่ขวดพลาสติก ปิดฝาให้แน่น
- 4) การใช้ประโยชน์ ให้ทำการเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วนน้ำหมัก 600 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 200 ลิตร นำไปใช้ฉีดพ่นเร่งผลให้ติดดี ควรพ่นในช่วงตอนเช้าและตอนเย็น

7) สูตรการทำน้ำหมักชีวภาพจากพืช (สำหรับไล่แมลง)

- 1) นำพืชที่จะใช้ทำ (ใบสะเดา ใบน้อยหน่า บอระเพ็ด ฟักทะลายโจร ไหลแดง ข่าแก่) ที่แห้งหรือสับให้มีขนาดเล็กลงแล้วจำนวน 3 กิโลกรัม ผสมกับกากน้ำตาล 1 กิโลกรัม น้ำ 5 ลิตร และ พด.7 จำนวน 1 ซอง กวนผสมให้เข้ากัน
- 2) นำของผสมที่ได้เทลงไปในถังหมัก ปิดฝาถังให้แน่น แล้วเก็บไว้ในที่ร่ม 15-30 วัน
- 3) เมื่อครบกำหนดกรองน้ำหมัก บรรจุใส่ขวดพลาสติก ปิดฝาให้แน่น
- 4) การใช้ประโยชน์ ให้ทำการเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วนน้ำหมัก 1.5 ลิตร ต่อน้ำ 200 ลิตร นำไปใช้ฉีดพ่นไล่แมลงในต้นพืช ในช่วงเช้าหรือช่วงเย็น

8) สูตรการทำปุ๋ยน้ำชีวภาพจากผลไม้ (ฮอร์โมนสำหรับฉีดพ่น)

- 1) นำกล้วยผลไม้ที่มีรสหวาน (กล้วยสุก ฟักทอง มะม่วงสุก) 9 กิโลกรัม ผสมกับน้ำ 40 ลิตร เติม พด. 2 จำนวน 2 ซอง หรือเติม EM 1 ขวด ผสมกับกากน้ำตาล 5 กิโลกรัม กวนผสมให้เข้ากัน
- 2) นำของผสมที่ได้เทลงไปในถังหมัก ปิดฝาถังให้แน่น แล้วเก็บไว้ในที่ร่ม 20-30 วัน
- 3) เมื่อครบกำหนดกรองน้ำหมัก บรรจุใส่ขวดพลาสติก ปิดฝาให้แน่น
- 4) การใช้ประโยชน์ ให้ทำการเจือจางด้วยน้ำในอัตราส่วนน้ำหมัก 1.5 ลิตร ต่อน้ำ 200 ลิตร นำไปใช้ฉีดพ่นไล่แมลงในต้นพืช ในช่วงเช้าหรือช่วงเย็น

4.1.2 ผลการศึกษาคัดเลือกจุลินทรีย์และสูตรการทำน้ำหมักหรือปุ๋ยน้ำชีวภาพเพื่อใช้ในเซลล์ไฟฟ้า

การคัดเลือกจุลินทรีย์และสูตรการทำน้ำหมักชีวภาพ หรือปุ๋ยน้ำชีวภาพ ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพต่อไป จะพิจารณาจากความสามารถในการนำไฟฟ้า และค่าความต่างศักย์ของสูตรการทำน้ำหมักหรือปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ระยะเวลาในการหมัก 15 วัน โดยสูตรการหมัก โดยการใช้เชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งต่าง ที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าและให้ค่าความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดสูง ซึ่งผลจากการวัดค่าการนำไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้ในการศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายและค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยน้ำชีวภาพแต่ละชนิด

สูตร	ที่มาของจุลินทรีย์	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ค่าความต่างศักย์ (mV)
น้ำหมักชีวภาพผลไม้ 1	ธรรมชาติ	12.15	130
น้ำหมักชีวภาพผลไม้ 2	ธรรมชาติ	11.58	125
น้ำหมักชีวภาพผลไม้ 3	ธรรมชาติ	10.05	90.1
น้ำหมักชีวภาพจากปลา	ธรรมชาติ	8.34	42.6
น้ำหมักชีวภาพจากผัก	ธรรมชาติ	7.52	40.4
ปุ๋ยน้ำชีวภาพจากขยะ 1	EM	10.81	108
ปุ๋ยน้ำชีวภาพจากขยะ 2	พด.2	10.53	101
ปุ๋ยน้ำชีวภาพจากสัตว์	พด.3	7.66	86.7
ปุ๋ยน้ำชีวภาพจากหน่อไม้	ธรรมชาติ	9.74	99.5
ปุ๋ยน้ำชีวภาพจากผลไม้	EM	9.32	95.5

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพทุกสูตรมีค่าสูงกว่า 7.0 ds/m โดยเฉพาะน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมได้จากการใช้สับปะรดและการใช้กล้วย ในขณะที่หากใช้เป็นผลไม้ผสมจะมีค่าการนำไฟฟ้าลดลง สำหรับปุ๋ยน้ำชีวภาพที่หมักจากการใช้ขยะโดยใช้จุลินทรีย์ ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยน้ำชีวภาพที่หมักโดยใช้ EM ให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาได้แก่ปุ๋ยน้ำชีวภาพที่หมักจากขยะโดยใช้จุลินทรีย์เป็น พด. 2 และรองลงมาได้แก่ปุ๋ยน้ำชีวภาพจากหน่อไม้ จากผลไม้ และจากสัตว์ ตามลำดับ สำหรับค่าความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าโดยการทดสอบด้วยการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วโลหะที่ใช้ทดสอบ ซึ่งอ่านได้จากเครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล พบว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพของสับปะรดให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาได้แก่น้ำหมักชีวภาพจากกล้วย จากการหมักผลไม้รวม จากการหมักเศษปลา และจากการหมักเศษผักตามลำดับ สำหรับปุ๋ยน้ำชีวภาพที่หมักได้จากจากเศษขยะอาหารโดยใช้ EM ให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์สูงสุด รองลงมาได้จากการหมักเศษขยะอาหารโดยใช้ พด.2 รองลงมาคือปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ได้จากการหมักหน่อไม้โดยใช้ EM และปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ได้จากผลไม้ และปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ได้จากสัตว์ ตามลำดับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้คัดเลือกใช้สูตรน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้โดยใช้สับปะรดและกล้วยเป็นวัตถุดิบ และเลือกใช้สูตรการเตรียมปุ๋ยน้ำชีวภาพจากเศษหน่อไม้ และสูตรการเตรียมปุ๋ยน้ำชีวภาพจากเศษขยะอาหาร จำนวนทั้งหมด 5 สูตร ในการศึกษาทดลองในขั้นตอนการทำเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพในขั้นตอนต่อไป

4.2 ผลการศึกษาการเตรียมชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ

ในการศึกษาในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดลองอยู่ 2 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ การศึกษาการเตรียมชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพที่ใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ และการศึกษาการเตรียมเศษขยะและชีวมวลตามสูตรการหมัก การย่อยสลาย และการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า ผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้

4.2.1 ผลการศึกษาการเตรียมเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพในห้องปฏิบัติการ

4.2.1.1 การออกแบบชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพระดับห้องปฏิบัติการ

การออกแบบชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยส่วนของภาชนะที่มีการดัดแปรเพื่อให้เหมาะสมกับการศึกษา โดยภาชนะพลาสติกด้านล่างใช้สำหรับบรรจุสารละลายที่มีความหวานสังเคราะห์ปริมาตร 500 ml ส่วนภาชนะพลาสติกด้านบนทำการเจาะรูหลาย ๆ รูที่กั้นภาชนะโดยใช้แผ่นเซลล์ลูโลส (dialysis membrane) และผ้าขาวบางซ้อนกันเป็นชั้นติดกับกั้นภาชนะที่เจาะรูนั้น ซึ่งภาชนะด้านบนนี้จะบรรจุน้ำกลั่นปริมาตร 500 ml ดังนั้นเซลล์ไฟฟ้าระดับห้องปฏิบัติการนี้จึงมีปริมาตรรวม 1000 ml สำหรับขั้วแอโนด (anode) และขั้วแคโทด (cathode) ที่ใช้ในเซลล์ไฟฟ้าจะใช้แท่งแกรไฟต์ ขั้วไฟฟ้าโลหะสังกะสีและขั้วไฟฟ้าโลหะทองแดง เป็นอิเล็กโทรด โดยอิเล็กโทรดทั้งสองขั้วอยู่ห่างกันประมาณ 10 cm ใช้สายไฟทองแดงยาว 55 cm ต่อเชื่อมวงจรระหว่างขั้วไฟฟ้าผ่านเครื่องมัลติมิเตอร์เพื่ออ่านค่า ด้านบนของภาชนะจะเจาะรูเพื่อใส่สายยาง 2 เส้น โดยเส้นแรกใช้สำหรับการเติมออกซิเจน ส่วนเส้นที่สองใช้สำหรับการระบายแก๊สที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะและส่วนประกอบของชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพระดับห้องปฏิบัติการ

4.2.1.2 ผลการศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพระดับห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาสมรรถนะของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำมะพร้าว น้ำหอมอ่อนผสมกับน้ำตาล (น้ำตาลซูโครส) เพื่อให้มีค่าความหวานประมาณ 22 %Brix (ความเข้มข้นสารละลายซูโครสประมาณ 20 % wt/v) จากการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมะพร้าวอ่อน

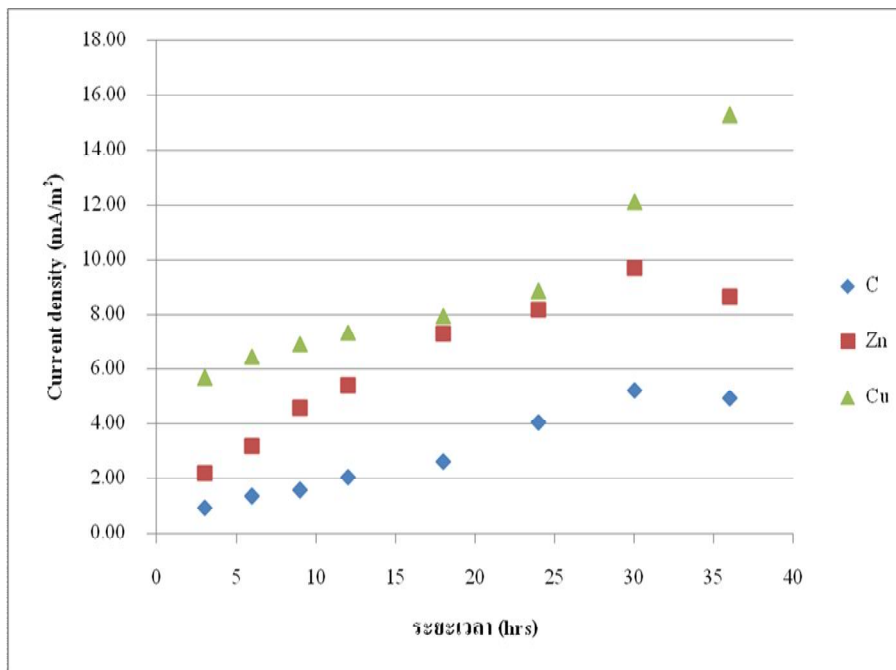
เบื้องต้นพบว่ามีความ pH เท่ากับ 6.08 มีค่าการนำไฟฟ้า 19.22 mS มีค่าความหวาน 7.2 %Brix และมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ reducing sugar 4.4% , โปแตสเซียม 290 mg%, โซเดียม 42 mg%, แคลเซียม 44 mg%, และเหล็ก 106 mg% (Krishnankutty, 1987) เมื่อต่อครบวงจรโดยใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วคาร์บอน ขั้วสังกะสี และขั้วทองแดง พบว่าแต่ละเซลล์ไฟฟ้ามีความต้านทานของวงจร $\approx 27\text{ k}\Omega$, $12\text{ k}\Omega$ และ $6\text{ k}\Omega$ ตามลำดับ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่เวลาผ่านไป 36 ชั่วโมง จากการอ่านค่ากระแสและความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์ แสดงได้ดังตารางที่ 4.3-4.4 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ที่เปลี่ยนแปลงไปที่เวลาต่างๆ

เวลาที่ผ่านไป (hrs)	ขั้วไฟฟ้าคาร์บอน		ขั้วไฟฟ้าสังกะสี		ขั้วไฟฟ้าทองแดง	
	I (μA)	V (mV)	I (μA)	V (mV)	I (μA)	V (mV)
3	1.3	35.8	8.7	113.6	22.8	136.8
6	1.9	52.1	12.8	163.8	25.8	149.6
9	2.2	60.5	18.3	238.2	27.6	162.8
12	2.8	76.7	21.6	267.8	29.4	189.2
18	3.6	101.7	29.2	358.4	31.8	198.8
24	5.6	152.3	32.8	403.6	35.5	223.6
30	7.2	189.6	38.8	427.7	48.5	335.8
36	6.8	178.4	34.6	412.1	61.2	438.2

ตารางที่ 4.4 แสดง Current density Potential density และ Power density ที่เปลี่ยนแปลงไปที่เวลาต่างๆ ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

เวลาที่ผ่านไป (hrs)	ขั้วไฟฟ้าคาร์บอน			ขั้วไฟฟ้าสังกะสี			ขั้วไฟฟ้าทองแดง		
	I density (mA/m^2)	V density (V/m^2)	P density (mW/m^2)	I density (mA/m^2)	V density (V/m^2)	P density (mW/m^2)	I density (mA/m^2)	V density (V/m^2)	P density (mW/m^2)
3	0.94	25.92	0.0337	2.18	28.40	0.2471	5.70	34.20	0.7798
6	1.38	37.73	0.0717	3.20	40.95	0.5242	6.45	37.40	0.9649
9	1.59	43.81	0.0964	4.58	59.55	1.0898	6.90	40.70	1.1233
12	2.03	55.54	0.1555	5.40	66.95	1.4461	7.35	47.30	1.3906
18	2.61	73.64	0.2651	7.30	89.60	2.6163	7.95	49.70	1.5805
24	4.06	110.28	0.6176	8.20	100.90	3.3095	8.88	55.90	1.9845
30	5.21	137.29	0.9885	9.70	106.93	4.1487	12.13	83.95	4.0716
36	4.92	129.18	0.8784	8.65	103.03	3.5647	15.30	109.55	6.7045



รูปที่ 4.2 แสดงค่า Current density (mA/m^2) ที่เวลาต่าง ๆ จากการใช้ขั้วไฟฟ้าของเซลล์ชนิดต่าง ๆ

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.2 แสดงให้ทราบว่าเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพที่ใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นแท่งคาร์บอน แผ่นโลหะสังกะสี และแผ่นโลหะทองแดง เมื่อเวลาผ่านไป 30 ชั่วโมง มีค่า current density เท่ากับ 5.21 mA/m^2 , 9.70 mA/m^2 และ 12.13 mA/m^2 ตามลำดับ และเมื่อเวลาผ่านไปครบ 36 ชั่วโมง มีแนวโน้มค่าความหนาแน่นกระแสลดลงสำหรับเซลล์ไฟฟ้าที่ใช้ขั้วคาร์บอนและโลหะสังกะสี ขณะที่การใช้ขั้วโลหะทองแดงยังมีค่าความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นเป็น 15.30 mA/m^2 และก็เป็นไปในลักษณะเดียวกับสำหรับค่า potential density ที่ตรวจพบและค่า power density ที่คำนวณได้ โดยการใช้โลหะทองแดงเป็นขั้วไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปและมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้แท่งคาร์บอนหรือโลหะสังกะสี เป็นอิเล็กโทรด และมีต้นทุนในการเตรียมชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพนี้ต่ำกว่า 200 บาท เมื่อตรวจวัดค่าความหวานของสารละลายสังเคราะห์พบว่ามีค่าประมาณ 17 %Brix แสดงว่าสารละลายสังเคราะห์ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพนี้มีค่าความหวานลดลงประมาณ 5 %Brix ในระยะเวลา 36 ชั่วโมง หรือคาดการณ์ได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพนี้มีการลดลงของความหวาน $0.1389 \text{ \%Brix hr}^{-1}$ ในการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า สารละลายน้ำหมักมีค่าพีเอช 4.56 และค่าการนำไฟฟ้า 9.01 mS ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบเซลล์ไฟฟ้าในระดับห้องปฏิบัติการลักษณะนี้สามารถใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้จริง และสามารถนำไปใช้สำหรับการออกแบบเซลล์ไฟฟ้าในระดับภาคสนามที่จะนำไปใช้จริงสำหรับชาวบ้านในชุมชน โดยการใช้ขั้วไฟฟ้าโลหะทองแดงเป็นอิเล็กโทรดจึงมีความเหมาะสมที่สุดเพื่อเปรียบเทียบการใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นคาร์บอนหรือโลหะสังกะสี เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาดแล้ว มีความสะดวกในการใช้งาน และให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในปริมาณที่ยอมรับได้

4.3 ผลการศึกษาการออกแบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพระดับภาคสนาม

4.3.1 ผลการออกแบบชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพระดับภาคสนาม

ขั้นตอนนี้ได้ทำการออกแบบชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพระดับภาคสนาม โดยการขยายปริมาณและขนาดของภาชนะที่ใช้หมักใหญ่ขึ้นขนาด 10 ลิตร เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับการทำน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่นิยมทำกันโดยทั่วไปได้ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทองแดงที่หาซื้อได้ง่ายทั่วไปตามท้องตลาดและมีความสะดวกในการใช้งาน การออกแบบชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพระดับภาคสนามนี้ ประกอบด้วยส่วนของภาชนะพลาสติกขนาด 10 ลิตร ด้านบนของภาชนะจะเจาะรูเพื่อใส่สายยาง 2 เส้น โดยเส้นแรกใช้สำหรับการเติมออกซิเจน ส่วนเส้นที่สองใช้สำหรับการระบายแก๊สที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ในส่วนของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ขั้วแอโนด) ใช้เป็นแท่งทองแดงแทรกอยู่ในวัสดุสำหรับการหมักที่คลุกเคล้าด้วยน้ำตาลทรายแดงหรือกากน้ำตาลและเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้แล้วห่อด้วยผ้าขาวบางหนา 3-4 ชั้น ส่วนของการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (ขั้วแคโทด) คือ แท่งทองแดงที่จุ่มอยู่ในน้ำภายในถังภาชนะ โดยแท่งทองแดงมีรัศมี 5 mm แต่ละขั้วใช้ความยาว 15 cm ในการเกิดปฏิกิริยา จึงมีพื้นที่ผิวที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาประมาณ 4,714 mm² ส่วนที่เหลือนอกจากนั้นใช้เทปลอน ท่อยางซิลิโคน เทปพันสายไฟ และดินน้ำมันห่อเป็นฉนวนเพื่อไม่ให้สัมผัสกับส่วนที่เกิดปฏิกิริยา อิเล็กโทรดทั้งสองขั้วอยู่ห่างกันประมาณ 10 cm ใช้สายไฟทองแดงยาวประมาณ 70 cm ต่อเชื่อมวงจรระหว่างขั้วไฟฟ้าผ่านเครื่องมัลติมิเตอร์เพื่ออ่านค่า มีต้นทุนในการประดิษฐ์ประมาณ 350 บาท ลักษณะของชุดอุปกรณ์และส่วนประกอบต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะและอุปกรณ์ของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพระดับภาคสนาม

4.3.2 ผลการศึกษามรรถนะและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์จริง

จากการออกแบบและประดิษฐ์เซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพขนาดภาชนะ 10 ลิตร โดยใช้ขั้วโลหะทองแดงเป็นอิเล็กโทรด เมื่อนำมาศึกษามรรถนะของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพที่ได้ โดยทดสอบการผลิตกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าจากการหมักเศษขยะอินทรีย์ ได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก ผลไม้ (ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบแสดงไว้ในภาคผนวก) จากสูตรของการหมักที่ได้

ทำการคัดเลือกมาแล้วในตอนที 4.1.2 จากการตรวจสอบค่าความหวานของสารผสมที่ใช้พบว่ามีค่าไม่เกิน 15 %Brix ผลที่ได้จากการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สมรรถนะของเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพในการสร้างกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ของเซลล์ และกำลังไฟฟ้าของเซลล์ จากการหมักเศษขยะอินทรีย์ โดยใช้สูตรการหมักต่าง ๆ

สูตรการหมัก /วัน	ค่ากระแสไฟฟ้า ที่วัดได้ (μA)	ค่าความต่าง ศักย์ของเซลล์ (mV)	Current density (mA/m^2)	Potential density (V/m^2)	Power density (mW/m^2)
สูตรที่ 1 : นำหมักชีวภาพเตรียมจากสับปะรด					
วันที่ 1 (24 hrs)	65.3	250.2	13.85	53.08	3.47
วันที่ 3 (72 hrs)	120.3	493.5	25.52	104.69	12.59
วันที่ 5 (120 hrs)	98.8	375.8	20.96	79.72	7.88
สูตรที่ 2 : นำหมักชีวภาพเตรียมจากกล้วย					
วันที่ 1 (24 hrs)	60.2	200.4	12.77	42.51	2.56
วันที่ 3 (72 hrs)	112.7	465.1	23.91	98.66	11.12
วันที่ 5 (120 hrs)	73.3	287.3	15.55	60.95	4.47
สูตรที่ 3 : ปุ๋ยน้ำชีวภาพเตรียมจากเศษอาหาร + EM					
วันที่ 1 (24 hrs)	45.4	150.3	9.63	31.88	1.45
วันที่ 3 (72 hrs)	101.1	384.4	21.45	81.54	8.24
วันที่ 5 (120 hrs)	63.1	244.5	13.39	51.87	3.27
สูตรที่ 4 : ปุ๋ยน้ำชีวภาพเตรียมจากเศษอาหาร + พด.2					
วันที่ 1 (24 hrs)	42.1	145.2	8.93	30.80	1.30
วันที่ 3 (72 hrs)	52.5	195.3	11.14	41.43	2.18
วันที่ 5 (120 hrs)	40.8	157.2	8.66	33.35	1.36
สูตรที่ 5 : ปุ๋ยน้ำชีวภาพเตรียมจากหน่อไม้ + EM					
วันที่ 1 (24 hrs)	38.3	102.4	8.12	21.72	0.83
วันที่ 3 (72 hrs)	49.6	186.5	10.52	39.56	1.96
วันที่ 5 (120 hrs)	34.2	133.1	7.25	28.24	0.97

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพที่ผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากกระบวนการเตรียมน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ได้ยังมีปริมาณของกระแสไฟฟ้าไม่สูงมากนัก และในแต่ละเซลล์ไฟฟ้าจากน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากสับปะรดและกล้วย มีค่าความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าสูงสุด

ประมาณ 500 mV หรือ 0.5 V มีค่าความต้านทานรวมของวงจรเซลล์ไฟฟ้าประมาณ 4 k Ω โดยเซลล์ไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากสับปะรดมีค่า current density, potential density และ power density เท่ากับ 25.52 mA/m², 104.69 V/m² และ 12.59 mW/m² ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไป 3 วัน (72 hrs) และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 5 วัน ซึ่งแสดงผลในแนวโน้มเดียวกันกับเซลล์ไฟฟ้าของน้ำหมักชีวภาพจากกล้วย และปุ๋ยน้ำชีวภาพ โดยการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพนี้มีสมรรถนะในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดีในช่วงระยะเวลา 5 วัน แรกของการหมัก สำหรับการนำเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพนี้ไปใช้ประโยชน์ ควรนำเซลล์ไฟฟ้าต่อเป็นวงจรแบบอนุกรม เพื่อให้มีค่าความต่างศักย์รวมประมาณ 1.5 V ซึ่งจะสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้กับหลอดไฟขนาดเล็ก หรือนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีหลอด LED เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงได้ หรือนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานสำหรับอุปกรณ์ที่ต้องการกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำๆ เป็นต้น แต่ทั้งนี้การพัฒนาเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพในครั้งนี้อาจมีสิ่งที่ยังต้องศึกษาต่อไปเพื่อเพิ่มสมรรถนะและพัฒนาขีดความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าและการนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้นดังนี้

1. ควรศึกษาถึงรูปแบบและรูปทรงของขั้วไฟฟ้าที่สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้น เพื่อให้สามารถสร้างกระแสไฟฟ้า และมีค่าความต่างศักย์ของเซลล์ให้มากขึ้น
2. ควรมีการพัฒนาถังหมักที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาให้มีขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น และดัดแปลงส่วนประกอบภายในถังเพื่อให้ส่วนของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันเกิดปฏิกิริยาได้เพิ่มขึ้น และลดสิ่งรบกวนที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา
3. ควรมีการทดสอบสูตรในการหมักจากสารอินทรีย์ หรือขยะการเกษตรในลักษณะอื่น รวมถึงเชื้อจุลินทรีย์ หรือเชื้อแบคทีเรียอื่น ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น
4. ควรมีการทดสอบการใช้สารเคมีช่วยในการนำไฟฟ้า หรือสารอิเล็กโทรไลต์ ในการหมักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านอิเล็กตรอนและการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี

4.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยน้ำชีวภาพ และเศษกากเหลือทิ้ง

ภายหลังจากการหมักเสร็จสิ้นสมบูรณ์ เมื่อนำน้ำหมักชีวภาพหรือปุ๋ยน้ำชีวภาพของแต่ละสูตรการหมักมาวิเคราะห์คุณภาพ รวมถึงการนำกากที่เหลือทิ้งจากการหมักมาวิเคราะห์คุณภาพ เพื่อที่จะมีแนวทางการนำผลพลอยได้จากกระบวนการเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรกรรม ซึ่งผลการศึกษาวเคราะห์คุณภาพแต่ละอย่างเป็นดังนี้

สูตรที่ 1 : น้ำหมักชีวภาพเตรียมจากสับปะรด

สูตรที่ 2 : น้ำหมักชีวภาพเตรียมจากกล้วย

สูตรที่ 3 : ปุ๋ยน้ำชีวภาพเตรียมจากเศษอาหาร + EM

สูตรที่ 4 : ปุ๋ยน้ำชีวภาพเตรียมจากเศษอาหาร + พด.2

สูตรที่ 5 : ปุ๋ยน้ำชีวภาพเตรียมจากหน่อไม้ + EM

4.3.3.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพ

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพ ได้แก่ ความเป็นกรดต่าง และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางกายภาพของน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้

สูตรการเตรียม	ค่าความเป็นกรดต่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)
สูตร 1	3.77	17.81
สูตร 2	3.81	15.62
สูตร 3	4.03	13.16
สูตร 4	4.98	12.20
สูตร 5	4.12	12.63

4.3.3.2 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลัก N P K ในน้ำหมักชีวภาพ และปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้จากสูตรต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณธาตุอาหารหลัก N P K ที่พบในน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้

สูตรการเตรียม	ปริมาณร้อยละของธาตุอาหาร		
	N	P	K
สูตร 1	0.25	0.04	1.35
สูตร 2	0.25	0.03	1.73
สูตร 3	0.25	0.12	3.08
สูตร 4	0.39	0.40	2.58
สูตร 5	0.38	0.24	4.41

4.3.3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วนของ C/N ในน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของอินทรีย์คาร์บอน (% Organic Carbon, % OC) ร้อยละของอินทรีย์วัตถุ (% Organic Matter, % OM) และอัตราส่วนของ C/N โดยวิธีการประยุกต์ใช้ของ Walkley and Black ที่พบในปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้จากสูตรต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วนของ C/N ที่พบในน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้

สูตรการเตรียม	ปริมาณร้อยละ		C/N ratio
	OC	OM	
สูตร 1	1.47	2.52	5.88
สูตร 2	1.46	2.52	5.84
สูตร 3	8.96	15.41	35.84
สูตร 4	3.45	5.93	8.84
สูตร 5	5.57	6.14	14.65

4.3.3.4 ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักในกากเหลือทิ้งจากระบวนการ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลัก N P K ในกากที่เหลือทิ้งจากระบวนการทำน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้จากสูตรต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณธาตุอาหารหลัก N P K ที่พบในกากที่เหลือทิ้งจากการทำน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้

สูตรการเตรียม	ปริมาณร้อยละของธาตุอาหาร		
	N	P	K
สูตร 1	0.15	0.02	1.12
สูตร 2	0.12	0.01	1.37
สูตร 3	0.18	0.08	2.51
สูตร 4	0.18	0.32	1.75
สูตร 5	0.22	0.12	2.77

4.3.3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วนของ C/N ในกากที่เหลือทิ้งจากการทำน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละของอินทรีย์คาร์บอน (% Organic Carbon, % OC) ร้อยละของอินทรีย์วัตถุ (% Organic Matter, % OM) และอัตราส่วนของ C/N ที่พบในกากที่เหลือทิ้งจากการทำปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้จากสูตรต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วนของ C/N ที่พบในกากที่เหลือทิ้งจากการทำน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้

สูตรการเตรียม	ปริมาณร้อยละ		C/N ratio
	OC	OM	
สูตร 1	2.76	4.75	18.4
สูตร 2	2.53	4.36	21.08
สูตร 3	4.16	7.17	23.11
สูตร 4	3.65	6.29	20.27
สูตร 5	3.84	6.62	17.45

4.3.3.5 ผลการศึกษาปริมาณโลหะที่ตรวจพบในน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่ตรวจพบอยู่ในน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้จากสูตรการเตรียมต่าง ๆ โดยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทสโคปี ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ปริมาณโลหะหนักที่ตกค้างอยู่ในน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้

สูตรของการเตรียม	ปริมาณโลหะที่ตรวจพบ(mg/L)					
	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd
สูตร 1	22	12	10	10	0.01	NA
สูตร 2	25	8	8	14	0.02	NA
สูตร 3	80	37	18	12	NA	NA
สูตร 4	75	28	18	15	NA	NA
สูตร 5	60	20	14	11	NA	NA

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดยกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ 1) เพื่อศึกษาด้านแบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากกระบวนการหมัก 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ 3) เพื่อแก้ไขปัญหาด้านการจัดการขยะของมหาวิทยาลัยและของเกษตรกร และ 4) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัยและข้อมูลด้านการออกแบบเครื่องมือและการพัฒนาไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแก่ท้องถิ่น ซึ่งการดำเนินการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะที่ 1 ทำการศึกษาการคัดเลือกชนิดจุลินทรีย์และสูตรการเตรียมน้ำหมักและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพ ระยะที่ 2 ทำการศึกษาการเตรียมชุดเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิงจุลชีพขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการและทำการศึกษาการทำงานของเซลล์และประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า และระยะที่ 3 ทำการออกแบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพในระดับภาคสนาม ที่เป็นการใช้งานจริง ผลิตชุดอุปกรณ์เครื่องมือและศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องมือจากการใช้งานในภาคสนาม โดยการทำการวิจัยตามระยะต่างๆ สรุปได้ดังนี้

จากการสำรวจจุลินทรีย์และแหล่งที่มา ที่มีการนำมาใช้ผลิตน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพ ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่านิยมใช้จุลินทรีย์จาก EM ที่วางขายตามท้องตลาด ใช้จุลินทรีย์ พด.1, พด.2, พด.3 และ พด.7 จากกรมพัฒนาที่ดิน รวมถึงการใช้จุลินทรีย์จากธรรมชาติในการหมัก โดยสูตรการเตรียมน้ำหมักชีวภาพที่สำรวจมาพบว่า มีการทำสูตรการทำน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้ (ทั้งผลไม้รสหวานและผลไม้รสเปรี้ยว) น้ำหมักชีวภาพจากพืชสีเขียว น้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาและเนื้อสัตว์ น้ำหมักชีวภาพจากพืชเพื่อใช้ไล่แมลง และมีการทำปุ๋ยน้ำชีวภาพจากเศษอาหาร ปุ๋ยน้ำชีวภาพจากหน่อไม้หรือหน่อกล้วย ปุ๋ยน้ำชีวภาพจากสัตว์ ปุ๋ยน้ำชีวภาพจากพืช และปุ๋ยน้ำชีวภาพจากผลไม้ ซึ่งในการนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยนิยมใช้จุลินทรีย์จาก EM, พด.2 หรือใช้จุลินทรีย์จากดินในกระบวนการหมัก ส่วนการใช้เป็นฮอร์โมนพืชนิยมใช้ พด.3 และ พด. 7 ในกระบวนการหมัก เมื่อพิจารณาคัดเลือกสูตรการเตรียมน้ำหมักชีวภาพหรือปุ๋ยน้ำชีวภาพที่มีศักยภาพในการนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแล้วพบว่า มีสูตรการเตรียมน้ำหมักชีวภาพและสูตรการเตรียมน้ำชีวภาพที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพได้ คือ 1) สูตรการเตรียมน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้สับปะรด 2) สูตรการเตรียมน้ำหมักชีวภาพจากผลไม้กล้วยน้ำว้า 3) สูตรการเตรียมน้ำชีวภาพจากเศษขยะอาหารโดยใช้จุลินทรีย์ EM 4) สูตรการเตรียมน้ำชีวภาพจากเศษขยะอาหาร โดยใช้จุลินทรีย์ พด.2 และ 5) สูตรการเตรียมน้ำชีวภาพจากเศษหน่อไม้ โดยใช้จุลินทรีย์จากดิน

ขั้นตอนต่อมาเป็นการศึกษาออกแบบชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพขนาดเล็กในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้ทำการออกแบบโดยใช้ภาชนะพลาสติกทรงกระบอก 2 ชั้นซ้อนกัน ชั้นบนเจาะรูและห่อหุ้มด้วยแผ่นไคโอส (cellulose membrane) และผ้าขาวบาง มีปริมาตรรวมกันทั้งหมดประมาณ 1 ลิตร ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าด้านล่างทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด (เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน) และมีขั้วไฟฟ้าด้านบนทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด (เกิดปฏิกิริยารีดักชัน) และมีการต่อสายยางเพื่อส่งแก๊สออกซิเจนและสายยางระบายแก๊สทางด้านบนของภาชนะเพื่อช่วยให้การเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ภายในภาชนะด้านบนบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งใช้เป็นน้ำกลั่นปริมาตร 500 ml ส่วนภายในภาชนะด้านล่างบรรจุสารละลายสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมจากน้ำตาลซูโครส:น้ำมะพร้าวอ่อน:น้ำ ปริมาตรรวม 500 ml และจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา (จุลินทรีย์ EM 10 ml) ซึ่งการต่อวงจรทำโดยใช้สายไฟทองแดงต่อระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองและใช้เครื่องมือวัดแบบดิจิตอลในการอ่านค่า โดยค่าความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าสูงสุดที่พบคือ 438.2 mV และมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น 61.2 μA ที่เวลาผ่านไปนาน 36 ชั่วโมง จากการใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะทองแดงที่มีพื้นที่ผิว 4,000 mm^2 และมีค่า current density 15.30 mA/m^2 , potential density 109.55 V/m^2 และ power density 6.7045 mW/m^2 ซึ่งมากกว่าการใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วคาร์บอน และขั้วโลหะสังกะสี

ขั้นตอนต่อมาเป็นการออกแบบชุดเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพภาคสนาม ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าร่วมกับกระบวนการทำน้ำหมักชีวภาพหรือปุ๋ยน้ำชีวภาพในสเกลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอยู่ในระดับที่นิยมทำกันโดยทั่วไป โดยใช้ภาชนะพลาสติกแข็งขนาด 10 ลิตร ฝาถังเจาะรู 2 รู เพื่อใส่สายยาง 2 เส้น โดยเส้นหนึ่งทำหน้าที่ระบายแก๊สมีเทนออกจากส่วนการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งปลายของท่อสายยางนี้จุ่มอยู่ในน้ำที่อยู่ในภาชนะอีกใบหนึ่ง ส่วนสายยางเส้นที่สองทำหน้าที่เดิมแก๊สออกซิเจนและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ให้กับเซลล์ไฟฟ้า ภายในถังพลาสติกประกอบด้วยแท่งทองแดงซึ่งใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแอโนด (เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน) ที่ต่อด้วยสายไฟทองแดง ผึงเช้อยู่ในส่วนของการหมักเศษวัสดุกับจุลินทรีย์ซึ่งห่อด้วยผ้าขาวบางสองชั้น ส่วนขั้วแคโทดซึ่งใช้แท่งทองแดงอยู่ส่วนด้านบนผิวของสารละลายต่อด้วยสายไฟทองแดง ด้านบนของภาชนะมีท่อที่เดิมอากาศเพิ่มออกซิเจนเข้าเพื่อช่วยในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน เมื่อต่อครบวงจรทำการอ่านค่าโดยใช้เครื่องมือวัดแบบดิจิตอลผลที่ได้พบว่า การหมักน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากสับปะรด ให้ค่าความต่างศักย์ของเซลล์สูงสุด ที่ 493.5 mV หรือประมาณ 0.5 V และให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 120.3 μA มีค่า current density 25.52 mA/m^2 , potential density 104.69 V/m^2 และ power density 12.59 mW/m^2 รองลงมาได้แก่ การหมักน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากกล้วย การหมักปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมจากเศษอาหาร โดยใช้ EM การหมักปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมจากเศษอาหารโดยใช้สารพด.2 และการหมักปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมจากหน่อไม้โดยใช้ EM ตามลำดับ โดยระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพนี้อยู่ในช่วงระยะเวลา 1-5 วันแรกของการหมัก ดังนั้นแนวทางการนำเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพไปใช้งานในด้านเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าอาจทำได้โดยการนำแต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้มีค่าความต่างศักย์

และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการใช้กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าไม่สูงมากนักได้

นอกจากนี้จากการศึกษาผลพลอยได้จากระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ ซึ่งสิ่งที่ได้คือ น้ำหมักชีวภาพ หรือปุ๋ยน้ำชีวภาพ และเศษกากที่เหลือจากการกรอง ซึ่งจากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารหลัก พบว่าน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพ มีปริมาณร้อยละไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.25 – 0.39 มีปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.03-0.40 และมีปริมาณร้อยละโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 1.35-4.41 ตามลำดับ ส่วนกากที่เหลือจากระบวนการหมักมีปริมาณร้อยละไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.12 – 0.22 มีปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.01-0.32 และมีปริมาณร้อยละโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 1.12-2.77 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วน C/N โดยวิธีการประยุกต์ใช้ของ Walkley and Black พบว่า น้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ได้มีปริมาณร้อยละอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 1.46-8.96 มีปริมาณร้อยละอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 2.52-15.41 และมี C/N ration อยู่ระหว่าง 5.84-35.84 ตามลำดับ สำหรับกากที่เหลือทิ้งจากระบวนการทำน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ได้มีปริมาณร้อยละอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 2.53-4.16 มีปริมาณร้อยละอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 4.36-7.17 และมี C/N ration อยู่ระหว่าง 17.45-23.11 ตามลำดับ อีกทั้งการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่พบในน้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยน้ำชีวภาพที่เตรียมได้ในแต่ละสูตร มีปริมาณโลหะเหล็ก (Fe) อยู่ระหว่าง 22-80 ppm มีปริมาณโลหะแมงกานีส (Mn) อยู่ระหว่าง 8-37 ppm มีปริมาณโลหะคอปเปอร์ (Cu) อยู่ระหว่าง 8- 18 ppm และมีปริมาณโลหะสังกะสี (Zn) อยู่ระหว่าง 10-15 ppm โดยตรวจพบโลหะหนักตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) อยู่ในปริมาณน้อยมากจนไม่พบเลย

ดังนั้นจากการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดยกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านการจัดการขยะอินทรีย์ที่มีอยู่เพื่อให้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ ซึ่งจากระบวนการหมักทำให้ได้น้ำหมักชีวภาพและปุ๋ยหมักชีวภาพที่สามารถนำไปใช้ในการเกษตรอินทรีย์ได้ แต่ทั้งนี้ในการประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพเพื่อการผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์นี้ยังมีประสิทธิภาพและสมรรถนะไม่สูงมากนักในการนำไปใช้ประโยชน์จริง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาต่อไปดังนี้

1. ควรศึกษาถึงรูปแบบและรูปทรงของขั้วไฟฟ้าที่สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้น เพื่อให้สามารถสร้างกระแสไฟฟ้า และมีค่าความต่างศักย์ของเซลล์ให้มากขึ้น
2. ควรศึกษาการใช้ภาชนะที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและดัดแปลงส่วนประกอบภายในถังเพื่อให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันเกิดปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้นและลดสิ่งรบกวนที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา
3. ควรมีการทดสอบสูตรในการหมักจากสารอินทรีย์ หรือขยะการเกษตรในลักษณะอื่น รวมถึงเชื้อจุลินทรีย์ หรือเชื้อแบคทีเรียอื่น ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น
4. ควรมีการทดสอบการใช้สารเคมีช่วยในการนำไฟฟ้า หรือสารอิเล็กทรอนิกส์ ในการหมักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งผ่านอิเล็กตรอนและการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี

เอกสารอ้างอิง

1. กันยรัตน์ โหละสุต ประสาท โพธิ์นัมแดง ทวิทย์ จันทร์สด กิตติมา งามสาย และสุทธิพร วาริสูงเนิน (2550). การผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียโดยใช้เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยว. *เอกสารสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 ประจำปี 2550*, หน้า2EFF1_1-EFF1_5.
2. ขนิษฐา หมูโสภัญ (2554). เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ : แนวทางใหม่เพื่อการผลิตพลังงาน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, ปีที่ 13 ฉบับที่ 1, หน้า 20-28.
3. ไชยวัฒน์ ไชยสุต. (2552). รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาการอยู่ร่วมกันของแบคทีเรียแลกติกและแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในกระบวนการผลิตน้ำหมักชีวภาพ. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4. ณัฐศิริ แสงธรรมธร. (2552). การผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5. นันทวัน ฤทธิเดช. (2550). รายงานการวิจัยเรื่อง การเปลี่ยนแปลงกลุ่มของจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักปุ๋ยน้ำชีวภาพ. ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. ปริญญา ชัยการนาวิ. (2550). การผลิตปุ๋ยน้ำชีวภาพโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ดินในท้องถิ่น จังหวัดขอนแก่นและจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น
7. สุภาภรณ์ ศุภวิทยากินันท์. (2551). การผลิตไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. Zhong, C., Zhang, B., Kong, L., Xue, A., and Ni, J. 2011. Electricity generation from molasses wastewater by an anaerobic baffled stacking microbial fuel cell. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 86(3): p406-413.
9. Scott, K., and Murano, C. 2007. Microbial fuel cells utilizing carbohydrates. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 82 : p92-100.
10. Krisnankutty, S. 1987. Analysis of Mature and Tender Coconut Water. Coconut Board, India. <http://coconutboard.gov.in/tendnutr.htm#tender>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์หาปริมาณ N P K

การวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด (%Total N)

การหาปริมาณร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด โดยใช้วิธี Kjeldahl โดยการคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารมาตรฐาน HCl ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตก่อน ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณ เป็นดังนี้

สูตรการคำนวณหาความเข้มข้นของสารมาตรฐานของกรดไฮโดรคลอริก

$$N(HCl) = \frac{\text{น.น } Na_2CO_3 \text{ (g)} \times 1000 \times \text{ความบริสุทธิ์ของ } Na_2CO_3}{52.99 \times \text{ปริมาตรของ HCl (ml)} \times 1000}$$

สูตรการคำนวณหาปริมาณร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด

$$\% \text{ total N} = \frac{N(HCl) \times [\text{ปริมาตร HCl (ml)} - \text{ปริมาตร Blank (ml)}] \times 1.40067}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (g)}}$$

การวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสในรูปปริมาณร้อยละฟอสเฟตทั้งหมด (%P₂O₅)

การหาปริมาณร้อยละฟอสฟอรัสทั้งหมดในรูป %P₂O₅ โดยวิธี spectrophotometric molybdovanadophosphate ซึ่งคำนวณค่าโดยใช้สมการดังนี้

สูตรการคำนวณหาปริมาณร้อยละฟอสเฟตทั้งหมด (%P₂O₅)

$$\%P_2O_5 = \frac{2.2913 \times \text{ความเข้มข้นสารตัวอย่าง (ppm)} \times \text{ปริมาตรแรกที่ปรับ (ml)} \times \text{df} \times 1000}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)} \times 10^6}$$

หมายเหตุ ค่า df = dilution factor

การวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละโพแทสเซียมทั้งหมด (%K₂O)

การหาปริมาณร้อยละโพแทสเซียมทั้งหมดในรูป %P₂O₅ โดยวิธี flame photometric ซึ่งการคำนวณค่าทำได้โดยใช้สมการดังนี้

สูตรการคำนวณหาปริมาณร้อยละโพแทสเซียมทั้งหมด (%K₂O)

$$\%K_2O = \frac{1.2046 \times \text{ความเข้มข้นสารตัวอย่าง (ppm)} \times df \times 1000}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)} \times 10^6}$$

หมายเหตุ ค่า df = dilution factor

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วน C/N

การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณร้อยละอินทรีย์วัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ทำโดยใช้สูตรการคำนวณ ดังนี้

สูตรการคำนวณหาปริมาณร้อยละอินทรีย์คาร์บอน (Percent of Organic Carbon, % OC)

$$\% \text{ OC} = \frac{0.3896 \times [B \times \text{ปริมาตร FeSO}_4(\text{ml})] - 10}{\text{น้ำหนักของสารตัวอย่าง (g)}}$$

$$\text{เมื่อ } B = \frac{\text{ปริมาตรของ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ ที่เติมลงในสารตัวอย่างและแบลงค์ (ml)}}{\text{ปริมาตร FeSO}_4 \text{ (ml) ที่ไทเทรตพอดีกับ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ ในแบลงค์}}$$

สูตรการคำนวณหาปริมาณร้อยละอินทรีย์วัตถุ (Percent of Organic Material, % OM)

$$\% \text{ OM} = \% \text{ OC} \times 1.7241$$

สูตรการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (Carbon Nitrogen ration, C/N)

$$\text{ค่า C/N} = (\% \text{ OC}) \times (\% \text{ Total N})$$

ภาคผนวก ก

การคำนวณหา Current density, Potential density, Power density

ขั้วโลหะทองแดงที่ใช้มีพื้นที่ผิว $4,000 \text{ mm}^2$ วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ได้ $61.2 \mu\text{A}$ และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ 438.2 mV จะคำนวณค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

การคำนวณหาค่า Current density

$$\begin{aligned}\text{Current density} &= \frac{61.2 \mu\text{A} \times \frac{1\text{mA}}{10^3 \mu\text{A}}}{4000 \text{ mm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{10^6 \text{ mm}^2}} \\ \text{Current density} &= \frac{61.2 \times 10^3 \text{ mA}}{4000 \text{ m}^2} = 15.30 \text{ mA/m}^2\end{aligned}$$

การคำนวณหาค่า Potential density

$$\begin{aligned}\text{Potential density} &= \frac{438.2 \text{ mV} \times \frac{1 \text{ V}}{10^3 \text{ mV}}}{4000 \text{ mm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{10^6 \text{ mm}^2}} \\ \text{Potential density} &= \frac{438.2 \times 10^3 \text{ V}}{4000 \text{ m}^2} = 109.55 \text{ V/m}^2\end{aligned}$$

การคำนวณหาค่า Power density จาก $P = IV$

$$\begin{aligned}\text{Power density} &= \frac{61.2 \mu\text{A} \times \frac{1 \text{ A}}{10^6 \mu\text{A}} \times 438.2 \text{ mV} \times \frac{1 \text{ V}}{10^3 \text{ mV}} \times \frac{10^3 \text{ mW}}{1 \text{ W}}}{4000 \text{ mm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{10^6 \text{ mm}^2}} \\ \text{Power density} &= \frac{61.2 \times 438.2 \text{ mW}}{4000 \text{ m}^2} = 6.70 \text{ mW/m}^2\end{aligned}$$

ภาคผนวก ง

คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะพร้าวอ่อนที่เผยแพร่โดย Coconut Board ของประเทศอินเดีย

ข้อมูลการวิเคราะห์น้ำมะพร้าวแก่ (mature coconut water) และน้ำมะพร้าวอ่อน (tender coconut water)
ที่เผยแพร่โดย Coconut Board ของประเทศอินเดีย

Properties	Mature Coconut Water	Tender Coconut Water
Total solids %	5.4	6.5
Reducing sugars %	0.2	4.4
Minerals %	0.5	0.6
Protein %	0.1	0.01
Fat %	0.1	0.01
Acidity mg %	60.0	120.0
pH	5.2	4.5
Potassium mg %	247.0	290.0
Sodium mg %	48.0	42.0
Calcium mg %	40.0	44.0
Magnesium mg %	15.0	10.0
Phosphorous mg %	6.3	9.2
Iron mg %	79.0	106.0
Copper mg %	26.0	26.0

Source : Satyavati Krishnankutty (1987)

ภาคผนวก จ

ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการหมัก



เศษสับประรด



เศษกล้วย



เศษอาหารจากโรงอาหาร



เศษผักจากโรงอาหาร

จากวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาซึ่งประกอบด้วยเศษผัก เศษผลไม้ และเศษอาหารที่เหลือทิ้งจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งนำมาใช้ในการศึกษาในครั้งนี้จากการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของน้ำสับประรดที่คั้นได้จากเศษผลไม้พบว่ามีความ pH 3.80 มีค่าการนำไฟฟ้า 12.03 mS มีค่าความหวานประมาณ 7.6 %Brix สำหรับเศษขยะอาหารที่เหลือทิ้งจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์นั้นจากการจัดการเบื้องต้นจะคัดเอาแต่ส่วนที่เป็นของแข็งเท่านั้นซึ่งส่วนประกอบของเศษอาหารนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษอาหารข้าวเป็นส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 60 รองลงมาได้แก่เศษอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ไข่ ผัก ไขมัน และอื่น ๆ ปะปนกันอยู่ ประมาณร้อยละ 40

ภาคผนวก จ

ประมวลภาพการศึกษาวิจัย

