



การพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมผลิตภัณฑ์จากขยะและวัสดุเหลือทิ้งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว
PROTOTYPE INNOVATION DEVELOPMENT OF WASTE MATERIALS FOR GREEN UNIVERSITY



อมลวรรณ สิทธิวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมผลิตภัณฑ์จากขยะและวัสดุเหลือทิ้งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
คณะพัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

PROTOTYPE INNOVATION DEVELOPMENT OF WASTE MATERIALS FOR GREEN
UNIVERSITY



AMOLWAN SITTIWONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Environmental Technology & Resources Management)

Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมผลิตภัณฑ์จากขยะและวัสดุเหลือทิ้งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว

ของ

อมลวรรณ สิทธิวงศ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน)

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ฝิวินิล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรินทน์ งามนิยม)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมผลิตภัณฑ์จากขยะและวัสดุเหลือทิ้ง สู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว
ผู้วิจัย	อมลวรรณ สิทธิวงศ์
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางการจัดการขยะภายในมหาวิทยาลัยให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีเป้าหมายหลักในการส่งเสริมการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green University) ผ่านการสร้างนวัตกรรมจากวัสดุเหลือใช้ ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตัวกรองชีวภาพที่มีการหมุนเวียนน้ำ โดยใช้วัสดุตัวกลางชีวภาพจากขยะพลาสติกภายในมหาวิทยาลัยจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ฟิลเตอร์แมท (F1) เส้นใยโพลิโพรพิลีน (F2) และเส้นใยผักตบชวาร่วมกับขวดพลาสติก (F3) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ผลการทดลองพบว่า ระบบที่ใช้ F2 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด BOD และ COD คิดเป็นร้อยละ 85.7 และ 56.2 รองลงมาคือ F1 (ร้อยละ 85.1 และ 54.9) และ F3 (ร้อยละ 82.5 และ 54.2) ตามลำดับ ในด้านการผลิตปุ๋ยหมัก ใช้วัสดุอินทรีย์จากภายในมหาวิทยาลัยเป็นวัตถุดิบหลัก ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรพบว่า คุณสมบัติต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ ยกเว้นโพแทสเซียม ซึ่งมีปริมาณเพียงร้อยละ 0.36 โดยน้ำหนัก (ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ควรมากกว่าร้อยละ 0.5) และพบปริมาณแคดเมียม 6.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเกิดจากการปนเปื้อนของวัสดุตั้งต้น จากการประเมินศักยภาพในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่า หากสามารถนำขยะรีไซเคิลไปใช้ประโยชน์และผลิตปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมภายในมหาวิทยาลัยได้อย่างน้อย 47,178.59 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี งานวิจัยนี้ถือเป็นตัวอย่างของแนวทางการจัดการขยะที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่ม และสอดคล้องกับเกณฑ์ของ UI Green Metric ซึ่งใช้ประเมินความยั่งยืนของสถาบันอุดมศึกษาทั่วโลก โดยเฉพาะในหมวด “ของเสีย” ซึ่งมีน้ำหนักคะแนนร้อยละ 18 โดยพิจารณาจากการจัดการขยะ การนำกลับมาใช้ใหม่ การลดขยะ และการบำบัดของเสียอันตราย

คำสำคัญ: มหาวิทยาลัยสีเขียว วัสดุเหลือทิ้ง ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำ ตัวกลาง น้ำทิ้ง ปุ๋ยหมัก

Title	PROTOTYPE INNOVATION DEVELOPMENT OF WASTE MATERIALS FOR GREEN UNIVERSITY
Author	AMOLWAN SITTIWONG
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2024
Advisor	Naphat Phowan

This research aims to develop an effective waste management approach within the university to maximize resource utilization, with the primary goal of promoting the concept of a Green University. The study focuses on creating innovations from waste materials by designing a biofilter wastewater treatment system with water recirculation. Three types of biofilter media made from campus plastic waste were used: filter mat (F1), polypropylene fiber (F2), and a combination of water hyacinth fiber and plastic bottles (F3), to compare their efficiency in removing organic matter from wastewater. Experimental results revealed that F2 demonstrated the highest removal efficiency of BOD and COD, at 85.7% and 56.2%, respectively. This was followed by F1 (85.1% and 54.9%) and F3 (82.5% and 54.2%). For compost production, organic waste from within the university served as the primary raw material. According to the analysis based on standards set by the Department of Agriculture, the compost met most criteria, except for potassium content, which was 0.36% by weight (lower than the standard of >0.5%), and cadmium content, which was 6.8 mg/kg exceeding the permissible limit of 5 mg/kg. The excess cadmium may have originated from contamination in the raw materials. Greenhouse gas emission reduction potential was also assessed. If recyclable waste is properly utilized and organic waste is converted into compost, it is estimated that greenhouse gas emissions from university activities could be reduced by at least 47,178.59 kgCO₂eq per year. This study serves as an example of value-added waste management practices aligned with the UI Green Metric framework, particularly in the "Waste" category, which accounts for 18% of the total evaluation score. The criteria include waste management, reuse, reduction, and hazardous waste treatment.

Keywords: Green University, Waste Materials, Organic Matter, Removal Efficiency, Recirculating Filter Bio Reactor, Media, Effluent, Compost

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยและการศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลงได้ ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยเป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษาเสนอแนะแนวทางขั้นตอนในการปฏิบัติงาน สนับสนุนการดำเนินงาน เอาใจใส่ติดตามความก้าวหน้า ตลอดจนการตรวจทาน ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องจนโครงการวิจัยมีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ว่าที่ร้อยตรีอักษร ไข่บางยาง หัวหน้างานบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลศิริราช ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาอุปกรณ์และการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย อีกทั้งยังให้คำปรึกษาแนะแนวทางในการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศที่ได้ให้ความรู้ เสริมสร้างประสบการณ์ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัย ตลอดจนการติดต่อประสานงาน การสนับสนุนในรูปแบบต่าง ๆ จากเจ้าหน้าที่และบุคลากร งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ตลอดเส้นทางของการศึกษา ซึ่งเต็มไปด้วยความท้าทายและอุปสรรค ผู้วิจัยขอขอบคุณศิลปินวง NCT ซึ่งเป็นแรงบันดาลใจทางจิตใจ ด้วยบทเพลงและความมุ่งมั่นของพวกเขาเป็นแรงสนับสนุนทางจิตใจให้ผู้วิจัยก้าวข้ามความเหนื่อยล้า และไม่ละทิ้งเป้าหมายของการวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่เป็นกำลังใจสำคัญ สนับสนุนทั้งทางด้านจิตใจและค่าใช้จ่ายในการศึกษา รวมถึงขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้เอื้อนามไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแนวทางการจัดการของเสียอย่างยั่งยืนในอนาคต

อมลวรรณ สิทธีวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 กรอบแนวคิดวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 ระยะเวลาดำเนินการ.....	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม.....	6
ส่วนที่ 1 แนวคิดมหาวิทยาลัยสีเขียว.....	6
ส่วนที่ 2 ระบบบำบัดน้ำเสีย.....	9
ส่วนที่ 3 การผลิตปุ๋ยหมัก.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	17
ส่วนที่ 1 พื้นที่การศึกษา.....	17
ส่วนที่ 2 ประสิทธิภาพของตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย.....	18

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำ (Recirculating Filter Bio Reactor : RFBR).....	18
2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์.....	18
2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำภาคสนาม.....	19
2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD).....	19
2.5 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ออกซิไดซ์ทางเคมี (COD).....	21
2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS).....	21
2.7 การปรับสภาพผักตบชวาด้วยวิธีการทางกายภาพ.....	22
2.8 การวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนในน้ำเสีย.....	22
2.9 การสร้างตัวกลางจากเส้นใยผักตบชวาร่วมกับขวดพลาสติก.....	23
2.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	23
2.11 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลาง.....	23
ส่วนที่ 3 การทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขยะที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัย.....	24
3.1 การผลิตปุ๋ยหมัก.....	24
3.2 วิเคราะห์ค่าความชื้น.....	24
3.3 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH).....	25
3.4 วิเคราะห์ค่าไนโตรเจน.....	25
3.5 วิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัส.....	25
3.6 วิเคราะห์ค่าโพแทสเซียม.....	27
3.7 การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขยะที่คัดแยกได้ จากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยในรอบปีการศึกษา 2566.....	28
3.8 การวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก.....	30

3.9 การวิเคราะห์โลหะหนักในปุ๋ยหมัก.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	32
การศึกษาประสิทธิภาพของตัวกลางในการทำจุลินทรีย์ในน้ำเสีย.....	35
4.1 การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี.....	35
การศึกษาปุ๋ยหมัก และ การปนเปื้อนโลหะหนักและมลสารของปุ๋ยหมัก.....	44
4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมัก.....	44
4.2.2 การศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	47
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	47
5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด BOD และ COD จากการเปรียบเทียบตัวกลาง แบบฟิลเตอร์เมท แบบเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน และแบบเส้นใยผักตบชวา.....	47
5.1.2 ศึกษาคุณภาพปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ภายในมหาวิทยาลัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
บรรณานุกรม	52

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ระยะเวลาดำเนินการ.....	5
ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร.....	13
ตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานของปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยอินทรีย์.....	13
ตารางที่ 4 ประเภทของขยะสำหรับการทำปุ๋ยหมัก.....	15
ตารางที่ 5 BOD Measurable with various dilution of sample.....	20
ตารางที่ 6 ช่วงการเจือจางตัวอย่างน้ำเสียสำหรับการวิเคราะห์หาค่า BOD.....	20
ตารางที่ 7 ช่วงการเจือจางตัวอย่างน้ำทิ้งสำหรับการวิเคราะห์หาค่า BOD.....	21
ตารางที่ 8 ปริมาณขยะเฉลี่ยต่อเดือนภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร ในปีการศึกษา 2566	32
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากขยะในกิจกรรมต่าง ๆ ในปีการศึกษา 2566.....	33
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดการขยะของแต่ละกิจกรรม.....	34
ตารางที่ 11 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียจากสถานศึกษา.....	36
ตารางที่ 12 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งที่ผ่านตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท.....	37
ตารางที่ 13 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งที่ผ่านตัวกลางแบบเส้นใยไผ่กรอง โพลีโพรพิลีน.....	38
ตารางที่ 14 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งที่ผ่านตัวกลางแบบเส้นใยผักตบชวา....	39
ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ในการกำจัดสารอินทรีย์ของตัวกลางแต่ละชนิด.....	40
ตารางที่ 16 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ของตัวกลางแต่ละชนิด ด้วยวิธีการ LSD.....	40
ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมัก.....	45
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในปุ๋ยหมัก.....	46
ตารางที่ 19 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด BOD และ COD ของวัสดุตัวกลาง.....	47
ตารางที่ 20 ตารางเปรียบเทียบสัดส่วนธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก.....	49
ตารางที่ 21 การเชื่อมโยงกิจกรรมวิจัยกับตัวชี้วัดด้านความยั่งยืนของ UI Green Metric.....	50

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดวิจัย.....	4
ภาพที่ 2 แนวคิดเกี่ยวกับความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม.....	7
ภาพที่ 3 ลักษณะของตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท.....	10
ภาพที่ 4 ลักษณะของตัวกลางแบบไส้กรองโพลีโพรพิลีน.....	11
ภาพที่ 5 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตองครักษ์.....	17
ภาพที่ 6 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร.....	17
ภาพที่ 7 แผนผังของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Recirculating Filter Bioreactor.....	18
ภาพที่ 8 สมการหาค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก.....	28
ภาพที่ 9 แผนภูมิค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ COD.....	41
ภาพที่ 10 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางแบบฟิวเตอร์เมทก่อนการบำบัดน้ำเสีย และหลังการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	43
ภาพที่ 11 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางแบบเส้นใยไส้กรองโพลีโพรพิลีนก่อนการ บำบัดน้ำเสียและหลังการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	43
ภาพที่ 12 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางแบบเส้นใยผักตบชวาก่อนการบำบัดน้ำเสีย และหลังการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 1 เดือน.....	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากกิจกรรมที่ในชีวิตประจำวันของประชาชน ส่งผลให้ปริมาณขยะชุมชนในประเทศไทยเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง โดยในปี 2566 มีรายงานว่าขยะมูลฝอยชุมชนมีปริมาณรวมกว่า 26.95 ล้านตันซึ่งเกิดจากการดำเนินกิจกรรมของคนภายในชุมชน โดยขยะมูลฝอยที่ถูกคัดแยก ณ ต้นทาง และนำกลับไปใช้ประโยชน์ 9.31 ล้านตัน ถูกกำจัดอย่างถูกวิธี 10.17 ล้านตัน และกำจัดไม่ถูกต้องประมาณ 7.47 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2567) จากการประสานข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบขยะมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยพบว่า ขยะอาหารและขยะพลาสติกถูกพบจำนวนมากและจัดเป็นส่วนหลักของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการจัดการขยะมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพไม่ดีพอและอาจก่อให้เกิดปัญหากับสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย โดยการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นประชาชนทุกคนต้องมีส่วนร่วมในการลดปริมาณด้วยการคัดแยกและทิ้งขยะมูลฝอยอย่างถูกวิธี เพื่อช่วยในการจัดการขยะมูลฝอยและรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนต่อไป (กองจัดการของเสียและสารอันตราย, 2567)

จากปัญหาขยะดังกล่าวที่เกิดขึ้น ทำให้สถาบันการศึกษาหลายแห่งเห็นความสำคัญในการจัดการขยะและมีการนำหลักการ BCG Model มาประยุกต์ใช้กับนโยบายต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยโมเดล BCG ประกอบด้วย ระบบเศรษฐกิจชีวภาพ (Bio Economy) ที่มุ่งใช้ทรัพยากรชีวภาพในการสร้างมูลค่า เน้นการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชื่อมโยงกับเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่ใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยลดของเสีย และเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) ซึ่งเน้นการพัฒนาที่สมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม แต่ต้องควบคู่ไปกับการพัฒนาสังคมและการรักษาสิ่งแวดล้อมได้อย่างสมดุล (สวทช., 2563) ทำให้แนวคิดมหาวิทยาลัยสีเขียวมีบทบาทมากยิ่งขึ้น เพื่อสร้างจิตสำนึกให้กับบุคลากรและนักศึกษา ให้มีส่วนร่วมในการจัดการขยะภายในมหาวิทยาลัย นอกจากนี้ในการบริหารจัดการจะต้องมีความตระหนักและเล็งเห็นความสำคัญเหล่านี้ เพื่อนำมหาวิทยาลัยสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green University) หรือ มหาวิทยาลัยที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม คือ มหาวิทยาลัยที่มีระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพ ภายใต้แนวคิดในการรักษาสิ่งแวดล้อม ประหยัดพลังงาน และการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า เพื่อส่งเสริมให้เกิดผลกระทบเชิงบวกทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและชุมชนโดยรอบ (พนาวัน เปรมศรี และโชติ บดีรัฐ, 2565) ซึ่งแนวคิดดังกล่าวเริ่มต้นจาก Universitas Indonesia (UI) ในประเทศอินโดนีเซีย ในปี พ.ศ. 2553 ที่มีการระดม

ความคิดจากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ โดยการเชิญผู้เชี่ยวชาญจากหลากหลายประเทศเพื่อหารือเกณฑ์ที่ใช้ในการจัดอันดับการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว โดยการจัดอันดับประกอบด้วย 6 หมวด ได้แก่ 1. สถานที่และโครงสร้างพื้นฐาน สัดส่วนคะแนนร้อยละ 15 2. พลังงานและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สัดส่วนคะแนนร้อยละ 21 3. ของเสีย สัดส่วนคะแนนร้อยละ 18 4. น้ำ สัดส่วนคะแนนร้อยละ 10 5. การขนส่ง สัดส่วนคะแนนร้อยละ 18 และ 6. การจัดการศึกษา สัดส่วนคะแนนร้อยละ 18 (Universitas Indonesia, 2560) จะเห็นได้ว่า ในเกณฑ์การจัดอันดับการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว นั้นให้ความสำคัญในด้านที่ 3 ซึ่งเป็นด้านของเสีย (WS) มีสัดส่วนถึงร้อยละ 18 โดยมีตัวชี้วัดที่สำคัญที่เชื่อมโยงกับการจัดการขยะและวัสดุเหลือทิ้ง คือ การดำเนินโครงการนำของเสียในมหาวิทยาลัยกลับมาใช้ใหม่ การจัดการของเสียอินทรีย์ ซึ่งตัวชี้วัดดังกล่าว มุ่งเน้นให้เกิดการขับเคลื่อนในด้านการรณรงค์ ประชาสัมพันธ์ และส่งเสริมให้เกิดการดำเนินโครงการต่าง ๆ ในการจัดการและแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัย

ในปี พ.ศ.2565 มหาวิทยาลัยในประเทศไทยที่เข้าร่วมการจัดอันดับการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก UI Green Metric University Ranking โดย Universitas Indonesia (UI) มีจำนวนทั้งสิ้น 55 แห่ง โดยมีมหาวิทยาลัยหลายแห่งดำเนินโครงการต่าง ๆ เพื่อให้ตอบตัวชี้วัดของการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว ด้านของเสีย เช่น มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีโครงการ Waste Management ในการลดปริมาณขยะพลาสติกภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับนโยบายของภาครัฐที่ประกาศให้มีการงดแจกถุงพลาสติกในวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2563 โดยมีเป้าหมายในการช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกภายในมหาวิทยาลัย โดยมุ่งเน้นการมีส่วนร่วมทั้ง นิสิต บุคลากร ผู้ประกอบการ และบุคคลทั่วไป ให้สามารถแยกขยะได้อย่างถูกวิธีและตระหนักถึงปัญหาขยะพลาสติก และขยะประเภทอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีการร่วมมือกับหน่วยงานในการนำขวดน้ำดื่มมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ โดยมีเป้าหมายในการนำวัสดุเหล่านี้นำมาใช้ในการผลิตแผ่นบอร์ดที่นำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน และเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า เพื่อสร้างสังคมที่ยั่งยืนในอนาคต (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2565) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่มีการจัดตั้งศูนย์บริหารจัดการขยะชีวมวล เพื่อให้เกิดการจัดการขยะอย่างยั่งยืน ด้วยกระบวนการคัดแยกขยะและนำกลับมาใช้ประโยชน์ มีการแยกทิ้งขยะต้นทางให้ถูกต้องตามการแบ่งประเภทของมหาวิทยาลัยทั้ง 6 ประเภท ได้แก่ ขยะทั่วไป ขยะรีไซเคิล ขยะอินทรีย์ ขยะชีวมวล ขยะอันตราย และขยะเศษวัสดุก่อสร้างและโฟม จากนั้นนำส่งกำจัดตามประเภทของขยะ โดยขยะชีวมวลเหลือใช้นำมาผลิตสารปรับปรุงดิน และนำขยะอินทรีย์มาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยสู่ธรรมชาติได้ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2563) มหาวิทยาลัยพะเยามีการรณรงค์และสร้างจิตสำนึกในการลดการใช้งานพลาสติก โดยมีการทำข้อตกลงกับร้านค้า ร้านอาหาร และร้านสะดวกซื้อภายในมหาวิทยาลัย ในการลดใช้ถุงพลาสติก รวมถึง

ความร่วมมือกับบริษัท คิตคิด จำกัด ในการนำแอปพลิเคชัน ECOLIFE ให้บุคลากรและนิสิตเล่นเกมผ่านแอปพลิเคชัน เพื่อให้เกิดการปรับพฤติกรรมและช่วยกันลดขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง ซึ่งส่งผลให้ปริมาณขยะพลาสติกในมหาวิทยาลัยพะเยาลดลง ร้อยละ 39.38 ของขยะทั้งหมด และมีแนวทางในการจัดการขยะพลาสติกที่เหลือ โดยการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงจากขยะ (ปรีช์ญ์ ปิงเมืองเหล็ก, 2564)

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจในการนำขยะและวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยมาพัฒนาเป็นต้นแบบนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ โดยมีเป้าหมายเพื่อนำขยะและวัสดุเหลือทิ้งสร้างคุณค่า โดยการแปรรูปใหม่แล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งสำหรับขยะที่เกิดขึ้นปริมาณมากภายในรั้วมหาวิทยาลัย โดยนำขวดน้ำซึ่งเป็นขยะพลาสติกและเส้นใยผักตบชวามาประดิษฐ์เป็นตัวกลางสำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบตัวกรองชีวภาพหมุนเวียนน้ำ (Recirculating Filter Bioreactor, RFBR) และนำขยะอินทรีย์ผ่านกระบวนการหมักผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อลดปริมาณขยะที่จะถูกรวมทิ้งเป็นขยะทั่วไปที่ถูกส่งไปยังหลุมฝังกลบ ลดปริมาณของผักตบชวาที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วภายในมหาวิทยาลัย ทั้งยังช่วยสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนามหาวิทยาลัยให้เป็นสถาบันที่มีระบบการจัดการของเสียอย่างยั่งยืนตามแนวทางมหาวิทยาลัยสีเขียว โดยมีตัวชี้วัดที่สำคัญที่เชื่อมโยงในการศึกษานี้ คือ การนำของเสียในมหาวิทยาลัยกลับมาใช้ใหม่ การจัดการของเสียอินทรีย์ และการบำบัดน้ำเสีย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

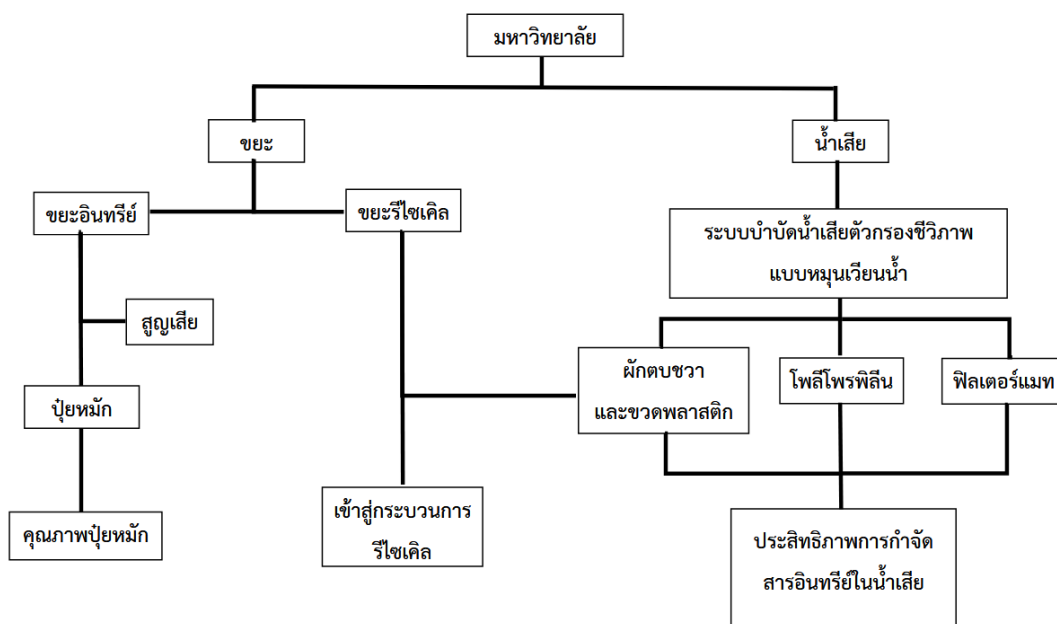
1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวกลางที่ผลิตจากขวดน้ำพลาสติกและเส้นใยผักตบชวาในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

1.2.2 เพื่อศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากขยะอินทรีย์ที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยด้วยกระบวนการหมัก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมผลิตภัณฑ์จากขยะและวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร และวิทยาเขตองครักษ์ โดยการศึกษาประสิทธิภาพของตัวกลางที่ผลิตจากขวดน้ำพลาสติกและเส้นใยผักตบชวาเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง และศึกษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากขยะอินทรีย์เปรียบเทียบกับเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร

1.4 กรอบแนวคิดวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ต้นแบบตัวกลางสำหรับการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากขูดพลาสติคร่วมกับเส้นใยผักตบชวา

1.5.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของตัวกลางเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการบำบัดน้ำเสียและนำไปประยุกต์ใช้

1.5.3 ต้นแบบปุ๋ยอินทรีย์จากขยะอินทรีย์ภายในมหาวิทยาลัย

1.5.4 แนวทางในการพัฒนาด้านแบบผลิตภัณฑ์จากขยะและวัสดุเหลือทิ้ง เพื่อส่งเสริมการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวอย่างยั่งยืน

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษาทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมผลิตภัณฑ์จากขยะและวัสดุเหลือทิ้งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวอย่างยั่งยืน ผู้วิจัยนำเสนอข้อมูลแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 แนวคิดมหาวิทยาลัยสีเขียว

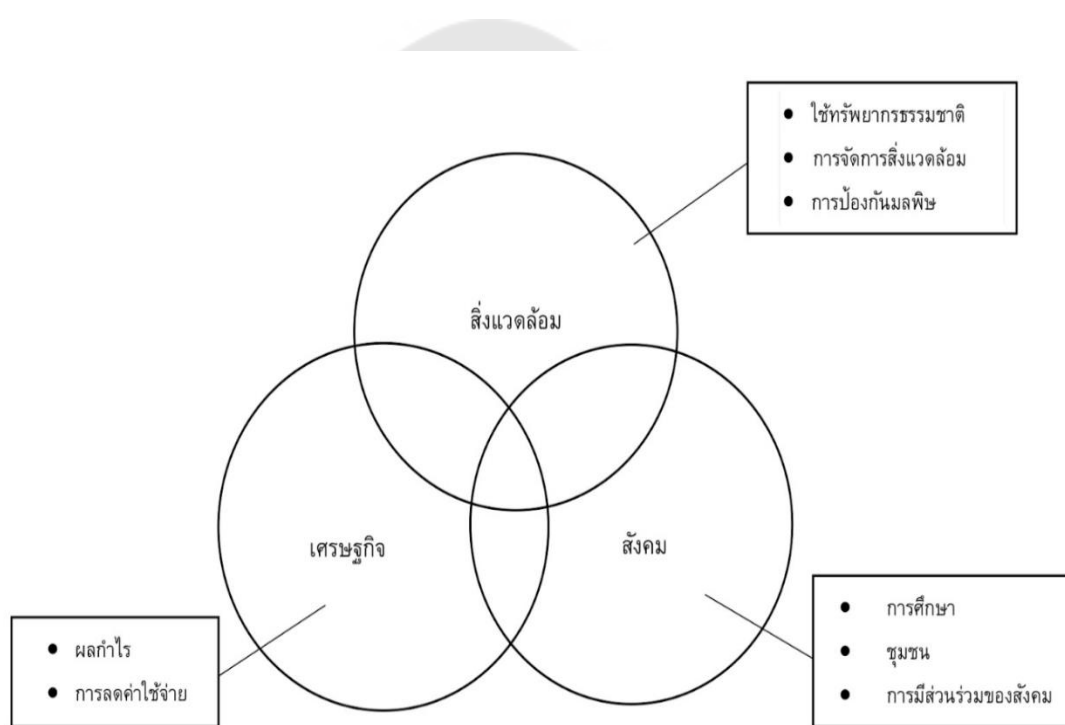
ส่วนที่ 2 ระบบบำบัดน้ำเสีย

ส่วนที่ 3 การผลิตปุ๋ยหมัก

ส่วนที่ 1 แนวคิดมหาวิทยาลัยสีเขียว

UI Green Metric เป็นระบบจัดอันดับมหาวิทยาลัยที่ประเมินความยั่งยืน โดยเน้นด้านสิ่งแวดล้อม พลังงาน และของเสีย ซึ่งริเริ่ม โดย Universitas Indonesia ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 เพื่อวัดความยั่งยืนของมหาวิทยาลัย และแสดงให้เห็นโครงการและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับความยั่งยืนของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ทั่วโลก โดยการจัดอันดับจะอยู่ภายใต้กรอบแนวคิดเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม การประหยัดพลังงาน และความเที่ยงธรรม โดยมีตัวชี้วัดและหมวดต่าง ๆ ในการจัดอันดับ ซึ่งมีการออกแบบตัวชี้วัดและการให้คะแนนปราศจากอคติมากที่สุด มีการรวบรวมและส่งข้อมูลเป็นไปอย่างตรงไปตรงมา และใช้เวลาในการดำเนินงานของเจ้าหน้าที่อย่างสมเหตุสมผล ในการจัดอันดับ ในปี ค.ศ. 2010 มีมหาวิทยาลัยที่เข้าร่วม 95 แห่ง จาก 35 ประเทศ แบ่งเป็นจากทวีปเอเชีย 40 แห่ง ทวีปยุโรป 35 แห่ง ทวีปอเมริกา 18 แห่ง และภูมิภาคโอเชียเนีย 2 แห่ง ในปี ค.ศ. 2016 มีมหาวิทยาลัยเข้าร่วมการจัดอันดับเพิ่มเป็น 515 แห่ง จาก 75 ประเทศทั่วโลก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า UI Green Metric เป็นที่รู้จักในฐานะการจัดอันดับมหาวิทยาลัยด้านความยั่งยืนระดับโลก โดยในปี ค.ศ. 2017 ได้มีการกำหนดหัวข้อไว้คือ ความร่วมมือระดับโลกเพื่ออนาคตที่ยั่งยืน โดยพิจารณารายละเอียดความร่วมมือของมหาวิทยาลัยในด้านความยั่งยืนของมหาวิทยาลัย (Universitas Indonesia, 2560) ในปี ค.ศ. 2023 มหาวิทยาลัยของประเทศไทยได้เข้าร่วมการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก จำนวน 55 แห่ง

สำหรับเกณฑ์การจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียว ได้เริ่มจากความคิดริเริ่มของ Universitas Indonesia ในประเทศอินโดนีเซีย ในปี พ.ศ. 2553 เริ่มจากการระดมความคิดจากมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ผ่านการประชุมระดับนานาชาติที่เกี่ยวข้องกับการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียว โดยมีผู้เชี่ยวชาญจากหลายประเทศร่วมกันหารือถึงเกณฑ์ชี้วัดที่ใช้ในการจัดอันดับ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมให้สถาบันการศึกษาระดับมหาวิทยาลัยทั่วโลกมีการจัดออกนโยบายและจัดการสิ่งแวดล้อมภายในมหาวิทยาลัยให้เกิดความยั่งยืน ซึ่งเกณฑ์การตัดสินจะใช้แนวคิดเกี่ยวกับความยั่งยืนซึ่งมี 3 องค์ประกอบ ได้แก่ สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม ดังปรากฏในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แนวคิดเกี่ยวกับความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม

ทั้งนี้เกณฑ์การจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก แบ่งได้ออกเป็นทั้งหมด 6 หมวด โดยในเกณฑ์แต่ละเกณฑ์จะมีรายละเอียดของตัวชี้วัด โดยมีรายละเอียดและน้ำหนักดังต่อไปนี้

1. สถานที่และโครงสร้างพื้นฐาน (Setting and Infrastructure : SI) (กำหนดสัดส่วนร้อยละ 15) เป็นข้อมูลด้านสถานที่และโครงสร้างพื้นฐานของมหาวิทยาลัย จะให้ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับแนวคิดของ มหาวิทยาลัยเรื่องความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วย สัดส่วนของพื้นที่เปิดโล่งต่อพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ในวิทยาเขตที่มีลักษณะเป็นป่า พื้นที่ในวิทยาเขตที่ใช้ปลูกต้นไม้ พื้นที่ในวิทยาเขตที่ใช้เป็นพื้นที่ดูดซับน้ำ สัดส่วนของพื้นที่เปิดโล่งต่อจำนวนประชากรในวิทยาเขต และงบประมาณของ

มหาวิทยาลัยในส่วนของความพยายามเพื่อความยั่งยืน โดยจุดประสงค์ของตัวชี้วัดเหล่านี้คือเพื่อกระตุ้นให้มหาวิทยาลัยที่เข้าร่วมได้นึกถึงพื้นที่สีเขียวมากขึ้น รวมถึงปกป้องสิ่งแวดล้อมและพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืน

2. พลังงานและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Energy and Climate Change : EC) (กำหนดสัดส่วนร้อยละ 21) ซึ่งประกอบด้วย การใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน การดำเนินงานโครงการอาคารอัจฉริยะ พลังงานทดแทนซึ่งผลิตได้ในวิทยาเขต สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดต่อประชากรของวิทยาเขต สัดส่วนพลังงานทดแทนที่ผลิตได้ต่อการใช้พลังงาน องค์ประกอบของการดำเนินงานอาคารสีเขียว โครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสัดส่วนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดต่อจำนวนประชากรในวิทยาเขต โดยตัวชี้วัดเหล่านี้แสดงถึงความตระหนักในด้านการอนุรักษ์พลังงานและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากตัวชี้วัดนี้มีความคาดหวังว่าทางมหาวิทยาลัยจะเพิ่มความพยายามในการใช้พลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพให้ความสนใจเรื่องธรรมชาติ และแหล่งพลังงานมากขึ้น

3. ของเสีย (Waste : WS) (กำหนดสัดส่วนร้อยละ 18) ซึ่งประกอบด้วย โครงการนำของเสียในมหาวิทยาลัยกลับมาใช้ใหม่ โครงการลดการใช้กระดาษและพลาสติกในวิทยาเขต การจัดการของเสียอันตราย การจัดการของเสียอินทรีย์ การจัดการของเสียอันตราย และการบำบัดน้ำเสีย จากตัวชี้วัดเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการจัดการของเสียและกิจกรรมการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

4. น้ำ (Water : WR) (กำหนดสัดส่วนร้อยละ 10) ซึ่งประกอบด้วย โครงการอนุรักษ์น้ำ โครงการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ การใช้อุปกรณ์ประหยัดน้ำ และการใช้น้ำที่บำบัดแล้ว โดยมีวัตถุประสงค์ให้มหาวิทยาลัยลดการใช้น้ำบาดาล มีการอนุรักษ์น้ำ และใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

5. การขนส่ง (Transportation : TR) (กำหนดสัดส่วนร้อยละ 18) ซึ่งประกอบด้วย สัดส่วนของยานพาหนะต่อจำนวนประชากร บริการรถรับส่งสาธารณะ นโยบายเกี่ยวกับยานพาหนะที่ปล่อยมลพิษเท่ากับศูนย์ในเขตมหาวิทยาลัย อัตราส่วนของพื้นที่จอดรถต่อพื้นที่มหาวิทยาลัยทั้งหมด จำนวนยานพาหนะที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ทั้งหมดต่อจำนวนประชากรในวิทยาเขต การลดพื้นที่จอดรถส่วนบุคคลในระยะเวลา 3 ปีที่ผ่านมา โครงการริเริ่มด้านการขนส่งเพื่อลดจำนวนรถส่วนบุคคลในวิทยาเขต และนโยบายเกี่ยวกับรถจักรยานและการเดินเท้าภายในวิทยาเขต มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสนับสนุนการใช้ระบบขนส่งสาธารณะภายในและรอบพื้นที่มหาวิทยาลัย

6. การศึกษา (Education and Research : ED) (กำหนดสัดส่วนร้อยละ 18) ซึ่งประกอบด้วย สัดส่วนของรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับความยั่งยืนต่อรายวิชา/หลักสูตรทั้งหมด สัดส่วนของทุนวิจัยด้านความยั่งยืนกับทุนวิจัยทั้งหมด การตีพิมพ์ด้านความยั่งยืน กิจกรรมความยั่งยืน องค์การนักศึกษาที่เกี่ยวกับความยั่งยืน และเว็บไซต์เกี่ยวกับความยั่งยืน

ในบริบทของงานวิจัยฉบับนี้ การนำนวัตกรรมที่พัฒนาจาก “วัสดุเหลือทิ้ง” เช่น ขวดพลาสติกและผักตบชวา มาใช้ในการผลิต ตัวกลางบำบัดน้ำเสีย และการผลิต ปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ เป็นแนวทางที่สอดคล้องโดยตรงกับเกณฑ์ UI Green Metric อย่างน้อย 3 ด้าน ได้แก่

- ด้านการจัดการของเสีย (Waste - WS) การนำขยะภายในมหาวิทยาลัยมาใช้ประโยชน์ใหม่ เช่น การแปรรูปเป็นปุ๋ยหมัก หรือการผลิตตัวกลางกรองน้ำจากขยะพลาสติก ช่วยลดปริมาณขยะฝังกลบ และสร้างวงจรการใช้ทรัพยากรซ้ำ (waste-to-resource)

- ด้านการจัดการน้ำ (Water - WR) ตัวกลางบำบัดน้ำเสียจากวัสดุเหลือใช้ สามารถลดการปล่อยน้ำเสียและส่งเสริมระบบนิเวศภายในวิทยาเขตได้อย่างเป็นรูปธรรม

- ด้านพลังงานและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Energy & Climate Change - EC) การหมักปุ๋ยจากเศษอาหาร ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการย่อยสลายขยะอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ และลดการพึ่งพาปุ๋ยเคมี ซึ่งมีต้นทุนพลังงานในการผลิตสูง

นอกจากนี้ การสร้างนวัตกรรมดังกล่าวยังเปิดโอกาสให้นักศึกษาและบุคลากรมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้เชิงปฏิบัติ สอดคล้องกับด้านที่ 6 ของ Green Metric ที่เน้นการบูรณาการเรื่องสิ่งแวดล้อมเข้าสู่กระบวนการเรียนการสอนและกิจกรรมในมหาวิทยาลัย และการใช้วัสดุเหลือทิ้งเป็นฐานในการพัฒนานวัตกรรมจึงไม่ใช่เพียงแค่การจัดการของเสียอย่างสร้างสรรค์ แต่ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการขับเคลื่อนมหาวิทยาลัยไปสู่ความยั่งยืนในระดับระบบอย่างแท้จริง

ส่วนที่ 2 ระบบบำบัดน้ำเสีย

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำ (Recirculating Filter Bio Reactor : RFBR)

RFBR เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ให้น้ำไหลผ่านตัวกลางที่เป็นวัสดุที่มีพื้นผิวให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ มีการหมุนเวียนน้ำภายในระบบ (Recirculating) โดยใช้ Air Pump เพื่อให้จุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสียแล้วย่อยสลายสารอินทรีย์จากการนำสารอินทรีย์มาเป็นแหล่งอาหาร (พรพิมล ชมเดช และ เพชรกาญจน์ ลิ้มบัววัน, 2564) โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบ RFBR ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ออกซิเจนละลายในถังเดิมอากาศ ระยะเวลาในการบำบัด ความเป็นกรด - ด่าง (pH) อุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำ

โดยวัสดุที่มีพื้นที่สำหรับจุลินทรีย์ในการยึดเกาะจะเรียกว่า ตัวกลางชีวภาพ ซึ่งถูกใช้ในกระบวนการกรองชีวภาพเพื่อลดปริมาณสารพิษในน้ำโดยการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสาร โดยตัวกลางชีวภาพจะเป็นจุดที่จุลินทรีย์ใช้เป็นพื้นที่ยึดเกาะเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์หรือมลพิษในแหล่งน้ำจึงทำให้คุณภาพของน้ำดีขึ้น ลดปริมาณสารพิษ และชีวมวลบางส่วนจะถูกกรองด้วยตัวกลาง

แล้วติดอยู่กับพื้นผิวของตัวกลาง ดังนั้นในการสร้างหรือออกแบบระบบจะต้องมีการคำนึงถึงวัสดุตัวกลางที่เป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์และจะต้องไม่เกิดปัญหาอุดตันหรือการไหลย้อนกลับของน้ำในระบบซึ่งสามารถแบ่งวัสดุตัวกลางได้ 2 ประเภท คือ สารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ โดยตัวกลางแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะหรือคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยการใช้ตัวกลางที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะที่พื้นผิวภายนอกและภายในรูพรุนของวัสดุตัวกลาง (Entrapment) การให้จุลินทรีย์อาศัยภายใน barrier และการให้จุลินทรีย์รวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ (Aggregation) (สร้อยดาว และนิตยา, 2547) ตัวอย่างตัวกลางสำหรับการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เช่นฟิลเตอร์เมท (Filter mat) เป็นวัสดุที่ทำจากพลาสติกไฟเบอร์ประเภทพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) เป็นใยกรองพิเศษ ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำ มีความละเอียดหนาแน่นสูง ล้างง่าย มีน้ำหนักเบา ใช้เป็นแหล่งที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์สามารถปรับลักษณะให้เหมาะสมกับบ่อกรองได้ (พรพิมล ชมเดช และเพชรกาญจน์ ลิ้มบัววัน, 2564) และเส้นใยโพลิโพรพิลีน (Polypropylene) เป็นเส้นใยที่มีความหนาแน่นสูง น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงทนทานในการใช้งาน มีความสามารถในการดูดซับสี หรือความสามารถอื่นๆ ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต (พัชรี ไตสกุล และภัลลภ จริยะปัญญา, 2556) เป็นต้น



ภาพประกอบ 3 ลักษณะตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท



ภาพประกอบ 4 ลักษณะตัวกลางแบบเส้นใยโพลิโพรพิลีน

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีผู้ศึกษางานวิจัยในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำ (RFBR) และงานวิจัยในบริบทที่ใกล้เคียง ดังนี้ ในงานวิจัยของ Schlegel และ Koeser (2017) ได้ศึกษาประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบไบโอฟิล์มตัวกรองได้น้ำ (SFBBRs) ตัวกลางที่นำมาใช้ในการศึกษา ได้แก่ พลาสติกขึ้นรูป (PE) และไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยความหนาแน่นของพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 100 – 300 ตร.ม./ลบ.ม. ระยะเวลาในกักเก็บน้ำไว้ในระบบจะต้องไม่น้อยกว่า 90 นาที ที่อุณหภูมิระหว่าง 15 – 58 องศาเซลเซียสพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด COD ประมาณ ร้อยละ 80 BOD ประมาณ ร้อยละ 90 และ TKN ประมาณ ร้อยละ 90 นอกจากนี้ระบบ SFBBRs เป็นระบบบำบัดที่ใช้งานง่ายไม่ต้องการควบคุมดูแลมากนัก และใช้พื้นที่ในการก่อสร้างไม่มากเมื่อเทียบกับระบบบำบัดประเภทอื่น

ชันวานี จิโจ และคณะ (2558) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยีสเกาะตัวกลางจากวัสดุในท้องถิ่นโดยการเติมอากาศ โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ ที่มีตัวกลางประเภทกะลามะพร้าว เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีตัวกลาง เพื่อบำบัดน้ำเสียจากชุมชน ผลการศึกษาพบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในช่วงร้อยละ 75.48 – 89.57 75.55 – 89.33 และ 68.11 – 79.65 ตามลำดับ ส่วนระบบที่ไม่มีตัวกลางมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 65.89 – 84.69 67.02 – 85.20 และ 65.82 – 71.18 ตามลำดับ ในระบบที่มีตัวกลางมีค่าบีโอดีไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง คือ 20 มิลลิกรัม/ลิตร

พรพิม ชมเดช และเพชรกาญจน์ ลิ้มบัววัน (2564) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียครัวเรือนด้วยระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำ (RFBR) โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำเสียจากร้านอาหาร หอประชานิไย โรงพยาบาลศิริราช น้ำเสียจากถังพักน้ำเสีย ต.ท่าทราย อ.เมือง จ.สมุทรสาคร และน้ำเสียจากถังรวบรวมน้ำเสีย ต.ยางซ้าย อ.โพธิ์ทอง จ.อ่างทอง จากการทดลองพบว่า ที่อัตราการไหลในช่วง 61 – 70 ลิตรต่อวัน มีการเติมอากาศ และหมุนเวียนน้ำ มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD เท่ากับ ร้อยละ 99.66 (ค่าบีโอดีเริ่มต้นเฉลี่ย 607.77 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลืออยู่ 1.70 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมัน/ไขมันเท่ากับ ร้อยละ 91.57 (ค่าน้ำมัน/ไขมันเริ่มต้นเฉลี่ย 20.75 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลืออยู่ 1.80 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมควบคุมมลพิษ

2.2 ผักตบชวา

ผักตบชวา (*Pontederia crassipes* Mart.) เป็นวัชพืชน้ำประเภทใบเลี้ยงเดี่ยวลอยน้ำ ทรงพุ่มกลม สูงประมาณ 50 – 100 เซนติเมตร มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ แต่แพร่กระจายไปทั่วโลก ในเอกสารทางพฤกษศาสตร์ผักตบชวาได้ถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2367 การมีอยู่ของผักตบชวาในทวีปอเมริกาใต้ไม่ได้ส่งผลกระทบให้เกิดปัญหาใด ๆ เนื่องจากมีศัตรูทางธรรมชาติ เช่น แมลง โรค

และศัตรูอื่น ๆ คอยควบคุมการเจริญเติบโตของผักตบชวา แต่เมื่อนำผักตบออกจากถิ่นกำเนิดทำให้เกิดการเติบโตอย่างรวดเร็วเพราะไม่มีศัตรูทางธรรมชาติมาควบคุมอัตราการเจริญเติบโต (นพพล เกตุประสาท, 2565)

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า ผักตบชวามีความสามารถในการบำบัดสารมลพิษในน้ำ เนื่องจากผักตบชวาสามารถดูดซึมทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในปริมาณสูง เจริญเติบโตได้ในน้ำเสีย มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมในช่วงที่กว้าง และมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำผักตบชวามาประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อบำบัดน้ำเสีย ดังนี้ Xi Chen และคณะ (2010) ได้ศึกษาการใช้ผักตบชวาสดและผักตบชวาอบแห้งในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ในการทดลองได้ใช้ผักตบชวาและฟางแห้งเพื่อลดปริมาณของฟอสฟอรัสในน้ำเสีย พบว่าการใช้ผักตบชวาอบแห้งสามารถลดปริมาณของฟอสฟอรัสได้มากถึง ร้อยละ 36 ในการทดลองภายในห้องแลป ขณะเดียวกันยังดูดซับ $\text{NH}_3\text{-N}$ ในบ่อเดียวกัน แต่ข้อมูลที่ได้มายังไม่มีความชัดเจน จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะนำผักตบชวาอบแห้งมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

Sarkar และคณะ (2017) ศึกษาการใช้ผงผักตบชวาในการบำบัดโครเมียมและทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงฟอกหนังโดยกรองผ่านคอลัมน์ พบว่า สามารถบำบัดโครเมียมและทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ร้อยละ 99.98 และ 99.96 ตามลำดับ สามารถบำบัดโครเมียมและทองแดงในน้ำเสียจากโรงฟอกหนังได้ ร้อยละ 98.83 และ 99.59 ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชาญชัย คหาปนะ (2562) ที่ได้ศึกษาการบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียจากการผลิตปลาร้าโดยใช้วัสดุดูดซับจากผักตบชวา โดยนำผักตบชวาที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ เคมี และกายภาพ-เคมี (ถ่านชีวภาพ) ดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลู เพื่อหาความสามารถในการดูดซับของวัสดุดูดซับ พบว่า ถ่านชีวภาพให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยมีค่าความสามารถในการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูที่สูงที่สุดคือ 714.50 และ 400.00 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ คือ ระยะเวลาสัมผัส 12 ชั่วโมง อุณหภูมิในการดูดซับ 30 องศาเซลเซียส และปริมาณวัสดุดูดซับ 20 กรัมต่อลิตร

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงนำผักตบชวามาแปรรูปเป็นเส้นใยโดยผ่านกระบวนการทางกายภาพและผลิตเป็นต้นแบบตัวกลางสำหรับการบำบัดน้ำเสียร่วมกับขวดพลาสติกเหลือทิ้ง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของตัวกลาง

ส่วนที่ 3 การผลิตปุ๋ยหมัก

3.1 ความหมายของปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้มาจากอินทรีย์สารที่ผลิตขึ้นโดยกรรมวิธีต่าง ๆ และ ก่อนที่จะนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อพืช จะต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางชีวภาพเสียก่อน ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ 1. ปุ๋ยหมัก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์จากพืชและสัตว์ ผ่านกรรมวิธีการหมักด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีววิทยาโดยอาศัยจุลินทรีย์ จนแปรสภาพ 2. ปุ๋ยคอก เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากมูลสัตว์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเลี้ยงสัตว์ และ 3. ปุ๋ยพืชสด เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการไถกลบพืชขณะที่ยังสดอยู่ลงสู่ดิน พืชที่นิยมใช้เป็นปุ๋ยพืชสดส่วนใหญ่เป็นพืชตระกูลถั่ว เพราะเป็นการเพิ่มธาตุไนโตรเจนในดินให้แก่พืชหลักที่ต้องการปลูก (จิราณี วานิชกุล, 2538) ในการประเมินคุณภาพปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมัก จะต้องเป็นไปตามค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ที่ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานในปี พ.ศ. 2557 ดังตารางที่ 2 และค่ามาตรฐานของปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ดังตารางที่ 3

ตาราง 2 ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร

คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
pH	-	5.5-8.5
C/N Ratio	-	< 20:1
OM	%	35 - 40
N	%	> 1
P	%	> 0.5
K	%	> 0.5
ความชื้น	%	< 30

ตารางที่ 3 ค่ามาตรฐานของปริมาณโลหะหนักในปุ๋ยอินทรีย์

โลหะหนัก	ค่ามาตรฐาน (มก./กก)
แคดเมียม (Cd)	≤ 5
ตะกั่ว (Pb)	≤ 300
ปรอท (Hg)	≤ 2
สารหนู (As)	≤ 10
โครเมียม (Cr)	≤ 150
นิกเกิล (Ni)	≤ 150

3.2 การทำปุ๋ยหมักจากขยะ

การทำปุ๋ยหมักจากขยะ หมายถึง การย่อยสลายของวัสดุหรืออินทรีย์สารที่ได้จากขยะ โดยอาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายให้กลายเป็นแร่ธาตุ (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) ซึ่งสามารถแบ่งกระบวนการหมักได้ 2 วิธีการ ได้แก่ 1. การหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Decomposition) คือกระบวนการหมักโดยอาศัยจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพโดยใช้ออกซิเจน ซึ่งกระบวนการนี้ไม่ก่อให้เกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น 2. การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) คือกระบวนการหมักโดยอาศัยจุลินทรีย์ที่ดำรงชีพโดยไม่ใช้ออกซิเจน แต่กระบวนการนี้จะก่อให้เกิดกลิ่นจากก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น มีคุณภาพปุ๋ยค่อนข้างต่ำ และใช้ระยะเวลานาน

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีผู้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องหรือมีความใกล้เคียงกับการทำปุ๋ยหมักจากขยะ ดังนี้ งานวิจัยของ กุลยา สารชีวิน และ จุฬิยา รังสีสุริยะชัย (2559) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากของเสียอินทรีย์โดยใช้ถังเติมอากาศ โดยศึกษาคุณลักษณะสุดท้ายของปุ๋ยหมักที่ผลิตจากเศษอาหาร ใบไม้แห้ง และมูลวัว โดยใช้ถังเติมอากาศและศึกษาความเหมาะสมของระยะเวลาการเติมอากาศที่จะให้ปุ๋ยหมักที่ดี โดยแปรผันการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังนี้ ถังที่ 1 เติมอากาศ 24 ชั่วโมง ถังที่ 2 ไม่เติมอากาศ ถังที่ 3 เติมอากาศ 6 ชั่วโมง และไม่เติมอากาศ 6 ชั่วโมง และ ถังที่ 4 เติมอากาศ 12 ชั่วโมง และไม่เติมอากาศ 12 ชั่วโมง ถังทั้งหมดจะหมักเก็บไว้ 60 วัน พบว่า คุณลักษณะของปุ๋ยหมักถังที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 8.14 6.05 6.32 และ 6.31 ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 42 59 59 และ 46 ค่าร้อยละคาร์บอนเท่ากับ 22.76 27.67 24.73 และ 26.2 ค่าร้อยละไนโตรเจนเท่ากับ 1.08 1.05 1.1 และ 1.06 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 21.09 26.46 22.42 และ 24.62 และค่าร้อยละฟอสฟอรัสเท่ากับ 20.0 24.4 30.6 และ 17.7 ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ระยะเวลาการเติมอากาศมีผลต่อการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก

วัฒนรงค์ มากพันธ์ และคณะ (2560) ศึกษาปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักชนิดต่าง ๆ จากขยะอินทรีย์ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช พบว่า ปริมาณธาตุอาหารปุ๋ยหมักแบบกลับกองในปุ๋ยหมักมูลสุกรและปุ๋ยหมักมูลแพะ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบมากสุดในปุ๋ยหมักมูลแพะ ปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดพบมากสุดในปุ๋ยหมักสุกร

นิตยัตตะยา ผาสุกพันธ์ และคณะ (2563) ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์จากขยะเศษอาหาร ในการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตได้จากขยะเศษอาหารด้วยการหมักแบบไร้อากาศในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ มีคุณลักษณะเป็นไปตามปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร

กรมควบคุมมลพิษ (2563) ได้มีการแบ่งประเภทของขยะสำหรับทำปุ๋ยหมัก เพื่อใช้ในการเลือกประเภทของขยะที่จะนำมาใช้หมักโดยมีปริมาณธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสม และคัดแยกขยะมูลฝอยที่ไม่เหมาะสมออกก่อนทำการหมัก ดังตารางที่ 4

ตาราง 4 ประเภทของขยะสำหรับการทำปุ๋ยหมัก

ขยะสีน้ำตาล (มีสารคาร์บอน)	ขยะสีเขียว (มีสารไนโตรเจน)	ขยะที่ไม่ควรนำมาหมัก
- หญ้าแห้ง - ฟางข้าว - กิ่งไม้และเศษไม้ - ใบไม้ - กระจาดและกล่องกระจาด - ขี้เลื่อย - เปลือกไม้	- หญ้าและใบไม้สด - เศษอาหาร - ผักและเปลือกผลไม้ - ถูซาและกากกาแฟ - เปลือกไข่ - ดอกไม้ - ต้นหญ้า	- กระดุก - น้ำมันปรุงอาหาร - ผลิตภัณฑ์จากนม - พืชหรือต้นไม้ที่มีโรค - มูลสุนัขและแมว - กระจาดอบมัน - วัชพืชที่มีเมล็ด

Pengyang Bian และ Qinqin Shao (2023) ได้นำผักตบชวามาผลิตปุ๋ยทั้งในแบบปุ๋ยหมักปกติ และปุ๋ยหมักร่วมไส้เดือน (vermicompost) โดยการนำผักตบชวามาสับและหมักร่วมกับมูลวัวและพืชแห้ง พลิกกองทุก ๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่าในปุ๋ยหมักแบบปกติมีสัดส่วน N : P : K เท่ากับร้อยละ 2.1 : 0.9 : 1.3 ตามลำดับ และปุ๋ยหมักแบบ Vermicompost มีสัดส่วน N : P : K เท่ากับร้อยละ 2.6 : 1.2 : 1.7 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผักตบชวามีศักยภาพในการแปรสภาพเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และสามารถนำไปใช้ในการยกระดับธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์ได้

กรมพัฒนาที่ดิน (2560) ได้มีการเผยแพร่สื่อในการผลิตปุ๋ยหมักจากผักตบชวา เนื่องจากผักตบชวาเป็นวัชพืชที่เจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต่ำ ทำให้มีความสามารถในการย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้ผักตบชวาที่ผึ่งไว้ 2 สัปดาห์ หมักร่วมกับมูลสัตว์และสารอินทรีย์ ใช้ระยะเวลาการหมัก 45 – 60 วัน พลิกกลับกองทุก ๆ 15 วัน จากสูตรการทำปุ๋ยหมักโดยมีผักตบชวาเพียงอย่างเดียวมีอัตราส่วนธาตุอาหาร N : P : K เท่ากับร้อยละ 1.27 : 0.71 : 4.84 ตามลำดับ

3.3 ความเสี่ยงจากโลหะหนักในปุ๋ยหมัก

การปนเปื้อนโลหะหนักในปุ๋ยหมักเกิดจากวัสดุตั้งต้นที่ใช้ในการหมัก เช่น ขยะอินทรีย์ มูลสัตว์ หรือวัสดุจากชุมชนหรืออุตสาหกรรม อาจมีการปนเปื้อนโลหะตั้งแต่ต้นทาง ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และสะสมในดิน พืช และเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้เมื่อมีการใช้ปุ๋ยหมักในการเกษตร ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Basma และคณะ (2025) ที่ได้ศึกษาการสะสมของโลหะหนักในพืชที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักจากขยะฝักรับ ผพบว่าปุ๋ยหมักจากขยะฝักรับมีปริมาณโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานของสหภาพยุโรป การใช้ปุ๋ยหมักดังกล่าวอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้บริโภคที่มีการสะสมของโลหะหนัก

สาเหตุหลักที่ทำให้ปุ๋ยหมักมีความเสี่ยงจากโลหะหนัก 1. วัตถุดิบตั้งต้นมีการปนเปื้อน มีการปนเปื้อนโลหะหนักจาก เศษแบตเตอรี่ วัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เศษเหล็ก สารเคลือบในอาหารกระป๋อง หรือการสะสมโลหะหนักในอาหารสัตว์ซึ่งถ่ายออกทางมูล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Kunjie Su และคณะ (2025) ที่ได้ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในปุ๋ยอินทรีย์ที่ผลิตจากมูลสุกรและมูลไก่ มักมีการปนเปื้อนของแคดเมียม สังกะสี และทองแดงที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน 2. กระบวนการหมักไม่สามารถกำจัดสารโลหะหนักได้ เนื่องจากโลหะหนักจัดเป็นสารอนินทรีย์ และไม่สามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ แม้จะมีการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ 3. การใช้ซ้ำสะสมโลหะหนักในดินและพืช เมื่อมีการใช้ปุ๋ยหมักที่มีโลหะหนักต่อเนื่องในแปลงปลูกผัก จะทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในดิน ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ จันทรทิศา เรืองดี และโสพิณ โพธิ์บุญ (2557) ที่ได้ศึกษาการสะสมของแคดเมียมในผักบุ้งที่ปลูกในดินผสมปุ๋ยหมักจากขยะชุมชน พบว่าผักบุ้งที่ปลูกนั้นมีปริมาณแคดเมียมในใบ แม้ไม่เกินค่ามาตรฐาน แต่สามารถบ่งชี้ได้ถึงความเสี่ยงในการสะสมโลหะหนักจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมผลิตภัณฑ์จากขยะและวัสดุเหลือทิ้งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวอย่างยั่งยืน ผู้วิจัยนำเสนอข้อมูลแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 พื้นที่การศึกษา

ส่วนที่ 2 ประสิทธิภาพของตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ส่วนที่ 3 การทำปฏิกิริยากับจากขยะอินทรีย์

ส่วนที่ 1 พื้นที่การศึกษา

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร ตั้งอยู่ที่ 114 ซอยสุขุมวิท 23 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ X : 13.744855 Y : 100.564565 และมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตองครักษ์ ตั้งอยู่ที่ 63 หมู่ 7 ถนนรังสิต - นครนายก คลอง 16 ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ X : 14.107663 Y : 100.981646



ภาพประกอบ 5 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตองครักษ์

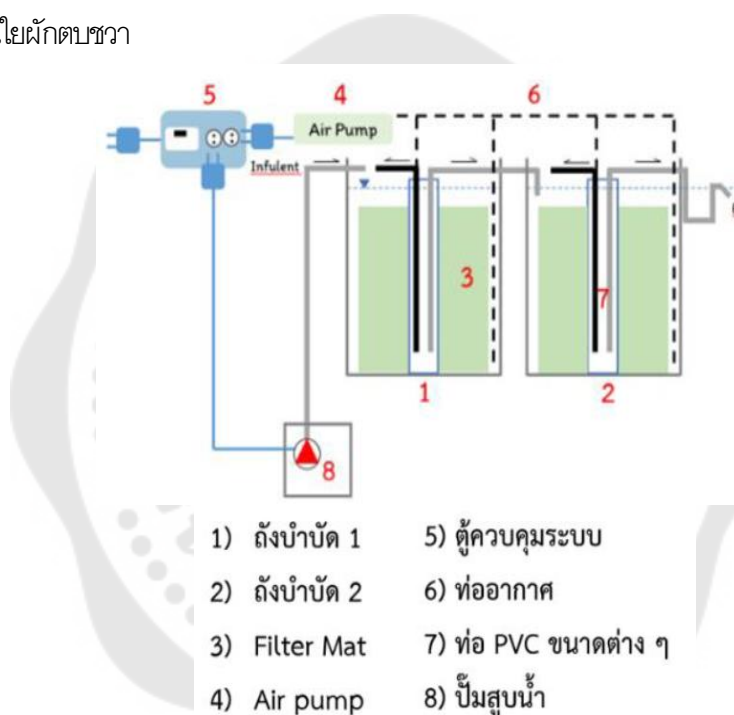


ภาพประกอบ 6 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร

ส่วนที่ 2 ประสิทธิภาพของตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำ (Recirculating Filter Bio Reactor : RFBR)

จัดทำระบบบำบัดโดยใช้ถังน้ำขนาด 94 ลิตร จำนวน 2 ถัง โดยมีระยะเวลาการกักเก็บน้ำในระบบ 48 ชั่วโมง อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ระบบ 74.4 ลิตรต่อวัน มีการใส่ตัวกลางในถังแรกและปล่อยว่างในถังที่ 2 ปรากฏตามภาพประกอบที่ 7 เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุก ๆ 5 วัน เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 30 วัน ซึ่งใช้ตัวกลางทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ 1. ฟิลเตอร์เมท 2. เส้นใยโพลีโพรพิลีน และ 3. เส้นใยผักตบชวา



ภาพประกอบ 7 แผนผังของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Recirculating Filter Bioreactor

ที่มา : พรพิมล ชมเดช และเพชรกาญจน์ ลิ้มบัววัน, 2564

2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์

2.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

1. ขวดพลาสติก PE สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ค่า BOD และ TSS
2. Laboratory bottle สำหรับการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ COD และ วิเคราะห์สารปนเปื้อน

2.1.2 วิธีการเก็บรักษาภาชนะน้ำตัวอย่าง (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

1. ตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาค่า BOD และ TSS ทำการเก็บตัวอย่างน้ำให้เต็มขวดจนล้นเพื่อไล่ฟองอากาศให้หมดและปิดฝาให้สนิท เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศที่เหลือละลายเข้าสู่ตัวอย่างในขวด เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส

2. ตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาค่า COD และสารปนเปื้อนชนิดต่าง ๆ เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างน้ำให้เต็มขวดจนล้นเพื่อไล่ฟองอากาศและไม่ต้องใช้สารเคมีรักษาคุณภาพตัวอย่าง

2.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำภาคสนาม

วิเคราะห์หาอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) และค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้ Multi Meter (ยี่ห้อ HACH / รุ่น HQ40d)

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD)

เป็นการวิเคราะห์หาค่าความสกปรกหรือปริมาณของออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ โดยย่อยสลายภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนและใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารในการดำรงชีวิต (APHA, 2017)

2.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (BOD)

1. เตรียมน้ำกลั่นตามปริมาณที่ต้องการใช้ (ตามจำนวนขวด BOD และ Blank แล้วคูณด้วย 300 มิลลิลิตร)

2. เติมน้ำละลาย Magnesium Sulfate, Phosphate Buffer, Calcium Chloride และ Ferric Chloride อย่างละ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร เติมหากาศเข้าไปอย่างน้อย 45 นาที เพื่อเพิ่มออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

3. เลือกช่วงที่ต้องการเจือจางน้ำตัวอย่างอย่างน้อย 2 ช่วงเจือจางน้ำตัวอย่างตามตาราง BOD Measurable with various dilutions of sample

4. ผสมน้ำตัวอย่างกับน้ำเจือจางให้เข้ากันโดยใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร แล้วนำไปวางบนเครื่องกวนสาร

5. ปิดจุกขวด BOD โดยไม่มีฟองอากาศภายในขวด แล้วนำไปวัดหาค่า DO_0

6. นำขวด BOD ที่หาค่า DO_0 ไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน เมื่อครบเวลานำขวด BOD มาหาค่า DO_5 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า BOD ต่อไป

ตาราง 5 BOD Measurable with various dilution of sample

Anticipated range of BOD (mg/L)	Sample (mL)	Dilution water (mL)
0 – 7	300.00	0.00
6 – 21	100.00	200.00
12 – 42	50.00	250.00
30 – 105	20.00	280.00
60 – 210	10.00	290.00
120 – 420	5.00	295.00
300 – 1,050	2.00	298.00
600 – 2,100	1.00	299.00
1,200 – 4,200	0.50	299.50
3,000 – 10,500	0.20	299.80
6,000 – 21,000	0.10	299.90
12,000 – 42,000	0.05	299.95

ตาราง 6 ช่วงการเจือจางตัวอย่างน้ำเสียสำหรับการวิเคราะห์หาค่า BOD

NO.	Range of BOD (mg/L)	Sample (mL)	Dilution water (mL)
1	30 - 105	20.00	280.00
2	60 - 210	10.00	290.00
3	120 - 420	5.00	295.00

ตาราง 7 ช่วงการเจือจางตัวอย่างน้ำทิ้งสำหรับการวิเคราะห์หาค่า BOD

NO.	Range of BOD (mg/L)	Sample (mL)	Dilution water (mL)
1	6 – 21	100.00	280.00
2	12 – 42	50.00	295.00
3	60 - 210	10.00	299.00

สูตรการคำนวณปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ BOD

$$\text{BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)} = \frac{DO_0 - DO_5}{\text{Sample (มิลลิลิตร)}} \times 300 \text{ (มิลลิลิตร)}$$

เมื่อ DO_0 คือ ค่าออกซิเจนละลายน้ำในวันแรก

DO_5 คือ ค่าออกซิเจนละลายน้ำในวันที่ 5

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ออกซิไดซ์ทางเคมี (COD)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของออกซิเจนที่ต้องใช้ในกระบวนการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียทั้งหมด โดยใช้สารที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูง (Strongly Oxidizing Agent) เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate : $K_2Cr_2O_7$) (สันทัด, 2549)

2.4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ออกซิไดซ์ทางเคมี (COD)

วิเคราะห์หาค่า COD ด้วยวิธี Closed flux Dichromate reactor digestion

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำเสียใส่ใน COD Vial kit ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด และปิเปตน้ำกลั่นลงใน COD Vial kit ปริมาตร 2 มิลลิลิตร (Blank) และปิดฝาให้สนิท
2. ปิเปตน้ำเสียตัวอย่างและน้ำกลั่นอย่างละ 2 มิลลิลิตร ผสมลงในปิกเกอร์ โดยเป็นน้ำเจือจางที่อัตราส่วน 1:1 หรือ ร้อยละ 50 ของน้ำเสียตัวอย่าง
3. จากนั้นปิเปตน้ำที่เจือจางลงในหลอดที่ 3
4. นำไปย่อยในเครื่องย่อยที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง และบ่มต่อที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที
5. ทิ้งหลอดทดลองให้เย็นลงจนอยู่ในอุณหภูมิห้อง
6. นำหลอดทดลองไปวัดค่า COD ด้วย Portable spectrophotometer และบันทึกผล

*ในการเขย่าหลอดทดลองเพื่อผสมสารให้ระวังความร้อนจากการออกซิไดซ์ที่เกิดขึ้นภายในหลอด

2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS)

2.5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS) (APHA, 2017)

1. นำตัวอย่างมาเรียงตามที่บ้านที่กไว้นในตาราง โดยวางไว้บนโต๊ะพร้อมชุดกรองและหยิบกระบอกตวง ขนาด 50 และ 250 มิลลิลิตร มาวางไว้ใกล้กับที่จะทำการวิเคราะห์
2. จัดเรียงถ้วยกระเบื้องและกระดาษกรองที่จะทำการวิเคราะห์
3. หยิบขวดตัวอย่างนำมาเขย่า 2 รอบเพื่อผสมและทำการตวงน้ำตัวอย่าง

4. ใช้คีมคีบกระดาศกรองวางลงในกรวยบูชเนอร์ โดยให้กระดาศกรองด้านขรุขระหงายขึ้นฉีดน้ำ RO ลงกระดาศกรองเล็กน้อย เพื่อให้กระดาศกรองติดแนบกับชุดกรอง จากนั้นเปิดเครื่องดูดสุญญากาศ

5. ทำการกรองโดยเทน้ำตัวอย่างให้ลงบริเวณกลางกระดาศกรอง พร้อมกับเปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ฉีดล้างกระบอกตวง ภาชนะกรวยกรองและกระดาศกรองด้วยน้ำกรองที่ผ่าน RO 3 ครั้งต่อเนื่องกัน เพื่อล้างของแข็งออกให้หมด จากนั้นปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศทำงานต่อจนกระดาศกรองแห้งแล้วคีบกระดาศกรองมาวางบนภาชนะดูดซับ

6. จากนั้นนำกระดาศกรองที่กรองตัวอย่างแล้ว ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำกระดาศกรองออกจากตู้อบและนำไปทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

สูตรการคำนวณปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS)

$$TSS \text{ (mg/L)} = \frac{(\text{น้ำหนักกระดาศกรองหลังกรอง} - \text{น้ำหนักกระดาศกรองก่อนกรอง}) \times 1,000 \frac{\text{ml}}{\text{L}} \times 1,000 \frac{\text{ml}}{\text{g}}}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง ml}}$$

2.7 การปรับสภาพผักตบชวาด้วยวิธีการทางกายภาพ

1. นำส่วนลำต้นผักตบชวามาล้างให้สะอาดด้วยน้ำสะอาด ตากให้แห้ง หรือนำเข้าตู้อบจนแห้ง และมีสีเหลือง

2. ทำการแบ่งผักตบชวาให้มีความกว้างประมาณ 2-3 เซนติเมตร นำมาถักเป็นเชือกและเก็บในภาชนะที่แห้งและปิดสนิท

2.8 การวิเคราะห์สารปนเปื้อนในน้ำเสีย

1. กรองตัวอย่างน้ำเสียด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาศกรองใยแก้ว GF/B xib,k9ioheglup 500 มิลลิลิตร

2. ปรับสภาพตัวดูดซับ โดยใช้เมทานอลปริมาตร 10 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 6 มิลลิลิตร ผ่าน C18 Cartridge: Verti-Pak แล้วทำการกรองตัวอย่างน้ำเสีย

3. ใช้อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที นำไปทำให้แห้งด้วยปั๊มสุญญากาศ ทำการระเหยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสโดยใช้เมทานอลผสมไดคลอโรมีเทนในอัตราส่วน 9 ต่อ 1 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

4. นำไประเหยแห้งภายใต้สภาวะไนโตรเจนในตู้ดูดควัน เหลือปริมาตรสุดท้าย 3 มิลลิลิตร และนำสารที่ผ่านการสกัดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry

2.9 การสร้างตัวกลางจากเส้นใยผักตบชวาร่วมกับขดพลาสติก

1. นำผักตบชวาที่ผ่านการทำความสะอาด และตัดปลายรากทิ้ง จิกเป็นเส้นแล้วนำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าผักตบชวามีสีเหลืองแห้ง และกรอบ

2. นำเส้นผักตบชวา 3 เส้นมาถักให้แน่นกลายเป็นเชือก

3. นำขดพลาสติกมาตัด ให้มีความยาวประมาณ 4 – 5 เซนติเมตร เจาะรูโดยรอบ

4. นำเชือกผักตบชวามาสานกับขดพลาสติก

2.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ทางสถิติด้วย one-way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และทดสอบความแตกต่างกันของวัสดุตัวกลางด้วย LSD เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวกลาง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

2.11 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลาง

ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 250 เท่า ซึ่งฉาบผิววัสดุด้วยทองคำ

1. นำตัวอย่างมาทำความสะอาดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม และทำให้แห้งด้วยการอบแห้งด้วยตู้อบ

2. ปรับขนาดของตัวอย่างให้พอดีกับแท่นยึด ไม่ควรเกิน 10 มม. × 10 มม. และจัดให้พื้นผิวที่ต้องการสังเกตมีความเรียบและอยู่ในมุมที่เหมาะสมกับการส่อง

3. ใช้เทปคาร์บอน (carbon tape) หรือกาวนำไฟฟ้า (silver paste) ติดตัวอย่างลงบนแท่นรอง เพื่อให้ตัวอย่างอยู่กับที่และช่วยนำไฟฟ้า

4. เคลือบตัวอย่างด้วยทองคำ

5. ตรวจสอบความเรียบร้อยของตัวอย่างและนำไปส่องด้วยกล้อง SEM

ส่วนที่ 3 การทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขยะที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัย

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ ตามคู่มือ วิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร (2561) และการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นโดยข้อมูลที่ใช้ นำมาจาก IPCC และองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2565)

3.1 การผลิตปุ๋ยหมัก

ดัดแปลงจากการผลิตปุ๋ยหมัก ของกองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน

อัตราส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยหมัก

1. เศษพืชแห้ง หรือขยะจากสวน 1 ส่วน
2. ขยะจากเศษอาหาร 1 ส่วน
3. ปุ๋ยคอก 1 ส่วน
4. ผักตบชวา 1 ส่วน
5. จุลินทรีย์สำหรับการผลิตปุ๋ยหมัก

วิธีการผลิตปุ๋ยหมัก

1. กองปุ๋ยหมักเป็นรูปสามเหลี่ยม สูง 1.5 เมตร
2. รดจุลินทรีย์สำหรับการผลิตปุ๋ยหมักให้ทั่ว
3. พลิกกลับทุก ๆ 7 วัน อย่างสม่ำเสมอ เป็นระยะเวลา 45 - 90 วัน

3.2 วิเคราะห์ค่าความชื้น

ชั่งตัวอย่างที่ยังไม่บดจำนวน 5.00 กรัม ใส่ขวดชั่งสาร (Weighing bottle) หรือ บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนักให้นำตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงจากทศนิยมตำแหน่งที่ 2

นำตัวอย่างออกมาใส่โถดูความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

3.3 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)

1. ทำการปรับเทียบ pH-meter ด้วย สารละลายบัฟเฟอร์ตามวิธีการที่ระบุในคู่มือ
2. ชั่งตัวอย่างจำนวน 10 กรัม ใส่ปิกรอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของปุ๋ยตอ น้ำ 1:2) แล้วคนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นปุ๋ยเคมีเหลวให้เทตัวอย่าง ปริมาณ 40 มิลลิลิตร ใส่ปิกรอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วย pH-meter จุ่มลงใน สารละลายตัวอย่าง เมื่อตัวเลขที่แสดงผลคงที่ อ่านค่าความเป็นกรด - ด่าง และบันทึกผล

3.4 วิเคราะห์ค่าไนโตรเจน

เตรียมกราฟมาตรฐานไนโตรเจน

1. นำสารมาตรฐาน EDTA มาชั่งน้ำหนัก อย่างน้อย 6 จุด ครอบคลุมปริมาณไนโตรเจนที่มีในตัวอย่าง เพื่อใช้เป็น Working standard เติมน้ำกลั่นไม่น้อยกว่า 0.5 เท่าของน้ำหนักทั้งหมด ใส่ Tin foil หรือ อุปกรณ์ใส่ตัวอย่างสำหรับเผานำสารมาตรฐานใส่ช่องใส่ตัวอย่างเพื่อเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิสูง สร้างกราฟ มาตรฐาน
2. ชั่งตัวอย่างจำนวน 0.05 - 0.10 กรัม เติมน้ำกลั่นไม่น้อยกว่า 0.5 เท่าของน้ำหนักทั้งหมด ใส่ Tin foil หรืออุปกรณ์ใส่ตัวอย่างสำหรับเผานำตัวอย่างใส่ช่องใส่ตัวอย่างเพื่อเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิสูง และบันทึกความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (%)

3.5 วิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัส

3.5.1 เตรียมรีเอเจนต์

1. ผสม 69 - 70% HNO_3 กับ 69 - 72% HClO_4 ในอัตราส่วน 1 : 1 โดยปริมาตร
2. ชั่ง Ammonium molybdate 40 กรัม ใส่ปิกรอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 400 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็น
3. ชั่ง Ammonium metavanadate 2 กรัม ใส่ปิกรอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมน้ำร้อน (น้ำกลั่น) ปริมาณ 300 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเติม 69-72% HClO_4 ปริมาณ 450 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็น เทสารละลายที่ได้ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 2000 มิลลิลิตร
4. ค่อยๆ รินสารละลาย ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 2000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เขย่าให้เข้ากัน และถ่ายเก็บไว้ในขวดแก้วสีชา

3.5.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1000 ppm

ชั่ง KH_2PO_4 ซึ่งผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.0984 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 1, 2, 3, 4 และ 5 ppm ใช้เป็น Working standard

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 100 ppm ปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

3.5.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 0.20 – 1.00 กรัม ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 125 มิลลิลิตร หรือใส่ Digestion tube

2. เติมกรดผสม 20 มิลลิลิตร นำไปย่อยบนเตาระเหย หรือ Digestion block ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลายหรือสารละลายมีลักษณะสีใส ระวังอย่าให้สารละลายแห้ง ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30 – 40 นาที จากนั้นยกลงจากเตาระเหย หรือ Digestion block ตั้งทิ้งไว้

3. ถ่ายสารละลายตัวอย่างและล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ในกรณีที่สารละลายมีตะกอนขุ่นนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

3.5.4 วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างตามปริมาณความเข้มข้นให้อยู่ในช่วงการวัด ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Molybdovanadate ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน และทิ้งไว้ 30 นาที

2. นำ Working standard 1, 2, 3, 4 และ 5 ppm เติมสารละลาย Molybdovanadate ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน และทิ้งไว้ 30 นาที

3. นำสารละลายไปวัดความเข้มของสีด้วย Spectrophotometer ที่ความยาว คลื่น 420 นาโนเมตร บันทึกค่า Absorbance (A) หรือ Transmittance (%T)

4. หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่าง กับกราฟมาตรฐาน ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัส กับค่า A หรือ %T ของ Working standard

$$\begin{aligned}\%P &= \frac{\text{ppm} \times \text{dilution factor}}{\text{wt. of sample (g)} \times 10^6} \times 100 \\ \%P_2O_5 &= \%P \times 2.2914\end{aligned}$$

3.6 วิเคราะห์ค่าโพแทสเซียม

3.6.1 เตรียมรีเอเจนต์

สารละลาย Suppressor

1. ชั่ง CaCO_3 จำนวน 12.5 กรัม ใส่ปิកเกอร์เติมน้ำกลั่นปริมาณ 500 มิลลิลิตร เติม 36–38 %HCl ปริมาณ 105 มิลลิลิตร ลงไปที่ละน้อยจน CaCO_3 ละลายหมด
2. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน

3.6.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 1000 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 10 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm ใช้เป็น Working standard

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 ppm ปริมาณ 3, 6, 9, 12 และ 15 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

3.6.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างจำนวน 0.25 - 1.00 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร

เติมน้ำกลั่นปริมาณ 200 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 1 ชั่วโมง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้ เข้ากัน ถ้าสารละลายมีตะกอน กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

3.6.4 วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Suppressor ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
2. นำ Working standard 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ppm เติมสารละลาย Suppressor ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
3. นำสารละลาย ไปวัดค่า Intensive of emission ด้วย Flame photometer
4. หาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของสารละลายตัวอย่าง กับกราฟมาตรฐาน ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโพแทสเซียม กับค่า Intensive of emission ของ Working standard โดยเส้นกราฟมาตรฐานมีค่า R^2 ไม่ต่ำกว่า 0.999

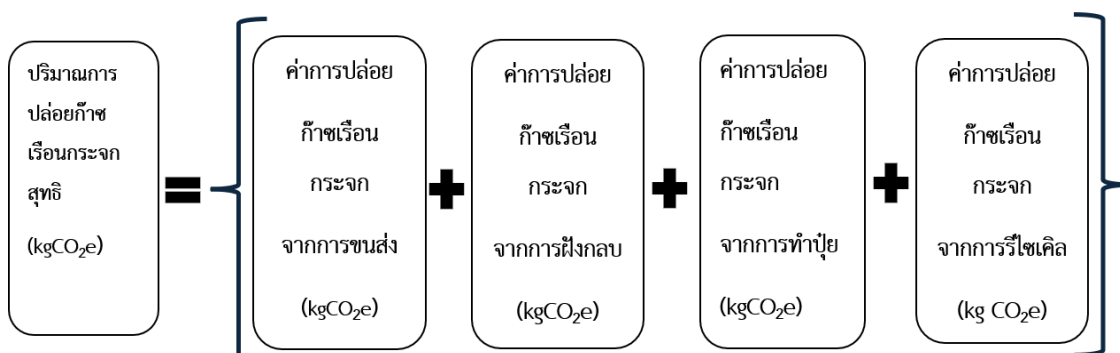
$$\%K = \frac{ppm \times \text{dilution factor}}{wt. of sample (g) 10^6} \times 100$$

$$\%K_2O = \%K \times 1.2046$$

3.7 การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขยะที่คัดแยกได้ จากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยในรอบปีการศึกษา 2566

3.7.1 สมการการหาค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

คำนวณในรูปแบบคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ของขยะแต่ละชนิดที่คัดแยกได้จากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยในรอบปีการศึกษา 2566 โดยจะใช้ค่า emission factor ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยน Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นโดยข้อมูลที่ใช้ นำมาจาก IPCC และ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2565)



ภาพประกอบที่ 8 สมการหาค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.7.2 สมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการฝังกลบ

$CO_2 \text{ emission} = \text{น้ำหนักมูลฝอย (kg)} \times \text{emission factor ของประเภทขยะที่ส่งลงสู่หลุมฝังกลบโดยสมการที่ใช้ในการคำนวณใช้สมการ ดังนี้}$

การปลดปล่อย CO_2 ของมูลฝอยทั่วไป

$$\text{การปลดปล่อย } CO_2 = \text{น้ำหนักมูลฝอย (kg)} \times 0.8421 \text{ kg } CO_2\text{e/kg}$$

การปลดปล่อย CO_2 ของขยะเศษอาหาร

$$\text{การปลดปล่อย } CO_2 = \text{น้ำหนักขยะ (kg)} \times 2.53 \text{ kg } CO_2\text{e/kg}$$

การปลดปล่อย CO_2 ของขยะเศษไม้

$$\text{การปลดปล่อย } CO_2 = \text{น้ำหนักขยะ (kg)} \times 3.33 \text{ kg } CO_2\text{e/kg}$$

การปลดปล่อย CO_2 ของขยะกระดาษ / กระดาษกล่อง

$$\text{การปลดปล่อย } CO_2 = \text{น้ำหนักขยะ (kg)} \times 2.93 \text{ kg } CO_2\text{e/kg}$$

3.7.3 สมการก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง

$$Emissions_T = \frac{Fuel(units)}{Waste(tonnes)} \times Energy(MJ / unit) \times EF(kgCO_2 / MJ)$$

โดยที่

Fuel = ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการขนส่งต่อเดือน (ลิตร/กิโลกรัม)

Waste = ปริมาณขยะมูลฝอยที่ขนส่งต่อเดือน (ตันขยะมูลฝอยต่อเดือน)

Energy = ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงฟอสซิล (เมกกะจูลต่อลิตร/กิโลกรัม)

EF = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงฟอสซิล (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเมกกะจูล)

3.7.4 สมการการลดก๊าซเรือนกระจกจากการหมักทำปุ๋ย

$$CO_2 \text{ emissions} = \{(\text{น้ำหนักขยะมูลฝอย(kg)} \times 0.3gN_2O/kg) \times 310/1000\} + \{(\text{น้ำหนักขยะมูลฝอย(kg)} \times 4 gCH_4/kg) \times 21/1000\}$$

สามารถสรุปเป็นสมการอย่างง่ายได้ว่า $CO_2 \text{ emissions} = (\text{น้ำหนักขยะมูลฝอย(kg)} \times 0.177)$

3.7.5 สมการการลดก๊าซเรือนกระจกจากการรีไซเคิล

CO2 emissions = (น้ำหนักขยะมูลฝอยประเภทที่ 1 x EFจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการแปรรูปขยะประเภทที่ 1 นำมาใช้ใหม่) + (น้ำหนักขยะมูลฝอยประเภทที่ 2 x EFจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการแปรรูปขยะประเภทที่ 2 นำมาใช้ใหม่) +
 ซึ่งจะได้สมการดังรูปต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{CO2 emissions} &= (\text{Plastic pet w(kg)} \times \text{EF Plastic pet}) + (\text{Plastic HDPE w(kg)} \\ &\quad \times \text{EF Plastic HDPE}) + (\text{Plastic PP w(kg)} \times \text{EF Plastic PP}) + (\text{Alucan w(kg)} \\ &\quad \times \text{EF Alucan}) \\ &= (\text{Plastic pet w (kg)} \times 1.01) + (\text{Plastic HDPE w (kg)} \times 0.71) + (\text{Plastic PP w(kg)} \\ &\quad \times 0.81) + (\text{Alucan w(kg)} \times 9.09) \end{aligned}$$

โดยที่

W = ปริมาณน้ำหนักขยะของแต่ละประเภทนั้น ๆ (kg)

EF = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการรีไซเคิลของขยะแต่ละประเภท

*ข้อมูลค่า EF (emission factor) อ้างอิงจาก ipcc 2006 มาใช้ในการคำนวณ

3.8 การวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก

ค่าความชื้น	Oven – drying method
ค่า pH	pH meter
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	CHN analyzer
คาร์บอนทั้งหมด	CHN analyzer
ไนโตรเจนทั้งหมด	CHN analyzer
ฟอสฟอรัส (P ₂ O ₅)	Spectrophotometric molybdovanadophosphate method
โพแทสเซียม (K ₂ O)	Atomic absorption spectrophotometer

ที่มา : การวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยอินทรีย์ (กัญจน์กรวลัย ฤทธิเรืองเดช, 2554)

3.9 การวิเคราะห์โลหะหนักในปุ๋ยหมัก

1. เตรียมตัวอย่างเตรียมตัวอย่างปุ๋ยหมัก โดยอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง บดและร่อนผ่านตะแกรง
2. ผสม HNO_3 และ HCl ในปริมาณ 1:1 อบจนสารปรับปรุงดินแห้ง ใส่น้ำกลั่นในปริมาณ 50 มิลลิลิตร
3. กรองด้วยกระดาษกรองนำตัวอย่างสารปรับปรุงดินที่ได้เข้าเครื่องวิเคราะห์ ICP-OES



บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการศึกษาหาข้อมูลปริมาณขยะที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร และกิจกรรมต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัยตลอดทั้งปีการศึกษา ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้มีการรวบรวมในปีการศึกษา 2566 ดังตารางที่ 8 และ 9

ตารางที่ 8 ปริมาณขยะเฉลี่ยต่อเดือนภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร ในปีการศึกษา 2566

ลำดับ	คณะ และ ส่วนงาน	น้ำหนักขยะเฉลี่ย (กิโลกรัม/เดือน)
1.	คณะสังคมศาสตร์	1,664.70
2.	คณะศึกษาศาสตร์	1,130.10
3.	คณะวิทยาศาสตร์	3,486.20
4.	คณะแพทยศาสตร์	957.50
5.	คณะบริหารธุรกิจเพื่อสังคม	548.20
6.	คณะมนุษยศาสตร์	1,294.20
7.	คณะพลศึกษา	222.20
8.	คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ	151.75
9.	วิทยาลัยนวัตกรรมการสื่อสารสังคม	1,263.50
10.	คณะทันตแพทย์	2,266.00
11.	คณะศิลปกรรมศาสตร์	1,376.80
12.	วิทยาลัยนานาชาติเพื่อศึกษาความยั่งยืน	1,002.00
13.	บัณฑิตวิทยาลัย	344.29
14.	ร้านค้าโรงอาหาร	2,081.45
15.	สถาบันวิจัยพฤติกรรมศาสตร์	217.14
14.	สำนักคอมพิวเตอร์	219.00
15.	สำนักหอสมุดกลาง	892.86
16.	สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย	157.86
17.	ไปรษณีย์	83.50
	รวม	19,359.25

หมายเหตุ ข้อมูลจากการชั่งน้ำหนักขยะบริเวณจุดพักขยะของประตู 5 โดยส่วนพัฒนากายภาพ

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากขยะในกิจกรรมต่าง ๆ ในปีการศึกษา 2566

ลำดับ	กิจกรรม	น้ำหนักรวม (กก.)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น (kgCO ₂ e)		
			รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3
1.	อัตลักษณ์ ปีการศึกษา 2566	2904.01	3,972.92	2,959.54	2,192.59
2.	SWU Open House ปีการศึกษา 2566	1,124	1,310.95	1,043.96	401.59
3.	ลอยกระทง ประสานมิตร ปี 2566	817.6	848.86	751.93	515.69
4.	ลอยกระทง องครักษ์ ปี 2566	3,480	3,295.09	2,296.35	697.30
5.	งานพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2565	25,760	38,607.23	35,672.36	8,706.09
6.	งานประชุม ทปอ ครั้งที่ 4	179.30	379.20	370.80	94.557
7.	ตลาดวันอังคารและพฤหัสบดี*	7,210.32	10,958.30	9,706.40	1,645.92
8.	SWU night market*	7,353.88	6,727.64	6,005.35	4,667.86
	รวม	48,829.11	66,100.19	58,806.69	18,921.60

*หมายเหตุ: ค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ของลำดับที่ 7 (ตลาดวันอังคารและวันพฤหัสบดี) และ ลำดับที่ 8 (SWU night market) เป็นค่าการปลดปล่อยเฉลี่ยต่อเดือน

จากกิจกรรมที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัย ได้มีการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO₂e) ซึ่งจะเปรียบเทียบการจัดการทั้ง 3 รูปแบบ เพื่อแสดงความแตกต่างของการปล่อยคาร์บอนเมื่อมีการจัดการที่ขยะที่แตกต่างกันไป ดังนี้

รูปแบบการจัดการที่ 1 : ไม่มีการคัดแยกขยะเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ขยะส่งสู่หลุมฝังกลบทั้งหมด

รูปแบบการจัดการที่ 2 : มีการคัดแยกขยะประเภทที่รีไซเคิลได้

รูปแบบการจัดการที่ 3 : มีการคัดแยกขยะประเภทที่รีไซเคิลได้ และ มีการนำขยะอินทรีย์เข้าสู่กระบวนการหมัก

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดการขยะของแต่ละกิจกรรม

ลำดับ	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง			
	1 cf. 2		1 cf. 3	
งาน	ลดไป(kgCO ₂ eq)	สัดส่วนที่ลดไป	ลดไป(kgCO ₂ eq)	สัดส่วนที่ลด
1.	1,013.38	25.51%	1,780.33	44.81%
2.	266.99	20.37%	909.36	69.37%
3.	96.93	11.42%	333.17	39.25%
4.	998.74	30.31%	2,597.79	78.84%
5.	2,934.87	7.60%	29,901.14	77.45%
6.	8.40	2.22%	284.64	75.06%
7.	1,251.90	11.42%	9,312.38	84.98%
8.	722.29	10.74%	2,059.78	30.62%
รวม	7,293.50	11.03%	47,178.59	71.37%

รูปแบบการจัดการที่ 1 : ไม่มีการคัดแยกขยะเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ขยะส่งสู่หลุมฝังกลบทั้งหมด

รูปแบบการจัดการที่ 2 : มีการคัดแยกขยะประเภทรีไซเคิลได้

รูปแบบการจัดการที่ 3 : มีการคัดแยกขยะประเภทรีไซเคิลได้ และมีการนำขยะอินทรีย์เข้าสู่กระบวนการหมัก

ข้อมูลปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในปีการศึกษา 2566 พบว่ากิจกรรมตลอดทั้งปีการศึกษาได้ มีการเก็บรวบรวมข้อมูลและแยกประเภทของขยะที่เกิดขึ้น มีปริมาณขยะรวมมากถึง 48,829.11 กิโลกรัม หากนำขยะเหล่านี้เข้าสู่กระบวนการฝังกลบทั้งหมดจะปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 66,100.19 kgCO₂eq (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) ถ้าหากมีการนำขยะบางส่วนผ่านเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลจะปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 58,806.69 kgCO₂eq สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 11.03 และถ้ามีการนำขยะบางส่วนเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลร่วมกับการนำขยะอินทรีย์เข้าสู่กระบวนการหมักจะปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาทั้งสิ้น 18,921.60 kgCO₂eq สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สูงถึงร้อยละ 71.37 ดังตารางที่ 10

จากข้อมูลข้างต้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำขยะที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยมาใช้ประโยชน์ โดยการนำขวดพลาสติกมาประดิษฐ์เป็นตัวกลางสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งใช้น้ำเสียจากอาคารเรียนคณะวิทยาศาสตร์เป็นตัวอย่งน้ำเสียในการศึกษา และนำขยะอินทรีย์ที่เกิดขึ้นเข้าสู่กระบวนการหมักเพื่อผลิตปุ๋ยหมัก ในการศึกษาครั้งนี้จึงสามารถแบ่งผลการศึกษาเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การศึกษาประสิทธิภาพของตัวกลางในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย
2. การศึกษาปุ๋ยหมัก และการปนเปื้อนโลหะหนักของปุ๋ยหมัก

การศึกษาประสิทธิภาพของตัวกลางในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

4.1 การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี

การศึกษาคคุณลักษณะของน้ำเสียและน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์ พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ทางผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือวัด คุณภาพน้ำแบบหลายพารามิเตอร์ ตรวจวัดลงในตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งจากถังบำบัดน้ำเสียด้วยตัวกลาง ฟิลเตอร์เมท เส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน และเส้นใยผักตบชวา และทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณออกซิเจน ที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์ ทางเคมี (COD) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)

4.1.1 การศึกษาคคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียจากสถานศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า น้ำเสียจากสถานศึกษามีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ตรวจพบอยู่ที่ 32.50 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด – ด่างเฉลี่ย 7.51 และค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 290 $\mu\text{S/cm}$ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน การควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ก ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2548 ยกเว้น ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในน้ำ (BOD) ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ออกซิไดซ์ทางเคมี (COD) และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมการระบายน้ำทิ้งฯ ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียจากสถานศึกษา

ประเภท ของน้ำ ตัวอย่าง	พารามิเตอร์							
	ครั้งที่	อุณหภูมิ (C°)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	EC (μS/cm)
น้ำเสีย	1	32.5	7.6	1.78	105.2	101.1	203	285
	2	-	-	-	-	102.9	198	-
	3	32.4	7.43	1.72	104.82	101.4	193	298
	4	-	-	-	-	101.1	201	-
	5	32.6	7.5	1.78	104.89	101.6	202	287
	6	-	-	-	-	102.1	196	-
	X	32.50	7.51	1.76	104.97	101.7	198.83	290
ค่า มาตรฐาน		≤40	5 - 9	≥2	≤30	≤20	≤120	150 - 300
เทียบ เกณฑ์ มาตรฐาน		ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน

4.1.2 การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งที่ผ่านระบบ ตัวกลางชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำ

4.1.2.1 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งที่ผ่านตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท

ผลการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมทมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ตรวจพบอยู่ที่ 31.40 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) 6.40 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) เฉลี่ย 2.13 mg/L ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) เฉลี่ย 15.18 mg/L ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ออกซิไดซ์ทางเคมี (COD) 89.67 mg/L ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) เฉลี่ย 16.72 mg/L และค่าการนำไฟฟ้า (EC) เฉลี่ย 260.67 μS/cm พบว่าทุกพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมการระบาย

น้ำทิ้งจากอาคาร ประเภท ก ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ลงวันที่ 7 พฤศจิกายน 2548 ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งที่ผ่านตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท

ประเภท ของน้ำ	ครั้งที่	พารามิเตอร์						
		อุณหภูมิ (C°)	pH	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	EC (µS/cm)
ตัวอย่าง								
น้ำทิ้ง (ฟิลเตอร์ เมท)	1	31.2	6.50	2.13	20.21	16.78	95	263
	2	-	-	-	-	15.62	93	-
	3	31.6	6.30	2.10	15.42	14.92	92	258
	4	-	-	-	-	15.21	89	-
	5	31.4	6.40	2.16	14.53	14.53	86	261
	6	-	-	-	-	14.02	83	-
	$\bar{X}$	31.4	6.40	2.13	16.72	15.18	89.67	260.67
ค่า มาตรฐาน		≤40	5-9	≥2	≤30	≤20	≤120	150 - 300
เทียบ เกณฑ์ มาตรฐาน		ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

4.1.2.2 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำทิ้งที่ผ่านตัวกลางแบบเส้นใย โพลีโพรพิลีน

ผลการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านตัวกลางแบบเส้นใยโพลีโพรพิลีน มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ตรวจพบอยู่ที่ 31.70 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) 6.46 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) เฉลี่ย 2.21 mg/L ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD)

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ในการกำจัดสารอินทรีย์ของตัวกลางแต่ละชนิด

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
COD	Between Groups	45.444	2	22.722	.566	.579
	Within Groups	602.167	15	40.144		
	Total	647.611	17			
BOD	Between Groups	35.620	2	17.810	3.879	.044
	Within Groups	68.869	15	4.591		
	Total	104.489	17			

จากตารางที่ 15 พบว่า ค่า COD ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แต่ค่า BOD ของตัวกลางแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กล่าวคือ ในการกำจัด COD ของตัวกลางแต่ละชนิดนั้นไม่มีความแตกต่างกัน แต่การกำจัด BOD มีความสัมพันธ์กับตัวกลางแต่ละชนิด จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่า BOD เป็นรายคู่ด้วยวิธีการ LSD ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ของตัวกลางแต่ละชนิด ด้วยวิธีการ LSD

ชนิดของตัวกลาง	ค่าเฉลี่ย	ฟิเตอร์แมท	เส้นใยโพลีโพรพิลีน	เส้นใยผักตบชวา
ฟิเตอร์แมท	15.18	15.18	14.53	17.78
เส้นใยโพลีโพรพิลีน	14.53	-	0.65	2.60
เส้นใยผักตบชวา	17.78	-	-	3.26*

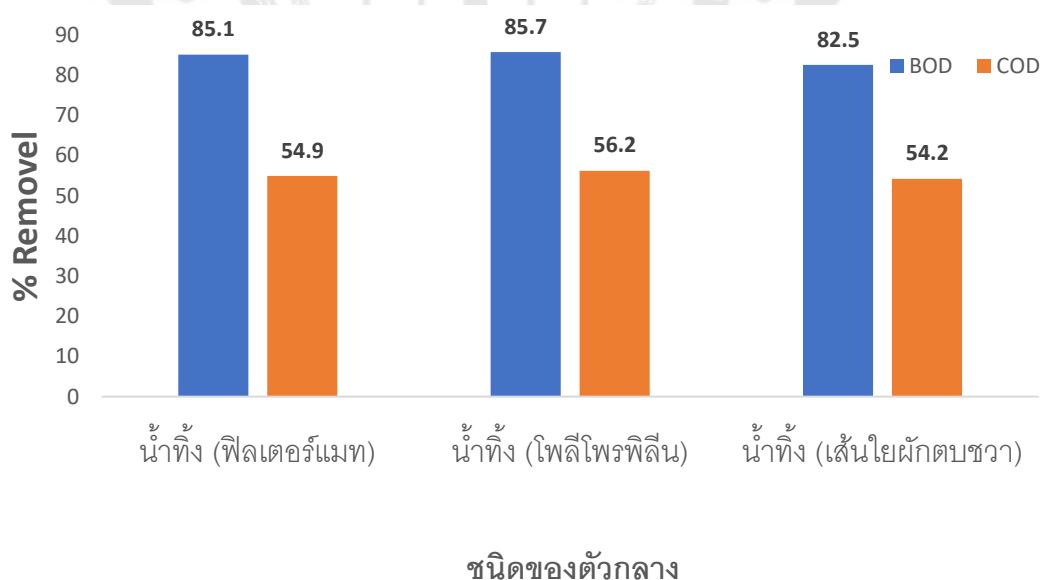
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 16 พบว่า ตัวกลางแบบเส้นใยโพลีโพรพิลีนและตัวกลางแบบเส้นใยผักตบชวามีการกำจัดค่า BOD ในน้ำเสียที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยที่ตัวกลางแบบเส้นใยโพลีโพรพิลีนมีความสามารถในการกำจัด BOD ในน้ำเสียที่สูงกว่าตัวกลางแบบเส้นใยผักตบชวา

4.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด COD และ BOD (% Removal)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด BOD และ COD จากการเปรียบเทียบตัวกลาง 3 ชนิด ได้แก่ ฟิลเตอร์เมท เส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน และเส้นใยผักตบชวา ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากตัวกลางทั้ง 3 ชนิด โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียและตัวอย่างน้ำทิ้งจากตัวกลางแต่ละชนิด วิเคราะห์ค่า BOD และ COD นำค่ามาประเมินประสิทธิภาพในการกำจัดผลการวัดประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ COD หรือ % Removal แสดงในภาพที่ 9

$$\% \text{ Removal} = \frac{\text{ปริมาณก่อนการบำบัดของ BOD หรือ COD} - \text{ปริมาณหลังการบำบัดของ BOD หรือ COD}}{\text{ปริมาณก่อนการบำบัดของ BOD หรือ COD}} \times 100$$



ภาพที่ 9 แผนภูมิค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ COD

จากภาพที่ 9 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด BOD และ COD พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัด BOD และ COD สูงที่สุดคือน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากตัวกลางแบบเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน คือ 85.68% และ 55.70% ตามลำดับ รองลงมาคือน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมทและเส้นใยจากผักตบชวา ตามลำดับ

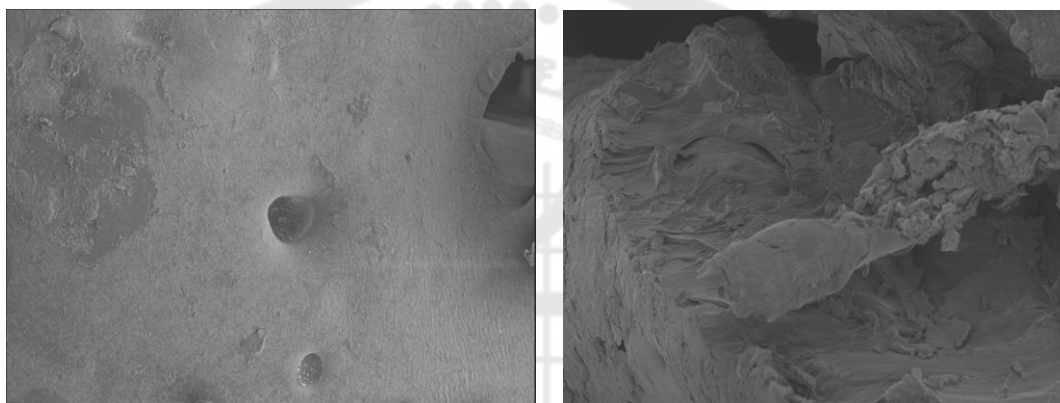
จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด BOD และ COD จากการเปรียบเทียบตัวกลาง 3 ชนิด ได้แก่ ฟิลเตอร์เมท เส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน และเส้นใยผักตบชวา พบว่าผลการศึกษามีความสอดคล้องกับการศึกษาของ ศศิกานต์ วงศ์งาม และศิริดา ทศนิยมักดิ์ (2566) ที่ได้ทำการศึกษากำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลด้วยระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้ตัวกลาง 2 ชนิด ได้แก่ ฟิลเตอร์เมท และเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน โดยผลการศึกษาระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำจากตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมทมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD เท่ากับ 94.01% และประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับ 81.72% และระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนจากตัวกลางแบบเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีนมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD เท่ากับ 95.48% และประสิทธิภาพในการกำจัด COD เท่ากับ 86.45% ซึ่งมีการกำจัด BOD ที่ใกล้เคียงกับการศึกษาข้างต้น ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัด COD มีค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่แตกต่างกัน และนอกจากนี้ยังมีความคล้ายคลึงกับการศึกษาของ พรพิมล ชมเดช และเพชรกาญจน์ ลิ้มบัววัน (2564) ที่ได้ศึกษากำบัดน้ำเสียครัวเรือนด้วยระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำจากตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท โดยผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด BOD มีค่าเท่ากับ 98.70% ซึ่งในการมีการกำจัด BOD ที่ใกล้เคียงกับการศึกษาข้างต้น

4.1.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลาง

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)ที่กำลังขยาย 250 เท่า ซึ่งฉาบผิววัสดุด้วยทองคำ พบว่าพื้นผิวของตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท มีลักษณะที่ค่อนข้างเรียบ มีความแตกต่างกันในด้านของพื้นผิวสัมผัสเนื่องจากตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมทมีลักษณะเป็นแผ่น ตัวกลางแบบเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีนมีลักษณะเป็นเส้นทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสและเส้นใยผักตบชวามีลักษณะเรียบ เส้นใยชัดเจน มีโครงสร้างต่อเนื่องและเป็นระเบียบ ซึ่งตัวกลางทั้ง 3 มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนดังนี้ ฟิลเตอร์เมท ก่อนใช้งาน พื้นผิวของวัสดุมีลักษณะเรียบและเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ หลังใช้งาน พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระมากขึ้น มีการยึดเกาะของสารอินทรีย์และคราบจุลินทรีย์ ซึ่งสะท้อนถึงการเกิดฟิล์มชีวภาพ (biofilm) อย่างชัดเจน เส้นใยโพลีโพรพิลีน ก่อนใช้งาน เส้นใยมีลักษณะเรียวยาว มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก หลังใช้งาน

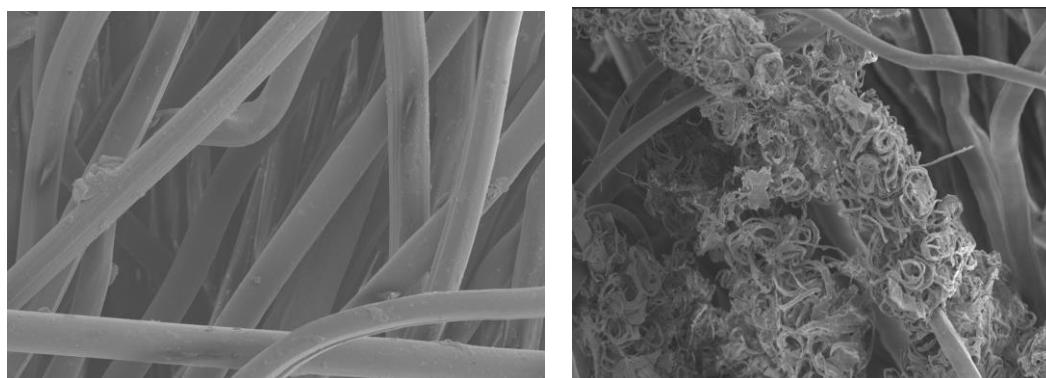
พบการยึดเกาะของจุลินทรีย์และการสะสมของสารแขวนลอยบนพื้นผิวเส้นใยบางบริเวณ เส้นใย ผักตบชวา ก่อนใช้งาน มีลักษณะเรียบ เส้นใยชัดเจน พื้นผิวสะอาด หลังใช้งาน พื้นผิวมีลักษณะ ขรุขระ พบคราบติดอยู่บริเวณเส้นใย ซึ่งคาดว่าเป็นฟิล์มชีวภาพที่เกิดจากจุลินทรีย์ และโครงสร้าง บางบริเวณเริ่มมีร่องรอยฉีกขาดหรือหลุดร่อน แสดงถึงการถูกย่อยสลายบางส่วนโดยจุลินทรีย์ ดัง ภาพประกอบ 10 11 และ 12 จากผลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าทั้งสามวัสดุมีความสามารถในการ เป็นพื้นที่รองรับจุลินทรีย์สำหรับกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่าง มีประสิทธิภาพ

1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางแบบฟิวเตอร์แมท



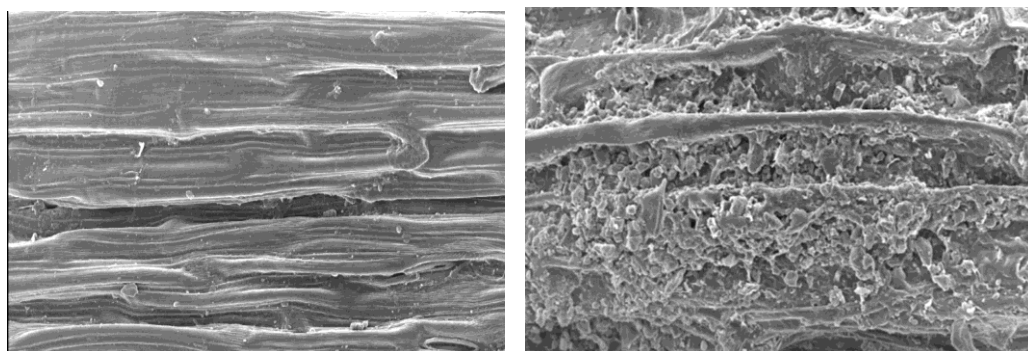
ภาพประกอบ 10 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางแบบฟิวเตอร์แมทก่อนผ่านการบำบัดน้ำเสีย และหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 1 เดือน

2. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางแบบเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน



ภาพประกอบ 11 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางแบบเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีนก่อนผ่านการบำบัด น้ำเสียและหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 1 เดือน

3. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางแบบเส้นใยผักตบชวา



ภาพประกอบ 12 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวกลางแบบเส้นใยผักตบชวาก่อนผ่านการบำบัดน้ำเสีย และหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 1 เดือน

การศึกษาปุ๋ยหมัก และ การปนเปื้อนโลหะหนักและมลสารของปุ๋ยหมัก

4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมัก

จากข้อมูลที่รวบรวมมาข้างต้น พบว่ามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีอัตราส่วน การเกิดขยะอินทรีย์ค่อนข้างสูง จึงควรมีแนวทางในการนำขยะอินทรีย์มาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อนำ ขยะอินทรีย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์และช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการนำขยะ เศษอาหารที่เกิดขึ้นผ่านกระบวนการในการผลิตปุ๋ยหมัก ซึ่งผลการตรวจสอบคุณภาพสารปรับปรุงดินส่วน หนึ่งที่น่าสนใจวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 1 ให้เห็นว่า อัตราส่วนของวัสดุหมัก (เศษอาหาร) ที่มากเกินไปส่งผลต่อคุณภาพของปุ๋ยอย่างมาก ดังที่แสดงในตาราง มีค่าความชื้น ค่า pH และ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่านั้นที่ผ่านค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ เนื่องด้วยปัจจัย ของกระบวนการผลิตปุ๋ย ที่มีวัสดุหมักเยอะเกินไป บวกด้วยเชื้อจุลินทรีย์มีน้อย ทำให้อัตราส่วนของ กระบวนการหมักไม่เหมาะสม ส่งผลให้ปุ๋ยมีคุณภาพต่ำ และมีกลิ่นฉุน ซึ่งงานวิจัยนี้แตกต่าง จากการศึกษาคณะสุธีรา สุนทราภักษ์ (2563) ที่ได้วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมัก จากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จากผลการวิเคราะห์ยังมีปริมาณ โฟสเฟตسيومที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเล็กน้อยตามกรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยหมัก

ลำดับ	คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ย	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์*
1.	ค่าความชื้น	22.18%	< 35% โดยน้ำหนัก
2.	ค่า pH	8.00	5.5 - 8.5
3.	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	31.2 %	> 30 % โดยน้ำหนัก
4.	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	19 : 1	ไม่เกิน 20 : 1
5.	ไนโตรเจน	1.95 %	> 1.0 % โดยน้ำหนัก
6.	ฟอสฟอรัส	0.77 %	> 0.5 % โดยน้ำหนัก
7.	โพแทสเซียม	0.36 %	> 0.5 % โดยน้ำหนัก

*ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

4.2.2 การศึกษาปริมาณการปนเปื้อนของโลหะหนัก

ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนและการสะสมของโลหะหนักในปุ๋ยหมัก ด้วย Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) โดยสร้างกราฟมาตรฐานระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันกับค่า Intensity โดยแกน X เป็นค่า Intensity และแกน Y เป็นค่าความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนัก โดยมีค่า R square เท่ากับ 0.999 ในทุกพารามิเตอร์ของโลหะหนักที่ตรวจวัด และเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพของเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร พ.ศ.2548 พบว่า ทองแดง แมงกานีส ตะกั่ว และสังกะสี มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด ยกเว้นแคดเมียมที่มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งมีค่าสูงถึง 380.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปรากฏดังตาราง 00 อาจเกิดจากการปนเปื้อนโลหะหนักจากขยะในจุดสำหรับการทิ้งขยะจากสวนภายในเขตมหาวิทยาลัย เช่นอุปกรณ์ไฟฟ้า แฉงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และแบตเตอรี่ เป็นต้น หรืออาจเกิดจากการสะสมของแคดเมียมในผักตบชวา ที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักในการทำปุ๋ยหมัก สอดคล้องกับการศึกษาของ Elias และคณะ (2014) ที่พบว่าผักตบชวามีความสามารถในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเซรามิคได้หลายชนิด เช่น เหล็ก สังกะสี แคดเมียม ทองแดง โครเมียม และโบรอน ซึ่งสะสมในส่วนช่อดอกมากกว่าลำต้นและใบได้มากถึง 10 เท่า

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในปุ๋ยหมัก

ลำดับ	โลหะหนัก	ค่าที่ตรวจวัดได้ มิลลิกรัม/กิโลกรัม	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์* มิลลิกรัม/กิโลกรัม
1.	แคดเมียม	6.8	< 5
2.	ทองแดง	112.92	< 500
3.	แมงกานีส	3104.93	< 19,640
4.	ตะกั่ว	55.97	< 500
5.	สังกะสี	252.02	< 300



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษากการพัฒนาต้นแบบนวัตกรรมผลิตภัณฑ์จากขยะและวัสดุเหลือทิ้ง ผู้การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวอย่างยั่งยืน ในพื้นที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวกลางจากผักตบชวาร่วมกับขวดพลาสติกในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และศึกษาคุณภาพ การปนเปื้อนโลหะและมลสารในปุ๋ยหมัก สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด BOD และ COD จากการเปรียบเทียบตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท แบบเส้นใยโพลีโพรพิลีน และแบบเส้นใยผักตบชวา

ตารางที่ 19 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัด BOD และ COD ของวัสดุตัวกลาง

ชนิดของวัสดุตัวกลาง	ประเภทของน้ำเสีย	ประสิทธิภาพการกำจัด BOD (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการกำจัด COD (ร้อยละ)	อ้างอิง
ฟิลเตอร์เมท	น้ำเสีย	85.07	54.18	การศึกษาในงานวิจัยนี้
โพลีโพรพิลีน	จาก	85.68	55.70	
เส้นใยผักตบชวา	สถานศึกษา	82.50	54.20	
ฟิลเตอร์เมท	น้ำเสีย	94.01	81.72	ศศิกานต์ วงศ์งาม และศิริดา ทศนียภักดิ์ (2566)
โพลีโพรพิลีน	จาก	95.48	86.45	
	โรงพยาบาล			
ฟิลเตอร์เมท	น้ำเสียครัวเรือน	99.66	-	พรพิมล ชมเดช และเพชรกาญจน์ ลิ้มบัววัน (2564)
โพลีโพรพิลีน		92.00	75.00	พัชรี โตสกุล
Small Pall Ring	น้ำเสียครัวเรือน	84.00	61.00	และพัลลภ จริยะ
Bio-media Filter				ปัญญา (2556)

ผลการศึกษาเปรียบเทียบตัวกลาง 3 ชนิด ได้แก่ ฟิลเตอร์เมท เส้นใยโพลีโพรพิลีน และเส้นใยผักตบชวา พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ANOVA) โดยตัวกลางแบบเส้นใยโพลีโพรพิลีนมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าตัวกลางแบบเส้นใยผักตบชวา ($p < 0.05$) และประสิทธิภาพในการกำจัด COD ของตัวกลางทั้ง 3 ชนิด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากตารางที่ 19 ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ ศศิกานต์ วงศ์งาม

และศิริดา ทัศนียภักดิ์ (2566) ที่ได้ทำการศึกษาศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลด้วยระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำโดยใช้ตัวกลาง 2 ชนิด ได้แก่ ฟิลเตอร์เมท และเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน โดยผลการศึกษาระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำจากตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมทมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ COD ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล เท่ากับ ร้อยละ 94.01 และ ร้อยละ 81.72 ตามลำดับ และตัวกลางแบบเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีนมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ COD ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล เท่ากับ ร้อยละ 95.48 และร้อยละ 86.45 ตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดที่ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของศศิกันต์ วงศ์งาม และศิริดา ทัศนียภักดิ์ แต่ประสิทธิภาพในการกำจัด COD มีค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่แตกต่างกันระหว่างน้ำเสียจากโรงพยาบาลและน้ำเสียจากอาคารเรียน นอกจากนี้ยังมีความคล้ายคลึงกับการศึกษาของ พรพิมล ชมเดช และเพชรกาญจน์ ลิ้มบัววัน (2564) ที่ได้ศึกษาศึกษาการบำบัดน้ำเสียครัวเรือนด้วยระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำจากตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท โดยผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัด BOD มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 98.70 ซึ่งมีการกำจัด BOD ที่ใกล้เคียงกับการศึกษาในงานวิจัยนี้ที่ตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท โพลีโพรพิลีน และเส้นใยผักตบชวามีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ร้อยละ 85.07 85.68 และ 82.50 ตามลำดับ และปัจจัยที่ทำให้ผลลัพธ์ในการบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD ที่ใกล้เคียงกันกับของงานวิจัยต่าง ๆ ในตารางที่ 19 อาจเกิดจากกิจกรรมของคนที่อาศัยในพื้นที่นั้น ๆ โดยพื้นที่ชุมชนหรือพื้นที่อยู่อาศัย โดยน้ำเสียส่วนใหญ่เกิดจากการอุปโภคและบริโภคซึ่งมีสารอินทรีย์ในน้ำเสียไม่สูงเทียบเท่า น้ำเสียจากอุตสาหกรรม ในส่วนของประสิทธิภาพในการกำจัด COD ที่มีความแตกต่างกันนั้นอาจเกิดจากสารเคมี หรืออินทรีย์อื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบที่แตกต่างกันในน้ำเสียทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัด COD ลดลง

เนื่องจากตัวกลางแบบฟิลเตอร์เมท ตัวกลางแบบเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน และตัวกลางแบบเส้นใยผักตบชวามีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ใกล้เคียงกันในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย ทางผู้วิจัยจึงให้ความสนใจในด้านของต้นทุนของตัวกลางทั้ง 3 ชนิด พบว่า ฟิลเตอร์เมท ที่ 1 ตารางเมตร มีราคาเริ่มต้นที่ 100 บาท ซึ่งหนึ่งถึงบำบัดจะใช้ฟิลเตอร์เมท ขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร ในส่วนของเส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน ที่ 1 ชิ้น มีราคาเริ่มต้น 150 บาท และเส้นใยผักตบชวาที่ได้จากขยะภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งหนึ่งถึงบำบัดจะใช้เส้นใยไผ่กรองโพลีโพรพิลีน อย่างน้อย 2 ชิ้น ใช้แผ่นฟิลเตอร์เมทยาว 1 เมตร และใช้ผักตบชวาตากแห้ง 2 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าถ้าเลือกจากต้นทุนของตัวกลาง ตัวกลางแบบเส้นใยผักตบชวาจะเหมาะสมที่สุด เพราะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าตัวกลางแบบอื่น ๆ

เศรษฐกิจหมุนเวียนภายในสถาบันได้อย่างเป็นรูปธรรม กระบวนการทั้งสองนี้ ไม่เพียงตอบสนองต่อแนวคิดเรื่องการจัดการสิ่งแวดล้อมภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น แต่ยังสามารถเป็นต้นแบบการเรียนรู้เชิงบูรณาการที่เปิดโอกาสให้นักศึกษาและบุคลากรได้มีส่วนร่วมในการสร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมที่ขับเคลื่อนสู่ความยั่งยืนอย่างแท้จริง

ตารางที่ 21 การเชื่อมโยงกิจกรรมวิจัยกับตัวชี้วัดด้านความยั่งยืนของ UI Green Metric

ลำดับ	กิจกรรม / นวัตกรรมในงานวิจัย	เข้ากับหมวด UI GreenMetric	ตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้อง	รายละเอียดที่เกี่ยวข้อง
1	การใช้วัสดุเหลือใช้ (ขวดพลาสติก, ผักตบชวา) ทำเป็นตัวกลางกรองน้ำเสีย	Waste (WS)	- การใช้เชื้อเพลิง	ลดปริมาณขยะฝังกลบ
2	การออกแบบระบบ Recirculating Filter Bio Reactor (RFBR)	Water (WR)	- การบำบัดน้ำเสีย	ลดการปล่อยน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อม
3	การผลิตปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ในมหาวิทยาลัย	Waste (WS) Energy & Climate Change (EC)	- การจัดการของเสียอินทรีย์ - การลดก๊าซเรือนกระจก	เปลี่ยนขยะอินทรีย์ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้
4	การประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) จากการหมักขยะ	Energy & Climate Change (EC)	- การลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์	สนับสนุนเป้าหมาย Net Zero Carbon ของมหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 21 แสดงการเชื่อมโยงกิจกรรมและนวัตกรรมที่ดำเนินการในงานวิจัยฉบับนี้ กับเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนของ UI Green Metric ซึ่งประกอบด้วย 6 หมวดหลัก ได้แก่ สถานที่และโครงสร้างพื้นฐาน (SI) พลังงานและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (EC) ของเสีย (WS) น้ำ (WR) การขนส่ง (TR) และการศึกษา (ED) ผลการวิเคราะห์พบว่า กิจกรรมในงานวิจัยสามารถเชื่อมโยงกับอย่างน้อย 5 หมวด ได้แก่ WS, WR, EC, ED และ SI โดยเฉพาะในหมวดของเสีย (WS) ซึ่งครอบคลุมการรีไซเคิลขยะการหมักปุ๋ยอินทรีย์ และการลดของเสียอย่างเป็นรูปธรรม กิจกรรมเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นในการส่งเสริมการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงเสนอแนวทางสำหรับการศึกษาค้างต่อไปดังนี้

1. ทดลองใช้วัสดุอื่นร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งเดิม เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในการเป็นตัวกลางชีวภาพ
2. พัฒนาแนวทางลดการปนเปื้อนโลหะหนักในปุ๋ยหมัก เช่น คัดแยกวัตถุดิบตั้งแต่ต้นทาง หรือตรวจสอบแหล่งที่มาของวัตถุดิบเพื่อสืบหาแหล่งที่มาของการปนเปื้อน
3. ศึกษาอายุการใช้งานของตัวกลางแต่ละชนิด เพื่อประเมินความคุ้มค่าในระยะยาว และความทนทานต่อการใช้งานจริง
4. ประเมินผลกระทบด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม โดยวิเคราะห์ต้นทุน-ผลตอบแทน (Cost-Benefit Analysis) และผลการลดคาร์บอนฟุตพริ้นต์ที่ได้จากระบบ

บรรณานุกรม

- Chen, X., Chen, X., Wan, X., Weng, B., & Huang, Q. (2010). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) waste as an adsorbent for phosphorus removal from swine wastewater. *Bioresource Technology*, 101(23), 9025-9030. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.07.013>
- Chunkao, K., Nimpee, C., & Duangmal, K. (2012). The King's initiatives using water hyacinth to remove heavy metals and plant nutrients from wastewater through Bueng Makkasan in Bangkok, Thailand. *Ecological Engineering*, 39, 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.09.006>
- Goldstein, J., Newbury, D., Joy, D., Lyman, C., Echlin, P., Lifshin, E., Sawyer, L., & Michael, J. (2017). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis* (4th ed.). Springer. https://www.academia.edu/37560066/Scanning_electron_microscopy_and_x_ray_microanalysis_Goldstein_Newbury_pdf?utm_source=.com
- Saxena, V., Padhi, S. K., & Jhunjhunwala, U. (2021). Treatment of domestic sewage and leachate using a moving bed hybrid bioreactor. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101998. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101998>
- Schlegel, S., & Köser, H. (2007). Wastewater Treatment with Submerged Fixed Bed Biofilm Reactor Systems – Design Rules, Operating Experiences and Ongoing Developments. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 55, 83-89. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.245>
- Teel, L., Olivieri, A., Danielson, R., Delic, B., Pecson, B., Crook, J., & Pagilla, K. (2022). Protozoa reduction through secondary wastewater treatment in two water reclamation facilities. *Science of The Total Environment*, 807, 151053. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151053>

Zhang, W., Xu, J., Wang, X., Huang, X., & Li, W. (2012). Content of heavy metals in animal feeds and manures from farms of different scales in northeast China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9 (8) , 2658–2670. <https://doi.org/10.3390/ijerph9082658>

กรมควบคุมมลพิษ. (2563). คู่มือ การทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย(*Composting*). สืบค้นจาก <https://www.pcd.go.th/publication/500>

ชาญชัย คหาปนนะ. (2562). การบำบัดธาตุอาหารในน้ำเสียจากการผลิตปลาร้าโดยใช้วัสดุดูดซับจากผักตบชวา ปริญญานิพนธ์ (วท.ม. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ)) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2562. <http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/handle/123456789/800>

นงลักษณ์ สุวรรณพิณิจ. (2560). *จุลชีววิทยาทั่วไป* (พิมพ์ครั้งที่ 11, [ฉบับพิมพ์ซ้ำ]). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นพพล เกตุประสาท. (2565). *ผักตบชวา*. สืบค้นจาก http://clgc.agri.kps.ku.ac.th/resources/weed/eichornia.html?fbclid=IwAR2_KIZ5_kkKM-nUhqWZk3_pEKA-ZvlfDa-1rwPFT8FIG572_YsCPPhddDGMDg

นัยนันท์ อริยกานนท์. (2561). ผักตบชวากับการบำบัดสารพิษในน้ำ. *วารสารสิ่งแวดล้อม* 22(3), 51. https://eric.chula.ac.th/eric2020/ej/v22y2561/no3/ap49_56.pdf

พงษ์พันธ์ ผึ้งผาย และคณะ. (2561). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับคราบน้ำมันโดยใช้วัสดุที่มีรูพรุนนาโนเทคโนโลยีธรรมชาติ. *วารสารวิทยาศาสตร์ คชสส*, 40(1), 38-47. https://science.srru.ac.th/kochasarn-files/files/4_161-การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับpdf?fbclid=IwAR2_ATpviaYZqLaOUcZf2_eBalaQn3_8_YQkP_yrXlzFu6_UJpHlodIVkM0Lw5Ak

พรพิมล ชมเดช และ เพชรกาญจน์ ลิ้มบัว. (2564). การศึกษาการบำบัดน้ำเสียครัวเรือนด้วยระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำ. *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*.

พัชรี ไตสกุล และพัลลภ จริยะปัญญา. (2556). การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนด้วยระบบถังกรองตริงฟิล์มจมน้ำด้วยตัวกลางแบบเส้นใยกรองโพลีโพรพิลีน. *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*.

ศศิกันต์ วงศ์งาม และ ศิราดา ทศนีย์ภักดิ์. (2565). การศึกษาประสิทธิภาพของระบบตัวกรองชีวภาพแบบหมุนเวียนน้ำจากตัวกลางเพื่อบำบัดน้ำเสียและศึกษาการปนเปื้อนของสารปนเปื้อนจากน้ำเสียโรงพยาบาล. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.





ภาคผนวก ก
วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

1. การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. น้ำเจือจาง น้ำกลั่น หรือน้ำ RO (Dilution Water)
2. ขวดพลาสติก PE
3. กระบอกตวง 1000 มิลลิลิตร (Measuring Cylinder)
4. บีกเกอร์ (Beakers)
5. แผ่นพาราฟิล์ม (Parafilm © Bemis)
6. ไมโครปิเปต (Micro Pipette)
7. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar)
8. เครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer)
9. เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO Portable Multi meter)
10. ตูบควบคุมอุณหภูมิสำหรับการวิเคราะห์บีโอดี

2. การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ออกซิไดซ์ทางเคมี (COD)

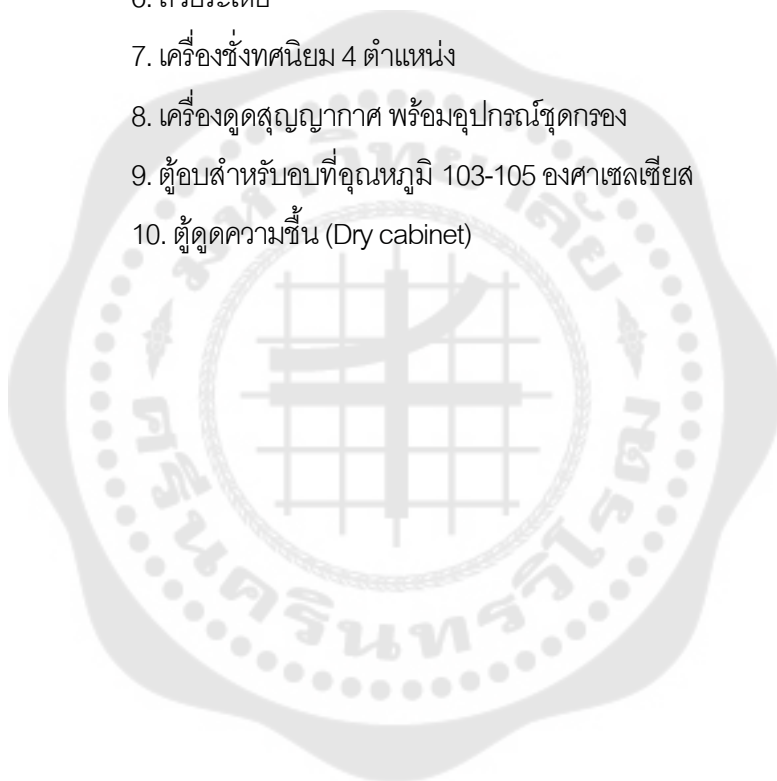
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดตรวจวัด COD สำเร็จรูป 3 หลอด ต่อหนึ่งหน่วยตัวอย่างน้ำเสีย ($K_2Cr_2O_7$ ใน H_2SO_4)
2. ไมโครปิเปต (Micro Pipette)
3. เครื่องบ่ม RD125
4. บีกเกอร์ (Beakers)
5. เครื่องวัดค่า COD DR1900
6. น้ำกลั่น

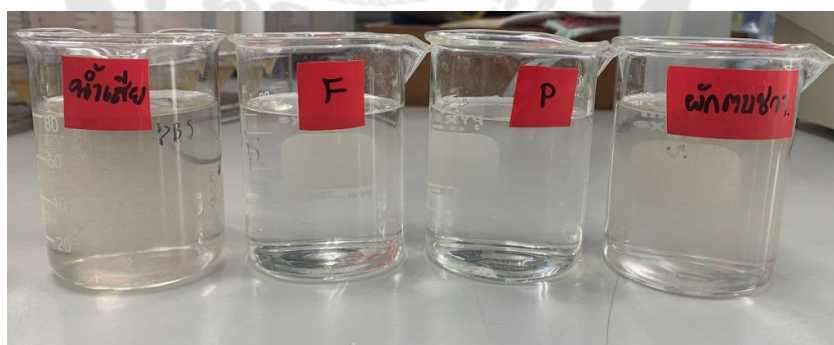
3. การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระจกตวง
2. ปีกเกอร์
3. ปากคืบ
4. ขวดน้ำกรองผ่าน RO
5. กระดาษกรอง GF/C (Whatman ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 mm)
6. ถ้วยระเหย
7. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
8. เครื่องดูดสุญญากาศ พร้อมอุปกรณ์ชุดกรอง
9. ตู้อบสำหรับอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส
10. ตู้ดูดความชื้น (Dry cabinet)



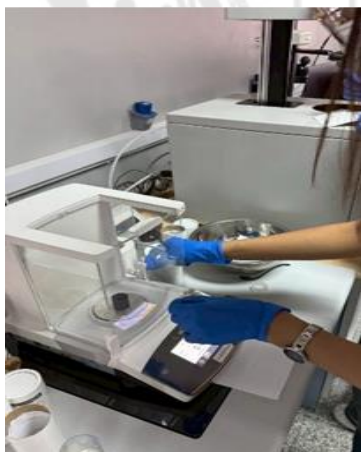
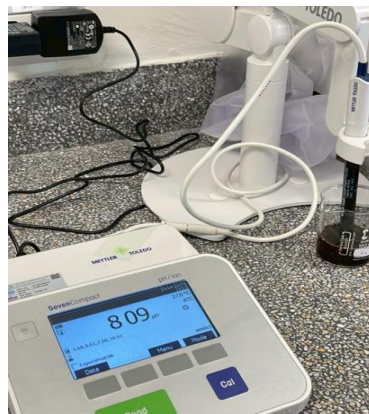
ภาคผนวก ข
ภาพการดำเนินงาน



ภาพ การศึกษาประสิทธิภาพของตัวกลางที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย



ภาพ การจัดเตรียมปุ๋ยหมัก



ภาพ การวิเคราะห์หาคุณภาพปุ๋ยหมัก การปนเปื้อนของโลหะหนัก และการปนเปื้อนมลสาร
ในปุ๋ยหมัก