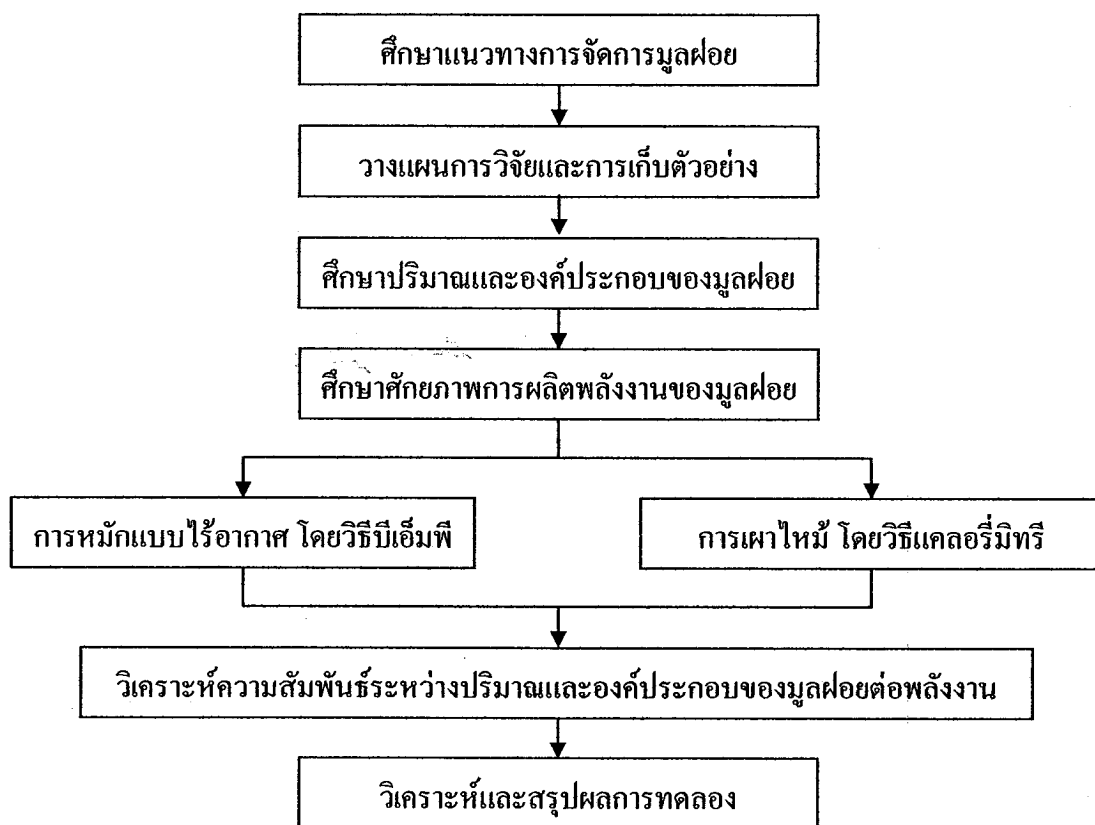


บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชนต่อศักยภาพการผลิตพลังงาน เพื่อเป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจในการจัดการมูลฝอยชุมชน โดยศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

3.2.1 ประวัติหอพักนิตินิตจุฬาฯ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับการสถาปนาขึ้นเป็นมหาวิทยาลัย แห่งแรกของประเทศไทย เมื่อ พ.ศ.2459 การศึกษาในสมัยแรกของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีการจัดแบบการศึกษาและอยู่กิน ในมหาวิทยาลัย (Residential College) หอพักนิตินิตจุฬาฯ จึงถือกำเนิดขึ้นพร้อมกับการมี มหาวิทยาลัย โดยจุดประสงค์ของการสร้างหอพักสำหรับนิตินั้น นอกจากจะเป็นที่พักอาศัย ให้ ความสะดวกสบายไม่ต้องเดินทางไกล ให้ความพร้อมทางด้านอุปกรณ์ในการศึกษาเล่าเรียนแล้ว จุดประสงค์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การเปิดโอกาสให้นิตินได้เรียนรู้การอยู่ร่วมกันในสังคม ได้รับการอบรมส่งเสริมจริยธรรม เพื่อให้นิตินสามารถบรรลุเป้าหมายแห่งการเป็นบัณฑิตที่ สมบูรณ์ มหาวิทยาลัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญ โดยจัดหอพักในมหาวิทยาลัยเพื่อเป็นสวัสดิการ ช่วยเหลือนิตินที่มีความจำเป็น ในด้านที่พักรวมถึงต้องการให้หอพักเป็นสถานที่เพิ่มพูนความรู้และ ช่วยพัฒนาบุคคลให้มากที่สุด หอพักนิตินิตชาย-หญิง แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งอยู่ทางฝั่ง ตะวันตกของถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร แขนงฝั่งและที่ตั้งของอาคาร ต่างๆ ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังแสดงในภาพที่ 3.2

3.2.2 อาคารในพื้นที่หอพักนิตินิตจุฬาฯ

อาคารหอพักนิตินิตจุฬาฯ ปัจจุบันรับนิตินิตทั้งชายและหญิงเข้าพักได้รวมทั้งสิ้น 2,939 คน ประกอบด้วย อาคารพักนิตินิตชายและอาคารพักนิตินิตหญิง โดย

อาคารพักนิตินิตชาย จำนวน 2 หลัง รับนิตินิตชายเข้าพักได้รวม 1,280 คน ดังนี้

1. ตึกจำปี เป็นอาคาร 14 ชั้น มีจำนวนห้องพักสำหรับนิตินิต 248 ห้อง ห้องละ 4 คน
2. ตึกจำปา เป็นอาคาร 5 ชั้น มีจำนวนห้องพักสำหรับนิตินิต 70 ห้อง ห้องละ 4 คน

อาคารพักนิตินิตหญิงจำนวน 3 หลัง รับนิตินิตหญิงเข้าพักได้รวม 1,659 คน ดังนี้

1. ตึกพุดตาน เป็นอาคาร 14 ชั้น มีห้องพักสำหรับนิตินิต 174 ห้อง ห้องละ 3 คน
2. ตึกพุดซ้อน เป็นอาคาร 14 ชั้น มีห้องพักสำหรับนิตินิต 223 ห้อง ห้องละ 4 คน
3. ตึกชวนชม เป็นอาคาร 3 ชั้น มีห้องพักสำหรับนิตินิต 64 ห้อง ห้องละ 3 คน

อาคารหอพักนิตินิตจุฬาฯ ดังแสดงในภาพที่ 3.3



RESIDENCE HALLS		
Champa Student Dormitory	C4	21
Champi Student Dormitory	C4	22
Chuan Chorn Dormitory	C3	23
Chula Niwat Staff Residence Hall 1-4	C5	16
Chula Niwet Staff Residence Hall 1	D4	17
Chula Niwet Staff Residence Hall 3	C4	18
Phut Son Student Dormitory	C4	24
Phut Tan Student Dormitory	C4	25
Sasa Nives (Sasa International House)	C4	20
Suksit Niwet International House	A6	41
Withhayaniwet	C4	19

ภาพที่ 3.2 แผนที่ที่ตั้งของอาคารและโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ที่มา: <http://www.rcu.sa.chula.ac.th>)

นอกจากนี้บริเวณหอพักยังมีร้านค้าจำหน่ายอาหารในโรงอาหารหอพักนิสิต จำนวน 8 ร้าน ร้านจำหน่ายอุปกรณ์ของใช้เบ็ดเตล็ด ร้านบริการซักอบรีดเสื้อผ้า ร้านถ่ายเอกสาร ซุ้มจำหน่ายผลิตภัณฑ์โครงการหลวงดอยคำ และมีบริการเครื่องซักผ้าแบบหยอดเหรียญ ตามชั้นต่างๆในอาคารสำหรับอำนวยความสะดวกให้แก่ นิสิตที่พักในหอพัก



ภาพที่ 3.3 อาคารหอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
(ที่มา: <http://www.rcu.sa.chula.ac.th>)

3.3 ตัวอย่างมูลฝอยชุมชนที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 แหล่งกำเนิดมูลฝอย

มูลฝอยที่ใช้ในการวิจัยแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ มูลฝอยที่เก็บรวบรวมจากอาคารหอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ ตึกจำปี ตึกจำปา ตึกพุดตาน ตึกชวนชม และตึกพุดซ้อน รวมทั้งสิ้นจำนวน 5 หอพัก และมูลฝอยจำพวกเศษอาหารจากโรงอาหารของหอพักนิสิต

3.3.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างมูลฝอย

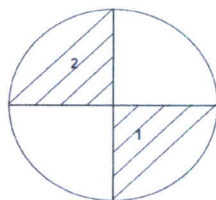
ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างมูลฝอย แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเปิดเทอม (during semester) และปิดเทอม (after semester) ครอบคลุม 7 วัน ตลอดสัปดาห์ ทั้งวันทำการ (weekday) และวันหยุดราชการ (weekend)

3.3.3 การสุ่มตัวอย่างมูลฝอย

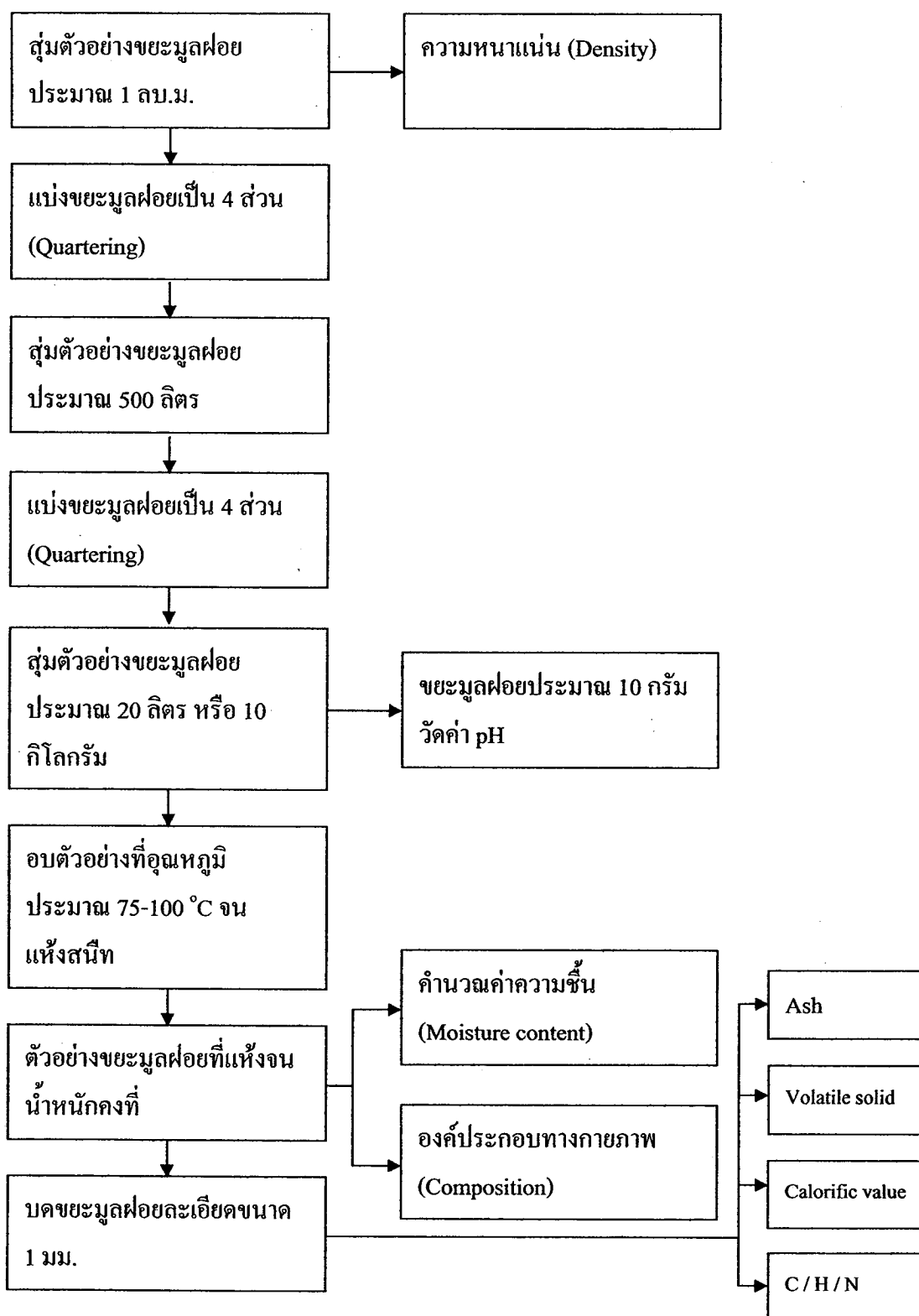
การสุ่มตัวอย่างมูลฝอยเพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เพื่อให้ได้ตัวอย่างมูลฝอยที่เป็นตัวแทนของมูลฝอยทั้งหมด แต่เนื่องจากระบบการเก็บรวบรวมมูลฝอยของหอพักนิสิตจุฬาฯ ยังไม่มีการแยกประเภทของมูลฝอยที่ชัดเจน การสุ่มตัวอย่างมูลฝอยจึงต้องทำให้มูลฝอยเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้องค์ประกอบของมูลฝอยเหมือนกันทุกส่วน (ฉัฐวุฒิ แส่นอำนวยผล, 2547) โดยนำมูลฝอยผ่านการคลุกเคล้าให้เข้ากันดีแล้ว มากระจายออก และกองเป็นรูปทรงกรวยบริเวณพื้นราบที่น้ำไม่สามารถซึมผ่าน (หรือปูรองด้วยแผ่นกันซึม) ดังแสดงในภาพที่ 3.4 แล้วแบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน นำสองส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันมารวมกัน สองส่วนที่เหลือให้ทิ้งไป ดังแสดงในภาพที่ 3.5 ทำการแบ่งส่วนที่รวมกันไว้ เช่นเดิมอีกจนได้ปริมาณตัวอย่างตามที่ต้องการ แล้วนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีต่อไป



ภาพที่ 3.4 ลักษณะการกองมูลฝอยให้เป็นรูปกรวย (ไพศาล ผดุงศิริกุล, 2536)



ภาพที่ 3.5 การสุ่มตัวอย่างโดยวิธีแบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยเลือกส่วนที่ตรงข้ามกัน 2 ส่วนที่เหลือคัดออก (ไพศาล ผดุงศิริกุล, 2536)



ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของมูลฝอย (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2547)

3.3.4 การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของมูลฝอย

บันทึกปริมาณของมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และนำตัวอย่างมูลฝอยที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างมูลฝอยชุมชน

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ลักษณะทางกายภาพ	
องค์ประกอบทางกายภาพ (Composition)	การแบ่งออกเป็น 4 ส่วน (Quartering method) (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2553)
ความหนาแน่น (Bulk density)	การวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอยทางกายภาพ (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2553)
ลักษณะทางเคมี	
ของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS)	การวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอยทางเคมี (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2553)
ความชื้น (Moisture Content: MC)	การวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอยทางเคมี (Dried 75-100°C) (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2553)
ของแข็งระเหย (Volatile Solids: VS)	การวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอยทางเคมี (Ignited at 815±10°C) (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2553)
เถ้า (Ash)	การวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอยทางเคมี (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2553)

3.4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัย

เชื้อจุลินทรีย์ (Seed) ที่ใช้ในงานวิจัย คือจุลินทรีย์จากระบบบำบัดแบบไร้อากาศของบริษัท ปทุมธานีบิรเวอรี่ จำกัด ทำการปรับสภาพหัวเชื้อจุลินทรีย์ (Acclimatization) ก่อนนำไปใช้งานเป็นเวลา 30 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายเศษอาหารได้ทันทีที่เริ่มต้นการวิเคราะห์บีเอ็มพี โดยวิเคราะห์ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ทั้งนี้เชื้อจุลินทรีย์ที่นำไปใช้จะต้องมีลักษณะเบื้องต้นดังนี้ ค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 95 ของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5 และของแข็งระเหยเท่ากับร้อยละ 90 ของน้ำหนักแห้ง (ปพิชญา พันธูระ, 2553)

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS)	AOAC, 1999 (Dried 105°C)
ความชื้น (Moisture Content: MC)	AOAC, 1999 (Dried 105°C)
ของแข็งระเหย (Volatile Solids: VS)	AOAC, 1999 (Dried 550 - 600°C)
ปริมาณเถ้า (Ash)	AOAC, 1999 (Dried 550 - 600°C)
ซีโอดีรวม (Total COD)	Standard Method#5220C (Closed Reflux)
ความเป็นกรดต่าง (pH)	Electronic pH Meter
ความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชัน (ORP)	Electronic ORP Meter

3.5 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.5.1 ชุดการทดลองบีเอ็มพี

การทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale) เพื่อศึกษาหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของเศษอาหาร ทำการจำลองกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) โดยประยุกต์จากวิธีบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential: BMP) (Moody และคณะ, 2009) ในงานวิจัยใช้ขวดซีรัมสีชาขนาด 120 มิลลิลิตร พร้อมจุกยางและฝาอลูมิเนียม ดังแสดงในภาพที่ 3.7 และวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยกระบวนการแทนที่ของเหลวโดยเครื่องวัดปริมาตรก๊าซชีวภาพแบบท่อรูปตัวยู ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.7 ขวดซีรัมสีชาขนาด 120 มิลลิลิตร



ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดปริมาณก๊าซชีวภาพแบบท่อรูปตัวยู

3.5.2 โปรแกรมสถิติ SPSS (Statistical Package for Social Science)

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ และค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย โดยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

3.5.3 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ

1. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง
2. เทอร์โมมิเตอร์
4. เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 - 105 องศาเซลเซียส
5. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 150 องศาเซลเซียส
6. เตาเผาควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 550 ± 50 องศาเซลเซียส
7. เครื่องอังไอน้ำ
8. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง
9. เครื่องย่อยสลาย ชุคกลั่น และเครื่องดูดควัน
10. เครื่องปั่นกวน
11. เครื่องให้ความร้อนแบบแผ่น
12. เครื่องแก้วต่างๆ

3.5.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl)
2. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
3. กรดบอริก (H_3BO_3)
4. โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3)
5. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
7. ฟีนอล์ฟทาลีน ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$)
8. เอทิลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)
9. บรอมครีซอลกรีน ($\text{C}_{21}\text{H}_{14}\text{Br}_4\text{O}_5\text{S}$)
10. เมทิลเรด ($\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$)
11. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
12. คอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4)
13. โซเดียมไตรออกซัลเฟตเพนตาไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
14. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
15. เมทิลีนบลู ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{S}$)
16. โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
17. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
18. 1, 10 - ฟีนานโทรลีน โมโนไฮเดรต ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
19. เฟอรัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
20. แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
21. แอนติโมนีโปตัสเซียมทาทเรท ($\text{K}(\text{SbO}) \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)
22. แอสคอร์บิกแอซิด ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)
23. โปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)
24. เมอคิวริกซัลเฟต (HgSO_4)
25. ซิลเวอร์ซัลเฟต (AgSO_4)
26. ซิงค์ซัลเฟต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
27. ไดโซเดียมเอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิเตตไดไฮเดรต ($\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_{10}$)
28. เมอคิวริกไอโอไดด์ (HgI_2)

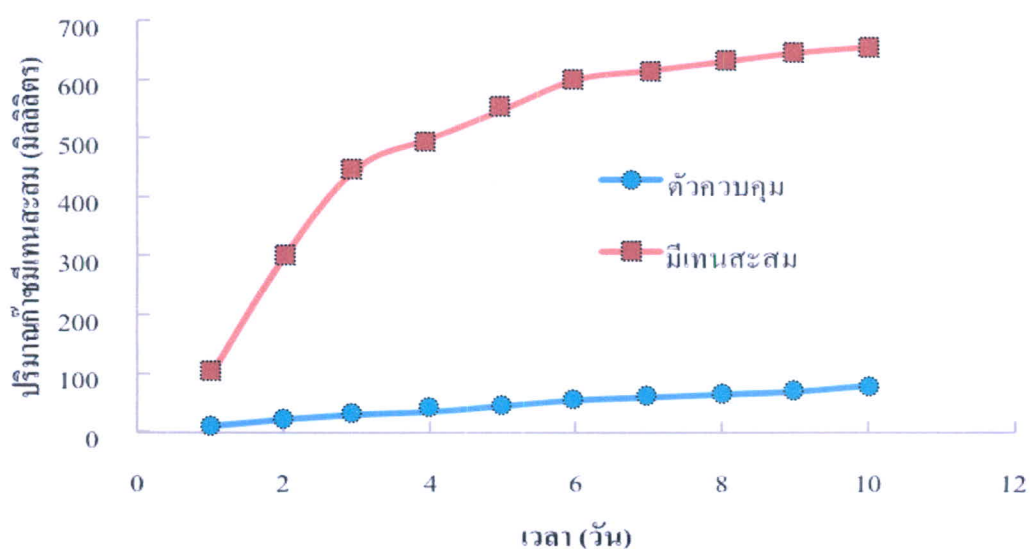
29. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)
30. ก๊าซไนโตรเจน (N_2)
31. เบนโซอิกแอซิด ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$)

3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.6.1 สักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลฝอย

วิธีบีเอ็มพีเป็นการหาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อกรัมของแข็งระเหยที่ใส่เข้าระบบ วิธีบีเอ็มพีทำได้โดยนำสารอินทรีย์ผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ลงในขวดแล้วใส่ก๊าซออกซิเจนออกให้หมดโดยการเติมก๊าซไนโตรเจน จากนั้นปิดขวดให้สนิทและทำการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจนกว่าระบบจะไม่มีก๊าซเกิดเพิ่มขึ้น จากนั้นนำปริมาณก๊าซมีเทนสะสมไปพล็อตกราฟแสดงปริมาณก๊าซมีเทนสะสมตามระยะเวลาที่ทำการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3.9 และคำนวณค่าบีเอ็มพี โดยมีหน่วยเป็นลิตรของก๊าซมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยใส่เข้าระบบ ดังสมการที่ 3.1 (Banks, 2007)

$$\text{บีเอ็มพี} = \frac{\text{ปริมาตรของก๊าซมีเทนชุดทดลอง (ลิตร)} - \text{ปริมาตรของก๊าซมีเทนชุดควบคุม (ลิตร)}}{\text{ปริมาณของแข็งระเหยที่ใส่เข้าระบบ (กรัม)}} \quad (3.1)$$



ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างการสร้างกราฟปริมาณก๊าซมีเทนสะสมตามระยะเวลาที่ทำการทดลอง

การศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของเศษอาหารจากโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ต้องการทราบว่าเศษอาหารที่นำมาทดสอบสามารถย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศแล้วเกิดเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทนในปริมาณเท่าไรต่อปริมาณเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองนั้น ได้แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดเศษอาหารและชุดควบคุม โดยชุดเศษอาหารนั้นจะประกอบด้วยเศษอาหาร หัวเชื้อจุลินทรีย์ สารอาหารและบัฟเฟอร์ ในขณะที่ชุดควบคุมจะไม่มีเศษอาหาร แต่มีหัวเชื้อจุลินทรีย์ สารอาหาร และบัฟเฟอร์ สารอาหาร จุลินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบศักยภาพที่แท้จริงในการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนของเศษอาหาร พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์เพื่อหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธีบีเอ็มพี ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 สารอาหารและบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์บีเอ็มพี

ชนิดสารเคมี	ความเข้มข้น (mg/l)	ชนิดสารเคมี	ความเข้มข้น (mg/l)
สารอาหารหลัก		$\text{CuCl}_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$	0.5
NH_4Cl	400	ZnCl_2	0.5
$\text{MgSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$	400	$\text{AlCl}_3 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$	0.5
KCl	400	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$	0.5
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9(\text{H}_2\text{O})$	300	H_3BO_3	0.5
$\text{CaCl}_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$	50	$\text{NiCl}_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$	0.5
$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	80	$\text{NiWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.5
		Na_2SeO_4	0.5
สารอาหารเสริม		สารบัฟเฟอร์	
$\text{FeCl}_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	40	NaHCO_3	5000
$\text{CoCl}_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$	10		
KI	10		
$(\text{NaPO}_2)_6$	0.5		
$\text{MnCl}_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	0.5		
NH_4VO_5	0.5		

ที่มา: Speech, 1996

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์เพื่อหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธีบีเอ็มพี

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
ของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS)	Standard Method#2540B (Dried 103 - 105°C)	เริ่มต้นและสิ้นสุด
ของแข็งระเหย (Volatile Solids: VS)	Standard Method#2540B (Dried 500 - 600°C)	เริ่มต้นและสิ้นสุด
ทีเคเอ็น (Total Nitrogen Kjeldahl: TKN)	Standard Method#4500 - NH ₃	เริ่มต้นและสิ้นสุด
ซีโอดีรวม (Total COD)	Standard Method#5220C (Closed Reflux)	เริ่มต้นและสิ้นสุด
ก๊าซชีวภาพ (Gas production)	Inverted Glass Cylinder Method	ทุกวัน
ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (Percent Methane)	Gas Chromatography	1 ครั้ง/สัปดาห์
ความเป็นกรดค่า (pH)	Electronic pH meter	2 ครั้ง/สัปดาห์
กรดอินทรีย์ระเหย (VFA)	Standard Method#5560	2 ครั้ง/สัปดาห์
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	Standard Method#2320B (Titration Method)	2 ครั้ง/สัปดาห์

3.6.2 ศักยภาพการผลิตค่าความร้อนของมูลฝอยชุมชน

การศึกษาค่าความร้อนของมูลฝอย วิเคราะห์โดยบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2553) จากเครื่องบอมบ์มิเตอร์

3.6.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

3.6.3.1 จำนวนตัวอย่างมูลฝอย

จำนวนตัวอย่างมูลฝอยที่น้อยที่สุดสำหรับใช้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถคำนวณได้ ดังแสดงในสมการที่ 3.2 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544)

$$n = (Z_{1-\alpha/2} S/E)^2 \quad (3.2)$$

โดยกำหนดให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) มีค่า 324 (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2542) ให้ค่าประมาณต่างจากค่าจริง (E) ไม่เกิน 100 kcal/kg และมีค่าความเชื่อมั่น 95% (Z = 1.96) แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad n &= (1.96 \times 324 / 100)^2 \\ n &= 40.33 \end{aligned}$$

จะเห็นว่าจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คำนวณค่าความร้อน คือ 41 ตัวอย่าง ดังนั้นในจำนวนตัวอย่างมูลฝอยที่เก็บจากอาคารหอพักนิสิตรวมทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง โดย 48 ตัวอย่าง ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน และ 12 ตัวอย่าง ใช้สำหรับการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

3.6.3.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามในรูปของสมการ ในงานวิจัยฉบับนี้ศึกษาการสร้างแบบจำลองในรูปของสมการคำนวณเพื่อหาค่าความร้อน จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ ได้แก่ เศษอาหาร กระดาษ พลาสติก หนังสือและยาง ผ้า และความชื้น และปริมาณค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย ได้แก่ ความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหย และปริมาณเถ้า ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น ดังแสดงในสมการ 3.3

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n \quad (3.3)$$

เมื่อ Y คือ ค่าความร้อน (kg/kcal)

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ คือ องค์ประกอบทางกายภาพ หรือ ลักษณะทางเคมี

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ในการพิจารณาว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดพิจารณาจาก

- สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (r) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมาก สัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความเหมาะสม

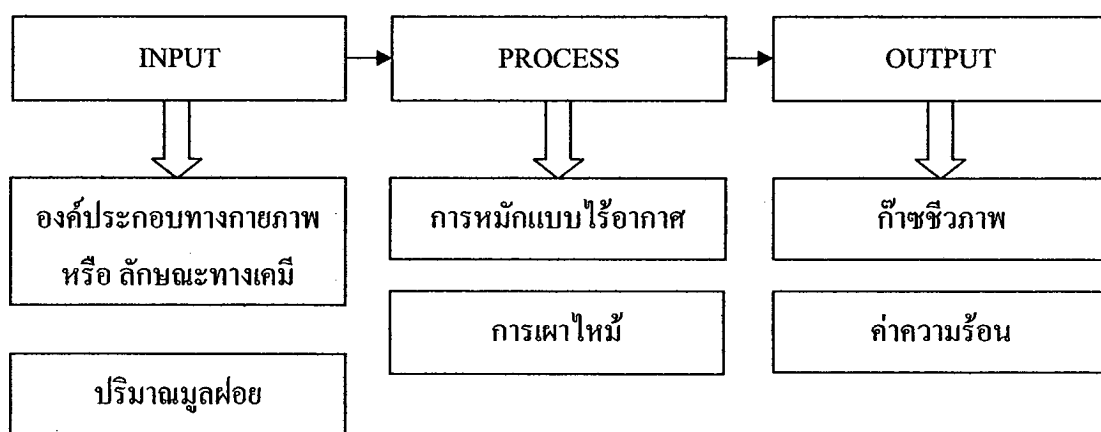
- การทดสอบสมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (F-test) สำหรับพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น $X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$ กับตัวแปรตาม Y ถ้าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แสดงว่าตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน

- การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (T-test) สำหรับพิจารณาความสำคัญของตัวแปรต้น $X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$ ที่มีผลต่อตัวแปรตาม Y ถ้าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แสดงว่าตัวแปรต้นมีความสำคัญต่อตัวแปรตาม

- การประมาณค่าคลาดเคลื่อนของความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (S) ถ้ามีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความเหมาะสม

3.6.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ประเมินแนวทางที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยชุมชน โดยเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่ได้จากระบวนการแปรรูป โดยคำนึงถึงความแปรปรวนเชิงปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอยที่ส่งผลต่อปริมาณพลังงานของมูลฝอยในแต่ละกระบวนการ ดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบและปริมาณมูลฝอย
กระบวนการแปรรูป และปริมาณพลังงาน