

ศักยภาพการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยชุมชนของหอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ และการเผาไหม้

นางสาววิมลวรรณ หวังรุ่งทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ASSESSMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE UTILIZATION: ANAEROBIC DIGESTION
AND COMBUSTION AT CHULALONGKORN UNIVERSITY DORMITORY

Miss Wimolwan Wangroongsub

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ศักยภาพการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยชุมชนของหอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศและการเผาไหม้
โดย	นางสาววิมลวรรณ หวังรุ่งทรัพย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชา ขาวเขียว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์กร ราชกรกิจ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรัณย์ เตชะเสน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. เอมมา อาสนจินดา)

วิมลวรรณ หวังรุ่งทรัพย์: ศักยภาพการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยชุมชนของหอพักนิสิตชาย - หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศและการเผาไหม้. (ASSESSMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE UTILIZATION: ANAEROBIC DIGESTION AND COMBUSTION AT CHULALONGKORN UNIVERSITY DORMITORY) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์, 176 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้ต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบและปริมาณของมูลฝอยจากหอพักนิสิตชาย-หญิงจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กับศักยภาพการผลิตพลังงานจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศและการเผาไหม้ รวมถึงการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น พบว่าองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักประกอบด้วยเศษอาหารร้อยละ 64.73 และ 60.89 พลาสติกร้อยละ 18.81 และ 18.27 กระดาษร้อยละ 6.73 และ 8.45 หนังกและยางร้อยละ 0.46 และ 0.16 ฝ้ายร้อยละ 0.08 และ 0.05 แก้วร้อยละ 5.18 และ 6.64 โลหะร้อยละ 0.83 และ 0.23 อื่นๆร้อยละ 3.18 และ 5.31 อัตราการเกิดมูลฝอยเท่ากับ 502.86 และ 425.31 กิโลกรัมต่อวัน ในช่วงเปิดและปิดภาคเรียนตามลำดับ องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยโรงอาหารประกอบด้วยเศษอาหารร้อยละ 100.00 ทั้งเปิดและปิดภาคเรียน อัตราการเกิดมูลฝอยเท่ากับ 141.61 และ 92.36 กิโลกรัมต่อวัน ในช่วงเปิดและปิดภาคเรียนตามลำดับ ศักยภาพการผลิตพลังงานของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจากกระบวนการไหม้โดยค่าความร้อน LSCV มีค่า 1,467.23 และ 1,776.94 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมในช่วงเปิดและปิดภาคเรียนตามลำดับ ศักยภาพการผลิตพลังงานของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศมีค่าความร้อน LSCV 1,732 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพคือ (1) $LSCV \text{ (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)} = 47.47PL(\%) + 70.23PP(\%)$ (Adjusted $R^2=0.97$) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีคือ (2) $LSCV \text{ (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)} = 49.09C(\%)$ (Adjusted $R^2=0.97$) พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีมีความแม่นยำมากกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ เนื่องจากตัวแปรอิสระที่ได้จากองค์ประกอบทางกายภาพยังมีค่าความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ในขณะที่ตัวแปรอิสระที่ได้จากลักษณะทางเคมีไม่มีค่าความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้อง

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา2555..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

##5270502821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : MUNICIPAL SOLID WASTE / BIOCHEMICAL METHANE POTENTIAL / BIOGAS / COMBUSTION / CALORIFIC VALUE

WIMOLWAN WANGROONGSUB: ASSESSMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE UTILIZATION: ANAEROBIC DIGESTION AND COMBUSTION AT CHULALONGKORN UNIVERSITY DORMITORY. ADVISOR: ASST.PROF. PICHAYA RACHDAWONG, Ph.D., 176 pp.

The objective of the research is to study the composition and quantity of municipal solid waste (MSW) from Chulalongkorn University dormitory and relationship to the energy production potential by anaerobic digestion and combustion process. In addition, mathematical models of calorific values, using physical compositions and chemical characteristics, are developed by stepwise multiple linear regression method. The physical compositions by wet weight percent of MSW from dormitory were as follows: food waste 64.73% and 60.89% plastic 18.81% and 18.27% paper 6.73% and 8.45% leather&rubber 0.46% and 0.16% textile 0.08% and 0.05% glass 5.18% and 6.64% metal 0.83% and 0.23% and others 3.18% and 5.31%, for during and after semester, respectively. The MSW generation rate was 502.86 kg/day during semester period and 425.31 kg/day after semester period. The physical composition of MSW from dormitory's cafeteria was 100.00% food waste for both during and after semester. The MSW generation rate for the cafeteria was 141.61 and 92.36 kg/day during and after semester, respectively. Energy production potential of MSW from dormitory by combustion process, as measured by lower solid calorific value (LSCV), was 1,467.23 and 1,776.94 kcal/kg during and after semester, respectively. Energy production potential of MSW from dormitory's cafeteria by anaerobic digestion process, as measured by lower solid calorific value (LSCV), was 1,732 kcal/kgVS. The calorific model from compositional analysis was (1) $LSCV (kcal/kg) = 47.47PL(\%) + 70.23PP(\%)$ (Adjusted $R^2=0.97$). The calorific model from proximate analysis was (2) $LSCV (kcal/kg) = 49.09C(\%)$ (Adjusted $R^2=0.97$). The model based on proximate analysis yielded a better prediction due to the input value that excluded moisture content. The moisture content may vary from time to time and was not directly accounted in the compositional model.

Department : Environmental Engineering Student's Signature

Field of Study : Environmental Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2012 Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ และกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีณย์ เตชะเสน และ อาจารย์ ดร. เอมมา อาสนจินดา ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

กราบขอบพระคุณ คุณประสาธ จูมพล หัวหน้าหอพักนิสิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บตัวอย่างมูลฝอยเพื่อใช้ในการวิจัยและสละเวลาในการให้ความรู้เบื้องต้นด้านการจัดการมูลฝอยของหอพักนิสิต

กราบขอบพระคุณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้เงินทุนสนับสนุนทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รุ่นที่ 17 ครั้งที่ 1/2555 ภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา 2554 กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

กราบขอบพระคุณ คณาจารย์ นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ เพื่อนและรุ่นพี่นิสิตปริญญาโททุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำปรึกษาในทุกด้านรวมทั้งกำลังใจที่ได้รับเสมอมา

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ มารดา บิดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก กำลังใจ และให้การสนับสนุนตลอดมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 มูลฝอยชุมชน.....	4
2.1.1 ความหมาย.....	4
2.1.2 ลักษณะของมูลฝอย.....	4
2.1.3 แหล่งกำเนิด.....	11
2.1.4 ปริมาณมูลฝอยชุมชน.....	11
2.2 กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion: AD).....	13
2.2.1 ขั้นตอนการหมักแบบไร้อากาศ.....	13
2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ.....	15
2.2.3 วิธีวิเคราะห์บีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential: BMP).....	16
2.2.4 การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ.....	16
2.3 กระบวนการเผาไหม้ (Combustion).....	18
2.3.1 กระบวนการความร้อนสำหรับการเผาไหม้.....	18
2.3.2 การเผามูลฝอยโดยเตาเผา (Incinerator).....	18
2.3.3 องค์ประกอบพื้นฐานของการติดไฟของมูลฝอย.....	19
2.3.4 ค่าความร้อน (Calorific value).....	20
2.3.5 การคำนวณค่าความร้อนของมูลฝอย.....	23

2.4 ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regressiosn).....	25
2.4.1 รูปแบบของสมการความถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ.....	25
2.4.2 ความหมายของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน.....	26
2.5 การใช้ประโยชน์จากมูลฝอยของประเทศไทยในปัจจุบัน.....	27
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 แผนการทดลอง.....	33
3.2 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา.....	34
3.2.1 ประวัติหอพักนิตินิตจุฬาฯ.....	34
3.2.2 อาคารในพื้นที่หอพักนิตินิตจุฬาฯ.....	34
3.3 ตัวอย่างมูลฝอยชุมชนที่ใช้ในงานวิจัย.....	36
3.3.1 แหล่งกำเนิดมูลฝอย.....	36
3.3.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างมูลฝอย.....	37
3.3.3 การสุ่มตัวอย่างมูลฝอย.....	37
3.3.4 การศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของมูลฝอย.....	39
3.4 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย.....	39
3.5 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี.....	40
3.5.1 ชุดการทดลองบีเอ็มพี.....	40
3.5.2 โปรแกรมสถิติ SPSS (Statistical Package for Social Science).....	41
3.5.3 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ.....	41
3.5.4 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	42
3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	43
3.6.1 ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลฝอย.....	43
3.6.2 ศึกษาศักยภาพการผลิตค่าความร้อนของมูลฝอยชุมชน.....	45
3.6.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน.....	45
3.6.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	48
4.1 การจัดการมูลฝอยของหอพักนิตินิต.....	48
4.2 ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยหอพักนิตินิต.....	50

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต.....	50
4.2.2 ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโรงอาหารหอพัก นิสิต.....	56
4.3 ปริมาณของมูลฝอยหอพักนิสิต.....	59
4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของเศษอาหาร โรงอาหารหอพักนิสิต.....	59
4.4.1 ลักษณะของหัวเชื้อจุลินทรีย์.....	59
4.4.2 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของเศษอาหาร โดยวิธีบีเอ็มพี.....	60
4.4.3 สภาพแวดล้อมในการทดลองบีเอ็มพี.....	62
4.4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลฝอยโรงอาหาร โดยวิธีบีเอ็มพี.....	65
4.5 ศักยภาพการผลิตค่าความร้อนของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต.....	68
4.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน.....	68
4.6.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทาง ทางกายภาพของมูลฝอย (Compositional analysis)	69
4.6.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมี ของมูลฝอย (Proximate analysis)	75
4.6.3 การตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบ ทางกายภาพของมูลฝอย (Compositional analysis)	80
4.6.4 การตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทาง เคมีของมูลฝอย (Proximate analysis)	81
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	84
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	84
5.1.1 องค์ประกอบและปริมาณของมูลฝอยหอพักนิสิตจุฬาฯ.....	84
5.1.2 ศักยภาพการผลิตพลังงานของมูลฝอยหอพักนิสิตจุฬาฯ.....	85
5.1.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน.....	86
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	86
รายการอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก วิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล.....	94
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	102

ภาคผนวก ค การทดสอบและวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	138
ภาคผนวก ง การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน.....	147
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	176

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยชุมชน.....	6
2.2 องค์ประกอบมูลฝอยสดที่สถานีขนถ่ายมูลฝอยอ่อนนุช.....	7
2.3 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของมูลฝอยกรุงเทพมหานครระหว่างปีงบประมาณ 2536 -2545.....	8
2.4 แหล่งกำเนิดและลักษณะมูลฝอย.....	11
2.5 ปริมาณมูลฝอยชุมชนในประเทศไทยระหว่าง พ.ศ. 2535 - 2553.....	12
2.6 ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นระหว่าง พ.ศ. 2547 - 2553 แยกตามรายภาค.....	13
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ.....	15
3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างมูลฝอยชุมชน.....	39
3.2 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์.....	40
3.3 สารอาหารและบัพเฟออร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์บีเอ็มพี.....	44
3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์เพื่อหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธีบีเอ็มพี.....	45
4.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต.....	51
4.2 ลักษณะทางกายภาพมูลฝอยชุมชนของประเทศที่มีรายได้ปานกลาง และมูลฝอย กรุงเทพมหานคร ปี 2545 และ 2552.....	54
4.3 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารพักหอพักนิสิต.....	55
4.4 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยชุมชนของกลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลาง.....	56
4.5 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิต.....	57
4.6 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิต.....	57
4.7 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยประเภทเศษอาหาร.....	58
4.8 ปริมาณของมูลฝอยหอพักนิสิตจุฬาฯที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน.....	59
4.9 ลักษณะของหัวเชื้อจุลินทรีย์.....	60
4.10 ของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดในการทดลองบีเอ็มพี.....	60
4.11 แอมโมเนียในโตรเจนและซีโอดีรวมเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดในการทดลองบีเอ็มพี.....	61
4.12 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของเศษอาหาร.....	67
4.13 ค่าความร้อนของมูลฝอยอาคารพักหอพักนิสิต.....	68
4.14 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ ของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต.....	69

ตารางที่	หน้า
4.15 ค่าสถิติพรรณนาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต.....	71
4.16 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย.....	72
4.17 ค่าการคัดกรองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ ของมูลฝอย.....	73
4.18 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของ มูลฝอยอาคารหอพักนิสิต.....	75
4.19 ค่าสถิติพรรณนาลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต.....	77
4.20 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย.....	78
4.21 ค่าการคัดกรองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนลักษณะทางเคมีของมูลฝอย.....	79
4.22 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน model1 และ model2.....	81
4.23 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน model3 และ model4.....	83

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของมูลฝอย.....	5
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น ของแข็งรวม ของแข็งระเหยและเถ้าของมูลฝอย.....	9
2.3 กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ.....	14
2.4 เตาเผามูลฝอยที่ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับใช้ประโยชน์ด้านพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้.	19
2.5 เทอร์โมกราฟที่ได้จากการทดลองบอมบ์แคลอรีมิเตอร์.....	21
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	34
3.2 แผนผังที่ตั้งของอาคารและ โรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	35
3.3 อาคารหอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	36
3.4 ลักษณะการกองมูลฝอยให้เป็นรูปกรวย.....	37
3.5 การสุ่มตัวอย่างโดยวิธีแบ่งออกเป็น 4 ส่วน.....	37
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของมูลฝอย.....	38
3.7 ขวดซีรัมสีชาขนาด 120 มิลลิลิตร.....	40
3.8 เครื่องวัดปริมาณก๊าซชีวภาพแบบท่อรูปตัวยู.....	41
3.9 ตัวอย่างการสร้างกราฟปริมาณก๊าซมีเทนสะสมตามระยะเวลาที่ทำการทดลอง.....	43
3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบและปริมาณมูลฝอย กระบวนการแปรรูป และปริมาณพลังงาน.....	47
4.1 จุลรวมมูลฝอยจากอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ.....	49
4.2 จุลรวมเศษอาหารจากโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ.....	49
4.3 การคัดแยกมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตเพื่อศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ.....	50
4.4 อุณหภูมิสภาพแวดล้อม.....	62
4.5 ความเป็นกรด-ด่าง.....	63
4.6 กรดไขมันระเหยในการทดลองบีเอ็มพี.....	64
4.7 ความเป็นด่าง.....	65
4.8 ก๊าซชีวภาพสะสมของเศษอาหาร.....	66
4.5 ก๊าซชีวภาพรายวันของเศษอาหาร.....	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาด้านการจัดการทรัพยากร เนื่องจากการเพิ่มของจำนวนประชากร รวมทั้งการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจที่มีการแข่งขันที่สูงขึ้น ทำให้ความต้องการใช้ทรัพยากรเพื่อการอุปโภคบริโภคสูงขึ้น จึงเริ่มมีการมองหาแหล่งพลังงานทางเลือก (Alternative sources) เพื่อนำมาใช้ทดแทนทรัพยากรเดิม และช่วยลดต้นทุนในการผลิต ในขณะที่ทรัพยากรที่เป็นที่ต้องการมีปริมาณลดลง แต่มูลฝอยที่ไม่เป็นที่ต้องการกลับมีปริมาณเพิ่มขึ้น จนไม่สามารถจัดการได้อย่างทั่วถึงหรือทันต่อเวลา ส่งผลกระทบต่อสภาพความเป็นอยู่ สุขอนามัย และสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมูลฝอยจากชุมชนที่มีปริมาณมาก และต้องการการกำจัดอย่างรวดเร็ว มิฉะนั้นอาจส่งกลิ่นรบกวน และกลายเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคและสัตว์ที่เป็นพาหะได้ โดยเฉพาะประเทศไทยปริมาณมูลฝอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละปี การจัดการมูลฝอยส่วนใหญ่ทำโดยการนำไปทิ้งยังหลุมฝังกลบ ซึ่งนับวันจะเริ่มมีพื้นที่ลดลง เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ต้องการพื้นที่ในการจัดการมาก และได้รับการต่อต้านจากประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณโดยรอบนั้น

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้มีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากมูลฝอย หรือการเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงาน (Waste to Energy: WTE) เป็นแนวคิดที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เพราะนอกจากช่วยทดแทนความต้องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติบางส่วนแล้ว ยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าสูงสุด ทั้งยังช่วยลดปริมาณมูลฝอยที่จะต้องนำไปยังหลุมฝังกลบ จึงลดค่าใช้จ่าย และพื้นที่ในการจัดการมูลฝอยได้ วิธีการนำมูลฝอยชุมชนมาแปรรูปเป็นพลังงานนั้นมีหลายวิธี ขึ้นกับกระบวนการที่เกิดขึ้น คือ กระบวนการทางความร้อนเคมี (Thermo-chemical process) และ กระบวนการทางชีวเคมี (Bio-chemical process) ผลที่ได้จากการแปรรูปจะแตกต่างกันออกไป ตามกระบวนการและเทคโนโลยีที่เลือกใช้ รวมถึงองค์ประกอบและปริมาณของมูลฝอยชุมชน ซึ่งมีความแตกต่างกันตามกิจกรรม ณ แหล่งกำเนิดมูลฝอยเหล่านั้น อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเลือกกระบวนการการแปรรูปมูลฝอยชุมชนที่เหมาะสมยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ เนื่องจากยังขาดการมองภาพรวมของระบบการจัดการมูลฝอยชุมชนทั้งหมดในรูปของ

ผลที่จะได้รับจากกระบวนการแปรรูป อีกทั้งยังขาดการนำความแปรปรวนของมูลฝอยทั้งด้านปริมาณและองค์ประกอบเข้ามามีส่วนในการพิจารณาการจัดการที่เหมาะสม

งานวิจัยฉบับนี้จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของความแปรปรวนด้านองค์ประกอบและปริมาณของมูลฝอยชุมชนที่เกิดจากหอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ต่อปริมาณพลังงานที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปโดยการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion: AD) และการเผาไหม้ (Combustion) เพื่อประเมินแนวทางการใช้ประโยชน์และการจัดการมูลฝอยที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชนที่เก็บรวบรวมจากหอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานจากมูลฝอยชุมชนโดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ และการเผาไหม้
3. พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical models) ในการคำนวณค่าความร้อนของมูลฝอยชุมชน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1. มูลฝอยชุมชนที่ทำการศึกษาเก็บรวบรวมจากที่พักมูลฝอยรวม และเศษอาหารจากโรงอาหาร หอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. กระบวนการแปรรูปมูลฝอยชุมชนที่ทำการศึกษา คือ ระบบการหมักแบบไร้อากาศและการเผาไหม้ซึ่งจะได้พลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพ (Biogas) และค่าความร้อน (Calorific value) ตามลำดับ
3. ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของมูลฝอยชุมชนวิเคราะห์โดยวิธีบีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential: BMP) และศักยภาพในการผลิตค่าความร้อนวิเคราะห์โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter)
4. การวิเคราะห์บีเอ็มพีใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ บริษัท ปทุมธานีบริวเวอรี่จำกัด โดยมีการปรับสภาพก่อนนำไปใช้งาน

5. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของมูลฝอยจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ (Compositional analysis) และค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมี (Proximate analysis) โดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis: MLR)

6. ทดสอบความแตกต่างของข้อมูลทางสถิติโดยสถิติทดสอบที (t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือ $\alpha = 0.05$

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชนที่เก็บรวบรวมจากหอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศึกษาการผลิตพลังงานของมูลฝอยชุมชนผ่านกระบวนการหมักแบบไร้อากาศและการเผาไหม้

2. สามารถเลือกแนวทางการจัดการมูลฝอยชุมชนที่เหมาะสมกับปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอยชุมชน โดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศและการเผาไหม้ เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอย่างสูงสุด

3. ทราบข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณค่าความร้อนเพื่อใช้ในการคาดการณ์ค่าความร้อนของมูลฝอยชุมชนของที่อยู่อาศัย และการออกแบบระบบการจัดการมูลฝอยชุมชนที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. มูลฝอยชุมชน

2.1.1 ความหมาย

ตามพระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ. 2535 ออกโดยกระทรวงมหาดไทย หรือ พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ได้ให้ความหมายว่า

มูลฝอย (Solid waste) หมายถึง สิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภคซึ่งเสื่อมสภาพจนใช้การไม่ได้หรือไม่ต้องการใช้แล้ว บางชนิดเป็นของแข็ง หรือกากของเสียมีผลเสียต่อสุขภาพทางกายและจิตใจ เนื่องจากความสกปรก เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ทำให้เกิดมลพิษและทัศนะอุจาด หรือ เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร ถ้ำมูลสัตว์ หรือซากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์หรือที่อื่น

มูลฝอยชุมชน (Municipal solid waste) มูลฝอยที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆในชุมชน เช่น บ้านพักอาศัย ธุรกิจร้านค้า สถานประกอบการ สถานบริการ ตลาดสด สถาบันต่างๆรวมทั้งเศษวัสดุก่อสร้าง ทั้งนี้ไม่รวมของเสียอันตรายและมูลฝอยติดเชื้อ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

2.1.2 ลักษณะของมูลฝอย

ลักษณะของมูลฝอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี และลักษณะทางชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2.1

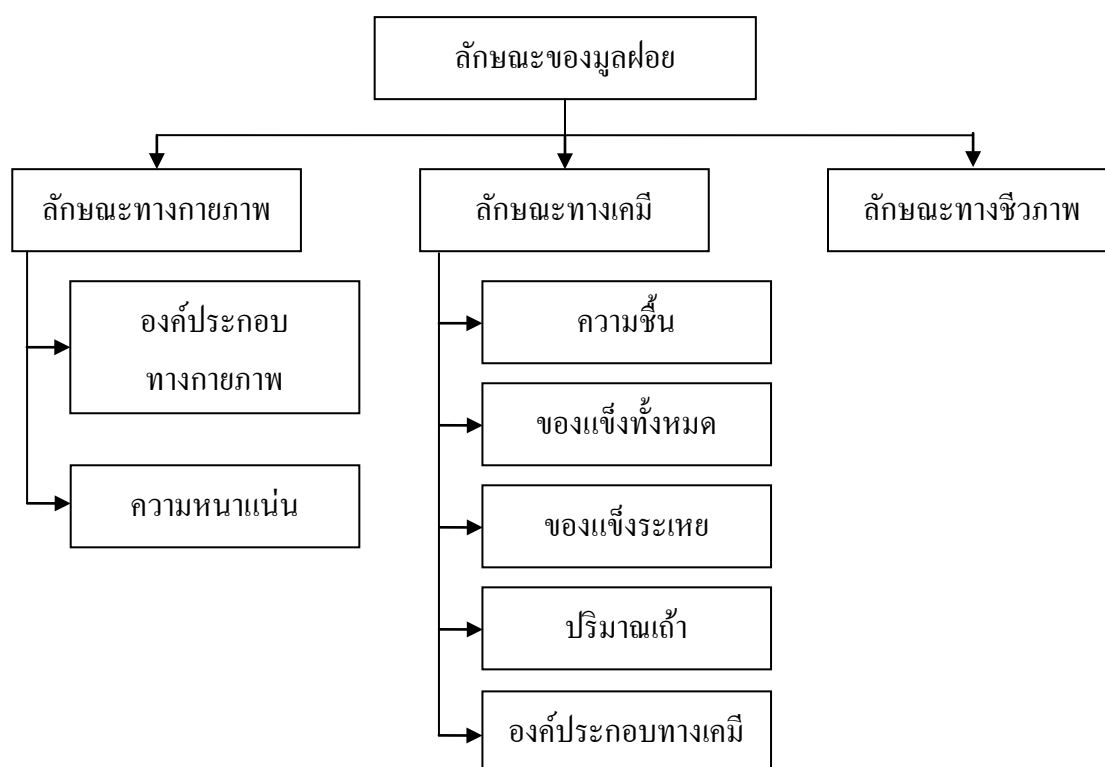
2.1.2.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอย (Physical Characteristics)

(1) องค์ประกอบทางกายภาพ (Physical composition) นิยมจำแนกตามชนิดของสิ่งต่างๆที่ประกอบขึ้นมาเป็นมูลฝอยทั้งหมด (อดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์, 2545) สามารถแบ่งออกได้เป็น 10 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.1

จากรายงานโครงการศึกษาความเหมาะสมของค่าบริการและองค์การบริหารของท้องถิ่นที่จัดให้มีระบบบำบัดน้ำเสียและระบบกำจัดมูลฝอย พ.ศ. 2542 ได้รวบรวมผลการศึกษาของหน่วยงานต่างๆเกี่ยวกับองค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ ณ แหล่งกำเนิด และมูลฝอยรวม (ณ

สถานที่กำจัด) พบว่าองค์ประกอบหลักของทุกแหล่งกำเนิดเป็นเศษอาหาร ผัก ผลไม้ รองลงมาได้แก่ กระดาษ และพลาสติก แต่จะมีสัดส่วนที่แตกต่างกันไปตามกิจกรรมของแต่ละแหล่งกำเนิด

องค์ประกอบของมูลฝอยทางกายภาพ ณ สถานที่กำจัดของกรุงเทพมหานครนั้น พบว่าเศษอาหาร ผัก ผลไม้ ยังคงเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือพลาสติก และ โฟม และอันดับสาม คือ กระดาษ ดังแสดงในตารางที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของมูลฝอย

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยชุมชน

องค์ประกอบของมูลฝอย	ตัวอย่าง
เศษอาหาร ผัก ผลไม้	เศษผัก เศษผลไม้ เศษอาหารที่เหลือจากการเตรียม การปรุง และการบริโภค (ยกเว้น เปลือกหอย กระดุก ก้างปลา ซังข้าวโพด ก้านกระถิน) เช่น ข้าวสุก เปลือกผลไม้ เนื้อสัตว์ ฯลฯ
กระดาษ	วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเยื่อกระดาษ เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ การ์ด แมกกาซีน หนังสือ ใบปลิว ถุงกระดาษ ก่องกระดาษ กระดาษอัด ฯลฯ
พลาสติก	วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติก เช่น ถุงพลาสติก ภาชนะพลาสติก ของเล่นเด็กที่ทำด้วยพลาสติก ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ฯลฯ
ผ้า	สิ่งทอต่างๆ ที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ฝ้ายลินิน ผ้าไนลอน เช่น ด้าย เสื้อผ้า ผ้าเช็ดมือ ถุงเท้า ฯลฯ
ไม้	วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ ไม้ไผ่ ฟาง หญ้า เศษไม้ รวมทั้งดอกไม้
ยางและหนัง	วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากยางหรือหนัง เช่น เครื่องหนัง รองเท้า ลูกบอลหนัง กระเป๋าหนัง ฯลฯ
แก้ว	วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแก้ว เช่น กระจก ขวดแก้ว หลอดไฟ เครื่องแก้ว ฯลฯ
โลหะ	วัสดุและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ทำจากโลหะ ตัวอย่างเช่น กระจังโลหะ สายไฟ ภาชนะต่างๆ ตะปู ฯลฯ
หิน กระเบื้อง กระดุกสัตว์ และเปลือกหอย	เศษหิน เศษกระดุกสัตว์ เปลือกหอย เช่น เซรามิก เปลือกหอย กุ้ง ปู กระดุกสัตว์ ก้างปลา ฯลฯ
อื่นๆ	วัสดุอื่นใดที่ไม่สามารถจัดกลุ่มเข้ากลุ่มต่างๆ ข้างต้น รวมถึง ฟุ่น ทราเยต์

(2) ความหนาแน่น (Density) คือค่ามวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของมูลฝอยแบ่งได้เป็นความหนาแน่นปกติ (Bulk density) คือความหนาแน่นปกติโดยไม่มี การอัดหรือบีบมูลฝอยให้ ผิดไปจากธรรมชาติ และความหนาแน่นในขณะขนส่ง (Transported density) คือความหนาแน่นของ มูลฝอยในรถยนต์เก็บขนในขณะขนส่ง ซึ่งจะมีค่ามากขึ้น เพราะมูลฝอยถูกทำให้แน่นขึ้นเนื่อง จาก การสั่นสะเทือน และการอัดของพนักงานเก็บขนมูลฝอย ความหนาแน่นของมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับ

องค์ประกอบของมูลฝอยด้วย เช่น มูลฝอยที่มีพวกเศษอาหาร จะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่ามูลฝอยที่มีพวกกระดาษ หรือพลาสติกมาก โดยทั่วไปมูลฝอยจากชุมชนในกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้สูง จะมีค่าความหนาแน่นค่อนข้างน้อย คือ ประมาณ 100-170 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้ปานกลาง จะมีค่าความหนาแน่น ประมาณ 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และกลุ่มประเทศที่ประชากรมีรายได้ต่ำ จะมีค่าความหนาแน่นค่อนข้างสูง ประมาณ 250-500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในตารางที่ 2.3
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบมูลฝอยสดที่สถานีขนถ่ายมูลฝอยอ่อนนุช

รายการ	ร้อยละขององค์ประกอบมูลฝอยสด (ค่าเฉลี่ย)
เศษอาหาร ผัก ผลไม้	48.79
พลาสติก	26.27
กระดาษ	13.60
ไม้	4.64
ผ้า	2.35
แก้ว	1.85
ขยะอันตราย	0.69
โฟม	0.45
เศษกระดูก เปลือกหอย	0.24
หิน และกระเบื้อง	0.23
เหล็กและ โลหะอื่นๆ	0.17
หนังและยาง	0.14
อื่น ๆ	0.03
รวม	100.00

ที่มา: สำนักบริหารยุทธศาสตร์ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2552

ตารางที่ 2.3 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของมูลฝอยกรุงเทพฯ ระหว่างปีงบประมาณ 2536-2545

ลักษณะ	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545
ความหนาแน่น (kg/l)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.32	0.42	0.34	0.38	0.34	0.40
ปริมาณความชื้น (%)	47.26	48.91	49.71	49.11	55.12	57.95	52.76	60.46	55.62	46.46
ปริมาณของแข็งระเหย (%)	36.07	33.95	38.89	39.26	34.25	32.57	38.82	33.13	39.90	-
ปริมาณเถ้า (%)	16.67	17.13	11.40	11.63	10.63	11.43	8.42	6.41	10.64	-
ค่าความร้อน (kcal/kg)	1337	1325	1452	1472	1211	1131	1430	1130	1678	1946

ที่มา : สำนักรักษาความสะอาด, 2545

2.1.2.2 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอย (Chemical Characteristics)

(1) ความชื้น (Moisture content: MC) หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในมูลฝอยสามารถระเหยออกมาได้ หากได้รับความร้อนที่เหมาะสมเป็นเวลานาน มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (ชเรศ ศิริสถิตย์, 2553) โดยอยู่ในรูปของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อของมูลฝอย (Inherent water) เช่น น้ำที่มีอยู่ในพืช ผัก ผลไม้ เศษอาหาร ซึ่งมีอยู่ประมาณ 1/2 - 1/3 ของปริมาณน้ำทั้งหมด และน้ำที่ติดอยู่ภายนอก (Attached water) เช่น น้ำฝน ซึ่งมีอยู่ประมาณ 1/3 - 1/2 ของปริมาณน้ำทั้งหมด

(2) ของแข็งรวม (Total solids: TS) หมายถึง ปริมาณของแข็งที่เป็นส่วนประกอบของมูลฝอยที่คงเหลืออยู่เมื่อไอน้ำออกไปจนหมดแล้ว มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

(3) ของแข็งระเหย (Volatile solids: VS) หมายถึง องค์ประกอบของมูลฝอยที่สามารถติดไฟ หรือเผาไหม้ที่ความร้อนสูงให้หมดไป และกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และไอน้ำ (H₂O) โดยของแข็งระเหยเป็นส่วนหนึ่งของของแข็งรวมของเนื้อมูลฝอยภายหลังที่ไอน้ำออกไปจนหมดแล้ว ดังแสดงในภาพที่ 2.2 มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

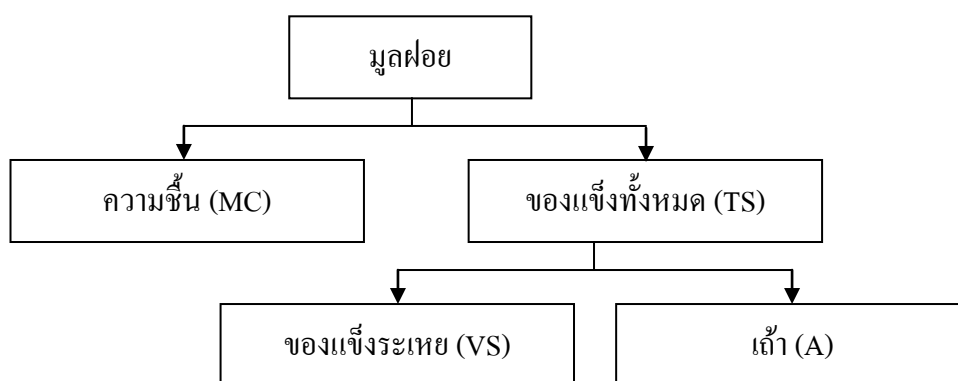
(4) ปริมาณเถ้า (Ash: A) หมายถึง องค์ประกอบของมูลฝอยที่ไม่สามารถติดไฟได้ เป็นส่วนหนึ่งของปริมาณของแข็งรวมของเนื้อมูลฝอยภายหลังที่ไอน้ำออกไปหมดแล้ว และเหลือจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

(5) องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition) ประกอบด้วย ปริมาณธาตุคาร์บอน (Carbon: C) ไฮโดรเจน (Hydrogen: H) ออกซิเจน (Oxygen: O) ไนโตรเจน (Nitrogen: N) และ ซัลเฟอร์ (Sulphur: S) เป็นต้น (สวัสดิ์ โนนสูง, 2543) จากรายงานโครงการศึกษาความเหมาะสมของค่าบริการและองค์การบริหารของท้องถิ่นที่จัดให้มีระบบบำบัดน้ำเสียและระบบกำจัด

มูลฝอย (2542) ได้รวบรวมผลการศึกษาศึกษาของหน่วยงานต่างๆเกี่ยวกับองค์ประกอบของมูลฝอยทางเคมี ณ แหล่งกำเนิด และมูลฝอยรวม (ณ สถานที่กำจัด) พบว่าในแหล่งกำเนิดเดียวกันองค์ประกอบของมูลฝอยทางเคมีอาจมีความแตกต่างกันได้มาก ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ฤดูกาลที่เก็บตัวอย่าง วิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ เป็นต้น

(6) ปริมาณความร้อน (Calorific value) หมายถึง ค่าพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในตัวมูลฝอยเอง และเมื่อเกิดการเผาไหม้จะให้ค่าพลังงานความร้อนออกมา หาได้โดยการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter) มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมของมูลฝอย

ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น ของแข็งรวม ของแข็งระเหยและเถ้าของมูลฝอย

2.1.2.3 ลักษณะทางชีวภาพของมูลฝอย (Biological Characteristics)

ปริมาณและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ (Microorganisms) ที่ปะปนอยู่ในมูลฝอย ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส ซึ่งมีทั้งชนิดที่ทำให้เกิดโรคได้ (Pathogenic) และชนิดที่ไม่ทำให้เกิดโรค (Non-pathogenic) บางชนิดเป็นตัวช่วยให้มูลฝอยเกิดการย่อยสลายได้ดี เช่น Decomposition bacteria เป็นต้น (สุณี ปิยะพันธ์พงศ์, 2536)

จากลักษณะทางกายภาพและเคมีของมูลฝอยที่ได้กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้มูลฝอยมีความแตกต่างกัน เนื่องจากสถานที่ กิจกรรม และช่วงเวลาที่เกิดมูลฝอย นอกจากนี้ปริมาณน้ำในมูลฝอยเป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเสมอเกี่ยวกับการออกแบบหรือจัดการกับมูลฝอย เช่น ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ต้องการความชื้นที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ เนื่องจากน้ำจะเป็นตัวทำละลายทำให้จุลินทรีย์สามารถดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์ได้ หรือในกระบวนการเผาไหม้มูลฝอยที่มีปริมาณความชื้นสูงจะทำให้ได้พลังงานในรูปของค่าความร้อน

น้อยกว่ามูลฝอยที่มีปริมาณความชื้นต่ำเนื่องจากต้องใช้ความร้อนส่วนหนึ่งในการระเหยน้ำที่อยู่ใน มูลฝอยเสียก่อน เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาวิธีการทดลองหาค่าความชื้นของมูลฝอย พบว่าค่าความชื้น ที่ได้เป็นน้ำเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นแต่ไม่ได้เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดในมูลฝอย เนื่องจากยังมีน้ำใน รูปแบบอื่นๆที่ยังไม่ได้มีการค้ำึงถึงอยู่และน้ำในรูปแบบอื่นนี้อาจมีผลต่อกระบวนการการแปรรูป มูลฝอยได้ จากลักษณะของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้ำกับอนุภาคของแข็ง ทำให้สามารถ จำแนกน้ำออกเป็นรูปแบบต่างๆ ได้ 2 ประเภท (ตรี วาทกิจ, 2553) คือ

(1) น้ำอิสระ (Free water) หมายถึง น้ำอิสระที่ไม่ยึดติดกับอนุภาคของแข็ง แทรก ตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของแข็ง (Intra molecular spaces) น้ำส่วนนี้ทำการกำจัดออกได้ ง่าย เช่น การระเหยจากการอบแห้ง การสกัดจากความร้อน ดังนั้นค่าความชื้นที่วัดได้จะเป็นค่าของ น้ำในส่วนนี้เท่านั้น

(2) น้ำเกาะติด (Bound water) หมายถึง น้ำที่ยึดติดอยู่กับโมเลกุลภายในอนุภาค ของแข็ง เชื่อมกันด้วยพันธะเคมีที่แข็งแรง คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals force) รวมทั้ง พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) น้ำส่วนนี้อาจเป็นองค์ประกอบสำคัญในโครงสร้างของโมเลกุล หรือองค์ประกอบทางเคมีของโมเลกุลนั้น น้ำเกาะติดมีโครงสร้างที่ก่อพันระมากกว่าน้ำอิสระ ทั้งยัง มีโมเลกุลที่เกาะกันอย่างหนาแน่นมากกว่า จึงมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำอิสระ การกำจัดน้ำส่วนนี้ ต้องทำลายพันธะเคมีเท่านั้น ทำให้โครงสร้างของโมเลกุลเปลี่ยนแปลงไป น้ำเกาะติดอาจแบ่งย่อย ได้เป็น

- โมโนเลเยอร์ (Monolayer or Molecular layer) เป็นน้ำที่อยู่ในโครงสร้างของ อนุภาค ยึดติดกันด้วยพันธะที่แข็งแรงมาก จนไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยความร้อนปกติ น้ำส่วนนี้ ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ไม่ทำละลายสารอื่น ไม่เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง และจุลินทรีย์ ไม่สามารถนำไปใช้ได้

- มัลติเลเยอร์ (Multilayer or Multimolecular layer) เป็นน้ำที่เกาะอยู่กับน้ำส่วน แรก (Monolayer) สามารถทำละลายสารอื่นได้ แต่จุลินทรีย์ยังคงไม่สามารถนำไปใช้ได้ การกำจัด น้ำส่วนนี้ยังคงต้องใช้พลังงานมากกว่าปกติ

- น้ำในแคพพิลลารี (Capillary water) เป็นน้ำที่เกาะติดอยู่กับน้ำในส่วนที่สอง (Multilayer) อย่างหลวมๆ จุลินทรีย์บางชนิดที่ต้องการความชื้นต่ำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และมีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีบางชนิด

2.1.3 แหล่งกำเนิด

แหล่งกำเนิดมลพิษโดยปกติจะมีความสัมพันธ์กับประเภทของพื้นที่ที่ใช้สอยโดยตรง สามารถแบ่งออกเป็น 3 แหล่งกำเนิดหลัก คือ ชุมชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม แหล่งกำเนิดและลักษณะของมลพิษ (Tchobanoglous และคณะ, 1993) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แหล่งกำเนิดและลักษณะมลพิษ

แหล่งกำเนิด	กิจกรรม ณ แหล่งกำเนิด	ประเภทของมลพิษ
ที่อยู่อาศัย	ครอบครัว	เศษอาหาร กระจก พลาสติก ผ้า หนังสือ เศษใบไม้ ไม้ แก้ว กระจก อลูมิเนียม โลหะอื่นๆ เถ้า มลพิษชนิดพิเศษ* ของเสียอันตราย
พาณิชยกรรม	ร้านค้า กิจการคาร ตลาด อาคารสำนักงาน โรงแรม	เศษอาหาร พลาสติก กระจก แก้ว โลหะอื่นๆ มลพิษชนิดพิเศษ* ของเสียอันตราย
สถานที่ราชการ	โรงเรียน โรงพยาบาล เรือนจำ ศาลากลางจังหวัด	เศษอาหาร พลาสติก กระจก แก้ว โลหะอื่นๆ มลพิษชนิดพิเศษ* ของเสียอันตราย
สถานที่ก่อสร้าง	การก่อสร้างอาคาร การซ่อมถนน การสร้างสะพาน การสร้างทางเดิน	ไม้ เศษเหล็ก เศษปูน ฝุ่นละออง
บริการชุมชน	การทำความสะอาดถนน ขยะหาด สวนสาธารณะ	มลพิษชนิดพิเศษ* ฝุ่นละออง เศษกิ่งไม้ ใบไม้ ของเสียจากสวนสาธารณะ ขยะหาด และสถานที่พักผ่อน
โรงงานบำบัด	โรงผลิตน้ำประปา โรงบำบัดน้ำเสีย	ของเสียจากระบบบำบัด ตะกอน
อุตสาหกรรม	อุตสาหกรรมก่อสร้าง การผลิตขนาดเบาและขนาดหนัก โรงถลุง อุตสาหกรรมเคมี โรงผลิตไฟฟ้า	ของเสียจากกระบวนการผลิต เศษวัสดุ เศษอาหาร เถ้า มลพิษชนิดพิเศษ* ของเสียอันตราย
เกษตรกรรม	การเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์	เศษอาหารสัตว์ ของเสียจากการเกษตร ของเสียอันตราย

หมายเหตุ มลพิษชนิดพิเศษ* หมายถึง สิ่งของชิ้นใหญ่ เช่น เฟอร์นิเจอร์ ตู้เก็บเอกสาร ที่ชำรุดใช้งานไม่ได้แล้ว / เครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น วิทยุ โทรทัศน์ ที่ชำรุดใช้งานไม่ได้แล้ว / อื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ น้ำมัน ขากรถยนต์

2.1.4 ปริมาณมลพิษชุมชน

จากการสำรวจปริมาณมลพิษในประเทศไทยของกรมควบคุมมลพิษที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณมลพิษได้เพิ่มขึ้น จาก 10.80 ล้านตัน (29,540 ตันต่อวัน) ใน พ.ศ. 2535 เป็น 15.03 ล้านตัน

(41,064 ตันต่อวัน) ใน พ.ศ. 2553 (ยังไม่รวมปริมาณขยะมูลฝอยก่อนนำมาทิ้งในถัง) โดยมีเพียง พ.ศ. 2548 เท่านั้นที่มีปริมาณมูลฝอยลดลงจาก พ.ศ. 2547 เนื่องจากปริมาณมูลฝอยในกรุงเทพมหานครมีปริมาณลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2.5

จากรายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย โดยกรมควบคุมมลพิษ (2553) พบว่า มูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้น ใน พ.ศ. 2551 มี ประมาณ 41,064 ตันต่อวัน โดยเป็นมูลฝอยที่ได้รับการเก็บขน 8,780 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 21 ของมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ มูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลเมืองและเมืองพัทยาประมาณ 14,915 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 36 และในเขตองค์การบริหารส่วนตำบลมีขยะมูลฝอย 17,369 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 43 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั่วประเทศ โดยในเขตเทศบาลมีปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น ในขณะที่ขยะมูลฝอยนอกเขตเทศบาลลดลงร้อยละ 4.57 ซึ่งเป็นผลมาจากการยกฐานะขององค์การบริหารส่วนตำบลจำนวน 343 แห่งขึ้นเป็นเทศบาล ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 ปริมาณมูลฝอยชุมชนในประเทศไทยระหว่าง พ.ศ. 2535-2553

ปี	ปริมาณมูลฝอย (ตันต่อวัน)	ปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มขึ้น	
		ตันต่อวัน	ร้อยละ
2535	29,540	-	-
2536	30,640	1,100	3.72
2537	33,008	2,368	7.73
2538	34,492	1,484	4.50
2539	36,029	1,537	4.46
2540	37,102	1,073	2.98
2541	37,246	144	0.39
2542	37,879	633	1.70
2543	38,170	291	0.77
2544	38,643	473	1.24
2545	39,225	582	1.51
2546	39,240	15	0.04
2547	39,956	716	1.82
2548	39,221	-735	-1.84
2549	40,012	791	2.02

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2553.

ตารางที่ 2.5 ปริมาณมูลฝอยชุมชนในประเทศไทยระหว่าง พ.ศ. 2535-2553 (ต่อ)

ปี	ปริมาณมูลฝอย (ตันต่อวัน)	ปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มขึ้น	
		ตันต่อวัน	ร้อยละ
2550	40,332	320	0.80
2551	41,064	732	1.81
2552	41,490	426	1.03
2553	41,532	42	0.10

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2553.

ตารางที่ 2.6 ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นระหว่าง พ.ศ. 2547-2553 แยกตามรายภาค

พื้นที่	ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้น (ตันต่อวัน)						
	ปี2547	ปี2548	ปี2549	ปี2550	ปี2551	ปี2552	ปี2553
1. กรุงเทพมหานคร*	9,356	8,219	8,403	8,532	8,780	8,834	8,766
2. เขตเทศบาลรวมเมืองพัทยา	12,500	12,635	12,912	13,600	14,915	16,368	16,620
2.1 ภาคกลางและภาคตะวันออก	5,440	5,499	5,619	5,780	5,258	5,830	5,918
2.2 ภาคเหนือ	2,125	2,195	2,195	2,195	2,931	3,255	3,315
2.3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2,875	2,906	2,970	2,906	4,267	4,700	4,768
2.4 ภาคใต้	2,060	2,082	2,128	2,082	2,459	2,583	2,619
3. นอกเขตเทศบาล	18,100	18,295	18,697	18,200	17,369	16,208	16,146
รวม	39,956	39,221	40,012	40,332	41,064	41,490	41,532

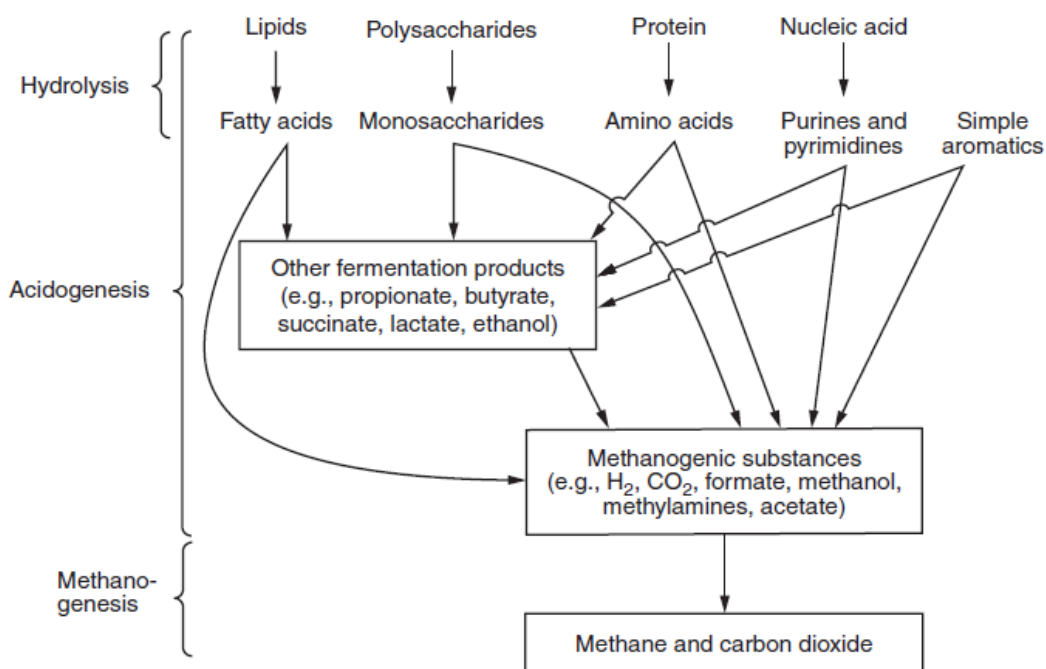
หมายเหตุ : * ข้อมูลการเก็บขนมูลฝอยรวบรวมจากสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2547 – 2553.

2.2 กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion: AD)

2.2.1 ขั้นตอนการหมักแบบไร้อากาศ

กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ หรือ การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศเป็นกระบวนการทางชีววิทยาในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (Kayhanian และคณะ, 2007)

(1) การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) ขั้นตอนนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กระบวนการแตกสลายพอลิเมอร์สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีขนาดโมเลกุลใหญ่ (Polymer) ทั้งที่สามารถละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จะถูกย่อยสลายให้มีขนาดเล็กลง และสามารถละลายน้ำได้ โดยเอนไซม์ที่ขับออกมาสู่ภายนอกเซลล์ของจุลินทรีย์ (Extracellular enzyme) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเป็นโมเลกุลเดี่ยว (Monomer) ที่ละลายน้ำได้ เช่น กลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน และกลีเซอรอล จุลินทรีย์ในขั้นตอนนี้สามารถอยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน

(2) การหมักกรดอินทรีย์ระเหยและการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยเป็นกรดอะซิติก (Acidogenesis และ Acetogenesis) ในขั้นตอนนี้จุลินทรีย์พวกสร้างกรด (Acidogenic bacteria) ซึ่งสามารถอยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน ทำการดูดซึมสารอินทรีย์โมเลกุลเดี่ยวในขั้นต้นแรก และใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน ผลของปฏิกิริยาจะได้กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid), กรดฟอร์มิก (Formic acid) กรดบิวทีริก (Butyric acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) กรดไอโซบิวทีริก (Isobutyric acid) กรดวาเลอริก (Valeric acid) และกรดไอโซวาเลอริก (Isovaleric acid) เป็นต้น รวมทั้งได้แอลกอฮอล์ (Alcohol) ก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) อีกด้วย จากนั้นกรดอินทรีย์

ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมจะถูกเปลี่ยนโดยจุลินทรีย์กลุ่มอะซีโตเจนิค (Acetogenic bacteria) ให้กลายเป็นอะซิเตท (Acetate) ฟอर्मेट (Formate) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้างก๊าซชีวภาพ

(3) การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis) ในขั้นตอนนี้จุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (Methanogens หรือ Methane forming bacteria) ซึ่งเป็นชนิดที่ต้องอยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนเท่านั้น (Obligate Anaerobic Bacteria) จะย่อยสลายกรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน เกิดเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นองค์ประกอบหลัก

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ

เนื่องจากระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศประกอบการทำงานของด้วยจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม ได้แก่ จุลินทรีย์พวกที่ไม่สร้างก๊าซมีเทน และจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน สภาวะที่เหมาะสมต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้แตกต่างกัน อีกทั้งยังมีความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรักษาสภาวะแวดล้อมให้มีสภาพที่เหมาะสมที่จะทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้อยู่ด้วยกันได้อย่างดี การที่จะควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องทำให้จุลินทรีย์นี้อยู่ในสภาวะสมดุลกันซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ

ปัจจัย	ค่าที่เหมาะสม
อุณหภูมิ (Temperature)	มีค่าระหว่าง 20 - 45 องศาเซลเซียส (Fernandez และคณะ, 2008)
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	มีค่าอยู่ในช่วง 6.5 - 7.6 (Rittmann และ McCarty, 2000)
กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid: VFA)	มีค่าไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (สุเมธ ชวเดช, 2540)
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	มีค่าประมาณ 1,000 - 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (Rittmann และ McCarty, 2000)

ตารางที่ 2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าที่เหมาะสม
สารอาหาร (Nutrient)	มีสารอาหารหลักและสารอาหารรองที่เหมาะสม (Weiland, 2010)
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N Ratio)	มีค่าระหว่าง 20 : 1 และ 30 : 1 (Verma, 2002)
ขนาดอนุภาคสารอินทรีย์ (Particle size)	มีค่าประมาณ 10 - 30 มิลลิเมตร (Banks, 2007)

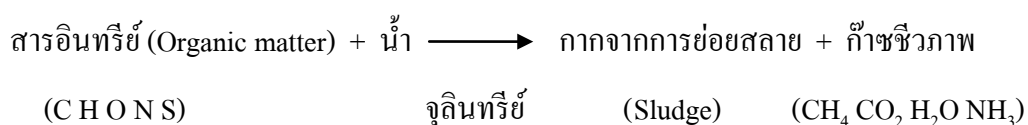
2.2.3 วิธีวิเคราะห์บีเอ็มพี (Biochemical Methane Potential: BMP)

การจัดการมูลฝอยโดยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์หาความสามารถในการย่อยสลายภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ การวิเคราะห์บีเอ็มพีเป็นหนึ่งในวิธีที่เหมาะสมที่สุด (Lesteur และคณะ, 2010) การวิเคราะห์บีเอ็มพีเป็นการหาค่าศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ ในรูปของปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อน้ำหนักของแข็งระเหยที่ใส่เข้าระบบ (วีระนุช หลาง, 2551)

การวิเคราะห์บีเอ็มพีทำได้โดยนำสารอินทรีย์ผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ใส่ลงในขวดแล้วใส่ก๊าซออกซิเจนออกให้หมดโดยการแทนที่ด้วยก๊าซไนโตรเจน แล้วปิดขวดให้สนิท จากนั้นทำการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) คือไม่มีก๊าซเกิดเพิ่มขึ้น วิเคราะห์สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพแล้วนำปริมาณก๊าซมีเทนสะสมไปพล็อตกราฟแสดงปริมาณก๊าซมีเทนสะสมตามระยะเวลาที่ทำการทดลอง หน่วยคือลิตรของก๊าซมีเทนต่อกรัมของแข็งระเหยใส่เข้าระบบ

2.2.4 การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพ

จากสมการพื้นฐานของการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) สารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบจะถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีวภาพของจุลินทรีย์ ดังนี้



สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลฝอยชุมชนที่มีปริมาณและองค์ประกอบแตกต่างกันไป ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของพื้นที่ สภาพภูมิอากาศ การนำกลับมาใช้ใหม่ ความถี่ของการ

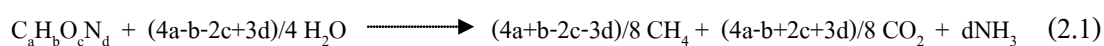
เก็บรวบรวม ฤดูกาล และวัฒนธรรมของท้องถิ่น ทำให้มูลฝอยจากแต่ละแหล่งนั้นมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพต่างกัน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการของ Buswell และ Mueller (1952) ดังแสดงในสมการ 2.1

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของวัตถุดิบ หรือ มูลฝอยชุมชน ปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยของแข็งระเหยและถั่วโดยส่วนใหญ่จะประมาณปริมาณสารอินทรีย์ด้วยของแข็งระเหย เป็นส่วนที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์และสารอนินทรีย์ด้วยถั่ว เป็นส่วนที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ แต่ในความเป็นจริงสารอนินทรีย์บางประเภท เช่น หินปูน (จากกระบวนการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างโดยการเติมน้ำปูนขาว) สามารถเกิดการสลายตัวได้ระหว่างกระบวนการวิเคราะห์เพื่อหาค่าของแข็งระเหย ทำให้ปริมาณของแข็งระเหยที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง ปริมาณก๊าซชีวภาพที่คำนวณได้จึงสูงกว่าความเป็นจริง

นอกจากนี้ในของแข็งระเหยยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย่อยสลายได้ง่าย (Biodegradable volatile solids: BVS) เป็นพวกเศษอาหารที่สามารถถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว และกลุ่มที่ย่อยสลายได้ยาก (Refractory volatile solids: RVS) เป็นพวกที่ย่อยสลายได้ช้า ใช้เวลานาน (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2553) การคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักแบบไร้อากาศนั้น อาจต้องคิดเฉพาะส่วนที่ย่อยสลายได้ เนื่องจากระยะเวลาของมูลฝอยในระบบไม่ได้ยาวนานเพียงพอให้จุลินทรีย์ได้ทำงาน

Kayhanian (1995) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ (BVS) โดยทำการทดลองด้วยวิธีการหมักแบบทีละเท (Batch fermentation) และการหมักแบบต่อเนื่อง (Continuous fermentation) พบว่ามูลฝอยชุมชนแต่ละประเภทได้แก่ กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษสำนักงาน มูลฝอยเศษอาหาร เศษหญ้าและใบไม้ และมูลฝอยชุมชน มีของแข็งระเหยกลุ่มย่อยสลายได้ง่าย (BVS) คิดเป็นร้อยละ 23, 82, 72 และ 69 ของของแข็งระเหย (VS) ตามลำดับ จากการทดลองสามารถหาปริมาณก๊าซชีวภาพจากการคำนวณปริมาณ BVS ได้

สมการของ Buswell และ Mueller (1952)



เมื่อ a, b, c และ d คือ จำนวนอะตอมของธาตุ Carbon, Hydrogen, Oxygen และ Nitrogen ตามลำดับ

2.3 กระบวนการเผาไหม้ (Combustion)

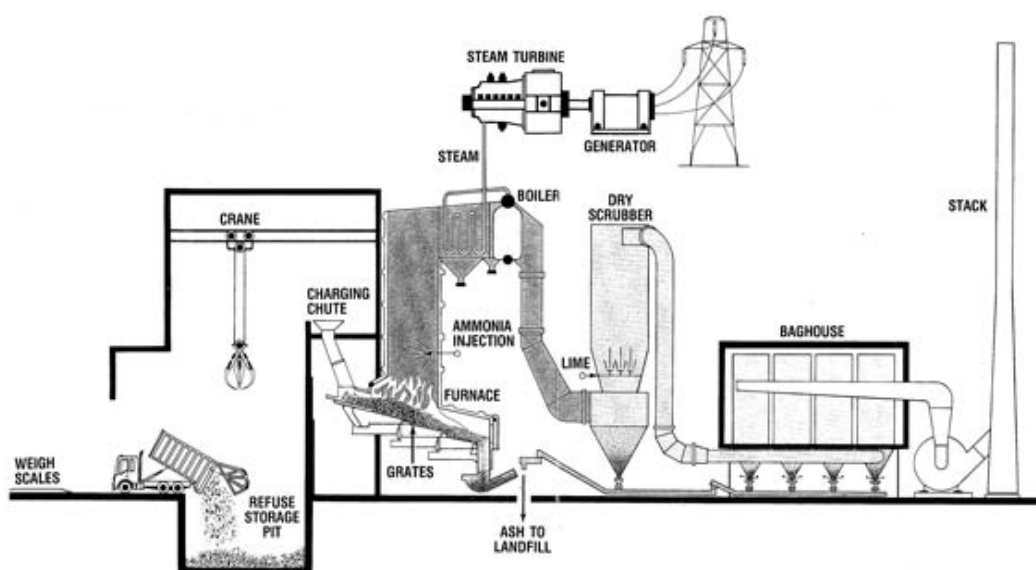
2.3.1 กระบวนการความร้อนสำหรับการเผาไหม้

กระบวนการความร้อนสำหรับการเผาไหม้สามารถจำแนกได้ตามปริมาณความต้องการอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ โดยปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เรียกว่า ปริมาณอากาศสมมูลของการเผาไหม้ (Stoichiometric combustion) ส่วนกระบวนการความร้อนสำหรับการเผาไหม้ที่ใช้อากาศปริมาณมากกว่าปริมาณอากาศสมมูลของการเผาไหม้เรียกว่าการเผาไหม้แบบใช้อากาศมาก (Excess air combustion) กระบวนการความร้อนสำหรับการเผาไหม้ที่ใช้อากาศน้อยกว่าปริมาณอากาศสมมูลของการเผาไหม้เรียกว่าก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) และกระบวนการความร้อนสำหรับการเผาไหม้ที่ไม่ใช้อากาศเรียกว่า ไพโรไลซิส (Pyrolysis)

2.3.2 การเผาผลาญโดยเตาเผา (Incinerator)

การกำจัดมูลฝอยโดยใช้เตาเผาจะต้องใช้ความร้อนอยู่ระหว่าง 1,300 - 1,800 องศาฟาเรนไฮต์ จึงจะทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ เป็นวิธีการกำจัดมูลฝอยวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณมูลฝอยลงได้ดีที่สุด สามารถลดปริมาณมูลฝอยชุมชนได้ร้อยละ 70 - 90 ของปริมาณมูลฝอยทั้งหมด ปริมาณมูลฝอยที่ส่งเข้าเตาเผาเหลือเป็นขี้เถ้าไม่เกินร้อยละ 10 ของปริมาณมูลฝอยทั้งหมด ซึ่งขี้เถ้าที่ได้จะถูกนำไปฝังกลบอย่างถูกวิธีหรือใช้ผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้กลับมาใช้ประโยชน์ เช่น การผลิตน้ำร้อน ไอน้ำ หรือ พลังงานไฟฟ้า

รูปแบบของเตาเผาจะแตกต่างกันไปตามส่วนประกอบของมูลฝอย ถ้ามูลฝอยเผาไหม้ได้ง่ายเตาเผาที่ออกแบบเป็นเตาเผาที่ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอย่างอื่น ช่วยในการเผาไหม้ แต่ถ้าส่วนประกอบของมูลฝอยมีส่วนที่เผาไหม้ได้ต่ำกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก หรือมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เตาเผาที่ใช้ต้องเป็นชนิดที่ต้องมี เชื้อเพลิงช่วยในการเผาไหม้ (สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์, 2536) ลักษณะทั่วไปของเตาเผา ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 เตาเผามูลฝอยที่ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับใช้ประโยชน์ด้านพลังงานความร้อน
จากการเผาไหม้ (Tchobanoglous, 1993)

2.3.3 องค์ประกอบพื้นฐานของการติดไฟของมูลฝอย

มูลฝอยที่ติดไฟได้ (Combustible waste) สามารถติดไฟได้ และให้พลังงานความร้อนออกมาแตกต่างกันตามองค์ประกอบพื้นฐานของมูลฝอยเอง (ชเรศ ศรีสถิตย์, 2553) ได้แก่

(1) ค่าความชื้น (Moisture content) หมายถึงปริมาณน้ำที่สะสมเป็นส่วนประกอบของมูลฝอย หรือเกาะอยู่ตามผิวของมูลฝอยที่มีผลต่อการเผา เพราะในการเผาทำลายมูลฝอยต้องไถ่น้ำออกจากมูลฝอยแล้วมูลฝอยจึงติดไฟ หรืออาจกล่าวได้ว่าต้องหาพลังงานความร้อนมาใช้ในการไถ่น้ำออกไปจากมูลฝอยก่อนจนมูลฝอยแห้งจึงทำการเผาทำลายได้หมด ดังนั้นมูลฝอยเปียกต้องใช้พลังงานความร้อนมาช่วยในการเผามากกว่ามูลฝอยแห้ง

(2) ค่าความร้อน (Calorific value) หมายถึง ค่าพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในตัวของมูลฝอยที่ให้ออกมาเมื่อมูลฝอยติดไฟ สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมม์แคลอรีมิเตอร์ เช่น กระดาษให้ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 2,800 - 4,500 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม พลาสติกมีค่าความร้อน 6,700 - 8,900 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม โดยรวมแล้วมูลฝอยมีค่าความร้อนประมาณ 2,200 - 3,300 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ค่าความร้อนของมูลฝอยเป็นตัวช่วยในการเผาไหม้ของมูลฝอยได้เป็นอย่างดี

(3) ปริมาณเถ้า (Ash content) เป็นส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ หรือส่วนที่ไม่สามารถติดไฟได้อีกของมูลฝอยมูลฝอยต่างๆมีปริมาณเถ้าต่างกัน บางอย่างมีปริมาณเถ้าเล็กน้อยมาก เช่นพลาสติก กระดาษ แต่บางอย่างก็มีปริมาณเถ้าสูง เช่น เศษไม้ กิ่งไม้ ใบไม้ หรือเศษอาหาร โดยในการเผามูลฝอยจะเกิดเถ้า 2 ประเภท คือ

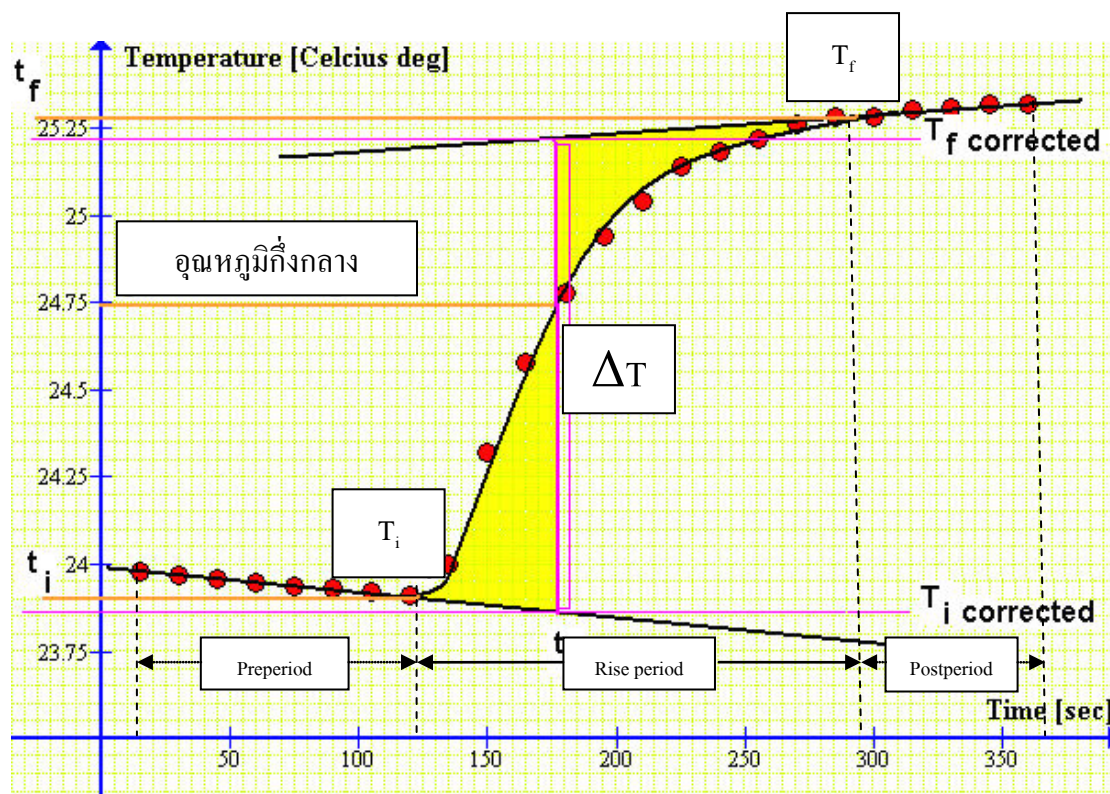
- เถ้าหนัก (Bottom ash) เป็นเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ของมูลฝอย มีขนาดใหญ่ ฟุ้งกระจายได้ยาก ส่วนมากตกอยู่ที่ก้นเตา ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของเถ้าชนิดนี้เป็นสารที่ไม่ติดไฟอีกต่อไป (Inert material) สัดส่วนของเถ้าหนักประมาณร้อยละ 80 - 90 ของปริมาณเถ้าทั้งหมด

- เถ้าลอย (Fly ash) เป็นเถ้าที่ฟุ้งกระจายลุดออกจากห้องเผาไปได้ และถูกดักอยู่ที่อุปกรณ์ดักฝุ่น เช่น ไซโคลน ถูกรอง เป็นต้น เถ้าลอยมีขนาดเล็กมาก สามารถเป็นได้ทั้งฝุ่นขนาดใหญ่ (Total Suspended Particulate: TSP) และฝุ่นขนาดเล็ก (Particulate Matter: PM10) ส่วนประกอบของฝุ่นเป็นสารประกอบที่ไม่ติดไฟเช่นเดียวกับเถ้าหนัก แต่จะมีปริมาณโลหะหนักปะปนอยู่ด้วยในปริมาณที่มากกว่าเถ้าหนัก จึงจัดว่าเถ้าลอยเป็นของเสียอันตราย ไม่ว่าจะมาจากเตาเผามูลฝอยชุมชน หรือเตาเผามูลฝอยติดเชื้อก็ตาม

2.3.4 ค่าความร้อน (Calorific value)

2.3.4.1 แคลอรีมิทรี (Calorimetry)

แคลอรีมิทรีเป็นวิธีการหาค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงผสม (Vesilind และคณะ, 2002) หลักการ คือการใช้เครื่องวัดค่าความร้อนบอมม์แคลอรีมิเตอร์ซึ่งประกอบด้วยลูกบอมม์ภายในมีพื้นที่ว่างสำหรับนำตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักมาบรรจุ นำลวด (Fuse wire) ต่อที่ขั้วไฟฟ้าสองขั้วของเครื่อง โดยให้ลวดสัมผัสผิวหน้าของตัวอย่าง ปิดฝาให้เรียบร้อย แล้วบรรจุก๊าซออกซิเจนให้มากเกินพอลงในลูกบอมม์ หลังจากนั้นนำมาวางไว้ในถังบรรจุน้ำ 2 ลิตร จุดประกายไฟภายในลูกบอมม์ ตัวอย่างจะเกิดการเผาไหม้ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น บันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปทุกๆ 1 นาที ทำการพล็อตกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เรียกว่าเทอร์โมกราฟ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 จะเห็นว่าช่วงเริ่มต้น (Preperiod) กับช่วงสุดท้าย (Postperiod) มีความชันแตกต่างกัน (Rise period) และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เป็นเส้นตรง ดังนั้นจึงต้องหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (ΔT) อย่างถูกต้องจากการทดลองให้ได้ วิธีที่นิยมใช้กัน คือวัดอุณหภูมิ ณ ช่วงเวลาที่อยู่กึ่งกลางของกราฟซึ่งคือเวลาที่ทำให้พื้นที่แรเงาสองส่วนในกราฟเท่ากัน จากเทอร์โมกราฟ T_1 คืออุณหภูมิเริ่มต้น T_2 คืออุณหภูมิสุดท้ายและส่วนต่างของสองค่านี้คืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (ΔT)



ภาพที่ 2.5 เทอร์โมกราฟที่ได้จากการทดลองบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
(ที่มา: <http://ishigirl.tripod.com/pchem/calorimetry.html>)

น้ำที่อยู่รอบลูกบอมบ์ทำหน้าที่เป็นฉนวน โดยสมมติให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบพลังงานทั้งหมดที่เกิดจากการเผาไหม้ตัวอย่างภายในลูกบอมบ์ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนให้แก่ น้ำและลูกบอมบ์ 1 แคลอรี หมายถึงปริมาณพลังงานที่ทำให้ น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียสค่าความร้อนสามารถหาได้เมื่อทราบน้ำหนักของตัวอย่าง โดยนำมาเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่ทราบค่าความร้อน คือ เบนโซอิกแอซิด (Benzoic acid) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C_v = UM_b / \Delta T \quad (2.2)$$

เมื่อ C_v คือ ค่าความจุความร้อน หน่วย แคลอรีต่อองศาเซลเซียส

U คือ ค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของ Benzoic acid หน่วย แคลอรีต่อกรัม

M_b คือ น้ำหนักของ Benzoic acid หน่วย กรัม

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจากเทอร์โมกราฟ หน่วย องศาเซลเซียส

และเพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ถูกต้องจะต้องหักค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของลวดด้วย สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C_v = [6318M_b + 1643M_w] / \Delta T \quad (2.3)$$

เมื่อ M_w คือ น้ำหนักของลวดที่ถูกใช้สำหรับการเผาไหม้ หน่วย กรัม

2.3.4.2 ค่าความร้อน

ข้อมูลหลักที่มีความจำเป็นต่อการออกแบบเตาเผามูลฝอย คือ ค่าความร้อน ซึ่งหาได้จากวิธี Bomb calorimeter ในห้องทดลอง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระดับ

ค่าความร้อนต่างๆ สามารถอธิบายได้ (ยูธนา เรืองเดชบุญฤทธิ์, 2539) ดังนี้

(1) ค่า Dry Solid Calorific Value (DSCV)

เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาอย่างสมบูรณ์ โดยสันดาปกับออกซิเจนบริสุทธิ์ที่จะเกิดได้เฉพาะในห้องทดลองเท่านั้น

(2) ค่า Higher Solid Calorific Value (HSCV)

เป็นค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้สารเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็งที่ปราศจากความชื้น หรือเรียกว่าค่าความร้อนรวม (Gross calorific value)

$$HSCV = DSCV \times \text{ค่าปริมาณของแข็งรวม} / 100 \quad (2.4)$$

(3) ค่า Low Solid Calorific Value (LSCV)

เป็นค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้สารตามปกติหรือเป็นค่าปริมาณความร้อนสูงหักออกด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ หรือเรียกว่าค่าความร้อนสุทธิ (Net calorific value)

$$LSCV = HSCV - 600[(9 \times h) + \text{ค่าปริมาณความชื้น}] / 100 \quad (2.5)$$

(4) ค่า Low Waste Solid Calorific Value (LWSCV)

เป็นค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้สารตามปกติรวมกับค่าปริมาณความร้อนที่สูญเสียให้กับสารที่ไม่สามารถถูกเผาไหม้ได้

2.3.5 การคำนวณค่าความร้อนของมูลฝอย

จากการศึกษาความเป็นไปได้การผลิตกระแสไฟฟ้าจากมูลฝอยเทศบาลจังหวัดเชียงใหม่ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2545) กล่าวว่าค่าความร้อนของมูลฝอยที่นำมาทำการเผา นั้นมีความสำคัญต่อการวางแผนการจัดการมูลฝอย และการออกแบบระบบเตาเผามูลฝอย ทั้งนี้สูตรการคำนวณเกี่ยวกับปริมาณค่าความร้อนนั้นมียู่ด้วยกันหลายสูตร ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่

- ลักษณะวัตถุดิบที่เข้าสู่ระบบ เช่น ชีวมวล ถ่านหิน มูลฝอยชุมชน เป็นต้น
- ค่าตัวแปรจากการวิเคราะห์ที่แทนในสูตร เช่น การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น, ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย และปริมาณเถ้า กับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ในขณะที่การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี (Ultimate analysis) จะเป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ Carbon, Hydrogen, Oxygen, Nitrogen และ Sulfur กับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ค่าองค์ประกอบ และปริมาณที่ต่างกันทำให้มีความพยายามในการปรับปรุงสูตรการคำนวณค่าความร้อนที่ได้เพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้น ตัวอย่างสูตรคำนวณค่าความร้อน ได้แก่

ก) การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์ธาตุพื้นฐานของมูลฝอยที่มีผลต่อค่าความร้อน (Liu, Paoda and Holsen, 1996) ตัวอย่างสูตรการคำนวณจากการวิเคราะห์แบบ Ultimate analysis

สมการ Tillman $HHV = aC + b$ (kJ/kg)
ศึกษากับ ชีวมวล (Channiwala และ Parikh, 2002)

สมการ Ruyter $HHV = aC + bH + cO$ (kJ/kg)
ศึกษากับ ชีวมวล (Zanzi, 2002)

สมการ Mott and Spooner $HHV = aC + bH + cO + dS$ (kJ/kg)
ศึกษากับ ถ่านหิน และ เชื้อเพลิง (Kathiravale และคณะ, 2003)

สมการ Dulong $HHV = 81C + 342.5(H - O/8) + 22.5S$ (kcal/kg)
ศึกษากับ ถ่านหิน และ มูลฝอยชุมชน (Wilson, 1972)

สมการ Steuer $HHV = 81(C - 3O/8) + 171O/8 + 342.5(H - O/16) + 25S$ (kcal/kg)
 ศึกษาทั้ง ถ่านหิน และ มูลฝอยชุมชน (Cho และคณะ, 1995)

สมการ Scheurer-Kestner $HHV = 81(C - 3O/8) + 342.5H + 22.55S + 171O/4$ (kcal/kg)
 ศึกษาทั้ง ถ่านหิน และ มูลฝอยชุมชน (Cho และคณะ, 1995)

ข) การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่สมมติว่าเชื้อเพลิงประกอบด้วยสารที่เผาไหม้ได้หรือปริมาณของแข็งระเหย และคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) หรือปริมาณเถ้า ซึ่งมีผลต่อค่าความร้อน (Liu, Paoda and Holsen, 1996) ตัวอย่างสูตรการคำนวณจากการวิเคราะห์แบบ Proximate analysis ได้แก่

สมการ Goutal $HHV = aV + bF$ (kJ/kg)
 ศึกษาทั้ง ถ่านหิน และ เชื้อเพลิง (Demirbas, 1997)

สมการ Jimenez $HHV = a(V + F) + b$ (kJ/kg)
 ศึกษาทั้ง ชีวมวล (Cordero และคณะ, 2001)

สมการ Liu $HHV = aV - bM$ (kJ/kg)
 ศึกษาทั้ง เชื้อเพลิง (Kathiravale และคณะ, 2003)

สมการ Bento $HHV = aV - bM + c$ (kJ/kg)
 ศึกษาทั้ง เชื้อเพลิง (Kathiravale และคณะ, 2003)

เมื่อ HHV คือ Higher Heating Value

a, b, c, ..., คือ ค่าคงที่ตามที่สมการกำหนด

C คือ Carbon content (%) H คือ Hydrogen content (%)

O คือ Oxygen content (%) N คือ Nitrogen content (%)

S คือ Sulfur content (%) V คือ Volatile matter (%)

F คือ Fixed carbon (%) M คือ Moisture (%)

A คือ Ash content (%)

จากสูตรการคำนวณหาค่าความร้อนข้างต้น จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นของวัตถุดิบที่นำมาใช้คำนวณในการวิเคราะห์แบบ Proximate analysis นั้น เป็นน้ำที่อยู่ในรูปแบบของน้ำอิสระ (Free water) เท่านั้น แต่น้ำเกาะติด (Bound water) ยังไม่ได้ถูกนำมาคำนวณด้วย ซึ่งถ้า น้ำเกาะติดในวัตถุดิบมีปริมาณมาก ค่าความร้อนที่ได้จะลดลงเนื่องจากต้องสูญเสียไปกับการระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบเสียก่อน

ในปัจจุบันการใช้มูลฝอยมาแปรรูปเป็นพลังงานของบางประเทศทั้งในเอเชียและยุโรปมีการเติบโต ในบางส่วนเกิดจากการที่มีพื้นที่ว่างเหลือน้อย รวมทั้งมีแหล่งทรัพยากรพลังงานไม่มาก ในหลายๆประเทศจึงมีการสร้างโรงงานเพื่อใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนรูปมูลฝอยเป็นพลังงาน โดยจำนวนโรงงานที่มีกระบวนการแปรรูปมูลฝอยเป็นพลังงานมากกว่า 600 แห่ง ใน 35 ประเทศ โดยประเทศที่มีการแปรรูปมูลฝอยโดยการเผา 5 อันดับสูงสุดคือ เดนมาร์ก สวิตเซอร์แลนด์ ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา และ สเปน โดยประเทศเดนมาร์กมีการเผาเพื่อเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงานถึงร้อยละ 54 ในขณะที่สหรัฐอเมริกามีการเผาขยะเพื่อเปลี่ยนของเสียเป็นพลังงานร้อยละ 14 (เชาวน์ นกอยู่, 2554)

2.4 ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regressions)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยส่วนใหญ่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ที่มีผลต่อตัวแปรตามซึ่งจะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณเท่านั้น รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สามารถแทนได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเชิงเส้น (Linear model) (มัลลิกา บุญนาค และคณะ, 2540)

2.4.1 รูปแบบของสมการความถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ

สามารถอธิบายได้โดยกำหนดให้มีตัวแปรอิสระ k ตัว (X_1, X_2, \dots, X_k) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y โดยที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น จะได้สมการ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X_1, X_2, \dots, X_k (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544) ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon_i$$

เมื่อ β_0 คือ ส่วนตัดแกน Y เมื่อกำหนดให้ $X_1, X_2, \dots, X_k = 0$

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ คือ สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (Partial regression coefficient) โดยที่ค่า β_1 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y เมื่อตัวแปรอิสระ X_1 เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ค่าตัวแปรอิสระอื่นมีค่าคงที่

ε_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error term)

สมมติฐานมีดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อน ε_i เป็นตัวแปรที่มีการแจกแจงปกติ
2. ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ $E(e) = 0$
3. ค่าแปรปรวนความคลาดเคลื่อนเป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า $V(e) = \sigma^2$
4. e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน เมื่อ $i \neq j$ นั่นคือ covariance $(e_i, e_j) = 0$

2.4.2 ความหมายของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน

β_0 เป็นระยะตัดแกนตัดแกน y เช่นเดียวกับสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย แต่ในสมการถดถอยพหุคูณนี้ β_0 คือค่า Y เมื่อ X_1, X_2, \dots, X_k ต่างเท่ากับ 0

β_1 และ β_2 เรียกว่า สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (partial or net regression coefficient) β_1 จะวัดความเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X_1 เปลี่ยนไป 1 หน่วย แต่ X_2 คงที่ และ β_2 จะวัดความเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X_2 เปลี่ยนไป 1 หน่วย แต่ X_1 คงที่

2.5 การใช้ประโยชน์จากมูลฝอยของประเทศไทยในปัจจุบัน

ประเทศไทยได้มีการริเริ่มโครงการนำร่องเกี่ยวกับการนำมูลฝอยมาแปรรูปเป็นพลังงานขึ้นในปีพ.ศ. 2538 โดยศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้เริ่มดำเนินโครงการบำบัดและใช้ประโยชน์จากมูลฝอย โดยได้รับงบประมาณจากมูลนิธิชัยพัฒนาเพื่อจัดตั้งกองทุนบำบัดและใช้ประโยชน์จากมูลฝอยตามแนวพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ซึ่งมีเป้าหมายในการผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 650 กิโลวัตต์ จากพื้นที่ประมาณ 65 ไร่ ของแหล่งฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาลกำแพงแสน และอยู่ห่างจากโรงไฟฟ้าซึ่งตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน 1.7 กิโลเมตร ปัจจุบันอยู่ระหว่างการเริ่มต้นดำเนินโครงการระยะที่ 3 เพื่อเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าเครื่องที่ 1 ขนาดกำลังผลิต 435 กิโลวัตต์ นอกจากนี้ยังมีโครงการนำก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบมูลฝอยมาผลิตกระแสไฟฟ้าที่สถานีฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกสุขลักษณะราชเทวะ ซึ่งดำเนินการโดยห้างหุ้นส่วนจำกัด ไฟโรจน์สมพงษ์พาณิชย์ โดยมีขนาดกำลังผลิต 1 MW โครงการนี้ประกอบด้วย ระบบรวบรวมก๊าซ

ระบบทำความสะอาดก๊าซ และปรับปรุงคุณภาพก๊าซ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้เครื่องชนิดแบบสันดาปภายใน และระบบต่อขนานกับการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ปัจจุบันสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจำหน่ายให้กับการไฟฟ้านครหลวงได้ ตั้งแต่ต้นเดือนมกราคม พ.ศ. 2548

สุภภรณ์ ศิริ โสภณา (2549) กล่าวว่าปัญหาและอุปสรรคในการลดปริมาณมลพิษของประเทศไทย คือขาดการคัดแยกมูลฝอย และการแยกทิ้งตามประเภทของมูลฝอย ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการนำมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ได้อีก ทั้งยังสะดวกต่อการนำไปใช้ประโยชน์ตามความต้องการ หรือขายได้ง่าย และราคาดี แต่ในประเทศไทยขั้นตอนนี้ยังไม่ค่อยได้ผล เนื่องจากประชาชนเห็นว่ารถเก็บขนมูลฝอยของเทศบาลเกือบทั้งหมดยังคงเป็นรถขนมูลฝอยแบบรวมเจ้าหน้าที่ประจำรถจะแยกเฉพาะมูลฝอยที่ขายได้ง่ายและแยกสะดวก เช่น เก็บขวดและกระดาษกล่องแยกใส่กระสอบ นิกดุงพลาสติกที่ชาวบ้านใช้บรรจุมูลฝอยออกแล้วรวมไว้ขายเอง ทำให้มูลฝอยที่รวมอยู่ในรถสกปรก ปะปน และปนเปื้อนกันเองจนเป็นที่น่ารังเกียจไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที เพราะต้องจ้างแรงงานคัดแยก และทำความสะอาดก่อน ทำให้ไม่คุ้มค่าที่จะรีไซเคิลนั่นเอง ทำให้ปริมาณมูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้มีปริมาณน้อยกว่ามูลฝอยที่เกิดขึ้น

องค์กรพลังงานนานาชาติ (International Energy Agency: IEA) คาดการณ์ไว้ว่า ในช่วงปี 2544 - 2573 โลกต้องลงทุนในการพัฒนากิจการพลังงานถึง 16 ล้านล้านเหรียญสหรัฐ หรือ 5.5 แสนล้านเหรียญสหรัฐต่อปี และมีความต้องการพลังงานจากแหล่งต่างๆ เรียงตามลำดับดังนี้คือ น้ำมัน ร้อยละ 35 ถ่านหินร้อยละ 23 ก๊าซร้อยละ 23 พลังงานชีวมวลและและมูลฝอยร้อยละ 10 นิวเคลียร์ร้อยละ 5 พลังงานน้ำร้อยละ 2 และพลังงานอื่นที่นำมาใช้ใหม่ได้อีกร้อยละ 1 จะเห็นได้ว่า พลังงานชีวมวลและมูลฝอยเริ่มเข้ามาเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่สำคัญทางหนึ่งของโลก

ในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยโดยกระทรวงพลังงานได้กำหนดมาตรการและกลยุทธ์ด้านพลังงานที่สำคัญของประเทศ 3 มาตรการ โดย 2 ใน 3 มาตรการหลักมุ่งเน้น การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนน้ำมัน และการตั้งเป้าผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานชีวภาพ พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม ซึ่งมาตรการเหล่านี้ตั้งขึ้นเพื่อลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และส่งเสริมให้ประเทศไทยหันมาผลิตพลังงานไว้ใช้เองของตนเอง โดยเหนือสิ่งอื่นใดต้องอาศัยความร่วมมือของคนไทยช่วยกันประหยัดพลังงาน ทำให้ประเทศไทยมีความตื่นตัวในการหาแหล่งพลังงานทางเลือกและพลังงานหมุนเวียน เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า หรือประโยชน์อย่างอื่น แทนการใช้พลังงานจากฟอสซิล ซึ่งเป็นพลังงานที่สร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมอย่างมาก จากแผนอนุรักษ์พลังงาน ปีพ.ศ. 2551-2554 กระทรวงพลังงานได้เร่งผลักดันให้มีการใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในประเทศไทยเพิ่มขึ้น เพื่อสนับสนุนการใช้

พลังงานสะอาด ซึ่งในปัจจุบันระบบการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับครัวเรือนครัวเรือนในประเทศไทย เริ่มแพร่หลายมากขึ้นและสามารถทำได้โดยง่าย ทั้งนี้เพราะก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน มีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ให้ความร้อน หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ตลอดจนใช้เป็นก๊าซหุงต้มตามครัวเรือนได้ (กิตติมา ไกรพิรพรรณ, 2552)

รูปแบบการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทน มีอยู่ 3 ลักษณะ คือ

(1) การนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน หรือ การใช้รูปของความร้อนโดยตรง จะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง ใช้กับหัวกดลูกสุกร ใช้ในครัวเรือน ฯลฯ อย่างไรก็ตาม การนำก๊าซชีวภาพไปใช้นั้น ควรคำนึงถึงวิธีการส่งลำเลียงก๊าซชีวภาพด้วย โดยปกติมักลำเลียงก๊าซชีวภาพไปตามท่อโดยอาศัยเครื่องเป่าอากาศ (Blower) ช่วยเพิ่มแรงดันและระยะทางไม่ควรไกลจนเกินไป

(2) การใช้ก๊าซชีวภาพในการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า เป็นรูปแบบการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในฟาร์มเลี้ยงสุกร เนื่องจากพลังงานกล/ไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อผลิตเป็นไฟฟ้าแล้ว สามารถนำไปใช้งานได้สะดวก

(3) การผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration System) เป็นการผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า และความร้อนร่วมซึ่งเป็นระบบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการใช้เชื้อเพลิงให้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า / ความร้อนเพียงอย่างเดียว

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Vieitez และ Ghosh (1998) ศึกษากระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน โดยใช้มูลฝอยชุมชนที่สร้างขึ้น (Simulate solid waste) ใช้ถึงบำบัด 2 ถึง คือถึงผลิตกรดที่มีขนาด 14 ลิตร มีของแข็งร้อยละ 16 และถึงผลิตมีเทน 8 ลิตร พบว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และกระบวนการผลิตกรดในถึงผลิตกรดจะหยุดทำงานเมื่อมีกรดไขมัน (Volatile fatty acid) 13,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ ค่าพีเอชประมาณ 6 - 6.5 ทำการทดลอง 295 วัน ได้มีเทน 0.12 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย (Volatile) จากการศึกษาจะเห็นว่าของแข็งระเหยถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนร้อยละ 30

Weiland (2000) กล่าวว่ากระบวนการหมักแบบไร้อากาศมีความเหมาะสมกับของเสียอินทรีย์จากการเกษตร และอุตสาหกรรมรวมทั้งของเสียอินทรีย์ในครัวเรือน เนื่องจากการย่อยสลาย

แบบไร้อากาศเป็นวิธีที่มีราคาถูกในการบำบัดของเสีย และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ ส่วนที่เหลือจากการย่อยสลายสามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยสำหรับกิจกรรมทางการเกษตร เทคโนโลยีการบำบัดแบบไร้อากาศจึงเหมาะสำหรับการบำบัดของเสียร่วมกับการผลิตพลังงานทดแทน

Zhang และคณะ (2007) ศึกษาศักยภาพของเศษอาหารในการใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ โดยทำการศึกษาความแปรปรวนของลักษณะทางเคมีของเศษอาหารเป็นเวลา 2 เดือน แล้วนำเข้าสู่ระบบหมักแบบไร้อากาศแบบที่ละเทเพื่อหาความสามารถในการย่อยสลายภายใต้สภาวะการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestibility) รวมถึงศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าเศษอาหารมีค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 70 และอัตราส่วนระหว่างของแข็งระเหยต่อของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 83 ปริมาณสารอาหารที่พบในเศษอาหารมีปริมาณที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic microorganism) ในวันที่ 10 และ 28 พบว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนคิดเป็น 348 และ 435 มิลลิลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยตามลำดับ เปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 73 ของแข็งระเหยที่ถูกใช้ไปคิดเป็นร้อยละ 81 เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 28 วัน

Moody และคณะ (2010) ศึกษากระบวนการหาศักยภาพในการผลิตมีเทนหรือบีเอ็มพี เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่บ่งบอกความสามารถของการย่อยแบบไร้อากาศที่เกิดจากสารอินทรีย์ โดยให้เหตุผลว่าการใช้กระบวนการบีเอ็มพีนั้นมีราคาที่ย่อมเยาและทำซ้ำได้หลายครั้งเพื่อให้ได้ผลการทดลองการย่อยแบบไร้อากาศและการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าแม่นยำและถูกต้องมากขึ้น ข้อมูลที่ได้จากกระบวนการบีเอ็มพีจะมีประโยชน์ในการประเมินศักยภาพการย่อยแบบไร้อากาศของสารอินทรีย์และเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบและการทำงานของย่อยสลายแบบไร้อากาศ ทำการทดลองตามวิธีการของ Owen และคณะ (1979) จากผลการทดลองจะได้ค่าปริมาณของก๊าซมีเทนต่อปริมาณซีโอดีของสารอินทรีย์ และปริมาณของก๊าซชีวภาพต่อปริมาณซีโอดีของสารอินทรีย์ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวถือเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์มาก เพื่อใช้ในการประมาณการณ์มวลของซีโอดีที่จะถูกย่อยแบบไร้อากาศในถึงปฏิกรณ์ตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาถึงการย่อยสลายร่วม (Co-digestion) ของสารอินทรีย์ต่างๆ ถึงประสิทธิภาพการย่อยสลายของสารใดที่อาจประสบความสำเร็จในการผลิตก๊าซมีเทนได้ดีเพื่อเป็นทางเลือกของแหล่งพลังงานใหม่ในอนาคต

ชเรศ ศรีดิษฐ์ และ จุลชามาศ บุญวิสุข (2542) ศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คำนวณค่าความร้อนโดยสุ่มตัวอย่างมูลฝอยจากสถานีกำจัดมูลฝอย 3 แห่ง ของกรุงเทพมหานคร คือ โรงงานกำจัดมูลฝอยหนองแขม สถานีขนถ่ายมูลฝอยท่าแร่ และ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช โดยเก็บตัวอย่างแห้งละ 15 วัน วันละ 1 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้นจำนวน 45 ตัวอย่าง นำมาหาองค์ประกอบทางกายภาพ ทางเคมี และค่าความร้อนของมูลฝอยในห้องปฏิบัติการ โดยพิจารณาค่าความร้อน 2

กรณี คือค่าความร้อนรวม และค่าความร้อนแยกแต่ละส่วนขององค์ประกอบที่เผาไหม้ได้ แล้วทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่หาได้โดยวิธี Bomb calorimeter กับพื้นฐาน Three component องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย และคุณสมบัติทางเคมี ใช้ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นในการวิเคราะห์ ซึ่งกำหนดความเชื่อมั่นที่ 95% สามารถสร้างสมการค่าความร้อนได้ดังนี้

ค่าความร้อน – Three component

$$Q_{\text{รวม}} = -422.83 + 50.40V$$

$$R^2 = 0.6791$$

ค่าความร้อน – องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

$$Q_{\text{รวม}} = 3153.14 + 16.55P_i + 12.69W_o - 42.8W$$

$$R^2 = 0.6791$$

ค่าความร้อน – คุณสมบัติทางเคมี

$$Q_{\text{รวม}} = -637.48 + 80.51C$$

$$R^2 = 0.7153$$

เมื่อ $Q_{\text{รวม}}$ = ค่าความร้อน LHV ของตัวอย่างรวม (kcal/kg)

V = ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (% wet wt.)

P_i = พลาสติก (% wet wt.)

W_o = เศษอาหาร (% wet wt.)

W = ความชื้น (% wet wt.)

C = ปริมาณคาร์บอน (% wet wt.)

จากการศึกษา สรุปว่าค่าความร้อนที่คำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างจากองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยสามารถนำไปคาดการณ์ค่าความร้อนได้ดีที่สุด

ชวลิต แซ่ลิ้ม (2543) ศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบของเทศบาลที่มีอัตราการผลิตมูลฝอย 100 ตันต่อวัน โดยพิจารณาแนวทางการใช้ประโยชน์ 2 แนวทาง คือ การนำก๊าซไปผลิตไฟฟ้า และเผาไหม้โดยตรง พบว่าสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า และความร้อนได้รวม 89.36×10^6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และ 900,666 จิกะจูล ตามลำดับ และต้นทุนราคากระแสไฟฟ้ามีค่าระหว่าง 0.21-0.24 บาทต่อ กิโลวัตต์-ชั่วโมง และต้นทุนราคาก๊าซพบว่ามีค่าระหว่าง 8.25-10.26 บาทต่อจิกะจูล (คิดเฉพาะค่าใช้จ่ายระบบรวบรวมก๊าซและนำ ก๊าซไปใช้ประโยชน์)

สำนักวิจัยความสะอาด (2545) ศึกษาคุณสมบัติของมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร ตลอดปีงบประมาณ 2545 พบว่าสมบัติของมูลฝอยที่เก็บรวบรวม ณ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช ดังนี้

(1) คุณสมบัติทางกายภาพ มีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.40 กิโลกรัมต่อลิตร องค์ประกอบมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้ที่มีมากที่สุด คือ เศษอาหารคิดเป็นร้อยละ 34.16 ของมูลฝอยทั้งหมด รองลงมา คือ พลาสติกและโพลีเอทิลีนคิดเป็นร้อยละ 20.76 ของมูลฝอยทั้งหมด กระดาษคิดเป็นร้อยละ 13.58 ของมูลฝอยทั้งหมด ไม้และใบไม้คิดเป็นร้อยละ 6.59 ของมูลฝอยทั้งหมด ผ้าและสิ่งทอคิดเป็นร้อยละ 6.58 ของมูลฝอยทั้งหมด ยางและหนังคิดเป็นร้อยละ 2.19 ของมูลฝอยทั้งหมด ส่วนประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ประกอบด้วยแก้วคิดเป็นร้อยละ 5.07 ของมูลฝอยทั้งหมด โลหะคิดเป็น ร้อยละ 2.18 ของมูลฝอยทั้งหมด หินและเซรามิกคิดเป็นร้อยละ 2.32 ของมูลฝอยทั้งหมดและประเภทอื่นๆ ซึ่งให้ค่าจำกัดความเป็นมูลฝอยที่เล็กกว่า 10 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สารคิดเป็นร้อยละ 8.57 ของมูลฝอยทั้งหมด

(2) ลักษณะสมบัติทางเคมีเป็นข้อมูลของปีงบประมาณ 2544 ประกอบไปด้วย ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละ 55.62 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้คิดเป็นร้อยละ 35.96 ปริมาณเถ้าคิดเป็น 10.64 และปริมาณความร้อนเท่ากับ 1,677.73 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบดังนี้ คาร์บอนคิดเป็นร้อยละ 45.41 ไฮโดรเจนคิดเป็นร้อยละ 5.11 ออกซิเจนคิดเป็นร้อยละ 30.37 ซัลเฟอร์คิดเป็นร้อยละ 0.67 คลอรีนคิดเป็นร้อยละ 0.58 และประกอบด้วยโลหะหนัก นิกเกิล 0.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมูลฝอย แคดเมียม 1.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมูลฝอย พลวง 5.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมูลฝอย และปรอท 0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมูลฝอย

โครงการวิจัยเชิงนโยบายเพื่อสนับสนุนการพัฒนาและการใช้พลังงานหมุนเวียนและการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในประเทศไทย จัดทำโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (2550) ทำการประเมินและจัดลำดับความสำคัญของศักยภาพแหล่งพลังงานหมุนเวียนก๊าซชีวภาพ และมูลฝอย พบว่าแม้จะมีศักยภาพไม่สูงนัก (370 และ 330 เมกะวัตต์ ตามลำดับ) แต่ก็เป็ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ที่น่าจะนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง โดยมูลฝอยจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าคิดเป็น 323 เมกะวัตต์ โดยรวมทั้งประเทศใน ปี 2554 และ จากการศึกษาคาดการณ์ปริมาณมูลฝอยที่จะเกิดขึ้นในอนาคตในปี 2559 พบว่า มูลฝอยจะมีศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ขั้นต่ำ 384 เมกะวัตต์

ธนา นาถไตรภพ และคณะ (2551) ศึกษาวิธีการจัดการมูลฝอยชุมชนจำนวน 2 แห่ง ได้แก่ วิทยาลัยชุมชนท่าสูด ตำบลท่าสูด อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย และเทศบาลตำบลต้นเปา อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ โดยวิทยาลัยชุมชนท่าสูด เลือกเทคโนโลยีเตาเผาแบบไม่ใช้พลังงานที่มีต้นทุนในการก่อสร้างและดำเนินการต่ำ ในการดำเนินงานสามารถเผากำจัดมูลฝอยแห้ง เช่น ถุงพลาสติกและบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่ไม่มีส่วนผสมของมูลฝอยเปียก เช่น เศษอาหาร ผักและผลไม้ พบว่ามีประสิทธิภาพการเผาไหม้เฉลี่ยร้อยละ 99.95 ผลิตกำลังความร้อนในรูปของไอเสียได้

519.06 กิโลวัตต์ แต่สมรรถนะจะลดน้อยลงไปเมื่อมีส่วนผสมของมูลฝอยเปียกเพิ่มขึ้น ดังนั้น เพื่อให้การเผากำจัดมูลฝอยมีประสิทธิภาพ จึงควรให้มีการแยกมูลฝอยพวกเศษอาหาร ผักและผลไม้ ออกไป โดยนำไปทำปุ๋ยหมักเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกร ส่วนเทศบาลตำบลต้นเปา เป็นอีกหนึ่งชุมชนที่มีการรณรงค์โครงการคัดแยกมูลฝอยเพื่อลดปริมาณมูลฝอย โดยมีการให้ความรู้แก่ชาวบ้านในการคัดแยกมูลฝอย มูลค่าของมูลฝอยชนิดต่างๆ การทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอย และจัดให้มีการรับซื้อมูลฝอย โดยผู้ประกอบการค้าขยะรีไซเคิลเป็นประจำทุกๆเดือน โดยตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 ถึงมกราคม พ.ศ. 2551 มีมูลค่าการซื้อขายอยู่ที่ 39,192 บาท ถึง 47,323 บาทต่อเดือน

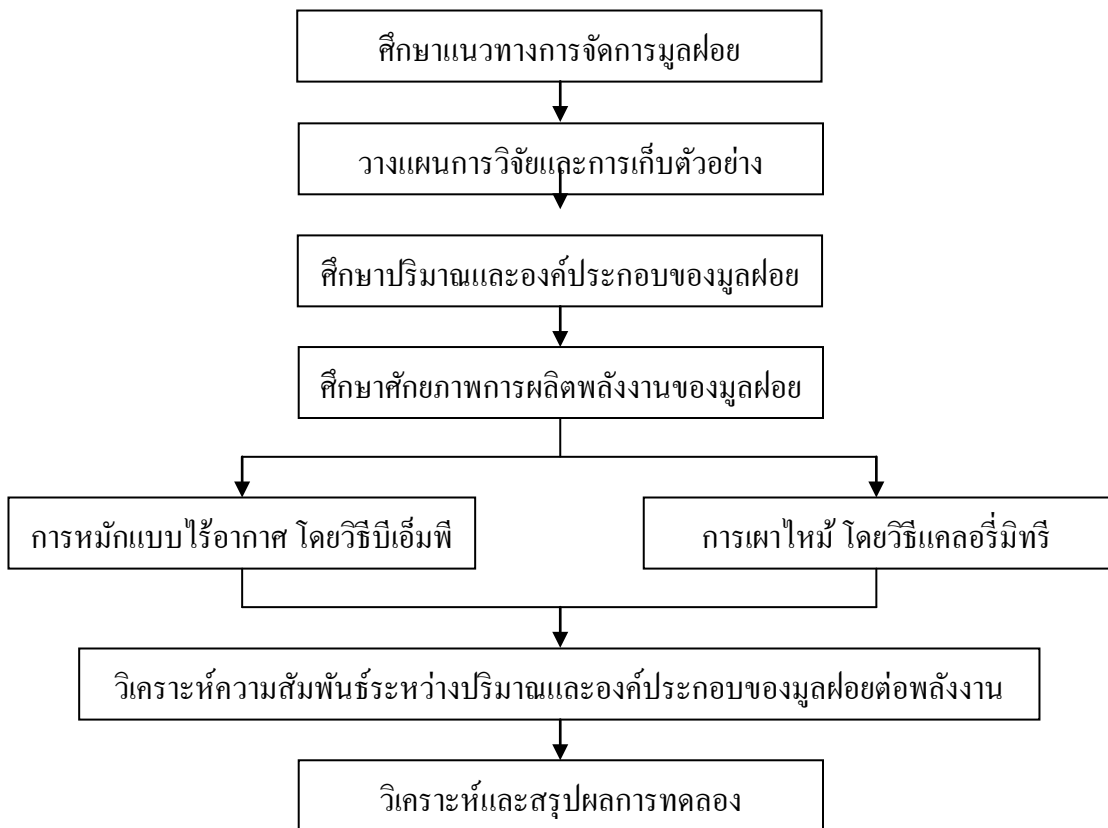
สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน (2552) ศึกษาการเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยการใช้การทดสอบด้วยวิธีบีเอ็มพี (เพื่อหาชนิดของของเสียที่มีศักยภาพดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยทำการทดลองกับของเสียทั้งหมด 5 ชนิด คือ เศษอาหาร กลิเซอริน หยูแอนเปียร์ ฟางข้าว และต้นข้าวโพด เริ่มจากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของของเสียทั้ง 5 ชนิด เพื่อคำนวณสัดส่วนของของเสียกับสารอาหารและสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โดยวิธีบีเอ็มพี ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 62 วัน จากการทดลองหาศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนของของเสีย พบว่าของเสียทั้ง 5 ชนิด มีศักยภาพในการเพิ่มการผลิตก๊าซมีเทนสำหรับน้ำเสียฟาร์มสุกร ได้แก่ (1) เศษอาหารที่อัตราส่วนร้อยละ 60:40 ของของแข็งระเหย (2) กลิเซอรินที่อัตราส่วนร้อยละ 5:95 ของของแข็งระเหย (3) หยูแอนเปียร์ที่อัตราส่วนร้อยละ 30:70 ของของแข็งระเหย (4) ฟางข้าวที่อัตราส่วนร้อยละ 60:40 ของของแข็งระเหย และ (5) ต้นข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 60:40 ของของแข็งระเหย ซึ่งมีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่าการหมักย่อยเฉพาะน้ำเสียฟาร์มสุกรเพียงอย่างเดียว คือ 0.605 0.530 0.589 0.527 และ 0.477 ลูกบาศก์เมตรต่อ กิโลกรัมของของแข็งระเหยที่ใส่เข้าระบบ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5 - 25 เทียบกับค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของน้ำเสียฟาร์มสุกรที่อัตราส่วนร้อยละ 100 ของของแข็งระเหย เท่ากับ 0.452 ลูกบาศก์เมตรต่อ กิโลกรัมของของแข็งระเหยที่ใส่เข้าระบบ สามารถสรุปได้ว่าการหมักน้ำเสียฟาร์มสุกรร่วมกับสารอินทรีย์อื่นๆ เป็นการส่งเสริมการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้

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 การเปิดโอกาสให้นิตินิตได้เรียนรู้การอยู่ร่วมกันในสังคม ได้รับการอบรมส่งเสริมจริยธรรม เพื่อให้ นิตินิตสามารถบรรลุเป้าหมายแห่งการเป็นบัณฑิตที่ สมบูรณ์ มหาวิทยาลัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญ โดยจัดหอพักในมหาวิทยาลัยเพื่อเป็นสวัสดิการ ช่วยเหลือ นิตินิตที่มีความจำเป็น ในด้านที่พัก รวมถึงต้องการให้หอพักเป็นสถานที่ที่เพิ่มพูนความรู้และ 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

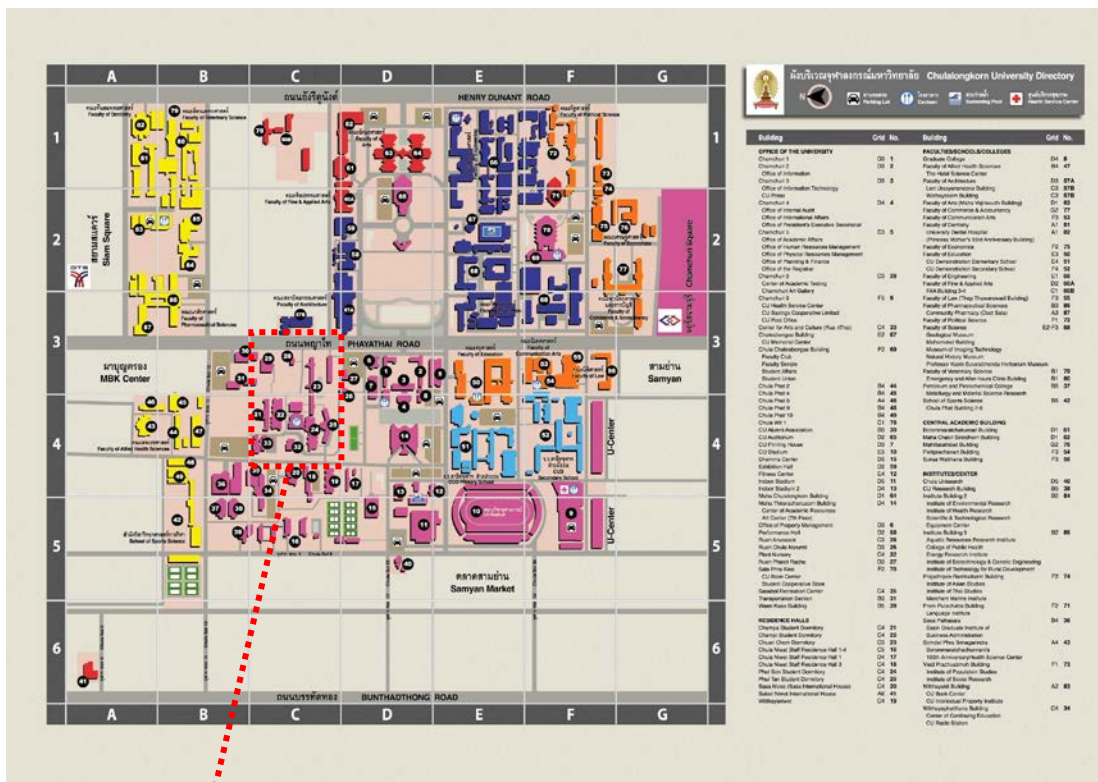
อาคารพักนิตินิตชาย จำนวน 2 หลัง รับนิตินิตชายเข้าพักได้รวม 1,280 คน ดังนี้

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 Chom 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 แผนที่ที่ตั้งของอาคารและโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ที่มา: <http://www.rcu.sa.chula.ac.th>)

นอกจากนี้บริเวณหอพักยังมีร้านค้าจำหน่ายอาหารในโรงอาหารหอพักนิสิต จำนวน 8 ร้าน ร้านจำหน่ายอุปกรณ์ของใช้เบ็ดเตล็ด ร้านบริการซักอบรีดเสื้อผ้า ร้านถ่ายเอกสาร ชุมจำหน่ายผลิตภัณฑ์โครงการหลวงดอยคำ และมีบริการเครื่องซักผ้าแบบหยอดเหรียญตามชั้นต่างๆ ในอาคารสำหรับอำนวยความสะดวกให้แก่นิสิตที่พักในหอพัก



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 ตึกชวชนม และตึกพุดซ้อน รวมทั้งสิ้นจำนวน 5 หอพัก และมูลฝอยจำพวกเศษอาหารจากโรงอาหารของหอพักนิสิต

3.3.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างมูลฝอย

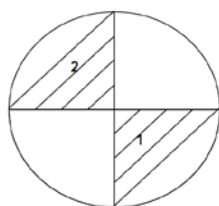
ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างมูลฝอย แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเปิดเทอม (during semester) และปิดเทอม (after semester) ครอบคลุม 7 วัน ตลอดสัปดาห์ ทั้งวันทำการ (weekday) และวันหยุดราชการ (weekend)

3.3.3 การสุ่มตัวอย่างมูลฝอย

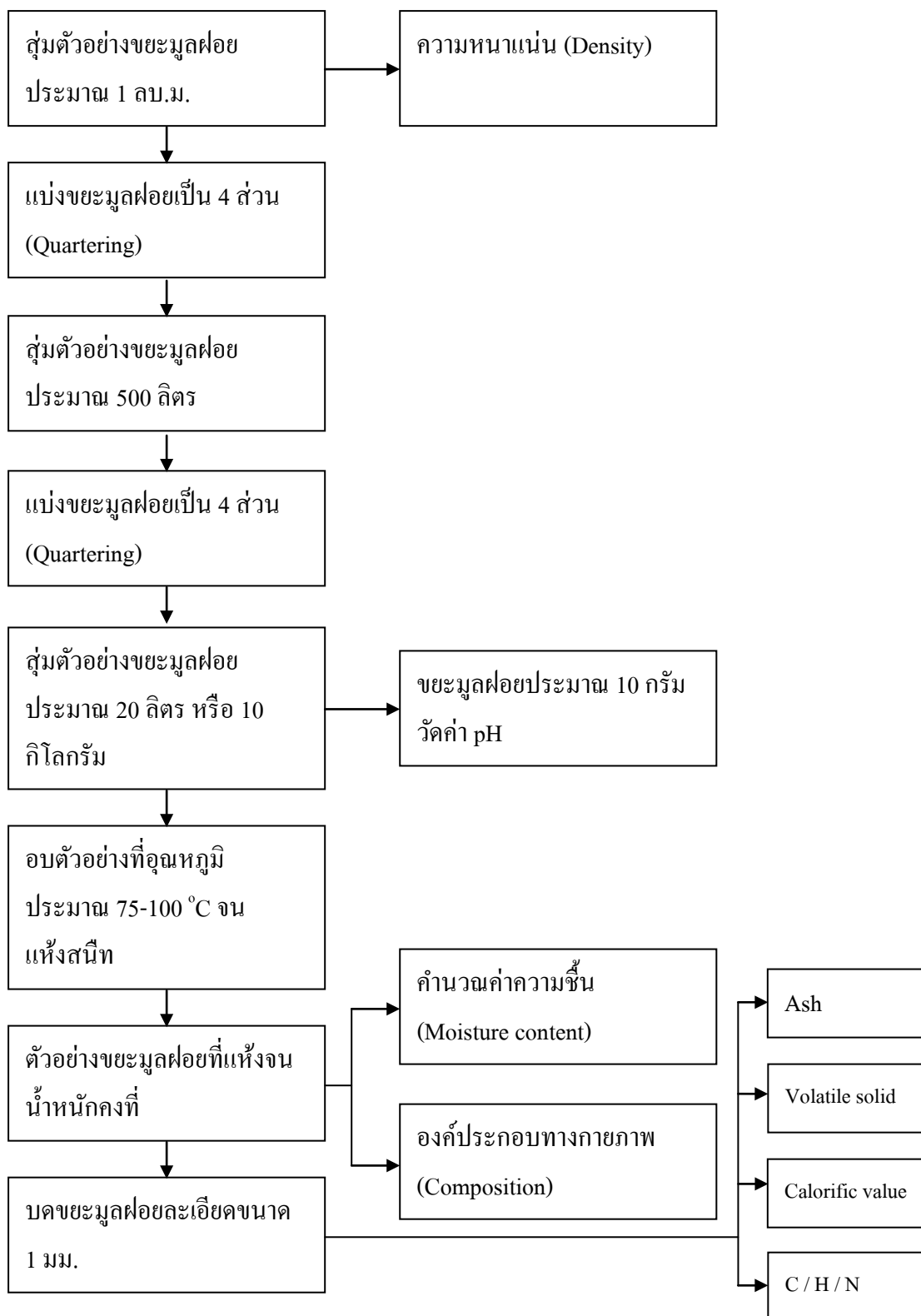
การสุ่มตัวอย่างมูลฝอยเพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เพื่อให้ได้ตัวอย่างมูลฝอยที่เป็นตัวแทนของมูลฝอยทั้งหมด แต่เนื่องจากระบบการเก็บรวบรวมมูลฝอยของหอพักนิตติจุฬาฯ ยังไม่มีการแยกประเภทของมูลฝอยที่ชัดเจน การสุ่มตัวอย่างมูลฝอยจึงต้องทำให้มูลฝอยเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้องค์ประกอบของมูลฝอยเหมือนกันทุกส่วน (ณัฐวุฒิ แสนอำนวยผล, 2547) โดยนำมูลฝอยผ่านการคลุกเคล้าให้เข้ากันดีแล้ว กระจายออก 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 โดยเลือกส่วนที่ตรงข้ามกันมารวมกัน 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 ปทุมธานีบริวเวอรี จำกัด ทำการปรับสภาพหัวเชื้อจุลินทรีย์ (Acclimatization) ก่อนนำไปใช้งานเป็นเวลา 30 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายเศษอาหารได้ทันทีที่เริ่มต้นการวิเคราะห์บีเอ็มพี โดยวิเคราะห์ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ทั้งนี้เชื้อจุลินทรีย์ที่นำไปใช้จะต้องมีลักษณะเบื้องต้นดังนี้ ค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 95 ของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 5 และของแข็งระเหยเท่ากับร้อยละ 90 ของน้ำหนักแห้ง (ปพิชญา พันธุระ, 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
3. เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter)
4. 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. โซเดียมไตรโอซัลเฟตเพนตาไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
14. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
15. เมทิลีนบลู ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$)
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 - ฟีนานโทรลีนโมโนไฮเดรต ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
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. แอนติโมนีโปตัสเซียมทาเทรท ($\text{K}(\text{SbO}) \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)
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)

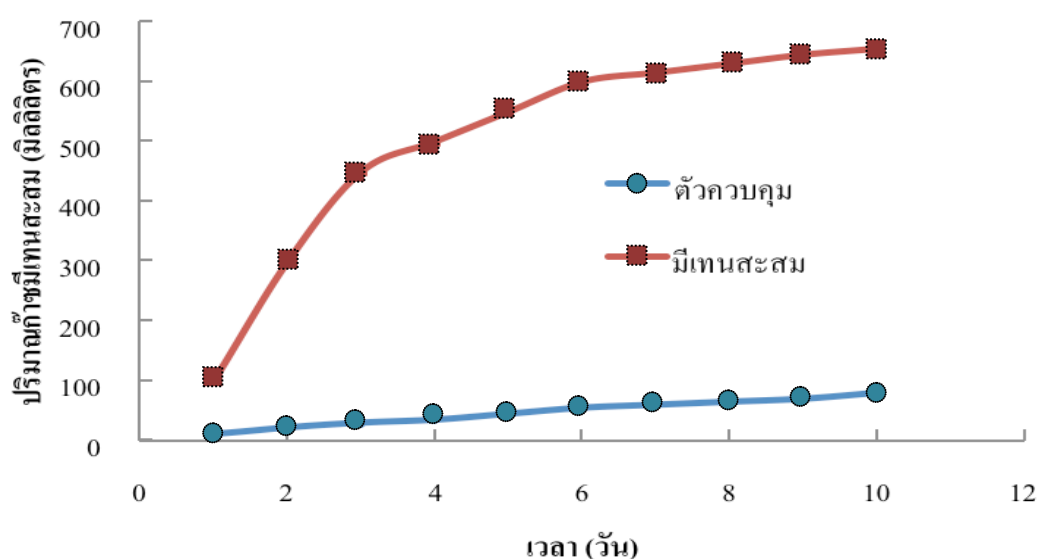
29. โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)
30. ก๊าซไนโตรเจน (N_2)
31. เบนโซอิกแอซิด ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$)

3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.6.1 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลฝอย

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 หัวเชื้อจุลินทรีย์สารอาหารและบัพเฟอร์ ในขณะที่ชุดควบคุมจะไม่มีเศษอาหาร แต่มีหัวเชื้อจุลินทรีย์ สารอาหาร และบัพเฟอร์ สารอาหาร จุลินทรีย์ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบศักยภาพที่แท้จริงในการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนของเศษอาหาร พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์เพื่อหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวิธีบีเอ็มพี ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 สารอาหารและบัพเฟอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์บีเอ็มพี

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		สารบัพเฟอร์	
$\text{FeCl}_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	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
ความเป็นกรดต่าง (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 หนังและยาง 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

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

ในการพิจารณาว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด พิจารณาจาก

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

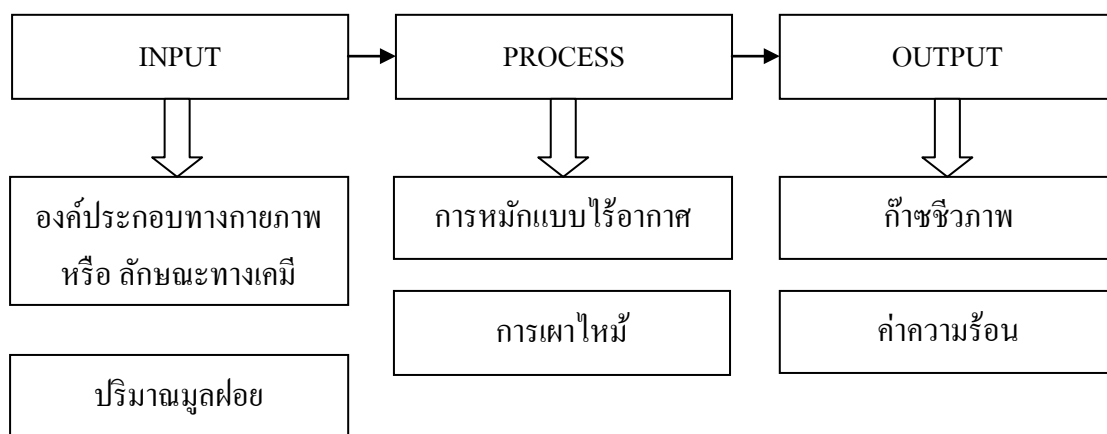
- การทดสอบสมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (F-test) สำหรับพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น $X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$ กับตัวแปรตาม Y ถ้าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แสดงว่าตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน

- 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

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การจัดการมูลฝอยของหอพักนิสิต

มูลฝอยจากหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามประเภทแหล่งกำเนิด ได้แก่ ส่วนอาคารหอพักนิสิตจำนวน 5 อาคาร และส่วนโรงอาหารหอพักนิสิตจำนวน 1 โรง จากการสำรวจและสอบถาม ข้อมูลด้านการจัดการมูลฝอยจากผู้ดูแลหอพักเจ้าหน้าที่ แม่บ้าน และเจ้าของร้านค้าอาหาร พบว่า มูลฝอยที่มาจากอาคารหอพักจะมีการเก็บรวบรวมที่ถึงบริเวณใต้อาคารหอพักของแต่ละอาคารแล้วแม่บ้านที่ทำหน้าที่ประจำอาคารจะทำการแยกมูลฝอยมีค่าบางส่วนออกเพื่อนำไปขาย หรือนำกลับไปใช้ใหม่ มูลฝอยส่วนที่ไม่เป็นที่ต้องการจะถูกนำไปกองรวมกันยังจุดรวมมูลฝอยเพื่อรอเจ้าหน้าที่เก็บขยะของกรุงเทพมหานครนำไปจัดการเป็นลำดับถัดไป จุดรวมมูลฝอยนี้อยู่ในบริเวณเดียวกับหอพักนิสิตจุฬาฯ มีลักษณะเป็นโรงเรือนรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 5 เมตร ยาว 9 เมตร ก่อด้วยผนังปูนสี่ด้านมีทางเข้า-ออกด้านหนึ่ง ด้านบนมีหลังคาคลุมตลอด มีช่องระบายอากาศโดยรอบ 4 ด้าน ภายในมีการกั้นแบ่งเขตออกเป็น 2 ส่วนย่อยสำหรับแยกทิ้งขยะเปียกและขยะแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ส่วนการเก็บมูลฝอยจากจุดรวบรวมมูลฝอยหอพักนิสิตจุฬาฯ โดยเจ้าหน้าที่จากกรุงเทพมหานครนั้นจะเก็บในเวลา 05:00 น. ของทุกวัน ยกเว้นวันอาทิตย์

มูลฝอยอีกส่วนมาจากโรงอาหาร เป็นมูลฝอยจำพวกเศษอาหารโดยจะมีถังพลาสติกสีฟ้า ปริมาตร 200 ลิตร จำนวน 4-5 ถังวางไว้สำหรับรวบรวมเศษอาหารอยู่บริเวณด้านนอกของโรงอาหาร ดังแสดงในภาพที่ 4.2 มูลฝอยเศษอาหารเหล่านี้ในบางครั้งจะมีคนมาขอเพื่อนำไปเป็นอาหารปลาโดยไม่มีการคิดมูลค่าใด แต่ส่วนใหญ่ไม่ได้มีการใช้ประโยชน์อย่างจริงจังมักจะปล่อยทิ้งไว้รอการเก็บ ส่วนมูลฝอยจำพวกขวดแก้ว ขวดพลาสติก แก้วน้ำ แก้วพลาสติก หลอดมีการคัดแยกออกก่อนแล้วในบริเวณโรงอาหารเพื่อนำไปขายต่อ หรือนำกลับไปใช้งานใหม่ ส่วนเศษผักเศษผลไม้ ได้แก่ เปลือกส้ม เปลือกมะนาว ลูกมะพร้าว รวมถึงกระป๋องอูมิเนียมที่เกิดจากกิจกรรมการประกอบอาหารของร้านค้าอาหารและเครื่องดื่มจะ ถูกนำไปทิ้งยังจุดรวมมูลฝอยเช่นเดียวกับมูลฝอยจากอาคารนิสิต

ในงานวิจัยฉบับนี้จึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบและปริมาณมูลฝอยหอพักนิตินิจจุฬาฯ ทั้ง 2 ส่วน คือ มูลฝอยจากอาคารหอพักนิตินิจจุฬาฯ และมูลฝอยจากโรงอาหาร จากนั้นจะทำการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพ และค่าความร้อน โดยผ่านกระบวนการหมักแบบไร้อากาศและการเผาไหม้ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 จุดรวมมูลฝอยจากอาคารหอพักนิตินิจจุฬาฯ



ภาพที่ 4.2 จุดรวมเศษอาหารจากโรงอาหารหอพักนิตินิจจุฬาฯ

4.2 ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยหอพักนิสิต

จากการศึกษาตัวอย่างมูลฝอยหอพักนิสิตชายหญิงจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เก็บรวบรวมจากจุดรวบรวมมูลฝอย 2 แห่งบริเวณหอพักนิสิตจุฬาฯ แบ่งเป็นมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจำนวนทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง และมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจำนวนทั้งสิ้น 16 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 4 เดือนและ 2 เดือนตามลำดับครอบคลุมช่วงเวลาเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน พบว่ามูลฝอยมีลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมี ดังนี้

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

การสุ่มตัวอย่างมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยสามารถทำได้โดยการนำมูลฝอยมาคลุกให้เข้ากันแล้วทำการแบ่งออกเป็น 4 ส่วน จนได้ปริมาณมูลฝอยรวมประมาณ 50 ลิตร นำไปคัดแยกเพื่อหาองค์ประกอบทางกายภาพและความหนาแน่นปกติ ของมูลฝอย ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 การคัดแยกมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตเพื่อศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ

ซึ่งนำหน้าหาค่าสัดส่วนองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยแต่ละชนิดเป็นร้อยละ โดยนำหน้ายก แยกหมวดตามประเภทที่เผาไหม้ได้และประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางกายภาพและความหนาแน่นปกติของมูลฝอยอาคารหอพักนิตติระหว่าง เปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ผลการศึกษาร้อยละองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิตติ พบว่าในระหว่าง เปิดภาคเรียน เศษอาหารมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 59.06 - 73.24 กระดาษมีสัดส่วนอยู่ในช่วง ร้อยละ 3.02 - 9.91 พลาสติกมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 12.64 - 26.79 หนังและยางมีสัดส่วน อยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 - 3.00 ผ้ามีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 - 1.00 แก้วมีสัดส่วนอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.00 - 14.50 โลหะมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 - 3.70 มูลฝอยประเภทอื่นๆมีสัดส่วน อยู่ในช่วงร้อยละ 0.14 - 9.85 และความหนาแน่นปกติอยู่ในช่วง 147.00 - 268.00 กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ส่วนระหว่างปิดภาคเรียน เศษอาหารมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 56.74 - 65.72 กระดาษมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 5.89 - 13.67 พลาสติกมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 10.32 - 22.21 หนังและยางมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 - 1.70 ผ้ามีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 - 1.03 แก้วมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 4.10 - 8.97 โลหะมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00 - 2.10 มูลฝอยประเภทอื่นๆมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ 1.80 - 8.36 และความหนาแน่นปกติอยู่ในช่วง 138.00 - 234.00 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิตติ

องค์ประกอบทางกายภาพ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	เปิดภาคเรียน		ปิดภาคเรียน	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน
	N = 28	มาตรฐาน	N = 32	มาตรฐาน
ประเภทที่เผาไหม้ได้	90.81	-	87.82	-
เศษอาหาร	64.73	3.84	60.89	2.17
กระดาษ	6.73	1.89	8.45	2.11
พลาสติก	18.81	3.82	18.27	3.21
หนังและยาง	0.46	0.87	0.16	0.45
ผ้า	0.08	0.22	0.05	0.19
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต (ต่อ)

องค์ประกอบทางกายภาพ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	เปิดภาคเรียน		ปิดภาคเรียน	
	ค่าเฉลี่ย N = 28	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย N = 32	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้	9.19	-	12.18	-
แก้ว	5.18	3.69	6.64	1.39
โลหะ	0.83	1.35	0.23	0.61
ประเภทอื่นๆ	3.18	2.95	5.31	1.54
รวม	100.00	-	100	-
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	196.36	31.94	180.72	25.30

จะเห็นว่ามูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้มีส่วนน้ำหนักเฉลี่ยที่สูงมากถึงร้อยละ 90.81 และ 87.82 ในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนตามลำดับ ในขณะที่มูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้มีส่วนน้ำหนักเฉลี่ยที่ต่ำ คิดเป็นร้อยละ 9.91 และ 12.18 ในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ เป็นมูลฝอยที่มีมูลค่าสามารถนำกลับไปใช้ซ้ำ (reuse) หรือนำกลับไปใช้ใหม่ (recycle) ทำให้มีการคัดแยกมูลฝอยประเภทนี้บางส่วนเพื่อนำไปขาย หรือส่งคืนยังผู้ผลิต ส่วนขององค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยเมื่อเรียงลำดับจากค่ามากไปน้อย พบว่ามูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ประกอบด้วย เศษอาหาร พลาสติก กระดาษ หนังสือและยาง และผ้า คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 64.73 18.81 7.73 0.46 และ 0.08 ระหว่างเปิดภาคเรียน และคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 60.89 18.27 8.45 0.16 และ 0.05 ระหว่างปิดภาคเรียนตามลำดับ มูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ประกอบด้วยแก้ว มูลฝอยประเภทอื่นๆ และโลหะคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 5.18 3.18 และ 0.83 ในช่วงเปิดเทอม และคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 60.89 18.27 8.45 0.16 และ 0.05 ระหว่างปิดภาคเรียนตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนน้ำหนักมูลฝอยประเภทต่างๆ ในงานวิจัยกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยชุมชนของกลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลาง (Middle income country) ศึกษาโดย Tchobanoglous และคณะ, 1993 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 กล่าวว่าสัดส่วนมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ เศษอาหารมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 20-65 กระดาษมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 8-30 พลาสติกมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2-6 หนังสือและยางมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1-4 และผ้ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1-10 พบว่าสัดส่วนเศษอาหารในงานวิจัยมีค่าอยู่ในช่วงที่ได้กล่าวไว้แล้ว ทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิด

ภาคเรียน สัดส่วนกระดาษในช่วงเปิดเทอมจากงานวิจัยมีค่าน้อยกว่าช่วงที่รายงานไว้ ในขณะที่ในช่วงปิดภาคเรียนมีสัดส่วนกระดาษที่อยู่ในช่วงที่มีการรายงานไว้ อาจเนื่องมาจากในช่วงเปิดภาคเรียนมีการใช้งานเอกสารต่างๆ เมื่อปิดภาคเรียนจึงมีการทิ้งหรือจัดการเอกสารที่ไม่จำเป็นทำให้สัดส่วนเศษกระดาษที่พบมีปริมาณเพิ่มขึ้น สัดส่วนพลาสติกในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนจากงานวิจัยมีค่าสูงกว่าช่วงที่รายงานไว้ในขณะที่สัดส่วนหนังและยาง ผ้า และ ไม้และใบไม้จากงานวิจัยมีค่าต่ำกว่าช่วงที่มีการรายงานไว้ อาจเป็นเพราะหอพักนั้นแม้ว่าจะเป็นที่อยู่อาศัยที่มีลักษณะของการค้างคืนเหมือนกับบ้านเรือนแต่ว่าช่วงเวลาที่ผู้อยู่อาศัยอยู่ที่หอพักนั้นสั้นกว่าช่วงเวลาการอาศัยของผู้อยู่อาศัยแบบบ้านเรือนตามชุมชน ทำให้มูลฝอยชนิดหนังและยาง หรือเศษผ้าพบได้ในสัดส่วนที่ต่ำกว่ามูลฝอยชุมชน ส่วนมูลฝอยประเภทไม้และใบไม้นั้น ทางมหาวิทยาลัยได้มีการจัดการเก็บและทิ้ง ณ จุดรวบรวมอื่นของมหาวิทยาลัย สัดส่วนของไม้และใบไม้ที่ได้จากการศึกษาจึงมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 0.00 ทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน เมื่อพิจารณามูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ พบว่าสัดส่วนมูลฝอยประเภทแก้วและมูลฝอยประเภทอื่นๆในงานวิจัยมีค่าอยู่ในช่วงที่มีการรายงานไว้ทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน แต่มูลฝอยประเภทโลหะมีค่าต่ำกว่าช่วงที่มียารายงานไว้ อาจเกิดจากสาเหตุเดียวกับการที่มูลฝอยประเภทหนังและยาง และผ้ามีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่รายงานไว้ และเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยกรุงเทพมหานคร โดยฝ่ายวิจัยกองวิชาการและแผนงานสำนักรักษาความสะอาด ปี 2545 และรายงานของสำนักบริหารยุทธศาสตร์กรุงเทพมหานคร ปี 2552 พบว่าองค์ประกอบของมูลฝอยที่ได้จากงานวิจัย ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าองค์ประกอบมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานครทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน เนื่องจากแหล่งกำเนิดมูลฝอยหอพักชนิดนั้นมิตั้งขนาดเล็ก และกิจกรรมมีความหลากหลายน้อยกว่า รวมถึงระยะเวลาในการอยู่อาศัยของผู้อยู่อาศัยที่หอพักชนิดนั้นเป็นเพียงช่วงเวลาสั้นๆเท่านั้น แต่สัดส่วนน้ำหนัก เศษอาหารในงานวิจัยที่ทำการศึกษานั้นจะมีปริมาณสูงกว่าสัดส่วนเศษอาหารของมูลฝอยชุมชนจากกรุงเทพมหานครเนื่องจากมูลฝอยประเภทอื่นๆ ของสำนักรักษาความสะอาด นั้นได้ให้คำจำกัดความว่าเป็น มูลฝอยที่มีขนาดเล็กกว่า 10 มิลลิเมตร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ แต่ในงานวิจัยฉบับนี้ทำการคัดแยกอินทรีย์สารเป็นมูลฝอยประเภทเศษอาหาร จึงทำให้สัดส่วนน้ำหนักมูลฝอย ประเภทเศษอาหารมีค่าสูงกว่าค่าที่รายงานโดยสำนักรักษาความสะอาด และสำนักบริหารยุทธศาสตร์ นอกจากนี้สัดส่วนมูลฝอยประเภทเศษอาหารจากอาคารหอพักนั้นคิดจากน้ำหนักเปียก ณ เวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง ไม่ผ่านการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งไปยังจุดพัก หรือสถานีฝังกลบทำให้น้ำหนักของมูลฝอยไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของมูลฝอยอาคารหอพักกับมูลฝอยชุมชนของ

กรุงเทพมหานคร พบว่าความหนาแน่นของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานครมีค่าเท่ากับ 196.36 180.72 และ 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ตามลำดับ เนื่องจากการเก็บมูลฝอยไปยังสถานีฝังกลบของกรุงเทพมหานครนั้นมีการบีบอัดมูลฝอยเพื่อให้สามารถบรรทุกมูลฝอยได้ในปริมาณที่สูงขึ้นทำให้ความหนาแน่นของมูลฝอยชุมชนกรุงเทพมหานครมีค่าสูง

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพมูลฝอยชุมชนของประเทศที่มีรายได้ปานกลาง และมูลฝอยกรุงเทพมหานคร ปี 2545 และ 2552

องค์ประกอบทางกายภาพ (%)	กลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลาง*	กรุงเทพมหานคร ปี2545**	กรุงเทพมหานคร ปี2552***
ประเภทที่เผาไหม้ได้		81.86	96.24
เศษอาหาร	20-65	34.16	48.79
กระดาษ	8-30	13.58	13.60
พลาสติก	2-6	20.76	26.72
หนังและยาง	1-4	2.19	0.14
ผ้า	2-10	4.58	2.35
ไม้และใบไม้	1-10	6.59	4.64
ประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้		18.14	3.76
แก้ว	1-10	5.07	1.85
โลหะ	1-5	2.18	0.17
ประเภทอื่นๆ	1-30	10.89	1.74
รวม		100.00	100.00

หมายเหตุ * ศึกษาโดย Tchobanoglous และคณะ, 1993

** ศึกษาโดย สำนักรักษาความสะอาด, 2545

*** ศึกษาโดย สำนักบริหารยุทธศาสตร์, 2552

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนักศึกษา

ลักษณะทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	เปิดภาคเรียน		ปิดภาคเรียน	
	ค่าเฉลี่ย N = 28	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย N = 32	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ปริมาณความชื้น	64.56	4.10	60.83	3.38
ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้	30.41	4.27	34.41	3.45
ปริมาณเถ้า	5.03	1.12	5.23	1.18
รวม	100.00	-	100.00	-

นำตัวอย่างมูลฝอยมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้และปริมาณเถ้าคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก ค่าเฉลี่ยลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนักศึกษาในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนักศึกษา พบว่า ในช่วงเปิดภาคเรียน ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 57.09 - 71.42 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 23.37 - 38.29 ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.02 - 7.08 ตามลำดับ ส่วนในช่วงปิดภาคเรียน ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 54.43 - 67.26 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 25.93 - 40.15 ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.09 - 7.24 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีของมูลฝอย ที่ได้จากงานวิจัยกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอยชุมชนของกลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลางที่ศึกษาโดย Tchobanoglous และคณะ, 1993 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน ปริมาณความชื้นของมูลฝอยอาคารหอพักนักศึกษามีค่าสูงกว่าช่วงที่รายงานไว้ คือร้อยละ 15 - 40 สอดคล้องกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนักศึกษที่มีสัดส่วนมูลฝอยประเภทเศษอาหารที่มีปริมาณความชื้นสูง ในขณะที่ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ของมูลฝอยอาคารหอพักนักศึกษามีค่าต่ำกว่าช่วงที่รายงานไว้ คือร้อยละ 40 - 60 และปริมาณเถ้ามีค่าอยู่ในช่วงที่รายงานไว้ คือร้อยละ 4 - 30

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนักศึกษา ระหว่างช่วงเวลาเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนด้วยสถิติทดสอบที่แล้ว พบว่าสัดส่วนเศษอาหาร สัดส่วนกระดาษ สัดส่วนแก้ว สัดส่วนมูลฝอยประเภทอื่นๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ในขณะที่สัดส่วนพลาสติก สัดส่วนหนังและยาง สัดส่วนผ้า และสัดส่วนโลหะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนักศึกษาระหว่างช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน พบว่าปริมาณความชื้น ปริมาณสารที่

เผาไหม้ได้ และปริมาณเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความชื้นส่วนใหญ่มาจากเศษอาหาร และสัดส่วนเศษอาหารมีความแตกต่างกันทำให้ปริมาณความชื้นระหว่างช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนมีความแตกต่างกันด้วย ส่งผลต่อปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ความหนาแน่นและปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นต่อวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนด้วย

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยชุมชนของกลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลาง

ลักษณะทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	กลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลาง*
ปริมาณความชื้น	15 - 40
ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้	40 - 60
ปริมาณเถ้า	4 - 30

หมายเหตุ * ศึกษาโดย Tchobanoglous และคณะ, 1993

4.2.2 ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิต

โรงอาหารหอพักนิสิตมีการแยกมูลฝอยประเภทเศษอาหารออกจากมูลฝอยประเภทอื่นอย่างชัดเจนโดยมีการเก็บรวบรวมไว้บริเวณด้านหลังโรงอาหาร บรรจุในถังพลาสติกทึบ มีฝาปิดขนาด 200 ลิตร จากการสุ่มเก็บตัวอย่างเศษอาหารโดยวิธีการเก็บแบบจ้วง (grab sampling) ลักษณะทางกายภาพของเศษอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 4.5

จะเห็นว่าองค์ประกอบทางกายภาพคิดเป็นเศษอาหารร้อยละ 100.00 โดยน้ำหนักเปียก และจัดเป็นมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้ร้อยละ 100.00 เช่นเดียวกันทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน ความหนาแน่นปกติของเศษอาหารอยู่ในช่วง 354.47 - 401.39 และ 371.67 - 401.36 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิต

องค์ประกอบทางกายภาพ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	เปิดภาคเรียน		ปิดภาคเรียน	
	ค่าเฉลี่ย N = 8	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย N = 8	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ประเภทที่เผาไหม้ได้	100.00	-	100.00	-
เศษอาหาร	100.00	0.00	100.00	0.00
กระดาษ	0.00	0.00	0.00	0.00
พลาสติก	0.00	0.00	0.00	0.00
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00
รวม	100.00	0.00	100.00	0.00
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	386.87	15.58	383.11	10.68

นำตัวอย่างเศษอาหารมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของระเหย และปริมาณเถ้า ค่าเฉลี่ยลักษณะทางเคมีของมูลฝอย โรงอาหารหอพักนิสิต ในช่วงเปิดเทอมและปิดเทอม ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิต

ลักษณะทางเคมี (ร้อยละ)	เปิดภาคเรียน		ปิดภาคเรียน	
	ค่าเฉลี่ย N = 8	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย N = 8	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ปริมาณความชื้น	76.16	1.57	77.31	2.00
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	23.84	1.57	22.69	2.00
ปริมาณของแข็งระเหย*	20.66	4.47	19.72	2.40
ปริมาณเถ้า*	3.10	4.47	2.97	2.96

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.7 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยประเภทเศษอาหาร

ลักษณะทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	กลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลาง*
ปริมาณความชื้น	70.0
ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้	21.4
ปริมาณเถ้า	8.6

หมายเหตุ * ศึกษาโดย Tchobanoglous และคณะ, 1993

ผลการศึกษาลักษณะทางเคมีของเศษอาหารจากโรงอาหารหอพักนิตินิตพบว่าในระหว่างเปิดภาคเรียน มูลฝอยโรงอาหารหอพักนิตินิตหรือเศษอาหารมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 74.08 - 78.40 โดยน้ำหนักเปียก ปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 21.60 - 25.92 โดยน้ำหนักเปียก ปริมาณของแข็งระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 17.37 - 24.08 โดยน้ำหนักเปียก ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.84 - 4.23 ตามลำดับ ส่วนระหว่างปิดภาคเรียนปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง ร้อยละ 74.60 - 79.92 โดยน้ำหนักเปียก ปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 20.08 - 25.40 โดยน้ำหนักเปียก ปริมาณของแข็งระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 16.80 - 23.18 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.22 - 5.50 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อทดสอบลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโรงอาหารระหว่างเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนด้วยสถิติทดสอบที พบว่าลักษณะทางเคมีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอยประเภทเศษอาหารที่ทำการศึกษาโดย Tchobanoglous และคณะ (1993) ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าลักษณะทางเคมีมีค่าใกล้เคียงกัน รวมถึงเมื่อเปรียบเทียบกับรายงาน ลักษณะทางเคมีของเศษอาหารของ Zhang และคณะ (2007) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน โดยมี ปริมาณความชื้นสูงถึงร้อยละ 70 และของแข็งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแข็งระเหยมีค่าร้อยละ 83

4.3 ปริมาณของมูลฝอยหอพักนิสิต

ทำการบันทึกปริมาณมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตในแต่ละวัน ณ จุดรวมมูลฝอย พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณของมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละวันในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของมูลฝอยหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

ปริมาณ (กิโลกรัมต่อวัน)	เปิดภาคเรียน		ปิดภาคเรียน	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
มูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	502.86	76.35	425.31	43.99
มูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	141.61	4.95	92.36	4.05

ผลการศึกษาปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละวันพบว่าในระหว่างเปิดภาคเรียนปริมาณมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตอยู่ในช่วง 380.00 - 620.00 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณมูลฝอยโรงอาหารอยู่ในช่วง 134.70 - 148.20 กิโลกรัมต่อวัน ส่วนระหว่างปิดภาคเรียน ปริมาณมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตอยู่ในช่วง 350.00 - 510.00 กิโลกรัมต่อวัน ปริมาณมูลฝอยโรงอาหารอยู่ในช่วง 86.70 - 98.40 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ

4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของเศษอาหารโรงอาหารหอพักนิสิต

นำเศษอาหารจากโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมาศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยวิธีบีเอ็มพี ลักษณะทางเคมีของเศษอาหารดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ผลการศึกษามีดังนี้

4.4.1 ลักษณะของหัวเชื้อจุลินทรีย์

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยมีการปรับสภาพก่อนนำไปใช้จริง ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าหัวเชื้อจุลินทรีย์ประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 94.78 ปริมาณของแข็งร้อยละ 5.22 ปริมาณของแข็งระเหยร้อยละ 91.32 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณแอมโมเนียร้อยละ 8.68 โดยน้ำหนักแห้ง

ซีไอโดยรวมมีค่า 9,565.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่างมีค่า 7.13 และความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันมีค่า - 419.67 มิลลิโวลต์

ตารางที่ 4.9 ลักษณะของหัวเชื้อจุลินทรีย์

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	94.78	0.26
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	5.22	0.26
ปริมาณของแข็งระเหย*(ร้อยละ)	91.32	2.06
ปริมาณเถ้า*(ร้อยละ)	8.68	2.06
ซีไอโดยรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	9,565.13	22.11
ความเป็นกรดต่าง	7.13	0.06
ความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชัน (มิลลิโวลต์)	- 419.67	3.51

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง

4.4.2 ลักษณะของชุดควบคุมและชุดทดลองในการทดลองบีเอ็มพี

ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ หรือเศษอาหารนั้น ศึกษาจากวิธีวิเคราะห์บีเอ็มพีโดยแบ่งเป็นชุดการทดลองคือมีการเติมเศษอาหาร และชุดควบคุมคือไม่มีการเติมเศษอาหาร ทำการทดลองเป็นเวลาทั้งสิ้น 30 วัน พบว่า เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหย ปริมาณไนโตรเจน (ทีเคเอ็น) และซีไอโดยรวม ของชุดควบคุม และชุดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดในการทดลองบีเอ็มพี

การทดลอง	ของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)		ของแข็งระเหย (ร้อยละ)	
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
ชุดควบคุม	30.18±1.07	7.56±0.39	28.61±1.01	11.79±0.44
ชุดทดลอง	55.83±1.33	12.79±0.20	51.56±1.48	10.60±0.14

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองของแข็งทั้งหมดมีค่าร้อยละ 30.18 และ 55.83 ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองของแข็งทั้งหมดมีค่าลดลงเป็นร้อยละ 7.56 และ 12.79 ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ เช่นเดียวกับของแข็งระเหย เมื่อเริ่มต้นการทดลองของแข็งระเหยมีค่า 28.61 และ 51.56 ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองของแข็งระเหยมีค่าลดลงเป็นร้อยละ 11.79 และ 10.60 ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ การที่ของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยมีค่าลดลงเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์โดยกระบวนการไฮโดรไลซิสของจุลินทรีย์ในระบบหมักแบบไร้อากาศ

จากตารางที่ 4.11 เมื่อเริ่มต้นการทดลองค่าซีไอโดยรวมมีค่า 9,641 และ 1,199,784 มิลลิกรัมต่อลิตรในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าซีไอโดยรวมมีค่าลดลงเป็น 7,309 และ 379,034 มิลลิกรัมต่อลิตรในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์แล้วเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยและก๊าซมีเทนตามลำดับ

พิจารณาค่าทีเคเอ็น เมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่า 70.31 และ 32,495 มิลลิกรัมต่อลิตรในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าทีเคเอ็นลดลงเป็น 51.12 และ 10,682 มิลลิกรัมต่อลิตรในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ เนื่องจากในระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศนั้นจุลินทรีย์มีความต้องการใช้สารอาหารอื่นในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ สารอาหารที่จำเป็นคือไนโตรเจนเพราะเป็นส่วนประกอบหลักของกรดนิวคลีอิก (Nucleic acid) ดังนั้นระบบหมักแบบไร้อากาศอัตราส่วนของซีไอโดยรวมต่อไนโตรเจน (COD: N) ควรมีไม่ต่ำกว่า 800:5 (Deublein และ Steinhauser, 2008) เมื่อเริ่มต้นการทดลองอัตราส่วนของซีไอโดยรวมต่อไนโตรเจนมีค่า 800:5.8 และ 800:21.67 ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองอัตราส่วนของซีไอโดยรวมต่อไนโตรเจนมีค่า 800:5.9 และ 800:22.55 ในชุดควบคุมและชุดทดลองตามลำดับ จะเห็นว่าตลอดการทดลองอัตราส่วนของซีไอโดยรวมต่อไนโตรเจนมีค่าเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

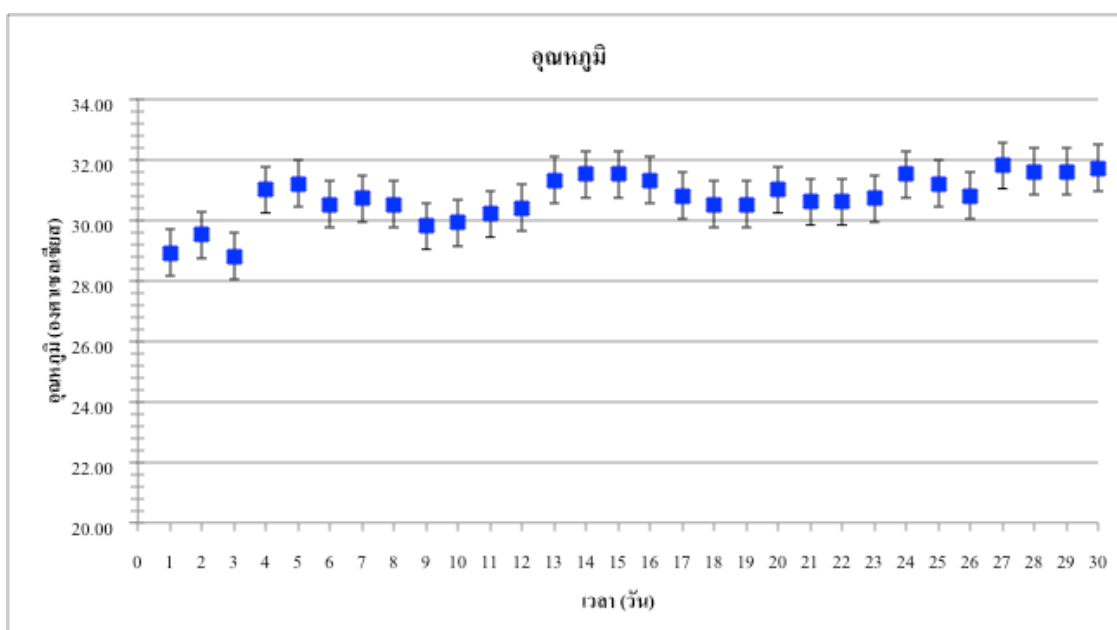
ตารางที่ 4.11 แอมโมเนียไนโตรเจนและซีไอโดยรวมเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดในการทดลองบีเอ็มพี

การทดลอง	ทีเคเอ็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ซีไอโดยรวม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
ชุดควบคุม	70.31±4.61	51.12±2.81	9,641±119	7,309±121
ชุดทดลอง	32,495±2,819	10,682±1,740	1,199,784±11,654	379,034±33,213

4.4.3 สภาพแวดล้อมในการทดลองบีเอ็มพี

4.4.3.1 อุณหภูมิ

ระหว่างการทดลองมีการวัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม พบว่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมมีค่าอยู่ในช่วง 28.80 – 31.80 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 30.73 ± 0.77 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสภาพแวดล้อม ดังแสดงในภาพที่ 4.4 อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการทำงานของจุลินทรีย์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการทำงานของจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้จุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25 - 35 องศาเซลเซียส และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 32 - 42 องศาเซลเซียส (Deublein และ Steinhauser, 2008) จะเห็นว่าอุณหภูมิตลอดการทดลองอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดและกลุ่มสร้างมีเทน

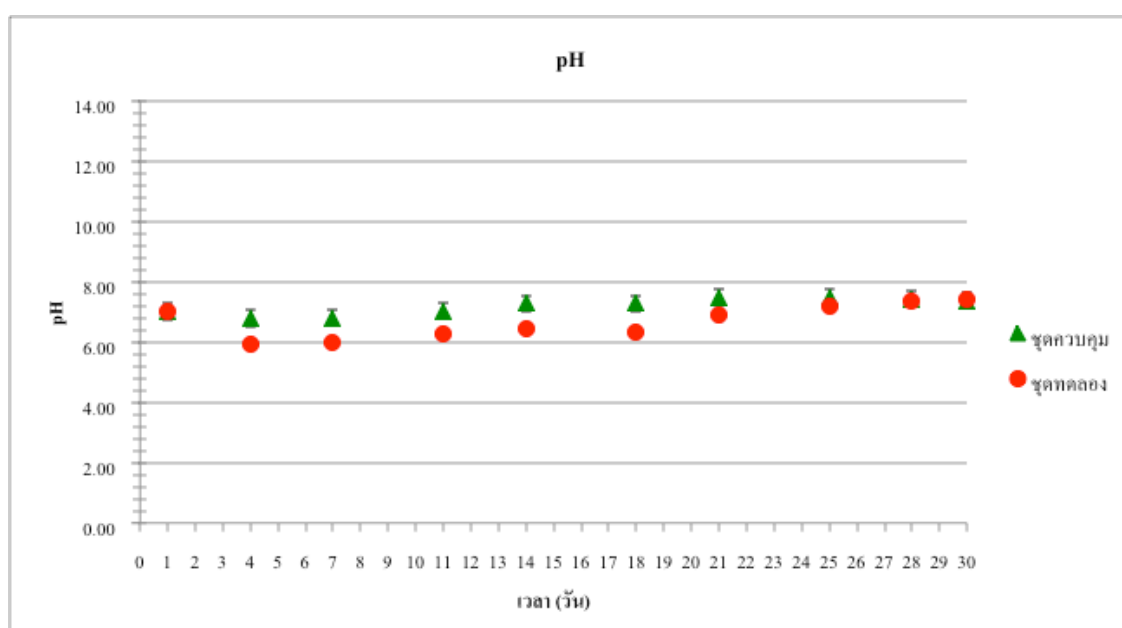


ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิสภาพแวดล้อม

4.4.3.2 ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่างเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อระบบหมักแบบไร้อากาศ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5 - 7.6 (Rattmann และ McCarty, 2000) โดยจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนสามารถทำงานได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 6.5-8.5 (Ahn และคณะ, 2010) ก่อนการทดลองนั้น ได้มีการเติม โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) เข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร (Seppala และ

คณะ,2009) เพื่อควบคุมความเป็นกรด-ด่างของระบบ (Buffer solution) ในการทดลองชุดควบคุมมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.77 - 7.47 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.19 ± 0.27 ชุดทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.93 - 7.43 คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.68 ± 0.56 ดังแสดงในภาพที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่างของทั้งชุดควบคุมและชุดทดลอง พบว่ามีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่ม แต่ในชุดทดลองวันที่ 4 มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำมากเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดทำให้เกิดกรดอินทรีย์ระเหยขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบจึงต่ำลง

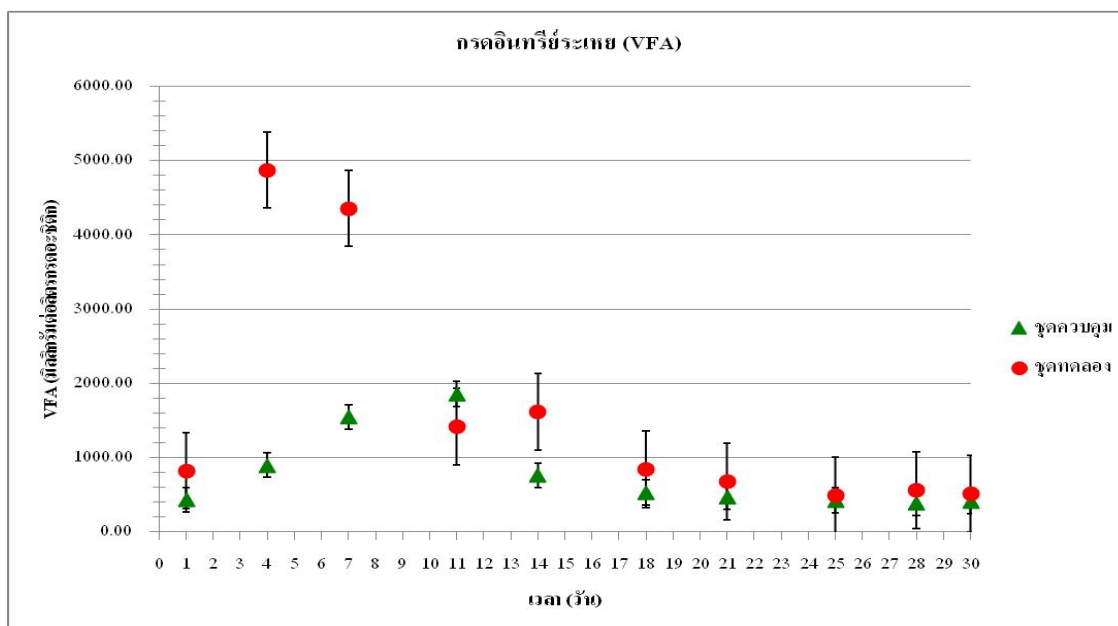


ภาพที่ 4.5 ความเป็นกรด-ด่าง

4.4.3.3 กรดอินทรีย์ระเหยในการทดลอง

กรดอินทรีย์ระเหยเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบหมักแบบไร้อากาศ กรดอินทรีย์ระเหยในระบบนั้นเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด ถ้าในระบบมีกรดอินทรีย์ระเหยมากค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบจะลดลง และจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มมีเทน กรดอินทรีย์ระเหยในชุดควบคุมมีค่าอยู่ในช่วง 388.67 - 857.67 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 772.40 ± 521.60 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก ในชุดทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 493.33 - 4,874.33 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,617.97 \pm 1,628.22$ มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติก ดังแสดงในภาพที่ 4.6 จะเห็นว่าในชุด

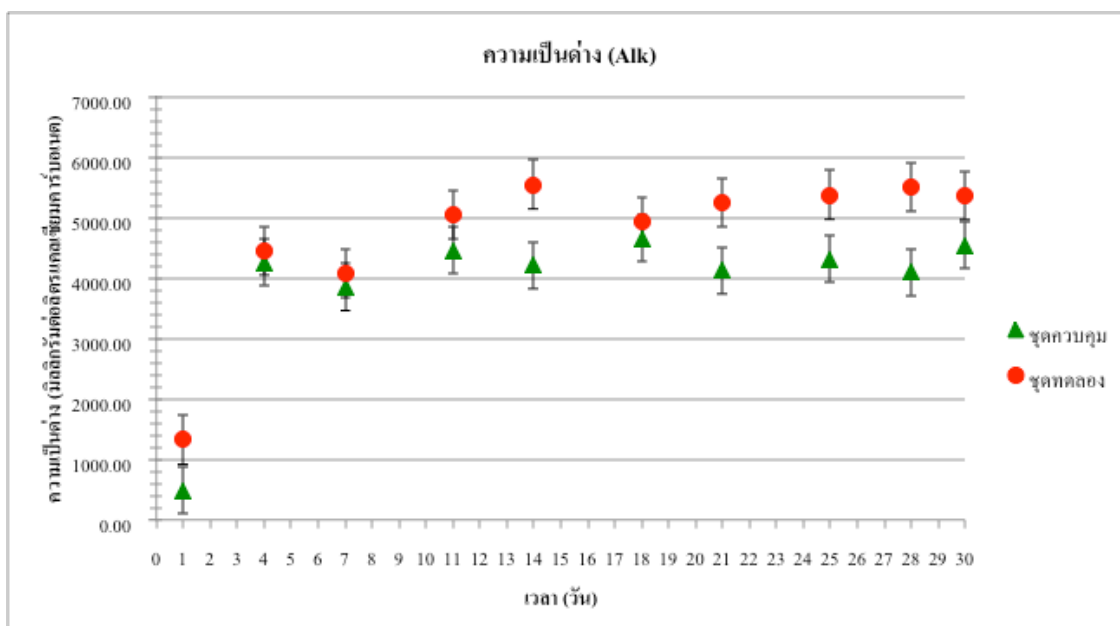
ทดลองกรดอินทรีย์ระเหยมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงสุดในวันที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีค่าต่ำลง เมื่อกรดอินทรีย์ระเหยมีค่าลดลงค่าความเป็นกรด-ด่างก็เพิ่มขึ้นและคงที่ในที่สุด



ภาพที่ 4.6 กรดไขมันระเหยในการทดลองบีเอ็มพี

4.4.3.4 ความเป็นด่างในการทดลอง

ความเป็นด่างในระบบเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของบัฟเฟอร์ (Buffer capacity) ในการสะเทินกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้น หากระบบมีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำเมื่อกรดอินทรีย์มีปริมาณสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เกิดสภาวะกรดขึ้นและส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน ในการทดลองชุดควบคุมมีค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วง 483.33 - 4,653.33 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ $3,898.23 \pm 1,222.37$ มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ชุดทดลองมีค่าความเป็นด่างอยู่ในช่วง 1,322.00 - 5,545.67 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ $4,686.10 \pm 1,274.33$ มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ดังแสดงในภาพที่ 4.7 จะเห็นว่าเมื่อค่ากรดอินทรีย์ระเหยสูงขึ้นค่าความเป็นด่างจะเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากการสะเทินกับกรดที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 4.7 ความเป็นด่าง

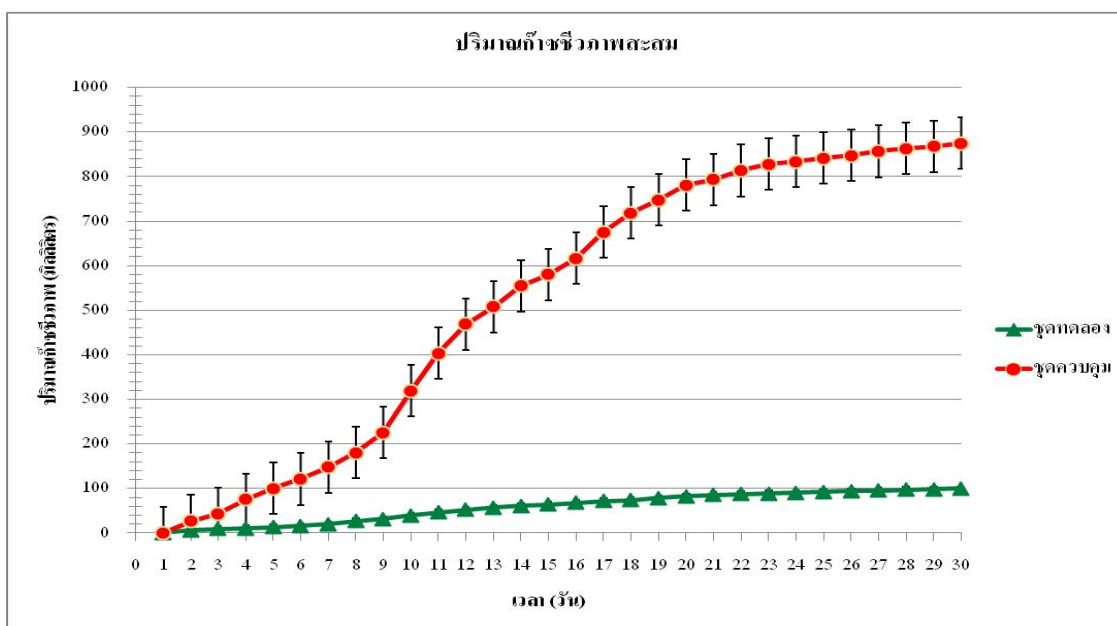
4.4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลฝอยโรงอาหารโดยวิธีบีเอ็มพี

4.4.4.1 ก๊าซชีวภาพสะสมของเศษอาหาร

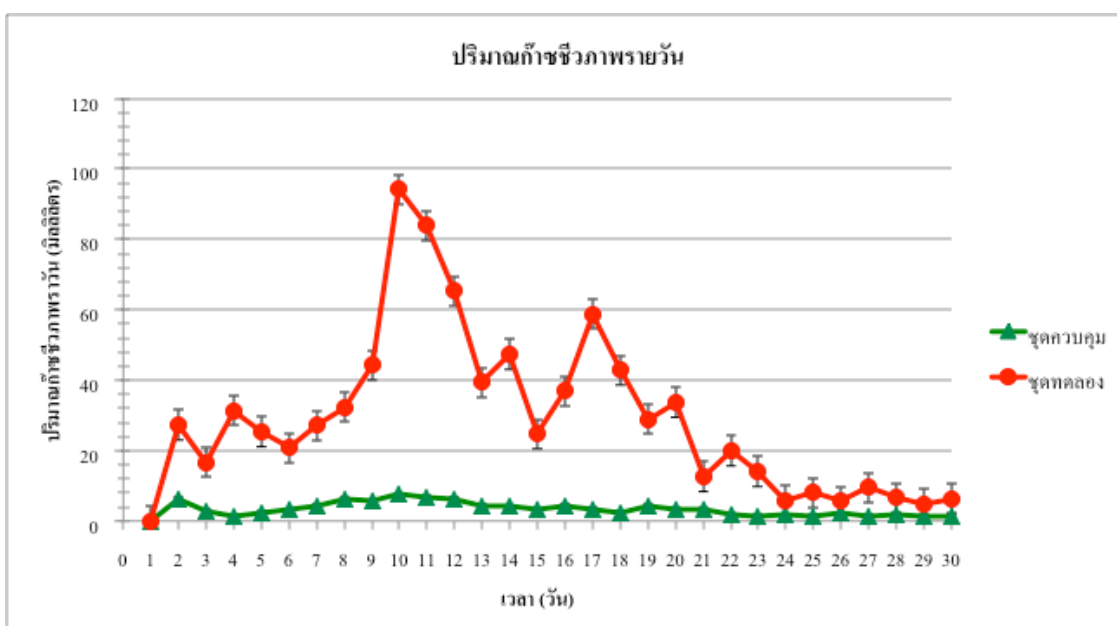
ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการทดลองของชุดทดลองและชุดควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 4.8 จะเห็นว่าช่วงแรกในชุดทดลองอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจะเกิดได้ช้า และเริ่มเกิดเร็วขึ้น ในวันที่ 9 ของการทดลองและเริ่มคงที่ (steady state) ในวันที่ 18 ส่วนชุดควบคุมมีอัตราการเกิด ก๊าซชีวภาพสะสมค่อนข้างคงที่ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมีค่า 874.49 และ 99.78 มิลลิลิตร ของชุดทดลองและชุดควบคุมตามลำดับ ดังนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดจากเศษอาหารมีค่าเท่ากับ 774.71 มิลลิลิตร

4.4.4.2 ก๊าซชีวภาพรายวันของเศษอาหาร

ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของชุดทดลองและชุดควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 4.9 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพรายวันของชุดการเศษอาหารมีค่าสูงสุดในวันที่ 10 มีค่าเท่ากับ 94.80 มิลลิลิตร ศักยภาพการเกิดก๊าซชีวภาพคิดเป็น 0.43 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย



ภาพที่ 4.8 ก๊าซชีวภาพสะสมของเศษอาหาร



ภาพที่ 4.9 ก๊าซชีวภาพรายวันของเศษอาหาร

4.4.4.3 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของเศษอาหาร

เมื่อนำก๊าซชีวภาพจากการทดลองไปวิเคราะห์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (percent methane) ดังแสดงในตารางที่ 4.12 จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าทางทฤษฎีที่คำนวณจากสมการการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ มีค่าเท่ากับร้อยละ 57 และ 70 ตามลำดับ เนื่องจากสารอินทรีย์จากเศษอาหารต้องใช้เวลาในการย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของแข็งให้อยู่ในรูปสารละลาย จุลินทรีย์จึงจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเซลล์และเกิดก๊าซตามลำดับ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้อาจเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (Methane yield) ของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจากการทดลอง คิดเป็น 0.22 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย เมื่อเทียบกับอัตราการเกิดก๊าซมีเทนจากการศึกษาของ Cho และคณะ (1995) พบว่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 0.47 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย เนื่องจากองค์ประกอบของเศษอาหารที่ต่างกันโดยปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งระเหยในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าเศษอาหารจากงานวิจัยของ Cho และคณะ(1995) เป็นส่วนที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนปริมาณสูงกว่า นอกจากนี้ Ruihong และคณะ (2007) รายงานอัตราการเกิดก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 0.44 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย เนื่องจากทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50 ± 2 องศาเซลเซียส อัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic microorganism) สูงกว่าจุลินทรีย์กลุ่มมีโซฟิลิก ทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนมีปริมาณสูงกว่า

ตารางที่ 4.12 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของเศษอาหาร

The BMP test	เศษอาหาร
Gas production (ml)	774.71±7.57
Methane content (%)	56.50±7.17
Biogas yield (m ³ /kgVS)	0.39
Methane yield (m ³ /kgVS)	0.22
LSCV (kcal/kgVS)	1,732

4.5 ศักยภาพการผลิตค่าความร้อนของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

จากผลการศึกษาค่าความร้อนของมูลฝอยหอพักพบว่าในระหว่างเปิดภาคเรียนค่าความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 809.03 - 290.82 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ส่วนระหว่างปิดภาคเรียนค่าความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 1,171.37 - 2,261.49 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมตามลำดับ ค่าเฉลี่ยค่าความร้อนเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนดังแสดงในตารางที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานครซึ่งสำรวจโดยสำนักรักษาความสะอาด (ปี 2545) รายงานว่าค่าความร้อน LSCV มีค่า 1,946 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม จะเห็นว่าค่าความร้อนมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตมีค่าความร้อนที่สูงกว่ามูลฝอยกรุงเทพมหานคร ซึ่งค่าความร้อนนี้จะทำให้ค่าความร้อนที่ได้มีค่าน้อยลง อีกทั้งองค์ประกอบทางกายภาพประเภทกระดาษและพลาสติกซึ่งให้ค่าความร้อนสูงเมื่อผ่านกระบวนการเผาไหม้ของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตมีส่วนที่น้อยกว่ามูลฝอยกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 4.13 ค่าความร้อนของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

	เปิดภาคเรียน		ปิดภาคเรียน	
	ค่าเฉลี่ย N = 28	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย N = 32	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
ค่าความร้อน (LSCV) (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	1,467.23	458.02	1,776.94	290.97

4.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนใช้หลักการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (Statistical Package for Social Science) for Mac version 20.0 โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต จำนวน 60 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 48 ตัวอย่าง และส่วนการตรวจสอบสมการ (Validation) 12 ตัวอย่าง โดยลำดับชุดข้อมูลตามลำดับวันที่ทำการวิเคราะห์มูลฝอยตัวอย่างทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (stepwise) ระดับนัยสำคัญทางสถิติในการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนเท่ากับ 0.05 และมีระดับนัยสำคัญทางสถิติในการคัดเลือกตัวแปรอิสระออกจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนเท่ากับ 0.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม SPSS มีดังนี้

4.6.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย (Compositional analysis)

กำหนดตัวแปรสำหรับสมการดังนี้

ตัวแปรตาม	:	Y	คือ ค่าความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)
ตัวแปรอิสระ	:	FW	คือ เศษอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)
		PP	คือ กระดาษ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)
		PL	คือ พลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)
		LR	คือ หนังและยาง (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)
		T	คือ ผ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)
		MC	คือ ความชื้น (ร้อยละ)

ค่าความร้อนที่มาจากการเผาไหม้มูลฝอยนั้นมาจากมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้ ดังนั้นค่าของตัวแปรอิสระที่นำเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงคิดเฉพาะสัดส่วนน้ำหนักมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้เท่านั้น ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

ตัวอย่างที่	LSCV (kcal/kg)	เศษอาหาร* (%)	กระดาษ* (%)	พลาสติก* (%)	หนัง/ยาง* (%)	ผ้า* (%)	ความชื้น* (%)
1	2,140.28	64.72	9.51	25.77	0.00	0.00	57.31
2	1,458.81	72.84	10.85	16.31	0.00	0.00	64.75
3	1,145.77	74.67	4.69	17.51	3.13	0.00	67.41
4	1,787.40	63.20	9.03	27.45	0.00	0.32	59.22
5	979.89	74.78	6.37	17.57	1.28	0.00	69.35
6	1,219.77	74.94	6.73	18.34	0.00	0.00	66.40
7	2,079.30	71.40	5.71	22.89	0.00	0.00	60.28
8	1,490.36	71.38	8.19	19.87	0.00	0.56	62.34

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต (ต่อ)

ตัวอย่างที่	LSCV (kcal/kg)	เศษอาหาร*	กระดาษ*	พลาสติก*	หนัง/ยาง*	ผ้า*	ความชื้น*
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
9	1870.69	65.24	12.53	21.11	0.00	1.12	60.01
10	1,171.37	71.41	9.75	18.84	0.00	0.00	67.26
11	1,928.39	70.94	9.14	19.91	0.00	0.00	59.42
12	1707.53	67.03	8.59	24.38	0.00	0.00	56.77
13	1,477.06	72.86	15.46	11.68	0.00	0.00	62.70
14	1,726.77	71.28	9.48	17.23	2.02	0.00	58.63
15	1,887.97	66.04	9.34	24.62	0.00	0.00	55.72
16	1,272.88	74.49	3.20	22.31	0.00	0.00	67.08
17	1,414.32	66.19	6.70	23.88	3.23	0.00	63.22
18	1,650.52	73.12	7.93	17.77	1.18	0.00	60.58
19	856.81	74.64	9.10	15.14	1.12	0.00	68.09
20	1,893.31	68.16	9.72	21.70	0.00	0.42	60.72
21	1,567.90	68.65	7.31	22.64	0.32	1.07	65.58
22	2,018.64	70.12	11.77	18.12	0.00	0.00	57.09
23	961.75	75.56	7.07	17.37	0.00	0.00	69.42
24	1,410.60	70.60	5.51	23.89	0.00	0.00	65.97
25	831.64	72.02	4.18	21.41	2.39	0.00	70.18
26	1,783.14	63.05	9.02	27.34	0.59	0.00	59.47
27	837.98	75.20	4.92	19.88	0.00	0.00	68.46
28	1,369.33	69.63	8.26	22.11	0.00	0.00	63.21
29	1,239.55	70.44	9.13	20.43	0.00	0.00	67.22
30	809.03	74.51	9.50	15.98	0.00	0.00	71.42
31	1,230.16	75.64	6.94	16.59	0.83	0.00	66.92
32	1,121.81	77.01	8.11	14.88	0.00	0.00	67.28
33	1,945.15	65.51	5.63	28.86	0.00	0.00	58.27
34	2,044.56	68.39	8.46	22.92	0.00	0.23	60.21
35	1,792.18	70.81	11.02	18.17	0.00	0.00	60.25

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต (ต่อ)

ตัวอย่างที่	LSCV (kcal/kg)	เศษอาหาร* (%)	กระดาษ* (%)	พลาสติก* (%)	หนัง/ยาง* (%)	ผ้า* (%)	ความชื้น* (%)
36	2,042.18	69.62	9.79	20.59	0.00	0.00	57.34
37	2,260.25	65.74	8.64	25.62	0.00	0.00	54.43
38	1,811.26	67.57	7.39	24.14	0.90	0.00	59.48
39	1,813.36	71.73	8.09	19.74	0.00	0.44	60.98
40	1,427.63	71.62	13.63	14.75	0.00	0.00	64.42
41	1,186.38	68.73	7.44	23.83	0.00	0.00	66.87
42	2,127.54	66.65	9.31	24.04	0.00	0.00	57.93
43	1,878.55	70.29	7.45	22.26	0.00	0.00	59.44
44	1,979.67	72.06	15.80	12.15	0.00	0.00	59.53
45	1,683.13	69.76	12.17	16.73	1.34	0.00	61.85

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.15 ค่าสถิติพรรณนาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

ลักษณะทางกายภาพ	ตัวแปร	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	จำนวน ข้อมูล
LSCV (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)	Y	809.03 - 2,260.25	1,562.95	407.78	45
เศษอาหาร* (ร้อยละ)	FW	63.05 - 77.01	70.45	3.57	45
กระดาษ* (ร้อยละ)	PP	3.20 - 15.80	8.63	2.66	45
พลาสติก* (ร้อยละ)	PL	11.68 - 28.86	20.42	4.02	45
ยางและหนัง* (ร้อยละ)	LR	0.00 - 3.23	0.41	0.83	45
ผ้า* (ร้อยละ)	T	0.00 - 1.12	0.09	0.26	45
ความชื้น (ร้อยละ)	MC	54.43 - 71.42	62.68	4.43	45

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

ค่าสถิติพรรณนาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ได้แก่ ค่าช่วงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างมูลฝอย จำนวน 45 ตัวอย่าง ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพโดยค่าช่วงของข้อมูลนั้นจะแสดงขอบเขตที่เหมาะสม

ของตัวแปรแต่ละตัวแปรในการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนนี้ไปใช้ในการพยากรณ์เพื่อให้ได้ ผลพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุดโดยค่าความร้อน (LSCV) เฉลี่ยเท่ากับ $1,562.95 \pm 407.78$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม สัดส่วนเศษอาหารเท่ากับร้อยละ 70.45 ± 3.57 สัดส่วนกระดาษเท่ากับร้อยละ 8.63 ± 2.66 สัดส่วนพลาสติกเท่ากับร้อยละ 20.42 ± 4.02 สัดส่วนยางและหนังเท่ากับร้อยละ 0.41 ± 0.83 สัดส่วนผ้าเท่ากับร้อยละ 0.09 ± 0.26 และปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 62.68 ± 4.43

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการสร้างสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นด้วยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05) และกำหนดให้สมการผ่านจุดกำเนิด (0, 0) (origin point) พบว่า ตัวแปรอิสระที่ถูกเลือกเข้าสมการ ได้แก่ พลาสติก (PL) กระดาษ (PP) ความชื้น (MC) และเศษอาหาร (FW) และสามารถเขียนในรูปสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

Modle	Compositional analysis
1	$LSCV = 75.31PL$
2	$LSCV = 47.42PL + 70.33PP$
3	$LSCV = 75.33PL + 104.65PP - 14.12MC$
4	$LSCV = 70.07PL + 68.81PP - 80.61MC + 65.15FW$
5	$LSCV = 67.96PL + 64.01PP - 84.33MC + 69.40FW + 207.73T$

ตัวแบบสมการถดถอยที่ได้จากโปรแกรม SPSS มีทั้งหมด 5 ตัวแบบ แต่การตัดสินใจว่าแบบจำลองใดมีความเหมาะสมสูงสุดจะต้องพิจารณาจากค่าการคัดกรอง ดังแสดงในตารางที่ 4.17 ลำดับการคัดกรองแบบจำลองนั้นเริ่มจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการที่ปรับค่า (Adjusted R^2) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของตัวแปรอิสระ ในการอธิบายความผันแปรของของตัวแปรตาม พบว่าค่า Adjusted R^2 ของตัวแบบสมการถดถอยทั้ง 5 ตัวแบบมีค่าเท่ากับ 0.94 0.97 0.98 0.99 และ 0.99 ตามลำดับ ค่า Adjusted R^2 ยิ่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระสามารถอธิบายหรือแสดงถึงตัวแปรตามได้มาก ดังนั้นจากค่า Adjusted R^2 แสดงให้เห็นว่า model ที่ 4 และ 5 สามารถอธิบายตัวแปรตามได้ดีที่สุด

ลำดับถัดมาคือการทดสอบสมมติฐานสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (B) ของตัวแปรอิสระที่ถูกนำเข้ามาสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นว่ามีค่าเป็นศูนย์หรือไม่ โดยสถิติทดสอบเอฟ (F-test) ดังแสดงในตารางที่ 4.17 โดยพิจารณาจากค่านัยสำคัญทางสถิติ (significance) ของ F-test หากมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แสดงว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม พบว่า ระดับนัยสำคัญทางสถิติของ F-test (Sig.) ของตัวแบบสมการถดถอยทั้ง 5 ตัวแบบ มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่า มีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีความสัมพันธ์ กับตัวแปรตามในรูปแบบเชิงเส้น

ตารางที่ 4.17 ค่าการคัดกรองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

Model		Adjusted R Square	F-test		t-test		VIF	B
			F	Sig.	t	Sig.		
1	PL	0.94	713.697	0.000	26.715	0.000	1.000	75.307
2	PL	0.97	638.280	0.000	9.011	0.000	6.069	47.419
	PP				5.799	0.000		
3	PL	0.98	600.762	0.000	9.502	0.000	19.251	75.327
	PP				8.019	0.000	9.823	104.651
	MC				-4.254	0.000	30.795	-14.121
4	PL	0.99	1415.149	0.000	15.424	0.000	19.545	70.072
	PP				8.250	0.000	12.402	68.808
	MC				-11.039	0.000	460.693	-80.605
	MC				9.426	0.000	520.325	65.150
5	PL	0.99	1273.220	0.000	15.551	0.000	20.324	67.964
	PP				7.898	0.000	13.161	64.014
	MC				-11.957	0.000	482.953	-84.334
	FW				10.289	0.000	556.673	69.395
	T				2.463	0.018	1.259	207.730

ลำดับถัดมาคือการทดสอบสมมติฐานสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (B) ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่ถูกนำเข้าสู่สมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นว่ามีค่าเป็นศูนย์หรือไม่ โดยสถิติทดสอบที่ (t-test) ดังแสดงในตารางที่ 4.17 โดยพิจารณาจากค่านัยสำคัญทางสถิติ (significance) ของ t-test หากมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แสดงว่ามีตัวแปรอิสระนั้นมีสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม พบว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติของ t-test ของตัวแปรอิสระ ได้แก่ พลาสติก กระดาษ ความชื้น และเศษอาหารมีค่าเท่ากับ 0.00 ส่วนผ้ามีระดับนัยสำคัญทางสถิติของ t-test เท่ากับ 0.02 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่า มีตัวแปรอิสระข้างต้นมีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามในรูปแบบเชิงเส้น

ลำดับสุดท้ายคือการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันเองว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยการพิจารณาจากค่า Variance inflation factor: VIF ดังแสดงในตารางที่ 4.17 หากค่า VIF มีค่ามาก แสดงว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระตัวอื่นมากซึ่งจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่อการพยากรณ์ค่าตัวแปรตามได้ ค่า VIF ที่ยอมรับได้ในการสร้างสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นนั้นไม่ควรมีค่ามากกว่า 10 พบว่าค่า VIF ของตัวแปรอิสระทุกตัวในตัวแบบที่ 1 และ 2 เท่านั้นที่มีค่าไม่เกิน 10

จากลำดับการคัดกรองดังกล่าวในเชิงสถิติ พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ (Compositional analysis) ที่เหมาะสมที่สุดคือ model 2 เนื่องจากมีค่า Adjusted R² สูงกว่าตัวแบบที่ 1 และมีค่า VIF ไม่เกิน 10 สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{model 2} \quad \text{LSCV} = 47.47\text{PL} + 70.23\text{PP}$$

เมื่อ

- LSCV คือ ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)
- PL คือ สัดส่วนพลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)
- PP คือ สัดส่วนกระดาษ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

แต่ในความเป็นจริงเมื่อพิจารณาถึงตัวแปรอิสระแล้วนั้น model 1 ถือว่ามีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานมากกว่า เนื่องจากคิดจากตัวแปรอิสระในรูปแบบสัดส่วนพลาสติก (PL) เพียงตัวแปรเดียว ในขณะที่ model 2 ตัวแปรอิสระในรูปแบบสัดส่วนกระดาษ (PP) ร่วมด้วย ซึ่งกระดาษนั้นมีโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนของความชื้นได้ง่ายกว่าพลาสติก เป็นเหตุให้ค่าความร้อนที่พยากรณ์ได้มีความคลาดเคลื่อนไป

	model 1	LSCV = 75.31PL
เมื่อ	LSCV	คือ ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)
	PL	คือ สัดส่วนพลาสติก (ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก)

4.6.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย

(Proximate analysis)

กำหนดตัวแปรสำหรับสมการดังนี้

ตัวแปรตาม	:	Y	คือ ค่าความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)
ตัวแปรอิสระ	:	MC	คือ ความชื้น (ร้อยละ)
		C	คือ สารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก)
		A	คือ เถ้า (ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก)

ข้อมูลค่าความร้อนและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

ตัวอย่างที่	LSCV (kcal/kg)	ความชื้น (%)	สารที่เผาไหม้ได้ (%)	เถ้า (%)
1	2140.28	57.31	38.12	4.57
2	1,458.81	64.75	29.92	5.33
3	1,145.77	67.41	28.72	3.87
4	1,787.40	59.22	34.35	6.43
5	979.89	69.35	27.63	3.02
6	1,219.77	66.40	28.77	4.83
7	2,079.30	60.28	35.17	4.55
8	1,490.36	62.34	30.95	6.71
9	1870.69	60.01	32.75	7.24
10	1,171.37	67.26	28.42	4.32
11	1,928.39	59.42	33.79	6.79

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของ
มูลฝอยอาคารหอพักนิสิต (ต่อ)

ตัวอย่างที่	LSCV (kcal/kg)	ความชื้น (%)	สารที่เผาไหม้ได้ (%)	เถ้า (%)
12	1707.53	56.77	37.95	5.28
13	1,477.06	62.70	34.21	3.09
14	1,726.77	58.63	36.94	4.43
15	1,887.97	55.72	39.04	5.24
16	1,272.88	67.08	28.27	4.65
17	1,414.32	63.22	29.75	7.03
18	1,650.52	60.58	34.51	4.91
19	856.81	68.09	28.34	3.57
20	1,893.31	60.72	34.22	5.06
21	1,567.90	65.58	30.04	4.38
22	2,018.64	57.09	38.29	4.62
23	961.75	69.42	24.85	5.73
24	1,410.60	65.97	27.74	6.29
25	831.64	70.18	23.37	6.45
26	1,783.14	59.47	36.83	3.70
27	837.98	68.46	26.88	4.66
28	1,369.33	63.21	31.42	5.37
29	1,239.55	67.22	29.24	3.54
30	809.03	71.42	23.97	4.61
31	1,230.16	66.92	26.00	7.08
32	1,121.81	67.28	26.29	6.43
33	1,945.15	58.27	37.95	3.78
34	2,044.56	60.21	34.58	5.21
35	1,792.18	60.25	35.47	4.28

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต (ต่อ)

ตัวอย่างที่	LSCV (kcal/kg)	ความชื้น (%)	สารที่เผาไหม้ได้ (%)	เถ้า (%)
36	2,042.18	57.34	39.00	3.66
37	2,260.25	54.43	40.15	5.42
38	1,811.26	59.48	34.81	5.71
39	1,813.36	60.98	32.70	6.32
40	1,427.63	64.42	28.74	6.84
41	1,186.38	66.87	25.93	7.20
42	2,127.54	57.93	37.50	4.57
43	1,878.55	59.44	36.69	3.87
44	1,979.67	59.53	33.65	6.82
45	1,683.13	61.85	33.79	4.36

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.19 ค่าสถิติพรรณนาลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

ลักษณะทางเคมี	ตัวแปร	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	จำนวน ข้อมูล
LSCV (kcal/kg)	Y	809.03 - 2,260.25	1,562.95	407.78	45
ความชื้น (%)	MC	54.43 - 71.42	62.68	4.43	45
สารที่เผาไหม้ได้*(%)	C	23.37 - 40.15	32.17	4.61	45
เถ้า*(%)	A	3.02 - 7.24	5.15	1.20	45

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

ค่าสถิติพรรณนาลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต ดังแสดงในตารางที่ 4.19 ได้แก่ ค่าช่วงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 45 ตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับลักษณะทางเคมี โดยค่าช่วงของข้อมูลนั้นจะแสดงขอบเขตที่เหมาะสมของตัวแปรแต่ละตัวแปรในการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนนี้ไปใช้ในการพยากรณ์เพื่อให้ได้ผลพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด โดยค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ $1,562.95 \pm 407.78$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 62.68 ± 4.43 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เท่ากับร้อยละ 32.17 ± 4.61 และปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 5.15 ± 1.20

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมในการสร้างสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นด้วยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (step wise) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05) และกำหนดให้สมการผ่านจุดกำเนิด (0,0) (origin point) พบว่า ตัวแปรอิสระที่ถูกเลือกเข้าสมการ ได้แก่ สารที่เผาไหม้ได้ (C) ความชื้น (MC) และเถ้า (A) โดยมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย

Modle	Proximate analysis
1	LSCV = 49.09C
2	LSCV = 70.49C - 11.34MC
3	LSCV = 69.89C - 16.92MC + 72.76A

ตัวแบบสมการถดถอยที่ได้จากโปรแกรม SPSS มีทั้งหมด 3 ตัวแบบ แต่การตัดสินใจว่าแบบจำลองใดมีความเหมาะสมสูงสุดจะต้องพิจารณาจากค่าการคัดกรอง ดังแสดงในตารางที่ 4.21 ลำดับการคัดกรองแบบจำลองนั้นเริ่มจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการที่ปรับค่า (Adjusted R^2) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของตัวแปรอิสระ ในการอธิบายความผันแปรของของตัวแปรตาม พบว่าค่า Adjusted R^2 ของตัวแบบสมการถดถอยทั้ง 3 ตัวแบบมีค่าเท่ากับ 0.98 0.99 และ 0.99 ตามลำดับ ค่า Adjusted R^2 ยิ่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระสามารถอธิบายหรือแสดงถึงตัวแปรตามได้มาก ดังนั้นจากค่า Adjusted R^2 แสดงให้เห็นว่า model ที่ 2 และ 3 สามารถอธิบายตัวแปรตามได้ดีที่สุด

ลำดับถัดมาคือการทดสอบสมมติฐานสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (B) ของตัวแปรอิสระที่ถูกนำเข้ามาสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นว่ามีค่าเป็นศูนย์หรือไม่ โดยสถิติทดสอบเอฟ (F-test) ดังแสดงในตารางที่ 4.21 โดยพิจารณาจากค่านัยสำคัญทางสถิติของ F-test หากมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แสดงว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม พบว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติของ F-test (Sig.) ของตัวแบบสมการถดถอยทั้ง 3 ตัวแบบ มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่า มีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีความสัมพันธ์ กับตัวแปรตาม ในรูปเชิงเส้น

ตารางที่ 4.21 ค่าการคัดกรองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนลักษณะทางเคมีของมูลฝอย

Model		Adjusted R Square	F-test		t-test		VIF	B	
			F	Sig.	t	Sig.			
1	C	0.98	2298.920	0.000	47.947	0.000	1.000	49.092	
2	C	0.99	2070.136	0.000	19.215	0.000	22.918	70.485	
	MC				-5.963	0.000		-11.338	
3	C	0.99	2008.614	0.000	22.924	0.000	22.962	69.889	
	MC				-8.437	0.000		36.993	-16.922
	A				4.514	0.000		16.642	16.121

ลำดับถัดมาคือ การทดสอบสมมติฐานสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (B) ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่ถูกนำเข้าสู่สมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นว่ามีค่าเป็นศูนย์หรือไม่ โดยสถิติทดสอบที (t-test) ดังแสดงในตารางที่ 4.21 โดยพิจารณาจากค่านัยสำคัญทางสถิติของ t-test หากมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แสดงว่ามีตัวแปรอิสระนั้น มีสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม พบว่า ระดับนัยสำคัญทางสถิติของ t-test ของตัวแปรอิสระ ได้แก่ สารที่เผาไหม้ได้ ความชื้น และเถ้ามีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่า มีตัวแปรอิสระข้างต้น มีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ในรูปเชิงเส้น

ลำดับสุดท้ายคือการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันเองว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยการพิจารณาจากค่า VIF ดังแสดงในตารางที่ 4.21 หากค่า VIF มีค่ามาก แสดงว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นมีความสัมพันธ์ กับตัวแปรอิสระตัวอื่นมากซึ่งจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่อการพยากรณ์ค่าตัวแปรตามได้ ค่า VIF ที่ยอมรับได้ในการสร้างสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นนั้นไม่ควรมีค่ามากกว่า 10 พบว่า ค่า VIF ของตัวแปรอิสระทุกตัวในตัวแบบที่ 1 เท่านั้นที่มีค่าไม่เกิน 10

จากลำดับการคัดกรองดังกล่าวในเชิงสถิติ พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมี (Proximate analysis) ที่เหมาะสมที่สุดคือ model 1 เนื่องจาก มีค่า VIF ไม่เกิน 10 สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

model 1 LSCV = 49.09C

เมื่อ LSCV คือ ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

C คือ สารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก)

จากการศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนจะเห็นว่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่จะได้รับเนื่องจากปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนเป็นก๊าซเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ (Shah, 2000)

4.6.3 การตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย (Compositional analysis)

นำสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพมาตรวจสอบกับตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 12 ตัวอย่าง และเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของรเรศ ศรีสถิตย์ และจุฑามาศ บุญทวีสุข กำหนดให้

model 1: แบบจำลองจากงานวิจัย

$$\text{LSCV} = 47.47\text{PL} + 70.23\text{PP}$$

model 2: แบบจำลองของรเรศ ศรีสถิตย์ และจุฑามาศ บุญทวีสุข

$$\text{LSCV} = 3153.14 + 16.55\text{PL} + 12.69\text{FW} - 42.87\text{MC}$$

ผลการตรวจสอบแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.20 โดยค่า SSE (Sum Square of Error) คือค่าความแปรปรวนของตัวแปร (LSCV) ตามเนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ แต่การเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนนั้นมักจะมีการปรับด้วยระดับความเป็นอิสระ (degree of freedom) เพื่อให้ค่านี้อยู่ในระดับความเป็นอิสระเดียวกันและสามารถเปรียบเทียบกันได้ เรียกว่า MSE (Mean Square of Error) คือค่าแปรปรวนที่อธิบายไม่ได้เฉลี่ย หากค่า MSE สูง แสดงว่ามีความแปรปรวนสูง เกิดการคลาดเคลื่อนมาก ในขณะที่ค่า MSE ต่ำ แสดงว่ามีความแปรปรวนต่ำ เกิดความคลาดเคลื่อนน้อย

ตารางที่ 4.22 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน model1 และ model2

					(1)	(2)	(3)	[(1)-(2)] ²	[(1)-(3)] ²
ลำดับ	เศษอาหาร ร (ร้อยละ)	กระดาษ (ร้อยละ)	พลาสติก (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	LSCV (kcal/kg)	Model 1* (kcal/kg)	Model 2** (kcal/kg)	SSE (kcal/kg)	SSE (kcal/kg)
1	69.96	8.10	21.95	61.68	1,729.27	1,610.44	1,759.88	14,120.91	936.88
2	68.40	7.39	24.21	55.37	2,208.57	1,668.53	2,048.07	291,650.82	25,761.47
3	69.24	9.56	21.21	64.92	1,232.00	1,677.80	1,599.59	198,741.53	135,125.12
4	68.14	9.70	20.45	60.32	1,865.65	1,652.13	1,770.46	45,589.92	9,060.93
5	66.65	13.47	19.88	62.97	1,471.03	1,889.84	1,628.39	175,401.84	24,763.97
6	66.74	7.37	25.89	55.84	1,879.88	1,746.83	2,034.62	17,700.81	23,945.99
7	66.66	9.51	23.82	58.30	1,867.58	1,799.04	1,894.05	4,697.08	700.84
8	71.64	6.63	21.73	61.66	1,731.17	1,497.05	1,778.50	54,812.62	2,240.33
9	69.99	10.11	19.90	59.42	1,931.12	1,654.47	1,823.36	76,533.47	11,611.79
10	70.26	8.11	21.63	56.99	1,718.96	1,596.11	1,959.63	15,091.80	57,922.42
11	68.40	7.93	23.68	59.61	1,831.91	1,680.67	1,857.46	22,873.19	652.55
12	74.86	8.76	16.38	65.83	1,316.98	1,393.00	1,552.03	5,779.00	55,249.00
เฉลี่ย	69.24	8.89	21.73	60.25	1,732.01	1,655.49	1,808.84	-	-
รวม								922,992.99	347,971.30
ค่าความแปรปรวน (MSE)								83,908.45	31,633.75
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)								289.67	177.86

*model 1: LSCV = 47.47PL + 70.23PP

**model 2: LSCV = 3153.14 + 16.55PL + 12.69FW - 42.87MC

จากตารางที่ 4.22 จะเห็นว่าค่า MSE ของ model 1 มีค่าสูงกว่าค่า MSE ของ model 2 คือ 83,908.45 และ 31,633.75 ตามลำดับ แสดงว่า model 2 มีความแม่นยำในการพยากรณ์ค่าความร้อนดีกว่า model 1

4.6.4 การตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย (Proximate analysis)

นำสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีมาตรวจสอบกับตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 12 ตัวอย่างและเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของธเรศ ศรีสถิตย์ และจุฑามาศ บุญทวีสุข กำหนดให้

model 3: แบบจำลองจากงานวิจัย

$$LSCV = 49.21C$$

model 4: แบบจำลองของชเรศ ศรีสถิตย์ และจุฑามาศ บุญทวีสุข

$$LSCV = 50.40C - 422.83$$

ผลการตรวจสอบแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.21 โดยค่า SSE (Sum Square of Error) คือค่าความแปรปรวนของตัวแปร (LSCV) ตามเนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ แต่การเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนนั้นมักจะมีการปรับด้วยระดับความเป็นอิสระ (degree of freedom) เพื่อให้ค่าขึ้นอยู่กับระดับความเป็นอิสระเดียวกันและสามารถเปรียบเทียบกันได้ เรียกว่า MSE (Mean Square of Error) คือค่าแปรปรวนที่อธิบายไม่ได้เฉลี่ย หากค่า MSE สูง แสดงว่ามีความแปรปรวนสูง เกิดการคลาดเคลื่อนมาก ในขณะที่ค่า MSE ต่ำ แสดงว่ามีความแปรปรวนต่ำ เกิดความคลาดเคลื่อนน้อย

ตารางที่ 4.23 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน model3 และ model4

		(1)	(2)	(3)	$[(1)-(2)]^2$	$[(1)-(3)]^2$
ลำดับ	สารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละ)	LSCV (kcal/kg)	Model 3* (kcal/kg)	Model 4** (kcal/kg)	SSE (kcal/kg)	SSE (kcal/kg)
1	32.52	1,729.27	1,600.31	1,216.18	16,630.89	263,263.40
2	38.63	2,208.57	1,900.98	1,524.12	94,612.24	468,473.63
3	31.38	1,232.00	1,544.21	1,158.72	97,474.96	5,369.67
4	35.48	1,865.65	1,745.97	1,365.36	14,322.31	250,284.75
5	33.16	1,471.03	1,631.80	1,248.43	25,849.22	49,547.50
6	37.13	1,879.88	1,827.17	1,448.52	2,778.28	186,066.85
7	36.59	1,867.58	1,800.59	1,421.31	4,486.69	199,157.51
8	33.47	1,731.17	1,647.06	1,264.06	7,074.15	218,190.51
9	36.59	1,931.12	1,800.59	1,421.31	17,036.19	259,906.92
10	36.30	1,718.96	1,786.32	1,406.69	4,538.22	97,510.47
11	35.52	1,831.91	1,747.94	1,367.38	7,051.10	215,789.98
12	28.74	1,316.98	1,414.30	1,025.67	9,470.29	84,863.85
เฉลี่ย	34.63	1,732.01	1,703.94	1,322.31	-	-
รวม					301,324.54	2,298,425.01
ค่าความแปรปรวน (MSE)					27,393.14	208,947.73
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)					165.51	457.11

*model 3: LSCV = 49.21C

**model 4: LSCV = 50.40C - 422.83

จากตารางที่ 4.23 จะเห็นว่าค่า MSE ของ model 3 มีค่าสูงกว่าค่า MSE ของ model 4 คือ 27,393.14 และ 208,947.73 ตามลำดับ แสดงว่า model 3 มีความแม่นยำในการพยากรณ์ค่าความร้อนดีกว่า model 4

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีที่ได้จากงานวิจัย พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีมีความแม่นยำกว่า เมื่อพิจารณาจากค่า MSE เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพนั้นจะมีผลของความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้องกับค่าของตัวแปรอิสระด้วย แต่ในกรณีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีนั้นความชื้นได้ถูกแยกออกจากค่าของตัวแปรอิสระแล้ว

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 องค์ประกอบและปริมาณของมูลฝอยหอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มูลฝอยหอพักนิสิตจุฬาแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ 2 ประเภท คือมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต และมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิต พบว่าองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต ประกอบด้วยมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้มีค่าร้อยละ 90.81 และ 87.82 และมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้มีค่าร้อยละ 9.19 และ 12.18 ในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนตามลำดับ มูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้มีส่วนที่มากกว่าเนื่องจากมีการคัดแยกมูลฝอยที่มีค่าบางส่วนก่อนนำมาทิ้ง ยังจตุรรวบรวมมูลฝอยนี้ มูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ส่วนใหญ่จัดเป็นมูลฝอยมีค่าสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ โดยการขายหรือส่งคืนผู้ผลิตได้ ทำให้มูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้มีปริมาณที่มากกว่า ประกอบด้วยเศษอาหารซึ่งมีส่วนสูงสุด รองลงมาคือพลาสติก และกระดาษตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 64.73 18.81 และ 6.73 ในช่วงเปิดภาคเรียน และ 60.89 18.27 และ 8.45 ในช่วงปิดภาคเรียนตามลำดับ ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตประกอบด้วยค่าความชื้น สารที่เผาไหม้ได้ และเถ้าคิดเป็นร้อยละ 64.56 30.41 และ 5.03 ในช่วงเปิดภาคเรียนและ 60.83 34.41 และ 5.23 ในช่วงปิดภาคเรียนตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องกับองค์ประกอบทางกายภาพที่มีสัดส่วนเศษอาหารในปริมาณสูงทำให้ค่าความชื้นของมูลฝอยมีค่าสูงด้วย ปริมาณมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตที่เกิดขึ้นในแต่ละวันคิดเป็น 502.86 และ 425.31 กิโลกรัมในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนตามลำดับ

องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตประกอบด้วยเศษอาหารคิดเป็นร้อยละ 100.00 เช่นเดียวกันทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน เพราะมีการแยกเฉพาะเศษอาหารที่เหลือทิ้งจากการรับประทานอาหารมารวบรวมไว้เท่านั้น ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาประกอบด้วยค่าความชื้น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งระเหย และเถ้าคิดเป็นร้อยละ 76.16 23.84 86.68 และ 13.02 ในช่วงเปิดภาคเรียนและ 77.31 22.69 86.90 และ 13.10 ในช่วงปิดภาคเรียนตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเศษอาหารนั้น ประกอบด้วยความชื้นเป็นหลัก และของแข็ง

ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของของแข็งระเหย ปริมาณมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตที่เกิดขึ้นในแต่ละวันคิดเป็น 141.61 และ 92.36 กิโลกรัมในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบและปริมาณของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนด้วยสถิติทดสอบที ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า องค์ประกอบประเภทเศษอาหาร กระดาษ แก้ว และมูลฝอยประเภทอื่นๆ รวมถึงปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่พลาสติก หนังสือ และ โลหะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อาจมีสาเหตุเนื่องจากกิจกรรมและจำนวนนิสิตที่เปลี่ยนแปลงไป

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนด้วยสถิติทดสอบที ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ลักษณะทางเคมีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากชนิดของอาหารที่ขายในโรงอาหารไม่ได้เปลี่ยนไป

5.1.2 ศักยภาพการผลิตพลังงานของมูลฝอยหอพักนิสิตจุฬาฯ

มูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ เมื่อนำไปผ่านกระบวนการเผาไหม้จะให้ค่าความร้อน LSCV เท่ากับ 1,467.23 และ 1,776.94 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนตามลำดับ นั่นคือมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตในช่วงเปิดภาคเรียนให้ค่าความร้อนน้อยกว่ามูลฝอยในช่วงปิดภาคเรียน เมื่อพิจารณาสัดส่วนองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักจะเห็นว่าเศษอาหารเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ค่าความร้อนของมูลฝอยแตกต่างกัน เพราะมูลฝอยประเภทเศษอาหารมีองค์ประกอบหลักคือความชื้น และความชื้นที่มากส่งผลให้ค่าความร้อน LSCV ที่ได้มีค่าต่ำ เมื่อพิจารณาค่าความร้อนร่วมกับปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน จะได้ว่ามูลฝอยอาคารหอพักนิสิตมีศักยภาพในการผลิตพลังงานในรูปค่าความร้อน LSCV จากกระบวนการเผาไหม้ได้ทั้งสิ้น 737,811.28 และ 755,750.35 กิโลแคลอรีต่อวัน ในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนตามลำดับ

มูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ภายใต้ระบบการหมักแบบไร้อากาศ เป็นเวลา 30 วัน สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมได้ 774.71 มิลลิลิตร ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตคิดเป็น 0.39 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตคิดเป็น 0.22 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนคิดเป็นร้อยละ 56.50 เทียบเท่ากับค่าความร้อน LSCV 1,732 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย ดังนั้นมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตมีศักยภาพในการผลิตพลังงานใน

รูปค่าความร้อน LSCV จากก๊าซชีวภาพ ภายใต้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศได้ทั้งสิ้น 50,697 และ 31,546 กิโลแคลอรีต่อวัน ในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนตามลำดับ

5.1.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนโดยการวิเคราะห์แบบความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย (Compositional analysis) คือ

$$\text{LSCV} = 47.47\text{PL} + 70.23\text{PP} \quad (\text{Adjusted } R^2 = 0.97)$$

เมื่อ LSCV คือ ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

PL คือ สัดส่วนพลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

PP คือ สัดส่วนกระดาษ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย (Proximate analysis) คือ

$$\text{LSCV} = 49.09\text{C} \quad (\text{Adjusted } R^2 = 0.98)$$

เมื่อ LSCV คือ ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

C คือ สารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีที่ได้จากงานวิจัย พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีมีความแม่นยำกว่า เมื่อพิจารณาจากค่า MSE เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพนั้นจะมีผลของความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้องกับค่าของตัวแปรอิสระด้วย แต่ในกรณีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีนั้นความชื้นได้ถูกแยกออกจากค่าของตัวแปรอิสระแล้ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมตลอด 12 เดือน เพื่อศึกษาความแปรปรวนของมูลฝอยหอพักนิสิตจุฬาฯ ที่อาจมีผลจากปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ

5.2.2 ควรมีการคัดแยกมูลฝอยประเภทเศษอาหารออกจากมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตแล้วนำไปศึกษาหาศักยภาพการผลิตพลังงานผ่านกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพเนื่องจากประกอบด้วยความชื้นสูงและเป็นสารอินทรีย์สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้

5.2.3 ควรมีการคัดแยกมูลฝอยประเภทพลาสติกและกระดาษออกจากมูลฝอยอาคารหอพัก
นิติต เนื่องจากเป็นมูลฝอยที่เผาไหม้แล้วให้ค่าความร้อนสูง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กองทุนสนับสนุนการวิจัย, สำนัก. 2550. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการสนับสนุนการวิจัยเชิงนโยบายเพื่อสนับสนุนการพัฒนาและ การใช้พลังงานหมุนเวียนและการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในประเทศไทย. 454 หน้า. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.thaienergy.org/files/report%201.pdf>. [2553, กรกฎาคม 15]
- การจัดการกากของเสียและสารอันตราย, สำนัก. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2552. คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย (Composting). กรุงเทพมหานคร. กัลยา วาณิชย์บัญชา. การใช้ SPSS for Window ในการวิเคราะห์ข้อมูล (พิมพ์ครั้งที่ 6). ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- กิตติมา ไกรพิรพรรณ. 2552. ก๊าซชีวภาพ พลังงานทางเลือก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.ops.go.th/finance/index.php?option=com_content&view=article&id=116:2009-06-24-01-37-01&catid=59:2009-06-22-04-32-15&Itemid=33. [2553, ธันวาคม 15]
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2543. สถานการณ์มลพิษในรอบทศวรรษ (2532-2542). กรุงเทพมหานคร.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2544. เกณฑ์มาตรฐาน และแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน. กรุงเทพมหานคร.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2552. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2550. กรุงเทพมหานคร.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2551. กรุงเทพมหานคร.
- ชวลิต แซ่ลิ่ม. 2543. แนวทางการใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพที่ได้จากหลุมฝังกลบขยะในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 20-21.
- เชาวน์ นกอยู่. 2554. ทิศทางใหม่ของการจัดการขยะมูลฝอย: ของเสียสู่พลังงาน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.pcd.go.th. [2554, เมษายน 10]
- ตรี วาทกิจ. 2553. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา3050-0301 เคมีอาหาร (Food Chemistry). สาขาอุตสาหกรรมเกษตร วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีนครพนม มหาวิทยาลัยนครพนม.

- ตรี วาทกิจ. 2553. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง น้ำ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://e-book.ram.edu/e-book/indexstart.htm>. [2553, ธันวาคม 15]
- ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. 2550. ขยะมูลฝอยชุมชน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.act.ac.th/work_project/act_enviroment/waste.html. [2554, กุมภาพันธ์ 10]
- ชนา นาดไทรภพ, ผศ.ดร. วสันต์ จอมภักดี และ รศ.ดร. สัมพันธ์ ไชยเทพ. 2551. การประเมินสมรรถนะเตาเผาขยะและการจัดการขยะชุมชน. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22. 15-17 ตุลาคม 2551 ณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.
- ชเรศ ศรีสติดิษฐ์. 2547. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการจัดการมูลฝอย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชเรศ ศรีสติดิษฐ์. 2553. วิศวกรรมการจัดการมูลฝอยชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชเรศ ศรีสติดิษฐ์ และ จุลทามาศ บุญทวีสุข. ศักยภาพในการแปรรูปเป็นพลังงานความร้อนของมูลฝอยชุมชนในเขตกรุงเทพมหานคร. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 5. หน้า 55-62. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และ ว.ส.ท., 2542.
- พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2548. การศึกษาและสาธิตการผลิตพลังงานไฟฟ้า/ความร้อนจากขยะชุมชน. กรุงเทพมหานคร
- ภาพเทอร์โมกราฟที่ได้จากการทดลองบอมบ์แคลอรีมิเตอร์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://ishigirl.tripod.com/pchem/calorimetry.html>. [2556, เมษายน 16]
- ภาพแผนผังที่ตั้งของอาคารและโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.rcu.sa.chula.ac.th>. [2556, เมษายน 16]
- ภาพอาคารหอพักนิสิตชาย-หญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.rcu.sa.chula.ac.th>. [2556, เมษายน 16]
- มหาดไทย, กระทรวง. 2535. พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ. 2535. กรุงเทพมหานคร.
- มัลลิกา บุญนาค, กัลยา ครองแก้ว, วัชรภรณ์ สุริยาภวัฒน์ และนพรัตน์ รุ่งอุทัยศิริ. 2540. สถิติ (พิมพ์ครั้งที่ 3). ภาควิชาสถิติ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ยุทธศาสตร์และประเมินผล, สำนัก. 2552. แผนบริหารราชการกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2552-2555. กรุงเทพมหานคร.

รักษาความสะอาด, สำนัก. 2545. สำนักรักษาความสะอาด 2545. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์
สัมพันธ์พาณิชย์.

ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2542. รายงานหลัก
กรุงเทพมหานคร: การศึกษาความเหมาะสมก่อนการลงทุนในการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะ
ชุมชนเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา และ
กรุงเทพมหานคร.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. โครงการการจัดทำระบบฐานข้อมูล
พลังงานเพื่อการวิเคราะห์และวางแผนยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ. [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: http://www.thaienergydata.in.th/econtent/upload_pic/1190273176.pdf. [2554,
มีนาคม 15]

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2552. โครงการศึกษาการเพิ่มศักยภาพการ
ผลิตก๊าซชีวภาพของน้ำเสียจากฟาร์มสุกรในรูปแบบการหมักย่อยร่วมโดยถังปฏิกรณ์ UASB
และ CSTR เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://mix-
waste.erdj.or.th/pdf/mix-waste.pdf](http://mix-waste.erdj.or.th/pdf/mix-waste.pdf) [2553, มีนาคม 8]

สวัสดิ์ โนนสูง. ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. 2543. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
<http://satit.pn.psu.ac.th/satit2/vc/s30202/content/nat05.html>. [2553, ธันวาคม 15]

สาธารณสุข, กระทรวง. 2535. พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535. กรุงเทพมหานคร.

สุภารักษ์ สิริโสภณา. 2549. ขยะชุมชน สถานที่ฝังกลบ และการฟื้นฟู (Municipal Solid Waste,
Sanitary Landfill and Remediation). ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สุเมธ ชวเดช. 2540. ระบบยูเอสบี-ตัวกลางกรองแบบอนุกรมสูงและสองขั้นตอนสำหรับบำบัด
น้ำกากส่าและผลิตก๊าซชีวภาพ. ทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อดิศักดิ์ ทองไข่มุก และคณะ. 2541. การจัดการมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัท เอ็นไวร์
คอนเซ็ป จำกัด: นนทบุรี

อดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์. 2545. การจัดการมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล.

ภาษาอังกฤษ

- Banks, C. 2007. Renewable energy from crops and agrowastes. School of Civil Engineering & the Environment, University of Southampton, UK.
- Buswell, A.M., and Mueller, H.F. 1952. Mechanisms of methane fermentations. Industrial and Engineering Chemistry. 44: 550.
- Channiwala S.A., Parikh P.P. 2002. A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. Fuel. 81(8): 1051-1063.
- Cho, K.W., Park, H.S., Kim, K.H., Lee, Y.K., and Lee, K.-H. 1995. Estimation of the heating value of oily mill sludges from steel plant. Fuel. 74 (12): 1918-1921.
- Cordero, T., Marquez, F., Rodriguez-Mirasol, J., Rodriguez, J. 2001. Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. Fuel. 80(11): 1567-1571.
- Demirbas, A. 1997. Calculation of higher heating values of biomass fuels. Fuel. 76(5): 431-434.
- Kathiravale, S., Yunus, M.N.M., Sopian, K., Samsuddin, A.H., and Rahman, R.A. 2003. Modeling the heating value of municipal solid waste. Fuel. 82(9): 1119-1125.
- Kayhanian, M. 1995. Biodegradability of the organic fraction of municipal solid waste in a high-solids anaerobic digester. Waste Management and Research. 13: 123-136.
- Kayhanian, M., Tchobanoglous, G., and Brown, R.C. 2007. Energy Conservation and Renewable Energy. Kentucky, Taylor & Francis Group/CRC Press.
- Lesteur, M., Bellon-Maurel, V., Gonzalez, C., Latrille, E., Roger, J.M., Junqua, G., Steyer, J.P. 2010. Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: A review. Process Biochemistry. 45: 431-440.
- Liu, J.I., R.D. and Holsen, T.M. 1996. Modeling the energy content of municipal solid waste using multiple regression analysis. Air&Waste Management Association. 46: 650-656.
- Moody, L., Burns, R., Wu-Haan, W., and Spajis, R. 2009. Use of biochemical methane potential (BMP) assays for predicting and enhancing anaerobic digester performance. 44th Croatian & 4th International Symposium on Agriculture : 930-934.

- Nizami, A.S., and Murphy, J.D. 2010. What type of digester configurations should be employed to produce biomethane from grass silage. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14: 1558-1568.
- Rittmann, B.E., and McCarty, P.L. 2000. Environmental biotechnology: Principles and applications. 1st ed. New York, McGraw-Hill.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, A.S. 1993. Integrated Solid Waste Management : Engineering Principles and Management Issues. Mc Graw – hill, USA.
- Verma, S. 2002. Anaerobic digestion of biodegradable organic in municipal solid wastes. Department of Earth & Environmental Engineering, Columbia University, USA.
- Vieitez, E.R., and Ghosh, S. 1998. Biogasification of solid wastes by two-phase anaerobic fermentation. Biomass and Bioenergy. 16: 299-309.
- Weiland, P. 2000. Anaerobic waste digestion in Germany-Status and recent developments. Biodegradation. 11: 415-421.
- Weiland, P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology. 85: 849-860.
- Wilson, D.L. 1972. Prediction of heat of combustion of solid wastes from ultimate analysis. Environmental Science and Technology. 63(13): 1119-1121.
- Zanzi, R., Sjostrom, K., Bjornbom, E. 2002. Rapid pyrolysis of agricultural residues at high temperature. Biomass and Bioenergy. 23(5): 357-366.
- Zhang, R., El-Mashad, H., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., Gamble, P. 2007. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. Bioresource Technology. 98: 929-935.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล

ก-1 วิธีสุ่มตัวอย่างและการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

วิธีการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยทำโดยการนำมูลฝอย 1-2 ลูกบาศก์เมตร มาเทกองรวมกันบนแผ่นปูนกันน้ำ คลุกมูลฝอยให้เข้ากัน แล้วแบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering method) แล้วเลือกสองกองที่อยู่ฝั่งตรงข้าม ส่วนที่เหลือทิ้งไป นำส่วนที่เลือกคลุกรวมกัน แล้วทำการแบ่ง 4 ส่วนอีกครั้ง ทำซ้ำเช่นเดิมจนได้มูลฝอยประมาณ 50 ลิตร แล้วจึงทำการคัดแยกเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ โดยทำการชั่งน้ำหนักองค์ประกอบมูลฝอยแต่ละประเภทและบันทึก ดังตารางที่ ก-1.1 แล้วจึงนำมาเทียบเป็นสัดส่วนขององค์ประกอบของมูลฝอยทั้งหมด ซึ่งแต่ละองค์ประกอบที่ได้มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ ก-1.1 ตารางบันทึกผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	วันที่ทำการสำรวจ						เฉลี่ย
	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
1. เศษอาหาร							
2. กระดาษ							
3. พลาสติก							
4. ขางและหนัง							
5. ผ้า							
6. ไม้และใบไม้							
7. แก้ว							
8. โลหะ							
9. อื่นๆ							

(หน่วย : ร้อยละโดยน้ำหนัก)

ในการสำรวจองค์ประกอบมูลฝอย ณ สถานที่กำจัด เพื่อนำผลมาใช้ในการออกแบบนิคมทำการสำรวจองค์ประกอบตลอดสัปดาห์ต่อเนื่อง ทั้งนี้หากสำรวจไม่ครบทั้ง 7 วัน ให้ทำการสำรวจครอบคลุมทั้งวันทำการและวันหยุดสุดสัปดาห์ และในแต่ละวันควรทำการสำรวจไม่น้อยกว่า 2 ครั้ง กล่าวคืออาจทำตอนเช้า 2 ตัวอย่าง แล้วเฉลี่ยเป็น 1 ครั้ง และตอนบ่าย 2 ตัวอย่าง แล้วเฉลี่ยเป็นครั้งที่ 2 หลังจากทำการสำรวจในแต่ละวันแล้วนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบตลอดสัปดาห์ หากมีปริมาณมูลฝอยจำนวนมากตั้งแต่ 50 ตันต่อวัน ควรทำการสุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 3

ตัวอย่างต่อครั้ง สำหรับการสำรวจองค์ประกอบมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิดจะแตกต่างกันไปจากสถานที่กำจัดเพียงจำนวนครั้งที่สุ่มตัวอย่างต่อวัน เพราะปริมาณมูลฝอยที่สุ่มตัวอย่างไม่มากเหมือนสถานที่กำจัด การเลือกเวลาในการสุ่มคือเวลาที่มีการนำมูลฝอยมาทิ้งให้กับเทศบาลนำไปกำจัด ดังนั้น การสุ่มตัวอย่างวันละครั้งก็เพียงพอ ส่วนจำนวนตัวอย่างควรพิจารณาจากปริมาณมูลฝอยโดยทั่วไปควรเป็น 1 ตัวอย่างต่อครั้ง และต้องทำการสำรวจให้ครบวันในรอบสัปดาห์

วัสดุและอุปกรณ์

1. ผ้ายางปูรองพื้น
2. ถังมือยาง
3. ผ้าปิดจมูก หรือ หน้ากากกันฝุ่น
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก
5. ที่ลียบ
6. ถังพลาสติก หรือ ถังพลาสติก

การคำนวณ

$$C_i = W_i \times 100 / W$$

เมื่อ C_i คือ ร้อยละขององค์ประกอบของมูลฝอยแต่ละประเภท
 W_i คือ น้ำหนักมูลฝอยแต่ละประเภท (กิโลกรัม)
 W คือ น้ำหนักตัวอย่างมูลฝอยทั้งหมด (กิโลกรัม)
 $i = 1,2,3,\dots,n$ คือ องค์ประกอบแต่ละประเภท (ตารางที่ ก-1.1)

ก-2 วิธีวิเคราะห์ความหนาแน่นของมูลฝอย

ความหนาแน่นปกติ (Bulk density) หมายถึง ค่าความหนาแน่นของมูลฝอยในภาชนะเก็บรวบรวมมูลฝอยที่พบตามถังรองรับมูลฝอยที่เป็นไปตามธรรมชาติของการรวบรวมมูลฝอย

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ภาชนะตวงความจุ 50-100 ลิตร
3. อุปกรณ์ในการคลุกเคล้ามูลฝอย ได้แก่ พลั่ว จอบ
4. ถังมือ ผ้าปิดปาก

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักภาชนะที่ใช้ตวงมูลฝอยเปล่า (W_1)

2. นำตัวอย่างมูลฝอยที่ผ่านการ Quartering จนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจนเหลือประมาณ 500 ลิตร ใส่ภาชนะดวงมูลฝอย
3. ยกภาชนะดวงมูลฝอยสูงจากพื้นประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วปัดย่อยกระแทกกับพื้น 3 ครั้ง หากระดับมูลฝอยในภาชนะดวงลดลงให้เติมมูลฝอยจนได้ระดับโดยไม่มีการอัดเพิ่ม
4. ชั่งน้ำหนักภาชนะดวงที่มีมูลฝอย (W_2)
5. ทำซ้ำข้อ 1-4 แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความหนาแน่น

การคำนวณ

$$D = (W_1 - W_2) / V$$

เมื่อ	D	คือ ความหนาแน่นปกติ (Bulk density) (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	W_1	คือ น้ำหนักมูลฝอยสดรวมน้ำหนักภาชนะดวงมูลฝอย (กิโลกรัม)
	W_2	คือ น้ำหนักภาชนะดวงมูลฝอย (กิโลกรัม)
	V	คือ ปริมาตรภาชนะดวงมูลฝอย (ลูกบาศก์เมตร)

ก-3 วิธีวิเคราะห์ความชื้นและของแข็งทั้งหมดของมูลฝอย

ความชื้น (moisture content) เป็นปริมาณความชื้นที่หายไป หลังจากการอบตัวอย่างของแข็งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ตู้อบ (Hot Air Oven)
3. ถาดอลูมิเนียม

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักถาดอลูมิเนียมเปล่า
2. นำตัวอย่างมูลฝอยที่ผ่านการ Quartering แล้วใส่ถาดอลูมิเนียมนำไปชั่งน้ำหนัก
3. นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 75-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 วัน จนกระทั่งมูลฝอยแห้งสนิท หรือมูลฝอยมีน้ำหนักคงที่
4. ชั่งน้ำหนักถาดและมูลฝอยที่อบแห้งแล้ว

การคำนวณ

$$MC = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100$$

เมื่อ	MC	คือ ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
	W_1	คือ น้ำหนักมูลฝอยก่อนอบ (กิโลกรัม)
	W_2	คือ น้ำหนักมูลฝอยหลังอบ (กิโลกรัม)

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids) หมายถึงปริมาณของแข็งที่เป็นส่วนประกอบของมูลฝอยที่คงเหลืออยู่เมื่อไล่น้ำออกไปจนหมดแล้ว มีหน่วยเป็น ร้อยละ โดยน้ำหนัก

การคำนวณ

$$TS = 100 - MC$$

เมื่อ	TS	คือ ของแข็งทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
	MC	คือ ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

ก-4 วิธีวิเคราะห์ของแข็งระเหยและเถ้าของมูลฝอย

ปริมาณของแข็งระเหย (Volatile solids) หมายถึง องค์ประกอบของมูลฝอยที่เป็นของแข็งระเหยสามารถติดไฟได้ โดยปริมาณของแข็งระเหยเป็นส่วนหนึ่งของปริมาณของแข็งทั้งหมดของเนื้อมูลฝอยภายหลังจากที่ไล่น้ำออกไปจนหมดแล้ว ดังนั้นของแข็งระเหยจากมูลฝอย จึงหมายถึง สารที่สามารถระเหยออกจากสถานะของแข็ง เช่น คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ซัลเฟอร์ (S) เป็นต้น แล้วสามารถทำการสันดาปกับออกซิเจนเกิดเป็นพลังงานความร้อนในสถานะที่เป็นก๊าซ มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ตู้อบ
3. ตู้ดูดความชื้น (Desiccators)
4. เครื่องบดมูลฝอย (Grinder)
5. เตาเผา (Furnace)
6. ถ้วยกระเบื้องทนความร้อน (Porcelain Crucible)
7. ตะแกรงร่อนผ่าน ขนาด 2 มิลลิเมตร

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างมูลฝอยที่ผ่านการ Quartering และอบแห้งแล้ว นำมาบดให้ละเอียดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร
2. นำตัวอย่างมูลฝอยเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นใน Desiccators
3. ชั่งน้ำหนักด้วย Porcelain Crucible เปล่า
4. นำตัวอย่างมูลฝอยจากข้อ 2 ประมาณ 3-6 กรัม ใส่ในถ้วย Porcelain Crucible นำไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปเผาใน Muffle furnace ที่อุณหภูมิ 815 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น แล้วนำมาใส่ใน Desiccators เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักด้วย Porcelain Crucible และมูลฝอย

การคำนวณ

$$VS = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100$$

เมื่อ VS คือ ของแข็งระเหย หรือสารที่เผาไหม้ได้ (เปอร์เซ็นต์)

W_1 คือ น้ำหนักมูลฝอยก่อนเผา (กิโลกรัม)

W_2 คือ น้ำหนักมูลฝอยหลังเผา (กิโลกรัม)

ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก (wet basis) : $VS = TS - A$

ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) : $VS = 100 - A$

ปริมาณเถ้า (Ash content) หมายถึง องค์ประกอบของมูลฝอยที่ไม่สามารถติดไฟได้ เป็นส่วนหนึ่งของปริมาณของแข็งทั้งหมดของเนื้อมูลฝอยภายหลังที่ไอน้ำออกไปหมดแล้วและเหลือจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ มีหน่วยเป็น ร้อยละโดยน้ำหนัก

การคำนวณ

ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก (wet basis) : $A = TS - VS$

ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis) : $A = 100 - VS$

เมื่อ A คือ ปริมาณเถ้า (เปอร์เซ็นต์)

TS คือ ปริมาณของแข็งรวม (เปอร์เซ็นต์)

VS คือ ปริมาณของแข็งระเหย (เปอร์เซ็นต์)

ก-5 วิธีวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย

คาร์บอน (Carbon) หมายถึง ส่วนประกอบของมูลฝอยที่เป็นธาตุคาร์บอน มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก

การคำนวณ

$$C = VS / 1.8$$

เมื่อ C คือ คาร์บอน (เปอร์เซ็นต์)
VS คือ ของแข็งระเหย (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)

ไฮโดรเจน (Hydrogen) หมายถึง ส่วนประกอบของมูลฝอยที่เป็นธาตุไฮโดรเจน มีหน่วยเป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก

การคำนวณ

$$H = VS / 15$$

เมื่อ H คือ ไฮโดรเจน (เปอร์เซ็นต์)
VS คือ ของแข็งระเหย (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง)

ก-6 วิธีวิเคราะห์ปริมาณความร้อนของมูลฝอย

ปริมาณความร้อน (Calorific value) หมายถึง ค่าพลังงานความร้อนที่มีอยู่ในตัวมูลฝอยเอง และเมื่อเกิดการเผาไหม้จะให้ค่าพลังงานความร้อนออกมา หาได้โดยการใช้เครื่อง Bomb meter ได้ค่า Dry Solid Calorific Value (DSCV) จากนั้นหา Higher Solid Calorific Value (HSCV) และ Lower Solid Calorific Value (LSCV) ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า LSCV เป็นค่าที่ถูกนำไปใช้ในการออกแบบก่อสร้างเตาเผามูลฝอยต่อไป

การคำนวณ

$$HSCV = DSCV \times TS / 100$$

$$LSCV = HSCV - [6 \times (9H + MC)]$$

เมื่อ DSCV คือ Dry Solid Calorific Value
HSCV คือ Higher Solid Calorific Value
LSCV คือ Lower Solid Calorific Value
TS คือ ของแข็งทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)
MC คือ ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

H คือ ไฮโดรเจน (เปอร์เซ็นต์)

ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

ข-1 ผลการศึกษาองค์ประกอบและปริมาณของมูลฝอย

ตารางที่ ข-1.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม

ลักษณะทางกายภาพ	5/9/2554		7/9/2554		9/9/2554		10/9/2554	
องค์ประกอบทางกายภาพ (โดยน้ำหนักเปียก)	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	26.64	59.21	30.71	63.98	35.41	66.82	33.94	59.54
กระดาษ	3.92	8.70	4.57	9.53	2.23	4.20	4.85	8.51
พลาสติก	10.61	23.57	6.88	14.33	8.31	15.67	14.74	25.86
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48	2.80	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.30
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	2.39	5.32	5.22	10.87	3.65	6.89	2.30	4.03
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	2.50	0.00	0.00
อื่นๆ	1.44	3.20	0.62	1.29	0.59	1.12	1.00	1.76
รวม	45.00	100.00	48.00	100.00	53.00	100.00	57.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	225.00		249.00		268.00		197.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	560.00		620.00		560.00		390.00	

ตารางที่ ข-1.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	12/9/2554		14/9/2554		16/9/2554		17/9/2554	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	33.65	70.11	37.69	67.30	32.55	60.28	33.91	63.98
กระดาษ	2.39	4.97	3.38	6.04	2.60	4.82	3.89	7.34
พลาสติก	8.43	17.57	9.22	16.47	10.43	19.32	9.44	17.81
หนังและยาง	0.58	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.50
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	2.45	5.10	5.63	10.05	5.15	9.54	2.23	4.21
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	3.70	0.00	0.00
อื่นๆ	0.50	1.05	0.08	0.14	1.26	2.34	3.26	6.16
รวม	48.00	100.00	56.00	100.00	54.00	100.00	53.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	238.00		250.00		198.00		224.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	450.00		520.00		550.00		610.00	

ตารางที่ ข-1.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	2/1/2555		4/1/2555		6/1/2555		7/1/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	35.12	70.23	28.91	61.51	32.87	64.45	33.42	61.88
กระดาษ	1.51	3.02	2.93	6.23	2.87	5.63	3.62	6.71
พลาสติก	10.52	21.03	10.43	22.19	9.90	19.42	8.12	15.04
หนังและยาง	0.00	0.00	1.41	3.00	0.00	0.00	0.54	1.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	2.51	5.02	2.16	4.60	5.00	9.81	2.28	4.22
โลหะ	0.00	0.00	0.99	2.10	0.00	0.00	0.70	1.30
อื่นๆ	0.35	0.70	0.17	0.37	0.35	0.69	5.32	9.85
รวม	50.00	100.00	47.00	100.00	51.00	100.00	54.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	217.00		153.00		215.00		158.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	430.00		570.00		590.00		380.00	

ตารางที่ ข-1.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	9/1/2555		11/1/2555		13/1/2555		14/1/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	32.20	70.01	30.97	64.52	34.50	63.89	30.71	59.06
กระดาษ	3.93	8.54	4.42	9.20	3.67	6.80	5.15	9.91
พลาสติก	6.53	14.20	9.86	20.54	11.38	21.07	7.94	15.26
หนังและยาง	0.48	1.05	0.00	0.00	0.16	0.30	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.19	0.40	0.54	1.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	1.98	4.30	2.48	5.16	0.00	0.00	3.85	7.41
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อื่นๆ	0.87	1.90	0.09	0.18	3.75	6.94	4.35	8.36
รวม	46.00	100.00	48.00	100.00	54.00	100.00	52.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	221.00		186.00		178.00		183.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	420.00		470.00		390.00		610.00	

ตารางที่ ข-1.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	16/1/2555		18/1/2555		20/1/2555		21/1/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	31.66	67.37	33.07	62.40	38.08	69.24	30.61	60.02
กระดาษ	2.96	6.30	2.58	4.87	2.21	4.02	4.38	8.59
พลาสติก	7.28	15.49	11.19	21.12	11.32	20.58	13.28	26.03
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27	2.30	0.29	0.56
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	3.23	6.88	3.94	7.43	0.00	0.00	0.00	0.00
โลหะ	1.74	3.70	0.00	0.00	1.21	2.20	0.00	0.00
อื่นๆ	0.12	0.26	2.22	4.18	0.91	1.66	2.45	4.80
รวม	47.00	100.00	53.00	100.00	55.00	100.00	51.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	204.00		193.00		165.00		177.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	570.00		430.00		480.00		420.00	

ตารางที่ ข-1.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	23/1/2555		25/1/2555		27/1/2555		28/1/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	30.71	63.98	39.76	69.76	32.13	64.25	31.99	65.28
กระดาษ	3.09	6.44	2.60	4.56	3.81	7.62	4.15	8.46
พลาสติก	8.28	17.25	10.51	18.44	10.20	20.40	9.28	18.93
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	2.50	5.20	2.33	4.09	0.00	0.00	1.96	4.01
โลหะ	1.73	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อื่นๆ	1.69	3.53	1.80	3.15	3.86	7.73	1.63	3.32
รวม	48.00	100.00	57.00	100.00	50.00	100.00	49.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	159.00		202.00		165.00		183.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	410.00		530.00		480.00		530.00	

ตารางที่ ข-1.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	30/1/2555		1/2/2555		3/2/2555		4/2/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	33.69	73.24	31.99	63.98	34.02	65.43	33.45	60.81
กระดาษ	4.30	9.34	2.94	5.87	3.58	6.89	2.88	5.23
พลาสติก	7.23	15.71	7.02	14.03	6.57	12.64	14.73	26.79
หนังและยาง	0.00	0.00	0.35	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	0.00	0.00	3.15	6.30	7.54	14.50	0.00	0.00
โลหะ	0.55	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.71	3.10
อื่นๆ	0.23	0.51	4.56	9.12	0.28	0.54	2.24	4.07
รวม	46.00	100.00	50.00	100.00	52.00	100.00	55.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	147.00		202.00		159.00		182.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	590.00		520.00		440.00		560.00	

ตารางที่ ข-1.2 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม

ลักษณะทางกายภาพ	10/10/2554		12/10/2554		14/10/2554		15/10/2554	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	29.94	59.87	36.80	65.72	31.88	61.31	27.78	57.87
กระดาษ	5.75	11.50	5.02	8.97	4.11	7.90	3.56	7.42
พลาสติก	9.69	19.37	9.71	17.34	8.95	17.21	10.10	21.05
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.52	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	3.22	6.43	2.63	4.70	2.70	5.20	3.50	7.30
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	1.90	0.00	0.00
อื่นๆ	0.90	1.80	1.83	3.27	3.37	6.48	3.05	6.36
รวม	50.00	100.00	56.00	100.00	52.00	100.00	48.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	165.00		234.00		217.00		158.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	420.00		510.00		460.00		390.00	

ตารางที่ ข-1.2 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	17/10/2554		19/10/2554		21/10/2554		22/10/2554	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	29.87	62.22	28.97	64.37	29.98	59.95	34.11	58.81
กระดาษ	3.26	6.80	6.15	13.66	3.99	7.97	4.83	8.32
พลาสติก	9.39	19.56	4.64	10.32	7.25	14.49	12.71	21.92
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	1.70	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	2.59	5.40	3.65	8.10	4.27	8.53	3.40	5.86
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	2.10	0.00	0.00
อื่นๆ	2.89	6.02	1.60	3.55	2.63	5.26	2.95	5.09
รวม	48.00	100.00	45.00	100.00	50.00	100.00	58.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	176.00		155.00		192.00		186.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	350.00		410.00		440.00		370.00	

ตารางที่ ข-1.2 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	12/3/2555		14/3/2555		16/3/2555		17/3/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	32.34	59.88	33.57	61.04	34.52	61.65	26.78	56.98
กระดาษ	4.00	7.41	5.23	9.50	4.86	8.67	3.52	7.49
พลาสติก	10.84	20.07	8.61	15.66	10.21	18.23	10.44	22.21
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.11	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	4.68	8.66	4.22	7.68	3.31	5.91	3.68	7.82
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อื่นๆ	2.04	3.78	3.37	6.12	3.10	5.54	2.59	5.50
รวม	54.00	100.00	55.00	100.00	56.00	100.00	47.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	207.00		192.00		143.00		176.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	380.00		450.00		480.00		370.00	

ตารางที่ ข-1.2 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	19/3/2555		21/3/2555		23/3/2555		24/3/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	26.93	59.85	31.16	64.92	31.48	62.95	32.61	62.72
กระดาษ	2.95	6.55	3.51	7.32	5.99	11.98	3.53	6.79
พลาสติก	9.62	21.38	8.58	17.87	6.48	12.96	11.31	21.75
หนังและยาง	0.36	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.19	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	1.85	4.10	3.34	6.96	3.99	7.98	2.54	4.88
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อื่นๆ	3.29	7.32	1.21	2.53	2.06	4.13	2.01	3.86
รวม	45.00	100.00	48.00	100.00	50.00	100.00	52.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	188.00		182.00		207.00		219.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	420.00		470.00		390.00		500.00	

ตารางที่ ข-1.2 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	26/3/2555		28/3/2555		30/3/2555		31/3/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	32.44	58.98	34.52	61.64	29.93	62.35	28.72	62.43
กระดาษ	4.53	8.24	3.66	6.53	6.56	13.67	5.01	10.89
พลาสติก	11.70	21.27	10.93	19.52	5.04	10.51	6.89	14.97
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	1.20
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	3.48	6.33	3.03	5.41	4.31	8.97	2.50	5.44
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	1.30	0.00	0.00
อื่นๆ	2.85	5.18	3.86	6.90	1.54	3.20	2.33	5.07
รวม	55.00	100.00	56.00	100.00	48.00	100.00	46.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	179.00		164.00		195.00		153.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	460.00		360.00		410.00		440.00	

ตารางที่ ข-1.2 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	2/4/2555		4/4/2555		6/4/2555		7/4/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	32.98	59.96	29.61	59.21	28.33	61.58	28.77	59.93
กระดาษ	3.82	6.94	3.20	6.40	3.91	8.50	4.09	8.53
พลาสติก	10.35	18.81	10.48	20.96	8.68	18.86	8.64	17.99
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	1.50
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	3.73	6.79	4.31	8.61	2.13	4.62	2.55	5.31
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อื่นๆ	4.12	7.50	2.41	4.82	2.96	6.44	3.24	6.74
รวม	55.00	100.00	50.00	100.00	46.00	100.00	48.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	199.00		138.00		149.00		207.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	370.00		450.00		380.00		430.00	

ตารางที่ ข-1.2 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	9/4/2555		11/4/2555		13/4/2555		14/4/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	28.16	59.91	30.64	56.74	34.26	59.07	33.73	63.64
กระดาษ	5.69	12.11	3.39	6.27	4.89	8.43	3.12	5.89
พลาสติก	8.40	17.87	11.89	22.01	12.24	21.11	10.23	19.30
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	2.99	6.37	4.33	8.02	3.51	6.05	2.73	5.15
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อื่นๆ	1.76	3.74	3.76	6.96	3.10	5.34	3.19	6.02
รวม	47.00	100.00	54.00	100.00	58.00	100.00	53.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	217.00		164.00		142.00		176.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	470.00		480.00		390.00		410.00	

ตารางที่ ข-1.2 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	16/4/2555		18/4/2555		20/4/2555		21/4/2555	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	33.66	60.11	31.87	61.29	31.68	58.67	29.47	62.70
กระดาษ	4.86	8.68	3.68	7.07	3.67	6.80	3.45	7.34
พลาสติก	9.57	17.09	9.81	18.87	10.97	20.31	6.45	13.72
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	4.16	7.42	4.23	8.13	3.56	6.59	3.70	7.88
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	1.90	0.00	0.00
อื่นๆ	3.75	6.70	2.41	4.64	3.09	5.73	3.93	8.36
รวม	56.00	100.00	52.00	100.00	54.00	100.00	47.00	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	194.00		149.00		170.00		190.00	
ปริมาณ (กก./วัน)	460.00		390.00		420.00		480.00	

ตารางที่ ข-1.3 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม

ลักษณะทางกายภาพ	5/9/2554		7/9/2554		9/9/2554		10/9/2554	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	145.60	100.00	148.20	100.00	144.40	100.00	137.30	145.60
กระดาษ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พลาสติก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และไปไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อื่นๆ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวม	145.60	100.00	148.20	100.00	144.40	100.00	137.30	145.60
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	393.51		400.54		380.00		392.29	
ปริมาณ (กก./วัน)	145.60		148.20		144.40		137.30	

ตารางที่ ข-1.3 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	12/9/2554		14/9/2554		16/9/2554		17/9/2554	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	142.00	100.00	144.50	100.00	134.70	100.00	136.20	100.00
กระดาษ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พลาสติก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และไปไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อื่นๆ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวม	142.00	100.00	144.50	100.00	134.70	100.00	136.20	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	394.44		401.39		354.47		378.33	
ปริมาณ (กก./วัน)	142.00		144.50		134.70		136.20	

ตารางที่ ข-1.4 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม

ลักษณะทางกายภาพ	10/10/2554		12/10/2554		14/10/2554		15/10/2554	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	88.30	100.00	98.40	100.00	95.60	100.00	89.20	100.00
กระดาษ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พลาสติก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อื่นๆ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวม	88.30	100.00	98.40	100.00	95.60	100.00	89.20	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	401.36		378.46		382.40		371.67	
ปริมาณ (กก./วัน)	88.30		98.40		95.60		89.20	

ตารางที่ ข-1.4 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม (ต่อ)

ลักษณะทางกายภาพ	17/10/2554		19/10/2554		21/10/2554		22/10/2554	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	92.10	100.00	93.40	100.00	95.20	100.00	86.70	100.00
กระดาษ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พลาสติก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
หนังและยาง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ผ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ไม้และใบไม้	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
แก้ว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
โลหะ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
อื่นๆ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวม	92.10	100.00	93.40	100.00	95.20	100.00	86.70	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	383.75		373.60		396.67		376.96	
ปริมาณ (กก./วัน)	92.10		93.40		95.20		86.70	

ตารางที่ ข-1.5 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม

	วันที่	ความชื้น (ร้อยละ)	ของแข็ง (ร้อยละ)	ของแข็งระเหย (ร้อยละ)			เถ้า (ร้อยละ)		
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	5/9/2554	57.31	42.69	38.12	39.76	38.94	4.57	2.93	3.75
2	7/9/2554	64.75	35.25	29.92	31.22	30.57	5.33	4.03	4.68
3	9/9/2554	67.41	32.59	28.72	27.95	28.34	3.87	4.64	4.26
4	10/9/2554	59.22	40.78	34.35	32.87	33.61	6.43	7.91	7.17
5	12/9/2554	69.35	30.65	27.63	28.24	27.94	3.02	2.41	2.72
6	14/9/2554	66.40	33.60	28.77	27.75	28.26	4.83	5.85	5.34
7	16/9/2554	60.28	39.72	35.17	34.99	35.08	4.55	4.73	4.64
8	17/9/2554	62.34	37.66	30.95	29.39	30.17	6.71	8.27	7.49
9	2/1/2555	67.08	32.92	28.27	27.45	27.86	4.65	5.47	5.06
10	4/1/2555	63.22	36.78	29.75	29.56	29.66	7.03	7.22	7.13
11	6/1/2555	65.14	34.86	29.60	30.32	29.96	5.26	4.54	4.90
12	7/1/2555	60.58	39.42	34.51	35.67	35.09	4.91	3.75	4.33
13	9/1/2555	68.09	31.91	28.34	29.01	28.68	3.57	2.90	3.24
14	11/1/2555	60.72	39.28	34.22	34.76	34.49	5.06	4.52	4.79
15	13/1/2555	65.58	34.42	30.04	29.79	29.92	4.38	4.63	4.51
16	14/1/2555	57.09	42.91	38.29	37.82	38.06	4.62	5.09	4.86
17	16/1/2555	69.42	30.58	24.85	25.21	25.03	5.73	5.37	5.55
18	18/1/2555	65.97	34.03	27.74	28.55	28.15	6.29	5.48	5.89
19	20/1/2555	70.18	29.82	23.57	24.22	23.90	6.25	5.60	5.93
20	21/1/2555	59.47	40.53	36.83	35.77	36.30	3.70	4.76	4.23

ตารางที่ ข-1.5 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม (ต่อ)

	วันที่	ความชื้น (ร้อยละ)	ของแข็ง (ร้อยละ)	ของแข็งระเหย (ร้อยละ)			เถ้า (ร้อยละ)		
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
21	23/1/2555	65.22	34.78	30.26	30.01	30.14	4.52	4.77	4.65
22	25/1/2555	68.46	31.54	26.88	26.25	26.57	4.66	5.29	4.98
23	27/1/2555	63.21	36.79	31.42	32.03	31.73	5.37	4.76	5.07
24	28/1/2555	67.22	32.78	29.24	28.72	28.98	3.54	4.06	3.80
25	30/1/2555	71.42	28.58	23.97	24.15	24.06	4.61	4.43	4.52
26	1/2/2555	66.92	33.08	26.00	25.92	25.96	7.08	7.16	7.12
27	3/2/2555	67.28	32.72	26.29	25.98	26.14	6.43	6.74	6.59
28	4/2/2555	58.27	41.73	37.95	38.45	38.20	3.78	3.28	3.53

ตารางที่ ข-1.6 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม

	วันที่	ความชื้น (ร้อยละ)	ของแข็ง (ร้อยละ)	ของแข็งระเหย (ร้อยละ)			เถ้า (ร้อยละ)		
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	10/10/2554	60.01	39.99	32.75	32.56	32.66	7.24	7.43	7.34
2	12/10/2554	67.26	32.74	28.42	27.84	28.13	4.32	4.90	4.61
3	14/10/2554	59.42	40.58	33.79	32.68	33.24	6.79	7.90	7.35
4	15/10/2554	56.77	43.23	37.95	38.23	38.09	5.28	5.00	5.14
5	17/10/2554	65.31	34.69	29.48	30.23	29.86	5.21	4.46	4.84
6	19/10/2554	62.70	37.30	34.21	33.76	33.99	3.09	3.54	3.32
7	21/10/2554	58.63	41.37	36.94	37.02	36.98	4.43	4.35	4.39
8	22/10/2554	55.72	44.28	39.04	40.23	39.64	5.24	4.05	4.65
9	12/3/2555	60.21	39.79	34.58	35.21	34.90	5.21	4.58	4.90
10	14/3/2555	60.25	39.75	35.47	35.89	35.68	4.28	3.86	4.07
11	16/3/2555	57.34	42.66	39.00	39.44	39.22	3.66	3.22	3.44
12	17/3/2555	54.43	45.57	40.15	41.11	40.63	5.42	4.46	4.94
13	19/3/2555	59.48	40.52	34.81	35.26	35.04	5.71	5.26	5.49
14	21/3/2555	60.98	39.02	32.70	33.42	33.06	6.32	5.60	5.96
15	23/3/2555	64.42	35.58	28.74	29.54	29.14	6.84	6.04	6.44
16	24/3/2555	66.87	33.13	25.93	26.32	26.13	7.20	6.81	7.01
17	26/3/2555	57.93	42.07	37.50	36.97	37.24	4.57	5.10	4.84
18	28/3/2555	59.44	40.56	36.69	37.61	37.15	3.87	2.95	3.41
19	30/3/2555	59.53	40.47	33.65	34.23	33.94	6.82	6.24	6.53
20	31/3/2555	61.85	38.15	33.79	34.37	34.08	4.36	3.78	4.07

ตารางที่ ข-1.6 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิติศึกษาฯ ช่วงปิดเทอม (ต่อ)

	วันที่	ความชื้น (ร้อยละ)	ของแข็ง (ร้อยละ)	ของแข็งระเหย (ร้อยละ)			เถ้า (ร้อยละ)		
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
21	2/4/2555	61.68	38.32	32.52	31.91	32.22	5.80	6.41	6.11
22	4/4/2555	55.37	44.63	38.63	38.12	38.38	6.00	6.51	6.26
23	6/4/2555	64.92	35.08	31.38	31.89	31.64	3.70	3.19	3.45
24	7/4/2555	60.32	39.68	35.48	34.87	35.18	4.20	4.81	4.51
25	9/4/2555	62.97	37.03	33.16	32.59	32.88	3.87	4.44	4.16
26	11/4/2555	55.84	44.16	37.13	36.64	36.89	7.03	7.52	7.28
27	13/4/2555	58.30	41.70	36.59	36.89	36.74	5.11	4.81	4.96
28	14/4/2555	61.66	38.34	33.47	34.03	33.75	4.87	4.31	4.59
29	16/4/2555	59.42	40.58	36.59	37.31	36.95	3.99	3.27	3.63
30	18/4/2555	56.99	43.01	36.30	35.85	36.08	6.71	7.16	6.94
31	20/4/2555	59.61	40.39	35.52	34.65	35.09	4.87	5.74	5.31
32	21/4/2555	65.83	34.17	28.74	29.22	28.98	5.43	4.95	5.19

ตารางที่ ข-1.7 ความชื้นและของแข็งของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม

	วันที่	ความชื้น (ร้อยละ)				ของแข็ง (ร้อยละ)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	5/9/2554	78.16	78.23	78.82	78.40	21.84	21.77	21.18	21.60
2	7/9/2554	76.80	76.92	76.83	76.85	23.20	23.08	23.18	23.15
3	9/9/2554	76.06	74.30	73.58	74.65	23.94	25.70	26.42	25.35
4	10/9/2554	78.73	63.27	80.92	74.31	21.27	36.73	19.08	25.69
5	12/9/2554	75.16	75.56	75.15	75.29	24.84	24.44	24.85	24.71
6	14/9/2554	74.37	74.29	73.58	74.08	25.63	25.71	26.42	25.92
7	16/9/2554	76.79	76.91	76.82	76.84	23.21	23.09	23.18	23.16
8	17/9/2554	75.73	75.93	75.92	75.86	24.27	24.07	24.08	24.14

ตารางที่ ข-1.8 ของแข็งระเหยและเถ้าของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม

	วันที่	ของแข็งระเหย (ร้อยละ)			เถ้า (ร้อยละ)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	5/9/2554	89.43	89.26	89.35	10.57	10.74	10.65
2	7/9/2554	91.11	89.01	91.06	8.89	10.99	8.94
3	9/9/2554	92.75	93.07	92.91	7.25	6.93	7.09
4	10/9/2554	87.28	87.45	87.37	12.72	12.55	12.63
5	12/9/2554	82.71	83.12	82.92	17.29	16.88	17.08
6	14/9/2554	80.58	80.35	80.47	19.42	19.65	19.53
7	16/9/2554	88.92	89.34	89.13	11.08	10.66	10.87
8	17/9/2554	82.52	82.74	82.63	17.48	17.26	17.37

ตารางที่ ข-1.9 ความชื้นและของแข็งของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม

	วันที่	ความชื้น (ร้อยละ)				ของแข็ง (ร้อยละ)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
1	10/10/2554	79.00	78.67	79.19	78.95	21.00	21.33	20.81	21.05
2	12/10/2554	78.40	78.74	78.79	78.64	21.60	21.27	21.21	21.36
3	14/10/2554	77.56	77.73	76.57	77.29	22.45	22.27	23.43	22.72
4	15/10/2554	80.07	80.01	79.68	79.92	19.93	19.99	20.32	20.08
5	17/10/2554	73.81	76.31	74.93	75.02	26.19	23.69	25.07	24.98
6	19/10/2554	76.15	75.61	75.18	75.65	23.85	24.39	24.82	24.35
7	21/10/2554	73.64	74.03	74.64	74.10	26.36	25.97	25.36	25.90
8	22/10/2554	81.43	81.77	83.99	82.40	18.57	18.23	16.01	17.60

ตารางที่ ข-1.10 ของแข็งระเหยและเถ้าของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงปิดเทอม

	วันที่	ของแข็งระเหย (ร้อยละ)			เถ้า (ร้อยละ)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
1	10/10/2554	90.32	90.52	90.42	9.68	9.48	9.58
2	12/10/2554	83.56	83.81	83.69	16.44	16.19	16.31
3	14/10/2554	86.90	87.14	87.02	13.10	12.86	12.98
4	15/10/2554	88.63	88.77	88.70	11.37	11.23	11.30
5	17/10/2554	85.84	85.61	85.73	14.16	14.39	14.27
6	19/10/2554	91.06	91.45	91.26	8.94	8.55	8.74
7	21/10/2554	83.87	84.28	84.08	16.13	15.72	15.92
8	22/10/2554	84.43	84.11	84.27	15.57	15.89	15.73

ข-2 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตค่าความร้อนของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ
ตารางที่ ข-2.1 ปริมาณความร้อนของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิดเทอม

	วันที่	LSCV
1	5/9/2554	2140.28
2	7/9/2554	1458.81
3	9/9/2554	1145.77
4	10/9/2554	1787.40
5	12/9/2554	979.89
6	14/9/2554	1219.77
7	16/9/2554	2079.30
8	17/9/2554	1490.36
9	2/1/2555	1262.84
10	4/1/2555	1414.32
11	6/1/2555	2275.64
12	7/1/2555	1650.52
13	9/1/2555	856.81
14	11/1/2555	1893.31
15	13/1/2555	1567.90
16	14/1/2555	2018.64
17	16/1/2555	961.75
18	18/1/2555	1410.60
19	20/1/2555	831.64
20	21/1/2555	1783.14
21	23/1/2555	2290.82
22	25/1/2555	837.98
23	27/1/2555	1369.33
24	28/1/2555	1239.55
25	30/1/2555	809.03
26	1/2/2555	1230.16
27	3/2/2555	1121.81
28	4/2/2555	1945.15

ตารางที่ ข-2.2 ปริมาณความร้อนของมูลฝอยอาคารหอพักนิตยภัตฯ ช่วงปิดเทอม

	วันที่	LSCV
1	10/10/2554	1870.69
2	12/10/2554	1171.37
3	14/10/2554	1928.39
4	15/10/2554	1707.53
5	17/10/2554	2261.49
6	19/10/2554	1477.06
7	21/10/2554	1726.77
8	22/10/2554	1887.97
9	12/3/2555	2044.56
10	14/3/2555	1792.18
11	16/3/2555	2042.18
12	17/3/2555	2260.25
13	19/3/2555	1811.26
14	21/3/2555	1813.36
15	23/3/2555	1427.63
16	24/3/2555	1186.38
17	26/3/2555	2127.54
18	28/3/2555	1878.55
19	30/3/2555	1979.67
20	31/3/2555	1683.13
21	2/4/2555	1729.27
22	4/4/2555	2208.57
23	6/4/2555	1232.00
24	7/4/2555	1865.65
25	9/4/2555	1471.03
26	11/4/2555	1879.88
27	13/4/2555	1867.58

ตารางที่ ข-2.2 ปริมาณความร้อนของมูลฝอยอาคารหอพักนิตยภัตฯ ช่วงปิดเทอม (ต่อ)

	วันที่	LSCV
28	14/4/2555	1731.17
29	16/4/2555	1931.12
30	18/4/2555	1718.96
31	20/4/2555	1831.91
32	21/4/2555	1316.98

ข-3 ผลการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยวิธีบีเอ็มพี

ตารางที่ ข-3.1 อุณหภูมิตลอดการทดลองบีเอ็มพี

	วันที่	อุณหภูมิ (C)
1	3/2/2555	28.90
2	4/2/2555	29.50
3	5/2/2555	28.80
4	6/2/2555	31.00
5	7/2/2555	31.20
6	8/2/2555	30.50
7	9/2/2555	30.70
8	10/2/2555	30.50
9	11/2/2555	29.80
10	12/2/2555	29.90
11	13/2/2555	30.20
12	14/2/2555	30.40
13	15/2/2555	31.30
14	16/2/2555	31.50
15	17/2/2555	31.50
16	18/2/2555	31.30
17	19/2/2555	30.80

ตารางที่ ข-3.1 อุณหภูมิตลอดการทดลองปีเอ็มพี (ต่อ)

	วันที่	อุณหภูมิ (C)
18	20/2/2555	30.50
19	21/2/2555	30.50
20	22/2/2555	31.00
21	23/2/2555	30.60
22	24/2/2555	30.60
23	25/2/2555	30.70
24	26/2/2555	31.50
25	27/2/2555	31.20
26	28/2/2555	30.80
27	1/3/2555	31.80
28	2/3/2555	31.60
29	3/3/2555	31.60
30	4/3/2555	31.70

ตารางที่ ข-3.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของชุดทดลองและชุดควบคุม

วันที่	ความเป็นกรด-ด่าง									
	ชุดควบคุม					ชุดทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
3/2/2555	7.00	7.01	7.00	7.00	0.01	7.00	7.00	7.00	7.00	0.00
6/2/2555	6.70	6.80	6.80	6.77	0.06	5.90	5.90	6.00	5.93	0.06
9/2/2555	6.80	6.80	6.80	6.80	0.00	5.90	6.00	6.10	6.00	0.10
13/2/2555	7.00	7.00	7.10	7.03	0.06	6.20	6.30	6.30	6.27	0.06
16/2/2555	7.30	7.20	7.30	7.27	0.06	6.40	6.50	6.40	6.43	0.06
20/2/2555	7.30	7.20	7.30	7.27	0.06	6.40	6.30	6.20	6.30	0.10
23/2/2555	7.50	7.50	7.40	7.47	0.06	6.80	6.90	6.90	6.87	0.06
27/2/2555	7.50	7.50	7.40	7.47	0.06	7.10	7.20	7.20	7.17	0.06
2/3/2555	7.40	7.40	7.50	7.43	0.06	7.30	7.40	7.40	7.37	0.06
4/3/2555	7.40	7.40	7.30	7.37	0.06	7.50	7.40	7.40	7.43	0.06

ตารางที่ ข-3.3 กรดอินทรีย์ระเหยของชุดทดลองและชุดควบคุม

วันที่	กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัม ต่อ ลิตร กรดแอซติก)									
	ชุดควบคุม					ชุดทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
3/2/2555	430.00	432.00	431.00	431.00	1.00	825.00	824.00	824.00	824.33	0.58
6/2/2555	898.00	899.00	895.00	897.33	2.08	4877.00	4875.00	4871.00	4874.33	3.06
9/2/2555	1543.00	1546.00	1540.00	1543.00	3.00	4351.00	4354.00	4363.00	4356.00	6.24
13/2/2555	1857.00	1855.00	1861.00	1857.67	3.06	1415.00	1424.00	1409.00	1416.00	7.55
16/2/2555	759.00	764.00	768.00	763.67	4.51	1623.00	1618.00	1621.00	1620.67	2.52
20/2/2555	528.00	533.00	535.00	532.00	3.61	843.00	851.00	846.00	846.67	4.04
23/2/2555	473.00	467.00	477.00	472.33	5.03	674.00	682.00	669.00	675.00	6.56
27/2/2555	424.00	427.00	428.00	426.33	2.08	498.00	487.00	495.00	493.33	5.69
2/3/2555	392.00	388.00	386.00	388.67	3.06	560.00	559.00	563.00	560.67	2.08
4/3/2555	412.00	413.00	411.00	412.00	1.00	511.00	513.00	514.00	512.67	1.53

ตารางที่ ข-3.4 ความเป็นค่าของชุดทดลองและชุดควบคุม

วันที่	ความเป็นค่า (มิลลิกรัม ต่อ ลิตร แคลเซียมคาร์บอเนต)									
	ชุดควบคุม					ชุดทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
3/2/2555	483.00	485.00	482.00	483.33	1.53	1322.00	1327.00	1317.00	1322.00	5.00
6/2/2555	4257.00	4263.00	4265.00	4261.67	4.16	4452.00	4457.00	4451.00	4453.33	3.21
9/2/2555	3845.00	3851.00	3849.00	3848.33	3.06	4067.00	4072.00	4065.00	4068.00	3.61
13/2/2555	4468.00	4457.00	4462.00	4462.33	5.51	5032.00	5041.00	5052.00	5041.67	10.02
16/2/2555	4207.00	4211.00	4213.00	4210.33	3.06	5546.00	5549.00	5542.00	5545.67	3.51
20/2/2555	4657.00	4653.00	4650.00	4653.33	3.51	4921.00	4925.00	4926.00	4924.00	2.65
23/2/2555	4122.00	4127.00	4125.00	4124.67	2.52	5248.00	5255.00	5253.00	5252.00	3.61
27/2/2555	4308.00	4315.00	4305.00	4309.33	5.13	5371.00	5374.00	5379.00	5374.67	4.04
2/3/2555	4095.00	4089.00	4092.00	4092.00	3.00	5509.00	5512.00	5504.00	5508.33	4.04
4/3/2555	4533.00	4538.00	4540.00	4537.00	3.61	5369.00	5371.00	5374.00	5371.33	2.52

ตารางที่ ข-3.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของชุดทดลองและชุดควบคุม

วัน	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มิลลิเมตรต่อวัน)									
	ชุดควบคุม					ชุดทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	6.95	5.73	6.21	6.30	0.61	25.85	27.32	28.51	27.23	1.33
3	2.49	3.22	2.56	2.76	0.40	16.59	15.78	17.50	16.62	0.86
4	1.17	1.41	1.27	1.28	0.12	31.54	30.21	32.49	31.41	1.15
5	2.43	2.64	2.13	2.40	0.26	26.43	25.67	23.91	25.34	1.29
6	3.21	2.98	3.34	3.18	0.18	19.67	20.34	22.18	20.73	1.30
7	4.28	4.19	4.52	4.33	0.17	27.88	25.92	27.46	27.09	1.03
8	6.32	5.97	6.18	6.16	0.18	32.20	31.27	33.58	32.35	1.16
9	5.66	5.25	5.63	5.51	0.23	44.32	42.75	45.81	44.29	1.53
10	7.51	7.42	7.74	7.56	0.17	94.80	95.21	92.49	94.17	1.47
11	6.83	6.77	6.62	6.74	0.11	84.21	81.23	86.29	83.91	2.54
12	6.33	6.28	5.87	6.16	0.25	64.70	68.23	63.05	65.33	2.65
13	4.23	4.16	4.55	4.31	0.21	38.75	40.52	38.66	39.31	1.05
14	3.98	4.21	4.25	4.15	0.15	46.64	48.37	46.88	47.30	0.94
15	3.01	3.36	3.09	3.15	0.18	24.12	23.98	26.21	24.77	1.25
16	4.24	4.65	4.38	4.42	0.21	37.22	35.56	37.92	36.90	1.21
17	3.66	3.43	3.48	3.52	0.12	58.87	60.23	57.45	58.85	1.39
18	2.25	2.16	2.48	2.30	0.17	42.56	41.34	44.73	42.88	1.72
19	4.62	4.57	4.33	4.51	0.16	27.62	30.76	28.21	28.86	1.67
20	3.28	3.41	3.56	3.42	0.14	33.29	32.43	35.41	33.71	1.53
21	3.16	3.23	3.47	3.29	0.16	11.78	13.21	12.89	12.63	0.75
22	2.04	1.87	2.13	2.01	0.13	18.23	20.12	21.37	19.91	1.58
23	1.57	1.48	1.22	1.42	0.18	14.61	13.27	14.22	14.03	0.69

ตารางที่ ข-3.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของชุดทดลองและชุดควบคุม (ต่อ)

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวัน (มิลลิตรต่อวัน)									
	ชุดควบคุม					ชุดทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
24	1.65	1.43	1.89	1.66	0.23	5.90	6.02	5.87	5.93	0.08
25	1.42	1.28	1.48	1.39	0.10	8.15	8.36	7.59	8.03	0.40
26	2.09	2.11	2.27	2.16	0.10	5.69	5.31	5.67	5.56	0.21
27	1.22	1.56	1.43	1.40	0.17	9.54	9.33	9.56	9.48	0.13
28	1.70	1.53	1.86	1.70	0.17	6.53	6.48	6.90	6.64	0.23
29	1.14	1.24	1.52	1.30	0.20	4.66	5.32	4.79	4.92	0.35
30	1.26	1.21	1.44	1.30	0.12	6.13	6.32	6.54	6.33	0.21

ตารางที่ ข-3.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของชุดทดลองและชุดควบคุม

วัน	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิตร)									
	ชุดควบคุม					ชุดทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	6.95	5.73	6.21	6.30	0.61	25.85	27.32	28.51	27.23	1.33
3	9.44	8.95	8.77	9.05	0.35	42.44	43.10	46.01	43.85	1.90
4	10.61	10.36	10.04	10.34	0.29	73.98	73.31	78.50	75.26	2.82
5	13.04	13.00	12.17	12.74	0.49	100.41	98.98	102.41	100.60	1.72
6	16.25	15.98	15.51	15.91	0.37	120.08	119.32	124.59	121.33	2.85
7	20.53	20.17	20.03	20.24	0.26	147.96	145.24	152.05	148.42	3.43
8	26.85	26.14	26.21	26.40	0.39	180.16	176.51	185.63	180.77	4.59
9	32.51	31.39	31.84	31.91	0.56	224.48	219.26	231.44	225.06	6.11
10	40.02	38.81	39.58	39.47	0.61	319.28	314.47	323.93	319.23	4.73

ตารางที่ ข-3.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของชุดทดลองและชุดควบคุม (ต่อ)

วัน	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (มิลลิลิตร)									
	ชุดควบคุม					ชุดทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
11	46.85	45.58	46.20	46.21	0.64	403.49	395.70	410.22	403.14	7.27
12	53.18	51.86	52.07	52.37	0.71	468.19	463.93	473.27	468.46	4.68
13	57.41	56.02	56.62	56.68	0.70	506.94	504.45	511.93	507.77	3.81
14	61.39	60.23	60.87	60.83	0.58	553.58	552.82	558.81	555.07	3.26
15	64.40	63.59	63.96	63.98	0.41	577.70	576.80	585.02	579.84	4.51
16	68.64	68.24	68.34	68.41	0.21	614.92	612.36	622.94	616.74	5.52
17	72.30	71.67	71.82	71.93	0.33	673.79	672.59	680.39	675.59	4.20
18	74.55	73.83	74.30	74.23	0.37	716.35	713.93	725.12	718.47	5.89
19	79.17	78.40	78.63	78.73	0.40	743.97	744.69	753.33	747.33	5.21
20	82.45	81.81	82.19	82.15	0.32	777.26	777.12	788.74	781.04	6.67
21	85.61	85.04	85.66	85.44	0.34	789.04	790.33	801.63	793.67	6.93
22	87.65	86.91	87.79	87.45	0.47	807.27	810.45	823.00	813.57	8.32
23	89.22	88.39	89.01	88.87	0.43	821.88	823.72	837.22	827.61	8.38
24	90.87	89.82	90.90	90.53	0.62	827.78	829.74	843.09	833.54	8.33
25	92.29	91.10	92.38	91.92	0.71	835.93	838.10	850.68	841.57	7.96
26	94.38	93.21	94.65	94.08	0.77	841.62	843.41	856.35	847.13	8.04
27	95.60	94.77	96.08	95.48	0.66	851.16	852.74	865.91	856.60	8.10
28	97.30	96.30	97.94	97.18	0.83	857.69	859.22	872.81	863.24	8.32
29	98.44	97.54	99.46	98.48	0.96	862.35	864.54	877.60	868.16	8.25
30	99.70	98.75	100.90	99.78	1.08	868.48	870.86	884.14	874.49	8.44

ภาคผนวก ก
การทดสอบและวิเคราะห์ผลทางสถิติที่

ค-1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ
ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียน โดย t-test

ตารางที่ ค-1.1 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติทีของสัดส่วนเศษอาหารของมูลฝอยอาคาร
หอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	7.736	.007	4.854	58	.000	3.8482143	.7928149
FW Equal variances not assumed			4.687	41.425	.000	3.8482143	.8210057

a. FW = Food waste

ตารางที่ ค-1.2 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติทีของสัดส่วนกระดาษของมูลฝอยอาคาร
หอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.015	.904	-3.268	58	.002	-1.6922321	.5178307
PP Equal variances not assumed			-3.296	57.993	.002	-1.6922321	.5134948

a. PP = Paper

ตารางที่ ค-1.3 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติของสัดส่วนพลาสติกของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	1.609	.210	.556	58	.580	.5060714	.9098018
PL Equal variances not assumed			.550	52.849	.585	.5060714	.9208981

a. PL = Plastic

ตารางที่ ค-1.4 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติของสัดส่วนหนังและยางของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	8.277	.006	1.691	58	.096	.2985714	.1765218
LR Equal variances not assumed			1.627	39.324	.112	.2985714	.1835570

a. LR = Leather and Rubber

ตารางที่ ค-1.5 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติทีของสัดส่วนผ้าของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
T Equal variances assumed	.902	.346	.514	58	.609	.02763	.05378
T Equal variances not assumed			.509	54.257	.613	.02763	.05425

a. T = Textile

ตารางที่ ค-1.6 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติทีของสัดส่วนแก้วของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
G Equal variances assumed	11.443	.001	-2.087	58	.041	-1.4673214	.7031638
G Equal variances not assumed			-1.983	33.650	.056	-1.4673214	.7400245

a. G = Glass

ตารางที่ ค-1.7 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติของสัดส่วนโลหะของมูลฝอยอาคารหอพักนิตยจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
M Equal variances assumed	1.548	.218	.976	58	.333	.3613393	.3703899
M Equal variances not assumed			.983	57.954	.330	.3613393	.3677081

a. M = Metal

ตารางที่ ค-1.8 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติของสัดส่วนมูลฝอยประเภทอื่นๆของมูลฝอยอาคารหอพักนิตยจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
etc Equal variances assumed	9.876	.003	-3.745	58	.000	-2.2555357	.6023041
etc Equal variances not assumed			-3.609	40.330	.001	-2.2555357	.6250596

a. etc = มูลฝอยประเภทอื่น

ตารางที่ ค-1.9 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติของปริมาณมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Q Equal variances assumed	17.807	.000	4.895	58	.000	77.545	15.842
Q Equal variances not assumed			4.731	41.889	.000	77.545	16.390

a. Q = Quantity

ตารางที่ ค-1.10 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติของความหนาแน่นของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
D Equal variances assumed	1.395	.242	2.114	58	.039	15.638	7.397
D Equal variances not assumed			2.082	51.313	.042	15.638	7.512

a. D = Density

ค-2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียน โดย t-test

ตารางที่ ค-2.1 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติของความชื้นของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.513	.486	-1.318	14	.209	-1.14625	.86946
MC Equal variances not assumed			-1.318	13.518	.209	-1.14625	.86946

a. MC = Moisture content

ตารางที่ ค-2.2 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติที่ของของแข็งทั้งหมดของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.513	.486	1.318	14	.209	1.14625	.86946
TS Equal variances not assumed			1.318	13.518	.209	1.14625	.86946

a. TS = Total solid

ตารางที่ ค-2.3 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติที่ของของแข็งระเหยของมูลฝอยโรงอาหาร
หอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	2.030	.176	.067	14	.948	.12750	1.90450
VS Equal variances not assumed			.067	12.246	.948	.12750	1.90450

a. VS = Volatile solid

ตารางที่ ค-2.4 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติที่ของปริมาณเถ้าของมูลฝอยโรงอาหาร
หอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	2.030	.176	-.067	14	.948	-.12750	1.90450
A Equal variances not assumed			-.067	12.246	.948	-.12750	1.90450

a. A = Ash content

ตารางที่ ค-2.5 ความแปรปรวนและการทดสอบสถิติทีของปริมาณของมูลฝอยโรงอาหาร
หอพักนิสิตจุฬาฯ ช่วงเปิด-ปิดภาคเรียนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				
	F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Quantity	.019	.891	21.488	14	.000	47.57500	2.21406
			21.488	13.600	.000	47.57500	2.21406

ภาคผนวก ง
การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

ง-1 การเลือกข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

ในการวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ จำนวนทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 48 ตัวอย่าง ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และ 12 ตัวอย่าง ใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ก่อนนำข้อมูล 48 ตัวอย่างดังกล่าว ได้แก่ องค์ประกอบทางกายภาพ (ประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้) ลักษณะทางเคมี และค่าความร้อน ดังแสดงในตารางที่ จ-1.1 และตารางที่ จ-1.2 ตามลำดับไปเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ทำการคัดเลือกข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการนำองค์ประกอบทางกายภาพ (ประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้) และลักษณะทางเคมีของมูลฝอย แต่ละพารามิเตอร์ มาพิจารณาหาความสัมพันธ์ที่มีต่อค่าความร้อน เพื่อตัดข้อมูลที่อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออกไป โดยกำหนดให้องค์ประกอบทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอย เป็นตัวแปรอิสระ (X) และค่าความร้อนเป็นตัวแปรตาม (Y) นำมาพล็อตกราฟเส้นตรง $Y = aX + b$ แล้วพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนาย หรือ ค่า R^2 ของสมการเส้นตรงที่ได้ โดย

ถ้า R^2 มีค่าเป็นบวก หมายถึง ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

ถ้า R^2 มีค่าเป็นลบ หมายถึง ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม

ถ้า R^2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 1.00 หาก R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มาก แสดงว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 มาก แสดงว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก และถ้า R^2 มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

ตารางที่ ง-1.1 ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพและค่าความร้อนมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต จำนวน 48 ชุด

ตัวอย่างที่	เศษอาหาร (ร้อยละ)	กระดาษ (ร้อยละ)	พลาสติก (ร้อยละ)	หนังและยาง (ร้อยละ)	ผ้า (ร้อยละ)	LSCV (kcal/kg)
1	64.72	9.51	25.77	0.00	0.00	2140.28
2	72.84	10.85	16.31	0.00	0.00	1458.81
3	74.67	4.69	17.51	3.13	0.00	1145.77
4	63.20	9.03	27.45	0.00	0.32	1787.40
5	74.78	6.37	17.57	1.28	0.00	979.89
6	74.94	6.73	18.34	0.00	0.00	1219.77
7	71.40	5.71	22.89	0.00	0.00	2079.30
8	71.38	8.19	19.87	0.00	0.56	1490.36
9	65.24	12.53	21.11	0.00	1.12	1870.69
10	71.41	9.75	18.84	0.00	0.00	1171.37
11	70.94	9.14	19.91	0.00	0.00	1928.39
12	67.03	8.59	24.38	0.00	0.00	1707.53
13	70.24	7.68	22.08	0.00	0.00	2261.49
14	72.86	15.46	11.68	0.00	0.00	1477.06
15	71.28	9.48	17.23	2.02	0.00	1726.77
16	66.04	9.34	24.62	0.00	0.00	1887.97
17	74.49	3.20	22.31	0.00	0.00	1262.84
18	66.19	6.70	23.88	3.23	0.00	1414.32
19	72.01	6.29	21.70	0.00	0.00	2275.64
20	73.12	7.93	17.77	1.18	0.00	1650.52
21	74.64	9.10	15.14	1.12	0.00	856.81
22	68.16	9.72	21.70	0.00	0.42	1893.31
23	68.65	7.31	22.64	0.32	1.07	1567.90
24	70.12	11.77	18.12	0.00	0.00	2018.64
25	75.56	7.07	17.37	0.00	0.00	961.75
26	70.60	5.51	23.89	0.00	0.00	1410.60
27	72.02	4.18	21.41	2.39	0.00	831.64

ตารางที่ ง-1.1 ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพและค่าความร้อนมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต จำนวน 48 ชุด (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เศษอาหาร (ร้อยละ)	กระดาษ (ร้อยละ)	พลาสติก (ร้อยละ)	หนังและยาง (ร้อยละ)	ผ้า (ร้อยละ)	LSCV (kcal/kg)
28	63.05	9.02	27.34	0.59	0.00	1783.14
29	72.98	7.35	19.68	0.00	0.00	2290.82
30	75.20	4.92	19.88	0.00	0.00	837.98
31	69.63	8.26	22.11	0.00	0.00	1369.33
32	70.44	9.13	20.43	0.00	0.00	1239.55
33	74.51	9.50	15.98	0.00	0.00	809.03
34	75.64	6.94	16.59	0.83	0.00	1230.16
35	77.01	8.11	14.88	0.00	0.00	1121.81
36	65.51	5.63	28.86	0.00	0.00	1945.15
37	68.39	8.46	22.92	0.00	0.23	2044.56
38	70.81	11.02	18.17	0.00	0.00	1792.18
39	69.62	9.79	20.59	0.00	0.00	2042.18
40	65.74	8.64	25.62	0.00	0.00	2260.25
41	67.57	7.39	24.14	0.90	0.00	1811.26
42	71.73	8.09	19.74	0.00	0.44	1813.36
43	71.62	13.63	14.75	0.00	0.00	1427.63
44	68.73	7.44	23.83	0.00	0.00	1186.38
45	66.65	9.31	24.04	0.00	0.00	2127.54
46	70.29	7.45	22.26	0.00	0.00	1878.55
47	72.06	15.80	12.15	0.00	0.00	1979.67
48	69.76	12.17	16.73	1.34	0.00	1683.13

ตารางที่ ง-1.2 ข้อมูลลักษณะทางเคมีและค่าความร้อนมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต จำนวน 48 ชุด

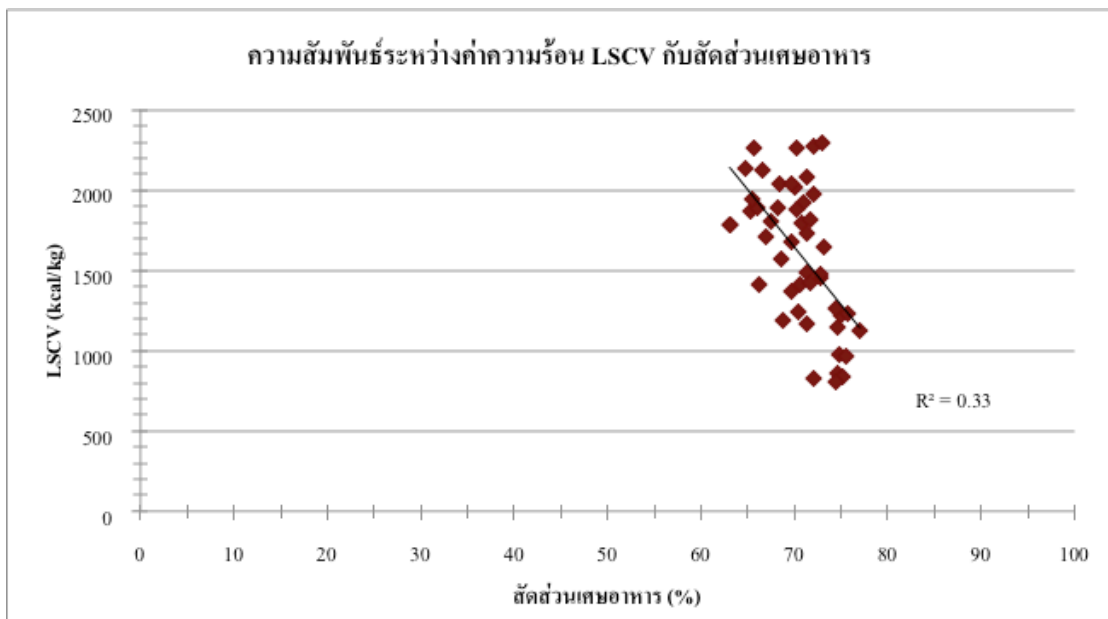
ตัวอย่างที่	ความชื้น (ร้อยละ)	สารเผาไหม้ได้ (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	LSCV (kcal/kg)
1	57.31	38.94	3.75	2140.28
2	64.75	30.57	4.68	1458.81
3	67.41	28.34	4.26	1145.77
4	59.22	33.61	7.17	1787.40
5	69.35	27.94	2.72	979.89
6	66.40	28.26	5.34	1219.77
7	60.28	35.08	4.64	2079.30
8	62.34	30.17	7.49	1490.36
9	60.01	32.66	7.34	1870.69
10	67.26	28.13	4.61	1171.37
11	59.42	33.24	7.35	1928.39
12	56.77	38.09	5.14	1707.53
13	65.31	29.86	4.84	2261.49
14	62.70	33.99	3.32	1477.06
15	58.63	36.98	4.39	1726.77
16	55.72	39.64	4.65	1887.97
17	67.08	27.86	5.06	1262.84
18	63.22	29.66	7.13	1414.32
19	65.14	29.96	4.90	2275.64
20	60.58	35.09	4.33	1650.52
21	68.09	28.68	3.24	856.81
22	60.72	34.49	4.79	1893.31
23	65.58	29.92	4.51	1567.90
24	57.09	38.06	4.86	2018.64
25	69.42	25.03	5.55	961.75
26	65.97	28.15	5.89	1410.60
27	70.18	23.90	5.93	831.64
28	59.47	36.30	4.23	1783.14

ตารางที่ ง-1.2 ข้อมูลลักษณะทางเคมีและค่าความร้อนมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต จำนวน 48 ชุด (ต่อ)

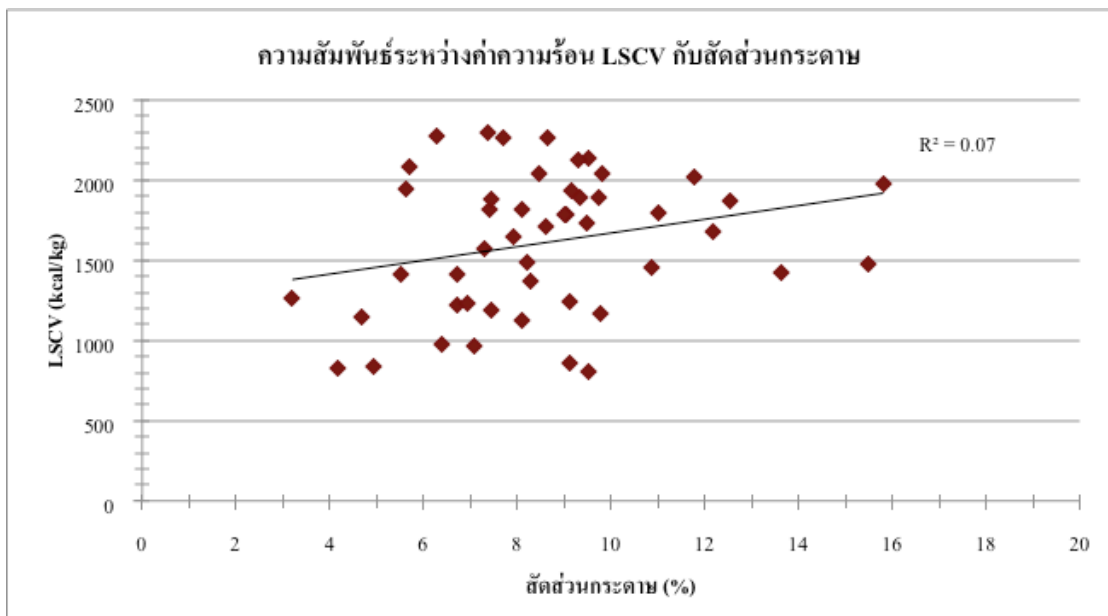
ตัวอย่างที่	ความชื้น (ร้อยละ)	สารเผาไหม้ได้ (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	LSCV (kcal/kg)
29	65.22	30.14	4.65	2290.82
30	68.46	26.57	4.98	837.98
31	63.21	31.73	5.07	1369.33
32	67.22	28.98	3.80	1239.55
33	71.42	24.06	4.52	809.03
34	66.92	25.96	7.12	1230.16
35	67.28	26.14	6.59	1121.81
36	58.27	38.20	3.53	1945.15
37	60.21	34.90	4.90	2044.56
38	60.25	35.68	4.07	1792.18
39	57.34	39.22	3.44	2042.18
40	54.43	40.63	4.94	2260.25
41	59.48	35.04	5.49	1811.26
42	60.98	33.06	5.96	1813.36
43	64.42	29.14	6.44	1427.63
44	66.87	26.13	7.01	1186.38
45	57.93	37.24	4.84	2127.54
46	59.44	37.15	3.41	1878.55
47	59.53	33.94	6.53	1979.67
48	61.85	34.08	4.07	1683.13

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ ง-1.1 และ ตารางที่ ง-1.2 มาพล็อตกราฟและเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแล้ว เมื่อใช้ข้อมูล 48 ตัวอย่าง พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนเศษอาหารมีค่า $R^2 = 0.33$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนกระดาษมีค่า $R^2 = 0.07$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนพลาสติกมีค่า $R^2 = 0.16$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนหนังและยางมีค่า $R^2 = 0.10$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนผ้ามีค่า $R^2 = 0.16$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.5

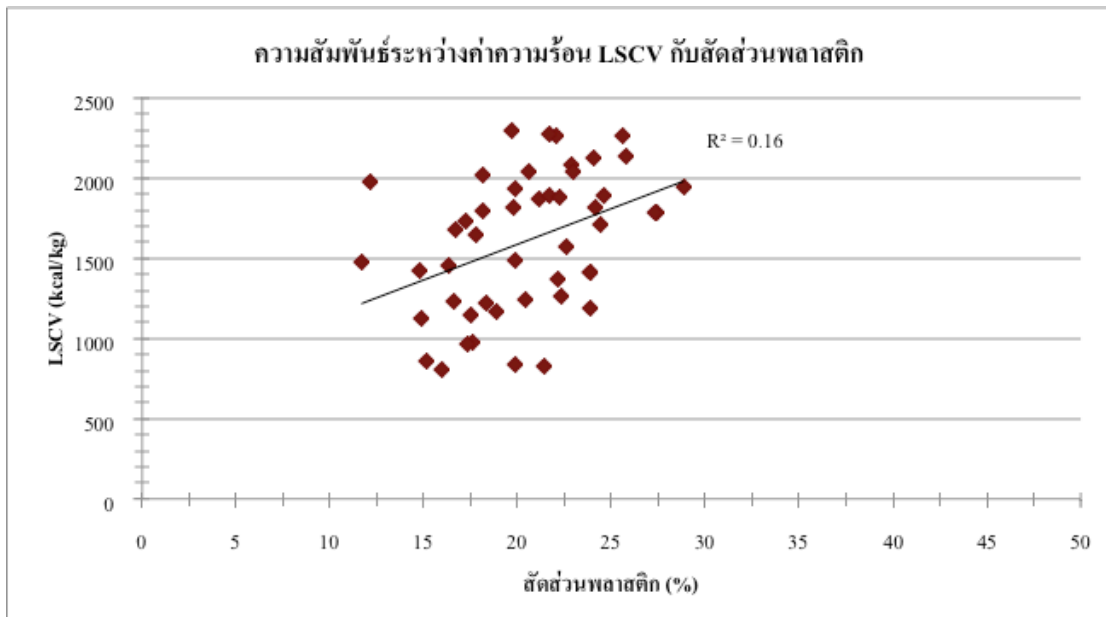
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับปริมาณความชื้นมีค่า $R^2 = 0.63$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.6
 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีค่า $R^2 = 0.60$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.7
 1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับปริมาณเถ้ามีค่า $R^2 = 0.00$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.8



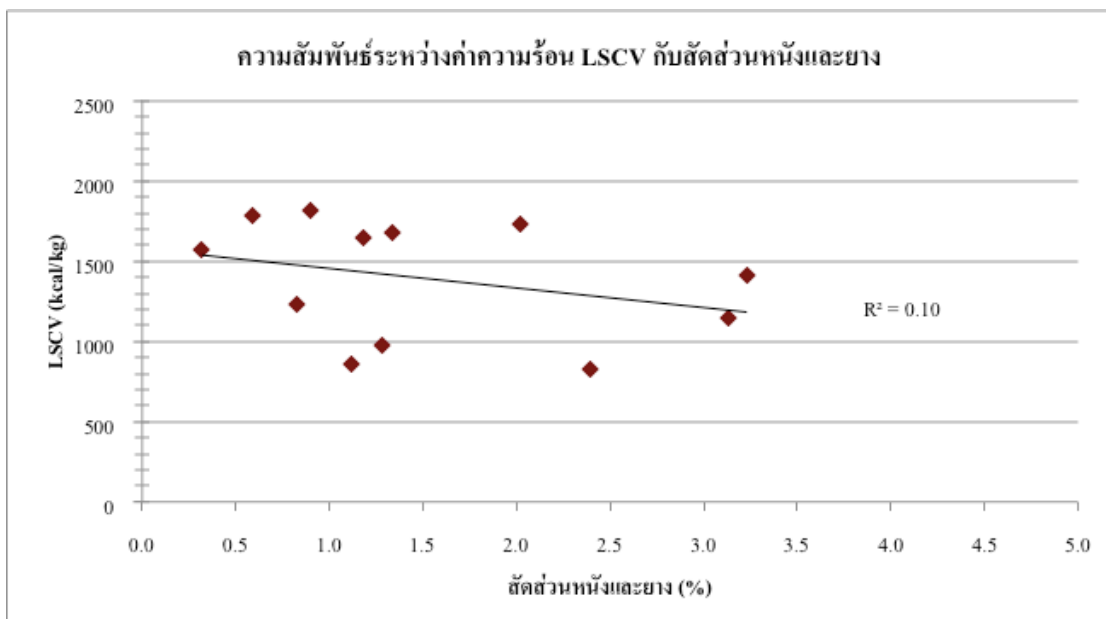
ภาพที่ ง-1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับสัดส่วนเศษอาหาร



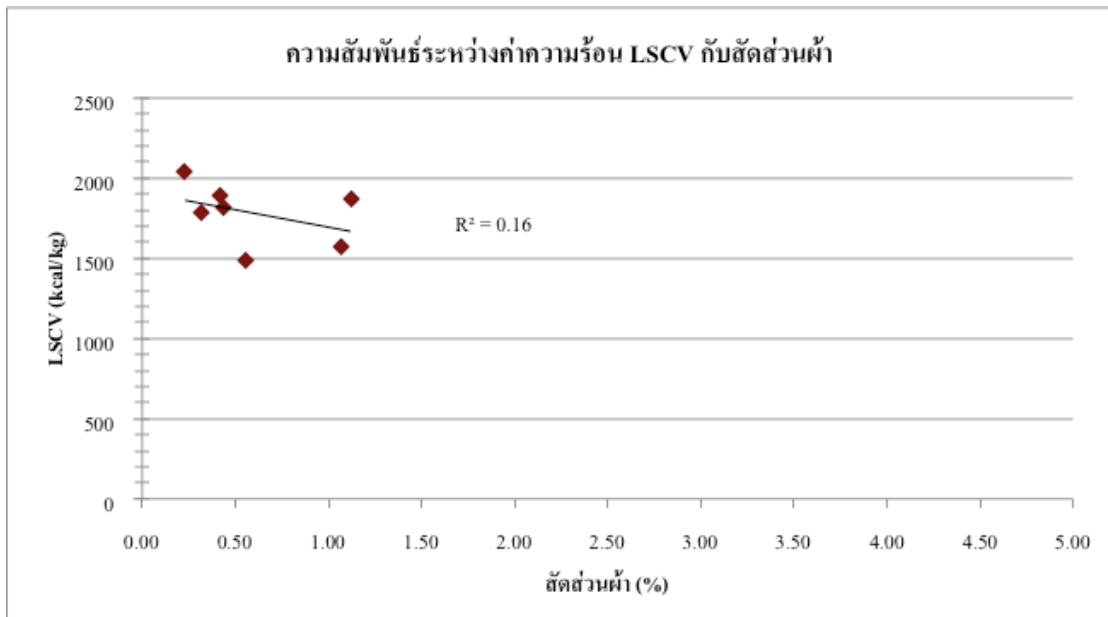
ภาพที่ ง-1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับสัดส่วนกระดาด



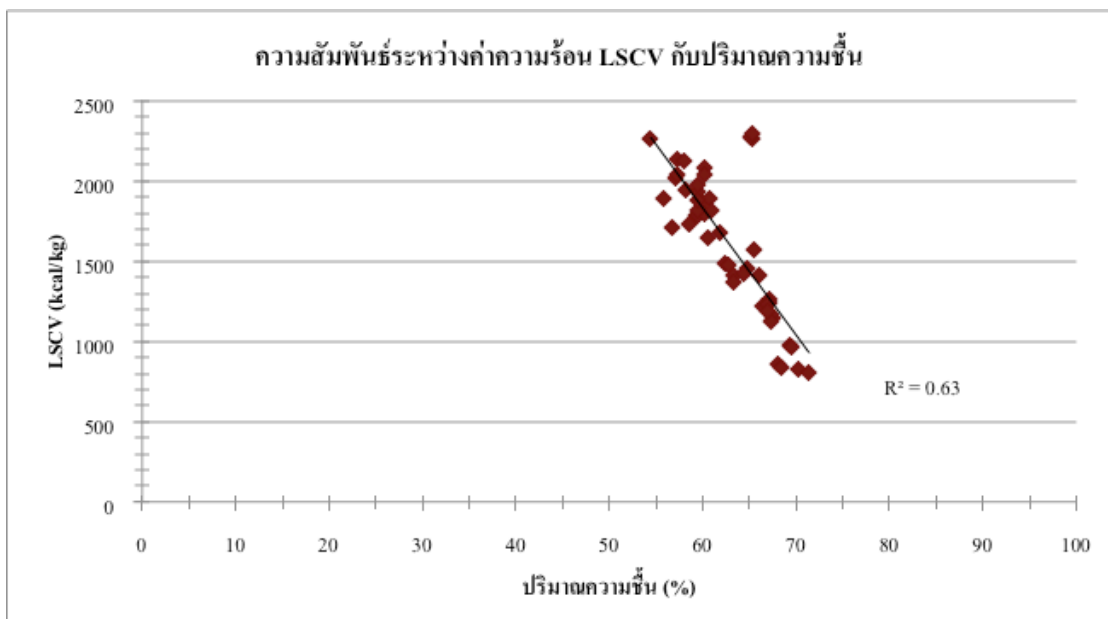
ภาพที่ ง-1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับสัดส่วนพลาสติก



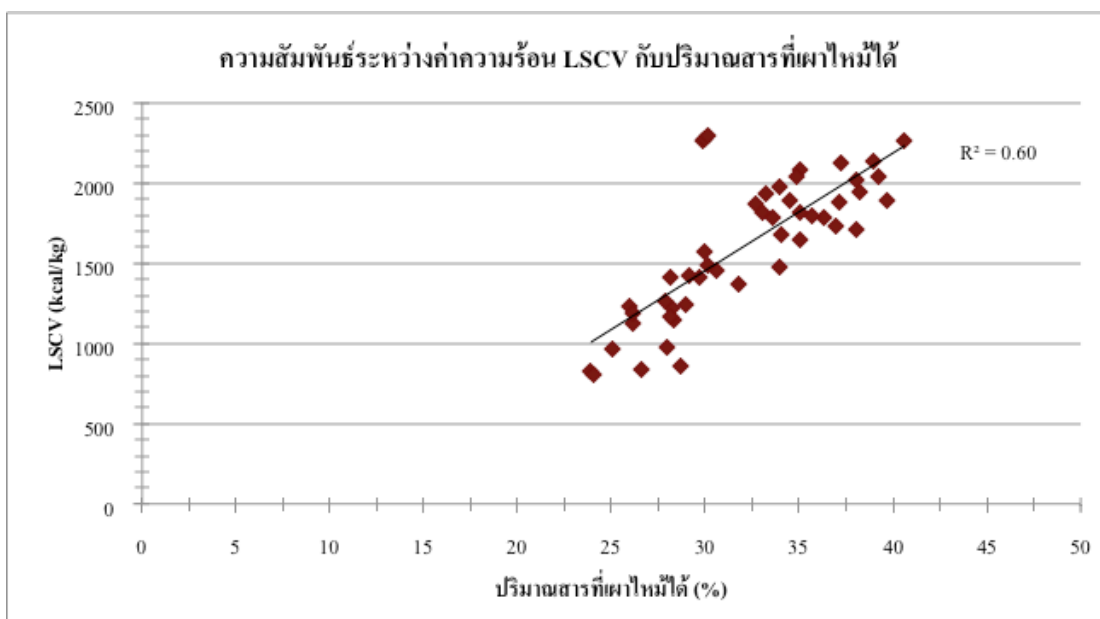
ภาพที่ ง-1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับสัดส่วนหนังและยาง



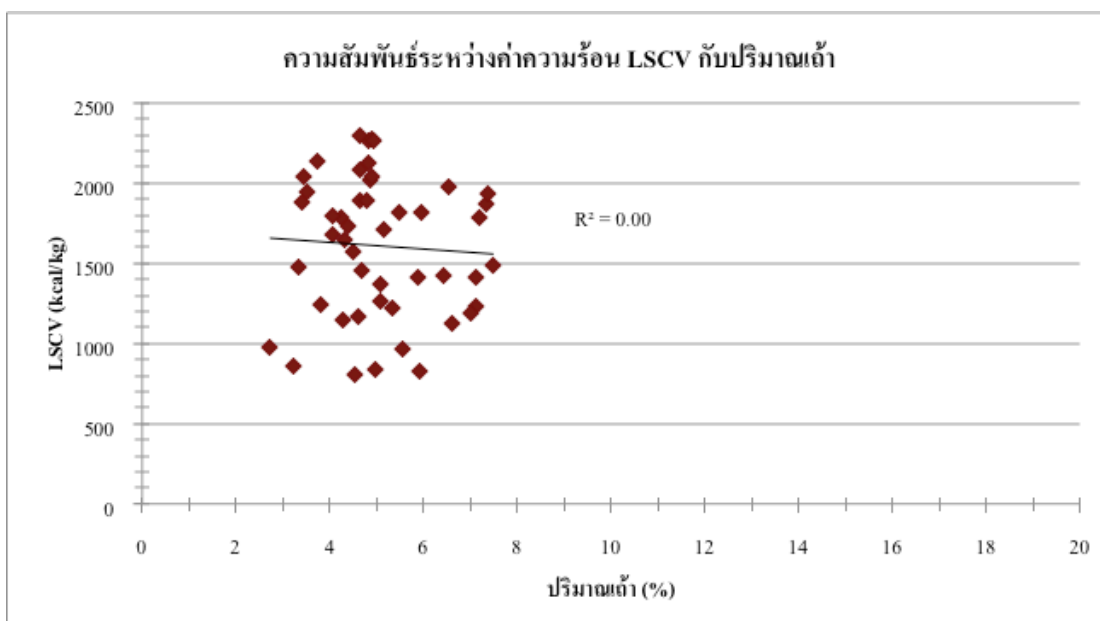
ภาพที่ ง-1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับสัดส่วนผ้า



ภาพที่ ง-1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับปริมาณความชื้น



ภาพที่ ง-1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับปริมาณสารที่เผาไหม้ได้



ภาพที่ ง-1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับปริมาณถ่าน

เมื่อพิจารณาภาพที่ ง-1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนและปริมาณความชื้น และภาพที่ ง-1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนและปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ จะเห็นว่ามีข้อมูลที่คลาดเคลื่อนจากข้อมูลส่วนใหญ่ 3 ค่า จึงทำการตัดข้อมูลในวันดังกล่าวออก เหลือข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 45 ตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ ง-1.3 และตารางที่ ง-1.4

ตารางที่ ง-1.3 ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพและค่าความร้อนมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต จำนวน 45 ชุด

ตัวอย่างที่	เศษอาหาร (ร้อยละ)	กระดาษ (ร้อยละ)	พลาสติก (ร้อยละ)	หนังและยาง (ร้อยละ)	ผ้า (ร้อยละ)	LSCV (kcal/kg)
1	64.72	9.51	25.77	0.00	0.00	2140.28
2	72.84	10.85	16.31	0.00	0.00	1458.81
3	74.67	4.69	17.51	3.13	0.00	1145.77
4	63.20	9.03	27.45	0.00	0.32	1787.40
5	74.78	6.37	17.57	1.28	0.00	979.89
6	74.94	6.73	18.34	0.00	0.00	1219.77
7	71.40	5.71	22.89	0.00	0.00	2079.30
8	71.38	8.19	19.87	0.00	0.56	1490.36
9	65.24	12.53	21.11	0.00	1.12	1870.69
10	71.41	9.75	18.84	0.00	0.00	1171.37
11	70.94	9.14	19.91	0.00	0.00	1928.39
12	67.03	8.59	24.38	0.00	0.00	1707.53
13	72.86	15.46	11.68	0.00	0.00	1477.06
14	71.28	9.48	17.23	2.02	0.00	1726.77
15	66.04	9.34	24.62	0.00	0.00	1887.97
16	74.49	3.20	22.31	0.00	0.00	1262.84
17	66.19	6.70	23.88	3.23	0.00	1414.32
18	73.12	7.93	17.77	1.18	0.00	1650.52
19	74.64	9.10	15.14	1.12	0.00	856.81
20	68.16	9.72	21.70	0.00	0.42	1893.31
21	68.65	7.31	22.64	0.32	1.07	1567.90
22	70.12	11.77	18.12	0.00	0.00	2018.64
23	75.56	7.07	17.37	0.00	0.00	961.75
24	70.60	5.51	23.89	0.00	0.00	1410.60
25	72.02	4.18	21.41	2.39	0.00	831.64
26	63.05	9.02	27.34	0.59	0.00	1783.14
27	75.20	4.92	19.88	0.00	0.00	837.98

ตารางที่ ง-1.3 ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพและค่าความร้อนมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต จำนวน 45 ชุด (ต่อ)

ตัวอย่างที่	เศษอาหาร (ร้อยละ)	กระดาษ (ร้อยละ)	พลาสติก (ร้อยละ)	หนังและยาง (ร้อยละ)	ผ้า (ร้อยละ)	LSCV (kcal/kg)
28	69.63	8.26	22.11	0.00	0.00	1369.33
29	70.44	9.13	20.43	0.00	0.00	1239.55
30	74.51	9.50	15.98	0.00	0.00	809.03
31	75.64	6.94	16.59	0.83	0.00	1230.16
32	77.01	8.11	14.88	0.00	0.00	1121.81
33	65.51	5.63	28.86	0.00	0.00	1945.15
34	68.39	8.46	22.92	0.00	0.23	2044.56
35	70.81	11.02	18.17	0.00	0.00	1792.18
36	69.62	9.79	20.59	0.00	0.00	2042.18
37	65.74	8.64	25.62	0.00	0.00	2260.25
38	67.57	7.39	24.14	0.90	0.00	1811.26
39	71.73	8.09	19.74	0.00	0.44	1813.36
40	71.62	13.63	14.75	0.00	0.00	1427.63
41	68.73	7.44	23.83	0.00	0.00	1186.38
42	66.65	9.31	24.04	0.00	0.00	2127.54
43	70.29	7.45	22.26	0.00	0.00	1878.55
44	72.06	15.80	12.15	0.00	0.00	1979.67
45	69.76	12.17	16.73	1.34	0.00	1683.13

ตารางที่ ง-1.4 ข้อมูลลักษณะทางเคมีและค่าความร้อนมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต จำนวน 45 ชุด

ตัวอย่างที่	ความชื้น (ร้อยละ)	สารเผาไหม้ได้ (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	LSCV (kcal/kg)
1	57.31	38.94	3.75	2140.28
2	64.75	30.57	4.68	1458.81
3	67.41	28.34	4.26	1145.77
4	59.22	33.61	7.17	1787.40
5	69.35	27.94	2.72	979.89
6	66.40	28.26	5.34	1219.77
7	60.28	35.08	4.64	2079.30
8	62.34	30.17	7.49	1490.36
9	60.01	32.66	7.34	1870.69
10	67.26	28.13	4.61	1171.37
11	59.42	33.24	7.35	1928.39
12	56.77	38.09	5.14	1707.53
13	62.70	33.99	3.32	1477.06
14	58.63	36.98	4.39	1726.77
15	55.72	39.64	4.65	1887.97
16	67.08	27.86	5.06	1262.84
17	63.22	29.66	7.13	1414.32
18	60.58	35.09	4.33	1650.52
19	68.09	28.68	3.24	856.81
20	60.72	34.49	4.79	1893.31
21	65.58	29.92	4.51	1567.90
22	57.09	38.06	4.86	2018.64
23	69.42	25.03	5.55	961.75
24	65.97	28.15	5.89	1410.60
25	70.18	23.90	5.93	831.64
26	59.47	36.30	4.23	1783.14
27	68.46	26.57	4.98	837.98

ตารางที่ ง-1.4 ข้อมูลลักษณะทางเคมีและค่าความร้อนมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต จำนวน 45 ชุด (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ความชื้น (ร้อยละ)	สารเผาไหม้ได้ (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	LSCV (kcal/kg)
28	63.21	31.73	5.07	1369.33
29	67.22	28.98	3.80	1239.55
30	71.42	24.06	4.52	809.03
31	66.92	25.96	7.12	1230.16
32	67.28	26.14	6.59	1121.81
33	58.27	38.20	3.53	1945.15
34	60.21	34.90	4.90	2044.56
35	60.25	35.68	4.07	1792.18
36	57.34	39.22	3.44	2042.18
37	54.43	40.63	4.94	2260.25
38	59.48	35.04	5.49	1811.26
39	60.98	33.06	5.96	1813.36
40	64.42	29.14	6.44	1427.63
41	66.87	26.13	7.01	1186.38
42	57.93	37.24	4.84	2127.54
43	59.44	37.15	3.41	1878.55
44	59.53	33.94	6.53	1979.67
45	61.85	34.08	4.07	1683.13

เมื่อนำข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพและลักษณะทางเคมีชุดใหม่มาพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าความร้อน พบว่า

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วน เศษอาหารมีค่า $R^2 = 0.46$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.9

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนกระดาษมีค่า $R^2 = 0.12$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.10

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนพลาสติกมีค่า $R^2 = 0.18$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.11

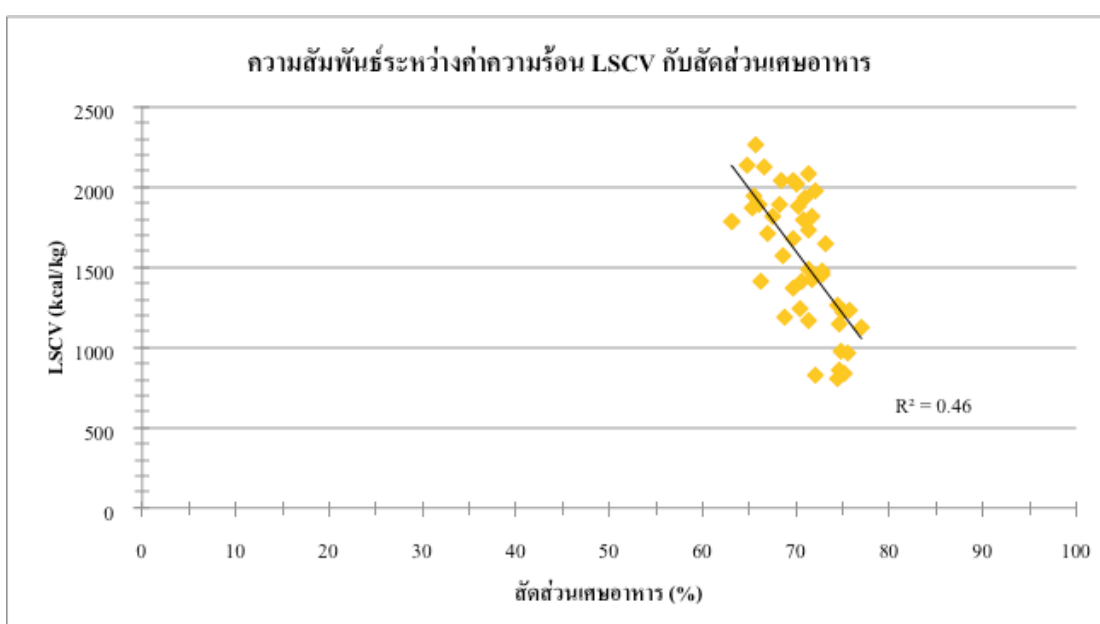
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนหนังและยางมีค่า $R^2 = 0.10$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.12

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนผ้ามีค่า $R^2 = 0.16$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.13

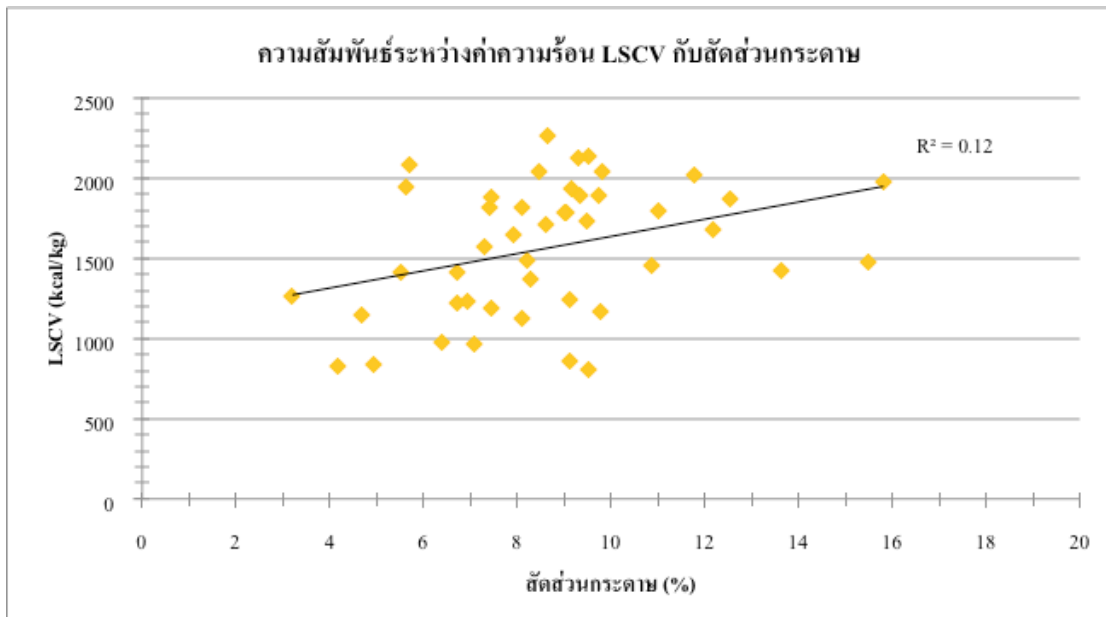
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับปริมาณความชื้นมีค่า $R^2 = 0.89$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.14

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีค่า $R^2 = 0.82$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับปริมาณแถ่มีค่า $R^2 = 0.00$ ดังแสดงในภาพที่ ง-1.16

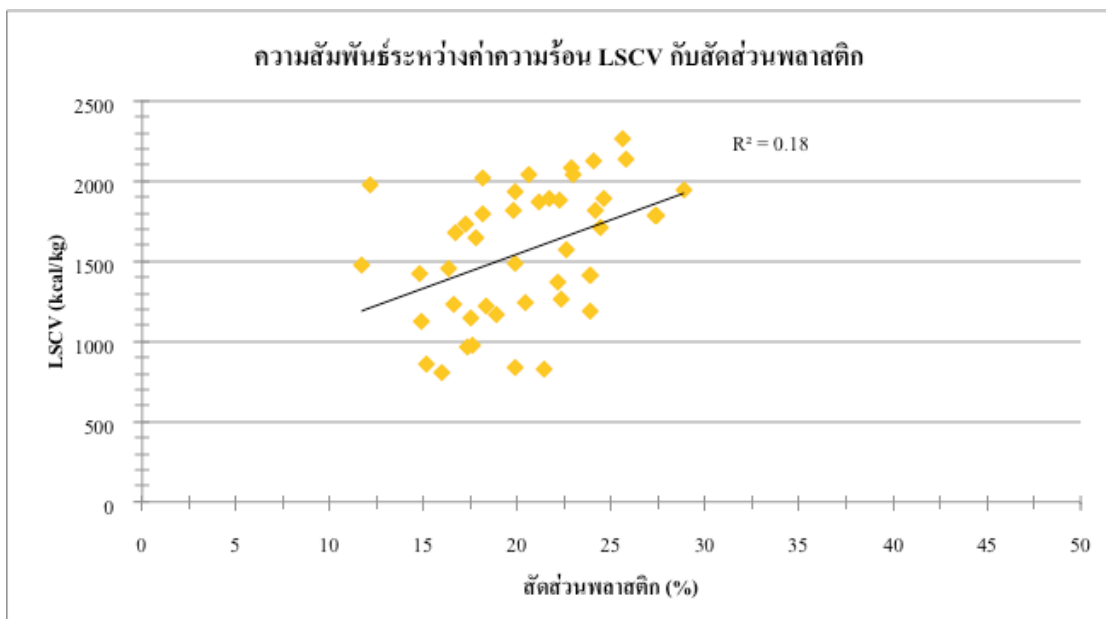
จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ข้อมูล 45 ตัวอย่าง ค่า R^2 ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนเศษอาหาร สัดส่วนกระดาษ สัดส่วนพลาสติก ปริมาณความชื้น ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ มีค่าสูงขึ้น ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับสัดส่วนหนังและยาง สัดส่วนผ้า และปริมาณแถ่มีค่าเท่ากับใช้ข้อมูล 48 ตัวอย่าง ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูล 45 ตัวอย่างในการนำเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป



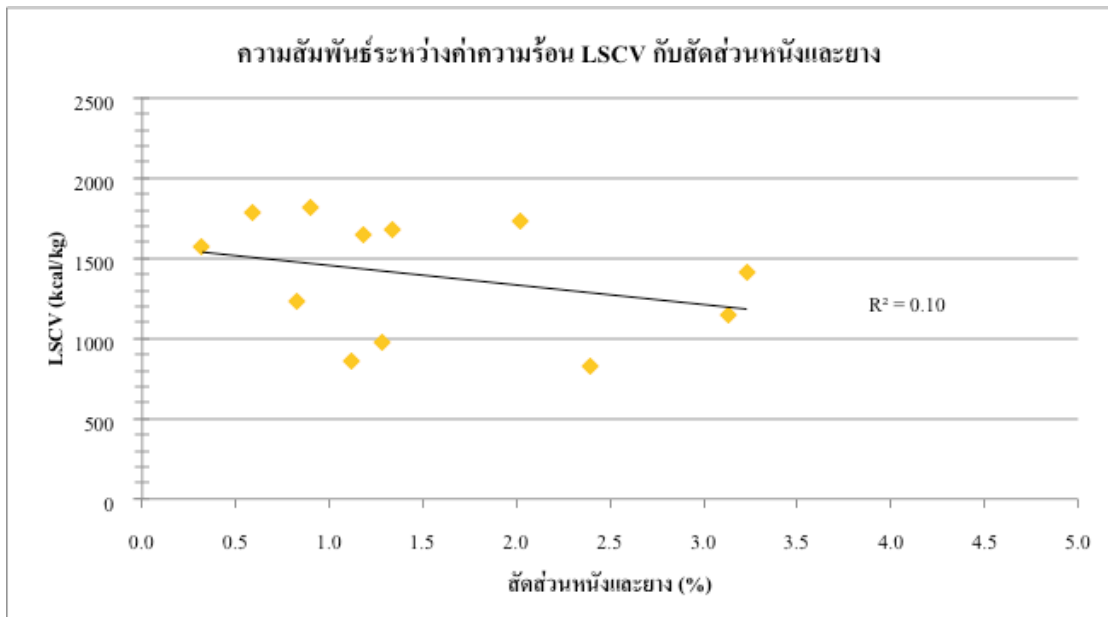
ภาพที่ ง-1.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับสัดส่วนเศษอาหาร



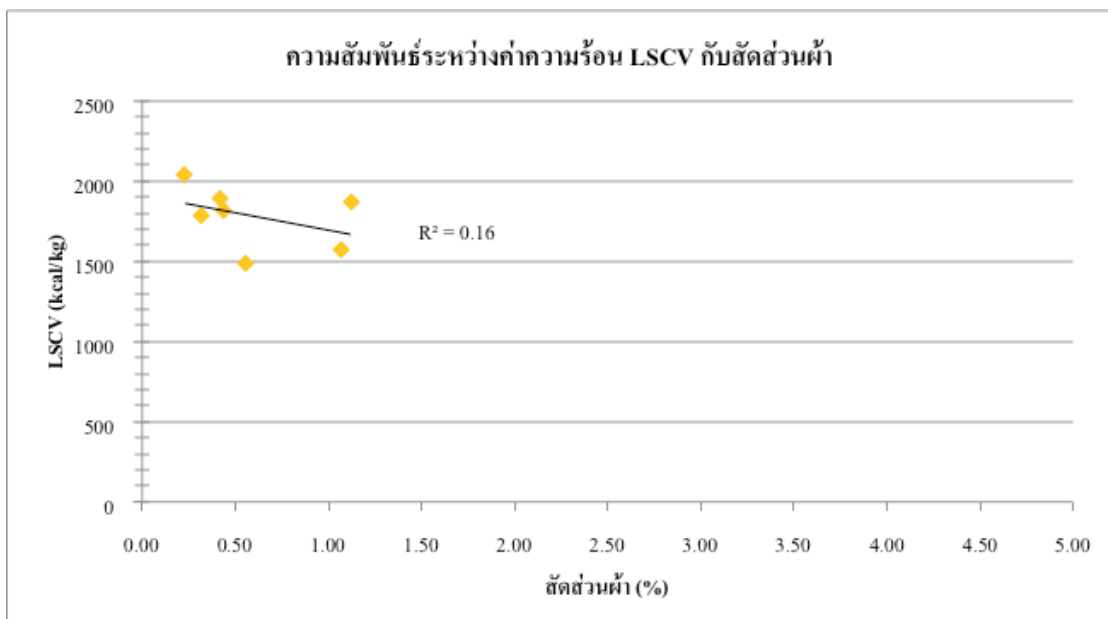
ภาพที่ ง-1.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับสัดส่วนกระดาษ



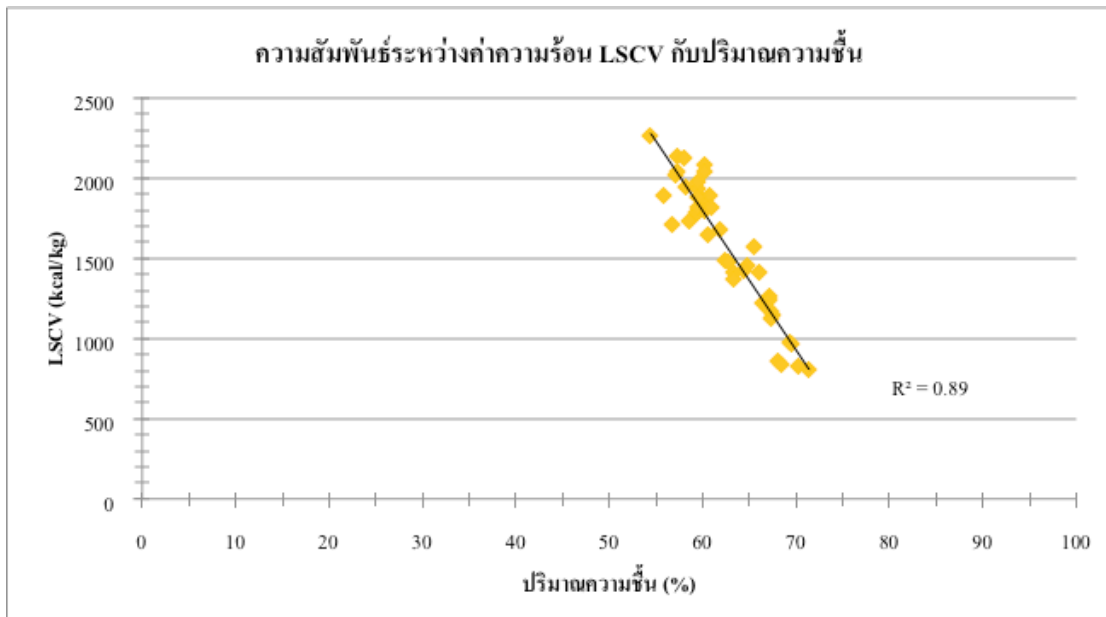
ภาพที่ ง-1.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับสัดส่วนพลาสติก



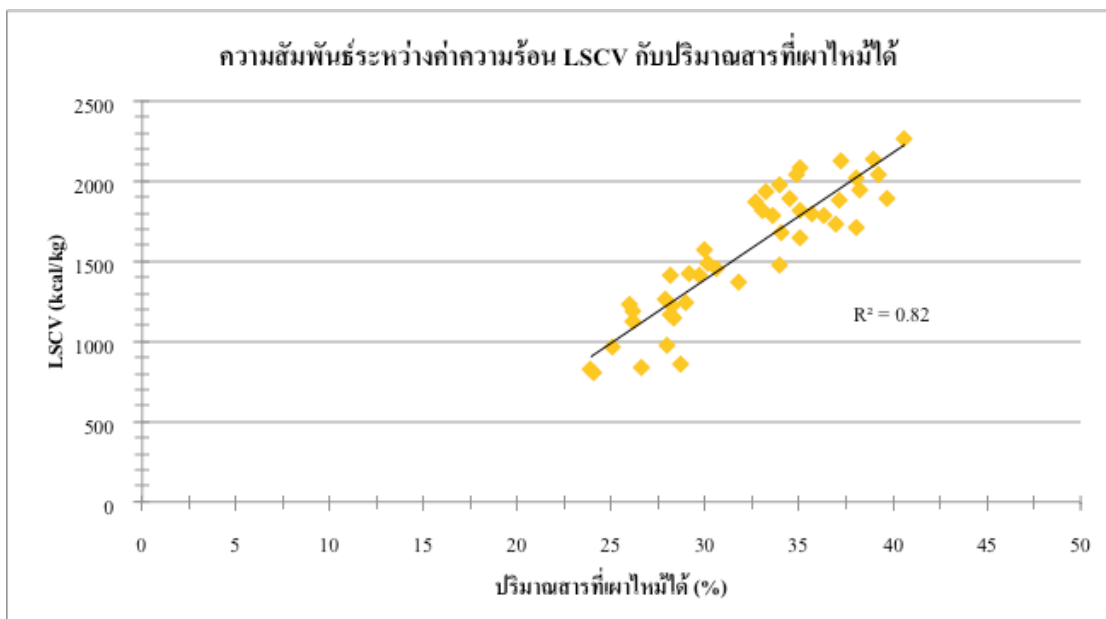
ภาพที่ ง-1.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับสัดส่วนหนังและยาง



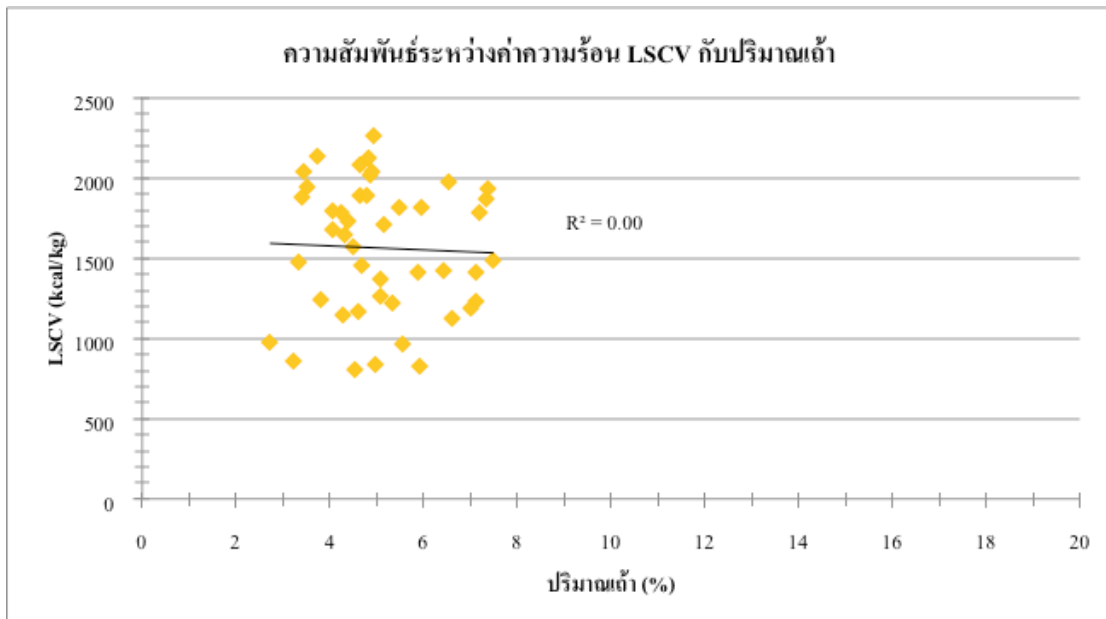
ภาพที่ ง-1.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับสัดส่วนผ้า



ภาพที่ ง-1.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับปริมาณความชื้น



ภาพที่ ง-1.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับปริมาณสารที่เผาไหม้ได้



ภาพที่ ง-1.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน LSCV กับปริมาณถั่ว

ง-2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพ
ของมูลฝอย (Compositional analysis) ผ่านจุดกำเนิด (0, 0)

ตารางที่ ง-2.1 สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary, Compositional analysis)
ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

Model Summary^{g,h}

Model	R	R Square ^b	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.971 ^a	.942	.941	393.32162	.942	713.697	1	44	.000
2	.984 ^c	.967	.966	298.04451	.025	33.628	1	43	.000
3	.989 ^d	.977	.976	252.10511	.010	18.099	1	42	.000
4	.996 ^e	.993	.992	143.38292	.016	88.843	1	41	.000
5	.997 ^f	.994	.993	135.26916	.001	6.066	1	40	.018

a. Predictors: PL

b. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.

c. Predictors: PL, PP

d. Predictors: PL, PP, MC

e. Predictors: PL, PP, MC, FW

f. Predictors: PL, PP, MC, FW, T

g. Dependent Variable: LSCV

h. Linear Regression through the Origin

ตารางที่ ง-2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA, Compositional analysis) ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

ANOVA^{a,b}

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
1	Regression Residual Total	110410307.166 6806883.588 117217190.754 ^d	1 44 45	110410307.166 154701.900	713.697	.000 ^e
2	Regression Residual Total	113397477.941 3819712.812 117217190.754 ^d	2 43 45	56698738.971 88830.531	638.280	.000 ^e
3	Regression Residual Total	114547797.246 2669393.507 117217190.754 ^d	3 42 45	38182599.082 63556.988	600.762	.000 ^f
4	Regression Residual Total	116374285.674 842905.079 117217190.754 ^d	4 41 45	29093571.419 20558.660	1415.149	.000 ^g
5	Regression Residual Total	116485280.930 731909.824 117217190.754 ^d	5 40 45	23297056.186 18297.746	1273.220	.000 ^h

a. Dependent Variable: LSCV

b. Linear Regression through the Origin

c. Predictors: PL

d. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.

e. Predictors: PL, PP

f. Predictors: PL, PP, MC

g. Predictors: PL, PP, MC, FW

h. Predictors: PL, PP, MC, FW, T

ตารางที่ ง-2.3 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient, Compositional analysis) ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

Model		Coefficients ^{a,b}			t	Sig.	Collinearity Statistics	
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			Tolerance	VIF
		B	Std. Error	Beta				
1	PL	75.307	2.819	.971	26.715	.000	1.000	1.000
2	PL	47.419	5.262	.611	9.011	.000	.165	6.069
	PP	70.326	12.127	.393	5.799	.000	.165	6.069
3	PL	75.327	7.927	.971	9.502	.000	.052	19.251
	PP	104.651	13.051	.585	8.019	.000	.102	9.823
	MC	-14.121	3.319	-.550	-4.254	.000	.032	30.795
4	PL	70.072	4.543	.903	15.424	.000	.051	19.545
	PP	68.808	8.340	.385	8.250	.000	.081	12.402
	MC	-80.605	7.302	-3.138	-11.039	.000	.002	460.693
	FW	65.150	6.912	2.847	9.426	.000	.002	520.325
5	PL	67.964	4.371	.876	15.551	.000	.049	20.324
	PP	64.014	8.105	.358	7.898	.000	.076	13.161
	MC	-84.334	7.053	-3.283	-11.957	.000	.002	482.953
	FW	69.395	6.745	3.033	10.289	.000	.002	556.673
	T	207.730	84.342	.035	2.463	.018	.794	1.259

a. Dependent Variable: LSCV

b. Linear Regression through the Origin

ง -3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย (Compositional analysis) ไม่ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

ตารางที่ ง-3.1 สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary, Compositional analysis) ไม่ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

Model Summary^c

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.943 ^a	.889	.887	137.37600	.889	345.009	1	43	.000
2	.948 ^b	.899	.894	132.63285	.010	4.130	1	42	.048

a. Predictors: (Constant), MC

b. Predictors: (Constant), MC, T

c. Dependent Variable: LSCV

ตารางที่ ง-3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA, Compositional analysis) ไม่ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6511060.431	1	6511060.431	345.009	.000 ^b
	Residual	811503.087	43	18872.165		
	Total	7322563.518	44			
2	Regression	6583721.694	2	3291860.847	187.128	.000 ^c
	Residual	738841.824	42	17591.472		
	Total	7322563.518	44			

a. Dependent Variable: LSCV

b. Predictors: (Constant), MC

c. Predictors: (Constant), MC, T

ตารางที่ ง-3.3 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient, Compositional analysis) ไม่ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	7000.420	293.468		23.854	.000	
	MC	-86.757	4.671	-.943	-18.574	.000	1.000
2	(Constant)	6947.244	284.541		24.416	.000	
	MC	-86.144	4.520	-.936	-19.060	.000	.996
	T	159.926	78.690	.100	2.032	.048	.996

a. Dependent Variable: LSCV

ง-4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย
(Proximate analysis) ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

ตารางที่ ง-4.1 สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary, Proximate analysis) ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

Model Summary^{e,f}

Model	R	R Square ^b	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.991 ^a	.981	.981	223.67474	.981	2298.920	1	44	.000
2	.995 ^c	.990	.989	167.39312	.009	35.562	1	43	.000
3	.997 ^d	.993	.993	138.98840	.003	20.372	1	42	.000

a. Predictors: C

b. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.

c. Predictors: C, MC

d. Predictors: C, MC, A

e. Dependent Variable: LSCV

f. Linear Regression through the Origin

ตารางที่ ง-4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA, Proximate analysis) ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

ANOVA^{a,b}

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
1	Regression Residual Total	115015853.558 2201337.195 117217190.754 ^d	1 44 45	115015853.558 50030.391	2298.920	.000 ^c
2	Regression Residual Total	116012311.177 1204879.576 117217190.754 ^d	2 43 45	58006155.589 28020.455	2070.136	.000 ^c
3	Regression Residual Total	116405844.207 811346.546 117217190.754 ^d	3 42 45	38801948.069 19317.775	2008.614	.000 ^f

a. Dependent Variable: LSCV

b. Linear Regression through the Origin

c. Predictors: C

d. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.

e. Predictors: C, MC

f. Predictors: C, MC, A

ตารางที่ ง-4.3 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient, Proximate analysis) ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

Coefficients^{a,b}

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics		
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF	
1 C	49.092	1.024	.991	47.947	.000	1.000	1.000	
2	C	70.485	3.668	1.422	19.215	.000	.044	22.918
	MC	-11.338	1.901	-.441	-5.963	.000	.044	22.918
3	C	69.889	3.049	1.410	22.924	.000	.044	22.962
	MC	-16.922	2.006	-.659	-8.437	.000	.027	36.993
	A	72.763	16.121	.236	4.513	.000	.060	16.642

a. Dependent Variable: LSCV

b. Linear Regression through the Origin

ง-5 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย (Proximate analysis) ไม่ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

ตารางที่ ง-5.1 สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary, Proximate analysis) ไม่ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	.943 ^a	.889	.887	137.37600	.889	345.009	1	43	.000

a. Predictors: (Constant), MC

b. Dependent Variable: LSCV

ตารางที่ ง-5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA, Proximate analysis) ไม่ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	6511060.431	1	6511060.431	345.009	.000 ^b
Residual	811503.087	43	18872.165		
Total	7322563.518	44			

a. Dependent Variable: LSCV

b. Predictors: (Constant), MC

ตารางที่ ง-5.3 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient, Proximate analysis) ไม่ผ่านจุดกำเนิด (0,0)

Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics		
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF	
	1	(Constant)	7000.420			293.468		23.854
	MC	-86.757	4.671	-.943	-18.574	.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: LSCV

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิมลวรรณ หวังรุ่งทรัพย์ เกิดวันที่ 10 มีนาคม 2530 ที่จังหวัดสุโขทัย เป็นบุตรของ นายยงศักดิ์ หวังรุ่งทรัพย์ และนางสุภาพร หวังรุ่งทรัพย์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2551 และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตปีการศึกษา 2552 สาขาวิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2555 ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ เรื่อง “ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโรงอาหารหอพักนิสิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 12 ณ โรงแรมพลูแมน ขอนแก่น ราชอาณาจักรคิด ระหว่างวันที่ 27 - 29 มีนาคม 2556