

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานคร
โดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น



นายณัฐวุฒิ แสนอำนวยผล

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

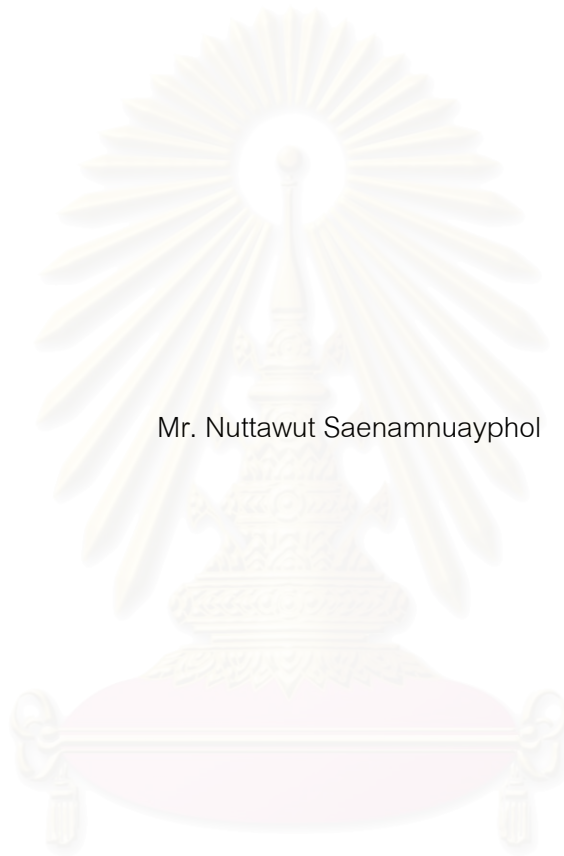
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6405-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MATHEMATICAL MODEL OF THE CALORIFIC VALUE OF MUNICIPAL SOLID WASTE
IN BANGKOK USING MULTIPLE LINEAR REGRESSION ANALYSIS



Mr. Nuttawut Saenamnuayphol

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6405-7

ณัฐวุฒิ แสนอำนวยผล : แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานคร โดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น. (MATHEMATIC MODEL OF THE CALORIFIC VALUE OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN BANGKOK USING MULTIPLE LINEAR REGRESSION ANALYSIS). อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์, จำนวนหน้า 147 หน้า. ISBN 974-17-6405-7.

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมีของมูลฝอยชุมชนที่เก็บรวบรวมจากโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุชของกรุงเทพมหานคร อันเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อนของมูลฝอยชุมชนโดยตรง สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย โดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น เพื่อนำไปใช้พยากรณ์ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นสำหรับใช้ในการออกแบบและการดำเนินการเตาเผามูลฝอย

ผลการศึกษาดูตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 60 ตัวอย่าง ระหว่างวันที่ 1 กรกฎาคม 2546 ถึง 28 มีนาคม 2547 พบว่าองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยประกอบด้วยเศษอาหารร้อยละ 44.08 กระดาษร้อยละ 14.78 พลาสติก ร้อยละ 20.20 หนักร้อยละ 0.90 ฝ้ายร้อยละ 3.46 ไม้และใบไม้ร้อยละ 7.77 แก้วร้อยละ 3.33 โลหะร้อยละ 1.34 หินและเซรามิกร้อยละ 2.33 ของเสียอันตรายร้อยละ 0.21 และประเภทอื่น ๆ ร้อยละ 1.60 โดยน้ำหนักเปียก ลักษณะสมบัติทางเคมีประกอบด้วยปริมาณความร้อน (Lower Solid Calorific Value: LSCV) เท่ากับ 1,578 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ปริมาณความชื้น (Moisture Content: MC) เท่ากับร้อยละ 62.29 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile Solid: VS) เท่ากับร้อยละ 33.37 และปริมาณเถ้า (Ash) เท่ากับร้อยละ 4.34 และองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 44.70 ไฮโดรเจนร้อยละ 2.22 ออกซิเจนร้อยละ 46.32 ส่วนที่เหลือประกอบด้วย ไนโตรเจนร้อยละ 1.75 และซัลเฟอร์ร้อยละ 0.67 โดยน้ำหนักแห้ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สร้างขึ้นโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ด้วยวิธี stepwise ที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพแบ่งออกเป็น 2 แบบจำลอง คือ 1) $LSCV = 4852.73 - 59.01MC + 17.6P$ (S.D. = 142.73 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม) และ 2) $LSCV = 4407.73 - 59.77MC + 23.08P + 6.63B$ (S.D. = 149.18 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับลักษณะสมบัติทางเคมี คือ $LSCV = 71.08VS - 797.77$ (S.D. = 144.54 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม) และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมี คือ $LSCV = 1079.71H + 233.27N - 21.6C$ (S.D. = 386.44 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม) ซึ่งพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าความร้อน มีค่าสูงมาก และค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของคาร์บอนติดลบซึ่งไม่ตรงกับความเป็นจริง จึงไม่แนะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีให้นำไปใช้พยากรณ์ค่าความร้อนของมูลฝอย และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพตามสมการที่ 2) มีความเหมาะสมมากที่สุดที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ค่าความร้อนของมูลฝอย เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้วมีค่าสูงสุด และมีความสะดวกในการแทนค่าสมการ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อ.....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2547	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470304821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: MUNICIPAL SOLID WASTE / INCINERATION / CALORIFIC VALUE /

MULTIPLE LINEAR REGRESSION

NUTTAWUT SAENAMNUAYPHOL : MATHEMATICAL MODEL OF THE CALORIFIC VALUE OF MUNICIPAL SOLID WASTE IN BANGKOK USING MULTIPLE LINEAR REGRESSION ANALYSIS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THARES SRISATIT, Ph.D., 147 pp. ISBN 974-17-6405-7.

The objective of the research is to study physical and chemical characteristics of municipal solid waste (MSW) from On-nuch disposal factory of Bangkok. Consequently, mathematic models of calorific values, according to physical composition, chemical characteristic and chemical composition, were analysed by stepwise method of multiple linear regression. The model can be used for forecasting existence calorific value, which is useful for incinerator design and operation

The study of 60 samples between 1 July 2003 and 28 March 2004, it was indicated that the physical composition of MSW were of food 44.08%, paper 14.78%, plastic 20.20%, rubber&leather 0.9%, textile 3.46%, garden trimming 7.77%, glass 3.33%, metal 1.34%, stone&ceramic 2.33%, hazardous waste 0.21% and other 1.60% by wet weight. Additional chemical characteristics of MSW instituted with Lower Solid Calorific Value (LSCV) = 1,578 kcal/kg, Moisture Content (MC) 62.29%, Volatile Solid (VS) 33.37% and ash 4.34%, while chemical compositions included carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen and sulfur that their portions by dry weight were 44.70%, 2.22%, 46.32%, 1.75% and 0.67%, respectively.

Calorific models were originated by using multiple linear regression analysis at level of confidence, 0.95. There are two compositional models, one proximate model and one ultimate model, which are 1) $LSCV = 4852.73 - 59.01MC + 17.6P$ (S.D. = 142.73 kcal/kg) and 2) $LSCV = 4407.73 - 59.77MC + 23.08P + 6.63B$ (S.D. = 149.18 kcal/kg) 3) $LSCV = 71.08VS - 797.77$ (S.D. = 144.54 kcal/kg) and 4) $LSCV = 1079.71H + 233.27N - 21.6C$ (S.D. = 386.44 kcal/kg), respectively. Consequently, ultimate model is not suggested for forecasting calorific of MSW because it has very high standard deviation (S.D.) and carbon coefficient is negatively contributed to calorific value. However compositional model following equation 2) is the best regression model for forecasting calorific of MSW because it has the highest adjusted R^2 and conveniently foretells calorific of MSW

Department Environmental Engineering Student's signature.....

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2547 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความอนุเคราะห์ ชี้แนะ ส่งเสริม และสนับสนุนทุกสิ่งอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการจัดทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิจัยตลอดมาจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้แก่รองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว อาจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้คำปรึกษา และความรู้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณผู้อำนวยการกองวิชาการและแผนงาน และหัวหน้าฝ่ายโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช สำนักรักษาความสะอาด ในการอนุเคราะห์ให้เก็บตัวอย่างมูลฝอย และให้ใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณคุณคุณสำรวย – พร บุญเพ็ง และคุณสมร ชัยเลิศ ที่ช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดการเก็บตัวอย่างมูลฝอย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณอาจารย์จันทวรรณ ต้นเจริญ ที่ได้ให้คำแนะนำการทดลองในงานวิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลือในเรื่องการติดต่อประสานงาน

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอกในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐของทบวงมหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2546

ขอขอบคุณคุณมานอชญ์ ศรีเสรีนุวัฒน์ คุณนฤมล ไตรพัฒน์ พี่เหนี่ยว จอย แนน คู่ เกตุ ต่าย ไบ้ต และฝ่าย ที่คอยช่วยเหลือทุกสิ่งทุกอย่าง ให้คำปรึกษา กำลังใจ และช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา – มารดา ญาติพี่น้อง ที่ให้การอบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจ และชี้แนะหนทางที่ดีเสมอให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	4
2.1 มวลฝอยชุมชน.....	4
2.1.1 ความหมายของมวลฝอยชุมชน.....	4
2.1.2 คุณสมบัติของมวลฝอย.....	4
2.1.3 แหล่งกำเนิดมวลฝอย.....	9
2.2 การเผาไหม้มวลฝอย.....	10
2.2.1 การเผาผลาญในเตาเผา.....	10
2.2.2 กระบวนการความร้อนสำหรับการเผาไหม้.....	11
2.2.3 ขั้นตอนการกำจัดมวลฝอยโดยวิธีการเผาไหม้.....	13
2.3 ค่าความร้อน.....	15
2.3.1 แคลอรีมีทรี.....	15
2.3.2 ค่าความร้อน.....	16
2.3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่เคยมีผู้ศึกษามาก่อน.....	17
2.4 การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น.....	20
2.4.1 รูปแบบของสมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น.....	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 ความหมายของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน.....	20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 แผนการวิจัย.....	25
3.1.1 ลำดับขั้นตอนการวิจัย.....	25
3.1.2 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา.....	25
3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	27
3.1.4 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	27
3.2 การดำเนินการวิจัย.....	28
3.2.1 รวบรวมข้อมูล และวางแผนการวิจัย.....	28
3.2.2 ศึกษา สํารวจ และรวบรวมข้อมูลสภาพโดยทั่วไป.....	30
3.2.3 วิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของมูลฝอย.....	30
3.2.4 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน.....	35
3.2.5 ตรวจสอบสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	37
3.2.6 สรุปผลการวิจัย.....	37
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์.....	38
4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของมูลฝอย.....	38
4.1.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย.....	38
4.1.2 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอย.....	40
4.1.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย.....	41
4.2 ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน.....	44
4.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ.....	44
4.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะสมบัติทางเคมี.....	54
4.2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางเคมี.....	59
4.3 ตรวจสอบสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน.....	65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1 ตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบ ทางกายภาพ.....	65
4.3.2 ตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะสมบัติ ทางเคมี.....	68
4.3.2 ตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบ ทางเคมี.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	72
5.1.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย.....	72
5.1.2 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอย.....	72
5.1.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย.....	73
5.1.4 ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน.....	73
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
รายการอ้างอิง.....	76
บรรณานุกรม.....	79
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น และสหสัมพันธ์.....	81
ภาคผนวก ข รายชื่อเขตของกรุงเทพมหานครที่ถูกรับบริการเก็บมูลฝอย นำมารวบรวมที่โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช.....	87
ภาคผนวก ค ขั้นตอนและรายละเอียดการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของมูลฝอย.....	89
ภาคผนวก ง ผลการสอบกลับค่าความร้อนของ Benzoic acid.....	97
ภาคผนวก จ ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระแต่ละตัวเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ค่าความร้อน.....	100

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ฉ เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีตามประเภทของมูลฝอย.....	113
ภาคผนวก ช ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพของตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 60 ตัวอย่าง.....	115
ภาคผนวก ซ ข้อมูลลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 60 ตัวอย่าง.....	131
ภาคผนวก ฌ ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 60 ตัวอย่าง.....	136
ภาคผนวก ฎ ตัวอย่างใบบันทึกข้อมูลตัวอย่างมูลฝอย.....	141
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	147



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี งบประมาณ 2534 – 2543.....	7
ตารางที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางเคมีของมูลฝอยกรุงเทพมหานครระหว่างปีงบประมาณ 2534 – 2543.....	7
ตารางที่ 2.3 แหล่งกำเนิดมูลฝอยภายในชุมชน.....	9
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบปริมาณมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดมูลฝอย ระหว่างปี 2540-2542.....	26
ตารางที่ 3.2 แผนการเก็บตัวอย่างมูลฝอยทั้งหมด 60 ตัวอย่าง.....	29
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยชุมชน.....	39
ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอยชุมชน.....	41
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยชุมชน.....	42
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	45
ตารางที่ 4.5 ค่าสถิติพรรณนา (Compositional Analysis I).....	46
ตารางที่ 4.6 สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary ^c , Compositional Analysis I).....	47
ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA ^c , Compositional Analysis I).....	47
ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient ^a , Compositional Analysis I).....	48
ตารางที่ 4.9 ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	50
ตารางที่ 4.10 ค่าสถิติพรรณนา (Compositional Analysis II).....	51
ตารางที่ 4.11 สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary ^d , Compositional Analysis II)....	52
ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA ^c , Compositional Analysis II).....	52
ตารางที่ 4.13 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient ^a , Compositional Analysis II).....	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.14	ข้อมูลลักษณะสมบัติทางเคมีสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	55
ตารางที่ 4.15	ค่าสถิติพรรณนา (Proximate Analysis).....	56
ตารางที่ 4.16	สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary ^b , Proximate Analysis).....	56
ตารางที่ 4.17	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA ^b , Proximate Analysis).....	57
ตารางที่ 4.18	ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient ^a , Proximate Analysis).....	58
ตารางที่ 4.19	ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	60
ตารางที่ 4.20	ค่าสถิติพรรณนา (Ultimate Analysis).....	61
ตารางที่ 4.21	สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary ^d , Ultimate Analysis).....	61
ตารางที่ 4.22	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA ^d , Ultimate Analysis).....	62
ตารางที่ 4.23	ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient ^a , Ultimate Analysis).....	63
ตารางที่ 4.24	ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทาง กายภาพตามสมการที่ 4.1.....	66
ตารางที่ 4.25	ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทาง กายภาพตามสมการที่ 4.2.....	67
ตารางที่ 4.26	ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะสมบัติ ทางเคมีตามสมการที่ 4.3.....	69
ตารางที่ 4.26	ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบ ทางเคมีตามสมการ 4.4.....	70

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การจำแนกชนิดของมูลฝอยตามแหล่งที่เกิด.....	8
รูปที่ 2.2 ประเภทของกระบวนการความร้อน.....	11
รูปที่ 2.3 เทอร์โมกราฟที่ได้จากการทดลอง Bomb calorimeter.....	15
รูปที่ 2.4 ระดับของค่าความร้อนประเภทต่างๆ.....	16
รูปที่ 2.5 คุณสมบัติของมูลฝอยที่สามารถเผาไหม้ได้โดยไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงเสริมช่วย.....	19
รูปที่ 3.1 แผนผังการใช้พื้นที่ของโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช.....	26
รูปที่ 3.2 ลักษณะมูลฝอยที่รอการขนย้ายไปฝังกลบ.....	30
รูปที่ 3.3 ลักษณะการกองมูลฝอยให้เป็นรูปกรวยก่อนที่แบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน.....	31
รูปที่ 3.4 การแบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน และเลือกมูลฝอยเอามา 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้าม.....	31
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติมูลฝอย.....	32
รูปที่ 3.6 เครื่อง Bomb calorimeter.....	33
รูปที่ 3.7 เครื่องมือย่อยและวิเคราะห์ไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ.....	34
รูปที่ 4.1 ลักษณะการคัดแยกมูลฝอยออกเป็นประเภท.....	38
รูปที่ 4.2 ลักษณะมูลฝอยที่ผ่านการบดแล้วนำมาผสมกันตามสัดส่วนองค์ประกอบ ทางกายภาพของมูลฝอย.....	42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่กำลังทวีความรุนแรงมากขึ้นปัญหาหนึ่งคือปัญหาการเพิ่มขึ้นของปริมาณมูลฝอย ที่ได้เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากร และการเติบโตทางเศรษฐกิจ ปี พ.ศ.2547 กรุงเทพมหานครมีปริมาณมูลฝอยมากกว่า 9,000 ตัน/วัน รูปแบบการจัดการมูลฝอยเหล่านี้คือทำสัญญาว่าจ้างให้บริษัทเอกชนดำเนินการกำจัดมูลฝอยโดยวิธีฝังกลบ ซึ่งการจัดการที่ดินในบริเวณเมืองเพื่อใช้เป็นที่สำหรับกำจัดมูลฝอยทำได้ยากขึ้น เนื่องจากที่ดินมีราคาสูงขึ้น และถูกต้องด้านจากชุมชนที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง ดังนั้นแนวทางการกำจัดมูลฝอยของกรุงเทพมหานครจึงหันมาให้ความสนใจใช้วิธีการกำจัดมูลฝอยโดยใช้เตาเผาขนาดใหญ่อย่างมาก ซึ่งวิธีการนี้สามารถลดปริมาตรมูลฝอยได้ในสัดส่วนที่สูงถึงร้อยละ 80 - 90 ของปริมาตรมูลฝอยสด นอกจากนี้ยังสามารถนำพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้มาผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกด้วย

ข้อมูลสำคัญสำหรับการดำเนินการและการออกแบบเตาเผามูลฝอยคือ ค่าความร้อนของมูลฝอย ซึ่งปัจจุบันมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 แบบที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความร้อน โดยขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ คือ 1.การวิเคราะห์ที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางกายภาพ (Physical composition analysis) 2.การวิเคราะห์ที่ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติทางเคมี (Proximate analysis) และ 3.การวิเคราะห์ที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี (Ultimate analysis) แต่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สอดคล้องกับวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอย และองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้การวิเคราะห์แบบความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นเพื่อให้ได้ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนทั้ง 3 ประเภท นำผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่ได้ไปพยากรณ์ค่าความร้อนให้ใกล้เคียงกับค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุดสำหรับประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยชุมชนที่เก็บรวบรวมจากโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช ของกรุงเทพมหานคร

1.2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของมูลฝอยชุมชนให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 มูลฝอยชุมชนที่ทำการศึกษาเป็นมูลฝอยที่เก็บรวบรวมจากโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช ของกรุงเทพมหานคร

1.3.2 ศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี องค์ประกอบทางเคมี และค่าความร้อนของมูลฝอย

1.3.3 ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์

ตัวแปรอิสระ คือ

- องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย ได้แก่ สัดส่วนน้ำหนักของมูลฝอยประเภทเศษอาหาร กระดาษ พลาสติก หนังและยาง ผ้า และไม้และใบไม้
- ลักษณะสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ และปริมาณเถ้า
- องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย ได้แก่ ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์

ตัวแปรตาม คือ ค่าปริมาณความร้อน (Lower Solid Calorific Value, LSCV)

1.3.4 ใช้สมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าตัวแปร ดังนี้

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

เมื่อ

Y = ตัวแปรตาม

(ค่าปริมาณความร้อน(LSCV), kg/kcal)

X_1, X_2, \dots, X_k = ตัวแปรอิสระ

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k =$ ค่าคงที่ (สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน)

$\varepsilon_i =$ ความคลาดเคลื่อน (Error)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานคร

1.4.2 เป็นข้อมูลพื้นฐาน และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนสำหรับการคาดการณ์ค่าความร้อนของมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานครอันจะนำไปสู่การออกแบบ และดำเนินการเผามูลฝอยในเตาเผามูลฝอยต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 มูลฝอยชุมชน (Municipal Solid Waste)

2.1.1 ความหมายของมูลฝอยชุมชน

มูลฝอยชุมชน หมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร ถัง วัสดุ หรือซากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่นๆ (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2535)

มูลฝอยชุมชน หมายถึง มูลฝอยเปียก (Garbage) มูลฝอยแห้ง (Refuse) ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียหรือระบบประปาหรือจากระบบบำบัดอากาศเสีย วัสดุที่ทิ้งอยู่ในรูปของของแข็งของเหลว ของกึ่งเหลว หรือภาชนะบรรจุก๊าซจากอุตสาหกรรม ของเหลือทิ้งจากกิจกรรมการทำเหมืองแร่ การเกษตร หรือกิจกรรมของชุมชน (RCRA, 1984 อ้างถึงใน Chandler et al., 1997)

มูลฝอยชุมชน หมายถึง มูลฝอยที่เกิดจากแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งธุรกิจ (เช่น สำนักงาน ร้านค้า ภัตตาคาร เป็นต้น) และจากสถานที่ราชการ (เช่น โรงพยาบาล โรงเรียน เป็นต้น) แต่ไม่รวมเศษวัสดุก่อสร้าง ชิ้นส่วนรถยนต์ และมูลฝอยติดเชื้อ (OTA, 1989 อ้างถึงใน Chandler et al., 1997)

2.1.2 คุณสมบัติของมูลฝอย

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของมูลฝอยจะทำการวิเคราะห์เพื่อนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในการวางแผนระบบการจัดการ ซึ่งแบ่งได้ 3 คุณสมบัติ (สุณี ปิยะพันธุ์พงศ์, 2536) ดังนี้

1) คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical characteristic)

- องค์ประกอบทางกายภาพ (Physical composition)
- ความหนาแน่น (Density)

2) คุณสมบัติทางเคมี (Chemical characteristic)

- ความชื้น (Moisture content)
- ปริมาณของแข็งรวม (Total solid)
- ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile solid)
- ปริมาณเถ้า (Ash content)
- ค่าความร้อน (Calorific value)

- ปริมาณธาตุคาร์บอน (Carbon, C)
- ปริมาณธาตุไฮโดรเจน (Hydrogen, H)
- ปริมาณธาตุไนโตรเจน (Nitrogen, N)
- ปริมาณธาตุกำมะถัน (Sulfur, S)
- ฯลฯ

3) คุณสมบัติทางชีวภาพ (Biological characteristic)

2.1.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical characteristic)

1) องค์ประกอบทางกายภาพ (Physical composition) นิยมจำแนกตามชนิดของสิ่งต่างๆ ที่ประกอบขึ้นมาเป็นมูลฝอยทั้งหมด โดยแบ่งเป็นมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ (Combustible) เช่น กระดาษ ผ้า เศษอาหาร ผัก ไม้ ห้าง พลาสติก ฯลฯ และมูลฝอยที่เผาไหม้ไม่ได้ (Noncombustible) เช่น โลหะ แก้วกระเบื้อง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้ อาจถูกแบ่งออกตามสัดส่วนโดยน้ำหนักหรือโดยปริมาณก็ได้ แต่ส่วนใหญ่มักนิยมแบ่งตามสัดส่วนโดยน้ำหนักมากกว่า ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางกายภาพจะสามารถนำไปประกอบการเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการเก็บกัก เก็บขน การนำกลับมาใช้ประโยชน์ และการกำจัดขั้นสุดท้าย นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ประเมินค่าความร้อน (Calorific value) ของมูลฝอยได้

2) ความหนาแน่น (Density) คือสัดส่วนของน้ำหนักมูลฝอยต่อปริมาตรที่มูลฝอยนั้นบรรจุอยู่ในภาชนะต่างๆ กัน โดยทั่วไปแบ่งเป็นความหนาแน่นปกติ (Bulk density) คือความหนาแน่นในภาวะปกติโดยไม่มีการอัดหรือบีบมูลฝอย เช่น มูลฝอยที่บรรจุอยู่ในภาชนะทั่วไป และความหนาแน่นในขณะขนส่ง (Transported density) คือค่าความหนาแน่นของมูลฝอยในรถยนต์เก็บขนขณะขนส่ง ซึ่งจะมีค่ามากขึ้น เนื่องจากการสั่นสะเทือนและการกดอัดของเจ้าหน้าที่เก็บขนหรือน้ำหนักของมูลฝอยเอง ซึ่งค่าความหนาแน่นของมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย เช่น มูลฝอยจากเศษอาหาร จะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่ามูลฝอยพวกกระดาษหรือพลาสติก

2.1.2.2 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical characteristic)

1) ความชื้น (Moisture content) หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในมูลฝอย โดยทั่วไป ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมูลฝอยจะแยกได้เป็น

- น้ำที่มีอยู่ภายในตัวมูลฝอยเอง (Inherent water) เช่น น้ำที่มีอยู่ในพืช ผัก เศษอาหาร ซึ่งมีอยู่ประมาณ 1/2 ถึง 2/3 ของปริมาณน้ำทั้งหมด
- น้ำที่ติดอยู่ภายนอก (Attached water) เช่น น้ำฝนที่ออกมาจากเศษอาหาร ซึ่งมีประมาณ 1/3 ถึง 1/2 ของปริมาณน้ำทั้งหมด

2) ปริมาณของแข็งรวม (Total solid) หมายถึง ปริมาณมูลฝอยแห้งที่เหลือจากการเอาน้ำออกไปหมดแล้ว

3) ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile solid) หมายถึง ส่วนของมูลฝอยที่สามารถติดไฟหรือเผาไหม้ที่ความร้อนสูงให้หมดไปโดยแปลงสภาพเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และไอน้ำ

4) ปริมาณเถ้า (Ash) หมายถึง กากของมูลฝอยที่เหลือจากการเผาไหม้

5) ค่าความร้อน (Calorific value) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่เกิดจากมูลฝอยโดยให้สันดาปกับอากาศ ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในการพิจารณาเลือกวิธีการกำจัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการเผาว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ เนื่องจากมูลฝอยที่มีค่าความร้อน (LSCV) ต่ำกว่า 800 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม จะต้องใช้เชื้อเพลิงช่วยในการเผาด้วยทำให้สิ้นเปลือง (สุทิน, 2531 อ้างถึงใน ยุทธนา เรืองเดชบุญฤทธิ์, 2539) โดยมูลฝอยของกรุงเทพมหานครมีค่าความร้อน (LSCV) ประมาณ 1,100 - 1,500 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม (สำนักรักษาความสะอาด, 2541) นอกจากนี้ค่าความร้อนของมูลฝอยยังใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเตาเผา และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องด้วย

6) องค์ประกอบด้านเคมี (Chemical composition) ได้แก่ ปริมาณธาตุคาร์บอน (Carbon, C) ไฮโดรเจน (Hydrogen, H) ไนโตรเจน (Nitrogen, N) และกำมะถัน (Sulfur, S) เป็นต้น ข้อมูลองค์ประกอบด้านเคมีส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในการเลือก และออกแบบระบบกำจัดมูลฝอย เช่น ใช้ในการคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้ในเตาเผา มูลฝอย ใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนของมูลฝอย ตลอดจนใช้หาสัดส่วนของคาร์บอน และไนโตรเจน (C/N ratio) และปริมาณสารอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นส่วนสำคัญของการทำปุ๋ยหมัก

2.1.2.3 คุณสมบัติทางชีวภาพ (Biological characteristic)

ปริมาณและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ (Microorganisms) ที่ปะปนอยู่ในมูลฝอย ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส ซึ่งบางชนิดอาจทำให้เกิดโรคได้ (Pathogenic) บางชนิดไม่ทำให้เกิดโรค (Non-pathogenic) บางชนิดเป็นตัวช่วยให้มูลฝอยเกิดการย่อยสลายได้ดี เช่น Decomposition bacteria เป็นต้น

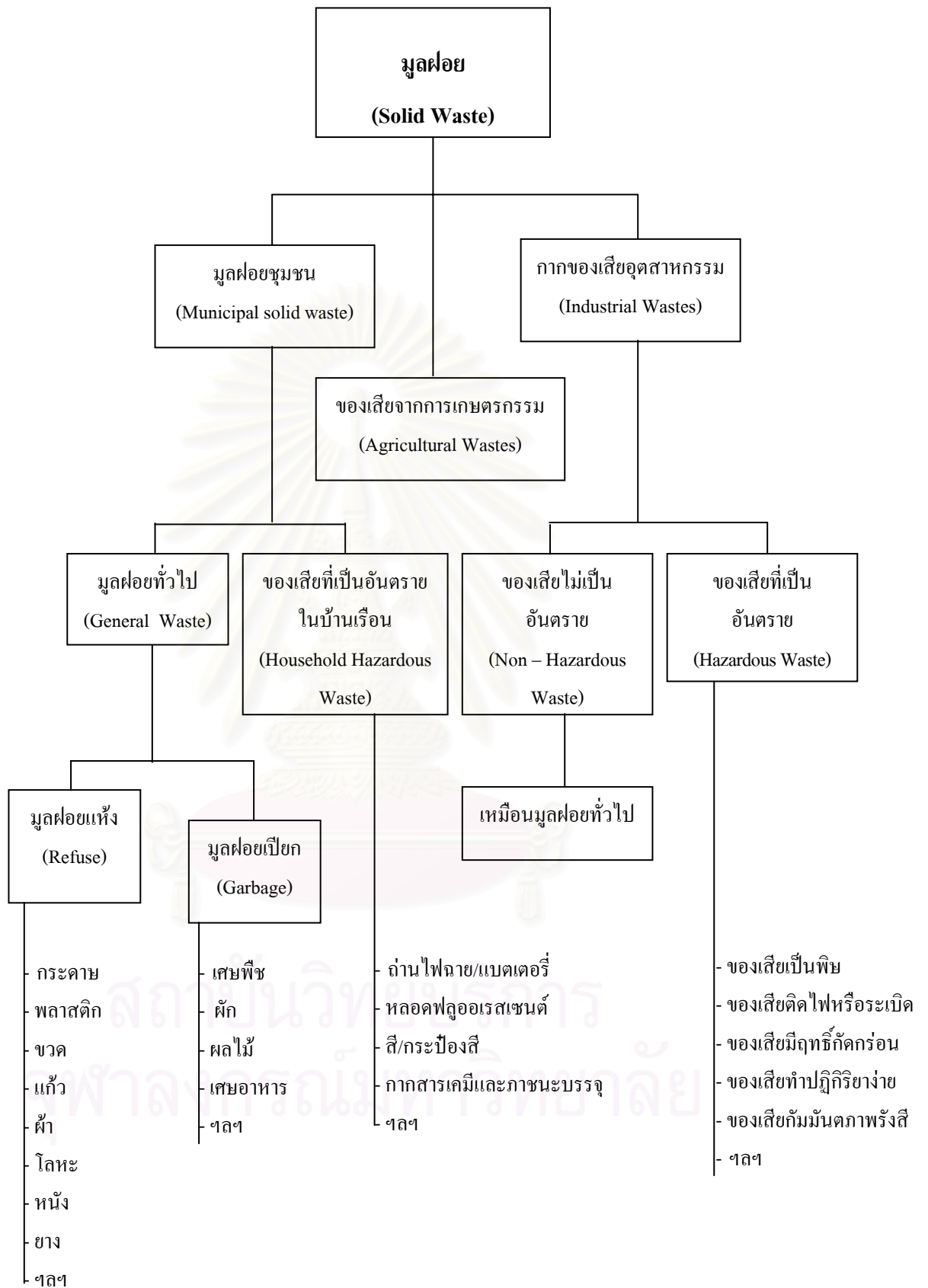
คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร ในปี 2536 - 2545 แสดงได้ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ และลักษณะการจำแนกมูลฝอยแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี
งบประมาณ 2536 – 2545 (สำนักวิชาความสะอาด, 2545) หน่วย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

องค์ประกอบ	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545
ประเภทที่เผาไหม้ได้	59.30	59.52	62.87	72.13	85.66	85.96	91.87	88.67	88.50	83.60
กระดาษ	15.40	13.99	14.49	11.25	11.39	11.58	9.57	8.66	8.58	13.58
ผ้าและสิ่งทอ	4.50	3.49	1.95	7.34	6.17	3.71	11.01	6.43	4.00	4.58
พลาสติกและโฟม	16.02	20.66	18.72	19.06	17.43	19.80	25.84	19.47	19.41	20.76
ไม้และใบไม้	4.24	5.89	5.39	2.98	5.77	14.51	7.89	6.77	7.52	6.59
เศษอาหาร	15.76	14.72	20.72	28.74	44.28	35.54	35.41	46.88	46.92	34.16
กระดุกและเปลือกหอย	1.21	0.62	0.78	0.40	0.00	0.00	0.00	0.35	1.29	1.74
หนังและยาง	2.17	0.15	0.82	2.36	0.62	0.82	2.15	0.11	0.78	2.19
ประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้	7.78	7.75	6.91	9.94	6.67	6.17	2.63	4.57	4.94	7.83
โลหะ	2.52	2.00	1.28	2.76	2.30	2.00	0.96	1.49	1.64	2.18
แก้ว	4.65	4.64	3.86	6.72	4.47	4.17	1.67	2.57	2.30	5.07
หินและเซรามิค	0.61	1.11	1.77	0.46	0.00	0.00	0.00	0.51	1.00	0.58
อื่นๆที่มีเล็กกว่า 10มม.	32.92	32.73	30.22	17.93	7.57	7.87	5.50	6.76	6.56	8.57
รวม	100	100	100	100	100	100	100	100	100.00	100.00

ตารางที่ 2.2 ค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอยกรุงเทพมหานครระหว่างปีงบประมาณ
2536 – 2545 (สำนักวิชาความสะอาด, 2545)

คุณสมบัติ	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545
ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลิตร)	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
ปริมาณสารที่เผา ไหม้ได้ (%)	36.07	33.95	38.89	39.26	34.25	32.57	38.82	33.13	39.90	-
ปริมาณถ่าน (%)	16.67	17.13	11.40	11.63	10.63	11.43	8.42	6.41	10.64	-
ปริมาณความร้อน (กิโลแคลอรี/ กิโลกรัม)	1337	1325	1452	1472	1211	1131	1430	1130	1678	1946



รูปที่ 2.1 การจำแนกชนิดของมูลฝอยตามแหล่งที่เกิด (ธเรศ ศรีสถิตย์, 2547)

2.1.3 แหล่งกำเนิดมูลฝอย

แหล่งกำเนิดมูลฝอยโดยปกติจะมีความสัมพันธ์กับประเภทของพื้นที่ที่ใช้สอยโดยตรง ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

- 1) ที่อยู่อาศัย
- 2) พาณิชยกรรม
- 3) สถานที่ราชการ
- 4) สถานที่ก่อสร้าง
- 5) การบริการชุมชน
- 6) โรงงานบำบัดต่างๆ
- 7) อุตสาหกรรม
- 8) เกษตรกรรม

ซึ่งมูลฝอยชุมชนจะไม่รวมมูลฝอยที่มาจากแหล่งอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ประเภทของมูลฝอยตามแหล่งที่กำเนิดแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แหล่งกำเนิดและลักษณะของมูลฝอยภายในชุมชน (Tchobanoglous, Theisen and Vigil, 1993)

แหล่งกำเนิด	ลักษณะกิจกรรมหรือพื้นที่ที่กำเนิดมูลฝอย	ประเภทของมูลฝอย
ที่อยู่อาศัย	ครอบครัวเดี่ยว ครอบครัวรวม	เศษอาหาร กระดาษ พลาสติก ผ้า หนังสื เศษหญ้า ใบไม้ ไม้ แก้ว กระจก อลูมิเนียม โลหะอื่นๆ เศษมูลฝอยชนิดพิเศษ* ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน
พาณิชยกรรม	ร้านค้า ภัตตาคาร ตลาด อาคารสำนักงาน โรงแรม สถานีบริการ ร้านซ่อมเครื่องยนต์ เป็นต้น	กระดาษ กระดาษแข็ง พลาสติก เศษอาหาร แก้ว โลหะต่างๆ มูลฝอยชนิดพิเศษ* ของเสียอันตราย
สถานที่ราชการ	โรงเรียน โรงพยาบาล เรือนจำ ศาลากลางจังหวัด เป็นต้น	ประเภทมูลฝอยเหมือนกับแหล่งพาณิชยกรรม
สถานที่ก่อสร้าง	การก่อสร้างอาคาร การซ่อมและปรับปรุงถนน การซ่อมอาคาร ทางเดินที่แตกหัก	ไม้ เศษเหล็ก คอนกรีต ฝุ่นละออง เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) แหล่งกำเนิดและลักษณะของมูลฝอยภายในชุมชน (Tchobanoglous, Theisen and Vigil, 1993)

แหล่งกำเนิด	ลักษณะกิจกรรมหรือพื้นที่ ที่กำเนิดมูลฝอย	ประเภทของมูลฝอย
การบริการชุมชน	การทำความสะอาดถนน ชายหาด สวนสาธารณะ การทำ ภูมิสถาปัตยกรรม	มูลฝอยชนิดพิเศษ* ผ่นจากถนน เศษกิ่งไม้ ใบไม้ ของเสียจาก สวนสาธารณะ ชายหาด และ สถานที่พักผ่อน
โรงงานบำบัดต่างๆ	กระบวนการผลิตน้ำประปา บำบัดน้ำเสีย และอุตสาหกรรม เป็นต้น	ของเสียจากระบบบำบัด ตะกอน
อุตสาหกรรม	อุตสาหกรรมการก่อสร้าง การ ผลิตขนาดเบาและหนัก โรงกลั่น อุตสาหกรรมเคมี โรงงานผลิต ไฟฟ้า เป็นต้น	ของเสียจากกระบวนการผลิต เศษ วัสดุ เศษอาหาร ขี้เถ้า เศษจาก สิ่งก่อสร้างและการรื้อถอน มูลฝอย ชนิดพิเศษ* ของเสียอันตราย
เกษตรกรรม	การเพาะปลูก เลี้ยงสัตว์ เป็นต้น	เศษอาหารสัตว์ ของเสียจากการ- เกษตร ของเสียอันตราย

หมายเหตุ

* มูลฝอยชนิดพิเศษ ประกอบด้วย

- สิ่งของชิ้นใหญ่ เช่น เฟอร์นิเจอร์ ตู้เก็บเอกสาร ตู้เก็บหนังสือที่ชำรุดหรือ
ใช้งานไม่ได้แล้ว
- เครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น วิทยุ โทรทัศน์ เครื่องเสียงที่ชำรุดหรือใช้งานไม่ได้
แล้ว
- อื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ น้ำมัน ยางรถยนต์

2.2 การเผาไหม้มูลฝอย (Incineration)

2.2.1 การเผาไหม้มูลฝอยในเตาเผา

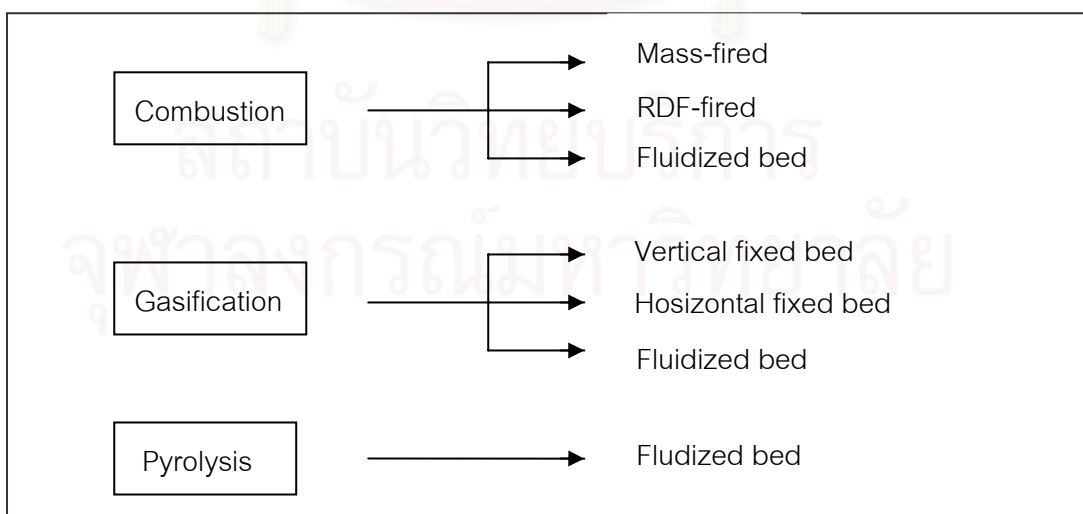
การเผาไหม้มูลฝอยเป็นการเผาไหม้มูลฝอยที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งจะต้องใช้
ความร้อนอยู่ระหว่าง 1,300 - 1,800 องศาฟาเรนไฮต์ จึงจะทำให้การเผาไหม้เป็นอย่างสมบูรณ์

เนื่องจากความแตกต่างของส่วนประกอบของมูลฝอยในแต่ละแห่ง ดังนั้นรูปแบบของเตาเผาจึงแตกต่างกันไปด้วย เป็นต้นว่าถ้าชุมชนที่มูลฝอยเผาไหม้ได้ง่าย เตาเผาที่ออกแบบเป็นเตาเผาที่ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอย่างอื่นช่วยในการเผาไหม้ แต่ถ้าส่วนประกอบของมูลฝอยมีส่วนที่เผาไหม้ได้ต่ำกว่าร้อยละ 30 (โดยน้ำหนัก) หรือมีความชื้นมากกว่าร้อยละ 50 เตาเผาที่ใช้ต้องเป็นชนิดที่ต้องมีเชื้อเพลิงช่วยในการเผาไหม้ (สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์, 2536)

นอกจากนี้เตาเผามูลฝอยทุกแบบจะต้องใช้เทคโนโลยีในการควบคุมกระบวนการเผาไหม้ ได้แก่ อุณหภูมิ ควัน ไอเสีย ผงและฝุ่นละอองที่ปนออกไปกับควันออกมาทางปล่องควัน เตาเผาที่มีประสิทธิภาพต้องลดปริมาตรมูลฝอยลงจากเดิมให้น้อยที่สุดประมาณร้อยละ 80 - 90 ของปริมาตรมูลฝอยสด และส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้นั้นจะต้องมีลักษณะคงรูป ไม่มีการย่อยสลายได้อีกต่อไป

2.2.2 กระบวนการความร้อนสำหรับการเผาไหม้

กระบวนการความร้อนสำหรับการเผาไหม้สามารถจำแนกได้ตามความต้องการปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์เรียกว่า ปริมาณอากาศสมมูลของการเผาไหม้ (Stoichiometric combustion) การเผาไหม้ที่ต้องการอากาศมากเกินไปปริมาณอากาศสมมูลของการเผาไหม้ เรียกว่า การเผาไหม้แบบใช้อากาศมาก (Excess air combustion) ส่วนการเผาไหม้ที่ต้องการอากาศน้อยกว่าปริมาณอากาศสมมูลเรียกว่า ก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification) และการเผาไหม้ที่ไม่ต้องการอากาศ เรียกว่า ไพโรไลซิส (Pyrolysis) ประเภทของระบบกระบวนการความร้อนแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ประเภทของกระบวนการความร้อน (Tchobanoglous, Theisen and Vigil, 1993)

2.2.2.1 ระบบการเผาไหม้ (Combustion system)

การเผาไหม้หมายถึงการออกซิเดชันทางเคมีด้วยปริมาณอากาศที่มากกว่าปริมาณอากาศสมมูล ผลที่ได้ คือ ก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจน ไอน้ำคาร์บอนไดออกไซด์ และสารที่เผาไหม้ไม่ได้ เช่น เถ้า ประเภทของการเผาไหม้แบ่งได้ดังนี้

1) การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นมวลมูลฝอย (Mass-fired combustion)

การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นมวลมีขั้นตอนในการเตรียมมูลฝอยเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้น้อยหรืออาจเป็นมูลฝอยที่เก็บรวบรวมแล้วนำเข้าสู่เตาเผาทันที การออกแบบอุปกรณ์ต้องระวังการเสียหายของเครื่องมือ และอันตรายของผู้ปฏิบัติงาน ค่าความร้อนของมวลเชื้อเพลิงมีค่าผันแปรอย่างมากขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ, ฤดูกาล และแหล่งกำเนิด ส่วนใหญ่ใช้ตะแกรงเพราะง่ายในการดำเนินการ เช่น ช่วยในการเคลื่อนย้ายเชื้อเพลิงไปทั่วทั้งระบบ, กวนผสม และช่วยให้อากาศไหลเวียนได้ดี

2) การเผาไหม้กากเชื้อเพลิงมูลฝอย (RDF-fired combustion)

การเผาไหม้กากเชื้อเพลิงมูลฝอยมีขั้นตอนในการเตรียมมูลฝอยเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้มาก ดังนั้นก่อนเข้าเตาเผาต้องมีระบบคัดแยก บดตัด และทำให้มูลฝอยแห้ง ซึ่งจะได้ค่าความชื้นและปริมาณเถ้าค่อนข้างคงที่ กากเชื้อเพลิงมูลฝอยสามารถทำได้ 2 ประเภท คือ แบบก้อนปุย และแบบอัดเม็ด โดยทั้ง 2 ประเภทสามารถติดไฟได้เอง ใช้แฉงตะกรับในการดำเนินการ

3) การเผาไหม้แบบฟลูอิดไดส์เบด (Fluidized bed)

การเผาไหม้แบบฟลูอิดไดส์เบดใช้ตัวกลางนำความร้อนเพื่อการเผาไหม้ เช่น ททรายหรือหินปูน (CaCO_3) เมื่อใช้หินปูนเป็นตัวกลางจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ซึ่งอยู่ในรูปเถ้า จึงเป็นข้อดีของหินปูนที่ใช้เป็นตัวกลางในการเผาไหม้ถ่านหิน

2.2.2.2 ระบบการเผาไหม้แบบก๊าซซิฟิเคชัน (Gasification system)

ระบบการเผาไหม้แบบก๊าซซิฟิเคชันเป็นการเผาไหม้บางส่วนของเชื้อเพลิงคาร์บอนเฮกซ์เปลี่ยนเป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ในรูปของคาร์บอนมอนอกไซด์, ไฮโดรเจน และไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัวโดยเฉพาะก๊าซมีเทน ก๊าซที่เกิดขึ้นสามารถใช้เผาไหม้เครื่องยนต์, เทอร์ไบน์ หรือหม้อน้ำได้ ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

1) แบบชั้นแนวตั้ง (Vertical fixed bed)

แบบชั้นแนวตั้งเป็นแบบที่ง่ายต่อการดำเนินการ และราคาถูก แต่การดำเนินการต้องการเชื้อเพลิงที่เป็นเนื้อเดียวกัน เช่น กากเชื้อเพลิงมูลฝอยแบบเป็นอัดเม็ด

ดำเนินการโดยใส่เชื้อเพลิงให้ตกลงในเตาเผาด้วยแรงโน้มถ่วงพร้อมทั้งป้อนอากาศ ซึ่งวิธีนี้ให้ค่าความร้อนที่ต่ำ

2) แบบชั้นแนวนอน (Horizontal fixed bed)

แบบชั้นแนวนอนเป็นแบบที่นิยมใช้ ประกอบด้วยการเผา 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเผาไหม้ด้วยปริมาณอากาศน้อยกว่าปริมาณอากาศสมมูล ซึ่งให้ค่าความร้อนต่ำ และเข้าสู่ส่วนที่สองซึ่งเผาไหม้ด้วยปริมาณอากาศมากกว่าปริมาณอากาศสมมูล

3) แบบฟลูอิดไดส์เบด (Fluidized bed)

แบบฟลูอิดไดส์เบดเป็นวิธีที่เหมือนกับการเผาไหม้ปกติแบบฟลูอิดไดส์เบด แต่มีการปรับปริมาณอากาศที่เข้าสู่ปฏิกรณ์ให้มีปริมาณอากาศน้อยกว่าปริมาณอากาศสมมูลเท่านั้น

2.2.2.3 ระบบการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศ (Pyrolysis system)

ระบบการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศเป็นกระบวนการทางความร้อนที่ไม่ต้องการออกซิเจน สำหรับการเผาไหม้มูลฝอยชุมชนแบบจำกัดอากาศจะทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณที่น้อย ผลผลิตที่เป็นของแข็งหรือของเหลวสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ซึ่งคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นอยู่กับประเภทของของเสียที่เข้าสู่กระบวนการ, อุณหภูมิ ความดัน และเวลาพลังงานความร้อนที่ได้รับจากภายนอกต่ำ ดังนั้นอาจต้องใช้เชื้อเพลิงเสริมช่วย การควบคุมมลพิษทางอากาศทำได้ง่าย เพราะปริมาณที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย แต่อาจมีปัญหาน้ำเสียถ้าอุณหภูมิในการดำเนินการต่ำ (Weinstein and Toro, 1976)

2.2.3 ขั้นตอนการกำจัดมูลฝอยโดยวิธีการเผาไหม้

กระบวนการทั้งหมดของการกำจัดแบ่งออกเป็น 6 ระบบ (สำนักรักษาความสะอาด, 2538) ดังนี้

1) การเผาไหม้ (Incineration process) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด

1.1 ชนิดมีแผงตะแกรง (Stoker type incineration process) ซึ่งเตาเผามูลฝอยชนิดใช้แผงตะแกรงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน

1.2 ชนิดเป็นทรงกระบอกหมุนได้ (Rotary incineration process) ในเตาเผาชนิดนี้ มูลฝอยเคลื่อนที่พร้อมๆ กับการหมุนให้เข้ากัน โดยมูลฝอยจะอยู่ในเตาเผาที่มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกหมุนได้รอบแกนในขณะที่ทำการเผา กระบอกนี้วางตัวอยู่ในแนวนอนซึ่งมีความลาดเอียงเล็กน้อย

1.3 ชนิดใช้ตัวกลางนำความร้อนเพื่อการเผาไหม้ (Fluidized bed incineration process) ทำจากแร่ควอทซ์หรือทรายแม่น้ำ ซึ่งมีขนาดของอนุภาคตัวกลางประมาณ

1 มม. ใช้ตัวกลางนำความร้อนและอากาศถูกเป่าเข้าไปเพื่อการเผาไหม้ มูลฝอยที่ถูกตัดเป็นชิ้นแล้วถูกส่งเข้าเตาก็จะถูกกวนผสมให้เข้ากัน และถูกเผาไหม้ด้วยความร้อนซึ่งทราบเป็นตัวนำมา (อุณหภูมิประมาณ 500 – 750 องศาเซลเซียส) ทำให้ความชื้นในมูลฝอยระเหยจนการเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

2) การกำจัดกากที่เหลือจากการเผาไหม้ (Residue handling process)

กากที่เหลือจากการเผาไหม้ 2 ประเภท คือ ประเภทแรก คือ เถ้าที่เหลืออยู่กับเตาเผาหรือเถ้าหนัก (bottom ash) และประเภทที่สอง คือ เถ้าลอย (fly ash) ซึ่งอยู่ในไอเสียจากการเผาไหม้ ในกรณีของเตาเผาแบบมีแผงตะแกรงและแบบถังทรงกระบอกหมุนได้ เถ้าถูกพ่นด้วยน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้เถ้าปลิวกระจัดกระจาย เถ้าซึ่งมีความชื้นเนื่องมาจากการพ่นน้ำแล้ว จะถูกเก็บไว้ในบ่อเก็บเถ้า ส่วนเถ้าลอยจะถูกกำจัดโดยใช้อุปกรณ์กำจัดฝุ่น ซึ่งมีการฉีดพ่นน้ำเพื่อป้องกันเถ้าลอยปลิวกระจัดกระจาย แล้วจึงนำไปรวมกันไว้ในบ่อเก็บเถ้าเช่นเดียวกัน เพื่อรวบรวมรถทุกชนิดไปเททิ้งต่อไป

3) การทำให้ไอเสียเย็นลง (Flue gas cooling process)

ไอเสียซึ่งเกิดจากการเผาไหม้มูลฝอยถูกเก็บเอาไว้ที่อุณหภูมิ 700 – 950 องศาเซลเซียสซึ่งยังไม่สามารถผ่านโดยตรงไปยังระบบกำจัดไอเสีย ดังนั้นจึงต้องทำให้ไอเสียเย็นลงจนมีอุณหภูมิ 250 – 300 องศาเซลเซียส เสียก่อน โดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้

3.1 ทำการพ่นน้ำโดยตรงไปยังท่อไอเสีย น้ำจะระเหยและทำให้อุณหภูมิจนของไอเสียต่ำลง

3.2 ติดตั้งหม้อต้มน้ำ เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิของไอเสียทางอ้อม

4) การกำจัดไอเสีย (Flue gas treating process)

ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ประกอบด้วยสารหลายชนิด ได้แก่ อนุภาคไฮโดรเจนคลอไรด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน เป็นต้น จะถูกนำไปบำบัดด้วยวิธีต่างๆ

5) การกำจัดน้ำเสีย (Wastewater treating process)

น้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานเผามูลฝอย เกิดจากระบบทำให้ก๊าซเย็นตัวลง ระบบกำจัดเถ้า การฉีดน้ำ บ่อรับมูลฝอย บ่อเก็บเถ้า การกำจัดก๊าซพิษ และหม้อต้มน้ำ เป็นต้น จะถูกนำไปบำบัดต่อไป ซึ่งส่วนใหญ่ใช้วิธีบำบัดทางเคมี ได้แก่ การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) และการทำให้ตกตะกอน (Coagulation) น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะนำกลับมาใช้ในโรงงานอีกในระบบทำให้ไอเสียเย็นลงหรือกระบวนการกำจัดเถ้า

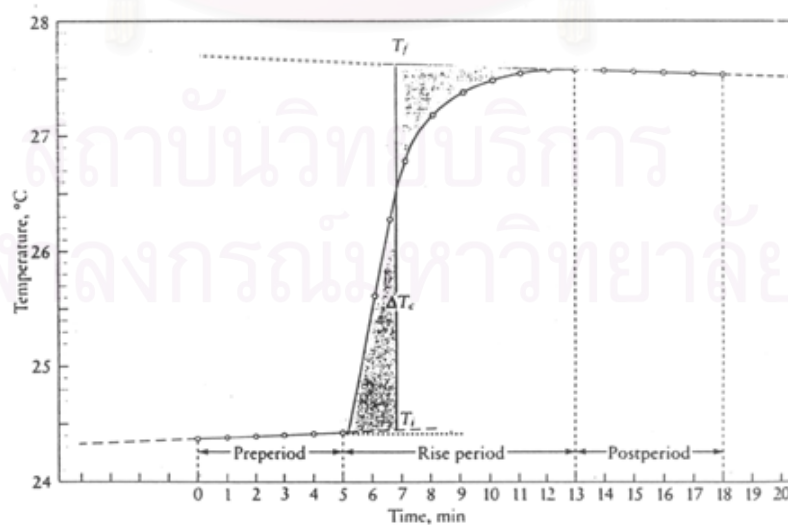
6) การใช้ความร้อนที่ได้จากการเผาผลาญให้เป็นประโยชน์ (Waste heat utilization process)

ความร้อนที่เกิดจากการเผาผลาญสามารถนำไปใช้ประโยชน์ดังนี้ คือ ผลิตกระแสไฟฟ้า ส่งน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ และส่งความร้อนไปใช้ประโยชน์ เป็นต้น

2.3 ค่าความร้อน (Calorific value)

2.3.1 แคลอริเมทรี (Calorimetry)

แคลอริเมทรีเป็นวิธีการหาค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงผสม (Vesilind, Worrell and Reinhart, 2002) เครื่องวัดค่าความร้อน (Bomb calorimeter) ประกอบด้วยลูกบอมบ์ซึ่งภายในมีพื้นที่ว่างเพื่อสำหรับนำตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักมาบรรจุ นำลวด (fuse wire) ต่อที่ขั้วไฟฟ้าสองขั้วของเครื่องโดยให้ลวดสัมผัสผิวหน้าของตัวอย่างปิดฝาให้เรียบร้อยแล้วบรรจุก๊าซออกซิเจนให้มากเกินไปลงในลูกบอมบ์ หลังจากนั้นนำมาวางในถังสแตนเลสที่บรรจุน้ำ 2 ลิตร กดสวิทช์เพื่อทำให้เกิดประกายไฟตัวอย่างในลูกบอมบ์ ตัวอย่างในลูกบอมบ์ก็จะเกิดการเผาไหม้ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นบันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปทุกๆ 1 นาที รูปที่ 2.3 เป็นเทอร์โมกราฟที่พล็อตระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เนื่องจากช่วงเริ่มต้น (preperiod) กับช่วงสุดท้าย (postperiod) มีความชันแตกต่างกัน และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เป็นเส้นตรง ดังนั้นจึงต้องหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างถูกต้อง (ΔT) จากการทดลองให้ได้ วิธีที่นิยมใช้กันคือ วัดอุณหภูมิ ณ ช่วงเวลาที่อยู่กึ่งกลางของกราฟ ซึ่งคือเวลาที่ทำให้พื้นที่แรเงาสองส่วนในกราฟเท่ากัน จากเทอร์โมกราฟ T_i คือ อุณหภูมิเริ่มต้น T_f คือ อุณหภูมิสุดท้าย และส่วนต่างของสองค่านี้คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (ΔT)



รูปที่ 2.3 เทอร์โมกราฟที่ได้จากการทดลอง Bomb calorimeter (Vesilind, Worrell and Reinhart, 2002)

การบรรจุน้ำทำหน้าที่เป็นฉนวนได้ดี โดยสมมติว่าไม่มีความร้อนออกจากระบบ พลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนให้แก่ น้ำ และลูกบอมบ์ หนึ่งแคลอรี หมายถึงปริมาณพลังงานที่ทำให้ น้ำหนึ่งกรัมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหนึ่งองศาเซลเซียส ค่า ความร้อนสามารถหาได้เมื่อทราบน้ำหนักของตัวอย่างโดยนำมาเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่ ทราบค่าความร้อน คือ เบนโซอิกแอซิด (Benzoic acid) โดยคำนวณได้ตามสูตรดังนี้

$$C_v = \frac{UM_b}{\Delta T}$$

เมื่อ C_v = ค่าความจุความร้อน, cal/°C

U = ค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของ benzoic acid, cal/g

M_b = น้ำหนักของ benzoic acid, g

ΔT = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากเทอร์โมกราฟ, °C

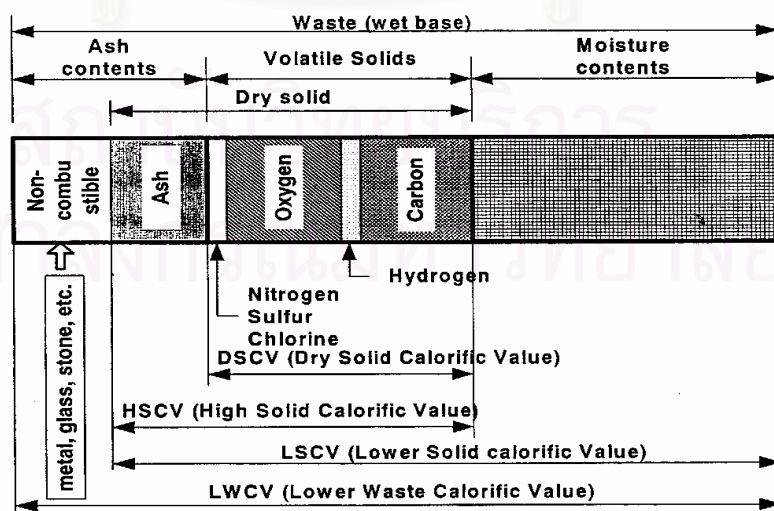
และเพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ถูกต้องต้องมีการหักด้วยค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของลวด ด้วย สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$C_v = \frac{[6318M_b + 1643M_w]}{\Delta T}$$

เมื่อ M_w = น้ำหนักของลวดที่ถูกใช้สำหรับการเผาไหม้, g

2.3.2 ค่าความร้อน

ข้อมูลหลักที่มีความจำเป็นต่อการออกแบบเตาเผามูลฝอย คือ ค่าความร้อน ซึ่งหาได้จาก การใช้วิธี Bomb calorimeter ในห้องทดลอง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระดับของค่าความร้อนประเภทต่างๆ (SAPROF Team, 2001)

โดยความร้อนค่าต่างๆ สามารถอธิบายได้ (ยุทธนา เรื่องเดชบุญฤทธิ์, 2539) ดังนี้

1) ค่า Dry Solid Calorific Value (DSCV)

DSCV เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์โดยสันดาปกับออกซิเจนบริสุทธิ์ที่จะเกิดได้เฉพาะในห้องทดลองเท่านั้น

2) ค่า Higher Solid Calorific Value (HSCV)

HSCV เป็นค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้สารเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็งที่ปราศจากความชื้น หรือเรียกว่า ค่าความร้อนรวม (Gross calorific value)

$$\text{HSCV} = \frac{\text{DSCV} \times \text{ค่าปริมาณของแข็งรวม}}{100} \quad (2.1)$$

3) ค่า Lower Solid Calorific Value (LSCV)

LSCV เป็นค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้สารตามปกติ หรือเป็นค่าปริมาณความร้อนสูงหักออกด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ หรือเรียกว่า ค่าความร้อนสุทธิ (Net calorific value) โดยมีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$\text{LSCV} = \frac{\text{HSCV} - 600[(9 \times h) + \text{ค่าปริมาณความชื้น}]}{100} \quad (2.2)$$

4) ค่า Lower Waste Calorific Value (LWCV)

LWCV เป็นค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้สารตามปกติรวมกับค่าปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปให้กับสารที่ไม่สามารถถูกเผาไหม้ได้

2.3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่เคยมีผู้ศึกษามาก่อน

ค่าความร้อนของมูลฝอยสามารถคาดการณ์ได้โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยอิสระในแต่ละรูปแบบของการวิเคราะห์ ดังนี้ 1) การวิเคราะห์แบบองค์ประกอบทางกายภาพ (Physical composition analysis) 2) แบบลักษณะสมบัติทางเคมี (Proximate analysis) และ 3) แบบองค์ประกอบทางเคมี (Ultimate analysis)

1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ (Physical composition analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพเป็นการวิเคราะห์หาสัดส่วนแต่ละ

ประเภทของมูลฝอยที่มีผลต่อค่าความร้อน ซึ่งหาความสัมพันธ์ (Vesilind, Worrell and Reinhart, 2002) ได้ดังนี้

Conventional equation

$$\text{LSCV} = 49R + 22.5(G+P) - 3.3W \quad \dots\dots (2.3)$$

- เมื่อ R = พลาสติก, ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง
G = เศษอาหาร, ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง
P = กระดาษ, ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง
W = ปริมาณความชื้น, ร้อยละโดยน้ำหนัก
LSCV = ค่าความร้อน (kcal/kg)

2) การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี (Proximate analysis)

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีเป็นการวิเคราะห์ที่สมมติว่าเชื้อเพลิงประกอบด้วยสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile) และคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon) ซึ่งมีผลต่อค่าความร้อน ซึ่งหาความสัมพันธ์ (Liu, Paoda and Holsen, 1996) ได้ดังนี้

Traditional equation

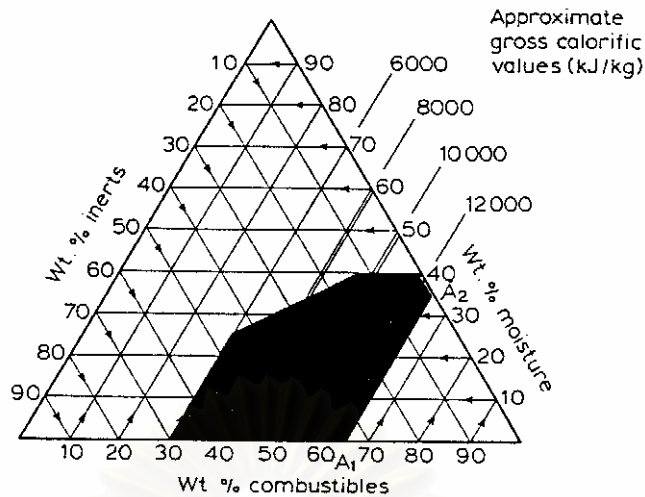
$$\text{LSCV} = 45B - 6W \quad \dots\dots (2.4)$$

Bento's equation

$$\text{LSCV} = 44.75B - 5.85W + 21.2 \quad \dots\dots (2.5)$$

- เมื่อ B = สารที่เผาไหม้ได้, ร้อยละ
W = ปริมาณความชื้น, ร้อยละโดยน้ำหนัก

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น, ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ และปริมาณเถ้าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งคุณสมบัติของมูลฝอยที่อยู่ภายในส่วนที่แรเงาแสดงว่าสามารถเผาไหม้ได้โดยไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงเสริมช่วย



รูปที่ 2.5 คุณสมบัติของมูลฝอยที่สามารถเผาไหม้ได้โดยไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงเสริมช่วย (Henstock, 1983)

3) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Ultimate analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเป็นการวิเคราะห์ธาตุพื้นฐานของมูลฝอยที่มีผลต่อค่าความร้อน ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ (Liu, Paoda and Holsen, 1996) ได้ดังนี้

Dulong's equation

$$\text{LSCV} = 81\text{C} + 342.5(\text{H}-\text{O}/8) + 22.5\text{S} - 6(9\text{H}+\text{W}) \quad \dots\dots (2.6)$$

Steuer's equation

$$\text{LSCV} = 81(\text{C}-3\text{O}/8) + 57 \times 3\text{O}/8 + 345(\text{H}-\text{O}/16) + 25\text{S} - 6(9\text{H}+\text{W}) \quad \dots\dots (2.7)$$

Scheurer -Kestner's equation

$$\text{LSCV} = 81(\text{C}-3\text{O}/4) + 342.5\text{H} + 22.5\text{S} + 57 \times 3\text{O}/4 - 6(9\text{H}+\text{W}) \quad \dots\dots (2.8)$$

- เมื่อ
- C = คาร์บอน, ร้อยละโดยน้ำหนัก
 - H = ไฮโดรเจน, ร้อยละโดยน้ำหนัก
 - O = ออกซิเจน, ร้อยละโดยน้ำหนัก
 - S = ซัลเฟอร์, ร้อยละโดยน้ำหนัก
 - W = ปริมาณความชื้น, ร้อยละโดยน้ำหนัก

2.4 การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple linear regression analysis)

การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตัวหนึ่ง ที่เรียกว่า ตัวแปรตาม ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่เรียกว่า ตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป (มัลลิกา นูนาค และคณะ, 2540)

2.4.1 รูปแบบของสมการความถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544)

ถ้ามีตัวแปรอิสระ k ตัว (X_1, X_2, \dots, X_k) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y โดยที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น จะได้สมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X_1, X_2, \dots, X_k ดังนี้

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

โดยที่ β_0 = ส่วนตัดแกน Y เมื่อกำหนดให้ $X_1 = X_2 = \dots = X_k = 0$

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ เป็นสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (Partial Regression Coefficient) โดยที่ค่า β_j แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y เมื่อตัวแปรอิสระ X_j เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ค่าตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ มีค่าคงที่

สมมติฐานของการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

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

สมมติฐานมีดังนี้

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

2.4.2 ความหมายของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน

β_0 เป็นระยะตัดแกน y เช่นเดียวด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย 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

การทดสอบความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน จำแนกแบบทางเดียว การประมาณค่าคลาดเคลื่อนของความถดถอย การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอย สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อน และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณแสดงในภาคผนวก ก1. – ก 5.

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธเรศ ศรีสถิตย์ และจุลฑามาต บุญทวีสุข (2542) ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนโดยการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยจากสถานีกำจัดมูลฝอย 3 แห่งของกรุงเทพมหานคร คือ โรงงานกำจัดมูลฝอยหนองแขม สถานีขนถ่ายมูลฝอยท่าแร่ และโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช โดยเก็บตัวอย่างแห้งละ 15 วัน วันละ 1 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้นจำนวน 45 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาองค์ประกอบทางกายภาพทางเคมี และค่าความร้อนของมูลฝอยในห้องปฏิบัติการเป็น 2 กรณี คือ ค่าความร้อนรวมและค่าความร้อนแยกแต่ละส่วนขององค์ประกอบที่เผาไหม้ได้ สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติของมูลฝอยมีดังนี้ ความหนาแน่น ความชื้น ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ ปริมาณไนโตรเจน ซัลเฟอร์ คลอรีน คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่หาได้โดยวิธี Bomb calorimeter กับพื้นฐาน Three component องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย และคุณสมบัติทางเคมี โดยใช้ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นในการวิเคราะห์ ซึ่งกำหนดความเชื่อมั่นที่ 95% สามารถสร้างสมการค่าความร้อนได้ดังนี้

ค่าความร้อน – Three component

$$Q_{\text{รวม}} = -422.83 + 50.40V \quad \dots\dots (2.9)$$

$$R^2 = 0.6791$$

ค่าความร้อน – องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

$$Q_{\text{รวม}} = 3153.14 + 16.55P_i + 12.69W_o - 42.87W \quad \dots\dots (2.10)$$

$$R^2 = 0.7691$$

ค่าความร้อน – คุณสมบัติทางเคมี

$$Q_{\text{รวม}} = -637.48 + 80.51C \quad \dots\dots (2.11)$$

$$R^2 = 0.7153$$

- เมื่อ $Q_{รวม}$ = 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.)

ซึ่งค่าความร้อนที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของมูลฝอยสามารถนำไปคาดการณ์ค่าความร้อนได้ดีที่สุดสำหรับในงานวิจัยนี้

Buckley, T.J (1991) ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนจากองค์ประกอบทางเคมีที่ได้สร้างขึ้นมา 7 รูปแบบกับค่าความร้อนที่วัดได้จริงจากมวลชีวภาพ และ ส่วนประกอบของของเสีย 140 ชนิด โดยรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของ Vondracek ซึ่งมีสมการ คือ $Q = (0.3289 + 0.0117(100 - C_{maf})^{0.25})C_{ab} + 1.129(H - O/10) + 0.105S$ เป็นสมการที่ได้ผลยอมรับดีที่สุด โดยตัดสินจากค่า R^2 ของกราฟระหว่างค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณกับค่าความร้อนที่วัดได้จริง ซึ่งได้ $R^2 = 0.9951$ แต่มีข้อจำกัดในกรณีที่เชื้อเพลิงที่นำมาทดสอบมีซัลเฟอร์ไนโตรเจน และคลอรีนในปริมาณที่มากจะทำให้ค่าที่คำนวณจากสมการมีความคลาดเคลื่อนมาก เพราะสมการของ Vondracek พัฒนามาจากใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

Juin-I Liu และคณะ (1996) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และค่าความร้อนของมูลฝอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM ณ เมือง Kaohsiung, Taiwan ซึ่งมีจำนวนอำเภอ 11 อำเภอ โดยอำเภอที่มีมูลฝอยน้อยกว่า 300 ตัน/วัน ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง/ปี และอำเภอที่มีมูลฝอยมากกว่า 300 ตัน/วัน ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ครั้ง/ปี ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 10 ปี ตั้งแต่ 1983 – 1993 ทำการเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 34 ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ 40 ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีไม่ได้ระบุจำนวนตัวอย่างที่เก็บ โดยใช้การวิเคราะห์แบบความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นในการหาความสัมพันธ์ ซึ่งได้แบบจำลองดังนี้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี

$$LSCV = 1558.8 + 19.96C + 44.3O - 671.82S - 19.92W$$

- เมื่อ C = ปริมาณคาร์บอน (% by wt.)
 O = ปริมาณออกซิเจน (% by wt.)

S = ปริมาณซัลเฟอร์ (% by wt.)

W = ปริมาณความชื้น (% by wt.)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางกายภาพ

$$LSCV = 2229.91 + 28.16R + 7.9P + 4.87G - 37.28W$$

เมื่อ R = พลาสติก (% by wt.)

P = เศษกระดาษ (% by wt.)

G = มูลฝอยพวกเศษอาหาร ผ่า และเศษไม้และใบไม้ (% by wt.)

แต่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีไม่สามารถหาความสัมพันธ์
ได้

- ทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่วัดได้จริงกับค่าความร้อนจากการสร้าง
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และค่าความร้อนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของconventional
ได้ผลความสัมพันธ์ดังนี้

ค่าความร้อนที่วัดได้จริงกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น

$$R^2 = 0.96$$

ค่าความร้อนที่วัดได้จริงกับค่าความร้อนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ
conventional

$$R^2 = 0.46$$

- ทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่วัดได้จริงกับค่าความร้อนจากการสร้าง
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และค่าความร้อนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Dulong,
Steuer, Scheurer-Kestner ได้ผลความสัมพันธ์ ดังนี้

ค่าความร้อนที่วัดได้จริงกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น

$$R^2 = 0.93$$

ค่าความร้อนที่วัดได้จริงกับค่าความร้อนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ
Dulong, Steuer, Scheurer-Kestner

$$R^2 = 0.58, 0.70, 0.56 \text{ ตามลำดับ}$$

ผู้ทำการวิจัยยังได้แนะนำให้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เฉพาะแต่ละแหล่งที่
รวบรวมมูลฝอย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สร้างขึ้นโดย Jun-li Liu ให้ผลของความสัมพันธ์ที่ดี (R^2) เนื่องจากการเก็บข้อมูลตลอดทั้ง 1 ปี ทำให้มีการกระจายของข้อมูลมาก เมื่อนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนจึงมีช่วงของข้อมูลที่กว้างครอบคลุมในการคาดการณ์ค่าความร้อนได้ดี

สำนักรักษาความสะอาด (2545) ทำการศึกษาคุณสมบัติของมูลฝอยของกรุงเทพมหานครตลอดปีงบประมาณ 2545 ได้ผลการศึกษาคูณสมบัติที่เก็บรวบรวมโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุชดังนี้

1) คุณสมบัติทางกายภาพ มีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.40 กิโลกรัมต่อลิตร องค์ประกอบมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้ที่มีมากที่สุด คือ เศษอาหารร้อยละ 34.16 รองลงมาคือ พลาสติกและโฟมร้อยละ 20.76 กระดาษร้อยละ 13.58 ไม้และใบไม้ร้อยละ 6.59 ผ้าและสิ่งทอร้อยละ 6.58 และยางและหนังร้อยละ 2.19 ส่วนประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ประกอบด้วยแก้วร้อยละ 5.07 โลหะร้อยละ 2.18 หินและเซรามิกร้อยละ 2.32 และประเภทอื่นๆ ซึ่งให้คำจำกัดความว่าเป็นมูลฝอยที่เล็กกว่า 10 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สารมีร้อยละ 8.57

2) ลักษณะสมบัติทางเคมีเป็นข้อมูลของปีงบประมาณ 2544 ประกอบไปด้วยปริมาณความชื้นร้อยละ 55.62 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ร้อยละ 35.96 ปริมาณเถ้า 10.64 และปริมาณความร้อนเท่ากับ 1,677.73 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม มีธาตุประกอบดังนี้ คาร์บอนร้อยละ 45.41 ไฮโดรเจนร้อยละ 5.11 ออกซิเจนร้อยละ 30.37 ซัลเฟอร์ร้อยละ 0.67 คลอรีนร้อยละ 0.58 และประกอบด้วยโลหะหนักนิกเกิล 0.76มก./กก. แคดเมียม 1.16 มก./กก. พลวง 5.52 มก./กก. และปรอท 0.06 มก./กก.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษา และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้การวิเคราะห์แบบความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น โดยดำเนินการวิจัยในห้องปฏิบัติการมูลฝอยของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1 ลำดับขั้นตอนการวิจัย

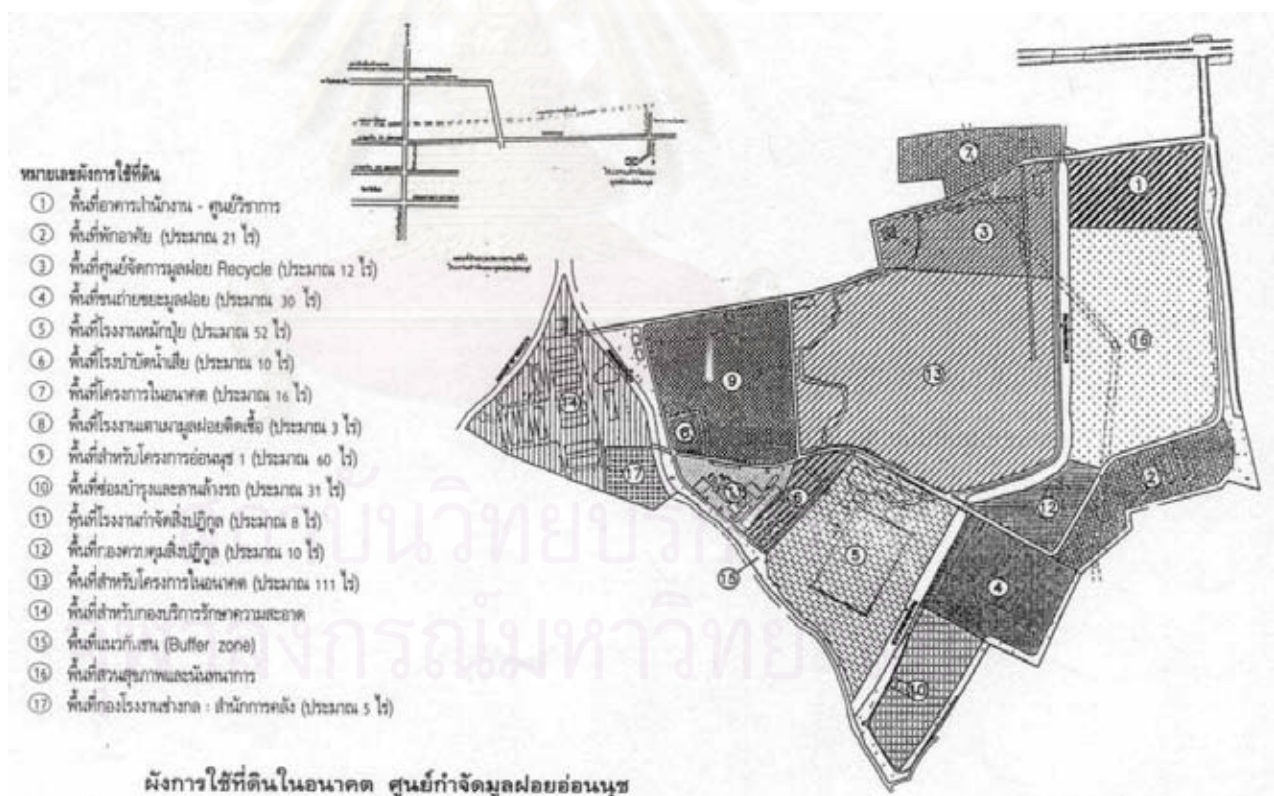
1. รวบรวมข้อมูล และวางแผนการวิจัย
2. ศึกษา สืบค้น และรวบรวมข้อมูลสภาพโดยทั่วไป
3. วิเคราะห์หาคุณสมบัติกายภาพ และทางเคมีของมูลฝอย
4. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยชุมชน
5. ตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน
6. สรุปผลการวิจัย

3.1.2 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช ตั้งอยู่ที่ซอยอ่อนนุช 86 ถนนอ่อนนุช เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร ครอบคลุมพื้นที่ 580 ไร่ อยู่ทางทิศตะวันตกห่างจากสำนักงานเขตประเวศ ประมาณ 500 เมตร มีสาธารณูปโภคต่างๆ เช่น ถนน ประปา ไฟฟ้า เป็นต้น จึงทำให้บริเวณโดยรอบเป็นแหล่งชุมชนที่หนาแน่น สภาพพื้นที่เดิมเคยใช้เป็นที่ฝังกลบมูลฝอยเป็นเวลานาน บางพื้นที่เป็นภูเขาขะ ในปัจจุบันเป็นพื้นที่ใช้สอยด้านอื่นๆ ได้แก่ อาคารที่ทำการ โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เต้าเผามูลฝอยติดเชื้อ ศูนย์จัดการมูลฝอย เป็นต้น ดังรูปที่ 3.1 โดยโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุชแห่งนี้รองรับปริมาณมูลฝอยมากที่สุด ดังตารางที่ 3.1 โดยเปรียบเทียบปริมาณมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดมูลฝอย 3 แห่งของกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี 2543-2545

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบปริมาณมูลฝอยที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดมูลฝอย ระหว่างปี 2543-2545 (สำนักรักษาความสะอาด, 2545)

ปี	ปริมาณมูลฝอยที่ขนมากำจัด (ตัน/วัน)			
	อ่อนนุช	หนองแขม	ท่าแร่	รวม
2543	3,481.70	2,752.76	2,351.43	8,585.89
2544	3,661.31	3,101.00	2,392.35	9,154.66
2545	3,494.47	3,554.61	2,408.29	9,457.37
ค่าเฉลี่ย	3,545.83	3,136.12	2,384.02	9,065.97



รูปที่ 3.1 แผนผังการใช้พื้นที่ของโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช (สุวัฒน์ คงแป้น, 2544)

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- อุปกรณ์คลุกเคล้ามูลฝอย เช่น พลั่ว จอบ
- เชือกสำหรับแบ่งมูลฝอยให้เป็น 4 ส่วน
- ภาชนะตวงมูลฝอย
- เครื่องชั่งน้ำหนัก ขนาดไม่น้อยกว่า 50 กิโลกรัม
- เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด
- ถุงมือยาง
- หน้ากากสวมป้องกันฝุ่น
- ภาชนะรวบรวมมูลฝอย เช่น ถุงพลาสติก
- ตู้อบ ยี่ห้อ Memmert และเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ
- ถาดโลหะ
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- ตู้ควัน (Hood)
- เครื่องบดมูลฝอย (Grinder)
- เครื่องวิเคราะห์ค่าปริมาณความร้อน (Oxygen bomb calorimeter)
- ลวดนำไฟฟ้า (Fuse wire) มีค่าความจุความร้อน 1,400 cal/g หรือ 2.3 cal/cm
- แผ่นทำความร้อน (Hot plate)
- เครื่องย่อยตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ไนโตรเจน
- เครื่องวิเคราะห์ไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- ปิเปต (Pipet) ขนาด 1 – 50 มล.
- บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มล.
- ปีกเกอร์ (Beaker) 50 – 500 มล.

3.1.4 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- มูลฝอยชุมชนที่เก็บรวบรวมจากโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช
- เบนโซอิกแอซิด (Benzoic acid) มีค่าความจุความร้อน 11373 Btu/lb หรือ 6318 cal/g หรือ 26.453 MJ/kg

- โปรแตสเซียมซัลเฟต
- คอปเปอร์ซัลเฟต
- ผงเซเลเนียม
- กรดซัลฟิวริก
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- สารละลายกรดบอริก
- สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต
- สารละลายโปรตัสเซียมไดโครเมต
- แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
- เมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์
- เฟอร์โรซีน อินดิเคเตอร์
- มิกซ์ อินดิเคเตอร์
- สารละลายอิมิตัวโบรมีน

3.2 การดำเนินการวิจัย

3.2.1 รวบรวมข้อมูล และวางแผนการวิจัย

3.2.1.1 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมจากเขตต่างๆ ของกรุงเทพมหานคร 27 เขต (สำนักการศึกษาความสะอาด, 2539) ซึ่งแสดงรายชื่อเขตต่างๆ ในภาคผนวกที่ ข 1. แล้วนำมากองไว้ที่โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช

3.2.1.2 ระยะเวลาในการดำเนินการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของมูลฝอยทั้งสิ้น 6 เดือนครอบคลุม 3 ฤดูกาล

3.2.1.3 จำนวนตัวอย่างมูลฝอยที่เก็บคำนวณได้ดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2544)

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

โดยกำหนดให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 324 (ธเวศ ศรีสถิตย์, 2542) ให้ค่าประมาณต่างจากค่าจริงไม่เกิน 100 kcal/kg และมีค่าความเชื่อมั่น 95% ($Z = 1.96$)

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

จำนวนตัวอย่างอย่างน้อยที่สุดสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนคือ 41 ตัวอย่าง

ดังนั้นจำนวนตัวอย่างมูลฝอยที่เก็บทั้งสิ้นรวม 60 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนจำนวนตัวอย่างมูลฝอย 48 ตัวอย่าง และสำหรับการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนจำนวนตัวอย่างมูลฝอย 12 ตัวอย่าง ครอบคลุมในแต่ละวันของสัปดาห์ทั้ง 7 วัน (วันอาทิตย์ถึงวันเสาร์) ซึ่งมีแผนการเก็บตัวอย่างมูลฝอยดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แผนการเก็บตัวอย่างมูลฝอยทั้งหมด 60 ตัวอย่าง

เดือนปี	วันที่									
	1	4	7	10	13	16	19	22	25	28
กรกฎาคม	พฤษภาคม	อาทิตย์	พุธ	เสาร์	อังคาร	ศุกร์	จันทร์	พฤษภาคม	อาทิตย์	พุธ
2546	M (1)	M (2)	M (3)	M (4)	M (5)	M (6)	M (7)	M (8)	V (9)	V (10)
สิงหาคม	อาทิตย์	พุธ	เสาร์	อังคาร	ศุกร์	จันทร์	พฤษภาคม	อาทิตย์	พุธ	เสาร์
2546	M (11)	M (12)	M (13)	M (14)	M (15)	M (16)	M (17)	M (18)	V (19)	V (20)
พฤศจิกายน	อังคาร	ศุกร์	จันทร์	พฤษภาคม	อาทิตย์	พุธ	เสาร์	อังคาร	ศุกร์	จันทร์
2546	M (21)	M (22)	M (23)	M (24)	M (25)	M (26)	M (27)	M (28)	V (29)	V (30)
ธันวาคม	ศุกร์	จันทร์	พฤษภาคม	อาทิตย์	พุธ	เสาร์	อังคาร	ศุกร์	จันทร์	พฤษภาคม
2546	M (31)	M (32)	M (33)	M (34)	M (35)	M (36)	M (37)	M (38)	V (39)	V (40)
กุมภาพันธ์	จันทร์	พฤษภาคม	อาทิตย์	พุธ	เสาร์	อังคาร	ศุกร์	จันทร์	พฤษภาคม	อาทิตย์
2547	M (41)	M (42)	M (43)	M (44)	M (45)	M (46)	M (47)	M (48)	V (49)	V (50)
มีนาคม	พุธ	เสาร์	อังคาร	ศุกร์	จันทร์	พฤษภาคม	อาทิตย์	พุธ	เสาร์	อังคาร
2547	M (51)	M (52)	M (53)	M (54)	M (55)	M (56)	M (57)	M (58)	V (59)	V (60)

หมายเหตุ M= การเก็บตัวอย่างมูลฝอยสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ค่าความร้อน
V= การเก็บตัวอย่างมูลฝอยสำหรับตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ค่าความร้อน

3.2.2 ศึกษา สํารวจ และรวบรวมข้อมูลสภาพโดยทั่วไป

3.2.2.1 แผนที่แสดงที่ตั้ง และขอบเขตการรับบริการเก็บขนมูลฝอยของโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช

3.2.2.2 ระบบการกำจัดมูลฝอยแต่ละส่วนของโรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช

3.2.2.3 ปริมาณมูลฝอยที่สามารถรองรับได้ วิธีการคัดแยกมูลฝอย และปริมาณมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการคัดแยก

3.2.2.4 ลักษณะของมูลฝอยโดยทั่วไป



รูปที่ 3.2 ลักษณะมูลฝอยที่รอการขนย้ายไปฝังกลบ

3.2.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของมูลฝอย

3.2.3.1 การสุ่มตัวอย่างมูลฝอย

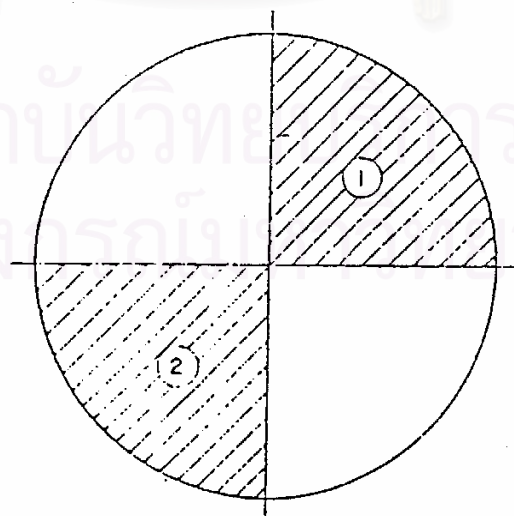
ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของมูลฝอยต้องมีการสุ่มตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของมูลฝอยทั้งหมด และเนื่องจากระบบการเก็บรวบรวมมูลฝอยของประเทศไทย ยังไม่มีการแยกประเภทของมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด ดังนั้นในการสุ่มตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องคัดเลือกให้ได้ตัวแทนที่ดีที่สุด โดยต้องทำให้มูลฝอยรวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้ลักษณะขององค์ประกอบของมูลฝอยเหมือนๆ กันทุกส่วน โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ให้รถตักทำการคลุกเคล้ามูลฝอยที่รถบรรทุกนำมาเทกองให้ทั่ว จากนั้นทำการตักมูลฝอย ณ ลานที่เทกองมูลฝอยให้เต็มหน้าตักของรถตัก ซึ่งมีปริมาณประมาณ 2 – 3 ลูกบาศก์เมตร นำมาเทกองบนพื้นรองรับที่สะอาด และน้ำซึมน้ำผ่านไม่ได้

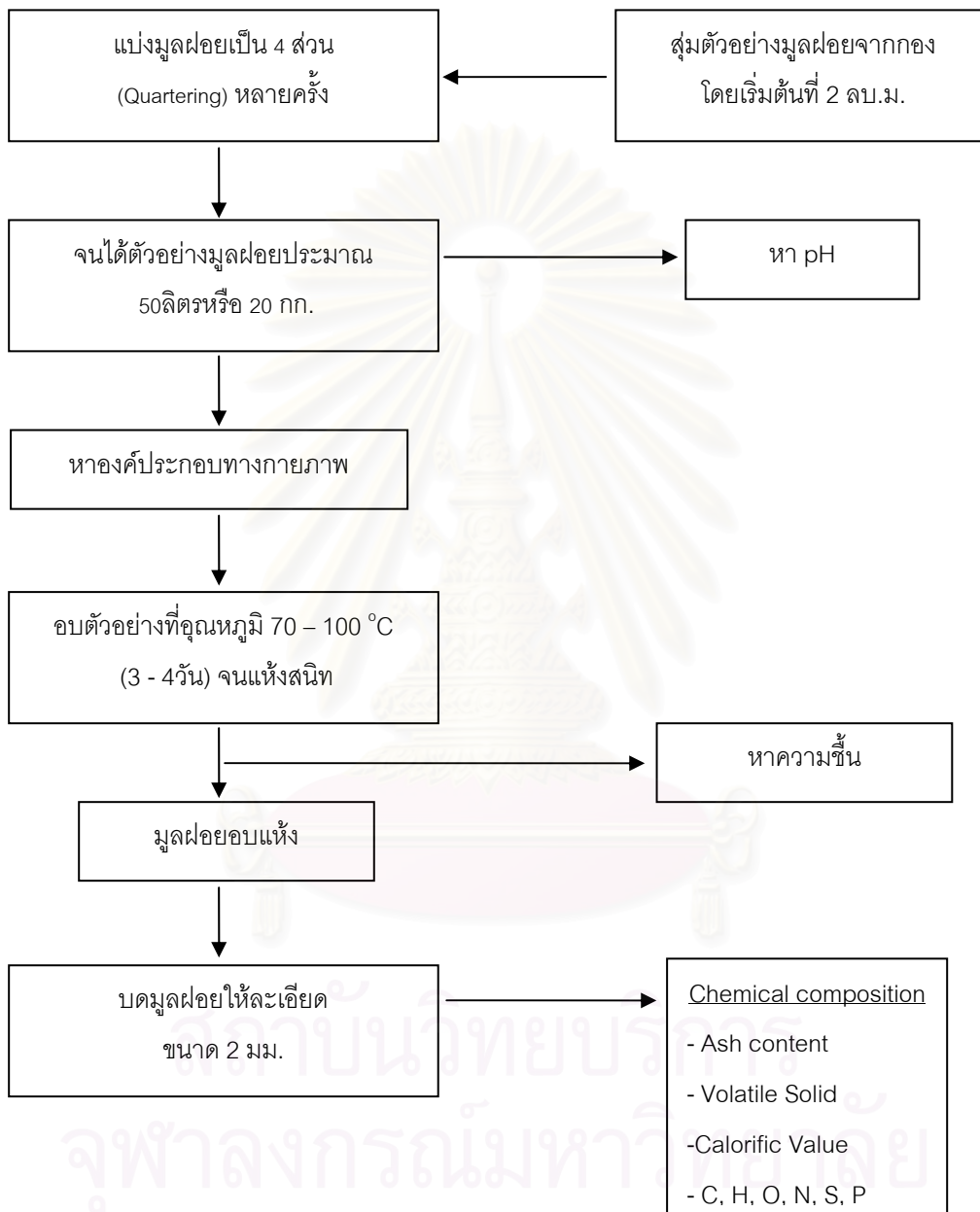
- 2) เปิดปากถุงที่บรรจุมูลฝอยอยู่ภายในให้ทั่ว ถ้ามูลฝอยมีชิ้นใหญ่มากให้ทำการตัดหรือย่อยให้มีขนาดเล็กกลง และทำการคลุกเคล้ามูลฝอยให้ทั่วทั้งกอง
- 3) สุ่มตัวอย่างมูลฝอยมาประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร โดยการตวงมูลฝอยใส่ถังปริมาตร 60 ลิตร จำนวน 15 ถัง
- 4) นำมูลฝอยมากองรวมกันแล้วคลุกเคล้าให้กลายเป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้งหนึ่ง
- 5) แบ่งกองมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) แล้วเลือก 2 ส่วน จาก 4 ส่วน นำมากองรวมกันแล้วคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันอีก ทำต่อไปหลายครั้งๆ จนกระทั่งเหลือมูลฝอยประมาณ 50-100 ลิตร รูปที่ 3.3 และ 3.4 แสดงลักษณะและวิธีการแบ่งกองมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) จากนั้นจึงนำตัวอย่างมูลฝอยที่ได้ไปคัดแยกประเภทหาค่าองค์ประกอบทางกายภาพ และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของมูลฝอยต่อไปดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.3 ลักษณะการกองมูลฝอยให้เป็นรูปกรวยก่อนที่แบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (ไพศาล ผดุงศิริกุล, 2536)



รูปที่ 3.4 การแบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน และเลือกสุ่มเอา 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้าม (ไพศาล ผดุงศิริกุล, 2536)



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติของมูลฝอย (ธเวศ ศรีสถิตย์, 2547)

3.2.3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติมูลฝอยทางกายภาพ

1) การศึกษาความหนาแน่นปกติ (Bulk density)

เป็นการหาความหนาแน่นของมูลฝอยที่เทกองในสภาวะปกติ โดยใช้ภาชนะที่มีความจุ 60 ลิตร แสดงการวิเคราะห์ดังภาคผนวกที่ ค 1.

2) การศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอย (Composition)

เป็นการคัดแยกองค์ประกอบของมูลฝอยเพื่อหาสัดส่วนร้อยละของน้ำหนักแต่ละประเภทขององค์ประกอบของมูลฝอย แสดงการวิเคราะห์ดังภาคผนวกที่ ค 2.

3.2.3.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติมูลฝอยทางเคมี

1) การศึกษาค่าความชื้น (Moisture content) และค่าปริมาณของแข็งรวม (Total solid)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำเป็นร้อยละของปริมาณน้ำหนักทั้งหมดของมูลฝอย หลังจากอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C - 100°C จนน้ำหนักมูลฝอยคงที่ และปริมาณของแข็งรวมเป็นน้ำหนักของมูลฝอยที่เหลืออยู่หลังจากอบ แสดงการวิเคราะห์ดังภาคผนวกที่ ค 3.

2) การศึกษาปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile solid) และปริมาณเถ้า (Ash)

ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เป็นน้ำหนักของมูลฝอยที่หายไปหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 815°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในเตาเผาแสดงการวิเคราะห์ดังภาคผนวกที่ และปริมาณเถ้าเป็นน้ำหนักของมูลฝอยที่คงเหลือหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 815°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในเตาเผาแสดงการวิเคราะห์ดังภาคผนวกที่ ค 4.

3) การศึกษาค่าปริมาณความร้อน (Calorific value)

วิเคราะห์โดยใช้ Bomb calorimeter แสดงเครื่องดังรูปที่ 3.4 คำนวณจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยเทียบกับสารมาตรฐานเบนโซอิกแอซิด ค่าที่วิเคราะห์ได้ คือ ค่า Dry Solid Calorific Value (DSCV) แสดงวิธีการวิเคราะห์ดังภาคผนวกที่ ค 5.



รูปที่ 3.6 เครื่อง Bomb calorimeter

4) การศึกษาปริมาณคาร์บอน (Carbon)

นำตัวอย่างมูลฝอยบดละเอียดขนาด 2 มิลลิเมตร ที่อบแห้งสนิทในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง นำมาวิเคราะห์โดยพิจารณาการใช้ปริมาณเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตในการออกซิเดชันกับไดโครเมตที่เหลือจากการรีดักชันคาร์บอนอินทรีย์ในมูลฝอย แสดงวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวกที่ ค 6.

5) การศึกษาปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen)

นำตัวอย่างมูลฝอยบดละเอียดขนาด 2 มิลลิเมตร ที่อบแห้งสนิทในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง หลังจากปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้นแล้ว มาประมาณ 0.5 – 1 กรัม แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl –Wilfarth-Gunning-Winkler method โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 3.5 และแสดงวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวกที่ ค 7.



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 เครื่องมือย่อยและวิเคราะห์ไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ

(ก) เครื่องย่อยตัวอย่าง

(ข) เครื่องมือวิเคราะห์ไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ

6) การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus)

นำตัวอย่างมูลฝอยบดละเอียดขนาด 2 มิลลิเมตร ที่อบแห้งสนิทในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง หลังจากปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้นแล้ว มาประมาณ 1-2 กรัม แล้วนำมาวิเคราะห์ ด้วยวิธี Ascorbic acid method ซึ่งแสดงวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวกที่ ค 8.

7) การศึกษาปริมาณซัลเฟอร์ (Sulfur)

นำน้ำล้างเครื่อง Bomb calorimeter มาวิเคราะห์ด้วยวิธี Bomb washing method ซึ่ง แสดงวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวกที่ ค 9.

8) การศึกษาปริมาณไฮโดรเจน (Hydrogen)

ใช้วิธีการประมาณค่าจากปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ แสดงวิธีการค่าไฮโดรเจนในภาคผนวกที่ ค 10.

9) การศึกษาปริมาณออกซิเจน (Oxygen)

ใช้หลักการคำนวณว่าปริมาณธาตุทั้งหมดรวมปริมาณเข้าเท่ากับหนึ่งร้อยส่วน แสดงวิธีการคำนวณออกซิเจนในภาคผนวกที่ ค 11.

3.2.4 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยชุมชน

หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยด้วยวิธีวิเคราะห์แบบความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for Social Science version 11.0) ซึ่งกำหนดตัวแปรดังนี้

1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ (Physical composition analysis)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7$$

เมื่อ $Y =$ ค่าความร้อน (Lower Solid Calorific Value : LSCV) (kg/kcal)

$X_1 =$ เศษอาหาร (% wet wt.)

$X_2 =$ กระดาษ (% wet wt.)

$X_3 =$ พลาสติก (% wet wt.)

$X_4 =$ หนังและยาง (% wet wt.)

$X_5 =$ ผ้า (% wet wt.)

$X_6 =$ ไม้และใบไม้ (% wet wt.)

$X_7 =$ ปริมาณความชื้น (% wet wt.)

และ $\beta_0 - \beta_7 =$ ค่าคงที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

2) การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมี (Proximate analysis)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

เมื่อ Y = ค่าความร้อน (Lower Solid Calorific Value : LSCV) (kg/kcal)

X_1 = ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (%)

X_2 = ปริมาณความชื้น (%)

X_3 = ปริมาณเถ้า (%)

และ $\beta_0 - \beta_3$ = ค่าคงที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

3) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Ultimate analysis)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7$$

เมื่อ Y = ค่าความร้อน (Lower Solid Calorific Value : LSCV) (kg/kcal)

X_1 = คาร์บอน (% dry wt.)

X_2 = ไฮโดรเจน (% dry wt.)

X_3 = ออกซิเจน (% dry wt.)

X_4 = ซัลเฟอร์ (% dry wt.)

X_5 = ไนโตรเจน (% dry wt.)

X_6 = ฟอสฟอรัส (% dry wt.)

X_7 = ปริมาณเถ้า (% dry wt.)

และ $\beta_0 - \beta_7$ = ค่าคงที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ในการตัดสินใจว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด จะพิจารณาถึงข้อกำหนด ดังนี้

- สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (r) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมาก
- การทดสอบสมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นโดยใช้การวิเคราะห์ความแปร

ปรวน (F-test) สำหรับพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ X_1, X_2, \dots, X_k กับตัวแปรตาม Y ถ้าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แสดงว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน

- การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (T-test) สำหรับพิจารณาความสำคัญของตัวแปรอิสระ X_1, X_2, \dots, X_k ที่มีผลต่อตัวแปรตาม Y ถ้าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แสดงว่าตัวแปรอิสระมีความสำคัญกับตัวแปรตาม

- การประมาณค่าคลาดเคลื่อนของความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (S) ถ้ามีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความเหมาะสม

- สัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความเหมาะสม

3.2.5 ตรวจสอบสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

นำตัวอย่างจำนวน 12 ตัวอย่าง มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อยู่กับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่วัดได้จริงว่ามีความใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด โดยคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละของผลต่างระหว่างค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองกับค่าความร้อนที่ได้จากการพยากรณ์ เพื่อใช้ในการปรับแก้ให้ค่าความร้อนที่ได้จากการพยากรณ์ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองมากที่สุด

3.2.6 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการศึกษาขององค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมี และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของมูลฝอย

จากตัวอย่างมูลฝอยชุมชนที่เก็บรวบรวม ณ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช จำนวน 60 ตัวอย่าง เป็นเวลาทั้งสิ้น 6 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2546 ถึงวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2547 โดยแบ่งเป็นการเก็บตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่างต่อเดือน แล้วนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมี ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

หาความหนาแน่นปกติของมูลฝอย แล้วสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีแบ่ง 4 ส่วน (Quartering) จนได้ปริมาตร 50 – 100 ลิตร หลังจากนั้นนำมาแยกชนิดของมูลฝอยลักษณะดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะการคัดแยกมูลฝอยออกเป็นประเภท

ซึ่งนำนักหาสัดส่วนองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก สรุปออกมาเป็นค่าช่วง ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจำนวน 60 ตัวอย่างแยกหมวดตามประเภทที่เผาไหม้ได้ และประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับสำนักรักษาความสะอาด 2545 อีกด้วยดังตารางที่ 4.1 แต่สำหรับการวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการสุ่มตัวอย่างจากปริมาณมูลฝอยทั้งหมดในแต่ละวัน คือ ที่โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุชแห่งนี้ รถบรรทุกมูลฝอยจากเขตต่างๆ ที่ระบุนไว้ในภาคผนวก ข.1 (27 เขต) ได้ทยอยนำมูลฝอยมาเทกอง

และได้นำมูลฝอยที่เทกองเคลื่อนย้ายใส่รถบรรทุกเพื่อนำไปฝังกลบอีกต่อหนึ่งทันที ตั้งแต่เวลา 5.00 น. – 12.00 น. ซึ่งในการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยในครั้งนี้จึงเป็นไปได้ยากที่จะรวบรวมมูลฝอยทั้งหมดจาก 27 เขตของกรุงเทพมหานคร เนื่องจากพื้นที่มีขนาดเล็กเกินกว่าที่จะรองรับปริมาณมูลฝอยทั้งหมด และเกิดความล่าช้าอย่างมากทำให้มีมูลฝอยตกค้างหากต้องรอปริมาณมูลฝอยทั้งหมด ดังนั้นในการสุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ทำได้เพียงการรอรถบรรทุกมูลฝอยที่เข้ามาเทกองมูลฝอยให้มีปริมาณมากที่สุด ซึ่งก็คือช่วงระยะเวลา 8.00 น. – 10.00 น.

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยชุมชน

องค์ประกอบทางกายภาพ	ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก				
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย N = 60	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	สำนักรักษา ความสะอาด ปี 2545
ประเภทที่เผาไหม้ได้			91.19		81.86
เศษอาหาร	21.83	63.31	44.08	8.87	34.16
กระดาษ	6.01	37.39	14.78	6.13	13.58
พลาสติก	12.86	31.28	20.20	3.86	20.76
หนังและยาง	0	7.98	0.90	1.53	2.19
ผ้า	0	11.88	3.46	3.02	4.58
ไม้และใบไม้	0.67	27.07	7.77	5.23	6.59
ประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้			8.81		18.14
แก้ว	0	17.01	3.33	3.07	5.07
โลหะ	0.2	4.02	1.34	0.88	2.18
หินและเซรามิก	0	9.05	2.33	1.97	2.32
ของเสียอันตราย	0	1.78	0.21	0.32	0
ประเภทอื่นๆ	0	8.89	1.60	2.38	8.57
รวม (ค่าเฉลี่ย)			100	-	100
ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	229	479	340	56.90	400

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่ามูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้มีสัดส่วนน้ำหนักเฉลี่ยที่สูงมากถึงร้อยละ 91.19 ส่วนมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้มีสัดส่วนน้ำหนักเฉลี่ยที่ต่ำเพียงแค่ร้อยละ 8.81 มีสาเหตุจากในส่วนของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้เป็นมูลฝอยที่มีมูลค่า ทำให้มีการคัดแยกเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ก่อนที่จะนำมารวบรวมที่โรงงานแห่งนี้ และอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สัดส่วนน้ำหนักของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้มีค่าสูงเพราะโรงงานหมักมูลฝอยเพื่อทำปุ๋ยหมักที่เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2537 ได้ปิดดำเนินการลงในปี 2540 โดยองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้เรียงจากสัดส่วนที่มีค่ามากไปน้อยประกอบไปด้วย เศษอาหาร พลาสติก กระดาษ ไม้และใบไม้ ผ้า และหนังและยาง มีค่าสัดส่วนน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 44.08, 20.20, 14.78, 7.77, 3.46 และ 0.90 โดยน้ำหนักเปียกตามลำดับ องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้เรียงค่าสัดส่วนจากมากไปน้อยประกอบไปด้วย แก้ว หินและเซรามิก ประเภทอื่นๆ โลหะ และของเสียอันตราย มีค่าสัดส่วนน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.33, 2.33, 1.60, 1.34 และ 0.21 โดยน้ำหนักเปียกตามลำดับ และมีความหนาแน่นปกติเฉลี่ย 340 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนน้ำหนักมูลฝอยประเภทต่าง ๆ จากงานวิจัยนี้กับที่ได้จัดทำโดยฝ่ายวิจัย กองวิชาการและแผนงาน สำนักรักษาความสะอาดในปี 2545 (สำนักรักษาความสะอาด, 2545) พบว่าในแต่ละประเภทมีค่าใกล้เคียงกัน แต่สัดส่วนน้ำหนักเศษอาหารของงานวิจัยเท่ากับร้อยละ 44.08 และของสำนักรักษาความสะอาดเท่ากับร้อยละ 34.16 ที่เป็นเช่นนี้เพราะมูลฝอยประเภทอื่นๆ ของสำนักรักษาความสะอาดให้ค่าจำกัดความเป็นมูลฝอยที่เล็กกว่า 10 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สาร แต่ของงานวิจัยนี้ได้ทำการแยกประเภทมูลฝอยอย่างละเอียด พบว่าในส่วนที่ระบุว่าเป็นอินทรีย์สาร ส่วนใหญ่เป็นมูลฝอยประเภทเศษอาหาร ดังนั้นจึงทำให้สัดส่วนน้ำหนักมูลฝอยแต่ละประเภทของทั้งงานวิจัยนี้กับของสำนักรักษาความสะอาดมีค่าใกล้เคียงกันมาก

4.1.2 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอย

ค่าต่างๆของลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอยประกอบด้วยปริมาณความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ และปริมาณเถ้า แสดงเป็นค่าช่วง ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจำนวน 60 ตัวอย่าง นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับสำนักรักษาความสะอาด 2545 ได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่ง Benzoic acid ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อน (LSCV) มีค่าความร้อนที่ระบุไว้ 6318 cal/g หรือ 26.453 MJ/kg และเมื่อมีการสอบกลับพบว่ามีความร้อนเท่ากับ 6328 cal/g หรือ 26.494 MJ/kg คิดเป็นผลต่างร้อยละ 0.16 แสดงค่าได้ดังภาคผนวก ง. ซึ่งถือว่าค่าความร้อนของ Benzoic acid ที่ระบุไว้ยอมรับได้ในการคำนวณหาปริมาณความร้อน (LSCV) ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอยชุมชน

ลักษณะสมบัติทางเคมี	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย N = 60	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	สำนักศึกษา ความสะอาด ปี 2544
ปริมาณความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	659.41	2444.15	1578.03	379.65	1677.73
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	48.66	74.30	62.29	5.14	55.62
ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละ)	22.75	44.97	33.37	4.63	35.96
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	2.62	7.58	4.34	1.07	10.64
รวม (ค่าเฉลี่ย)			100	-	100

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าปริมาณความร้อน (Lower Solid Calorific Value : LSCV) ของมูลฝอยที่มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 659.41 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม มีค่าสูงสุดเท่ากับ 2444.15 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1578.03 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม มูลฝอยมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 62.29 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เท่ากับร้อยละ 33.37 และมีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 4.34 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากงานวิจัยนี้กับผลที่ได้จัดทำโดยฝ่ายวิจัย กองวิชาการและแผนงาน สำนักศึกษาความสะอาดในปี 2544 (สำนักศึกษาความสะอาด, 2545) พบว่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณความชื้นของงานวิจัยนี้มีค่ามากกว่าของสำนักศึกษาความสะอาดปี 2544 คือร้อยละ 66.29 กับร้อยละ 55.62 ตามลำดับ ซึ่งก็สอดคล้องกับปริมาณความร้อน (LSCV) ที่ได้มีน้อยกว่า คือ 1578.03 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม กับ 1677.73 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณความชื้นมากขึ้นทำให้ปริมาณความร้อนลดลง

4.1.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย

นำตัวอย่างมูลฝอยที่ผ่านการอบแห้งแล้วมาทดสอบตามสัดส่วนน้ำหนักองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยแต่ละประเภทให้ได้หนึ่งร้อยละโดยหักสัดส่วนมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ ออก ลักษณะมูลฝอยที่ผสมกันมีลักษณะดังรูปที่ 4.2 แล้วนำมาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์แสดงเป็นค่าช่วง ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจำนวน 60 ตัวอย่าง นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับสำนักศึกษาความสะอาด 2545 ได้ดังตารางที่ 4.3 และเนื่องจากตรวจไม่พบปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างมูลฝอยของงานวิจัยนี้ จึงไม่ได้แสดงค่าในตารางดังกล่าว



รูปที่ 4.2 ลักษณะมูลฝอยที่ผ่านการบดแล้วนำมาผสมกันตามสัดส่วนองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยชุมชน

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง				
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย N = 60	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	สำนักรักษา ความสะอาด ปี 2545
คาร์บอน (C)	34.28	53.83	44.70	3.85	45.41
ไฮโดรเจน (H)	1.52	3.00	2.22	0.31	5.11
ออกซิเจน (O)	38.33	56.08	46.32	3.84	30.37
ไนโตรเจน (N)	1.18	2.93	1.75	0.44	0
ซัลเฟอร์ (S)	0.05	1.08	0.67	0.23	0.67
เถ้า (Ash)	2.62	7.58	4.34	1.07	-
รวม (ค่าเฉลี่ย)			100		81.56*

หมายเหตุ ปริมาณออกซิเจน = 100 - ปริมาณคาร์บอน - ปริมาณไฮโดรเจน - ปริมาณไนโตรเจน - ปริมาณซัลเฟอร์ - ปริมาณเถ้า

* หมายถึง ยังไม่รวมปริมาณคลอรีน และปริมาณเถ้าซึ่งไม่ได้ระบุในรายงาน

จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อหักปริมาณเก่าที่มีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 4.34 ออกจากหนึ่ง ร้อยส่วน แสดงให้เห็นว่าธาตุที่มากที่สุดในมูลฝอยคือออกซิเจนมีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 46.33 โดย น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือคาร์บอนมีสัดส่วนร้อยละ 44.70 โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนที่เหลือ ประกอบด้วยไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ มีสัดส่วนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 2.22, 1.75 และ 0.67 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีระหว่างของงานวิจัยนี้กับ ของฝ่ายวิจัย กองวิชาการและแผนงาน สำนักรักษาความสะอาดในปี 2545 (สำนักรักษาความ สะอาด, 2545) แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีเกือบทุกตัวมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณ ออกซิเจนมีค่าแตกต่างอย่างชัดเจน เนื่องจากสำนักรักษาความสะอาดได้ทำการวิเคราะห์หาธาตุ ต่างๆ หลายตัว และไม่ได้ระบุปริมาณเก่า ทำให้เมื่อหาปริมาณออกซิเจน โดยวิธีการนำธาตุต่างๆ มาหักออกจากหนึ่งร้อยส่วน จึงทำให้มีค่าแตกต่างกัน

4.2 ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

ใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้นในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่า ความร้อนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (Statistical Package for Social Science) for Windows version 11.0 จากตัวอย่างมูลฝอยที่เก็บรวบรวม 60 ตัวอย่าง นำมาสร้างแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์จำนวน 48 ตัวอย่าง และสำหรับการตรวจสอบ (Validation) สมการที่ได้จาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 12 ตัวอย่าง โดยลำดับข้อมูลตัวอย่างที่นำมาสร้างแบบจำลองทาง และตรวจสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ค่าความร้อนแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สร้างขึ้นใช้วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระด้วยวิธี stepwise แสดงแต่ละ ขั้นตอนในการเลือกตัวแปรอิสระ ดังภาคผนวกที่ ๑.1 – ๑.4 โดยมีระดับนัยสำคัญทางสถิติสำหรับการ คัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน = 0.05 ($F_{in} = 3.84$) และมีระดับนัยสำคัญทางสถิติสำหรับการคัดเลือกตัวแปรอิสระออกจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ค่าความร้อน = 0.1 ($F_{out} = 2.71$) และผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS แสดง ดังต่อไปนี้

4.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ (Compositional Analysis)

กำหนดตัวแปรสำหรับสมการดังนี้

ตัวแปรตาม : Y = ปริมาณความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)

ตัวแปรอิสระ : X_1 = เศษอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X_2 = กระดาษ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X_3 = พลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X_4 = หนังและยาง (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X_5 = ผ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X_6 = ไม้และใบไม้ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X_7 = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

เนื่องจากตัวอย่างมูลฝอยที่เก็บมาเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักเปียก แต่ปริมาณความร้อนที่วิเคราะห์ในการวิจัยนี้เป็นปริมาณความร้อน (LSCV) ซึ่งใช้มูลฝอยที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 – 100°C เป็นเวลา 3 – 4 วัน แต่บดผสมตามน้ำหนักเปียกแต่ละประเภทของมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ ดังนั้นตัวแปรอิสระที่ต้องนำเข้ามาแบบจำลองจึงต้องรวมปริมาณความชื้นเข้าไปด้วย และสัดส่วนน้ำหนักแต่ละประเภทของมูลฝอยเป็นเฉพาะสัดส่วนน้ำหนักของมูลฝอยที่เผาไหม้ได้เท่านั้น ซึ่งต้องหักสัดส่วนน้ำหนักของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ออกก่อน แล้วจึงคำนวณสัดส่วนน้ำหนักของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้ใหม่จากหนึ่งร้อยละ แสดงค่าในตารางที่ 4.4 นำค่าตัวแปรเหล่านี้เข้าวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นได้ผลดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตัวแปร ลำดับ	LSCV (kcal/kg)	เศษอาหาร (%wet wt.)	(%wet wt.)	(%wet wt.)	(%wet wt.)	(%wet wt.)	ไม้ (%wet wt.)	ความชื้น (%)
1	1139.67	41.90	12.65	17.35	0.00	0.00	28.11	65.70
2		52.58	17.34	17.21	0.00	7.46	5.40	67.76
3		55.47	16.68	20.60	0.85	0.85	5.55	64.25
4	1291.06	58.40	16.29	18.91	0.00	0.00	6.40	62.67
5	833.95	55.24	16.45	21.46	0.00	5.85	1.00	68.85
6	1349.45	47.18	9.35	18.78	0.00	6.72	17.98	64.13
7	1319.02	46.97	12.01	21.49	0.00	5.27	14.26	65.36
8	1704.64	50.59	6.26	24.37	0.00	8.78	10.00	56.42
9	1718.44	63.85	10.46	18.13	0.00	6.82	0.75	56.00
10	1301.58	48.30	24.00	13.79	3.87	2.74	7.30	62.91
11	1478.68	42.97	19.33	23.35	2.37	6.75	5.22	61.65
12	1187.08	35.51	34.98	22.11	0.10	2.56	4.74	65.76
13	1443.83	51.43	13.71	19.72	0.79	9.89	4.46	61.74
14	2220.92	25.78	25.76	28.63	8.61	4.87	6.37	48.66
15	822.73	45.79	37.93	14.50	0.00	0.47	1.31	71.35
16	1252.63	44.41	27.73	14.77	0.00	9.16	3.93	63.43
17	2023.98	36.79	24.48	33.10	0.00	0.70	4.93	52.74
18	1608.90	51.12	13.67	19.66	0.00	8.17	7.38	62.22
19	2444.15	33.23	16.41	23.20	2.53	6.17	18.45	51.68
20	1860.94	38.51	9.88	22.38	0.32	0.32	28.58	58.28
21	1892.42	47.95	8.78	22.09	5.99	1.84	13.35	59.20
22	2009.84	46.67	8.73	28.05	2.85	8.97	4.73	58.57
23	1512.46	48.65	18.86	28.40	0.11	0.86	3.12	65.67
24	1711.84	38.67	19.30	24.24	0.06	8.03	9.70	60.80
25	1833.85	51.01	15.58	21.49	0.00	2.00	9.92	59.59
26	1467.70	41.69	23.09	21.77	2.59	2.92	7.93	62.68
27	2095.62	46.73	20.30	22.47	2.27	1.20	7.03	57.75
28	2072.03	47.41	19.12	21.15	0.75	4.58	7.00	57.39
29	1797.05	34.27	18.52	27.49	2.61	1.21	15.91	58.62
30	2249.75	55.28	10.16	21.80	0.07	2.06	10.63	51.90
31	2026.76	43.90	14.97	33.19	0.22	0.55	7.16	60.84
32	1867.55	47.01	20.38	28.64	0.06	1.12	2.78	60.88
33	1947.87	41.80	15.22	28.74	0.05	7.17	7.02	58.02
34	1192.30	59.90	10.70	21.13	0.00	1.76	6.51	71.58
35	1878.60	43.95	12.81	22.68	0.00	8.22	12.34	58.59
36	943.90	52.78	20.96	18.00	0.00	1.57	6.68	73.47
37	1381.55	31.44	18.42	20.13	0.41	6.15	23.44	65.86
38	1887.02	47.06	17.39	21.81	0.00	3.13	10.60	55.89
39	1430.18	48.84	12.64	22.63	1.20	3.59	11.10	64.80
40	1403.49	54.96	13.82	27.65	0.08	0.95	2.53	64.30
41	1757.81	59.62	14.61	18.37	0.00	0.30	7.10	60.78
42	1636.38	52.08	9.89	28.19	0.00	0.45	9.39	64.55
43	1809.96	61.11	9.44	20.57	1.05	0.63	7.20	62.59
44	1726.22	35.72	18.20	26.88	2.80	11.14	5.26	61.02
45	1816.39	41.38	18.06	23.48	4.95	3.27	8.86	59.04
46	1665.37	23.38	30.12	26.90	0.87	0.32	18.41	62.22
47	1813.56	50.89	13.00	19.56	0.11	4.54	11.89	61.16
48	1132.40	50.89	16.32	23.25	0.00	0.98	8.56	70.61

ตารางที่ 4.5 ค่าสถิติพรรณนา (Compositional Analysis I)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนข้อมูล
ปริมาณความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	Y	822.73 - 2444.15	1611.69	376.81	48
อาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X ₁	23.38 - 63.85	46.48	8.82	48
กระดาษ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X ₂	6.26 - 37.93	16.98	6.64	48
พลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X ₃	13.79 - 33.19	22.60	4.43	48
หนังและยาง (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X ₄	0 - 8.61	1.01	1.80	48
ผ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X ₅	0 - 11.14	3.81	3.24	48
ไม้และใบไม้ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X ₆	0.75 - 28.58	9.13	6.28	48
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	X ₇	48.66 - 73.47	61.67	5.20	48

จากตารางที่ 4.5 บอกค่าช่วง ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 48 ตัวอย่าง ที่นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพ ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 1611.69 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 61.67 สัดส่วนน้ำหนักเฉลี่ยของเศษอาหารเท่ากับ 46.48 โดยน้ำหนักเปียก กระดาษเท่ากับ 16.97 โดยน้ำหนักเปียก พลาสติกเท่ากับ 22.59 โดยน้ำหนักเปียก หนังและยางเท่ากับ 1.01 โดยน้ำหนักเปียก ผ้าเท่ากับ 3.81 โดยน้ำหนักเปียก และไม้และใบไม้เท่ากับ 9.13 โดยน้ำหนักเปียก สำหรับค่าช่วงยังบอกขอบเขตที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรในการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนนี้ไปใช้ในการพยากรณ์เพื่อให้ได้ผลการพยากรณ์มีความแม่นยำมากที่สุด

การสร้างแบบจำลองนี้ใช้เทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมเข้าสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นโดยวิธี stepwise ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05) ซึ่งมีตัวแปรอิสระสองตัวที่ถูกเลือกเข้าสมการคือ ปริมาณความชื้น และสัดส่วนน้ำหนักพลาสติก

ตารางที่ 4.6 สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary^c, Compositional Analysis I)

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	0.895 ^a	0.800	0.796	170.16569	0.800	184.456	1	46	0.000
2	0.915 ^b	0.837	0.829	155.61738	0.036	10.003	1	45	0.003

a. Predictors: (Constant), ความชื้น b. Predictors: (Constant), ความชื้น, พลาสติก

c. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.6 พิจารณาโมเดลที่ 2 พบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.915 แสดงว่าปริมาณความชื้น และสัดส่วนน้ำหนักพลาสติกมีความสัมพันธ์กับปริมาณความร้อน (LSCV) สูงมาก สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ (R^2) เท่ากับ 0.837 ซึ่งหมายถึงตัวแปรอิสระทั้งสองที่กล่าวไว้สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณความร้อน (LSCV) ได้ถึงร้อยละ 83.7 ส่วนอีกร้อยละ 16.3 เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณา สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่า (Adjusted R^2) เป็นการปรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ (R^2) ให้ถูกต้องมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการ ซึ่งตัวแปรอิสระตัวนั้นอาจจะไม่มี ความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.829 และพบว่าในแต่ละ ขั้นตอนของการนำตัวแปรอิสระปริมาณความชื้นและสัดส่วนน้ำหนักพลาสติกเข้าสู่สมการ ทำให้ ความผันแปรของตัวแปรตามปริมาณความร้อน (LSCV) เพิ่มขึ้น (R^2 Change) 0.800 (ร้อยละ 80) และ 0.036 (ร้อยละ 3.6) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA^c, Compositional Analysis I)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5341188.731	1	5341188.731	184.456	0.000 ^a
	Residual	1331992.696	46	28956.363		
	Total	6673181.427	47			
2	Regression	5583426.808	2	2791713.404	115.280	0.000 ^b
	Residual	1089754.619	45	24216.769		
	Total	6673181.427	47			

a. Predictors: (Constant), ความชื้น b. Predictors: (Constant), ความชื้น, พลาสติก

c. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.7 เป็นการทดสอบสมมติฐานสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของปริมาณความชื้น และสัดส่วนน้ำหนักของพลาสติกมีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ โดยที่

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{มี } \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่าที่ } \neq 0 \quad ; i = 1, 2, \dots, k$$

พิจารณาโมเดลที่ 2 พบว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significant) ของ F-test เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หมายความว่า มีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวมีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม คือปริมาณความร้อน (LSCV) ในรูปเชิงเส้น

ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient^a, Compositional Analysis I)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1 (Constant)	5609.412	295.374		18.991	0.000		
ความชื้น	-64.829	4.773	-0.895	-13.581	0.000	1.000	1.000
2 (Constant)	4852.726	360.841		13.448	0.000		
ความชื้น	-59.006	4.738	-0.814	-12.455	0.000	0.849	1.178
พลาสติก	17.600	5.565	0.207	3.163	0.003	0.849	1.178

a. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.8 เป็นการทดสอบสมมติฐานว่ามีสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนตัวใดบ้างที่ไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามในรูปเชิงเส้น โดยที่

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0 ; i = 1, 2, \dots, k$$

พิจารณาโมเดลที่ 2 พบว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance) T-test ของปริมาณความชื้น และสัดส่วนน้ำหนักพลาสติกมีค่าเท่ากับ 0.000 และ 0.003 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระทั้งสอง

ตัวมีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ จึงนำตัวแปรอิสระทั้งสองตัวเข้าสู่สมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นนี้

นอกจากนี้ผลของตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยตัวเอง พบว่าค่า Tolerance ของตัวแปรทั้งสองตัวเท่ากับ 0.849 (ค่า Tolerance มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1, ยิ่งมีค่าใกล้ 1 ยิ่งดี) แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อย ส่วนค่า VIF ของตัวแปรอิสระทั้งสองเท่ากับ 1.178 (ค่า VIF มีค่าอยู่ระหว่าง 1- ∞ , ยิ่งมีค่าใกล้ 1 ยิ่งดี) ก็แสดงถึงว่าตัวแปรอิสระทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อยด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนที่ยังไม่ได้ปรับค่า (B) ของปริมาณความชื้นเท่ากับ -59.01 สัดส่วนน้ำหนักพลาสติกเท่ากับ 17.60 และค่าคงที่เท่ากับ 4852.73 ซึ่งสามารถสรุปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพได้ดังนี้

$$LSCV (\hat{Y}) = 4852.73 - 59.01MC + 17.6P \quad \dots\dots (4.1)$$

โดยที่ LSCV = ปริมาณความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)

MC = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

P = สัดส่วนน้ำหนักพลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยเศษอาหาร และไม้และใบไม้ดังตารางที่ ๑. 1 จะเห็นว่าปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และกำมะถันมีค่าใกล้เคียงกันมาก และเมื่อสังเกตลักษณะทางกายภาพเศษอาหารมีส่วนของผักและผลไม้มาก เป็นส่วนที่ใกล้เคียงกับใบไม้ ซึ่งเป็นสัดส่วนส่วนใหญ่ในมูลฝอยประเภทไม้และใบไม้ ดังนั้นในแบบจำลองนี้จึงรวมสัดส่วนน้ำหนักเศษอาหาร และไม้และใบไม้เป็นตัวแปรอิสระตัวใหม่ เรียกว่าเศษอาหารและใบไม้ (Biological waste) กำหนดตัวแปรสำหรับสมการดังนี้

ตัวแปรตาม : Y = ปริมาณความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)

ตัวแปรอิสระ : X₁ = เศษอาหารและใบไม้ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X₂ = กระดาษ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X₃ = พลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X₄ = หนังและยาง (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X₅ = ผ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

X₆ = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

เมื่อนำค่าของตัวแปรเหล่านี้ดังตารางที่ 4.9 เข้าวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น
ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตัวแปร ลำดับ	LSCV (Kcal/kg)	Biological waste (%wet wt.)	กระดาษ (%wet wt.)	พลาสติก (%wet wt.)	ยาง&หนัง (%wet wt.)	ผ้า&สิ่งทอ (%wet wt.)	ความชื้น (%)
1	1139.67	70.00	12.65	17.35	0.00	0.00	65.70
2	1146.93	57.99	17.34	17.21	0.00	7.46	67.76
3	1252.76	61.02	16.68	20.60	0.85	0.85	64.25
4	1291.06	64.80	16.29	18.91	0.00	0.00	62.67
5	833.95	56.24	16.45	21.46	0.00	5.85	68.85
6	1349.45	65.16	9.35	18.78	0.00	6.72	64.13
7	1319.02	61.24	12.01	21.49	0.00	5.27	65.36
8	1704.64	60.59	6.26	24.37	0.00	8.78	56.42
9	1718.44	64.59	10.46	18.13	0.00	6.82	56.00
10	1301.58	55.60	24.00	13.79	3.87	2.74	62.91
11	1478.68	48.19	19.33	23.35	2.37	6.75	61.65
12	1187.08	40.25	34.98	22.11	0.10	2.56	65.76
13	1443.83	55.89	13.71	19.72	0.79	9.89	61.74
14	2220.92	32.14	25.76	28.63	8.61	4.87	48.66
15	822.73	47.10	37.93	14.50	0.00	0.47	71.35
16	1252.63	48.34	27.73	14.77	0.00	9.16	63.43
17	2023.98	41.71	24.48	33.10	0.00	0.70	52.74
18	1608.90	58.50	13.67	19.66	0.00	8.17	62.22
19	2444.15	51.69	16.41	23.20	2.53	6.17	51.68
20	1860.94	67.09	9.88	22.38	0.32	0.32	58.28
21	1892.42	61.31	8.78	22.09	5.99	1.84	59.20
22	2009.84	51.40	8.73	28.05	2.85	8.97	58.57
23	1512.46	51.77	18.86	28.40	0.11	0.86	65.67
24	1711.84	48.37	19.30	24.24	0.06	8.03	60.80
25	1833.85	60.93	15.58	21.49	0.00	2.00	59.59
26	1467.70	49.62	23.09	21.77	2.59	2.92	62.68
27	2095.62	53.76	20.30	22.47	2.27	1.20	57.75
28	2072.03	54.40	19.12	21.15	0.75	4.58	57.39
29	1797.05	50.17	18.52	27.49	2.61	1.21	58.62
30	2249.75	65.91	10.16	21.80	0.07	2.06	51.90
31	2026.76	51.06	14.97	33.19	0.22	0.55	60.84
32	1867.55	49.79	20.38	28.64	0.06	1.12	60.88
33	1947.87	48.82	15.22	28.74	0.05	7.17	58.02
34	1192.30	66.41	10.70	21.13	0.00	1.76	71.58
35	1878.60	56.29	12.81	22.68	0.00	8.22	58.59
36	943.90	59.47	20.96	18.00	0.00	1.57	73.47
37	1381.55	54.89	18.42	20.13	0.41	6.15	65.86
38	1887.02	57.66	17.39	21.81	0.00	3.13	55.89
39	1430.18	59.94	12.64	22.63	1.20	3.59	64.80
40	1403.49	57.49	13.82	27.65	0.08	0.95	64.30
41	1757.81	66.72	14.61	18.37	0.00	0.30	60.78
42	1636.38	61.48	9.89	28.19	0.00	0.45	64.55
43	1809.96	68.31	9.44	20.57	1.05	0.63	62.59
44	1726.22	40.98	18.20	26.88	2.80	11.14	61.02
45	1816.39	50.25	18.06	23.48	4.95	3.27	59.04
46	1665.37	41.79	30.12	26.90	0.87	0.32	62.22
47	1813.56	62.79	13.00	19.56	0.11	4.54	61.16
48	1132.40	59.45	16.32	23.25	0.00	0.98	70.61

ตารางที่ 4.10 ค่าสถิติพรรณนา (Compositional Analysis II)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนข้อมูล
ปริมาณความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	Y	822.73 - 2444.15	1611.69	376.81	48
เศษอาหารและใบไม้ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X_1	32.14 - 70.00	55.61	8.34	48
กระดาษ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X_2	6.26 - 37.93	16.97	6.64	48
พลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X_3	13.79 - 33.19	22.59	4.43	48
ยาง (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X_4	0 - 8.61	1.01	1.8	48
ผ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)	X_5	0 - 11.14	3.81	3.24	48
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	X_6	48.66 - 73.47	61.67	5.20	48

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรอื่นๆ มีค่าเท่าเดิม ซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรอิสระตัวใหม่ คือ สัดส่วนน้ำหนักเศษอาหารและใบไม้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 55.61 โดยน้ำหนักเปียก

การสร้างแบบจำลองนี้ใช้เทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมเข้าสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นโดยวิธี stepwise ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05) ซึ่งมีตัวแปรอิสระสามตัวที่ถูกเลือกเข้าสมการคือ ปริมาณความชื้น สัดส่วนน้ำหนักพลาสติก และสัดส่วนน้ำหนักเศษอาหารและใบไม้

ตัวแบบต่างๆ ของสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.11 โดยพิจารณาโมเดลที่ 3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.924 แสดงว่าปริมาณความชื้น สัดส่วนน้ำหนักพลาสติก และสัดส่วนน้ำหนักเศษอาหารและใบไม้ (Biological waste) มีความสัมพันธ์กับปริมาณความร้อน (LSCV) สูงมาก สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ (R^2) เท่ากับ 0.853 ซึ่งหมายถึงตัวแปรอิสระทั้งสามที่กล่าวไว้สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณความร้อน (LSCV) ได้ถึงร้อยละ 85.3 ส่วนอีกร้อยละ 14.7 เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่ไม่นำมาพิจารณา สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่า (Adjusted R^2) เป็นการปรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ (R^2) ให้ถูกต้องมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการ ซึ่งตัวแปรอิสระตัวนั้นอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.843 และพบว่าในแต่ละขั้นตอนของการนำตัวแปรอิสระปริมาณความชื้น สัดส่วนน้ำหนักพลาสติก และ

สัดส่วนน้ำหนักเศษอาหารและใบไม้เข้าสู่สมการทำให้ความผันแปรของตัวแปรตามปริมาณความชื้น (LSCV) เพิ่มขึ้น (R^2 Change) 0.800 (ร้อยละ 80), 0.036 (ร้อยละ 3.6) และ 0.017 (ร้อยละ 1.7) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary^d, Compositional Analysis II)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistic				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	0.895 ^a	0.800	0.796	170.166	0.800	184.456	1	46	0.000
2	0.915 ^b	0.837	0.829	155.617	0.036	10.003	1	45	0.003
3	0.924 ^c	0.853	0.843	149.088	0.017	5.028	1	44	0.030

a. Predictors: (Constant), ความชื้น b. Predictors: (Constant), ความชื้น, พลาสติก

c. Predictors: (Constant), ความชื้น, พลาสติก, Bio waste d. Dependent Variable: LSCV

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA^c, Compositional Analysis II)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5341188.731	1	5341188.731	184.456	0.000 ^a
	Residual	1331992.696	46	28956.363		
	Total	6673181.427	47			
2	Regression	5583426.808	2	2791713.404	115.280	0.000 ^b
	Residual	1089754.619	45	24216.769		
	Total	6673181.427	47			
3	Regression	5695179.917	3	1898393.306	85.408	0.000 ^c
	Residual	978001.5099	44	22227.307		
	Total	6673181.427	47			

a. Predictors: (Constant), ความชื้น b. Predictors: (Constant), ความชื้น, พลาสติก

c. Predictors: (Constant), ความชื้น, พลาสติก, Bio waste d. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.12 เป็นการทดสอบสมมติฐานสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของปริมาณความชื้น สัดส่วนน้ำหนักของพลาสติก และสัดส่วนน้ำหนักเศษอาหารและใบไม้มีค่า

เท่ากับศูนย์หรือไม่
โดยที่

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{มี } \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่าที่ } \neq 0 \quad ; i = 1, 2, \dots, k$$

พิจารณาโมเดลที่ 3 พบว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significant) ของ F-test เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หมายความว่า มีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีความสัมพันธ์กับปริมาณความร้อน (LSCV) ในรูปเชิงเส้น

ตารางที่ 4.13 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient^a, Compositional Analysis II)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1 (Constant)	5609.412	295.374		18.991	0.000		
ความชื้น	-64.829	4.773	-0.895	-13.581	0.000	1.000	1.000
2 (Constant)	4852.726	360.841		13.448	0.000		
ความชื้น	-59.006	4.738	-0.814	-12.455	0.000	0.849	1.178
พลาสติก	17.600	5.565	0.207	3.163	0.003	0.849	1.178
3 (Constant)	4407.725	398.618		11.058	0.000		
ความชื้น	-59.772	4.552	-0.825	-13.132	0.000	0.844	1.185
พลาสติก	23.078	5.865	0.271	3.935	0.000	0.702	1.425
Bio waste	6.626	2.955	0.147	2.242	0.030	0.778	1.286

a. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.13 เป็นการทดสอบสมมติฐานว่ามีสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนตัวใดบ้างที่ไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามในรูปเชิงเส้น
โดยที่

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0 ; i = 1, 2, \dots, k$$

พิจารณาโมเดลที่ 3 พบว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance) T-test ของปริมาณความชื้น สัดส่วนน้ำหนักรพลาสติก และสัดส่วนเศษอาหารและใบไม้ (Biological waste) มีค่าเท่ากับ 0.000, 0.000 และ 0.030 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระทั้งสามตัวมีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ จึงนำตัวแปรอิสระทั้งสามตัวเข้าสู่สมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นนี้

นอกจากนี้ผลของการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยตัวเอง พบว่าค่า Tolerance ของตัวแปรทั้งสามตัว คือ ปริมาณความชื้น สัดส่วนน้ำหนักรพลาสติก และสัดส่วนเศษอาหารและใบไม้ เท่ากับ 0.844, 0.702 และ 0.778 ตามลำดับ (ค่า Tolerance มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1, ยิ่งมีค่าใกล้ 1 ยิ่งดี) แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งสามมีความสัมพันธ์กันน้อย ส่วนค่า VIF ของตัวแปรอิสระทั้งสามตัวเท่ากับ 1.182, 1.425 และ 1.286 (ค่า VIF มีค่าอยู่ระหว่าง 1- ∞ , ยิ่งมีค่าใกล้ 1 ยิ่งดี) ก็แสดงถึงว่าตัวแปรอิสระทั้งสามมีความสัมพันธ์กันน้อยด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนที่ยังไม่ได้ปรับค่า (B) ของปริมาณความชื้นเท่ากับ -59.77 สัดส่วนน้ำหนักรพลาสติกเท่ากับ 23.08 สัดส่วนน้ำหนักรเศษอาหารและใบไม้เท่ากับ 6.626 และค่าคงที่เท่ากับ 4407.73 ซึ่งสามารถสรุปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพได้ดังนี้

$$LSCV (\hat{Y}) = 4407.73 - 59.77MC + 23.08P + 6.63B \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

โดยที่ LSCV = ปริมาณความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)

MC = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

P = สัดส่วนน้ำหนักรพลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

B = สัดส่วนน้ำหนักรเศษอาหารและใบไม้ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

4.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะสมบัติทางเคมี

(Proximate Analysis)

กำหนดตัวแปรสำหรับสมการดังนี้

ตัวแปรตาม : $Y =$ ปริมาณความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)

ตัวแปรอิสระ : $X_1 =$ ปริมาณความชื้น (Moisture content, ร้อยละ)

$X_2 =$ ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile solid, ร้อยละ)

$X_3 =$ ปริมาณเถ้า (Ash, ร้อยละ)

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลลักษณะสมบัติทางเคมีสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตัวแปร ลำดับ	LSCV (kcal/kg)	ความชื้น (%)	สารที่เผาไหม้ได้ (%)	เถ้า (%)
1	1139.67	65.70	29.44	4.86
2	1146.93	67.76	29.16	3.08
3	1252.76	64.25	32.14	3.61
4	1291.06	62.67	32.85	4.48
5	833.95	68.85	25.83	5.32
6	1349.45	64.13	31.44	4.43
7	1319.02	65.36	31.04	3.60
8	1704.64	56.42	39.00	4.58
9	1718.44	56.00	39.56	4.44
10	1301.58	62.91	33.11	3.98
11	1478.68	61.65	33.84	4.51
12	1187.08	65.76	30.64	3.60
13	1443.83	61.74	34.24	4.02
14	2220.92	48.66	44.97	6.37
15	822.73	71.35	25.72	2.93
16	1252.63	63.43	32.84	3.73
17	2023.98	52.74	41.12	6.14
18	1608.90	62.22	31.40	6.38
19	2444.15	51.68	43.00	5.32
20	1860.94	58.28	34.14	7.58
21	1892.42	59.20	36.15	4.65
22	2009.84	58.57	37.50	3.93
23	1512.46	65.67	30.90	3.43
24	1711.84	60.80	34.10	5.10
25	1833.85	59.59	35.32	5.09
26	1467.70	62.68	30.90	6.42
27	2095.62	57.75	39.29	2.96
28	2072.03	57.39	39.15	3.46
29	1797.05	58.62	34.94	6.44
30	2249.75	51.90	43.31	4.79
31	2026.76	60.84	35.55	3.61
32	1867.55	60.88	34.25	4.87
33	1947.87	58.02	37.26	4.72
34	1192.30	71.58	24.82	3.60
35	1878.60	58.59	36.12	5.29
36	943.90	73.47	22.75	3.78
37	1381.55	65.86	30.38	3.76
38	1887.02	55.89	38.67	5.44
39	1430.18	64.80	30.50	4.70
40	1403.49	64.30	32.88	2.82
41	1757.81	60.78	35.44	3.78
42	1636.38	64.55	30.76	4.69
43	1809.96	62.59	33.47	3.94
44	1726.22	61.02	35.74	3.24
45	1816.39	59.04	36.52	4.44
46	1665.37	62.22	33.76	4.02
47	1813.56	61.16	34.51	4.33
48	1132.40	70.61	26.73	2.66

เนื่องจากตัวอย่างที่เก็บมาเป็นข้อมูลฝอยเปียก แต่ปริมาณความร้อนที่วิเคราะห์ในการวิจัยนี้เป็นปริมาณความร้อน (LSCV) ซึ่งใช้ข้อมูลฝอยที่ผ่านการอบแห้ง และบดผสมตามน้ำหนักเปียก ดังนั้นตัวแปรอิสระที่มีผลต่อค่าปริมาณความร้อน (LSCV) จึงประกอบด้วยตัวแปรอิสระสามตัวที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งแสดงค่าในตารางที่ 4.14 นำค่าตัวแปรเหล่านี้เข้าวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.15 ค่าสถิติพรรณนา (Proximate Analysis)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนข้อมูล
ปริมาณความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	Y	822.73 - 2444.15	1611.69	376.81	48
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	X ₁	48.66 - 73.47	61.67	5.20	48
ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละ)	X ₂	22.75 - 44.97	33.90	4.75	48
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	X ₃	2.66 - 7.58	4.44	1.08	48

จากตารางที่ 4.15 บอกค่าช่วง ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างข้อมูลฝอยจำนวน 48 ตัวอย่าง ที่นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับลักษณะสมบัติทางเคมีค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 1611.69 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 61.67 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เท่ากับร้อยละ 33.90 และปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 4.44

การสร้างแบบจำลองนี้ใช้เทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมเข้าสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นโดยวิธี stepwise ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05) ซึ่งมีตัวแปรอิสระหนึ่งตัวที่ถูกเลือกเข้าสมการคือ ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้

ตารางที่ 4.16 สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary^b, Proximate Analysis)

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	0.896 ^a	0.802	0.798	169.429	0.802	186.464	1	46	0.000

a. Predictors: (Constant), VS b. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.16 พบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.896 แสดงว่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile Solid, VS) มีความสัมพันธ์กับปริมาณความร้อน (LSCV) สูงมาก และมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ (R^2) เท่ากับ 0.802 ซึ่งหมายถึงปริมาณสารที่เผาไหม้ได้สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณความร้อน (LSCV) ได้ถึงร้อยละ 80.2 ส่วนอีกร้อยละ 19.8 เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณา และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่า (Adjusted R^2) เป็นการปรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ (R^2) ให้ถูกต้องมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการ ซึ่งตัวแปรอิสระตัวนั้นอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.798

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA^b, Proximate Analysis)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5352691.578	1	5352691.578	186.464	0.000 ^a
	Residual	1320489.849	46	28706.301		
	Total	6673181.427	47			

a. Predictors: (Constant), VS b. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.17 เป็นการทดสอบสมมติฐานสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่

โดยที่

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{มี } \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่าที่ } \neq 0 ; i = 1, 2, \dots, k$$

พบว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significant) ของ F-test เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หมายความว่า มีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวมีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์หรือมีความสัมพันธ์กับปริมาณความร้อน (LSCV) ในรูปเชิงเส้น ซึ่งในโมเดลนี้มีตัวแปรอิสระเพียงแค่ตัวเดียว คือ ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้

ตารางที่ 4.18 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient^a, Proximate Analysis)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1 (Constant)	-797.791	178.137		-4.478	0.000		
ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้	71.077	5.205	0.896	13.655	0.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.18 เป็นการทดสอบสมมติฐานว่ามีสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนตัวใดบ้างที่ไม่เท่ากับศูนย์หรือมีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามในรูปเชิงเส้น โดยที่

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0 ; i = 1, 2, \dots, k$$

พบว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance) T-test ของปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หมายความว่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้มีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นการยืนยันผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จึงนำตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นนี้

นอกจากนี้ผลของการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันเอง บอกว่าค่า Tolerance และค่า VIF มีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่าในโมเดลนี้มีตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียว จึงไม่มีความสัมพันธ์ในเงื่อนไขของความอิสระ จึงให้ค่าเท่ากับ 1

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนที่ยังไม่ได้ปรับค่า (B) ของปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เท่ากับ 71.08 และค่าคงที่เท่ากับ -797.77 ซึ่งสามารถสรุปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับคุณสมบัติทางเคมีได้ดังนี้

$$LSCV (\hat{Y}) = 71.08VS - 797.77 \quad \dots\dots (4.3)$$

โดยที่ VS = ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละ)

ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ส่งผลต่อปริมาณความร้อนเนื่องจากปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิง จะเปลี่ยนเป็นก๊าซขณะอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เกิดการเผาอย่างรวดเร็ว และสมบูรณ์ (Shah, 2000) แต่เมื่อสังเกตแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับลักษณะสมบัติทางเคมีที่ได้พบว่าเมื่อปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เท่ากับศูนย์ ทำให้ปริมาณความร้อน (LSCV) ที่ได้จากสมการที่ 4.3 มีค่าเท่ากับ -797.77 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งเป็นข้อจำกัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนนี้ ดังนั้นเมื่อจะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนนี้ไปใช้งานต้องใช้กับมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้เท่านั้น

4.2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางเคมี (Ultimate Analysis)

กำหนดตัวแปรสำหรับสมการดังนี้

ตัวแปรตาม : Y = ปริมาณความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)

ตัวแปรอิสระ : X_1 = คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

X_2 = ไฮโดรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

X_3 = ออกซิเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

X_4 = ซัลเฟอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

X_5 = ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

X_6 = ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)

เนื่องจากในการวิเคราะห์ปริมาณความร้อน (LSCV) ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และเถ้าใช้มูลฝอยที่ผ่านการบด และอบแห้งแล้ว ดังนั้นตัวแปรอิสระจึงไม่รวมปริมาณความชื้นเข้ามาด้วย ส่วนค่าของตัวแปรต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.19 นำค่าตัวแปรเหล่านี้เข้าวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นได้ผลดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตัวแปร ลำดับ	LSCV (kcal/kg)	คาร์บอน (%dry wt.)	ไฮโดรเจน (%dry wt.)	ออกซิเจน (%dry wt.)	ไนโตรเจน (%dry wt.)	ซัลเฟอร์ (%dry wt.)	เถ้า (%dry wt.)
1	1139.67	52.89	1.96	38.33	1.29	0.67	4.86
2	1146.93	53.83	1.94	38.78	1.73	0.64	3.08
3	1252.76	46.20	2.14	46.57	1.41	0.07	3.61
4	1291.06	47.94	2.19	44.13	1.21	0.05	4.48
5	833.95	48.65	1.72	41.73	1.50	1.08	5.32
6	1349.45	43.63	2.10	47.43	1.72	0.69	4.43
7	1319.02	48.36	2.07	43.91	1.47	0.59	3.60
8	1704.64	47.54	2.60	43.20	1.44	0.64	4.58
9	1718.44	46.39	2.64	44.30	1.60	0.64	4.44
10	1301.58	44.82	2.21	46.72	1.65	0.62	3.98
11	1478.68	44.70	2.26	45.85	1.76	0.92	4.51
12	1187.08	44.96	2.04	46.92	1.56	0.91	3.60
13	1443.83	45.04	2.28	46.50	1.63	0.53	4.02
14	2220.92	43.49	3.00	44.84	1.95	0.35	6.37
15	822.73	43.28	1.71	49.73	1.61	0.74	2.93
16	1252.63	44.61	2.19	47.66	1.46	0.34	3.73
17	2023.98	48.78	2.74	40.17	1.63	0.53	6.14
18	1608.90	41.35	2.09	47.67	1.73	0.77	6.38
19	2444.15	47.15	2.87	42.53	1.40	0.73	5.32
20	1860.94	40.12	2.28	47.87	1.74	0.41	7.58
21	1892.42	47.21	2.41	42.89	2.05	0.79	4.65
22	2009.84	47.11	2.50	43.73	1.86	0.87	3.93
23	1512.46	36.88	2.06	56.08	1.40	0.15	3.43
24	1711.84	42.25	2.27	48.39	1.38	0.61	5.10
25	1833.85	41.74	2.35	48.10	2.13	0.58	5.09
26	1467.70	43.37	2.06	45.73	1.61	0.80	6.42
27	2095.62	45.23	2.62	46.09	2.33	0.78	2.96
28	2072.03	48.57	2.61	42.23	2.49	0.63	3.46
29	1797.05	34.28	2.33	54.83	1.39	0.73	6.44
30	2249.75	45.20	2.89	45.04	1.28	0.80	4.79
31	2026.76	43.96	2.37	47.46	2.26	0.35	3.61
32	1867.55	40.98	2.28	49.28	1.65	0.93	4.87
33	1947.87	39.53	2.48	51.80	1.18	0.29	4.72
34	1192.30	43.59	1.65	47.91	2.51	0.73	3.60
35	1878.60	43.83	2.41	45.88	1.65	0.93	5.29
36	943.90	46.12	1.52	45.51	2.18	0.89	3.78
37	1381.55	40.29	2.03	51.72	1.40	0.81	3.76
38	1887.02	40.90	2.58	48.81	1.38	0.89	5.44
39	1430.18	41.74	2.03	49.20	1.49	0.84	4.70
40	1403.49	42.99	2.19	50.20	1.25	0.55	2.82
41	1757.81	46.10	2.36	45.87	1.36	0.53	3.78
42	1636.38	37.27	2.05	53.50	1.68	0.81	4.69
43	1809.96	44.91	2.23	45.84	2.28	0.80	3.94
44	1726.22	40.37	2.38	52.36	1.33	0.32	3.24
45	1816.39	44.54	2.43	46.30	1.51	0.78	4.44
46	1665.37	44.97	2.25	47.05	1.20	0.51	4.02
47	1813.56	47.12	2.30	43.01	2.47	0.77	4.33
48	1132.40	42.24	1.78	51.03	1.36	0.93	2.66

ตารางที่ 4.20 ค่าสถิติพรรณนา (Ultimate Analysis)

พารามิเตอร์	ตัวแปร	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	จำนวนข้อมูล
ปริมาณความร้อน (LSCV, กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	Y	822.73 - 2444.15	1611.69	376.81	48
คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	X ₁	34.28 - 53.83	44.31	3.71	48
ไฮโดรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	X ₂	1.52 - 3.00	2.26	0.32	48
ออกซิเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	X ₃	38.33 - 56.08	46.68	3.78	48
ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	X ₄	1.18 - 2.51	1.66	0.36	48
ซัลเฟอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	X ₅	0.05 - 1.08	0.65	0.24	48
ปริมาณเถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	X ₆	2.66 - 7.58	4.44	1.08	48

จากตารางที่ 4.20 บอกค่าช่วง ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 48 ตัวอย่าง ที่นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์องค์ประกอบทางเคมี ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 1611.69 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และเถ้า เท่ากับร้อยละ 44.31, 2.26, 46.68, 1.66, 0.65 และ 4.44 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

การสร้างแบบจำลองนี้ใช้เทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสมเข้าสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นโดยวิธี stepwise ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% (ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05) ซึ่งมีตัวแปรอิสระสามตัวที่ถูกเลือกเข้าสมการคือ ปริมาณไฮโดรเจน ไนโตรเจน และคาร์บอน

ตารางที่ 4.21 สรุปตัวแบบสมการถดถอย (Model Summary^d, Ultimate Analysis)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistic				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	0.896 ^a	0.802	0.798	169.427	0.802	186.470	1	46	0.000
2	0.916 ^b	0.839	0.831	154.741	0.036	10.146	1	45	0.003
3	0.940 ^c	0.883	0.875	133.380	0.044	16.568	1	44	0.000

a. Predictors: (Constant), ไฮโดรเจน b. Predictors: (Constant), ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน

c. Predictors: (Constant), ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, คาร์บอน d. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.21 พิจารณาโมเดลที่ 3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.940 แสดงว่า ปริมาณไฮโดรเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณความร้อน (LSCV) สูงมาก และมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ (R^2) เท่ากับ 0.883 ซึ่งหมายถึงตัวแปรอิสระทั้งสามที่กล่าวไว้สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณความร้อน (LSCV) ได้ถึงร้อยละ 88.3 ส่วนอีกร้อยละ 11.7 เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณา สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่า (Adjusted R^2) เป็นการปรับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการ (R^2) ให้ถูกต้องมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการ ซึ่งตัวแปรอิสระตัวนั้นอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.875 และพบว่าในแต่ละขั้นตอนของการนำตัวแปรอิสระปริมาณไฮโดรเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนเข้าสู่สมการทำให้ความผันแปรของตัวแปรตามปริมาณความร้อน (LSCV) เพิ่มขึ้น (R^2 Change) 0.802 (ร้อยละ 80.2), 0.036 (ร้อยละ 3.6) และ 0.044 (ร้อยละ 4.4) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA^d, Ultimate Analysis)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5352728.525	1	5352728.525	186.470	0.000 ^a
	Residual	1320452.903	46	28705.498		
	Total	6673181.427	47			
2	Regression	5595673.478	2	2797836.739	116.846	0.000 ^b
	Residual	1077507.949	45	23944.621		
	Total	6673181.427	47			
3	Regression	5890414.336	3	1963471.445	110.368	0.000 ^c
	Residual	782767.092	44	17790.161		
	Total	6673181.427	47			

a. Predictors: (Constant), ไฮโดรเจน b. Predictors: (Constant), ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน

c. Predictors: (Constant), ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, คาร์บอน d. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.22 เป็นการทดสอบสมมติฐานสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของ ปริมาณไฮโดรเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนมีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ โดยที่

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_k = 0$$

$$H_1 : \text{มี } \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่าที่ } \neq 0 \quad ; i = 1, 2, \dots, k$$

พิจารณาโมเดลที่ 3 พบว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significant) ของ F-test เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หมายความว่า มีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวมีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีความสัมพันธ์กับปริมาณความร้อน (LSCV) ในรูปเชิงเส้น

ตารางที่ 4.23 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม (Coefficient^a, Ultimate Analysis)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1 (Constant)	-797.816	178.137		-4.479	0.000		
ไฮโดรเจน	1066.182	78.078	0.896	13.655	0.000	1.000	1.000
2 (Constant)	-1137.299	194.496		-5.847	0.000		
ไฮโดรเจน	1070.694	71.324	.899	15.012	0.000	1.000	1.000
ไนโตรเจน	198.730	62.390	.191	3.185	0.003	1.000	1.000
3 (Constant)	-257.675	273.510		-.942	.351		
ไฮโดรเจน	1079.713	61.518	.907	17.551	.000	.998	1.002
ไนโตรเจน	233.268	54.443	.224	4.285	.000	.975	1.025
คาร์บอน	-21.601	5.307	-.213	-4.070	.000	.975	1.026

a. Dependent Variable: LSCV

จากตารางที่ 4.23 เป็นการทดสอบสมมติฐานว่ามีสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนตัวใดบ้างที่ไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามในรูปเชิงเส้น

โดยที่

$$H_0 : \beta_i = 0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0 ; i = 1, 2, \dots, k$$

พิจารณาโมเดลที่ 3 พบว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance) T-test ของปริมาณไฮโดรเจน ไนโตรเจน และคาร์บอน มีค่าเท่ากับ 0.000, 0.000 และ 0.000 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งทำให้ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หมายความว่าตัวแปรอิสระทั้งสามตัวมีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ จึงนำตัวแปรอิสระทั้งสามตัวเข้าสู่สมการความ

ถดถอยพหุคูณเชิงเส้นนี้ แต่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance) T-test ของค่าคงที่ (Constant) มีค่าเท่ากับ 0.351 ซึ่งมีความมากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ซึ่งทำให้ยอมรับสมมติฐาน H_0 หมายความว่าตัวค่าคงที่มีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนเท่ากับศูนย์ จึงไม่นำค่าคงที่เข้าสู่สมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นนี้

นอกจากนี้ผลของการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยตัวเอง พบว่าค่า Tolerance ของตัวแปรทั้งสามตัว คือ ปริมาณไฮโดรเจน ไนโตรเจน และคาร์บอน เท่ากับ 0.998, 0.975 และ 0.975 ตามลำดับ (ค่า Tolerance มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1, ยิ่งมีค่าใกล้ 1 ยิ่งดี) แสดงว่าตัวแปรอิสระทั้งสามมีความสัมพันธ์กันน้อย ส่วนค่า VIF ของตัวแปรอิสระทั้งสามตัวเท่ากับ 1.002, 1.025 และ 1.026 (ค่า VIF มีค่าอยู่ระหว่าง 1- ∞ , ยิ่งมีค่าใกล้ 1 ยิ่งดี) ก็แสดงถึงว่าตัวแปรอิสระทั้งสามมีความสัมพันธ์กันน้อยด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนที่ยังไม่ได้ปรับค่า (B) ของปริมาณไฮโดรเจนเท่ากับ 1079.71 ไนโตรเจนเท่ากับ 233.27 และคาร์บอนเท่ากับ -21.60 ซึ่งสามารถสรุปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางเคมีได้ดังนี้

$$LSCV (\hat{Y}) = 1079.71H + 233.27N - 21.6C \quad \dots\dots (4.4)$$

โดยที่ H = ไฮโดรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

N = ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

C = คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

แต่สมการที่ได้นี้ขัดแย้งกับความเป็นจริงที่ว่าปริมาณคาร์บอนมากขึ้นทำให้ปริมาณความร้อนลดลง ซึ่งที่จริงคาร์บอนเป็นแหล่งให้พลังงานแหล่งสำคัญ ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีจึงไม่แนะนำให้นำไปใช้พยากรณ์ ทั้งนี้อาจเกิดจากขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยเพื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยเป็นตัวอย่างมูลฝอยที่ผ่านการอบแห้ง และบดผสมกันตามสัดส่วนน้ำหนักแต่ละองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้ ถึงแม้จะมีการคลุกเคล้ากันอย่างดีก็ไม่สามารถที่จะผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ทุกส่วน ซึ่งในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีใช้ตัวอย่างปริมาณไม่มาก (0.5 - 2 กรัม ขึ้นอยู่กับประเภทของการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี) ทำให้มีโอกาสจะได้ตัวแทนที่ไม่ใช่ตัวแทนที่แท้จริง ดังนั้นจึงส่งผลให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีเกิดการผิดพลาดขึ้นหรือไม่สะท้อนความเป็นจริง

4.3 ตรวจสอบสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

นำสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของมูลฝอยมาตรวจสอบกับตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 12 ตัวอย่าง ได้ผลดังนี้

4.3.1 ตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ

นำปริมาณความชื้น และสัดส่วนน้ำหนักพลาสติกของตัวอย่างมูลฝอยทั้ง 12 ตัวอย่างมาแทนค่าในสมการ 4.1 และเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของธเรศ ศรีสถิตย์ และจุลฑามาศ ตามสมการที่ 2.10 เนื่องจากเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สร้างมาจากตัวอย่างมูลฝอยของกรุงเทพมหานครเช่นกัน

$$LSCV (\hat{Y}) = 4852.73 - 59.01MC + 17.6P \quad \dots\dots(4.1)$$

$$Q_{รวม} = 3153.14 + 16.55P_i + 12.69W_o - 42.87W \quad \dots\dots (2.10)$$

จำนวนตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มีจำนวน 11 ตัวอย่าง เนื่องจากมีตัวอย่างลำดับที่ 9 ในตารางที่ 3.2 มีค่าปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 659.4059 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และมีค่าปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 74.30 ซึ่งมีค่าต่ำ และเกินกว่าช่วงค่าของตัวแปรที่นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่มีช่วงปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 822.73 – 2444.15 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และมีช่วงปริมาณความชื้น เท่ากับร้อยละ 48.66 -73.47 ดังนั้นจึงตัดข้อมูลนี้ทิ้งไม่นำมาตรวจสอบ ผลของการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ โดยการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ได้จากการทดลอง (LAB) กับปริมาณความร้อนที่ได้จากการพยากรณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.1 แสดงดังตารางที่ 4.24 ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความร้อน (LSCV) เท่ากับ 142.73 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 9.57 ของค่าความร้อน (LSCV) เฉลี่ย 1490.73 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของธเรศ ศรีสถิตย์ และจุลฑามาศ บุญทวีสุข ตามสมการที่ 2.10 ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความร้อน (LSCV) เท่ากับ 175.66 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 11.78 ของค่าความร้อน (LSCV) เฉลี่ย 1490.73 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่

ได้ตามสมการที่ 4.1 มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าตามสมการที่ 2.10 เท่ากับ 32.93 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือมีค่าความแตกต่างคิดเป็นร้อยละ 2.21

ตารางที่ 4.24 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพตามสมการที่ 4.1

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น (%)	เศษอาหาร (%wet wt.)	พลาสติก (%wet wt.)	(1) LSCV (LAB) (kcal/kg)	(2) LSCV (eq 4.1) (kcal/kg)	(3) LSCV (eq 2.10) (kcal/kg)	$[(1) - (2)]^2$ SSE LSCV (kcal/kg)	$[(1) - (3)]^2$ SSE LSCV (kcal/kg)
1	61.18	64.03	15.91	1449.11	1522.51	1606.20	5388.18	24678.71
2	62.92	50.70	27.47	1442.40	1623.29	1553.77	32722.21	12403.52
3	62.54	51.01	26.13	1458.33	1622.13	1551.82	26831.29	8740.118
4	61.49	55.20	23.44	1862.23	1636.75	1605.48	50841.64	65918.66
5	60.32	54.54	24.12	1793.82	1717.76	1658.52	5785.31	18306.04
6	61.62	50.99	25.03	1774.40	1657.06	1572.80	13768.25	40642.48
7	65.32	58.59	16.04	1498.11	1280.50	1361.84	47353.76	18569.32
8	64.26	43.20	21.56	1556.83	1440.20	1303.34	13601.76	64257.28
9	70.68	61.77	20.40	1082.73	1040.94	1244.57	1746.14	26192.09
10	67.53	59.63	16.12	1113.24	1151.50	1281.62	1463.58	28351.69
11	65.17	55.80	16.75	1366.79	1301.85	1344.62	4217.42	491.6597
ค่าเฉลี่ย	63.91	55.04	21.18	1490.73	1454.27	1462.24	203719.53	308551.57
ค่าความแปรปรวน (MSE)							20371.95	30855.16
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)							142.73	175.66

หมายเหตุ
$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2$$

$$MSE = SSE/(n-1)$$

$$S.D. = \sqrt{MSE}$$

ตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพอีกแบบจำลอง โดยนำปริมาณความชื้น สัดส่วนน้ำหนักพลาสติก และสัดส่วนน้ำหนักเศษอาหารและใบไม้ของตัวอย่างมูลฝอยทั้ง 11 ตัวอย่างมาแทนค่าในสมการ 4.2 ได้ผลดังตารางที่ 4.25

$$LSCV (\hat{Y}) = 4407.73 - 59.77MC + 23.08P + 6.63B \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

ตารางที่ 4.25 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพตามสมการที่ 4.2

ตัวอย่าง	ปริมาณความชื้น (%)	พลาสติก (% wet wt.)	เศษอาหารและใบไม้ (% wet wt.)	LSCV (LAB) (kcal/kg)	LSCV (eq 4.2) (kcal/kg)	SSE LSCV (kcal/kg)
1	61.18	15.91	68.22	1449.11	1570.50	14736.21
2	62.92	27.47	57.35	1442.40	1661.24	47890.81
3	62.54	26.13	53.97	1458.33	1630.62	29682.36
4	61.49	23.44	57.18	1862.23	1652.57	43956.77
5	60.32	24.12	66.19	1793.82	1797.93	16.91595
6	61.62	25.03	57.58	1774.40	1684.15	8144.99
7	65.32	16.04	64.52	1498.11	1301.52	38645.9
8	64.26	21.56	46.78	1556.83	1374.67	33183.72
9	70.68	20.40	69.06	1082.73	1111.89	850.084
10	67.53	16.12	65.97	1113.24	1180.89	4576.874
11	65.17	16.75	66.11	1366.79	1337.42	862.6909
ค่าเฉลี่ย	63.91	21.18	61.17	1490.73	1482.13	222547.34
ค่าความแปรปรวน (MSE)						22254.73
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)						149.18

หมายเหตุ $SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2$

$$MSE = SSE/(n-1)$$

$$S.D. = \sqrt{MSE}$$

จากตารางที่ 4.25 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพอีกแบบจำลองหนึ่ง โดยการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ได้จากการทดลอง (LAB) กับปริมาณความร้อนที่ได้จากการพยากรณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.2 เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความร้อน (LSCV) ได้ค่า

เท่ากับ 149.18 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 10 ของค่าความร้อน (LSCV) เฉลี่ยที่นำมาคิด

4.3.2 ตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะสมบัติทางเคมี

นำปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ของตัวอย่างมูลฝอยทั้ง 11 ตัวอย่างมาแทนค่าในสมการ 4.3 และเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของธเวศ ศรีสถิตย์ และจุลฑามาศ ตามสมการที่ 2.9 ได้ผลดังตารางที่ 4.26

$$\text{LSCV} (Y) = 71.08\text{VS} - 797.77 \quad \dots\dots (4.3)$$

$$Q_{\text{รวม}} = 50.40\text{V} - 422.83 \quad \dots\dots (2.9)$$

จำนวนตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มีจำนวน 11 ตัวอย่าง เนื่องจากมีตัวอย่างหนึ่งตัวอย่างที่มีค่าปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 659.4059 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งเกินกว่าช่วงค่าของตัวแปรที่นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่มีช่วงปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 822.73 – 2444.15 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ผลของการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะสมบัติทางเคมี โดยการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ได้จากการทดลอง (LAB) กับปริมาณความร้อนที่ได้จากการพยากรณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัยนี้ตามสมการที่ 4.3 แสดงในตารางที่ 4.26 ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 144.54 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 9.70 ของค่าความร้อน (LSCV) เฉลี่ย และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของธเวศ ศรีสถิตย์ และจุลฑามาศ บุญทวีสุข ตามสมการที่ 2.9 ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 367.58 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 24.66 ของค่าความร้อน (LSCV) เฉลี่ย ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่ได้ตามสมการที่ 4.3 มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าตามสมการที่ 2.9 เท่ากับ 223.04 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือมีค่าความแตกต่างคิดเป็นร้อยละ 14.96

ตารางที่ 4.26 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะสมบัติทางเคมีตามสมการที่ 4.3

ตัวอย่าง	ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (%)	(1) LSCV (LAB) (kcal/kg)	(2) LSCV (eq 4.3) (kcal/kg)	(3) LSCV (eq 2.9) (kcal/kg)	$[(1)-(2)]^2$ SSE LSCV (kcal/kg)	$[(1)-(3)]^2$ SSE LSCV (kcal/kg)
1	33.97	1449.11	1616.82	1289.26	28125.84	25552.66
2	31.66	1442.40	1452.62	1172.83	104.51	72665.83
3	33.14	1458.33	1557.82	1247.43	9898.50	44480.50
4	35.00	1862.23	1690.03	1341.17	29652.84	271503.52
5	36.51	1793.82	1797.36	1417.27	12.54	141786.89
6	32.83	1774.40	1535.79	1231.80	56936.45	294412.59
7	29.86	1498.11	1324.68	1082.11	30078.38	173052.67
8	31.02	1556.83	1407.13	1140.58	22409.61	173265.73
9	24.21	1082.73	923.08	797.35	25489.14	81439.46
10	26.85	1113.24	1110.73	930.41	6.31	33426.81
11	31.56	1366.79	1445.51	1167.79	6197.59	39599.41
ค่าเฉลี่ย	30.81	1490.73	1441.96	1165.27	208911.71	1351186.07
ค่าความแปรปรวน (MSE)					20891.17	135118.61
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)					144.54	367.58

หมายเหตุ
$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2$$

$$MSE = SSE/(n-1)$$

$$S.D. = \sqrt{MSE}$$

4.3.3 ตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางเคมี

นำปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจนของตัวอย่างมูลฝอยทั้ง 11 ตัวอย่างมาแทนค่าในสมการ 4.4 และเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของ Dulong ตามสมการที่ 2.6 เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายมายาวนาน ได้ผลดังตารางที่ 4.24

$$\text{LSCV} (\hat{Y}) = 1079.71\text{H} + 233.27\text{N} - 21.60\text{C} \quad \dots\dots(4.4)$$

$$\text{LSCV} = 81\text{C} + 342.5(\text{H} - \text{O}/8) + 22.5\text{S} - 6(9\text{H} + \text{W}) \quad \dots\dots(2.6)$$

ตารางที่ 4.27 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะสมบัติทางเคมีตามสมการที่ 4.4

ตัวอย่าง	C (% dry wt.)	H (% dry wt.)	O (% dry wt.)	N (% dry wt.)	S (% dry wt.)	MC (%)	(1) LSCV (LAB) (kcal/kg)	(2) LSCV (eq 4.4) (kcal/kg)	(3) LSCV (eq 2.6) (kcal/kg)	[(1) - (2)] ² SSE LSCV (kcal/kg)	[(1) - (3)] ² SSE LSCV (kcal/kg)
1	50.88	2.20	38.88	1.81	0.40	61.18	1449.11	1698.60	2733.76	62245.27	1650327.11
2	43.16	2.20	46.52	2.22	0.48	62.92	1442.40	1962.10	1771.73	270089.00	108461.04
3	41.27	2.21	50.12	1.62	0.47	62.54	1458.33	1871.02	1469.90	170309.12	133.84
4	46.67	2.33	43.90	2.93	0.66	61.49	1862.23	2194.16	2219.96	110179.02	127969.58
5	44.98	2.43	45.99	2.57	0.85	60.32	1793.82	2255.73	2033.44	213362.79	57416.98
6	45.27	2.30	43.04	2.55	0.98	61.62	1774.40	2104.19	2141.38	108762.78	134677.68
7	41.17	2.08	48.66	2.33	0.94	65.32	1498.11	1900.94	1481.24	162272.78	284.47
8	42.17	2.07	48.61	1.62	0.81	64.26	1556.83	1700.72	1564.05	20705.35	52.18
9	41.73	1.76	48.91	1.53	0.89	70.68	1082.73	1354.10	1389.41	73639.41	94054.21
10	44.99	1.79	44.06	2.83	0.71	67.53	1113.24	1620.56	1884.88	257376.59	595427.57
11	52.89	2.10	39.28	1.92	0.53	65.17	1366.79	1577.48	2830.70	44390.36	2143046.57
ค่าเฉลี่ย	45.02	2.13	45.27	2.18	0.70	63.91	1490.73	1840.36	1956.40	1493332	4911851.23
ค่าความแปรปรวน (MSE)										149333.25	491185.12
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)										386.44	700.85

หมายเหตุ
$$\text{SSE} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2$$

$$\text{MSE} = \text{SSE}/(n-1)$$

$$\text{S.D.} = \sqrt{\text{MSE}}$$

จากตารางที่ 4.27 ผลของการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางเคมี โดยการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ได้จากการทดลอง (LAB) กับปริมาณความร้อนที่ได้จากการพยากรณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัยนี้ตามสมการที่ 4.4 ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 386.44 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 25.92 ของค่าความร้อน (LSCV) เฉลี่ย และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของ Dulong ตามสมการที่ 2.6 ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความร้อน (LSCV) เท่ากับ 700.85 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 47.01 ของค่าความร้อน (LSCV) เฉลี่ย ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่ได้ตามสมการที่ 4.4 มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าตามสมการที่ 2.6 เท่ากับ 314.41 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือมีค่าความแตกต่างคิดเป็นร้อยละ 21.09 ซึ่งทั้งสองสมการมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความร้อน (LSCV) สูงมาก จึงไม่ควรนำไปพยากรณ์ค่าความร้อนที่เกิดจากมูลฝอยชุมชนที่นำมารวบรวมที่โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลดำเนินการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ และเคมีของมูลฝอย และนำผลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมี สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

จากการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยบริเวณที่รวบรวม ณ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช พบว่ามูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้มีสัดส่วนน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 91.19 ส่วนมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้มีสัดส่วนน้ำหนักเฉลี่ยที่ร้อยละ 8.81 มีสาเหตุจากในส่วนของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้เป็นมูลฝอยที่มีมูลค่า ทำให้มีการคัดแยกเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ก่อนที่จะนำมารวบรวมที่โรงงานแห่งนี้ และอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สัดส่วนน้ำหนักของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้มีค่าสูงเพราะโรงงานหมักปุ๋ยได้ปิดดำเนินการ โดยองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้ประกอบไปด้วย เศษอาหารร้อยละ 44.08 กระดาษร้อยละ 14.78 พลาสติกร้อยละ 20.20 หนังและยางร้อยละ 0.90 ผ้าร้อยละ 3.46 และไม้และใบไม้ร้อยละ 7.77 โดยน้ำหนักเปียก องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ประกอบไปด้วย แก้วร้อยละ 3.33 โลหะร้อยละ 1.34 หินและเซรามิกร้อยละ 2.33 ของเสียอันตรายร้อยละ 0.21 และประเภทอื่นๆ ร้อยละ 1.60 โดยน้ำหนักเปียก และมีความหนาแน่นปกติเฉลี่ย 340 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

5.1.2 ผลการศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอย

จากการศึกษาลักษณะสมบัติทางเคมีของมูลฝอยพบว่ามีความร้อน (Lower Solid Calorific Value : LSCV) เฉลี่ยเท่ากับ 1578.03 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 66.29 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เท่ากับร้อยละ 33.37 และปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 4.34 เนื่องจากองค์ประกอบทางกายภาพส่วนใหญ่เป็นเศษอาหาร จึงทำให้มีความชื้นสูง และปริมาณเถ้าต่ำ

5.1.3 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยเมื่อหักปริมาณเถ้าซึ่งมีร้อยละ 4.34 ออกพบว่าธาตุที่มีมากที่สุดในมูลฝอยคือ ออกซิเจนมีร้อยละ 46.32 รองลงมา คือ คาร์บอนร้อยละ 44.70 ไฮโดรเจนร้อยละ 2.22 ไนโตรเจนร้อยละ 1.75 ซัลเฟอร์ร้อยละ 0.67 โดยน้ำหนักแห้ง และไม่พบปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างมูลฝอย

5.1.4 ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยด้วยการวิเคราะห์แบบความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (Statistical Package for Social Science) for Windows version 11.0 ด้วยวิธี stepwise สรุปได้ดังนี้

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพสามารถหาได้ 2 สมการ ดังนี้

$$1) \text{LSCV} (\hat{Y}) = 4852.73 - 59.01\text{MC} + 17.6\text{P}$$

$$(R^2 = 0.837, \text{Adjusted } R^2 = 0.829)$$

โดยที่ LSCV = ปริมาณความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)

MC = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

P = สัดส่วนน้ำหนักพลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

$$2) \text{LSCV} (\hat{Y}) = 4407.73 - 59.77 \text{MC} + 23.08\text{P} + 6.63\text{B}$$

$$(R^2 = 0.853, \text{Adjusted } R^2 = 0.843)$$

โดยที่ LSCV = ปริมาณความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)

MC = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

P = สัดส่วนน้ำหนักพลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

B = สัดส่วนน้ำหนักเศษอาหารและใบไม้ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับลักษณะสมบัติทางเคมี

$$\text{LSCV} (\hat{Y}) = 71.08\text{VS} - 797.77$$

$$(R^2 = 0.802, \text{Adjusted } R^2 = 0.798)$$

โดยที่ LSCV = ปริมาณความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)

VS = ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละ)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับลักษณะสมบัติทางเคมีเหมาะสมกับการนำไปพยากรณ์ค่าความร้อนที่เกิดจากมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้เท่านั้น

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมี

$$\text{LSCV} (\hat{Y}) = 1079.71H + 233.27N - 21.6C$$

$$(R^2 = 0.883, \text{ Adjusted } R^2 = 0.875)$$

โดยที่ H = ไฮโดรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

N = ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

C = คาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีไม่ควรนำไปใช้พยากรณ์ เพราะสมการที่ได้นี้ขัดแย้งกับความเป็นจริงที่ว่าปริมาณคาร์บอนมากขึ้นทำให้ปริมาณความร้อนลดลง ซึ่งที่จริงคาร์บอนเป็นแหล่งให้พลังงานแหล่งสำคัญ และเมื่อตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่เกิดขึ้น พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความร้อนเท่ากับ 386.44 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 25.92 ของค่าความร้อน (LSCV) เฉลี่ย ซึ่งจะทำให้ค่าความร้อนที่พยากรณ์ได้ผิดพลาดจากค่าความร้อนที่วัดได้จริงสูงมาก ซึ่งเกิดจากการสุ่มตัวอย่างมูลฝอย และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยที่ใช้ปริมาณมูลฝอยน้อยมากๆ มาเป็นตัวแทนของมูลฝอยทั้งหมดที่นำมารวบรวมที่โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช

แบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับการพยากรณ์ค่าความร้อน คือ แบบจำลองที่สองของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพตามสมการที่ 4.2 เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่า (Adjusted R^2) แล้วสูงที่สุดเท่ากับ 0.843 มีรูปแบบสมการ ดังนี้ $\text{LSCV} (\hat{Y}) = 4407.73 - 59.77 MC + 23.08 P + 6.63B$ และในการนำไปใช้งานจริงจะพบว่ามีความสะดวก ประหยัดเวลาที่สุด เพราะไม่ต้องวิเคราะห์คุณสมบัติของมูลฝอยอย่างมากมาย ซึ่งจะทำให้เสียเวลามาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการเก็บตัวอย่างตลอด 12 เดือน เพราะตลอดช่วงเวลาอาจมีปัจจัยอื่นเข้ามาทำให้ค่าองค์ประกอบทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป เช่น เทศกาลปีใหม่ทำให้มีสัดส่วนน้ำหนักกระดาษมาก เป็นต้น

5.2.2 ควรทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนขึ้นใหม่หลังจากมีการติดตั้งระบบจัดการมูลฝอยในส่วนต่างๆ เช่น โรงงานหมักปุ๋ยหรือโรงงานคัดแยกมูลฝอย เป็นต้น แล้วนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนที่ได้จากงานวิจัยนี้

5.2.3 เพื่อให้การสูมตัวอย่างได้ผลเป็นตัวแทนที่ดี อาจมีการสูมตัวอย่างใน 1 วันออกเป็น 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีมากขึ้น และควรประสานงานให้ได้รับความร่วมมือที่ดีจากส่วนของโรงงานกำจัดมูลฝอย แรงงานในการเก็บตัวอย่าง และเอกชนผู้รับช่วงสัมปทาน

5.2.4 การควบคุมผลผลิตควรมีเครื่องควบคุมผลผลิตที่ดี สามารถใส่ตัวอย่างมูลฝอยตามสัดส่วนน้ำหนักแล้วทำให้เกิดกากน้อยที่สุดหรือไม่เกิดเลย จะทำให้ตัวอย่างที่ได้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี ส่งผลที่แม่นยำมากขึ้นในการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่ใช้ปริมาณตัวอย่างที่น้อยมากๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กองอนามัยสิ่งแวดล้อม. พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535. กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กรุงเทพมหานคร, 2535.

กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์สถิติ:สถิติเพื่อการตัดสินใจ. (พิมพ์ครั้งที่ 4). ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

กัลยา วานิชย์บัญชา. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล (พิมพ์ครั้งที่ 6). ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

คณะกรรมการประชาพิจารณ์โครงการกำจัดมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร. รายงานประชาพิจารณ์โครงการกำจัดมูลฝอยที่ศูนย์กำจัดมูลฝอยอ่อนนุชของกรุงเทพมหานคร. หน้า 1-5 กรุงเทพมหานคร, 2542.

ธเรศ ศรีสถิตย์ และจุลฑามาศ บุญทวีสุข. ศักยภาพในการแปรรูปเป็นพลังงานความร้อนของมูลฝอยชุมชนในเขตกรุงเทพมหานคร. ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 5. หน้า ENV55-ENV62. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และว.ส.ท., 2542.

ธเรศ ศรีสถิตย์. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

บริษัท แมคโครคอนสตรัคชั่น จำกัด. รายงานฉบับสมบูรณ์การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการกำจัดมูลฝอย เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร, 2536.

ไพศาล ผดุงศิริกุล. การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์มูลฝอย. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตรการวิเคราะห์ขยะ, หน้า 1-30. ปทุมธานี: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 2536.

มัลลิกา บุญนาค, กัลยา ครองแก้ว, วัชรภรณ์ สุริยาภรณ์ และนพรัตน์ รุ่งอุทัยศิริ. สถิติ. (พิมพ์ครั้งที่ 3). ภาควิชาสถิติ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ยุทธนา เรื่องเดชบุญฤทธิ์. อัตราเกิดและลักษณะทางกายภาพของขยะจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล, หน้า 10 -11 วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2539.

สำนักวิชาความสะอาด. โรงงานเผาขยะมูลฝอย เล่ม1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์. สัมพันธ์
พาณิชย์, 2538.

สำนักวิชาความสะอาด. สำนักวิชาความสะอาด 2541. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์.
สัมพันธ์พาณิชย์, 2541.

สำนักวิชาความสะอาด. สำนักวิชาความสะอาด 2545. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์.
สัมพันธ์พาณิชย์, 2545.

สุณี ปิยะพันธ์พงศ์. คุณภาพมูลฝอย: ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี. ใน เทคนิคการกำจัดมูล
ฝอยแบบใช้เตาเผาและวิธีฝังกลบ, หน้า 164-186. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยสภาวะ
แวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์. การกำจัดมูลฝอยแบบใช้เตาเผาและเทคนิค. ใน เทคนิคการกำจัดมูลฝอย
แบบใช้เตาเผาและวิธีฝังกลบ. หน้า 211-227. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยสภาวะ
แวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

สุวัฒน์ คงแป้น. คนค้นขยะ, หน้า 80. กรุงเทพมหานคร: สถาบันพัฒนาองค์กรชุมชน (องค์กรมหา
นคร), 2544.

ภาษาอังกฤษ

Buckley, T.J. Calculation of higher values of biomass materials and waste component
from elemental analyses. Resources, Conservation and Recycling 5(1991): 329-
341.

Chandler, A.J. et al. Municipal solid waste incinerator residue. Netherlands: Elsevier
Science Publishers, 1997.

Graybill, F.A. and Hariharan, K.I. Regression analysis: concepts and applications.
United States of America: Wadsworth, 1994.

Henstock, M.E. Disposal and recovery of municipal solid waste. England: Butterworth &
Co Publishers, 1983.

Liu, J.I., Paoda, R.D. and Holsen, T.M. Modelling the energy content of municipal solid waste using multiple regression analysis. Air&Waste Management Association 46 (July 1996): 650-656.

SAPROF Team. JBIC Special Assistance for Project Formation (SAPROF – Phase1) for Solid Waste Management at On-nuch. Bangkok, 2001.

Shah, K.L. Basics of Solid and Hazardous Waste Management Technology. United States of America: Prentice-Hall, 2000.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S. Integrated solid waste management. Singapore: McGraw-Hill, 1993.

Vesilind, P.A., Worrell, W., and Reinhart, D. Solid waste engineering. United States of America, 2002 : 288-293.

Weinstein, N.J. and Toro, R.F. Thermal processing of municipal solid waste resource and energy recovery. United States of America: Ann Arbor Science Publishers, 1976.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ชัชวาล ปิยะประสิทธิ์. การประเมินอัตราการเกิดและส่วนประกอบของมูลฝอยชุมชน เทศบาลเมือง
ขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

บริษัททีเอ็ม คอนซัลตติ้ง เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาทบทวน และจัดทำ
แผนแม่บท (Master Plan) การกำจัดมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร. สำนักศึกษาความ
สะอาด. กรุงเทพมหานคร, 2542.

เพ็ญแข แสงแก้ว. สถิติเพื่อการวิจัยโดยใช้คอมพิวเตอร์. ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟันนี่พับบลิชซิ่ง, 2544.

สำนักศึกษาความสะอาด. สำนักศึกษาความสะอาด 2539. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์.
สัมพันธ์พาณิชย์, 2539.

สำนักศึกษาความสะอาด. สำนักศึกษาความสะอาด 2544. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์.
สัมพันธ์พาณิชย์, 2544.

สมนึก ชัชวาล. ของเสียจากครัวเรือน : วิถีปฏิบัติและแนวคิดในการจัดการ-แก้ไข. สถาบันวิจัย
สังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์. เชียงใหม่, 2544.

สมศรี จรุงเรือง. รายงานผลการวิจัยทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภชเรื่องการศึกษาและออกแบบ
เตาเผามูลฝอย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

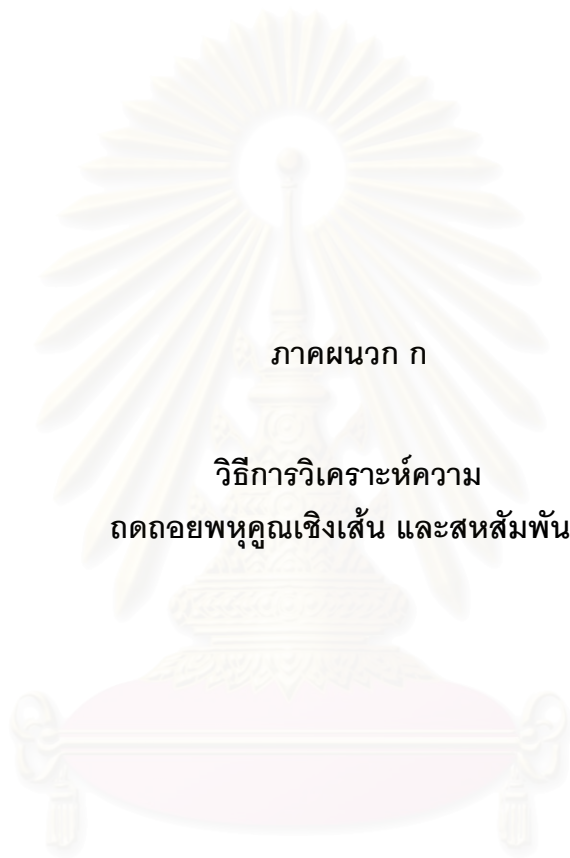
Rhyner, C.R., Schwartz, L.J., Wenger, R.B. and Kohrell, M.G. Waste management and
resource recovery. United States of America: Lewis Publishers, 1995.

Tchobanoglous, G., and Kreith, F. Handbook of solid waste management. (Second
Edition). United States of America: McGraw-Hill, 2002.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ความ
ถดถอยพหุคูณเชิงเส้น และสหสัมพันธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น และสหสัมพันธ์ (กัลยา วาณิชย์ปัญญา, 2544)

ก 1. การทดสอบความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกแบบทางเดียว

จากสมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

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

ค่าความแปรปรวนของ Y = ค่าความแปรปรวนจากอิทธิพลของ X_1, X_2, \dots, X_k + ค่าแปรปรวนอย่างสุ่ม

หรือ $SST = SSR + SSE$

โดยที่ SST (Sum Square of Total) คือ ค่าความแปรปรวนทั้งหมด ของ Y

หรือ $SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2$

SSR (Sum Square of Regression) คือ ค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลของ X_1, \dots, X_k

SSE (Sum Square of Error) คือ ค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ หรือเรียกว่าความแปรปรวนอย่างสุ่ม

ตารางที่ ก.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

แหล่งแปรปรวน (SV)	คงค่าอิสระ (DF)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย (MS)	F
ความถดถอย (Regression)	k	SSR	MSR = SSR/k	$\frac{MSR}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน (Error)	n-k-1	SSE	MSE = SSE/(n-k-1)	
ผลรวม (Total)	n-1	SST		

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในภาคผนวก ผ 1. ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_1, X_2, \dots, X_k โดยตั้งสมมติฐานไว้ดังนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_k = 0$

$H_1 : \text{มี } \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่าที่ } \neq 0 ; i = 1, 2, \dots, k$

สถิติทดสอบ

$$F = \frac{MSR}{MSE}$$

เขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า $F > F_{k, n-k-1; 1-\alpha}$

การแปลผลการทดสอบสมมติฐาน

- 1) ยอมรับสมมติฐาน $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ ซึ่งสรุปได้ว่า Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ X ทั้ง k ตัว (X_1, X_2, \dots, X_k ในรูปเชิงเส้น)
- 2) ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หรือยอมรับสมมติฐาน H_1 ซึ่งสรุปได้ว่า มี X_i อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับ Y ในรูปเชิงเส้น จึงต้องทดสอบต่อไปว่า X_i ตัวใดที่มีความสัมพันธ์กับ Y โดยใช้สถิติทดสอบ t

ก 2. การประมาณค่าคลาดเคลื่อนของความถดถอย

การประมาณค่าคลาดเคลื่อนของความถดถอย หรือเรียกว่าการประมาณค่าแปรปรวนของการประมาณความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพยากรณ์หรือประมาณค่า Y ด้วย \hat{Y} คือ e ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ k ตัว จะได้ค่าแปรปรวนของการประมาณ คือ

$$S_e^2 = S^2_{Y.12\dots k} = S^2$$

โดยที่

$$S^2 = \frac{SSE}{n-k-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-k-1}$$

ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าประมาณ คือ

$$s = \sqrt{S^2} = \sqrt{SSE/(n-k-1)} = \sqrt{MSE}$$

ก 3. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอย

ถ้ามีตัวแปรอิสระ k ตัว (X_1, X_2, \dots, X_k) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y หรือปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อได้ทดสอบ F -test จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะต้องทำการทดสอบต่อไปว่ามี β_i ตัวใดบ้างที่ไม่เท่ากับศูนย์ หรือมี X ตัวใดบ้างที่สัมพันธ์กับ Y โดยการทดสอบสมมติฐานดังต่อไปนี้

สมมติฐาน $H_0 : \beta_i = 0$
 $H_1 : \beta_i \neq 0 ; i = 1, 2, \dots, k$

สถิติทดสอบ

$$t = \frac{b_i - 0}{S_{b_i}}$$

หรือใช้สถิติทดสอบ Z ถ้า n มีค่ามาก

เขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0

จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อ $t > t_{1-\alpha/2; n-k-1}$ หรือ $t < t_{1-\alpha/2; n-k-1}$ หรือกล่าวว่าจะปฏิเสธ H_0 ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2; n-k-1}$ ตารางการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอยแสดงในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอย

รูปการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_i ; i = 1, 2, \dots, k$	
<p>การทดสอบแบบข้างเดียว</p> <p>$H_0 : \beta_i = 0$ $H_1 : \beta_i < 0$ (หรือ $H_1 : \beta_i > 0$)</p> <p>สถิติทดสอบ</p> $t = b_i / S_{b_i}$ <p>เขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0 $t < -t_{1-\alpha; n-k-1}$ (หรือ $t < -t_{1-\alpha; n-k-1}$ เมื่อ $H_1 : \beta_i > 0$)</p>	<p>การทดสอบแบบสองข้าง</p> <p>$H_0 : \beta_i = 0$ $H_1 : \beta_i \neq 0$</p> <p>สถิติทดสอบ</p> $t = b_i / S_{b_i}$ <p>เขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0 $t < -t_{1-\alpha/2; n-k-1}$ หรือ $t > t_{1-\alpha/2; n-k-1}$ หรือ $t > t_{1-\alpha/2; n-k-1}$</p>

ก 4. สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อน

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อน เป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระ (X_1, X_2, \dots, X_k) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y ได้ หรือกล่าวได้ว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อนเป็น

สัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความผันแปร Y ที่มีสาเหตุเนื่องจากความผันแปรของ X_1, X_2, \dots และ X_k โดยที่สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อนจะให้สัญลักษณ์ $R^2_{Y.123\dots k}$ แต่โดยทั่วไปจะใช้ R^2

$$R^2 = \frac{\text{ความผันแปรของ } Y \text{ เนื่องจากอิทธิพลของ } X_1, X_2, \dots, X_k}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}}$$

$$= \text{SSR} / \text{SST}$$

หรือ $R^2 = (\text{SST} - \text{SSE}) / \text{SST} = 1 - \text{SSE} / \text{SST}$

โดยที่ $0 \leq R^2, r^2 \leq 1$

ถ้าค่า R^2 ที่ใกล้ 1 จะหมายถึง X_1, X_2, \dots, X_k มีความสัมพันธ์กับ Y มาก แต่ถ้า R^2 เข้าใกล้ศูนย์ หมายถึงค่า X_1, X_2, \dots, X_k มีความสัมพันธ์กับ Y น้อย

เนื่องจาก SSR จะเพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มตัวแปรอิสระ เช่น เดิมมี X_1 และ X_2 ที่มีความสัมพันธ์กับ Y แต่ถ้าเพิ่มตัวแปรอิสระ X_3 เข้าในสมการความถดถอย จะได้ว่า

$$\text{SSR}(X_1, X_2, X_3) > \text{SSR}(X_1, X_2)$$

โดยที่ $\text{SSR}(X_1, X_2, X_3)$ หมายถึง SSR ของสมการความถดถอยที่มีตัวแปรอิสระ X_1, X_2 และ X_3

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + e$$

และ $\text{SSR}(X_1, X_2)$ หมายถึง SSR ของสมการความถดถอยที่มีตัวแปรอิสระ X_1 และ X_2

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + e$$

ดังนั้นเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยจะทำให้ค่า R^2 มากขึ้นทั้งที่ตัวแปรอิสระ X ที่เพิ่มอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับ Y เลยก็ได้ จึงมีการปรับค่า R^2 ให้ถูกต้องขึ้น เรียกว่า Adjusted R^2 โดยที่

$$R_a^2 = \text{Adjusted } R^2$$

$$R_a^2 = 1 - \frac{\text{SSE}/(n-k-1)}{\text{SST}/(n-1)}$$

$$\text{หรือ } R_a^2 = 1 + \frac{(n-1)}{(n-k-1)} (R^2 - 1)$$

ก 5. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ

ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ ได้จากการถอดรากที่สองของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ

$$\text{โดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ} = R_{Y.12\dots k} = R = \sqrt{R^2} \quad \text{โดยที่ } 0 \leq R^2 \leq 1$$

โดยที่สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X_1, X_2, \dots, X_k

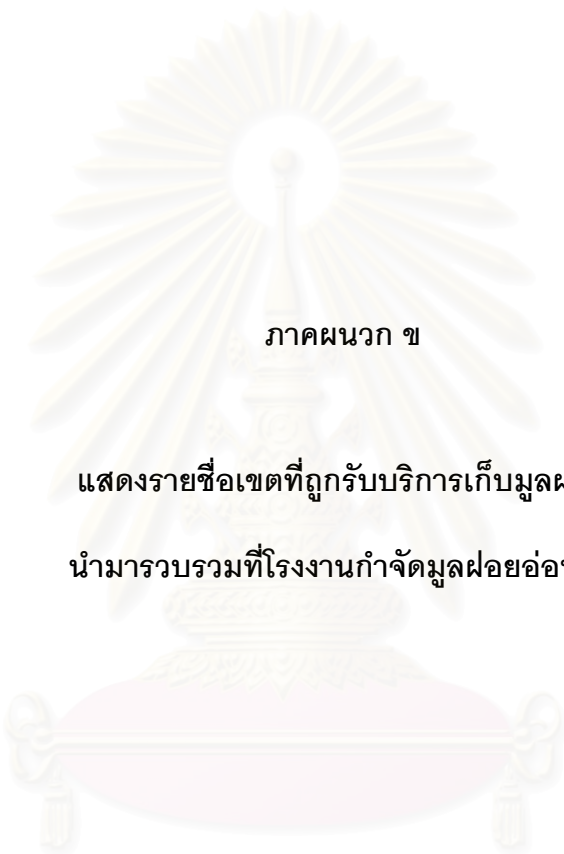
ดังนี้

1) R มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า Y มีความสัมพันธ์กับ X_1, X_2, \dots, X_k น้อยมาก และถ้า $R = 0$ แสดงว่า R ไม่มีความสัมพันธ์กับ X_1, X_2, \dots, X_k

2) R มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า Y มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระทั้ง k ตัวมาก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

แสดงรายชื่อเขตที่ถูกรับบริการเก็บมูลฝอย

นำมารวบรวมที่โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช

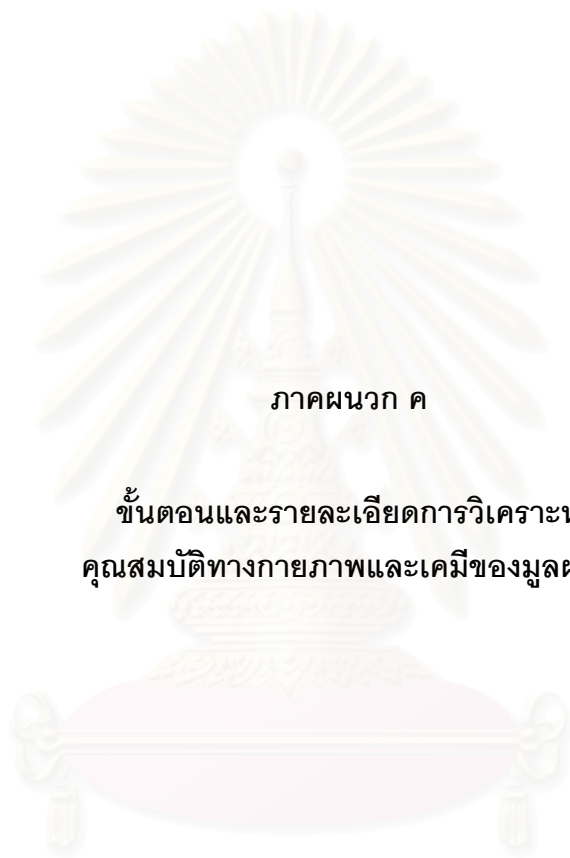
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข 1.เขตต่างๆของกรุงเทพมหานคร ที่ถูกรับบริการเก็บมูลฝอยนำมารวบรวมที่โรงงานกำจัดมูลฝอย
อ่อนนุช มีดังนี้

คลองเตย, พระโขนง, ปทุมวัน, สวนหลวง, ประเวศ, ลาดกระบัง, บางกะปิ, ราชเทวี, ดิน
แดง, ้วยขวาง, หนองจอก, บึงกุ่ม, ดุสิต, มีนบุรี, บางรัก, สาทร, ลาดพร้าว, บางคอแหลม, ธนบุรี,
ราษฎร์บูรณะ, คลองสาน, ป้อมปราบศัตรูพ่าย, พระนคร, สัมพันธวงศ์, บางซื่อ, พญาไท และยาน
นาวา (สำนักรักษาความสะอาด, 2539)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค

ขั้นตอนและรายละเอียดการวิเคราะห์
คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของมูลฝอย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ค 1. การหาความหนาแน่นปกติ (Bulk density)

วิธีการ

- 1) ชั่งน้ำหนักถังตวงเปล่าแล้วจดบันทึกไว้
- 2) สุ่มมูลฝอยมาประมาณ 1 ลบ.ม. คลุกเคล้ามูลฝอยให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วตักมูลฝอยใส่ในภาชนะปริมาตร 60 ลิตร ตวงมูลฝอยให้เต็ม ยกภาชนะตวงมูลฝอยให้สูงจากพื้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วให้ปล່อยให้กระทบพื้นครบ 3 ครั้งแล้ว นำไปชั่งน้ำหนักก็จะทราบน้ำหนักของมูลฝอยรวมกับน้ำหนักถังตวง

การคำนวณ

$$\text{สูตรการคำนวณ ค่าความหนาแน่นปกติ} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฝอยสุทธิ}}{\text{ปริมาตรของถังตวง}} \quad (\text{ค.1})$$

ค 2. การหาองค์ประกอบของมูลฝอย (Composition)

วิธีการ

- 1) นำตัวอย่างมูลฝอยที่สุ่มโดยวิธีแบ่ง 4 ส่วน (Quartering) จนเหลือประมาณ 50 – 100 ลิตร แล้วคัดเลือกมูลฝอยแต่ละประเภทซึ่งจำแนกเป็น 11 ประเภท ดังนี้
 1. เศษอาหาร
 2. กระดาษ
 3. พลาสติกและโฟม
 4. หนังและยาง
 5. ผ้าและสิ่งทอ
 6. ไม้และใบไม้
 7. แก้ว
 8. โลหะ
 9. หินและเซรามิก
 10. มูลฝอยที่อันตราย ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ถ่านไฟฉาย ระเบิดบรรจุสารเคมี เป็นต้น
 11. อื่นๆ

หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักมูลฝอยแต่ละประเภท และบันทึกไว้

2) คำนวณค่าองค์ประกอบของมูลฝอยโดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละของมูลฝอยรวม

การคำนวณ

การคำนวณค่าองค์ประกอบของมูลฝอยจะคิดออกมาเป็นสัดส่วนร้อยละ ของมูลฝอยรวม

$$\text{สูตรการคำนวณ ค่าองค์ประกอบมูลฝอยแต่ละประเภท} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฝอย} \times 100}{\text{น้ำหนักมูลฝอยรวม}} \quad (\text{ค.2})$$

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

ค 3.การหาค่าปริมาณความชื้น (Moisture content) และค่าปริมาณของแข็งรวม (Total solid)

วิธีการ

- 1) สุ่มมูลฝอยด้วยวิธีแบ่ง 4 ส่วน (Quartering) ให้ได้มูลฝอยประมาณ 50 – 100 ลิตร
- 2) ชั่งถาดโลหะเปล่าแล้วบันทึกน้ำหนัก จากนั้นใส่มูลฝอยในถาดชั่งน้ำหนักมูลฝอยรวม ถาดบันทึกน้ำหนักไว้
- 3) นำไปอบแห้งในตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิโดยให้ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 70 – 100°C เป็นเวลา 3 – 4 วัน จนกระทั่งมูลฝอยแห้งสนิท ชั่งน้ำหนักมูลฝอย

การคำนวณ

$$\text{สูตรการคำนวณ ค่าปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฝอยที่หายไป} \times 100}{\text{น้ำหนักมูลฝอยก่อนอบแห้ง}} \quad (\text{ค.3})$$

$$\text{ค่าปริมาณของแข็งรวม} = 100 - \text{ค่าปริมาณความชื้น} \quad (\text{ค.4})$$

ค 4.การหาค่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ (Volatile solid) และค่าปริมาณเถ้า (Ash content)

วิธีการ

- 1) นำตัวอย่างมูลฝอยที่อบแห้งสนิทที่อุณหภูมิ 70 -100 °C เป็นเวลา 3 – 4 วันติดต่อกัน แล้วมาบดด้วยเครื่องบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดมูลฝอยให้มีขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยใช้ตะแกรงร่อนขนาดผ่าน 2 มม. นำไปอบในตู้อบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 °C แล้วปล่อยให้เย็นใน Desiccator

2) ชั่งน้ำหนัก Porcelain crucible

3) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างมูลฝอยที่เตรียมตามข้อที่ 1) จำนวน 5-6 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้อง

แล้วนำไปเผาใน Muffle furnace ที่อุณหภูมิ 815 °C นาน 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น แล้วใส่ไว้ใน Desiccator เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำ Porcelain crucible มาชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

การคำนวณ

$$\text{สูตรการคำนวณ ค่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฝอยที่หายไป} \times 100}{\text{น้ำหนักมูลฝอยก่อนเผา}} \quad (\text{ค.5})$$

$$\text{ค่าปริมาณเถ้า} = 100 - \text{ค่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้} \quad (\text{ค.6})$$

ค 5. การหาค่าปริมาณความร้อน (Calorific value)

วิธีการ

- 1) นำตัวอย่างมูลฝอยที่บดละเอียดขนาด 2 มิลลิเมตรที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงและเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้มีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม
- 2) ใช้สารมาตรฐานที่ทราบค่าปริมาณความร้อน (Benzoic acid) ทดสอบหาค่าปริมาณความร้อนด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าปริมาณความร้อน Oxygen bomb calorimeter ให้สันดาปกับออกซิเจนบริสุทธิ์ให้ได้ความดัน 25 กก./ตร.ซม. แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น
- 3) ทดสอบหาค่าปริมาณความร้อนของตัวอย่างมูลฝอย และบันทึกค่าอุณหภูมิ

การคำนวณ

กำหนดให้ สารมาตรฐานที่ทราบค่าปริมาณความร้อน (Benzoic acid) มีน้ำหนัก 1 กรัม

$$\text{ค่าปริมาณความร้อนของ Benzoic acid} = 2000 \text{ แคลอรี/กรัม}$$

ทดสอบด้วยเครื่อง Oxygen bomb calorimeter จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5 °C

ดังนั้น สารหนัก 1 กรัม ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5 °C จะให้ค่าปริมาณความร้อน = 2000 แคลอรี

$$\text{สมมติว่าตัวอย่างหนัก 1 กรัม อุณหภูมิเพิ่ม 2 °C จะให้ค่าปริมาณความร้อน} = \frac{2000 \times 2}{5} = 800 \text{ แคลอรี}$$

ค่าที่วิเคราะห์ได้คือค่า Dry Solid Calorific Value (DSCV) ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า Higher Solid Calorific Value (HSCV) และค่า Lower Solid Calorific Value (LSCV) ได้ โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{HSCV} = \frac{\text{DSCV} \times \text{ค่าปริมาณของแข็งรวม}}{100} \quad (\text{2.1})$$

$$\text{LSCV} = \frac{\text{HSCV} - 600[(9 \times h) + \text{ค่าปริมาณความชื้น}]}{100} \quad (2.2)$$

ค 6. การหาปริมาณคาร์บอนโดยวิเคราะห์แบบ Walkley and Balck

วิธีการ

- 1) ชั่งตัวอย่างมูลฝอย 0.5 – 1 กรัม ใส่ลงใน COD tube
- 2) เติมสารละลาย 1N. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ จำนวน 10 มล. โดยใช้ปิเปต เขย่า COD tube เบาๆ ให้ผสมกัน ในขั้นตอนนี้ทำ blank โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่างมูลฝอย
- 3) เติม conc. H_2SO_4 จำนวน 10 มล. อย่างรวดเร็ว เขย่า tube ไปรอบๆ เบาๆ เพื่อให้สารละลายกับตัวอย่างผสมให้เข้ากันประมาณ 1 – 2 นาที เติมน้ำกลั่น 10 มล.
- 4) ปิดฝา tube แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 5) ตั้งทิ้งให้เย็น หยดเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ ลงไป 3 หยด เขย่าให้เข้ากัน
- 6) นำไปไตเตรตด้วยเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (FAS) 0.5 N ซึ่งควรไตเตรตแบบลงค้ก่อน จนกระทั่งถึงจุดยุติ โดยสารละลายเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง บันทึกปริมาตร FAS ที่ใช้

การคำนวณ

$$\% \text{ Organic C} = \frac{(V_{\text{blank}} - V_{\text{sample}}) \times N \times 0.003 \times 100 \times 1.33}{M} \quad (\text{ค.7})$$

- ให้
- V_{blank} = ปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบบลงค้ (มล.)
 - V_{sample} = ปริมาตร FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง (มล.)
 - N = ความเข้มข้นเป็น normal ของ FAS (N)
 - M = น้ำหนักของตัวอย่างมูลฝอย (กรัม)
 - 0.003 = milliequivalent weight ของ C ที่ถูก oxidized
 - 1.33 = ค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยคิดค่าเฉลี่ย %recovery ของคาร์บอนเท่ากับ 75%

ค 7. การหาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธีวิเคราะห์แบบ Kjeldahl –Wilfarth-Gunning-Winkler method
ปริมาณไนโตรเจน คือ ส่วนประกอบที่เป็นไนโตรเจนที่มีอยู่ในมูลฝอยโดยจะอยู่ในรูปของ Organic-Nitrogen หรือ Ammonia-Nitrogen

วิธีการ

1) การ Digest ตัวอย่าง

โดยชั่งตัวอย่างมาประมาณ 0.5 – 1 กรัม ใส่ใน Kjeldahl flask เติม digestion reagent (K_2SO_4 ผสม $CuSO_4$ และ Se) หลังจากนั้นเติม H_2SO_4 conc. 10 ml. ทำการ Digest จนสารละลายที่ได้มีลักษณะใส

2) การกลั่น

เติมน้ำกลั่นประมาณ 250 ml หยด Phenolphthaleine indicator จากนั้นเติมสารละลายผสมของ NaOH กับ $Na_2S_2O_3$ solution 75 ml. จะได้สีชมพู กลั่นโดยใช้ Boric acid 4% ในปริมาตร 50 ml. เป็นตัวปรับ NH_3 กลั่นจนได้ปริมาตร 200 ml. นำมา ไตเตรต หา NH_3

3) การไตเตรต

นำสารละลายที่กลั่นได้มา Titrant ด้วย H_2SO_4 0.05 N โดยใช้ Methyl purple indicator เป็น indicator จนกระทั่งถึงจุด end point โดยสีของสารละลายที่ได้จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง

4) การเตรียม Blank

ทำตามขั้นตอนของข้อ 1 ถึง 3 โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่างมูลฝอย

การคำนวณ

$$\% N = \frac{(A - B) \times (N) \times (14) \times (100)}{M} \quad (\text{ค.8})$$

ให้ A = ปริมาตรของ Sulfuric Standard Solution ที่ใช้ไตเตรตตัวอย่างมูลฝอย (ml.)

B = ปริมาตรของ Sulfuric Standard Solution ที่ใช้ไตเตรตแบลนด์ (ml.)

M = น้ำหนักของตัวอย่างมูลฝอย (g)

N = normality of standard sulfuric acid (N)

ค 8. การหาปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีวิเคราะห์แบบ Ascorbic acid method

ปริมาณฟอสฟอรัส คือ ส่วนประกอบที่เป็นฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในมูลฝอย โดยจะอยู่ในรูปของสารประกอบฟอสฟอรัส (Phosphate)

วิธีการ

1) การ Digest

ซึ่งมูลฝอยประมาณ 1 กรัม ใส่ใน Kjendahl flask ใส่ conc. H_2SO_4 25 ml. ใส่ ammonium persulphate ประมาณ 0.4 กรัม เพื่อเป็น catalyst แล้ว digest จนกระทั่ง สารละลายใส แต่บางครั้งในมูลฝอยมี interference ซึ่งจะทำให้สารละลายที่ได้เป็นสารละลาย เข้ม จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาปรับ pH จนกระทั่งเป็น 7 ± 0.2

2) การเตรียม combined reagent

น้ำ 100 ml. 5N H_2SO_4

10 ml. antimony potassium tartrate solution

30 ml. ammonium molybdate solution

60 ml. Ascorbic solution

ผสมตามลำดับพร้อมทั้งเขย่าทุกครั้งที่เติม และต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้

3) การทำให้เกิดสี

หลังจากปรับ pH จนได้ 7 ± 0.2 แล้วนำตัวอย่างมาปรับปริมาตร (make volume) ให้ เป็น 200 ml. จากนั้นนำตัวอย่างมาในอัตราส่วนต่าง ๆ (dilution) โดยปรับปริมาตรให้เป็น 50 ml. จากนั้นเติม 8.0 ml. ของ combined reagent แล้วนำไปวัดค่า color absorbance ที่ 880 nm. ภายใน 10 – 30 วินาที

ค 9. การหาปริมาณซัลเฟอร์โดยวิธีการวิเคราะห์แบบ Bomb washing method

วิธีการ

- 1) หลังจากที่ได้เตรียมน้ำล้าง Bomb calorimeter ที่ได้กับสารละลายมาตรฐานของ Na_2CO_3 แล้วนำสารละลายดังกล่าวมาเติม Na_4OH แล้วนำไปต้มและกรองผ่านกระดาษกรองเร็ว
- 2) ล้างส่วนที่ค้างบนกระดาษกรองด้วยน้ำร้อน ให้ได้ปริมาตรรวมกัน 250 มิลลิลิตร
- 3) ปรับให้เป็นกลางโดยเติมกรด HCl เข้มข้น และเติมอีก 2 มิลลิลิตร ให้มากเกินพอ เติม 1 มิลลิลิตรของสารละลายอิมัลชันโบรมีน แล้วนำไปประเหยจนเหลือปริมาตร 200 มิลลิลิตร บน hot plate หลังจากนั้นกวนช้าๆ แล้วค่อยๆ เติมสารละลายโบรมีนคลอไรด์ 10% จำนวน 10 มิลลิลิตร
- 4) ต้มต่อไปอีก 15 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น และปล่อยให้ตกตะกอนอย่างน้อย 2 ชั่วโมง หรือข้ามคืน

- 5) กรองสารละลายดังกล่าวบนกระดาษกรองละเอียด และล้างตะกอนโบรมีนซัลเฟตด้วยน้ำร้อน กรองจนกระทั่งหยดซิลเวอร์ไนเตรทลงไปในการละลายที่กรองได้แล้วไม่ปรากฏตะกอนขุ่นขาว
- 6) นำกระดาษกรองที่ได้มาผึ่งลมให้แห้งแล้วนำไปใส่ใน crucible เเผาที่อุณหภูมิ 925 °C
- 7) หลังจากเผาแล้ว ตั้ง crucible ให้เย็นใน dessicator แล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\%S = \frac{\text{น้ำหนักโบรมีนซัลเฟต} \times 13.734}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \quad (\text{ค.9})$$

ค 10. การหาปริมาณ Hydrogen (H)

ค่าปริมาณ Hydrogen (%) สามารถคำนวณได้จากสูตร

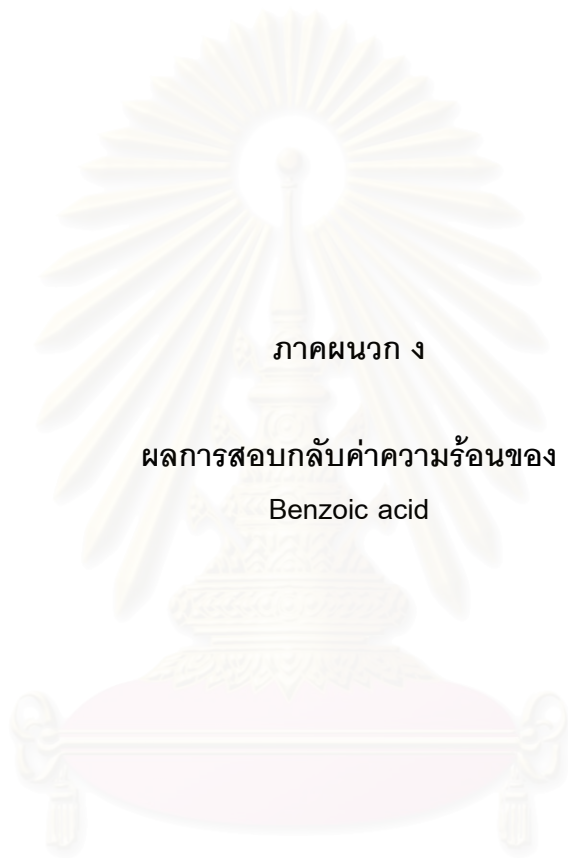
$$(\%) \text{ Hydrogen} = \frac{(\%) \text{ Volatile Solids}}{15} \quad (\text{ค.10})$$

ค 11. การหาปริมาณ Oxygen (O)

ค่าปริมาณ Oxygen (O) สามารถหาได้โดยหลักที่ว่าผลรวมของร้อยละของปริมาณออกซิเจน คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และเถ้า ที่สภาวะ dry base จะเท่ากับ 100 เสมอคำนวณได้จากสูตร

$$(\%) \text{ Oxygen} = 100 - \%C - \%H - \%N - \%S - \%เถ้า \quad (\text{ค.11})$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง

ผลการสอบกลับค่าความร้อนของ
Benzoic acid

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ID Code	Weight	cal/g	Calib	B	Fuse	Nitrogen	Sulfur	Hydrogen	Moisture	Ash	Spike Wt	Time & Date
STANDAR1	0.89510	6320.1	2463.4	1	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	09:23 12-18-04
STANDAR2	0.81590	6300.9	2463.4	1	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	09:32 12-18-04
09:33:16 Dec 18, 2004												
Results Recalculated												
ID Code	Weight	cal/g	Calib	B	Fuse	Nitrogen	Sulfur	Hydrogen	Moisture	Ash	Spike Wt	Time & Date
STANDAR1*	0.89510	6324.6	2465.1	1	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	09:23 12-18-04
STANDAR2	0.81590	6305.4	2465.1	1	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	09:32 12-18-04
ID Code	Weight	cal/g	Calib	B	Fuse	Nitrogen	Sulfur	Hydrogen	Moisture	Ash	Spike Wt	Time & Date
BEN1	0.99870	6336.1	2465.1	1	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	09:44 12-18-04
BEN2	0.98870	6319.6	2465.1	1	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	09:53 12-18-04
09:54:21 Dec 18, 2004												
Results												
ID Code	Weight	MJ/kg	Calib	B	Fuse	Nitrogen	Sulfur	Hydrogen	Moisture	Ash	Spike Wt	Time & Date
STANDAR1*	0.89510	26.480	10.321	1	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	09:23 12-18-04
STANDAR2	0.81590	26.399	10.321	1	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	09:32 12-18-04
BEN1	0.99870	26.528	10.321	1	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	09:44 12-18-04
BEN2	0.98870	26.459	10.321	1	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	09:53 12-18-04

รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของ Benzoic acid



รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง BENZOIC ACID
เจ้าของตัวอย่าง ธีรภูมิ แสนอำนาจผล
วัตถุประสงค์ หาค่าพลังงานความร้อน
เครื่องมือวิเคราะห์ Automatic Bomb Calorimeter ; Leco model AC - 350
วันที่วิเคราะห์ 17 มกราคม 2548
ผลการวิเคราะห์

ชื่อตัวอย่าง	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)		
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
BENZOIC ACID	6336.1	6319.6	6327.9

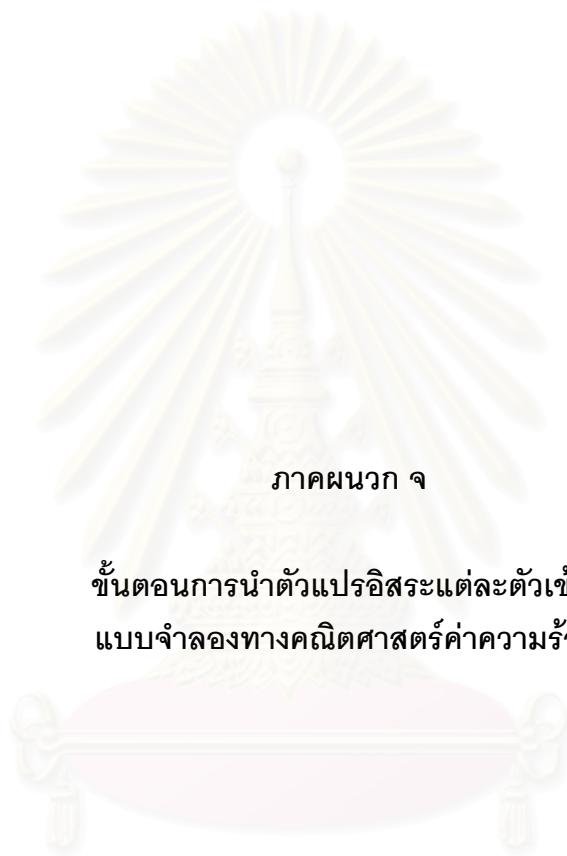
(นางอารี ลิ่มนรินทร์)
ผู้วิเคราะห์

(นายอุทัย ติชะวิสุทธิ์ศรี)
หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ

(ผศ. ดร. สุพงษ์ นิ่มกุลรัตน์)
ผู้อำนวยการ

หมายเหตุ ผลการทดสอบที่ได้รับนี้เป็นการทดสอบเฉพาะตัวอย่างที่ทำการศึกษาทดสอบ
จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่านั้น
อส/สน

รูปที่ ง.2 รายงานผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของ Benzoic acid ที่ใช้ในการวิจัย



ภาคผนวก จ

ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระแต่ละตัวเข้าสู่
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.1 ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.1

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
1	0.078	0.058	6,154,659	133,797	X1
1	0.063	0.043	6,253,602	135,948	X2
1	0.274	0.258	4,846,133	105,351	X3
1	0.124	0.105	5,843,201	127,026	X4
1	0.040	-0.017	6,643,998	144,435	X5
1	0.023	0.002	6,517,900	141,693	X6
1	0.800	0.796	1,331,993	28,956	X7
2	0.278	0.246	4,816,163	107,026	X1X2
2	0.281	0.249	4,801,123	106,692	X1X3
2	0.147	0.109	5,694,862	126,552	X1X4
2	0.079	0.038	6,147,134	136,603	X1X5
2	0.079	0.038	6,145,891	136,575	X1X6
2	0.800	0.792	1,331,983	29,600	X1X7
2	0.319	0.289	4,544,541	100,990	X2X3
2	0.211	0.176	5,263,818	116,974	X2X4
2	0.064	0.022	6,248,715	138,860	X2X5
2	0.071	0.030	6,199,635	137,770	X2X6
2	0.814	0.806	1,241,049	27,579	X2X7
2	0.348	0.319	4,350,762	96,684	X3X4
2	0.288	0.257	4,750,005	105,556	X3X5
2	0.311	0.280	4,599,396	102,209	X3X6
2	0.837	0.829	1,089,755	24,217	X3X7
2	0.126	0.087	5,831,040	129,579	X4X5
2	0.147	0.109	5,693,050	126,512	X4X6
2	0.801	0.792	1,330,506	29,567	X4X7
2	0.031	-0.012	6,467,306	143,718	X5X6
2	0.809	0.800	1,274,671	28,326	X5X7
2	0.803	0.794	1,314,472	29,210	X6X7

ตารางที่ ๑.1 (ต่อ) ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.1

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
3	0.380	0.338	4,134,942	93,976	X1X2X3
3	0.326	0.280	4,499,880	102,270	X1X2X4
3	0.285	0.236	4,772,524	108,466	X1X2X5
3	0.366	0.323	4,232,287	96,188	X1X2X6
3	0.821	0.809	1,193,921	27,135	X1X2X7
3	0.348	0.304	4,347,608	98,809	X1X3X4
3	0.292	0.244	4,723,951	107,363	X1X3X5
3	0.311	0.264	4,597,682	104,493	X1X3X6
3	0.840	0.829	1,065,845	24,224	X1X3X7
3	0.147	0.089	5,689,622	129,310	X1X4X5
3	0.155	0.097	5,639,674	128,174	X1X4X6
3	0.801	0.787	1,330,243	30,233	X1X4X7
3	0.081	0.018	6,134,202	139,414	X1X5X6
3	0.809	0.796	1,274,301	28,961	X1X5X7
3	0.804	0.790	1,311,165	29,799	X1X6X7
3	0.411	0.371	3,930,654	89,333	X2X3X4
3	0.326	0.280	4,495,275	102,165	X2X3X5
3	0.339	0.294	4,413,343	100,303	X2X3X6
3	0.850	0.839	1,003,688	22,811	X2X3X7
3	0.211	0.157	5,263,537	119,626	X2X4X5
3	0.217	0.163	5,226,696	118,789	X2X4X6
3	0.814	0.801	1,240,553	28,194	X2X4X7
3	0.073	0.010	6,186,615	140,605	X2X5X6
3	0.826	0.814	1,161,283	26,393	X2X6X7
3	0.357	0.314	4,287,542	97,444	X3X4X5
3	0.383	0.341	4,117,389	93,577	X3X4X6
3	0.837	0.826	1,088,227	24,732	X3X4X7
3	0.333	0.287	4,451,991	101,182	X3X5X6

ตารางที่ ๑.1 (ต่อ) ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.1

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
3	0.840	0.829	1,067,331	24,258	X3X5X7
3	0.843	0.832	1,050,523	23,876	X3X6X7
3	0.151	0.093	5,666,388	128,782	X4X5X6
3	0.809	0.796	1,273,073	28,933	X4X5X7
3	0.803	0.790	1,313,392	29,850	X4X6X7
3	0.810	0.797	1,265,403	28,759	X5X6X7
4	0.432	0.380	3,787,765	88,088	X1X2X3X4
4	0.380	0.323	4,134,789	96,158	X1X2X3X5
4	0.393	0.337	4,048,086	94,142	X1X2X3X6
4	0.850	0.836	1,002,696	23,319	X1X2X3X7
4	0.332	0.270	4,457,310	103,658	X1X2X4X5
4	0.382	0.324	4,125,631	95,945	X1X2X4X6
4	0.821	0.805	1,192,763	27,739	X1X2X4X7
4	0.426	0.372	3,831,743	89,110	X1X2X5X6
4	0.837	0.822	1,087,276	25,285	X1X2X5X7
4	0.824	0.807	1,175,556	27,339	X1X2X6X7
4	0.359	0.299	4,278,465	99,499	X1X3X4X5
4	0.403	0.348	3,981,277	92,588	X1X3X4X6
4	0.840	0.825	1,065,665	24,783	X1X3X4X7
4	0.336	0.275	4,427,673	102,969	X1X3X5X6
4	0.843	0.828	1,048,866	24,392	X1X3X5X7
4	0.855	0.841	968,452	22,522	X1X3X6X7
4	0.157	0.079	5,624,582	130,804	X1X4X5X6
4	0.809	0.792	1,271,932	29,580	X1X4X5X7
4	0.804	0.785	1,311,011	30,489	X1X4X6X7
4	0.810	0.793	1,264,772	29,413	X1X5X6X7
4	0.414	0.359	3,911,783	90,972	X2X3X4X5
4	0.426	0.373	3,829,888	89,067	X2X3X4X6

ตารางที่ ๑.1 (ต่อ) ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.1

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
4	0.850	0.836	1,003,285	23,332	X2X3X4X7
4	0.352	0.292	4,324,203	100,563	X2X3X5X6
4	0.855	0.842	966,575	22,478	X2X3X5X7
4	0.852	0.838	987,363	22,962	X2X3X6X7
4	0.217	0.144	5,226,316	121,542	X2X4X5X6
4	0.826	0.810	1,160,478	26,988	X2X4X5X7
4	0.815	0.797	1,237,093	28,770	X2X4X6X7
4	0.826	0.810	1,161,272	27,006	X2X5X6X7
4	0.399	0.343	4,012,438	93,313	X3X4X5X6
4	0.840	0.825	1,065,736	24,785	X3X4X5X7
4	0.843	0.828	1,049,594	24,409	X3X4X6X7
4	0.845	0.830	1,037,274	24,123	X3X5X6X7
4	0.811	0.793	1,264,129	29,398	X4X5X6X7
5	0.432	0.365	3,787,349	90,175	X1X2X3X4X5
5	0.432	0.365	3,787,349	90,175	X1X2X3X4X6
5	0.850	0.832	1,002,554	23,870	X1X2x3X4X7
5	0.432	0.365	3,787,366	90,175	X1X2X3X5X6
5	0.856	0.839	958,680	22,826	X1X2X3X5X7
5	0.855	0.838	968,427	23,058	X1X2X3X6X7
5	0.432	0.365	3,787,359	90,175	X1X2X4X5X6
5	0.837	0.818	1,085,492	25,845	X1X2X4X5X7
5	0.825	0.804	1,170,520	27,870	X1X2X4X6X7
5	0.853	0.836	980,563	23,347	X1X2X5X6X7
5	0.432	0.365	3,787,342	90,175	X1X3x4X5X6
5	0.843	0.824	1,048,825	24,972	X1X3X4X5X7
5	0.856	0.839	959,566	22,847	X1X3X4X6X7
5	0.855	0.838	966,663	23,016	X1X3X5X6X7
5	0.811	0.788	1,263,971	30,095	X1X4X5X6X7

ตารางที่ จ.1 (ต่อ) ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่4.1

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
5	0.432	0.365	3,787,346	90,175	X2X3X4X5X6
5	0.855	0.838	965,975	22,999	X2X3X4X5X7
5	0.852	0.834	986,999	23,500	X2X3X4X6X7
5	0.856	0.839	959,225	22,839	X2X3X5X6X7
5	0.826	0.805	1,160,469	27,630	X2X4X5X6X7
5	0.845	0.826	1,036,243	24,672	X3X4x5X6X7
6	0.432	0.365	3,787,346	90,175	X1X2X3X4X5X6
6	0.856	0.835	958,680	23,382	X1X2X3X4X5X7
6	0.856	0.835	958,678	23,382	X1X2X3X4X6X7
6	0.856	0.835	958,680	23,382	X1X2X3X5X6X7
6	0.856	0.835	958,681	23,382	X1X2X4X5X6X7
6	0.856	0.835	958,679	23,382	X1X3X4X5X6X7
6	0.856	0.835	958,679	23,382	X2X3X4X5X6X7
7*	0.856	0.835	958,679	23,382	X1X2X3X4X5X6X7

หมายเหตุ * หมายถึง ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันจึงมีค่าต่างๆ เท่ากับตัวแปรอิสระที่เลือกเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนในลำดับก่อนหน้านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.2 ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.2

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
1	0.032	0.011	6,457,381	140,378	X1
1	0.063	0.043	6,253,602	135,948	X2
1	0.274	0.258	4,846,133	105,351	X3
1	0.124	0.105	5,843,201	127,026	X4
1	0.040	-0.017	6,643,998	144,435	X5
1	0.800	0.796	1,331,993	28,956	X6
2	0.334	0.305	4,442,408	98,720	X1X2
2	0.279	0.247	4,810,831	106,907	X1X3
2	0.126	0.087	5,835,262	129,672	X1X4
2	0.033	-0.010	6,452,679	143,393	X1X5
2	0.802	0.793	1,322,215	29,383	X1X6
2	0.319	0.289	4,544,541	100,990	X2X3
2	0.211	0.176	5,263,818	116,974	X2X4
2	0.064	0.022	6,248,715	138,860	X2X5
2	0.814	0.806	1,241,049	27,579	X2X6
2	0.348	0.319	4,350,762	96,684	X3X4
2	0.288	0.257	4,750,005	105,556	X3X5
2	0.837	0.829	1,089,755	24,217	X3X6
2	0.126	0.087	5,831,040	129,579	X4X5
2	0.801	0.792	1,330,506	29,567	X4X6
2	0.809	0.800	1,274,671	28,326	X5X6
3	0.364	0.321	4,243,006	96,432	X1X2X3
3	0.357	0.313	4,292,508	97,557	X1X2X4
3	0.404	0.363	3,976,422	90,373	X1X2X5

ตารางที่ ๑.2 (ต่อ) ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.2

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
3	0.822	0.810	1,189,118	27,025	X1X2X6
3	0.387	0.345	4,091,601	92,991	X1X3X4
3	0.302	0.254	4,661,173	105,936	X1X3X5
3	0.853	0.843	978,002	22,227	X1X3X6
3	0.127	0.067	5,826,574	132,422	X1X4X5
3	0.802	0.788	1,322,208	30,050	X1X4X6
3	0.809	0.796	1,271,707	28,902	X1X5X6
3	0.411	0.371	3,930,654	89,333	X2X3X4
3	0.326	0.280	4,495,275	102,165	X2X3X5
3	0.850	0.839	1,003,688	22,811	X2X3X6
3	0.211	0.157	5,263,537	119,626	X2X4X5
3	0.814	0.801	1,240,553	28,194	X2X4X6
3	0.826	0.814	1,161,283	26,393	X2X5X6
3	0.357	0.314	4,287,542	97,444	X3X4X5
3	0.837	0.826	1,088,227	24,732	X3X4X6
3	0.840	0.829	1,067,331	24,258	X3X5X6
3	0.809	0.796	1,273,073	28,933	X4X5X6
4	0.414	0.359	3,911,783	90,972	X1X2X3X4
4	0.414	0.359	3,911,781	90,972	X1X2X3X5
4	0.853	0.840	978,002	22,744	X1X2X3X6
4	0.414	0.359	3,911,782	90,972	X1X2X4X5
4	0.822	0.806	1,185,595	27,572	X1X2X4X6
4	0.852	0.839	985,980	22,930	X1X2X5X6
4	0.414	0.359	3,911,784	90,972	X1X3X4X5

ตารางที่ ๑.2 (ต่อ) ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.2

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
4	0.855	0.842	967,375	22,497	X1X3X4X6
4	0.854	0.840	975,315	22,682	X1X3X5X6
4	0.809	0.792	1,271,255	29,564	X1X4X5X6
4	0.414	0.359	3,911,783	90,972	X2X3X4X5
4	0.850	0.836	1,003,285	23,332	X2X3X4X6
4	0.855	0.842	966,575	22,478	X2X3X5X6
4	0.826	0.810	1,160,478	26,988	X2X4X5X6
4	0.840	0.825	1,065,736	24,785	X3X4X5X6
5	0.414	0.359	3,911,783	90,972	X1X2X3X4X5
5	0.855	0.838	965,975	22,999	X1X2X3X4X6
5	0.855	0.838	965,975	22,999	X1X2X3X5X6
5	0.855	0.838	965,976	22,999	X1X2X4X5X6
5	0.855	0.838	965,975	22,999	X1X3X4X5X6
5	0.855	0.838	965,975	22,999	X2X3X4X5X6
6	0.855	0.838	965,975	22,999	X1X2X3X4X5X6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.3 ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.3

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
1	0.800	0.796	1,331,993	28,956	X1
1	0.802	0.798	1,320,490	28,706	X2
1	0.137	0.118	5,761,926	125,259	X3
2	0.809	0.801	1,273,252	28,294	X1X2
2	0.809	0.801	1,273,252	28,294	X1X3
2	0.809	0.801	1,273,252	28,294	X2X3
3	0.809	0.801	1,273,252	28,294	X1X2X3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.4 ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.4

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
1	0.022	0.001	6,525,709	141,863	X1
1	0.802	0.798	1,320,453	28,705	X2
1	0.002	-0.020	6,658,780	144,756	X3
1	0.030	0.009	6,473,515	140,729	X4
1	0.006	-0.016	6,632,458	144,184	X5
1	0.137	0.118	5,761,926	125,259	X6
2	0.834	0.826	1,109,363	24,653	X1X2
2	0.326	0.296	4,498,517	99,967	X1X3
2	0.061	0.020	6,262,946	139,177	X1X4
2	0.027	-0.016	6,493,048	144,290	X1X5
2	0.141	0.103	5,730,052	127,334	X1X6
2	0.819	0.811	1,207,206	26,827	X2X3
2	0.839	0.831	1,077,508	23,945	X2X4
2	0.811	0.803	1,258,551	27,968	X2X5
2	0.809	0.801	1,273,202	28,293	X2X6
2	0.030	-0.013	6,473,290	143,851	X3X4
2	0.010	-0.035	6,609,754	146,883	X3X5
2	0.137	0.098	5,761,015	128,023	X3X6
2	0.044	0.002	6,379,473	141,766	X4X5
2	0.179	0.142	5,481,618	121,814	X4X6
2	0.148	0.110	5,684,852	126,330	X5X6
3	0.851	0.841	995,837	22,633	X1X2X3
3	0.883	0.875	782,767	17,790	X1X2X4
3	0.845	0.835	1,031,887	23,452	X1X2X5

ตารางที่ ๑.4 (ต่อ) ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.4

NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
3	0.836	0.824	1,097,540	24,944	X1X2X6
3	0.329	0.283	4,480,577	101,831	X1X3X4
3	0.378	0.336	4,150,020	94,319	X1X3X5
3	0.475	0.440	3,500,496	79,557	X1X3X6
3	0.075	0.012	6,175,110	140,343	X1X4X5
3	0.188	0.133	5,416,379	123,100	X1X4X6
3	0.152	0.094	5,659,832	128,633	X1X5X6
3	0.872	0.863	855,320	19,439	X2X3X4
3	0.834	0.823	1,106,056	25,138	X2X3X5
3	0.827	0.815	1,154,841	26,246	X2X3X6
3	0.842	0.831	1,056,594	24,013	X2X4X5
3	0.849	0.838	1,010,448	22,965	X2X4X6
3	0.816	0.804	1,225,531	27,853	X2X5X6
3	0.044	-0.021	6,377,431	144,942	X3X4X5
3	0.180	0.124	5,470,975	124,340	X3X4X6
3	0.149	0.091	5,680,075	129,093	X3X5X6
3	0.204	0.149	5,315,140	120,799	X4X5X6
4	0.887	0.876	756,719	17,598	X1X2X3X4
4	0.854	0.841	973,766	22,646	X1X2X3X5
4	0.885	0.874	768,984	17,883	X1X2X3X6
4	0.887	0.876	756,830	17,601	X1X2X4X5
4	0.885	0.875	764,410	17,777	X1X2X4X6
4	0.846	0.832	1,028,094	23,909	X1X2X5X6
4	0.386	0.329	4,099,344	95,334	X1X3X4X5
4	0.613	0.577	2,581,786	60,042	X1X3X4X6

ตารางที่ ๑.4 (ต่อ) ขั้นตอนการนำตัวแปรอิสระเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนตามสมการที่ 4.4

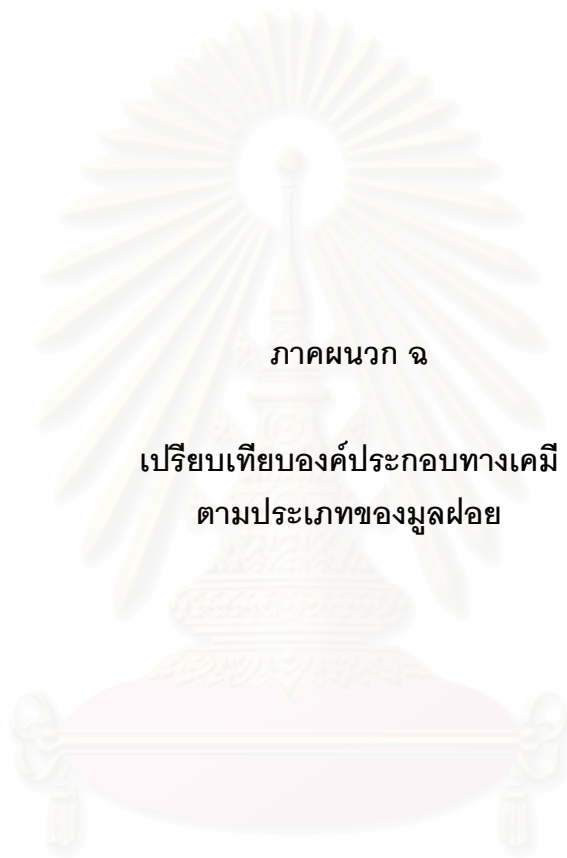
NO.	R ²	Adj-R ²	SSE	MSE	Variable in model
4	0.648	0.615	2,350,802	54,670	X1X3X5X6
4	0.212	0.139	5,258,782	122,297	X1X4X5X6
4	0.879	0.867	809,421	18,824	X2X3X4X5
4	0.884	0.873	773,707	17,993	X2X3X4X6
4	0.839	0.824	1,072,297	24,937	X2X3X5X6
4	0.850	0.836	1,000,258	23,262	X2X4X5X6
4	0.204	0.130	5,310,528	123,501	X3X4X5X6
5	0.888	0.875	745,323	17,746	X1X2X3X4X5
5	0.888	0.875	745,321	17,746	X1X2X3X4X6
5	0.888	0.875	745,317	17,746	X1X2X3X5X6
5	0.888	0.875	745,323	17,746	X1X2X4X5X6
5	0.888	0.875	745,294	17,745	X1X3X4X5X6
5	0.888	0.875	745,324	17,746	X2X3X4X5X6
6*	0.888	0.875	745,324	17,746	X1X2X3X4X5X6

หมายเหตุ * หมายถึง ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันจึงมีค่าต่างๆ เท่ากับตัวแปรอิสระที่เลือกเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนในลำดับก่อนหน้านั้น

วิธีการการคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธี stepwise แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน (Graybill and Hariharan, 1994) คือ

- 1) วิธี Backward elimination ทำการกำจัดตัวแปรอิสระออกจนไม่สามารถกำจัดออกได้อีก โดยดูจากค่า F_c ถ้าน้อยกว่า $F_{out} = 2.71$ ให้กำจัดออก แต่ถ้ามากกว่าให้หยุดการกำจัดออก และทำขั้นตอนที่ 2 ต่อไป
- 2) วิธี Forward selection ทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าทีละตัว โดยดูจากค่า F_c ถ้ามมากกว่า $F_{in} = 2.71$ ให้นำตัวแปรอิสระเข้า หลังจากนั้นให้เริ่มขั้นตอนที่ 1 ใหม่ ทำต่อไปจนไม่สามารถนำตัวแปรอิสระตัวใหม่เข้าสู่สมการความถดถอยพหุคูณเชิงเส้นได้

$$F_c = \frac{SSY - SSE(X_1)}{MSE(X_1)}$$



ภาคผนวก จ

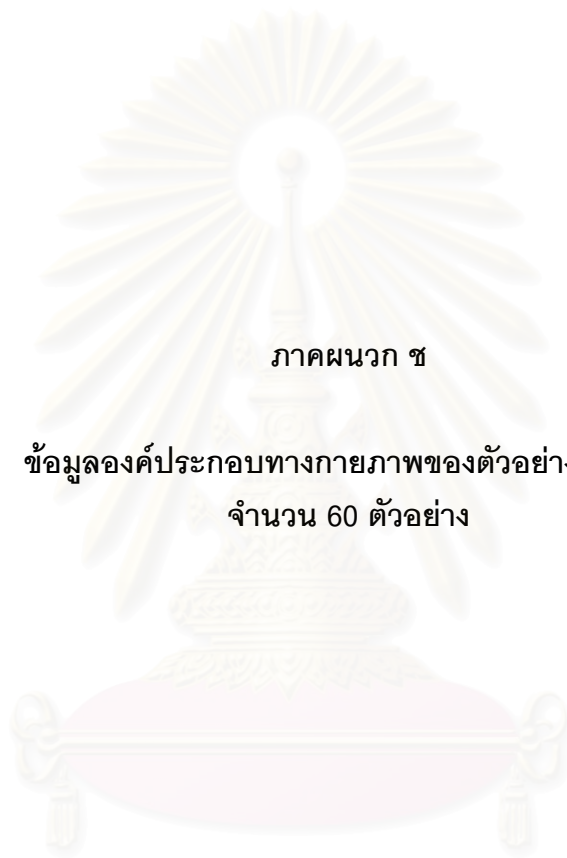
เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี
ตามประเภทของมูลฝอย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.1 องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยชุมชนตามประเภทของมูลฝอย
(Tchobanoglous, Theisen and Vigil, 1993)

Component	Percent by weight (dry basis)					
	Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulfur	Ash
Organic						
Food wastes	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
Paper	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
Cardboard	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0
Plastics	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0
Textiles	55.0	6.6	31.2	4.6	0.2	2.5
Rubber	78.0	10.0	-	2.0	-	10.0
Leather	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
Yard wastes	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
Wood	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
Inorganic						
Glass ^a	0.5	0.1	0.4	<0.1	-	98.9
Metals ^a	4.5	0.6	4.3	<0.1	-	90.5
Dirt, ash, etc.	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

^aOrganic content is from coatings, labels, and other attached materials



ภาคผนวก ช

ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพของตัวอย่างมูลฝอย
จำนวน 60 ตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ช.1 ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	1 กรกฎาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		4 กรกฎาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		7 กรกฎาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		10 กรกฎาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		13 กรกฎาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	5.106	40.35	8.171	46.80	6.533	51.68	9.687	56.69	6.263	53.28
กระดาษ	1.542	12.18	2.694	15.43	1.964	15.54	2.702	15.81	1.866	15.87
พลาสติก	2.115	16.71	2.675	15.32	2.426	19.19	3.138	18.36	2.433	20.70
ยาง&หนัง	0.000	0.00	0.000	0.00	0.100	0.79	0.000	0.00	0.000	0.00
ผ้า&สิ่งทอ	0.000	0.00	1.160	6.64	0.100	0.79	0.000	0.00	0.663	5.64
ไม้&ใบไม้	3.426	27.07	0.840	4.81	0.653	5.17	1.062	6.21	0.110	0.96
แก้ว	0.262	2.07	1.353	7.75	0.573	4.53	0.100	0.59	0.000	0.00
โลหะ	0.102	0.81	0.233	1.34	0.193	1.52	0.100	0.59	0.220	1.87
หิน	0.102	0.81	0.233	1.34	0.000	0.00	0.200	1.16	0.200	1.68
ของเสียอันตราย	0.000	0.00	0.100	0.57	0.100	0.79	0.100	0.59	0.000	0.00
อื่นๆ	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
รวม	12.655	100.00	17.459	100.00	12.642	100.00	17.089	100.00	11.755	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	322		479		288		299		258	

ตารางที่ ช.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	16 กรกฎาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		19 กรกฎาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		22 กรกฎาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		25 กรกฎาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		28 กรกฎาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	7.670	44.83	6.964	44.86	9.334	48.58	11.224	58.40	8.406	63.31
กระดาษ	1.520	8.88	1.780	11.47	1.154	6.01	2.691	14.00	1.663	12.53
พลาสติก	3.052	17.84	3.185	20.52	4.496	23.40	3.035	15.79	2.088	15.73
ยาง&หนัง	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.320	2.41
ผ้า&สิ่งทอ	1.092	6.38	0.781	5.03	1.620	8.43	0.184	0.96	0.100	0.75
ไม้&ใบไม้	2.922	17.08	2.115	13.62	1.844	9.60	1.598	8.31	0.550	4.14
แก้ว	0.000	0.00	0.300	1.93	0.338	1.76	0.050	0.26	0.000	0.00
โลหะ	0.402	2.35	0.100	0.64	0.188	0.98	0.094	0.49	0.050	0.38
หิน	0.452	2.64	0.200	1.29	0.100	0.52	0.344	1.79	0.100	0.75
ของเสียอันตราย	0.000	0.00	0.100	0.64	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
อื่นๆ	0.000	0.00	0.000	0.00	0.138	0.72	0.000	0.00	0.000	0.00
รวม	17.110	100.00	15.525	100.00	19.212	100.00	19.220	100.00	13.277	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	390		298		319		324		317	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	1 สิงหาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		4 สิงหาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		7 สิงหาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		10 สิงหาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		13 สิงหาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	7.654	57.27	8.701	45.05	4.707	40.17	6.974	34.32	9.834	43.63
กระดาษ	1.254	9.38	4.323	22.39	2.118	18.07	6.872	33.81	2.621	11.63
พลาสติก	2.173	16.26	2.484	12.86	2.558	21.83	4.344	21.37	3.770	16.73
ยาง&หนัง	0.000	0.00	0.698	3.61	0.260	2.22	0.020	0.10	0.150	0.67
ผ้า&สิ่งทอ	0.818	6.12	0.494	2.56	0.740	6.31	0.502	2.47	1.890	8.39
ไม้&ใบไม้	0.090	0.67	1.316	6.81	0.572	4.88	0.931	4.58	0.853	3.78
แก้ว	0.540	4.04	0.180	0.93	0.200	1.71	0.230	1.13	1.500	6.66
โลหะ	0.193	1.44	0.298	1.54	0.312	2.66	0.040	0.20	0.290	1.29
หิน	0.543	4.06	0.768	3.98	0.252	2.15	0.410	2.02	1.550	6.88
ของเสียอันตราย	0.100	0.76	0.050	0.27	0.000	0.00	0.000	0.00	0.080	0.34
อื่นๆ	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
รวม	13.365	100.00	19.312	100.00	11.719	100.00	20.323	100.00	22.538	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	282		350		322		351		377	

ตารางที่ ช.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	16 สิงหาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		19 สิงหาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		22 สิงหาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		25 สิงหาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		28 สิงหาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	3.483	23.89	6.838	45.14	5.675	42.99	6.872	46.19	6.913	47.01
กระดาษ	3.480	23.87	5.663	37.39	3.543	26.84	1.454	9.77	2.178	14.81
พลาสติก	3.868	26.53	2.165	14.29	1.888	14.30	3.723	25.03	3.541	24.08
ยาง&หนัง	1.164	7.98	0.000	0.00	0.000	0.00	0.080	0.54	0.020	0.14
ผ้า&สิ่งทอ	0.658	4.51	0.070	0.46	1.171	8.87	0.523	3.52	0.500	3.40
ไม้&ใบไม้	0.860	5.90	0.195	1.29	0.502	3.80	0.902	6.06	0.402	2.73
แก้ว	0.244	1.67	0.030	0.20	0.192	1.45	0.370	2.49	0.780	5.30
โลหะ	0.230	1.58	0.045	0.30	0.09	0.68	0.300	2.02	0.240	1.63
หิน	0.394	2.70	0.141	0.93	0.110	0.83	0.533	3.58	0.112	0.76
ของเสียอันตราย	0.020	0.14	0.100	0.00	0.030	0.24	0.120	0.80	0.020	0.14
อื่นๆ	0.178	1.23	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
รวม	14.579	100.00	15.247	100.00	13.201	100.00	14.877	100.00	14.706	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	285		279		308		303		300	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	1 พฤศจิกายน 2546 โดยน้ำหนักเปียก		4 พฤศจิกายน 2546 โดยน้ำหนักเปียก		7 พฤศจิกายน 2546 โดยน้ำหนักเปียก		10 พฤศจิกายน 2546 โดยน้ำหนักเปียก		13 พฤศจิกายน 2546 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	2.612	29.35	10.966	46.74	4.602	30.22	5.852	32.00	8.326	44.85
กระดาษ	1.738	19.53	2.932	12.50	2.273	14.92	1.502	8.21	1.524	8.21
พลาสติก	2.350	26.41	4.218	17.98	3.214	21.10	3.401	18.60	3.836	20.66
ยาง&หนัง	0.000	0.00	0.000	0.00	0.350	2.30	0.050	0.27	1.040	5.60
ผ้า&สิ่งทอ	0.050	0.56	1.752	7.47	0.855	5.61	0.050	0.27	0.320	1.72
ไม้&ใบไม้	0.350	3.93	1.583	6.75	2.556	16.78	4.343	23.75	2.319	12.49
แก้ว	0.690	7.75	0.860	3.67	0.730	4.79	1.120	6.12	0.910	4.90
โลหะ	0.304	3.42	0.130	0.55	0.42	2.76	0.140	0.77	0.150	0.81
หิน	0.804	9.05	0.870	3.71	0.160	1.05	0.900	4.92	0.090	0.48
ของเสียอันตราย	0.100	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.100	0.55	0.050	0.28
อื่นๆ	0.000	0.00	0.150	0.63	0.070	0.47	0.830	4.54	0.000	0.00
รวม	8.998	100.00	23.461	100.00	15.230	100.00	18.288	100.00	18.565	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	232		378		317		325		242	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	16 พฤศจิกายน 2546 โดยน้ำหนักเปียก		19 พฤศจิกายน 2546 โดยน้ำหนักเปียก		22 พฤศจิกายน 2546 โดยน้ำหนักเปียก		25 พฤศจิกายน 2546 โดยน้ำหนักเปียก		28 พฤศจิกายน 2546 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	9.313	40.57	8.487	42.93	5.976	37.65	14.369	51.99	8.347	48.91
กระดาษ	1.742	7.59	3.290	16.64	2.982	18.79	2.542	9.20	1.153	6.76
พลาสติก	5.598	24.38	4.954	25.06	3.746	23.60	6.100	22.07	3.692	21.63
ยาง&หนัง	0.570	2.48	0.020	0.10	0.010	0.06	0.250	0.90	0.110	0.64
ผ้า&สิ่งทอ	1.790	7.80	0.150	0.76	1.241	7.82	2.252	8.15	0.220	1.29
ไม้&ใบไม้	0.943	4.11	0.543	2.75	1.499	9.44	0.514	1.86	1.783	10.45
แก้ว	0.690	3.01	1.180	5.97	0.190	1.20	0.340	1.23	0.740	4.34
โลหะ	0.481	2.10	0.794	4.02	0.05	0.31	0.210	0.76	0.150	0.88
หิน	1.780	7.75	0.260	1.32	0.050	0.31	0.850	3.08	0.690	4.04
ของเสียอันตราย	0.030	0.13	0.000	0.00	0.030	0.19	0.100	0.36	0.010	0.06
อื่นๆ	0.020	0.08	0.090	0.45	0.100	0.63	0.110	0.40	0.170	1.00
รวม	22.957	100.00	19.768	100.00	15.874	100.00	27.637	100.00	17.065	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	363		295		360		439		309	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	1 ธันวาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		4 ธันวาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		7 ธันวาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		10 ธันวาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		13 ธันวาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	6.649	46.45	6.423	39.39	7.413	42.84	8.192	44.79	5.655	29.79
กระดาษ	2.032	14.19	3.558	21.82	3.220	18.61	3.302	18.06	3.056	16.10
พลาสติก	2.802	19.57	3.354	20.57	3.564	20.60	3.654	19.98	4.536	23.90
ยาง&หนัง	0.000	0.00	0.400	2.45	0.360	2.08	0.130	0.71	0.430	2.27
ผ้า&สิ่งทอ	0.260	1.82	0.450	2.76	0.190	1.10	0.792	4.33	0.200	1.05
ไม้&ใบไม้	1.292	9.03	1.222	7.49	1.114	6.44	1.208	6.61	2.626	13.83
แก้ว	1.100	7.68	0.130	0.80	0.580	3.35	0.900	4.92	1.080	5.69
โลหะ	0.070	0.49	0.150	0.92	0.17	0.98	0.070	0.38	0.270	1.42
หิน	0.070	0.49	0.180	1.10	0.502	2.90	0.040	0.22	0.070	0.37
ของเสียอันตราย	0.020	0.14	0.290	1.78	0.070	0.40	0.000	0.00	0.080	0.42
อื่นๆ	0.020	0.14	0.150	0.92	0.120	0.70	0.000	0.00	0.980	5.16
รวม	14.315	100.00	16.307	100.00	17.303	100.00	18.288	100.00	18.983	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	282		229		290		361		364	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	16 ธันวาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		19 ธันวาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		22 ธันวาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		25 ธันวาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก		28 ธันวาคม 2546 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	7.589	46.70	7.919	41.37	7.989	43.98	10.914	45.56	10.502	54.78
กระดาษ	1.394	8.58	2.702	14.11	3.464	19.07	2.192	9.15	2.682	14.00
พลาสติก	2.994	18.42	5.988	31.28	4.868	26.80	5.356	22.36	2.876	15.00
ยาง&หนัง	0.010	0.06	0.040	0.21	0.010	0.06	0.740	3.09	0.230	1.20
ผ้า&สิ่งทอ	0.282	1.74	0.100	0.52	0.190	1.05	0.790	3.30	0.570	2.97
ไม้&ใบไม้	1.460	8.98	1.292	6.75	0.473	2.60	1.412	5.89	1.062	5.54
แก้ว	0.680	4.18	0.370	1.93	0.010	0.06	1.280	5.34	0.450	2.35
โลหะ	0.290	1.78	0.213	1.11	0.2	1.10	0.330	1.38	0.090	0.47
หิน	0.210	1.29	0.510	2.66	0.580	3.19	0.852	3.56	0.240	1.25
ของเสียอันตราย	0.000	0.00	0.010	0.06	0.010	0.06	0.070	0.29	0.020	0.10
อื่นๆ	1.341	8.27	0.000	0.00	0.370	2.03	0.020	0.08	0.450	2.34
รวม	16.250	100.00	19.144	100.00	18.164	100.00	23.956	100.00	19.172	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	375		287		326		420		355	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	1 กุมภาพันธ์ 2547 โดยน้ำหนักเปียก		4 กุมภาพันธ์ 2547 โดยน้ำหนักเปียก		7 กุมภาพันธ์ 2547 โดยน้ำหนักเปียก		10 กุมภาพันธ์ 2547 โดยน้ำหนักเปียก		13 กุมภาพันธ์ 2547 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	10.016	36.01	12.598	55.13	7.282	40.64	10.785	48.73	6.136	26.93
กระดาษ	3.645	13.11	2.251	9.85	2.123	11.85	4.282	19.35	3.594	15.78
พลาสติก	6.886	24.76	4.445	19.45	3.758	20.97	3.678	16.62	3.928	17.24
ยาง&หนัง	0.010	0.04	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.080	0.35
ผ้า&สิ่งทอ	1.720	6.18	0.370	1.62	1.361	7.60	0.320	1.45	1.200	5.27
ไม้&ใบไม้	1.682	6.05	1.368	5.99	2.045	11.41	1.366	6.17	4.574	20.08
แก้ว	1.050	3.78	0.690	3.02	0.560	3.13	0.650	2.94	0.430	1.89
โลหะ	0.611	2.20	0.350	1.53	0.09	0.50	0.170	0.77	0.860	3.77
หิน	1.832	6.59	0.330	1.44	0.380	2.12	0.870	3.93	0.930	4.08
ของเสียอันตราย	0.210	0.76	0.000	0.00	0.030	0.17	0.010	0.04	0.050	0.22
อื่นๆ	0.150	0.52	0.450	1.97	0.290	1.61	0.000	0.00	1.000	4.39
รวม	27.812	100.00	22.852	100.00	17.919	100.00	22.131	100.00	22.782	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	385		470		333		394		388	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	16 กุมภาพันธ์ 2547 โดยน้ำหนักเปียก		19 กุมภาพันธ์ 2547 โดยน้ำหนักเปียก		22 กุมภาพันธ์ 2547 โดยน้ำหนักเปียก		25 กุมภาพันธ์ 2547 โดยน้ำหนักเปียก		28 กุมภาพันธ์ 2547 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	4.800	35.47	7.773	45.26	12.660	52.39	9.238	40.60	11.555	58.63
กระดาษ	1.774	13.11	2.011	11.71	3.182	13.17	4.016	17.65	1.953	9.91
พลาสติก	2.225	16.44	3.602	20.97	6.370	26.36	4.610	20.26	3.816	19.36
ยาง&หนัง	0.000	0.00	0.190	1.11	0.020	0.08	0.050	0.22	0.000	0.00
ผ้า&สิ่งทอ	0.320	2.36	0.572	3.33	0.220	0.91	2.704	11.88	0.020	0.10
ไม้&ใบไม้	1.081	7.99	1.768	10.29	0.582	2.41	0.764	3.36	1.364	6.92
แก้ว	2.301	17.01	0.340	1.98	0.090	0.37	0.340	1.49	0.590	2.99
โลหะ	0.090	0.67	0.270	1.57	0.160	0.66	0.110	0.48	0.250	1.27
หิน	0.100	0.74	0.110	0.64	0.730	3.02	0.350	1.54	0.150	0.76
ของเสียอันตราย	0.000	0.00	0.000	0.00	0.010	0.04	0.000	0.00	0.010	0.06
อื่นๆ	0.840	6.21	0.540	3.14	0.140	0.59	0.570	2.52	0.000	0.00
รวม	13.531	100.00	17.176	100.00	24.164	100.00	22.752	100.00	19.708	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	330		312		404		387		382	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	1 มีนาคม 2547 โดยน้ำหนักเปียก		4 มีนาคม 2547 โดยน้ำหนักเปียก		7 มีนาคม 2547 โดยน้ำหนักเปียก		10 มีนาคม 2547 โดยน้ำหนักเปียก		13 มีนาคม 2547 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	10.176	48.23	8.121	43.14	8.751	54.07	9.012	31.26	5.436	35.06
กระดาษ	2.494	11.82	1.541	8.19	1.352	8.35	4.593	15.93	2.372	15.30
พลาสติก	3.136	14.86	4.396	23.35	2.945	18.20	6.780	23.52	3.084	19.89
ยาง&หนัง	0.000	0.00	0.000	0.00	0.150	0.93	0.705	2.45	0.650	4.19
ผ้า&สิ่งทอ	0.050	0.24	0.070	0.37	0.090	0.56	2.810	9.75	0.430	2.77
ไม้&ใบไม้	1.212	5.74	1.464	7.78	1.031	6.37	1.325	4.60	1.164	7.51
แก้ว	2.260	10.71	1.831	9.73	0.120	0.74	0.940	3.26	0.900	5.80
โลหะ	0.710	3.36	0.453	2.41	0.333	2.06	0.520	1.80	0.210	1.35
หิน	0.480	2.28	0.100	0.53	0.050	0.31	0.815	2.83	0.090	0.58
ของเสียอันตราย	0.130	0.62	0.010	0.05	0.000	0.00	0.020	0.07	0.000	0.00
อื่นๆ	0.450	2.14	0.840	4.45	1.363	8.41	1.305	4.53	1.170	7.55
รวม	21.098	100.00	18.826	100.00	16.185	100.00	28.825	100.00	15.506	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	336		312		363		353		290	

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลดิบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	16 มีนาคม 2547 โดยน้ำหนักเปียก		19 มีนาคม 2547 โดยน้ำหนักเปียก		22 มีนาคม 2547 โดยน้ำหนักเปียก		25 มีนาคม 2547 โดยน้ำหนักเปียก		28 มีนาคม 2547 โดยน้ำหนักเปียก	
	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ	น้ำหนัก (กก.)	ร้อยละ
เศษอาหาร	4.319	21.83	13.446	44.80	9.835	42.66	12.360	54.65	16.457	53.66
กระดาษ	5.566	28.13	3.434	11.44	3.153	13.68	2.921	12.92	4.328	14.11
พลาสติก	4.969	25.12	5.169	17.22	4.493	19.49	3.341	14.77	4.940	16.11
ยาง&หนัง	0.160	0.81	0.030	0.10	0.000	0.00	0.090	0.40	0.150	0.49
ผ้า&สิ่งทอ	0.060	0.30	1.200	4.00	0.190	0.82	0.700	3.10	0.580	1.89
ไม้&ใบไม้	3.400	17.19	3.143	10.47	1.655	7.18	1.313	5.81	3.042	9.92
แก้ว	0.170	0.86	0.490	1.63	0.660	2.86	0.210	0.93	0.210	0.68
โลหะ	0.130	0.66	0.490	1.63	0.250	1.08	0.280	1.24	0.250	0.82
หิน	0.640	3.24	1.630	5.43	0.770	3.34	0.770	3.40	0.060	0.20
ของเสียอันตราย	0.090	0.45	0.030	0.10	0.000	0.00	0.020	0.09	0.000	0.00
อื่นๆ	0.280	1.41	0.950	3.18	2.050	8.89	0.610	2.69	0.650	2.12
รวม	19.784	100.00	30.012	100.00	23.056	100.00	22.615	100.00	30.667	100.00
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	300		382		346		474		454	

ตารางที่ ซ.2 ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

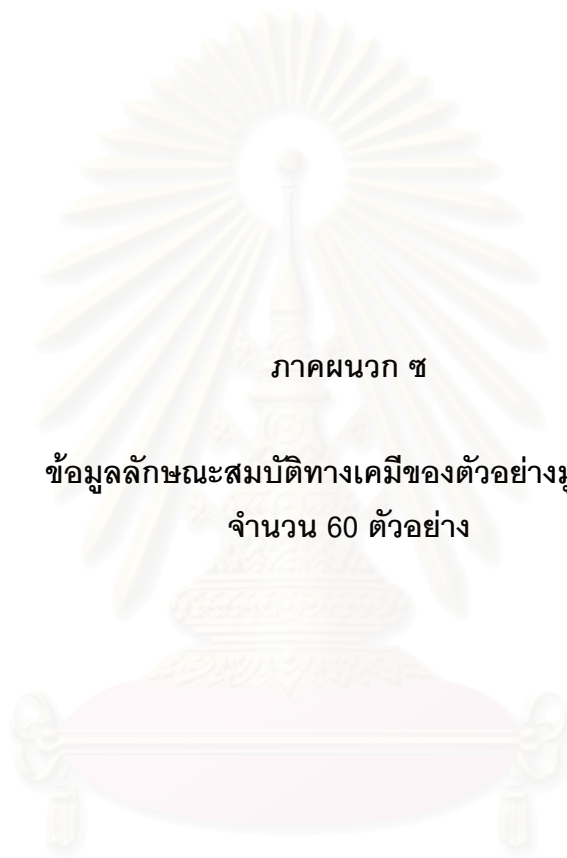
ลำดับ	วันที่เก็บตัวอย่าง	เศษอาหาร	กระดาษ	พลาสติก	ยาง&หนัง	ผ้า&สิ่งทอ	ไม้&ใบไม้	Bio-waste
1	1 ก.ค. 46	41.90	12.65	17.35	0.00	0.00	28.11	70.00
2	4 ก.ค. 46	52.58	17.34	17.21	0.00	7.46	5.40	57.99
3	7 ก.ค. 46	55.47	16.68	20.60	0.85	0.85	5.55	61.02
4	10 ก.ค. 46	58.40	16.29	18.91	0.00	0.00	6.40	64.80
5	13 ก.ค. 46	55.24	16.45	21.46	0.00	5.85	1.00	56.24
6	16 ก.ค. 46	47.18	9.35	18.78	0.00	6.72	17.98	65.16
7	19 ก.ค. 46	46.97	12.01	21.49	0.00	5.27	14.26	61.24
8	22 ก.ค. 46	50.59	6.26	24.37	0.00	8.78	10.00	60.59
9	25 ก.ค. 46	59.92	14.36	16.20	0.00	0.99	8.53	68.45
10	28 ก.ค. 46	64.03	12.67	15.91	2.44	0.76	4.19	68.22
11	1 ส.ค. 46	63.85	10.46	18.13	0.00	6.82	0.75	64.59
12	4 ส.ค. 46	48.30	24.00	13.79	3.87	2.74	7.30	55.60
13	7 ส.ค. 46	42.97	19.33	23.35	2.37	6.75	5.22	48.19
14	10 ส.ค. 46	35.51	34.98	22.11	0.10	2.56	4.74	40.25
15	13 ส.ค. 46	51.43	13.71	19.72	0.79	9.89	4.46	55.89
16	16 ส.ค. 46	100.00	25.76	28.63	8.61	4.87	6.37	106.37
17	19 ส.ค. 46	45.79	37.93	14.50	0.00	0.47	1.31	47.10
18	22 ส.ค. 46	44.41	27.73	14.77	0.00	9.16	3.93	48.34
19	25 ส.ค. 46	50.70	10.72	27.47	0.59	3.86	6.65	57.35
20	28 ส.ค. 46	51.00	16.07	26.13	0.15	3.69	2.96	53.97

ตารางที่ ซ.2 (ต่อ) ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ลำดับ	วันที่เก็บตัวอย่าง	เศษอาหาร	กระดาษ	พลาสติก	ยาง&หนัง	ผ้า&สิ่งทอ	ไม้&ใบไม้	Bio-waste
21	1 พ.ย. 46	36.79	24.48	33.10	0.00	0.70	4.93	41.71
22	4 พ.ย. 46	51.12	13.67	19.66	0.00	8.17	7.38	58.50
23	7 พ.ย. 46	33.23	16.41	23.20	2.53	6.17	18.45	51.69
24	10 พ.ย. 46	38.51	9.88	22.38	0.32	0.32	28.58	67.09
25	13 พ.ย. 46	47.95	8.78	22.09	5.99	1.84	13.35	61.31
26	16 พ.ย. 46	46.67	8.73	28.05	2.85	8.97	4.73	51.40
27	19 พ.ย. 46	48.65	18.86	28.40	0.11	0.86	3.12	51.77
28	22 พ.ย. 46	38.67	19.30	24.24	0.06	8.03	9.70	48.37
29	25 พ.ย. 46	55.21	9.77	23.44	0.96	8.65	1.98	57.18
30	28 พ.ย. 46	54.54	7.54	24.12	0.71	1.44	11.65	66.19
31	1 ธ.ค. 46	51.01	15.58	21.49	0.00	2.00	9.92	60.93
32	4 ธ.ค. 46	41.69	23.09	21.77	2.59	2.92	7.93	49.62
33	7 ธ.ค. 46	46.73	20.30	22.47	2.27	1.20	7.03	53.76
34	10 ธ.ค. 46	47.41	19.12	21.15	0.75	4.58	7.00	54.40
35	13 ธ.ค. 46	34.27	18.52	27.49	2.61	1.21	15.91	50.17
36	16 ธ.ค. 46	55.28	10.16	21.80	0.07	2.06	10.63	65.91
37	19 ธ.ค. 46	43.90	14.97	33.19	0.22	0.55	7.16	51.06
38	22 ธ.ค. 46	47.01	20.38	28.64	0.06	1.12	2.78	49.79
39	25 ธ.ค. 46	50.99	10.24	25.03	3.46	3.69	6.59	57.58
40	28 ธ.ค. 46	58.59	14.97	16.04	1.28	3.18	5.93	64.52

ตารางที่ ช.2 (ต่อ) ข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ลำดับ	วันที่เก็บตัวอย่าง	เศษอาหาร	กระดาษ	พลาสติก	ยาง&หนัง	ผ้า&สิ่งทอ	ไม้&ใบไม้	Bio-waste
41	1 ก.พ. 47	41.80	15.22	28.74	0.05	7.17	7.02	48.82
42	4 ก.พ. 47	59.90	10.70	21.13	0.00	1.76	6.51	66.41
43	7 ก.พ. 47	43.95	12.81	22.68	0.00	8.22	12.34	56.29
44	10 ก.พ. 47	52.78	20.96	18.00	0.00	1.57	6.68	59.47
45	13 ก.พ. 47	31.44	18.42	20.13	0.41	6.15	23.44	54.89
46	16 ก.พ. 47	47.06	17.39	21.81	0.00	3.13	10.60	57.66
47	19 ก.พ. 47	48.84	12.64	22.63	1.20	3.59	11.10	59.94
48	22 ก.พ. 47	54.96	13.82	27.65	0.08	0.95	2.53	57.49
49	25 ก.พ. 47	43.21	18.78	21.56	0.23	12.64	3.58	46.78
50	28 ก.พ. 47	61.77	10.44	20.40	0.00	0.11	7.29	69.06
51	1 มี.ค. 47	59.62	14.61	18.37	0.00	0.30	7.10	66.72
52	4 มี.ค. 47	52.08	9.89	28.19	0.00	0.45	9.39	61.48
53	7 มี.ค. 47	61.11	9.44	20.57	1.05	0.63	7.20	68.31
54	10 มี.ค. 47	35.72	18.20	26.88	2.80	11.14	5.26	40.98
55	13 มี.ค. 47	41.38	18.06	23.48	4.95	3.27	8.86	50.25
56	16 มี.ค. 47	23.38	30.12	26.90	0.87	0.32	18.41	41.79
57	19 มี.ค. 47	50.89	13.00	19.56	0.11	4.54	11.89	62.79
58	22 มี.ค. 47	50.89	16.32	23.25	0.00	0.98	8.56	59.45
59	25 มี.ค. 47	59.63	14.10	16.12	0.44	3.38	6.34	65.97
60	28 มี.ค. 47	55.79	14.67	16.75	0.51	1.97	10.31	66.11



ภาคผนวก ซ

ข้อมูลลักษณะสมบัติทางเคมีของตัวอย่างมูลฝอย
จำนวน 60 ตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๗.1 ข้อมูลปริมาณความร้อนสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ลำดับ	วันที่	Lower Solid Calorific Value (LSCV) (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	1 ก.ค. 46	1177.0896	1180.4865	1061.4367	1139.6709
2	4 ก.ค. 46	1134.4204	1188.3550	1118.0219	1146.9324
3	7 ก.ค. 46	1257.4461	1303.2655	1197.5618	1252.7578
4	10 ก.ค. 46	1287.7161	1277.5943	1307.8726	1291.0610
5	13 ก.ค. 46	828.9796	838.5574	834.3068	833.9479
6	16 ก.ค. 46	1340.2897	1347.3995	1360.6552	1349.4481
7	19 ก.ค. 46	1329.2233	1300.7257	1327.1020	1319.0170
8	22 ก.ค. 46	1683.8084	1705.4633	1724.6359	1704.6359
9	25 ก.ค. 46	692.7901	662.1357	646.1626	667.0295
10	28 ก.ค. 46	1412.9631	1472.1348	1462.2203	1449.1061
11	1 ส.ค. 46	1689.3962	1752.7372	1713.1722	1718.4352
12	4 ส.ค. 46	1361.4550	1307.6827	1235.6102	1301.5826
13	7 ส.ค. 46	1493.1996	1476.1168	1466.7371	1478.6845
14	10 ส.ค. 46	1181.0838	1195.3558	1184.8118	1187.0838
15	13 ส.ค. 46	1436.7696	1449.7810	1444.9495	1443.8334
16	16 ส.ค. 46	2296.7339	2183.7739	2182.2552	2220.9210
17	19 ส.ค. 46	821.3583	825.2268	821.6165	822.7339
18	22 ส.ค. 46	1269.1950	1269.6537	1219.0538	1252.6342
19	25 ส.ค. 46	1388.7166	1478.3282	1460.1442	1442.3963
20	28 ส.ค. 46	1425.6045	1479.3559	1470.0267	1458.3290
21	1 พ.ย. 46	2025.5149	2028.4525	2017.9837	2023.9837
22	4 พ.ย. 46	1601.6247	1560.6628	1664.4230	1608.9035
23	7 พ.ย. 46	2446.6595	2451.6373	2434.1484	2444.1484
24	10 พ.ย. 46	1836.4682	1935.5645	1810.7960	1860.9429
25	13 พ.ย. 46	1870.6066	1948.6389	1858.0154	1892.4203
26	16 พ.ย. 46	1983.5611	2027.8801	2018.0814	2009.8409
27	19 พ.ย. 46	1494.5974	1588.3815	1454.4152	1512.4647
28	22 พ.ย. 46	1618.9093	1774.9728	1741.6356	1711.8392
29	25 พ.ย. 46	1844.8898	1834.9995	1906.8078	1862.2324
30	28 พ.ย. 46	1682.0105	1805.6365	1893.8235	1793.8235

ตารางที่ ๗.1 (ต่อ) ข้อมูลปริมาณความร้อนสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

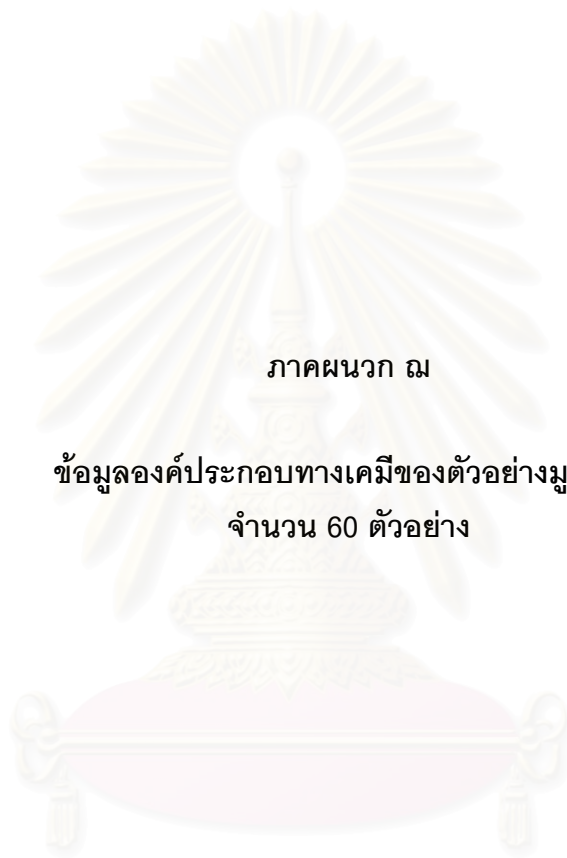
ลำดับ	วันที่	Lower Solid Calorific Value (LSCV) (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
31	1 ธ.ค. 46	1839.7307	1851.6683	1810.1618	1833.8536
32	4 ธ.ค. 46	1424.5561	1490.3455	1488.2100	1467.7038
33	7 ธ.ค. 46	2103.6888	2098.0694	2085.1093	2095.6225
34	10 ธ.ค. 46	2072.4347	2085.9652	2057.6875	2072.0291
35	13 ธ.ค. 46	1753.8635	1841.6069	1795.6836	1797.0513
36	16 ธ.ค. 46	2299.4105	2147.8364	2301.9989	2249.7486
37	19 ธ.ค. 46	2002.0259	2007.2947	2070.9705	2026.7637
38	22 ธ.ค. 46	1951.6033	1831.1616	1819.8865	1867.5505
39	25 ธ.ค. 46	1882.7930	1726.9812	1713.4308	1774.4017
40	28 ธ.ค. 46	1577.5249	1467.9817	1448.8251	1498.1106
41	1 ก.พ. 47	1960.9437	1950.9708	1931.6958	1947.8701
42	4 ก.พ. 47	1181.5114	1195.86608	1199.51065	1192.2961
43	7 ก.พ. 47	1841.3270	1897.2367	1897.2367	1878.6001
44	10 ก.พ. 47	960.5226	930.6987	940.4662	943.8959
45	13 ก.พ. 47	1372.8746	1398.1076	1373.6764	1381.5529
46	16 ก.พ. 47	1893.6468	1915.83151	1851.5961	1887.0248
47	19 ก.พ. 47	1457.8478	1460.9741	1371.7031	1430.1750
48	22 ก.พ. 47	1326.9622	1423.16061	1460.3384	1403.4871
49	25 ก.พ. 47	1467.2771	1478.3282	1580.2493	1508.6182
50	28 ก.พ. 47	1076.4657	1087.3098	1084.4007	1082.7254
51	1 มี.ค. 47	1735.5262	1777.8309	1760.0764	1757.81118
52	4 มี.ค. 47	1590.5093	1669.17311	1649.4625	1636.3816
53	7 มี.ค. 47	1815.7790	1796.2150	1817.8841	1809.9593
54	10 มี.ค. 47	1755.0046	1717.4305	1706.2175	1726.2175
55	13 มี.ค. 47	1823.4332	1799.3389	1826.3860	1816.3860
56	16 มี.ค. 47	1639.6274	1671.2547	1685.2151	1665.3657
57	19 มี.ค. 47	1821.7115	1775.2524	1843.7100	1813.5580
58	22 มี.ค. 47	1177.1824	1069.86944	1150.1534	1132.4017
59	25 มี.ค. 47	1107.4807	1094.0249	1138.2245	1113.2434
60	28 มี.ค. 47	1427.5256	1340.2149	1332.6262	1366.7889

ตารางที่ ๗.2 ข้อมูลลักษณะสมบัติทางเคมีสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ลำดับ	วันที่	ความชื้น (ร้อยละ)	สารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละ)			เถ้า (ร้อยละ)		
			ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย
			1	2		1	2	
1	1 ก.ค. 46	65.70	29.12	29.75	29.44	5.18	4.55	4.86
2	4 ก.ค. 46	67.76	29.20	29.12	29.16	3.04	3.12	3.08
3	7 ก.ค. 46	64.25	31.85	32.44	32.14	3.90	3.31	3.61
4	10 ก.ค. 46	62.67	32.57	33.13	32.85	4.76	4.20	4.48
5	13 ก.ค. 46	68.85	26.01	25.65	25.83	5.14	5.50	5.32
6	16 ก.ค. 46	64.13	31.56	31.31	31.44	4.31	4.56	4.43
7	19 ก.ค. 46	65.36	30.99	31.10	31.04	3.65	3.54	3.60
8	22 ก.ค. 46	56.42	38.87	39.14	39.00	4.71	4.44	4.58
9	25 ก.ค. 46	74.30	23.05	23.10	23.08	2.65	2.60	2.62
10	28 ก.ค. 46	61.18	33.93	34.01	33.97	4.89	4.81	4.85
11	1 ส.ค. 46	56.00	39.72	39.40	39.56	4.28	4.60	4.44
12	4 ส.ค. 46	62.91	33.04	33.19	33.11	4.05	3.90	3.98
13	7 ส.ค. 46	61.65	33.79	33.89	33.84	4.56	4.46	4.51
14	10 ส.ค. 46	65.76	30.73	30.54	30.64	3.51	3.70	3.60
15	13 ส.ค. 46	61.74	34.18	34.30	34.24	4.08	3.96	4.02
16	16 ส.ค. 46	48.66	44.79	45.14	44.97	6.55	6.20	6.37
17	19 ส.ค. 46	71.35	25.62	25.81	25.72	3.03	2.84	2.93
18	22 ส.ค. 46	63.43	32.74	32.95	32.84	3.83	3.62	3.73
19	25 ส.ค. 46	62.92	31.90	31.42	31.66	5.18	5.66	5.42
20	28 ส.ค. 46	62.54	33.16	33.12	33.14	4.30	4.34	4.32
21	1 พ.ย. 46	52.74	40.89	41.35	41.12	6.37	5.91	6.14
22	4 พ.ย. 46	62.22	30.40	32.40	31.40	7.38	5.38	6.38
23	7 พ.ย. 46	51.68	43.25	42.75	43.00	5.07	5.57	5.32
24	10 พ.ย. 46	58.28	34.32	33.94	34.14	7.40	7.78	7.58
25	13 พ.ย. 46	59.20	36.38	35.94	36.15	4.42	4.86	4.65
26	16 พ.ย. 46	58.57	37.51	37.50	37.50	3.92	3.93	3.93
27	19 พ.ย. 46	65.67	30.86	30.94	30.90	3.47	3.39	3.43
28	22 พ.ย. 46	60.80	34.23	33.97	34.10	4.97	5.23	5.10
29	25 พ.ย. 46	61.49	34.62	35.38	35.00	3.89	3.13	3.51
30	28 พ.ย. 46	60.32	36.59	36.43	36.51	3.09	3.25	3.17

ตารางที่ ๗.2 (ต่อ) ข้อมูลลักษณะสมบัติทางเคมีสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ลำดับ	วันที่	ความชื้น (ร้อยละ)	สารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละ)			เถ้า (ร้อยละ)		
			ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่	ครั้งที่	ค่าเฉลี่ย
			1	2		1	2	
31	1 ธ.ค. 46	59.59	34.62	36.02	35.32	5.79	4.39	5.09
32	4 ธ.ค. 46	62.68	30.65	31.15	30.90	6.67	6.17	6.42
33	7 ธ.ค. 46	57.75	39.94	38.65	39.29	2.31	3.60	2.96
34	10 ธ.ค. 46	57.39	39.21	39.09	39.15	3.40	3.52	3.46
35	13 ธ.ค. 46	58.62	34.09	35.78	34.94	7.29	5.60	6.44
36	16 ธ.ค. 46	51.90	43.47	43.16	43.31	4.63	4.94	4.79
37	19 ธ.ค. 46	60.84	35.31	35.80	35.55	3.85	3.36	3.61
38	22 ธ.ค. 46	60.88	34.12	34.37	34.25	5.00	4.75	4.87
39	25 ธ.ค. 46	61.62	32.10	32.96	32.53	6.28	5.42	5.85
40	28 ธ.ค. 46	65.32	29.98	29.72	29.86	4.70	4.96	4.82
41	1 ก.พ. 47	58.02	37.11	37.40	37.26	4.87	4.58	4.72
42	4 ก.พ. 47	71.58	24.76	24.88	24.82	3.66	3.54	3.60
43	7 ก.พ. 47	58.59	35.96	36.27	36.12	5.45	5.14	5.29
44	10 ก.พ. 47	73.47	22.36	23.14	22.75	4.17	3.39	3.78
45	13 ก.พ. 47	65.86	30.13	30.63	30.38	4.01	3.51	3.76
46	16 ก.พ. 47	55.89	38.52	38.81	38.67	5.59	5.30	5.44
47	19 ก.พ. 47	64.80	30.47	30.53	30.50	4.73	4.67	4.70
48	22 ก.พ. 47	64.30	33.15	32.61	32.88	2.55	3.09	2.82
49	25 ก.พ. 47	64.26	31.32	30.73	31.02	4.42	5.01	4.72
50	28 ก.พ. 47	70.68	24.06	24.21	24.13	5.26	5.11	5.19
51	1 มี.ค. 47	60.78	35.09	35.79	35.44	4.13	3.43	3.78
52	4 มี.ค. 47	64.55	30.64	30.87	30.76	4.81	4.58	4.69
53	7 มี.ค. 47	62.59	33.43	33.52	33.47	3.98	3.89	3.94
54	10 มี.ค. 47	61.02	35.68	35.80	35.74	3.30	3.18	3.24
55	13 มี.ค. 47	59.04	36.23	36.80	36.52	4.73	4.16	4.44
56	16 มี.ค. 47	62.22	33.53	33.98	33.76	4.25	3.80	4.02
57	19 มี.ค. 47	61.16	34.38	34.63	34.51	4.46	4.21	4.33
58	22 มี.ค. 47	70.61	26.76	26.70	26.73	2.63	2.69	2.66
59	25 มี.ค. 47	67.53	27.04	26.65	26.85	5.43	5.82	5.62
60	28 มี.ค. 47	65.17	31.49	31.63	31.56	3.34	3.20	3.27



ภาคผนวก ฅ

ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างมูลฝอย
จำนวน 60 ตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฅ.1 ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ลำดับ	วันที่	คาร์บอน (ร้อยละ)				ไนโตรเจน (ร้อยละ)				ซัลเฟอร์ (ร้อยละ)				ไฮโดรเจน (ร้อยละ)	ออกซิเจน (ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
1	1 ก.ค. 46	53.538	51.243	53.891	52.891	1.305	1.275	0.126*	1.290	0.741	0.695	0.576	0.671	1.963	38.325
2	4 ก.ค. 46	54.620	52.035	54.827	53.827	1.740	1.770	1.673	1.728	0.626	0.670	0.613	0.637	1.944	38.784
3	7 ก.ค. 46	46.289	45.566	46.737	46.197	1.659	1.266	1.317	1.414	0.257*	0.096	0.040	0.068	2.143	46.567
4	10 ก.ค. 46	48.428	47.456	55.503	47.942	1.162	1.205	1.248	1.205	0.071	0.453*	0.082	0.051	2.190	44.132
5	13 ก.ค. 46	48.138	49.353	48.469	48.653	1.464	1.570	1.456	1.497	1.075	1.084	0.618	1.080	1.722	41.728
6	16 ก.ค. 46	43.031	44.128	43.724	43.628	1.821	1.805	1.535	1.720	0.585	0.731	0.763	0.693	2.096	47.433
7	19 ก.ค. 46	47.546	49.176	48.361	48.361	1.565	1.427	1.427	1.473	0.666	0.542	0.565	0.591	2.069	43.906
8	22 ก.ค. 46	48.930	46.151	47.541	47.541	1.495	1.426	1.400	1.441	0.595	0.687	n.a.	0.641	2.600	43.198
9	25 ก.ค. 46	53.028	53.317	52.739	53.028	1.427	1.465	1.387	1.427	0.820	0.855	0.841	0.838	1.539	40.548
10	28 ก.ค. 46	50.743	51.025	50.884	50.884	1.784	1.876	1.774	1.811	0.403	0.403	0.579	0.403	2.200	38.879
11	1 ส.ค. 46	49.325	43.452	61.570	46.389	1.577	1.562	1.653	1.597	0.619	0.728	0.567	0.638	2.637	44.299
12	4 ส.ค. 46	48.904	44.678	40.875	44.819	1.638	2.369*	1.670	1.654	0.622	0.660	0.565	0.615	2.207	46.724
13	7 ส.ค. 46	48.679	43.122	42.305	44.702	1.753	1.777	1.747	1.759	0.947	0.913	0.908	0.923	2.256	45.850
14	10 ส.ค. 46	44.768	46.237	43.880	44.962	1.530	1.708	1.454	1.564	1.014	0.802	0.463	0.908	2.043	46.924
15	13 ส.ค. 46	44.562	46.760	43.796	45.040	1.633	1.652	1.608	1.631	0.447	0.587	0.549	0.528	2.283	46.499

หมายเหตุ * หมายถึงตัวอย่างที่มีค่าเกินกว่า 10% ของค่าเฉลี่ย จึงไม่นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย

ตารางที่ ฅ.1 (ต่อ) ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ลำดับ	วันที่	คาร์บอน (ร้อยละ)				ไนโตรเจน (ร้อยละ)				ซัลเฟอร์ (ร้อยละ)				ไฮโดรเจน (ร้อยละ)	ออกซิเจน (ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
16	16 ส.ค. 46	44.690	42.289	35.950	43.489	1.938	1.996	1.912	1.949	0.402	0.258	0.397	0.353	2.998	44.842
17	19 ส.ค. 46	44.210	44.357	41.278	43.282	1.308	1.813	1.701	1.608	0.882	0.616	0.720	0.739	1.715	49.727
18	22 ส.ค. 46	45.875	45.747	42.223	44.615	1.413	1.611	1.359	1.461	0.377	0.227	0.430	0.345	2.189	47.660
19	25 ส.ค. 46	42.979	43.533	42.956	43.156	2.342	1.442*	2.107	2.224	0.475	0.527	0.427	0.476	2.200	46.523
20	28 ส.ค. 46	41.987	41.353	40.470	41.270	1.611	1.568	1.669	1.616	0.419	0.557	0.426	0.467	2.209	50.117
21	1 พ.ย. 46	48.084	49.576	48.691	48.784	1.525	1.680	1.691	1.632	0.486	0.583	0.038	0.534	2.7413	40.169
22	4 พ.ย. 46	42.657	41.684	39.721	41.354	1.787	1.685	1.723	1.732	0.793	0.780	0.733	0.769	2.0933	47.672
23	7 พ.ย. 46	47.634	46.669	38.733*	47.151	1.414	1.490	1.303	1.402	0.893	0.735	0.555	0.728	2.8667	42.532
24	10 พ.ย. 46	40.705	40.240	39.422	40.122	1.787	1.840	1.592	1.740	0.318	0.423	0.488	0.410	2.2760	47.872
25	13 พ.ย. 46	45.069	47.906	48.662	47.212	2.086	1.592*	2.004	2.045	0.750	0.772	0.849	0.790	2.4100	42.892
26	16 พ.ย. 46	47.410	46.740	47.181	47.110	1.913	1.887	1.766	1.855	0.875	0.859	0.884	0.873	2.5000	43.732
27	19 พ.ย. 46	38.502	36.712	35.431	36.882	1.569	1.238	1.404	1.404	0.146	0.152	0.956	0.149	2.0600	56.075
28	22 พ.ย. 46	41.661	42.844	32.210	42.252	1.180	1.342	1.615	1.379	0.499	0.559	0.762	0.607	2.2733	48.388
29	25 พ.ย. 46	45.943	46.702	47.373	46.673	2.302*	2.984	2.871	2.928	0.569	0.652	0.745	0.655	2.3333	43.901
30	28 พ.ย. 46	46.971	45.759	42.199	44.977	2.640	2.644	2.427	2.570	0.870	0.809	0.878	0.853	2.4337	45.993

หมายเหตุ * หมายถึงตัวอย่างที่มีค่าเกินกว่า 10% ของค่าเฉลี่ย จึงไม่นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย

ตารางที่ ฅ.1 (ต่อ) ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ลำดับ	วันที่	คาร์บอน (ร้อยละ)				ไนโตรเจน (ร้อยละ)				ซัลเฟอร์ (ร้อยละ)				ไฮโดรเจน (ร้อยละ)	ออกซิเจน (ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
31	1 ธ.ค. 46	47.942*	41.074	42.413	41.743	2.077	2.231	2.087	2.131	0.770	0.547	0.612	0.579	2.3547	48.101
32	4 ธ.ค. 46	42.837	43.403	43.870	43.370	1.759	1.437	1.640	1.612	0.775	0.770	0.869	0.804	2.0600	45.734
33	7 ธ.ค. 46	45.642	45.874	44.167	45.228	1.869	2.368	2.751	2.329	0.726	0.824	n.a.	0.775	2.6195	46.091
34	10 ธ.ค. 46	49.083	48.063	48.573	48.573	2.584	1.8207	2.401	2.492	0.785	0.540	0.574	0.633	2.6100	42.231
35	13 ธ.ค. 46	40.843*	34.306	34.258	34.282	1.413	1.296	1.456	1.388	0.732	0.694	0.753	0.726	2.3293	54.835
36	16 ธ.ค. 46	46.986	45.708	42.920	45.205	1.288	1.298	1.246	1.277	0.778	0.854	0.767	0.800	2.8873	45.041
37	19 ธ.ค. 46	43.278	43.635	44.956	43.956	2.175	2.792	2.337	2.256	0.387	0.373	0.279	0.346	2.3700	47.461
38	22 ธ.ค. 46	40.414	41.856	40.685	40.985	1.530	1.600	1.818	1.649	1.029	0.855	0.919	0.934	2.2833	49.278
39	25 ธ.ค. 46	44.504	46.636	44.682	45.274	2.531	2.578	2.553	2.554	0.992	1.005	0.948	0.982	2.3028	43.037
40	28 ธ.ค. 46	40.465	43.451	39.604	41.173	2.430	2.311	2.250	2.330	0.850	0.969	0.989	0.936	2.0808	48.660
41	1 ก.พ. 47	40.798	37.831	39.969	39.533	1.220	1.083	1.235	1.179	0.436	0.258	0.167	0.287	2.4840	51.797
42	4 ก.พ. 47	43.987	49.023*	43.188	43.587	2.467	2.558	1.691	2.513	0.713	0.741	0.743	0.732	1.6547	47.913
43	7 ก.พ. 47	44.651	44.734	42.119	43.835	1.641	1.611	1.701	1.651	0.953	0.106*	0.916	0.934	2.4080	45.882
44	10 ก.พ. 47	46.177	46.084	46.097	46.119	2.229	2.127	1.487*	2.178	0.953	0.971	0.759	0.895	1.5167	45.511
45	13 ก.พ. 47	39.989	39.590	41.289	40.289	1.457	1.400	1.343	1.400	0.796	0.830	0.804	0.810	2.0256	51.720

หมายเหตุ * หมายถึงตัวอย่างที่มีค่าเกินกว่า 10% ของค่าเฉลี่ย จึงไม่นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย

ตารางที่ ฅ.1 (ต่อ) ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีสำหรับการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น

ลำดับ	วันที่	คาร์บอน (ร้อยละ)				ไนโตรเจน (ร้อยละ)				ซัลเฟอร์ (ร้อยละ)				ไฮโดรเจน (ร้อยละ)	ออกซิเจน (ร้อยละ)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย		
46	16 ก.พ. 47	40.548	42.656	39.499	40.901	1.361	1.487	1.293	1.381	0.816	0.989	0.877	0.894	2.5780	48.806
47	19 ก.พ. 47	38.851	44.466	41.900	41.739	1.491	1.532	1.436	1.486	0.863	0.828	0.820	0.837	2.0333	49.205
48	22 ก.พ. 47	43.124	42.352	43.488	42.988	1.279	1.235	1.227	1.247	0.178*	0.524	0.575	0.550	2.1920	50.203
49	25 ก.พ. 47	42.329	47.780*	42.014	42.171	1.578	1.770	1.524	1.624	0.811	0.499	0.806	0.808	2.0680	48.609
50	28 ก.พ. 47	41.801	42.253	41.127	41.727	1.552	1.520	1.506	1.526	0.778	0.893	0.993	0.888	1.7592	48.909
51	1 มี.ค. 47	46.944	44.132	47.222	46.099	1.311	1.291	1.482	1.361	0.579	0.691	0.319	0.530	2.3627	45.867
52	4 มี.ค. 47	42.235	36.824	37.719	37.271	1.516	1.649	1.882	1.682	0.877	0.788	0.751	0.805	2.0507	53.500
53	7 มี.ค. 47	45.650	44.279	44.788	44.905	2.321	2.140	2.379	2.280	0.756	0.849	0.800	0.802	2.2313	45.841
54	10 มี.ค. 47	39.929	40.807	45.252*	40.368	1.285	1.456	1.250	1.330	0.404	0.850	0.242	0.323	2.3827	52.356
55	13 มี.ค. 47	46.338	42.107	45.164	44.536	1.526	1.686	1.305	1.506	0.059*	0.768	0.801	0.785	2.4347	46.299
56	16 มี.ค. 47	46.369	44.321	44.231	44.973	1.116	1.256	1.216	1.196	0.452	0.838*	0.572	0.512	2.2507	47.048
57	19 มี.ค. 47	54.783*	47.495	46.749	47.122	2.235	2.696	1.594*	2.465	0.865	0.724	0.722	0.770	2.3007	43.012
58	22 มี.ค. 47	55.276*	42.963	41.509	42.236	1.361	1.128	1.595	1.361	0.938	0.912	0.938	0.929	1.7820	51.031
59	25 มี.ค. 47	46.761	45.551	42.652	44.988	2.628	2.913	2.942	2.828	0.698	0.767	0.671	0.712	1.7900	44.062
60	28 มี.ค. 47	55.057	50.728	43.864*	52.892	1.929	1.824	2.011	1.922	0.473	0.595	0.193*	0.534	2.1040	39.278

หมายเหตุ * หมายถึงตัวอย่างที่มีค่าเกินกว่า 10% ของค่าเฉลี่ย จึงไม่นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย



ภาคผนวก ญ

ตัวอย่างใบบันทึกข้อมูลตัวอย่างมูลฝอย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางรวบรวมข้อมูลในการวิเคราะห์มูลฝอย ณ โรงงานกำจัดมูลฝอยอ่อนนุช

วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ.

เวลา.....

สภาพอากาศ

.....

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกข้อมูลค่าความหนาแน่น

ครั้งที่	น้ำหนักมูลฝอยรวม น้ำหนักถังตวง (กก.)	น้ำหนักมูลฝอยสุทธิ (กก.)	ค่าความหนาแน่น (กก./ลิตร)
1			
2			
3			
เฉลี่ย			

น้ำหนักถังตวงเปล่า กก.

ปริมาตรถังตวงเปล่า ลิตร

$$\text{ค่าความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฝอยสุทธิ}}{\text{ปริมาตรของถังตวง}}$$

ตารางบันทึกข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

ลำดับ	องค์ประกอบทางกายภาพ ของมูลฝอย	น้ำหนักเปียก (กก.)	ค่าสัดส่วน (ร้อยละ)
1	เศษอาหาร ผัก ผลไม้		
2	กระดาษ		
3	พลาสติกและโฟม		
4	ยางและหนัง		
5	ผ้าและสิ่งทอ		
6	ไม้และใบไม้		
7	แก้ว		
8	โลหะ		
9	หินและเซรามิค		
10	ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน		
11	อื่นๆ		
	รวม		

$$\text{ค่าองค์ประกอบของมูลฝอยแต่ละประเภท} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฝอย} \times 100}{\text{น้ำหนักมูลฝอยรวม}}$$

ตารางบันทึกข้อมูลค่าปริมาณความชื้น และค่าปริมาณของแข็งรวม

การวิเคราะห์	น้ำหนัก (กรัม)
1. น้ำหนักถาดเปล่า	
2. น้ำหนักมูลฝอยก่อนอบแห้ง	
3. น้ำหนักมูลฝอยรวมน้ำหนักถาดภายหลังอบแห้ง	
4. น้ำหนักมูลฝอยสุทธิภายหลังอบแห้ง	
5. น้ำหนักมูลฝอยที่หายไปหลังอบแห้ง	
6. ค่าปริมาณความชื้น	
7. ค่าปริมาณของแข็งรวม	

$$\text{ค่าปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฝอยที่หายไป} \times 100}{\text{น้ำหนักมูลฝอยก่อนอบแห้ง}}$$

$$\text{ค่าปริมาณของแข็งรวม} = 100 - \text{ค่าปริมาณความชื้น}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกข้อมูลค่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ และค่าปริมาณเถ้า

การวิเคราะห์	น้ำหนัก (กรัม)
1. น้ำหนัก crucibleเปล่า	
2. น้ำหนักมูลฝอยก่อนเผา	
3. น้ำหนักมูลฝอยรวมน้ำหนัก crucible หลังการเผา	
4. น้ำหนักมูลฝอยสุทธิภายหลังการเผา	
5. น้ำหนักมูลฝอยที่หายไปหลังการเผา	
6. ค่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้	
7. ค่าปริมาณเถ้า	

$$\text{ค่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้} = \frac{\text{น้ำหนักมูลฝอยที่หายไป} \times 100}{\text{น้ำหนักมูลฝอยก่อนเผา}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐวุฒิ แสนอำนวยผล เกิดเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2521 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2542 และเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย