

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การจัดการมูลฝอยของหอพักนิสิต

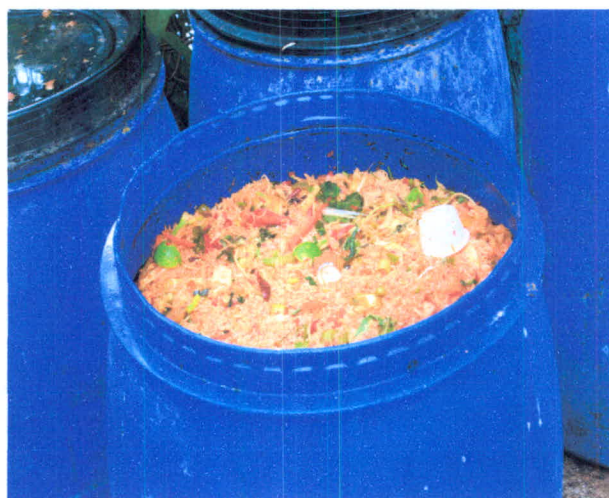
มูลฝอยจากหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามประเภทแหล่งกำเนิด ได้แก่ ส่วนอาคารหอพักนิสิตจำนวน 5 อาคาร และส่วนโรงอาหารหอพักนิสิตจำนวน 1 โรง จากการสำรวจและสอบถามข้อมูลด้านการจัดการมูลฝอยจากผู้ดูแลหอพักเจ้าหน้าที่ แม่บ้าน และเจ้าของร้านค้าอาหาร พบว่า มูลฝอยที่มาจากอาคารหอพักจะมีการเก็บรวบรวมที่ถึงบริเวณใต้อาคารหอพักของแต่ละอาคารแล้วแม่บ้า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

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

ในงานวิจัยฉบับนี้จึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบและปริมาณมูลฝอย
หอพักนิติตจุฬาฯทั้ง 2 ส่วน คือ มูลฝอยจากอาคารหอพักนิติตจุฬาฯและมูลฝอยจากโรงอาหาร
จากนั้นจะทำการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานในรูปแบบของก๊าซชีวภาพ และค่าความร้อน
โดยผ่านกระบวนการการ หมักแบบไร้อากาศและการเผาไหม้ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 จุบรวมมูลฝอยจากอาคารหอพักนิติตจุฬาฯ



ภาพที่ 4.2 จุบรวมเศษอาหารจากโรงอาหารหอพักนิติตจุฬาฯ

4.2 ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยหอพักนิสิต

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

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

การสุ่มตัวอย่างมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยสามารถทำได้โดยการนำมูลฝอยมาคลุกให้เข้ากันแล้วทำการแบ่งออกเป็น 4 ส่วน จนได้ปริมาตรมูลฝอยรวมประมาณ 50 ลิตร นำไปตัดแยกเพื่อหาองค์ประกอบทางกายภาพและความหนาแน่นปกติ ของมูลฝอย ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 การคัดแยกมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตเพื่อศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ

ซึ่งนำน้ำหนักหาค่าสัดส่วนองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยแต่ละชนิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก แยกหมวดตามประเภทที่เผาไหม้ได้และประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางกายภาพและความหนาแน่นปกติของมูลฝอยอาคารหอพักนิตระหว่าง เปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

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

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิต

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

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต (ต่อ)

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

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

ภาคเรียน สักส่วนกระดาษในช่วงเปิดเทอมจากงานวิจัยมีค่าน้อยกว่าช่วงที่รายงานไว้ ในขณะที่ในช่วงปิดภาคเรียนมีสักส่วนกระดาษที่อยู่ในช่วงที่มีการรายงานไว้ อาจเนื่องมาจากในช่วงเปิดภาคเรียนมีการใช้งานเอกสารต่างๆ เมื่อปิดภาคเรียนจึงมีการทิ้งหรือจัดการเอกสารที่ไม่จำเป็นทำให้สักส่วนเศษกระดาษที่พบมีปริมาณเพิ่มขึ้น สักส่วนพลาสติกในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนจากงานวิจัยมีค่าสูงกว่าช่วงที่รายงานไว้ในขณะที่สักส่วนหนังและยาง ผ้า และ ไม้และใบไม้จากงานวิจัยมีค่าต่ำกว่าช่วงที่มีการรายงานไว้ อาจเป็นเพราะหอพักนั้นแม้ว่าจะเป็นที่อยู่อาศัยที่มีลักษณะของการค้างคืนเหมือนกับบ้านเรือนแต่ว่าเวลาที่ผู้อยู่อาศัยอยู่ที่หอพักนั้นสั้นกว่าช่วงเวลาการอาศัยของผู้อยู่อาศัยแบบบ้านเรือนตามชุมชน ทำให้มูลฝอยชนิดหนังและยาง หรือเศษผ้าพบได้ในสักส่วนที่ต่ำกว่ามูลฝอยชุมชน ส่วนมูลฝอยประเภท ไม้และใบไม้นั้น ทางมหาวิทยาลัยได้มีการจัดการเก็บและทิ้ง ณ จุดรวบรวมอื่นของมหาวิทยาลัย สักส่วนของไม้และใบไม้ที่ได้จากการศึกษาจึงมีสักส่วนคิดเป็นร้อยละ 0.00 ทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน เมื่อพิจารณามูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ไม่ได้ พบว่าสักส่วนมูลฝอยประเภทแก้วและมูลฝอยประเภทอื่นๆ ในงานวิจัยมีค่าอยู่ในช่วงที่มีการรายงานไว้ทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน แต่มูลฝอยประเภทโลหะมีค่าต่ำกว่าช่วงที่มีรายงานไว้ อาจเกิดจากสาเหตุเดียวกับการที่มูลฝอยประเภทหนังและยาง และผ้ามีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่รายงานไว้ และเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยกรุงเทพมหานคร โดยฝ่ายวิจัยกองวิชาการและแผนงานสำนักรักษาความสะอาด ปี 2545 และรายงานของสำนักบริหารยุทธศาสตร์กรุงเทพมหานคร ปี 2552 พบว่าองค์ประกอบของมูลฝอยที่ได้จากงานวิจัย ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าองค์ประกอบมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานครทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน เนื่องจากแหล่งกำเนิดมูลฝอยหอพักนิตินั้นมีขนาดเล็ก และกิจกรรมมีความหลากหลายน้อยกว่า รวมถึงระยะเวลาในการอยู่อาศัยของผู้อยู่อาศัยที่หอพักนิตินั้นเป็นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้น แต่สักส่วนน้ำหนัก เศษอาหารในงานวิจัยที่ทำการศึกษานั้นจะมีปริมาณสูงกว่าสักส่วนเศษอาหารของมูลฝอยชุมชนจากกรุงเทพมหานครเนื่องจากมูลฝอยประเภทอื่นๆ ของสำนักรักษาความสะอาด นั้นได้ให้คำจำกัดความว่าเป็น มูลฝอยที่มีขนาดเล็กกว่า 10 มิลลิเมตร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ แต่ในงานวิจัยฉบับนี้ทำการคัดแยกอินทรีย์สารเป็นมูลฝอยประเภทเศษอาหาร จึงทำให้สักส่วน น้ำหนักมูลฝอย ประเภทเศษอาหาร มีค่าสูงกว่าค่าที่รายงาน โดยสำนักรักษาความสะอาด และสำนักบริหารยุทธศาสตร์ นอกจากนี้สักส่วนมูลฝอยประเภทเศษอาหารจากอาคารหอพักนั้นคิดจากน้ำหนักเปียก ณ เวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง ไม่ผ่านการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งไปยังจุดพัก หรือสถานีฝังกลบทำให้น้ำหนักของมูลฝอยไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของมูลฝอยอาคารหอพักกับมูลฝอยชุมชนของ

กรุงเทพมหานคร พบว่าความหนาแน่นของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของมูลฝอยชุมชนของกรุงเทพมหานครมีค่าเท่ากับ 196.36 180.72 และ 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ตามลำดับ เนื่องจากในการเก็บมูลฝอยไปยังสถานีฝังกลบของกรุงเทพมหานครนั้นมีการบีบอัดมูลฝอยเพื่อให้สามารถบรรจุมูลฝอยได้ในปริมาณที่สูงขึ้นทำให้ความหนาแน่นของมูลฝอยชุมชนกรุงเทพมหานครมีค่าสูง

ตารางที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพมูลฝอยชุมชนของประเทศที่มีรายได้ปานกลาง และมูลฝอยกรุงเทพมหานคร ปี 2545 และ 2552

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

หมายเหตุ * ศึกษาโดย Tchobanoglous และคณะ, 1993

** ศึกษาโดย สำนักรักษาความสะอาด, 2545

*** ศึกษาโดย สำนักบริหารยุทธศาสตร์, 2552

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนักนิสิต

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

นำตัวอย่างมูลฝอยมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้และปริมาณเถ้าคิดเป็นร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก ค่าเฉลี่ยลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต พบว่า ในช่วงเปิดภาคเรียน ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 57.09 - 71.42 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 23.37 - 38.29 ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.02 - 7.08 ตามลำดับ ส่วนในช่วงปิดภาคเรียน ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 54.43 - 67.26 ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 25.93 - 40.15 ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.09 - 7.24 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีของมูลฝอย ที่ได้จากงานวิจัยกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอยชุมชนของกลุ่มประเทศที่มีรายได้อันปานกลางที่ศึกษาโดย Tchobanoglous และคณะ, 1993 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ทั้งในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน ปริมาณความชื้นของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตมีค่าสูงกว่าช่วงที่รายงานไว้ คือร้อยละ 15 - 40 สอดคล้องกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตที่มีสัดส่วนมูลฝอยประเภทเศษอาหารที่มีปริมาณความชื้นสูง ในขณะที่ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตมีค่าต่ำกว่าช่วงที่รายงานไว้ คือร้อยละ 40 - 60 และปริมาณเถ้ามีค่าอยู่ในช่วงที่รายงานไว้ คือร้อยละ 4 - 30

เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต ระหว่างช่วงเวลาเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนด้วยสถิติทดสอบทีแล้ว พบว่าสัดส่วนเศษอาหาร สัดส่วนกระดาษ สัดส่วนแก้ว สัดส่วนมูลฝอยประเภทอื่นๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ในขณะที่สัดส่วนพลาสติก สัดส่วนหนังและยาง สัดส่วนผ้า และสัดส่วนโลหะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตระหว่างช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน พบว่าปริมาณความชื้น ปริมาณสารที่

เผาไหม้ได้ และปริมาณเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความชื้นส่วนใหญ่มาจากเศษอาหาร และสัดส่วนเศษอาหารมีความแตกต่างกันทำให้ปริมาณความชื้นระหว่างช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนมีความแตกต่างกันด้วย ส่งผลต่อปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ความหนาแน่นและปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นต่อวันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียนด้วย

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยชุมชนของกลุ่มประเทศที่มีรายได้ปานกลาง

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

หมายเหตุ * ศึกษาโดย Tchobanoglous และคณะ, 1993

4.2.2 ลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิต

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

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

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิต

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

นำตัวอย่างเศษอาหารมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของระเหย และปริมาณเถ้า ค่าเฉลี่ยลักษณะทางเคมีของมูลฝอย โรงอาหารหอพักนิสิต ในช่วงเปิดเทอมและปิดเทอม ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยโรงอาหารหอพักนิสิต

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

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.7 ลักษณะทางเคมีของมูลฝอยประเภทเศษอาหาร

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

หมายเหตุ * ศึกษาโดย Tchobanoglous และคณะ, 1993

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

4.3 ปริมาณของมูลฝอยหอพักนิสิต

ทำการบันทึกปริมาณมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตในแต่ละวัน ณ จุดรวมมูลฝอย พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณของมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละวันในช่วงเปิดภาคเรียนและปิดภาคเรียน ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของมูลฝอยหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

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

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

4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของเศษอาหารโรงอาหารหอพักนิสิต

นำเศษอาหารจากโรงอาหารหอพักนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมาศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยวิธีบีเอ็มพี ลักษณะทางเคมีของเศษอาหารดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ผลการศึกษามีดังนี้

4.4.1 ลักษณะของหัวเชื้อจุลินทรีย์

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

ซีไอटीรวมมีค่า 9,565.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดต่างมีค่า 7.13 และความต่างศักย์ออกซิเดชันรีดักชันมีค่า - 419.67 มิลลิโวลต์

ตารางที่ 4.9 ลักษณะของหัวเชื้อจุลินทรีย์

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

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง

4.4.2 ลักษณะของชุดควบคุมและชุดทดลองในการทดลองบีเอ็มพี

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

ตารางที่ 4.10 ของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดในการทดลองบีเอ็มพี

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

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

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

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

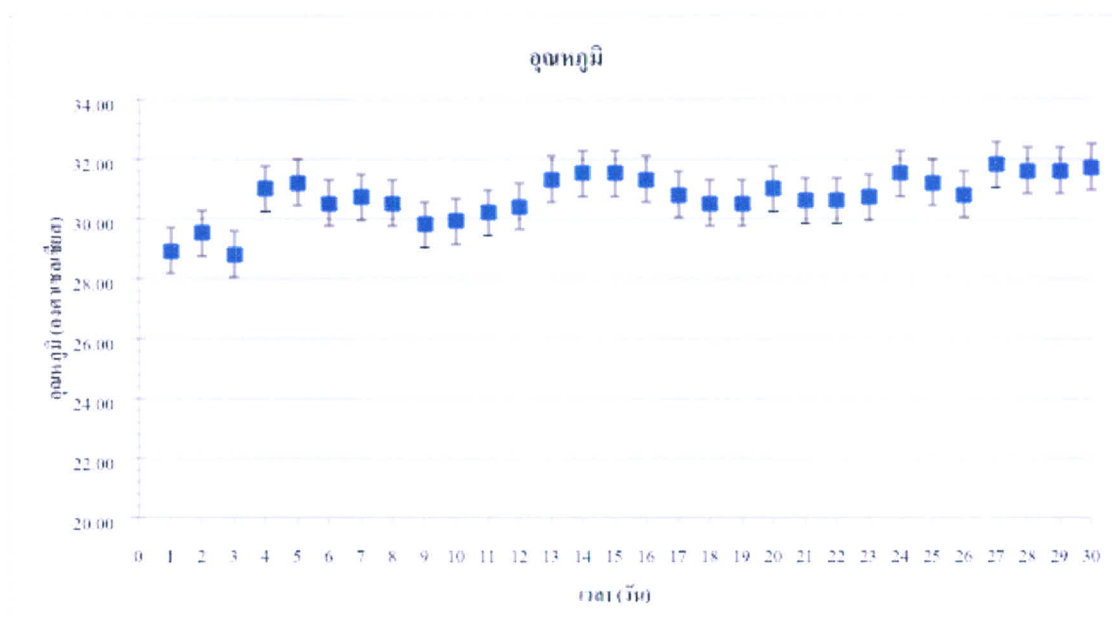
ตารางที่ 4.11 แอมโมเนียไนโตรเจนและซีไอโดยรวมเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดในการทดลองบีเอ็มพี

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

4.4.3 สภาพแวดล้อมในการทดลองบีเอ็มพี

4.4.3.1 อุณหภูมิ

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

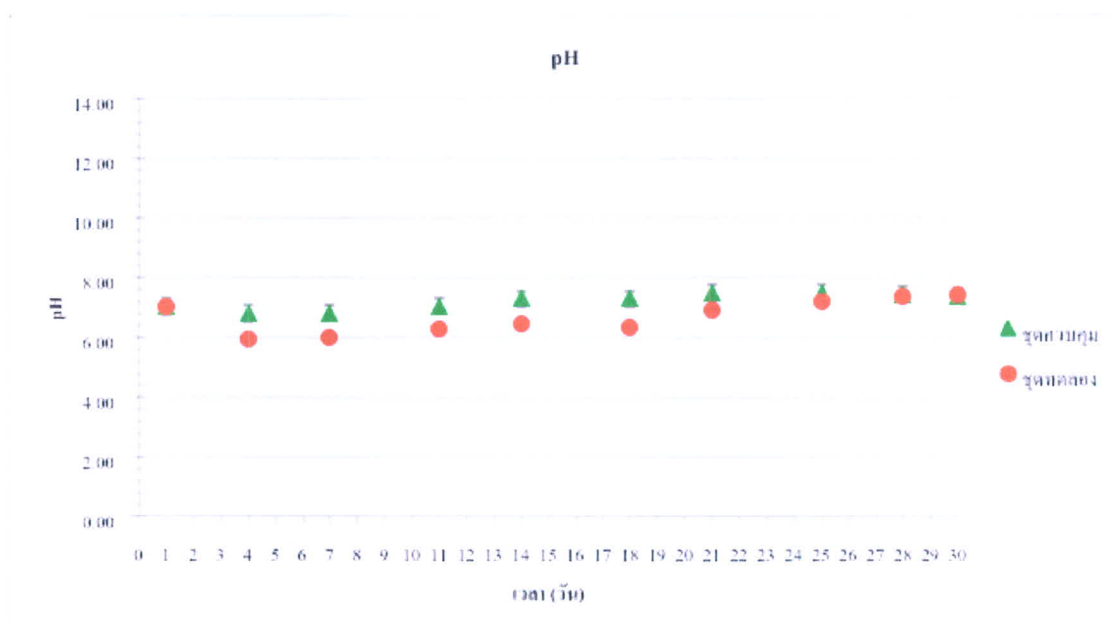


ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิสภาพแวดล้อม

4.4.3.2 ความเป็นกรด-ด่าง

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

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

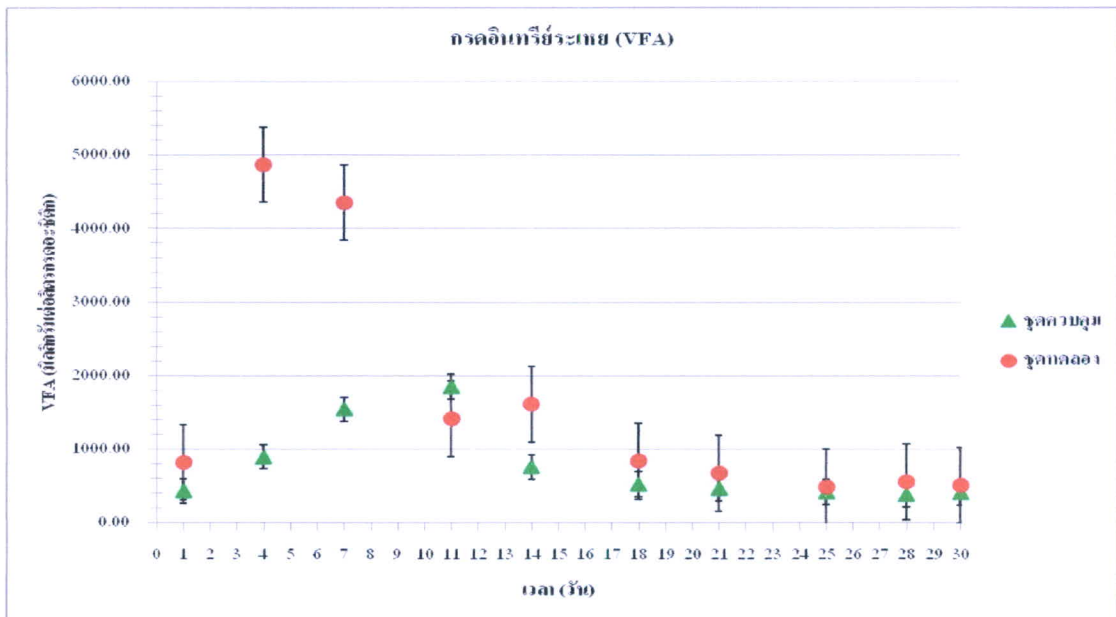


ภาพที่ 4.5 ความเป็นกรด-ด่าง

4.4.3.3 กรดอินทรีย์ระเหยในการทดลอง

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

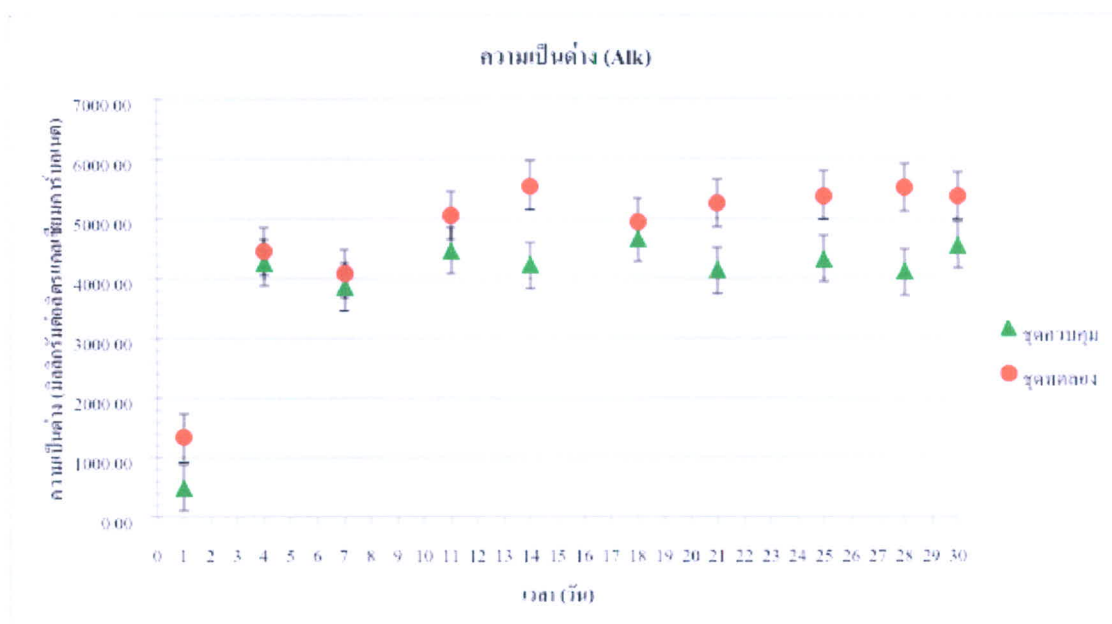
ทดลองกรดอินทรีย์ระเหยมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงสุดในวันที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีค่าต่ำลง เมื่อกรดอินทรีย์ระเหยมีค่าลดลงค่าความเป็นกรด-ด่างก็เพิ่มขึ้นและคงที่ในที่สุด



ภาพที่ 4.6 กรดไขมันระเหยในการทดลองบีเอ็มพี

4.4.3.4 ความเป็นด่างในการทดลอง

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



ภาพที่ 4.7 ความเป็นต่าง

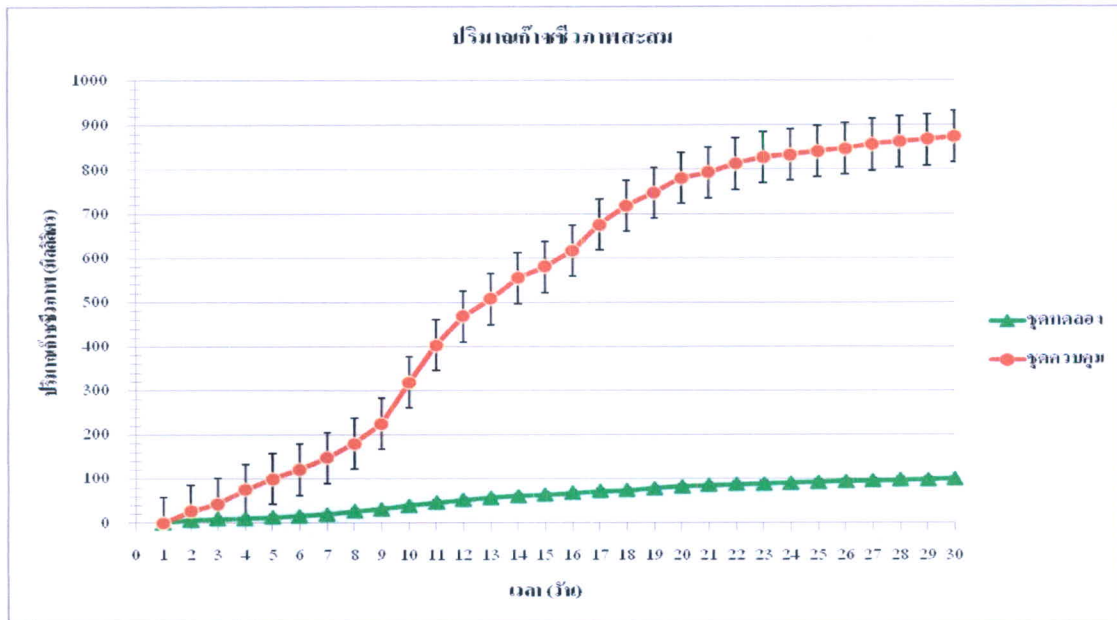
4.4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลฝอยโรงอาหารโดยวิธีบีเอ็มที

4.4.4.1 ก๊าซชีวภาพสะสมของเศษอาหาร

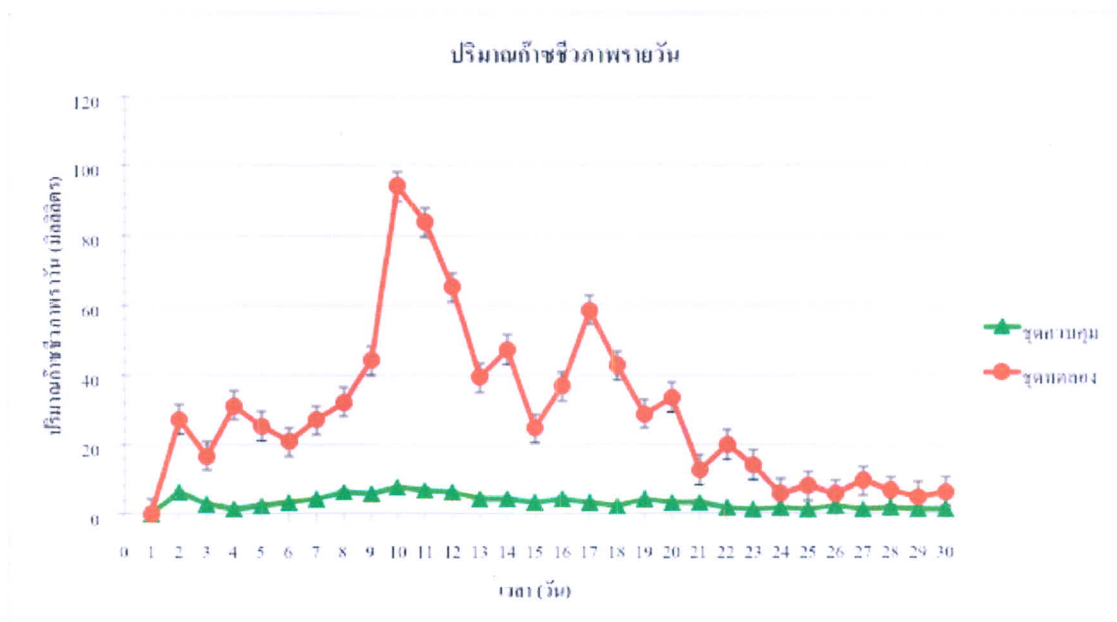
ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมตลอดการทดลองของชุดทดลองและชุดควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 4.8 จะเห็นว่าช่วงแรกในชุดทดลองอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจะเกิดได้ช้า และเริ่มเกิดเร็วขึ้น ในวันที่ 9 ของการทดลองและเริ่มคงที่ (steady state) ในวันที่ 18 ส่วนชุดควบคุมมีอัตราการเกิด ก๊าซชีวภาพสะสมค่อนข้างคงที่ โดยปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมีค่า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

4.4.4.2 ก๊าซชีวภาพรายวันของเศษอาหาร

ปริมาณก๊าซชีวภาพรายวันของชุดทดลองและชุดควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 4.9 อัตราการเกิดก๊าซ ชีวภาพรายวันของชุดการเศษอาหารมีค่าสูงสุดในวันที่ 10 มีค่าเท่ากับ 94.80 มิลลิลิตร ศักยภาพการเกิดก๊าซชีวภาพคิดเป็น 0.43 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของแข็งระเหย



ภาพที่ 4.8 ก๊าซชีวภาพสะสมของเศษอาหาร



ภาพที่ 4.9 ก๊าซชีวภาพรายวันของเศษอาหาร

4.4.4.3 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของเศษอาหาร

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

ตารางที่ 4.12 ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนของเศษอาหาร

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

4.5 ตักยภาพการผลิตค่าความร้อนของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

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

ตารางที่ 4.13 ค่าความร้อนของมูลฝอยอาคารพักหอพักนิสิต

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

4.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน

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

4.6.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ ของมูลฝอย (Compositional analysis)

กำหนดตัวแปรสำหรับสมการดังนี้

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

ค่าความร้อนที่มาจากการเผาไหม้มูลฝอยนั้นมาจากมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้ ดังนั้นค่าของตัวแปรอิสระที่นำเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงคิดเฉพาะสัดส่วนน้ำหนักมูลฝอยประเภทที่เผาไหม้ได้เท่านั้น ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

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

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต (ต่อ)

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

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยนำหนักเปียก

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต (ต่อ)

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

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.15 ค่าสถิติพรรณนาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

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

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก

ค่าสถิติพรรณนาองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ได้แก่ ค่าช่วงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างมูลฝอย จำนวน 45 ตัวอย่าง ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน ที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบทางกายภาพโดยค่าช่วงของข้อมูลนั้นจะแสดงขอบเขตที่เหมาะสม

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

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

ตารางที่ 4.16 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

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

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

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

ตารางที่ 4.17 ค่าการคัดกรองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย

Model		Adjusted R Square	F-test		t-test		VIF	B
			F	Sig.	t	Sig.		
1	PL	0.94	713.697	0.000	26.715	0.000	1.000	75.307
2	PL	0.97	638.280	0.000	9.011	0.000	6.069	47.419
	PP				5.799	0.000		70.327
3	PL	0.98	600.762	0.000	9.502	0.000	19.251	75.327
	PP				8.019	0.000	9.823	104.651
	MC				-4.254	0.000	30.795	-14.121
4	PL	0.99	1415.149	0.000	15.424	0.000	19.545	70.072
	PP				8.250	0.000	12.402	68.808
	MC				-11.039	0.000	460.693	-80.605
	MC				9.426	0.000	520.325	65.150
5	PL	0.99	1273.220	0.000	15.551	0.000	20.324	67.964
	PP				7.898	0.000	13.161	64.014
	MC				-11.957	0.000	482.953	-84.334
	FW				10.289	0.000	556.673	69.395
	T				2.463	0.018	1.259	207.730

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

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

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

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

เมื่อ

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

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

model 1 LSCV = 75.31PL
 เมื่อ LSCV คือ ค่าความร้อน (กิโกลแคลอรีต่อกิโลกรัม)
 PL คือ สัดส่วนพลาสติก (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

4.6.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย

(Proximate analysis)

กำหนดตัวแปรสำหรับสมการดังนี้

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

ข้อมูลค่าความร้อนและลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิตจุฬาฯ สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

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

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของ
มูลฝอยอาคารหอพักนิสิต (ต่อ)

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

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยนำหนักเปียก

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต (ต่อ)

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

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยนำหนักเปียก

ตารางที่ 4.19 ค่าสถิติพรรณนาลักษณะทางเคมีของมูลฝอยอาคารหอพักนิสิต

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

หมายเหตุ * คือ หน่วยร้อยละ โดยนำหนักเปียก

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

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

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

ตารางที่ 4.20 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย

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

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

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

ตารางที่ 4.21 ค่าการคัดกรองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนลักษณะทางเคมีของมูลฝอย

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

ลำดับถัดมาคือการทดสอบสมมติฐานสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (B) ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่ถูกรู้เข้าสมการถดถอยพหุคูณเชิงเส้นว่ามีค่าเป็นศูนย์หรือไม่ โดยสถิติทดสอบที่ (t-test) ดังแสดงในตารางที่ 4.21 โดยพิจารณาจากค่านัยสำคัญทางสถิติของ t-test หากมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แสดงว่ามีตัวแปรอิสระนั้น มีสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม พบว่า ระดับนัยสำคัญทางสถิติของ t-test ของตัวแปรอิสระ ได้แก่ สารที่เผาไหม้ได้ ความชื้น และเด้ามีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่า มีตัวแปรอิสระข้างต้น มีสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วนไม่เท่ากับศูนย์ และมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ในรูปเชิงเส้น

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

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

model 1 LSCV = 49.09C

เมื่อ LSCV คือ ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

 C คือ สารที่เผาไหม้ได้ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก)

จากการศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนจะเห็นว่าปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่จะได้รับเนื่องจากปริมาณสารที่เผาไหม้ได้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนเป็นก๊าซเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ (Shah, 2000)

4.6.3 การตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย (Compositional analysis)

นำสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพมาตรวจสอบกับตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 12 ตัวอย่าง และเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของรเรศ ศรีสถิตย์ และจุฑามาศ บุญทวีสุข กำหนดให้

model 1: แบบจำลองจากงานวิจัย

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

model 2: แบบจำลองของรเรศ ศรีสถิตย์ และจุฑามาศ บุญทวีสุข

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

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

ตารางที่ 4.22 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน model1 และ model2

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

*model 1: $LSCV = 47.47PL + 70.23PP$ **model 2: $LSCV = 3153.14 + 16.55PL + 12.69FW - 42.87MC$

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

4.6.4 การตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีของมูลฝอย (Proximate analysis)

นำสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีมาตรวจสอบกับตัวอย่างมูลฝอยจำนวน 12 ตัวอย่างและเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนของรเรศ ศรีสถิตย์ และจุฑามาศ บุญทวีสุข กำหนดให้

model 3: แบบจำลองจากงานวิจัย

$$LSCV = 49.21C$$

model 4: แบบจำลองของรเรศ ศรีสถิตย์ และจุฑามาศ บุญทวีสุข

$$LSCV = 50.40C - 422.83$$

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

ตารางที่ 4.23 ผลการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อน model3 และ model4

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

*model 3: LSCV = 49.21C

**model 4: LSCV = 50.40C - 422.83

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

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีที่ได้จากงานวิจัย พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีมีความแม่นยำกว่า เมื่อพิจารณาจากค่า MSE เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับองค์ประกอบทางกายภาพนั้นจะมีผลของความชื้นเข้ามาเกี่ยวข้องกับค่าของตัวแปรอิสระด้วย แต่ในกรณีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ค่าความร้อนกับลักษณะทางเคมีนั้นความชื้น ได้ถูกแยกออกจากค่าของตัวแปรอิสระแล้ว