รายงานผลงานวิจัย

เรื่อง **เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง**

Vertical Infectious Wastes Shredder

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2558

จำนวน 257,400 บาท

หัวหน้าโครงการ นายบัณฑิต หิรัญสถิตย์พร

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

วันที่ 1 กรกฎาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการโครงการวิจัยเรื่อง เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง(Vertical Infectious Wastes Shredder) ขอขอบคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2558 พร้อมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องการเบิกจ่ายเงินอุดหนุนและงานเอกสารต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัยจนงานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ ของการวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	21
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	25
สรุปผลการวิจัย	35
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก	39

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	การเปรียบเทียบต้นทุนการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ โดยการเผากับการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ	4
ตารางที่ 2	การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เมื่อทำการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อโดยการเผากับการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ	5
ตารางที่ 3	ดัชนีงานของ Bond สำหรับการย่อยมูลฝอย	15
ตารางที่ 4	แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้	17
ตารางที่ 5	สัดส่วนของตัวอย่างจำลองที่ใช้ในการทดสอบต่อถุง(ถุงละ 3000 กรัม)	22
ตารางที่ 6	ค่าความชื้นของตัวอย่างจำลองแต่ละชนิด	27
ตารางที่ 7	ผลการทดสอบความสามารถในการทำงาน ขนาดเฉพาะ และค่าดัชนีความสม่ำเสมอของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย	29
ตารางที่ 8	ผลการทดสอบหาขนาดของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย ที่ผ่านตะแกรง 80% ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าพลังงานจำเพาะและค่าดัชนีงาน	31
ตารางที่ 9	ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย	33

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้งต้นแบบ ด้านหน้า	25
ภาพที่ 2	เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้งต้นแบบ ด้านหลัง	26
ภาพที่ 3	ชุดควบคุมมอเตอร์	26
ภาพที่ 4	ชุดเก็บข้อมูลของกำลังงาน และพลังงานไฟฟ้า	26
ภาพที่ 5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความสามารถในการทำงาน	29
ภาพที่ 6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กับ ขนาดเฉพาะ และดัชนีความสม่ำเสมอของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย	30
ภาพที่ 7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย ที่ผ่านตะแกรง 80% และพลังงานไฟฟ้า	32
ภาพที่ 8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับพลังงานจำเพาะและดัชนีงาน	32
ภาพที่ 9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความหนาแน่นของตัวอย่างจำลอง ภายหลังการย่อย	34
ภาพที่ 10	การทดสอบการย่อยตัวอย่างจำลอง	40
ภาพที่ 11	ตัวอย่างจำลองหลังผ่านการย่อย	41
ภาพที่ 12	มูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อแล้วจากโรงพยาบาลเชียงใหม่ราม	42
ภาพที่ 13	การทดสอบการย่อยมูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อแล้ว จากโรงพยาบาลเชียงใหม่ราม	43
ภาพที่ 14	มูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อแล้วจากโรงพยาบาลเชียงใหม่ราม หลังผ่านการย่อย	44
ภาพที่ 15	มูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อแล้วจากโรงพยาบาลเชียงใหม่ราม หลังผ่านการย่อยเมื่อบรรจุใส่ถุงแล้วสามารถนำไปทิ้งรวมกับมูลฝอยทั่วไปได้	45

เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง

Vertical Infectious Wastes Shredder

บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร[1]

Bandit Hirunstitporn[1]

[1] คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง มีมิติภายนอก (กว้าง x ยาว x สูง) เท่ากับ 1.20x1.20x 2.05 เมตร มีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ หัวสับซึ่งอยู่ภายในห้องย่อย ห้องย่อย และถังเก็บวัสดุหลังการย่อย ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 10 แรงม้า เป็นต้นกำลัง

จากการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสม พบว่า ที่ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสม เนื่องจากมีความสามารถในการทำงานสูงสุดเท่ากับ 352.38 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขนาดเฉพาะของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยเล็กที่สุดเท่ากับ 78.15 มิลลิเมตรและดัชนีความสม่ำสมอของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยสูงสุดเท่ากับ 2.167 ค่าพลังงานจำเพาะเท่ากับ 9.723 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน ค่าดัชนีงานเท่ากับ 633.481 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน

จากการทดสอบในการทำงานจริง พบว่า เครื่องย่อยมูลฝอยแนวตั้งมีความสามารถในการทำงานจริงเมื่อรวมการย่อยและการเก็บมูลฝอยติดเชื้อ เท่ากับ 52.27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ชั่วโมงต่อตัน ต้นทุนในการย่อยเท่ากับ 3.65 บาทต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ: เครื่องย่อยแนวตั้ง มูลฝอยติดเชื้อ

Abstract

The exterior dimension of vertical infectious wastes shredder was 1.20x1.20x2.05 metre. There were three main parts: cutter rotor, cutting chamber and unloading bin. The vertical infectious wastes shredder was driven by 10 horsepower electric motors.

Referring to the rotor speed test, the appropriate rotor speed was 810 rpm together with the highest working capacity at 352.38 kilogram per hour, the characteristic size of the material simulation after shredding at 78.15 millimetre and the index of uniformity of the material simulation after shredding at 2.167. Moreover, the specific energy and work index were 9.723 kilowatt-hour per ton and 633.481 kilowatt-hour per ton respectively.

According to the test, it was found that the average working capacity of vertical infectious wastes shredder is 52.27 kilogram per hour , and the cost of shredding is 3.65 baht per kilogram.

Keywords: Vertical shredder Infectious wastes

คำนำ

ความหมายของ "ขยะมูลฝอย" ตามพระราชบัญญัติ รักษาความสะอาด และความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ.2535 คือ เศษกระดาษ, เศษผ้า, เศษอาหาร, เศษสินค้า, ถุงพลาสติก, ภาชนะที่ใส่อาหาร, เถ้า, มูลสัตว์ หรือ ซากสัตว์ รวมตลอดถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน, ตลาด, ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่น คำว่า "ขยะ" หรือ "มูลฝอย" หรือ "ขยะมูลฝอย" เป็นคำที่มีความหมายเหมือนกัน คำว่า "มูลฝอย" (Solid wastes) มีความหมายครอบคลุมกว้างขวาง ซึ่งอาจหมายถึงและรวมถึงของเสียหรือวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือกระบวนการผลิตทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม เช่น มูลฝอยในชุมชน (Municipal solid wastes; MSW) มูลฝอยหรือของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastes), มูลฝอยติดเชื้อ (Infectious wastes) จากโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาล เป็นต้น

จากข้อมูลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษคาดการณ์ว่าในปี 2549 มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อจากสถานพยาบาลทั้งของรัฐและเอกชน ที่มีเตียงสำหรับผู้ป่วยประมาณ 23,725 ตัน หรือวันละ 65 ตัน เป็นมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ประมาณวันละ 20 ตัน ที่เหลือเกิดขึ้นในสถานพยาบาลในส่วนภูมิภาคอีกประมาณ 45 ตัน อัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อเฉลี่ย 0.54 กิโลกรัมต่อเตียงต่อวัน ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อดังกล่าวคาดว่าจะมีอัตราเพิ่มขึ้นปีละประมาณร้อยละ 5.5

สำหรับสถานการณ์การจัดการมูลฝอยติดเชื้อของประเทศ ปี 2555 พบว่า สถานบริการสาธารณสุขทั่วประเทศรวมทั้งหมดประมาณ 28,000 แห่ง มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อรวม 42,000 ตันต่อปี หรือประมาณวันละ 115 ตัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณของมูลฝอยติดเชื้อจากปี 2549 ถึงปี 2555 มีปริมาณเพิ่มขึ้นถึงวันละ 50 ตัน ส่วนระบบกำจัดมูลฝอยติดเชื้อขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ที่มีเตาเผามูลฝอยติดเชื้อขนาดใหญ่ จำนวน 13 แห่งทั่วประเทศ ไม่สามารถรองรับปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากเตาเผาอยู่ในสภาพเก่ามาก บางแห่งชำรุดและปิดเตาไปแล้ว และมีเตาเผามูลฝอยติดเชื้อเพียง 2 แห่งที่เป็นเตาที่เพิ่งเปิดใช้งาน ได้แก่ เตาเผามูลฝอยติดเชื้อของเทศบาลเมืองวารินชำราบและองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรีซึ่งไม่เพียงพอในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นทุกวัน ประกอบกับเอกชนที่รับดำเนินการขนส่งและกำจัดมูลฝอยติดเชื้อยังไม่ได้มาตรฐานมีการลักลอบทิ้งมูลฝอยติดเชื้อ (กรมอนามัย, 2556)

วิธีการทำลายมูลฝอยติดเชื้อนั้น โดยหลักการแล้ว ก่อนอื่นก็ต้องฆ่าเชื้อเสียก่อน เพื่อไม่ให้เชื้อแพร่กระจายไปสู่แหล่งชุมชนในบริเวณแหล่งกำจัดขยะ วิธีกำจัดเชื้อนั้นมี 3-4 วิธี ขึ้นอยู่กับอันตรายของมูลฝอยนั้น ได้แก่ การเผา เพื่อเป็นการทำลายเชื้อให้หมดไป เมื่อเผาเสร็จแล้ว ถ้ามีเถ้าเหลือก็ต้องเอาขี้เถ้าไปกำจัดต่อ การอบไอน้ำเป็นการฆ่าเชื้อโรค ด้วยการนึ่ง วิธีนี้จะมีมูลฝอยเหลือในปริมาณเท่าเดิมหรือมากกว่า เนื่องจากได้รับความชื้นจากไอน้ำ การใช้สารเคมี และการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือไมโครเวฟ

การใช้เตาเผามูลฝอยติดเชื้อของสถานพยาบาลต่างๆ ที่ใช้อยู่ในขณะนี้ยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากมีขนาดไม่เพียงพอ การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ มีการชำรุดหรือใช้งานไม่ได้บ่อยครั้ง มีการร้องเรียนของประชาชนเนื่องจากมีกลิ่นและควันรบกวนจากเตาเผา สำหรับการทำลายเชื้อของมูลฝอยติดเชื้อด้วยไอน้ำ เป็นการใช้ไอน้ำร้อนภายในถังแรงดัน (มักเรียกว่า Steam Sterilizer หรือ autoclave หรือ retort) ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ที่เริ่มมีการนำมาใช้ในประเทศไทยเพราะไม่เกิดมลพิษทางอากาศ แต่มูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อแล้วควรนำไปทำการบดย่อยเพื่อแปรสภาพ ไม่ให้เป็นที่น่ารังเกียจต่อผู้พบเห็น แต่อย่างไรก็ตามเครื่องย่อยมูลฝอยที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาสูงมาก และในการซ่อมบำรุงต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากต้องนำเข้าอะไหล่บางส่วนมาทำการซ่อมบำรุง นอกจากนี้ยังเสียเวลารอการจัดส่งอะไหล่อีกด้วย ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการลงทุนสำหรับโรงพยาบาลที่ต้องการจัดการมูลฝอยติดเชื้อด้วยตนเอง

ศรีอรุณ(2556) ได้ทำการศึกษาการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ณ แหล่งกำเนิด โดยเทคโนโลยีทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ พบว่า การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อกำจัดโดยการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ มีต้นทุนต่ำว่าการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อกำจัดโดยการเผา และการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อกำจัดโดยการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำว่าการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อกำจัดโดยการเผา ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบต้นทุนการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อโดยการเผากับการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ

โรงพยาบาล	ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อต่อปี (กิโลกรัม)	ต้นทุนการกำจัดโดยการเผา		ต้นทุนการกำจัดโดยการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ		ค่าใช้จ่ายลดลง (%)
		บาทต่อกิโลกรัม	บาท	บาทต่อกิโลกรัม	บาท	
หาดใหญ่	90,072	26	2,341,872	1,225,269	13.60	48
เชียงใหม่ราม	58,400	16	934,400	749,710	12.84	20

ที่มา : ศรีอรุณ. 2556.

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อทำการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อโดยการเผากับการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ

โรงพยาบาล	ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อต่อปี (กิโลกรัม)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการเผาต่อปี ($kgCO_2e$)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำต่อปี ($kgCO_2e$)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง (%)
หาดใหญ่	90,0720	1,138.61	21.89	98.08
เชียงใหม่ราม	58,400	703.63	14.19	97.98

ที่มา : ศรีอรุณ. 2556.

มูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อแล้วต้องนำมาย่อยให้มีขนาดเล็กลงมีสาเหตุผลหลักเพื่อต้องการแปรสภาพมูลฝอยติดเชื้อไม่ให้เป็นที่น่ารังเกียจต่อผู้พบเห็น ลดอันตรายจากมูลฝอยติดเชื้อ และลดปริมาตรของมูลฝอยติดเชื้อ แต่อย่างไรก็ตามเครื่องย่อยมูลฝอยที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาสูงมาก และในการซ่อมบำรุงต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากต้องนำเข้าอะไหล่บางส่วนมาทำการซ่อมบำรุง นอกจากนี้ยังเสียเวลารอการจัดส่งอะไหล่อีกด้วย ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการลงทุนสำหรับโรงพยาบาลที่ต้องการจัดการมูลฝอยติดเชื้อด้วยตนเอง

ดังนั้นถ้ามีการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อที่มีราคาที่โรงพยาบาลสามารถลงทุนได้ก็จะทำให้โรงพยาบาลหันมากำจัดมูลฝอยติดเชื้อ โดยการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำแทนการเผาโดยใช้เตาเผาซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบ และสร้าง เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้งที่มีความสามารถในการทำงานจริงไม่ต่ำกว่า 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
2. เพื่อศึกษาความเร็วรอบที่เหมาะสมของเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง
3. เพื่อศึกษาต้นทุนในการย่อยมูลฝอยติดเชื้อ
4. เพื่อได้เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อต้นแบบที่สามารถนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้งที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ราคาไม่แพง เพื่อเป็นต้นแบบในการผลิตและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์
2. โรงพยาบาลสามารถลงทุนการจัดการมูลฝอยติดเชื้อภายในโรงพยาบาลทดแทนการเผาที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม
3. มีการจดสิทธิบัตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

การตรวจเอกสาร

มูลฝอย

ขยะหรือมูลฝอย (Solid Waste) หมายถึง ของเสียที่อยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งอาจจะมีความชื้นปะปนมาด้วยจำนวนหนึ่ง มูลฝอยที่เกิดขึ้นจากอาคารที่พักอาศัย สถานที่ทำการ โรงงานอุตสาหกรรม หรือตลาดสดก็ตามจะมีปริมาณและลักษณะแตกต่างกันออกไป โดยปกติแล้ววัตถุต่างๆ ที่ถูกทิ้งมาในรูปของมูลฝอยนั้น จะมีทั้งอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร สารวัตถุต่างๆ เหล่านี้บางชนิดก็สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ในเวลาอันรวดเร็ว โดยเฉพาะพวกเศษอาหาร เศษพืชผัก แต่บางชนิดก็ไม่อาจจะย่อยสลายได้เลย เช่น พลาสติก เศษแก้ว เป็น

ประเภทของมูลฝอย

มูลฝอยสามารถจำแนกตามพิษภัยที่เกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มี 2 ประเภท คือ

1. มูลฝอยทั่วไป (General waste) หมายถึง มูลฝอยที่มีอันตรายน้อย ได้แก่ พวกเศษอาหาร เศษกระดาษ เศษผ้า พลาสติก เศษหญ้า และใบไม้ ฯลฯ

2. มูลฝอยอันตราย (Hazardous waste) เป็นมูลฝอยที่มีภัยต่อคนและสิ่งแวดล้อม อาจมีสารพิษ ติดไฟ หรือระเบิดง่าย ปนเปื้อนเชื้อโรค เช่น ไฟแช็กแก๊ส กระป๋องสเปรย์ ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ หรืออาจเป็นพวกสำลีและผ้าพันแผลจากสถานพยาบาลที่มีเชื้อโรค

ชนิดมูลฝอย

ชนิดมูลฝอยแยกตามชนิดและแหล่งกำเนิด ได้ดังนี้

1. มูลฝอยเปียก (Garbage) เป็นมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากการเตรียมอาหาร, การปรุงอาหาร, มูลฝอยจากตลาดสด เช่นเศษพืช ผัก, เปลือกผลไม้ ซึ่งมีความชื้นสูง เน่าบูดเกิดกลิ่นเน่าเหม็นได้ง่าย

2. มูลฝอยแห้ง (Rubbish) เป็นมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ ได้แก่ กระดาษในสำนักงาน, กระดาษหนังสือพิมพ์, หนังสือวารสาร นิตยสาร, เศษไม้, กล่องกระดาษ, เฟอร์นิเจอร์ที่เสื่อมคุณภาพและไม่ใช้แล้ว เป็นต้น

3. เถ้าเหลือจากการเผา (Ashes) ได้แก่ กากที่เหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง, ถ่านหิน, ถ่านไม้ และวัสดุอื่นที่เผาได้

4. ซากสัตว์ (Dead animals) ซากสัตว์ที่ตายแล้ว ได้แก่ เช่น สุนัข, แมว, ม้า และสัตว์อื่น ๆ เป็นต้น ซากสัตว์เหล่านี้จะส่งกลิ่นเหม็นเป็นเหตุรำคาญ ซากสัตว์บางชนิดยังเป็นแหล่งของโรคติดต่อ สามารถแพร่เชื้อโรคมายังมนุษย์ได้อีกด้วย

5. ซากหรือเศษชิ้นส่วนจากยานพาหนะ (Abandoned vehicles) ได้แก่ ซากรถยนต์ที่ไม่มีเจ้าของ, ซากรถที่ถูกทิ้งไว้ตามที่สาธารณะหรือขวางเส้นทางการจราจรทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่

6. มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastes) ได้แก่ มูลฝอยจากขบวนการผลิตสินค้า มีลักษณะที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของโรงงาน

7. มูลฝอยจากการก่อสร้างหรือจากการรื้อถอน (Construction and demolition wastes) ได้แก่ เศษอิฐ, เศษไม้, เศษโลหะ และชิ้นส่วนของคอนกรีต, ท่อน้ำ และวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ ถ้าปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการกีดขวาง

8. มูลฝอยพิเศษ (Special wastes) เป็นมูลฝอยที่มีอันตรายอาจเป็นทั้งของแข็งและของเหลว ได้แก่ มูลฝอยจากโรงพยาบาลที่ปนเปื้อนด้วยเชื้อโรค, สารเคมี,สารกัมมันตภาพรังสี

9. มูลฝอยที่เป็นกากจากการบำบัดน้ำเสีย (Sewage treatment residual) เป็นมูลฝอยซึ่งผ่านขั้นตอนการบำบัดโดยแปลงสภาพจากของเหลวมาเป็นของแข็ง ได้แก่ ตะกอนจากบ่อบำบัดและถูกรีดเป็นแผ่นตะกอน ถือว่าเป็นมูลฝอยชนิดหนึ่ง อาจมีเชื้อโรคหรือสารเคมีที่มีพิษปะปนออกมาด้วย

10. มูลฝอยอันตรายที่เกิดจากบ้านเรือน (Household hazardous wastes) เป็นมูลฝอย ที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้งานหรือนำมาใช้ในครัวเรือนเมื่อเสื่อมสภาพหรือเลิกใช้แล้วหรือใช้หมดแล้วเหลือแต่ภาชนะจึงกลายสภาพเป็นมูลฝอยอันตราย ได้แก่ หลอดไฟ,หลอดฟลูออเรสเซนต์, สีสเปรย์, ถ่านไฟฉาย, เครื่องสำอาง, กระป๋องยาฆ่าแมลง และยารักษาโรคที่หมดอายุแล้ว เป็นต้น

11. มูลฝอยติดเชื้อ (Infectious wastes) เป็นสารหรือวัตถุใด ๆที่ไม่ต้องการและถูกทิ้ง เนื่องจากมีส่วนประกอบหรือถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งที่ทำให้เกิดโรคหรือทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ได้แก่ เนื้อเยื่อจากการผ่าตัด, เลือด, สิ่งขับถ่าย, น้ำมูก, น้ำเหลือง, เข็มฉีดยา, อาหารเลี้ยงเชื้อ, วัคซีนที่เสื่อมสภาพ เป็นต้น เป็นมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากโรงพยาบาล หรือสถานประกอบการทางการแพทย์ หรือสถานีอนามัย

มูลฝอยติดเชื้อ (Infectious wastes)

มูลฝอยติดเชื้อ หมายถึง มูลฝอยที่มีเชื้อโรคปะปนอยู่ในปริมาณหรือมีความเข้มข้น ซึ่งถ้ามีการสัมผัสใกล้ชิดกับมูลฝอยนั้นแล้วสามารถทำให้เกิดโรคได้ มูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาล สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. วัสดุ ซาก หรือชิ้นส่วนของมนุษย์และสัตว์ ที่ได้หรือเป็นผลมาจากการผ่าตัด การตรวจชันสูตรศพ การใช้สัตว์ทดลองที่ทดลองเกี่ยวกับโรคติดต่อ รวมทั้งวัสดุ ที่สัมผัสในการดำเนินการนั้นๆ

2. วัสดุที่ใช้ในการให้บริการทางการแพทย์ เช่น สำลี ผ้ากอซ ผ้าต่างๆ ท่อยาง ฯลฯ ซึ่งสัมผัสหรือสงสัยว่าจะสัมผัสกับเลือด ส่วนประกอบของเลือด เช่น น้ำเหลือง เม็ดเลือดต่างๆ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเลือด สารน้ำจากร่างกาย เช่น ปัสสาวะ เสมหะ น้ำลาย น้ำเหลือง หนอง เป็นต้น

3. ของมีคมที่ใช้ในกิจกรรมต่างๆ เช่น เข็ม ใบมีด กระบอกฉีดยา หลอดแก้ว ภาชนะที่ทำด้วยแก้ว สไลด์ แผ่นกระจกปิดสไลด์ ทั้งที่ใช้ในการบริการ การวิจัย และในห้องปฏิบัติการ

4. เชื้อ และอาหารเลี้ยงเชื้อ และวัสดุที่ใช้ในห้องปฏิบัติการหรือใช้ในการตรวจวินิจฉัย ที่สัมผัสกับเชื้อทั้งทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ เชื้อโรคและชีววัตถุต่างๆ อาหารเลี้ยงเชื้อ จานเลี้ยงเชื้อที่ใช้แล้ว ตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายเชื้อหรือกวนเชื้อ

5. วัคซีนที่ทำจากเชื้อโรคที่มีชีวิตและภาชนะบรรจุ ได้แก่ วัคซีนป้องกันวัณโรค โปลิโอ หัด หัดเยอรมัน โรคคางทูม วัคซีนโรคไข้รากสาดน้อยชนิดรับประทาน เป็นต้น

6. มูลฝอยทุกประเภทที่มาจากห้องติดเชื้อร้ายแรง เช่น ห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อร้ายแรง ที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษห้องปฏิบัติการเชื้ออันตรายสูง เป็นต้น

เทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อที่มีการปฏิบัติจริงทั้งในและต่างประเทศ มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่

1. การทำลายเชื้อด้วยสารเคมี (Chemical disinfection)
2. เตาเผา (Incineration)
3. การทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ (Steam sterilization หรือ Autoclaving)
4. การทำลายเชื้อด้วยความร้อน (Thermal inactivation)
5. การทำลายเชื้อด้วยก๊าซ (Gas vapor sterilization)
6. การทำลายเชื้อด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Microwave)
7. การทำลายเชื้อด้วยรังสี (Sterilization by irradiation)

การทำลายเชื้อด้วยสารเคมี (Chemical disinfection)

การทำลายเชื้อด้วยสารเคมีเป็นการบำบัดเบื้องต้น เป็นวิธีการที่สถานพยาบาลทั้งรัฐและเอกชนใช้มาก่อนวิธีอื่น ส่วนใหญ่จะใช้น้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Sodium hypochloride) ความเข้มข้น 0.1-0.5% การทำลายเชื้อด้วยสารเคมี เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับมูลฝอยที่เป็นของเหลวแต่ก็ใช้กับมูลฝอยที่เป็นของแข็งได้ด้วย การทำลายเชื้อด้วยสารเคมีให้ได้ผลดีต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ชนิดของเชื้อโรค
2. ปริมาณเชื้อที่ปนเปื้อน
3. ปริมาณวัสดุจำพวกโปรตีน
4. ชนิดของสารฆ่าเชื้อโรค
5. ความเข้มข้นและปริมาณสารฆ่าเชื้อโรค
6. ระยะเวลาสัมผัส
7. ปัจจัยอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เป็นต้น

มูลฝอยที่ทำลายเชื้อด้วยวิธีนี้จะมีสารเคมีเจือปนอยู่ ดังนั้นการนำไปกำจัดต่อไป จะต้องคำนึงถึงกฎหมายของท้องถิ่นด้วย

เตาเผา (Incineration)

การเผาในเตาเผาเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารที่เผาไหม้ได้ให้เป็นสารที่เผาไหม้ไม่ได้ หรือถ้าผลพลอยได้จากการเผาไหม้ได้ก๊าซซึ่งจะระบายออกจากปล่องสู่บรรยากาศทั่วไป ส่วนกากเถ้าที่เหลือกำจัดโดยการฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล การใช้เตาเผามีข้อดีซึ่งสามารถลดปริมาณมูลฝอยได้มาก ไม่ต่ำกว่า 90-95 เปอร์เซนต์ของปริมาณมูลฝอยก่อนเผา กากเถ้าที่เหลือน้อยนี้ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและกำจัด ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเผาไหม้ ได้แก่ องค์ประกอบของมูลฝอย อัตราการป้อนมูลฝอยเข้าเตาเผา และอุณหภูมิในการเผาไหม้

องค์ประกอบของมูลฝอย มีผลต่อการเผาไหม้โดยเฉพาะความชื้น และค่าความร้อนของมูลฝอย (Heat value) นอกจากนี้อัตราและความถี่ของการป้อนมูลฝอยมีความสำคัญต่อการเผาไหม้ด้วย เมื่อคำนึงถึงการเผาไหม้ให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

อัตราการป้อนมูลฝอย มีผลต่อประสิทธิภาพของเตาเผา ต้องไม่ป้อนมูลฝอยเข้าเตาเผามากจนเกินไป เนื่องจากจะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเกิดการคงสภาพของมูลฝอยติดเชื้อได้ อุณหภูมิการเผาไหม้ในเตาเผาทำได้โดยการปรับปริมาณอากาศและเชื้อเพลิง การอุ่นเตาเพื่อให้อุณหภูมิในเตาเผาสูงขึ้นและพร้อมที่จะเผามีความสำคัญก่อนการป้อนมูลฝอย รวมทั้งการปรับอุณหภูมิในเตาเผาระหว่างการเผาไหม้มีความจำเป็นเช่นกัน

มูลฝอยติดเชื้อจะต้องเผาที่อุณหภูมิสูงและมีระยะเวลาในการเผาเหมาะสมเพียงพอในการทำลายชิ้นเนื้ออวัยวะและมูลฝอยติดเชื้อ โดยมีความร้อนหรืออุณภูมิในการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 600-1,000 องศาเซลเซียส จึงจะทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

นอกจากนี้การใช้งานและบำรุงรักษาที่ถูกวิธีก็มีความสำคัญด้วย การมีอุปกรณ์ควบคุมและมีส่วนประกอบเฉพาะของเตาเผาที่ช่วยให้การใช้งานสะดวกและมีระบบควบคุมการทำงานเพื่อให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ เช่น การมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิในการเผาไหม้ อุปกรณ์ป้องกันการทำงานของระบบจุดไฟในห้องเผาไหม้มูลฝอยซึงจะไม่ทำงานจนกว่าห้องเผาควันจะเดินเครื่องในการอุ่นเตาก่อนเป็นต้น รวมถึงระบบบันทึกข้อมูลที่ต่อเนื่องกับอุณหภูมิการเผาไหม้ อัตราการป้อนมูลฝอย การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าเตาเผา

เนื่องจากเตาเผามีข้อเสีย ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และค่าดำเนินการสูงประกอบกับต้องการบุคลากรที่มีความรู้ และทักษะเฉพาะด้านในการควบคุม ใช้งานและบำรุงรักษาที่ถูกวิธี ทั้งต้องหาพื้นที่สำหรับฝังกลบเถ้าในขั้นตอนสุดท้ายด้วย นอกจากนี้ในกรณีที่การเผาไหม้ในเตาเผาไม่สมบูรณ์ ทำ

ให้เกิดปัญหามลภาวะอากาศรวมถึงก่อความรำคาญต่อประชาชนที่อยู่ใกล้เคียง จึงมีความพยายาม ในการหาเทคโนโลยีอื่นในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อเพื่อทดแทนการใช้เตาเผา

การทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ (Steam sterilization หรือ Autoclaving)

การทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ สำหรับมูลฝอยติดเชื้อ ใช้ไอน้ำร้อนตัว ภายในถังแรงดัน (มักเรียกว่า Steam sterilizer หรือ Autoclave หรือ Retort) ณ อุณหภูมิสูงเพียงพอสำหรับทำลายเชื้อโรคในมูลฝอยได้

ระบบทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ จะได้ผลดีขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่มูลฝอยทุกส่วนจะต้องสัมผัสกับอุณหภูมิที่ต้องการตามระยะเวลาที่กำหนด กระบวนการทำลายเชื้อเริ่มต้นด้วยการแทรกตัวของไอน้ำเข้าในมูลฝอย ทำให้เกิดการนำความร้อนที่ช่วยให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น การทำลายเชื้อที่มีประสิทธิภาพจะเกิดขึ้นได้ตามอัตราการแทรกตัวของไอน้ำซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง การทำให้ไอน้ำแทรกตัวเข้าได้ทั่วถึงทุกส่วน จะต้องไล่อากาศออกจากถังแรงดันให้หมด ไม่เช่นนั้นอากาศในถังแรงดันจะทำให้ประสิทธิภาพการทำลายเชื้อลดลงเนื่องจาก ทำให้อุณหภูมิของไอน้ำลดลง ทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลงไป ทำให้อุณหภูมิแต่ละส่วนของระบบแตกต่างกัน ทำให้ใช้เวลานานในการเพิ่มอุณหภูมิ และทำให้ไอน้ำแทรกตัวเข้าในมูลฝอยไม่ทั่วถึง

ปัจจัยที่เป็นเหตุให้ไล่อากาศออกไม่หมดอาจเกิดจาก การใช้ถุงพลาสติกกันความร้อนหรือการใช้ภาชนะที่ลึกเกินไป หรือการป้อนมูลฝอยที่ไม่เหมาะสม ปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ คือ

- องค์ประกอบของมูลฝอยติดเชื้อ การทำลายเชื้อด้วยไอน้ำใช้ได้ผลดีกับมูลฝอยติดเชื้อที่มีองค์ประกอบหลักเป็นมูลฝอยที่มีความหนาแน่นต่ำ เช่น พลาสติกต่างๆ แต่ไม่ได้ผลดีนักกับมูลฝอยที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ชิ้นส่วนอวัยวะ ของเหลวต่างๆ
- การบรรจุถุงและภาชนะรองรับมูลฝอย ชนิดและความหนาของถุงพลาสติกที่ใช้เป็นเรื่องสำคัญที่มักมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน ถุงพลาสติกที่ทนความร้อนได้รับการพิจารณาว่าไม่เหมาะสมที่จะใช้บรรจุมูลฝอยเข้าทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ เพราะเหตุว่าไอน้ำและความร้อนจะไม่สามารถแทรกตัวเข้าสู่มูลฝอยภายในถุง ถุงพลาสติกที่เหมาะสมควรหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน เพื่อให้มูลฝอยในถุงได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง แต่การใช้ถุงประเภทนี้ จะต้องมีภาชนะรองรับที่แข็งแรง ทนทานต่อความร้อนได้ดี ซึ่งมีลักษณะที่เอื้ออำนวยให้ไอน้ำแทรกตัวเข้าในถังได้สะดวก เช่น ด้านบนเปิดกว้าง และไม่ลึกมากเกินไป นอกจากนี้ เพื่อให้ไอน้ำแทรกตัวเข้าได้ทั่วถึงอย่างแท้จริง ถึงและขวดต่างๆ ที่จะส่งเข้าทำลายเชื้อ ควรเปิดฝาเสียก่อน

- ปริมาตรของมูลฝอย เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิให้กระจายทั่วถึงในมูลฝอยปริมาณมากๆ นั้นเป็นไปได้ยาก หากมีมูลฝอยปริมาณมาก ควรแบ่งเข้าเครื่องครั้งละน้อยๆ จะได้ผลดีกว่า มูลฝอยที่เป็นพิษหรือสารเคมีที่อาจแตกตัวรุนแรงเมื่อได้รับความร้อน หรือมูลฝอยอันตรายไม่ควรนำเข้าทำลายเชื้อด้วยวิธีนี้เพราะจะเกิดอันตรายต่อบุคลากรที่ควบคุมเครื่อง บุคลากรเหล่านี้ควรได้รับการฝึกฝนเทคนิคในด้านความปลอดภัยจากสารเคมีหรือมูลฝอยอันตรายที่อาจปะปนมาในมูลฝอยติดเชื้อด้วย เช่น การใช้อุปกรณ์ป้องกันตัว การป้องกันการหกหล่นของมูลฝอยระหว่างป้อนเข้าเครื่อง การแก้ไขเมื่อเกิดการฟุ้งกระจายของสารเคมีต่างๆ เครื่องบันทึกอุณหภูมิ เป็นสิ่งจำเป็นในการควบคุมการทำงานของเครื่องทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ว่าเครื่องทำงานที่เหมาะสมเป็นระยะเวลาครบถ้วนตามต้องการ ขณะเดียวกันจะเป็นสิ่งเตือนเหตุบกพร่องของอุปกรณ์ต่างๆ ได้ด้วย หากไม่สามารถควบคุมได้ตามปกติ กระบวนการทำงานของเครื่องทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบและซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้แน่ใจว่าการทำลายเชื้อ ดำเนินการไปอย่างได้ผลตลอดเวลา นอกจากนี้ควรมีการประเมินผลทางด้านชีวภาพด้วย โดยใช้ดัชนีที่เหมาะสมกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ออกแบบไว้ เช่น Bacillus Stearothemophilus เป็นต้น

การทำลายเชื้อด้วยความร้อน (Thermal inactivation)

การทำลายเชื้อด้วยความร้อน เป็นวิธีที่อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน ทำให้เกิดสภาวะที่เชื้อโรคไม่สามารถดำรงอยู่ได้ในมูลฝอย โดยทั่วไปวิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับมูลฝอยติดเชื้อปริมาณมากๆ เช่น มูลฝอยที่เกิดจากอุตสาหกรรม เป็นต้น

- การทำลายเชื้อด้วยความร้อนสำหรับมูลฝอยติดเชื้อในรูปของเหลว ระบบนี้มีทั้งแบบทำงานไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ถังบรรจุมูลฝอยเดี่ยว และแบบทำงานต่อเนื่องโดยใช้ถังบรรจุมูลฝอยคู่ ก่อนขั้นตอนทำลายเชื้อ อาจจำเป็นต้องอุ่นมูลฝอยให้ได้อุณหภูมิระดับหนึ่ง และอาจต้องกวนผสมให้มูลฝอยคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกัน และให้ความร้อนกระจายทั่วถึงอุณหภูมิที่ใช้และระยะเวลาเก็บกัก ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อโรคที่คาดว่าจะพบในมูลฝอยติดเชื้อของแหล่งที่ต้องการกำจัด หลังจากทำลายเชื้อแล้ว มูลฝอยที่อยู่ในรูปของเหลวนี้ สามารถทิ้งลงท่อระบายน้ำเพื่อไปบำบัด ณ ระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป แต่ต้องคำนึงถึงมาตรฐานน้ำทิ้งของท้องถิ่นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องอุณหภูมิซึ่งมักจะสูงกว่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงอาจจำเป็นต้องมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิในมูลฝอยก่อนปล่อยทิ้ง องค์ประกอบของระบบประกอบด้วย ถังเก็บกักมูลฝอย ถังป้อนมูลฝอย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ไอน้ำ (Heat exchanger) ระบบท่อต่างๆ

ระบบตรวจสอบและควบคุมระบบต่อเนื่องไม่จำเป็นต้องใช้ถังเก็บกักมูลฝอยขนาดใหญ่ ขั้นตอนการทำงานของระบบต่อเนื่อง เริ่มด้วยถังป้อนมูลฝอย ทำหน้าที่รองรับมูลฝอยต่างๆ แล้วสูบจ่ายมูลฝอยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยอัตราคงที่ จากนั้นหมุนเวียนกลับมาที่ถังป้อนมูลฝอยและส่วนอื่นๆ ของระบบจนกระทั่งได้อุณหภูมิตามต้องการ

- การทำลายเชื้อความร้อน สำหรับมูลฝอยติดเชื้อในรูปของแข็ง ระบบนี้ใช้ เทคนิคของความรอ้นแห้งอ (Dry heat) โดยมูลฝอยจะได้รับความร้อนจากเตาเผาไฟฟ้า เทคนิคนี้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบที่ใช้ไอน้ำ ดังนั้นจึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าและใช้ใช้เวลานานกว่า โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสถึง 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 4 ชั่วโมง

การทำลายเชื้อด้วยก๊าซ (Gas/Vapor sterilization)

การทำลายเชื้อด้วยก๊าซเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่อาจนำมาใช้ทำลายเชื้อในมูลฝอยติดเชื้อเฉพาะอย่าง วิธีนี้ตัวทำลายเชื้อเป็นก๊าซหรือไอสารเคมี สารเคมีที่นิยมใช้ คือ เอทธีลีนออกไซด์ (Ethylene oxide) และฟอมัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ซึ่งอาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ได้ การนำมาใช้จึงต้องมีมาตรการความปลอดภัยอย่างเคร่งครัด ดังนั้นหากจะพิจารณานำวิธีนี้มาใช้จะต้องเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียให้แน่ชัด ในระยะหลังเอทธีลีนออกไซด์ มักได้รับการแนะนำว่าไม่ควรใช้กับมูลฝอยติดเชื้อ ส่วนฟอมัลดีไฮด์ ควรใช้กับบุคลากรที่ได้รับการฝึกฝนในการใช้งานมาเป็นอย่างดี การทำลายเชื้อด้วยก๊าซเหล่านี้มักจะมีก๊าซส่วนที่เหลือจากกระบวนการทำลายเชื้อสะสมอยู่ในมูลฝอย ซึ่งจะระเหยออกมาในภายหลังได้

การทำลายเชื้อด้วยรังสี (Sterilization by irradiation)

การทำลายเชื้อด้วยรังสีเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในระยะหลัง โดยอาศัยประสบการณ์จากการใช้รังสีให้กับเครื่องมือแพทย์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ อาหาร และสินค้า อุปโภคต่างๆ จึงมีการพัฒนาระบบนี้มาใช้กับมูลฝอยติดเชื้อ

การทำลายเชื้อด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Microwave treatment)

การทำลายเชื้อด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่เริ่มพัฒนาขึ้นมาใช้กับมูลฝอยติดเชื้อเมื่อไม่นานมานี้ ประกอบด้วยส่วนย่อยมูลฝอย (Shredder) และส่วนทำลายเชื้อ ระบบนี้ใช้ความร้อนเป็นตัวทำลายเชื้อ ความร้อนดังกล่าวนี้เกิดขึ้นโดยการฉีดละอองน้ำให้สัมผัสมูลฝอยอย่างทั่วถึง แล้วใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนแก่ละอองน้ำเหล่านั้น

องค์ประกอบสำคัญที่ต้องควบคุมเพื่อให้การทำลายเชื้อด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ผลดี ได้แก่ การย่อยมูลฝอย อุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความร้อน การย่อยมูลฝอยมีส่วนสำคัญมาก ซึ่งต้องย่อยมูล

ฝอยให้มีขนาดเล็ก และคลุกเคล้าให้ทั่วถึง เพื่อให้ละอองน้ำสัมผัสมูลฝอยได้ทุกจุดไม่เช่นนั้น จะเกิดจุดบอด ซึ่งมูลฝอยบริเวณที่ไม่มีความชื้น จะไม่ได้รับความร้อนเพียงพอ (Cold Spot) โดยทั่วไประบบนี้ควรควบคุมให้ทำงานที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 95 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 20 นาที

ขนาดของวัสดุและการกระจายของขนาด (Particle Size and Particle Size Distribution)

ในการทำนายหาขนาดของวัสดุและการกระจายของขนาด มีผู้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาหลายแบบจำลองด้วยกัน แต่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Rosin-Rammler เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำนายขนาดของวัสดุและการกระจายของขนาด (Worrell and Aarne, 2012)

สมการของ Rosin-Rammler สำหรับใช้ทำนายขนาดของวัสดุและการกระจายของขนาด ดังสมการที่ 1

$$Y = 1 - \exp\left(\frac{x}{x_0}\right)^n \qquad 1$$

เมื่อ

Y คือ สัดส่วนของวัสดุสะสมโดยน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง x

x คือ ขนาดของตะแกรง (มิลลิเมตร)

x_0 คือ ขนาดเฉพาะ (Characteristic Size) หาได้จากขนาดของวัสดุหลังการบด ที่วัสดุผ่านตะแกรง 63.2% (มิลลิเมตร)

n คือดัชนีความสม่ำเสมอ (Index of Uniformity)

ในการทำนายหาขนาดของวัสดุ เมื่อ x_0 มีค่ามาก ขนาดของวัสดุก็จะมีค่ามาก ส่วน n มีค่า มากขึ้น การกระจายของวัสดุมีแนวโน้มที่จะมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

ดัชนีงาน(Work Index)

ในช่วงทศวรรษที่ 1930 ถึงต้นทศวรรษ 1950 **Fred Chester Bond** (June 10, 1899 – January 23, 1977) วิศวกรเหมืองแร่ชาวอเมริกัน ได้พัฒนาทฤษฎีของการบดขึ้นมาใหม่ เรียกว่า “ดัชนีงานของBond” ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในการบดย่อยวัสดุและขนาดของวัสดุที่ผ่านการย่อย ทฤษฎีของ Bond ถูกนำมาใช้ในการอ้างถึงอย่างกว้างขวางในปี คศ. 1952 Bond เรียกว่าทฤษฎีนี้ว่า "ทฤษฎีที่สามของการบด" นับเป็นทฤษฎีที่สามต่อจาก Peter von Rittinger ซึ่งเป็นคนแรกที่นำเสนอทฤษฎีของการบด และFriedrich Kick เป็นคนที่สอง ทฤษฎีของ Bond เป็นทฤษฎีที่แพร่หลายที่สุด โดย Bond ได้เสนอสมการการหาค่าดัชนีงานไว้ดังนี้

$$E = 10\, E_i\left[\frac{1}{\sqrt{L_p}} - \frac{1}{\sqrt{L_F}}\right] \qquad 2$$

เมื่อ

E คือ งานที่ใช้ในการบด (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน)

E_i คือ ดัชนีงานของ Bond (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน)

L_P คือ ขนาดของวัสดุหลังการบด ที่วัสดุผ่านตะแกรง 80% (ไมโครเมตร)

L_F คือ ขนาดของวัสดุที่ป้อน ที่วัสดุผ่านตะแกรง 80% (ไมโครเมตร)

ดัชนีงานของ Bond ของเครื่องย่อยชนิดต่างๆ ที่ใช้ย่อยมูลฝอย ได้มีการรวบรวมข้อมูลไว้ดังตารางที่ 3 ในการหาค่างานที่ใช้ในการบด สามารถนำค่าดัชนีงานของ Bond มาเพื่อคำนวนหาได้ โดยดัชนีงานของ Bond มีค่าเฉลี่ย 430 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน (Worrell and Aarne, 2012)

ตารางที่ 3 ดัชนีงานของ Bond สำหรับการย่อยมูลฝอย

สถานที่ตั้งเครื่องย่อย	ดัชนีงานของ Bond (kWh/ton)
Washington, DC 463	463
Wilmington, DE	451
Charleston, SC	400
San Antonio, TX	431
St. Louis, MO	434
Houston, TX	481
Vancouver, BC	427
Pompano Beach, FL	405
Milford, CT	448
St. Louis, MO	387

ที่มา : Worrell and Aarne. 2012 : 191

เชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF)

การจัดการขยะนั้นนับวันจะมีปัญหามากขึ้น เริ่มตั้งแต่ปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีสาเหตุมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และลักษณะการใช้ชีวิตประจำ ก่อให้เกิดปริมาณของเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองและชุมชนขนาดใหญ่ แนวทางหลักในการจัดการขยะ คือการฝังกลบ หรือการกองทิ้งกลางแจ้ง แต่เนื่องจากทั้งปริมาณขยะที่เพิ่มมากขึ้น และลักษณะองค์ประกอบของขยะที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้การจัดการขยะโดยวิธีการฝังกลบ ไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ในปัจจุบันเนื่องจากไม่สามารถฝังกลบขยะได้ทันในเวลาที่กำหนด รวมทั้งมีการปนเปื้อนของของเสียที่มากเกินกว่าธรรมชาติจะบำบัดได้ทัน จึงส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบอย่างรุนแรง ประกอบกับปัญหาการหาพื้นที่ที่จะนำขยะมาฝังกลบหาได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากที่ดินที่มีราคาแพงและได้รับการต่อต้านจากประชาชนในพื้นที่วิธีการฝังกลบจึงอาจไม่ใช่วิธีการจัดการขยะมูลฝอยที่ดีที่สุดในปัจจุบัน ดังนั้นการจัดการขยะที่ดีที่สุดและมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ การลดปริมาณการเกิดขยะ การใช้ซ้ำการแยกประเภทขยะ ณ แหล่งกำเนิด รวมทั้งการแยกประเภทขยะเพื่อที่จะนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ แต่ขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการขยะก็คือการกำจัดเศษซากที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับชนิดของขยะ เช่น ถ้าเป็นขยะที่มีแต่สารอินทรีย์เท่านั้นก็สามารถนำไปผ่านกระบวนการหมักแบบมีออกซิเจนก็จะได้ "สารปรับปรุงคุณภาพดิน" หรือแบบไร้ออกซิเจนก็จะได้ก๊าซที่มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่เรียกว่า "ก๊าซชีวภาพ" เพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานในครัวเรือน พร้อมกับกากของเหลือซึ่งก็สามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินได้เช่นกัน วิธีการกำจัดขยะอีกวิธีหนึ่งที่ถูกกล่าวถึงอยู่บ่อยครั้ง ได้แก่ การเผาขยะ (Incineration) เป็นกระบวนการที่ลดปริมาณขยะให้เหลือน้อยที่สุด และทำลายเชื้อโรคได้อย่างเบ็ดเสร็จ แต่ก็มีผลข้างเคียงบ้าง คือ มลพิษทางอากาศและน้ำ ตลอดจนขี้เถ้าที่ต้องนำไปฝังกลบ พร้อมกับก๊าซร้อนที่สามารถนำไปเป็นพลังงานผลิตไฟฟ้าได้

การแปลงขยะให้เป็นพลังงานจึงเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบันซึ่งแบ่งเป็น 4 รูปแบบหลัก คือ

- การใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งโดยตรง
- การใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งโดยผ่านการแปรสภาพ (Refuse Derived Fuel : RDF)
- การเปลี่ยนขยะให้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซ ตามกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gassification)
- การเปลี่ยนขยะให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis)

เชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) เป็นรูปแบบของการจัดการขยะเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงวิธีหนึ่ง โดยการปรับปรุงและแปลงสภาพของขยะมูลฝอยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน(Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่น เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน และมีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ ทั้งนี้

ขั้นตอนและรูปแบบเพื่อเปลี่ยนสภาพจากขยะมาเป็นเชื้อเพลิงนั้นก็มีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับสภาพของขยะและสภาพของเชื้อเพลิงขยะที่ต้องการ แต่ขั้นตอนโดยทั่วไปจะประกอบด้วยการคัดแยก การลดขนาด การลดความชื้น เป็นต้น

เชื้อเพลิงขยะสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน ASTM E-75 ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการจัดการที่ใช้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงขยะแต่ละชนิดและระบบการเผาไหม้

ชนิด	กระบวนการการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF1 : MSW (Municipal Solid Waste)	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกมาด้วยมือ รวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Stoker
RDF2 : Coarse RDF	บดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF3 : Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออก เช่น โลหะ แก้ว และอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF4 : Dust RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	Fluidized Bed Combustor, Pulverized Fuel Combustor
RDF5 : Densified RDF	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่ง โดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600kg/m^3	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF6 : RDF Slurry	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของ Slurry	Slurry Swirl Burner
RDF7 : RDF Syn-gas	ขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ มาผ่านกระบวนการGasification เพื่อผลิต Syn-gas ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซได้	Integrated Gasification-Combined Cycle (IGCC), Burner

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), 2558.

การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของการผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือความร้อน โดยที่อาจจะมีการนำไปใช้ประโยชน์ในสถานที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะเอง หรือขนส่งไปใช้ในที่อื่นได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เผาร่วมกับถ่านหิน (Co-firing) เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหินลงในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยมีรูปแบบเตาเผาที่ใช้เปลี่ยนเชื้อเพลิงขยะให้เป็นพลังงานความร้อน ประกอบด้วย เตาเผาแบบตะกรับ (Stoker) เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustor) หรือเตาเผาแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) หรือไพโรไลซิส (Pyrolysis)

ในประเทศไทยในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เช่น บริษัทปูนซีเมนต์ไทย บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวงและบริษัทปูนซีเมนต์ ทีพีไอ ได้มีการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในกระบวนการผลิตบ้างแล้ว แต่เป็นเพียงการนำเชื้อเพลิงขยะประเภท Fluff RDF : RDF3 ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาไหม้เพื่อให้เกิดความร้อนในการเผาหรือต้มน้ำให้กลายเป็นไอและนำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า และ ใช้ในการเผาผงปูนเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ส่วนเชื้อเพลิงขยะประเภท Dust RDF : RDF4 ที่มีลักษณะเป็นฝุ่นได้นำไปผสมลงในเตาเผาปูนเพื่อผสมเป็นผงปูนซีเมนต์ สำหรับ Densified RDF : RDF5 ยังไม่มีการผลิตในประเทศไทย แต่คาดว่าจะมีการตั้งโรงงานเพื่อผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิง หรือ Densified RDF ในอีกไม่ช้านี้

หลักการทำ RDF5 เริ่มจากการคัดแยกขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (โลหะ แก้ว เศษหิน) ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิลออกจากขยะรวม จากนั้นจึงป้อนขยะมูลฝอยไปเข้าเครื่องย่อยเพื่อลดขนาดและป้อนเข้าเตาอบเพื่อลดความชื้นของมูลฝอย โดยการใช้ความร้อนจากไอน้ำหรือลมร้อนเพื่ออบขยะให้แห้งซึ่งจะทำให้น้ำหนักลดลงเกือบ 50% (ความชื้นเหลือไม่เกิน 15%) และสุดท้ายจะส่งไปเข้าเครื่องอัดเม็ด (Pellet) เพื่อทำให้ได้เชื้อเพลิงขยะอัดเม็ดที่มีขนาดและความหนาแน่นเหมาะสมต่อการขนส่งไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในบางกรณีจะเติมหินปูน(CaO) เข้าไปกับมูลฝอยระหว่างการอัดเป็นเม็ดเพื่อควบคุมและลดปริมาณก๊าซพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ข้อดีของ RDF5 คือ ใช้พื้นที่ในการเก็บน้อย การขนส่งง่าย และลดต้นทุนในการขนส่ง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บัณฑิต (2552) ได้ออกแบบ และสร้างเครื่องหั่นย่อยขนาดเล็ก และได้รับอนุสิทธิบัตรเลขที่ 5241 โดยเครื่องมีขนาดความกว้าง 0.87 เมตร ยาว 1.14 เมตร และสูง 1.11 เมตร มีน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 98 กิโลกรัม ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 แรงม้า เป็นต้นกำลัง ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องพบว่า เครื่องหั่นย่อยขนาดเล็กนี้มีความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ 857 รอบต่อนาที สามารถหั่นย่อยกิ่งไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ได้ 252 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และย่อยใบไม้แห้งได้ 48.52 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ต้นทุนในการหั่นย่อยกิ่งไม้เท่ากับ 0.03 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อไม่จ้างแรงงาน และ 0.23 บาทต่อ

กิโลกรัม เมื่อจ้างแรงงานวันละ 200 บาท ส่วนต้นทุนในการหั่นย่อยใบไม้แห้งมีต้นทุน 0.16 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อไม่จ้างแรงงาน และ 1.19 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อจ้างแรงงานวันละ 200 บาท

บัณฑิต (2552) ได้ทำการออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องย่อยเปลือกทุเรียน โดยเครื่องมีขนาดความกว้าง 1.02 เมตร ยาว 2.24 เมตร และสูง 1.51 เมตร ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า จำนวน 2 ตัว เป็นต้นกำลัง ผลการทดสอบ พบว่า เครื่องย่อยเปลือกทุเรียนมีความเร็วรอบที่เหมาะสมเท่ากับ 120-120 รอบต่อนาที ความสามารถในการทำงานจริง 4,898 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เปลือกทุเรียนมีปริมาตรลดลง 49.65 เปอร์เซ็นต์ และมีต้นทุนในการย่อยเปลือกทุเรียนท่ากับ 113 บาทต่อตัน

บัณฑิต (2554) ได้ทำการพัฒนาเครื่องหั่นย่อยขนาดเล็กที่สามารถหั่นย่อยวัสดุเส้นใยยาว และได้รับอนุสิทธิบัตรเลขที่ 7271 โดยเครื่องมีขนาดความกว้าง 0.68 เมตร ยาว 1.03 เมตร และสูง 1.14 เมตร มีน้ำหนักรวมทั้งสิ้น 101 กิโลกรัม ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 แรงม้า เป็นต้นกำลัง ผลการทดสอบการทำงาน พบว่า เครื่องมีความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ 863 รอบต่อนาที สามารถหั่นย่อยใบสนได้ 94.74 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ต้นทุนในการหั่นย่อยใบสนเท่ากับ 0.11 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อไม่จ้างแรงงาน และ 0.38 บาทต่อกิโลกรัม เมื่อจ้างแรงงานวันละ 200 บาท

บัณฑิต (2556) ได้ทำการออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อ โดยเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อ มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นเครื่องย่อยหยาบ และเครื่องย่อยละเอียด โดยเครื่องย่อยหยาบวางอยู่บนเครื่องย่อยละเอียด โดยเครื่องย่อยหยาบ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 5 แรงม้า จำนวน 2 ตัว เป็นต้นกำลัง มีชุดความคุมการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้าให้หมุนกลับทิศทางได้ โดยมีเพลาของหัวสับ 2 เพลา จากการทดสอบ พบว่า เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อมีความสามารถในการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 113.22 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีต้นทุนในการย่อยเท่ากับ 2.19 บาทต่อกิโลกรัม

ศรีอรุณ(2556) ได้ทำการศึกษาการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ณ แหล่งกำเนิด โดยเทคโนโลยีทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ พบว่า การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อกำจัดโดยการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ มีต้นทุนต่ำว่าการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อกำจัดโดยการเผา และการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อกำจัดโดยการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำว่าการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อกำจัดโดยการเผา

บัณฑิต(2559) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อ โดยมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นเครื่องย่อยหยาบ และเครื่องย่อยละเอียด โดยเครื่องย่อยหยาบวางอยู่บนเครื่องย่อยละเอียด โดยเครื่องย่อยหยาบ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 10 แรงม้า จำนวน 2 ตัว เป็นต้นกำลัง มีชุดความคุมการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้าให้หมุนกลับทิศทางได้แบบอัตโนมัติ มีเพลาของหัวสับ 2 เพลา โดยเพลาใช้ความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาทีเท่ากันทั้งสองเพลา ส่วนเครื่องย่อยละเอียด ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 10 แรงม้า จำนวน 1 ตัว เป็นต้นกำลัง มีเพลาของหัวสับ 1 เพลา โดยเพลาของหัวสับมีความเร็วรอบ 840 รอบต่อนาที จากการทดสอบการย่อยตัวอย่างจำลอง พบว่าการกระจายตัวของชนิดวัสดุของตัวอย่างจำลองเป็นปฏิภาคผกผันกับความสามารถในการย่อยขนาดเฉพาะของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยเล็กกว่าเมื่อ

ตัวอย่างจำลองมีสัดส่วนของผ้าอ้อมสำเร็จรูปในปริมาณที่สูงกว่าและการกระจายตัวของชนิดวัสดุของตัวอย่างจำลองเป็นปฏิภาคตามกับค่าพลังงานจำเพาะและค่าดัชนีงานในกรณีที่ตัวอย่างจำลองมีการกระจายตัวของชนิดวัสดุต่ำค่าพลังงานจำเพาะและค่าดัชนีงานที่ใช้ในการย่อยผ้าอ้อมสำเร็จรูปจะมีค่าต่ำกว่าผ้าขาวบาง และจากการทดสอบการทำงานจริง พบว่าเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อมีความสามารถในการทำงานจริงเฉลี่ยเท่ากับ 28.16 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีต้นทุนในการย่อยเท่ากับ 9.85 บาทต่อกิโลกรัม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก
3. นาฬิกาจับเวลา
4. เครื่องวัดความเร็วรอบ (Digital tachometer)
5. ตะแกรงสำหรับคัดขนาด
6. ตู้อบความร้อน

วิธีการ

การทดสอบการทำงานของเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้งแบ่งการทดลองเป็น 3 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 ทำการทดสอบสมบัติของตัวอย่างจำลอง และทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อดูภาพรวมของเครื่องและเป็นข้อมูลในวางแผนการทดลองในช่วงที่ 2 สำหรับตัวอย่างจำลองที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นประมาณ 10 กิโลกรัม

ช่วงที่ 2 การทดลองเพื่อหาความเร็วรอบที่เหมาะสมของเครื่อง ในการทดลองนี้ ใช้ตัวอย่างในการทดสอบโดยการจำลองวัสดุเพื่อกำจัดความแปรปรวน สำหรับตัวอย่างจำลองใช้สัดส่วนดังตารางที่ 5 เนื่องจาก บัณฑิต(2559) พบว่า ตัวอย่างจำลองที่มีสัดส่วนดังตารางที่ 4 เป็นสัดส่วนที่ ทำการย่อยได้ยากที่สุด

ตารางที่ 5 สัดส่วนของตัวอย่างจำลองที่ใช้ในการทดสอบต่อถุง(ถุงละ 3000 กรัม)

ชนิดของมูลฝอยติดเชื้อ	ปริมาณ (กรัม)	ปริมาณ(%) โดยน้ำหนัก
ผ้าขาวบาง	900	30.00
ผ้าอ้อมสำเร็จรูป จำนวน 3 ชิ้น เติมน้ำ 1515 กรัม(1515 ซีซี)	1800	60.00
ผ้าอนามัย จำนวน 1 ชิ้น เติมน้ำ 52 กรัม(52 ซีซี)	60	2.00
กระดาษชำระยาว 4.44 เมตร	12	0.40
สายยางพีวีซีอ่อนใส ขนาด3/16" ยาว 1.40 เมตร จำนวน 5 เส้น	175	5.83
ผ้าดิบ	32	1.07
ถุงมือยาง จำนวน 2 ข้าง	11	0.37
ท่อPVC ขนาด 0.5 นิ้ว ยาว 7.5 เซนติเมตร	10	0.33
รวม	**3000**	**100.0**

ในการทดลองช่วงที่ 2 นี้ ตัวแปรต้นเป็นความเร็วรอบของหัวสับ ตัวแปรตามที่ใช้เป็นตัวชี้วัดคือความสามารถในการทำงาน ขนาดจำเพาะภายหลังการย่อย และค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ สำหรับตัวแปรควบคุมคือสัดส่วนของตัวอย่างจำลอง ใช้ความเร็วรอบของหัวสับ 4 ระดับ คือ 405 540 675 และ 810 รอบต่อ ในการย่อยแต่ละซ้ำใช้ตัวอย่างจำลอง 2 ถุงๆละ 3 กิโลกรัม ในแต่ละระดับจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ คิดเป็นตัวอย่างจำลองที่ต้องใช้ทั้งสิ้น 24 ถุง คิดเป็นจำนวนตัวอย่างจำลองในช่วงที่ 2 ทั้งสิ้น 72 กิโลกรัม ซึ่งมีวิธีการทดสอบ โดยสังเขปดังนี้

1. ทำการเตรียมตัวอย่างจำลองตามสัดส่วน จำนวน 24 ถุงๆละ 3 กิโลกรัม
2. เดินเครื่องย่อยวัสดุติดเชื้อแนวตั้ง โดยใช้ความเร็วรอบ 405 รอบต่อนาที
3. นำตัวอย่างจำลองจำนวน 2 ถุง ป้อนเข้าทางช่องป้อน พร้อมจับเวลา
4. ทำการย่อยจนกระทั่งตัวอย่างจำลองออกจากเครื่องย่อยเกือบหมด(สังเกตุจากเสียงภายในเครื่องเงียบ) หยุดจับเวลา นำตัวอย่างจำลองที่อยู่ภายในถังเก็บไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาความสามารถในการทำงาน
5. อ่านค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องวัดพลังไฟฟ้าเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ
6. นำตัวอย่างจำลองที่ย่อยแล้วไปหาขนาดและการกระจายของขนาด
7. บันทึกผลการทดสอบเพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผล

8. ดำเนินการทดสอบเช่นเดียวกันกับข้อ 2 ถึง7 แต่เปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องเป็น 540 675 และ 810 รอบต่อนาที

ช่วงที่ 3 การทดลองการทำงานจริง ใช้มูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลเชียงใหม่ราม ที่ผ่านการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ เป็นวัสดุทดลอง จำนวน 54.2 กิโลกรัม เพื่อนำมาทดลองการทำงานจริง เพื่อประเมินผลการความสามารถในการทำงานจริง ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะและการติดขัดขณะทำงานเพื่อนำไปวิเคราะห์ต้นทุนในการย่อย ซึ่งมีวิธีการทดสอบ โดยสังเขปดังนี้

1. เดินเครื่องย่อยวัสดุติดเชื้อแนวตั้ง โดยใช้ความเร็วรอบที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดสอบที่ผ่านมา

2. นำมูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำมาชั่งน้ำหนัก แล้วทำการป้อนเข้าทางช่องป้อน

3. นาฬิกาจับเวลาเครื่องที่ 1 จับเวลาการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จการทดสอบ เพื่อจับเวลาการทำงานของการย่อยและการเก็บมูลฝอยติดเชื้อใส่ถุงเพื่อนำไปทิ้ง

4. นาฬิกาจับเวลาเครื่องที่ 2 จับเวลาการทำงานเฉพาะตอนที่เครื่องย่อยทำงานเท่านั้น เพื่อนำไปหาความสามารถในการทำงานสำหรับการย่อยมูลฝอยติดเชื้อ และหาค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

5. บันทึกผลการทดสอบเพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ทำโดยการประเมินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการย่อยมูลฝอยติดเชื้อ โดยมีเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินผล มีดังต่อไปนี้

- ใช้วิธีเส้นตรงในการคิดค่าเสื่อมราคา
- ไม่คิดค่าโรงเรือน ค่าภาษี และค่าประกัน
- ไม่คิดค่าใช้จ่ายปลีกย่อยอื่น ๆ
- ใช้ค่าใช้จ่ายในปี 2558 เป็นฐานในการคำนวณ

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ

1. ราคาเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อ	500,000	บาท
2. อายุการใช้งาน	10	ปี
3. ราคาซาก	50,000	บาท
4. อัตราดอกเบี้ย	7.5	% ต่อปี
5. ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา	75.00	บาทต่อชั่วโมง
(คิดจาก 1.5% ของราคาแรกซื้อต่อ 100 ชั่วโมงทำงาน)		

6. อัตราค่าไฟฟ้า	4.00	บาทต่อหน่วย
7. อัตราการใช้ไฟฟ้า	2.901	กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง
8. ค่าไฟฟ้า	11.604	บาทต่อชั่วโมง
9. เครื่องย่อยวัสดุติดเชื้อทำงานวันละ	6	ชั่วโมง
10. ค่าจ้างแรงงาน	300	บาทต่อวันต่อคน
11. ใช้แรงงานทั้งสิ้น	2	คน
12. ความสามารถในการทำงานจริง	52.27	กิโลกรัมต่อชั่วโมง

หมายเหตุ เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อคิดการทำงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน ส่วนแรงงานคิดค่าใช้จ่ายเต็มวัน หรือ 8 ชั่วโมงต่อวัน เนื่องจากต้องมีการจัดเตรียมวัสดุในการย่อย ขณะย่อยก็ต้องนำวัสดุออกจากเครื่อง และภายหลังการย่อยก็ต้องจัดเก็บวัสดุที่ย่อยแล้ว พร้อมยังต้องทำความสะอาดเครื่อง

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง

ในการวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้งดังแสดงในภาพที่ 1 ถึง ภาพที่ 4 โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง มีดังนี้

1. เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง มีขนาดความกว้าง 1.20 เมตร ยาว 1.20 เมตร และสูง 2.05 เมตร

2. เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อตั้ง มีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ หัวสับซึ่งอยู่ภายในห้องย่อย ห้องย่อย และถังเก็บวัสดุหลังการย่อย

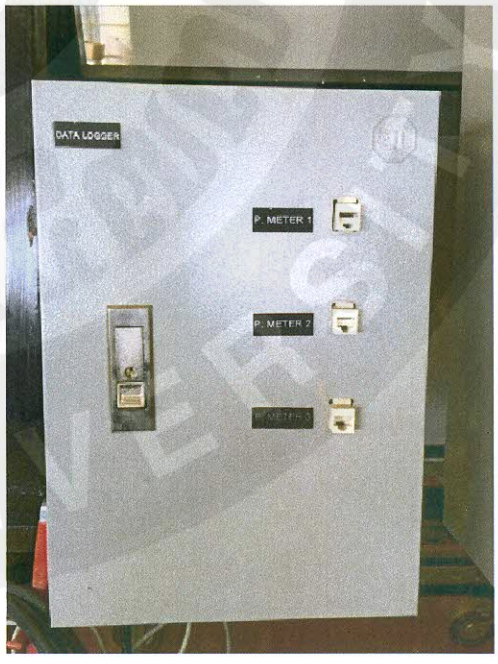
3. ต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 10 แรงม้า เป็นต้นกำลัง จำนวน 1 ตัว มีชุดความคุมการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วรอบได้

เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้งที่ได้ทำการออกแบบนี้ได้ดำเนินการยื่นคำขอรับสิทธิบัตร เลขที่คำขอ 1501002629 เมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2558

ภาพที่ 1 เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้งต้นแบบ ด้านหน้า

ภาพที่ 2 เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้งต้นแบบ ด้านหลัง

ภาพที่ 3 ชุดควบคุมมอเตอร์



ภาพที่ 4 ชุดเก็บข้อมูลของกำลังงาน และพลังงานไฟฟ้า

ผลการทดสอบหาค่าความชื้นของตัวอย่างจำลอง

ค่าความชื้นของตัวอย่างจำลองที่หาได้แต่ละชนิดแสดงในตารางที่ 6 จากค่าความชื้นของตัวอย่างจำลองแต่ละชนิด สามารถคำนวณหาค่าความชื้นรวมของตัวอย่างจำลองในกรณีที่ผ้าอ้อมสำเร็จรูปและผ้าอนามัยยังไม่ได้ซึมซับของเหลว ได้เท่ากับ 2.87%db

การทดสอบนี้ได้ทำการเติมน้ำในผ้าอ้อมสำเร็จรูปและผ้าอนามัย ตามดังตารางที่ 4เพื่อจำลองกรณีที่ผ้าอ้อมสำเร็จรูปและผ้าอนามัยผ่านการใช้งานและได้ซึมซับของเหลว จากการคำนวณหาค่าความชื้นรวมของตัวอย่างจำลองในกรณีที่ผ้าอ้อมสำเร็จรูปและผ้าอนามัยผ่านการใช้งานและได้ซึมซับของเหลว ได้เท่ากับ 117.5%db

ตารางที่ 6 ค่าความชื้นของตัวอย่างจำลองแต่ละชนิด

ชนิดของตัวอย่างจำลอง	(%db)
ผ้าขาวบาง	2.753±0.192
ผ้าอ้อมสำเร็จรูป	10.193±0.891
ผ้าอนามัย	2.328±0.192
กระดาษชำระ	4.661±0.417
สายยางพีวีซีอ่อนใส	0.572±0.179
ผ้าดิบ	4.145±0.279
ถุงมือยาง	0.177±0.034
ท่อPVC	0.042±0.014

ผลการทดสอบหาปริมาตรและความหนาแน่นก่อนการย่อยของตัวอย่าง

ตัวอย่างจำลองมีสัดส่วนตามตารางที่ 4 เมื่อนำมาทดสอบหาปริมาตรและความหนาแน่นก่อนการย่อยของตัวอย่างจำลอง พบว่า ตัวอย่างจำลองจำนวน 3 กิโลกรัม สามารถหาค่าปริมาตรได้เท่ากับ 0.036154 ลูกบาศก์เมตร และคำนวณหาค่าความหนาแน่นได้เท่ากับ 82.98 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ผลการทดสอบเบื้องต้น

ผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่า เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง เมื่อติดตั้งตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ที่ช่องทางออก และใช้ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที เมื่อทำการทดสอบย่อยตัวอย่างจำลอง ตัวอย่างจำลองที่ถูกย่อยออกมาพันกับตะแกรงเกิดการอุดตัน ทำให้วัสดุติดในห้องย่อย ไม่

สามารถเข้าสู่ถังเก็บวัสดุหลังการย่อยได้ จึงนำตะแกรงออกและทำการย่อย ส่งผลให้ตัวอย่างจำลองที่ผ่านการย่อย สามารถถ่ายเทเข้าสู่ถังเก็บวัสดุหลังการย่อยได้เป็นอย่างดี

ผลการทดสอบหาค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมต่อการย่อยมูลฝอยติดเชื้อ

ในการหาค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมต่อการย่อยมูลฝอยติดเชื้อ ตัวแปรต้นเป็นความเร็วรอบของหัวสับ ตัวแปรตามที่ใช้เป็นตัวชี้วัดคือความสามารถในการทำงาน ขนาดจำเพาะภายหลังการย่อย ค่าความสม่ำเสมอ และค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ สำหรับตัวแปรควบคุมคือสัดส่วนของตัวอย่างจำลอง ใช้ความเร็วรอบของหัวสับ 4 ระดับ คือ 405 540 675 และ 810 รอบต่อ

ผลการทดสอบความสามารถในการทำงานของเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง ดังแสดงในตารางที่ 7 และภาพที่ 5 พบว่า ความสามารถในการทำงานของเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดสอบดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อหัวสับมีความเร็วรอบสูงขึ้นความสามารถในการทำงานก็จะมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วยโดยที่ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาทีเป็นความเร็วรอบที่มีความสามารถในการทำงานสูงสุดเท่ากับ 352.38 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความสามารถในการย่อยแปรผันตามความเร็วรอบ

ผลการทดสอบหาขนาดเฉพาะและดัชนีความสม่ำเสมอของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย ดังแสดงในตารางที่ 7 และภาพที่ 6 พบว่า ขนาดเฉพาะมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ขนาดเฉพาะที่ความเร็วรอบ 810 และ 675 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดสอบดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นขนาดเฉพาะมีแนวโน้มเล็กลงโดยขนาดเฉพาะของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยที่ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที มีค่าน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 78.15 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขนาดเฉพาะแปรผกผันกับความเร็วรอบ และพบว่าดัชนีความสม่ำเสมอมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยดัชนีความสม่ำเสมอของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยที่ใช้ที่ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที มีค่าความสม่ำเสมอมากที่สุดเฉลี่ย 2.167 จากผลการทดสอบดังกล่าวจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบสูงขึ้นค่าดัชนีความสม่ำเสมอมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าดัชนีความสม่ำเสมอแปรผันตามความเร็วรอบ

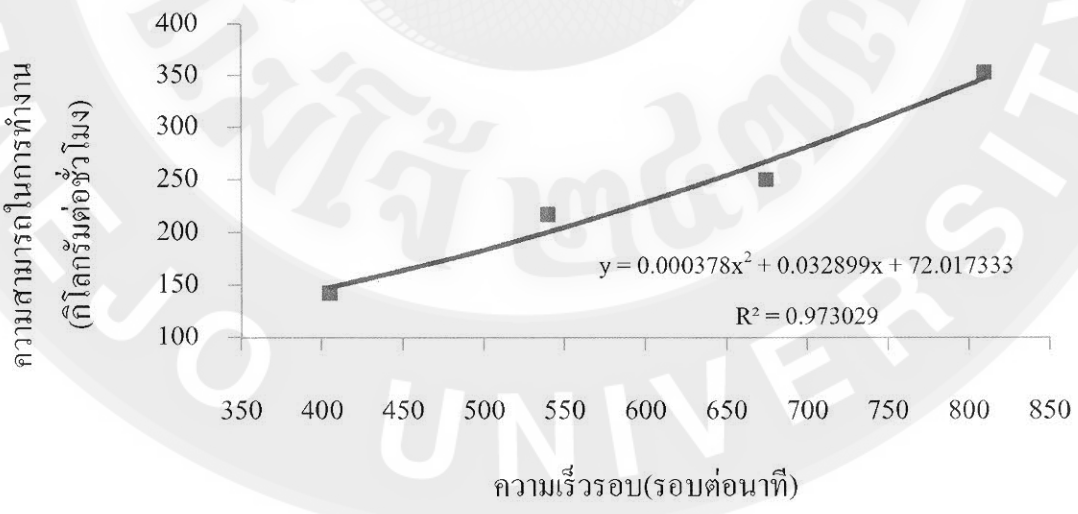
จากผลการทดสอบหาค่าขนาดเฉพาะ จะเห็นได้ว่า ขนาดของตัวอย่างจำลองนี้สามารถนำไปใช้เป็น RDF2 และสามารถนำไปทำ RDF5 ได้ แต่ไม่สามารถนำไปเป็น RDF3 ได้เนื่องจากขนาดภายหลังการย่อยมีขนาดใหญ่เกินมาตรฐาน

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความสามารถในการทำงาน ขนาดเฉพาะและค่าดัชนีความสม่ำเสมอของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย

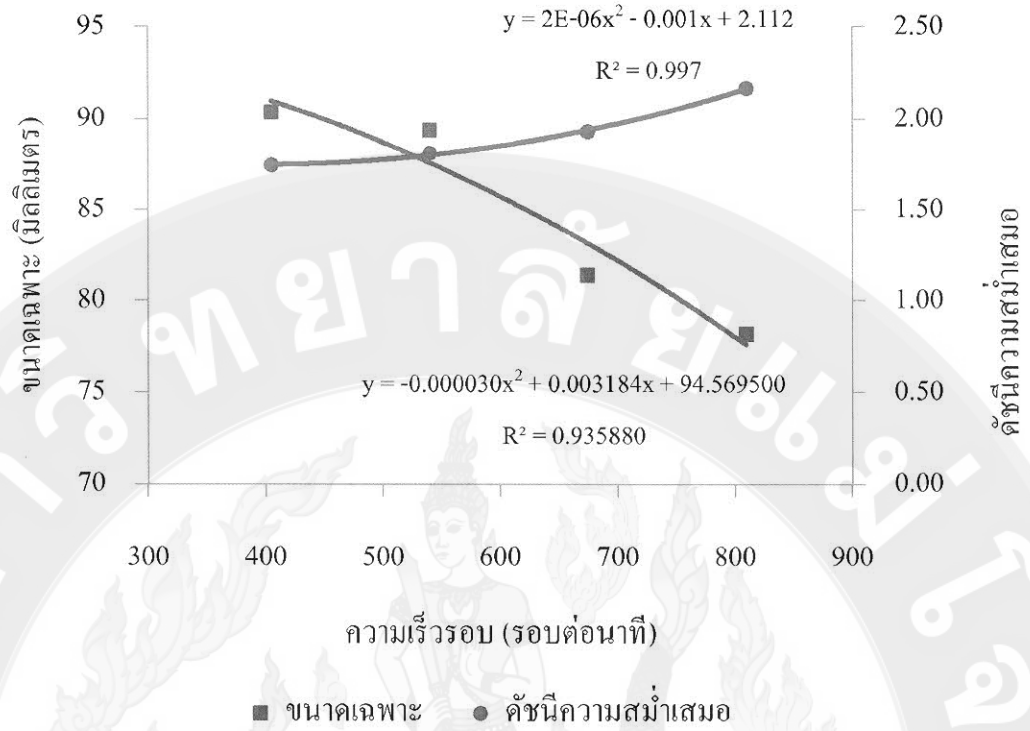
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความสามารถในการทำงาน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ขนาดเฉพาะของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย (มิลลิเมตร)	ค่าดัชนีความสม่ำเสมอของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย
810	352.38c	78.15a	2.167d
675	249.88b	81.35a	1.928c
540	216.75ab	89.35b	1.811b
405	141.82a	90.37b	1.745a
เฉลี่ย	240.21	84.80	1.913
C.V.(%)	35.96	7.065	8.893
F-test	*	*	*
$LSD_{0.05}$	75.11	6.414	0.064

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

* = มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความสามารถในการทำงาน



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กับ ขนาดเฉพาะ
และดัชนีความสม่ำเสมอของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย

ผลการทดสอบหาขนาดของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยที่ผ่านตะแกรง 80% พลังงานจำเพาะ และดัชนีงาน

ผลการทดสอบหาขนาดของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยที่ผ่านตะแกรง 80% ดังแสดงในตารางที่ 8 และ ภาพที่ 7 พบว่า ขนาดของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยที่ผ่านตะแกรง 80% มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ขนาดของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยที่ผ่านตะแกรง 80% ที่ความเร็วรอบ 810 และ 675 รอบต่อนาที ไม่แตกต่างกันทางสถิติ จากผลการทดสอบดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นขนาดเฉพาะมีแนวโน้มเล็กลงโดยขนาดเฉพาะของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยที่ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที มีค่าน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 78.15 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขนาดของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยที่ผ่านตะแกรง 80% แปรผกผันกับความเร็วรอบ

ผลการทดสอบเพื่อหาค่าพลังงานจำเพาะ และค่าดัชนีงานของตัวอย่างจำลองที่ใช้ความเร็วรอบต่างกันหลังการย่อย โดยขนาดของตัวอย่างจำลองก่อนย่อยใช้วิธีการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมเทียบเท่า โดยหาจากการหาปริมาตรของตัวอย่างจำลองก่อนการย่อยแล้วนำมาคำนวณหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมโดยตัวอย่างจำลองที่มีน้ำหนัก 3 กิโลกรัม สามารถหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมเทียบเท่าได้เท่ากับ 358.45 มิลลิเมตร

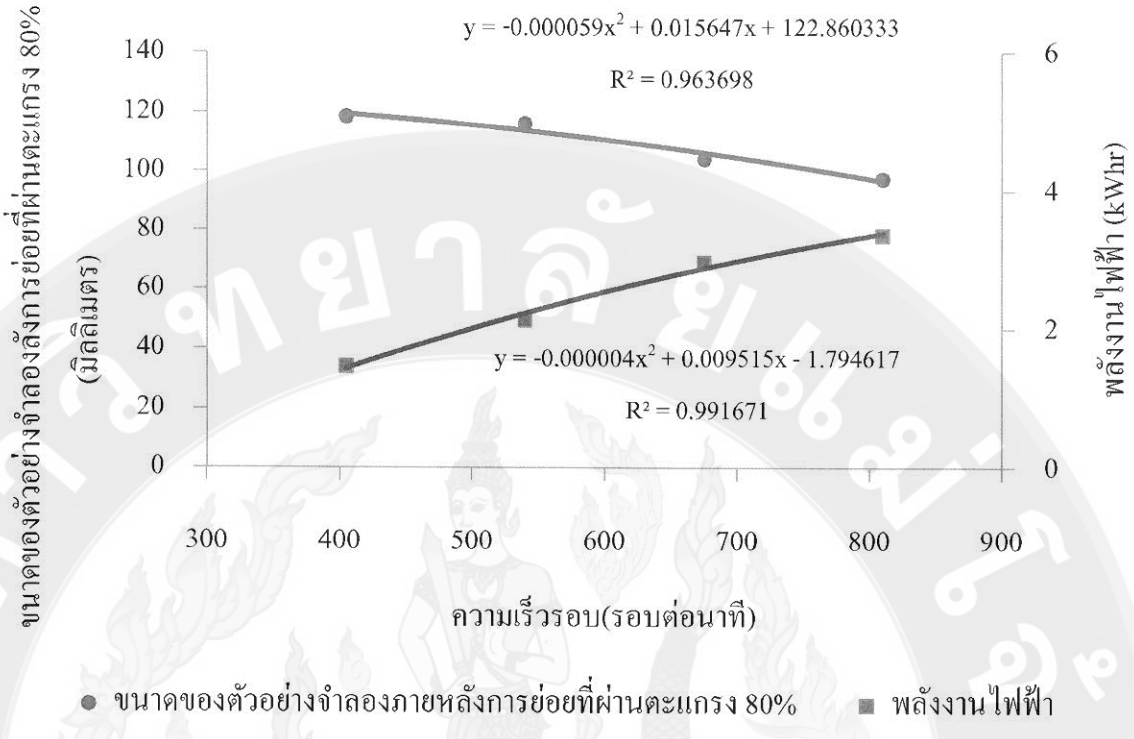
ผลการทดสอบเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าพลังงานจำเพาะ และค่าดัชนีงาน ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 8 พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้า มีความแตกต่างทางสถิติยอย่างมีนัยสำคัญ ค่าพลังงานมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น โดยความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที มีค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเฉลี่ย 3.346 kWhr ส่วนค่าพลังงานจำเพาะ และค่าดัชนีงาน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าพลังงานจำเพาะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.697 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน และค่าดัชนีงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 780.621 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน จากผลการทดสอบดังกล่าวจะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ค่าพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนค่าพลังงานจำเพาะและค่าดัชนีงานมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น แม้ว่าค่าพลังงานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแต่ความสามารถในการทำงานมีอัตราในการเพิ่มขึ้นสูงกว่าจึงเป็นสาเหตุให้ค่าพลังงานจำเพาะและค่าดัชนีงานมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าแปรผันตามความเร็วรอบ ส่วนค่าพลังงานจำเพาะและค่าดัชนีงานแปรผกผันกับความเร็วรอบ

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบหาขนาดของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยที่ผ่านตะแกรง 80% ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าพลังงานจำเพาะและค่าดัชนีงาน

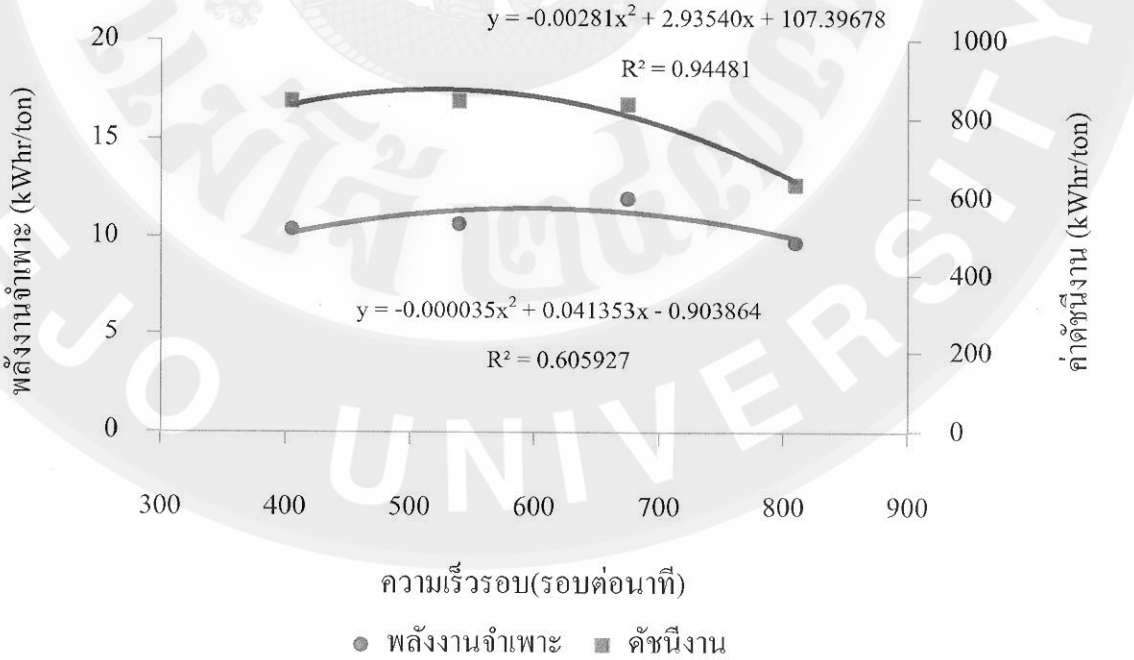
ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ขนาดของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยที่ผ่านตะแกรง 80% (มิลลิเมตร)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	พลังงานจำเพาะ (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน)	ดัชนีงาน (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน)
810	97.34a	3.346c	9.723	633.48
675	104.14a	2.956bc	11.973	838.18
540	116.28b	2.126ab	10.673	845.23
405	118.72b	1.455a	10.413	845.25
เฉลี่ย	109.11	2.471	10.696	790.53
C.V.(%)	8.965	35.91	31.07	33.22
F-test	*	*	ns	ns
$LSD_{0.05}$	8.718	1.006	-	-

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

* = มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับขนาดของตัวอย่างจำลอง
ภายหลังการย่อยที่ผ่านตะแกรง 80%และพลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับพลังงานจำเพาะและดัชนีงาน

ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย

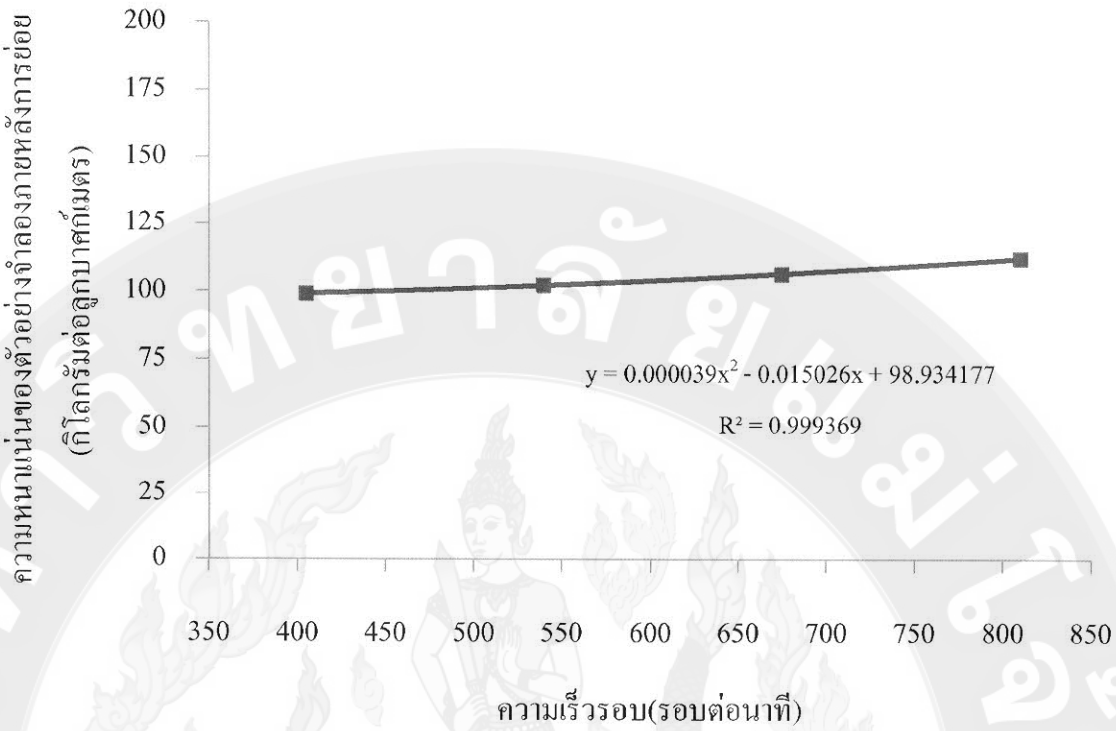
ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย สามารถดังแสดงในตารางที่ 9 และ ภาพที่ 9 พบว่า ความหนาแน่นของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อใช้ความเร็วรอบสูงขึ้น โดยความหนาแน่นของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 112.12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบหาค่าขนาดเฉพาะที่ขนาดเฉพาะมีขนาดเล็กลงเมื่อใช้ความเร็วรอบสูงขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความหนาแน่นของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยแปรผันตามความเร็วรอบ

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ความหนาแน่นของ ตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
810	112.12
675	106.20
540	102.23
405	99.12
เฉลี่ย	104.92
C.V.(%)	8.181
F-test	ns
$LSD_{0.05}$	-

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสดมภ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

* = มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความหนาแน่นของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อย

ผลการทดสอบการทำงานจริงของเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง

จากการทดสอบที่ผ่านมาในพบว่า ความเร็วรอบที่ 810 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสม เนื่องจากที่ความเร็วรอบนี้ทำให้เครื่องย่อยมูลฝอยแนวตั้งมีความสามารถในการทำงานสูงสุด ขนาดเฉพาะเล็กที่สุด ดัชนีความสม่ำเสมอสูงสุด ค่าพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด และดัชนีงานต่ำที่สุด ดังนั้นในการทดสอบการทำงานจริงจึงเลือกใช้ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที โดยนำมูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านกระบวนการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำจากโรงพยาบาลเชียงใหม่ราม มาใช้ในการทดสอบทั้งสิ้น 54.2 กิโลกรัม ผลการทดสอบการทำงานจริง พบว่า เครื่องย่อยมูลฝอยแนวตั้งมีความสามารถในการทำงานจริงเมื่อคิดเฉพาะช่วงเวลาในการย่อย เท่ากับ 294.83 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีความสามารถในการทำงานรวม (การย่อยและการเก็บทำความสะอาด) เท่ากับ 52.27กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีค่าพลังงานจำเพาะ 9.839 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าเครื่องย่อยมูลฝอยแนวตั้งงนี้ มีต้นทุนในการย่อยมูลฝอยติดเชื้อเท่ากับ 3.65 บาทต่อกิโลกรัม โดยใช้งานเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อวันละ 6 ชั่วโมง

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อที่ได้ทำการพัฒนา มีมิติภายนอก (กว้าง x ยาว x สูง) เท่ากับ 1.20x1.20x 2.05 เมตร มีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ หัวสับซึ่งอยู่ภายในห้องย่อย ห้องย่อย และถังเก็บวัสดุหลังการย่อย ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 10 แรงม้า เป็นต้นกำลัง จำนวน 1 ตัว มีชุดความคุมการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถปรับความเร็วรอบได้

2. ผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่า เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง เมื่อติดตั้งตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ที่ช่องทางออก และใช้ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที เมื่อทำการทดสอบย่อยตัวอย่างจำลอง ตัวอย่างจำลองที่ถูกย่อยออกมาพันกับตะแกรงเกิดการอุดตัน ทำให้วัสดุติดในห้องย่อย ไม่สามารถเข้าสู่ถังเก็บวัสดุหลังการย่อยได้ จึงนำตะแกรงออกและทำการย่อย ส่งผลให้ตัวอย่างจำลองที่ผ่านการย่อย สามารถถ่ายเทเข้าสู่ถังเก็บวัสดุหลังการย่อยได้เป็นอย่างดี

3. ผลการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสม พบว่า ที่ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที เป็นความเร็วรอบที่เหมาะสม เนื่องจากมีความสามารถในการทำงานสูงสุดเท่ากับ 352.38 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขนาดเฉพาะของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยเล็กที่สุดเท่ากับ 78.15 มิลลิเมตรและดัชนีความสม่ำสมอของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยสูงสุดเท่ากับ 2.167 ค่าพลังงานจำเพาะเท่ากับ 9.723 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน ค่าดัชนีงานเท่ากับ 633.481 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน และความหนาแน่นของตัวอย่างจำลองภายหลังการย่อยสูงสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 112.12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4. การทดสอบในการทำงานจริงโดยใช้ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาทีพบว่า เครื่องย่อยมูลฝอยแนวตั้งมีความสามารถในการทำงานจริงเฉพาะการย่อยเท่ากับ 294.83 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ความสามารถในการทำงานจริงเมื่อรวมการย่อยและการเก็บมูลฝอยติดเชื้อ เท่ากับ 52.27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีค่าพลังงานจำเพาะ 9.839 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน

5. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ต้นทุนในการย่อยเท่ากับ 3.65 บาทต่อกิโลกรัม โดยใช้งานเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อวันละ 6 ชั่วโมง

ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการทำงานจริงของเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อ มีข้อเสนอแนะ 2 ประเด็นคือ ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำผลการวิจัยไปใช้ในเชิงพาณิชย์และประเด็นในการวิจัยใหม่ดังนี้

การนำผลการวิจัยไปใช้ในเชิงพาณิชย์

1. ในการนำมูลฝอยติดเชื้อไม่ควรมีน้ำหนักเกิน ถุงละ 5 กิโลกรัม เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานจะทำการยกมูลฝอยติดเชื้อได้ลำบากในทำงานและเครื่องย่อยมูลฝอยแนวตั้งจะรับภาระมากเกินไปซึ่งอาจทำให้

เครื่องหยุดการทำงานได้ ดังนั้นในการนำมูลฝอยติดเชื้อไปทำลายเชื้อด้วยไอน้ำควรจะทำการแยกถุงแต่ละถุงออกจากกัน เพราะเมื่อถุงที่บรรจุมูลฝอยติดเชื้อถูกความร้อนและไอน้ำจะทำให้มูลฝอยติดเชื้อหลายๆถุงยึดรวมเป็นก้อนเดียวกัน ซึ่งจะมีน้ำหนักมาก ทำให้เสียเวลาในการแยกถุงก่อนนำไปย่อย

2. ควรทำระบบรองรับมูลฝอยที่ผ่านการย่อยแล้วให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะต้องหยุดเครื่องเพื่อเก็บมูลฝอยที่ย่อยแล้วจากถังรองรับบ่อย จึงทำให้ความสามารถในการทำงานลดลง

3. มูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านกระบวนการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำแล้ว ควรทำการย่อยภายในวันนั้น ไม่ควรปล่อยไว้หลายวัน เพราะจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่าได้

4. ในการนำมูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อที่ทำการย่อยแล้ว ไปทิ้งควรประสานงานทำความเข้าใจกับชุมชนและหน่วยงานที่ดูแลบ่อขยะในพื้นที่ของชุมชนนั้นๆ

ประเด็นวิจัยใหม่

1. ศึกษาการทำเชื้อเพลิงขยะชนิด RDF5 จากมูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อที่ทำการย่อยแล้ว เพื่อแปลงขยะให้เป็นพลังงาน

2. ศึกษาการอัดก้อน จากมูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อที่ทำการย่อยแล้ว เพื่อนำไปฝังกลบรวมกับมูลฝอยทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2552. **ข้อมูลการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ.**
http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_infectious.htm (1 กันยายน2558)

กรมอนามัย. 2556. **แนวทางการดำเนินงานอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย ปี 2557.** การประชุมเชิงปฏิบัติการ การดำเนินงานส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557. วันที่ 28 –29 ตุลาคม 2556 ณ โรงแรมปริ้นซ์พาเลซ มหานาค กรุงเทพมหานคร

บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร. 2552. **รายงานผลงานวิจัยเรื่อง เครื่องหั่นย่อยขนาดเล็ก.** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร. 2552. **รายงานผลงานวิจัยเรื่อง เครื่องย่อยเปลือกทุเรียน.** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร. 2554. **รายงานผลงานวิจัยเรื่อง เครื่องหั่นย่อยวัสดุเส้นใยยาว.** คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร. 2556. **รายงานผลงานวิจัยเรื่อง เครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อ.** คณะวิศวกรรมและอุตสหากรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร. 2559. **รายงานผลงานวิจัยเรื่อง พัฒนาเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อ.** คณะวิศวกรรมและอุตสหากรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สัญชัย ชนะสงคราม. 2553. **เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงขยะ.** สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 13 : ชลบุรี http://www.reo13.go.th/KM_reo13/data_know/53-09-15_RDF.pdf (1 กันยายน 2558)

ศรีอรุณ สุขเจริญ และคณะ. 2556. **การจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ณ แหล่งกำเนิด โดยเทคโนโลยีการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ.** กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข : กรุงเทพฯ. http://env.anamai.moph.go.th/ewt_dl_link.php?nid=616 (1 กันยายน 2558)

Worrell, William A. and Vesilind, P. Aarne. 2012. **Solid Waste Engineering, Second Edition .** 2nd. Cengage Learning : Stamford, CT. 400p.

ภาคผนวก

ประมวลภาพการทดสอบเครื่องย่อยมูลฝอยติดเชื้อแนวตั้ง

ภาพที่ 10 การทดสอบการย่อยตัวอย่างจำลอง

(ก) ความเร็วรอบ 810 รอบต่อนาที

(ข) ความเร็วรอบ 675 รอบต่อนาที

(ค) ความเร็วรอบ 540 รอบต่อนาที

(ง) ความเร็วรอบ 405 รอบต่อนาที

ภาพที่ 11 ตัวอย่างจำลองหลังผ่านการย่อย

ภาพที่ 12 มูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อแล้วจากโรงพยาบาลเชียงใหม่ราม

ภาพที่ 13 การทดสอบการย่อยมูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อแล้วจากโรงพยาบาลเชียงใหม่ราม

ภาพที่ 14 มูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อแล้วจากโรงพยาบาลเชียงใหม่รามหลังผ่านการย่อย

ภาพที่ 15 มูลฝอยติดเชื้อที่ผ่านการทำลายเชื้อแล้วจากโรงพยาบาลเชียงใหม่รามหลังผ่านการย่อย เมื่อบรรจุใส่ถุงแล้วสามารถนำไปทิ้งรวมกับมูลฝอยทั่วไปได้