สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยมหิดล

การศึกษาความเป็นไปได้ขั้นต้นของการออกแบบระบบ สำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ : กรณีศึกษาฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ จังหวัดนครปฐม

PRE-FEASIBILITY STUDY ON THE SYSTEM DESIGN FOR SELF DRYING BIOGAS-SLUDGE : A CASE STUDY ON LARGE SCALE LIVESTOCK (PIGS) FARMMING IN NAKHON PATHOM PROVIENCE .

นฤพล ศรีตระกูล

อภินันทนาการ
จาก
บัณฑิตวิทยาลัย ม. มหิดล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ. 2538

วพ
น37ภก
2538

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ขั้นต้นของการออกแบบระบบ สำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ : กรณีศึกษาฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ จังหวัดนครปฐม

....

นฤพล ศรีตระกูล

ผู้วิจัย

....

สมพงษ์ ธงไชย , วท.ม.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

....

เอี่ยมศรี พงศ์พนรัตน์ , สพ.บ.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

....

กาญจดินทร์ สระประทุม , วท.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

....

เกียรติไกร อายุวัฒน์ , วศ.ม.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

....

มันตรี จุลสมัย ,M.D., Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

....

เกษม กุลประดิษฐ์ , วท.ม.

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสม

เพื่อการพัฒนาทรัพยากร

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ขั้นต้นของการออกแบบระบบ สำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ : กรณีศึกษาฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ จังหวัดนครปฐม

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร
วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2538

....
นฤพล ศรีตระกูล
ผู้วิจัย

....
เทพนม เมืองแมน,B.A.,M.D.,M.P.H.,Dr.P.H.
ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....
อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์, วท.ม.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....
เกียรติไกร อายุวัฒน์, วศ.ม.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....
เอี่ยมศรี พงศ์พนรัตน์, สพ.บ.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....
สมพงษ์ ธงไชย, วท.ม.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....
กาญจดินทร์ สระประทุม, วท.ม.
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....
เทพนม เมืองแมน,B.A.,M.D.,M.P.H.,Dr.P.H.
คณบดี
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล

....
มันตรี จุลสมัย,M.D.,Ph.D.
คณบดี
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายนฤพล ศรีตระกูล
วัน เดือน ปีเกิด	15 ธันวาคม พ.ศ. 2512
สถานที่เกิด	จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , พ.ศ. 2531-2535 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยมหิดล, พ.ศ. 2535 - 2538 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)
ประวัติการทำงาน	นักวิชาการสิ่งแวดล้อม บริษัท แมคโคร คอนซัลแตนท์ จำกัด, พ.ศ. 2536-2537 นักวิชาการสิ่งแวดล้อม บริษัท ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์แมเนจเมนท์ จำกัด, พ.ศ. 2537-2538

Copyright by Mahidol University

กิติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. นพ.เทพนม เมืองแมน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์, ท่านอาจารย์ สมพงษ์ ธงไชย ประธานกรรมการควบคุมและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์, รองศาสตราจารย์ เอี่ยมศรี พงศ์พนรัตน์ กรรมการควบคุมและสอบวิทยานิพนธ์, ท่านอาจารย์ กาญจดินทร์ สระประทุม กรรมการควบคุมและสอบวิทยานิพนธ์, ท่านอาจารย์ เกียรติไกร อายุวัฒน์ กรรมการควบคุมและสอบวิทยานิพนธ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อดิศักดิ์ วรรณะวัลย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มาลินี ไทยรุ่งโรจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำสำหรับการตรวจวินิจฉัยปรสิตจนการศึกษาเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณประพันธ์ ตั้งจารุวัฒนชัย เจ้าของฟาร์มเล่งเค็ง, คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, คณะเวชศาสตร์เขตร้อนและฟาร์มเล่งเค็ง ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ทำการศึกษาทดลอง และให้ความช่วยเหลือจนได้ผลการศึกษาที่ดีสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ พี่, เพื่อนและน้อง จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, มหาวิทยาลัยมหิดล, บริษัท แมคโครคอนซัลแตนท์ จำกัด และบริษัท ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเมนท์ จำกัดที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ พ่อกฤต, แม่เพ็ญ, พี่นันท์, พี่ยุทธ, พี่วัช, พี่คอง และครอบครัวศรีตระกูลทุกท่าน ที่ให้ความอบอุ่น และกำลังใจสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณสันติ ไทยยืนวงษ์ และคุณวันเพ็ญ ศรีจันทร์กุล ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจอันเปี่ยมล้น จนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นฤพล ศรีตระกูล

Copyright by Mahidol University

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาความเป็นไปได้ขั้นต้นของการออกแบบระบบสำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ : กรณีศึกษาฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ จังหวัดนครปฐม
ผู้วิจัย นฤพล ศรีตระกูล
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)
กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์
สมพงษ์ ธงไชย ,วท.ม.
กาญจดินทร์ สระประทุม ,วท.ม.
เอี่ยมศรี พงศ์พนรัตน์ ,สพ.บ.
เกียรติไกร อายุวัฒน์ ,วศ.ม.
วันที่สำเร็จการศึกษา 22 กันยายน พ.ศ. 2538

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ขั้นต้นของการออกแบบระบบ สำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเตรียมข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น วิเคราะห์ประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพของระบบ หรือเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ นอกจากนี้ยังศึกษาถึงความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์(การลงทุน) อีกด้วย จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปเป็นข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้นของเครื่อง คือ เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์นี้มีความสามารถในการอบแห้งได้ 1,000 กิโลกรัม จะใช้เวลาในการอบแห้ง 4.13 ชั่วโมง และสามารถลดความชื้นในกากมูลสัตว์เหลือเพียง 40 เปอร์เซนต์ โดยจะรักษาอุณหภูมิการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ โครงสร้างของเครื่องมือเป็นแบบง่ายที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น การใช้งานสะดวก รวมทั้งต้นทุนในการสร้างมีราคาถูก ซึ่งจากข้อ-กำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้นนี้ เมื่อนำมาคำนวณด้วยสมการคณิตศาสตร์ จะได้เครื่องอบแห้งที่มีความสูงประมาณ 1 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เมตร เป็นรูปทรงกระบอก ดัดแปลงมาจากเครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนประเภท TURBO-TRAY DRYER เครื่องอบแห้งประเภท PUENMATIC และเครื่องหมักปุ๋ยแบบ TRIP PADDLING การทำงานของเครื่อง จะอาศัยชุดเฟืองเป็นตัวหมุนใบกวาดกากมูลสัตว์ที่ถูกปล่อยแบบโรยตัวมาจากช่องเปิดสำหรับใส่กากมูลสัตว์ สวนทางกับลมร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ ลมร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกดูดผ่าน

Copyright by Mahidol University

เครื่องเป่าลมร้อนขนาด 6.13 แรงม้า เมื่อกากมูลสัตว์สัมผัสลมร้อนแล้วความชื้นภายในก็จะระเหยและแห้ง ก่อนที่จะออกทางช่องทางออกสำหรับกากมูลสัตว์

ผลการประเมินประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพ พบว่า เครื่องมือและระบบนี้สามารถให้ผลของงานที่เหมาะสม กล่าวคือ เครื่องอบแห้งนี้มีประสิทธิภาพในการลดความชื้นประมาณ 33.33 เปอร์เซนต์ โดยสามารถอบแห้งกากมูลสัตว์ ให้มีความชื้นเหลือประมาณ 40 เปอร์เซนต์จากความชื้นเริ่มต้น 60 เปอร์เซนต์ ซึ่งความร้อนในการลดความชื้นนี้จะไม่มี ผลต่อเปอร์เซนต์ธาตุอาหารในกากมูลสัตว์ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว

สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์(การลงทุน)นั้น พบว่า มูลค่า-ปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์ (NPV) มีค่าเท่ากับ 66,752.71 บาท ผลตอบแทนการลงทุนเฉลี่ย-ภายในแต่ละปี (IRR) มีค่าเท่ากับ 46 เปอร์เซนต์ และ จุดคุ้มทุน (Break Even Analysis) สามารถคืนกำไรการลงทุนภายใน 1 ปี 9 เดือน สำหรับระดับที่เหมาะสมในการอบแห้งอยู่ที่ 169 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถคุ้มทุนภายใน 5 ปีได้ ดังนั้นการลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ สำหรับใช้งานในฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ที่มีระบบการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่แล้ว จัดได้ว่ามีความเป็นไปได้ของการลงทุนอย่างแน่นอน

Copyright by Mahidol University

Thesis Title	Pre-Feasibility Study on The Systems Design for Self Drying Biogas-Sludge : A Case Study on Large Scale Livestock (Pigs) Farmming in Nakhon Pathom Provience
Name	Narupol Sritrakul
Degree	Master of Science (Appropriate Technology for Resource Developement)
Thesis Supervisory Committee	
	Sompong Thongchai ,M.Sc.
	Kanchadin Srapratoom ,M.Sc.
	Emsri Pongpanrat ,D.V.M.
	Keagkai Ayuwat ,M.Eng.
Date of Graduation	22 September B.E. 2538 (1995)

ABSTRACT

The objectives of this research was to study the pre-feasibility study on the system design for self drying biogas-sludge : A case study on large scale livestock (pigs) farming in Nakhon Pathom Provience to prepare the design criterias, to analyse the effectiveness, performance, efficiency and economic investment of the drying system. The results in laboratory could be summarized into design criterias of dryer. The capacitys of dryer are drying 1,000 kgs in 4.13 hours and reducing the moisture from sludge at the minimum rate at 70 ^{o}C. The structure of the dryer can be easily find in local area. It should be easy to use and low cost investment. From the design criterias, it could be calculated by mathematic. The result of the dryer which is developed from TURBO-TRAY DRYER , PUENMATIC DRYER and TRIP PADDLE FERMENTATION has one metre height, one metre diametrical lenght and cylinder form. It works by the gear set to control the scaper of biogas sludge. The biogas sludge was released from the slude hole with the heat from biomass burning hole. The heat from this process was pumped through the heat dryer with 6.13 horsepowers. When the sludge was touched the heat, the moisture would be evaporated and dried before coming out form the sludge hole.

Copyright by Mahidol University

The reult of the assessment effectiveness, performance and efficiency showed that the dryer woked well. This dryer could reduce the moisture about 33.33% by drying the sludge with the remained moisture of 40% out of 60%. The heat in reducing the moisture had no effect on nutrient in the dried-sludge.

An analysis of investment feasibility showed that Net Present Value (NPV) equal to 66,752.71 baht, Internal Rate of Return (IRR) equal to 46 persent and Break Even Analysis which has payed off in one year and nine months. The optimum of biogas sludge for drying is 169 kgs per hour in five years period. So that investment for dryer which works in large scale livestock (pigs) had investment feasibility

Copyright by Mahidol University

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในงานวิจัย	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 แนวความคิดในการวิจัย	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.5 คำนิยามศัพท์และความหมายที่ใช้ในงานวิจัย	6
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 การเลี้ยงสุกร	9
2.2 พลังงานและก๊าซชีวภาพ	16
2.3 ปุ๋ยอินทรีย์	24
2.4 การอบแห้ง	28
2.5 โรคที่อาจเกิดจากการใช้มูลสุกรเป็นปุ๋ยอินทรีย์	33
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการเตรียมการและออกแบบวิจัย	36
3.2 ขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	37
3.3 ขั้นตอนการกำหนดเกณฑ์การออกแบบทางวิศวกรรมเบื้องต้น	38
3.4 ขั้นตอนการทดลองออกแบบเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	38

Copyright by Mahidol University

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	3.5 ขั้นตอนการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล	41
	3.6 ขั้นตอนการสรุป วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ	42
บทที่ 4	ผลการวิจัย การออกแบบ และการศึกษาความเป็นไปได้	
	4.1 ข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้ในสนาม	43
	4.2 ผลการวิจัยหรือข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ	45
	4.3 ข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมสำหรับการออกแบบเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์	54
	4.4 การออกแบบเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์และกระบวนการอบแห้ง	56
	4.5 การศึกษาความเป็นไปได้	60
บทที่ 5	สรุป วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผลการวิจัย	78
	5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย	81
	5.3 ข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม		85
ภาคผนวก ก		88
ภาคผนวก ข		93
ภาคผนวก ค		102
ภาคผนวก ง		114
ภาคผนวก จ		118
ภาคผนวก ฉ		124

Copyright by Mahidol University

สารบัญตาราง

			หน้า
ตารางที่	1	ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรในช่วงอายุและน้ำหนักตัว	10
ตารางที่	2	ปริมาณอุจจาระและปัสสาวะของสุกรต่อวัน	11
ตารางที่	3	ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรขนาดต่างๆ	12
ตารางที่	4	ความเข้มข้นของธาตุต่างๆที่ทำให้เกิดพิษต่อแบคทีเรีย	19
ตารางที่	5	องค์ประกอบของมูลสัตว์เลี้ยงในประเทศไทย	26
ตารางที่	6	ผลการทดลองเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของมูลสัตว์	47
ตารางที่	7	ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติทางชีวภาพของมูลสัตว์	49
ตารางที่	8	ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ของมูลสัตว์	51
ตารางที่	9	สรุปข้อมูลสำหรับใช้ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์	63
ตารางที่	10	การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ทางเลือกที่ 1	68
ตารางที่	11	การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ทางเลือกที่ 2	69
ตารางที่	12	การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ทางเลือกที่ 3	71
ตารางที่	13	จุดคุ้มทุนของการทำงานในช่วงการอบแห้งต่างๆ	73
ตารางที่	14	จุดคุ้มทุนของการทำงานในช่วงการอบแห้ง ระหว่าง167-170กิโลกรัมต่อชั่วโมง	73
ตารางที่	15	การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ (กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ด้วยก๊าซหุงต้ม จำนวนวันทำงาน 365 วัน)	76
ตารางที่	16	การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ (กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ด้วยก๊าซหุงต้มวันทำงาน 182.5 วัน+วิธีการตากแดด วันทำงาน 182.5 วัน)	77

Copyright by Mahidol University

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1	แผนภูมิแสดงการใช้ประโยชน์จากกากมูลสัตว์	3
รูปที่ 2	แผนภูมิแสดงรูปแบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในการอบแห้งกากมูลสัตว์	4
รูปที่ 3	แผนภูมิแสดงวงจรชีวิตของแมลงวัน	13
รูปที่ 4	แผนภูมิการเกิด Hydrolysis และ Acidogenesis ในระบบหมัก	21
รูปที่ 5	กราฟเส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่ออบแห้งวัสดุภายใต้กระแสลมร้อนปริมาณมากที่มีอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วคงที่	29
รูปที่ 6	เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งที่ได้มาจากรูปที่ 5	29
รูปที่ 7	ผังบริเวณระบบหมักก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกร	46
รูปที่ 8	แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบการลดความชื้นระหว่างการอบแห้งกับการตากแดด	55
รูปที่ 9	รูปแบบของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ที่ได้รับการออกแบบเบื้องต้น	59
รูปที่ 10	การเปรียบเทียบค่าทางเศรษฐศาสตร์ในช่วงการอบแห้ง 160-200 กก./ชม.	74

Copyright by Mahidol University

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

NPV	=	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์ (บาท)
IRR	=	ผลตอบแทนการลงทุนเฉลี่ยแต่ละปีภายใน (เปอร์เซนต์)
TS	=	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (กิโลกรัม)
EMC	=	ความชื้นสมดุลย์ (เปอร์เซนต์)
A.O.A.C	=	Association Official Analytical Chemists
pH	=	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
N	=	ไนโตรเจน (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเปียก)
P	=	ฟอสฟอรัส (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเปียก)
K	=	โปแตสเซียม (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเปียก)
N_n	=	จำนวนรอบของการหมุน (รอบต่อนาที)
G	=	ความเร็วเชิงมวลของก๊าซ (กิโลกรัมก๊าซต่อชั่วโมง-ลูกบาศก์เมตร)
u	=	ความเร็วของลมร้อน (เมตรต่อชั่วโมง)
ρ_g	=	ความหนาแน่นของลมร้อน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
n	=	จำนวนชั้นแผ่นเหล็ก (ชั้น)
X	=	อัตราส่วนที่วัสดุอยู่ในเครื่อง (เปอร์เซนต์)
S_d	=	มุมเอียงของตัวเครื่อง (เมตรต่อเมตรความยาวเครื่อง)
P	=	กำลังสำหรับขับเคลื่อนการหมุนของเครื่อง (แรงม้า)

Copyright by Mahidol University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีอัตราการเจริญเติบโตทางด้านปศุสัตว์ค่อนข้างสูง เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ผลผลิตที่ได้มีทั้งปริมาณและคุณภาพ สังเกตได้จากการมีจำนวนฟาร์มขนาดใหญ่ กลางและเล็กเพิ่มมากขึ้น แต่ปัญหาประการหนึ่งที่ตามมาก็คือ ปัญหาเรื่อง การทำลายสภาพแวดล้อมของชุมชน ทั้งกลิ่นของมูลสัตว์ แมลงวัน แมลงหวี่ โรคระบาด เช่น โรคอหิวาห์ตก โรคท้องร่วง และพยาธิต่างๆล้วนแล้วมีผลมาจากการหมักหมมของมูลสัตว์ ที่ยังไม่ได้ถูกกำจัดทั้งสิ้น หนทางหนึ่งของแนวทางการแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมนี้ คือการนำมูลสัตว์ที่เคยหมักหมมนั้นมาทำให้เป็นประโยชน์ โดยการผลิตก๊าซชีวภาพจากสิ่งปฏิกูลเหล่านี้ ระบบก๊าซชีวภาพได้ถูกนำมาใช้อาศัยหลักการนำสารอินทรีย์ หรือมูลสัตว์ไปหมักในสถานที่ไร้ออกซิเจน โดยมีจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลาย ทำให้เกิดเป็นก๊าซเชื้อเพลิง สามารถนำมาทำเป็นพลังงานทดแทนได้ กากมูลสัตว์ที่ผ่านการหมักแล้วสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วก็สามารถนำกลับมาใช้หมุนเวียนได้อีก โดยภาพรวมแล้วจะเป็นการนำสิ่งที่ไม่ต้องการ และอาจทำให้เกิดโทษมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเป็นระบบที่เหมาะสม อีกทั้งช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สามารถก่อให้เกิดผลประโยชน์ด้านปัจจัยการผลิตต่อฟาร์มได้อีกทางหนึ่ง สำหรับกากมูลสัตว์ที่ผ่านการหมักแล้วนั้นผู้เลี้ยงส่วนใหญ่มักจะนำไปทำปุ๋ยโดยใช้วิธีการตากแห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องใช้พื้นที่เป็นจำนวนมาก อันเป็นข้อจำกัดประการหนึ่งในอนาคต สำหรับการจัดหาหรือจัดเตรียมพื้นที่ ในขณะที่ราคาที่ดินมีราคาแพงขึ้นมากกว่าในอดีต อีกทั้งในช่วงฤดูฝนวิธีการดังกล่าวจะกระทำได้ลำบากมาก หากฝนตกหนัก อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ง่าย รวมทั้งไม่สะดวกต่อการนำไปใช้และการเก็บรักษาอีกด้วย

เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพได้รู้จักกันมาเป็นเวลาช้านานแล้ว แต่ความสนใจในเรื่องนี้เพิ่งจะมีมาเร็วๆนี้ เนื่องจากทรัพยากรของโลกถูกใช้และถูกทำลายเป็นจำนวนมาก จึงเกิดภาวะการขาดแคลนพลังงานจนเกิดวิกฤตการณ์ รวมทั้งอัตราการเพิ่มของประชากรของโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาพลังงานอื่นมาทดแทนพลังงานที่กำลังจะหมดไป

Copyright by Mahidol University

พลังงานต่างๆเหล่านั้นสามารถนำไปใช้ในการดำรงชีวิต โดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนาอย่างประเทศไทย เนื่องจากการใช้พลังงานในชนบทมีแหล่งพลังงานที่จำกัด การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง จึงได้รับความสนใจจากประเทศต่างๆ รวมทั้งองค์กรระหว่างประเทศที่พยายามจะพัฒนาวิจัย ส่งเสริมให้เกิดมีการใช้ก๊าซชีวภาพให้เป็นประโยชน์มากขึ้นในช่วงแรกของการส่งเสริม โดยเฉพาะ ประเทศที่กำลังพัฒนาในเอเชีย ไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร อันเนื่องมาจากการขาดการวางแผน วิจัย และส่งเสริมที่ถูกต้อง หลายโครงการจึงต้องยุติ ทางด้านศักยภาพที่จะนำเอาเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสู่ชนบทนั้น จากการพิจารณาปัจจัยต่างๆไม่ว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบ ปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการหมัก หรืออิทธิพลที่มีผลต่อการหมัก จึงมีความเป็นไปได้สูงมาก เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน อุณหภูมิจึงพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ปัญหาเกี่ยวกับการเพิ่มอุณหภูมิในขบวนการหมักอาจจะไม่ต้องใช้ ก็จะทำให้ลดต้นทุนในการสร้างบ่อหมักลงไปได้มาก

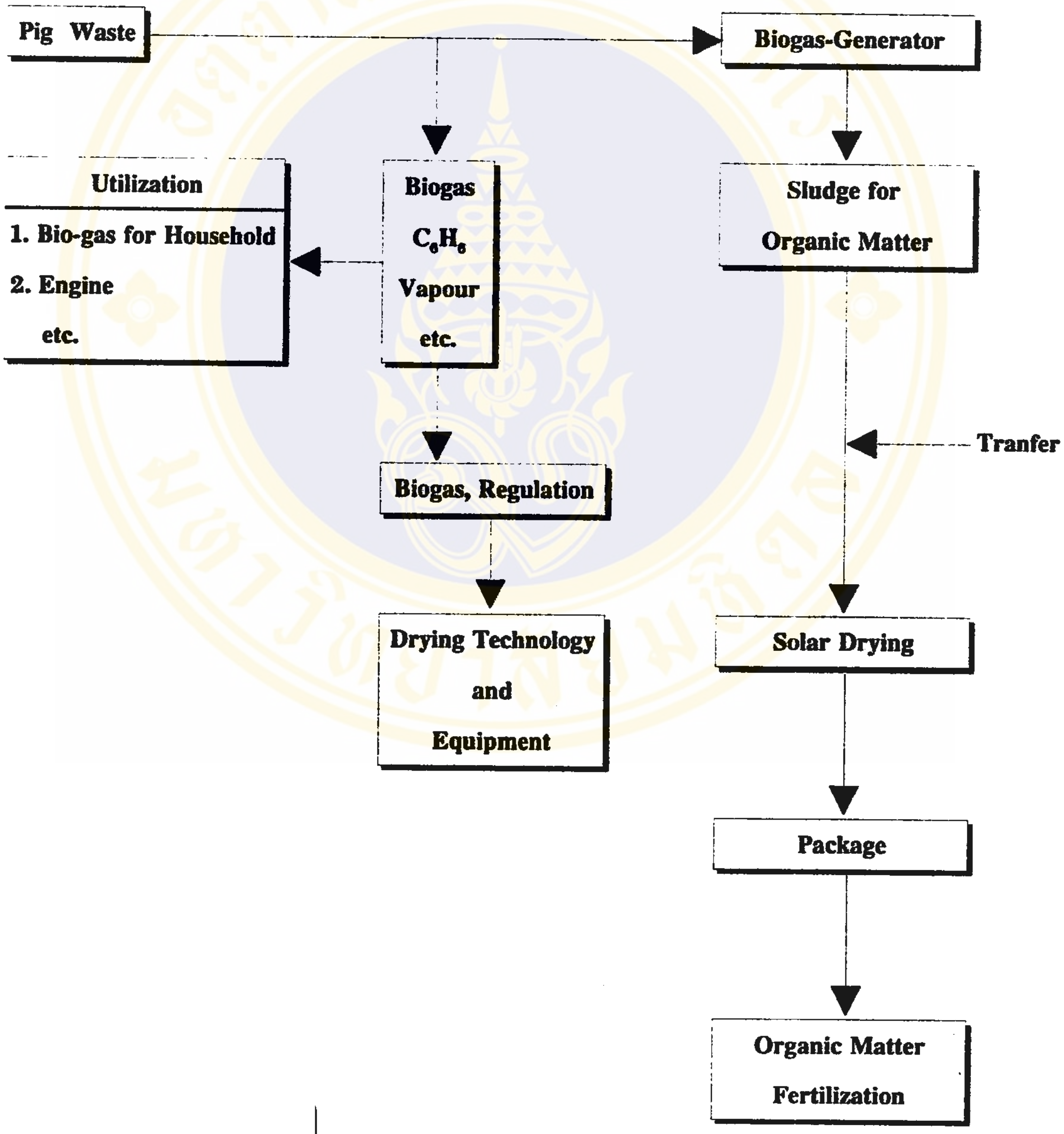
จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นนี้ จึงได้มีการส่งเสริมการวิจัย และการพัฒนาการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง ทั้งขนาดครอบครัว ขนาดชุมชน และขนาดอุตสาหกรรม ซึ่งผลประโยชน์ที่ได้รับ จะมีประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม อาทิเช่น เป็นการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้น ป้องกันการแพร่เชื้อโรคต่างๆ นำก๊าซที่ได้มาเป็นพลังงานต่างๆ งานวิจัยเหล่านี้เน้นไปที่ก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เตาหุงต้ม และใช้กับตะเกียงเพื่อแสงสว่าง เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมของอุปกรณ์เหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งนำก๊าซชีวภาพที่ได้ หมุนเวียนกลับมาใช้ปรับปรุงคุณภาพกากมูลสัตว์ที่เป็นผลพลอยได้ดังกล่าว มาใช้ในกระบวนการของเทคโนโลยีการอบแห้ง และนำผลพลอยได้นำไปทำปุ๋ยอินทรีย์เพื่อลดปัญหาต่างๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

จังหวัดนครปฐม มีผู้ประกอบการเลี้ยงสุกร ในลักษณะเป็นฟาร์มขนาดใหญ่หลายแห่ง อาทิ เล่งเต็งฟาร์ม เป็นฟาร์มขนาดใหญ่ที่มีจำนวนสุกรประมาณ 2,500 ตัว ของเสีย หรือสิ่งขับถ่ายของสุกรดังกล่าว ประกอบด้วยมูลสุกรประมาณ 2,790 กิโลกรัมต่อวัน ปัสสาวะสุกร 6,978 ลิตรต่อวัน ปริมาณของแข็ง (TS) ประมาณ 971 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งในปัจจุบันนี้ฟาร์มขนาดใหญ่หลายแห่งได้ทำการก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพ มีปริมาณก๊าซชีวภาพ และกากมูลสัตว์ที่ย่อยสลายแล้วประมาณ 25 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เนื่องจากกากมูลสัตว์ที่ล้นออกมายังเปียก และมีความชื้นสูง ก่อนนำไปทำปุ๋ยได้ทำแห้งโดยใช้วิธีการผึ่งแดด (Fiter Bed) ซึ่งจะต้องใช้พื้นที่มาก สามารถรวมกากมูลสุกรได้ 1,000 กิโลกรัมต่อวัน มีความชื้นร้อยละ 40 หากช่วงฤดูฝนจะใช้ระบบดังกล่าวไม่ได้ อีกทั้งประสบปัญหาของแมลงนำโรค และกลิ่นรบกวนเป็นอย่างมาก จึงเห็นสมควรที่จะศึกษาถึง

Copyright by Mahidol University

เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่จะใช้อบแห้งกากมูลสัตว์ โดยนำกากมูลสัตว์ที่ล้นออกจากบ่อนำมาขับน้ำออกจากกากมูลสุกรให้มากที่สุด โดยการใช้ก๊าซชีวภาพที่ได้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องอบแห้งกากมูลสุกร แทนวิธีการใช้แสงแดด ซึ่งต้องใช้เวลาและพื้นที่มาก สำหรับการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์ สามารถสรุปดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงการใช้ประโยชน์จากกากมูลสัตว์

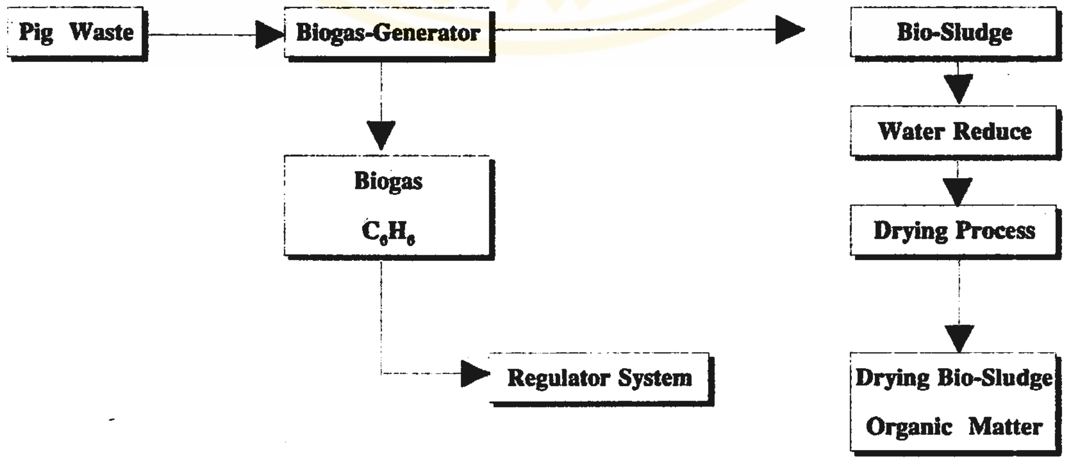


Copyright by Mahidol University

1.2 แนวความคิดในการวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีความสมบูรณ์ในพืชพรรณธัญญาหาร เศษเหลือที่เกิดจากพืชก็ดี สัตว์ก็ดี เดิมนั้นนำมาใช้ประโยชน์ในลักษณะของปุ๋ยที่ใส่กลับคืนให้แก่พืชโดยตรงหรือหากมีมาก เหลือเฟือก็อาจปล่อยทิ้งไว้ ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน จึงควรที่จะนำมา ปรับใช้ให้เกิดประโยชน์และเป็นระบบ โดยการหมักในบ่อหมักก๊าซให้ได้ก๊าซมีเทน และได้ส่วนที่เหลือจากที่หมักในบ่อน้ำล้น ใช้เป็นปุ๋ยแก่พืชได้อีกส่วนหนึ่ง การกำจัดน้ำออกจากกากมูลสัตว์และการอบแห้ง เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการของการดำเนินการเกี่ยวกับกากมูลสัตว์ที่ผ่านการหมักแล้วก่อนที่จะนำไปทำปุ๋ย ซึ่งโดยปกติแล้วผู้ประกอบการจะใช้การตากในพื้นที่แสงแดดส่องถึง เป็นวิธีการที่ทำแห้งกากมูลสัตว์เหล่านั้น นอกจากจะต้องใช้พื้นที่ในการตากแห้งจำนวนมากแล้ว ยังต้องใช้ระยะเวลานาน รวมทั้งยังเกิดแมลงนำโรคและกลิ่นรบกวนเป็นอย่างมาก และยิ่งถ้าหากเป็นช่วงหน้าฝนแล้ว ระบบการตากแห้งจะไม่สามารถใช้ได้ดีนัก ดังนั้นน่าจะได้มีการออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ โดยใช้พลังงานจากก๊าซชีวภาพที่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรและผู้ประกอบการเลี้ยงสัตว์ สามารถเก็บรักษากากมูลสัตว์ได้ง่าย และนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุดต่อไป รูปแบบของการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในการอบแห้งกากมูลสัตว์ สามารถสรุปดังแสดงในรูปที่ 2

<u>รูปที่ 2</u> แผนภูมิแสดงรูปแบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพในการอบแห้งกากมูลสัตว์



Copyright by Mahidol University

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และชีวภาพของกากมูลสัตว์จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเปรียบเทียบกับกากมูลสัตว์ที่ผ่านกระบวนการการตากแดด

2. จัดเตรียมข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น สำหรับการออกแบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์

3. ศึกษาและวิเคราะห์ ประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพของระบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ เปรียบเทียบกับกระบวนการตากแดด

4. วิเคราะห์ความเป็นไปได้ขั้นต้นของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ด้วยก๊าซชีวภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน)

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 สถานที่ดำเนินการวิจัย

(1) คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

(2) คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล

(3) ฟาร์มเล่งเค็ง จังหวัดนครปฐม

1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของกากมูลสัตว์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับกากมูลสัตว์ที่ผ่านการตากแดด

จะประกอบด้วย

(1) คุณสมบัติทางกายภาพของกากมูลสัตว์จากถังหมักก๊าซชีวภาพ (Biogas Generator) ประกอบด้วยส่วนประกอบ ความชื้น และความเป็นกรดเป็นด่าง

(2) คุณสมบัติทางชีวภาพ และการทำให้เกิดโรค ประกอบด้วยประเภทและปริมาณของแมลงที่เป็นพาหะนำโรค รวมทั้งประเภทและปริมาณของปรสิตที่พบ

(3) คุณสมบัติการเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ประกอบด้วย ธาตุอาหารหลักที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ เช่นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม เป็นต้น

Copyright by Mahidol University

1.4.3 จัดเตรียมข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น

เป็นการประมวลจากผลในห้องปฏิบัติการ มาจัดเตรียมข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ต่อไป

1.4.4 ศึกษาและวิเคราะห์ ประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพของระบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ เปรียบเทียบกับวิธีการตากแดด

1.4.5 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ขั้นต้นของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์

โดยการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์ (NPV : Net Present Value) ผลตอบแทนการลงทุนเฉลี่ยแต่ละปีภายใน (Internal Rate of Return) พร้อมทั้งจุดคุ้มทุนของการลงทุน (Break Even Analysis)

1.5 คำนิยามศัพท์และความหมายที่ใช้ในงานวิจัย

การตากแห้ง หมายถึง กระบวนการไล่น้ำจากวัตถุดิบ หรือของแข็งที่มีความชื้น โดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีกระบวนการความร้อน ถูกถ่ายเทด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย

เชื้อโรค หมายถึง สิ่งมีชีวิตที่เข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ หรือสัตว์แล้วจะไปรบกวนกระบวนการทำงานหรือโครงสร้างของอวัยวะ และส่วนต่างๆของร่างกายแล้วจนเกิดโรค หรือแสดงผลของโรคนั้นออกมา โดยมากแล้วเชื้อโรคที่พบมักเป็นพวก virus, rickettsia, bacteria และ protozoa

Copyright by Mahidol University

พาหะนำโรค หมายถึงสิ่งที่นำหรือเป็นสื่อ ให้เชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ หรือสัตว์ได้โดยง่ายสิ่งที่เป็นพาหะนั้น อาจจะเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่มีชีวิตก็ได้ เช่น มนุษย์ สัตว์ แมลงต่างๆ เครื่องมือเครื่องใช้หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่มีโอกาสสัมผัสกับเชื้อโรคได้

ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยได้จากอินทรีย์วัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้เป็นชิ้น โดยการสับ บด หมักหรือวิธีการอื่นๆ แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี ซึ่งวัตถุที่ใช้ทำปุ๋ยอินทรีย์นี้มีหลายประเภท เช่นวัตถุที่เป็นผลพลอยได้จากสัตว์จำพวกเลือดแห้ง เศษเนื้อ พังผืด หนังสัตว์ กากน้ำปลา กระดูกป่น มูลสัตว์ต่างๆ รวมทั้งเศษพืชต่างๆ ก็สามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้เช่นกัน

กากมูลสัตว์ หมายถึงสิ่งหรือซากที่เหลือจากการนำมูลสัตว์ไปใช้ประโยชน์ในระดับหนึ่ง แล้วอาจจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ในอีกระดับหนึ่ง เช่น การนำเอากากที่เหลือจากการหมักก๊าซชีวภาพไปทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์

เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเปียก หมายถึง การคำนวณปริมาณองค์ประกอบของวัตถุดิบในขณะที่วัตถุดิบนั้นมีความชื้นอยู่ระดับหนึ่ง โดยคิดคำนวณผลลัพธ์ที่ได้เป็นร้อยละ

เกณฑ์การออกแบบทางวิศวกรรมเบื้องต้น หมายถึง เกณฑ์กำหนดที่ได้มาจากการคำนวณหรือการทดลอง ไว้กำหนดรายละเอียดเบื้องต้น เพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบ เครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆที่ต้องอาศัยความรู้ทางวิศวกรรมเป็นหลัก

ประสิทธิผลของระบบ หมายถึง ผลสำเร็จอันเกิดขึ้นมาจากการดำเนินการหรือการทำงานของระบบหรือของเครื่องมือต่างๆ ในการวัดผลสำเร็จนั้นอาจจะประเมิน หรือวัดออกมาในรูปของคุณภาพของผลผลิตที่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ หรือเครื่องมือเดิมที่มีอยู่ก่อนแล้ว

สมรรถนะของระบบ หมายถึง ความสามารถในการทำงาน หรือ ดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งของระบบ หรือเครื่องมือนั้นๆ การวัดความสามารถนี้จะวัดออกมาเป็นค่าสมรรถนะในเชิงคุณภาพ หรือเชิงปริมาณ

Copyright by Mahidol University

ประสิทธิภาพของระบบ หมายถึง ความสามารถรวมที่จะทำให้เกิดผลของงาน ซึ่งเกิดจากการทำงานของระบบ หรือของเครื่องมือ อันจะเป็นการแสดงออกถึงผลลัพธ์ของเครื่องมือนั้นๆ ส่วนมากจะคำนวณค่าประสิทธิภาพของระบบเป็นเปอร์เซนต์

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน) หมายถึง การประเมินความเป็นไปได้ของอุปกรณ์หรือระบบที่ต้องการจะลงทุน โดยวัดจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์ (NPV) ผลตอบแทนการลงทุนเฉลี่ยแต่ละปีภายใน (IRR) และจุดคุ้มทุน (Break Even Analysis) แล้วเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ผู้ประกอบการใช้อยู่

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์ (NPV) หมายถึง จำนวนเงินรวมของผลประโยชน์หรือผลกำไรทั้งหมดในช่วงระหว่างปีที่กำหนด นำเงินรวมนั้นมาคิดเทียบกับค่าเงินในปีปัจจุบัน

ผลตอบแทนการลงทุนเฉลี่ยแต่ละปีภายใน (IRR) หมายถึง ผลที่ได้จากการลงทุนเฉลี่ยแต่ละปี เป็นอัตราร้อยละเมื่อเทียบต่อเวลาหนึ่งปีที่ลงทุนไป

จุดคุ้มทุน (Break Even Analysis) หมายถึง จุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มค่ากับการลงทุน หรือเป็นจุดที่แสดงค่าใช้จ่ายกับรายรับเท่ากัน

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เกณฑ์กำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น สำหรับใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ หรือของเสียที่เกิดขึ้นในฟาร์มสุกร
2. เป็นการนำก๊าซชีวภาพมาเป็นเชื้อเพลิง ในเครื่องอบแห้งกากมูลสุกร เพื่อที่จะนำกากมูลสุกรที่ผ่านการอบแห้งนั้น นำไปจำหน่ายในรูปของปุ๋ยอินทรีย์
3. ได้รูปแบบหรือวิธีการในการบำบัดของเสียจากสัตว์
4. ช่วยในการตัดสินใจในการลงทุนขยายขนาดการผลิต
5. สามารถลดการแพร่กระจายของเชื้อโรค หรือพาหะนำโรคต่างๆ ที่อาจทำให้เกิดโรคในคน หรือสัตว์ได้

Copyright by Mahidol University

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

ในการศึกษาความเป็นไปได้ขั้นต้นของการออกแบบ สำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นพื้นฐาน และแนวทางในการวิจัย โดยมีสาระสำคัญ 5 ประเด็นดังนี้

2.1. การจัดการ หรือการเลี้ยงสุกร
2.2 ก๊าซชีวภาพ และพลังงาน
2.3 ปุ๋ยอินทรีย์
2.4 การอบแห้ง
2.5 ปัญหาที่เกิดจากการใช้กากมูลสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์

2.1 การเลี้ยงสุกร

การเลี้ยงหรือการจัดการสุกร เป็นกิจการประเภทหนึ่งที่ถูกระบุเป็นกิจการค้าที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ตามพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 (กรมอนามัย: 2535 [1]) และเป็นกิจการค้าประเภทหนึ่งที่ก่อปัญหาเหตุรำคาญ ประชาชนร้องเรียนมาก ตามสถิติการร้องเรียนปัญหาเหตุรำคาญในเขตเทศบาลต่างๆที่กองอนามัยสิ่งแวดล้อมได้รวบรวม พบว่า ในปีพ.ศ.2534 การเลี้ยงสุกรถูกร้องเรียนถึงร้อยละ 94.41 ของจำนวนสถานประกอบการเลี้ยงสุกรทั้งหมด (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม : 2534 [2])

ปัญหาเหตุรำคาญที่เกิดจากการเลี้ยงสุกรได้แก่ กลิ่นเหม็น น้ำทิ้งจากการเลี้ยง สุกรไหลลงสู่ที่สาธารณะ เช่น แม่น้ำลำคลอง ถนนหนทาง และเป็นแหล่งเพาะพันธุ์แมลงวัน ก่อความเดือดร้อนแก่ผู้อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียง ปัญหากลิ่นเหม็นจากการเลี้ยงสุกร เกิดขึ้นจากการกำจัดมูลสุกรที่ไม่เหมาะสม มูลสุกรที่หมักหมมเกิดปฏิกิริยาไร้อากาศ ได้แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ส่งกลิ่นรบกวน สามารถก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพทั้งคนและสัตว์ (Merle L. Esmay, John E. Dixon : 1974 [3]) มูลของสัตว์แต่ละชนิดมีปริมาณและองค์ประกอบ

Copyright by Mahidol University

แตกต่างกันออกไป มูลสุกรในที่นี้ หมายถึงของเสียที่สุกรขับถ่ายออกมาเป็นประจำ รวมทั้งอุจจาระและปัสสาวะ

2.1.1 ปริมาณมูลสุกร

ปริมาณและลักษณะของมูลสุกรที่ขับถ่ายออกมา มักจะขึ้นกับปริมาณการเลี้ยงสุกร ระบบการให้ อาหาร และองค์ประกอบของอาหารที่สุกรกิน นอกจากนี้ลักษณะเฉพาะตัวของสัตว์ เช่น อายุ ขนาด การเคลื่อนไหว และความเคยชิน สภาพแวดล้อม รวมทั้งอิทธิพลทางด้าน จิตใจ เช่น การตื่นตกใจ ความกลัว และความเครียด ก็อาจเป็นสาเหตุของการขับถ่ายได้ทั้งสิ้น Hobson. P.N. และA.M. Robertson : 1977 [4] ได้รายงานถึงปริมาณสิ่งขับถ่ายในสภาพปกติของสุกรว่าจะผันแปรไปตามอายุและขนาดของสุกร เช่น แม่สุกรเลี้ยงลูกจะมีสิ่งขับถ่ายสูงถึงวันละ 14.90 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรในช่วงอายุและน้ำหนักตัวต่างๆ

สัตว์	น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	ปริมาณสิ่งที่ขับถ่าย (กิโลกรัม/วัน)
สุกรเล็ก	15	1.04
สุกรหย่านม	30	1.9
สุกรขุน	70	4.6
สุกรขุน	90	5.4
แม่สุกรไม่อุ้มท้อง	125	4.03
แม่สุกรเลี้ยงลูก	170	14.9
พ่อพันธุ์	160	4.9

ที่มา :Hobson and Roberton : 1977 [4]

นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งขับถ่าย ประมาณว่า สุกรน้ำหนัก 45 กิโลกรัม มีมูลมากเท่ากับคน 2 คน สุกรน้ำหนัก 177 กิโลกรัมให้มูลเฉลี่ย 739 กิโลกรัมต่อปี ตัวที่น้อยที่สุด 584 กิโลกรัม สูงสุด 912.5 กิโลกรัม หรือเฉลี่ย 2.02 กิโลกรัม/ตัว/วัน ซึ่งสอดคล้องกับ พงษ์ชาญ ณ. ลำปาง : 2533 [5] ได้สรุปปริมาณอุจจาระและปัสสาวะของสุกร ดังแสดงในตารางที่

Copyright by Mahidol University

2 อัตราความเร็วในการขับถ่ายหลังจากกินอาหาร ขึ้นกับองค์ประกอบของอาหาร และการขับถ่ายของสัตว์แต่ละตัว สุกรจะขับถ่ายหลังจากกินอาหาร 11-48 ชั่วโมง และขับถ่ายสูงสุด 12-36 ชั่วโมงหลังจากการกินอาหาร โดยระยะเวลาเฉลี่ยที่จะขับถ่ายหมดประมาณ 4-5 วัน (บัณฑิต ธานินทร์-ธราธาร อ้างโดยสุวณีย์ วิสุทธิอุทัยกุล : 2531 [6])

<u>ตารางที่ 2</u> ปริมาณอุจจาระและปัสสาวะของสุกรต่อวัน

ประเภท	เฉลี่ย 10 ตัวของสุกร น้ำหนัก(กิโลกรัม)	ปริมาณอุจจาระ, ปัสสาวะ (ลบ.ม./วัน)
สุกรเล็ก	23	0.02
	45	0.04
	68	0.06
	91	0.08
	114	0.1
สุกรแม่พันธุ์-พ่อพันธุ์	136	0.12
	227	0.2
แม่สุกร-ลูกสุกร	-	0.15

ที่มา : พงษ์ชาญ ณ ลำปาง : 2533 [5]

2.1.2 ส่วนประกอบของมูลสุกร

มูลสุกรประกอบด้วย ส่วนที่เหลือของอาหาร จึงเป็นส่วนที่ย่อยไม่ได้ เช่น ส่วนที่เป็นของแข็ง เยื่อใย หรือส่วนที่ย่อยได้แต่ไม่ถูกดูดซึม และสิ่งที่ขับออกมาจากร่างกายสัตว์ โดยเฉพาะจากทางเดินอาหาร เช่น เยื่อบุ ผนังลำไส้ เยื่อเมือก แร่ธาตุ แบคทีเรียและผลผลิตของแบคทีเรีย

อัตราส่วนของอุจจาระกับปัสสาวะของสัตว์ต่างๆ แตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ สำหรับในสุกรมีอัตราส่วนประมาณ 2:3 โดยในมูลทั้งหมดประกอบด้วยน้ำ 65-85 เปอร์เซนต์ อินทรีย์วัตถุ 10-20 เปอร์เซนต์ และอนินทรีย์วัตถุ 10 เปอร์เซนต์ (บัณฑิต ธานินทร์ธราธาร อ้างโดยสุวณีย์ วิสุทธิอุทัยกุล : 2531 [6]) สำหรับยงยุทธ โอสถสภา : 2528 [7] ได้ทำการวิเคราะห์มูลสุกร

Copyright by Mahidol University

โดยศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ประมาณร้อยละ 60 ของสารอาหารที่สุกรกินเข้าไปถูกขับถ่ายออกมาเป็นอุจจาระและปัสสาวะ ปริมาณของสิ่งขับถ่ายเหล่านี้จะมากหรือน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับขนาดของสุกร คุณภาพของอาหาร และสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงดู อย่างไรก็ตามอาจแสดงค่าเฉลี่ยของสิ่งขับถ่ายตามน้ำหนักสุกรได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรขนาดต่างๆ

น้ำหนักสุกร	ปริมาณสิ่งขับถ่าย (กิโลกรัม/ตัว/วัน)		
	ปัสสาวะ	อุจจาระ	รวม
5.5-18.2	0.86	0.7	1.56
18.3-36.3	1.29	1.44	2.73
36.4-54.5	2.43	2.75	5.18
54.6-72.5	2.99	3.77	6.76
75.6-90.0	4.23	4.59	8.82

ที่มา : ยงยุทธ : 2528 [7]

2.1.3 การจัดการมูลสุกร

มูลสุกรในคอกไม่ว่าจะเป็นคอกลักษณะชั้นเดียวหรือ 2 ชั้น มีวิธีเก็บกวาด 2 วิธี (Waste Management Strategies : 1981 [8]) คือ

2.1.3.1 ระบบเปียก (wet handing systems) โดยใช้น้ำฉีดไล่มูลสุกรออกจากพื้นคอก และให้ไหลลงสู่ระบบทั้งหมด วิธีนี้ต้องใช้น้ำปริมาณมาก มีผลทำให้ปริมาณน้ำทิ้งมากด้วย นอกจากนี้ การไม่แยกมูลสุกร จะทำให้น้ำทิ้งมีค่าความสกปรกสูง

2.1.3.2 ระบบแห้ง (dry handing systems) วิธีนี้เป็นวิธีแยกมูลสุกรโดยเก็บกวาดมูลสุกรออกจากคอกก่อนจะใช้น้ำฉีดล้างทำความสะอาดคอก น้ำทิ้งจะมีค่าความสกปรกน้อยกว่าระบบเปียก แต่ต้องคำนึงถึงการจัดการมูลสุกรที่กวาดจากคอกต่อไปด้วย

Copyright by Mahidol University

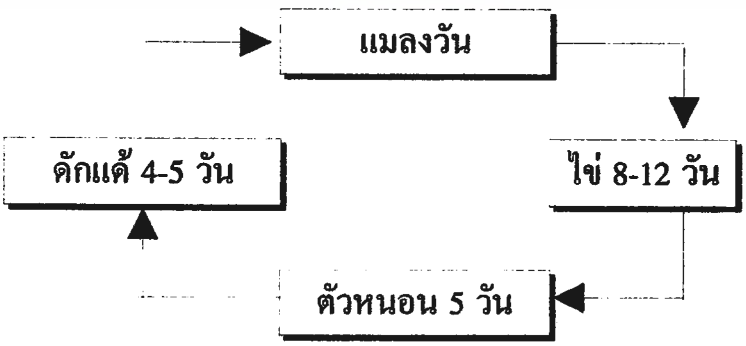
2.1.4 ปัญหาที่เกิดจากการเลี้ยงสุกร

ปัญหาส่วนใหญ่ที่ผู้เลี้ยงมักประสบแบ่งเป็น 2 ปัญหาใหญ่ๆคือ

2.1.4.1 ปัญหาน้ำทิ้งจากการเลี้ยงสุกร เป็นปัญหาทั้งด้านการก่อเหตุรำคาญและสร้างมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ แหล่งน้ำ สาธารณะ ที่สาธารณะ ปริมาณ และลักษณะน้ำทิ้งขึ้นอยู่กับลักษณะการเลี้ยงและคุณภาพน้ำที่ใช้ทำความสะอาดคอกสุกร จากการศึกษาเบื้องต้นของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย พบว่า ปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจากการล้างคอกมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 30-40 ลิตร/ตัว/วัน ปริมาณสิ่งสกปรกมีค่าความเข้มข้นประมาณ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร (นวลจันทร์ พารักษา : 2531 [9])

2.1.4.2 ปัญหาแมลงวัน แมลงวันชอบวางไข่ในที่ที่มีความชื้นและที่ที่มีอาหารเป็นสารอินทรีย์ เช่น มูลสัตว์ ในมูลสด 1 ปอนด์ จะมีตัวหนอนแมลงวันประมาณ 1,200 ตัว (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม : 2535 [10]) ไข่ฟักออกเป็นหนอนกินมูลสุกรที่กำลังหมักเน่า เมื่อเจริญเต็มที่ (ใช้เวลา 5 วัน) ก็คลานออกไปหาบริเวณที่แห้งกว่า แล้วเติบโตเป็นดักแด้ ในที่สุดก็จะกลายเป็นแมลงวันตัวเต็มวัย (ดังแสดงในรูปที่ 3) เป็นพาหะนำโรคและก่อเหตุรำคาญต่อไป

<u>รูปที่ 3</u> แผนภูมิแสดงวงชีวิตของแมลงวัน



Copyright by Mahidol University

2.1.5 การแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการเลี้ยงสุกร

ปัญหาต่างๆที่เกิดจากการเลี้ยงสุกร ที่สร้างเหตุรำคาญหรือมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมนั้น จะแก้ไขได้ต้องดำเนินการจัดการ ตั้งแต่ภายในโรงเรือน ในคอก (In-Process) และนอกโรงเรือน (End-of Process) (กองอนามัยสิ่งแวดล้อม : 2535 [10])

2.1.5.1 การจัดการภายใน (In-Process)

การจัดการภายในหมายถึง การจัดการของเสียภายในคอก การทำความสะอาดคอกสุกร ซึ่งการทำความสะอาดจะแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น การจัดการของเสียในคอกโดยทั่วไปมี 2 ขั้นตอน (ฝ่ายสัตว์แพทย์สาธารณสุข : 2530 [11]) คือ การกวาดเก็บมูลสุกร มูลสุกรจะถูกกวาดเก็บรวบรวมทุกวัน วันละ 1-2 ครั้ง และ การฉีดน้ำล้างพื้น โดยจะกระทำหลังจากกวาดเก็บมูลสุกรนั้นแล้ว

2.1.5.2 การจัดการภายนอกโรงเรือน (End-of-Process)

การจัดการภายนอกโรงเรือน หมายถึง การจัดการของเสียและน้ำเสียที่ออกจากโรงเรือนสุกร เทคโนโลยีการจัดการของเสียและน้ำเสียจากการเลี้ยงสุกรมีหลายวิธีการระบบกำจัดที่สามารถใช้ได้และเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น ใช้บ่อหมัก , บ่อผึ่งถังหมัก หรือผสมผสานกันระหว่าง 3 รูปแบบดังกล่าว นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีอีวิธีหนึ่งที่ค่อนข้างนิยม คือ การเลี้ยงสุกรบนขี้เลื่อย ซึ่งเป็นวิธีการสมัยใหม่ โดยใช้คอกที่เป็นพื้นดินแทนพื้นปูนซีเมนต์ ปูด้วยขี้เลื่อยหนาประมาณ 30-50 เซนติเมตร ราดน้ำให้ชุ่ม ช่วยให้สุกรไม่เครียด เนื่องจากเดินได้นุ่มเท้ากว่า ตอนเช้าแต่ละวันโดยมูลสุกรรวมกันผสมด้วยหัวเชื้อ Bacteria (หรือenzyme) ขุดหลุมที่พื้นคอกฝังกลบมูลทิ้งได้แต่ละวันก็ทำเช่นเดียวกัน โดยเปลี่ยนพื้นที่ขุดหลุมไปเรื่อยๆ เชื้อจะช่วยย่อยสลายมูลสุกรให้เหมาะที่จะใช้เป็นปุ๋ยที่พื้นคอกเลี้ยงสุกรนำไปใช้งานต่อไปได้ (ไชยยุทธ์ กลิ่นสุคนธ์ : 2530 [12])

จากการศึกษาและทดสอบการเลี้ยงสุกรบนขี้เลื่อยของดีพร้อม ไชยวงศ์ : 2534 [13] พบว่า สามารถลดกลิ่นเหม็นได้ดี ทำโดยใช้ขี้เลื่อยปูพื้นหนา 70 เซนติเมตร (พื้นคอกที่มีช่องที่ขี้เลื่อยจะรั่วได้ ต้องปิดรูให้หมดเพื่อป้องกันมิให้ขี้เลื่อยรั่วออกไป) วิธีการปูพื้นขี้เลื่อย ทำโดยชั้นแรกนำขี้หมูเก่าผสมกับขี้เลื่อยครึ่งต่อครึ่ง รดน้ำให้ชุ่มชื้นฉีดพ่นหรือรดด้วยน้ำละลายสาร SEF-C หรือน้ำละลายเชื้อแบคทีเรียประเภทบาซิลลัส ซับติลิส ทับลงไปเพื่อกระตุ้นการเริ่มย่อยสลายตัว

Copyright by Mahidol University

ของขี้เลื่อย ชั้นนี้จะให้หนา 20 เซนติเมตร จากนั้นใส่ขี้เลื่อยชั้นบนหนา 50 เซนติเมตร ฉีดพ่นน้ำให้เปียกชื้น และตามด้วยสารละลาย SEF-C อีก นำหมูมาเลี้ยงบนนี้กลบขี้หมูลงในขี้เลื่อยให้ชื้นพอดี และฉีดพ่นสารทุก 7-10 วัน วิธีนี้ ในระยะ 7-10 วันแรก ยังคงมีกลิ่นเหม็นบ้างเพราะกระบวนการหมักสลายยังไม่อยู่ตัว และอาจมีแมลงวันมาวางไข่ที่ขี้หมูบ้าง แต่หนอนจะไม่สามารถเจริญจนครบวงจรได้ พอเลี้ยงหมูหมดแต่ละรุ่นก็เปลี่ยนขี้เลื่อยชั้นบนหนาประมาณ 20 เซนติเมตร และเริ่มกระบวนการใหม่

เป็นที่น่าสังเกตุว่า การเลี้ยงหมูบนขี้เลื่อย จะเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ จำพวก ขี้เลื่อย มาใช้สำหรับปูพื้นคอกเลี้ยงสุกรนั้น หรือนำไปทำประโยชน์อื่นก็ตาม วัสดุพลอยได้เหล่านั้นไม่มีการระบุปริมาณที่แน่นอน ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุเหล่านั้นเป็นผลพลอยได้จากระบบอุตสาหกรรมไม้แปรรูปเป็นส่วนใหญ่ นับว่าเป็นการขจัดส่วนเหลือทิ้งให้ออกไปจากระบบได้โดยง่าย และเป็นการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างต่อเนื่องในระบบอุตสาหกรรมอีกประเภทหนึ่ง จึงไม่จำเป็นต้องระบุปริมาณหรือจำนวนที่แน่นอน

จากการศึกษาถึงการจัดการฟาร์มสุกรเบื้องต้น ผลพลอยได้ที่จัดเป็นวัสดุเหลือใช้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ ปริมาณสิ่งขับถ่ายและของเสียที่เกิดขึ้นเป็นปริมาณที่มากกว่านั้น ถ้าเราสามารถนำไปหมุนเวียนใช้ประโยชน์ได้ โดยปราศจากอันตรายนั้นอาจจะทำให้สภาพแวดล้อมดีขึ้น ในการนำวัสดุเหลือใช้มาทำประโยชน์นั้น เพชร กตัญญูกูล : 2537 [14] ได้แนะนำไว้หลายวิธี อาทิเช่น นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ การหมักก๊าซชีวภาพ การนำไปหมักทำปุ๋ย หรือการใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ก็ตาม ในปัจจุบันนี้ วิธีที่นำวัสดุเหลือใช้มาทำประโยชน์ที่ได้รับความสนใจมากก็คือการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะเป็นการนำเอาวัสดุดังกล่าวมาแปรสภาพให้เป็นทรัพยากรที่เป็นประโยชน์ (organic recycling) ในรูปพลังงาน ปุ๋ยอินทรีย์ อาหารสัตว์ ฯลฯ อย่างครบวงจร ซึ่งมีศักยภาพและมีประสิทธิภาพสูงสุด และนอกจากนี้ยังช่วยรักษาสมดุลทางธรรมชาติ ลดมลภาวะความเป็นพิษของสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

Copyright by Mahidol University

2.2 พลังงานและก๊าซชีวภาพ

2.2.1 พลังงาน

ก๊าซชีวภาพจัดเป็นพลังงานประเภทหนึ่ง ซึ่งตามพระราชบัญญัติการพลังงานแห่งชาติ พ.ศ. 2596 พลังงาน หมายถึง ตัวแรงอันได้มาจากธรรมชาติ เช่นน้ำ ลม ความร้อนธรรมชาติ แสงอาทิตย์ แร่ธาตุ หรือ เชื้อเพลิง สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.2.1.1 พลังงาน จำแนกตามแหล่งที่ได้มาเป็น 2 ประเภท

(1) พลังงานต้นกำเนิด (Primary energy) ได้แก่ น้ำ แสงอาทิตย์ ลม น้ำมันดิบ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ น้ำพุร้อนใต้ธรณี แร่นิวเคลียร์ ไม้ฟืน แกลบ ชาน อ้อย

(2) พลังงานแปลงรูป (Secondary energy) ได้จากการนำพลังงานต้นกำเนิดมาแปลงรูปเพื่อใช้ประโยชน์ในลักษณะต่างๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า ถ่านหิน ผลิตภัณฑ์ปิโตเลียม ก๊าซน้ำมัน (LPG) เป็นต้น

2.2.1.2 พลังงาน จำแนกตามการนำมาใช้ประโยชน์ ได้เป็น 2 ประเภท

(1) พลังงานที่ใช้แล้วหมดเปลือง (Non-Renewable Energy) เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ

(2) พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เช่น พลังน้ำ แสงแดด ลม ชีวมวล

2.2.2 ก๊าซชีวภาพ

เสาวลักษณ์ ภูมิวสนะ : 2535 [15] ได้อธิบายถึงคำจำกัดความของก๊าซชีวภาพว่า หมายถึง ก๊าซที่เกิดจากผลการหมักย่อยสลายแล้วได้สารอินทรีย์ Zhanghon J. : 1990 [16] ได้สรุปถึงสารอินทรีย์ที่สามารถนำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากมูลสัตว์ เช่น มูลโค กระบือ สุกร เป็ด และไก่ เป็นต้น หรือจากวัชพืชบก และน้ำ เช่น หญ้า ผักตบชวา สาหร่ายทะเล ตลอดจนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น เปลือกผลไม้จากโรงงานผลิตผลไม้กระป๋อง เศษเนื้อ และเลือดจากโรงงานทำปลากระป๋อง สารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบของชีวมวล ได้แก่ เซลลูโลส คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน และสารอินทรีย์เหล่านี้จะผ่านการ

Copyright by Mahidol University

ย่อยของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งในสภาวะไร้ออกซิเจน เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มนั้นจัดเป็นแบคทีเรียชนิดหนึ่ง Kenan X. : 1990 [17] ได้ศึกษาและพบว่า แบคทีเรียเหล่านั้นจะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพเป็นแบคทีเรียที่เรียกว่ามีเทนแบคทีเรีย ไม่สามารถที่จะย่อยสลายพวกมูลสัตว์ วัชพืช หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ๆ และมีโครงสร้างที่ซับซ้อนได้โดยตรง ดังนั้น สารอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียพวกอื่นเสียก่อน เพื่อให้ได้สารที่มีเทนแบคทีเรียสามารถนำไปใช้เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพที่ได้จะเป็นก๊าซผสมของก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ จากการศึกษาของ Chengdu. : 1979 [18] ได้รายงานถึงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 55-65 เปอร์เซนต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 35-45 เปอร์เซนต์ ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ประมาณ 0-3 เปอร์เซนต์ ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ประมาณ 0-1 เปอร์เซนต์, ก๊าซออกซิเจน (O_2)ประมาณ 0-1 เปอร์เซนต์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ประมาณ 0-1 เปอร์เซนต์ ซึ่งก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์นี้จะมีคุณสมบัติในการติดไฟได้ จึงนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้มให้แสงสว่างและขับเครื่องยนต์ได้ นอกจากนี้ผลพลอยได้จากวัตถุที่ระบายออกจากบ่อหมักสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ด้วย

2.2.2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพนั้น บัณฑิต ธานินทร์ธราธาร : 2536 [19] ได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลซึ่งสามารถสรุปปัจจัยต่างๆ ได้ดังนี้

(1) อุณหภูมิ

สุเมธ ชวเดช : 2522 [20] ได้แบ่งช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ 3 ช่วงคือ Psychrophillic range เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 5-15 องศาเซลเซียส , Mesophillic range เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 35-37 องศาเซลเซียส และThermophillic range เป็นช่วงอุณหภูมิระหว่าง 50-55 องศาเซลเซียส

(2) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

จากการศึกษาของสุเมธ ชวเดช : 2522 [20] พบว่า ความเป็นกรดเป็นด่างมีความสำคัญต่อการหมักช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการหมักอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 ถ้า ค่า pH สูงหรือต่ำเกินไป จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย

Copyright by Mahidol University

(3) ความเหนียวข้นของส่วนผสมในบ่อหมัก

ส่วนผสมในบ่อหมักที่มีความ เหนียวข้นมากจะทำให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นหมักหมมอยู่ก้นบ่อ และก๊าซบางชนิด เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์สะสมที่ก้นบ่ออาจจะยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้

(4) ชนิดของสารอินทรีย์ที่ใช้

สุภาพร จันรุ่งเรือง : 2530 [21] ได้เสนอถึงชนิดของสารอินทรีย์ที่ใช้สรุปได้ว่า มูลสัตว์ทุกชนิด ขยะมูลฝอย และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สามารถนำมาใช้ในการ ผลิตก๊าซชีวภาพได้ แต่คุณสมบัติของแต่ละชนิดสารอินทรีย์ดังกล่าวแตกต่างกันไป และให้ก๊าซชีวภาพปริมาณที่ต่างกัน ดังนั้นก่อนจะใส่ลงในบ่อหมักควรจะต้องมีวิธีการต่างกันออกไป ดังเช่น ประเภทที่ผสมน้ำในอัตราที่เหมาะสม แล้วใส่บ่อหมักได้ทันทีได้แก่ มูลจากโค กระบือ สุกรและไก่ , ประเภทที่ผสมกับน้ำแล้วผ่านตะแกรงก่อนใส่บ่อหมัก ได้แก่ มูลจากม้า ลา และล่อ และประเภทที่เป็นเม็ดต้องบดให้แตกก่อนผสมน้ำ ได้แก่ มูลจากแพะ แกะ และกระต่าย

(5) Alkalinity

คือความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอน (Protons) alkalinity อยู่ในรูปของไบคาร์บอร์เนต, คาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์ จำนวนอนุมูลเหล่านี้จะมากน้อยขึ้นกับค่าpH ดังนั้น ค่า alkalinity ในระบบหมักจึงแสดงถึงเสถียรภาพของการหมัก ถ้าค่า alkalinitty สูง แสดงว่าระบบหมักมี Buffering capacity สูง สามารถรักษาค่าของ pH ให้คงตัวอยู่ได้นาน ถ้าค่า alkalinitty ต่ำ แสดงว่ามีกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile acids) สะสมตัวในปริมาณค่อนข้างมาก จำเป็นต้องเพิ่มความระมัดระวังในการควบคุมการทำงานของระบบหมักให้มากขึ้น

(6) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile acids)

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน มักจะพบกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatileacids) เกิดขึ้นเป็น Intermediate products ถ้ากรดสะสมอยู่ในถังหมักมากเกินควร จะทำให้ค่า alkalinity ลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH ลดลงด้วย เป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน และในที่สุดอาจจะนำไปสู่การเสียสภาพสมดุลย์ของการหมัก

Copyright by Mahidol University

(7) อาหารเสริมสร้าง (Nutrients)

นอกจากสารอินทรีย์ในระบบหมักที่ใช้เป็นอาหารโดยตรงของแบคทีเรียแล้ว แบคทีเรียยังต้องการแร่ธาตุบางชนิดในการ สร้างเซลล์ใหม่ด้วย เช่น ไนโตรเจน (N) และ ฟอสฟอรัส (P) ในอัตราส่วน COD : N : P = 100.0 : 2.2 : 0.4 แม้ว่าแบคทีเรียจะต้องการแร่ธาตุเหล่านี้ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำมาก แต่ถ้าขาดสารเหล่านี้ แบคทีเรียจะทำงานย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ไม่เต็มที่จึงจำเป็นต้องเติมสารเหล่านี้เพื่อปรับอัตราส่วน COD:N:P ให้เหมาะสม

(8) สารพิษ (Toxic Substances)

สารบางอย่างถ้ามีในถังหมักมากเกินไป จะเป็นพิษต่อแบคทีเรียซึ่งระดับของความเป็นพิษจะขึ้นกับชนิดและปริมาณของสาร ส่วนมากแล้วธาตุที่มี valency สูง จะมีพิษสูงกว่าธาตุที่มี valency ต่ำ ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 4

<u>ตารางที่ 4</u> ความเข้มข้นของธาตุต่างๆที่ทำให้เกิดพิษต่อแบคทีเรีย

Inorganic Ion	Optimum Concentration mg./l.	Moderate Concentration mg./l.	Strongly Inhibitory Concentration mg./l.
Ca	100-200	2,500-4,500	8,000
Cr	0	2	2
Co	75-150	0	0
Mg	200-400	1,000-1,500	3,000
K	550-100	2,500-4,500	12,000
NH	0.1-1.0	1,500	3,000
Sulphide	0	100	200

ที่มา : บัณฑิต : 2536 [19]

2.2.2.2 ปฏิกิริยาชีวเคมี

ทฤษฎีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน พิชิต สกุลพราหมณ์ และคณะ : 2522 [22] อธิบายถึง ทฤษฎีการย่อยสลายสารอินทรีย์ประกอบด้วย

Copyright by Mahidol University

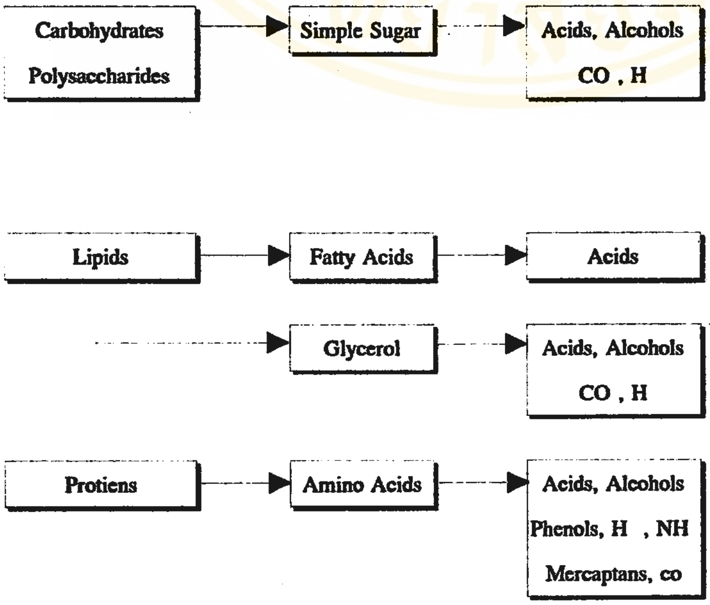
(1) Hydrolysis

ในขั้นแรกนี้สารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ไม่สามารถละลายน้ำได้ เช่น คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates), ไขมัน (Lipid) และโปรตีน จะถูกย่อยโดยน้ำย่อยที่ปล่อยออกจากแบคทีเรีย (External enzyme) ทำให้แตกตัวมีขนาดโมเลกุลเล็กลง และสามารถละลายน้ำได้

(2) Acidogenesis

สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปสารละลาย จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียเพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงาน ในช่วงนี้เองสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์และสารอื่นๆ โดยแบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acid former) ดังแสดงในรูปที่ 4 กรดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นกรดน้ำส้ม (Acetic Acid) แบคทีเรียพวกสร้างกรดนี้ เป็นประเภท Facultative bacteria กล่าวคือ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน ดังนั้น แบคทีเรียสร้างกรดจึงมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี นอกจากนี้ แบคทีเรียจำพวกนี้ยังมีอัตราการเจริญเติบโตสูง โดยเฉลี่ยสามารถเพิ่มจำนวนสองเท่าได้ภายในเวลา 14 ชั่วโมง แบคทีเรียในกลุ่มนี้ได้แก่ genera Pseudomonas., Flavobacterium, Alcaligenes, Escherichia, และ Aerobacter

รูปที่ 4 การเกิด Hydrolysis และ Acidogenesis ในระบบหมัก



Copyright by Mahidol University

(3) Methanogenesis

กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะถูกแบคทีเรียอีกพวกหนึ่ง เรียกว่า Methane formers เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ70%ของก๊าซมีเทนเกิดจากการสลายตัวของกรดน้ำส้ม ดังสมการ

$$CH_3COOH \text{ ---------------------------> } CH_4 + CO_2$$

นอกจากนี้ก๊าซมีเทนยังได้จากปฏิกิริยาชีวเคมีระหว่างก๊าซไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยดังสมการ

$$CO_2 + 4H_2 \text{ ---------------------------> } CH_4 + 2H_2O$$

แบคทีเรียกลุ่ม Methane former นี้จัดอยู่ในพวก Obligate anaerobic bacteria ซึ่งดำรงชีวิตได้แต่ในสภาพไร้ออกซิเจนเท่านั้น ดังนั้น จึงมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่ำกว่าแบคทีเรียกลุ่มแรก และมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าด้วย โดยเฉลี่ยต้องใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน จึงจะสามารถเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่าได้ แบคทีเรียกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ได้แก่ genera Methanobacterium, Methanosarcina I และ Methanococus

นอกจากแบคทีเรีย 2 กลุ่มดังกล่าวแล้ว ยังมีแบคทีเรียพวกอื่นๆ อีก ได้แก่ Sulphate bacteria ซึ่งเป็นอนุมูลซัลเฟตให้เป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และ Denitrifying bacteria ซึ่งเปลี่ยนอนุมูลไนเตรทกับไนไตรท์ให้เป็นไนโตรเจน (Nitrogen) โดยทั่วไปมูลสัตว์และน้ำทิ้งต่างๆมีอนุมูลเหล่านี้ปนอยู่น้อยมาก ในกรณีเช่นนี้ แบคทีเรียสองพวกจึงไม่มีความสำคัญ-เท่าใดนัก

2.2.2.3 ประเภทของบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

บ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบต่างๆ ที่มีอยู่ในภูมิภาคเอเซียนี้ เท่าที่สำนักงานพลังงานแห่งชาติ : 2521 [23] ได้รวบรวมและตรวจสอบพบว่าเป็นแบบที่ใช้การได้ดีอาจกล่าวได้ว่ามีอยู่ 4 แบบ ดังแสดงในภาคผนวก ก. ประกอบด้วย

Copyright by Mahidol University

(1) ชนิดปากบ่อหมักชั้นเดียวหรือแบบจากประเทศอินเดีย

เป็นแบบบ่อหมักดินมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกมีผนังกั้นกลางบ่อหมักทำให้ภายในบ่อหมักถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่องเท่าๆกัน โดยนับว่าเป็นแบบต้นฉบับที่ประเทศอื่นๆ ได้นำไปดัดแปลงแก้ไขจนกลายเป็นแบบอื่นๆ ออกมาเช่น แบบของประเทศเนปาล แบบของประเทศไทย แบบของสาธารณรัฐเกาหลี และ ฯลฯ

(2) ชนิดโดมหรือแบบจากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน

เป็นแบบที่มีลักษณะเป็นรูปยอดกลม (โดม) สร้างฝังดินโดยมีที่เก็บก๊าซและบ่อหมักเป็นโครงสร้างอันเดียวกัน การก่อสร้างก็อาศัยวัสดุที่หาได้ง่ายในชนบท เช่น อิฐ หรือคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อเปรียบเทียบบ่อผลิตก๊าซชีวภาพแบบนี้กับแบบอื่นๆ ที่กล่าวมา

(3) ชนิดปากบ่อหมักสองชั้นหรือแบบจากประเทศไทย

เป็นแบบบ่อหมักที่มี ลักษณะโดยทั่วๆไป เหมือนแบบจากประเทศอินเดียแต่มีการดัดแปลงเล็กน้อย เช่น ดัดแปลงโดยการรื้อเอาผนังกั้นกลางบ่อออก และดัดแปลงฝาครอบก๊าซให้เป็นชนิดครอบนอกบ่อหมักโดยการใช้น้ำหล่อรอบๆฝาครอบก๊าซอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการรั่วหนีของก๊าซและเพื่อวัตถุประสงค์ในด้านความสะอาด กล่าวคือ โดยวิธีการนี้ ฝาครอบก๊าซก็จะไม่แช่อยู่ในมูลสัตว์จึงทำให้รอบนอกของฝาครอบก๊าซแลดูสะอาดอยู่ตลอดเวลา

(4) ชนิดอื่นๆ

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาบ่อหมักก๊าซให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศนั้นๆ สำนักงานพลังงานแห่งชาติได้ศึกษาและพัฒนารูปแบบของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งจากผลการค้นคว้าทดลองพบว่า สามารถใช้ภาชนะราคาถูกหาได้ง่ายในชนบทมาทำหน้าที่เป็นบ่อหมัก เช่น ใช้โอ่งเก็บน้ำซีมนต์ขนาดใหญ่ (ขนาด 1.2 ลูกบาศก์เมตร) จึงทำให้เป็นบ่อหมักก๊าซที่มีราคาค่าลงทุนค่อนข้างถูก ซึ่งจะมีราคาทั้งชุดไม่เกิน 1,200 บาท แต่จะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณวันละ 600 ลิตร ซึ่งเพียงพอแก่การใช้งานเป็นประจำวันสำหรับครอบครัวขนาด 3 คน ได้ นอกจากนี้ยังมีอีกหลายหน่วยงานที่ร่วมมือกันศึกษาและพัฒนารูปแบบของบ่อหมักก๊าซให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น บ่อหมักก๊าซของโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน

จากการศึกษาสัดส่วนของระบบผลิตก๊าซชีวภาพของประเทศไทยปี 2529 จากผลการสำรวจของจรวย บุญยุบาลและคณะ : 2529 [24] พบว่า ระบบผลิต

Copyright by Mahidol University

ก๊าซชีวภาพชนิดโดมมีมากที่สุดถึง 59.96 เป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพชนิดปากบ่อชั้นเดียวร้อยละ 29.02 ชนิดปากบ่อสองชั้นร้อยละ 11.83 และชนิดอื่นๆ ร้อยละ 2.19 สาเหตุเนื่องจากในปี พ.ศ. 2522 เป็นต้นมาได้มีการคัดเลือกระบบผลิตก๊าซชีวภาพชนิดโดมเป็นแบบที่ควรจะได้รับการส่งเสริมแทนชนิดปากบ่อชั้นเดียวและปากบ่อสองชั้น ซึ่งมีอายุการใช้งานสั้นกว่า

2.2.2.4 ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

จากการรายงานของมหาวิทยาลัยขอนแก่น : 2528 [25] สามารถสรุปประโยชน์ของก๊าซชีวภาพได้ดังต่อไปนี้

(1) ในแง่ของการเป็นพลังงาน โดยการให้ความร้อนและแสงสว่าง และยังสามารถใช้กับเครื่องยนต์ได้ด้วย ซึ่งถ้าหากพิจารณาถึงค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพและนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอย่างอื่นจะเป็นดังนี้

ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร

(1.1) เทียบเท่าถ่านไม้ 0.64 กิโลกรัม ในขณะที่เสาวลักษณ์ ภูมิสวนะ : 2535 [15] ได้เปรียบเทียบความร้อนของก๊าซเท่ากับถ่านไม้ประมาณ 0.75 กิโลกรัม

(1.2) เทียบเท่าก๊าซหุงต้ม 0.50 กิโลกรัม

(1.3) เทียบเท่าน้ำมันก๊าด 0.75 กิโลกรัม

(1.4) เทียบเท่าการใช้ไฟฟ้า 40 วัตต์ นาน 8 ชั่วโมง

ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ และแหล่งพลังงานอื่นๆ อีกด้วย

(2) ช่วยรักษาสภาพแวดล้อม เนื่องจากระบบหมักผลิตก๊าซชีวภาพมีผลในแง่การบำบัดน้ำเสียอันเกิดจากการปศุสัตว์

(3) เป็นการนำสิ่งที่ไม่มีประโยชน์แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก ซึ่งทำให้เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่ามากที่สุด

(4) กากมูลสัตว์ใช้เป็นอาหารในการเลี้ยงสัตว์ เช่นปลา (วิทย์ ธารชลานุกิจ : 2531 [26]) หรือ อาหารแกะ (สุวณีย์ วิสุทธิอุทัยกุล : 2531 [6])

Copyright by Mahidol University

(5) ในแง่สาธารณสุข จะเป็นการลดการแพร่เชื้อโรค เช่น ไทฟอยด์ โรคทางเดินอาหาร โรคตาแดง โรคพยาธิต่างๆ เป็นต้น โดยจะเป็นการทำลายแมลงวัน ยุง แมลงหวี่ และพาหะนำโรคต่างๆ ซึ่งจะมีผลต่อสุขภาพของประชาชนและสัตว์เลี้ยง

(6) สร้างงานในการสร้างบ่อชีวภาพ และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

(7) เป็นแหล่งพลังงาน ที่เป็นไปได้ในอุตสาหกรรมขนาดครัวเรือน

(8) ประโยชน์ในการใช้เป็นปุ๋ย ในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะเกิดผลพลอยได้อย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ก็คือ กากมูลล้น ส่วนที่เหลือจากการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจะให้จุลธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติที่ทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินดีขึ้น ทำให้ดินมีการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น ช่วยให้พืชดูดเอาปุ๋ยเคมีไปใช้ในปริมาณที่สม่ำเสมอ ทำให้พืชสามารถดูดธาตุอาหารหลักไปใช้ประโยชน์ได้นานขึ้น

2.3 ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ ธงชัย มาลา : 2535 [27] ได้ให้คำจำกัดความว่าเป็นปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์วัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้เป็นชิ้น โดยการสับ บด หมัก หรือวิธีการอื่น แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี ซึ่งวัตถุที่ใช้ทำปุ๋ยอินทรีย์นี้มีหลายประเภท เช่น วัตถุที่เป็นผลพลอยได้จากสัตว์ จำพวกเลือดแห้ง เศษเนื้อ พังผืด หนังสัตว์ กากน้ำปลา กระดูกป่น มูลสัตว์ต่างๆ รวมทั้งเศษพืชต่างๆ ก็สามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้เช่นกัน ปุ๋ยอินทรีย์เป็นสารที่ให้ธาตุอาหารแก่พืช ธาตุอาหารที่พบในปุ๋ยอินทรีย์นั้นมีทั้งธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุ พืชได้รับประโยชน์จากปุ๋ยอินทรีย์คือ

(1) ให้ธาตุอาหารพืชในรูปที่เป็นประโยชน์
(2) เป็นการให้ธาตุอาหารที่มีลักษณะต่อเนื่อง
(3) ช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดิน

Copyright by Mahidol University

ปุ๋ยอินทรีย์ให้ผลพัวพันกันไปทั้งสามอย่างแยกกันไม่ออก อย่างไรก็ตามในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งแรกๆ จะได้ผลในด้านธาตุอาหารมากกว่าการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน แต่ผลได้ประการหลังจะเพิ่มพูนขึ้นจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์หลายๆ ครั้ง

2.3.1 ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในทางการเกษตร

ปุ๋ยอินทรีย์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญที่ใช้ในการเกษตร ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ เช่น กากของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ก็เริ่มมีการนำเอาไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงบำรุงดินกันมากขึ้นเป็นลำดับ

2.3.1.1 ปุ๋ยคอก (Farm manures)

ปุ๋ยคอก หมายถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่ประกอบด้วยอุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ชนิดต่างๆ เช่น โค กระบือ ม้า เป็ด ไก่ แพะ แกะ ค้างคาว และสัตว์อื่นๆ ผสมกับเศษอาหารต่างๆ เข้าไปด้วย ในปุ๋ยคอกจะประกอบด้วยจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ มากมายมีทั้งพวกที่เป็นฮิวมัสแล้ว และส่วนของอาหารที่ยังสลายตัวไม่หมด ซึ่งอาจจะเป็นพวกเซลลูโลส ลิกนิน และสารอินทรีย์อื่นๆ นอกจากนี้แล้วยังพบว่ามีวิตามิน และฮอร์โมนเช่น thiamine,biotin และ pyridoxine เป็นต้น

2.3.1.2 ปุ๋ยพืชสด (green manures)

ปุ๋ยพืชสด หมายถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นพืชที่ถูกไถกลบ หรือคลุกไปในดินในขณะที่พืชนั้นเจริญเติบโตและยังสดอยู่ ก่อนที่จะมีการปลูกพืชหลัก โดยปกติแล้วจะไถกลบพืชในระยะที่เริ่มออกดอกและเมื่อพืชที่ถูกไถกลบลงย่อยสลายไปโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินแล้วจึงทำการปลูกพืชหลักตามมา

2.3.1.3 ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก หมายถึงอินทรีย์อีกประเภทหนึ่งที่ผ่านกระบวนการหมักโดยอาศัยเชื้อต่างๆ ที่ช่วยในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้มีการย่อยสลายดีขึ้น เชื้อต่างๆได้แก่ บักเตรี, จุลินทรีย์พวกรา และแอคติโนมัยซีท เป็นต้น

Copyright by Mahidol University

2.3.2 ธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์

คุณสมบัติทางกายภาพในปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากสัตว์ต่างๆ จากการวิเคราะห์ของ Susiki และคณะ อ้างโดย ยงยุทธ โอสถสภา : 2528 [7] สามารถสรุปได้ในตารางที่ 5 อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ย่อมแปรผันไปได้ตามแหล่งวิธีการเลี้ยงสัตว์ และการเก็บรักษาปุ๋ย การบอกค่าวิเคราะห์อาจบอกได้ทั้งเป็นร้อยละ โดยน้ำหนักสดหรือร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

<u>ตารางที่ 5</u> องค์ประกอบของมูลสัตว์เลี้ยงในประเทศไทย

สัตว์เลี้ยง	ความชื้น	pH	องค์ประกอบ (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
			C	N	P	K
กระบือ	7.50-81.30	7.50-8.60	9.80-26.20	0.47-1.37	0.19-1.42	0.76-1.91
โค	39.20-59.60	7.40-8.30	12.20-18.50	0.86-1.32	0.32-0.58	0.80-2.21
สุกร	14.50-45.30	5.70-8.50	16.90-22.80	1.03-22.80	1.74--2.69	0.63-1.34
เป็ด	7.00-37.10	6.80-8.80	18.40-24.70	0.74-1.26	1.10-1.41	0.69-1.26

ที่มา : Suzuki และคณะ อ้างโดย ยงยุทธ โอสถสภา : 2528 [7]

Orr D.E. และคณะ : 1971 [28] ได้นำมูลสุกรตากแห้งมาวิเคราะห์หาส่วนประกอบโดยละเอียดและรายงานว่า ประกอบด้วยโปรตีน 21.60 เปอร์เซนต์ , โปแตสเซียม 1.00 เปอร์เซนต์ , โซเดียม 0.26 เปอร์เซนต์ , แคลเซียม 2.50 เปอร์เซนต์ , ฟอสฟอรัส 1.60 เปอร์เซนต์ และแมกนีเซียม 800.00 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ต่อมา Kornegay E.T. และคณะ : 1977 [29] ได้รายงานว่ามูลสุกรประกอบด้วย โปรตีน 24.00 เปอร์เซนต์ , โปแตสเซียม 1.30 เปอร์เซนต์, แคลเซียม 2.70 เปอร์เซนต์ , ฟอสฟอรัส 2.10 เปอร์เซนต์ , แมกนีเซียม 0.90 เปอร์เซนต์ และโภชนะที่ย่อยได้ทั้งหมด (total digestible nutrient, TDN) 48.00 เปอร์เซนต์ของวัตถุแห้ง (dry matter, DM) เช่นเดียวกับที่ Smith L.W.และW.E. Wheeler : 1979 [30] รายงานว่าในมูลสุกรแห้งประกอบด้วยโปรตีน 20.31 เปอร์เซนต์ , โปแตสเซียม 0.50-2.30 เปอร์เซนต์ , ฟอสฟอรัส 1.60-2.50 เปอร์เซนต์ , และแมกนีเซียม 0.40-0.90 เปอร์เซนต์ นอกจากนั้นวิทย์ ธราชลานุกิจ : 2531 [26] ได้รายงานถึงชนิดและปริมาณของแร่ธาตุอื่นๆ ที่ตรวจพบในมูลสุกรแห้งได้แก่ แคลเซียม 1.10-5.90 เปอร์เซนต์ , แมกนีเซียม 0.40-1.30 เปอร์เซนต์ , กำมะถัน 0.20-0.40 เปอร์เซนต์ , ทองแดง 22.00-636.00 ppm , สังกะสี 128.00-981.00 ppm , เหล็ก 754.00-4700.00 ppm , แมงกานีส 114.00-551.00 ppm

Copyright by Mahidol University

,โคบอลต์ 2.20-15.20 ppm และโมลิบดินัม 0.20-0.50 ppm ส่วน ยงยุทธ โอสถสภา : 2528 [7] ได้ทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารที่มีอยู่ในมูลสุกร และเป็นประโยชน์ต่อพืช สามารถสรุปได้ว่า ธาตุอาหาร ไนโตรเจน , ฟอสฟอรัส , และโปแตสเซียม ในมูลสุกรที่มีน้ำหนักตัว 100 กิโลกรัม จะให้ธาตุไนโตรเจน19.00-24.00กรัม N/วัน , ฟอสฟอรัส11.00-20.00กรัม P/วัน และโปแตสเซียม8.00 -48.00 กรัม K/วัน

จากรายงานของ เพชร กตัญญูกุล : 2537 [14] ได้ทำการวิเคราะห์ถึงปริมาณธาตุอาหารหลักในกากมูลสัตว์ที่ได้จากการผลิตก๊าซแล้วค่าของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและ โปแตสเซียม ดังต่อไปนี้

	N (กรัม/ลิตร)	P (กรัม/ลิตร)	K (กรัม/ลิตร)
แหล่งที่ 1	1.30-3.00	0.19-0.50	3.70-6.72
แหล่งที่ 2	0.40-0.50	0.01-0.02	0.22-0.32

ปุ๋ยคอกที่ได้จากการหมักมูลสัตว์ทำก๊าซเหล่านี้ จะมีคุณค่าทางอาหารพืชสูงกว่า สุเมธ ชวเดช : 2522 [20] ได้วิเคราะห์ธาตุอาหารจากมูลสัตว์ภายหลังการหมักก๊าซชีวภาพแล้วพบว่า มีวิตามินบี 12 เป็นคุณสมบัติพิเศษในการเร่งความเจริญเติบโตของพืช ซึ่งในปุ๋ยคอกทั่วไปไม่มี

2.3.3 การใช้ประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์

ผลการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ทางเคมีแสดงเพียงว่า ในปุ๋ยนั้นมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมทั้งหมดเท่าใด อย่างไรก็ตาม ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารดังกล่าวไม่อาจบอกได้จากการวิเคราะห์ นอกจากจะทดสอบในแปลงทดลองเท่านั้น ธงชัย มาลา : 2535 [27] ได้รายงานถึงการทดสอบในแปลงทดลองว่า ไนโตรเจนกว่าครึ่งหนึ่งในปุ๋ยอินทรีย์เป็นอนินทรีย์สาร ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อสลายตัวแล้ว ในขณะที่ฟอสฟอรัส จะมีองค์ประกอบจะมีทั้งอนินทรีย์สารและอินทรีย์สาร จึงทำให้มีการสลลายตัวค่อนข้างมากกว่า จันทิรา อริยรัช : 2529 [31] ได้รายงานผลการวิจัย โดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปลูกข้าวโพดพบว่า ข้าวโพดสามารถใช้ฟอสฟอรัสจาก glyceral phosphate, sugar phosphates, inosifal heraphosphate และ nucleic acid ได้ดีทัดเทียมกับปุ๋ยอินทรีย์ฟอสเฟต ส่วนโปแตสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์อยู่ในรูปของเกลือที่ละลายน้ำง่าย และเป็นประโยชน์แก่พืชได้ทั้งสิ้น หากกองปุ๋ยอินทรีย์ไว้ในที่แจ้ง โปแตสเซียมก็จะถูกฝนชะออกไปได้ง่าย

Copyright by Mahidol University

2.3.4 วิธีการนำกากมูลล้นไปใช้เป็นปุ๋ย

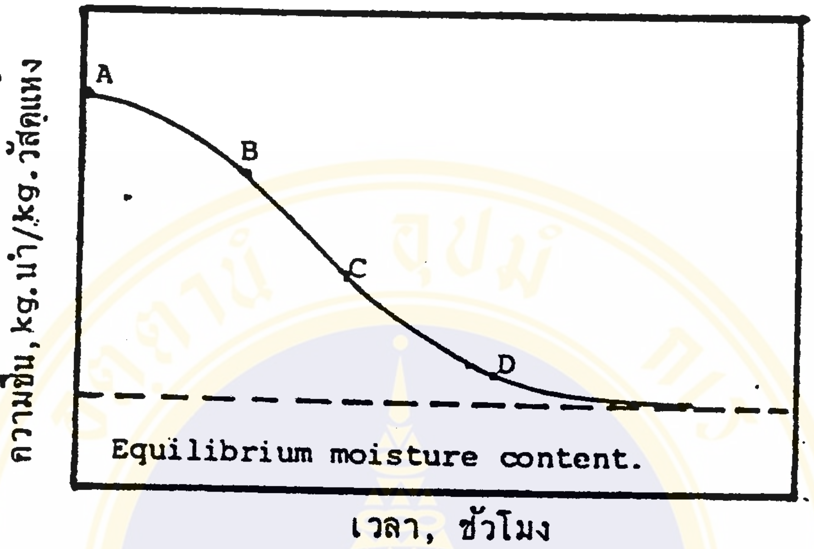
สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้เลยทันทีที่ออกจากท่อระบายมูล หรือจะนำไปผสมกับน้ำแล้วค่อยเอาไปใช้ก็ได้ นอกจากนี้ สำนักงานพลังงานแห่งชาติ : 2521 [24] ยังได้แนะนำถึงวิธีการนำไปใช้เป็นปุ๋ยของกากมูลล้นเหล่านี้ว่า อาจจะนำไปตากแห้งบนลานกรองทราย เพื่อให้ได้ปุ๋ยแห้งซึ่งสะดวกแก่การขนส่งหรือเก็บไว้ใช้ได้นานๆ ก็ได้ ลานกรองทรายที่ใช้ควรจะสร้างให้มีขนาดพอเหมาะกับปริมาณมูลที่ระบายออกมา และควรสร้างที่รองรับน้ำทิ้งที่ออกจากลานกรองทรายไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการนำน้ำส่วนนี้กลับมาผสมกับมูลสัตว์ที่ต้องการทำการเติมลงไปในบ่อหมักทุกด้าน โดยปกติแล้วลานกรองทรายจะประกอบด้วยชั้นกรวดหนา 20 เซนติเมตร และชั้นทรายหนา 30 เซนติเมตร อยู่ข้างบน (USEPA : 1979 [32])

2.4 การอบแห้ง

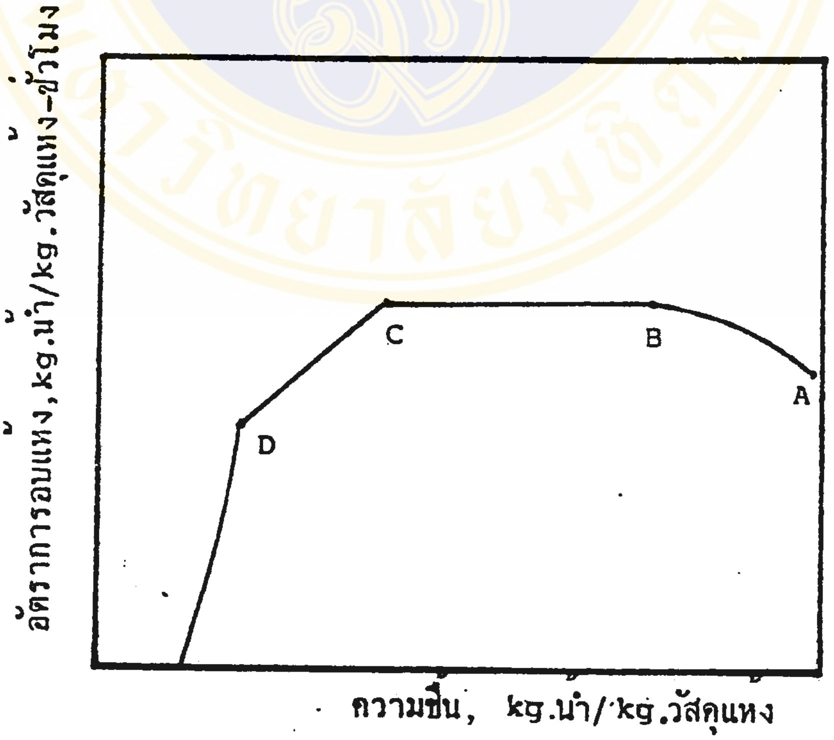
นอกจากวิธีการตากแห้งที่ผู้ประกอบการจะนิยมทำแล้ว วิธีการทำให้แห้งอีกวิธีหนึ่งที่นำมาใช้ในระบบอุตสาหกรรมเกษตรก็คือการอบแห้ง การอบแห้งจะเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถทำให้วัสดุที่มีความชื้นลดความชื้นไปได้อย่างรวดเร็ว หรือในระยะเวลาอันสั้น Bakker Arkema F.W. และคณะ : 1990 [33] ได้กล่าวถึงหลักการของการอบแห้งว่า ในการอบแห้งวัสดุชื้นด้วยลมร้อนที่มีเงื่อนไขของอุณหภูมิและความชื้นคงที่ ในทันทีที่ลมร้อนสัมผัสกับวัสดุชื้น อุณหภูมิของวัสดุชื้นจะค่อยๆ เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเข้าสู่ค่าๆ หนึ่งที่สภาวะคงที่สม่ำเสมอ อุณหภูมิของวัสดุชื้นและอัตราการอบแห้งอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะคงที่สม่ำเสมอ ที่สภาวะนี้อุณหภูมิของวัสดุชื้นจะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อน และในช่วงนี้อัตราการอบแห้งของวัสดุชื้นจะมีค่าคงที่ซึ่งเราเรียกช่วงนี้ว่า ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่ ช่วงเวลานี้จะสิ้นสุดเมื่อความชื้นของวัสดุมีค่าเท่ากับความชื้นวิกฤต (ค่าความชื้นวิกฤตจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ และสภาวะในการอบแห้ง) หลังจากนี้อุณหภูมิที่ผิวหน้าวัสดุจะเพิ่มขึ้น และอัตราการอบแห้งจะช้าลงเรื่อยๆ ช่วงเวลานี้เรียกว่า ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง

อัตราการอบแห้งจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อวัสดุมีความชื้นเท่ากับความชื้นสมดุลย์ (Equilibrium Moisture Content, EMC) ซึ่งเป็นความชื้นต่ำสุดของวัสดุภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 5และรูปที่ 6 ช่วงABเป็นช่วงที่วัสดุชื้นอยู่ในสภาวะที่ไม่คงที่(Unsteady State) และกำลังปรับตัวเพื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ที่จุด B ช่วง BC เป็นช่วงของการอบแห้งที่ความเร็วคงที่ ใน

Copyright by Mahidol University



รูปที่ 5 กราฟเส้นแสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่ออบแห้งวัสดุภายใต้กระแสลมร้อนปริมาณมากที่อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมคงที่



รูปที่ 6 เส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งที่ได้มาจากรูปที่ 5

Copyright by Mahidol University

ช่วงนี้ผิวหน้าทั้งหมดของวัสดุชื้นจะอิ่มตัวด้วยน้ำ ที่ผิวหน้าของวัสดุจะมีน้ำห่อหุ้มเป็นฟิลม์อยู่โดยรอบ และมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อน น้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้าของวัสดุชื้นจะถูกแทนที่ตลอดเวลาด้วยน้ำที่อยู่ภายในวัสดุ กลไกของการถ่ายเทน้ำออกจากภายในเนื้อวัสดุออกมาที่ผิวของวัสดุนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของวัสดุ ในกรณีของวัสดุที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นใย (fibrous) หรือ อสัณฐาน (amorphous) การถ่ายเทน้ำจะเป็นไปในลักษณะการแพร่จากภายในเนื้อ-วัสดุออกมาที่ผิวหน้า วัสดุที่มีอัตราส่วนช่องว่างเปิดที่ผิว (open void space) กว้าง การถ่ายเทน้ำจะถูกควบคุมโดยแรงตึงผิวและแรงโน้มถ่วงภายในวัสดุ เนื่องจากการถ่ายเทน้ำด้วยการแพร่มีอัตราการถ่ายเทช้ามาก วัสดุที่มีการถ่ายเทน้ำโดยวิธีนี้ จะมีช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่สั้นมาก หรืออาจไม่มีเลย ที่จุด C ผิวหน้าของวัสดุเริ่มจะมีน้ำห่อหุ้มไม่สม่ำเสมอทั่วผิวหน้า ช่วง CD ในรูปที่ 6 เรียกว่าช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลงช่วงแรก ในช่วงนี้ผิวหน้าของวัสดุเริ่มมีน้ำมาห่อหุ้มน้อยลงๆทุกทีเนื่องจากอัตราการถ่ายเทน้ำจากภายในเนื้อวัสดุช้ากว่าอัตราการระเหยของน้ำออกจากผิวหน้าของวัสดุ จนกระทั่งถึงจุด D ทั่วทั้งผิวหน้าของวัสดุจะไม่มีฟิลม์ของน้ำเหลืออยู่เลย น้ำที่อยู่ภายในวัสดุจะต้องแพร่ออกมาที่ผิวหน้าซึ่งไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วจึงแพร่ไปสู่กระแสลมร้อน กลไกการแพร่ของน้ำที่ผิวหน้าออกไปสู่กระแสลมร้อนจะมีอัตราการระเหยช้ากว่ากรณีที่ผิวหน้าของวัสดุอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งในกรณีนั้นการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าของวัสดุจะเป็นไปในลักษณะการพา (convective transfer) ออกไปสู่กระแสลมร้อน

เมื่อวัสดุมีความชื้นต่ำกว่าจุด D ในรูปที่ 6 การระเหยทั้งหมดจะเกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุ ในขณะที่ความชื้นของวัสดุมีค่าลดลง ระยะทางสำหรับการนำความร้อนและการแพร่ของมวลก็จะมากขึ้น จนกระทั่งวัสดุมีความชื้นเท่ากับความชื้นสมดุลย์ ซึ่งเป็นจุดซึ่งจะไม่เกิดการอบแห้งอีกต่อไป ช่วงการอบแห้งช่วงนี้เรียกว่า ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลงช่วงที่สอง

2.4.1 กลไกของการอบแห้ง

วีระ โลหะ: 2528 [34] ได้ศึกษาถึงกลไกของการอบแห้งพบว่า ในการอบแห้งวัสดุด้วยลมร้อน ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นทั้งการถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวลพร้อมกัน ความร้อนจากลมร้อนจะถ่ายเทเข้าไปภายในวัสดุโดยผ่านความต้านทานของฟิลม์อากาศนิ่ง และความต้านทานภายในของวัสดุตามลำดับ เมื่อความร้อนถ่ายเทเข้าไปภายในวัสดุ น้ำภายในวัสดุจะรับความร้อนและเกิดการระเหย มวลของน้ำที่ระเหยจะถ่ายเทออกสู่ภายนอกวัสดุโดยผ่านความต้านทานภายในวัสดุ และความต้านทานของฟิลม์ตามลำดับ

Copyright by Mahidol University

ในช่วงแรกของการอบแห้งบริเวณผิวหน้าและเนื้อวัสดุใกล้ผิวหน้าวัสดุมีฟิล์มของน้ำหุ้มอยู่ ดังนั้น ในช่วงการอบแห้งนี้ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่ผิววัสดุจะเป็นปัจจัยควบคุมอัตราการอบแห้ง แต่ในช่วงหลังของการอบแห้งความชื้นที่ระเหยทั้งหมดจะมาจากส่วนลึกภายในเนื้อวัสดุ ดังนั้น อัตราการแพร่ของน้ำภายในวัสดุจะเป็นปัจจัยควบคุมอัตราการอบแห้ง

2.4.2 เครื่องอบแห้ง

เนื่องจากความแตกต่างที่มีอยู่มากมายในรูปทรง และคุณสมบัติอบแห้งของวัสดุจึงจำเป็นต้องมีเครื่องอบแห้งหลายๆแบบเพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุนั้นๆ วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล: 2525 [35] ได้ทำการรวบรวมและสรุปประเภทของเครื่องอบแห้งที่ใช้ในระบบอุตสาหกรรม โดยสามารถจัดแบ่งได้ 3 ประเภทหลักๆดังนี้ (ดังแสดงในภาคผนวก ข.)

2.4.2.1 เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อน

ลักษณะของเครื่องอบแห้งประเภทนี้ โครงสร้างจะมีการหุ้มฉนวนกันความร้อน แหล่งกำเนิดลมร้อนมักจะเป็นห้องเผาไหม้ หรือคอล์ยทำความร้อน แล้วลมร้อนจะถูกดูด/เป่าเข้าสู่ห้อง/ตู้อบ ความสามารถของเครื่องชนิดนี้ขึ้นอยู่กับ จำนวนวัสดุ ลักษณะทางธรรมชาติของวัสดุที่จะอบแห้ง และสภาวะอากาศภายนอก รูปแบบของเครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบถาด (TheTray-Dryer) และ เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Belt Dryer) , เครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary Dryer) และเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Puenmatic Dryer) เป็นต้น

2.4.2.2 เครื่องอบแห้งแบบนำความร้อน (Conductive dryers)

ลักษณะของเครื่องจะคล้ายกับเครื่องอบแห้งแบบพาความร้อน ต่างกันที่เครื่องอบแห้งแบบนำความร้อน จะมีตัวกลางสำหรับถ่ายเทความร้อน เช่น แท่งเหล็ก ความร้อนที่ได้ค่อนข้างสม่ำเสมอ เนื่องจากวัสดุที่ต้องการอบแห้งจะสัมผัสกับตัวกลางโดยตรง รูปแบบของเครื่องอบแห้งแบบนำความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรร ได้แก่ เตาอบสุญญากาศ ,เครื่องอบแห้งแบบทรงกระบอกร้อน (Hot-Cylinderdryers), เครื่องอบแห้งแบบหมุนที่ให้ความร้อนทางอ้อม (Indirectly Heated Rotary Dryer) เป็นต้น

Copyright by Mahidol University

2.4.2.3 เครื่องอบแห้งแบบแผ่รังสี (Radiative dryers)

ส่วนใหญ่มักจะใช้พลังงานความร้อนจากธรรมชาติ ความร้อนจะเคลื่อนตัวผ่านตัวกลางเช่น พลาสติก หรือ กระจก และจะเคลื่อนตัวไปตามอากาศที่มีอยู่ภายใน โดยไม่มีการใช้พาหะใดๆเป็นตัวช่วยพา เครื่องอบแห้งที่พบเห็นในปัจจุบันในระบบอุตสาหกรรมได้ได้แก่ เตาอบแสงอาทิตย์ เป็นต้น

2.4.3 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 แบบ

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล : 2525 [35] ได้เปรียบเทียบคุณลักษณะของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ชนิดได้ดังนี้

<u>คุณสมบัติ</u>	<u>เครื่องอบแห้ง</u>		
	<u>ชนิดพาความร้อน</u>	<u>ชนิดนำความร้อน</u>	<u>ชนิดแผ่รังสี</u>
1. ระยะเวลาในการอบ	สั้น	สั้น	นาน
2. อุณหภูมิในการอบแห้ง	สม่ำเสมอ	สม่ำเสมอ	ไม่สม่ำเสมอ
3. ราคาเครื่องอบแห้ง	ปานกลาง	แพง	ถูก
4. ความสามารถในการลดความชื้น	สูง	สูง	ปานกลาง
5. การติดตั้ง	ใช้พื้นที่น้อย	ใช้พื้นที่น้อย	ใช้พื้นที่มาก
6. คุณภาพของผลิตภัณฑ์	ดี	ดี	ปานกลาง
7. การจัดการบำรุงรักษา	ง่าย	ง่าย	ยาก

จากคุณสมบัติของเครื่องอบแห้งประเภทต่างๆ ถ้าจะพิจารณาสร้างเครื่องอบแห้งสำหรับจะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ปัจจัยแรกที่ควรจะพิจารณาร่วมกัน ก็คือ ราคาของเครื่อง และความสามารถในการลดความชื้นของเครื่องอบแห้ง ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยทางด้านราคาแล้ว เครื่องอบแห้งที่น่าจะเลือกใช้ ควรจะเป็นเครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อน หรือเครื่องอบแห้งชนิดแผ่รังสี แต่เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการลดความชื้น และปัจจัยอื่นๆประกอบ ระหว่างเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ชนิด และพบว่า เครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อน มีความเหมาะสมมากกว่าเครื่องอบแห้งชนิดแผ่รังสี

Copyright by Mahidol University

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยมหิดล

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้เครื่องอบแห้งประเภทพาความร้อน เป็นรูปแบบที่จะนำมาใช้ในการออกแบบวิจัย

2.4.4 ผลการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องอบแห้ง

Soponronnarit S. และคณะ : 1992 [36] ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งมะละกอแช่อิ่มแบบสมดุลย์ความร้อนระหว่างอากาศอบแห้งแบบผลิตภัณฑ์ ผลการทดสอบแบบจำลองพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 65 องศาเซลเซียส อัตราการไหลจำเพาะของอากาศอบแห้งคือ 50 กิโลกรัมของอากาศแห้ง / กิโลกรัมแห้งของผลิตภัณฑ์

เริงจิต โพธิเจริญ : 2506 [37] ทำการอบแห้งกล้วยโดยใช้ลมร้อน พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ 54 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นลงได้ประมาณ 43 เปอร์เซนต์ จากกล้วยสุก

Pnt inสุริยวิริยะ และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ : 2532 [38] ศึกษาหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง จากการทดลองหาความชื้นสมดุลย์ พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์สมดุลย์ที่สุดอยู่ระหว่าง 40-65 องศาเซลเซียส

2.5 โรคที่อาจเกิดจากการใช้มูลสุกรเป็นปุ๋ยอินทรีย์

โดยทั่วไปแล้วมูลสุกรส่วนมากจะเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค และแมลงที่เป็นพาหะนำโรค ถ้าผู้ดูแลหรือผู้ประกอบการไม่ระมัดระวังในการจัดการก็อาจทำให้เกิดการติดเชื้อได้ง่าย ในกรณีที่พื้นที่ปศุสัตว์เหล่านั้นมีการระบาดของโรคอย่างรุนแรง อาจทำให้โรคบางชนิดสามารถติดต่อผ่านจากสัตว์สู่มนุษย์ได้

2.5.1 สาเหตุของการเกิดโรค

การเคลื่อนย้ายหรือขนถ่ายกากสุกรนั้น อาจก่อให้เกิดปัญหาทางด้านโรคดังที่ได้กล่าวแล้ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องระมัดระวังและควบคุมตนเองไม่ให้เกิดโรคติดต่อเหล่านั้น สาเหตุของการเกิดโรคนั้นเกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ จำพวกแบคทีเรีย และปรสิต สำหรับการศึกษานี้เป็นการ

Copyright by Mahidol University

37158 i 11180201

ศึกษาเฉพาะปรสิตเท่านั้น เนื่องจากว่า ระยะเวลาในการศึกษามีค่อนข้างจำกัด ประกอบกับการวินิจฉัยจำนวนและประเภทของสิ่งมีชีวิตจำพวกจุลินทรีย์ หรือ แบคทีเรียต่างๆนั้น ต้องอาศัยความชำนาญในการตรวจสอบพอสมควร ผู้วิจัยจึงดำเนินการศึกษาเฉพาะโรคที่อาจจะเกิดจากปรสิตเท่านั้น ซึ่ง McCaskey T.A.และ W.A. Anthony : 1979 [39] รายงานว่า ปรสิตอยู่ในทางเดินอาหารของสัตว์ทั่วไป เพียงแต่ว่าจะมีในปริมาณเท่าใดเท่านั้น 97 เปอร์เซนต์ของการติดเชื้อนี้ได้รับมาทางปาก ส่วน Tarczynski S. และL. Szepelski : 1979 [40] รายงานว่าความแห้งที่เกิดจากลมพัด (Ventilation) มีผลทำให้ฟาสสิโอลาเฮพาทิกา (Fasciola hepatica) สูญเสียประสิทธิภาพในการทำให้เกิดโรค ประมาณ 60 เปอร์เซนต์ ดังนั้นหากใช้ร่วมกับวิธีอื่น เช่น เพิ่มความร้อนชื้นหมักไว้จะทำลายปรสิตได้ทั้งหมด

2.5.2 การแพร่กระจายของโรค

สำหรับการแพร่กระจายของโรคนั้น สุรพล ชลดำรงค์กุล : 2529 [41] ได้สรุปวิธีการแพร่เชื้อโรคระหว่างสัตว์และคน สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายแบบ เช่น

(1) Direct zoonosis เป็นการติดต่อของโรคโดยที่สัตว์ที่มีกระดูกสันหลังชนิดเดียวเกี่ยวข้องกันในวงจร เช่น โรคที่ติดจากสุนัขสู่สุนัข หรือจากคนไปยังอีกคน เป็นต้น

(2) Meta-zoonosis เป็นการติดต่อโรคโดยที่มีสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง และสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังเกี่ยวข้องในวงจร เช่น โรคที่ติดต่อระหว่างยุงกับลิง

(3) Sapro-zoonosis เป็นการติดต่อโรคโดยที่สิ่งมีชีวิตที่ไม่ใช่สัตว์หรือสิ่งที่ไม่มีชีวิตมาเกี่ยวข้องในวงจร เช่น การติดต่อของโรคระหว่างสัตว์กับพืช

(4) Cyclo zoonosis เป็นการติดต่อของโรคโดยที่สัตว์มีกระดูกสันหลังมากกว่า 1 ชนิดเกี่ยวข้องอยู่ในวงจร เช่นการติดต่อของโรคพยาธิต่างๆจากสัตว์สู่คน ซึ่งในการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่กรณีนี้ โดยจะพิจารณาเฉพาะโรคที่เกิดจากสุกรเท่านั้น สุรพล ชลดำรงค์กุล : 2529 [41] ได้สรุปโรคที่สามารถติดต่อจากสุกรมายังมนุษย์ได้นั้น ประกอบด้วย โรคปากและเท้าเปื่อย โรคไข้หนังแดง , โรคไข้หวัดใหญ่สุกร , โรคเลปโตสไปโรซิส , โรคบาแลนติดิเอซีส , โรคอหิวาต์สุกร และโรคที่มีสาเหตุจากพยาธิภายใน

Copyright by Mahidol University

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ซึ่งศึกษาความเป็นไปได้ของการออกแบบสำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ สามารถแบ่งการดำเนินการวิจัยเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

3.1 ขั้นตอนการเตรียมการและออกแบบวิจัย
3.2 ขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
3.3 ขั้นตอนการกำหนดการออกแบบทางวิศวกรรมเบื้องต้น
3.4 ขั้นตอนการทดลองออกแบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์
3.5 ขั้นตอนการประมวลและการวิเคราะห์ผล
3.6 ขั้นตอนการสรุป วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ

3.1 ขั้นตอนการเตรียมการและออกแบบวิจัย

3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมการ

โดยการรวบรวมเอกสาร ข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยสาระสำคัญดังนี้

3.1.1.1 ข้อมูลทั่วไปประกอบด้วย

(1) ข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ศึกษา เช่น ประเภทและลักษณะของฟาร์มเลี้ยงสุกรในเขตจังหวัดนครปฐม

(2) ข้อมูลเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ เช่น ลักษณะของก๊าซชีวภาพ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ หลักเกณฑ์ในการเลือกสถานที่ และสร้างบ่อชีวภาพชนิด

Copyright by Mahidol University

ของบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ผลพลอยได้จากการผลิตก๊าซชีวภาพ และการนำผลพลอยได้จากก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนา

(3) ข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบการอบแห้ง เช่น วิธีการอบแห้งที่ใช้ในปัจจุบัน เครื่องมือเครื่องใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์

(4) ข้อมูลเกี่ยวกับโรคในสุกร โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถติดต่อมนุษย์ได้

3.1.1.2 ข้อมูลเพื่อการออกแบบ ประกอบด้วย

(1) ข้อมูลทั่วไป

(2) ข้อมูลเกี่ยวกับชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ

(3) ข้อมูลข้อกำหนดวิศวกรรมเบื้องต้น

3.1.1.3 ข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และประเมินผล ประกอบด้วย

(1) ข้อมูลการประเมินผล จากเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ โดยประเมินจากประสิทธิภาพ สมรรถนะ และ ประสิทธิผล

(2) ข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนการผลิต

3.1.2 ขั้นตอนการออกแบบการวิจัย

ประกอบด้วยการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

3.1.2.1 ขั้นตอนก่อนการออกแบบ จะต้องทำการสำรวจสภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา เช่น ลักษณะของฟาร์ม จำนวนสุกรที่เลี้ยง ปริมาณมูลสัตว์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตในแต่ละวัน

3.1.2.2 ขั้นตอนการประมวลผลเบื้องต้น ข้อมูลที่ได้จากภาคสนามเหล่านี้จะถูกนำไป ประมวล และวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการออกแบบเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์

Copyright by Mahidol University

3.2 ขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.2.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

สำหรับประมวลเป็นข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น โดยข้อมูลที่ต้องทดสอบประกอบด้วย

3.2.1.1 สุ่มตัวอย่างกากมูลสัตว์ (Biogas-Sludge) นำมาทดสอบการอบแห้งกากมูลสัตว์ โดยใช้เวลาในการอบแห้งต่างกันทุก 5 นาที คือ 5 , 10 , 15 , 20 นาที

3.2.1.2 สุ่มตัวอย่างกากมูลสัตว์ (Biogas-Sludge) นำมาทดสอบการอบแห้งกากมูลสัตว์ โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่างกันทุก 5 องศาเซลเซียส คือ 30 ,35 , 40 , 45 , 50 , 55 , 60 , 65 , 70 , 75 , 80 , 85 , 90 , 95 และ 100 องศาเซลเซียส

3.2.2 ขั้นตอนการนำตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบ มาวิเคราะห์คุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ

โดยใช้สถานที่คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ และคณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล ดังต่อไปนี้

3.2.2.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วยความชื้น และความเป็นกรดเป็นด่าง วิธีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์คือ วิธี A.O.A.C (Association of Official Analytical Chemists)

3.2.2.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางชีวภาพ และการทำให้เกิดโรค ประกอบด้วยประเภทและปริมาณของแมลงที่เป็นพาหะนำโรค รวมทั้งประเภทและปริมาณของปรสิตที่พบ วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ การตรวจวินิจฉัยโรคปรสิตวิทยา

Copyright by Mahidol University

3.2.2.3 คุณสมบัติการเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ประกอบด้วย ธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ วิธี A.O.A.C (Association of Official Analytical Chemists)

(รายละเอียดของการวิเคราะห์ต่างๆตามหัวข้อ 3.2.2.1 ,3.2.2.2 และ 3.2.2.3 แสดงในภาคผนวก ค. และ ง.)

3.3 ขั้นตอนการกำหนดเกณฑ์การออกแบบทางวิศวกรรมเบื้องต้น (Design Crieteria)

เป็นการนำข้อมูลที่ได้ทางห้องปฏิบัติการมาเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดด เพื่อกำหนดเป็นข้อกำหนดการออกแบบทางวิศวกรรมเบื้องต้น

3.4 ขั้นตอนการทดลองออกแบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์

เป็นขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้น สำหรับสร้างเครื่องอบแห้งมูลสัตว์ โดยอาศัยหลักเกณฑ์ของข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น (Design Criteria) ผนวกกับสมการคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง ที่ศึกษาได้ในหัวข้อ 3.1 , 3.2 และ 3.3

สมการคณิตศาสตร์ที่ช่วยในการออกแบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ จำเป็นต้องอาศัยตัวแปรที่สำคัญต่อการออกแบบดังนี้

(1) จำนวนรอบของการหมุน Nn (รอบ/นาที) ของเพลา โดยทั่วไปแล้วใช้สมการต่อไปนี้

$Nn\ D_T = 7\text{-}12$ ม./นาที .... (สมการก)

โดยที่ D_T = เส้นผ่าศูนย์กลาง (ม.) ของตัวทรงกระบอก

(2) ความเร็วเชิงมวล (G) (กก.ก๊าซ/ชม.ม^2) ของลมร้อนในตัวทรงกระบอก เพื่อจำกัดปริมาณของฝุ่นที่เกิดจากลมร้อนให้น้อยกว่า 3 %

G = 2000 สำหรับอนุภาคละเอียดเบา

G = 6000 สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่

Copyright by Mahidol University

ในที่นี้ $G = u\rho_g$ เมื่อ u = ความเร็วของร้อน (ม./ชม.) และ ρ_g = ความหนาแน่นของลมร้อน (กก./ม.^{3})

(3) จำนวนชั้นแผ่นเหล็ก (n)

ตามปรกติคำนวณ n ได้จาก $n / D_T = 8 - 10$

(4) อัตราส่วนของวัสดุที่มีอยู่ในเครื่อง (X) (%)

อัตราส่วนของวัสดุที่มีอยู่ในเครื่อง X คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ภาคตัดขวางที่ถูกครอบครองโดยวัสดุกับพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวกระบอก ($\pi D_T2 / 4$) กล่าวกันว่า ค่าที่เหมาะสมที่สุดของ X ประมาณ 6 - 12%

(5) มุมเอียงของตัวเครื่อง S_d (ม./ม.ความยาวของเครื่อง)

ค่าของ S_d ประมาณคร่าวๆได้จาก

$X = (0.4 F / T N S_d D_T)(100)$ .... (สมการ ข)

ในที่นี้ F คือ ความเร็วของการป้อนวัสดุ (ม.^{3}/ชม. ม.^{2} ของพื้นที่หน้าตัดของเครื่อง) ซึ่งคำนวณได้จาก $F = Wo/(\rho_b(\pi D_T^2/4)$ .... (สมการ ค)

โดยที่ W_o = อัตราการป้อนวัสดุ (กก./ชม.)

ρ_b = ความหนาแน่นปรากฏของวัสดุ (kg/m^3)

T = อุณหภูมิการอบแห้งที่เหมาะสม (°C)

โดยทั่วไปใช้ค่า

S_d = 0.~0.06 กันมาก

(6) ผลลดความดันของลมร้อนที่ไหลผ่านเครื่อง

โดยทั่วไป ผลลดความดันมีค่าประมาณ 1 มม.น้ำ/ม. ความยาวของเครื่อง

(7) กำลังสำหรับขับเคลื่อนการหมุนของเครื่อง P (HP)

วิธีคำนวณโดยละเอียดก็มีแต่เราสามารถประมาณค่าคร่าวๆ ได้จาก

$P \div D_T L$ .... (สมการ ง)

โดยที่ L = ความยาวของเครื่อง (ม.)

Copyright by Mahidol University

(8) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร ha (kcal/hr.m^3 °C)

สมการที่ได้จากการทดลองมีให้ใช้หลายสมการ ปกติค่าของ ha จะอยู่ในช่วง 100~200 และลดลงเมื่อ D_T เพิ่มขึ้น

สำหรับการไหลแบบสวนทาง, haDT = $19X^{0.5}$ $G'^{0.16}$ .... (สมการ จ)

สำหรับทั้งการไหลแบบขนานและแบบสวนทาง, haDT = 0.56 (n-1)$G'^{0.46}$ (สมการ ฉ)

ถ้า n = 6 ~ 16

ในที่นี้ n = จำนวนของแผ่นเหล็ก (ใช้ค่า n = 16 ในสมการถ้า n>16)

G' = ความเร็วเชิงมวลของลมร้อน (kg gas/hr-m^2)

เนื่องจากค่าของ ha จะลดลงอย่างมากถ้าเกิดการรวมตัวของวัสดุ ดังนั้น จึงควรใช้ค่าที่น้อยที่สุดที่หาได้ ในกรณีที่เครื่องอบแห้งถูกใช้เป็นเครื่องระบายความร้อนสำหรับวัสดุหยาบ ค่าของ ha จะเป็น 2~6 เท่าของค่าที่คำนวณได้จากสมการ จ, สมการ ฉ

(9) อุณหภูมิของลมร้อนที่ปล่อยออก t_o (°C)

การกำหนดอุณหภูมิของลมร้อนที่ปล่อยออก ควรจะคำนึงถึงหลักเศรษฐกิจเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายเดินเครื่อง กล่าวกันว่าค่าของ t_o ที่เหมาะสมที่สุดสามารถหาได้จาก

$(t_i - t_o)/(\Delta t)_{ave}$ = 1.4 ~ 2.0 .... (สมการ ช)

โดยที่ $(\Delta t)_{ave}$ เป็นค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิระหว่างลมร้อนกับวัสดุที่ทางเข้าและทางออกของวัสดุ ส่วน t_i เป็นอุณหภูมิที่ทางเข้าของลมร้อน

(10) เวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในเครื่อง θ ชม.

ค่าของ θ คำนวณได้จาก θ .... = LX/100F (สมการ ซ)

Copyright by Mahidol University

3.5 ขั้นตอนการประมวลผล และการวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 ขั้นตอนการประมวลผลการวิจัย

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาประมวลผล โดยใช้การประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม WINDOW (EXCELL) VERSION 5.0

3.5.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการวิจัย

ประกอบด้วยขั้นตอน และหลักเกณฑ์ต่างๆดังนี้

3.5.2.1 การศึกษาประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพของระบบ หรือเครื่องอบแห้งของกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ จะเป็นการศึกษาโดยพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากห้องปฏิบัติการเป็นหลัก รวมทั้งวิเคราะห์จากข้อเท็จจริงของระบบการอบแห้ง

3.5.2.2 ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน) โดยการหา มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์ (NPV : Net Present Value) , ผลตอบแทนการลงทุนเฉลี่ยแต่ละปีภายใน (Internal Rate of Return) พร้อมทั้งจุดคุ้มทุนของการลงทุน (Break Even Analysis) ของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

(1) วิธีการหา NPV

NPV = SUM [Fn (PWF, i %,n)]

โดยที่ PWF = ค่าแฟคเตอร์ ($1/(1+i)^n$) มาจาก $F = P((1+i)^n)$

F = จำนวนเงินรวมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเงินต้น อีกส่วนหนึ่งเป็นผลประโยชน์ หรือดอกเบี้ยที่คิดในอัตรา i % และเงินรวมนี้จะได้รับเมื่อครบกำหนดระยะเวลา n แล้ว เงินรวมเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Future Sum

P = จำนวนเงินเริ่มต้นเมื่อมีการกู้ยืม เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Present sum หรือ Present Worth

n = จำนวนระยะเวลาที่กำหนดในข้อตกลงการกู้ยืมเงิน (วัน เดือน ปี)

Copyright by Mahidol University

i = อัตราดอกเบี้ยต่อระยะเวลา (วัน เดือน ปี)

(2) วิธีการหา IRR

IRR จะใช้วิธีการ Trial and Error ให้ค่า NPV มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากเป็นจุดที่บอกผลตอบแทนการลงทุนภายใน เฉลี่ยแต่ละปี

(3) วิธีการหา Break Even Analysis

Break Even Analysis = (Fix cost)/(Income - Variable Cost)

โดยที่ Fix cost = ต้นทุนคงที่ ที่ใช้ในการลงทุนในช่วงปีแรก

Income = รายรับต่อปี

Variable Cost = ต้นทุนผันแปรโดยเฉลี่ยต่อปี

3.6 ขั้นตอนการสรุป วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ

3.6.1 ขั้นตอนการสรุปและวิจารณ์ผล

จะเป็นการสรุปและวิเคราะห์ผลของการศึกษาทั้งหมด โดยจะสรุปในแง่ของการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น ในประเด็นที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.5

3.6.2 ขั้นตอนการเสนอแนะ

จะเป็นการเสนอแนะสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาในประเด็นนี้ โดยจะนำเสนอแนวทางการดำเนินการ หรือการศึกษาที่น่าจะดำเนินการต่อไป

Copyright by Mahidol University

บทที่ 4

ผลการวิจัย การออกแบบ และการศึกษาความเป็นไปได้

ในการศึกษาความเป็นไปได้ขั้นต้นของการออกแบบ สำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ สามารถจัดแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูล ออกได้เป็น 5 หัวข้อ คือ

1. ข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้จากภาคสนาม
2. ผลการวิจัยหรือข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ
3. การกำหนดข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น
4. การออกแบบเบื้องต้น
5. การศึกษาความเป็นไปได้ขั้นต้น

ดังแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.1 ข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้ในสนาม

4.1.1 ลักษณะทั่วไปของระบบก๊าซชีวภาพ ณ ฟาร์มเล่งเต็ง

<u>สถานที่ตั้งฟาร์ม</u> : 208 หมู่ 15 ต. โพรงมะเดื่อ อ. เมือง จ. นครปฐม

<u>ชื่อเจ้าของฟาร์ม</u> : นาย ประพันธ์ ตั้งจารุวัฒนชัย

<u>ระบบก๊าซชีวภาพ</u> : ขนาด 600 ลูกบาศก์เมตร

<u>ราคาค่าก่อสร้าง</u> : 1.2 ล้านบาท (ปีพ.ศ. 2536)

<u>จุดประสงค์</u> : เพื่อสร้างระบบก๊าซชีวภาพสาธิตสำหรับบำบัดของเสียและผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้ภายในฟาร์มเลี้ยงสุกร

<u>มูลสุกรที่ใช้</u> : มูลสุกรที่ใช้จะเป็นมูลสุกรจากคอกหมายเลข 4 กว้าง 14 เมตร ยาว 110 เมตร เป็นคอกสุกรยืนจำพวกสุกรขุน น้ำหนักเฉลี่ย 60 กิโลกรัม จำนวน 800 ตัว และคอกสุกรหมายเลข6 กว้าง14 เมตร ยาว 140 เมตร เป็นสุกรจำพวกพ่อพันธุ์-แม่พันธุ์ น้ำหนักตัวเฉลี่ย 180

Copyright by Mahidol University

กิโลกรัม จำนวน 400 ตัว และสุกรอนุบาลและหย่านมแล้ว น้ำหนักตัวเฉลี่ย 10 กิโลกรัม จำนวน 1,200 ตัว

4.1.2 ปริมาณของเสีย ก๊าซชีวภาพ และผลพลอยได้อื่นๆ

สุกรจำนวน 2,400 ตัว (จากคอกหมายเลข 4 และ6) สามารถผลิตมูลประมาณ 2,790 กก.ต่อวัน น้ำปัสสาวะประมาณ 6,978 ลิตรต่อวัน รวมเป็นของเสียจากสุกรทั้งหมด 9,768 ลิตรต่อวัน ปริมาณน้ำสำหรับทำความสะอาดคอกทั้งหมด 22,000 ลิตรต่อวัน รวมปริมาณน้ำเสียทั้งหมด 31,768 ลิตรต่อวัน เมื่อผ่านระบบหมักก๊าซชีวภาพแล้ว สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (สามารถเปรียบเทียบกับก๊าซหุงต้มได้ 140 กิโลกรัม , ใช้กับเครื่องกกลูกสุกร 120 ตัว ได้วันละ 12 ชั่วโมง หรือใช้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างเดียววันละ 24 ชั่วโมง) สำหรับผลพลอยได้อื่นๆ อาทิเช่น การนำของเสียที่ออกจากระบบหมักก๊าซชีวภาพไปตากแดดบนลานทรายขนาด 384 ตารางเมตร ได้ปุ๋ยอินทรีย์โดยเฉลี่ยประมาณ 1,000 กิโลกรัมต่อวัน นอกจากนี้ผลพลอยได้ทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อม คือ การลดค่าความสกปรกในน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยสามารถลดค่า COD จาก 24,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดค่า BOD ได้ถึง 95 เปอร์เซนต์ รวมทั้งยังลดกลิ่นเหม็นและแมลงวันลงได้อย่างมาก นับว่า เป็นการช่วยเหลือสภาพแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

4.1.3 การทำงานของระบบก๊าซชีวภาพ

น้ำเสียจากคอกสุกรแม่พันธุ์ และลูกสุกรอนุบาลหมายเลข 6 และคอกสุกรขุนหมายเลข 4 ซึ่งประกอบด้วย มูลสุกร+ปัสสาวะ+ น้ำล้างคอก ประมาณ 31,768 ลิตรต่อวัน จะไหลตามรางเข้าสู่จุดดักทราย และผ่านตะแกรงเพื่อแยกสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เช่น เศษไม้ ถุงพลาสติก ฯลฯ แล้วไหลต่อไปยัง <u>บ่อรวมน้ำเสีย</u> (1) <u>บ่อรวมน้ำเสีย</u> (1) นี้มีความจุประมาณ 10 ลูกบาศก์เมตร ภายในบ่อจะมีเครื่องสูบน้ำทำงานอัตโนมัติ แบบ Submersible ชนิดที่มีใบตัด ซึ่งควบคุมโดยสวิทช์ลูกลอย 2 ตัว เพื่อควบคุมระดับน้ำในบ่อ น้ำเสียจะถูกสูบขึ้นผ่าน <u>บ่อเติม</u> (2) ส่งเข้าสู่ <u>บ่อหมักช้าแบบราง</u> (3) ซึ่งมีขนาดกว้าง 7 เมตร ยาว 35 เมตร ลึก 3 เมตร ความจุ 600 ลูกบาศก์เมตร อายุการหมักของของเสียโดยเฉลี่ย จะใช้เวลาประมาณ 20 วัน น้ำเสียที่เข้าสู่<u>บ่อหมักช้า</u> (3) จะแบ่งน้ำเสียส่วนข้นและน้ำเสียส่วนเจือจาง <u>น้ำเสียส่วนข้น</u> มีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่มาก ดังนั้นการออกแบบ และควบคุมการทำงานของบ่อหมักช้าแบบรางนี้ เพื่อต้องการให้กลุ่มแบคทีเรียที่ไม่

Copyright by Mahidol University

ต้องการออกซิเจน มีระยะเวลาในการทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น ได้ในเวลานานถึง 45 วัน น้ำเสียส่วนเจือจาง มีปริมาณสารอินทรีย์น้อย และไม่ต้องการเวลาหมักในบ่อแบบรางนานนัก คือ ประมาณ 5 วัน ก็จะล้นออกมาทางบ่อน้ำล้น (4) ผ่านเข้าสู่ ลานกรองของแข็ง (6 ก) น้ำที่ผ่านการกรองแล้ว จะไหลไปรวมกันที่บ่อพักน้ำ (7) ซึ่งมีความจุประมาณ 20 ลูกบาศก์ น้ำเสียส่วนข้นซึ่งผ่านการหมักช้าแบบรางเป็นเวลา 45 วันแล้วนั้นจะถูกดึงออกทาง ท่อดึงกาก (5) ทุกวัน เพื่อปล่อยลงสู่ลานกรองของแข็ง (6 ข) เพื่อแยกน้ำออกจากของแข็ง น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะไหลเข้าสู่บ่อพักน้ำ (7) เช่นเดียวกัน ส่วนของแข็งในลานกรองจะถูกปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 5 วัน เพื่อให้แห้งและนำไปใช้เป็นปุ๋ยต่อไป น้ำในบ่อพักน้ำ (7) ยังมีสารอินทรีย์ปนเปื้อน อยู่ในรูปของสารละลายจะถูกส่งเข้าไปหมัก อีกครั้งหนึ่งใน บ่อหมักเร็วแบบ UASB (8) เพื่อบำบัดจากบ่อUASB (8) แล้วจะถูกปล่อยผ่านแผงกระจายน้ำ (9) เพื่อให้น้ำดังกล่าวมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมาก จะรับออกซิเจนเข้าสู่น้ำ น้ำที่ผ่านแผงกระจายน้ำแล้วจะถูกปล่อยลงสู่สระน้ำ ขนาด 20 x 100 เมตร ลึกไม่เกิน 1.5 เมตร น้ำที่ปล่อยจากสระพัก สามารถนำไปใช้ล้างทำความสะอาดคอก หรือให้เพื่อการเกษตรได้ ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากบ่อหมักแบบราง (3) จะถูกเก็บไว้ในโดมพลาสติก และก๊าซชีวภาพที่เกิดจาก บ่อหมักเร็ว UASB (8) ก็จะถูกส่งเข้ามาเก็บรวมกันไว้ในโดมพลาติกนี้ด้วยกัน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป ผังระบบหมักก๊าซชีวภาพและระบบบำบัดน้ำเสียแสดงในรูปที่ 7 (รูปของระบบหมักก๊าซชีวภาพดังแสดงในภาคผนวก จ)

หมายเหตุ : (X) แสดงตัวเลขที่อยู่ในผังระบบหมักก๊าซชีวภาพ

4.2 ผลการวิจัยหรือข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ

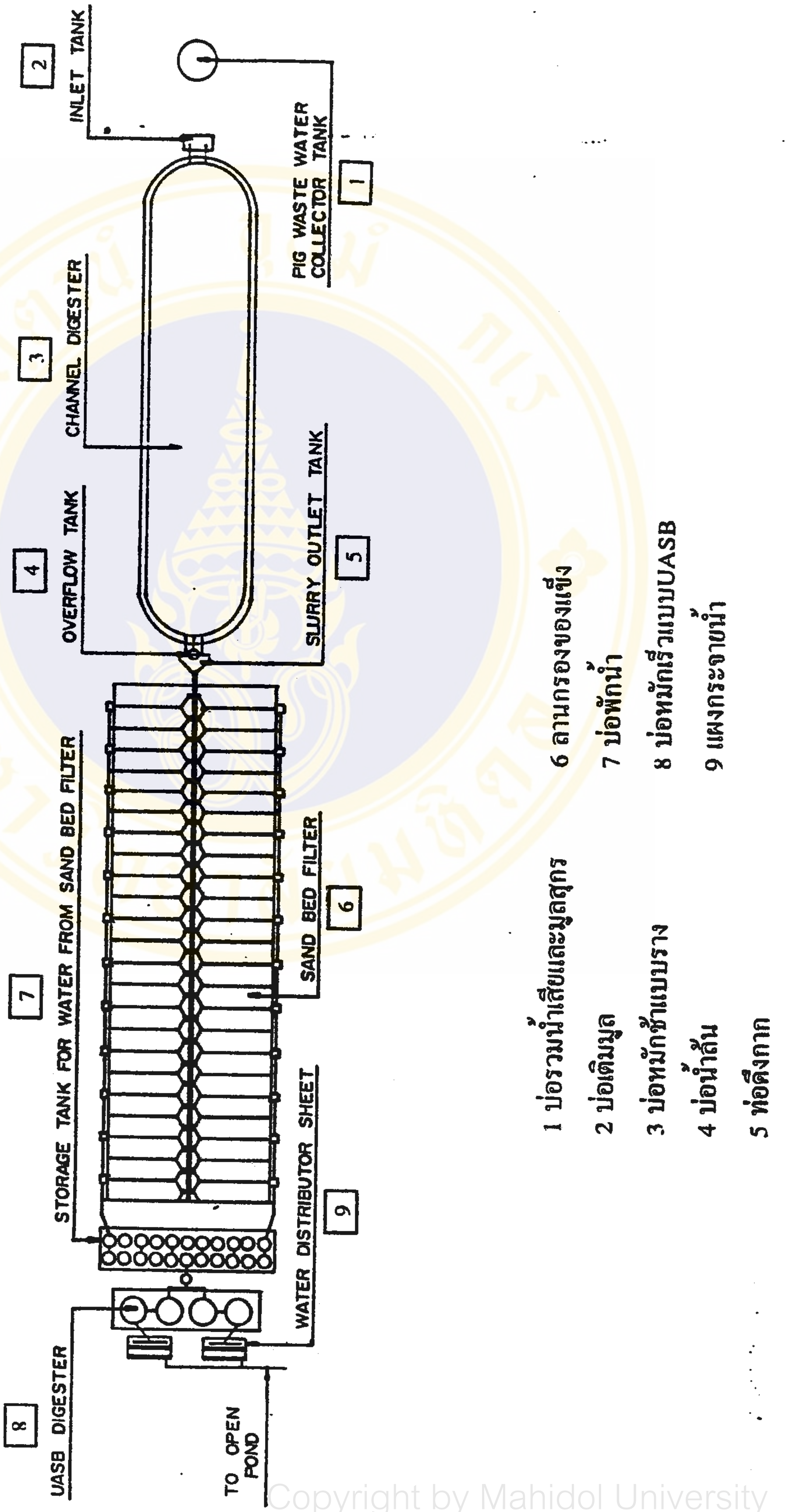
จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

4.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

เป็นคุณสมบัติของกากมูลสัตว์ทางด้านกายภาพ คือ ความชื้น (Moisture) และ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งจากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้

Copyright by Mahidol University

รูปที่ 7 ผังบริเวณระบบหมักก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกร



Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 6 ผลการทดลองเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของมูลสัตว์

รายการ	คุณสมบัติ	ความชื้น (%)				ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง			
	เวลา (วินาที)	5	10	15	20	5	10	15	20
1 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	30 องศาเซลเซียส	94	94	94	93	7.25	7.25	7.25	7.25
2 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	35 องศาเซลเซียส	87	87	87	87	7.27	7.27	7.27	7.27
3 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	40 องศาเซลเซียส	80	80	80	80	7.34	7.34	7.34	7.34
4 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	45 องศาเซลเซียส	74	74	73	73	7.23	7.23	7.23	7.23
5 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	50 องศาเซลเซียส	67	67	67	67	7.14	7.14	7.14	7.14
6 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	55 องศาเซลเซียส	60	60	60	60	7.67	7.67	7.67	7.67
7 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	60 องศาเซลเซียส	54	53	53	53	7.85	7.85	7.85	7.85
8 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	65 องศาเซลเซียส	47	47	46	46	7.52	7.52	7.52	7.52
9 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	70 องศาเซลเซียส	40	40	40	39	8.01	8.01	8.01	8.01
10 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	75 องศาเซลเซียส	34	33	33	33	7.68	7.68	7.68	7.68
11 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	80 องศาเซลเซียส	27	26	26	26	7.24	7.24	7.24	7.24
12 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	85 องศาเซลเซียส	20	20	19	19	7.55	7.55	7.55	7.55
13 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	90 องศาเซลเซียส	13	13	12	11	7.79	7.79	7.79	7.79
14 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	95 องศาเซลเซียส	7	5	3	1	7.23	7.23	7.23	7.23
15 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	100 องศาเซลเซียส	0.80	0.80	0.65	0.65	7.45	7.45	7.45	7.45
16 กากตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์		40				7.2-8.5			

Copyright by Mahidol University

4.2.1.1 ความชื้น

ลักษณะความชื้นจะแปรผันกลับกับความร้อน (อุณหภูมิ) ที่ได้รับ กล่าวคือ กากมูลสัตว์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิต่ำ จะมีเปอร์เซนต์ความชื้นสูง ในทางตรงกันข้าม กากมูลสัตว์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิสูงจะมีเปอร์เซนต์ความชื้นต่ำ เช่น กากมูลสัตว์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีความชื้นโดยเฉลี่ยประมาณ 94 เปอร์เซนต์ ส่วนกากมูลสัตว์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีความชื้นโดยเฉลี่ยประมาณ 0.75 เปอร์เซนต์ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง จากผลการทดลอง พบว่า กากมูลสัตว์ที่ได้รับความร้อนในระยะเวลาอันสั้น จะมีเปอร์เซนต์ความชื้นมากกว่ากากมูลสัตว์ที่ได้รับความร้อนในระยะเวลานานๆ เช่นกากมูลสัตว์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้งนาน 5 วินาที จะมีความชื้นประมาณ 94 เปอร์เซนต์ ในขณะที่กากมูลสัตว์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิเดียวกัน แต่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน 20 วินาที จะมีความชื้นประมาณ 93 เปอร์เซนต์ ส่วนค่าความชื้นของกากมูลสัตว์ที่ตากแห้ง ด้วยแสงอาทิตย์มีความชื้นที่ระดับ 40 เปอร์เซนต์

4.2.1.2 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ความผันแปรความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของแต่ละตัวอย่าง อยู่ในช่วงระหว่าง 7.23 - 8.01 ซึ่งนับว่าค่อนข้างเป็นกลาง และเมื่อเปรียบเทียบกับกากมูลสัตว์ที่ตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ (วิธีธรรมชาติ) พบว่า อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันคือในช่วงระหว่าง 7.2 - 8.5

4.2.2 คุณสมบัติทางชีวภาพ

เป็นคุณสมบัติของการทำให้เกิดโรค อันประกอบด้วยประเภทและปริมาณของแมลงที่เป็นพาหะนำโรค รวมทั้งประเภทและปริมาณของปรสิตที่พบ ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 7 จากผลการทดลองพบว่า ประเภทและปริมาณของแมลงพาหะนำโรคในกากมูลสัตว์ก่อนอบแห้ง ที่พบมากที่สุด คือ หนอนแมลงวัน โดยมีประมาณ 60 เปอร์เซนต์ ส่วนปรสิตเมื่อทำการตรวจวินิจฉัย พบว่า ทั้งก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง ไม่พบปรสิตประเภทใดๆทั้งสิ้น และเมื่อผู้ศึกษาได้ทำการตรวจวินิจฉัยจากมูลสุกรในแต่ละตัว โดยสุ่มมูลสุกรจากสุกร 16 ตัว จากจำนวนสุกรทั้งหมด 160 ตัว (จำนวน 10 คอก) เป็นการเปรียบเทียบ ผลการตรวจวินิจฉัยไม่พบปรสิตใดทั้งสิ้น และจากการสัมภาษณ์สัตว์แพทย์ประจำฟาร์ม เกี่ยวกับการจัดการฟาร์มสามารถสรุปได้คือ โดยปกติจะทำการถ่ายพยาธิลูกสุกรทุกตัว หลังจากหย่านม (ทำซ้ำทุกๆ 45 วัน) สุกรขุน จะให้ก่อนการให้วัคซีนป้องกันโรคทุกชนิด โดยให้ยาติดต่อกัน 7 วัน และสุกรพ่อ-แม่พันธุ์

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 7 ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติทางชีวภาพของกากมูลสัตว์

รายการ	คุณสมบัติ	ชีวภาพ			
		จำนวนปรสิต (%)			
	เวลา (วินาที)	5	10	15	20
1 กากมูลสัตว์ก่อนเข้าระบบหมักก๊าซชีวภาพ		ไม่พบ			
2 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	30 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
3 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	35 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
4 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	40 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
5 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	45 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
6 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	50 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
7 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	55 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
8 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	60 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
9 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	65 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
10 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	70 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
11 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	75 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
12 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	80 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
13 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	85 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
14 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	90 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
15 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	95 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
16 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	100 องศาเซลเซียส	ไม่พบ			
17 กากตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์		ไม่พบ			

หมายเหตุ แมลงพาหะนำโรคที่พบ คือ หนอนแมลงวันในกากมูลสุกรก่อนเข้าถังหมักก๊าซชีวภาพ

Copyright by Mahidol University

จะให้ยาทุกตัวก่อนผสมพันธุ์ โดยยาถ่ายพยาธิส่วนใหญ่เป็นจำพวกไดคลอวอส ซึ่งมีประสิทธิภาพในการถ่ายพยาธิไส้เดือน และพยาธิเม็ดตุ่มได้ดีมาก จากแผนการจัดการฟาร์มนี้ โอกาสของการพบปรสิตจึงค่อนข้างน้อย ดังนั้นโอกาสการเกิดโรคแก่ผู้เลี้ยง หรือผู้ประกอบการจึงค่อนข้างน้อย

4.2.3 คุณสมบัติของการเป็นปุ๋ยอินทรีย์

เน้นที่ธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จำพวก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม โดยผลการทดลองสามารถแสดงในตารางที่ 8 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.2.3.1 ไนโตรเจน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน (โดยน้ำหนักเปียก) ของกากมูลสัตว์ ณ ระดับอุณหภูมิ และเวลาต่างๆ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนจะแปรผันกลับกับค่าเปอร์เซนต์ความชื้น กล่าวคือ ถ้าปริมาณความชื้นในกากมูลสัตว์มีค่าต่ำ ปริมาณไนโตรเจนจะมีค่าสูงยิ่งขึ้น เช่น กากมูลสัตว์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อบด้วยเวลา 5 วินาที มีเปอร์เซนต์ความชื้น 94 เปอร์เซนต์ จะมีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 0.32 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเปียก ในขณะที่กากมูลสัตว์ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อบด้วยระยะเวลา 20 วินาที มีเปอร์เซนต์ความชื้น 0.65 เปอร์เซนต์ จะมีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 5.16 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเปียก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไนโตรเจนของกากมูลสัตว์ที่ตากแดด มีเปอร์เซนต์ความชื้น 40 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีค่าอยู่ประมาณ 0.78 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเปียก (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเปียก หมายความว่า กากมูลสัตว์ที่ผ่านการลดความชื้นแล้วเหลือความชื้นในกากมูลสัตว์ปริมาณหนึ่ง เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนจะได้ค่าประมาณ 0.78 เปอร์เซนต์ ในกากมูลสัตว์ทั้งหมด 100 เปอร์เซนต์ เช่น กากมูลสัตว์หนัก 100 กรัม จะมีปริมาณไนโตรเจน 0.78 กรัม)

4.2.3.2 ฟอสฟอรัส

จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส (โดยน้ำหนักเปียก) ของกากมูลสัตว์ ณ ระดับอุณหภูมิ และเวลาต่างๆ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสจะแปรผันกลับกับค่าเปอร์เซนต์ความชื้น เช่นเดียวกับค่าไนโตรเจน กล่าวคือ ถ้าปริมาณความชื้นในกากมูลสัตว์มีค่าต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสจะมีค่าสูงยิ่งขึ้น เช่น กากมูลสัตว์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อบด้วยเวลา 5 วินาที มีเปอร์เซนต์ความชื้น 94 เปอร์เซนต์ จะมีค่าฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.34 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักเปียก ในขณะที่กากมูลสัตว์ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อบด้วยระยะเวลา 20 วินาที มี

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 8 ผลการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ของมูลสัตว์

รายการ	คุณสมบัติ	ธาตุอาหาร											
		ไนโตรเจน (% โดยน้ำหนักเปียก)				ฟอสฟอรัส (% โดยน้ำหนักเปียก)				โปแตสเซียม (% โดยน้ำหนักเปียก)			
	เวลา (วินาที)	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
1 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	30 องศาเซลเซียส	0.32	0.33	0.33	0.34	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
2 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	35 องศาเซลเซียส	0.67	0.68	0.68	0.69	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12
3 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	40 องศาเซลเซียส	1.02	1.02	1.03	1.04	0.16	0.16	0.16	0.16	0.18	0.18	0.18	0.19
4 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	45 องศาเซลเซียส	1.37	1.37	1.38	1.39	0.21	0.21	0.21	0.22	0.25	0.25	0.25	0.25
5 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	50 องศาเซลเซียส	1.71	1.72	1.73	1.74	0.27	0.27	0.27	0.27	0.31	0.31	0.31	0.31
6 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	55 องศาเซลเซียส	2.06	2.06	2.06	2.06	0.32	0.32	0.32	0.32	0.37	0.37	0.37	0.37
7 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	60 องศาเซลเซียส	2.41	2.42	2.43	2.44	0.37	0.38	0.38	0.38	0.43	0.43	0.44	0.44
8 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	65 องศาเซลเซียส	2.76	2.77	2.78	2.79	0.43	0.43	0.43	0.43	0.49	0.50	0.50	0.50
9 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	70 องศาเซลเซียส	3.10	3.12	3.13	3.14	0.48	0.48	0.49	0.49	0.56	0.56	0.56	0.56
10 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	75 องศาเซลเซียส	3.45	3.47	3.48	3.50	0.54	0.54	0.54	0.54	0.62	0.62	0.63	0.63
11 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	80 องศาเซลเซียส	3.80	3.82	3.84	3.86	0.59	0.59	0.60	0.60	0.68	0.69	0.69	0.69
12 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	85 องศาเซลเซียส	4.15	4.17	4.20	4.22	0.64	0.65	0.65	0.66	0.74	0.75	0.75	0.76
13 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	90 องศาเซลเซียส	4.49	4.53	4.57	4.61	0.70	0.70	0.71	0.72	0.81	0.81	0.82	0.83
14 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	95 องศาเซลเซียส	4.84	4.92	5.01	5.14	0.75	0.76	0.78	0.80	0.87	0.88	0.90	0.93
15 กากมูลสัตว์ที่อบแห้งณ. อุณหภูมิ	100 องศาเซลเซียส	5.15	5.15	5.16	5.16	0.80	0.80	0.80	0.80	0.92	0.92	0.93	0.93
16 กากตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์		0.78				0.23				0.25			

Copyright by Mahidol University

เปอร์เซนต์ความชื้น 0.65 เปอร์เซนต์ จะมีค่าฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.80 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักเปียก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของฟอสฟอรัสของกากมูลสัตว์ที่ตากแดด มีเปอร์เซนต์ความชื้น 40 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีค่าอยู่ประมาณ 0.23 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักเปียก

4.2.3.3 โปแตสเซียม

จากการวิเคราะห์หาปริมาณโปแตสเซียม (โดยน้ำหนักเปียก) ของกากมูลสัตว์ ณ ระดับอุณหภูมิ และเวลาต่างๆ พบว่า ปริมาณโปแตสเซียมจะแปรผันกลับกับค่าเปอร์เซนต์ความชื้น เช่นเดียวกับค่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัส กล่าวคือ ถ้าปริมาณความชื้นในกากมูลสัตว์มีค่าต่ำ ปริมาณโปแตสเซียมจะมีค่าสูงยิ่งขึ้น เช่น กากมูลสัตว์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อบด้วยเวลา 5 วินาที มีเปอร์เซนต์ความชื้น 94 เปอร์เซนต์ จะมีค่าโปแตสเซียมเท่ากับ 0.04 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักเปียก ในขณะที่กากมูลสัตว์ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อบด้วยระยะเวลา 20 วินาที มีเปอร์เซนต์ความชื้น 0.65 เปอร์เซนต์ จะมีค่าโปแตสเซียมเท่ากับ 0.93 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักเปียก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของโปแตสเซียมของกากมูลสัตว์ที่ตากด้วยแสงอาทิตย์ มีเปอร์เซนต์ความชื้น 40 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีค่าอยู่ประมาณ 0.25 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักเปียก

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้ สามารถนำมาประมวลผลเป็นข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้นสำหรับการออกแบบเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์ได้ดังนี้

(1) คุณสมบัติทางกายภาพ

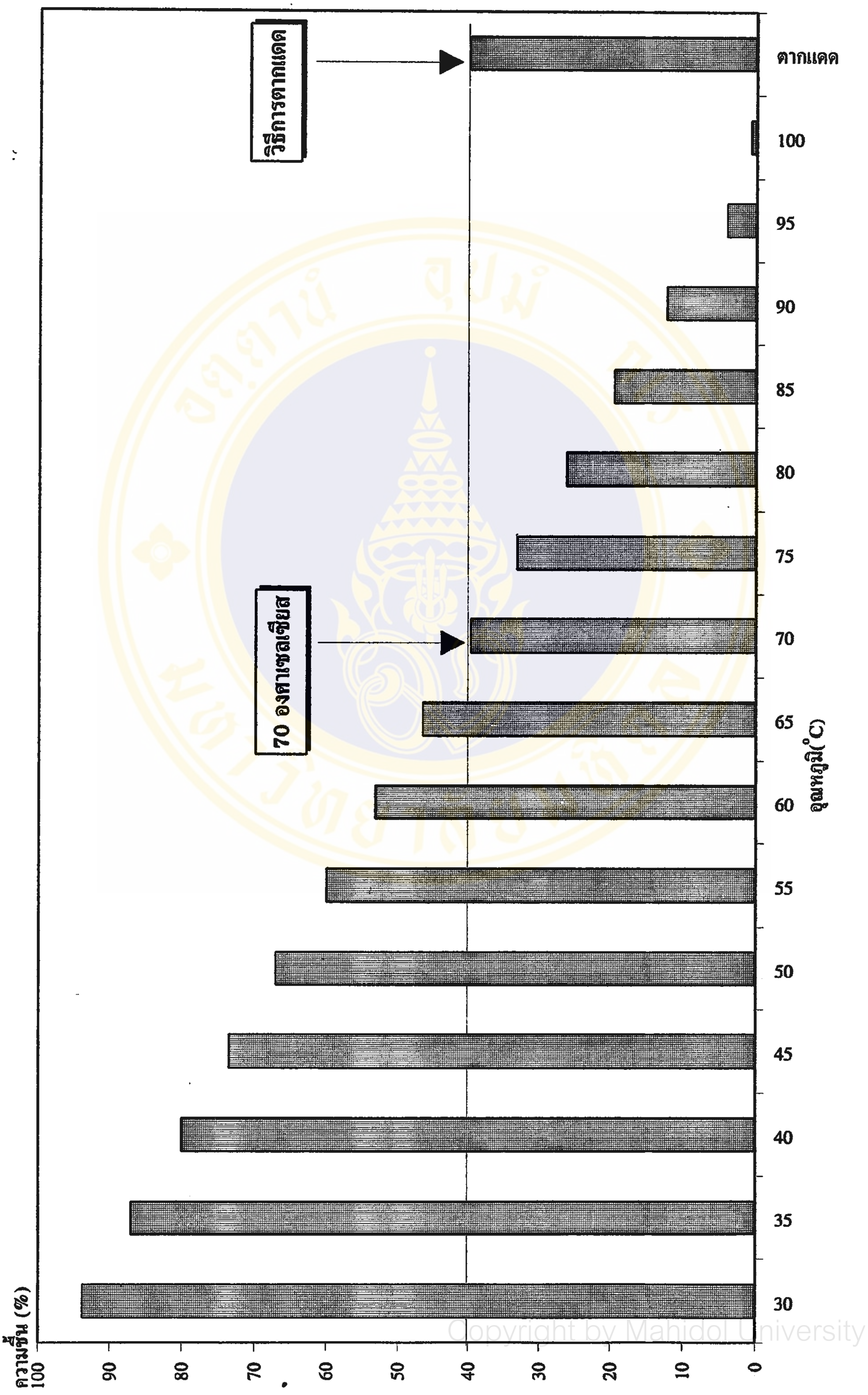
จากการทดลองคุณสมบัติทางกายภาพ เกี่ยวกับความสามารถในการลดความชื้น พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการอบแห้งกากมูลสัตว์อยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส จึงจะทำให้เปอร์เซนต์ความชื้นเท่ากับ 40 เปอร์เซนต์ ซึ่งเป็นเปอร์เซนต์ที่ได้จากการตากแดดดังแสดงในรูปที่ 8 ส่วนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดแล้ว พบว่า ช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธีการตากแดด

(2) คุณสมบัติทางชีวภาพ และการทำให้เกิดโรค

จากการทดลองคุณสมบัติทางชีวภาพ พบว่า ไม่พบทั้งพาหนะของโรค และปาราสิต ณ ช่วงอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ทดลองต่างๆทุกๆ 5 นาที ดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว อีกทั้งการตรวจวินิจฉัยในกากมูลสัตว์ที่ผ่านการตากแดด ก็ไม่พบพาหนะนำโรคและปรสิตที่จะก่อให้เกิดโรคใดทั้งสิ้น ดังนั้นจึงถือว่าปัจจัยนี้ไม่เป็นปัจจัยสำคัญในการใช้เป็นข้อกำหนด

Copyright by Mahidol University

รูปที่ 8 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบการลดความชื้นระหว่างการอบแห้งกับการตากแดด



Copyright by Mahidol University

ทางวิศวกรรมเบื้องต้น แต่จะนำผลจากห้องปฏิบัติการนี้ใช้ร่วมกับการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน) ในแง่การลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

(3) คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

จากการทดลองพบว่า ความร้อนไม่ส่งผลต่อการระเหิดหรือการสูญสลายของธาตุอาหาร (ในกรณีที่ความร้อนนั้นมีอุณหภูมิไม่เกิน 150 องศาเซลเซียส ,บัณฑิต : 2536 [19]) ดังนั้นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้ธาตุอาหารในกากมูลสัตว์ที่ผ่านการอบแห้งมีค่าสูงกว่า กากมูลสัตว์ที่ผ่านการตากแดด จะอยู่ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

กล่าวโดยสรุป ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดนั้น พบว่า จะอยู่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จึงทำให้เปอร์เซนต์ความชื้นเท่ากับ 40 เปอร์เซนต์

4.3 ข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมเบื้องต้น สำหรับการออกแบบของเครื่องอบแห้ง-มูลสัตว์

4.3.1 ขนาดของต้นแบบ

จากข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้ในภาคสนามพบว่ากากมูลสุกรที่ล้นออกมาจากถังหมักก๊าซชีวภาพ มีปริมาณวันละ 1,000 กิโลกรัม ระยะเวลาในการทำงานของคนงานที่ใช้สำหรับในการตากแห้งกากมูลสัตว์ ประมาณ 5 ชั่วโมงต่อ 1 วัน ดังนั้นขนาดของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์นี้จะต้องสามารถอบแห้งมูลสุกรได้ประมาณ1,000กิโลกรัมต่อวันหรือ 200 กิโลกรัม/ชั่วโมง (ดำเนินการประมาณ 5 ชั่วโมงต่อวัน)

4.3.2 การลดความชื้น

สามารถลดความชื้นในมูลสัตว์ได้เหลือความชื้นเท่ากับ 40 เปอร์เซนต์

Copyright by Mahidol University

4.3.3 รูปแบบของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์

รูปแบบของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ที่ปรับปรุงมาจาก เครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนประเภท TURBO-TRAY DRYER (จะให้วัสดุตกลงมาตามชั้นแผ่นเหล็ก และรอดผ่านตามร่องที่เจาะไว้ในแผ่นเหล็กแต่ละชั้น) เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ประเภท PUENMATIC (อากาศถูกทำให้ร้อนแล้วดูดผ่านท่อเป่าลมร้อน) และ เครื่องหมักปุ๋ย แบบ TRIP PADDLING FERMENTATION (จะมีใบกวาดอยู่เหนือแผ่นเหล็กแต่ละชั้น เพื่อกวาดวัสดุลงตามร่องของแผ่นเหล็ก) วัสดุที่จะใช้สร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์นี้ จะใช้เหล็กเป็นวัสดุสำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ เนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นมากกว่าวัสดุประเภทอื่น

4.3.4 ต้นทุนการผลิต

ต้องมีต้นทุนในการสร้างเครื่องมือต่ำ และมีอายุในการใช้งานยาวนาน รวมทั้งเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่ำ

4.3.5 ประสิทธิภาพทางเทคนิค

สามารถใช้งานสะดวก รวมทั้งไม่เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการผลิตอื่นๆ

4.3.6 อุณหภูมิของกากมูลสัตว์ที่ผ่านการอบแห้ง

ไม่ทำให้อุณหภูมิของมูลสัตว์สูงเกินกว่า 70 องศาเซลเซียส และคุณสมบัติของกากมูลสัตว์สูญเสียได้ง่าย

4.3.7 เชื้อเพลิงกำเนิดลมร้อน

ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง แต่ในกรณีที่ไม่สามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้ อาจจะใช้ก๊าซ LPG ทดแทนได้

Copyright by Mahidol University

4.3.8 ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

ใช้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (ผลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ)

4.4 การออกแบบเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ และกระบวนการอบแห้ง

4.4.1 การออกแบบเบื้องต้น

จากข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น ผนวกกับสมการทางคณิตศาสตร์ สามารถนำมาช่วยในการออกแบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ได้ดังนี้

การคำนวณอุปกรณ์สำหรับจัดเตียมเป็นเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์ สำหรับเครื่องอบแห้งชนิดไหลสวนทาง จะถูกออกแบบภายใต้สมมุติฐานที่ว่า ความหนาแน่นปรากฏของวัสดุ (ρ_b) เท่ากับ 700 kg/m3

จาก (2), ค่า G = 6,000 kg/hr m^2 เป็นค่าที่สมเหตุผล เนื่องจากอนุภาคของกากมูลสุกรจัดเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ > 1 มม.

จาก (1), ถ้าเราให้ ND_T	= 6 จะได้ N = 4.9 rpm.
จาก (3), ถ้าเราให้ n/D_T	= 8 จะได้ n = 13
ดังนั้น ใช้ค่า n	= 12
จาก (4), เลือกค่า X	= 10เปอร์เซนต์

จากสมการ (ค) ใน (5)

$$F = 4{,}000/\{(700)\ (\pi/4)\ (1.64)^2\} = 2.71\ m^3/hr.m^2$$

$$10 = \{(0.4)\ (2.71)\ /\ (90)\ (4.9)\ Sd\ (1.64)\}\ (100)$$

$$\therefore\ Sd = 0.023$$ (ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสม)

จากสมการ (ซ) ใน (10) เวลาเฉลี่ยที่วัสดุอยู่ในเครื่อง คือ

θ = (10.3) (10)/(100) (2.71) = <u>22.8 นาที</u>

Copyright by Mahidol University

จาก (6) , ผลลดความดันในเครื่องอบแห้งเท่ากับ (1) (10.3) = 10 mm. ของน้ำ

จาก (7) ประมาณค่า P = (1.64) (10.3) = 16.9 HP โดยการใช้สมการ (5.4)

เนื่องจากการไหลเป็นแบบสวนทาง ใช้สมการ (จ) ใน (h) สำหรับใช้คำนวณ ha

$G' = 3500 \{ 1 + (0.025 + 0.0729)/2 \} = 3671$

$ha\ (1.64) = (19)\ (10)^{0.5}\ (3671)^{0.16}$

$\therefore\ ha = 136$

ถ้าใช้สมการ (ฉ), $ha\ (1.64) = 0.56\ (12\text{-}1)\ (3671)^{0.46}$

$\therefore\ ha = 164$

สมการ (จ) เชื่อถือได้มากกว่า ดังนั้น ใช้ค่า ha = 140 kcal/hr.m^3

(9) สมมุติว่าใช้ค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ปล่อยออกเท่ากับ 90 °C เพื่อให้มีอุณหภูมิภายในระบบเท่ากับ 70 °C จากสมการ (ซ)

$(\Delta t)_{av} = \{ (90 - 20) + (250 - 90.3) \}/2 = 115$

$(250 - 90)/115 = 1.4$

ดังนั้น 90 °C เป็นอุณหภูมิของลมร้อนทิ้งที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ เนื่องจากปริมาตรชื้น V_H = 1.15 m3/kg dray gas สำหรับอากาศที่ปล่อยออก (ที่ 90 °C, H = 0.0729) อัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องเป่าลมออกเท่ากับ $G_o V_H/90 = (7350)(1.15)/(90) = \underline{93.9\ m^3/min}$

ถ้าใช้ค่าความดันสถิตย์ 20 มม.น้ำ สำหรับเตาสันดาป, 10 สำหรับเครื่องอบแห้ง, 50 สำหรับระบบท่อ, 100 สำหรับไซโคลน ค่ารวมจะเท่ากับ 180 มม. น้ำ สมมุติให้ประสิทธิภาพของเครื่องเป่าลมเท่ากับ 60เปอร์เซนต์ กำลังที่ต้องใช้ P (HP) เท่ากับ

P = (อัตราการไหลของอากาศ) (ความดันสถิตย์)/(4560) n_b

= (93.9) (180)/(4560) (0.6)

= <u>6.17 HP</u>

สามารถคำนวณกระแสไฟฟ้าจากเครื่องเป่าลม ได้จากสูตร

kw = $\dfrac{0.746 \times \text{แรงม้าของเครื่องเป่าลม}}{\text{ประสิทธิภาพของมอเตอร์}}$

Copyright by Mahidol University

ดังนั้น กระแสไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม $= \frac{0.746 \times 6.17}{0.75} = 6.13$ kw

จะใช้ชุดเฟืองหนอนขนาดกำลังส่ง 5 kw จากเพลา 300 rpm ไปยังเพลา 15 rpm ส่วนมอเตอร์สำหรับชุดสายพานขับลิ่ม จะใช้ขนาด 1.36 kw

4.4.2 กระบวนการอบแห้ง (การทำงานของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์)

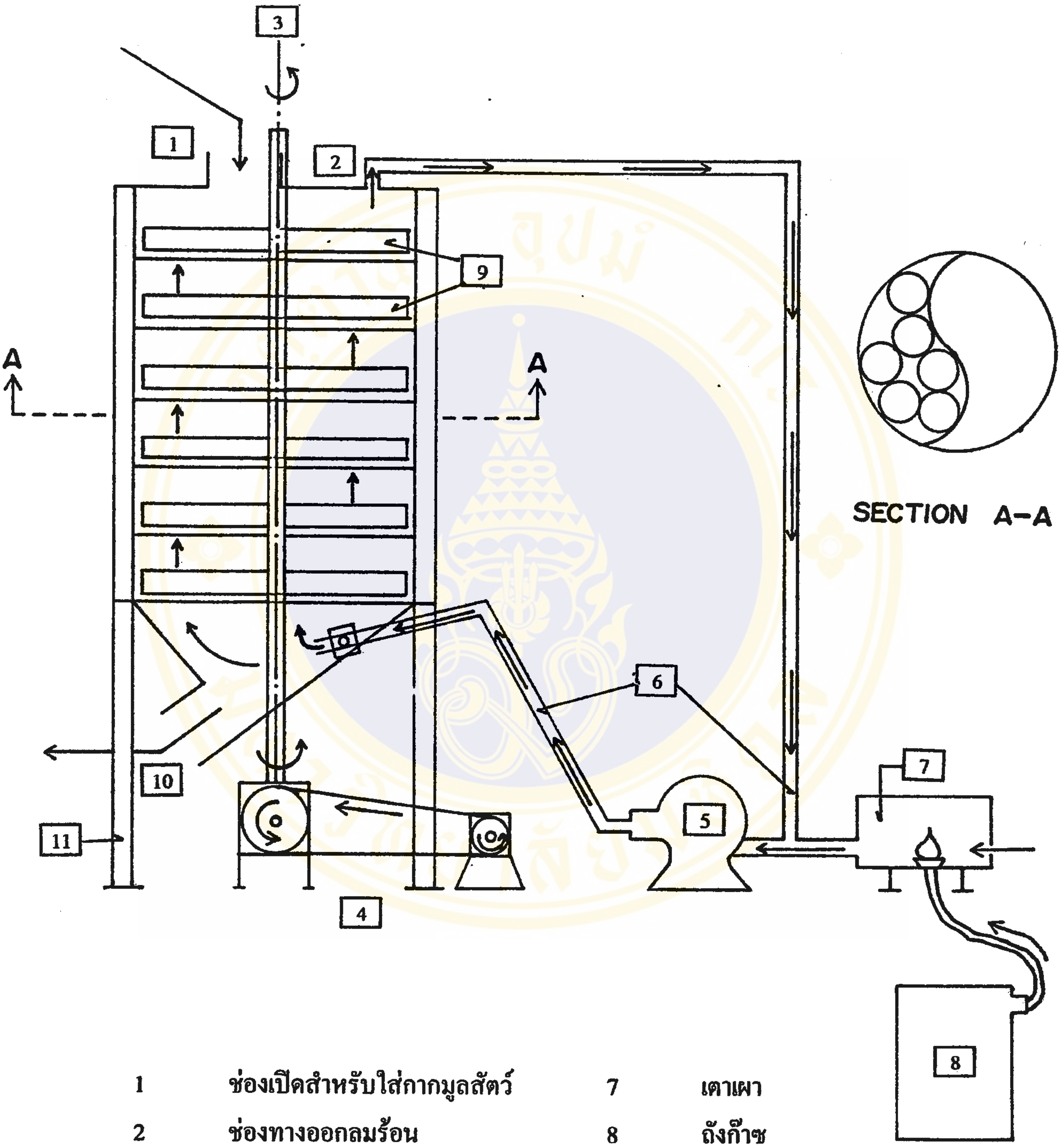
สำหรับรูปแบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ในเบื้องต้นแสดงในรูปที่ 9ซึ่งสามารถอธิบายกระบวนการอบแห้งได้ดังนี้

กากมูลสุกรเปียกที่เหลือจากการหมัก ซึ่งผ่านการผึ่งให้มีปริมาณความชื้นเหลือประมาณ 60 เปอร์เซนต์ ถูกป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ทางช่องเปิดข้างบน (หมายเลข1) ประมาณ 200 kg/hr. หลังจากนั้นกากมูลสัตว์จะไหลไปตามชั้นแผ่นเหล็ก โดยมีใบกวาด หมุนด้วยความเร็วรอบตามแนวแกน X (หมุนตามเข็มนาฬิกา)ประมาณ 15 รอบต่อนาที กากมูลสัตว์เปียกจากชั้นแผ่นเหล็กรองรับที่ 1 (Stage 1) จะสัมผัสลมร้อนอุ่น (Pre-Heat) โดยอุณหภูมิในชั้นนี้ประมาณ 45 °C จากนั้นกากมูลสัตว์ก็จะไหลผ่านร่องแผ่นเหล็กรองรับที่ 1 ไปยังแผ่นเหล็กรองรับที่ 2 ,3 ,4 ,5 และ 6 จนถึง ช่องทางออกของกากมูลสัตว์ (หมายเลข 10) ตามลำดับ ลมร้อนจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกากมูลสัตว์ โดยลมร้อนจะเกิดจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ ซึ่ง ผ่านการดูดลมร้อนโดยผ่านพัดลมเป่าอากาศ (Blower) จึงทำให้มีลมร้อนไหลสวนทางมาแบบต่อเนื่องไปจนถึงชั้นสุดท้าย และออกตามช่องรับลมร้อน (หมายเลข 2) ซึ่งอุณหภูมิของลมร้อนจะลดลง เนื่องจากบางส่วนของลมร้อนจะถูกถ่ายเทตามแผ่นเหล็กของตัวเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์

หมายเหตุ : (X) แสดงตัวเลขที่อยู่ในแบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์

Copyright by Mahidol University

รูปที่ 9 รูปแบบของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ที่ได้รับการออกแบบเบื้องต้น



1	ช่องเปิดสำหรับใส่กากมูลสัตว์	7	เตาเผา
2	ช่องทางออกลมร้อน	8	ถังก๊าซ
3	เพลา	9	ชั้นแผ่นเหล็ก+ใบกวาด
4	ชุดเฟือง	10	ช่องทางออกของกากมูลสัตว์
5	พัดลมเป่าลมร้อน	11	ขาตั้งเครื่องอบแห้ง
6	ท่อส่งลมร้อน		

Copyright by Mahidol University

4.5 การศึกษาความเป็นไปได้

จากผลการศึกษาดังที่ได้นำเสนอมาแล้วข้างต้น เมื่อนำมาประมวลเพื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของการออกแบบ สำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์โดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงนั้น สามารถสรุปการผลการประเมินความเป็นไปได้ขั้นต้น ได้ 4 ประเด็นหลักๆดังนี้คือ

4.5.1 การศึกษาประสิทธิผลของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ

4.5.2 การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ

4.5.3 การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ

4.5.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ขั้นต้นของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ด้วยก๊าซชีวภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน)

รายละเอียดเกี่ยวกับการศึกษามีดังนี้

4.5.1 การศึกษาประสิทธิผลของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ

การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิผลของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างกากมูลสัตว์จากเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ กับกากมูลสัตว์จากกระบวนการตากแดด คิดเทียบเฉลี่ยทั้งปี สามารถสรุปประสิทธิผลของเครื่องได้ดังนี้

กากมูลสัตว์ที่ผ่านการอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ จะมีความชื้นเท่ากับ 40 เปอร์เซนต์ ซึ่งเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์สามารถทำได้ตลอดทั้งปี ในขณะที่กากมูลสัตว์จากวิธีการตากแดดนั้นมีความชื้นประมาณ 40 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะทำได้ในวันที่มีแดดเท่านั้น ดังนั้นกากมูลสัตว์ที่มีความชื้นประมาณ 40 เปอร์เซนต์ โดยวิธีการตากแดดมีปริมาณน้อยกว่า เนื่องจากมีจำนวนวันที่สามารถทำงานได้น้อยกว่า (วันทำงาน 2 วันต่อกากมูลสัตว์ 1,000 กิโลกรัม)

4.5.2 การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ

จากผลการออกแบบเครื่องสำหรับอบแห้งกากมูลสัตว์ ผนวกกับผลการทด- ลองทางห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ได้ดังนี้คือ

Copyright by Mahidol University

<u>สมรรถนะของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์</u>

ขนาดต้นแบบของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์	=	1,000	กิโลกรัมต่อวัน
วันที่สามารถทำงานได้	=	365	วัน
สามารถอบแห้งได้ปริมาณกากมูลสัตว์	=	365,000	กิโลกรัมต่อปี

<u>สมรรถนะของการตากแดด (วิธีธรรมชาติ)</u>

ความสามารถระเหยน้ำโดยวิธีการตากแดด	=	500	กิโลกรัม ต่อวัน
วันที่สามารถทำงานได้	=	365	วัน
สามารถตากแดดได้ปริมาณกากมูลสัตว์	=	182,500	กิโลกรัมต่อปี

4.5.3 การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ

การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพของระบบ} = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}} \times 100$$

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ คือ ประสิทธิภาพในการลดความชื้น โดยที่

INPUT = 60 เปอร์เซนต์ความชื้น (เนื่องจากมีการลดความชื้นของกากมูลสัตว์ก่อนที่จะนำเข้าเครื่องอบแห้ง โดยวิธีการผึ่งกับตะแกรงลวดประมาณ 20 นาที ทำให้กากมูลสัตว์มีความชื้นเหลือประมาณ 60 เปอร์เซนต์

OUTPUT = 40 เปอร์เซนต์ความชื้น

ประสิทธิภาพในการลดความชื้นโดยใช้ตะแกรงลวดผึ่ง

$$= \frac{(100 - 60)}{100} \times 100 = 40 \text{ เปอร์เซนต์}$$

Copyright by Mahidol University

ประสิทธิภาพในการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์

$$= \frac{(60-40)}{60} \times 100 = 33.33 \text{ เปอร์เซนต์}$$

4.5.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ขั้นต้นของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน)

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์(การลงทุน) ของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์นั้น หาได้โดยใช้วิธีวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์ (NPV) และผลตอบแทนของการลงทุนเฉลี่ยแต่ละปีภายใน (IRR) และจุดคุ้มทุน (Break Even Analysis) โดยแบ่งออกเป็น 3 ทางเลือกคือ

<u>กรณีที่ 1</u> : ใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพในการทำงานเพียงอย่างเดียว

<u>กรณีที่ 2</u> :ใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพในช่วงฤดูฝน และใช้วิธีการตากแดดในช่วงฤดูปกติ

<u>กรณีที่ 3</u> :ใช้วิธีการตากแดดเพียงอย่างเดียว

4.5.4.1 ปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณค่า NPV และค่า IRR สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 9 มีรายละเอียดดังนี้

(1) รายจ่าย (การลงทุน) หมายถึง มูลค่าของการลงทุนในปีแรก

(1.1) ต้นทุนคงที่ (Fix Cost) ประกอบด้วย

(1.1.1) ที่ดิน

ที่ดินสำหรับการตากแห้งใช้ประมาณ 384 ตารางเมตร จากการประเมินราคาที่ดินบริเวณ ตำบลโพรงมะเดื่อ เขตอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐมของกรมที่ดิน พ.ศ. 2537 ได้ประเมินไว้ ตารางวาละ 800 บาท ราคาดังกล่าวนำมาคูณด้วยอัตราการเพิ่มมูลค่าที่ดินที่อยู่ระหว่างร้อยละ 12 ต่อปี (ปี พ.ศ. 2538) ดังนั้นพื้นที่บริเวณดังกล่าวคิดเป็นราคาในแต่ละปีประมาณ 9,216.00 บาท

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 9 สรุปข้อมูลสำหรับใช้ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

รายการ	ราคา ณ ปีเริ่มต้น (บาท)		
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
1. รายจ่ายการลงทุน			
1.1 ต้นทุนคงที่			
- ที่ดิน	-	9,216.00	9,216.00
- ค่าปรับปรุงที่ดิน	-	ปีที่1 คิด 50 %ของราคาที่ดิน ปีที่ 3 คิด 15 % ของราคาที่ดิน	ปีที่1 คิด 50 %ของราคาที่ดิน ปีที่ 3 คิด 30 % ของราคาที่ดิน
- เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	68,150.00	-
- อุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	ปีที่1 ราคา 1,000 บาท ปีถัดไปเพิ่มปี ละ 200 บาท	ปีที่1 ราคา 2,400 บาท ปีถัดไปเพิ่มปี ละ 250 บาท	ปีที่1 ราคา 2,400 บาท ปีถัดไปเพิ่มปี ละ 250 บาท
1.2 ต้นทุนผันแปร			
- แรงงาน (ต่อ1แรงงาน)	16.88	16.88	16.88
- การบำรุงดูแลรักษา	0.5% ของราคาเครื่อง	0.5% ของราคาเครื่อง	-
- ค่าไฟฟ้า (ต่อชั่วโมง)	31.23	31.23	-
2. รายรับ			
2.1 รายรับโดยตรง			
- ค่าปุ๋ยอินทรีย์ (ต่อวัน)	339.50	339.50	339.50
- มูลค่าซากเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์	คิดหมดสภาพภายใน 5 ปี	คิดหมดสภาพภายใน 5 ปี	-
2.2 รายรับโดยอ้อม			
- การลดพาหะนำโรค (ต่อเดือน)	350.00	175.00	-
- ค่ารักษาโรค/การเจ็บป่วย	535.00	535.00	-

หมายเหตุ
1. กรณีที่ 1 คือ การใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์เพียงอย่างเดียว
2. กรณีที่ 2 คือ การใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์+วิธีการตากแดด
3. กรณีที่3 คือ วิธีการตากแดดเพียงอย่างเดียว
4. ราคาประเมิน ณ ปีพ.ศ. 2538

Copyright by Mahidol University

(1.1.2) เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์

ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งประกอบด้วยวัสดุ และอุปกรณ์ติดตั้งเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ราคารวมประมาณ 68,150.00 บาท (จากการประเมินของวิศวกรเครื่องกล ณ ปีพ.ศ. 2538) วัสดุอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วย

มอเตอร์	จำนวน 1 ชุด
เหล็กฉาก	จำนวน 10 อัน
ชุดเฟือง	จำนวน 1 ชุด
เหล็กเส้น	จำนวน 1 อัน
ข้อต่อเพลา	จำนวน 1 ชุด
ตลับลูกปืน	จำนวน 1 ชุด
เหล็กแผ่น ขนาด 1 / 4 นิ้ว	จำนวน 1 แผ่นใหญ่
เหล็กแผ่น ขนาด 1.5 นิ้ว	จำนวน 7 แผ่น
พูเล่	จำนวน 1 ชุด
สายพาน	จำนวน 7 เส้น
ท่อเหล็ก	จำนวน 2 ท่อ
พัดลมเป่าอากาศ	จำนวน 1 ชุด
หัวเตาแกส	จำนวน 1 ชุด
ถังเก็บก๊าซ	จำนวน 1 ชุด
อุปกรณ์อื่นๆ	

(1.1.3) อุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์

เป็นอุปกรณ์ที่ขนย้ายกากมูลสัตว์ที่มีความชื้น และกากมูล-สัตว์ที่แห้ง (ราคา ณ ปี พ.ศ. 2538) ซึ่งประกอบด้วย

จอบ	จำนวน	2	อัน	ราคาต่อหน่วย	75	บาท
คราด	จำนวน	2	อัน	ราคาต่อหน่วย	75	บาท
รถเข็น	จำนวน	2	คัน	ราคาต่อหน่วย	1,000	บาท
ตะแกรงกรอง	จำนวน	2	อัน	ราคาต่อหน่วย	50	บาท

Copyright by Mahidol University

(1.2) ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) ประกอบด้วย

(1.2.1) แรงงาน

โดยปกติต้นทุนแรงงาน จะเป็นค่าจ้างแรงงาน (คน) ในการขนกากมูลสัตว์ และดูแลรักษา ค่าแรงขั้นต่ำภายในเขตจังหวัดนครปฐมประมาณ 135 บาท/วัน หรือ 16.875 บาท/ชั่วโมง (อัตราค่าจ้างขั้นต่ำของจังหวัดนครปฐมปี 2538)

(1.2.1.1) วิธีการตากแดด

ใช้แรงงานประมาณ 3 แรง

ใช้เวลาในการทำงาน 5 ชั่วโมง/คน

รวมเป็นค่าจ้างรายวัน 253.125 บาทต่อวัน

(1.2.1.2) วิธีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์

ใช้แรงงานประมาณ 2 แรง

ใช้เวลาในการทำงาน 4.13 ชั่วโมง

รวมเป็นค่าจ้างรายวัน 139.387 บาทต่อวัน

(1.2.2) การบำรุงดูแลรักษา หรือปรับปรุง

ค่าบำรุงรักษา คิดเฉลี่ยเท่ากันทุกๆปี โดยเฉลี่ยปีละ 0.5 เปอร์เซนต์ ของราคาเครื่องจักร (ในกรณีที่เครื่องจักรนั้นทำงานประมาณ 8 ชั่วโมง / วันจะคิดเฉลี่ย 10 เปอร์เซนต์ ของราคาเครื่องจักร) ส่วนค่าปรับปรุงที่ดินสามารถแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

(1.2.2.1) กรณีใช้วิธีการตากแดดอย่างเดียว

จะคิดค่าปรับปรุงที่ดิน โดยการปรับพื้นที่ และก่อสร้างลานตาก ประมาณ 50 เปอร์เซนต์ของราคาค่าที่ดิน (สำหรับปีการลงทุนในปีแรก) และคิดประมาณ 30 เปอร์เซนต์ ของราคาค่าที่ดิน (สำหรับปีการลงทุนปีที่ 3)

(1.2.2.2) กรณีใช้วิธีการตากแดดผสมกับใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ : จะคิดค่าปรับปรุงที่ดิน โดยการปรับพื้นที่ และก่อสร้างลานตาก ประมาณ 50 เปอร์เซนต์ของราคาค่าที่ดิน (สำหรับปีการลงทุนในปีแรก) และคิดประมาณ 15 เปอร์เซนต์ ของราคาค่าที่ดิน (สำหรับปีการลงทุนปีที่ 3)

Copyright by Mahidol University

(1.2.3) ค่าไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าประกอบด้วยชุดเฟืองหนอนส่งกำลังขนาด 5.00 kw-h , มอเตอร์ ขนาด 1.36 kw-h และพัดลมเป่าอากาศ ขนาด 6.13 kw-h ใช้ไฟฟ้ารวม 12.49 kW-h ซึ่งโดยปกติค่าไฟฟ้าต่อหน่วยประมาณ 2.50 บาท(สำหรับธุรกิจขนาดใหญ่ ปีพ.ศ. 2538 จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) คิดเป็น 31.225 บาทต่อชั่วโมง

(2) รายรับ

(2.1) รายรับโดยตรง

จะเป็นรายรับที่ได้จากการขายปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งจากการผลการสำรวจราคาปุ๋ยอินทรีย์ โดยการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ประจำฟาร์มราคาขายปุ๋ยอินทรีย์ ต่อ กิโลกรัม เท่ากับ 0.35 บาท ดังนั้นผู้ประกอบการจะสามารถมีรายได้จากการขายปุ๋ยอินทรีย์ เท่ากับ 339.5 บาทต่อวัน

(2.2) รายรับโดยอ้อม

จะเป็นรายรับที่เจ้าของฟาร์มสามารถลดรายจ่ายทางอ้อมเกี่ยวกับการป้องกัน/กำจัดพาหะนำโรค (แมลงวัน) และการรักษาพยาบาลของคนงานที่ทำงานคลุกคลีกับกากมูลสุกร

(2.2.1) การลดพาหะนำโรค

แมลงวันเป็นพาหะนำโรคที่ทางผู้ประกอบการเลี้ยงสุกรต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการพบว่า ต้องซื้อสารเคมีสำหรับกำจัดแมลงวันเดือนละ 350 บาท ดังนั้น ผู้ประกอบการต้องเสียค่าใช้จ่ายปีละ 4,200 บาท จึงถือได้ว่า เป็นรายรับที่เกิดจากผลประโยชน์ของการลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดพาหะนำโรคทางอ้อม และค่าใช้จ่ายนี้จะนำมาถ่วงด้วยอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 4.5 ต่อปี

(2.2.2) สุขภาพอนามัย

การทำงานของคนงานที่ใกล้ชิดกับแหล่งกำเนิดเชื้อโรคและพาหะนำโรค จะมีผลกระทบโดยตรงกับสุขภาพอนามัยของคนงาน หรือบุคคลใกล้เคียง ซึ่งอาจจะส่งผลถึงกับการเสียชีวิตได้ เมื่อมีเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ จะสามารถช่วยลดการแพร่กระจายของพาหะนำโรคและเชื้อโรคดังกล่าวได้ ผลประโยชน์ทางอ้อมนี้สามารถคำนวณจากการประหยัดค่าใช้จ่ายในการเจ็บป่วยโรคดังกล่าว ซึ่งการคำนวณนี้จะกำหนดว่า ผู้ป่วยด้วยโรคต่างๆที่เกิดจากพาหะนำ

Copyright by Mahidol University

โรค หรือ เชื้อโรคดังกล่าวต้องเสียเวลาในการทำงานอย่างน้อย 3 วัน เสียค่ารักษาพยาบาล และค่าเดินทางไปพบแพทย์ การเสียเวลาในการทำงาน 3 วัน ทำให้เสียรายได้ซึ่งคำนวณจากราคาเงาจากรายได้ค่าจ้างขั้นต่ำ 135 บาท ค่ารักษาพยาบาลจะเท่ากับ 100 บาท/คน และค่าเดินทาง 30 บาท/คน รวมค่าใช้จ่ายในการเจ็บป่วยทั้งหมด = (3x135)+100+30 = 535 บาท จำนวนคนงานที่ใช้ในการทำงาน ประมาณ 3 คน อัตราการเจ็บป่วย 4 ครั้ง/คน/ปี ดังนั้นผู้ประกอบการสามารถลดค่าใช้จ่ายทางอ้อมนี้ได้ = 535 x 3 x 4 = 6,420 บาทต่อปี และค่าใช้จ่ายนี้จะนำมาถ่วงด้วยอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 4.5 ต่อปี

4.5.4.2 การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) , ผลตอบแทนการลงทุน(IRR) และจุดคุ้มทุน (Break Even Analysis)

(1) กรณีที่ 1 ใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ในการทำงานเพียงอย่างเดียว

ต้นทุนส่วนใหญ่จะเป็นการลงทุนสำหรับเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ และอุปกรณ์ขนถ่ายสำหรับการลงทุนในปีการลงทุนเริ่มต้น สำหรับในปีที่ 1 จนถึงปีที่ 5 ของการดำเนินการ จะเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงานและ ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆการคำนวณค่า NPV ค่า IRR และจุดคุ้มทุน สามารถแสดงในตารางที่ 10

(2) กรณีที่ 2 ใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ในช่วงฤดูฝน และใช้วิธีการตากแดดในช่วงฤดูปกติ

ต้นทุนส่วนใหญ่จะเป็นการลงทุนสำหรับเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ค่าซื้อที่ดิน อุปกรณ์ขนถ่าย และค่าปรับปรุงที่ดินสำหรับการลงทุนในปีการลงทุนเริ่มต้น สำหรับในปีที่ 1 จนถึงปีที่ 5 ของการดำเนินการจะเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน ค่าปรับปรุงที่ดิน และ ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ/อุปกรณ์ต่างๆ การคำนวณค่า NPV ค่า IRR และจุดคุ้มทุน สามารถแสดงในตารางที่ 11

(3) กรณีที่ 3 ใช้วิธีการตากแดดเพียงอย่างเดียว

ต้นทุนส่วนใหญ่จะเป็นการลงทุนสำหรับค่าซื้อที่ดิน อุปกรณ์ขนถ่าย และค่าปรับปรุงที่ดินสำหรับการลงทุนในปีการลงทุนเริ่มต้น สำหรับในปีที่ 1 จนถึง

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 10 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ทางเลือกที่ 1
(กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ จำนวนวันทำงาน 365 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าไฟฟ้า	0.00	47,070.13	47,070.13	47,070.13	47,070.13	47,070.13
3. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	50,876.44	50,876.44	50,876.44	50,876.44	50,876.44
4. ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	1,000.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
5. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	69,150.00	101,554.06	101,554.06	101,554.06	101,554.06	101,554.06
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	10,620.00	11,097.90	11,597.31	12,119.18	12,664.55
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	138,370.00	138,847.90	139,347.31	139,869.18	140,414.55
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-69,150.00	36,815.94	37,293.84	37,793.24	38,315.12	38,860.48
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-69,150.00	32,871.37	29,730.42	26,900.48	24,349.95	22,050.48
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	66,752.71					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.46					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	1.87					

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 11 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ทางเลือกที่ 2
(ใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ในการทำงาน จำนวน 182.5 วัน +วิธีการตากแดด วันทำงาน 182.5 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าที่ดิน	9,216.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3. ค่าไฟฟ้า	0.00	23,535.06	23,535.06	23,535.06	23,535.06	23,535.06
4. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	71,633.53	71,633.53	71,633.53	71,633.53	71,633.53
5.ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	2,400.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
6. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
7. ค่าปรับปรุง/บำรุงรักษาที่ดิน	4,608.00	0.00	0.00	1,382.40	0.00	0.00
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	84,374.00	98,826.09	98,826.09	100,208.49	98,826.09	98,826.09
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	8,520.00	8,903.40	9,304.05	9,722.74	10,160.26
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	136,270.00	136,653.40	137,054.05	137,472.74	137,910.26
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-84,374.00	37,443.91	37,827.31	36,845.56	38,646.64	39,084.16
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-84,374.00	33,432.06	33,774.38	32,897.82	34,505.93	34,896.58
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	85,132.76					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.35					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	2.28					

Copyright by Mahidol University

ปีที่ 5 ของการดำเนินการจะเป็นค่าใช้จ่ายทางด้าน ค่าจ้างแรงงาน และค่าปรับปรุงที่ดิน การคำนวณค่า NPV ค่า IRR และจุดคุ้มทุน สามารถแสดงในตารางที่ 12

4.5.4.3 สรุปความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน)

จากการคำนวณค่า NPV ในแต่ละกรณี พบว่า ค่า NPV ของกรณีที่2 มีมูลค่าสูงที่สุดประมาณ 85,132.76 บาท เมื่อดำเนินการไปแล้ว 5 ปี ส่วนกรณีที่ 1 และกรณีที่3 จะมีมูลค่ารวมสุทธิประมาณ 66,752.71 บาทและ -1,547.73 บาท ตามลำดับ

สำหรับการคำนวณ IRR ในแต่ละกรณีเช่นเดียวกับคำนวณค่า NPV พบว่า ค่า IRR ของกรณีที่1มีผลตอบแทนการลงทุนเปอร์เซนต์สูงที่สุด ประมาณ 46 เปอร์เซนต์ รองลงมาคือกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 มีผลตอบแทนการลงทุนประมาณ 35 และ 1 เปอร์เซนต์ต่อปี ตามลำดับ

ส่วนค่า Break Even Analysis ซึ่งแสดงจุดที่แสดงค่าใช้จ่ายกับรายรับเท่ากัน โดยจะสัมพันธ์กับช่วงของเวลา จากการคำนวณค่า Break Even Analysis นี้พบว่า

ทางเลือกกรณีที่ 1 จะมีค่าBreak Even Analysis = 1.87 นั่นหมายความว่า ทางเลือกที่ 1 (ใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์) เมื่อดำเนินการไปแล้วสามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 1 ปี 9 เดือน

ทางเลือกกรณีที่ 2 จะมีค่าBreak Even Analysis = 2.28 นั่นหมายความว่า ทางเลือกที่ 2 (ใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ +วิธีการตากแดด) เมื่อดำเนินการไปแล้วสามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 2 ปี 3 เดือน

ทางเลือกกรณีที่ 3 จะมีค่าBreak Even Analysis = 3.45 นั่นหมายความว่า ทางเลือกที่ 1 (ใช้วิธีการตากแดด) เมื่อดำเนินการไปแล้วสามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 3 ปี 5 เดือน

จากการวิเคราะห์ค่า NPV ค่า IRR และค่า Break Even Analysis ที่ได้สามารถสรุปได้ว่า การลงทุนสำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์มีความเป็นไปได้ทางด้าน

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 12 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ทางเลือกที่ 3
(ใช้วิธีการตากแดด วันทำงาน 365 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าที่ดิน	9,216.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	2,400.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
3. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	46,195.31	46,195.31	46,195.31	46,195.31	46,195.31
4. ค่าใช้จ่ายทางอ้อม	0.00	12,420.00	12,978.90	13,562.95	14,173.28	14,811.08
5. ค่าปรับปรุง/บำรุงรักษาที่ดิน	4,608.00	0.00	0.00	2,764.80	0.00	0.00
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	16,224.00	58,865.31	59,424.21	62,773.06	60,618.60	61,256.39
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	63,875.00	63,875.00	63,875.00	63,875.00	63,875.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	63,875.00	63,875.00	63,875.00	63,875.00	63,875.00
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-16,224.00	5,009.69	4,450.79	1,101.94	3,256.40	2,618.61
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-16,224.00	4,472.94	3,973.92	983.87	2,907.50	2,338.04
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	-1,547.73					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.01					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	3.45					

Copyright by Mahidol University

เศรษฐศาสตร์ (การลงทุน)อย่างแน่นอน กล่าวคือสามารถให้ประโยชน์แก่ผู้ประกอบการได้สูงกว่าวิธีการตากแดด หรือ วิธีผสมระหว่างการใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์กับวิธีการตากแดด

4.5.6 การวิเคราะห์ประสิทธิผลของการทำงานที่ทำให้คุ้มทุนภายในระยะเวลา 5 ปี

จากข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น ที่กำหนดให้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์มีความสามารถในการอบแห้งกากมูลสัตว์ 1,000 กิโลกรัมใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 4.13 ชั่วโมง ปริมาณการอบแห้งที่ต่ำสุดใน 1 วันที่ทำให้เกิดจุดคุ้มทุนภายใน 5 ปี สามารถคำนวณได้โดยการกำหนดให้ต้นทุนต่างๆคงที่ ยกเว้นจำนวนชั่วโมงที่จะแปรตามปริมาณกากมูลสัตว์ที่ต้องใช้ในการอบแห้ง ผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า อัตราการอบแห้งกากมูลสัตว์ในช่วง 160 - 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนพบว่า ในช่วง 5 ปีจะคุ้มทุนที่อัตราการอบแห้งประมาณ 160-170 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ดังแสดงในตารางที่ 13 และรูปที่ 10) และในระดับการอบแห้งระหว่าง 160-170 กิโลกรัมต่อชั่วโมงที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ที่ 169 กิโลกรัมต่อชั่วโมง พิจารณาจาก ค่า NPV ณ ระดับ 169 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 2,121.95 บาท และค่า IRR ณ ระดับเดียวกัน มีค่าเท่ากับ 14 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 14 (การคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ในแต่ละระดับแสดงในภาคผนวก ฉ)

4.5.7 การเปรียบเทียบความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์(การลงทุน)กรณีที่เปลี่ยนจากก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซหุงต้ม (LPG)

ในกรณีที่ไม่สามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้ อาจจะเปลี่ยนเป็นก๊าซหุงต้ม (LPG) แทนได้ ดังนั้นถ้าใช้ก๊าซ LPG ทดแทนจะต้องคิดราคาค่าก๊าซ LPG โดยคำนวณจาก

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้สำหรับอบแห้งกากมูลสัตว์ 1 กิโลกรัม

อัตราการอบแห้งกากมูลสัตว์ = 93.9 ลูกบาศก์เมตร/นาที

โดยที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง = 22.8 นาที ต่อ กากมูลสัตว์ 100 กิโลกรัม

สรุปแล้วจะต้องใช้ก๊าซชีวภาพ = 93.9 x 22.8 /100 = 21.409 ลูกบาศก์เมตร ต่อกากมูลสัตว์ 1 กิโลกรัม

Copyright by Mahidol University

<u>ตารางที่ 13</u> จุดคุ้มทุนของการทำงานในช่วงการอบแห้งต่างๆ

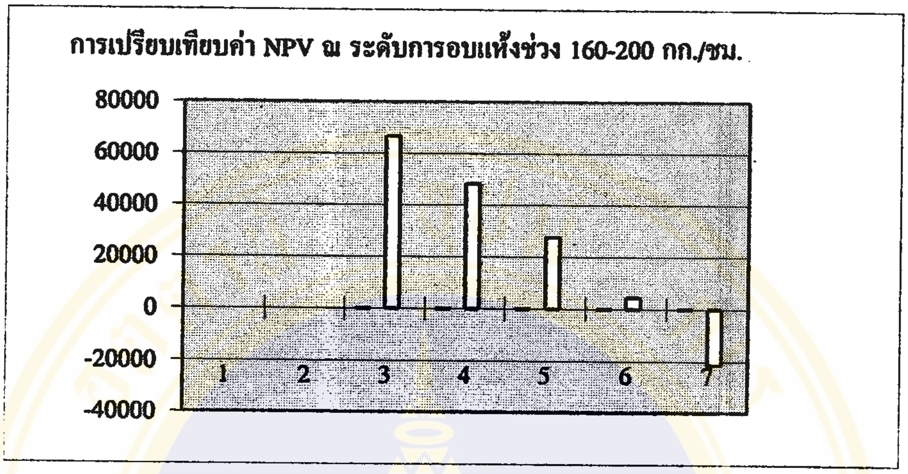
อัตราการอบแห้ง (กก.)	ระยะเวลาในการอบแห้ง ภายใน 1 วัน (ชั่วโมง)	ค่า NPV (บาท)	ค่า IRR (เปอร์เซนต์)	จุดคุ้มทุน (ปี)
200	4.130	66,752.71	46	1.87
190	4.347	48,201.28	37	2.18
180	4.588	27,598.09	27	2.35
170	4.858	4,515.68	15	3.51
160	5.162	-21,473.41	0	5.53

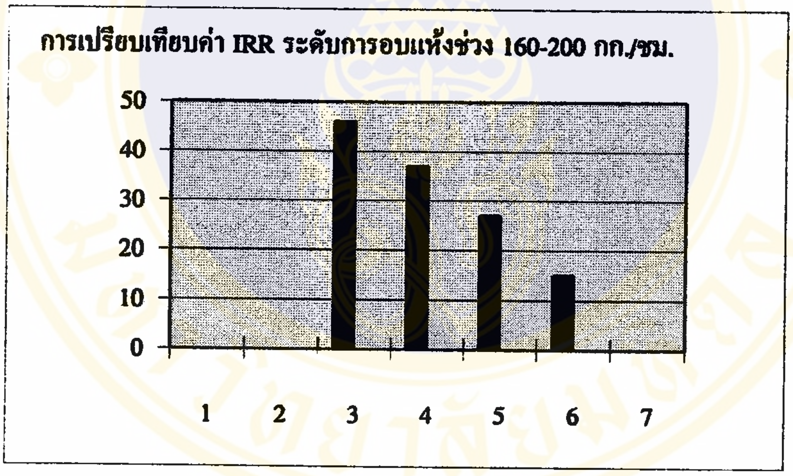
<u>ตารางที่ 14</u> จุดคุ้มทุนของการทำงานในช่วงการอบแห้งระหว่าง 167-170 กิโลกรัม/ชั่วโมง

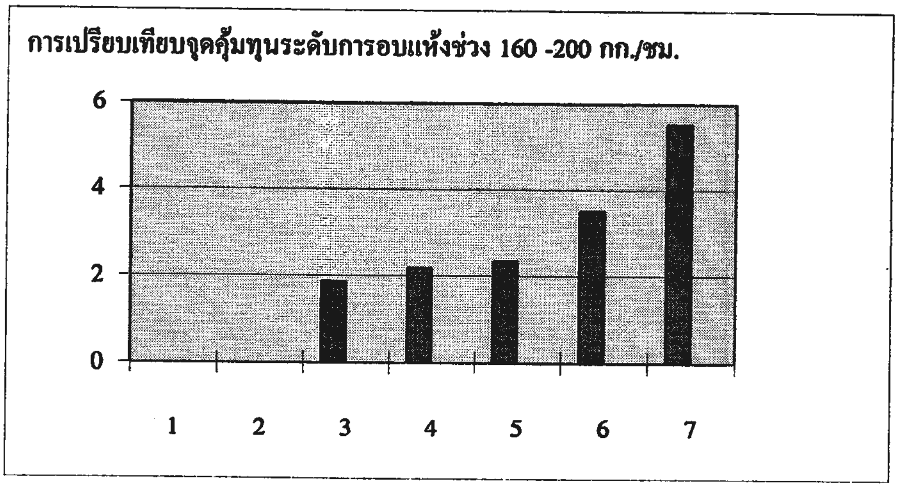
อัตราการอบแห้ง (กก.)	ระยะเวลาในการอบแห้ง ภายใน 1 วัน (ชั่วโมง)	ค่า NPV (บาท)	ค่า IRR (เปอร์เซนต์)	จุดคุ้มทุน (ปี)
170	4.858	4,515.68	15	3.51
169	4.886	2,121.95	14	3.63
168	4.915	-357.27	11	3.77
167	4.945	-2,921.99	9	3.92
160	5.162	-21,473.41	0	5.53

Copyright by Mahidol University

รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าทางเศรษฐศาสตร์ในช่วงการอบแห้ง160-200กก./ชม.







Copyright by Mahidol University

ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เทียบเท่าก๊าซหุงต้มประมาณ 0.5 กิโลกรัม
ดังนั้นถ้าต้องการอบแห้งกากมูลสัตว์ 1 กิโลกรัม จะใช้ก๊าซหุงต้ม

= 21.40 x 0.5 = 10.70 กิโลกรัม

ราคาก๊าซหุงต้ม ณ ปีพ.ศ.2538 กิโลกรัมละ 8.50 บาท
ดังนั้นการอบแห้งกากมูลสัตว์ 1 กิโลกรัมต้องเสียค่าใช้จ่ายค่าก๊าซหุงต้ม

= 10.70 x 8.50 = 90.95 บาท

เมื่อนำมาประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน) ดังแสดงในตารางที่ 15 และตารางที่ 16 ทั้งกรณีที่ใช้ก๊าซหุงต้มแทนก๊าซชีวภาพ ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับอบแห้งกากมูลสัตว์ ระยะเวลาทำงาน 365 วัน หรือสลับกับวิธีการตากแดด พบว่า ไม่คุ้มในการลงทุนในระยะ 5 ปี ที่ใช้ในการประเมิน เนื่องจากปัจจุบันราคาค่าก๊าซหุงต้มมีราคาแพงมาก ดังนั้นการนำก๊าซหุงต้มมาใช้ทดแทนก๊าซชีวภาพในกรณีที่ไม่สามารถใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงได้นั้น น่าจะมีความเป็นไปได้น้อย ดังเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 15 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

(กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซหุงต้ม จำนวนวันทำงาน 365 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าก๊าซหุงต้ม	0.00	33,196,750.00	33,196,750.00	33,196,750.00	33,196,750.00	33,196,750.00
3. ค่าไฟฟ้า	0.00	47,070.13	47,070.13	47,070.13	47,070.13	47,070.13
4. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	50,876.44	50,876.44	50,876.44	50,876.44	50,876.44
5. ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	1,000.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
6. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	69,150.00	33,298,304.06	33,298,304.06	33,298,304.06	33,298,304.06	33,298,304.06
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	10,620.00	11,097.90	11,597.31	12,119.18	12,664.55
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	138,370.00	138,847.90	139,347.31	139,869.18	140,414.55
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-69,150.00	-33,159,934.06	-33,159,456.16	-33,158,956.76	-33,158,434.88	-33,157,889.52
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-69,150.00	-29,607,083.99	-26,434,515.44	-23,601,890.46	-21,072,784.82	-18,814,676.99
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	-119,600,101.69					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.00					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	0.00					

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 16 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

(ใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซหุงต้มในการทำงาน จำนวน 182.5 วัน +วิธีการตากแดด วันทำงาน 182.5 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าที่ดิน	9,216.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3. ค่าก๊าซหุงต้ม	0.00	16,598,375.00	16,598,375.00	16,598,375.00	16,598,375.00	16,598,375.00
3. ค่าไฟฟ้า	0.00	23,535.06	23,535.06	23,535.06	23,535.06	23,535.06
4. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	71,633.53	71,633.53	71,633.53	71,633.53	71,633.53
5.ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	2,400.00	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
6. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
7. ค่าปรับปรุง/บำรุงรักษาที่ดิน	4,608.00	0.00	0.00	1,382.40	0.00	0.00
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	84,374.00	16,697,201.09	16,697,201.09	16,698,583.49	16,697,201.09	16,697,201.09
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	8,520.00	8,903.40	9,304.05	9,722.74	10,160.26
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	136,270.00	136,653.40	137,054.05	137,472.74	137,910.26
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-84,374.00	-16,560,931.09	-16,560,547.69	-16,561,529.44	-16,559,728.36	-16,559,290.84
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-84,374.00	-14,786,545.62	-14,786,203.30	-14,787,079.86	-14,785,471.75	-14,785,081.10
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	-74,014,755.63					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.00					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	0.00					

Copyright by Mahidol University

บทที่ 5

สรุป วิจารณ์ และ ข้อเสนอแนะ

จากการประมวลผลการวิจัยทั้งหมด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

(1) ความชื้น

กากมูลสัตว์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น จะมีเปอร์เซนต์ความชื้นมากกว่า กากมูลสัตว์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิสูง ระยะเวลาในการอบแห้งนาน โดยที่ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดด จะเป็นองศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง ในระบบปิด 20 วินาทีต่อกากมูลสัตว์ 1 กิโลกรัม

(2) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง

มีค่าเป็นกลาง อยู่ในช่วงระหว่าง 7.23 -8.01

5.1.1.2 คุณสมบัติทางชีวภาพ

ประเภท และปริมาณของแมลงพาหะนำโรคในกากมูลสัตว์ ส่วนใหญ่จะพบหนอนแมลงวัน มีประมาณ 60 เปอร์เซนต์ สำหรับปรสิตที่ทำการตรวจวินิจฉัย ปรากฎ ว่าไม่พบปรสิตประเภทใดๆทั้งสิ้น จึงทำให้โอกาสการเกิดโรคโดยปรสิตต่อบุคลากร / คนงานค่อนข้างน้อย หรือแทบจะไม่มีเลย

Copyright by Mahidol University

5.1.1.3 คุณสมบัติของการเป็นปุ๋ยอินทรีย์

กากมูลสัตว์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิต่ำ ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น จะมีเปอร์ เซนต์ธาตุอาหารหลักน้อยกว่า กากมูลสัตว์ที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิสูง ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ไม่ว่าจะเป็น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือโปแตสเซียม

5.1.2 สรุปข้อกำหนดทางวิศวกรรมเบื้องต้น

(1) ขนาดของต้นแบบ สามารถอบแห้งมูลสุกรได้ประมาณ 1,000 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลา 4.13 ชั่วโมง

(2) สามารถลดความชื้นในมูลสัตว์ได้เหลือ 40 เปอร์เซนต์

(3) รูปแบบของเครื่องมือปรับปรุงมาจากเครื่องอบแห้งประเภทต่างๆ เช่น เครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนประเภท TURBO-TRAY DRYER และประเภท PUENMATIC และเครื่องหมักปุ๋ย ประเภท TRIP PADDLING FERMENTATION

(4) ใช้เหล็กเป็นวัสดุในการสร้าง เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น

(5) มีต้นทุนการก่อสร้างต่ำ และมีอายุการใช้งานยาวนาน เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่ำ

(6) ใช้งานได้สะดวก รวมทั้งไม่เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการผลิตอื่นๆ

(7) ไม่ทำให้อุณหภูมิของมูลสัตว์สูงเกินกว่า 70 องศาเซลเซียส และคุณสมบัติของกากมูลสัตว์สูญเสียได้ง่าย

(8) ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงกำเนิดลมร้อน

(9) ใช้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

5.1.3 สรุปการออกแบบเบื้องต้น

(1) ความสูงของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ 1 เมตร

(2) เส้นผ่าศูนย์กลางของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ 1 เมตร

(3) ชุดเฟือง ขนาดกำลังส่ง 5 kw ที่มีกำลังส่งจากเพลาหมุน 300 รอบต่อนาทีไปยังเพลา 15 รอบต่อนาที

(4) พัดลมเป่าความร้อน ขนาด 6.17 แรงม้า ความเร็วลมร้อน 93.9 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

Copyright by Mahidol University

(5) ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในเครื่อง 22.8 นาที/100 กิโลกรัม

(6) ชุดมอเตอร์ และชุดขับสายพานลิ่ม ใช้ไฟขนาด 1.36 กิโลวัตต์

5.1.3 สรุปความเป็นไปได้เบื้องต้น

(1) การศึกษาประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์

จากการศึกษาพบว่า เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ที่ได้จากการออกแบบเบื้องต้นนี้ มีประสิทธิภาพในการลดความชื้นประมาณ 33.33 เปอร์เซนต์ โดยสามารถอบแห้งกากมูลสัตว์ให้มีความชื้นเหลือเท่ากับ 40 เปอร์เซนต์ จากความชื้นขั้นต้นประมาณ 60 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะไม่มีผลต่อเปอร์เซนต์ธาตุอาหารในกากมูลสัตว์ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว นอกจากนี้สามารถอบแห้งได้ประมาณ 100 กิโลกรัมใช้ระยะเวลา 22.8 นาที

(2) การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน)

จากผลการวิเคราะห์ทางด้านการลงทุน โดยวิเคราะห์จากมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์ (NPV) ผลตอบแทนการลงทุนเฉลี่ยภายใน (IRR) และ จุดคุ้มทุนของการลงทุน (Break Even Analysis) พบว่า ผลประโยชน์ที่ผู้ประกอบการจะได้รับมากที่สุดในกรณีที่แบ่งทางเลือกเป็น 3 ทางเลือก คือ

<u>ทางเลือกที่ 1</u> : การใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ดำเนินการเพียงอย่างเดียว มีค่า NPV เท่ากับ 66,752.71 บาท โดยมีค่า IRR เท่ากับ 46 % และสามารถคุ้มทุนภายใน1 ปี 9 เดือน

<u>ทางเลือกที่ 2</u> : การใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ในฤดูฝน และใช้วิธีการตากแดดในฤดูปกติ มีค่า NPV เท่ากับ 85,132.76 บาท โดยที่ค่า IRR เท่ากับ 35 % และสามารถคุ้มทุนภายใน 2 ปี 3 เดือน

<u>ทางเลือกที่ 3</u> : การใช้วิธีการตากแดดอย่างเดียว มีค่า NPV เท่ากับ -1,547.73 บาท โดยมีค่า IRR เท่ากับ 1 % และสามารถคุ้มทุนภายใน 3 ปี 5เดือน

Copyright by Mahidol University

5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

การวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นไปได้ขั้นต้นของการออกแบบระบบสำหรับสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพ นอกจากใช้ผลการศึกษาจาก ประสิทธิผล สมรรถนะ และประสิทธิภาพของระบบที่นำมาประมวลแล้ว การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน) สามารถช่วยให้ผู้ประกอบการพิจารณา และตัดสินใจในการลงทุนเครื่องอบแห้งประเภทนี้ได้

จากผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์(การลงทุน) ปรากฏว่า ทางเลือกที่ 1 คือการใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ในการทำงานเพียงอย่างเดียวเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกที่ 3 แล้ว พบว่ามีความเป็นไปได้ของการลงทุนในทางเลือกที่ 1 มากกว่า ทั้งในแง่ผลประโยชน์ที่ได้รับค่อนข้างมาก ผลตอบแทนการลงทุนที่ค่อนข้างสูง รวมทั้งระยะเวลาในการคืนทุนค่อนข้างเร็ว ในขณะที่ทางเลือกที่ 2 นั้นเป็นทางเลือกที่น่าลงทุนรองลงมาจากกรณีที่ 1 เนื่องจากว่า ผลตอบแทนที่ได้รับมีค่าสูงที่สุด แต่มีการคืนทุนค่อนข้างช้า รวมทั้งระยะเวลาในการคืนทุนยาว ส่วนในกรณีที่ 3 เป็นกรณีที่ทำให้ผู้ประกอบการไม่สามารถได้ทุนคืนภายในระยะเวลา 5 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่1 และกรณีที่ 2

ดังนั้น ความเป็นไปได้ของการใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ สำหรับอบแห้งกากมูลสุกร กรณีที่มีระบบก๊าซชีวภาพอยู่แล้ว น่าจะมีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากสามารถคืนให้แก่ผู้ประกอบการได้ในระยะเวลาอันสั้น รวมทั้งสามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้ดีพอสมควร

สำหรับระดับที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งจะอยู่ที่ 169 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นจุดที่มีผลตอบแทนเฉลี่ยแต่ละปีภายในใกล้เคียงกับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ นั่นหมายความว่า การลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์นี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 5 ปี

ส่วนในกรณีที่ต้องการใช้ก๊าซหุงต้มทดแทนก๊าซชีวภาพ ในกรณีที่ไม่สามารถใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งได้ นั้น เมื่อประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (การลง-ทุน) แล้วพบว่า ไม่สามารถนำมาทดแทนได้ เนื่องจากว่า ราคาค่าก๊าซหุงต้มในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างแพง ปริมาณก๊าซที่ใช้ในการอบแห้งค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงไม่น่าที่จะลงทุนโดยใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง

Copyright by Mahidol University

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะทางด้านเทคนิค

จะเป็นการพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อการทำให้แห้งของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ซึ่งตัวแปรที่มีเกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์มีดังนี้

5.3.1.1 ปริมาณความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อน ถ้าแผ่นเหล็กรองในแต่ละชั้นได้รับความร้อนในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้กากมูลสัตว์แห้งเกินไปจนไหม้ ในทางตรงกันข้ามถ้าได้รับความร้อนปริมาณน้อยเกินไป กากมูลสัตว์อาจจะไม่แห้ง อุณหภูมิของแผ่นเหล็กรองในแต่ละชั้นไม่ควรเกิน 70 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของกากมูลสัตว์ ภายหลังการอบแห้งแล้วควรอยู่ระหว่าง 50-60 องศาเซลเซียส

5.3.1.2 ความเร็วของใบกวาดกากมูลสัตว์ เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการทำให้แห้ง (Drying Time) โดยกำหนดเป็นเวลาที่ใช้ในการหมุนครบหนึ่งรอบ หรือจำนวนรอบต่อนาที (round per minute , rpm)ในการทำให้แห้ง ถ้าเพิ่มความเร็วมากขึ้น ระยะเวลาที่กากมูลสัตว์ได้รับความร้อนน้อยลง ความชื้นของกากมูลสัตว์จะเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าลดความเร็วลง กากมูลสัตว์ได้รับความร้อนเป็นเวลานานอาจไหม้ได้ ดังนั้นความเร็วที่ได้จากการคำนวณไม่ควรจะเร็วหรือช้ากว่า 15 รอบต่อนาที

5.3.1.3 ระยะห่างระหว่างแผ่นเหล็ก หรือจำนวนชั้นของแผ่นเหล็ก เนื่องจากว่า จำนวนชั้นจะเป็นตัวกำหนดการระเหยของน้ำภายในกากมูลสัตว์ ถ้าเครื่องอบแห้งมีจำนวนชั้นของแผ่นเหล็กมากเกินไป เมื่อกากมูลสัตว์ถูกกวาดมาถึงแผ่นเหล็กชั้นสุดท้าย การระเหยของน้ำภายในกากมูลสัตว์จะค่อนข้างเร็ว และได้รับความร้อนเป็นเวลานานอาจทำให้ไหม้ได้เช่นกัน แต่ถ้าเครื่องอบแห้งมีจำนวนชั้นของแผ่นเหล็กน้อยเกินไป หรือระยะห่างระหว่างชั้นมากเกินไป จะทำให้กากมูลสัตว์มีการระเหยน้ำค่อนข้างช้า ความชื้นภายในกากมูลสัตว์มีมากขึ้น ระยะห่างที่เหมาะสมที่สามารถคำนวณได้ในแต่ละชั้นแผ่นเหล็ก ประมาณ 16.66 เซนติเมตร

5.3.1.4 เปอร์เซนต์ความชื้นเริ่มต้นของกากมูลสัตว์ก่อนป้อนเข้าเครื่อง (Fecea Temperature) ถ้ากากมูลสัตว์มีเปอร์เซนต์ความชื้นเริ่มต้นต่ำ จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อย แต่ถ้ามี

Copyright by Mahidol University

เปอร์เซนต์ความชื้นเริ่มต้นสูงกินไป จะใช้เวลาในการอบแห้งนาน เพราะต้องใช้ความร้อนส่วนหนึ่งไปทำให้กากมูลสัตว์มีอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อระเหยน้ำที่อยู่ในกากมูลสัตว์ เปอร์เซนต์ความชื้นที่ได้จากการทดลองก่อนเข้าเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ มีค่าเท่ากับ 60 เปอร์เซนต์

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษา วิจัย ต่อไป

5.3.2.1 การศึกษาเกี่ยวกับระบบ/รูปแบบการทำงาน

ควรมีการศึกษาและวิจัยในระบบจุลภาคต่อไป รวมทั้งดำเนินการสร้างขึ้นมาทดสอบในสภาพที่เป็นจริง เพื่อศึกษาถึงรูปแบบการทำงานของเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ รวมถึงความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ อย่างละเอียดมากยิ่งขึ้น อาทิ

(1) ควรมีการออกแบบเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ในระดับที่เหมาะสม (อัตราการอบแห้ง 169 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) เพื่อที่จะลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากขนาดของตัวเครื่องลดลง

(2) ประเภทวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้สร้างเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ ซึ่งในการคิดเกี่ยวกับวัสดุนั้นจะสัมพันธ์กับการถ่ายเทความร้อน ซึ่งอาจทำให้มีการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้น และจะใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคิดต้นทุนการผลิตเครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ให้มีราคาถูกลง

(3) การคำนวณ หรือการทดสอบเกี่ยวกับเฟือง พูเล่ และชุดสายพานที่ช่วยในการหมุนใบกวาดนั้น ควรจะใช้การคำนวณอย่างละเอียด เพื่อช่วยในการปรับระดับความเร็วของใบกวาด เนื่องจากความเร็วของในกวาดจะเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดระยะเวลาในการทำให้แห้ง (Drying Time) ซึ่งถ้าระยะเวลาที่กากมูลสัตว์ได้รับความร้อนน้อยลง ความชื้นของกากมูลสัตว์จะเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าลดความเร็วลง กากมูลสัตว์ได้รับความร้อนเป็นเวลานานอาจไหม้ได้

(4) การปรับเปลี่ยนทิศทางการให้ความร้อน ในการวิจัยนี้จะเป็นการให้ความร้อนแบบสวนทางกัน ผลของการศึกษาจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าจะนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปใช้ ต้องทำให้อุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้มีการสูญเสียเวลาเกิดขึ้น

Copyright by Mahidol University

สำหรับการปรับเปลี่ยนทิศทางการให้ความร้อนนั้น อาจจะเป็นการใช้ความร้อนแบบขนานกันไป หรือใช้แบบผสม กล่าวคือ ใช้ท่อปล่อยลมร้อน 2 ทิศทาง ให้ลมร้อนมีการไหลสวนทาง และขนานกันไปกับผลิตภัณฑ์ แล้วเปรียบเทียบกันทั้ง 3 รูปแบบ เพื่อหารูปแบบของการอบแห้งที่เหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค ประสิทธิผล สมรรถนะ ประสิทธิภาพ รวมทั้งเศรษฐศาสตร์ (การลงทุน) ของแต่ละระบบ/รูปแบบ สำหรับเป็นทางเลือกให้ผู้ประกอบการ ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจทั่วไป ได้ตัดสินใจในการสร้างเป็นเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์ หรือประยุกต์ใช้กับงานด้านเกษตรกรรมทางด้านอื่นต่อไป

5.3.2.2 ควรมีการนำข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมที่ได้จากการวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้กับงานด้านเกษตรกรรมอื่นๆต่อไป อาทิ ใช้อบแห้งพืชอาหารสัตว์ ผลิตผลทางการเกษตรจำพวก ข้าวเปลือก เมล็ดพันธุ์พืช เป็นต้น

5.3.2.3 ควรจะมีการศึกษาถึงระบบกักเก็บ (Storage) ก๊าซชีวภาพที่ได้จากถังหมักก๊าซ เกี่ยวกับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ เนื่องจากระบบกักเก็บก๊าซชีวภาพที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มักมีขนาดใหญ่ การใช้งานทางด้านอื่นที่ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานค่อนข้างจะลำบาก ถ้ามีการศึกษาถึงรูปแบบของระบบกักเก็บก๊าซชีวภาพ โดยประยุกต์ให้มีขนาดเล็กลง รวมทั้งมีการใช้งานที่ค่อนข้างสะดวก อาจทำให้ก๊าซชีวภาพมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น

5.3.2.4 หน่วยงานราชการน่าจะสนับสนุนการก่อสร้างแบบทดลอง สำหรับฟาร์มสุกรขนาดกลาง และขนาดเล็ก อาจมีการรวมกลุ่มสาธิตขึ้น เพื่อให้มีการแพร่ขยายไปยังกลุ่มผู้ประกอบธุรกิจประเภทนี้ โดยอาจจะกำหนดเงื่อนไข หรือกฎเกณฑ์ต่างๆตามแต่จะตกลงกัน

Copyright by Mahidol University

บรรณานุกรม

1. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือเจ้าพนักงานสาธารณสุข . โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, 2535.
2. กองอนามัย. รายงานสถิติกิจการค้าที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและปัญหาเหตุรำคาญ กรมอนามัย, กระทรวงสาธารณสุข, 2534.
3. Merle L. Esmay, John E. Dixon . Environmental Control for Agricultural Building .The AVI Publishing Company. Inc. Westport, Connecticut, 1974.
4. Hobson. P.N. and A.M. Roberton. Waste Treament in Agriculture. Appl. Sci. Publ. London, 1977.
5. พงษ์ชาญ ณ. ลำปาง. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการผลิตสุกร. ขอนแก่นการพิมพ์, 2533.
6. สุวณีย์ วิสุทธิอุทัยกุล. การใช้มูลสุกรเป็นอาหารแกะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2531.
7. ยงยุทธ โอสถสภา. หลักการผลิตปุ๋ย. ไทยวัฒนาพานิช, 2528..
8. Waste Management Strategies. Environmental Sanitation Reviews. October, 1981.
9. นวลจันทร์ พารักษา. การใช้มูลสุกรทำกระแสไฟฟ้า. เกษตรวันนี้, ปีพ.ศ. 2531; ปีที่ 8, ฉบับที่ 8-9.
10. กองอนามัยสิ่งแวดล้อม. รายงานการศึกษาสำรวจสถานประกอบการเลี้ยงสุกรเพื่อจัดทำหลักเกณฑ์. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2535.
11. ฝ่ายสัตว์แพทย์สาธารสุข . สรุปรายงานโครงการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร. กองควบคุมโรคระบาด กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2530.
12. ไชยยุทธ์ กลิ่นสุคนธ์. เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการจัดการเพื่อควบคุมน้ำเสีย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีพ.ศ. 2530; ปีที่2, ฉบับที่ 3.
13. ดีพร้อม ไชยวงศ์. การเลี้ยงหมูบนขี้เลื่อย. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2534 .
14. เพชร กตัญญูกุล. การหมุนเวียนวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร. กสิกร, ปีพ.ศ.2537; ปีที่67,ฉบับที่1.

Copyright by Mahidol University

15.เสาวลักษณ์ ภูมิวสนะ. แนวคิดในการวางแผนการวิจัยด้านพลังงานทดแทน: ก๊าซชีวภาพ. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2535.

16. Zhanghon. J. Utilization of Biogas. Biogas and Training Center for Asia and Pacific. Chaina, 1990.

17. Kennan. X. The Utilization and Research Work on Digester Sludge and Effuent in China. Biogas and Training Center for Asia and Pacific. Chaina, 1990.

18. Chengdu. Seminar Biogas Technology and Utilization. Sachuan Institute of Biology, Academic Sinico, 1979.

19. บัณฑิต ธานินทร์ธราธาร. ก๊าซชีวภาพ. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.

20. สุเมธ ชวเดช. การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์โดยถังหมักแบบบรรจุด้วยตัวกลาง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อม และนิเวศวิทยา, 2522.

21. สุภาพร จันรุ่งเรือง. การผลิตก๊าซชีวภาพ. วารสารพัฒนาที่ดิน, ปีพ.ศ. 2530; ปีที่8, ฉบับที่1.

22. พิชิต สกุลพราหมณ์, มงคล โฉมงาม และคณะ. การผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์ โดยการหมักอินทรีย์วัตถุให้เกิดการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2522.

23. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. คู่มือปฏิบัติการผลิตก๊าซชีวภาพและการดำเนินงานบำรุงรักษาบ่อผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน. เอกสารทางฝ.อ. หมายเลข1/2521,กันยายน 2521.

24. จรวย บุณยุบาล และคณะ. พลังงาน. ศูนย์วิจัยและอบรมพลังงาน: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย, 2529.

25. ขอนแก่น, มหาวิทยาลัย. เอกสารการประชุมวิชาการเรื่องเทคโนโลยีสำหรับการพัฒนาชนบท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2528.

26. วิทย์ ธารชลานุกิจ. การใช้มูลสุกรเลี้ยงสัตว์. เกษตรวันนี้, ปีพ.ศ. 2531; ปีที่ 8, ฉบับที่ 85.

27. ธงชัย มาลา. ปุ๋ยชีวภาพเพื่อการเกษตร. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535.

28. Orr, D.E., E.R. miller and D.E Ullercy. Recycling of Dried Waste in Swine. J. Anim. Sci.33, 1971

29. Kornegay, E.T., M.R. Holland and J.D. Hedjes. Nutrient Characterization of Swine Fecal Waste and Utilization these Nutrient by Swine. J. Anim. Sci.44, 1977.

Copyright by Mahidol University

30. Smith, L.W. and W.E. Wheeler. Nutritional and Economic Value of Animal Excreta. J. Anim. Sci.48, 1979.

31. จันจิรา อริยรัช. ปุ๋ยหมัก. กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2529.

32. USEPA. Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal. Office of Research and Development Cincinnati, Ohio 45268. EPA 625/1-79-011 September, 1979.

33. F.W. Bakker-Arkema, R.C. Brook and L.E. Lerew. Cereal Grain Drying. Advances in Ceral Science and Tecnology, Vol 11, 1990.

34. วีระ โลหะ. การออกแบบอุปกรณ์สำหรับหาอัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางเกษตร.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2528.

35. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น .พิมพ์ครั้งที่2, 2525.

36. Soponronnarit S., S. Achariyaviriya and P. Tasaso. Optimum Strattegies for Drying Papaya Glace, Asean Food Journal, Vol.7, No.1, 1992.

37. เริงจิต โพธิเจริญ. การทำกล้วยตากโดยใช้ลมร้อน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2506.

38. ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการอบกล้วยน้ำว้า. วิศวกรรมสาร, ปีพ.ศ.2532; เล่มที่ 4.

39.Maclaskey T.A. and W.B. Anthony. Human and Animal Health Aspects of Feeding Livestock Excreta. J. Anim. Sci.48, 1979.

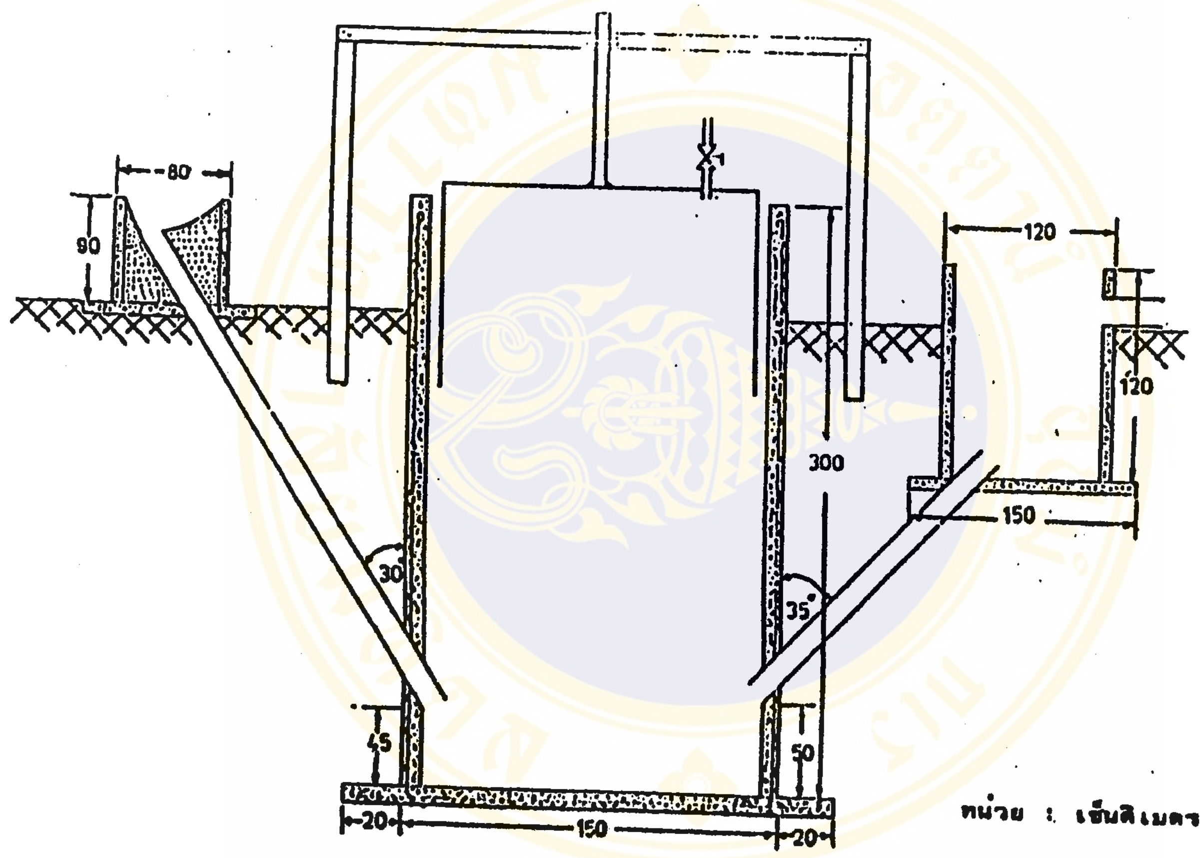
40. Tarczynski S., and L. Szepelski. Effect of Ensilage of Green Roughage and Drying of Hay on Viability and Infectivity of Fasiala hepatica Metacercariae. J. Anim. Sci.48,1979.

41. สุรพล ชลดำรงค์กุล. โรคสัตว์เศรษฐกิจ. ภาควิชาสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, พิมพ์ครั้งที่2, 2529.

Copyright by Mahidol University

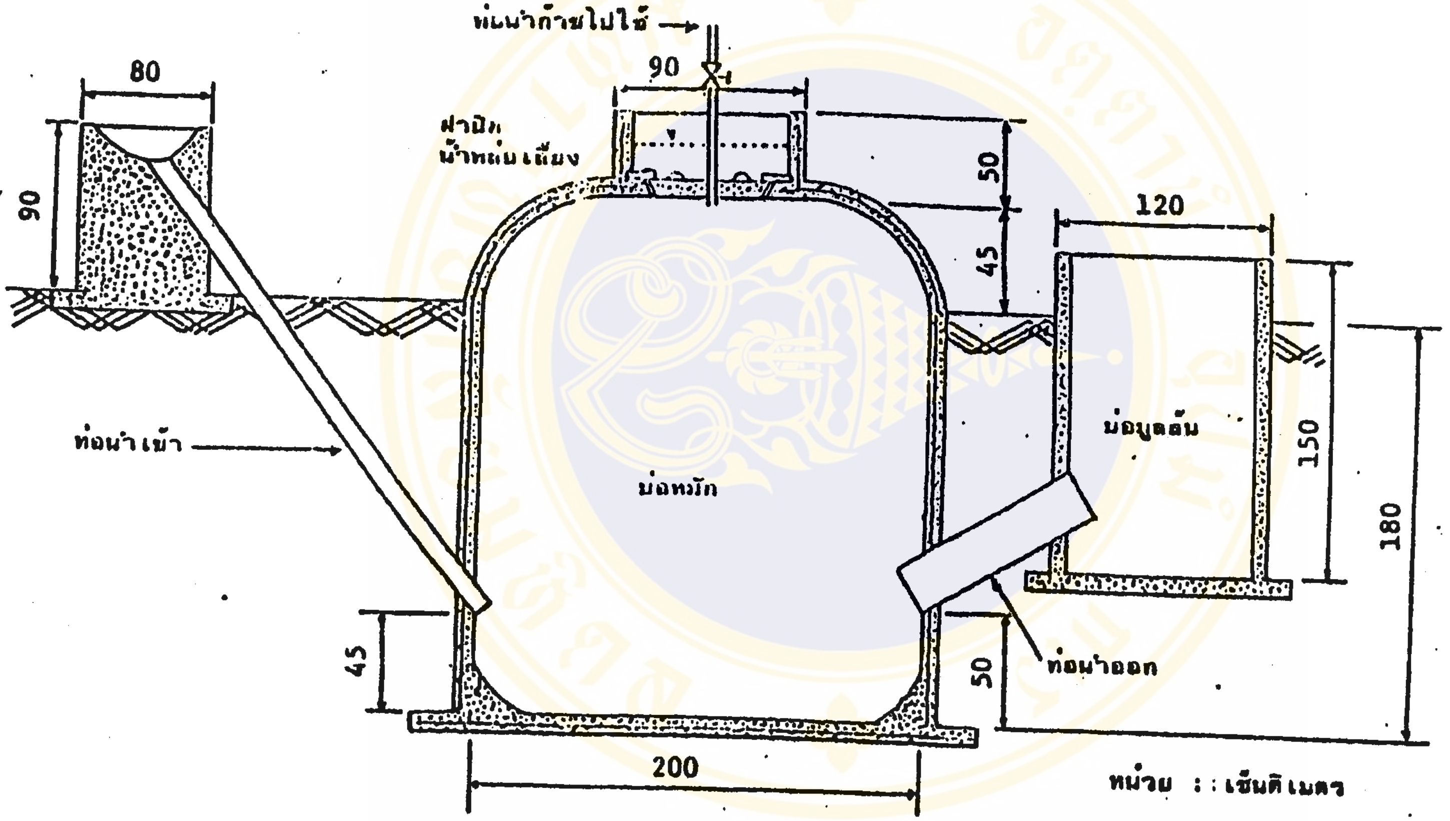
ภาคผนวก ก.

Copyright by Mahidol University



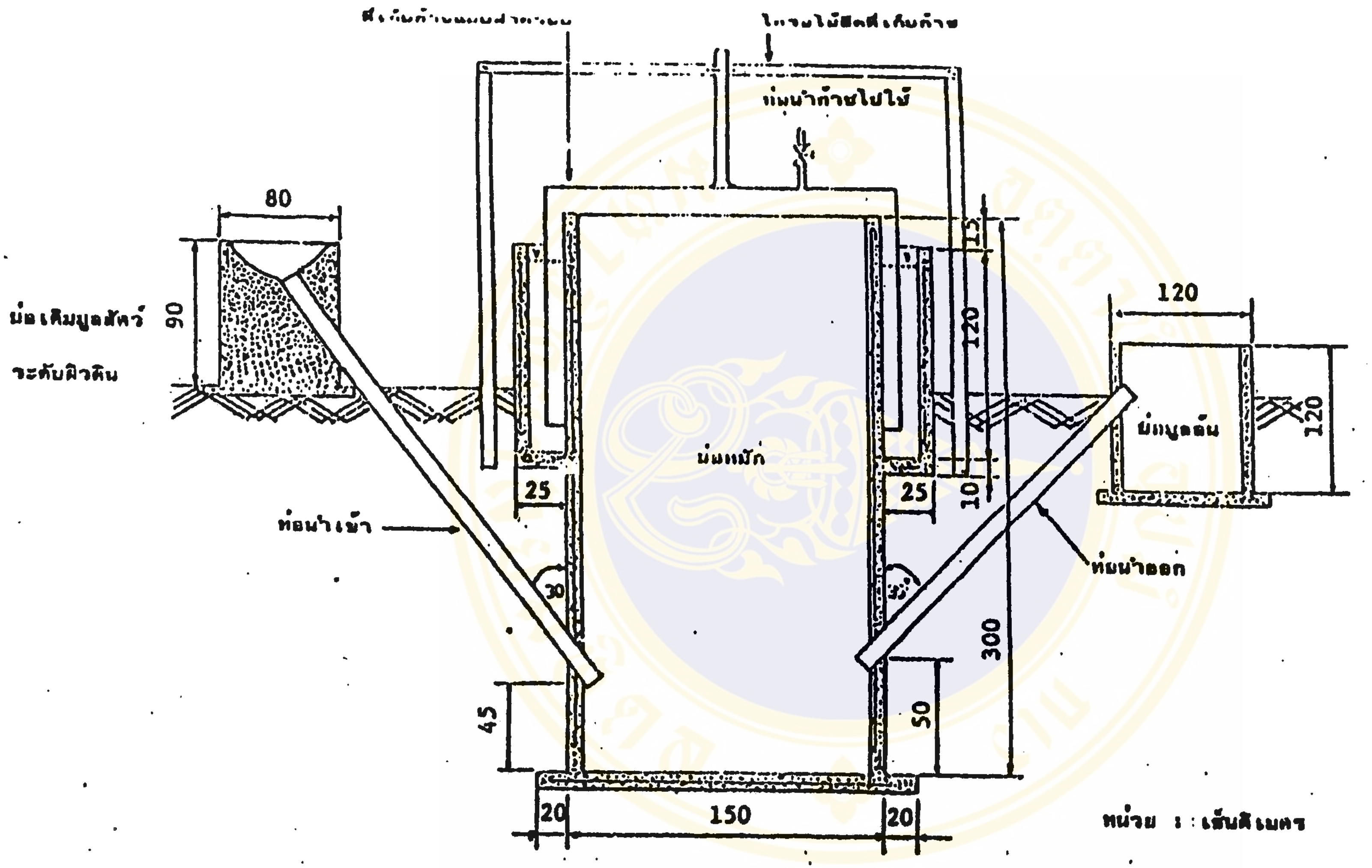
รูปที่ 1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีฝาครอบโลหะปากบ่อหมักชั้นเดียว

Copyright by Mahidol University

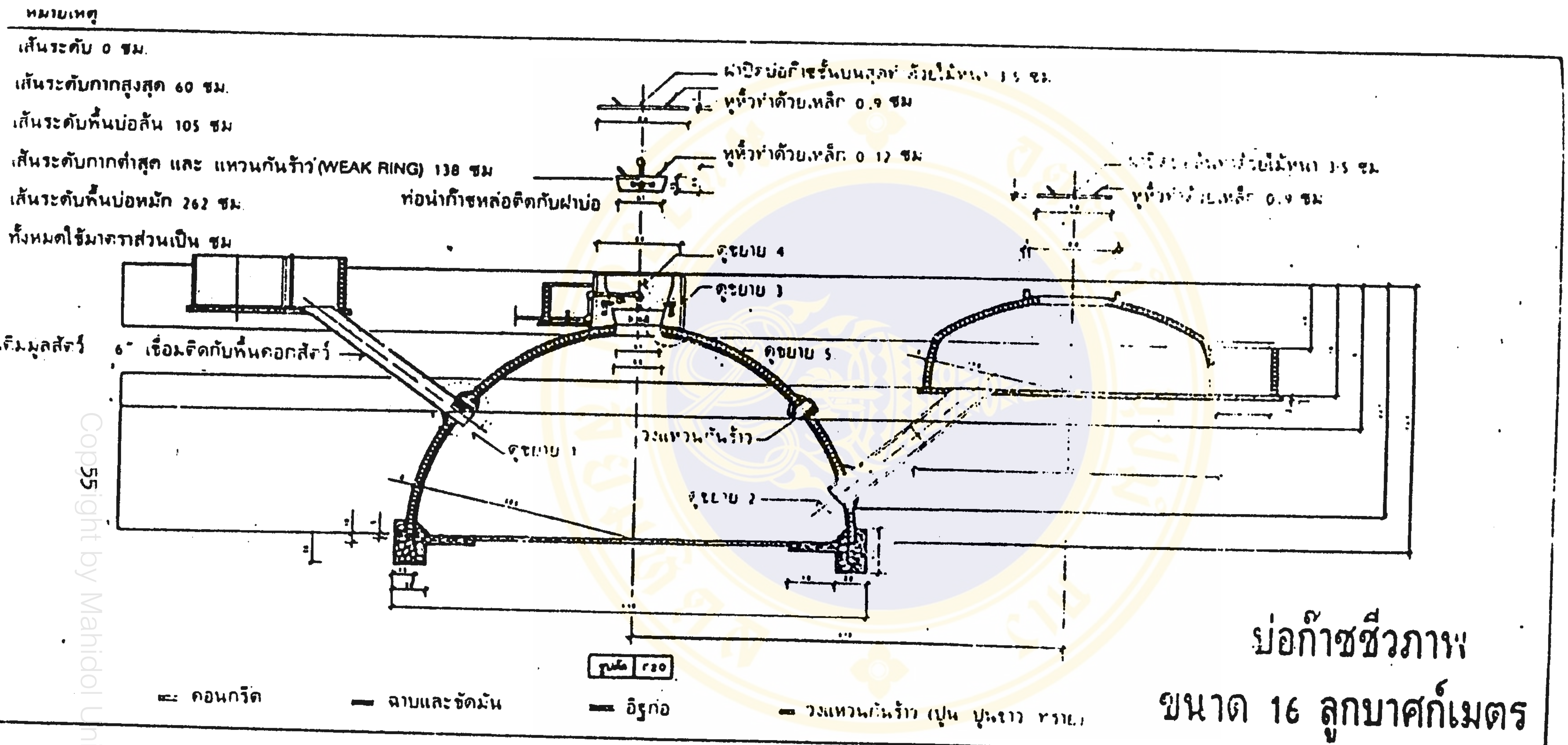


<u>รูปที่ 2</u> ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีฝาครอบแบบ โดม

Copyright by Mahidol University



<u>รูปที่3</u> ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีฝาครอบโลหะปากบ่อหมักสองชั้น

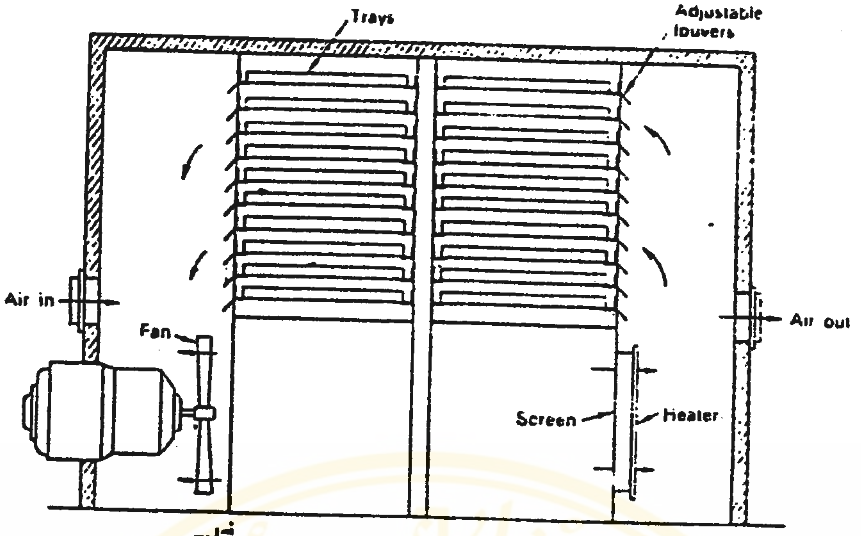


รูปที่4 บ่อหมักชนิดอื่นๆ เช่น บ่อก๊าซชีวภาพโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน

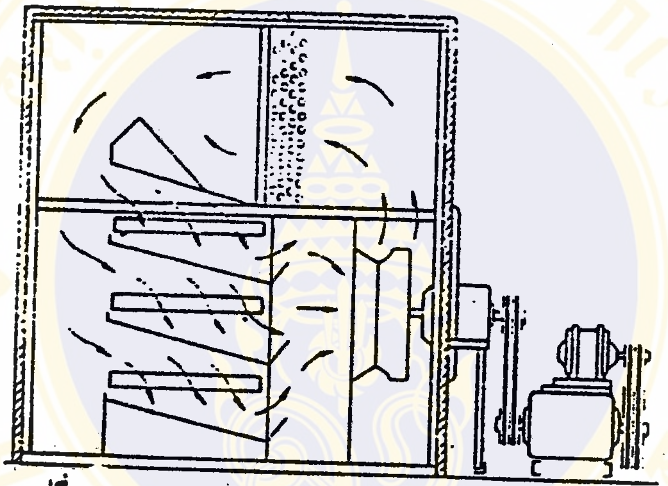
Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ข.

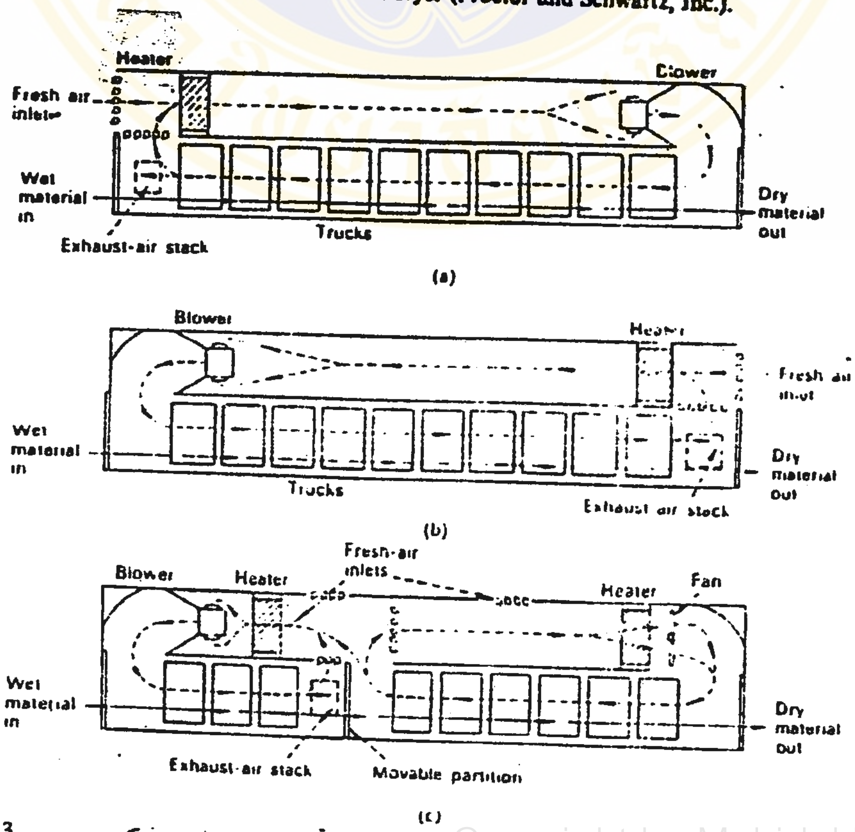
Copyright by Mahidol University



รูปที่ 1 Tray dryer (Proctor and Schwartz, Inc.).

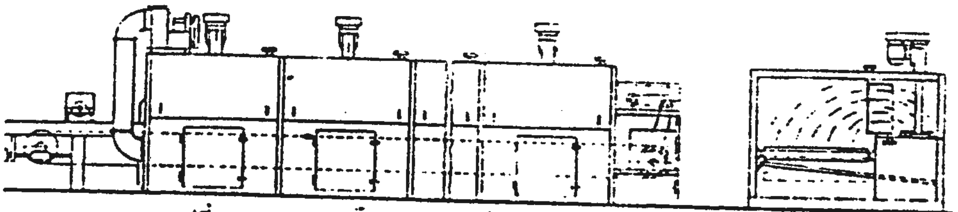


รูปที่ 2 Through-circulation dryer (Proctor and Schwartz, Inc.).

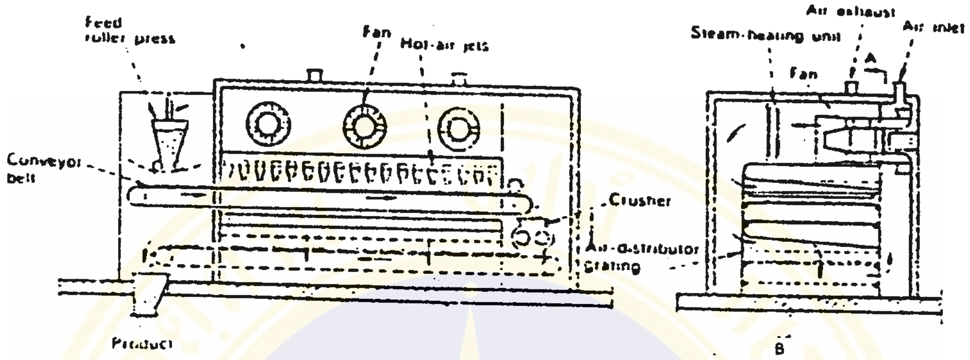


รูปที่ 3 Arrangements for drying tunnels: (a) countercurrent, (b) co-current, (c) dual-directional flow of air and trucks. (From Van Arsdel and Copley, *Food Dehydration*, A.V.I. Publishing Co., Westport, Conn.)

Copyright by Mahidol University

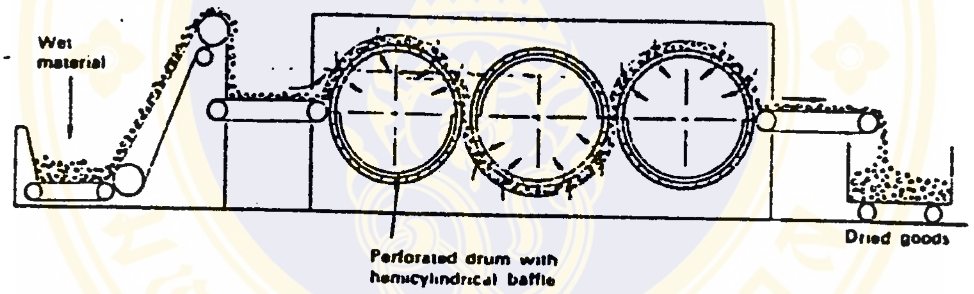


รูปที่ 4 Perforated-band dryer. (Krauss-Maffei-Imperial GmbH.)

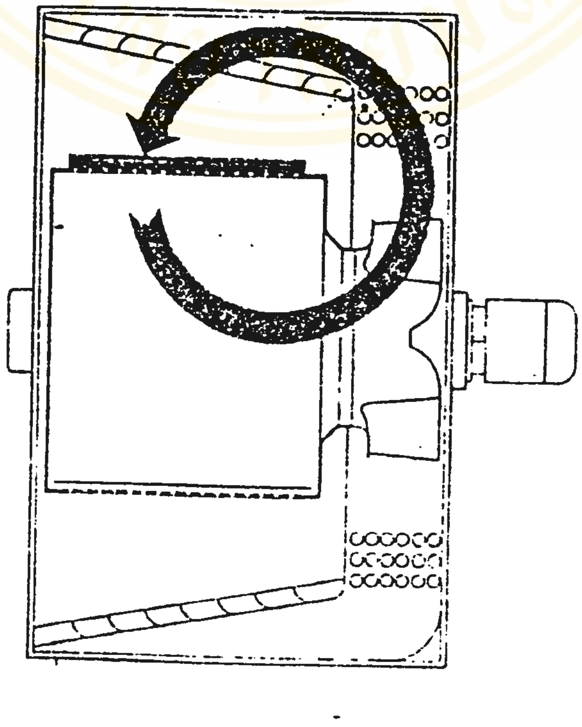


Section A-B

รูปที่ 5 Two-deck band dryer.[6]



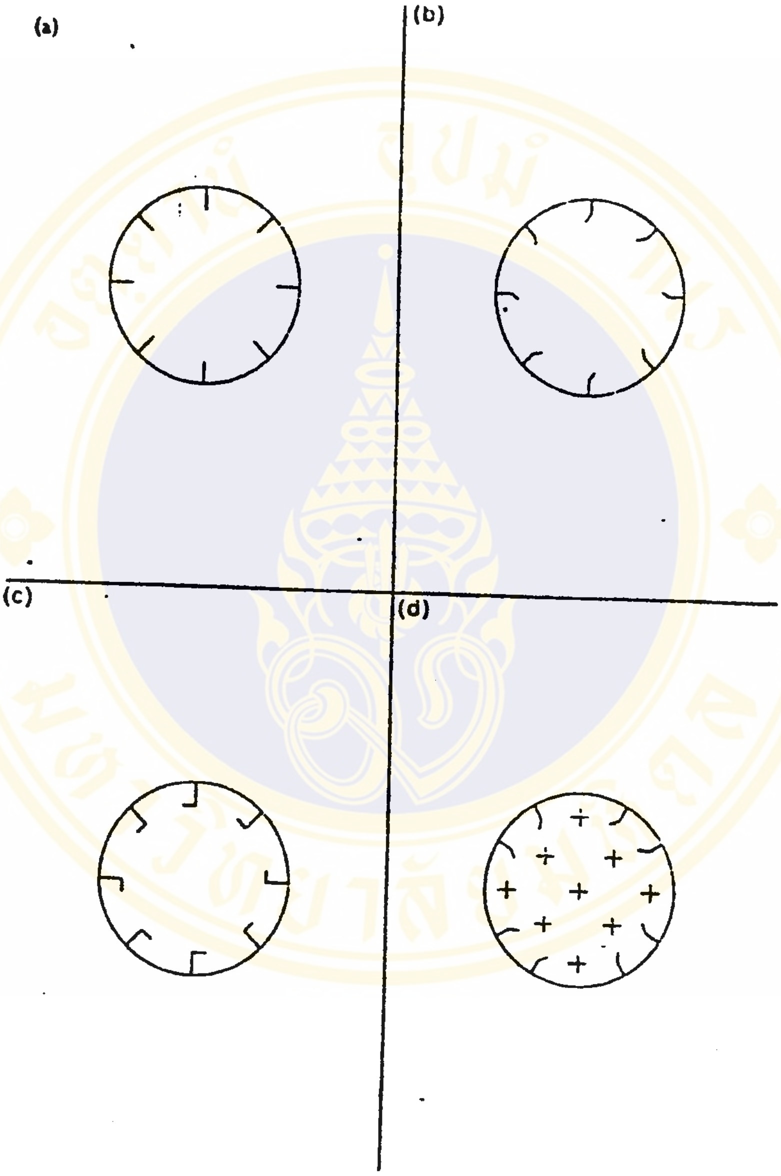
(a)



(b)

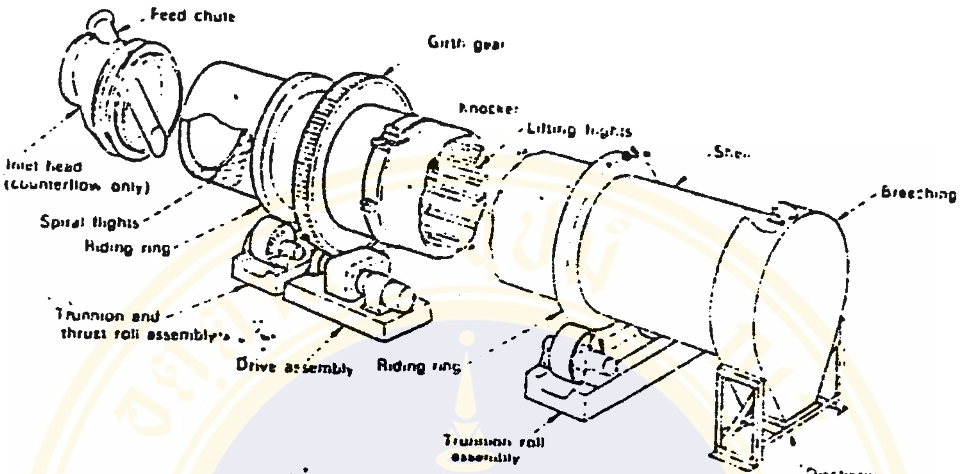
Copyright by Mahidol University

รูปที่ 6 Multiple suction-drum dryer: (a) longitudinal, (b) transverse section. (Fleissner GmbH.)

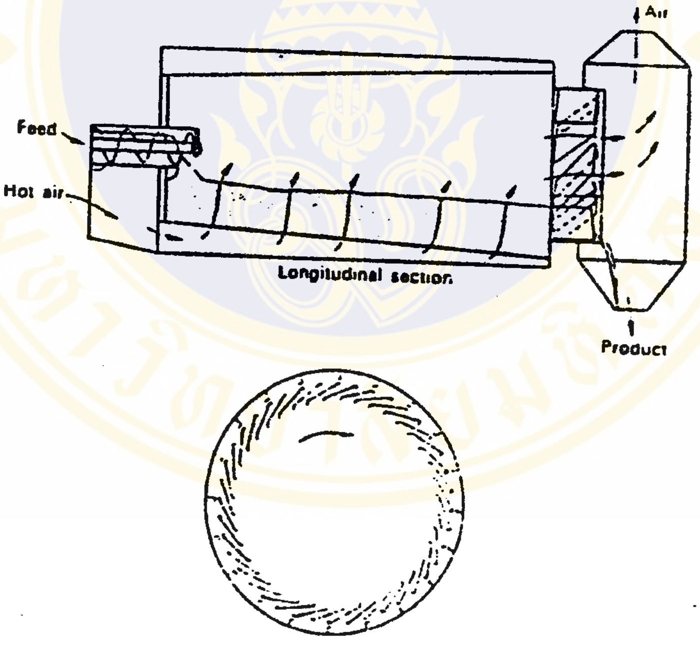


รูปที่ 7 Arrangement of lifting flights: (a) radial, (b) slant-lipped, (c) angle-lipped, (d) cruciform flights.

Copyright by Mahidol University

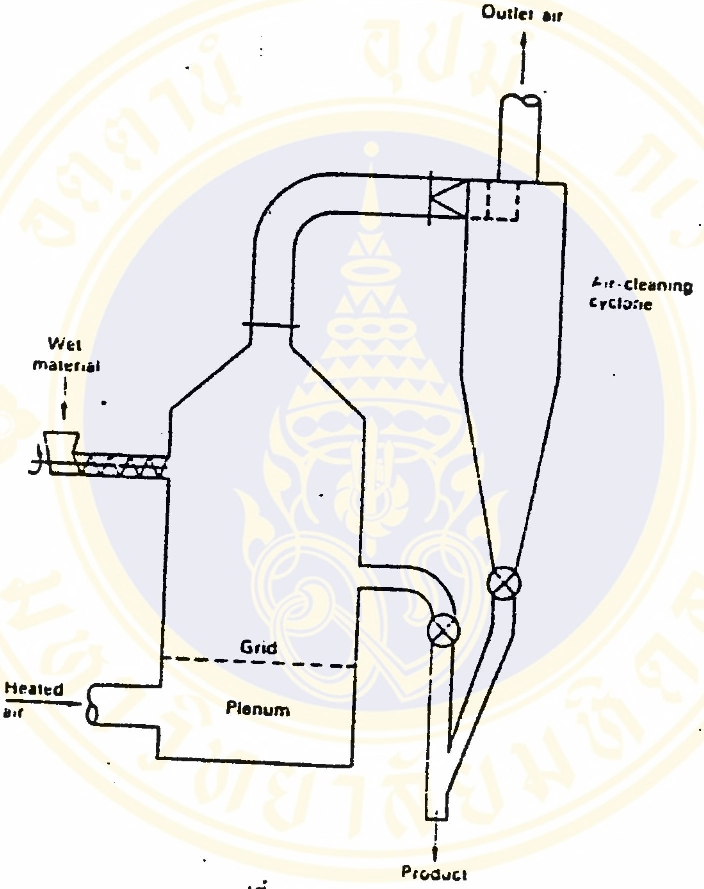


รูปที่ 8 Isometric view of a rotary dryer.[3]



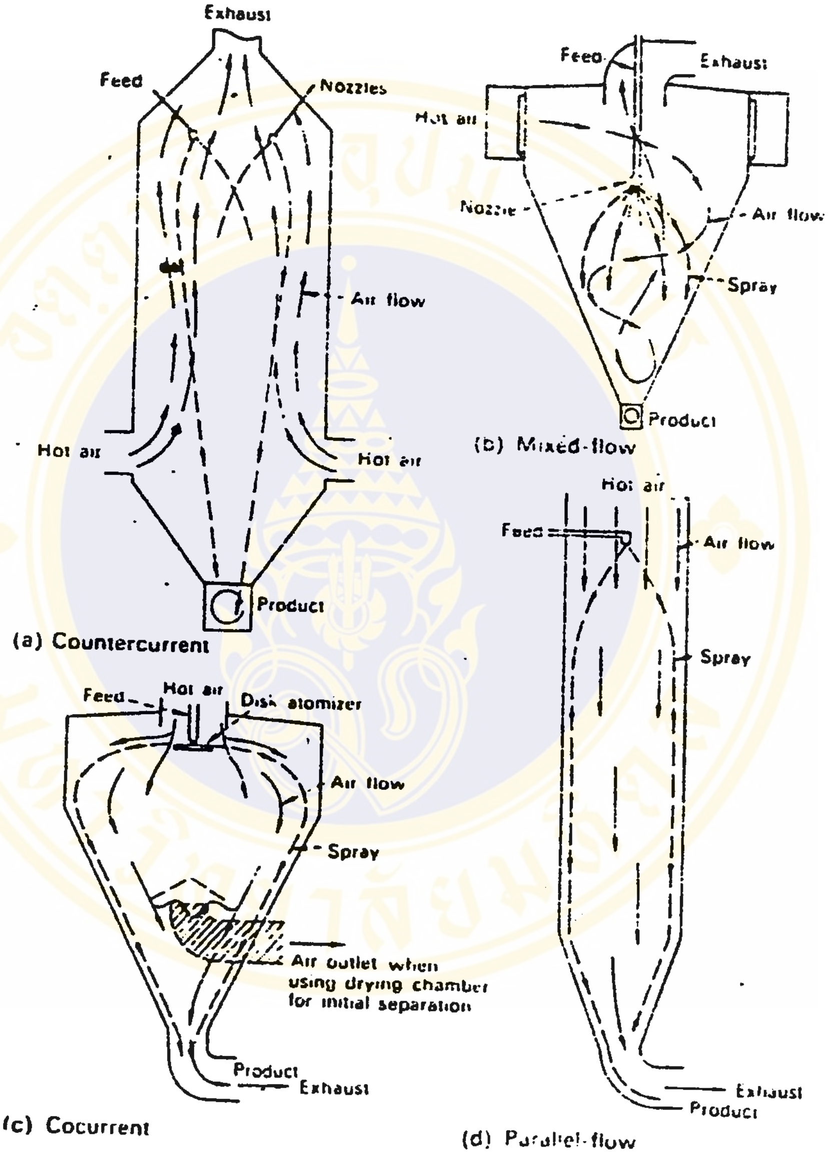
รูปที่ 9 A through-circulated rotary dryer, the Roto-Louvre dryer (Link Belt Co.).

Copyright by Mahidol University



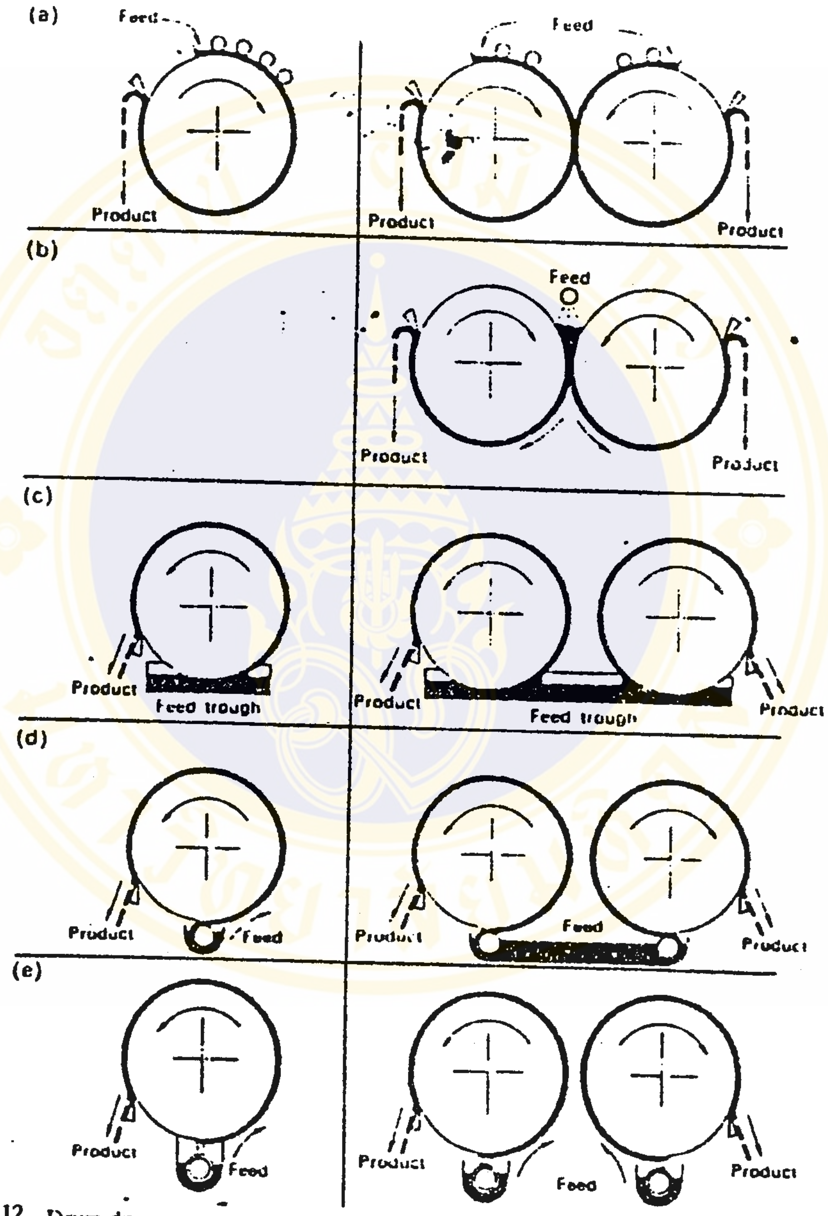
รูปที่ 10 Fluid-bed dryer.

Copyright by Mahidol University



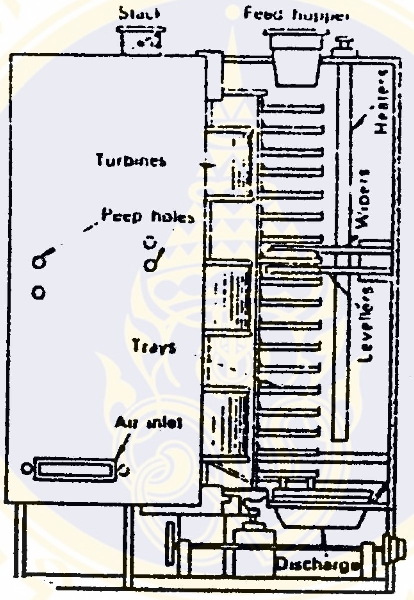
รูปที่ 11 Flow arrangements in spray-drying:[(4)] (a) countercurrent, (b) mixed, (c) co-current, (d) extended parallel flow of particles and air.

Copyright by Mahidol University



รูปที่ 12 . Drum-dryer arrangements: (a) for pasty materials, (b) for viscous materials, (c) dip-feeding for fluid materials, (d) roller-feeding for fluid materials, (e) spray-feeding for thermally sensitive fluids.

Copyright by Mahidol University



รูปที่ 13 Turbo-tray dryer (Wyssmont Co. Inc.).

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ค.

Copyright by Mahidol University

วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน

การวิเคราะห์อินทรียวัตถุ (OM) ในดินนิยมหาในรูปของอินทรีย์คาร์บอน (O.C.) เนื่องจากคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินทรีย์วัตถุ การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนในดิน วิเคราะห์ได้ทั้งวิธี combustion ซึ่งคาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และโดยวิธี ไตเตรดปริมาณ dichromate ($Cr_2 O_7{}^{2-}$) ที่เหลือจากถูกอินทรียวัตถุ reduce วิธีหลังนี้เช่นวิธีของ Walkley - Black ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

1. หลักการวิเคราะห์ O.M. ในดินโดยวิธี Walkley-Black

Oxidizing agent ($K_2Cr_2O_7$) ที่มากเกินพอ จะออกซิไดส์อินทรีย์คาร์บอนเป็น CO_2 โดยใช้ความร้อนจากกรด H_2SO แล้ววัดปริมาณ $Cr_2 O_7{}^{2-}$ ที่เหลือโดยการไตเตรดด้วย reducing agent [$Fe(NH_4)_2$, $(SO_4)_{,z}$,CH_2O]

1.1 อุปกรณ์

(1) เครื่องชั่ง (Analytical balance)

(2) Volumetric pipet 10 ml

(3) Volumetric flask 100 และ 1,000 ml

(4) Erlenmeyer flask 250 ml

(5) Buret 25 ml

(6) Cylinder 100 ml

1.2 สารเคมี

(1) Standard potassium dicromate solution, 1.0 N ละลาย $K_2Cr_2O_7$ (GR อบที่ 105 °C นาน 12 ชั่วโมง) 49.04 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร ใน volumetric flask

Copyright by Mahidol University

(2) Conc, Sulfuric acid ใช้กรด H_2SO_4 (GR) ที่มีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 98% ถ้าดินในตัวอย่างมีคลอไรด์ (C1) อยู่มากเติม Ag_2SO_4 ลงไปในกรด อัตรา 15 กรัมต่อกรด H_2SO_4 1 ลิตร

(3) Redox indicator ใช้ Barium diphenylamine sulfonate (BDS) 0.16% เตรียมโดยละลาย Dipheny lamine 0.5 กรัมในน้ำกลั่น 20 ml และ Conc.H_2SO_4 100 ml

(4.) Ferrous ammonium sulfate (FAS) solution, 0.5 N ละลาย Fe $(NH_4)_2(SO_4)_2$,$6H_2O$(GR) 196.1 กรัม ในน้ำกลั่น 800 ml ซึ่งมี conc. H_2SO_4 อยู่ 20 ml แล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask เก็บสารละลายในขวดสีน้ำตาล (เพื่อกันแสง) และจะต้องปิดจุกให้แน่นเสมอเมื่อเก็บ

(5) Conc. Phosphoric acid (H_2PO_4) ความเข้มข้น 85% 1/

(6) Sodium fluoride (NeF) ชนิดผง 1/

1.3 วิธีการ

(1) ชั่งดินซึ่งบดและผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.2-0.5 มม. หนัก 0.5-2.0 กรัม ใส่ใน erlenmeyer flask ขนาด 250 ml เติม standard 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ ลงไป 10.0 ml โดยใช้ pipet แกว่ง flask เบาๆ เพื่อให้ดินและสารละลายผสมกัน แล้วเติม Conc.H_2SO_4 ลงไป 20 ml โดยพยายามล้างเม็ดดินให้ลงไปอยู่ในกรดให้หมด อย่าให้เม็ดดินเหลือเกาะอยู่ตามข้าง flask แกว่ง flask ค่อนข้างแรง ประมาณ 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที หรือจนกระทั่งดินและสารละลายที่ผสมกันอยู่ (mixture) เย็นลงเท่าอุณหภูมิของห้อง

(2) เติมน้ำกลั่นลงไป 100 ml แล้วเติม Conc.H_3PO_4 10 ml (และ NeF 0.2 กรัม ในกรณีที่ใช้ diphenylamine เป็น redox indicator หรือจะไม่ใช้ก็ได้) แล้วจึงหยด indicator ลงไป 2-3 หยด แกว่ง flask จนของผสม (mixture) เข้ากันดี สีของ mixture จะเป็นสีม่วงปนน้ำเงินหรือสีม่วงแดง

(3) ไตเตรด mixture ด้วย FAS 0.5 N solution จาก Buret สีของ mixture จะเป็นสีม่วงเข้มขึ้นๆ ไตเตรดต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งจวนถึง end point สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ค่อยๆ หยด FAS ทีละหยดจนถึง end point สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวจัด (brillient green)

(4) เพื่อให้ได้ end point ที่ถูกต้อง เติม Standard 1.0 $NH_2Cr_2O_7$ ลงไปอีก 0.5 ml เพื่อให้มี dicromate เหลือใน solution อีก สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงปนน้ำเงินหรือ

Copyright by Mahidol University

ม่วงแดงอีกครั้ง แล้วค่อยๆ ไตเตรดต่อ โดยหยด FAS 0.5 N solution ลงไปทีละหยด จนถึง endpoint อีกครั้งหนึ่ง

(5) ถ้าหากพบว่า ดินตัวอย่างใดมี dichromate เหลืออยู่ในสารละลาย (ก่อนไตเตรด) น้อยมาก คือน้อยกว่า 2 ml (ตอนแรกเติม 1 N,$K_2Cr_2O_7$ 10 ml และถูก organic carbon ในดิน reduced ไปมากกว่า 8 ml ในระหว่าง digestion) ซึ่ง solution จะเป็นสีเขียวก่อนที่จะไตเตรดทำการวิเคราะห์ใหม่โดยใช้ดินให้น้อยลงกว่าเดิม

(6) ทำ blank ซึ่งไม่มีตัวอย่างดินควบคู่ไปด้วยกับการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทุกชุด

(7) ต้องทำการบันทึกจำนวน ml ของ FAS solution ที่ใช้ในการไตเตรด ทั้งของ bland และของดินตัวอย่าง เพื่อนำเอาไปคำนวณหาปริมาณ O.C. ต่อไป

1.4 การคำนวณ

$$\% \text{ Organic Matter (OM)} = 10.5 \times \frac{B-S}{S} \times \frac{0.67}{G}$$

เมื่อ 10.5 = ml ของ standard $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้กับ blank และกับตัวอย่างดิน

B = ml ของ FAS solution ที่ใช้ไตเตรดกับ blank

S = ml ของ FAS solution ที่ใช้ไทรเทรตกับตัวอย่างดิน

G = น.น. ดินเป็นกรัม

Factor 0.67 คื $\frac{12}{4,000} \times \frac{1.724}{0.77} \times 100$

เมื่อ 1.0 N = normality ของ standard $K_2Cr_2O_7$ (ถ้าหาก normality ของ standard $K_2Cr_2O_7$ แตกต่างไปจาก 1.0 N สูตรทุกอันคูณด้วย normality ของ Standard $K_2Cr_2O_7$ 2/)

$\frac{12}{4,000}$ = meq weight ของ carbon

1.724 = $\frac{100}{58}$ (OM มีคาร์บอน 58%)

0.77 = % recovery ของ OC ในดินโดยวิธีนี้เท่ากับ 77

Copyright by Mahidol University

$$\% \text{ organic Carbon (OC)} = \frac{\% \text{ OM}}{1.724}$$

หมายเหตุ

1/ การเติม Conc.H_2PO_4 และ NaF ก็เพื่อจะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีของ redox indicator เมื่อถึง endpoint ได้ชัดเจน

2/ ถ้าเตรียม standard $K_2Cr_2O_7$ solution ครั้งละมาก ๆ normality ของ standard $K_2Cr_2O_7$ อาจจะไม่เท่ากับ 1.0 N จริงๆ ในกรณีเช่นนี้จำเป็นต้องเตรียม standard 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ ที่แน่นอน โดยชั่ง $K_2Cr_2O_7$ 4.904 กรัม ด้วย analytical balance แล้วทำเป็น 100 ml เพื่อเอาไปไตเตรดกับ FAS 0.5 N solution แล้วเอา FAS 0.5 N solution ไปไทเทตรกับ standard $K_2Cr_2O_7$ ที่เตรียมคราวละมากๆ แล้วคำนวณ normality $K_2Cr_2O_7$ ที่เตรียมคราวละมากๆ ได้

2. การวิเคราะห์ total nitrogen

2.1 วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ total-N ที่ยอมรับกันอยู่มี 2 วิธีคือ

2.1.1 Dumee method เป็นวิธี dry oxidation ซึ่งเป็นวิธีที่ยุ่งยาก เสียเวลา จึงไม่เป็นที่นิยม

2.1.2 Kjeldahl method เป็นวิธี wet oxidation ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมแพร่หลาย ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ (1) การย่อยตัวอย่างดิน (digestion) : เปลี่ยน N ในตัวอย่างให้เป็น NH_4^+ โดยการย่อยด้วย H_2 SO_4 ที่เข้มข้น และสารเคมี K_2 SO_4 ซึ่งจะช่วยทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น (ปกติจะใช้ K_2 SO_4) 0.2-0.3 กรัม ต่อ H_2 SO_4 1 ml) และมี catalyst Se หรือ Cu ช่วยทำให้อินทรียวัตถุถูกย่อยสลายเร็วขึ้น

(2) การกลั่น (distillation) : กลั่น NH_2 ในของเหลวที่ย่อยได้ด้วยด่าง แล้วเก็บ NH_3 ใน boric acid

(3) การไตเตรด (titration) : ไตเตรท NH_2 ที่เก็บใน boric acid ด้วยกรดที่รู้ความเข้มข้นแน่นอน (standard acid)

Copyright by Mahidol University

ปฏิกิริยาในข้อ (2) และ (3) เป็นดังนี้

NH + H BO -----------------------------------> NH + H BO

H + H BO -----------------------------------> H BO

2.2 อุปกรณ์

(1) Analytical balance

(2) Digestion apparatus

(3) Digestion flask

(4) Nitrogen distillation apparatus

(5) Volumetric flask ขนาด 100, 1,000 ml

(6) Erlenmeyer flask ขนาด 50 ml

(7) Cylinder

(8) Volumetric pipet 10, 20 ml

(9) Buret 10 ml

2.3 สารเคมี

(1) Sulfuric acid (H_2SO_4) , ----------------------------> (95-97%)

(2) Catalyst mixture : ผสม K_2SO_4 : $CuSO_4$: Se powder อัตราส่วน 100 : 10 : 1 โดยน้ำหนัก

(3) Sodium hydroxide (NaOH) 40% : ละลาย NaOH 400 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น เก็บในภาชนะที่กันไม่ให้ CO_2 เข้าไปได้

(4) Mixed indicator : ละลาย bromcresol green 0.033 กรัม และ methyl red 0.0165 กรัม ใน ethanol 50 ml

(5) Boric acid-indicator solution 2% ละลาย Boric acid (H_3BO_3) ในน้ำร้อนประมาณ 700 ml ทิ้งไว้ให้เย็น เทใน volumetric flask ขนาด 1,000 ml (บรรจุ ethanol 200 ml แล้วเท mixed indicator 20 ml ลงไป เขย่าของผสมให้เข้ากัน แล้วใช้ 0.05 N NaOH ค่อยๆ หยดลงไปในสารละลาย เพื่อปรับสารละลายให้มี pH ประมาณ 5 ซึ่งทดสอบได้โดยนำสารละลายที่ปรับ pH แล้วนี้มา 1 ml ผสมกับน้ำกลั่น 1 ml (อาจต้องดำเนินการทดสอบหลายๆ ครั้ง) สีของสารละลายที่

Copyright by Mahidol University

ทดสอบเปลี่ยนเป็นสีเขียวอ่อน (pale green) แสดงว่าสารละลายมี pH ประมาณ 5 แล้วให้เติมน้ำกลั่นจนสารละลายใน volumetric flask มีปริมาณครบ 1 ลิตร

(6) Standard sulfuric acid (H_2SO_4) 0.02-0.05 N

2.4 วิธีการ

(1) การย่อยดิน : ชั่งตัวอย่างดินซึ่งผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.2-0.5 มม. หนัก 1.0-2.0 กรัม ใส่ใน K jeldahl flask ขนาด 100 ml การเทตัวอย่างดินลงใน flask ระวังอย่าให้ดินหกหรือติดอยู่ที่คอขวด เติม catalyst (ประมาณ 1 กรัม) แล้วเติม conc.H_2SO_4 จำนวน 5-10 ml ลงไปเขย่า flask เบาๆ เพื่อให้ดินและกรดผสมเข้าด้วยกัน นำไปวางบนเตา digest ต้มด้วยไฟอ่อน ๆ ในระยะแรกแล้วเพิ่มไฟให้แรงขึ้น ขณะ digest ควรหมุน flask ไปรอบๆ เป็นครั้งคราวเพื่อช่วยให้มีการคลุกเคล้ากันดีขึ้น เมื่อสีของเหลวใน flask เริ่มใสเคี่ยวต่อไปอีกประมาณ 20-30 นาทีจึงยก flask ออกจากเตา digest ปล่อย flask ทิ้งไว้ให้เย็น ค่อยๆ รินน้ำกลั่น 10-20 ml ลงไปรอบๆ คอ flask ของเหลวจะร้อนขึ้น ปล่อยของเหลวให้เย็นแล้วถ่ายใส่ volumetric flask 100 ml เมื่อของเหลวเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 ml เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้จนดินตกตะกอน นำของเหลวใสข้างบนไปกลั่น ในการวิเคราะห์ทุกครั้งจะต้องทำ blank ซึ่งไม่มีตัวอย่างดินร่วมด้วย

(2) การกลั่น 1/: รินน้ำยา H_3BO_3 ประมาณ 5 มล. ใส่ erlermeyer flask ขนาด 50 ml แล้วนำไปวางที่ใต้ก้าน condenser ของเครื่องกลั่นแล้วใช้ volumetric pipet ดูดสารละลายที่ digest ได้จำนวน 10-20 ml ใส่ distillation flask เติมน้ำยา NaOH 40% จำนวน 10 มล. ลงไปกลั่นจนได้ของเหลวซึ่งมีสีเขียวประมาณ 35 ml

(3) การไตเตรด : ไตเตรดของเหลวที่กลั่นได้ด้วย standard H_2SO_4 สีของของเหลวจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง ที่จุดเริ่มสีม่วงแดงนี้จะเป็น end point บันทึกปริมาณของกรดที่ใช้ไตเตรด blank และตัวอย่างดิน

<u>หมายเหตุ</u>

1/ ก่อนที่จะกลั่น blank และตัวอย่างจะต้องล้างเครื่องกลั่นให้สะอาดเสียก่อน โดยทำการกลั่นน้ำกลั่นให้ได้ของเหลวที่กลั่นได้ประมาณ 50 มล.

Copyright by Mahidol University

2.5 วิธีคำนวณ

$$\% \text{T-N} = \frac{14 \times N \times (T-B)}{\text{ml. of eliquot} \times \text{wt. of soil}}$$

T = ml กรดที่ใช้ titrate ตัวอย่าง

B = ml กรดที่ใช้ titrate blank

N = normality กรด

14 = equivalent weight ของไนโตรเจน

การที่ต้องทำ bland เพื่อกำจัด impurity ของสารเคมีบางอย่างที่อาจจะมี nitrogen ปนอยู่

3. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน

ฟอสฟอรัสในดินมีทั้งในรูปอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสที่คาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อพืช (available-P) ได้จากการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด น้ำยาที่ใช้สกัดดินมีทั้งที่เป็นกรด (Bray) และเป็น (available) ด่าง (Olsen) โดยที่น้ำยาสกัดจะไปสกัดอนินทรีย์ฟอสฟอรัสรูปต่างๆ (Ca-P, Al-P, Fe-P) ออกมาปริมาณที่สกัดได้จะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณของรูปฟอสฟอรัสในดิน และปริมาณที่ละลายได้รูปของเหล่านั้นในน้ำยาสกัด โดยทั่วไปการวิเคราะห์ available-P โดยน้ำยาสกัด Bray II สะดวกและให้ค่าความสัมพันธ์ (correlation) ของปริมาณ available-P กับปริมาณฟอสฟอรัสในพืช ดังนั้น การวิเคราะห์จึงเน้นเฉพาะน้ำยาสกัด Bray II น้ำยาสกัด Bray II ซึ่งเป็นส่วนผสมของกรด HCl และ NH_4F จะสกัดอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายง่ายในกรด เช่น แคลเซียมฟอสเฟต (Ca-P) และบางส่วนของเหล็กฟอสเฟต (Fe-P) และอลูมินั่มฟอสเฟต (Al-P) ให้อยู่ในรูปของสารละลาย แล้ววัดปริมาณฟอสฟอรัสโดยวิธีทำให้เกิดสี

3.1 อุปกรณ์

(1) เครื่องชั่ง (analytical balance)

(2) Breaker 100, 250, 1,000 ml

Copyright by Mahidol University

(3) Volumetric flask 25, 100, 1,000 ml

(4) Erlenmeyer flask 50 ml

(5) Cylinder 100 ml

(6) Pipet 1,2,3,4,5 10 ml

(7) Spectrophotometer

3.2 สารเคมี

(1) Ammonium fluoride (NH_4F) solution, 1N : ละลาย NH_4F 37 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เป็นสารละลาย 1 ลิตร เก็บไว้ในขวด polyethylene

(2) Hydrochloric acid (HC1), 0.5 N : dilute conc. HC1 (GR) 20.2 ml ด้วยน้ำกลั่นแล้วทำให้เป็น 500 ml.

(3) น้ำยาสกัด (extracting solution)} 0.03 N NH_4F + 0.1 N HC1 : ผสม 1N NH_4F 30 ml กับ 0.5 N HC1 200 ml แล้วทำให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

(4) น้ำยา develop สี

(4.1) ชั่ง Ammonium heptamolybate [$(NH_4)_5$, Mo_7 O_{24} ,$4H_2O$] 12 กรัมละลายในน้ำกลั่น 250 มล.

(4.2) ชั่ง Potassium antimony tartrate ($KSbO,C_4H_4O_5$) 0.2908 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มล.

(4.3) H_2SO_4 5 N : Dilute Conc. H_2SO_4 (มีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่า 96%) 139 มล. ด้วยน้ำกลั่นแล้วทำให้เป็น 1 ลิตร

(4.4) เทน้ำยาในข้อ 4.1 และ 4.2 ลงในข้อ 4.3 แล้วทำให้เป็น 2.5 ลิตร ด้วยน้ำกลั่นใน volumetric flask

(5) Ascorbic acid solution ละลาย Ascorbic acid 1,056 กรัม ในน้ำยา develop สี (ข้อ 4.4) 250 มล. สารละลายนี้ต้องเตรียมใหม่ๆ และเก็บไว้ได้ไม่เกิน 25 ชม.

(6) Stock standard solution, 50 ppm P ละลาย KH_2PO_4 (GR อบที่ 105 ^oC นาน 2 ชั่วโมง) 0.2196 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำให้เป็น 1,000 ml ใน volumetric flask

(7) Standard solution, 5ppm P Pipet stock standard solution 50 ppm P จำนวน 10 ml ใส่ใน olumetric flask เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 ml.

Copyright by Mahidol University

3.3 วิธีการ

(1) ชั่งดินซึ่งบดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มม. หนัก 2 กรัม ใส่ใน erlenmeyer flask ขนาด 50 ml เติมน้ำยาสกัด 20 ml เขย่าด้วยมือ 40 วินาที แล้วกรองทันทีด้วยกระดาษกรอง No.42

(2) Pipet standard solution 5 ppm P จำนวน 1,2,3,4 และ 5 ml ใส่ใน volumetric flask 25 ml ใส่น้ำกลั่นพอประมาณ แล้วเติม ascorbic acid solution 5 ml เตมิน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 ml เขย่าสารละลายให้เข้ากัน ซึ่งจะได้ standard solution ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 ppm P

(3) pipet สารละลายดินที่กรองได้ประมาณ 5 ml ใส่ใน volumetric flask 25 ml ใส่น้ำกลั่นพอประมาณ แล้วเติม Ascorbic solution 5 ml เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 ml เขย่าให้สารละลายเข้ากัน ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที จะได้สารละลายสีน้ำเงิน (สีจะคงที่นาน 24 ชม.) ถ้าความเข้มข้นของสีของสารละลายดินเกินน้ำยามาตรฐานให้ลดปริมาณสารละลายดินลง แต่ถ้าความเข้มของสีของสารละลายดินเจือจางมาก ให้เพิ่มปริมาณสารละลายดิน และถ้าใช้ปริมาณสารละลายดินมากกว่า 10 ml ให้ใส่ saturated boric acid solution 1 ml

(4) นำสารละลายของดินไปวัดเทียบสีกับ standard solution ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 ppm P ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ wavelength 825 nm.

3.4 วิธีคำนวณ

$$\text{ppm P} = \text{ppm จาก curve} \times \frac{\text{Total volume}}{\text{ml of aliquot}} \times \frac{\text{ml ของน้ำยาสกัด}}{\text{นน.ดิน}}$$

ง การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

โพแทสเซียมในดินที่พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ exchangeable-K ส่วน soluble-K นั้น ถึงแม้จะเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ได้ง่าย แต่มีอยู่ในดินเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า exchangeable-K มาก การวิเคราะห์จึงเน้นเฉพาะ exchangeable-K และวิธีวิเคราะห์

Copyright by Mahidol University

ที่นิยมแพร่หลาย คือ ใช้น้ำยา ammonium acetate สกัด K ที่ถูกดินดูดซับไว้ให้ออกมาอยู่ในสารละลาย แล้ววัดความเข้มข้นของ K ในสารละลายด้วย Flame spectrophotometer

4.1 อุปกรณ์

(1) Flame spectrophotometer

(2) Analytical balance

(3) volumetric flask 100 ml

(4) Erlenmeyer flask 125 ml

(5) Pipet 1, 2, 3, 4 และ 5 ml

(6) Beaker

(7) Cylinder 50 ml.

4.2 สารเคมี

(1) น้ำยาสกัด 1N Ammonium acetate (N_4 OAc) pH 7 ละลาย NH_4 OAc 77.08 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 900 ml. ปรับ pH ด้วย ammonia solution ให้เป็น pH 7 แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร ใน volumetric flask

(2) Stock standard solution, 1,000 ppm K ชั่ง KC1 (GR) 1.9100 กรัม ละลายในสารละลาย 1 NNH_4 OAc แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร ใน volumetric flask หรืออาจเตรียมจาก standard K solution ที่บรรจุใน ampule โดยนำมาปรับปริมตรที่กำหนดไว้ด้วยน้ำกลั่น

4.3 วิธีการ

(1) ชั่งตัวอย่างดิน ซึ่งบดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มม. จำนวน 5.00 กรัม ใส่ใน erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติมน้ำยาสกัด NH_4 OAc 50 ml ปิดด้วยจุกยางเขย่าด้วย เครื่องเขย่านาน 30 นาที แล้วนำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรอง whatman No.1

(2) เตรียม standard solution 10, 20, 30, 40 และ 50 ppm K จาก Stock Standard Solution 1,000 ppm K

Copyright by Mahidol University

(3) นำ filtrate ไปวัดเทียบความเข้มข้นกับ standard solution ด้วย flamespectophotometer ที่ wavelength 768 nm

4.4 การคำนวณ

$$\text{ppm K} = \frac{\text{ppm จาก curve} \times \text{ml ของน้ำยาสกัด} \times \text{dilution factor}}{\text{น.น.ดิน}}$$

หมายเหตุ filtrate ที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ exchangeable Ca, Mg และ Na ได้ด้วย

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ง.

Copyright by Mahidol University

การตรวจวินิจฉัยโรคทางปาราสิตวิทยา

การเก็บอุจจาระสำหรับตรวจหาพยาธิ

อุจจาระที่จะส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการ มีวิธีการเก็บดังนี้

1. ภาชนะที่ใส่ควรจะเป็นขวด หรือตลับพลาสติกที่มีฝาปิดมิดชิด เพื่อป้องกันไม่ให้แมลงลงไปไข่
2. ภาชนะที่ใส่ต้องแห้งสะอาด ไม่มีปัสสาวะหรือยาทำลายเชื้อโรคเจือปน เพราะจะไปฆ่าพวกปาราสิต และนอกจากนั้นยาปฏิชีวนะอาจมีผลทำให้ไข่พยาธิลดน้อยลงทำให้ตรวจไม่พบ
3. อุจจาระที่จะเก็บตรวจไม่ควรถ่ายลงดิน จะทำให้มีสิ่งเจือปน เช่น ดินทราย
4. อุจจาระที่ตรวจต้องมากพอ ถ้าน้อยเกินไปอาจตรวจไม่พบ และบางทีต้องใช้อุจจาระจำนวนมาก
5. อุจจาระที่ตรวจควรรีบส่งห้องปฏิบัติการทันที หลังจากที่เก็บได้ ถ้าช้าเกินไปปาราสิตบางชนิดอาจตายทำให้ยากแก้การตรวจ บางชนิดอาจเจริญกลายเป็นตัวอ่อนแตกออกจากไข่ ถ้าไม่สามารถตรวจได้ทัน ควรเก็บไว้ในตู้เย็น
6. เก็บดองไว้ในน้ำยา เช่น 10% ฟอร์มาลิน หรือ MIF (Merthiolate-Iodine-Foremaldehyde) น้ำยาเหล่านี้สามารถรักษาระยะ Trophozoite ของไข่และตัวอ่อนของพยาธิเป็นอย่างดี

วิธีการเตรียมและตรวจอุจจาระ

ในการเตรียมอุจจาระเพื่อรวจหาปาราสิตหนอนพยาธิมีหลายวิธี แต่วิธีที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นวิธีที่ใช้กันอยู่แพร่หลายทั่วไปมากที่สุด

1. วิธีการตรวจอย่างง่าย (Diret fecal smear)

เป็นวิธีที่เก่าแก่ ง่าย สะดวก และประหยัด สามารถเห็นไข่ได้ชัดเจน แต่อุจจาระที่ใช้น้อยประมาณ 1-2 มิลลิกรัมต่อ1สไลด์ ในรายที่มีไข่พยาธิในอุจจาระน้อย จะตรวจไม่พบ ซึ่งควรต้องตรวจ 2- 3 สไลด์ต่อ1ตัวอย่าง

Copyright by Mahidol University

1.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์
2. กระจกสำหรับตรวจ (สไลด์)
3. กระจกสำหรับปิด(Cover grass)
4. ไม้จิ้มฟัน
5. น้ำเกลือ 0.85 %
6. น้ำยาไอโอดีน 1 %

1.2 วิธีทำ

1. หยดน้ำเกลือ 1 หยดลงบนสไลด์
2. ใช้ไม้จิ้มฟันเขี่ยอุจจาระจากหลายๆจุด ประมาณเท่าหัวไม้ขีดไฟ
3. ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์
4. ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ใช้หัวกำลังขยาย 10 X ถ้าสงสัยดูด้วยหัวที่กำลังขยาย 45 X
5. นับจำนวนไข่พยาธิ

2. วิธี Kato thick smear

เป็นวิธีของ Kato และ Miura ใช้อุจจาระจำนวนมาก 20 -30 เท่าของวิธีการตรวจธรรมดา โดยใช้แผ่นเซลโลโฟนปิดแทนกระจกปิดสไลด์

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์
2. แผ่นกระดาษแก้ว ขนาด 22 X 30 มม. น้ำซึมผ่านได้ ต้องแช่น้ำยาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนใช้
3. น้ำยาประกอบด้วย

กลีเซอรอีน	100	ส่วน
ฟีนอล 6 % (หรือน้ำกลั่น)	100	ส่วน

Copyright by Mahidol University

3 % มาลาไคท์กรีน 1 ส่วน

4. ปากคีบ

5. จุกยาง

2.2 วิธีทำ

1. ตักอุจจาระประมาณ 60 มิลลิกรัมลงบนสไลด์
2. ปิดด้วยกระดาษแก้วที่แช่ในน้ำยา
3. ใช้จุกยางกดอุจจาระให้กระจายสม่ำเสมอและบางพอที่จะสามารถตรวจได้
4. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง หรือ 20-30 นาที ที่ 34-40 องศาเซลเซียส
5. ตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

3. วิธีตรวจโดยการทำให้เข้มข้น (concentration technique)

เป็นการแยกไข่พยาธิให้มารวมกันมากๆ แล้วตกตะกอนในขณะที่กากอุจจาระ และเศษอาหารขนาดใหญ่จะถูกกรองออกด้วยผ้าก๊อส ส่วนขนาดเล็กจะถูกย่อย ถ้าเบาจะลอยขึ้นข้างบน ถ้าหากหนักจะตกตะกอนลงข้างล่างรวมกับไข่พยาธิ สำหรับวิธีที่ได้จัดทำเป็นวิธี ทำให้ไข่พยาธิลอยตัว (Floatation techniuqe) ไข่พยาธิจะลอยขึ้นมาบนผิวของน้ำยา โดยการใช้น้ำยาที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าไข่พยาธิ

3.1 วิธีทำ

1. ใส่น้ำเกลือลงในหลอดแก้วขนาด 15 -20 มิลลิลิตร ครึ่งหลอด
2. ใส่อุจจาระลงไปขนาดเท่าหัวแม่มือ แล้วใช้ไม้คนให้เข้ากัน
3. ใช้ปิเปตดูดน้ำเกลือเติมลงในหลอดแก้วจนถึงขอบ
4. ใช้กระจกปิดสไลด์ปิดหลอดแก้ว
5. ตั้งทิ้งไว้ 20-30 นาที
6. ค่อยๆยกกระจกปิดสไลด์ออก
7. ปิดลงบนสไลด์ แล้วดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก จ.

Copyright by Mahidol University

รูปที่ 1 การฉีดน้ำล้างคอกสุกร

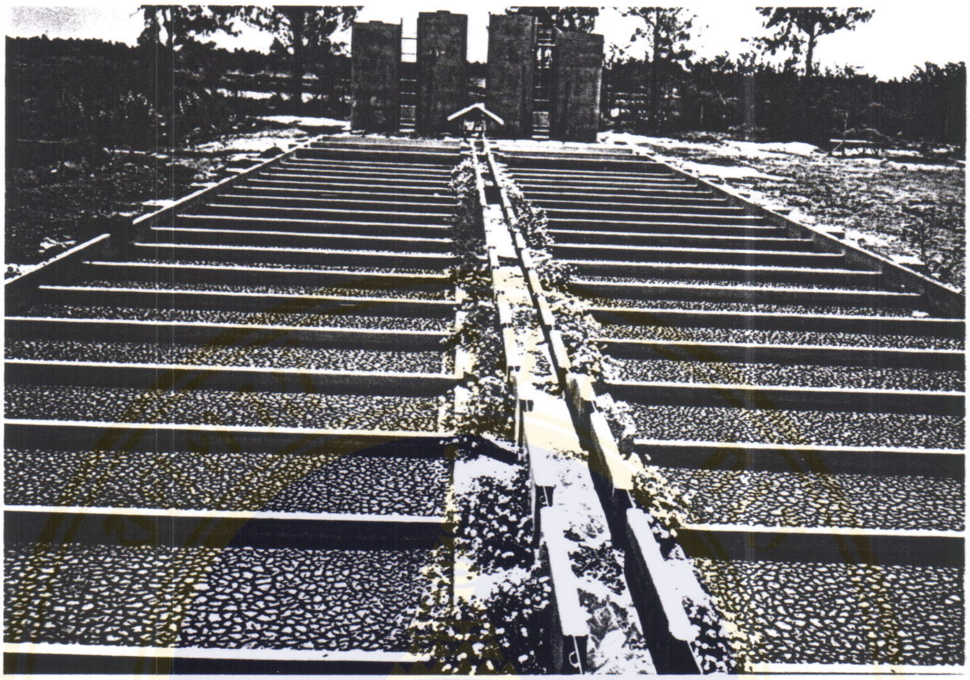
รูปที่ 2 รางรับน้ำรวมเข้าสู่บ่อรวมน้ำเสีย

Copyright by Mahidol University

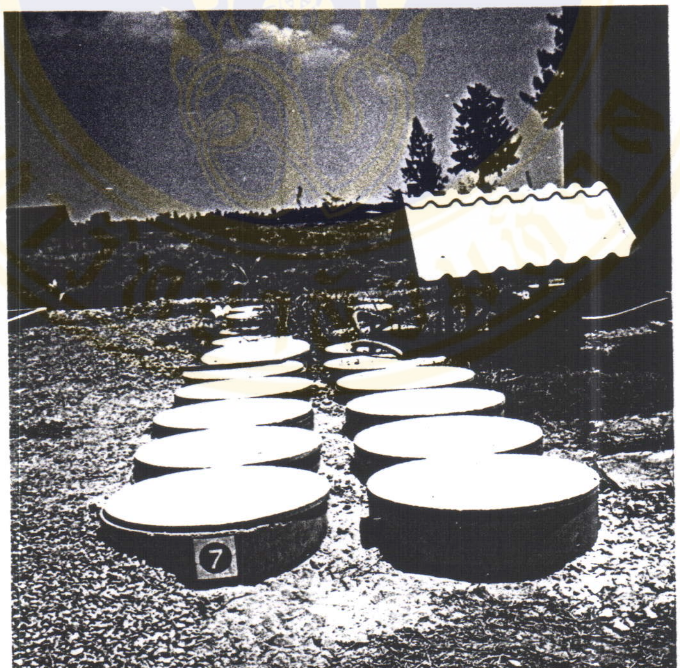
รูปที่ 3 บ่อรวมน้ำเสียจากคอกสุกร ภายในมีปั๊มน้ำสูบเข้าใส่บ่อเติมมูล

รูปที่ 4 บ่อน้ำล้นที่มีกากมูลสัตว์ล้นออกมาจากบ่อหมักช้าแบบราง

Copyright by Mahidol University



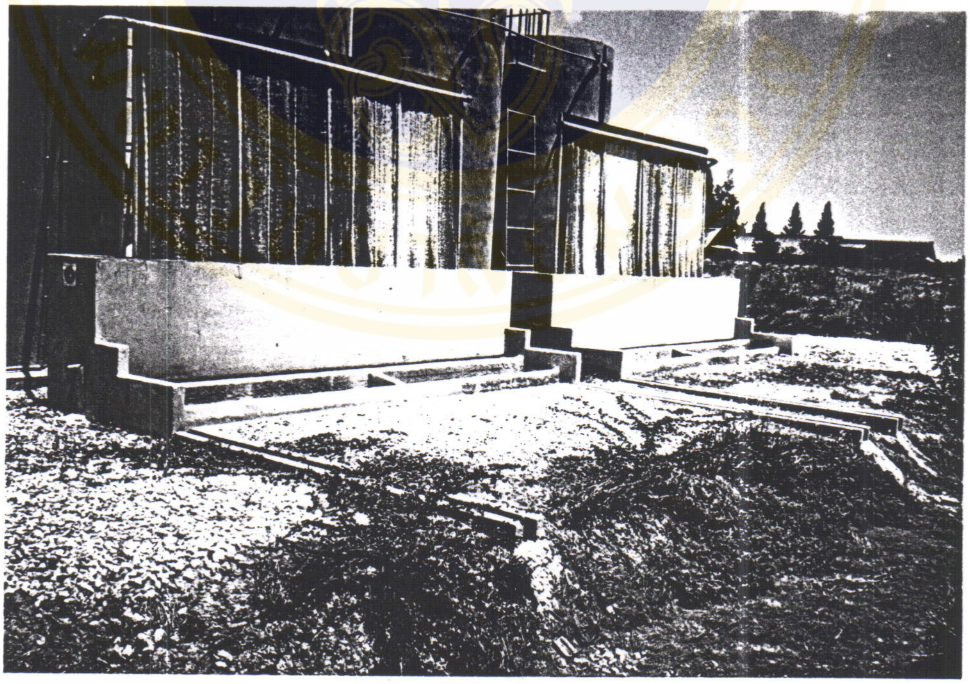
รูปที่ 5   ลานตากตะกอน



รูปที่ 6 บ่อพักน้ำที่รับน้ำจากลานกรองตะกอน

Copyright by Mahidol University

รูปที่ 7 บ่อหมักเร็วแบบUASB



รูปที่ 8 แผงกระจายน้ำก่อนปล่อยน้ำสู่ลำรางธรรมชาติ

Copyright by Mahidol University

รูปที่ 9 บ่อน้ำที่รับน้ำทิ้งจากถังหมักเร็วแบบ UASB

รูปที่ 10 โรงเก็บกากมูลสัตว์เพื่อรอการขนส่งสู่โรงปุ๋ยต่อไป

Copyright by Mahidol University

ภาคผนวก ฉ.

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 1 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

(กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพขนาด 190 กิโลกรัม/ชั่วโมง จำนวนวันทำงาน 365 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าไฟฟ้า	0.00	49,543.30	49,543.30	49,543.30	49,543.30	49,543.30
3. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	53,549.61	53,549.61	53,549.61	53,549.61	53,549.61
4. ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	1,000.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
5. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	69,150.00	106,700.41	106,700.41	106,700.41	106,700.41	106,700.41
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	10,620.00	11,097.90	11,597.31	12,119.18	12,664.55
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	138,370.00	138,847.90	139,347.31	139,869.18	140,414.55
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-69,150.00	31,669.59	32,147.49	32,646.90	33,168.78	33,714.14
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-69,150.00	28,276.42	25,627.78	23,237.42	21,079.36	19,130.31
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	48,201.28					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.37					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	2.18					

ตารางที่ 2 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

(กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพขนาด 180 กิโลกรัม/ชั่วโมง จำนวนวันทำงาน 365 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าไฟฟ้า	0.00	52,290.01	52,290.01	52,290.01	52,290.01	52,290.01
3. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	56,518.43	56,518.43	56,518.43	56,518.43	56,518.43
4. ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	1,000.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
5. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	69,150.00	112,415.93	112,415.93	112,415.93	112,415.93	112,415.93
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	10,620.00	11,097.90	11,597.31	12,119.18	12,664.55
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	138,370.00	138,847.90	139,347.31	139,869.18	140,414.55
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-69,150.00	25,954.07	26,431.97	26,931.37	27,453.25	27,998.61
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-69,150.00	23,173.27	21,071.40	19,169.22	17,447.04	15,887.16
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	27,598.09					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.27					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	2.65					

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 3 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

(กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพขนาด 170 กิโลกรัม/ชั่วโมง จำนวนวันทำงาน 365 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าไฟฟ้า	0.00	55,367.23	55,367.23	55,367.23	55,367.23	55,367.23
3. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	59,844.49	59,844.49	59,844.49	59,844.49	59,844.49
4. ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	1,000.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
5. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	69,150.00	118,819.22	118,819.22	118,819.22	118,819.22	118,819.22
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	10,620.00	11,097.90	11,597.31	12,119.18	12,664.55
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	138,370.00	138,847.90	139,347.31	139,869.18	140,414.55
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-69,150.00	19,550.78	20,028.68	20,528.08	21,049.96	21,595.33
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-69,150.00	17,456.05	15,966.74	14,611.49	13,377.63	12,253.77
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	4,515.68					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.15					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	3.51					

ตารางที่ 4 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

(กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพขนาด 160 กิโลกรัม/ชั่วโมง จำนวนวันทำงาน 365 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าไฟฟ้า	0.00	58,831.96	58,831.96	58,831.96	58,831.96	58,831.96
3. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	63,589.39	63,589.39	63,589.39	63,589.39	63,589.39
4. ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	1,000.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
5. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	69,150.00	126,028.85	126,028.85	126,028.85	126,028.85	126,028.85
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	10,620.00	11,097.90	11,597.31	12,119.18	12,664.55
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	138,370.00	138,847.90	139,347.31	139,869.18	140,414.55
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-69,150.00	12,341.15	12,819.05	13,318.46	13,840.34	14,385.70
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-69,150.00	11,018.89	10,219.27	9,479.82	8,795.78	8,162.83
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	-21,473.41					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.00					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	5.53					

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 5 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

(กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพขนาด 169 กิโลกรัม/ชั่วโมง จำนวนวันทำงาน 365 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าไฟฟ้า	0.00	55,686.35	55,686.35	55,686.35	55,686.35	55,686.35
3. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	60,189.41	60,189.41	60,189.41	60,189.41	60,189.41
4. ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	1,000.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
5. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	69,150.00	119,483.27	119,483.27	119,483.27	119,483.27	119,483.27
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	10,620.00	11,097.90	11,597.31	12,119.18	12,664.55
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	138,370.00	138,847.90	139,347.31	139,869.18	140,414.55
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-69,150.00	18,886.73	19,364.63	19,864.04	20,385.92	20,931.28
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-69,150.00	16,863.16	15,437.37	14,138.83	12,955.62	11,876.97
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	2,121.95					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.14					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	3.63					

ตารางที่ 6 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

(กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพขนาด 168 กิโลกรัม/ชั่วโมง จำนวนวันทำงาน 365 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าไฟฟ้า	0.00	56,016.87	56,016.87	56,016.87	56,016.87	56,016.87
3. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	60,546.66	60,546.66	60,546.66	60,546.66	60,546.66
4. ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	1,000.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
5. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	69,150.00	120,171.03	120,171.03	120,171.03	120,171.03	120,171.03
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	10,620.00	11,097.90	11,597.31	12,119.18	12,664.55
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	138,370.00	138,847.90	139,347.31	139,869.18	140,414.55
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-69,150.00	18,198.97	18,676.87	19,176.28	19,698.16	20,243.52
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-69,150.00	16,249.08	14,889.09	13,649.30	12,518.54	11,486.72
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	-357.27					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.11					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	3.77					

Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 7 การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

(กรณีใช้เครื่องอบแห้งกากมูลสัตว์ด้วยก๊าซชีวภาพขนาด 167 กิโลกรัม/ชั่วโมง จำนวนวันทำงาน 365 วัน)

รายจ่าย	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ค่าสร้างเครื่องมืออบแห้งกากมูลสัตว์	68,150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2. ค่าไฟฟ้า	0.00	56,358.78	56,358.78	56,358.78	56,358.78	56,358.78
3. ค่าจ้างแรงงาน	0.00	60,916.22	60,916.22	60,916.22	60,916.22	60,916.22
4. ค่าอุปกรณ์ขนถ่ายกากมูลสัตว์	1,000.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
5. ค่าบำรุงรักษาเครื่องมือ	0.00	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50	3,407.50
รวมรายจ่ายทั้งสิ้น	69,150.00	120,882.50	120,882.50	120,882.50	120,882.50	120,882.50
รายรับ	ปีที่ 0	ปีที่1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. มูลค่าปุ๋ยอินทรีย์	0.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00	127,750.00
2. รายรับทางอ้อม	0.00	10,620.00	11,097.90	11,597.31	12,119.18	12,664.55
3. มูลค่าซาก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวมรายรับทั้งสิ้น	0.00	138,370.00	138,847.90	139,347.31	139,869.18	140,414.55
รายรับ-รายจ่ายสุทธิ	-69,150.00	17,487.50	17,965.40	18,464.80	18,986.68	19,532.05
มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์	-69,150.00	15,613.84	14,321.91	13,142.88	12,066.38	11,083.01
NPV(มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลประโยชน์)	-2,921.99					
IRR (ผลตอบแทนการลงทุนภายใน)	0.11					
Break Even Analysis (จุดคุ้มทุน)	3.92					

อดตานิ อุปม กเร มหาวิทยาลัยมหิดล สำนักหอสมุด
Copyright by Mahidol University
37158