

รหัสโครงการ [SUT 7-703-52-12-39]



รายงานการวิจัย

การศึกษาต้นแบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับชุมชน (Study of a Biomass Feedstock Production Plant for Rural)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรชัย อจหาญ

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

พรรษา ดิปลับ	พินิจ จิระคกุล	ทิพย์สุกินทร์ หินชูย
ณัฐพงษ์ ประภาการ	สุภัทร หนูแยม	ดาวิตรี คำหอม
ธนรัช มุขพันธ์	ปภัส ชนะโรค	พจนาลัย ชาวห้วยหมาก
ศรัลย์ ปานศรีพงษ์	นัยวัฒน์ สุขทั้ง	วิเชียร ดวงสีเสนา
กิตติยาภรณ์ รongเมือง	กฤษกร รับสมบัติ	นิวัฒน์ คงกะพี
กงจักร ทมวิชัย	คงเดช พะสีนาม	ธราวุธ บุญน้อม

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2552

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2553

บทคัดย่อ

การศึกษาด้านแบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับชุมชน มีขั้นตอนการศึกษา คือ

1) ศึกษาพารามิเตอร์และพฤติกรรมทางวิศวกรรมของการสับย่อย และการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล 2) พัฒนาด้านแบบโรงงานเตรียมเชื้อเพลิง อันประกอบด้วย การสับ/ย่อย การคัดแยก และการอบแห้ง โดยมีเป้าหมายความต้องการเชื้อเพลิงชีวมวลอย่างน้อยวันละ 3 ตัน เพื่อรองรับกับความต้องการของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 100 kW 3) วิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน ผลการศึกษาพบว่า - เครื่องสับมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 3 ตันต่อชั่วโมง สมรรถนะของเครื่องต่อการสับ/ย่อย เหง้ามันสำปะหลัง เฉลี่ยเท่ากับ 1.59 ตัน/ชั่วโมง ในส่วนของไม้ กระดาษยักษ์อยู่ในช่วง 1.23-1.82 ตัน/ชั่วโมง มีต้นทุนการผลิตในช่วง 120-166 บาทต่อตัน - เครื่องคัดแยกและทำความสะอาดมีสมรรถนะ 3 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตเท่ากับ 36 บาท/ตัน - เครื่องอบ มี 2 เครื่อง 1) เครื่องอบแห้งโรตารี (Rotary Dryer) และ 2) เครื่องอบแห้งแบบกะบะ ทั้งนี้ เครื่องอบ Rotary Dryer ขนาดใหญ่จะมีต้นทุนสูงมาก ส่วนเครื่องอบแห้งแบบกะบะที่ใช้กับไม้สับ จะลดเหลือเพียง 2-5 ชั่วโมง ปริมาณที่อบได้ต่อชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 130 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือ 3120 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งเพียงพอปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อวันของโรงไฟฟ้าชีวมวล เหมาะสมที่จะนำมาใช้จริง โดยต้นทุนในการผลิตอยู่ในช่วง 122-130 บาท/ตัน

การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์จากความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า มาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล มีขั้นตอนการศึกษา คือ 1) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า ร่วมกับพลังงานความร้อนจากแก๊สโปรพิลีนเพื่อหาค่าพลังงานความร้อนเหลือทิ้งที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล 2) ศึกษาการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่า การนำเอาความร้อนเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 39.74% ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 18.28% ประสิทธิภาพรวมเครื่องอบแห้งพบว่าระยะเวลาในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลจนได้ความชื้นตามที่ต้องการขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ของการอบไม้กระดุมยักษ์สับ และเหง้ามันสำปะหลังสับมีค่าอยู่ระหว่าง 3.7-3.97 MJ/kg_{H₂O} และค่าประสิทธิภาพรวมการอบแห้ง (η_p) มีค่าประมาณ 63.36-67.94% หรือ เฉลี่ยเท่ากับ 66.3% การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนประสิทธิภาพรวมของระบบ (η_{all}) สภาวะการทำงานที่ 80 kW เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ เนื่องจากมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะต่ำที่สุด โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1 หน่วย (kWh) จะใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 1.34 กิโลกรัม (15%MC) มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นพลังงานไฟฟ้า (

$\eta_{\text{electrical}}$) และประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแก๊สชีววมวลเป็นไฟฟ้า (η_{engine}) สูงกว่าทุกสถานะ คือ 17.31% และ 21.46% ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพรวมของระบบ (η_{all}) ในกรณีที่นำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า และค่าพลังงานที่คงเหลือในเถ้า/ถ่าน มาพิจารณา ร่วมด้วย เห็นได้ชัดเจนว่า ประสิทธิภาพรวมของระบบมีค่าเพิ่มสูงถึง 46.45%

Abstract

Study of a biomass feedstock production plant for rural communities are composed of 1) investigating important engineering parameters and behaviors of biomass size reduction and drying processes, 2) developing a biomass fuel feedstock pilot plant including biomass cutting/chipping, separating and drying processes in which a 3-ton/day of biomass fuel is demanded by a 100 kW biomass gasification power plant, 3) analyzing the cost of biomass feedstock preparation for the biomass gasification power plant. The study showed that – Size reduction machine can produce cassava rhizome and Giant Leucaena chips with the rates of 1.59 ton/hr and 1.23-1.82 ton/hr, respectively. The production cost was around 120-166 Baht/ton. – Separation and cleaning machine had a capability of producing 3 ton/hr and the production cost of 36 Baht/ton was found. – Dryer, a small rotary dryer was tested by using hot air temperature in the range of 100-130 °C. The result showed that it spent 2.5-4.5 hrs reducing moisture content to 15% for both cassava rhizome and Giant Leucaena chips. However, if this type of dryer was scaled up in order to meet the demand of the gasification power plant, the investment cost would be unaffordable. The solving approach of this problem is the use of bin dryers which can decrease drying time to 2-5 hours if drying temperatures about 125-135 °C are procured. The capability of this dryer was found to be 130 kg/hr or 3,120 kg/day which is adequate to the demand of the 100 kW biomass gasification power plant. The production cost was about 122-130 Baht/ton.

The study of waste heat utilization from an engine-generator set used as a heat source for biomass drying included the following procedures; 1) investigate the efficiency of the combined-heat and power system from producer gas in order to know how much the heat amount can be recovered for biomass drying. 2) Study the biomass drying using such waste heat. The results indicated that the utilizing the waste heat was capable of increasing drying efficiency up to 39.74% which accounts for 18.28%. With respect to overview, drying time of required moisture content is dependent on the initial moisture content of biomass. The specific energy consumption (SEC) of Giant Leucaena and cassava rhizome was found in the range of 3.7-3.97 MJ/kg_{H₂O} and the total efficiency showed values between 63.36-67.94% or 66.3% in average. The evaluation of combined heat and power showed the condition of 80 kW is the most suitable for use because of low energy consumption in which 1.34 kg of biomass (15%MC) can generate one electrical unit (kWh).

Additionally, biomass-to-electricity conversion efficiency ($\eta_{\text{electrical}}$) and producer gas-to-electricity conversion efficiency (η_{engine}), which was 17.31% and 21.46%, respectively, are higher than those of any other conditions. When both efficiency from waste heat recovery and charcoal-possessing energy were taken into account, the overall efficiency (η_{all}) was increased up to 46.45%

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
บทที่ 2 ทัศนั้วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 บทนำ	6
2.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่น	6
2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าชีวมวล “สุรนารี” ขนาด 100 kW	9
2.4 เทคโนโลยีการแปรรูปเพื่อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก	13
2.5 การนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์	32
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย	41
3.1 การพัฒนาเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด	41
3.2 การพัฒนาเครื่องคัดแยกและทำความสะอาด	44
3.3 การพัฒนาเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล	46
3.4 การออกแบบโรงงานเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลขนาด 3 ตัน/วัน	52
3.5 การศึกษาความสามารถในการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า มาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล	54
3.6 การจัดสัมมนาระดมความคิด และเผยแพร่ผลงานวิจัย	60

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	62
4.1 ผลการพัฒนาเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด	62
4.2 ผลการพัฒนาเครื่องคัดแยกและทำความสะอาด	69
4.3 ผลการพัฒนาเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล	70
4.4 ผลการออกแบบโรงงานเตรียมเชื้อเพลิงขนาด 3 ตัน/วัน	75
4.5 ผลการศึกษาความสามารถในการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้ามาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล	79
4.6 ผลการจัดสัมมนาระดมความคิด และเผยแพร่ผลงานวิจัย	88
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	95
5.1 ขั้นตอนและวิธีเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน	95
5.2 การใช้ประโยชน์จากความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล	96
5.3 การถ่ายทอดเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กแก่เกษตรกรและหน่วยงานที่สนใจ	97
บรรณานุกรม	98
ภาคผนวก	101

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดต่างๆ	12
2-2	เงินลงทุนโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 100 kW	12
2-3	คุณสมบัติโดยทั่วไปของระบบขับเคลื่อนด้วยเพลลาข้อเหวี่ยง	20
2-4	ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการตัดแยกของวัสดุ	21
2-5	การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิด	31
3-1	คุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวล	41
3-2	พารามิเตอร์และเครื่องมือวัดในการทดสอบการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล	42
3-3	เครื่องตัดแยกและทำความสะอาดที่พัฒนาสร้างใหม่	45
3-4	ชนิด ลักษณะทั่วไป และ สมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง	48
3-5	พารามิเตอร์และเครื่องมือวัดในการทดสอบการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล	48
3-6	พารามิเตอร์และเครื่องมือวัดในการทดสอบเครื่องยนต์แก๊สชีวมวลและการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล	55
3-7	กำหนดการสัมมนา “โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี”	60
4-1	ผลของมุมเอียงใบมีด (knife bevel angle) มุมที่มีดกระทำกับไม้ (cutting angle) และ ขนาดของวัสดุต่อค่าแรงเฉือนสูงสุด (max. cutting force; kN)	64
4-2	สมการสำหรับทำนายค่าคุณสมบัติทางกลของการตัดของดินกระถินยักษ์	65
4-3	ข้อมูล/ข้อกำหนดการออกแบบทางวิศวกรรมของเครื่องหั่นย่อยต้นแบบชนิดจานหมุน	65
4-4	การทดสอบกำลังการสับ/ย่อยสูงสุดของเครื่องสับ/ย่อยเหง้ามันสำปะหลัง	67
4-5	การทดสอบกำลังการสับ/ย่อยสูงสุดของเครื่องสับ/ย่อยกระถินยักษ์	68
4-6	แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการสับ/ย่อยเหง้ามันสำปะหลังและกระถินยักษ์ขนาดต่างๆ	69
4-7	พลังงานจำเพาะในการอบแห้งของเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	73
4-8	การแสดงผลการเปรียบเทียบต้นทุนการอบแห้งไม้กระถินยักษ์สับกับเหง้ามันสำปะหลังสับ	75
4-9	แสดงคุณลักษณะของอุปกรณ์ภายใน โรงงานเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลและสมรรถนะ	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-10	ผลการวิเคราะห์สัดส่วนแก๊สของเชื้อเพลิงชีวมวลที่กำลังผลิตไฟฟ้าต่างๆ	79
4-11	ผลการคำนวณค่าความจุความร้อนของแก๊สไอเสียตามทฤษฎีที่ภาระการทำงานต่างๆ	80
4-12	ผลการคำนวณค่าความพลังงานที่ถ่ายเทกับน้ำหล่อเย็นที่ภาระการทำงานต่างๆ	80
4-13	การถ่ายเทความร้อนในเครื่องยนต์แก๊สชีวมวล	81
4-14	ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน	82
4-15	แสดงผลทดสอบการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้ความร้อนจากไอเสีย	83
4-16	ผลการทดสอบเดินระบบที่ภาระการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่างๆ	84
4-17	ผลการประเมินประสิทธิภาพรวมของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล	86

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	แผนผังกระบวนการของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	9
2-2	ส่วนประกอบของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (1)	10
2-3	ส่วนประกอบของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (2)	11
2-4	แผนผังแสดงแนวความคิดในการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลไม้เชิงพาณิชย์ของประเทศไทยมีศักยภาพ 4 ชนิด คือ ฟางข้าว ใบอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง และทางปาล์ม	15
2-5	ประเภทของเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด จำแนกตามประเภทของหัวสับ	17
2-6	On-site Chipper ประเภทต่างๆ	18
2-7	เชรดเดอร์ (Shredder) กำลังการผลิต 13 ตัน/ชั่วโมง ตันกำลังเครื่องยนต์ 400 HP	19
2-8	เครื่องเลื่อย (Saw Machine) สำหรับเตรียมเชื้อเพลิงเตาแก๊สซีไฟเออร์ ตันกำลังเครื่องยนต์ 3 HP	19
2-9	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง กับความชื้น	25
2-10	เครื่องอบแห้งโรตารี (Rotary Dryer) แบบช่องเดี่ยว	28
2-11	เครื่องแห้งแบบพาดระลอก (Flash Dryer)	28
2-12	ด้านข้างของ Disk Dryers	29
2-13	ด้านข้างของ Cascade Dryers	30
2-14	Superheat Steam Dryer	30
2-15	ตัวอย่างเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบโรตารีขนาด 150 kg/h	31
2-16	ขอบเขตของการประเมินประสิทธิภาพของระบบ (System Efficiency)	32
3-1	เครื่องวัดแรงกด และการติดตั้งใบมีด	42
3-2	ลักษณะการติดตั้งการวัดแรงเฉือน โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine : UTM (Chattopadhyay and Pandey, 1999)	43
3-3	เครื่องตัดแยกและทำความสะอาดที่พัฒนาสร้างใหม่	45
3-4	เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่างๆ	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-5	เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการอบแห้ง	49
3-6	เครื่องอบแบบ Rotary Dryer ขนาดใหญ่ที่พัฒนาขึ้น	53
3-7	แสดงกระบวนการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล	54
3-8	เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการอบแห้ง	55
3-9	เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการทดสอบเครื่องยนต์แก๊สชีวมวลและการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล	56
3-10	แผนผังแสดงระบบการวัดในระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานร้อน และการนำความร้อน ไปใช้ในการอบแห้ง	59
3-11	การทดสอบอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล โดยใช้ความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า	59
4-1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะทางของไบมีด (force-displacement) ต่อไม้กระถินยักษ์	62
4-2	พฤติกรรมของแรงเฉือนในช่วงต่างๆของไม้กระถินยักษ์	63
4-3	ความสัมพันธ์ของมุมไบตัดและมุมตัดต่อแรงเฉือน	64
4-4	แบบเครื่องต้นแบบเครื่องหั่นย่อยชนิดจานหมุนที่พัฒนาสร้างใหม่	66
4-5	เครื่องสับ/ย่อยวัสดุชีวมวล (Chipper) ชนิดหัวย่อย/สับชนิดจานหมุน (Flywheel Type)และระบบป้อนที่พัฒนาขึ้นสำหรับเหง้ามันสำปะหลัง	66
4-6	แสดงปริมาณชีวมวลที่ผ่านการลดขนาดและทำการคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ต่างๆ	70
4-7	แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของ ไม้โตเร็วและเหง้ามันสำปะหลัง โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	71
4-8	การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของ ไม้โตเร็วและเหง้ามันสำปะหลัง โดยวิธีการเตรียมเชื้อเพลิงของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี	71
4-9	การเปลี่ยนแปลงความชื้น ไม้โตเร็วสับขณะอบแห้ง ชั้นล่าง กลาง และบน	72
4-10	การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหง้ามันสำปะหลังสับขณะอบแห้ง ชั้นล่าง กลาง และบน	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-11	76
แผนผังโรงงานต้นแบบผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลระดับชุมชน (1) เครื่องสับ/ย่อย (2) สายพานลำเลียง (3) เครื่องร่อน (4) เครื่องยนต์ (5) ถังผสมอากาศ (6) กะบะอบ	
4-12	87
แนวโน้มของประสิทธิภาพรวมของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล	
4-13	87
อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะที่กำลังการผลิตไฟฟ้าต่างๆ	
4-14	89
บรรยากาศการเตรียมงานก่อนงานสัมมนา	
4-15	89
บรรยากาศงานสัมมนา ณ โรงแรมสีมาธานี	
4-16	89
บรรยากาศงานสัมมนา ณ โรงแรมสีมาธานี	
4-17	90
บรรยากาศงานสัมมนา ณ โรงแรมสีมาธานี	
4-18	90
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-19	90
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-20	91
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-21	91
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-22	91
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-23	92
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-24	92
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-25	92
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-26	93
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-27	93
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-28	93
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-29	94
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-30	94
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	
4-31	94
บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี	

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

α	ค่าประสิทธิภาพเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟ
AAS	Atomic Absorption Spectrophotometer
AGB	Above-ground Biomass
AM	ไม้กระถินเทพา (<i>Acacia mangium</i>)
ANOVA	Analysis of Variance
BET	Brunauer–Emmett–Teller equation
CC	ซังข้าวโพด
CDM	Clean Development Mechanism
C_{Pex}	ค่าความจุความร้อนเฉลี่ยของไอเสีย(kJ/kg °C)
DBH	Diameter at breast height
DR	Dubinin–Radushkevich equation
EC	ไม้ยูคาลิปตัส ความลาดดูเลนซิส (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)
FC	Fixed Carbon
GAC	Governors America Corp
Ht	Height
HHV	High Heating Value (kJ/kg)
HHV _{ash}	High Heating Value of Ash (MJ/kg)
HHV _g	High Heating Value of producer gas (MJ/Nm ³)
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
LL	ไม้กระถินยักษ์ (<i>Leucaena leucocephala</i>)
MC	Moisture Content (%)
O&M	Operation and Maintenance
PAC	Polymer Aluminum Chloride
Q_h	พลังงานความร้อนที่ใช้อบแห้ง(MJ)
$Q_{exhaust}$	พลังงานความร้อนของไอเสียที่นำมาใช้ได้(kW)
RBD	Randomized Block Design
RH	Relative Humidity (%)
SEC	Specific Energy Consumption (MJ/kg)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

SEM	Scanner electron microscope
sfc_{CHP}	Specific Fuel Consumption of Combine heat and Power
$sfc_{generator}$	Specific Fuel Consumption of generator
SG	Specific Gravity
SPP	Small Power Producer
TEM	Transmitter electron microscope
UNFCCC	United Nation Framework Convection on Climate Change
UTM	Universal Testing Machine
VM	Volatile Matter
VSPP	Very Small Power Producer
W_{in}	น้ำหนักของวัตถุดิบก่อนอบ(kg)
W_r	น้ำหนักของวัตถุดิบหลังอบ(kg)
$\eta_{reactor}$	Reactor Efficiency
$\eta_{gasification}$	Gasification Efficiency
$\eta_{electrical}$	Electrical Efficiency
η_{engine}	Engine-generator Efficiency
η_{all}	Overall Efficiency
$\eta_{ashrecovery}$	Ash recovery Efficiency
$\eta_{generator}$	Generator Efficiency
$\eta_{heating}$	Heating Efficiency
η_{CHP}	Combine Heat and Power Efficiency

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

เมื่อวันที่ 2 กันยายน 2546 คณะรัฐมนตรีได้รับทราบและเห็นชอบ “ยุทธศาสตร์พลังงานเพื่อการแข่งขัน” ตามที่กระทรวงพลังงานได้เสนอยุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทน โดยกำหนดเป้าหมายในช่วง 8 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2546-2554 จะต้องมีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นจาก 0.5% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในปัจจุบันเป็น 8% ใน 8 ปีข้างหน้า

ซึ่งกระทรวงพลังงาน ได้จัดทำแผนดำเนินการหรือ Road Map ในการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนอย่างชัดเจน เช่น มาตรการการส่งเสริมการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ การเปิดเสรีโรงงานผลิตเอทานอล การปรับโครงสร้างราคาเอทานอลและราคาไบโอดีเซล การส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP)

ผลการดำเนินงานจนถึงปี 2549 พบว่า การใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยปริมาณการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 เพิ่มขึ้น 3.5 ล้านลิตร/วัน ทั้งนี้มีกำลังการผลิตเอทานอลสำหรับใช้ผลิตแก๊สโซฮอล์ 0.855 ล้านลิตร/วัน (ข้อมูลจาก ปตท., 2550) ส่วนสถานภาพการใช้น้ำมันไบโอดีเซลพบว่า มีขีดจำหน่ายน้ำมันไบโอดีเซล B5 เฉลี่ย 0.33 ล้านลิตร/วัน ทั้งนี้มีกำลังการผลิตไบโอดีเซล B100 เท่ากับ 0.84 ล้านลิตร/วัน โดยทำสัญญาซื้อ-ขาย กับบริษัทน้ำมันแล้ว 0.14 ล้านลิตร/วัน (ข้อมูลจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550) สำหรับสถานภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) พบว่า มีการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจาก SPP จำนวน 63 โครงการ มีกำลังไฟฟ้าติดตั้ง 1,149.3 เมกะวัตต์ และกำลังไฟฟ้าเสนอขาย 563.4 เมกะวัตต์ (ข้อมูลจาก สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2549)

ปัญหาอุปสรรคของการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ในส่วนของการผลิตเอทานอลและไบโอดีเซล คือ ปัญหาด้านการขาดแคลนวัตถุดิบ เช่น มันสำปะหลัง กากน้ำตาล น้ำมันปาล์ม น้ำมันพืชใช้แล้ว เป็นต้น ซึ่งแนวทางการแก้ไขจำเป็นที่จะต้องมีการส่งเสริมการปลูกมันสำปะหลัง อ้อย ปาล์มน้ำมัน หรือ การส่งเสริมการปลูกพืชพลังงานอื่นๆที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลหรือไบโอดีเซลได้ เช่น ข้าวฟ่างหวาน สนุ่นดำ เป็นต้น

สำหรับปัญหาอุปสรรคของการผลิตพลังงานจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนั้น แตกต่าง กัน กล่าวคือ ประเทศไทยมีแหล่งชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาก สามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้กว่า 3,000 เมกะวัตต์ แต่ในทางปฏิบัติแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่จะกระจายไปในภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศ ทำให้ศักยภาพเชิงพาณิชย์ของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่มีแค่เพียง 1,000 เมกะวัตต์ ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลคงเหลือ ในปี 2549 ของมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม พบว่า มีเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้า อีกกว่า 34 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 7,200 ตัน (ktoe)

ในการที่จะดำเนินการนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่กระจายอยู่ใน ไร่ นา สวนเกษตร มาใช้งาน จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาครอบคลุม ทั้งทางด้านปริมาณ ด้านคุณภาพ (สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติทางด้านเชื้อเพลิง) ด้านการรวบรวมและการแปรรูป ด้านการขนส่ง อันประกอบกันเป็นระบบที่เรียกว่า ระบบการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล อันนำไปสู่การกำหนดมาตรฐาน และราคาเชื้อเพลิงชีวมวล เกิดธุรกิจหรือตลาดซื้อ-ขายเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับใช้ในการผลิตไฟฟ้าและความร้อน ให้มีสัดส่วนการใช้ตามกรอบแผนยุทธศาสตร์ที่กระทรวงพลังงานกำหนดไว้

นอกจากนี้จะต้องทำการ การส่งเสริมให้ชุมชนหรือ ท้องถิ่นสามารถผลิตพลังงานขึ้นใช้เองได้ อันเนื่องมาจากเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่ เกษตรกรเป็นผู้ผลิต ดังนั้นการผลิตพลังงานในแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลจะทำให้ต้นทุนการผลิตพลังงานต่ำกว่า การขนย้ายเชื้อเพลิงชีวมวลไปผลิตพลังงานอยู่นอกพื้นที่ แสดงให้เห็นถึง โอกาส และความเป็นไปได้ ที่เกษตรกร หรือชุมชน จะสามารถพัฒนาโครงการผลิตพลังงานขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเพื่อใช้เองในชุมชนหรือ ผลิตขายให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ นอกจากนี้เชื้อเพลิงชีวมวลส่วนที่เหลือจากการผลิตพลังงานในชุมชน สามารถนำไปจำหน่ายให้แก่ ภาคอุตสาหกรรมได้อีกด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นมหาวิทยาลัยวิจัย โดยมีหน่วยปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นหน่วยวิจัยเฉพาะทาง ที่มุ่งเน้นวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานชีวมวล มีโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนขนาด 100 kW แห่งแรกของประเทศไทย ใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Biomass Gasification) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่อาศัยกระบวนการ Thermo-Chemical สามารถเปลี่ยนองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในชีวมวล ไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิง ที่มีค่า heating value สูง ประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H₂) และ แก๊สมีเทน (CH₄) สามารถใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในผลิตกระแสไฟฟ้า (Engine-generator set) ได้ ซึ่งในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนี้เป็นระบบที่มีความดันต่ำ (Low pressure) ปลอดภัย ไม่มีอันตราย อีกทั้งเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ เป็นเครื่องยนต์ดีเซลหรือ เบนซินที่เกษตรกรมีความคุ้นเคย สามารถดูแลรักษาได้เอง

ผลทดสอบโรงไฟฟ้าชีวมวล “สุรนารี” ขนาด 100 กิโลวัตต์ ภายใต้ “โครงการศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน” สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

(ภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย) พบว่า โรงไฟฟ้าชีวมวลฯ สามารถใช้เชื้อเพลิงชีวมวลได้ทุกชนิดของประเทศไทย โดยได้ทำการทดสอบกับ แกลบ ชังข้าวโพด ทางปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง ไม้โตเร็วทุกชนิด เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ปีกไม้ยางพารา กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ทั้งนี้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติของชีวมวล เมื่อพิจารณาของเสียที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าพบว่า ชีวแก๊สมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนสูง สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียนใช้ในการหุงต้ม ได้อีกครั้ง ไม่ผลิตน้ำเสียออกมา เนื่องจากน้ำจากระบบทำความสะอาดแก๊สจะถูกบำบัดในระบบปิด ส่วนไอเสียที่เกิดขึ้นมีมลพิษต่ำกว่าของรถยนต์ การทดสอบประสิทธิภาพพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวล 1.2-2.0 กิโลกรัม (15%MC) สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 1 หน่วย (kWh) โดยมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้า 11-18% เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า เรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ไม้โตเร็ว ชังข้าวโพด และ เหง้ามันสำปะหลัง โดยมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า 18, 17 และ 13% ตามลำดับ

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า พบว่าส่วนใหญ่ 70-90% คือต้นทุนเชื้อเพลิงชีวมวล (รวมค่าใช้จ่ายในการเตรียมเชื้อเพลิง) ทั้งนี้พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชังข้าวโพดมีต้นทุนต่ำสุด คือ 1.9 บาท/kWh รองลงมาคือ เหง้ามันสำปะหลัง และ ไม้โตเร็ว โดยมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 2.1 และ 2.2 บาท/kWh ตามลำดับ

โครงการนี้เป็นโครงการต่อยอด โดยเน้นที่จะศึกษาถึงขั้นตอนและวิธีการเตรียมวัตถุดิบ และพัฒนาต้นแบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้าชีวมวลให้เหมาะสมกับสถานะการณ์ของท้องถิ่นที่ขาดแคลนแรงงานและพื้นที่ในการตากเชื้อเพลิง โดยจะทำการศึกษาการใช้เครื่องจักรในการสับ/ย่อยเชื้อเพลิง การคัดแยกและทำความสะอาด และศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าโดยการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้ามาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิง (ระบบความร้อนร่วมผลิตไฟฟ้า ; Cogeneration)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาขั้นตอนและวิธีการเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก สำหรับชุมชน อันประกอบด้วย การลดขนาด การทำความสะอาดและคัดแยก การลดความชื้น และการขนถ่าย

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการใช้ประโยชน์จากความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

1.2.3 เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก แก่เกษตรกร และหน่วยงานที่สนใจในส่วนของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยละเอียด รวมไปถึงขั้นตอนการบริหารจัดการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กระดับชุมชน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษา“ต้นแบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับชุมชน” นี้ มีเป้าหมายที่จะศึกษาข้อจำกัด และหาทางแก้ไขข้อจำกัดเหล่านั้น เพื่อให้การถ่ายทอดเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าชีวมวลไปสู่ชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม ดังนั้นข้อมูลการวิจัยจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ ทั้งนี้จะเห็นว่าขอบเขตของงานวิจัยครั้งนี้จะกว้าง และเป็นโจทย์ที่ชุมชนตั้งคำถาม เนื่องจากส่วนใหญ่มีความต่อเนื่องกับ “โครงการศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน” โดยมีเป้าหมายหลัก คือ สนับสนุนให้ประเทศไทยมีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพิ่มขึ้น โดยในปี 2554 จะต้องมีการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล 2,400 เมกกะวัตต์ คิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 1,060 ตัน (ktoe) ซึ่งหากชุมชนเห็นประโยชน์ และมีการสนับสนุนการลงทุน โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก สามารถช่วยให้แผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทนของประเทศบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ได้

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และ/หรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

การศึกษา/วิจัย ต้นแบบ โรงงานผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับชุมชน ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.) มีลักษณะพิเศษเฉพาะ โดยทางคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาเทคโนโลยีด้านเชื้อเพลิงชีวมวลอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปี 2544 ซึ่งเน้น การวิจัยต้นแบบ ที่มีความใกล้เคียงกับการใช้ประโยชน์จริงมากที่สุด ซึ่งทฤษฎีและสมมติฐาน ที่มีอยู่เกิดจากการทำงาน การได้รับการถ่ายทอดมาจากผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศ จนพัฒนามาเป็น Know-how มีกระบวนการและระเบียบการวิจัยที่มีเอกลักษณ์ และมีนักวิจัย (วิศวกร) ที่สามารถทำงานวิจัยเต็มเวลาอยู่กว่า 10 คน ที่แต่ละคนผ่านการฝึกฝน ให้รองรับการวิจัยด้านพลังงานทดแทนระดับต้นแบบอีกด้วย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 ได้ขั้นตอนและวิธีการเตรียมเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก สำหรับชุมชน ซึ่งประกอบไปด้วย การทำความสะอาดและคัดแยก การลดขนาด การลดความชื้น และการขนถ่าย

1.5.2 สามารถนำข้อมูลการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์สันดาปภายในไปใช้ ประโยชน์ในการอบแห้ง

1.5.3 เกษตรกรและหน่วยงานที่สนใจได้รับการถ่ายทอดความรู้ด้านเทคโนโลยีโรงไฟฟ้า ชีวมวลขนาดเล็กในส่วนของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า รวมไปถึงขั้นตอนการบริหารจัดการ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กระดับชุมชน

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาด้านแบบโรงงานผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับชุมชน ซึ่งประกอบด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ส่วนประกอบโรงไฟฟ้าชีวมวลสูรนารีนขนาด 100 kW ข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อเพลิงชีวมวล การสับ/ข่อยลดขนาด การคัดแยกและทำความสะอาด การลดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวล และการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์มาใช้ประโยชน์ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมีรายละเอียดดังในหัวข้อต่อไป

2.2 เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล โดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบใหญ่ๆ คือ

- 1) การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) โดยใช้ความร้อนผลิตไอน้ำส่งไปใช้ขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าตามลำดับ นิยมใช้กับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่
- 2) การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification) โดยกระบวนการทาง Thermo-Chemical สามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่า heating value สูง สำหรับใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในผลิตกระแสไฟฟ้า เหมาะกับโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก

เทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาค้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาศัยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Biomass Gasification) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้องค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล เปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่จุดไฟติดและมีค่าความร้อนสูง โดยอาศัยปฏิกิริยาอุณหเคมี (Thermo-chemical reaction) ซึ่งแก๊สเชื้อเพลิงดังกล่าวนี้ประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H₂) และ แก๊สมีเทน (CH₄) ซึ่งในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เราสามารถแบ่งโซนการเกิดปฏิกิริยาออกเป็น 4 โซน ดังนี้

1. Combustion หรือ Oxidation Zone
2. Reduction Zone
3. Pyrolysis หรือ Distillation Zone
4. Drying Zone

Combustion หรือ **Oxidation Zone** เป็นบริเวณที่ป้อนอากาศ เมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อน เชื้อเพลิงชีวมวลจะลุกไหม้ เกิดปฏิกิริยาอุณหภูมิระหว่างแก๊สออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจน ซึ่งอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังสมการที่ (2-1) และ (2-2)



ปฏิกิริยาในสมการที่ (2-1) และ (2-2) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนและความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาคูดความร้อนในโซน Reduction และโซน Pyrolysis อุณหภูมิในโซน Combustion จะมีค่าระหว่าง 1,100 – 1,500 °C

Reduction Zone แก๊สร้อนที่ผ่านมาจาก Combustion Zone จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Reduction ใน zone นี้จะมีอุณหภูมิระหว่าง 500 – 900 °C ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ ก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน ดังสมการที่ (2-3) - (2-7)



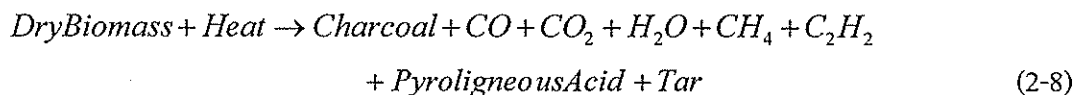
ปฏิกิริยาในสมการที่ (2-3) เรียกว่า Boundouard Reduction และปฏิกิริยาในสมการที่ (2-4) เรียกว่า Water gas Reduction เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 900 °C แก๊สที่ได้จากสมการทั้งสองเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นแก๊สหลักที่ต้องการ ปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สชีวมวลนี้จะขึ้นอยู่กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ว่าจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่ร้อนได้มากน้อยเพียงใด

ในโซนของ Reduction นี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะดีเพียงใดขึ้นกับอุณหภูมิ ความเร็วของแก๊สที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงชีวมวล และพื้นที่ผิวสัมผัสของเชื้อเพลิงชีวมวล ดังนั้นขนาดและปริมาณของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ จะมีผลต่อการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดใหญ่จะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ ทำให้ยากต่อการจุดเผาภายในเตาและจะทำให้เกิดปริมาณของช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงด้วยกันมาก เป็นผลทำให้มีออกซิเจนไหลผ่านเข้าไปในระบบมาก ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นก็จะน้อยตามไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวมวลมีค่าต่ำ

แต่ถ้าขนาดของเชื้อเพลิงมีขนาดเล็ก ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในเตามาก จึงต้องใช้พัดลมขนาดใหญ่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากยิ่งขึ้นและแก๊สที่ผลิตได้ก็จะมีฝุ่นมากยิ่งขึ้น ขนาดเชื้อเพลิงแข็งที่เหมาะสมควรมีขนาด 20-200 มิลลิเมตร จากปฏิกิริยาถ่านหินในโซน Reduction สูงกว่า 900 °C แล้วแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 90% จะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และถ่านหินสูงมากกว่า 1,100 °C จะทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ นั่นคือประสิทธิภาพของเตาเผาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของโซน Reduction

ในขณะที่แก๊สร้อนจากโซน Combustion ไหลเคลื่อนเข้าสู่โซน Reduction จะทำให้อุณหภูมิของแก๊สลดลง เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ดังนั้นไอน้ำกับคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากันเพื่อก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ (2-5) ซึ่งจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 500-600 °C ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเพราะจะทำให้ส่วนผสมของแก๊สไฮโดรเจนในแก๊สชีววมวลมีค่ามากขึ้น (แก๊สไฮโดรเจนมีผลต่อการจุดระเบิดของเครื่องยนต์สันดาปภายใน) แต่ถ้าในกระบวนการที่มีไอน้ำมากเกินไป จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนดังสมการที่ (2-6) (ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Water Shift Reduction) ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สชีววมวลที่ได้มีค่าลดลง ดังนั้นเชื้อเพลิงชีววมวลที่ใช้จะต้องมีความชื้นไม่มากจนเกินไป นอกจากนี้ในกระบวนการ Reduction แก๊สไฮโดรเจนบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดแก๊สมีเทนขึ้นได้ ดังสมการที่ (2-7) ปฏิกิริยานี้เรียกว่า Methane Production

Pyrolysis หรือ Distillation Zone รับความร้อนจากโซน Reduction ทำให้ Volatile Matter ที่อยู่ในเชื้อเพลิงชีววมวลเกิดการสลายตัว เกิดเป็นเมทานอล กรดน้ำส้ม และทาร์ อุณหภูมิในโซนนี้จะมีค่าประมาณ 200-500 °C ของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังจากการผ่านกระบวนการนี้ก็คือ คาร์บอนในรูปแบบถ่าน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อในโซน Reduction และ Combustion ปฏิกิริยาที่ได้ในโซนนี้แสดงไว้ในสมการที่ (2-8)

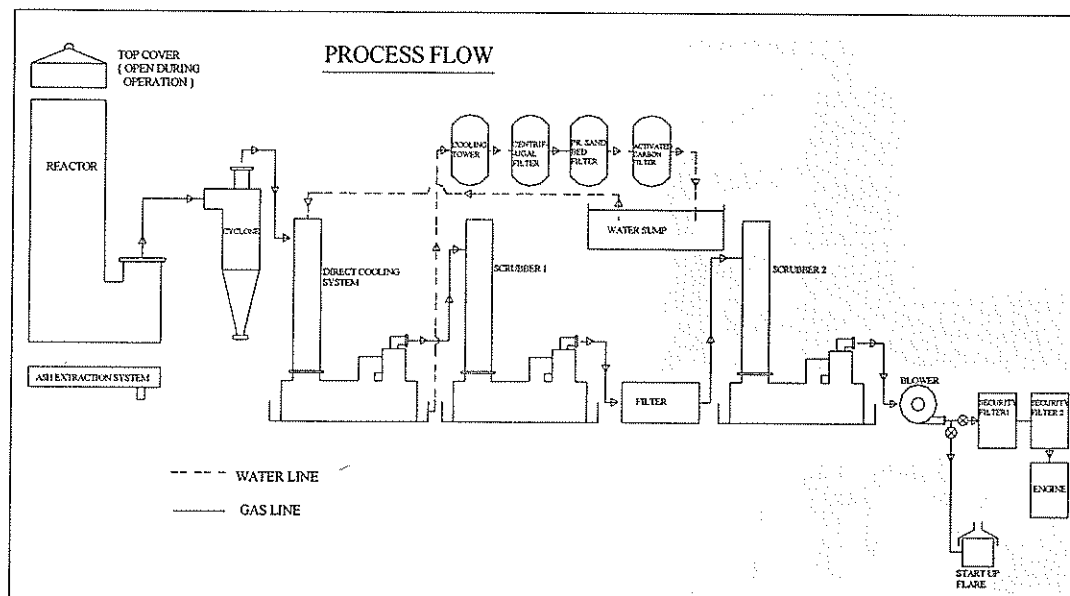


Drying Zone ในโซนนี้ความร้อนจะลดลงมากทำให้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดการสลายตัวของ Volatile Matter แต่ความชื้นในเชื้อเพลิงจะระเหยออกมาได้ โซนนี้จะมีอุณหภูมิประมาณ 100-200 °C

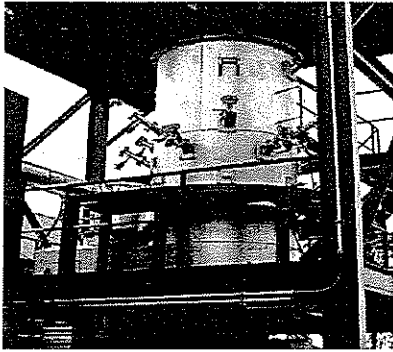
2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าชีวมวล “สุรนารี” ขนาด 100 kW

2.3.1 ส่วนประกอบโรงไฟฟ้าชีวมวล “สุรนารี” ขนาด 100 kW

ต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ 1) ชุดเตาผลิตแก๊สชีวมวล 2) ระบบทำความสะอาดแก๊สและ 3) อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยภาพรวมของโรงไฟฟ้าชีวมวลฯ แสดงไว้ในรูปที่ 2-1 ถึงรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-1 แผนผังกระบวนการของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



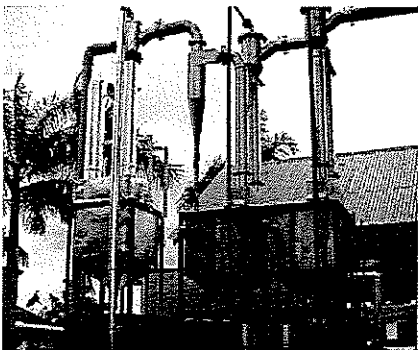
Downdraft gasifier

เตาผลิตแก๊สชีววมวล ทำหน้าที่ในการเผาไหม้ ชีวมวล ตามกระบวนการ Gasification วัสดุดิบจะถูกป้อนเข้าเตาทางด้านบนขณะที่อากาศจะถูกจำกัด โดยการปรับวาล์วโดยรอบ ให้อยู่ในสภาวะอับอากาศที่เหมาะสม



Cyclone Collector

ทำหน้าที่ในการดักฝุ่นละอองที่ออกมาจากแก๊ส ซึ่งได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่ส่งมาจากเตาผลิตแก๊สชีววมวล



Water scrubber and Chiller scrubber

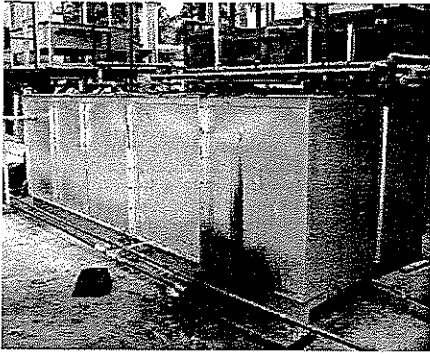
ทำหน้าที่เป็นตัวดักจับน้ำมันดิน (Tar) และเศษฝุ่นละออง โดยใช้น้ำเป็นตัวดักจับ ซึ่งใช้ระบบการฉีดน้ำให้เป็นละอองฝอย โดยน้ำที่ใช้จะถูกควบคุมอุณหภูมิที่ 32°C และ 10°C สำหรับ Water scrubber และ chiller scrubber ตามลำดับ



Flocculation Tank

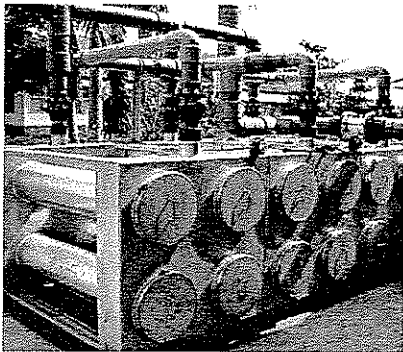
ทำหน้าที่เป็นหน่วยบำบัดน้ำเสีย โดยใช้วิธีจับตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Treatment) โดยการเติมสาร Polymer coagulants

รูปที่ 2-2 ส่วนประกอบของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีววมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (1)



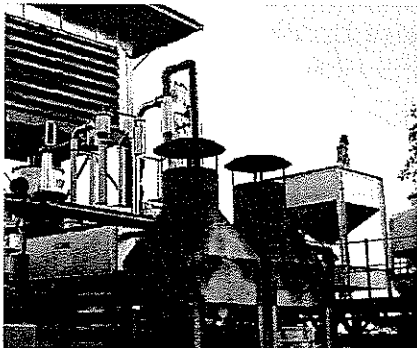
ระบบบำบัดน้ำเสีย (Close system)

เป็นถังรับน้ำจาก Water scrubber และ Chiller scrubber ทุกตัว จะรองรับน้ำส่วนใสที่ Overflow มา และนำไปบำบัดด้วย flocculation tank จะเป็นถังที่ผ่านการบำบัดและตกตะกอนหมดแล้ว



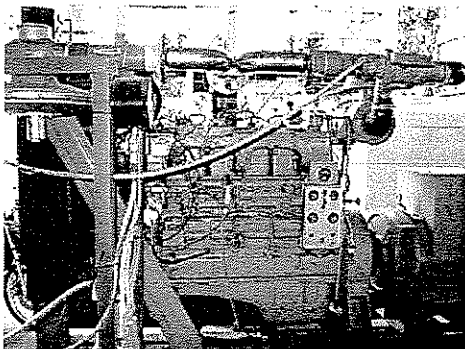
Bag filter unit

ทำหน้าที่ดักฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดเล็ก เพื่อให้ได้แก๊สที่สะอาดเพื่อนำเข้าเครื่องยนต์



Start up Flare

ทำหน้าที่ทดสอบการลุกไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ (producer gas) และ blow แก๊สทิ้งกรณีฉุกเฉิน



Engine-Generator Set

ชุดผลิตกระแสไฟฟ้า Engine-Generator set ขนาด 115 KVA

รูปที่ 2-3 ส่วนประกอบของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (2)

2.3.2 ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวล “สุรนารี” ขนาด 100 kW

จากผลศึกษา การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 100 กิโลวัตต์ ใน “โครงการศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน (ระยะที่ 1)” วีรชัย และคณะ(2550) พบว่า ต้นทุนเชื้อเพลิง คิดเป็นร้อยละ 51 ของต้นทุนทั้งหมด และในส่วนของต้นทุนการเดินระบบ (Operation and Maintenance, O&M) คิดเป็นร้อยละ 49 ของต้นทุนทั้งหมด โดยการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงซังข้าวโพดมีต้นทุน ต่ำสุด คือ 3.23 บาท/kWh รองลงมาคือ ไม้โตเร็ว และเห้งมันสำปะหลัง โดยมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 3.27 และ 3.39 บาท/kWh ตามลำดับ ซึ่งยังคงมีต้นทุนที่สูงมาก เมื่อเทียบกับราคาจำหน่ายไฟฟ้า 3.27 บาท/หน่วย ของโรงไฟฟ้าชีวมวลฯ ซึ่งรวมราคาสนับสนุนแล้ว (Fed-in Tariff) อย่างไรก็ตามส่วนหนึ่งเป็นผลมาจาก Economic of Scale ทั้งนี้หากมีการขยายกำลังการผลิตขึ้นไป (900 กิโลวัตต์) จะทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำลง ซึ่งตารางที่ 2-1 แสดงต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันขนาดต่างๆ และตารางที่ 2-2 แสดงเงินลงทุนโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 100 kW

ตารางที่ 2-1 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดต่างๆ

รายการ	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/หน่วย)			
	100 kW	225 kW	450 kW	900 kW
1. ค่าเชื้อเพลิง	1.66	1.66	1.66	1.66
2. ค่าแรงงานทางตรง	0.82	0.37	0.18	0.09
3. โสหุ่ยการผลิต	0.77	0.73	0.73	0.73
รวม	3.25	2.76	2.57	2.48

ตารางที่ 2-2 เงินลงทุนโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 100 kW

รายการเงินลงทุนในโครงการ	จำนวนเงิน	ช่วงการลงทุน		
		ปีที่ 0	ปีที่ 1	รวม
เงินทุนหมุนเวียน	500,000	-	500,000	500,000
อาคารโรงงาน	1,000,000	1,000,000	-	1,000,000
เครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้า	6,500,000	6,500,000	-	6,500,000
อุปกรณ์เชื่อมต่อไฟฟ้าเข้าระบบ	700,000	700,000	-	700,000
เครื่องใช้สำนักงาน	200,000	200,000	-	200,000
สินทรัพย์อื่น (ค่าใช้จ่ายก่อนเปิด)				
ค่านีงงานในส่วนการผลิต)	100,000	100,000	-	100,000
รวม	9,000,000	8,500,000	500,000	9,000,000

2.4 เทคโนโลยีการแปรรูปเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก

2.4.1 ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับเชื้อเพลิงชีวมวล

ชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะอย่าง คุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดเด่น คุณสมบัติบางอย่างถือเป็นจุดด้อยเช่น การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล ขนาด ความชื้น สิ่งเจือปน และปริมาณขี้เถ้า ซึ่งคุณสมบัติของชีวมวลมีผลอย่างมากต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลและการเลือกใช้เทคโนโลยี

1) การกระจายตัวของแหล่งชีวมวล

รูปแบบการกระจายตัวของแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลไม่เชิงพาณิชย์ มี 2 ลักษณะคืออยู่รวมเป็นกลุ่ม และอยู่กระจัดกระจาย เชื้อเพลิงชีวมวลที่อยู่รวมเป็นกลุ่มคือ เศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากกิจกรรมการแปรรูป ณ ที่ใดที่หนึ่ง เช่น ทะลายปาล์ม ซึ่งเกิดขึ้น ณ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นต้น และที่อยู่กระจัดกระจายตามพื้นที่เพาะปลูกหรือไม่มีการรวบรวม เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง และทางปาล์ม ขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บเกี่ยว การนำเชื้อเพลิงชีวมวลไม่เชิงพาณิชย์ที่อยู่กระจัดกระจายมาใช้เป็นเชื้อเพลิง จะมีข้อเสียเปรียบคือ เสียค่าใช้จ่ายในการรวบรวมเพิ่มขึ้น

2) ขนาดและความหนาแน่น

ขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวลไม่เชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่ จะมีความแตกต่างไม่สม่ำเสมอ เป็นอุปสรรคต่อการนำมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเชื้อเพลิงชีวมวลมีขนาดใหญ่ จะไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้โดยตรง เพราะประสิทธิภาพการเผาไหม้จะต่ำ ทั้งนี้โดยปกติแล้วเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขนาดใหญ่ จะมีความหนาแน่นน้อย ทำให้เสียพื้นที่ในการขนส่ง จึงควรที่จะนำมาตัด สับ ย่อย ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น แต่ก็มีค่าใช้จ่ายในการย่อยเพิ่มขึ้นเช่นกัน

3) ความชื้น

ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นสิ่งที่ต้องคำนึง เนื่องจากความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลมีผลต่อค่าความร้อน ดังนั้นการใช้ประโยชน์จำเป็นต้องผ่านกระบวนการลดความชื้นก่อน นอกจากนี้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่ยังไม่เสถียร สามารถย่อยสลายได้ (Composting) โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งอัตราการย่อยสลายจะเหมาะสมในสภาวะที่มีความชื้น ประมาณ 50-60% ดังนั้นถ้าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ไม่ผ่านกระบวนการลดความชื้นก่อน จะทำให้เชื้อเพลิงย่อยสลายได้ ทั้งนี้หากเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าความชื้นสูงมากๆ เช่น กากมันสำปะหลัง ซึ่งมีความชื้นประมาณ 80-90% การลดความชื้นก่อนเพื่อนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิง อาจจะไม่คุ้มค่า ควรพิจารณานำมาผลิตพลังงาน โดยใช้เทคโนโลยีอื่น เช่น กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิง สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อนและไฟฟ้าได้เช่นกัน

4) สิ่งเจือปน

สิ่งเจือปนที่ติดมากับเชื้อเพลิงชีวมวล มีหลายอย่างเช่น เศษดิน หิน กรวด ทราย และอื่นๆ ซึ่งสิ่งเจือปนเหล่านี้ มีผลทำให้ระบบการเผาไหม้มีประสิทธิภาพต่ำลง และทำให้เครื่องจักรในการลดขนาดเชื้อเพลิงสึกหรอ เช่น Biomass Chipper ดังนั้นในการออกแบบกระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล จำเป็นต้องคำนึงถึงจุดนี้เป็นพิเศษ

2.4.2 ประเภทของการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล

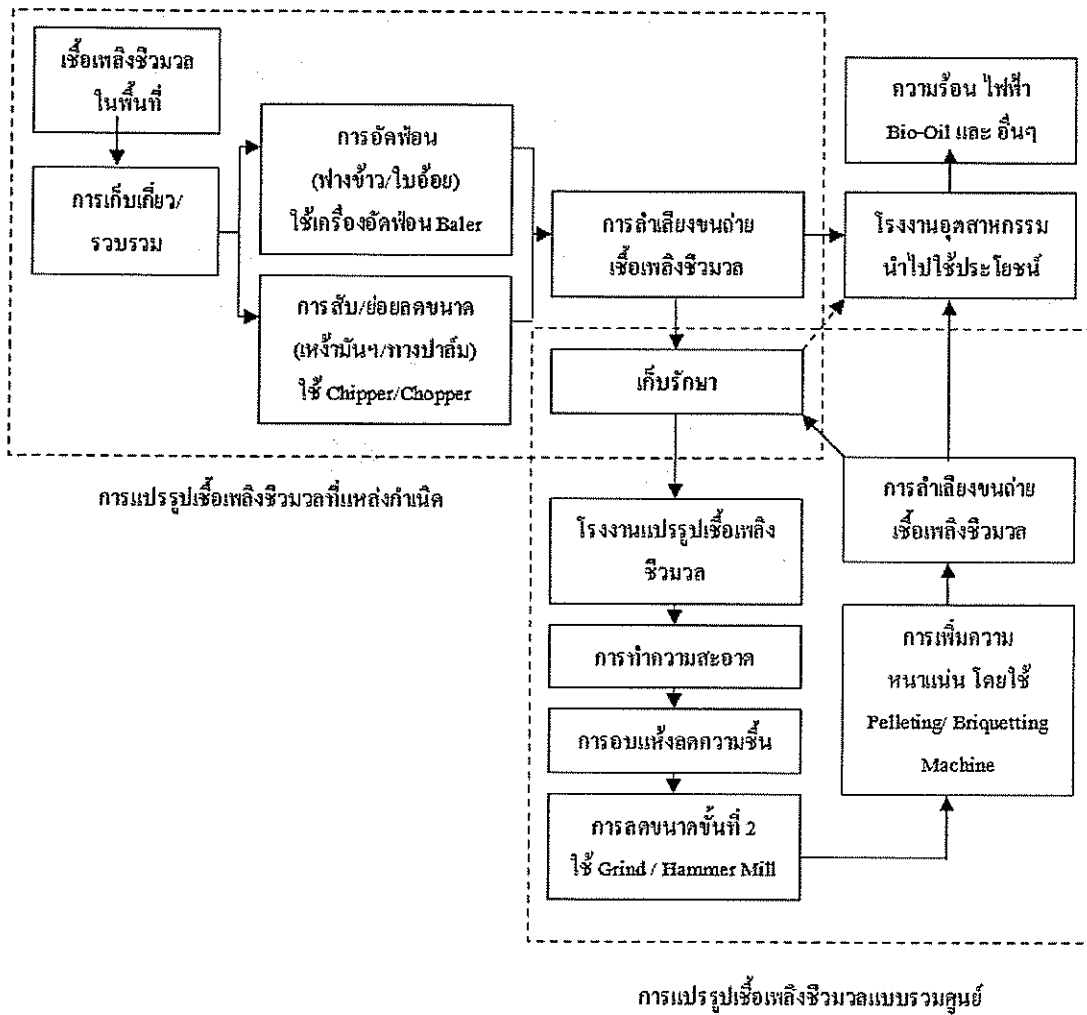
1) การแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลที่แหล่งกำเนิด (On-site Biomass Feedstock Processing)

จัดเป็นระบบการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลแบบ On-site Management ที่กระทำในไร่ นา สวนเกษตร การแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลที่แหล่งกำเนิดเป็นสิ่งที่สำคัญ สามารถลดต้นทุนด้านการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลได้ เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลไม่เชิงพาณิชย์ เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ (Bulky) และมีปริมาณต่อหน่วยพื้นที่ต่ำ การนำเชื้อเพลิงชีวมวลไม่เชิงพาณิชย์ที่กระจัดกระจายอยู่ในพื้นที่บริเวณกว้างมาใช้ประโยชน์ในหน่วยผลิตค่อนข้างยาก และต้นทุนสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนในส่วนของการรวบรวมและการขนส่ง

2) การแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลแบบรวมศูนย์ (Centralized Biomass Feedstock Processing)

โดยสากลแล้ว การแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลแบบรวมศูนย์ จะหมายถึงการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล ขั้นที่ 2 (Secondary Processes) ให้มีสมบัติพึงประสงค์ต่อกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลไปเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ ตลอดจนมีลักษณะที่เหมาะสมและคุ้มค่าสำหรับการขนส่งในระยะไกล ซึ่งมีกระบวนการและวิธีการเฉพาะในแต่ละชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวล

อย่างไรก็ดี การแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลแบบรวมศูนย์ บ่อยครั้งถูกนำมาใช้ทดแทนการแปรรูปเชื้อเพลิงที่แหล่งกำเนิดได้เหมือนกัน จัดเป็นระบบการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลแบบ Centralized Management ที่เหมาะสมกับการรวมกลุ่มของเกษตรกรรายย่อย โดยเฉพาะในกรณีที่เกษตรกรมีพื้นที่ถือครองทางการเกษตรน้อย ซึ่งการแปรรูปเชื้อเพลิงที่แหล่งกำเนิดไม่สามารถทำได้ กล่าวคือ เครื่องจักรที่ใช้ในการแปรรูปเชื้อเพลิงที่แหล่งกำเนิดส่วนใหญ่ มีขนาดใหญ่ กำลังผลิตสูง ราคาแพง การที่จะนำเครื่องจักรเหล่านี้เข้าไปจัดการรวบรวมหรือแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลไม่เชิงพาณิชย์ จะต้องมีพื้นที่ทำงานบริเวณกว้าง และอาจครอบคลุมบริเวณพื้นที่ของเกษตรกรมากกว่า 1 ราย ซึ่งบางครั้งอาจจะไม่ได้รับอนุญาตจากเกษตรกรเจ้าของพื้นที่ โดยรูปแบบการจัดการเชื้อเพลิงทั้ง 2 แบบแสดงไว้ในรูปที่ 2-4 ทั้งนี้ในการศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก จะดำเนินการศึกษาในส่วนที่จำเป็น 2 ส่วน คือ การสับ/ย่อยลดขนาดและการอบแห้งลดความชื้น



รูปที่ 2-4 แผนผังแสดงแนวความคิดในการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลไม้เชิงพาณิชย์ ของประเทศไทย มีศักยภาพ 4 ชนิด คือ ฟางข้าว ใบอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง และ ทางปาล์ม

2.4.3 การสับ/ย่อยลดขนาด

การลดขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเป็นวัสดุทางการเกษตร โดยทั่วไปจะใช้วิธีการสับ ย่อย หรือ บด เพื่อให้สอดคล้องต่อความต้องการของอุตสาหกรรม และลดต้นทุนในการขนส่ง การออกแบบเครื่องสับ/ย่อยเชื้อเพลิงชีวมวล จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติทางกลและแรงต้านทานของชีวมวลที่มีต่อการตัดเพื่อที่จะเข้าใจพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกตัดที่สภาวะต่างกัน โดย Womac และคณะ (Womac et al., 2005) เสนอว่าในการออกแบบเครื่องตัดจะต้องรู้ค่ากำลังเฉือนสูงสุดและพลังงานที่ใช้ในการเฉือน ซึ่งค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล ขนาด อายุ ความชื้น และโครงสร้างของเซลล์ภายในวัสดุ ทั้งนี้ Persson (Persson, 1987) ได้อธิบายพฤติกรรมในการตัดวัสดุชีวมวลว่า เมื่อใบมีดเคลื่อนที่ลงไปสัมผัสกับผิววัสดุชีวมวลจะทำให้เกิดแรงคั้นภายในเนื้อวัสดุชีวมวล

สูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดแตกหัก (failure point) ซึ่งวัสดุชีวมวลบางชนิดจะเกิดการแตกหักอาจเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวในขณะที่วัสดุชีวภาพบางชนิดเกิดจุดแตกหักขึ้นหนึ่งจุดก่อนแล้วแรงเค้นค่อยๆ สูงขึ้นและเกิดจุดแตกหักอีกครั้งเมื่อใบมีดผ่านเนื้อวัสดุ นั่นหมายความว่าพฤติกรรมในการตัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุชีวภาพซึ่งต้องใช้หลายหลักการในการอธิบาย

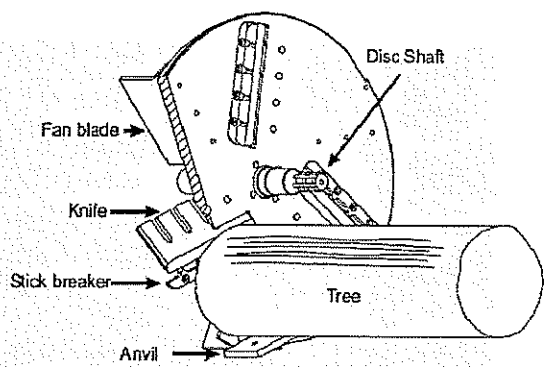
Chancellor (1957) แบ่งประเภทของวัสดุชีวภาพ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะการตัด ออกเป็น 2 ประเภท คือ (1) วัสดุชีวภาพที่ไม่มีเส้นใย (Non-fibrous materials) ซึ่งมีคุณสมบัติทางกลเป็นเนื้อเดียวกันในทุกทิศทางของการตัด โดยทั่วไปแล้วเซลล์ของวัสดุจะเต็มไปด้วยของเหลว และ (2) วัสดุชีวภาพที่มีเส้นใย (Fibrous Materials) วัสดุชีวภาพแบบนี้จะมีเส้นใยที่แข็งแรงและกำลังที่ใช้ในการตัดจะขึ้นอยู่กับทิศทางของการตัดผ่าน ซึ่งพฤติกรรมการตัดวัสดุเส้นใย ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่แรงกดกระทำอย่างเดียว แรงกดกระทำร่วมกับแรงเฉือน และแรงเฉือนกระทำอย่างเดียว (Ince et al., 2005)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการพลังงานที่ใช้ในการตัด อาทิเช่น คุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ (เช่น แรง ความเค้น ความเครียด ขนาด ความหนาแน่น และ ความชื้น) โดย Mesquita and Hanna (1995), El Hag et al. (1971) และ Persson (1987) ลักษณะของใบมีด ความเร็วของใบมีด โดย Prasad and Gupta (1975) และ Chattopadhyay and Pandey (1999) ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและเลือกใช้เครื่องสับ/ย่อยเชื้อเพลิงชีวมวลได้

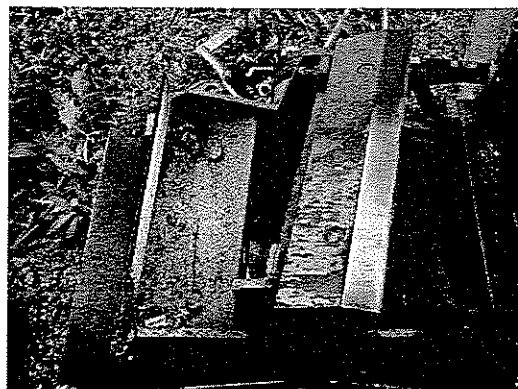
ปัจจุบันเครื่องจักรกลสำหรับการลดขนาดเชื้อเพลิงชีวมวลมีมากมาย ผลิตภัณฑ์ในและต่างประเทศ โดยหลักการทำงานจะใช้แรงบีบอัด (Compression Forces) แรงกระแทก (Impact Forces) หรือแรงเฉือน (Shearing Forces) ขึ้นอยู่กับการออกแบบ โดยทั่วไปการสับ/ย่อยลดขนาดเชื้อเพลิงชีวมวล จะใช้เครื่องจักร 3 ประเภท คือ

1) เครื่องชิพ (Biomass Chipping and chunking) ซึ่งเป็นเครื่องสับ/ย่อยที่ใช้แรงกระแทกและแรงเฉือนประกอบกัน เป็นเครื่องจักรที่ได้รับความนิยมใช้กับ เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขนาดเล็ก เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเศษไม้ สามารถนำไปใช้ได้ในการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล ณ แหล่งกำเนิด (On-site Biomass Feedstock Processing และแบบรวมศูนย์ (Centralized Biomass Feedstock Processing) โดยการเปลี่ยนต้นกำลังเพื่อสามารถนำไปใช้ในแปลงได้

เครื่องชิพ สามารถจำแนกออกได้ตามประเภทของหัวสับ ออกเป็น 2 ประเภทคือ หัวสับชนิดจานกลม (Flywheel type) และ หัวสับชนิดทรงกระบอก (Cylinder Type) ดังรูปที่ 2-5



(ก) หัวสับชนิดจานกลม (Flywheel Type)



(ข) หัวสับชนิดทรงกระบอก (Cylinder Type)

รูปที่ 2-5 ประเภทของเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด จำแนกตามประเภทของหัวสับ

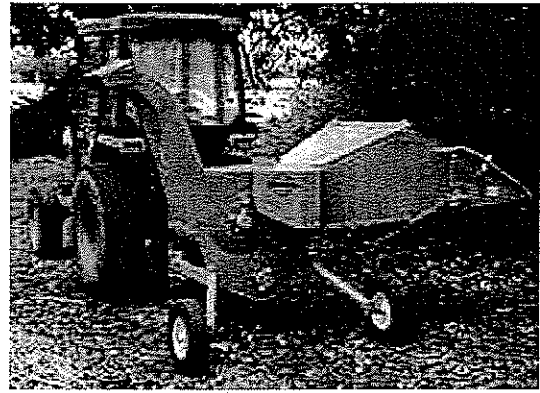
สำหรับเครื่องสับ/ย่อย แบบ Onsite-Chipper ที่ผลิตในต่างประเทศนั้น สามารถจำแนกออกเป็น 6 แบบ ตามประเภทของการลากจูงและระบบขับเคลื่อนดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-6 ซึ่งปัจจุบันมีราคาแพงและยังไม่มีการนำเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรม หรือ โรงไฟฟ้าชีวมวลในประเทศไทย

2) เครื่องเชรดเคอร์ (Shredder) ซึ่งเป็นเครื่องสับ/ย่อยที่ใช้แรงกดและแรงเฉือนประกอบกัน เป็นเครื่องจักรที่ได้รับความนิยมใช้กับ เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขนาดใหญ่และมีกิ่งก้าน เช่น ท่อนไม้ และเศษไม้เฟอร์นิเจอร์ รากไม้ ลักษณะการทำงานจะใช้หลักการ คบกันของเล็บบลับ ที่ติดกับเพลลาขับ 2 เพลลา หรือมากกว่า สามารถนำไปใช้ได้ในการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล ณ แหล่งกำเนิด (On-site Biomass Feedstock Processing และแบบรวมศูนย์ (Centralized Biomass Feedstock Processing) ได้เช่นเดียวกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-7

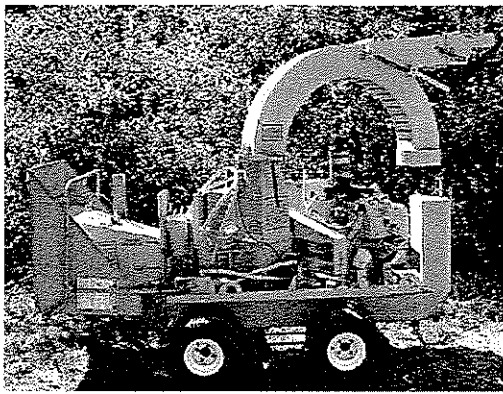
3) เครื่องเลื่อย (Saw Machine) เป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับลดขนาดเชื้อเพลิงชีวมวลโดยหลักการกระแทก และเป็นเครื่องที่สามารถลดขนาดได้ตามความต้องการของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาแก๊สซิฟิไฟเออร์ และมีขีดจำกัดของ สมรรถนะของเครื่องที่มีความสามารถเข้ามา ทำให้ต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิงสูง โดยปัจจุบันได้มีการได้มีการพัฒนาเครื่องเลื่อยไม้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงแก๊สซิฟิไฟเออร์ แบบใช้ใบเลื่อยหลายใบในการเลื่อยเพื่อเพิ่มความสามารถในการแปรรูปให้สูงขึ้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-8 ซึ่งในการเตรียมเชื้อเพลิงยังจำเป็นต้องมีการพัฒนาต่อไป



a) Trailer mounted Chipper



b) Tractor-mounted Chipper



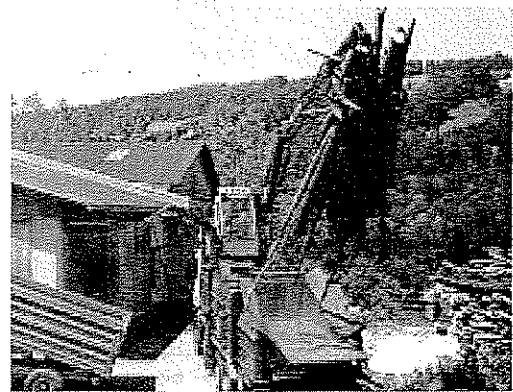
c) Self-propelled Chipper



d) Forwarder-mounted Chipper

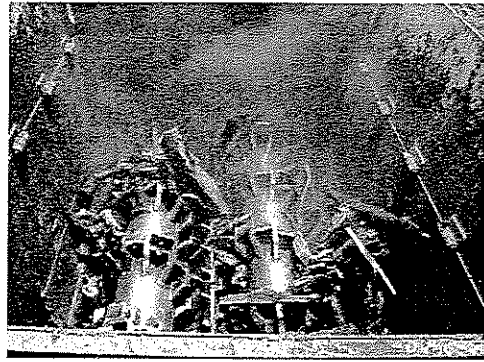
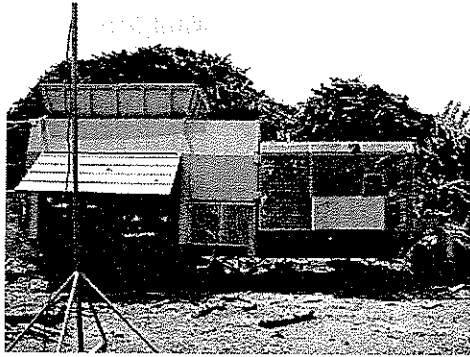


e) Heavy-duty trailer-mounted chipper

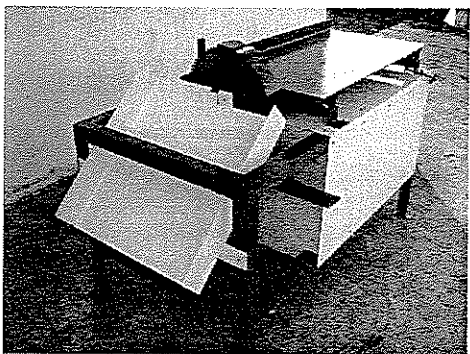


f) Truck-mounted chipper

รูปที่ 2-6 On-site Chipper ประเภทต่างๆ



รูปที่ 2-7 เชรคเดอร์ (Shredder) กำลังการผลิต 13 ตัน/ชั่วโมง ต้นกำลังเครื่องยนต์ 400 HP



ก) เครื่องเลื่อยไม้ที่พัฒนาโดย มทส.

ข) เครื่องเลื่อยไม้ที่พัฒนาโดยประเทศอินเดีย

รูปที่ 2-8 เครื่องเลื่อย (Saw Machine) สำหรับเตรียมเชื้อเพลิงเตาแก๊สซีไฟเออร์ ต้นกำลังเครื่องยนต์ 3 HP

2.4.4 การคัดแยกขนาดและทำความสะอาด (Screening and Cleaning)

เป็นกระบวนการคัดแยกและทำความสะอาดเชื้อเพลิงชีวมวล โดยการคัดแยกและทำความสะอาดมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทำการคัดแยก และความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลและชนิดวัสดุที่จะคัดแยก โดยปกติการคัดแยกและทำความสะอาดเชื้อเพลิงชีวมวล จะใช้วิธีการคัดแยกแบบแห้ง กล่าวคือหลีกเลี่ยงการใช้น้ำเป็นตัวกลางพาล้างปนเปื้อนออกเนื่องจากความชื้นมีผลต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

โดยปกติเครื่องมือที่ใช้คัดแยกและทำความสะอาดทั่วไปจะประกอบไปด้วย ส่วนที่คัดแยกขนาดที่ต้องการในปัจจุบัน เครื่องคัดแยกเชื้อเพลิงที่นิยมใช้มีหลากหลาย โดยทั่วไปจะใช้ตะแกรงแยกขนาด (Screen) คัดแยกขนาดออกจากกัน สามารถแบ่งประเภท ตามลักษณะและวิธีการคัดแยกได้ คือ เครื่องคัดขนาดแบบจานหมุน แบบสั่น แบบโรตารี โดยเครื่องคัดแยกที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป จะเป็นเครื่องคัดแยกแบบสั่นสะเทือน

ประสิทธิภาพของเครื่องคัดแยกและเครื่องทำความสะอาดจะขึ้นอยู่กับตัวแปรมากมาย จึงยังไม่สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อคัดแยกขนาดวัสดุได้ ดังนั้นการเลือกขนาดตะแกรงให้เหมาะกับวัสดุเป็นปัจจัยที่สำคัญ โดยการออกแบบและการคำนวณจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากการทดลอง เพื่อให้ได้เครื่องคัดแยกและทำความสะอาดเพียงพตรงกับความต้องการ

ส่วนประกอบหลักเครื่องคัดแยกขนาดวัสดุด้วยการสั่นสะเทือนจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักสำคัญคือ ตัวรางเขย่า ขาของรางเขย่าหรือสปริง และระบบขับ ซึ่งระบบขับสามารถแบ่งออกได้สามชนิด แบบเพลาช้อเหวี่ยง แบบค้อนน้ำหนัก และแบบแม่เหล็กไฟฟ้า

ระบบขับด้วยเพลาช้อเหวี่ยงเป็นระบบที่นิยมใช้ โดยใช้มอเตอร์ขับผ่านสายพานลิ้ม ซึ่งเป็นระบบที่มีแอมพลิจูดสูงแต่ความถี่ต่ำ โดยคุณสมบัติโดยทั่วไปของระบบขับด้วยเพลาช้อเหวี่ยง ดังตารางที่ 2-1 โดยที่ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกของวัสดุแสดงไว้ในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติโดยทั่วไปของระบบขับด้วยเพลาช้อเหวี่ยง

ความถี่	5-15 Hz
แอมพลิจูด	4-25 mm
ความเร็วเฉลี่ยของวัสดุ	0.15-0.6 m/s
มุมของระบบขับที่ทำกับรางเขย่า	25-35 องศา

หมายเหตุ : คุณสมบัติต่างๆ อาจเปลี่ยนแปลงตามชนิดวัสดุ

การคำนวณหาขนาดของตะแกรงสั่นสะเทือน

1) อัตราการไหลของวัสดุผ่านตะแกรง

$$Q_r = 6 \times \sqrt{Q_p} \quad (2-9)$$

Q_r = อัตราการไหลของวัสดุผ่านตะแกรงเป็นตันต่อชั่วโมงต่อพื้นที่ของตะแกรงหนึ่งตารางฟุต

Q_p = พื้นที่ของช่องตะแกรงมีหน่วยเป็นตารางนิ้ว

ตามปกติความลาดเอียงของตะแกรงสั้นสะท้อนจะเท่ากับ 20 องศา สมการหาค่า Q_r ก็ใช้ได้กับความลาดเอียง 20 องศา ถ้าความลาดเอียงเปลี่ยนแปลงไปก็จะสามารถหาค่า Q_r ได้ดังนี้ ที่มุมลาดเอียง 15 องศา คุณค่า Q_r ด้วย 85 % และที่มุมลาดเอียง 10 องศา คุณค่า Q_r ด้วย 65 %

2) ขนาดของวัสดุที่ใหญ่เกินขนาดช่องตะแกรง คือ ค่าสัดส่วนของวัสดุที่ป้อนเข้าตะแกรงซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าช่องตะแกรง โดยค่าเฉลี่ยขนาดของวัสดุใหญ่เกินขนาดของช่องตะแกรงจะสามารถคำนวณได้จาก สมการที่(2-10)

$$f_o = 1.25 - r_s \quad (2-10)$$

f_o = สัดส่วนของวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าช่องตะแกรงต่อวัสดุทั้งหมด

3) วัสดุที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของช่องตะแกรง แฟกเตอร์นี้ใช้เพื่อแสดงสัดส่วนของวัสดุที่มีขนาดเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่องตะแกรง ซึ่งจะเป็นแฟกเตอร์ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการคัดแยกขนาดวัสดุและมีความสัมพันธ์กับปริมาณของวัสดุที่มีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของช่องตะแกรง โดยค่าเฉลี่ยสำหรับแฟกเตอร์ของวัสดุที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของช่องตะแกรง สามารถประมาณได้จาก สมการที่ (2-11)

$$f_{HS} = 2H_s - 0.2 \quad (2-11)$$

H_s = สัดส่วนของวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าครึ่งหนึ่งของช่องตะแกรงต่อปริมาณวัสดุทั้งหมด

ตารางที่ 2-4 ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการคัดแยกของวัสดุ

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ

1. ความหนาแน่นของวัสดุ
2. รูปร่างของวัสดุ
3. การกระจายของขนาดวัสดุ
4. ปริมาณความชื้น
5. ความเหนียว หรือคุณสมบัติในการเกาะติดของวัสดุ
6. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุกับตะแกรง
7. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างตัววัสดุเอง

ตารางที่ 2-4 ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการคัดแยกของวัสดุ (ต่อ)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับตะแกรง

1. พื้นที่ของตะแกรง
2. สัดส่วนของความยาวตะแกรง – ความกว้าง ของตะแกรง
3. สัดส่วนพื้นที่ที่ให้วัสดุผ่านได้ต่อพื้นที่ของตะแกรงทั้งหมด
4. มุมลาดเอียงของตะแกรง
5. วิธีการป้อนวัสดุเข้าสู่ตะแกรง
6. ลักษณะของตะแกรง
7. ขนาดของรูปร่างของช่องตะแกรง
8. ความสูงของวัสดุบนตะแกรง
9. อัตราความเร็วของวัสดุบนตะแกรง
10. แอมพลิจูดของการสั่นของตะแกรง
11. ความถี่ของการสั่นของตะแกรง
12. ลักษณะการสั่นสะเทือน
13. ทิศทางการหมุนของตะแกรง
14. การแยกขนาดวัสดุแบบเปียกหรือแบบแห้ง
15. อัตราการแยกขนาด
16. ประสิทธิภาพ
17. ความสม่ำเสมอของช่องขนาดของตะแกรง

ที่มา : พรชัย จงจิตรไพศาล (2546)

4) แฟกเตอร์ด้านประสิทธิภาพ คือ แฟกเตอร์ซึ่งใช้ในการแสดงประสิทธิภาพในการคัดแยกวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าช่องตะแกรง ประสิทธิภาพก็คือ สัดส่วนของปริมาณของวัสดุที่ผ่านช่องตะแกรงต่อปริมาณวัสดุทั้งหมดที่สามารถลอดผ่านตะแกรงได้ แฟกเตอร์สำหรับประสิทธิภาพนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-12)

$$f_E = 4 - 3.33r_E \quad (2-12)$$

r_E = สัดส่วนของวัสดุที่ผ่านตะแกรงไปได้ต่อปริมาณวัสดุทั้งหมดที่สามารถลอดผ่านตะแกรงได้ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง หรือจากประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

- 5) แฟกเตอร์การแยกขนาดวัสดุแบบเปียก แฟกเตอร์นี้จะใช้เมื่อมีการพ่นน้ำในปริมาณมากๆ ลงบนวัสดุ
- 6) แฟกเตอร์ที่เกี่ยวกับจำนวนชั้นตะแกรง โดยทั่วไปแฟกเตอร์สำหรับอัตราการคัดแยกขนาดวัสดุที่ลดลงจากตะแกรงชั้นแรกจะมีค่าประมาณ 10 % เมื่อเปรียบเทียบกับตะแกรงที่อยู่ข้างบน
- 7) แฟกเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับจำนวนช่องตะแกรง แฟกเตอร์นี้คือ สัดส่วนของพื้นที่ช่องตะแกรงต่อพื้นที่ทั้งหมดบนตะแกรง และจะใช้แฟกเตอร์นี้คูณกับอัตราการคัดแยกวัสดุที่ผ่านตะแกรงไปได้

การคำนวณหาอัตราการคัดแยกวัสดุ (QN) มีหน่วยเป็นตันต่อชั่วโมงของวัสดุที่ไหลผ่านพื้นที่ช่องตะแกรง 1 ตารางฟุต ดังสมการ

$$Q_N = Q_R f_o f_{HS} f_E \times 0.01 \rho_b r_a \quad (2-13)$$

ทั้งนี้การคำนวณขนาดของตะแกรงสันสะเทือน จำเป็นต้องศึกษาความสัมพันธ์ปัจจัยต่างๆ เพื่อให้ประสิทธิภาพมีความถูกต้องเพียงพอในการใช้งาน

2.4.5 การลดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวล

การลดความชื้นเป็นขั้นตอนหนึ่งในการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่ ที่ทำการเก็บรวบรวมและแปรรูปโดยการสับ/ย่อยลดขนาด มีความชื้นค่อนข้างสูง ซึ่งความชื้นมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยตรง กล่าวคือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเชื้อเพลิงชีวมวลมีความชื้นสูง นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่าเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงจะมีแนวโน้มเสื่อมคุณภาพ ถูกทำให้ย่อยสลายได้ โดยเชื้อราและเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้ระยะเวลาการเก็บรักษาที่จะคงสภาพเชื้อเพลิงชีวมวลลดลง ส่งผลต่อการวางแผนการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลของโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้าเป็นอย่างยิ่ง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการลดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลและข้อดี-ข้อเสียของเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

การลดความชื้น โดยปกติมีหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กับวัสดุทางการเกษตร หรือเชื้อเพลิงชีวมวล จะใช้วิธีการอบแห้งซึ่งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร โดยทั่วไปจะอาศัยความร้อนจากภายนอก ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่วัสดุที่ต้องการ ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปจะทำให้ความชื้นของวัสดุ ที่อยู่ผิวและเนื้อวัสดุระเหยออกมาดังแสดงไว้ในสมการที่ (2-14) ทั้งนี้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง จะถูกกำหนดโดยระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (Drying Time) จากความชื้นเริ่มต้นไปสู่ความชื้นที่ต้องการ

$$q_T = h_v A(T_v - T_i) = h_c A(T_v - T_i) + h_r A(T_v - T_i) + u_k A(T_v - T_i) \quad (2-14)$$

เมื่อ

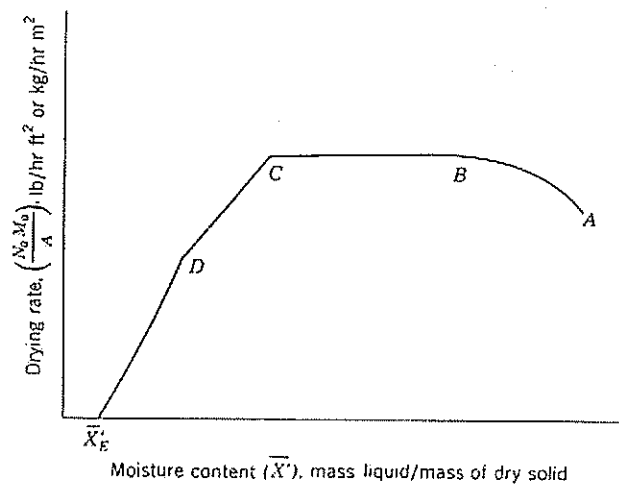
- h_c คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนจากอากาศร้อน
สู่ผิววัสดุ
- h_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีระหว่างวัสดุกับผนัง
ของห้องอบ
- u_k คือ สัมประสิทธิ์รวมของการถ่ายเทความร้อนสู่ผิวหน้าของการอบ โดยการ
พาและการนำความร้อนผ่านชั้นวัสดุสู่ผิวหน้าซึ่งมีภาวะเยย
- T_v, T_i คือ ค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้งและอุณหภูมิผิวต่อระหว่างอากาศและ
วัสดุ

ความชื้น (Moisture Content) สามารถระบุได้ทั้งเป็นความชื้นเปียก (Wet Basis, %wb) และความชื้นแห้ง (Dry Basis, %db) ซึ่งใช้ฐานในการเปรียบเทียบแตกต่างกัน Wet Basis หมายถึงการเทียบปริมาณความชื้นกับน้ำหนักรวมของวัสดุ ส่วน Dry Basis เป็นการเทียบปริมาณความชื้นกับน้ำหนักแห้งของวัสดุเท่านั้น ในการใช้คำนวณและออกแบบการอบแห้งนิยมใช้ Dry Basis เป็นมาตรฐาน

ตัวแปรสำคัญ ที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้การอบแห้ง คือ สมบัติ และประเภทของความชื้นของวัสดุ โดยปกติความชื้นที่อยู่ในวัสดุจะประกอบไปด้วย ความชื้นรอบผิว (Adsorbed Moisture) และ ความชื้นในเนื้อวัสดุ (Absorbed Moisture) ซึ่งความชื้นรอบผิวจะเป็นความชื้นที่ถูกดึงออกไปได้ง่าย นอกจากนี้ ยังมีความชื้นของบรรยากาศ (Relative Humidity) ซึ่งมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้นอีกด้วย โดยปกติในการอบแห้งวัสดุใดๆ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุที่ยังคงเหลืออยู่ในเนื้อวัสดุจะสมดุลกับความชื้นอากาศที่ใช้ออบ โดยที่ความชื้นในวัสดุดังกล่าวจะไม่ลดต่ำกว่านี้อีกแม้ว่าจะใช้เวลานานเท่าใดก็ตามเราเรียกความชื้น ณ จุดนี้ว่า ค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, \bar{X}_E)

อัตราการอบ (Drying Rate) เป็นตัวแปรอีกตัวหนึ่ง ที่สามารถบอกให้เราทราบถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึง ค่าความชื้นที่ระเหยออกไปได้ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา หน่วยอาจเป็นปอนด์น้ำต่อตารางฟุตชั่วโมง หรือกิโลกรัมน้ำต่อตารางเมตรชั่วโมง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-9 โดยปกติ ในการอบแห้งวัสดุหนึ่งๆ จะมีอัตราการอบแห้ง 2 ช่วง คือ ก) Constant Rate Drying (R_c) คือ การอบแห้งในช่วงที่มีอัตราการระเหยน้ำต่อพื้นที่ เป็นการอบแห้งในช่วงที่วัสดุมีความชื้นเหลือเพื่อ ความชื้นจึงเดินทางมาสู่ผิวหน้าได้ทันเวลากับความร้อนที่จ่ายจากลมร้อนมาที่ผิว

ส่วนใหญ่จะเป็นความชื้นรอบผิว (Adsorbed Moisture) หรือ ความชื้นอิสระ (Unbound Moisture) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-9 ช่วง B-C และ ข) Falling Rate Drying (R_f) คือ การอบในช่วงที่ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุแห้งลง เมื่อน้ำระเหยมาที่ผิวไม่ทันอัตราการระเหยต่อหน่วยพื้นที่และเวลา ก็จะลด ในช่วงนี้ อุณหภูมิที่ผิวอาจค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และค่า R_f อาจจะแปรผันตรงกับค่าความชื้นที่เหลืออยู่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-9 ช่วง C-D วัสดุบางประเภทอาจมีแต่ Falling Rate ตลอดการอบเลยก็ได้ ทั้งนี้การอบแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของวัสดุลดลงถึงจุดความชื้นสมดุล, \bar{X}_E



รูปที่ 2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง กับความชื้น

สำหรับการอบแห้งไม้ จำเป็นต้องพิจารณาสมบัติของไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความชื้นในไม้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 แบบ (Skaar, 1998) คือ

1. Liquid water (free water) เป็นน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ของไม้
2. Bound water เป็นน้ำที่อยู่บริเวณผนังของเซลล์
3. Water vapor

การอบแห้งไม้ที่อุณหภูมิต่ำ

การอบแห้งวิธีนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการปรับปรุงคุณภาพไม้ สามารถนำมาใช้เป็นฐานความรู้และความเข้าใจในการอบแห้งไม้กรณีนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ทั้งนี้ในการอบแห้งไม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ อัตราการอบแห้งแบบคงที่ และอัตราการอบแห้งลดลง คล้ายกับการอบแห้งวัสดุเกษตร โดยทั่วไป

- 1) ช่วงอัตราการอบแห้งแบบคงที่ (Constant Drying-Rate Period)

ช่วงนี้จะไม่ค่อยเกิดขึ้นกับไม้เนื้อแข็ง แต่จะเกิดขึ้นกับไม้เนื้ออ่อน

พอสมควร ช่วงการเกิดขึ้นผิวไม้จะถูกเปิดขึ้น ผลคือ ความดันไอน้ำที่ผิววัสดุจะมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำภายในห้องอบ โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผิววัสดุอย่างเดียว

ความร้อนและไอน้ำถูกถ่ายเทเข้าออกบริเวณผิววัสดุ ความร้อนที่ถูกพาเข้าไปภายใน จะทำการเปลี่ยนน้ำในวัสดุออกมาเป็นไอน้ำ และในช่วงนี้อัตราการอบแห้งจะคงที่ ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายนอก(อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม, ทิศทางการไหลของลม) อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุจะเท่ากับอุณหภูมิภายในเครื่องอบ อย่างไรก็ตามในช่วงนี้จะไม่มีการถ่ายเทความร้อนให้กับภายในของวัสดุ

น้ำที่ผิววัสดุถูกออกมาจากภายในวัสดุ โดยถูกขับออกมา โดยปฏิกิริยา แคลปิลารี (Capillary action) คือ น้ำจะถูกเคลื่อนย้ายจากความชื้นสูงไปสู่ความชื้นต่ำ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่นี้จะเกิดขึ้นนานเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ถูกถ่ายเทออกมา

2) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Decreasing Drying-Rate Period)

ในช่วงนี้ความดันไอน้ำในวัสดุจะลดลงกว่าความดันไอน้ำในเครื่องอบทำให้ปริมาณไอน้ำออกสู่ด้านนอกน้อยลงและปริมาณความร้อนที่ใส่เข้าไปในวัสดุจะมากกว่าความต้องการที่ใช้ในการระเหยน้ำ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเกินความจำเป็น จะถูกถ่ายเทให้กับผิววัสดุ และแพร่เข้าไปในเนื้อวัสดุ ในการทำสมดุลพลังงานจะทำให้อุณหภูมิผิววัสดุเพิ่มขึ้นและความชื้นของวัสดุลดลงในขั้นตอนนี้ก็บ่งบอกได้ว่าในช่วงนี้เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

การอบแห้งไม้ที่อุณหภูมิสูง

การอบแห้งแบบนี้เป็นการลดเวลาในการอบแห้งมากกว่าการอบที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่มีการสูญเสียคุณภาพของวัสดุที่อบแห้ง โดยที่สภาวะการอบแห้งจะต้องใช้อุณหภูมิที่มากกว่าจุดเดือดของน้ำ ซึ่งทำให้ความดันภายในวัสดุสูงกว่าปกติ ซึ่งความเปลี่ยนแปลงความดัน (Pressure gradient) จะช่วยในการขับเคลื่อนความชื้น (น้ำหรือไอน้ำ) ออกสู่ภายนอกของวัสดุ (Lowery, 1979; Kamke and Casey, 1988)

โดยทั่วไปที่ความดัน 1 บรรยากาศ จุดเดือดของน้ำจะมีค่าประมาณ 100°C ฉะนั้นเพื่อที่จะทำให้ความดันภายในวัสดุสูงขึ้น อุณหภูมิที่แทรกซึมเข้าไปในวัสดุก็น่าจะมีค่ามากกว่าจุดเดือดของน้ำปกติ โดยมีการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง จากข้อมูลในประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์เกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบไม้ pine สำหรับใช้ในงานก่อสร้างจะอบแห้งที่อุณหภูมิ $120-160^{\circ}\text{C}$ ความต้องการลมร้อนที่จะนำความชื้นออกจากไม้ในเตาอบ คือ ถ้าอบที่อุณหภูมิ 120°C ต้องการลมร้อนที่มีความเร็ว $5-6\text{ m/s}$ และอบที่อุณหภูมิ 140°C ต้องการลมร้อนที่มีความเร็ว $7-9\text{ m/s}$ (S.Pang and A.N.Haslett, n.d.)

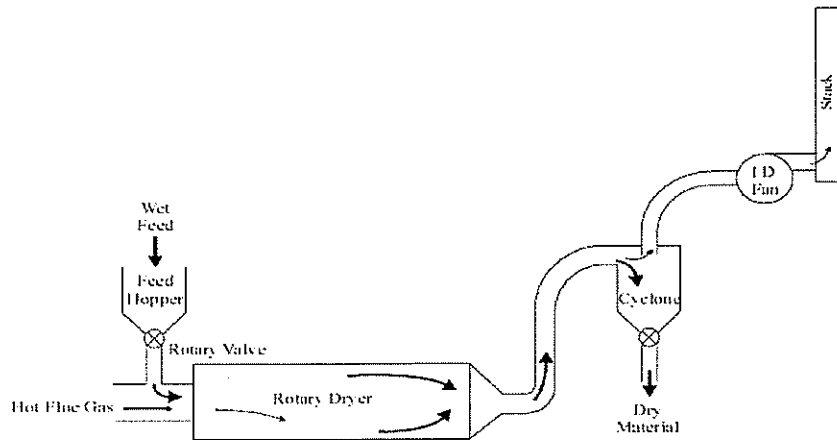
จากหลักการลดความชื้น โดยวิธีการอบแห้งที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่า องค์ประกอบการอบแห้งจะประกอบไปด้วย 1) แหล่งพลังงานความร้อน 2) พัดลมในการพาความร้อน และ 3) ถังอบวัสดุ ซึ่งในส่วนของทางเลือกใช้หรือการออกแบบเครื่องอบแห้ง จะต้องพิจารณาถึงวัสดุที่ต้องการนำมาอบแห้ง ซึ่งทฤษฎีนี้มีจำนวนมากเนื่องจากเครื่องลดความชื้นนั้นมีอยู่รูปแบบ ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวแนวทางการพิจารณาปัจจัยในการลดความชื้นไม้และเลือกเครื่องลดความชื้น เครื่องอบแห้งที่นิยมใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวล มีอยู่หลายประเภทจำแนกตามวิธีการ และชนิดของถังอบแห้ง ได้ 5 ประเภท (National Renewable Energy Laboratory, 1998) คือ

1. Rotary Dryers
2. Flash Dryers
3. Disk Dryers
4. Cascade Dryers
5. Superheated steam Dryers

Rotary Dryer (เครื่องอบแห้งแบบโรตารี)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีหลายชนิด แต่นิยมใช้สำหรับอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล จะมีลักษณะเป็นแบบช่องเดี่ยวที่รับสัมผัสความร้อนโดยตรง ดังรูปที่ 2-10 โดยหลักการทำงานจะใช้ลมร้อนสัมผัสกับวัสดุอบโดยตรง ภายในตัวถังที่หมุน การหมุนของตัวถังทรงกระบอก จะอาศัยใบพาช่วยโรยวัสดุอบผ่านอากาศร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการลดความชื้น ท่อลมร้อนจะต่อตรงเข้าไปในเครื่องอบแห้งโดยตรง และอีกด้านหนึ่งจะติดตั้งหัวเผาหรือเครื่องทำความร้อน

เครื่องอบแห้งโดยทั่วไป วัสดุอบและลมร้อนจะไหลขนานกัน โดยลมร้อนที่สุดจะสัมผัสกับวัสดุอบที่มีความชื้นสูงที่สุด แต่สำหรับวัสดุที่อุณหภูมิไม่มีผลกับวัสดุ ลมร้อนกับวัสดุจะไหลในทิศสวนทางกัน คือวัสดุอบที่แห้งที่สุดจะปะทะลมร้อนที่ร้อนที่สุดและมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยที่สุด ในสุดท้ายวัสดุอบที่มีความชื้นน้อยก็จะออกจากเครื่องอบแห้ง แต่อาจจะมีการลุกไหม้เกิดขึ้น หากวัสดุอบที่แห้งแล้วเจอกับลมร้อนที่อุณหภูมิสูง เครื่องอบแห้งชนิดนี้เหมาะสำหรับวัสดุที่มีความหนาแน่นปานกลาง เช่น ไม้สับ เหง้ามันสำปะหลังสับ ทางปาล์มสับ

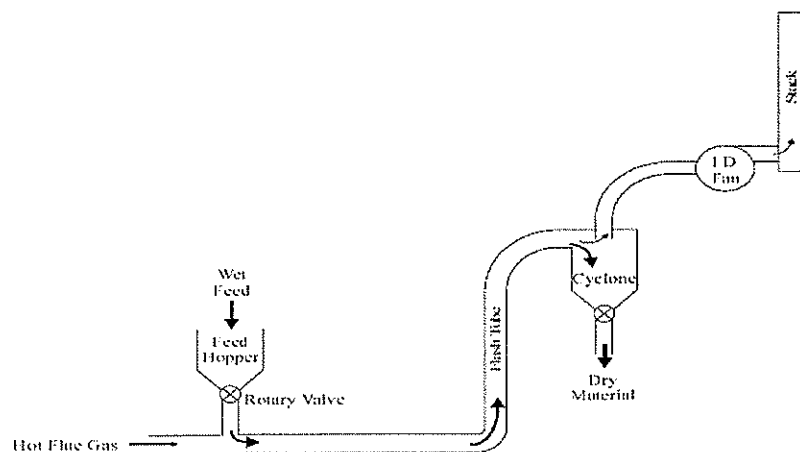


รูปที่ 2-10 เครื่องอบแห้งโรตารี (Rotary Dryer) แบบช่องเดี่ยว

Flash Dryers (เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีหลักการทำงาน คือ วัสดุอบจะถูกผสมกับลมร้อนที่มีความเร็วสูง การสัมผัสกันอย่างใกล้ชิดกันของวัสดุอบกับลมร้อนจะทำให้เกิดการลดความชื้นอย่างรวดเร็ว วัสดุอบและลมร้อนจะถูกแยกออกโดยใช้ไซโคลน ดังแสดงไว้รูปที่ 2-11 ในกรณีต้องการปล่อยลมร้อนออก ตู้บรรยากาศอาจจะต้องทำการดักฝุ่นละเอียดออกอีกครั้ง โดยใช้ Water Scrubber

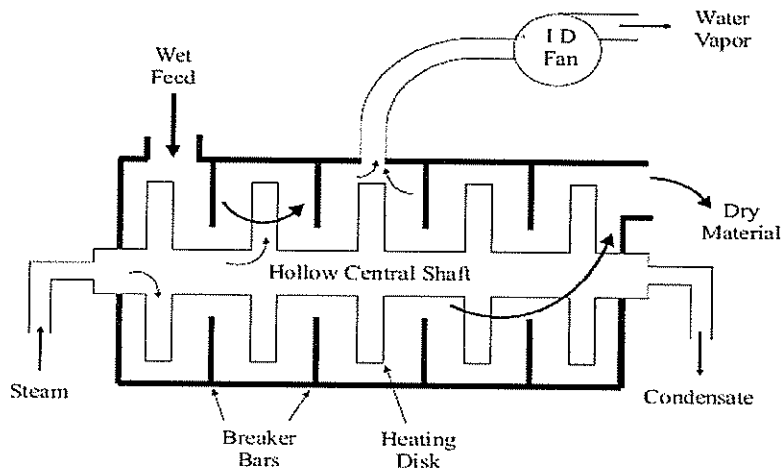
ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Flash Dryer) คือ ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น ขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบโรตารี อย่างไรก็ตามอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้าจะสูง เพราะใช้ปริมาณลมร้อนที่สูงกว่า นอกจากนี้ยังมีขีดจำกัดคือ วัสดุอบจะต้องมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา หรือความหนาแน่นต่ำ และสามารถลอยตัวในอากาศได้ เครื่องอบประเภทนี้เหมาะสำหรับการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล คือ ทะลายปาล์มสับ และ ชานอ้อย (Wang et al. 1990)



รูปที่ 2-11 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Flash Dryer)

Disk Dryers

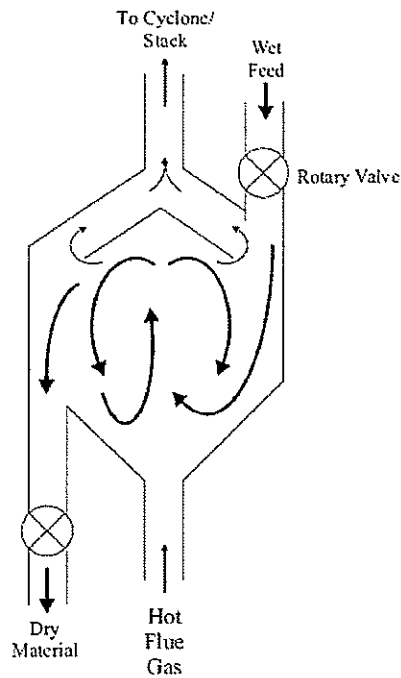
เครื่องอบชนิดนี้เหมาะสำหรับวัสดุอบที่มีการเคลื่อนตัวต่ำ ภายในเครื่องอบ วัสดุอบจะถูกทำให้ร้อนโดยไอน้ำจะเข้าไปในเพลากลาง ซึ่งมีจานที่มีรูติดอยู่เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน โดยมีส่วนที่ยื่นออกมา (Finger) เพื่อช่วยผสมวัสดุและช่วยเก็บสะสมความร้อน เครื่องอบแห้งแบบนี้สามารถใช้งานได้ในสภาวะสูญญากาศ หรือแรงดันต่ำได้ ส่วนไอน้ำที่ควบแน่นจากการอบสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และนำกลับไปสู่หม้อต้ม (Boiler) ได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-12 เครื่องอบแห้งชนิดนี้เหมาะสำหรับอบแห้งวัสดุที่มีลักษณะเป็นโคลน เช่น Sludge ต่างๆ



รูปที่ 2-12 ด้านข้างของ Disk Dryers

Cascade Dryers (เครื่องอบแห้งแบบโรยตัว)

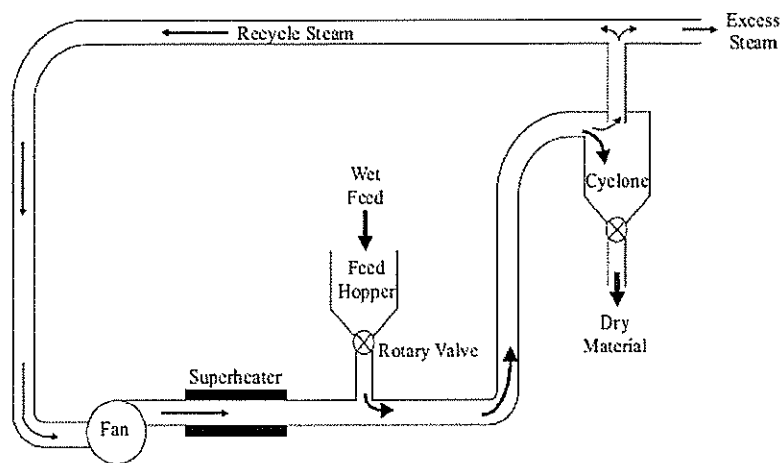
เครื่องอบแห้งชนิดนี้โดยทั่วไปจะใช้ในการอบแห้งเมล็ดพืช แต่เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุอบที่เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล หลักการทำงานคือ วัสดุอบจะถูกนำเข้าสู่ถังและถูกโรยตัวเข้าไปในห้องอบและลอยตัวโดยลมร้อน หมุนเวียนในห้องอบแห้ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2-13 เมื่อความชื้นลดลงจะทำให้น้ำหนักวัสดุอบเบาลงจะถูกเป่า ให้เคลื่อนที่ออกไปทางด้านช่องเปิดด้านข้างของถัง โดยทั่วไปวัสดุจะใช้เวลาอยู่ในถังอบประมาณ 2 นาที (MacCallum et al.1981) เครื่องอบแห้งแบบโรยตัวนี้ เหมาะสำหรับวัสดุอบที่มีน้ำหนักเบา และสามารถลอยตัวในอากาศได้ เหมือนกับเครื่องอบแบบพาหะลม



รูปที่ 2-13 ด้านข้างของ Cascade Dryers

Superheat Steam Dryer

เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับ Flash Dryers แต่จะใช้ไอน้ำแทนลมร้อน ดังรูปที่ 2-14 หลักการทำงานคือ จะใช้ไอน้ำมาเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัวกลายเป็นไอน้ำยิ่งยวด มาดึงความชื้นออกจากวัสดุอบ ซึ่งไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดจะเปลี่ยนเป็นไอน้ำอิ่มตัว สามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการอบแห้งได้อีก ประมาณ 90% ขณะที่อีก 10% จะถูกระบายทิ้งหรือเอาไปใช้ในส่วนอื่นของโรงงานได้ (Hulkkonen et al. 1994; Hulkkonen et al. 1991)

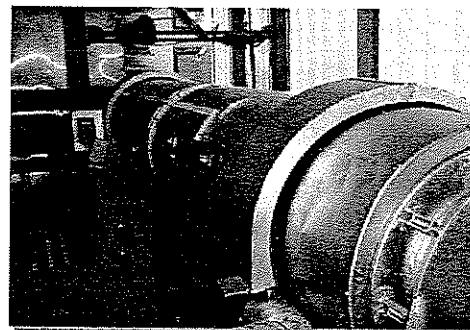
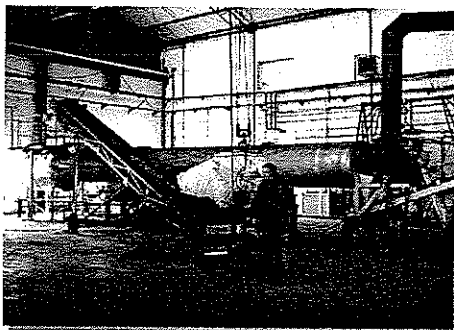
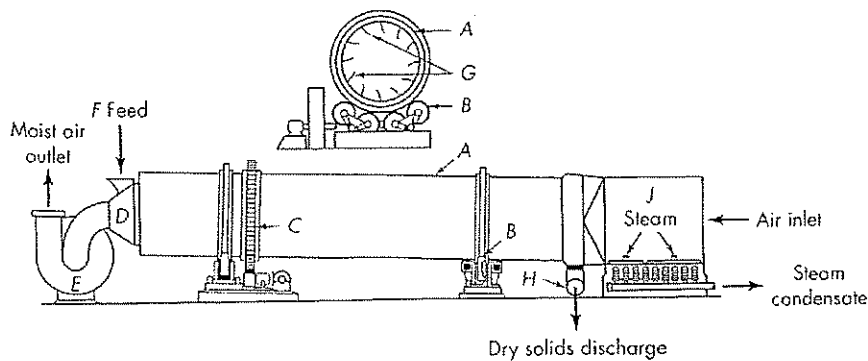


รูปที่ 2-14 Superheat Steam Dryer

เมื่อทำการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-3 พบว่า เครื่องอบแห้งแบบ โรตารี น่าจะเหมาะสมกับการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล ทั้งนี้ อาจจะเสี่ยงต่อการเกิดประกายไฟและการลุกไหม้ ซึ่งจำเป็นต้องทำการออกแบบในด้านความปลอดภัย เป็นอย่างดี

ตารางที่ 2-5 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของเครื่องอบแห้งแต่ละชนิด (Wade A. Amos, 1998)

ชนิด เครื่องอบแห้ง	ต้องการวัสดุ ขนาดเล็ก	ต้องการขนาด วัสดุใกล้เคียงกัน	ความสะดวกในการนำ ความร้อนกลับมาใช้	เสี่ยงต่อ ประกายไฟ	ใช้ไอน้ำ	ต้นทุน
Rotary Dryer	ไม่	ไม่	ยาก	สูง	ใช้ได้	ต่ำ
Flash Dryer	ใช่	ไม่	ยาก	ปานกลาง	ใช้ไม่ได้	ปาน กลาง
Disk Dryer	ไม่	ไม่	ง่าย	ต่ำ	ใช้ได้	สูง
Cascade Dryer	ไม่	ใช่	ยาก	ปานกลาง	ใช้ไม่ได้	สูง
Superheated Steam Dryer	ใช่	ไม่	ง่าย	ต่ำ	ใช้ไอน้ำ	สูง



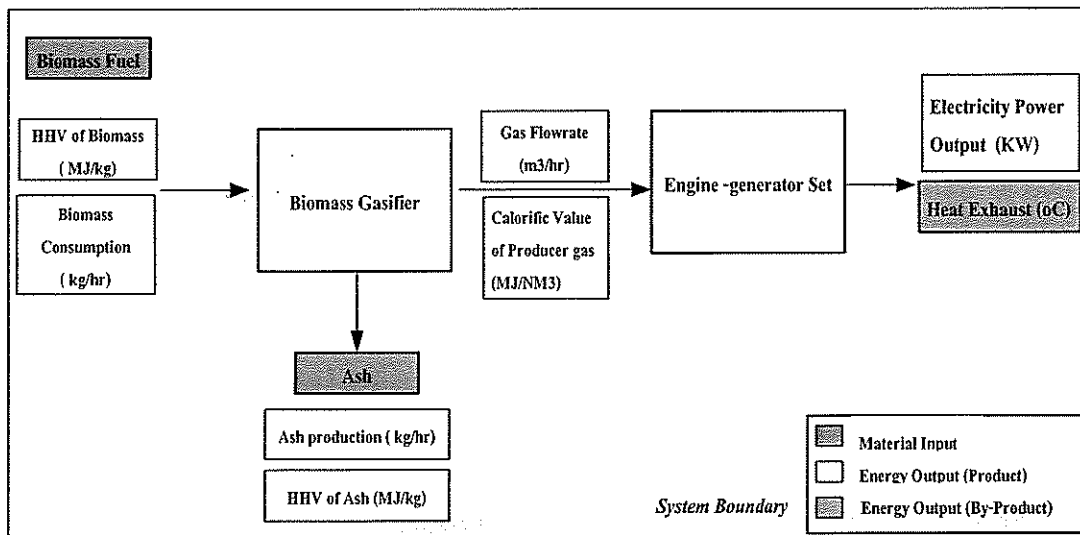
รูปที่ 2-15 ตัวอย่างเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลแบบ โรตารีขนาด 150 kg/h

2.5 การนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์

ในหัวข้อนี้เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการในการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้ามาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งประกอบไปด้วยการประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล การใช้ประโยชน์จากความร้อนเหลือทิ้งและการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1 ประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล

ในการประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลในหัวข้อนี้ จะใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของระบบ อันประกอบไปด้วย ประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวล (Reactor Efficiency) ประสิทธิภาพของการผลิตแก๊สชีวมวล (Gasification Efficiency) ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้า (Electrical Efficiency) ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า (Engine – generator Efficiency) และ ประสิทธิภาพรวมของระบบทั้งหมด (Overall Efficiency) โดยมีขอบเขตของการประเมินประสิทธิภาพระบบดังแสดงใน รูปที่ 2-16 และวิธีการประเมิน ดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 2-16 ขอบเขตของการประเมินประสิทธิภาพของระบบ (System Efficiency)

1) ประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีววมวล (Reactor Efficiency)

แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงชีววมวลไปเป็นแก๊สชีววมวลในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และยังพิจารณาถึงพลังงานหรือค่าความร้อนที่ยังคงเหลือในถ่าน ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (By-product) ของกระบวนการ โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ (2-15)

$$\text{Reactor Efficiency } (\eta_{\text{reactor}}) = [\text{Rate of energy carried by producer gas and charcoal}] / [\text{Rate of energy supplied to reactor}]$$

$$\text{Reactor Efficiency } (\eta_{\text{reactor}}) = [(V_g \times \text{HHV}_g) + (m_{\text{ash}} \times \text{HHV}_{\text{ash}})] / [m_{\text{bio}} \times \text{HHV}_{\text{bio}}] \quad (2-15)$$

2) ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีววมวล (Gasification Efficiency)

แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงชีววมวลไปเป็นแก๊สชีววมวล โดยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ (2-16)

$$\text{Gasification Efficiency } (\eta_{\text{gasification}}) = [\text{Rate of energy carried by producer gas}] / [\text{Rate of energy supplied to reactor}]$$

$$\text{Gasification Efficiency } (\eta_{\text{gasification}}) = [V_g \times \text{HHV}_g] / [m_{\text{bio}} \times \text{HHV}_{\text{bio}}] \quad (2-16)$$

3) ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (Electrical Efficiency)

แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงชีววมวลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งประสิทธิภาพดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีววมวลของเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งเป็นต้นกำลังผลิตไฟฟ้า โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ (2-17)

$$\text{Electrical Efficiency } (\eta_{\text{electrical}}) = [\text{Energy equivalent of electrical power}] / [\text{Rate of energy supplied to reactor}]$$

$$\text{Electrical Efficiency } (\eta_{\text{electrical}}) = [3.6 \times P_e] / [m_{\text{bio}} \times \text{HHV}_{\text{bio}}] \quad (2-17)$$

4) ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า (Engine-generator Efficiency)

แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่สะสมอยู่ในแก๊สชีววมวลที่ผลิตได้ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเปลี่ยนรูปจากพลังงานเคมีเป็นพลังงานกล และเป็นพลังงานไฟฟ้าตามลำดับ โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ (2-18)

$$\text{Engine-generator Efficiency } (\eta_{\text{engine}}) = [\text{Energy equivalent of electrical power}] / [\text{Rate of energy supplied to engine}]$$

$$\text{Engine-generator Efficiency } (\eta_{\text{engine}}) = [3.6 \times P_e] / [V_g \times \text{HHV}_g] \quad (2-18)$$

5) ประสิทธิภาพรวมของระบบทั้งหมด (Overall Efficiency)

แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงชีววมวลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน และยังพิจารณาถึงพลังงานหรือค่าความร้อนที่ยังคงเหลือในถ่าน รวมทั้งค่าพลังงานที่สะสมอยู่ในแก๊สไอเสียในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (By-product) ของกระบวนการ โดยมีวิธีการคำนวณดังสมการที่ (2-19)

$$\text{Overall Efficiency } (\eta_{\text{all}}) = \eta_{\text{electrical}} + \eta_{\text{ash recovery}} + \eta_{\text{heat recovery}} \quad (2-19)$$

โดยที่

$$\text{Ash recovery Efficiency } (\eta_{\text{ash recovery}}) = [m_{\text{ash}} \times \text{HHV}_{\text{ash}}] / [m_{\text{bio}} \times \text{HHV}_{\text{bio}}]$$

$$\text{Heat recovery Efficiency } (\eta_{\text{heat recovery}}) = [3.6 \times Q_{\text{exhaust}}] / [m_{\text{bio}} \times \text{HHV}_{\text{bio}}] \times \eta_t$$

เมื่อ

m_{bio} คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงชีววมวล, kg/hr

m_{ash} คือ อัตราการเกิดเถ้า/ถ่าน, kg/hr

HHV_{bio} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีววมวล, MJ/kg

HHV_{ash} คือ ค่าความร้อนของเถ้า/ถ่าน, MJ/kg

V_g คือ อัตราการไหลของแก๊สชีววมวล, Nm^3/hr

HHV_g คือ ค่าความร้อนของแก๊สชีววมวล, MJ/Nm^3

Q_{exhaust} คือ ค่าพลังงานความร้อนของแก๊สไอเสียที่นำกลับมาใช้ได้, kW

η_t คือ ประสิทธิภาพรวมการอบแห้ง, %

P_e คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ หรือ Electric Power Output, kW

(โดยที่ $\text{HHV}_{\text{bio}} = 15.532 \text{ MJ/kg}$, $\text{HHV}_{\text{ash}} = 29.818 \text{ MJ/kg}$ และ $1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ}$)

2.5.2 การนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์

1) สมดุลพลังงานในเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า

จากสมดุลพลังงานของเครื่องยนต์พบว่า พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้แก๊สชีวมวล (Q_{fuel}) มีค่าเท่ากับ ผลรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ($Q_{generator}$) พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็น ($Q_{coolant}$) พลังงานความร้อนของแก๊สไอเสีย ($Q_{Exhaust}$) และพลังงานความร้อนที่สูญเสีย (Q_{loss}) ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการ (2-20) ถึง (2-24) ได้ดังนี้ (พยุงศักดิ์ และวีรชัย, 2551)

$$Q_{fuel} = Q_{electrical} + Q_{coolant} + Q_{exhaust} + Q_{loss} \quad (2-20)$$

$$Q_{fuel} = HHV_i \cdot \dot{m}_i \quad (2-21)$$

$$Q_{generator} = \sqrt{3}VI \cos \phi \quad (2-22)$$

$$Q_{coolant} = \dot{m}_c C_{Pw} (T_{Cout} - T_{Cin}) \quad (2-23)$$

$$Q_{exhaust} = \dot{m}_{ex} C_{Pex} (T_{exout} - T_{exin}) \quad (2-24)$$

โดยที่ HHV_i คือ ค่าความร้อนแก๊สชีวมวล \dot{m}_i , \dot{m}_c และ \dot{m}_{ex} คือ อัตราการไหลของแก๊สชีวมวล น้ำหล่อเย็น และแก๊สไอเสีย ตามลำดับ V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสาย I คือ ไฟฟ้าในแต่ละสาย $\cos \phi$ คือ เพาเวอร์แฟคเตอร์ทางไฟฟ้า C_{Pw} , C_{Pex} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $4.18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ และความจุความร้อนของแก๊สไอเสียที่อุณหภูมิไอเสียนั้นๆ T_{Cin} , T_{Cout} , T_{exin} และ T_{exout} คือ อุณหภูมิของน้ำด้านเข้าเครื่องยนต์ น้ำด้านออกจากเครื่องยนต์ อุณหภูมิบรรยากาศ และอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย ตามลำดับ

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (Generator Efficiency) คำนวณหาได้จากสมการ (2-25) และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะในการผลิตไฟฟ้า (Specific Fuel Consumption: sfc) ซึ่งเป็นดัชนีวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส โปรคิวเซอร์ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ จากสมการ (2-26)

$$\eta_{generator} = \frac{Q_{generator}}{Q_{fuel}} \quad (2-25)$$

$$sfc_{generator} = \frac{\dot{m}_g}{Q_{generator}} \quad (2-26)$$

2) การประยุกต์ใช้ระบบความร้อนร่วมผลิตกระแสไฟฟ้าในเครื่องยนต์
สันดาปภายใน

จากสมมูลพลังงาน โดยพิจารณาพลังงานที่ออกจากระบบพบว่า มี 2 ส่วน คือ พลังงานที่ได้จากการผลิตไฟฟ้า และพลังงานเหลือทิ้งซึ่งมีอยู่ 2 ส่วน คือ พลังงานที่ออกจากราน้ำหล่อเย็น (Coolant) และความร้อนที่ออกไปกับไอเสีย (Exhaust gas) ตามสมการที่ (2-23) และ (2-24) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยพลังงานความร้อนที่จะนำใช้ประโยชน์ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้า คือ พลังงานความร้อนของแก๊สไอเสีย ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการทำความร้อน (Heating Efficiency) ได้ดังสมการ (2-27)

$$\eta_{\text{heating}} = \frac{Q_{\text{exhaust}}}{Q_{\text{fuel}}} \quad (2-27)$$

ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน (CHP Efficiency) ตามสมการ (2-28) คือ

$$\eta_{\text{CHP}} = \eta_{\text{heating}} + \eta_{\text{generator}} = \frac{Q_{\text{exhaust}} + Q_{\text{generator}}}{Q_{\text{fuel}}} \quad (2-28)$$

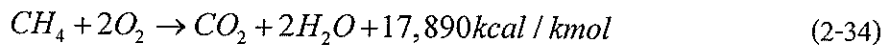
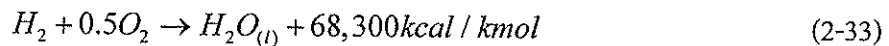
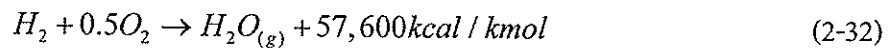
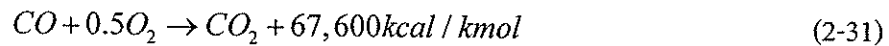
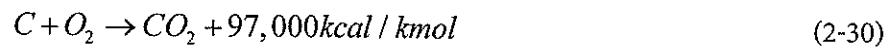
และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน ซึ่งเป็นดัชนีวัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สชีวมวลต่อพลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า ตามสมการ (2-29) คือ

$$sfc_{\text{CHP}} = \frac{\dot{m}_g}{Q_{\text{generator}} + Q_{\text{exhaust}}} \quad (2-29)$$

3) การหาค่าความจุความร้อนของไอเสีย

3.1) ทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้ หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างเชื้อเพลิง(ส่วนใหญ่เป็นธาตุองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอน)กับออกซิเจนและปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา การเผาไหม้ที่สมบูรณ์หรือการเผาไหม้ที่ดี คือ การเผาไหม้ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วสามารถให้ปริมาณความร้อนเท่ากับค่าความร้อน (Calorific Value) ของเชื้อเพลิงแสดงไว้ในสมการ ที่ (2-30) ถึง (2-34)

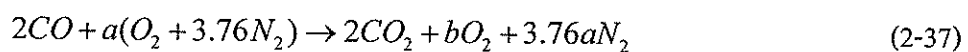
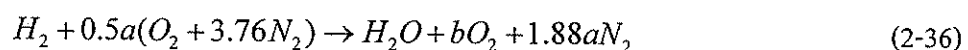
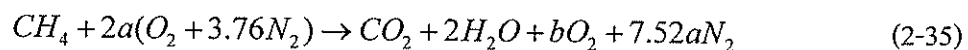


3.2) การหาค่าความจุความร้อนของไอเสีย

ตามสมการ (2-30) ถึง (2-34) จะเห็นว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำผลิตเป็นไอน้ำ หรือสร้างแรงดันในกระบอกสูบในเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งยังมีส่วนหนึ่งที่ไม่ได้ถูกใช้งาน จะถูกปลดปล่อยออกมาที่ปล่องหรือท่อไอเสีย

ความร้อนเหลือทิ้งจากท่อไอเสียสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในกรณีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน การคำนวณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาทางไอเสีย สามารถคำนวณได้โดยพิจารณาอุณหภูมิ อัตราการไหลโดยโมลของไอเสีย และค่าความจุความร้อนของแก๊สไอเสีย ซึ่งค่าความจุความร้อนของไอเสีย จะเป็นค่าความจุความร้อนของแก๊สไอเสียที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้(ปริชา สิริชาญ, 2544)จากการเผาไหม้โดยทฤษฎีแล้ว การเผาไหม้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในจะเป็นการเผาไหม้แบบปริมาณอากาศส่วนเกิน(Excess Air) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากแก๊สชีวมวล ซึ่งมีองค์ประกอบของ CO , H_2 , CH_4

การหาค่าความจุความร้อนของแก๊สไอเสีย จะเป็นผลรวมของความจุความร้อนของแก๊สไอเสียแต่ละตัว ตามสมการการเผาไหม้ สมการที่ (2-35) ถึง (2-37)



เมื่อ

a คือ ปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess air)

b คือ ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (Excess oxygen)

โดยที่ความจุความร้อนของไอเสียหาได้จากสมการ(ณรงค์ฤทธิ์ และทนงเกียรติ, 2548)

$$C_{Pmix} = \frac{\sum(Y_i M_i C_{P,i})}{M_{mix}} \quad (2-38)$$

เมื่อ

Y_i คือ เศษส่วน โดยโมลของก๊าซแต่ละชนิด

M_i คือ มวลโมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิด

M_{mix} คือ น้ำหนักรวมของก๊าซต่างๆในไอเสีย, kg

$C_{P,i}$ คือ ค่าความจุความร้อนของก๊าซแต่ละชนิดที่สภาวะอุณหภูมินั้นๆ, $kJ/kg^{\circ}C$

2.5.3 การอบแห้งวัสดุเกษตร โดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า

1) การนำไอเสียมาใช้ในการอบแห้ง

การนำความร้อนจากไอเสียมาใช้ประโยชน์แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1.1) Indirect Heat โดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat

Exchanger) อุปกรณ์ที่นิยมใช้มากที่สุด ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างง่ายและมีประสิทธิภาพ คือ แบบ Shell and Tube ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อเล็กๆ หลายๆ ท่อ สำหรับให้อากาศร้อน เหม่า และควันที่ได้จากการเผาไหม้ไหลผ่านภายในท่อ และออกทางปล่องควัน ส่วนอากาศเย็นจะไหลผ่านอยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างท่อเล็กๆเหล่านี้ เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผนังของท่อ และดูออกด้วยพัดลม เช่น พยุงศักดิ์ และวีระชัย (2551) เอาความร้อนจากไอเสียเข้าไปแลกเปลี่ยนกับน้ำในท่อแล้วนำน้ำร้อนไปกกลูกสุกร

1.2) Heat โดยการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นลมร้อน การใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นการผสมลมร้อนกับอากาศเย็นภายนอกในถึงผสม ทั้งนี้เหมาะกับวัสดุอบที่ไม่ต้องการความสะอาดของลมร้อน เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล

2) องค์ประกอบของเครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งมีองค์ประกอบหลัก ๆ อยู่ 3 ส่วน คือ

2.1) ชุดพัดลม

พัดลมเป็นตัวนำความร้อนจากเครื่องกำเนิดลมร้อน ไปถ่ายเทให้กับวัสดุในเครื่องลดความชื้น เพื่อให้คายความชื้นออกไปกับลมพัดผ่าน ความเร็วของลมมีความสัมพันธ์กับอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้น เนื่องจากที่รอบๆผิววัสดุ จะมีลักษณะของชั้นอากาศไม่เคลื่อนไหว (Film) หุ้มอยู่ ซึ่งขวางกั้นการถ่ายเทความร้อนและความชื้นระหว่างวัสดุชีวมวลและบรรยากาศ Film นี้จะบางไปตามความเร็วของลมที่พัดผ่าน ดังนั้นนอกจากอุณหภูมิของ

ลมร้อน ชนิดของวัสดุชีวมวลแล้ว อัตราลมร้อนยังมีส่วนสัมพันธ์กับอัตราการลดความชื้นเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามการใช้ลมร้อนในอัตราสูงเกินไป นอกจากจะทำให้วัสดุปลิวออกจากเครื่องลดความชื้นแล้วยังจะสูญเสีย เพราะลมบางส่วนจะถูกเป่าทิ้งไปในขณะที่ยังมีความสามารถถ่ายเทความร้อนและดูดซับความชื้นได้อยู่

2.2) ถังอบบรรจุวัสดุเพื่อลดความชื้น

เครื่องอบแห้งแต่ละชนิดก็จะมีลักษณะถังอบแตกต่างกันไป เช่น เครื่องอบแห้งแบบโรตารีมีถังอบเป็นทรงกระบอก เครื่องอบแห้งแบบกระบะ มีลักษณะถังอบเป็นสี่เหลี่ยม เป็นต้น

2.3) ชุดกำเนิดความร้อน

ชุดกำเนิดความร้อนเป็นแหล่งพลังงานความร้อนแก่วัสดุชีวมวล เพื่อให้วัสดุชีวมวลคายความชื้นสู่บรรยากาศด้านข้าง เครื่องลดความชื้นแบบไหลต่อเนื่อง โดยทั่วไปจะได้พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาเชื้อเพลิงผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เช่น LPG น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตา คิดเป็น 50% ของค่าใช้จ่ายในการลดความชื้น การใช้เชื้อเพลิงดิบ เช่น แกลบและซังข้าวโพดแทนผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม สามารถลดค่าใช้จ่ายในการลดความชื้นลงได้อย่างมาก ปัจจุบันได้มีการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์มาใช้ประโยชน์ได้ไม่ว่าจะปั่นไอลีเยอร์หรือน้ำหล่อเย็น มาเป็นแหล่งความร้อน

3) พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

3.1) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ซึ่งเป็นปริมาณของพลังงานที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยมวลของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุตามสมการ(2-38)

$$SEC = \frac{a(\sum E_{blower}) + \sum Q_h}{W_{in} - W_f} \quad (2-38)$$

เมื่อ

SEC คือ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, $\frac{MJ}{kg_{water}}$

$\sum E_{blower}$ คือ พลังงานที่ใช้สำหรับการขับพัดลม, MJ

$\sum Q_h$ คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง, MJ

W_{in} คือ น้ำหนักของวัสดุดิบก่อนอบ, kg

W_f คือ น้ำหนักของวัสดุดิบหลังอบ, kg

a คือ ค่าประสิทธิภาพเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า

สำหรับการคิดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งนั้น เนื่องจากค่า a มีความแตกต่างขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า ไฟฟ้าที่ใช้เป็นไฟฟ้าที่ผลิตได้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพ 21 % (กรณีการ มณีบุญ และคณะ, 2549) หรือกล่าวได้ว่า อัตราส่วนของพลังงานความร้อนต่อพลังงานไฟฟ้ามีค่าประมาณ 4.76 ดังนั้นการคิดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน จึงต้องเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อน โดยคูณแฟกเตอร์ 4.76 เข้ากับปริมาณพลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาไฟฟ้าที่ได้จากการไฟฟ้า ค่าอัตราส่วนของพลังงานอาจมีค่าต่ำกว่านี้เนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงกว่า

3.2) ประสิทธิภาพรวมการอบแห้ง

ประสิทธิภาพรวมการอบแห้งของเครื่องอบแห้ง สามารถประเมินได้จากความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อพลังงานความร้อนที่ให้อาศัยเชื้อเพลิงตามสมการ (2-38)

$$\eta_t = \frac{m_w h_{fg}}{Q_{exhaust}} \times 100 \quad (2-38)$$

เมื่อ

η_t คือ ประสิทธิภาพรวมการอบแห้ง, %

m_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำ, kJ/kg

$Q_{exhaust}$ คือ ค่าความร้อนของไอเสียที่นำมาใช้ได้, kW

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น การพัฒนาเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด การพัฒนาเครื่องคัดแยกและทำความสะอาด การพัฒนาเครื่องอบแห้ง เชื้อเพลิงชีวมวล การออกแบบโรงงานเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล การนำความร้อนเหลือทิ้งจาก เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้ามาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การพัฒนาเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมของเชื้อเพลิงชีวมวลขณะทำการตัด ตลอดจนหาตัวแปรที่มีผลต่อค่าคุณสมบัติทางกลในการตัด เช่น แรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือนสูงสุด พลังงานตัดจำเพาะ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบเครื่องคัดเชื้อเพลิงชีวมวล

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

1) เชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ทดสอบคือ ไม้กระถินยักษ์ โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวล ในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวล

Biomass	Cross Section Area (m ²)	Moisture Content (% wb)	Specific Gravity (SG)
ไม้กระถินยักษ์	2.5×10^{-4} (Ø=17.8 mm)	49.35	0.88
	5.1×10^{-4} (Ø=25.4 mm)	49.68	0.84
	11.4×10^{-4} (Ø=38.1 mm)	44.03	0.75
	20.2×10^{-4} (Ø=50.8 mm)	41.00	0.70

2) เครื่องมือและอุปกรณ์

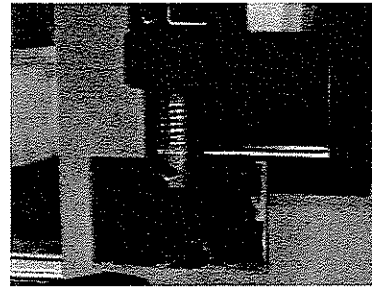
เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ นำมาใช้เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการทดสอบ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวัด และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3-2 และรูปที่ 3-1

ตารางที่ 3-2 พารามิเตอร์และเครื่องมือวัดในการทดสอบการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

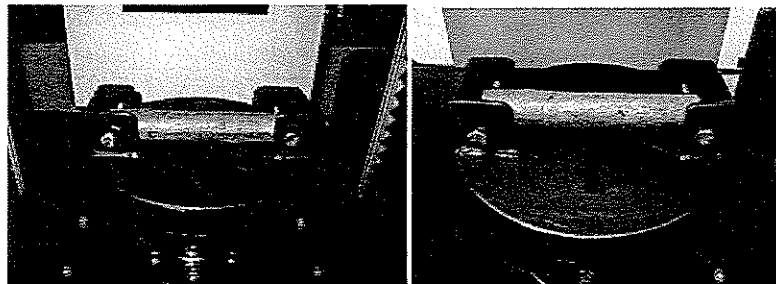
พารามิเตอร์	เครื่องมือวัด	ระบบการวัด
Shear Force	Universal Testing Machine: (UTM) MAX LOAD 50 kN	Laboratory Analysis



ก. เครื่องวัดแรงกด



ข. ไบมีด

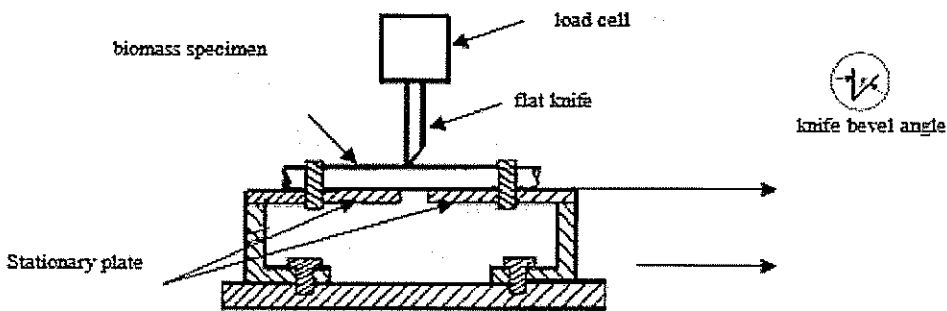


ค. แท่นรอง และจับยึดเชื้อเพลิงชีวมวล

รูปที่ 3-1 เครื่องวัดแรงกด และการติดตั้งไบมีด

3.1.2 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

ก่อนการศึกษาขั้นต้นจะต้องมีการจัดเตรียมตัวอย่างและเครื่องมือ คือ ไม้กระถิน ยักษ์ให้มีความยาว 177.8 mm (7") ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.8, 25.4, 38.1 และ 50.8 mm โดยทำการติดตั้งใบมีดและแท่นยึดไม้กับเครื่องมือวัดคุณสมบัติทางกล (Universal Testing Machine: UTM) ตามรูปที่ 4-14 แล้วทำการทดสอบกับไม้ที่มีขนาดดังกล่าวมาแล้ว ที่ความเร็ว 254 mm/min (Womac et al., 2005) โดยใช้ใบมีดขนาด กว้าง x ยาว x หนา 76.2 mm x 127 mm x 6 mm มีมุมคม 30 และ 45 องศา กดลงบนไม้ให้ใบมีดที่กดทำมุม 30, 45, 60 และ 90 องศา กับแนวแกนของไม้เชื้อเพลิง



รูปที่ 3-2 ลักษณะการติดตั้งการวัดแรงเฉือน โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine: UTM (Chattopadhyay and Pandey, 1999)

เมื่อทำการทดสอบกดไม้กระถินยักษ์ตามเงื่อนไขต่างๆ แล้วนำค่ามาวิเคราะห์หาค่าตามหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1) การหาค่าลึงเฉือน โดยนำค่าแรงเฉือนสูงสุด (peak load) ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะที่กดผ่านเนื้อไม้ (force-displacement) หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของไม้ ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการที่ (3-1) ดังนี้

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{3-1}$$

เมื่อ

- τ คือ กำลังเฉือน, Pa
- F คือ แรงเฉือน, N
- A คือ พื้นที่หน้าตัด, m^2

3.2) การหาพลังงานตัดจำเพาะ หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของแรงเฉือนและระยะที่ใบมีดกดผ่านเนื้อไม้ (force-displacement) และสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E = \frac{1}{A} \int F dx = n \times \frac{f}{A} \quad (3-2)$$

เมื่อ

- E คือ พลังงานตัดจำเพาะ, kN/m
 F คือ แรงเฉือน, N
 A คือ พื้นที่หน้าตัด, m²
 n คือ จำนวนหน่วยใต้กราฟแรงเฉือนและระยะที่กด

3.3) การออกแบบและวางแผนการทดสอบเครื่องต้นแบบโดยนำข้อมูลจากการทดสอบเบื้องต้นมาทำการศึกษาพลังงานที่ใช้ในการลดขนาด และกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการลดขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว ความชื้น โดยใช้ต้นแบบเครื่องสับย่อยแบบจานหมุนที่มีขนาดต้นกำลัง 30 แรงม้า (22 kW) ขนาดของไม้สับที่ได้จะมีลักษณะเดียวกับ ไม้ยูคาลิปตัสสับที่มีจำหน่ายในอุตสาหกรรมเกษตร โดยวัตถุดิบที่ทำการทดสอบเป็นไม้กระถินยักษ์ ที่ทำการเก็บเกี่ยวภายในแปลงทดลองไม้โตเร็ว และอีกวัตถุดิบหนึ่งคือการทดสอบการลดขนาดเหง้ามันสำปะหลัง โดยมีคุณลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างจากไม้กระถินยักษ์ ซึ่งขนาดที่ได้หลังจากการสับจะทำการวิเคราะห์ขนาดในส่วนของการคัดแยกและทำความสะอาดเชื้อเพลิงชีวมวล

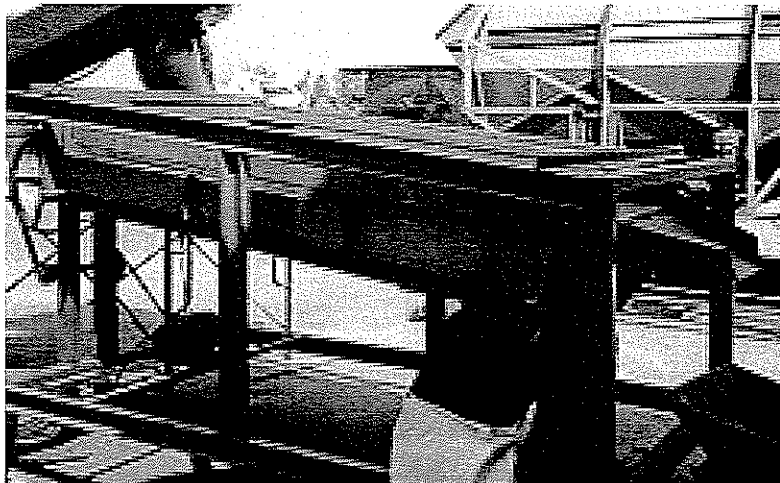
3.2 การพัฒนาเครื่องคัดแยกและทำความสะอาด

จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องของเครื่องคัดแยกและทำความสะอาดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 นั้น ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดแยกและทำความสะอาด โดยในการออกแบบทางวิศวกรรมในหัวข้อนี้ จะทำการออกแบบเฉพาะ โครงสร้างภายนอก (Configuration) ที่สำคัญ โดยกำหนดเครื่องคัดแยกและทำความสะอาดเป็นชนิดคัดแยกแบบสั้นสะเทือน เหตุผลเพราะเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป สำหรับการคัดแยกจะใช้ตะแกรงแยกขนาด (Screen) ที่สามารถแยกวัตถุดิบได้ 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ โดยใช้รูตะแกรง 8 ขนาด เพื่อนำมาสร้างและทดสอบเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงเครื่องคัดแยกและทำความสะอาดต่อไป

3.2.1 คุณลักษณะสำคัญของเครื่องต้นแบบเครื่องคัดขนาดที่พัฒนาสร้างใหม่
ลักษณะของเครื่องคัดแยกและทำความสะอาดดังกล่าวได้แสดงรายละเอียดไว้ใน
ตารางที่ 3-3 และรูปที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลรายละเอียดของเครื่องคัดแยกและทำความสะอาดที่พัฒนาสร้างใหม่

พารามิเตอร์	ข้อมูล
ขนาดเครื่อง (มม.)	1,250 x 2,400 x 2,500 (กว้าง x ยาว x สูง)
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	1,000 กิโลกรัม (ไม่รวมค้ำตั้ง)
ค้ำตั้ง (แรงแม้า)	3 แรงแม้า (2.2 kW)
ระบบถ่ายทอดกำลัง	सानพานรื่อง B
ลักษณะตะแกรง	สามารถเปลี่ยนได้ สามารถแยกขนาดได้ 3 ขนาด เล็ก กลางและใหญ่



รูปที่ 3-3 เครื่องคัดแยกและทำความสะอาดที่พัฒนาสร้างใหม่

3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพ

- 1) ทำการศึกษาขนาดที่เหมาะสมโดยนำ ไม้กระถินยักษ์ และเหง้ามัน ลำปะหลังที่ผ่านการสับมาคัดแยกขนาดที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในเตาปฏิกรณ์โดยทำการสุ่มภายในกองจำนวน 10 จุด และนำมาผสมรวมกันและทำการแยกมาจำนวน 3 กอง ๆ ละ 1 กก. เพื่อทำการวิเคราะห์ขนาดของวัสดุคิบโดยใช้ตะแกรงร่อนจำนวน 8 ขนาด รูของตะแกรงร่อน 76.5, 50, 37, 25, 19, 13, 10 และ 6 มม. วัดสัดส่วนวัสดุที่ค้างบนตะแกรง โดยคิดเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักมีหน่วยเป็นกรัม และนำมาหาค่าเฉลี่ยขนาดที่สามารถนำไปใช้ได้ ส่วนซังข้าวโพดเป็นชีวมวลที่มีขนาดที่เหมาะสมอยู่แล้วจะไม่ทำการคัดแยกขนาด มีเพียงแต่กระบวนการทำความสะอาดฝุ่นและชิ้นส่วนขนาดเล็กที่เป็นปัญหาต่อการบล็อกหรือจับตัวกันเป็นก้อน
- 2) นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาออกแบบและเลือกขนาดของรูตะแกรงเครื่องร่อนเพื่อให้ขนาดชีวมวลตามต้องการและนำไปทดสอบในเตาผลิตแก๊สชีวมวล
- 3) ทำการทดสอบเครื่องคั่นแบบตะแกรงโยก (Oscillating Screen) และทำการเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตและการใช้พลังงานต่อหน่วยน้ำหนัก (kg/kw-hr) และนำข้อมูลไปใช้ในกระบวนการประเมินต้นทุนการผลิตเตรียมวัสดุคิบ

3.3 การพัฒนาเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

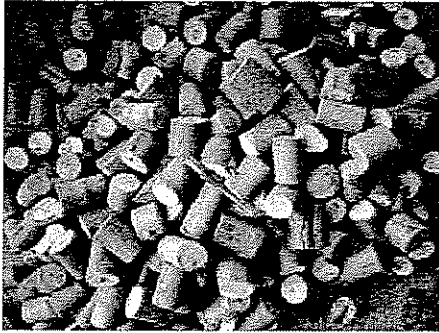
3.3.1 การศึกษาลักษณะการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

ปกติวิธีการลดความชื้นวัสดุทางการเกษตรในประเทศไทยจะใช้วิธีการตากแดด ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและประหยัด แต่มีข้อเสียคือ ใช้พื้นที่ในการตากมากและมีปัญหาในฤดูฝน ทำให้อุตสาหกรรมการแปรรูปทางการเกษตรที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่อง นำเครื่องอบแห้งเข้ามาใช้ในการลดความชื้นวัสดุคิบ ซึ่งใช้พื้นที่น้อยและใช้เวลาการลดความชื้นสั้นลง โดยใช้ความร้อนในการอบแห้งจากเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามการลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตร มีความแตกต่างกับการลดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลมาก ทั้งในส่วนของอุณหภูมิที่ใช้ ลักษณะการอบแห้ง ประกอบกับพบว่ายังไม่มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทย ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาลักษณะการอบแห้งของเชื้อเพลิงชีวมวลแบบต่างๆ 2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิในการอบ ขนาดของวัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง

1) อุปกรณ์และวิธีการ

1.1) เชื้อเพลิงชีวมวล

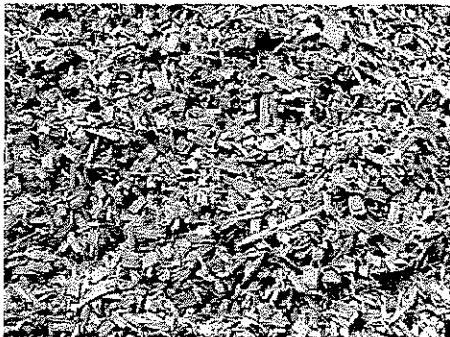
เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ทดสอบ คือ ไม้กระถินยักษ์ เหง้ามัน
 ลำปะหลัง ไม้กระถินยักษ์สับ เหง้ามันลำปะหลังสับ โดยมีคุณสมบัติรวมดังแสดงในตารางที่ 3-4 และ
 รูปที่ 3-4 ตามลำดับ



ก. ไม้กระถินยักษ์



ข. เหง้ามันลำปะหลัง



ค. ไม้กระถินยักษ์สับ



ง. เหง้ามันลำปะหลังสับ

รูปที่ 3-4 เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่างๆ

ตารางที่ 3-4 ชนิด ลักษณะทั่วไป และสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง

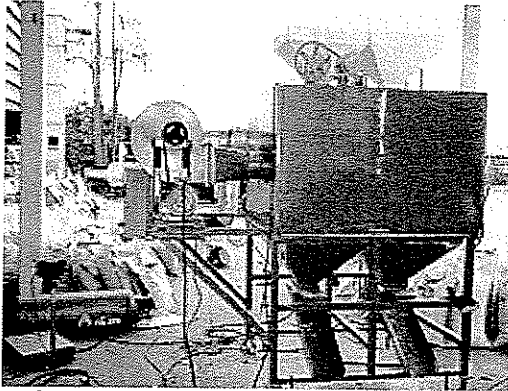
เชื้อเพลิงชีวมวล	ลักษณะและสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการอบแห้ง		
	ขนาด	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความชื้น %wb (%db)
ไม้โตเร็ว (กระถินยักษ์)	ยาว 50-70 mm	332	42-49 (72-96)
	ขนาด ϕ 25-60 mm		
เหง้ามันสำปะหลัง	ยาว 60-90 mm	193	48-57 (92-133)
	ขนาด ϕ 25-60 mm		
ไม้โตเร็ว (กระถินยักษ์) สับ	ผ่านตะแกรงรู ϕ 76.5mm แต่ไม่ผ่าน ตะแกรงรู ϕ 10mm	245	36-47(55-85)
	ผ่านตะแกรงรู		
เหง้ามันสำปะหลัง สับ	ϕ 76.5mm แต่ไม่ผ่าน ตะแกรงรู ϕ 10mm	313	50-55(100-115)
	ผ่านตะแกรงรู		

1.2) เครื่องมือและอุปกรณ์

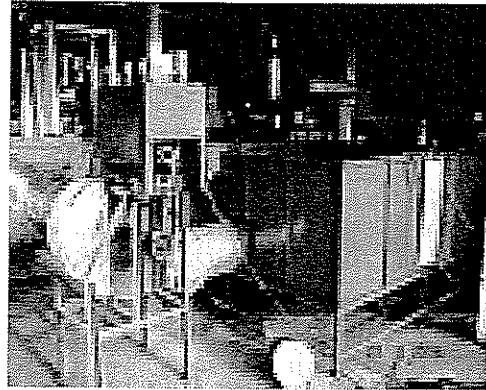
เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ นำมาใช้เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการทดสอบ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวัด และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3-5 และรูปที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 พารามิเตอร์และเครื่องมือวัดในการทดสอบการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

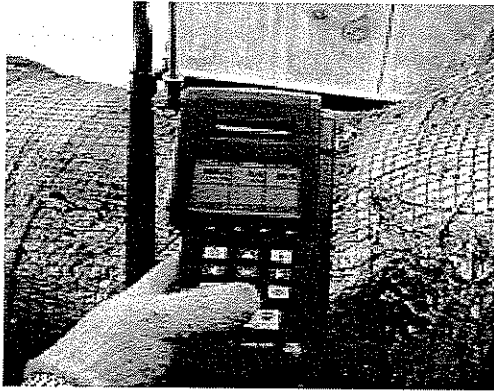
พารามิเตอร์	เครื่องมือวัด	ระบบการวัด
Temperatures		
Hot air temperatures, °C	Thermocouple Type K	Onsite Measure
Humidity, %RH	Thermo hygrometer	Onsite Measure
Electrical measurement		
	Power meter	Onsite Measure
Flow rates		
Air flow rate	Anemometer	Onsite Measure
Hot Air flow rate	Flue Gas Analyzer	Onsite Measure
weight	เครื่องชั่งน้ำหนัก	Manual



ก. เครื่องอบแห้งแบบ โรตารี(Rotary Drum Dryer)



ข. เครื่องอบแห้งแบบกระเพาะ(Batch Dryer)



ค.Flue Gas Analyzer



ง. Thermo Hygrometer

รูปที่ 3-5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการอบแห้ง

1.3) ขั้นตอนและวิธีการ

จากการศึกษาขั้นต้นเราเลือกเครื่องอบแห้งแบบโรตารี มีความจุถังอบ 0.5 m^3 ความเร็วรอบถังอบ 2.5 rpm ปริมาณลมร้อน $15 \text{ m}^3/\text{min}$ การเวียนลมร้อน 100% แหล่งความร้อนที่ใช้แก๊ส LPG ส่วนเครื่องอบแห้งกระเพาะ(อบแห้งลำไย)ของกลุ่มงานวิจัยหลังการเก็บเกี่ยว กองเกษตรวิศวกรรม โดยมีรายละเอียดคือ มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง ($2310\text{mm} \times 2310\text{mm} \times 600\text{mm}$) หรือ ประมาณ 3.2 m^3 แต่ในการทดสอบนี้ใช้ความสูงเพียง 0.05 m หรือความจุประมาณ 2.67 m^3 ปริมาณลมร้อน $3,007 \text{ m}^3/\text{hr}$ โดยแหล่งความร้อนจะมาจากไอเสียของเครื่องยนต์โดยตรงที่สภาวะการทำงานสูงสุดที่ 80 kW โดยไอเสียจะถูกนำมาผสมกับอากาศจากภายนอกภายในถังผสมโดยตรงจึงทำให้ค่าความร้อนสูญเสียไม่มาก โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะอยู่ประมาณ $125^\circ\text{C} - 135^\circ\text{C}$ โดยวิธีการทดสอบดังนี้

3.3.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงเวลาต่างๆ

1) เครื่องอบแห้งโรตารี

เตรียมไม้กระถินยักษ์ท่อนให้มีขนาดความยาวประมาณ 5 -7 cm ใส่ในห้องอบของเครื่องอบแห้งจนเต็ม ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น เตรียมตัวอย่างไม้กระถินยักษ์ท่อนใส่ลงในถุงตาข่ายจำนวน 3 ถุง ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นแต่ละถุง แล้วนำไปใส่ในห้องอบ เติมน้ำในเครื่องอบโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 100 °C โดยหมุนเวียนลมร้อน 100% จดบันทึกน้ำหนักในถุงตาข่ายทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยมากจึงหยุดการทดลอง สุดท้ายนำไม้กระถินยักษ์ท่อนตัวอย่างไปอบหาน้ำหนักแห้ง โดยใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักแห้ง ทำซ้ำโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 130 °C กับแห้งมันสำปะหลังท่อน ส่วนไม้โคเร็วสับ และแห้งมันสำปะหลังสับทำการเตรียมตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวน 3 ถุงอบที่อุณหภูมิ 130 °C โดยปฏิบัติตามขั้นตอนขั้นต้น

2) เครื่องอบแห้งแบบกระบะ

ใส่ไม้กระถินยักษ์สับลงไปจนถึงอบที่ความสูง 50 cm ในการอบแห้ง กระถินยักษ์สับทำการเก็บตัวอย่างแบ่งเป็นชั้นๆ ที่ความสูง 0 cm (ชั้นล่าง), 25 cm (ชั้นกลาง) และ 50cm (ชั้นบน) รวม 3 ชั้นๆละ 5 ตัวอย่างแล้วทำการอบแห้งโดยเก็บตัวอย่างทั้ง 15 ตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมงจนน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง แล้วนำตัวอย่างไปหาน้ำหนักแห้ง โดยเข้าตู้อบ (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อหาน้ำหนักแห้ง แล้วนำข้อมูลมาหาค่าความชื้นแต่ละชั่วโมง โดยใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละชั้น เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลจนถึงความชื้นที่ต้องการ ทำซ้ำโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่ 130 °C กับแห้งมันสำปะหลังสับ

3) การหาค่าปริมาณพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง

ทำการวิเคราะห์หาพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลตั้งแต่ความชื้นเริ่มต้นจนถึงความชื้นเป้าหมาย ทั้งนี้ความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 15%wb โดยทำการคำนวณพลังงานที่ใช้ในเครื่องอบแห้งซึ่งในที่นี้ใช้แก๊ส LPG มีค่าความร้อน (HHV) 49,300 kJ/kg ใช้สมการที่ (4-9) โดยรวมกับพลังงานที่ใช้ไปในการขับพัดลม แล้วทำการคำนวณหาน้ำหนักของน้ำที่หายไปตั้งแต่ความชื้นเริ่มต้นจนถึงความชื้น 15%wb นำมาคำนวณหาค่าพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง (SEC) ตามสมการที่ (4-10) ส่วนในเครื่องอบแห้งแบบกระบะค่าพลังงานความร้อนในการอบแห้งจะใช้ไอเสียจากเครื่องยนต์ซึ่งถือว่าไม่มีต้นทุนจากแหล่งความร้อน แต่จะมีค่าพลังงานที่ใช้ไปในการขับพัดลมเพียงอย่างเดียว

$$Q_h = \frac{HHV \times M_{LPG}}{t \times 3600} \quad (3-3)$$

เมื่อ

Q_h คือ พลังงานที่ให้เข้าไประบบ (kW)

HHV คือ ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)

M_{LPG} คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิง (kg)

t คือ เวลา (hr)

$$SEC = \frac{a(\sum E_{blower}) + \sum Q_h}{W_{in} - W_f} \quad (3-4)$$

เมื่อ

SEC คือ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะ, $\frac{MJ}{kg_{water}}$

$\sum E_{blower}$ คือ พลังงานที่ใช้สำหรับการขับพัดลม, MJ

$\sum Q_h$ คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง, MJ

W_{in} คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงก่อนอบ, kg

W_f คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงหลังอบ, kg

a คือ ค่าประสิทธิภาพเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า

สำหรับการคิดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งนั้น เนื่องจากค่า a มีความแตกต่างขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า ไฟฟ้าที่ใช้เป็นเป็นไฟฟ้าที่ผลิตได้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพ 21 % (กรรณิการ์ มณีบุญและคณะ, 2549) หรือกล่าวได้ว่าอัตราส่วนของพลังงานความร้อนต่อพลังงานไฟฟ้ามีค่าประมาณ 4.76 ดังนั้นการคิดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน จึงต้องเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อนโดยคูณแฟกเตอร์ 4.76 เข้ากับปริมาณพลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการพิจารณาไฟฟ้าที่ได้จากการไฟฟ้า ค่าอัตราส่วนของพลังงานอาจมีค่าต่ำกว่านี้เนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงกว่า

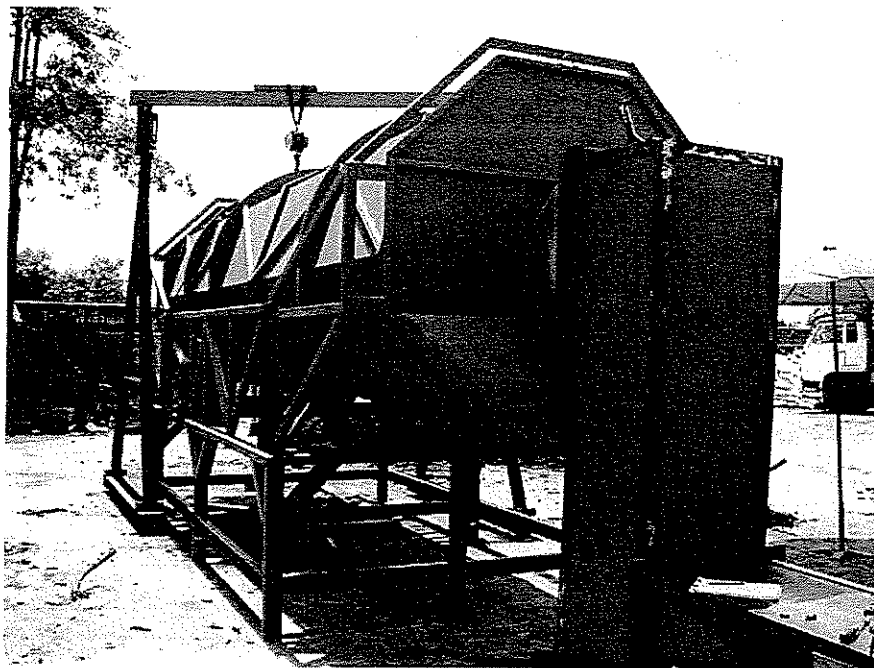
3.4 การออกแบบโรงงานเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลขนาด 3 ตัน/วัน

3.4.1 การออกแบบขั้นตอนและวิธีการเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล

จากการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแต่ละเครื่องต้นแบบ ได้นำข้อมูลมาออกแบบโรงงานเตรียมเชื้อเพลิงที่มีขนาด 3 ตัน/วัน ซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กับความการเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้า ขนาด 100 kW โดยข้อมูลจากการทดสอบแต่ละเครื่อง พบว่า เครื่องสับมีสมรรถนะได้ตามความต้องการของขนาดโรงงานเตรียมเชื้อเพลิง คือ 3 ตัน/ชม ซึ่งในกรณีมีวัตถุดิบจำนวนมากสามารถเดินเครื่องสับเต็มวัน (6 ชั่วโมงการทำงาน) จะสามารถสับย่อยไม้ได้ถึง 18 ตันสดต่อวัน ซึ่งเป็นปริมาณพอเพียงที่จะใช้ใน 3 วัน หรือกล่าวได้ว่า 1 เดือนเครื่องเดินเพียง 10 วันก็พอต่อการเตรียมวัตถุดิบ

ส่วนเครื่องร่อนก็เช่นกันมีสมรรถนะ 3 ตันสด/ชม. ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับเครื่องสับก็จะทำให้การเตรียมวัตถุดิบในส่วนของการลดขนาดและการคัดแยกสามารถทำได้พร้อมกัน

ส่วนของการลดความชื้น พบว่า ปัจจัยหลายอย่างที่ต้องนำมาพิจารณาเมื่อต้องการพัฒนาเครื่องอบให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากการทดสอบเบื้องต้น ทางคณะผู้วิจัยได้ทดสอบเครื่องอบแห้งขนาดเล็กแบบ Rotary Dryer โดยใช้อุณหภูมิสูง 100°C และ 130°C จะใช้เวลาประมาณ 2.5-4.5 ชั่วโมงสำหรับ ไม้สับและเห้งไม้สำหรับปาล์มสับ ซึ่งเมื่อนำมาพัฒนาเป็นเครื่องอบ Rotary Dryer ขนาดใหญ่ที่จะรองรับความต้องการเชื้อเพลิงยังคงมีต้นทุนสูงมาก ดังรูปที่ 3-6 และต้องการคนที่มีความรู้ความชำนาญในการควบคุม ทางคณะผู้วิจัยจึงนำปัจจัยการทดสอบเบื้องต้นมาทดสอบเครื่องอบแบบกะบะ ซึ่งมีราคาถูก สามารถผลิตในประเทศได้โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาไม้โตเร็วที่ผ่านการลดขนาดจากเครื่องต้นแบบ และทำการร่อนเพื่อคัดขนาดและแยกสิ่งเจือปน พบว่า เมื่อทำการลดขนาดเป็น ไม้สับแทนไม้ท่อน จะทำให้ลดเวลาไปได้มาก เหลือเพียง 2-5 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ความชื้นประมาณ 15% โดยอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 125-135°C ที่น้ำหนักและความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบประมาณ 590-840 กก. และ 35.6-55.1%wb ตามลำดับ (ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในบทต่อไป) ซึ่งเมื่อเทียบเป็นปริมาณที่อบได้ต่อชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 130 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือ 3120 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งเพียงพอปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อวันของโรงไฟฟ้า

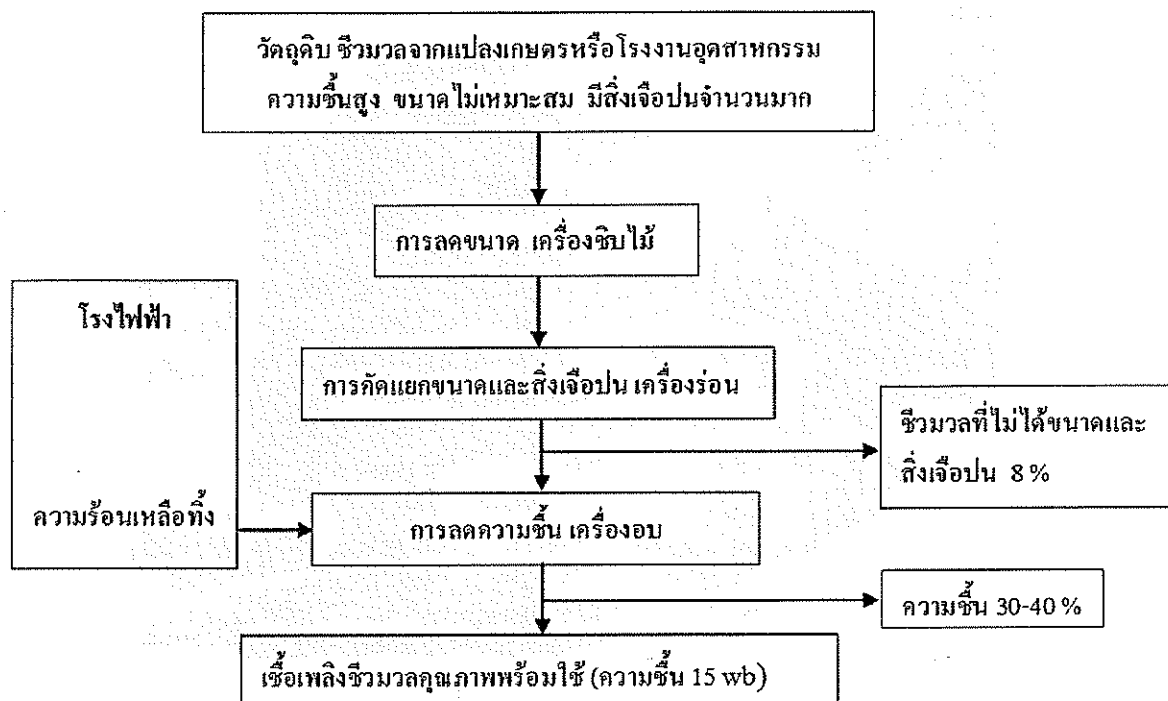


รูปที่ 3-6 เครื่องอบแบบ Rotary Dryer ขนาดใหญ่ที่พัฒนาขึ้น

3.4.2 การประเมินต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิง

การประเมินต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิง จะอาศัยข้อมูลการสำรวจและการศึกษาการกระจายตัวของเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่จะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ 1) เชื้อเพลิงที่อยู่รวมเป็นกลุ่ม ได้แก่ เศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากจากกระบวนการแปรรูป ณ ที่ใดที่หนึ่ง เช่น ชังข้าวโพด แกลบ ซึ่งเกิดขึ้น ณ โรงงานอุตสาหกรรมหรือแปลงเกษตรกรรม เป็นต้น 2) เชื้อเพลิงชีวมวลที่อยู่กระจัดกระจาย ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวมวลตามพื้นที่เพาะปลูกหรือไม่มีการรวบรวม เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย และ เหง้ามันสำปะหลัง

โดยการนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่อยู่กระจัดกระจายมาใช้เป็นเชื้อเพลิง จะมีข้อเสียเปรียบคือ เสียค่าใช้จ่ายในการรวบรวมเพิ่มขึ้น ดังกล่าว จะส่งผลให้ต้นทุนการเตรียมวัตถุดิบเพิ่มสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ไขจะแตกต่างกันไปแล้วชนิดของเชื้อเพลิง และการกระจายตัวของเชื้อเพลิงในพื้นที่เพาะปลูก เช่น ในกรณีของต้นทุนการเก็บรวบรวมเหง้ามันสำปะหลัง โดยใช้แรงงานคนมีค่าประมาณ 95 บาท/ตัน เป็นต้น กรอบแนวคิดการประเมินต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิงในการศึกษาครั้งนี้ จึงจะพิจารณาเฉพาะต้นทุนของการเตรียมเชื้อเพลิงในโรงงานเท่านั้น (ไม่พิจารณาด้านทุนการเก็บรวบรวม) โดยในกระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงในโรงงาน จะมีอยู่ 3 กระบวนการหลัก คือ 1) การลดขนาด 2) การคัดแยกและทำความสะอาด และ 3) การลดความชื้น ดังแสดงใน รูปที่ 3-7 โดยเชื้อเพลิงที่นำมาพิจารณามี 3 ชนิด คือ ไม้โคเร็ว (ไม้กระถินยักษ์) เหง้ามันสำปะหลัง และชังข้าวโพด



รูปที่ 3-7 แสดงกระบวนการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล

3.5 การศึกษาความสามารถในการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้ามาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

ในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบหาอัตราการสูญเสียพลังงานของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าที่ภาระงานต่างๆและนำความร้อนเหลือทิ้งที่ภาระการทำงานสูงสุดมาใช้ในการทดสอบการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล รวมทั้งเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ ในกรณีที่นำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้ามาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นว่าการนำเอาความร้อนเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ จะส่งผลให้ประสิทธิภาพรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น

3.5.1 วัสดุและอุปกรณ์

1) เชื้อเพลิงชีวมวล

ในการทดสอบการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้ามาใช้ในการอบแห้งใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการทดสอบ 2 ชนิด คือ ไม้โตเร็วสับ (ไม้กระถินยักษ์สับ) และเห้ง้ามันสำปะหลังสับดังแสดงใน รูปที่ 3-8 ขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้อบแห้งนั้นจะมีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงรูขนาด 10 มิลลิเมตร



ก. ไม้โตเร็วสับ (ไม้กระถินยักษ์สับ)



ข. เหง้ำมันสำปะหลังสับ

รูปที่ 3-8 เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการอบแห้ง

2) เครื่องมือและอุปกรณ์

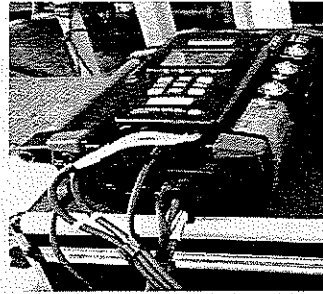
เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ นำมาใช้เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการทดสอบ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวัด และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3-6 และรูปที่ 3-9 โดยตำแหน่งติดตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 3-10

ตารางที่ 3-6 พารามิเตอร์และเครื่องมือวัดในการทดสอบเครื่องยนต์แก๊สชีวมวลและการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

พารามิเตอร์	เครื่องมือวัด	ระบบการวัด
Gas Composition (%V)	Gas Chromatography Shimazu GC14B	Laboratory Analysis
Exhaust temperature, °C	Flue Gas Analyzer	Onsite Measure
Cooling water temperatures, °C	Thermocouple Type K	Onsite Measure
Hot air temperatures, °C	Thermocouple Type K	Onsite Measure
Humidity, %RH	Thermo hygrometer	Onsite Measure
Electrical measurement	Power meter	Onsite Measure
Weight	เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ OHAUS รุ่น GT2100	Onsite Measure
Gas flow rate, m ³ /h	Gas Flow Meter	Onsite Measure
Air flow rate, m ³ /h	Anemometer	Onsite Measure
Exhaust gas flow rate, m ³ /h	Flue Gas Analyzer	Onsite Measure
Water flow , m ³ /h	Ultrasonic Flow Meter	Onsite Measure



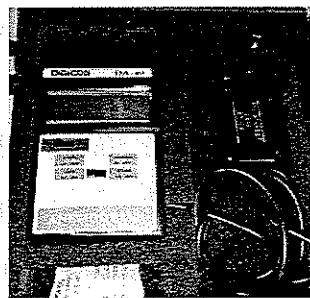
ก. Gas Chromatography



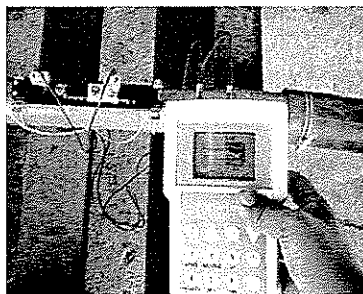
ข. Flue Gas Analyzer : Testo 350XL



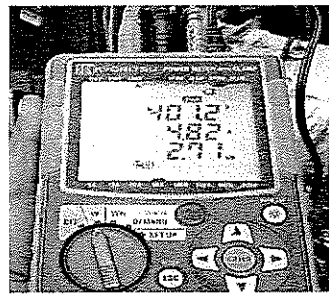
ค. Thermo Hygrometer



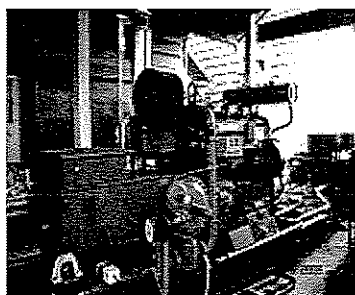
ง. Anemometer



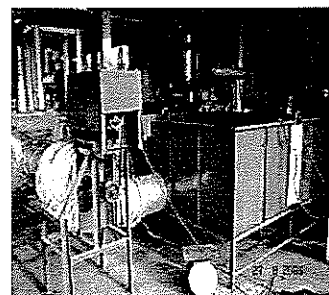
จ. Ultrasonic Flow Meter



ฉ. Power meter



ช. เครื่องยนต์แก๊สชีววมวลขนาด 100 กิโลวัตต์



ซ. เครื่องอบแห้งแบบกระบะพร้อมถังผสมอากาศ

รูปที่ 3-9 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการทดสอบเครื่องยนต์แก๊สชีววมวลและการอบแห้งเชื้อเพลิงชีววมวล

3.5.2 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

1) ทดสอบหาอัตราการสูญเสียพลังงานของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า

ในการศึกษาในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและความสามารถในการใช้พลังงานความร้อนร่วมโดยทำการเก็บข้อมูลการเดินระบบที่ภาระการผลิตไฟฟ้า 0, 20, 40, 60 และ 80 กิโลวัตต์ ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนและวิธีการดังนี้

1.1) พลังงานที่เข้าระบบ คือ การหาพลังงานของแก๊สชีวมวล โดยการเก็บตัวอย่างแก๊สเพื่อวิเคราะห์หา องค์ประกอบแก๊สโดยเครื่อง Gas Chromatography และเก็บข้อมูลปริมาณการไหลของแก๊สชีวมวลที่ภาระการทำงานต่างๆแล้วนำสัดส่วนของแก๊สมาคำนวณหาค่าความร้อนสูง (HHV) ของเชื้อเพลิงและนำไปหาปริมาณพลังงานที่ภาระการทำงานต่างๆ

1.2) พลังงานที่ออกจากระบบ ประกอบด้วย พลังงานที่ได้จากการผลิตไฟฟ้า พลังงานที่ถ่ายเทไปกับน้ำหล่อเย็น พลังงานถ่ายเทออกมาจาก ไอเสีย และพลังงานอื่นๆคือที่พลังงานสูญเสียตามอุปกรณ์อื่นๆ โดยพลังงานต่างๆมีวิธีการหาได้ดังต่อไปนี้

1.2.1) พลังงานที่ได้จากการผลิตไฟฟ้าสามารถวัดได้จากโดยใช้เครื่อง Power Meter และคำนวณได้ตาม สมการที่ (2-21)

1.2.2) พลังงานที่ถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นสามารถหาได้โดยวัดอุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกจากเครื่องยนต์ วัดปริมาณการไหลของน้ำหล่อเย็นซึ่งปริมาณน้ำหล่อเย็นที่วัดได้จากเครื่องยนต์โดยใช้เครื่อง Ultrasonic Flow Meter ซึ่งวัดได้ค่าอยู่ประมาณ 349.3 L/min ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ถูกควบคุมไว้ที่ 1,000 rpm แล้วคำนวณความร้อนที่ออกมากับน้ำหล่อเย็นตามสมการที่ (2-22)

1.2.3) พลังงานความร้อนที่ออกมากับไอเสียหาได้ตามทฤษฎี โดยการคำนวณจากการวัดปริมาณองค์ประกอบแก๊สชีวมวลต่างๆจากการวิเคราะห์อุณหภูมิ ปริมาณของไอเสียด้วยเครื่อง Flue Gas Analyzer แล้วนำมาสมมูลสมการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ตาม สมการที่ (2-34) ถึง (2-36) เพื่อมาคำนวณหาความจุความร้อนรวมของแก๊สไอเสียตามทฤษฎีในสมการที่ (2-37) แล้วคำนวณหาพลังงานความร้อนของไอเสียตามสมการที่ (2-23)

1.2.4) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ โดยนำผลมาวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ($\eta_{electrical}$) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะในการผลิตไฟฟ้า ($sfc_{electrical}$) พลังงานความร้อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ ($\eta_{heating}$) ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน (η_{CHP}) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน (sfc_{CHP}) ดัง สมการที่ (2-24) ถึง (2-28)

2) การทดสอบอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้ความร้อนจากไอเสีย

จากการศึกษาขั้นต้นเราเลือกเครื่องอบแห้งชนิดกระบะซึ่งเป็นแบบอยู่กับที่ (Static) มาใช้ในการทดสอบการอบแห้งเนื่องจากต้นทุนในการสร้างเครื่องไม่สูงและไม่มีกลไกซับซ้อนและน่าจะเหมาะสมกับโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยเครื่องอบแห้งในการทดสอบนี้เป็นเครื่องอบแบบกระบะ(อบแห้งลำไย)ของกลุ่มงานวิจัยหลังการเก็บเกี่ยว กองเกษตรวิศวกรรม โดยมีรายละเอียดคือ มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง (2310mm x 2310mm x 600mm) หรือ ประมาณ 3.2 ลูกบาศก์เมตรแต่ในการทดสอบนี้ใช้ความสูงเพียง 0.05 m หรือความจุประมาณ 2.67 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณลมร้อน 3,007 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยแหล่งความร้อนจะมาจากไอเสียของเครื่องยนต์ โดยตรงที่สภาวะการทำงานสูงสุดที่ 80 kW โดยไอเสียจะถูกนำมาผสมกับอากาศจากภายนอกภายในถังผสมโดยตรงจึงทำให้ค่าความร้อนสูญเสียไม่มากโดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะอยู่ประมาณ $125^{\circ}\text{C} - 135^{\circ}\text{C}$ ตามรูปที่ 3-11 โดยวิธีการทดสอบดังนี้

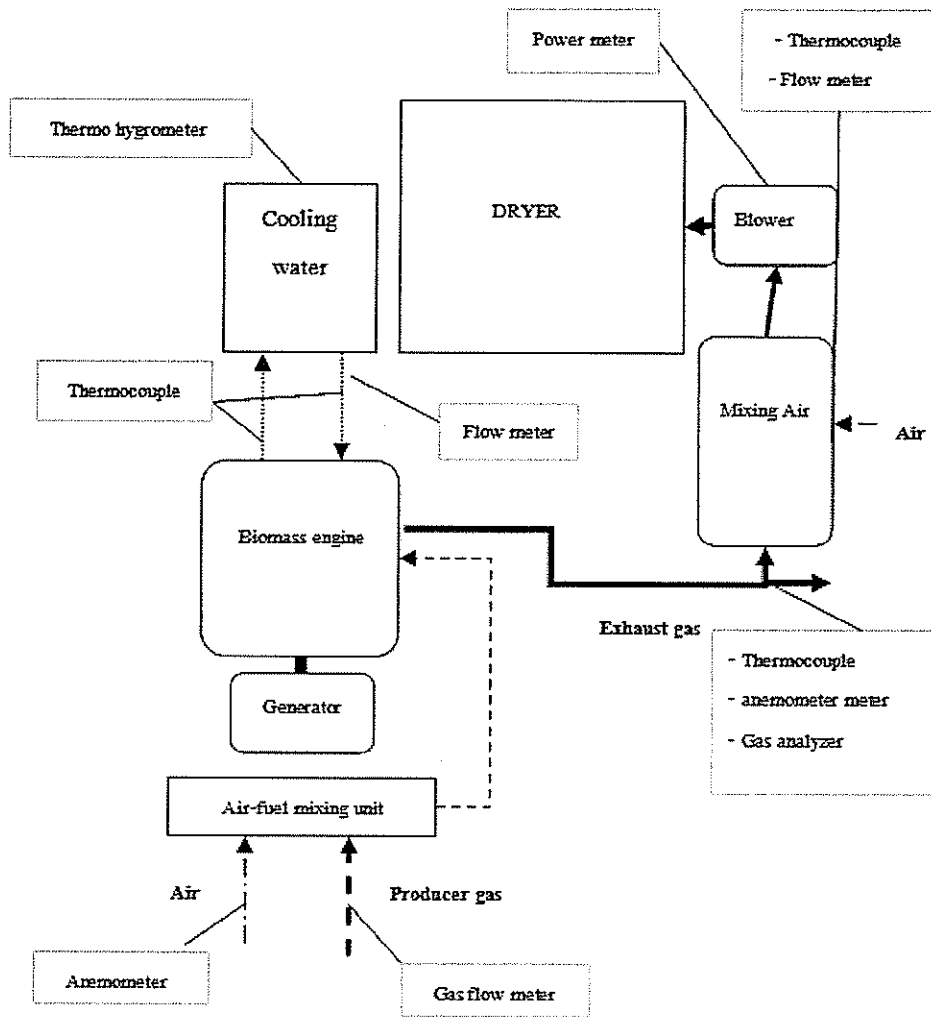
2.1) การหาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในการอบแห้ง โดยมีวิธีการ

ทดสอบตามหัวข้อ 3.3

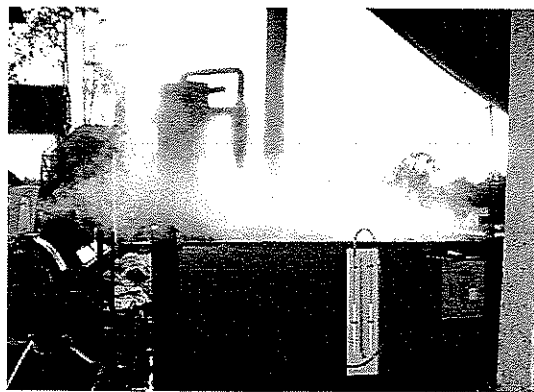
2.2) วิเคราะห์หาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในการอบแห้งที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์ขับเคลื่อน และพลังงานความร้อนที่ได้จากแก๊สไอเสียที่สภาวะการทำงาน 80 kW ซึ่งตลอดเวลาในการอบแห้งจนถึงความชื้นที่เราต้องการคือ 17.6%db (15%wb) และหาปริมาณน้ำที่ถูกระเหยไปจนเหลือความชื้น 17.6%db (15%wb) จากนั้นนำข้อมูลนั้นมาคำนวณตามสมการที่ (2-38) และการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพรวมของเครื่องอบแห้ง ทำได้โดยการหาพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำที่อยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลต่อพลังงานความร้อนที่ใส่เข้าไปในเครื่องอบแห้ง จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณตามสมการที่ (2-39)

3) การประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของต้นแบบ โรงไฟฟ้าชีวมวล

การประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากไม้โตเร็ว จะอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ จากนั้นนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพตามสมการที่ (2-15) ถึง (2-19) ตามที่ได้แสดงไว้ในขั้นต้น โดยแผนผังของการแสดงระบบวัดของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและความสามารถในการใช้พลังงานความร้อนร่วม ดังแสดงใน รูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 แผนผังแสดงระบบการวัดในระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานร้อน และการนำความร้อนไปใช้ในการอบแห้ง



รูปที่ 3-11 การทดสอบอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้ความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า

3.6 การจัดสัมมนาระดมความคิด และเผยแพร่ผลงานวิจัย

การจัดสัมมนาระดมความคิดและเผยแพร่ผลงานวิจัยนี้ มีการประชุมเตรียมงานระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 เพื่อให้เกิดสัมฤทธิ์ผลสูงสุดในการจัดงาน โดยลักษณะของงานมีทั้งการนำเสนอในรูปแบบของการบรรยายในห้องประชุมเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในหัวข้อต่างๆ และมีกิจกรรมการจัดการเรียนรู้เชิงประจักษ์ “โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร” เพื่อให้ผู้เข้าร่วมได้สัมผัสและเรียนรู้จากเทคโนโลยีต่างๆ โดยตรง และมีการกำหนดรายละเอียดของกำหนดการจัดงานดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 กำหนดการสัมมนา “โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี”

กำหนดการ	
“โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี:	
หลักการเตรียมและการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า การเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ และการนำของเสียที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์หมุนเวียน”	
วันที่ 11 -12 กุมภาพันธ์ 2552	
ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	

วันพุธที่ 11 กุมภาพันธ์ 2552	
เวลา 08:00 – 09:00	ลงทะเบียน
เวลา 09:00 – 10:00	พิธีเปิด
เวลา 10:00 – 10:15	พักรับประทานอาหารว่าง
เวลา 10:15 – 12:00	การบรรยาย “ทิศทางและนโยบายการบริหารจัดการขยะและชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนสำหรับประเทศไทย” โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรชัย อัจฉาญ หัวหน้า ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
เวลา 12:00 – 13:00	พักรับประทานอาหารกลางวัน
เวลา 13:00 – 15:00	การบรรยาย “เทคโนโลยีโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร ” และแนวทางการพัฒนากระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง และ ถ่านกัมมันต์จากชี้เถ้าโรงไฟฟ้าชีวมวล โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรชัย อัจฉาญ หัวหน้า ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3-7 กำหนดการสัมมนา “โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี” (ต่อ)

กำหนดการ (ต่อ)

เวลา 15:00 – 15:15 พักรับประทานอาหารว่าง

เวลา 15:15 – 17:00 การบรรยาย โรงไฟฟ้าชีวมวล “ผลตอบแทน และความเป็นไปได้ในการลงทุน” โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรชัย อาจหาญ หัวหน้าศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันพฤหัสบดีที่ 12 กุมภาพันธ์ 2552

เวลา 08:30 – 09:00 ชี้แจงกิจกรรมการจัดการเรียนรู้เชิงประจักษ์ “โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร” 4 ฐานการเรียนรู้ โดย วิทยากรประจำศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา 09:00 – 10:00 ฐานการเรียนรู้ “การเตรียมและการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล”

เวลา 10:00 – 10:15 พักรับประทานอาหารว่าง

เวลา 10:15 – 12:00 ฐานการเรียนรู้ “กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า และการเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ”

เวลา 12:00 – 13:00 พักรับประทานอาหารกลางวัน

เวลา 13:00 – 15:00 ฐานการเรียนรู้ “การนำของเสียที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์หมุนเวียน”

เวลา 15:00 – 15:15 พักรับประทานอาหารว่าง

เวลา 15:15 – 16:00 ฐานการเรียนรู้ “แนวทางการพัฒนากระบวนการผลิตถ่านอัดแท่ง และถ่านกัมมันต์จากขี้เถ้าโรงไฟฟ้าชีวมวล”

เวลา 16:00 – 17:00 ชักถาม และแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็น

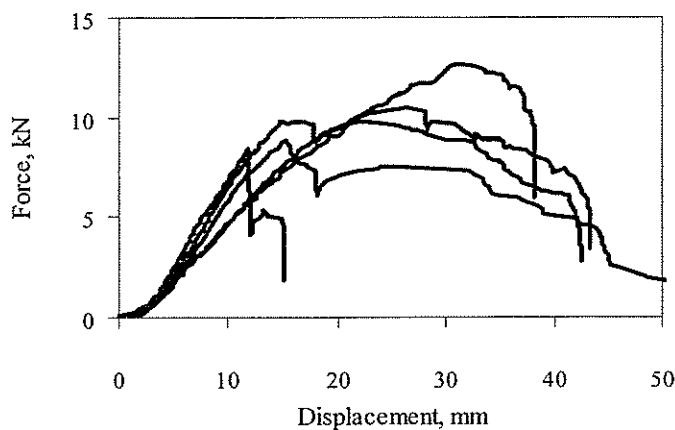
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

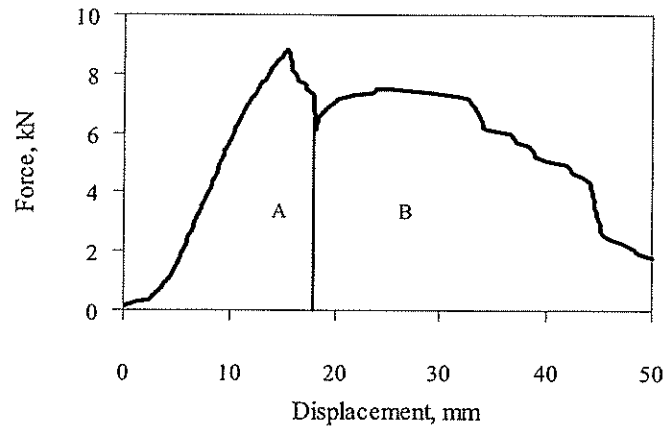
4.1 ผลการพัฒนาเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด

4.1.1 ลักษณะของ Force-displacement ที่ได้จากการตัด

รูปที่ 4-1 แสดงกราฟ force-displacement ของด้นกระถินยักษ์ จะเห็นได้ว่าลักษณะกราฟค่อนข้างจะแตกต่างกันทั้งระดับแรงเฉือนที่ใช้และรูปร่างของกราฟ รูปร่างของกราฟที่แตกต่างกันคือกราฟของด้นกระถินยักษ์ แรงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะของใบมีดที่ผ่านเนื้อไม้และเมื่อถึงจุดจุดหนึ่งแรงจะตกลง (peak point) หลังจากนั้น แรงจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ (fibrous material) Ince et al. (2005) ได้อธิบายพฤติกรรมของวัสดุเส้นใย ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณากราฟ force-displacement ของด้นกระถินยักษ์จะมีพฤติกรรมผสมระหว่างวัสดุแบบมีเส้นใย (fibrous materials) และ ไม่มีเส้นใย (non-fibrous materials) คือกราฟจะเกิดจุดสูงสุด (peak point) เพียงจุดเดียวเหมือนวัสดุไม่มีเส้นใย แต่หลังจากนั้นแทนที่แรงจะตกลงทันที แรงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเหมือนวัสดุมีเส้นใยแต่ไม่เกิดจุดสูงสุดชัดเจนเหมือนกับวัสดุเส้นใย ซึ่งสามารถแบ่งกราฟ force-displacement ออกเป็น 2 ส่วนดังรูปที่ 4-2 โดยส่วน A เป็นส่วนที่แรงกดกระทำร่วมกับแรงเฉือนบวกแรงต้านของเนื้อไม้ และเมื่อใบมีดผ่านเนื้อไม้ไประดับหนึ่ง เนื้อไม้จะเกิดการแตกทำให้แรงต้านภายในเนื้อไม้ลดลงโดยพฤติกรรมของแรงจะดำเนินต่อไปด้วยแรงกดกระทำร่วมกับแรงเฉือนบวกแรงต้านของเนื้อไม้อีกครั้ง



รูปที่ 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะทางของใบมีด (force-displacement) ต่อด้นกระถินยักษ์



รูปที่ 4-2 พฤติกรรมของแรงเฉือนในช่วงต่างๆ ของไม้กระถินยักษ์

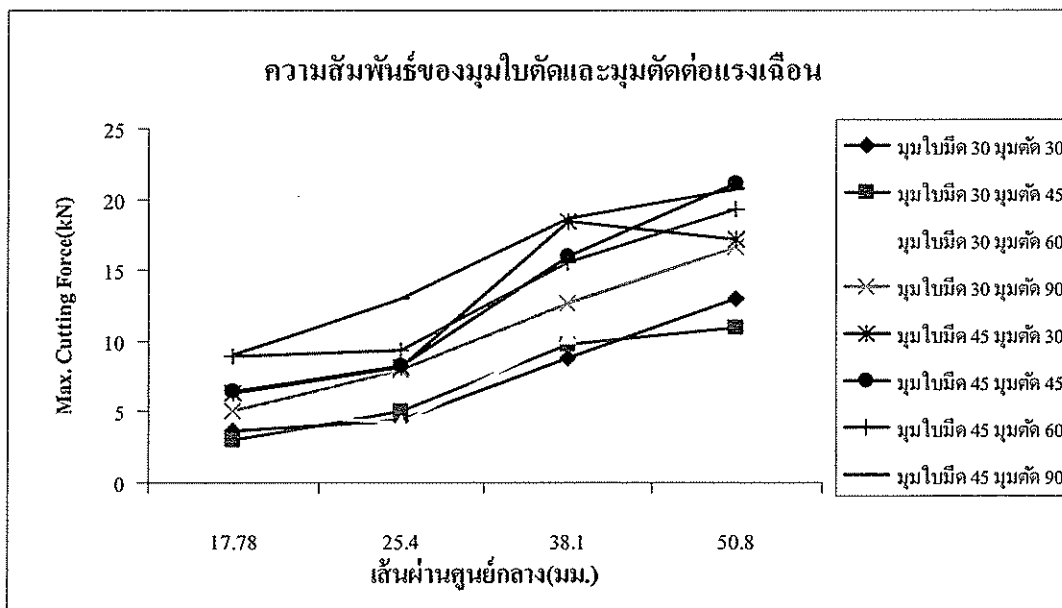
4.1.2 ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนสูงสุด

1) ขนาดของวัสดุ จากการทดสอบหาแรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดชีวมวล พบว่า แรงเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชีวมวล ทั้งนี้จะเห็นว่าค่าแรงเฉือนจะมีค่าเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า เมื่อใช้วัสดุทดสอบ ขนาดโตขึ้น จาก 17.8 mm เป็น ขนาด 50.8 mm ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-1 และเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนสูงสุดระหว่างมวมคมใบมีด 30 และ 45 องศา พบว่าการตัดวัสดุชีวมวล โดยใช้มวมคมใบมีด 30 องศา ค่าแรงเฉือนสูงสุด ในการตัดจะมีค่าน้อยกว่าวัสดุที่ใช้มวมคมใบมีด 45 องศา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4-3

2) มุมตัด จากการทดสอบหาแรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดชีวมวลพบว่า แรงเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับมุมตัด โดยการตัดที่ใช้มุมตัดที่น้อยกว่า จะทำให้ค่าแรงเฉือนสูงสุดน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนสูงสุด ของการตัดด้วยมุมตัดที่ 30 และ 45 องศา มีค่าน้อยกว่า การตัดด้วยมุมตัดที่ 60 และ 90 องศา มาก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-1 และเมื่อเปลี่ยนมวมคมใบมีดจาก 45 องศา เป็น 30 องศา พบว่าแรงเฉือนสูงสุดของการตัดจะมีค่าน้อยลง ดังแสดงในภาพที่ 4-3

ตารางที่ 4-1 ผลของมุมเอียงใบมีด (knife bevel angle) มุมที่มีดกระทำกับไม้ (cutting angle) และขนาดของวัสดุต่อค่าแรงเฉือนสูงสุด (max. cutting force; kN)

Diameter	Cutting Angle (°)							
	Knife Bevel Angle = 30°				Knife Bevel Angle = 45°			
	30	45	60	90	30	45	60	90
17.78 mm	3.69	3.03	5.06	5.05	6.35	6.48	8.93	8.97
25.4 mm	4.40	5.07	4.16	7.98	8.16	8.29	9.31	12.96
38.1 mm	8.82	9.75	10.44	12.61	18.47	15.95	15.58	18.62
50.8 mm	13.03	10.99	15.00	16.61	17.13	21.13	19.27	20.66



รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ของมุมใบมีดและมุมตัดต่อแรงเฉือน

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของการตัด

หลักการ Multiple linear regression ถูกใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ขนาดวัสดุ มุมใบมีด มุมตัด ค่าความชื้น และ ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าคุณสมบัติทางกลของการตัด ในที่นี้คือ ค่าแรงเฉือนสูงสุด ค่ากำลังเฉือนสูงสุด และ ค่าพลังงานตัดจำเพาะ ดังแสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-2 สมการสำหรับทำนายค่าคุณสมบัติทางกลของการตัดของต้นกระถินยักษ์

Cutting Properties	Predictive Model	R ²
Max. Cutting Force	$= -13.20 + 0.31D + 0.30B + 0.05C$	0.861
Max. Shear Strength	$= -23687.50 + 298.62B + 181.70C + 10131.32 SG$	0.791
Specific Cutting Energy	$= 52.59 + 4.21B + 2.68C - 3.86M$	0.812

เมื่อ : D = ขนาดไม้ (mm), B= มุมใบมีด (องศา), C = มุมตัด (องศา), SG = ค่าความถ่วงจำเพาะ (SG), M = ค่าความชื้น (wb)

จากตารางที่ 4-2 ค่าคุณสมบัติทางกลของการตัดของต้นกระถินยักษ์สามารถที่จะทำนายได้ ซึ่งดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) ที่สูง โดยสมการทำนายค่าแรงเฉือนสูงสุดให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด คือ R² = 0.861 รองลงมาคือ ค่าพลังงานตัดจำเพาะ และ ค่ากำลังเฉือนสูงสุด ที่ R² = 0.812 และ R² = 0.791 ตามลำดับ จากสมการทั้งสามสมการ ค่ามุมใบมีดและมุมตัดเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติทางกลของการตัด รองลงมาคือ ขนาดไม้ ค่าความชื้น และ ค่าความถ่วงจำเพาะ

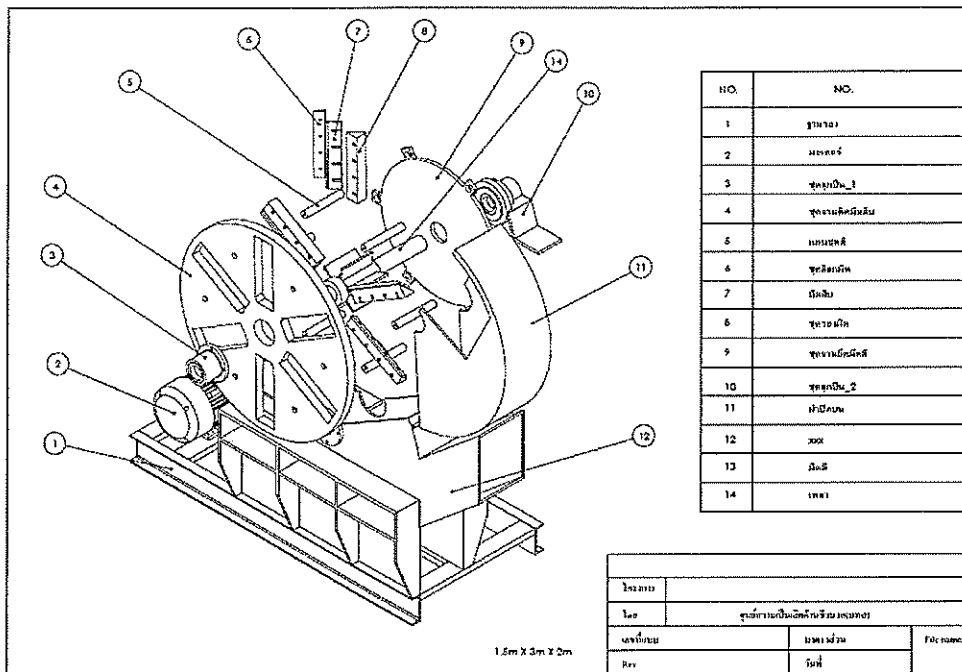
4.1.4 การออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบและทดสอบสับ/ย่อยแบบจานหมุนและการทดสอบประสิทธิภาพ

1) คุณลักษณะสำคัญของเครื่องต้นแบบเครื่องหั่นย่อยที่พัฒนาสร้างใหม่

ผลการศึกษาคุณสมบัติกำลังแรงเฉือนของเชื้อเพลิงชีวมวล ได้ถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบตามหลักทางวิศวกรรมเพื่อสร้างเครื่องหั่นย่อยต้นแบบ ชนิดจานหมุน ทั้งนี้คุณลักษณะสำคัญของเครื่องต้นแบบดังกล่าวได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ข้อมูล/ข้อกำหนดการออกแบบทางวิศวกรรมของเครื่องหั่นย่อยต้นแบบชนิดจานหมุน

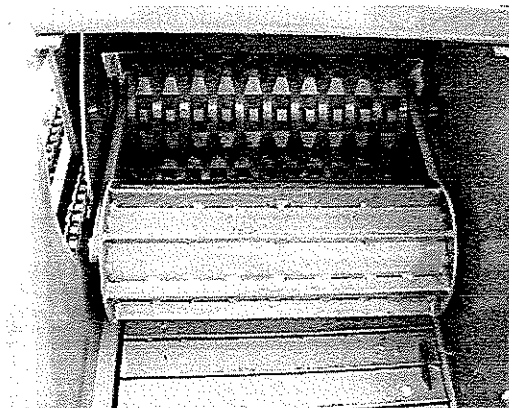
พารามิเตอร์	ข้อมูล/ข้อกำหนด
ขนาดเครื่อง(มม.)	1450x830 x1150 (กว้างxยาวxสูง)
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	850 กิโลกรัม (ไม่รวมต้นกำลัง)
ต้นกำลัง (แรงม้า)	30 แรงม้า (22 kw)
อัตราทด	1:1.5 (พูลเลย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 นิ้ว)
ระบบถ่ายทอดกำลัง	สายพานร่อน B จำนวน 4 เส้น
ลักษณะชุด ใบมีด	มุมใบมีด 30 องศา ทำจากเหล็กกล้าคุณภาพสูง เกรด SKD 11 มีคุณสมบัติในการใบมีดตัดโลหะ ผ่านการชุบแข็ง มีความแข็งระหว่าง 50-62 HRC



รูปที่ 4-4 แบบเครื่องต้นแบบเครื่องหั่นย่อยชนิดจานหมุนที่พัฒนาสร้างใหม่

2) การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพ

การทดสอบและศึกษาการย่อย/สับเชื้อเพลิงชีวมวล โดยใช้เครื่องสับ/ย่อยชนิดหัวสับ/ย่อย ชนิดจานหมุน (Flywheel Type) ที่พัฒนาขึ้นต้น โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 4-5 มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง (830mm x 1450mm x 1150mm) มีใบมีดสับ 4 ใบ ขนาดงานสับ 800 mm. ใช้ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 22 kW ความเร็วรอบ 900 RPM กำลังการผลิตเฉลี่ย 3 ตันต่อชั่วโมง



รูปที่ 4-5 เครื่องสับ/ย่อยวัสดุชีวมวล (Chipper) ชนิดหัวสับ/ย่อยชนิดจานหมุน (Flywheel Type) และระบบป้อนที่พัฒนาขึ้นสำหรับแห่งามันสำปะหลัง

จากผลการศึกษาสมรรถนะและประสิทธิภาพ ซึ่งการทดสอบจะใช้แรงงานคนในการป้อนวัตถุดิบ ซึ่งพบว่า หากต้องการให้เครื่องสับ/ย่อย มีสมรรถนะสูงและเต็มประสิทธิภาพ จำเป็นต้องใช้คนงานในการป้อนวัตถุดิบให้ทัน ดังกล่าวจะไม่มีปัญหาในกรณีที่เป็นไม้กระดั้นยักษ์เพราะสามารถป้อนได้อย่างต่อเนื่อง แต่ในส่วนเห้งน้ำมันสำปะหลังที่มีแขนงและรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอ มีผลให้ป้อนวัตถุดิบลำบาก ซึ่งจำเป็นต้องพัฒนาระบบป้อน (Feeder) โดยใช้เครื่องจักรที่สามารถป้อนวัตถุดิบได้อย่างต่อเนื่องต่อไป

ทั้งนี้ ผลการทดสอบประสิทธิภาพ ดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 4-4 และตารางที่ 4-5 พบว่าสมรรถนะของเครื่องต่อการสับ/ย่อย เห้งน้ำมันสำปะหลัง เฉลี่ยเท่ากับ 1.59 ตัน/ชั่วโมง ในส่วนของไม้กระดั้นยักษ์อยู่ในช่วง 1.23-1.82 ตัน/ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเชื้อเพลิง กล่าวคือเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่จะให้กำลังการผลิตสูงกว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็ก (กรณีไม้กระดั้นยักษ์) อย่างไรก็ตาม เมื่อประเมินเป็นพลังงานที่ใช้ในหน่วย kWh ต่อการสับ/ย่อย 1 ตัน พบว่า ทั้งการเตรียมเชื้อเพลิงเห้งน้ำมันสำปะหลัง และไม้กระดั้นยักษ์ ก่อนข้างใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 9.69-11.05 kWh/ton

ตารางที่ 4-4 การทดสอบกำลังการสับ/ย่อยสูงสุดของเครื่องสับ/ย่อยเห้งน้ำมันสำปะหลัง

การทดลองที่	น้ำหนัก * (kg)	เวลาที่ใช้ (s)	กำลังที่ใช้ (kW)	สมรรถนะ (ton/hr)	พลังงานที่ใช้ในการสับ (kWh/ton)
1	300	606.74	15.65	1.78	8.79
2	311	761.63	14.95	1.47	10.17
3	295	689.61	15.65	1.54	10.16
4	302	688.10	16.07	1.58	10.17
เฉลี่ย	302.00	686.52	15.58	1.59	9.82

หมายเหตุ *ความชื้น 53.5% wb. ความหนาแน่นก่อนสับ 193 kg/m³ ความหนาแน่นหลังสับ 332 kg/m³

ตารางที่ 4-5 การทดสอบกำลังการสับ/ย่อยสูงสุดของเครื่องสับ/ย่อยกระดิ่ง

ขนาดไม้กระดิ่ง		น้ำหนักรวม ¹ (kg)	เวลาที่ใช้ รวม (s)	กำลัง ที่ใช้ (kW)	สมรรถนะ (ton/hr)	พลังงาน ที่ใช้ในการสับ (kWh/ton)
เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (D) (cm)	ความยาว (L) (cm)					
2.5	150	1233	3600	13.62	1.23	11.05
2.5	220	1385	3600	13.41	1.38	9.69
6	150	1714	3600	17.74	1.71	10.35
6	350	1818	3600	18.25	1.82	10.04

หมายเหตุ¹ ความชื้น 25% wb. ความหนาแน่นก่อนสับ 178.2 kg/m³

จากผลการศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนการสับ/ย่อยเหง้ามันสำปะหลัง และกระดิ่งขนาดต่างๆ สามารถแสดงไว้ใน ตารางที่ 4-6 ทั้งเหง้ามันสำปะหลังและไม้กระดิ่ง ต้นทุนการลดขนาด โดยการสับ/ย่อย ของเชื้อเพลิง ทั้ง 2 ชนิด จะอยู่ในช่วง 120-166 บาทต่อตัน สำหรับกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการสับ/ย่อย ในกรณีของการใช้ต้นกำลังเครื่องยนต์ดีเซลต้นทุนในการสับ/ย่อยจะอยู่ในช่วง 143-212 บาท/ตัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ต้นกำลังเป็นมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ ขนาดวัตถุดิบที่ทำการลดขนาด และค่าจ้างแรงงาน

ตารางที่ 4-6 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการสับ/ย่อยเหง้ามันสำปะหลังและกระถินยักษ์
ขนาดต่างๆ

วัสดุ	ต้นทุนการสับ/ย่อย (บาทต่อตัน)						
	ค่าใช้ เครื่องสับ/ ย่อย ¹	ค่าซ่อม บำรุง สับใบมีด ²	พลังงานที่ใช้สับ ³		ค่าแรง ⁴	รวม	
			ไฟฟ้า	ดีเซล		กรณีใช้ ไฟฟ้า	กรณีใช้ ดีเซล
เหง้ามันสำปะหลัง	63	9.4	34	66	26	132	165
ไม้กระถินยักษ์							
D x L = 2.5 x 150 cm ²	81	12.2	39	85	33.5	166	212
D x L = 2.5 x 220 cm ²	72	10.9	34	76	29.9	147	189
D x L = 6 x 150 cm ²	58	8.8	36	61	24.1	127	152
D x L = 6 x 350 cm ²	55	8.2	35	57	22.7	120	143

หมายเหตุ ¹ค่าเครื่องสับ พิจารณาต้นทุนเป็นชั่วโมงๆ ละ 100 บาทต่อชั่วโมง

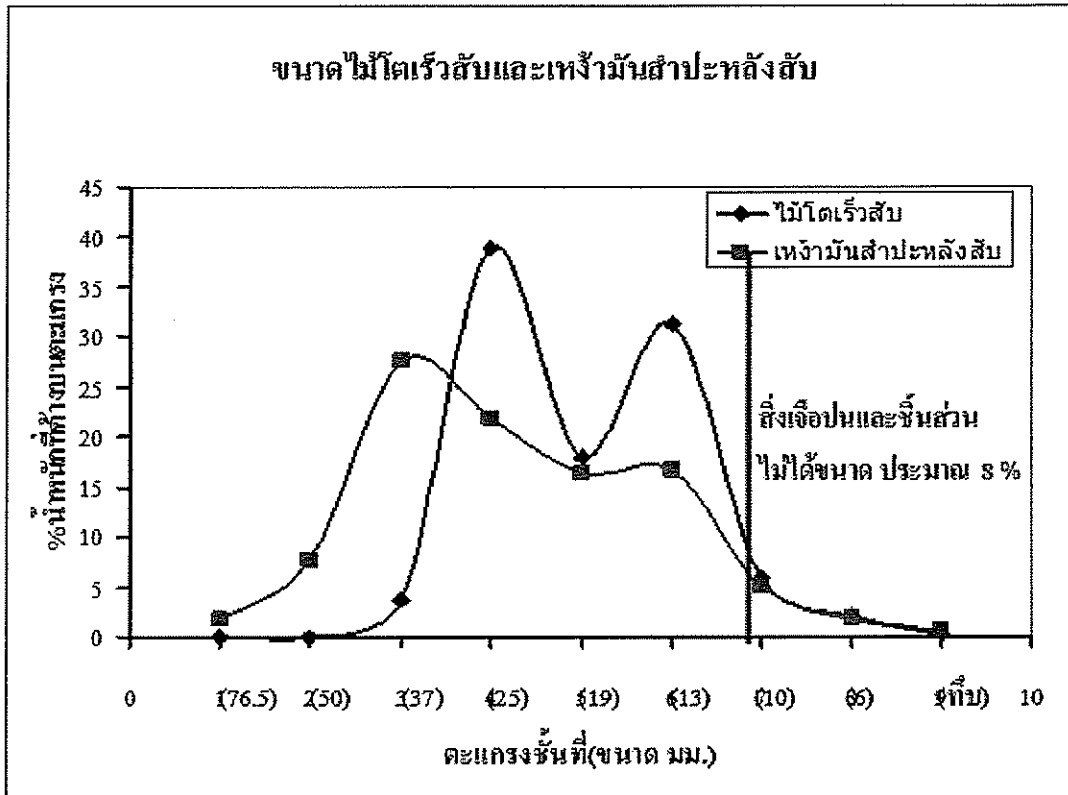
²ค่าซ่อมบำรุงสับใบมีดพิจารณาต้นทุนเป็นชั่วโมงๆ ละ 15 บาทต่อชั่วโมง (อายุการใช้งาน 1000 ชั่วโมง ราคาต่อชุด 15000 บาทต่อจำนวน 4 ใบ)

³สมมติให้ค่าไฟฟ้าราคาหน่วยละ 3.5 บาท /ถ้าใช้ต้นกำลังเครื่องยนต์ดีเซลใช้ 3 ลิตรต่อชั่วโมง ลิตรละ 35 บาท/ลิตร (ไม่รวมค่าเช่าแทรกเตอร์)

⁴ใช้แรงงาน 2 คน ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง (ค่าแรงงานขั้นต่ำ จังหวัดนครราชสีมา วันละ 165 บาท/วัน ประกาศ ณ วันที่ 1 ม.ค. 51)

4.2 ผลการพัฒนาเครื่องคัดแยกและทำความสะอาด

จากผลการทดสอบพบว่า วัสดุที่ผ่านการสับและทำการร่อนจะมีอยู่ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์
ที่ไม่สามารถนำมาใช้งานในเตาได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4-6 ซึ่งจะประกอบไปด้วยสิ่งเจือปน และชิ้น
วัสดุที่ไม่ได้ขนาด มีอัตราการทำงานค่อนข้างเร็วอยู่ในช่วง 3 ตันต่อชั่วโมง จำเป็นต้องมีการออกแบบ
ระบบป้อนเชื้อเพลิงให้ทัน โดยการออกแบบระบบลำเลียง หรือใช้แทรกเตอร์ตัก โดยประสิทธิภาพ
การคัดขนาด สามารถคัดขนาดแต่ละครั้งได้จำนวน 3 ขนาด คือ 1) ขนาดที่เป็นวัสดุเจือปน 2) ขนาด
ที่ต้องการ และ 3) ขนาดที่ใหญ่เกินขีดความต้องการ ทั้งนี้สามารถเปลี่ยน size ของตะแกรงคัดขนาด
ได้ เมื่อนำมาคิดเป็นต้นทุนการผลิต จะมีต้นทุนพลังงาน 2.6 บาท/ตัน และต้นทุนเครื่องจักร 33.33
บาท/ตัน รวมเป็น 36 บาท/ตัน



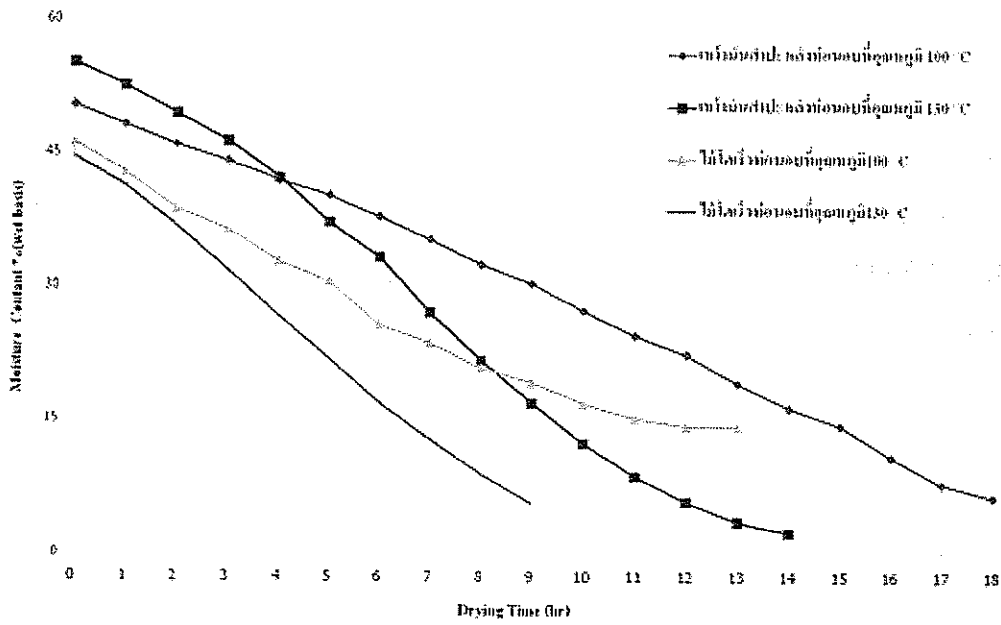
รูปที่ 4-6 แสดงปริมาณชีวมวลที่ผ่านการลดขนาดและทำการคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ต่างๆ

4.3 ผลการพัฒนาเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

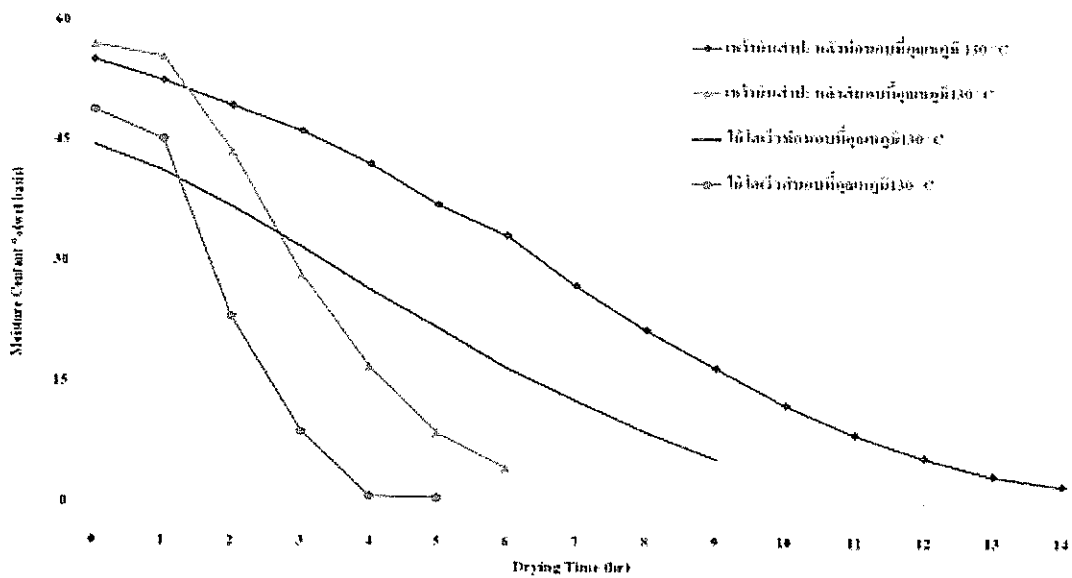
4.3.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงเวลาต่างๆ

1) เครื่องอบแห้งแบบโรตารี

จากการศึกษาได้ผลตามรูปที่ 4-7 และรูปที่ 4-8 แสดงผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลกับเวลา ที่อุณหภูมิและชนิดของชีวมวล ซึ่งจะเห็นว่าความชื้นเริ่มต้นของเชื้อเพลิงชีวมวลมีความแตกต่างกันจากน้อยไปหามากคือ ไม้กระถินยักษ์ เหง้ำมันสำปะหลัง ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความชื้นเริ่มต้นแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ยังพบว่าการอบด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่า (130°C) จะใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่า (100°C) สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลทุกชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าการอบที่อุณหภูมิสูง (130°C) การลดขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวลก็มีผลต่อระยะเวลาอบแห้ง เช่น การอบไม้กระถินยักษ์สับจะใช้เวลาประมาณ 2.5 ชั่วโมงและเหง้ำมันสำปะหลังสับใช้เวลาประมาณ 4.5 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4-8



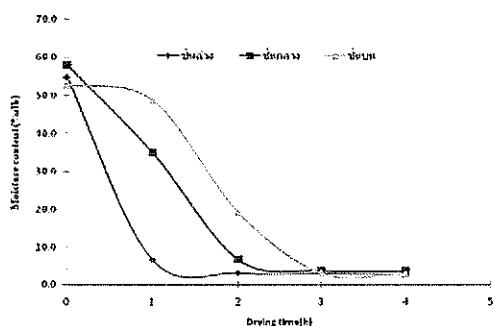
รูปที่ 4-7 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไม้ไผ่เร็วและเหง้ามันสำปะหลัง โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ



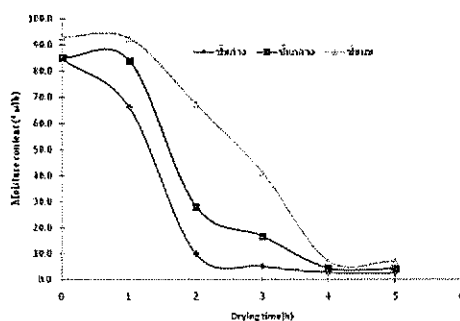
รูปที่ 4-8 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไม้ไผ่เร็วและเหง้ามันสำปะหลัง โดยวิธีการเตรียมเชื้อเพลิงของเครื่องอบแห้งแบบ โรตารี

2) เครื่องอบแห้งแบบกระบะ

จากการทดสอบได้เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเชื้อเพลิงที่ระดับความสูงต่างๆดังแสดงไว้ในรูปที่ 4-9 และ รูปที่ 4-10 จากรูปทั้งสองจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกวัสดุที่อยู่ชั้นล่างจะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นมากกว่าชั้นกลางและชั้นบนและเมื่อเวลาผ่านไปชั้นกลางและชั้นบนก็จะมีการเปลี่ยนความชื้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและเมื่อถึงเวลาหนึ่งความชื้นของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชั้นก็จะมีค่าใกล้เคียงกันจนเกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นน้อยมาก แต่ในการอบแห้งเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าชีวมวลมีความต้องการความชื้นที่ 17.6% db (15% wb.) ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการอบแห้งก็คือตั้งแต่เริ่มอบแห้งจนถึงความชื้นที่ต้องการจากการทดสอบพบว่าการอบแห้งไม้ไผ่เร็วสับจะใช้เวลาอบแห้งประมาณ 2-3.5 ชั่วโมงและการอบแห้งเหง้ามันสำปะหลังสับใช้เวลาประมาณ 4.5-5 ชั่วโมง

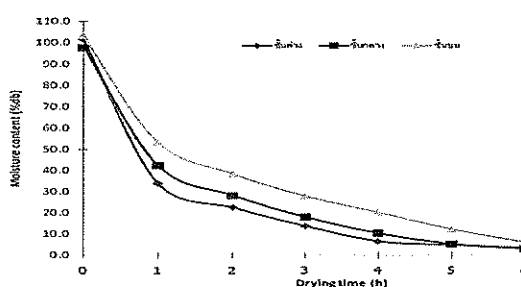


ก. ไม้ไผ่เร็วสับ ความชื้นที่ 1

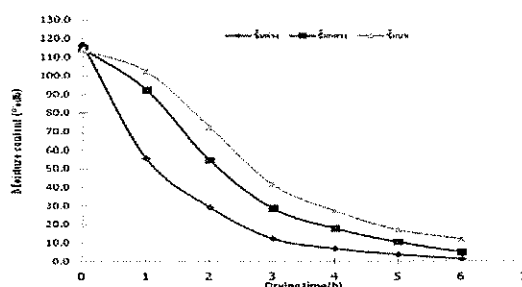


ข. ไม้ไผ่เร็วสับ ความชื้นที่ 2

รูปที่ 4-9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นไม้ไผ่เร็วสับขณะอบแห้ง ชั้นล่าง กลาง และบน



ก. อบแห้งเหง้ามันสำปะหลังสับความชื้นที่ 1



ข. อบแห้งเหง้ามันสำปะหลังสับ ความชื้นที่ 2

รูปที่ 4-10 การเปลี่ยนแปลงความชื้นเหง้ามันสำปะหลังสับขณะอบแห้ง ชั้นล่าง กลาง และบน

จากการศึกษาการอบแห้งจะพบว่าในกรณีเครื่องอบแห้งแบบกระบะความชื้นในช่วงเวลาใดๆ ของเชื้อเพลิงทั้งสองเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบโรตารีมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาความเหมาะสมในการทำงานและต้นทุนในการผลิต เครื่องอบแห้งแบบกระบะอยู่ในเกณฑ์ที่พึงพอใจ

4.3.2 พลังงานจำเพาะในการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์หาพลังงานจำเพาะในการอบแห้งของเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี พบว่าการอบด้วยอุณหภูมิสูง (130°C) จะใช้พลังงานในการอบที่สูงกว่าการอบด้วยอุณหภูมิต่ำ (100°C) แต่อย่างไรก็ดี การอบด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ต่ำกว่ามากดังนั้น ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์หาพลังงานจำเพาะซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากเชื้อเพลิงชีวมวลพบว่า พลังงานจำเพาะของการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง (130°C) จะน้อยกว่า ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-7 ในการศึกษาครั้งนี้ เชื้อเพลิงต่างชนิดกันจะใช้พลังงานจำเพาะในการอบแห้งที่แตกต่างกัน สำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระบะจะแสดงผลในหัวข้อที่ 4.5

ตารางที่ 4-7 พลังงานจำเพาะในการอบแห้งของเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

ชนิดเชื้อเพลิง	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความชื้นเริ่มต้น (% wb)	ความชื้นเริ่มต้น (% db)	น้ำหนักน้ำ	พลังงานที่ใช้ (kW-hr)	เวลาที่อบ	พลังงานจำเพาะ (MJ/kg _{H2O})
				ที่หายไปจนเหลือความชื้น 15% wb. (kg _{H2O})		จนเหลือความชื้น 15 %wb. (hr)	
ไม้โตเร็ว	100	42.9	75.0	55.28	30.87	10	20.10
	130	44.5	80.2	61.48	36.50	6.5	13.89
เห้งน้ำมัน	100	50.3	101.2	49.67	31.89	14.5	33.51
	130	55.1	122.6	64.21	36.94	9.5	19.68
ไม้โตเร็ว สับ	130	48.9	95.8	46.47	43.99	2.5	8.52
	เห้งน้ำมัน						
สับ	130	57.1	132.9	62.31	39.43	4.5	10.25

4.3.3 ต้นทุนในการอบแห้ง

จากผลการศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้งไม้กระถินยักษ์สับ และเหง้ามันสำปะหลังสับ โดยทำการเปรียบเทียบต้นทุนการอบแห้ง ไม้กระถินยักษ์สับและเหง้ามันสำปะหลังสับโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบ โรตารี และเครื่องอบแห้งแบบ กระบะ ซึ่งต้นทุนของเครื่องอบแห้งจะประกอบด้วย แหล่งพลังงานความร้อนที่มาจากแก๊ส LPG และพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนและขับเคลื่อนถังอบแห้ง ส่วนเครื่องอบแห้งแบบกระบะจะคิดค่าต้นทุนจากพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากแหล่งความร้อนจะใช้ไอเสียจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า ซึ่งไม่มีค่าต้นทุน

จากการเดินระบบของโรงไฟฟ้าชีวมวลพบว่าความต้องการเชื้อเพลิงต่อการผลิตไฟฟ้าที่ภาระการทำงานของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีความแตกต่าง อย่างเช่น ไม้กระถินยักษ์ และเหง้ามันสำปะหลังสับ คือ 1.34 และ 2.02 กิโลกรัม สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมงตามลำดับ ที่ความชื้น 15% ซึ่งเมื่อเทียบต่อความต้องการเชื้อเพลิงต่อวันต้องใช้ไม้กระถินยักษ์สับ และเหง้ามันสำปะหลังสับ คือ 2,573 และ 3,878.4 กิโลกรัม แต่ในความเป็นจริงเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่จะมีความชื้นอยู่ประมาณ 50% หรือไม้กระถินยักษ์สับมีน้ำหนัก 4,375.85 กิโลกรัม และเหง้ามันสำปะหลังสับมีน้ำหนัก 6,596 กิโลกรัม เมื่อทำการวิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้งแล้วพบว่า การอบแห้งไม้กระถินยักษ์สับ และเหง้ามันสำปะหลังสับ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบ โรตารี จะใช้ต้นทุน 2,202.89 และ 2,696.98 บาทต่อตัน ส่วนอบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบกระบะใช้ต้นทุน 73.66 และ 73.55 บาทต่อตัน ตามลำดับดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-8 จะเห็นได้ว่าเครื่องอบแห้งแบบ โรตารี ใช้ต้นทุนสูงกว่าเครื่องอบแห้งแบบกระบะมากที่เห็นได้ชัดเจนคือต้นทุนทางด้านแหล่งความร้อน ซึ่งน่าจะเป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบ และเลือกใช้เครื่องอบแห้งต่อไป

ตารางที่ 4-8 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการอบแห้งไม้กระถินยักษ์สับ กับเหง้ำมันสำปะหลังสับ โดยใช้เครื่องอบแห้ง โรตารีและเครื่องอบแห้งกระบะที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส

เครื่อง อบแห้ง	ชนิด เชื้อเพลิง	ปริมาณจำเพาะ		น้ำหนักน้ำที่ ต้องระเหย	ต้นทุน LPG ¹	ต้นทุน ไฟฟ้า ²	ต้นทุนรวม (บาท/ตัน ³)
		LPG (Kg/kg _{H2O})	ไฟฟ้า (kW-hr/kg _{H2O})				
โรตารี	ไม้สับ	0.12	0.14	1,803	343.76	1,859.12	2,202.89
	เหง้ำมันสับ	0.14	0.19	2,718	465.84	2,231.14	2,696.98
กระบะ	ไม้สับ	-	0.03	1,803	-	73.66	73.66
	เหง้ำมันสับ	-	0.03	2,718	-	73.55	73.55

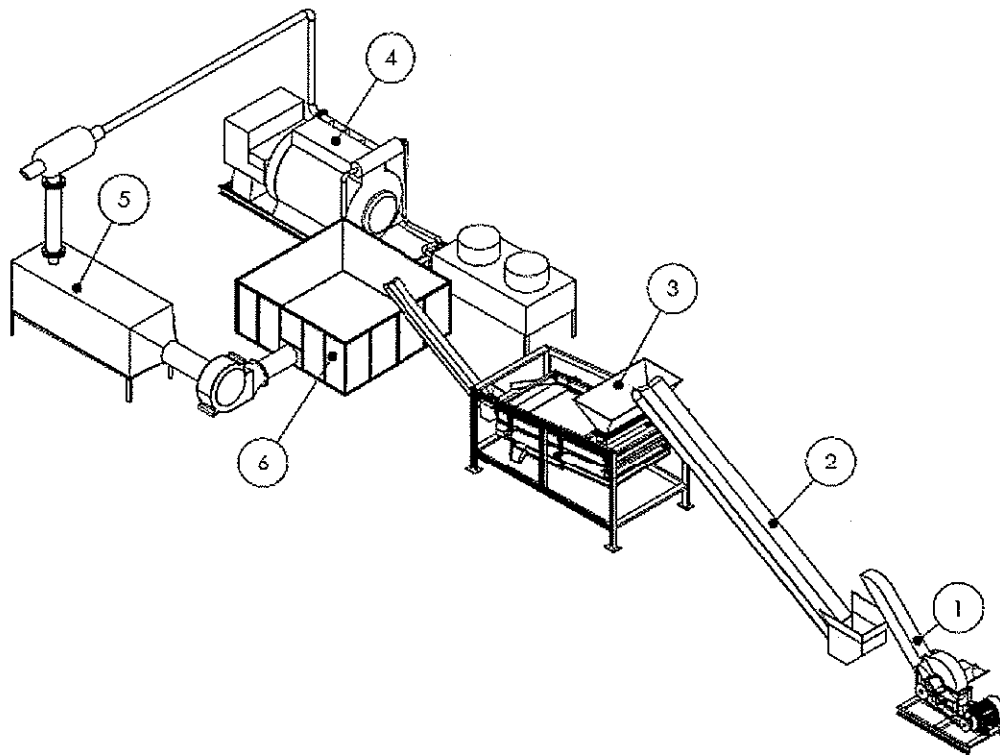
หมายเหตุ : ¹ราคาแก๊ส LPG ราคาถิลิตรละ 18 บาท
²สมมติให้ค่าไฟฟ้าราคาหน่วยละ 3.5 บาท
³เทียบต่อน้ำหนักความต้องการเชื้อเพลิงของ โรงไฟฟ้าชีวมวลที่ความชื้น 15% ไม้กระถินยักษ์สับเท่ากับ 2.57 ตัน และเหง้ำมันสำปะหลังสับมีค่า 3.88 ตัน

4.4 ผลการออกแบบโรงงานเตรียมเชื้อเพลิงขนาด 3 ตัน/วัน

4.4.1 ผลการออกแบบขั้นตอนและวิธีการเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล

จากข้อมูลการออกแบบเบื้องต้น (Concept Design) ของโรงงานเตรียมเชื้อเพลิงขนาด 3 ตันต่อวัน จะถูกนำมาออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งจะได้แผนผังของระบบ ดังแสดงใน รูปที่ 4-11 ประกอบไปด้วย 1) เครื่องสับ/ย่อย 2) สายพานลำเลียง 3) เครื่องร่อน 4) เครื่องยนต์ 5) ถังผสมอากาศ และ 6) กระบะอบ โดยคุณลักษณะสำคัญของอุปกรณ์ภายในโรงงานเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล สมรรถนะของระบบ และสมรรถนะที่ต้องการ ดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 4-9

ทั้งนี้สมรรถนะที่ต้องการเพื่อเตรียมเชื้อเพลิงให้ได้ในปริมาณ 3 ตัน/วัน นั้น สำหรับเครื่องสับ/ย่อย ต้องเตรียมให้ได้ 5.7 ตัน/วัน (50% wb.) โดยคำนวณมาจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่ความชื้น (15% wb.) ของเครื่องอบแห้งที่ผลิตได้ 3.12 ตัน/วัน ดังนั้นที่ความชื้น 50% wb. จะต้องการเชื้อเพลิง 5.3 ตัน/วัน ทั้งนี้ มีขีดการสูญเสียที่เครื่องร่อน 8% เพราะฉะนั้น วัตถุดิบที่ต้องป้อนเข้าสู่ โรงงานเตรียมเชื้อเพลิงขนาด 3 ตัน/วัน จึงเท่ากับ 5.7 ตัน/วัน



รูปที่ 4-11 แผนผังโรงงานต้นแบบผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลระดับชุมชน (1) เครื่องสับ/ย่อย (2) สายพานลำเลียง (3) เครื่องร่อน (4) เครื่องยนต์ (5) ถังผสมอากาศ (6) กะบะอบ

ตารางที่ 4-9 แสดงคุณลักษณะของอุปกรณ์ภายในโรงงานเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลและสมรรถนะ

เครื่องต้นแบบ	ขนาด กxยxส (ม.)	ต้นกำลัง (hp)	สมรรถนะ (ตัน/วัน)	สมรรถนะต้องการ (ตัน/วัน)
เครื่องสับ	1.45X0.83X1.15	30	43	5.70 ²
เครื่องร่อน	1.25X2.40X2.50	3	72	5.30 ²
เครื่องอบ	2.31X2.31X0.60	3	3.12 ¹	3.12 ¹

หมายเหตุ: ¹ น้ำหนักแห้งหลังอบ ความชื้นที่ 15 % wb.

² น้ำหนักเปียกที่ความชื้นที่ 50 % wb.

4.4.2 ผลการประเมินต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิง

1) ไม้กระถินยักษ์

ในการศึกษาครั้งนี้ จะกำหนดราคาของไม้กระถินยักษ์ เท่ากับ 400 บาท/ตัน (รวมค่าขนส่งจนถึงโรงไฟฟ้าชีวมวลและรับ ไม้ทุกขนาด เนื่องจากใช้เครื่องสับ/ย่อย) โดยในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ มีเป้าหมายเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมและพร้อมใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งต้องอาศัย 3 กระบวนการหลัก คือ 1) การลดขนาด 2) การคัดแยกและทำความสะอาด และ 3) การลดความชื้น โดยมีสมมติฐานและการวิเคราะห์ต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิงดังนี้ คือ

1.1) ต้นทุนค่าลดขนาด (สับ/ย่อย) อัตราการสับ/ย่อย ตามสมรรถนะของเครื่องต้นแบบจะอยู่ที่ 1.82 ตัน/ชั่วโมง (25 % wb) ดังนั้นต้นทุนการสับ/ย่อย มีค่าอยู่ในช่วง 120-166 บาท/ตัน

1.2) ต้นทุนการคัดแยกและทำความสะอาด ตามสมรรถนะของเครื่องต้นแบบจะอยู่ที่ 3 ตันต่อชั่วโมงที่ความชื้น 50 % wb. ดังกล่าวต้นทุน การคัดแยกและทำความสะอาด เท่ากับ 36 บาท/ตัน

1.3) ต้นทุนการลดความชื้น ในการลดความชื้นจะใช้แหล่งความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์ดังที่กล่าวมาในบทที่ 5 ซึ่งต้นทุนการลดความชื้นจะมีเพียงต้นทุนค่าเครื่องอบและต้นทุนกำลังพัดลม โดยพิจารณาต้นทุนเครื่องอบต่อครั้งๆ ละ 40 บาท สามารถอบได้ 720 กิโลกรัม คิดเป็นต้นทุน 56 บาทต่อตัน ค่าไฟฟ้า 73.66 บาทต่อตัน ดังนั้น ต้นทุนการลดความชื้น เท่ากับ 130 บาท/ตัน

เพราะฉะนั้นต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิงของ ไม้กระถินยักษ์จะอยู่ในช่วง 286-332 บาท/ตัน ที่ความชื้น 15 % wb.

2) ชังข้าวโพด

ในการศึกษาครั้งนี้ พิจารณาชังข้าวโพดที่ผ่านการนวดหรือการสีแบบแยกชังเช่นกัน แต่ความชื้นประมาณไม่เกิน 15% wb. ราคาวัตถุดิบชังข้าวโพด เท่ากับ 1,200 บาท/ตัน (รวมค่าขนส่งจนถึงโรงไฟฟ้าชีวมวล) และกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสม และพร้อมใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวลจะมีเฉพาะกระบวนการคัดแยกและทำความสะอาด โดยมีสมมติฐานและการวิเคราะห์ต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิงดังนี้ คือ ต้นทุนการคัดแยกและทำความสะอาด ตามสมรรถนะของเครื่องต้นแบบจะอยู่ที่ 3 ตันต่อชั่วโมง ที่ความชื้น 15 % wb. ดังนั้นต้นทุนการคัดแยกและทำความสะอาด เท่ากับ 36 บาท/ตัน

3) เหง้ามันสำปะหลัง

ในการศึกษาครั้งนี้ จะกำหนดราคาของเหง้ามันสำปะหลัง เท่ากัน คือ 400 บาท/ตัน (รวมค่าขนส่งจนมาถึง โรงไฟฟ้าชีวมวล) โดยในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมและพร้อมใช้ในโรงไฟฟ้าชีวมวล จะต้องอาศัยทั้ง 3 กระบวนการ คือ 1) การลดขนาด 2) การคัดแยกและทำความสะอาด และ 3) การลดความชื้น โดยมีสมมติฐานและการวิเคราะห์ต้นทุนดังนี้ คือ

3.1) ต้นทุนค่าลดขนาด (สับ/ย่อย) อัตราการสับ/ย่อย ตามสมรรถนะของเครื่องต้นแบบจะอยู่ที่ 1.59 ตัน/ชั่วโมง (53.5% wb) ดังกล่าว ต้นทุนการสับ/ย่อย มีค่าเท่ากับ 132 บาท/ตัน

3.2) ต้นทุนการคัดแยกและทำความสะอาด ตามสมรรถนะของเครื่องต้นแบบจะอยู่ที่ 3 ตันต่อชั่วโมง ที่ความชื้น 50% wb ดังกล่าว ต้นทุนการคัดแยกและทำความสะอาด เท่ากับ 36 บาท/ตัน

3.3) ต้นทุนการลดความชื้น ในการลดความชื้น จะใช้แหล่งความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์เช่นกัน ซึ่งต้นทุนการลดความชื้นจะมีเพียงต้นทุนค่าเครื่องอบและต้นทุนกำลังพัดลม โดยพิจารณาต้นทุนเครื่องอบต่อครั้งๆ ละ 40 บาท สามารถอบได้ 832 กิโลกรัม คิดเป็นต้นทุน 48.08 บาทต่อตัน ค่าไฟฟ้า 73.55 บาทต่อตัน วัตถุดิบที่ความชื้น 50.2% wb. ถ้าคิดเป็นความชื้น 15 % wb. รวมเป็น 122 บาทต่อตัน ที่ความชื้น 15 % wb.

เพราะฉะนั้นต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังจะอยู่ในช่วง 290 บาท/ตัน ที่ความชื้น 15 % wb.

4.5 ผลการศึกษาความสามารถในการนำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า มาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

4.5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวมวล

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้จากเตาผลิตแก๊ส เพื่อนำไปใช้คำนวณหาค่าพลังงานที่ภาระการทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์ พบว่าในแก๊สชีวมวลจะมีองค์ประกอบของแก๊ส CO , H_2 , CH_4 , N_2 และ CO_2 เท่ากับ 16.57-18.67%, 18.58- 20.11%, 1.77-3.31%, 46.17-49.91% และ 13.87-15.63% ตามลำดับ โดยมีค่าความร้อนสูง (HHV) อยู่ระหว่าง 5.5-6.27 MJ/Nm³ และอัตราการไหลของแก๊สชีวมวลมีค่าระหว่าง 163.8 - 214.2 m³/hr ดังแสดงในตารางที่ 4-9 ทั้งนี้ค่าความร้อนสูงของแก๊สชีวมวลจะถูกนำไปคำนวณหาปริมาณพลังงานความร้อนที่เข้าสู่เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า (Q_{fuel}) พบว่าพลังงานจะอยู่ระหว่าง 273.33- 372.78 kW โดยค่าพลังงานความร้อนสูงสุดจะอยู่ที่ภาระการทำงาน 80 kW ดังแสดงรายละเอียดใน ตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนแก๊สของเชื้อเพลิงชีวมวลที่กำลังผลิตไฟฟ้าต่างๆ

Output Power (kW)	Gas Flow (m ³ /hr)	Producer Gas Composition					HHV ¹ (MJ/Nm ³)
		H ₂ (%)	N ₂ (%)	CO (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	
0	163.8	20.11	46.51	16.98	2.79	15.63	6.01
20	170.4	19.47	47.94	16.57	2.47	15.11	5.74
40	186.6	18.58	49.91	17.85	1.77	13.87	5.50
60	192.0	19.07	47.87	17.70	2.72	15.47	5.92
80	214.2	18.75	46.17	18.67	3.31	15.57	6.27

¹ ค่าความร้อนของแก๊ส $\text{CO}=13.1 \text{ MJ/Nm}^3$, $\text{H}_2=13.1 \text{ MJ/Nm}^3$, $\text{CH}_4=41.2 \text{ MJ/Nm}^3$ (Jain et al,2002)

4.5.2 ผลการทดสอบพลังงานที่ออกจากจุดต่างๆของเครื่องยนต์

จากการทดสอบพลังงานที่ออกมาจากจุดต่างๆของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า พบว่าพลังงานที่ใช้ผลิตไฟฟ้าได้จากการวัด แสดงไว้ใน ตารางที่ 4-13 ส่วนพลังงานที่ถ่ายเทไปกับน้ำหล่อเย็นจะมีค่าประมาณ 48.76 kW ในช่วงภาระการทำงาน 0-60 kW และมีค่า 73.14 kW ที่ภาระการทำงาน 80 kW ดังแสดงในตารางที่ 4-12 ส่วนพลังงานความร้อนที่ออกมากับไอเสียได้จากการคำนวณตามทฤษฎีจะได้ค่าความจุความร้อนของแก๊สไอเสียมี่ค่า 1.17-1.22 kJ/kg°C ค่าอุณหภูมิของไอเสียอยู่ระหว่าง 243- 432 °C อัตราการไหลของแก๊สไอเสียมี่ค่า 13.97-17.68 m³ /min (แสดงไว้ใน ตารางที่ 4-11) โดยค่าพลังงานที่ออกมากับแก๊สไอเสียมี่ค่า 38.43-68.15 kW โดยที่ภาระการทำงานที่ 80 kW มีพลังงานที่ออกมากับไอเสียมากที่สุด แสดงไว้ใน ตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-11 ผลการคำนวณค่าความจุความร้อนของแก๊สไอเสียตามทฤษฎีที่ภาระการทำงานต่างๆ

Output Power (kW)	Gas Flow (m ³ /min)	specific volume (m ³ /kg)	Specific Heat Capacity of Exhaust Gas (C _p) (kJ/kg°C)	Temp Exhaust (°C)	Temp Surround (°C)	Q _{exhaust gas} ¹ (kW)
0	13.97	1.54	1.17	243	24	38.43
20	14.35	1.66	1.18	287	27	44.18
40	14.25	1.84	1.20	345	28	49.37
60	15.92	1.98	1.21	394	33	58.63
80	17.68	2.10	1.22	432	33	68.15

¹ คือ ค่าพลังงานความร้อนของไอเสียตามทฤษฎี

ตารางที่ 4-12 ผลการคำนวณค่าความพลังงานที่ถ่ายเทกับน้ำหล่อเย็นที่ภาระการทำงานต่างๆ

Output Power (kW)	Gas Flow (m ³ /hr)	Cooling water flow (L/min)	Specific Heat Capacity of Water (C _p) (kJ/kg°C)	In engine Temp (°C)	Out engine Temp (°C)	Q _{coolant} (kW)
0	163.8	349.3	4.18	37	39	48.76
20	170.4	349.3	4.18	42	44	48.76
40	186.6	349.3	4.18	48	50	48.76
60	192.0	349.3	4.18	54	56	48.76
80	214.2	349.3	4.18	59	62	73.14

ตารางที่ 4-13 การถ่ายเทความร้อนในเครื่องยนต์แก๊สชีวมวล

INPUT			OUTPUT			
Gas flow (m ³ /hr)	HHV (MJ/Nm ³)	Q _{fuel} (kW)	Q _{generator} (kW)	Q _{exhaust gas} ¹ (kW)	Q _{coolant} (kW)	Q _{loss} (kW)
163.8	6.01	273.33	0	38.43	48.76	186.14
170.4	5.74	271.31	20	44.18	48.76	158.37
186.6	5.50	285.43	40	49.37	48.76	147.3
192.0	5.92	315.64	60	58.63	48.76	148.25
214.2	6.27	372.78	80	68.15	73.14	151.49

¹ คือ ค่าพลังงานความร้อนของไอเสียตามทฤษฎี

4.5.3 ผลการทดสอบเดินระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน

จากการทดสอบเดินระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนในเครื่องยนต์แก๊สชีวมวลขณะทำการทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,000 rpm ดังแสดงในตารางที่ 4-13 พบว่า ระบบสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 80 kW โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองแก๊สชีวมวลเท่ากับ 214.2 m³/hr (ทั้งนี้เครื่องยนต์นี้สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่านี้ แต่การทำงานของเครื่องยนต์ที่กำลังการผลิตสูง มักเกิดปัญหาเครื่องยนต์ไม่เสถียร และส่งผลต่อระบบผลิตไฟฟ้าที่ไม่เสถียรภาพ ดังนั้นจึงกำหนด กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่ 80 kW หรือ 80 % ของกำลังการผลิตสูงสุดของโรงไฟฟ้าชีวมวล (100 kW)

ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนถูกแสดงรายละเอียดไว้ใน ตารางที่ 4-14 เมื่อพิจารณาถึง $\eta_{generator}$ เพียงอย่างเดียวพบว่า สถานะการทำงานที่ 80 kW เป็นสถานะที่ สำหรับการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ เนื่องจากมีอัตราการสิ้นเปลืองแก๊สชีวมวลต่ำที่สุด โดยมี $\eta_{generator}$ และ $sfc_{generator}$ เท่ากับ 21.46 % และ 2.68 m³/kWh ตามลำดับอย่างไร ก็ตามเมื่อพิจารณาถึง $\eta_{heating}$ เพียงอย่างเดียวพบว่า ในสถานะการทำงานที่ 60 kW สามารถนำพลังงานความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด ซึ่งมีค่า $\eta_{heating}$ เท่ากับ 18.57 %

ผลการทดสอบใน ตารางที่ 4-14 แสดงให้เห็นว่า การผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนทำให้ η_{CHP} ซึ่งเป็นประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นจากทุกสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น สภาวะการทำงานที่ 80 kW มีค่า $\eta_{heating}$ เท่ากับ 18.28 % หรือมีค่าพลังงานความร้อนที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 68.15 kW ดังนั้นทำให้ค่า η_{CHP} สูงขึ้นเท่ากับ 39.74% และมี sfc_{CHP} เท่ากับ 1.08 m³/kWh โดยมีค่าประสิทธิภาพรวมของระบบมากกว่าสภาวะการทำงานที่ 60 kW และในสภาวะการทำงาน 80 kW พลังงานความร้อนของแก๊สไอเสียที่ดึงกลับมาได้ มีค่าประมาณ 0.85 kW ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kW

ตารางที่ 4-14 ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อน

Biomass combined heat and power plant						
$Q_{electrical}$ (kW)	Gas flow rate (m ³ /hr)	$\eta_{generator}$ (%)	$sfc_{generator}$ (m ³ /kWh)	$\eta_{heating}$ (%)	η_{CHP} (%)	sfc_{CHP} (m ³ /kWh)
0	163.8	0.00	0.00	14.06	14.06	0.00
20	170.4	7.37	8.51	16.28	23.65	2.65
40	186.6	14.01	4.67	17.30	31.31	2.09
60	192.0	19.01	3.20	18.57	37.58	1.62
80	214.2	21.46	2.68	18.28	39.74	1.45

4.5.4 ผลการทดสอบการนำความร้อนจากไอเสียมาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

จากการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเชื้อเพลิงไว้ในเบื้องต้นนั้น จากการทดสอบพบว่า การอบแห้งไม้ไผ่เร็วสับจะใช้เวลาอบแห้งประมาณ 2-3.5 ชั่วโมงและการอบแห้งเหง้ามันสำปะหลังสับใช้เวลาประมาณ 4.5-5 ชั่วโมง ซึ่งเวลาในการอบแห้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4-15

จากข้อมูล ตารางที่ 4-15 เราสามารถหาค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและประสิทธิภาพรวมเครื่องอบแห้ง โดยพบว่าระยะเวลาในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลจนได้ความชื้นตามที่ต้องการขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ของการอบไม้กระถินยักษ์สับ และเหง้ามันสำปะหลังสับมีค่าอยู่ระหว่าง 3.7-3.97 MJ/kg_{H_2O} และค่าประสิทธิภาพรวมการอบแห้ง (η_r) มีค่าประมาณ 63.36-67.94% หรือ เฉลี่ย เท่ากับ 66.3% ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากลมร้อนที่ใช้อบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลคือความร้อนของไอเสียผสมกับอากาศในถังผสมโดยตรง ซึ่งไม่ต้องผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) และการอบแห้งนี้เป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้มีประสิทธิภาพรวมการอบแห้งค่อนข้างสูงไปด้วย

ตารางที่ 4-15 แสดงผลทดสอบการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล โดยใช้ความร้อนจากไอเสีย

ข้อมูล	ไม้กระถินยักษ์สับ		เหง้ามันสำปะหลังสับ	
	ความชื้นที่ 1	ความชื้นที่ 2	ความชื้นที่ 1	ความชื้นที่ 2
น้ำหนักวัตถุดิบเริ่มต้น, (kg)	590.00	720.00	832.00	840.00
ความชื้นเริ่มต้น, %db(%wb)	55.20(35.6)	84.80(46.7)	100.80(50.2)	115.10(55.1)
ความชื้นที่ต้องการ, %db(%wb)	17.60(15.0)	17.60(15.0)	17.60(15.0)	17.60(15.0)
น้ำหนักที่ความชื้นที่ต้องการ (kg)	447.00	457.500	487.00	459.500
น้ำหนักน้ำที่หายไป (kg)	143.00	262.50	345.00	380.50
เวลาที่ใช้ออบ (hr)	2.00	3.50	4.50	5.00
พลังงานความร้อนจากไอเสียเฉลี่ย, (kW)	68.15	68.15	68.15	68.15
อุณหภูมิในการอบแห้ง, °C	125-135	125-135	125-135	125-135
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(SEC), $\frac{MJ}{kg_{H_2O}}$	3.97	3.78	3.70	3.73
ประสิทธิภาพรวมการอบแห้ง (η_r), %	63.36	66.46	67.94	67.44

4.5.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของคั้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล

ผลการทดสอบเดินระบบโดยใช้เชื้อเพลิงไม้กระถินยักษ์สับที่ภาวะการผลิตไฟฟ้าต่างๆ ดังแสดงใน ตารางที่ 4-16 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ระบบสามารถเดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเครื่องยนต์สามารถให้กำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 80 kW โดยมีอัตราการไหลของแก๊สชีวมวลเฉลี่ย เท่ากับ 214.2 m³/hr และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเฉลี่ยประมาณ 107.1 kg/hr ในขณะที่อัตราการไหลของแก๊สชีวมวลมีค่าต่ำลง จะส่งผลให้กำลังการผลิตไฟฟ้าลดลง ดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่ต่ำลง เช่นกัน โดยพบว่า ที่อัตราการไหลของแก๊สชีวมวลเท่ากับ 192.0 m³/hr, 186.6 m³/hr, 170.4 m³/hr และ 163.8 m³/hr เครื่องยนต์จะสามารถให้กำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยได้เท่ากับ 60 kW, 40 kW, 20 kW และ 0 kW ตามลำดับ ทั้งนี้ คุณภาพของแก๊สชีวมวลที่เข้าเครื่องยนต์ค่อนข้างสม่ำเสมอในทุกสภาวะการไหลของแก๊ส ซึ่งมีค่าความร้อนสูง (HHV) อยู่ระหว่าง 5.50-6.27 MJ/Nm³ (องค์ประกอบของแก๊สชีวมวลแสดงไว้ใน ตารางที่ 4-10) และมีการปนเปื้อนของทาร์และฝุ่นดำ คือ 0.380 – 3.107 mg/Nm³ จึงไม่มีผลกระทบต่อเครื่องยนต์

ตารางที่ 4-16 ผลการทดสอบเดินระบบที่ภาวะการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่างๆ

Output Power (kW)	Gas Flow (m ³ /hr)	Gas Properties			Biomass Consumption (kg/hr)	Ash Production	
		HHV (MJ/Nm ³)	Impurity			kg/hr	%
			Tar (mg/Nm ³)	Dust (mg/Nm ³)			
0	163.8	6.01	2.33	0.777	70.6	1.284	1.82
20	170.4	5.74	1.15	0.383	78.0	2.14	2.74
40	186.6	5.50	0.95	0.000	84.4	4.28	5.07
60	192.0	5.92	0.38	0.000	102.2	6.44	6.30
80	214.2	6.27	0.39	0.000	107.1	10.8	9.25

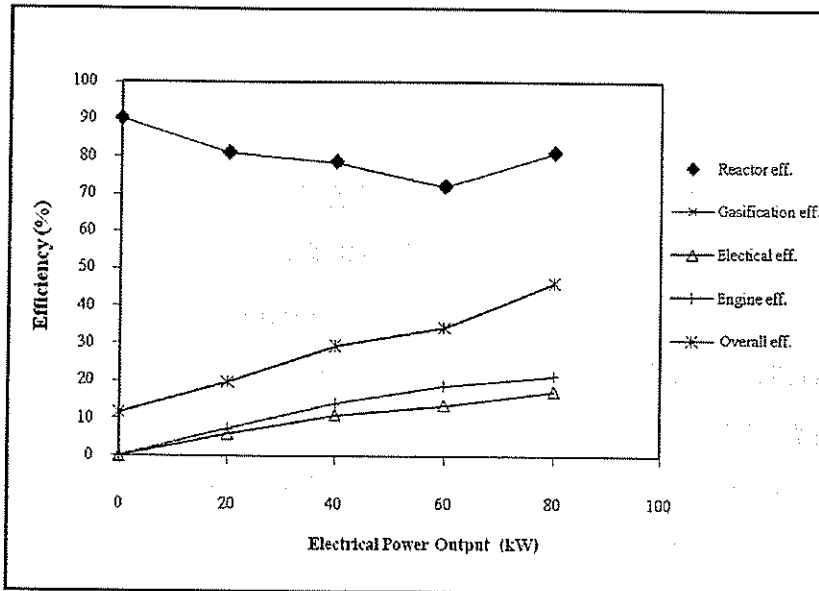
ผลการประเมินประสิทธิภาพรวมของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลดังแสดงใน ตารางที่ 4-17 สามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของเตาผลิตแก๊สชีวมวล ($\eta_{reactor}$) และประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวล ($\eta_{gasification}$) ก่อนข้างใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบที่สภาวะการผลิตไฟฟ้าต่างๆจะขึ้นลงบ้าง แต่ส่วนใหญ่จะมีค่าสูง ซึ่งอยู่ในช่วง 72.05-90.08 % ในส่วนของประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ($\eta_{electrical}$) และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (η_{engine}) จะเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น โดยความสัมพันธ์ดังกล่าว ได้แสดงใน รูปที่ 4-12 ในขณะที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (อัตราการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย หรือ kWh) จะมีแนวโน้มลดลง เมื่อกำลังการผลิตเพิ่มสูงขึ้น โดยความสัมพันธ์ดังกล่าว ดังแสดงใน รูปที่ 4-13

ทั้งนี้ สภาวะการทำงานที่ 80 kW เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ เนื่องจากมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะต่ำที่สุด โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1 หน่วย (kWh) จะใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 1.34 กิโลกรัม (15% MC) อีกทั้ง ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นพลังงานไฟฟ้า ($\eta_{electrical}$) และประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแก๊สชีวมวลเป็นไฟฟ้า (η_{engine}) สูงกว่าทุกสภาวะ คือ 17.31% และ 21.46% ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพรวมของระบบ (η_{all}) ในกรณีที่น่าความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า และค่าพลังงานที่คงเหลือในเถ้า/ถ่าน มาพิจารณา ร่วมด้วย เห็นได้ชัดเจนว่าประสิทธิภาพรวมของระบบมีค่าเพิ่มสูงถึง 46.45% ดังกล่าว จึงเป็นข้อยืนยันของการนำเอาความร้อนเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ รวมทั้ง เถ้า/ถ่าน ก็เช่นเดียวกัน ซึ่งนอกจากจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่โรงไฟฟ้าได้แล้วยังสามารถสร้างสินค้าใหม่ให้แก่ชุมชน และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ By-product ได้อีกด้วย

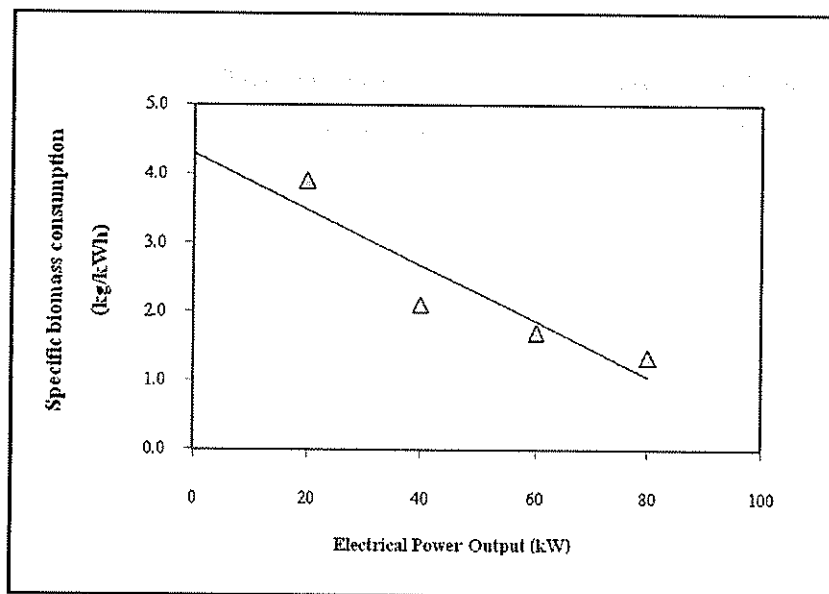
ตารางที่ 4-17 ผลการประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล

Output Power (kW)	Performance								
	Gas flow (m ³ /hr)	Reactor efficiency (%)	Gasification efficiency (%)	Electrical efficiency (%)	Engine-generator efficiency (%)	Ash recovery efficiency	Heat recovery efficiency ¹	Overall efficiency (%)	Specific biomass consumption (kg/kWh)
0	163.8	90.08	90.05	-	-	-	-	-	-
20	170.4	81.05	80.99	5.94	7.34	5.27	8.53	19.91	3.90
40	186.6	78.67	78.58	10.98	13.98	9.74	8.81	29.71	2.11
60	192.0	72.17	72.05	13.61	18.89	12.10	8.64	34.52	1.70
80	214.2	81.12	80.92	17.31	21.46	19.36	9.59	46.45	1.34

¹ ประสิทธิภาพรวมของแห้ง (η_t) เฉลี่ย เท่ากับ 66.3%



รูปที่ 4-12 แนวโน้มของประสิทธิภาพรวมของคั่นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวล



รูปที่ 4-13 อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะที่กำลังการผลิตไฟฟ้าต่างๆ

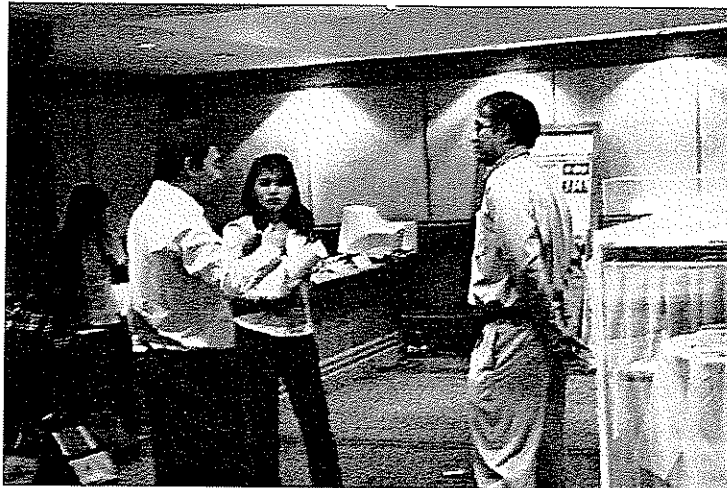
อย่างไรก็ดี เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษา “โครงการศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน (ระยะที่ 1)” ซึ่งในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1 หน่วย (kWh) จะใช้เชื้อเพลิง ไม้กระถินยักษ์ตัด (เตรียมโดยใช้เลื่อยวงเดือน) เพียง 1.28 กิโลกรัม (15% MC) ซึ่งเมื่อเทียบกับผลการศึกษาในครั้งนี้ที่ใช้ ไม้กระถินยักษ์สับ (เตรียมโดยใช้เครื่องสับ) มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะมากขึ้น เท่ากับ 1.34 กิโลกรัม เห็นได้ว่า ขนาดของเชื้อเพลิงที่มีเล็กเกินไป อาจไม่เหมาะสม เพราะจะทำให้ปฏิกิริยาในช่วงการเผาไหม้ (Combustion Zone) ในเตาผลิตแก๊สชีวมวลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลถึงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลที่สูงขึ้น ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบในด้านประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าแล้ว ก็ไม่มีความแตกต่างกัน

อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบเพียงด้านใดด้านหนึ่งนั้น อาจจะไม่เพียงพอ ยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงการเตรียมวัตถุดิบประกอบกัน ไป เนื่องจากต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องสับ ประมาณ 166 บาท/ตัน ในขณะที่ต้นทุนการเตรียมโดยการใช้เลื่อยวงเดือนจะมีค่าสูงกว่า ถึง 250 บาท/ตัน

4.6 ผลการจัดสัมมนาระดมความคิด และเผยแพร่ผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร โดยทำการจัดสัมมนาระดมความคิด เผยแพร่ผลงานวิจัยในด้านกระบวนการเตรียมและการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล รวมไปถึงกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า การเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ การนำของเสียที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์หมุนเวียนอย่างครบวงจร และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน ซึ่งได้จัดงานสัมมนาร่วมกันระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนแบบครบวงจร ตั้งแต่กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า การเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ การเตรียมและการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวล รวมไปถึงการนำของเสียที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์หมุนเวียน ให้แก่เกษตรกร หมู่บ้านหรือชุมชนและ หน่วยงานที่สนใจ

โดยในการจัดงานสัมมนาระดมความคิดนี้มีผู้เข้าร่วมกว่า 100 คน โดยมีรูปบรรยากาศของงานแสดงไว้ใน รูปที่ 4-14 ถึง รูปที่ 4-31



รูปที่ 4-14 บรรยากาศการเตรียมงานก่อนงานสัมมนา



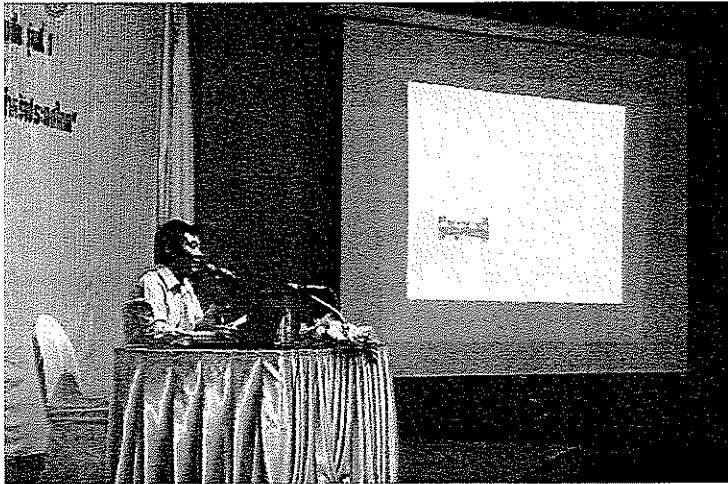
รูปที่ 4-15 บรรยากาศงานสัมมนา ณ โรงแรมสีมาธานี



รูปที่ 4-16 บรรยากาศงานสัมมนา ณ โรงแรมสีมาธานี



รูปที่ 4-17 บรรยายภาพงานสัมมนา ณ โรงแรมสีมาธานี



รูปที่ 4-18 บรรยายภาพงานสัมมนา ณ โรงแรมสีมาธานี



รูปที่ 4-19 บรรยายภาพกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปที่ 4-20 บรรยายภาคกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปที่ 4-21 บรรยายภาคกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปที่ 4-22 บรรยายภาคกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปที่ 4-23 บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปที่ 4-24 บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



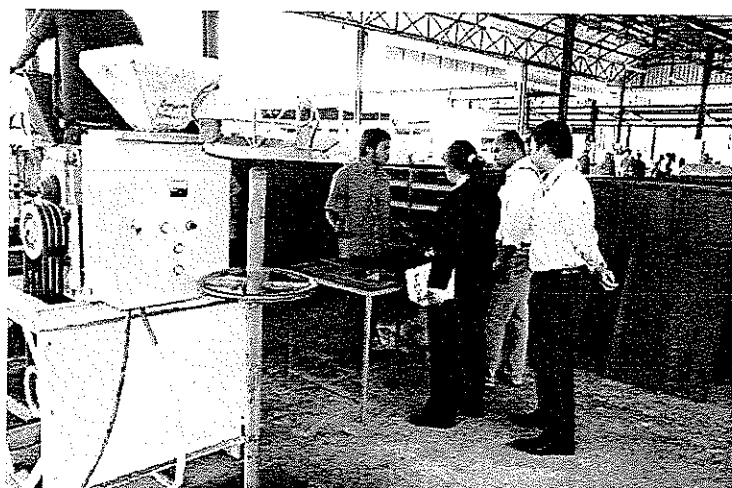
รูปที่ 4-25 บรรยากาศกิจกรรมการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปที่ 4-26 บรรยายภาคศึกษาดูงานการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปที่ 4-27 บรรยายภาคศึกษาดูงานการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปที่ 4-28 บรรยายภาคศึกษาดูงานการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปที่ 4-29 บรรยายภาคศึกษาดูงานการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปผนวกที่ 4-30 บรรยายภาคศึกษาดูงานการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี



รูปผนวกที่ 4-31 บรรยายภาคศึกษาดูงานการเรียนรู้เชิงประจักษ์ ณ โรงไฟฟ้าชีวมวลสุรนารี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการศึกษาและการทดลองในส่วนต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ขั้นตอน และวิธีการเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน วิธีการใช้ประโยชน์จาก ความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล และการ ถ่ายทอดเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กแก่เกษตรกรและหน่วยงานที่สนใจ โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

5.1 ขั้นตอนและวิธีการเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน

5.1.1 การพัฒนาเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด

โดยการทดสอบหาสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบสับ/ย่อยชนิดจาน หมุน พบว่าสมรรถนะของเครื่องต่อการสับ/ย่อย เหง้ามันสำปะหลังและ ไม้กระถินยักษ์ มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.59 ต้น/ชั่วโมง และ 1.23-1.82 ต้น/ชั่วโมง ตามลำดับ พลังงานที่ใช้ในการสับ/ย่อยเหง้ามัน สำปะหลังและ ไม้กระถินยักษ์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 9.69-11.05 kWh/ton และมีต้นทุน ในการสับ/ย่อย ประมาณ 120-166 บาทต่อตัน(กรณีใช้พลังงานไฟฟ้า) และประมาณ 143-212 บาท/ ต้น(กรณีใช้ต้นกำลังเครื่องยนต์ดีเซล)

5.1.2 การพัฒนาเครื่องคัดแยกและทำความสะอาด

ต้นแบบเครื่องคัดแยกและทำความสะอาดที่สร้างขึ้นมีอัตราการทำงาน 3 ต้นต่อ ชั่วโมง สามารถคัดขนาดได้ 3 ขนาด คือ ขนาดที่เป็นวัสดุเจือปน ขนาดที่ต้องการ และขนาดใหญ่ เกินความต้องการ โดยมีต้นทุนการคัดแยกและทำความสะอาดอยู่ที่ 36 บาท/ตัน

5.1.3 การพัฒนาเครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลพบว่า อัตราการ อบแห้งจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุ ความชื้นเริ่มต้น ขนาดวัสดุ และระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการ อบแห้ง ส่วนการเปรียบเทียบความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบ โรตารีและแบบ กระจับนั้นมีความต่างกันเล็กน้อย โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งคือ 130° C ต้นทุนในการ อบแห้ง ไม้กระถินยักษ์สับและเหง้ามันสำปะหลังสับ โดยใช้เครื่องอบแห้ง โรตารีมีค่าเท่ากับ 2,202.89 และ 2,696.98 บาทต่อตัน ตามลำดับ ส่วนต้นทุนในการอบแห้ง ไม้กระถินยักษ์สับและเหง้ามัน สำปะหลังสับ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบกระจับมีค่าเท่ากับ 73.66 และ 73.55 บาทต่อตัน ตามลำดับ

5.1.4 การออกแบบโรงงานเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลขนาด 3 ตัน/วัน

โรงงานเตรียมเชื้อเพลิงที่ได้ทำการออกแบบและได้ทำการทดสอบเบื้องต้นแล้วนั้นพบว่าในแง่ทางด้านเทคนิคและวิศวกรรมถือว่ามีความเหมาะสม สามารถผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพียงพอต่อความต้องการของ โรงไฟฟ้าคือ 3.12 ตันต่อวัน แต่ถ้าใช้วัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากไม้ไผ่เร็วจำเป็นต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติม และปัจจุบันยังมีแหล่งความร้อนเหลือทิ้งจากแหล่งอื่นๆ ที่ยังไม่ได้นำมาใช้ เช่น แหล่งความร้อนจากหม้อน้ำ ซึ่งถ้านำมาใช้ได้ก็จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้น และเป็นการประหยัดพลังงาน

5.1.5 ต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิง

จากผลการวิเคราะห์ต้นทุนการเตรียมวัตถุดิบ ของเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 3 ชนิด โดยประเมินเป็นราคาเชื้อเพลิงที่รวมกระบวนการเตรียมแล้วดังนี้คือ ต้นทุนการเตรียมไม้กระถินยักษ์สับ ชั่งข้าวโพด และเห้งมันสำปะหลัง คือ 732, 1,236 และ 690 บาท/ตัน ตามลำดับ

5.2 การใช้ประโยชน์จากความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้ามาใช้

ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล

ความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าที่ได้ มีมากเกินไปที่จะนำมาใช้เป็นความร้อนในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งจะเห็นได้จากความต้องการเชื้อเพลิงแห้งของ โรงไฟฟ้าชีวมวล 90-100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ขณะที่ความสามารถในการอบแห้งเชื้อเพลิงเทียบเคียง 90-100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความชื้นเริ่มต้นของเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่ที่ประมาณ 50-55 %wb ซึ่งเป็นความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยทั่วไป

การประเมินประสิทธิภาพรวมของระบบ ที่สภาวะการทำงาน 80 kW เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์ เนื่องจากมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะต่ำที่สุด โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1 หน่วย (kWh) จะใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 1.34 กิโลกรัม (15%MC) อีกทั้งประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นพลังงานไฟฟ้า ($\eta_{electrical}$) และประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแก๊สชีวมวลเป็นไฟฟ้า (η_{engine}) สูงกว่าทุกสภาวะ คือ 17.31% และ 21.46% ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพรวมของระบบ (η_{all}) ในกรณีที่นำความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า และค่าพลังงานที่คงเหลือในเถ้า/ถ่าน มาพิจารณา ร่วมด้วย เห็นได้ชัดเจนว่า ประสิทธิภาพรวมของระบบมีค่าเพิ่มสูงถึง 46.45% ดังกล่าว

5.3 การจัดสัมมนาระดมความคิด และเผยแพร่ผลงานวิจัย

หลังจากที่ทำการศึกษาและวิจัยเพื่อหาขั้นตอนและวิธีการเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน ศึกษาวิธีการใช้ประโยชน์จากความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อมาใช้ประโยชน์ในการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลแล้ว ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดสัมมนาเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กแก่เกษตรกร และหน่วยงานที่สนใจในส่วนของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า รวมไปถึงขั้นตอนในการบริหารจัดการ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กระดับชุมชน ซึ่งมีผู้สนใจเข้าร่วมการสัมมนาว่า 100 คน

บรรณานุกรม

- กรรณิการ์ มณีบุญและคณะ.(2549), การจัดการพลังงานของเครื่องอบแห้งลำไยแบบได้หวั่น .เอกสารการประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน (ครั้งที่5), โรงแรม โลตัสปางสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่
- กองเกษตรวิศวกรรม. 2522. การออกแบบเตาเผาแก๊สเชื้อเพลิงด้วยถ่านไม้, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- ณรงค์ฤทธิ์ มูลเจริญ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2548), การนำความร้อนทิ้งจากไอเสียจากการผลิตไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรมาใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม. การประชุมวิชาการการถ่ายเทความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 4 จังหวัดเชียงราย
- ปรีชา สิริชาณ.(2544). การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ .คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- พยุงค์กิต์ จุลยุเสณ และวีรชัย อาจหาญ.(2551), ระบบกกลูกสุกรในโรงเรือนคลอดโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องยนต์แก๊สชีวภาพ. เอกสารการประชุมวิชาการครั้งที่ 9 ประจำปี 2551, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- Aung, M.K. 2000. A Study of Solar and Biomass-Fuelled Hybrid Drying System. M.Eng. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- Bhatta, C.P. 1999. An Experiment Study on Hybrid (Solar-Biomass) Drying of Agricultural Products. M. Eng. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- Bhattacharya S. C. , San Shwe Hla and Hoang-Luang Pham . 2001. A study on a multi-stage hybrid gasifier-engine system, Biomass and Bioenergy, Volume 21, Issue 6, Pages 445-460.
- Bhattacharya S. C., A. H. Md. Mizanur Rahman Siddique and Hoang-Luong Pham. 1999. A study on wood gasification for low-tar gas production, Energy, Volume 24, Issue 4, April 1999, Pages 285-296.
- Bui, Tuyen, R. Loof and S.C. Battacharya. 1994. Multi Reactor for Biomass Gasification for Power Generation. Fuel, Vol. 19, No. 4, Pages 397-404.
- Bui, Tuyen. 1996. A Multi Stage Approach. Ph.D. Dissertation. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- Chancellor W K 1957. Basic concepts of cutting hay. PhD thesis, Cornell University. Ithaca, NY, 170pp.

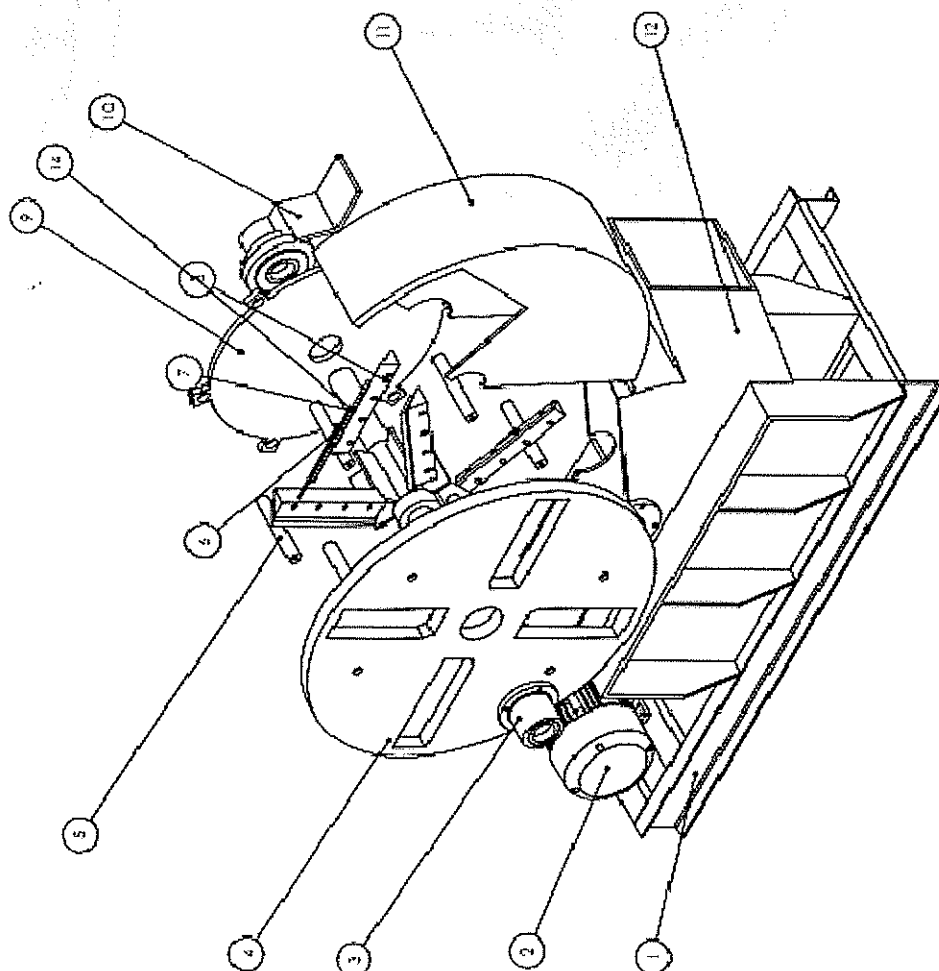
- Chattopadhyay P S and Pandey K P 1999. Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static Deformation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73, 199-206.
- Chulalongkorn University. 1984. Biomass Gasification in Thailand. Final report: Renewable Nonconventional Energy Project, Bangkok.
- Coovattanachai, N. 1982a. Producer Gas in Electricity Generation, Proceeding of Papers, The 5th Miami International Conference on Alternative Energy Source, Miami Beach, Florida.
- Coovattanachai, N. 1982b. The Potential of Producer Gas as an Alternative Source of Energy in Thailand, Proceeding of the FAO/PHI Regional Technical Consultation on Agricultural Wastes and Solar Technologies for Farm Energy Needs. China & Philippines.
- Coovattanachai, N. 1983. Current Status of Biomass Gasification and FAO Activities in Gasification of Agricultural Residues for Power Generation, Proceeding of the FAO/UNDP Inter-country Cooperation in Post-Harvest Technology, Bangkok.
- Coovattanachai, N. 1986. The Feasibility of Operating Small Engines with Producer Gas in Electricity Generation and Process Heating, ASEAN Conference on Energy from Biomass, Malaysia.
- Coovattanachai, N. 1990. Biomass Gasification, Final Report, ASEAN Sub-Committee on Non-Conventional Energy Research and ASEAN-Australia Energy Cooperation Programmed, Prince of Songkla University, Songkla.
- Coovattanachai, N. 1990. Biomass in Electricity Generation: Prospects and Challenges, A paper presented at the 2nd ASEAN Renewable Energy Conference, Phuket.
- Coovattanachai, N., Chongcharoen, W., and Kooptamond, C. 1982. The Feasibility of Operating Small Engines with Producer Gas in Electricity Generation. *Journal of Energy Heat Mass Transfer*, Vol. 4, pages 213-227.
- Dutta, A. 1998. A Study of Biomass Gassification for Engine Application. M. Eng. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- El Hag H E, Kunze O R and Wilkes L H 1971. Influence of moisture, dry-matter density and rate of loading on ultimate strength of cotton stalks. *Transactions of the ASAE*, 13(3), 713-716.
- Electricity Generation and Process Heating, ASEAN Conference on Energy from Biomass, Malaysia.
- Ince A, Ugurluay S, Guzel E and Ozcan M T 2005 Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. *Biosystems Engineering*. 92 (2), 175-181

- Kamke, F.A., and Casey L.J. (1988). Gas pressure and temperature in the mat during flakboard manufacture. *Forest Products Journal*. 38: 41-43.
- Lowery D.P. (1979). Vapor pressure generated in wood during. *Wood science*. 5: 73-80.
- Mesquita C M and Hunna M A (1995). Physical and mechanical properties of grasses. **Transactions of the ASAE**, 38(6), 1655-1658
- Nikolaisen, L. 1992. Straw for Energy Production. The Center of Biomass Technology, Denmark.
- Regional Office for Asia and the Pacific (RAR)/Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). 1999. Rural Energy : Combustion and Gasification of Biomass in the Asia-Pacific Region, Bulletin: 1998-1999, Bangkok
- Pang S., and A.N. Haslett. Haslet. High-temperature Kiln Drying of Softwood Timber: The Role of Mathematical Modeling, I am Turner and A run. Mujumdar(editors). *Mathematical Modeling and Numerical Techniques in Drying Technology*. (pp. 179-219). New York : MARCEL DEKKER.
- Persson S 1987. Mechanics of Cutting Plant Material. ASAE Monograph No. 7, St. Joseph, Michigan.
- Prasad J and Gupta C P 1975. Mechanical properties of maize stalks as related to harvesting. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 20(1), 79-87.
- San, S.H. 1999. A Study on a Biomass Gasifier-Engine System. M. Eng. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- Sethapanich, R. 2001. Experimental Study of a Counter Current Moving Bed Reactor for Heat and Chacoal/Clean Gas Production. M. Eng. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- Skar C. (1988). *Wood-water Relations*. Berlin: Springer.
- Wade A.Amos.,(1998).Report on Biomass Drying Technology.Midwest research Institute for the U.S. Department of Energy.
- Wickramasinghe, T.A. 2001. A Multi-Stage Gasifier Engine System. M. Eng. Thesis. Energy Program, Asian Institute of Technology (A.I.T.), Thailand.
- Womac A R, Yu M, Igathinathane C, Ye P, and Hayes D. Shearing characteristics of biomass for size reduction 2005. An ASAE meeting presentation, paper number: 056058.

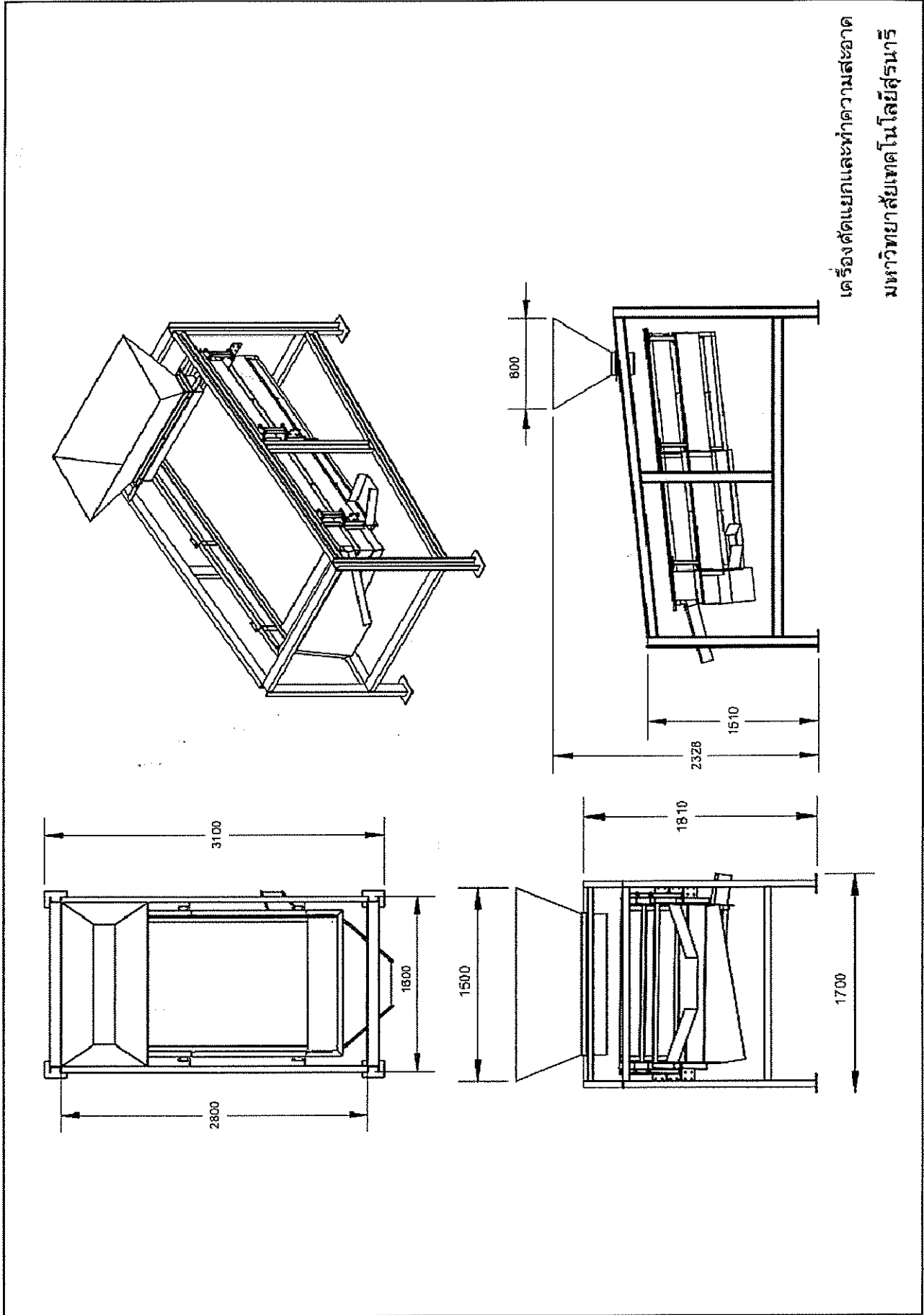
ภาคผนวก

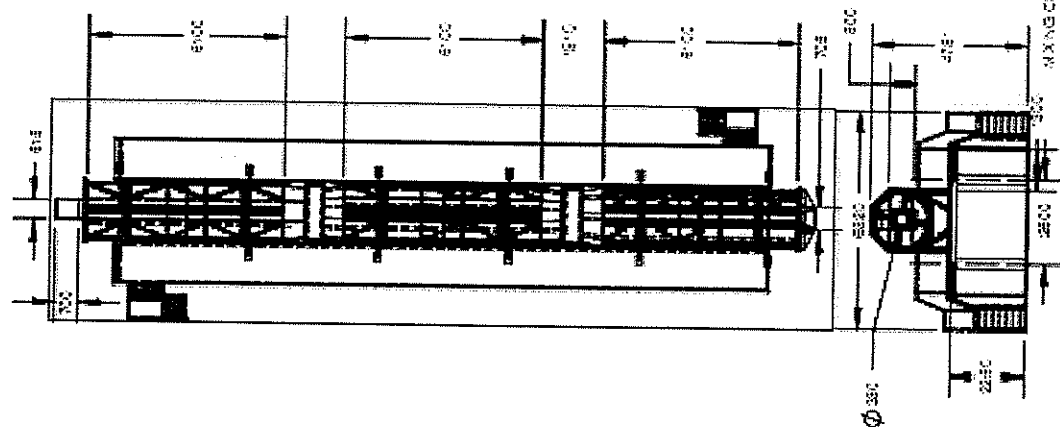
แบบรายละเอียดเครื่องจักร

No.	Description
1	ฐานรอง
2	มอเตอร์
3	ชุดลูกปืน_1
4	ชุดจานใบมีด
5	แกนชุดตี
6	ชุดลิชต์มีด
7	มีดสับ
8	ชุดรองมีด
9	ชุดจานยึดมีดตี
10	ชุดลูกปืน_2
11	ฝาปิดบน
12	Case
13	มีดตี
14	เพลา

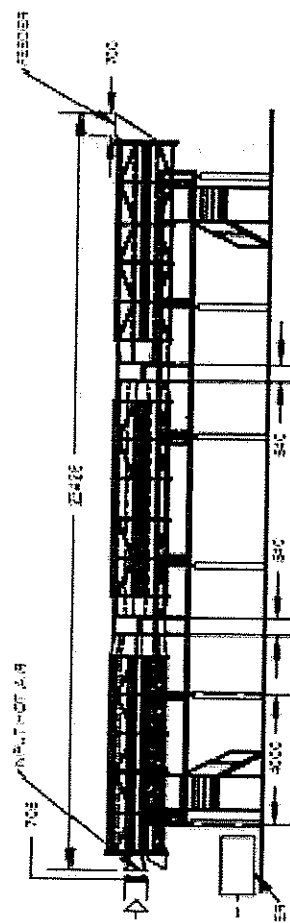


เครื่องสับ/ย่อยสดขนาด
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
1	Coe_RD-52-02-01	Rotary	3
2	Coe_RD-52-00-15	Base Rotary	3
3	Coe_RD-52-01-49	Foot	2
4	Coe_RD-52-02-50	Feed in Bommers	1
5	Coe_RD-52-02-51	Outlet Bommers	1
6	Coe_RD-52-03-52	Ladder	2



เครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัตินักวิจัย

- ชื่อ** : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย อางหาญ
- การศึกษา** : Ph.D. (Agricultural and Forestry Engineering) University of Tsukuba, Japan. พ.ศ. 2544
- : วศ.ม.(วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2540
- : วท.บ.(เกษตรกลวิธาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2537
- ประสบการณ์โดยสรุป** : ประสบการณ์ 14 ปี ในการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ปี 2537-2543 (7 ปี) วิจัยและพัฒนา การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นต้นกำลังในรถแทรกเตอร์เกษตร โดยการพัฒนาค้นแบบรถแทรกเตอร์พลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 15 hp ซึ่งเป็นวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ปี 2544-ปัจจุบัน (7 ปี) เน้นการวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานชีวมวล/ชีวภาพ โดยการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน อาทิ การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตแก๊สชีวมวล (Biomass Gasification) การพัฒนาเทคโนโลยีการก่อสร้างระบบผลิตแก๊สชีวภาพ การพัฒนาระบบการใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวมวลและแก๊สชีวภาพ การดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลใช้กับแก๊สชีวมวลและแก๊สชีวภาพ การศึกษาเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass Feedstock Technology) การพัฒนาเทคโนโลยีการปลูกพืชพลังงาน เช่น ไม้โตเร็วสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง

ประวัติการทำงาน

- ปัจจุบัน** :
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
 - หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
 - หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 - รักษาการรองผู้จัดการฟาร์มมหาวิทยาลัย สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- จ.นครราชสีมา

- พ.ศ. 2548 - 2550 : รักษาการหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
 พ.ศ. 2544- 2549 : อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
 สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.
 นครราชสีมา

ผลงานด้านวิชาชีพ

- พ.ศ. 2544 – ปัจจุบัน
- โครงการออกแบบและทดสอบเครื่องอัดแท่งชีวมวลสำหรับผลิตถ่านชีวภาพ (วิจัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่งหัวหน้าโครงการ
 - โครงการออกแบบและทดสอบระบบกกกลูกลุกรในโรงเรือนอนุบาล โดยใช้แก๊สชีวภาพ (วิจัย: สกว. และ บริษัท ไฟร์ที จำกัด) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ
 - โครงการออกแบบเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบสองทางออกสำหรับการผลิตกระแส ไฟฟ้าและการอบแห้ง (วิจัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ
 - การประเมินวัตถุดิบและเทคโนโลยีการผลิตถ่านชีวมวล (วิจัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ
 - การประเมินวัตถุดิบและเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากเห้จ้ำมันสำปะหลัง (วิจัย : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ
 - โครงการพัฒนาต้นแบบสถานีผลิตไฟฟ้าและความร้อนขนาดเล็กโดยใช้เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบสองทางออก (วิจัย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการหน่วยงานที่ปรึกษาในเครือข่ายฯ โครงการส่งเสริมการผลิตแก๊สชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดกลาง (ระยะที่ 3) ฟาร์มขนาดกลาง (ผู้ว่าจ้าง: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ สทนพ.) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

- ฟาร์มเรืองศิริ จ. ขอนแก่น 1000 m³
- ฟาร์มคุณประยูร จ. ชลบุรี 1000 m³
- ฟาร์มสุกรจักรกริช จ. ชลบุรี 1000 m³
- ฟาร์มพนัสพันธุ์สัตว์ จ. ชลบุรี 1000 m³
- ฟาร์มบูรพา จ. ร้อยเอ็ด 1000 m³
- ฟาร์มธงชัย จ. บุรีรัมย์ 400 m³
- ไทยฟาร์ม จ. บุรีรัมย์ 500 m³
- ฟาร์มกุศล จ. มหาสารคาม 1000 m³

โครงการจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ น้ำมันพืชใช้แล้วสำหรับนำมาใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ในจังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดเชียงใหม่ (วิจัย: Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชน้ำมันสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล -ปาล์มน้ำมัน ทานตะวัน สนุ่นดำ - (วิจัย: Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซล (วิจัย: Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry, METI) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการศึกษาการสมบัติน้ำมันรำข้าวสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (ผู้ว่าจ้าง: บริษัท เจียเม็ง จำกัด) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการทำนายผลผลิตอ้อยโดยใช้เครือข่ายใยประสาทประดิษฐ์ (ผู้ว่าจ้าง: บริษัท เอ็น.วาย. ซูการ์ จำกัด) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการจัดทำกรอบแผนยุทธศาสตร์พลังงานแบบบูรณาการ
ระดับจังหวัด ปี 2547- ๒๕๕๐ – (ผู้ว่าจ้าง: สำนักงานพลังงาน
ภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา) กระทรวงพลังงาน) ตำแหน่ง
ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน / ผู้ประสานงาน โครงการ)

โครงการ การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำแบบหลายเกณฑ์ :
กรณีศึกษาในกลุ่มน้ำมูลตอนบน (วิจัย: โครงการวิจัยการเกษตรเชิง
พาณิชย์ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน),
สวท. ตำแหน่ง หัวหน้าคณะทำงานด้านการหาศักยภาพการผลิต
ของพืช)

โครงการจัดทำกรอบแผนยุทธศาสตร์พลังงานแบบบูรณาการ
ระดับจังหวัดปี 2548 – ชัยภูมิ มหาสารคาม ศรีสะเกษ – (ผู้ว่า
จ้าง : สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา) กระทรวง
พลังงาน) ตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน / ผู้ประสานงาน
โครงการ)

โครงการจัดทำแผนปฏิบัติการด้านการซ่อมแซมบำรุงรักษาสภาพ
น้ำและคุณภาพน้ำลำตะคองบริเวณเขื่อนมะขามเฒ่าถึงเขื่อนข่อย
งาม (ผู้ว่าจ้าง : สำนักชลประทานที่ 8 (นครราชสีมา) กรม
ชลประทาน) ตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญด้านการเกษตรและการใช้
ประโยชน์ที่ดิน/ ผู้ประสานงาน โครงการ

โครงการออกแบบและทดสอบระบบกักตุนพลังงานในโรงเรือนคลอড
โดยใช้ความร้อนเหลือทิ้ง จากเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าด้วยแก๊สชีวภาพ
(วิจัย: มทส. และ บริษัท เอสพีเอ็ม จำกัด) ตำแหน่ง หัวหน้า
โครงการ

โครงการพัฒนาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน
(วิจัย: บริษัทซาตาเก้ (ประเทศไทย) จำกัด และ SATAKE
CORPERATION CO.,LTD JAPAN) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการบูรณาการงานด้านพลังงานกับแผนยุทธศาสตร์จังหวัด ปี 2549 (ผู้ว่าจ้าง: สำนักงานพลังงานภูมิภาคที่ 5 (นครราชสีมา) กระทรวงพลังงาน) ตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน / ผู้ประสานงานโครงการ)

โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการปลูกไม้โตเร็วเพื่อเป็นพลังงานชีวมวล (วิจัย: กองทุนอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

โครงการศึกษาค้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก สำหรับชุมชน (วิจัย: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ) ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ

ผลงานตีพิมพ์

- 1) *Arjharn W.*, M. Koike, T. Takigawa, A. Yoda, H. Hasegawa and B. Bahalayodhin. *Preliminary Study on the Applicability of an Electric Tractor (Part 1) – Energy Consumption and Drawbar Pull Performance* – Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 63(3), 130-137, 2001.
- 2) *Arjharn W.*, M. Koike, T. Takigawa, A. Yoda, H. Hasegawa and B. Bahalayodhin. *Preliminary Study on the Applicability of an Electric Tractor (Part 2) – Effect of Battery allocation on the Tractive Performance* – Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 63(5), 92-99, 2001.
- 3) Hasegawa, H., Koike, M., Yoda, A., *Arjharn, W.* and Sato, S. 2001. *Studies on the Development of Supporting Technology for Rice in View of Environmental (Part 1) - Field Trial for Weed Control by Using Rice Bran Pellets -*. Proceedings of 37th Annual Meeting of the Kanto Regional Unit of JSAM, 4-5.
- 4) กรัชพล ปรารณารักษ์, ระวี โปร่งสี และ วีรัชย์ อาจหาญ. 2545. การออกแบบและทดสอบระบบทำความร้อนสำหรับกกลูกสุกรในโรงเรือนอนุบาลโดยใช้ก๊าซชีวภาพ. วารสารสำนักวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 4-5.
- 5) Jantasiri, J. and *W. Arjharn*. 2003. *Design and Testing of the Heating System for Swine Nursery House Using Biogas*. Proceedings of 2003 Annual Meeting of the Thai Society of Agricultural Engineering, 643-650,

- 6) จิระกมล จันทศิริ และ วีรชัย ออาจหาญ. 2547. การออกแบบและทดสอบระบบทำความร้อนสำหรับรถบรรทุกในโรงเรือนอนุบาล โดยใช้ก๊าซชีวภาพ. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 10(3). 300-306
- 7) เจนวิทย์ วรรณพิระ, ณัฐยา พูนสุวรรณ, ศรัลย์ ปานศรีพงษ์ และ วีรชัย ออาจหาญ. 2547. การเตรียมและวัดสมบัติถ่านจากวัสดุชีวมวล. การประชุมวิชาการครั้งที่ 5 ประจำปี 2547, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 469-474.
- 8) พจนาลัย ชาวห้วยหมาก, ชีระสุด สุขกำเนิด และ วีรชัย ออาจหาญ. 2547. การใช้คลื่นอัลตราโซนิคในการปรับปรุงกระบวนการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์รีไฟเคชั่นของปาล์มน้ำมัน. การประชุมวิชาการครั้งที่ 5 ประจำปี 2547, สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 432-438.
- 9) Saran Pansiripong, Sarawut Panthon and Weerachai Arjham. (2006). Chassis dynamometer emission test of diesel engine using various % blend of biodiesel. Proceedings of 2003 Annual Meeting of the, Thai Society of Agricultural Engineering, 155-160.
- 10) Niwat Kongkapee, Saran Pansiripong and Weerachai Arjham. (2006). Performance characteristics of the diesel engine using various % blend of biodiesel . Proceedings of 2003 Annual Meeting of the, Thai Society of Agricultural Engineering, 161-166.
- 11) Pojanalai Chowhouimak, Terasut Sookkumnerd and Weerachai Arjham. (2006). Chassis dynamometer emission test of diesel engine using various % blend of biodiesel. Proceedings of 2003 Annual Meeting of the, Thai Society of Agricultural Engineering, 147-154.