

การศึกษาพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล  
สำหรับเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

นายณัฐพงษ์ ประภาการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2551

**STUDY OF PRELIMINARY PARAMETERS FOR  
DESIGNING A BIOMASS CUTTING  
MACHINE FOR BIOMASS  
GASIFICATION POWER PLANT**

**Natthapong Prapakarn**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the**

**Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

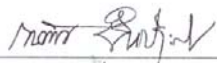
**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2008**

การศึกษาพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับ  
เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

ประธานกรรมการ



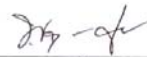
(ผศ. ดร.วีรชัย อางหาญ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร.สมศักดิ์ สีวดำรงพงศ์)

กรรมการ



(อ. ดร.พวงศักดิ์ จิตฺยเสน)

กรรมการ



(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ



(รศ. น.อ. ดร.วรพงษ์ ชำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณัฐพงษ์ ประภาการ : การศึกษาพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบเครื่องตัด  
เชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการ  
แก๊สซิฟิเคชัน (STUDY OF PRELIMINARY PARAMETERS FOR DESIGNING  
A BIOMASS CUTTING MACHINE FOR BIOMASS GASIFICATION  
POWER PLANT) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย อางหาญ, 100 หน้า.

จากการศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนที่ใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน พบว่าเชื้อเพลิงประเภทไม้โตเร็วเป็นเชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสม ขนาดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว ไม่เกิน 5.08 และ 15 cm ตามลำดับ แต่เครื่องสับไม้โตเร็วที่มีใช้อยู่ ณ ปัจจุบันพบว่าเครื่องเตรียมวัตถุดิบที่ได้มีขนาดเล็กเกินไป ดังนั้นจำเป็นต้องทำการพัฒนาเครื่องจักรขึ้นมาใหม่ ซึ่งการที่จะพัฒนาเครื่องจักรสำหรับตัดไม้โตเร็วให้มีขนาดตามต้องการจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาคุณสมบัติ และพารามิเตอร์ที่สำคัญ ต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบ

การศึกษารุ่นนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติกำลังเฉือน ของเชื้อเพลิงชีวมวล 2 ชนิด คือ ไม้กระถินยักษ์ และ ไม้ยูคาลิปตัส โดยใช้เครื่องวัดแรงกด (UTM, Universal Testing Machine) ขนาด 50 kN โดยมีขั้นตอนการศึกษา คือ การเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลโดยแบ่งไม้กระถินยักษ์ออกเป็น 4 ขนาด คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 17.8, 25.4, 38.1 และ 50.8 mm (0.7", 1", 1 1/2" และ 2") และยูคาลิปตัส เส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 mm ที่มีมุมใบมีด 2 แบบ คือ 30 และ 45 องศา และองศาการตัด 5 แบบ คือ 0, 30, 45, 60 และ 90 องศา ผลการทดสอบพบว่าการตัดด้วยใบมีดที่ทำมุม 30 องศาจะใช้แรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือนสูงสุด และพลังงานตัดจำเพาะน้อยกว่าใบมีดที่ทำมุม 45 องศา

เครื่องตัดไม้โตเร็วที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนา มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 90 cm x 240 cm x 140 cm ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้นกำลังใช้ชุดเกียร์เป็นระบบทดกำลัง สามารถเปลี่ยนใบมีดตัดจาก 2 เป็น 4 ใบมีดได้ มีมุมใบมีด 30 และ 45 องศา และออกแบบทางเข้าของวัสดุเพื่อให้มุมตัดเท่ากับ 45 องศา มีกำลังการผลิต ไม้กระถินยักษ์สด ไม้ยูคาลิปตัสสด และกระถินยักษ์แห้ง เท่ากับ 338.74, 270.54 และ 176.52 kg/hr ตามลำดับ ซึ่งมีสมรรถนะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 97.88, 29.95 และ 174.01% ตามลำดับ ขนาดของความยาวไม้ที่ผ่านการตัดจากเครื่องตัดไม้โตเร็วมีขนาดความยาวเฉลี่ย ทั้งไม้ยูคาลิปตัส และไม้กระถินยักษ์ เท่ากับ 10.93 cm

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา   
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

NATTHAPONG PRAPAKARN : STUDY OF PRELIMINARY  
PARAMETERS FOR DESIGNING A BIOMASS CUTTING MACHINE  
FOR BIOMASS GASIFICATION POWER PLANT.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. WEERACHAI ARJHARN, Ph.D., 100 PP.

BIOMASS/ CUTTING FORCE/ SHEAR STRENGTH/ SPECIFIC CUTTING ENERGY

According to a study on a small scale biomass power plant for community using gasification technology, fast-growing tree is suitable for using as a fuel the maximum size of which should be 5.08 and 15 cm. in diameter and length, respectively. Nevertheless, cutting machines used currently can produce only small pieces of the fuel. Therefore, it is necessary to develop an appropriate machine to meet this requirement. In order to develop a cutting machine, it is imperative to study primary properties and parameters.

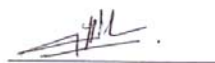
In this study, cutting properties of two kinds of biomass which are Giant Leucaena and Eucalyptus were determined by using a 15 kN Universal Testing Machine (UTM). The test was carried out on four sizes of Giant Leucaena including 17.8, 25.4, 38.1 and 50.8 mm (0.7", 1", 1.5" and 2") in diameter and a size of 50 mm in diameter for Eucalyptus. Various degrees of knife bevel angles of 30° and 45° and sample cutting directions of 0°, 30°, 45° and 60° were used in comparison. The study indicates that cutting the samples by using 30° knife bevel angle needs maximum cutting force, maximum shear and specific cutting energy less than that of using 40° knife bevel angle.

The cutting machine designed and developed has a dimension width x length x height of 90 x 240 x 140 cm and uses electrical motor as power source. The power is transmitted by using gear box. The number of cutting blade could be either 2 or 4 blades, all of which could possibly have knife bevel angle of 30° and 45°. The designed feeding angle of materials is equal to 45°. The experiment showed that the production capacity of fresh and dried Giant Leucaena and fresh Eucalyptus were 338.74, 176.52 and 207.54 kg/hr, respectively. The production capacity would be increased up to 97.88, 174.01 and 29.95% for fresh and dried Giant Leucaena and fresh Eucalyptus, respectively if the number of cutting blades increases from 2 to 4 blades. The average length of Giant Leucaena and Eucalyptus after cutting is 10.93 cm.

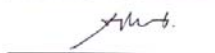
School of Mechanical Engineering

Academic Year 2008

Student's Signature



Advisor's Signature



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรชัย อัจฉาญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษาด้านวิชาการ ช่วยแก้ไขปัญหา ตลอดจนช่วยตรวจสอบ และแก้ไข วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ อาจารย์ ดร.พยุงศักดิ์ จุลยุเสนา และอาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาด้านวิชาการ อันเป็นประโยชน์

อาจารย์ชาญชัย โรจนสโรช และอาจารย์ พรรษา ลิบลับ ที่คอยให้คำปรึกษาด้านวิชาการ อันเป็นประโยชน์

คุณกรรณิกา ประเสริฐสังข์ และบุคลากรศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ กำลังกาย และคำแนะนำปรึกษามาโดยตลอด

คุณจรรยาพร ศรีวิไลลักษณ์ และคุณอาภาภรณ์ ศรีอักษรวิทยา ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษาการ จัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์และคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ การกิจโครงการและประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย เพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ที่ดี ให้แก่ผู้วิจัย และสำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งที่ให้การเลี้ยงดู อบรม ส่งเสริมการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้และมีหลักธรรมในการดำเนินชีวิตที่ดี ตลอดมา

ณัฐพงษ์ ประภาการ

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ .....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	๗

## บทที่

<b>1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>5</b>
2.1 ไม้โตเร็ว .....	5
2.2 ประเภทของไม้โตเร็ว.....	6
2.2.1 ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส .....	6
2.2.2 กระถินยักษ์ .....	9
2.3 การเก็บเกี่ยวไม้โตเร็ว (Short Rotation Forest Harvesting).....	11
2.4 การสับ/ การย่อย ลดขนาด เชื้อเพลิงชีวมวล.....	14
2.4.1 เครื่องชิพ (Biomass Chipping and Chunking) .....	14
2.4.2 เครื่องเชรดเคอร์ (Shredder).....	15
2.4.3 เครื่องเลื่อย (Saw Machine) .....	15
2.5 การผลิตพลังงานจากไม้โตเร็วโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน .....	18



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	22
2.6.1 ทอร์ก.....	22
2.6.2 กำลัง.....	22
2.6.3 กำลังเฉือน.....	24
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
<b>3 เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย .....</b>	<b>27</b>
3.1 เชื้อเพลิงชีวมวล.....	27
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด.....	29
3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด.....	29
3.2.2 เครื่องตัดไม้เชื้อเพลิงชีวมวล.....	31
3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.3.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	32
3.3.2 การพัฒนาต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล.....	35
<b>4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....</b>	<b>40</b>
4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ.....	40
4.2 การศึกษาพฤติกรรมการตัดของไม้ไผ่เร็วในห้องปฏิบัติการ .....	40
4.2.1 ลักษณะของ Force-displacement ที่ได้จากการตัด.....	40
4.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนสูงสุด.....	43
4.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังเฉือนสูงสุด.....	45
4.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานตัดจำเพาะ.....	47
4.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังตัดจำเพาะ.....	49
4.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติ	
ทางกลของการตัด.....	50
4.4 การพัฒนาต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล.....	50
4.4.1 ชุดต้นกำลัง.....	51
4.4.2 ชุดใบมีดตัด.....	51

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.3 ช่องป้อนวัตถุดิบ.....	53
4.4.4 เครื่องต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล .....	54
4.5 การทดสอบสมรรถนะต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว .....	55
4.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว .....	56
4.5.2 ปัจจัยที่มีผลแรงบิด.....	58
4.5.3 พลังงานที่ใช้ในการตัด .....	59
4.5.4 แรงตัดสูงสุด แรงเฉือน และกำลังตัดจำเพาะเฉลี่ย.....	59
4.5.5 กำลังเฉือน .....	60
4.5.6 กำลังตัดจำเพาะที่ใช้ในการตัด.....	60
4.5.7 ขนาด ความยาว และคุณภาพ ของไม้หลังจากการทดสอบเครื่องตัด ไม้โตเร็ว .....	61
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	64
5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไม้โตเร็ว.....	64
5.1.2 คุณสมบัติแรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือน พลังงานที่ใช้ในการตัดรวมทั้ง มุมของใบมีด และมุมตัดที่เหมาะสมของการตัดไม้โตเร็ว .....	64
5.1.3 เครื่องต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว.....	64
5.1.4 ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องตัดไม้โตเร็วต้นแบบ.....	65
5.2 การนำไปใช้ประโยชน์.....	65
5.3 แนวทางการวิจัย และข้อเสนอแนะ .....	65

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง .....	66
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์.....	68
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ .....	71
ภาคผนวก ค. Calibration Cuve of Torque Transducer.....	81
ภาคผนวก ง. แบบเครื่องต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล .....	85
ภาคผนวก จ. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	89
ประวัติผู้เขียน.....	100

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	แสดงสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลทั้ง 2 ชนิด .....40
4.2	ผลของมุมเอียงใบมีด ( Knife Bevel Angle) มุมที่มีดกระทำกับไม้ (Cutting Angle) และขนาดของวัสดุต่อค่าแรงเฉือนสูงสุด (Max. Cutting Force; kN) .....43
4.3	ผลของมุมเอียงใบมีด ( Knife Bevel Angle) มุมที่มีดกระทำกับไม้ (Cutting Angle) และขนาดของวัสดุต่อค่ากำลังเฉือนสูงสุด (Max. Shear Strength; MPa).....45
4.4	ผลของมุมเอียงใบมีด ( Knife Bevel Angle) มุมที่มีดกระทำกับไม้ (Cutting Angle) และขนาดของวัสดุต่อค่าพลังงานตัดจำเพาะ (Specific Cutting Energy; kN/m).....47
4.5	ผลของมุมเอียงใบมีด ( Knife Bevel Angle) มุมที่มีดกระทำกับไม้ (Cutting Angle)และ ขนาดของวัสดุต่อค่ากำลังตัดจำเพาะ (Specific Cutting Power; kW/m <sup>2</sup> ) .....49
4.6	สมการสำหรับทำนายค่าคุณสมบัติทางกลของการตัดของต้นกระถินยักษ์.....50
4.7	สมบัติของชุดเกียร์ถ่ายทอดกำลัง .....53
4.8	แสดงสมรรถนะในการตัด ไม้เชิงปริมาณของเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/hr) .....55
4.9	แสดงเปรียบเทียบสมรรถนะที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจาก 2 ใบมีดเป็น 4 ใบมีด ของเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล (%) .....56
4.10	แสดงแรงบิดของการตัด ไม้ของเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล (kN.m) .....58
4.11	ตารางแสดงพลังงานที่ใช้ตัด ไม้ของเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล (kW) .....59
4.12	ตารางแสดงแรงตัดเฉลี่ยของการตัด ไม้ของเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล (kN).....60
4.13	ตารางแสดงกำลังเฉือนเฉลี่ยของการตัด ไม้ของเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล (MPa) .....60
4.14	ตารางแสดงพลังงานตัดจำเพาะของของเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล (kW/m <sup>2</sup> ) .....61
4.15	แสดงขนาดเฉลี่ยหลังจากการตัด ไม้ของเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล (cm).....61
ข1	ตัวอย่างค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล มุมคมใบมีด 30 องศา.....75

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข2	ตัวอย่างข้อมูลการวัดค่าสัญญาณ (V) ที่ มุมตัด 45 องศา .....	80
ค1	การวัดค่า Volt .....	84

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะต้นยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิส .....	7
2.2	ลักษณะใบยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิส .....	8
2.3	ลักษณะต้นกระถินยักษ์.....	10
2.4	ลักษณะใบกระถินยักษ์ .....	10
2.5	เลื่อยโซ่ .....	11
2.6	ชนิดของ Feller Buncher.....	12
2.7	เครื่องเกี่ยวหญ้าที่นำมาดัดแปลงเป็น Coppice Harvester สำหรับใช้เก็บเกี่ยว Willow Crop.....	13
2.8	การดัดแปลงรถตัดอ้อยมาใช้กับการเก็บเกี่ยวไม้โตเร็ว .....	14
2.9	ประเภทของเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด จำแนกตามประเภทของหัวสับ.....	15
2.10	On-site Chipper ประเภทต่างๆ .....	16
2.11	เชรดเดอร์ (Shredder).....	17
2.12	เครื่องเลื่อย สำหรับเตรียมเชื้อเพลิง พัฒนาโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี .....	18
2.13	แผนผังส่วนประกอบที่สำคัญของคั้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี .....	19
2.14	กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น .....	20
2.15	แสดงทอร์คที่กระทำ .....	22
3.1	ไม้กระถินยักษ์สด .....	27
3.2	ไม้ยูคาลิปตัสสด.....	28
3.3	ไม้กระถินยักษ์แห้ง .....	28
3.4	อุปกรณ์และเครื่องมือวัด.....	29
3.5	ลักษณะใบมีด 2 ใบ .....	31
3.6	เครื่องตัดไม้เชื้อเพลิงชีวมวล 2 ใบมีด .....	32
3.7	ลักษณะการติดตั้งการวัดแรงเฉือน โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine: UTM.....	33
3.8	การเตรียมติดตั้งอุปกรณ์.....	33

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9	การเตรียมตัวอย่างก่อนทดสอบ.....34
3.10	แบบต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล .....36
3.11	การทดสอบหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ด้วยเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล .....37
3.12	ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์การวัดและการทดสอบ .....38
4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเดือนและระยะทางของใบมีดของไม้กระถินยักษ์.....41
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเดือนและระยะทางของใบมีดไม้ยูคาลิปตัส .....42
4.3	กราฟอธิบายพฤติกรรมของแรงเดือนในช่วงต่าง ๆ.....42
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของวัสดุที่มีผลต่อค่าแรงเดือนสูงสุด ที่มุมตัด 30 องศา.....44
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมตัดที่มีผลต่อแรงเดือนสูงสุดที่ขนาดของ วัสดุ 50.8 mm .....44
4.6	กราฟความสัมพันธ์ขนาดของวัสดุที่มีผลต่อกำลังเดือนสูงสุด ที่มุมตัด 30 องศา.....44
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตัดที่มีผลต่อกำลังเดือนสูงสุดที่ขนาดของวัสดุ 50.8 mm .....46
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของวัสดุกับกำลังงานตัดจำเพาะที่มุมตัด 30 องศา.....48
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตัดกับกำลังงานตัดจำเพาะที่ขนาดของวัสดุ 50.8 mm.....48
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตัดกับกำลังตัดจำเพาะที่ขนาดของวัสดุ 50.8 mm .....49
4.11	มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นต้นกำลังสำหรับเครื่องต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล.....51
4.12	ชุดใบมีด .....52
4.13	แสดงช่องป้อนวัตถุ .....53
4.14	เครื่องต้นแบบตัดเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนา.....54
4.15	เครื่องต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล .....55
4.16	แสดงใบมีด 2 ใบ และ 4 ใบ .....56

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.17	แสดงถึงสมรรถนะของเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวลกับชนิดของไม้ .....	57
4.18	แสดงถึงสมรรถนะของเครื่องตัดเปรียบเทียบ มุมตัด 30 และ 45 องศา .....	58
4.19	แสดงไม้ตัวหลังจากการทดสอบการตัดด้วยเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล .....	62
ค1	การติดตั้งอุปกรณ์ในการหา Calibration Cuve .....	82
ค2	Set ระดับ .....	83
ค3	การทำ Calibration Cuve .....	83
ค4	Calibration Cuve.....	84
ง1	แสดงแบบเครื่องตัดไม้ไต่เร้ว .....	86
ง2	แสดงแบบชุดประกอบใบมีด .....	87
ง3	แสดงแบบชุดมีดตัด .....	88



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่หน้าตัด
ASTM	=	American Society of Testing and Material
C	=	ธาตุคาร์บอน (Carbon)
Cl	=	ธาตุคลอรีน (Cholorine)
cm	=	เซนติเมตร
CO	=	แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbonmonoxide)
CO <sub>2</sub>	=	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)
E	=	พลังงานตัดจำเพาะ
F	=	แรงเฉือน
H	=	ธาตุไฮโดรเจน (Hydrogen)
H	=	ความสูง
HP	=	แรงม้า
hr	=	ชั่วโมง (hour)
Hz	=	ความถี่ (Herit)
kg	=	กิโลกรัม (Kilogram)
kW	=	กิโลวัตต์ (Kilowatt)
kJ/kg	=	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
kg/hr	=	สมรรถนะเครื่องตัด
kWh	=	กิโลวัตต์-ชั่วโมง (Kilowatt hour)
L	=	ความยาว
m	=	เมตร
m <sub>bio</sub>	=	Biomass Consumption (kg/hr)
m <sup>2</sup>	=	ตารางเมตร
MJ	=	เมกะจูล (Mega Joule)
N/A	=	Not Analysis
N	=	ธาตุไนโตรเจน (Nitrogen)
n	=	จำนวนหน่วยใต้กราฟแรงเฉือน

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

NO	=	แก๊สไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide)
NO <sub>2</sub>	=	แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen dioxide)
NO <sub>x</sub>	=	แก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน (Nitrogen oxide)
O	=	ธาตุออกซิเจน (Oxygen)
O <sub>2</sub>	=	แก๊สออกซิเจน (Oxygen Gas)
P	=	กำลัง
r	=	รัศมีการตัด
rpm	=	ความเร็วรอบ
T	=	ทอร์ค (แรงบิด)
T <sub>0</sub>	=	ทอร์ค (แรงบิดเนื่องจากเดินตัวเปล่า)
v	=	ความเร็ว
∅	=	Diameter
Γ	=	แรงบิดจำเพาะ
τ	=	กำลังเฉือน

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีเชื้อเพลิงชีวมวล หรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ทั้งที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตการเกษตร ไร่ นา และสวนเกษตร ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลคงเหลือในปี 2549 ของมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อมพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้าอีก 34 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานเทียบเท่ามันดิบ 7,200 ล้าน ตัน (ktoe) ทั้งนี้เชื้อเพลิงชีวมวลที่คงเหลือส่วนใหญ่จะกระจัดกระจายไปในแปลงเกษตรไม่สามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างสะดวกและใช้ต้นทุนในการรวบรวมสูง นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลบางชนิดมีขนาดและความชื้นที่ยังไม่เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น ทางปาล์ม ทะลายปาล์ม รากไม้ยางพารา เป็นต้นดังนั้น การที่จะนำเชื้อเพลิงชีวมวลดังกล่าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจำเป็นต้องมีการนำมาแปรรูปให้เหมาะสมก่อนที่จะนำมาใช้งาน เช่น การทำความสะอาด การลดขนาด และการลดความชื้น เป็นต้น

ดังนั้นการที่จะดำเนินการส่งเสริมการให้มีการใช้พลังงานทดแทนตามเป้าหมายที่กระทรวงพลังงานกำหนดจะต้องมีการศึกษาแนวทางการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลอย่างเป็นระบบให้เชื่อมโยงกันทั้งในระดับมหภาคและในระดับชุมชนเป็นประเด็นแรก โดยสมควรที่จะกระทำควบคู่ไปกับการวางแผนขยายพื้นที่การปลูกพืชพลังงานเพื่อให้เกิดความมั่นคงทางด้านเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นประเด็นที่สองด้วยเหตุที่ว่าปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นมีมากน้อยไม่แน่นอนตามฤดูกาลขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณการเพาะปลูก และผลผลิตของพืชผลทางการเกษตร โดยพืชพลังงานที่ได้รับการยอมรับและเหมาะสมกับประเทศไทย คือ ไม้โตเร็ว จากผลการศึกษาแหล่งพลังงานทดแทนของประเทศจากหลายหน่วยงาน/สถาบันการศึกษาพบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพในการพัฒนาระบบการปลูกไม้โตเร็วเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ เนื่องจากที่ตั้งของประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนบริเวณศูนย์สูตรของโลกรับแสงอาทิตย์วันละ 12 ชั่วโมง ทำให้การเจริญเติบโตของต้นไม้เร็วกว่าประเทศในแถบอบอุ่นและเขตหนาวเป็นจะใช้เวลาเพียง 4-6 ปี ส่วนไม้โตช้าใช้เวลา 30-40 ปี ในขณะที่ประเทศในเขตอบอุ่น และเขตหนาวต้องใช้เวลา 25-35 ปี สำหรับไม้โตเร็ว และ 80-120 ปีสำหรับไม้โตช้า

นอกจากนั้นจะต้องทำการส่งเสริมให้ชุมชนหรือท้องถิ่นสามารถผลิตพลังงานขึ้นใช้เองได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสนับสนุนให้เกิดการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรายเล็กมาก (VSPP) กำลังเป็นที่สนใจของรัฐบาล อันเนื่องมาจากเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่เกษตรกรเป็นผู้ผลิต ดังนั้นการผลิตพลังงานในแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลจะทำให้ต้นทุนการผลิตพลังงานต่ำกว่าการขนย้ายเชื้อเพลิงชีวมวลไปผลิตพลังงานอยู่นอกพื้นที่แสดงให้เห็นถึงโอกาสและความเป็นไปได้ที่เกษตรกรหรือชุมชนจะสามารถพัฒนาโครงการผลิตพลังงานขนาดเล็กไม่ว่าจะเป็นการผลิตเพื่อใช้เองในชุมชนหรือผลิตขายให้แก่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ นอกจากนี้เชื้อเพลิงชีวมวลส่วนที่เหลือจากการผลิตพลังงานในชุมชนสามารถนำไปจำหน่ายให้แก่ ภาคอุตสาหกรรมได้อีกด้วย

การที่จะส่งเสริมให้ชุมชนหรือท้องถิ่นผลิตพลังงานขึ้นใช้เองจะต้องใช้เทคโนโลยีที่ง่ายไม่ซับซ้อนเข้าไปส่งเสริมอันเนื่องมาจากพื้นฐานความรู้และความชำนาญของเกษตรกร น้อยมากซึ่งเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับชุมชน และได้รับการยอมรับกันทั่วโลกว่าเป็นเทคโนโลยีที่ง่ายไม่ซับซ้อน และมีความปลอดภัย คือ เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Biomass Gasification) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่อาศัย กระบวนการ Thermo-Chemical เปลี่ยนองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่มีค่า Heating Value สูงประกอบด้วย แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) และแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) ที่สามารถใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในผลิตกระแสไฟฟ้า (Engine-generator Set) ได้ ซึ่งในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนี้เป็นระบบที่มีความดันต่ำ (Low pressure) ไม่มีอันตราย อีกทั้งเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ดีเซลหรือเบนซินที่เกษตรกรมีความคุ้นเคยสามารถดูแลรักษาได้เอง

จากผลการศึกษา “โครงการศึกษาด้านแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน” พบว่าโรงไฟฟ้าชีวมวล “สุรนารี” ขนาด 100 กิโลวัตต์ สามารถใช้เชื้อเพลิงชีวมวลได้ทุกชนิดโดยได้ทำการทดสอบกับ แกลบ ชังข้าวโพด ทางปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ปีกไม้ยางพารา กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม และไม้โตเร็วทุกชนิด ทั้งนี้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติของชีวมวล ส่วนผลการทดสอบประสิทธิภาพพบว่า เชื้อเพลิงชีวมวล 1.2-2.0 กิโลกรัม (15%MC) สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 1 หน่วย (kWh) มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้า 11-18% เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ไม้โตเร็ว ชังข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง โดยมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า 18, 17, และ 13% ตามลำดับ

จากผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงชีวมวลประเภท ไม้โตเร็วเป็นเชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมทั้งด้านประสิทธิภาพและการเข้าถึงเชื้อเพลิงเนื่องจากสามารถรวบรวมได้ง่ายไม่ขึ้นอยู่กับฤดูกาลเหมือนกับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ เช่น เหง้ามันสำปะหลังและ

ช่างชาวโพลด์ อย่างไรก็ตามการเตรียมเชื้อเพลิงไม้โตเร็วเพื่อป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้านั้นค่อนข้างยาก เนื่องจากเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันดังกล่าวมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยขนาดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมจะมีลักษณะเป็นท่อนขนาดเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวไม่เกิน 5.08 และ 15 cm ตามลำดับ ซึ่งปกติการเตรียมเชื้อเพลิงไม้โตเร็วจะใช้แรงงานคนสับด้วยมือ หรือใช้เครื่องเลื่อยโต๊ะ (Saw Mill) ซึ่งมีกำลังการผลิตต่ำเฉลี่ย 100 kg/hr และ 250 kg/hr ตามลำดับ ซึ่งมีสมรรถนะค่อนข้างต่ำจำเป็นต้องทำการพัฒนาเครื่องตัดหรือเครื่องสับไม้ให้มีอัตราการตัดที่สูงขึ้น

ปัจจุบันเครื่องสับไม้โตเร็วที่ใช้อยู่ทั่วไปนั้นจะสับไม้โตเร็วได้มีขนาดเล็กเกินไปไม่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้ ดังนั้นจำเป็นต้องทำการพัฒนาเครื่องจักรขึ้นมาใหม่ ซึ่งการที่จะพัฒนาเครื่องจักรสำหรับตัดไม้โตเร็วให้มีขนาดตามต้องการจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาคุณสมบัติและพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่สำคัญเนื่องจากเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นวัสดุทางชีวภาพที่มีสมบัติทางวิศวกรรมแตกต่างกันไป ตลอดจนคุณสมบัติทางกายภาพไม่ว่าจะเป็นขนาด ความชื้น และความหนาแน่น ฯลฯ ก็แตกต่างกันด้วยทำให้การทำนายพฤติกรรมการตัดทำได้ยากซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการออกแบบรายละเอียดเป็นลำดับต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของไม้โตเร็ว ซึ่งประกอบด้วยขนาด ความหนาแน่น และความชื้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาศึกษาสมบัติแรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือน พลังงานที่ใช้ในการตัด รวมทั้งอิทธิพลของมุมใบมีด และมุมตัดที่มีผลต่อการตัดเชื้อเพลิงชีวมวล
- 1.2.3 พัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็วให้เหมาะสมสำหรับการทดสอบและผลิตเชื้อเพลิงให้กับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน
- 1.2.4 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องตัดไม้โตเร็วต้นแบบ ปรับปรุงและเสนอแนะแนวทางพัฒนาต่อไป

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ คือ ความหนาแน่น ขนาด และความชื้นของไม้โตเร็ว 2 ชนิดคือ ไม้กระถินยักษ์ และ ไม้ยูคาลิปตัส ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54-5.08 cm (1-2 นิ้ว) เท่านั้น

- 1.3.2 ในการศึกษานี้จะทำการหา แรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือน และพลังงานที่ใช้ในการตัด
- 1.3.3 ในการศึกษานี้จะทำการหามุมของใบมีดและมุมตัดที่เหมาะสมที่ใช้ในการสับไม้โตเร็วทั้ง 2 ชนิด
- 1.3.4 ในการศึกษานี้จะทำการพัฒนาต้นแบบเครื่องสับที่เหมาะสมกับการสับไม้โตเร็ว 2 ชนิด ที่มีอัตราการสับมากกว่า 250 kg/hr โดยออกแบบจากคุณสมบัติเบื้องต้นที่ได้ทำการศึกษา

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดไม้โตเร็ว
- 1.4.2 ได้เครื่องตัดที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมกับไม้โตเร็ว 2 ชนิด
- 1.4.3 ทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องตัดชีวมวลหลังจากการพัฒนาเครื่องตัดไม้โตเร็ว

## บทที่ 2

### ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไม้โตเร็ว

การนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนนั้นมีมานาน โดยการนำชีวมวลมาใช้ในครัวเรือนเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในรูปของ ฟืนหรือถ่าน ตลอดจนใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กซึ่งชีวมวลดังกล่าว โดยทั่วไปเรียกว่า Traditional Biomass ซึ่งไม่มีระบบจัดหา จัดซื้อ ทั้งนี้ผู้ใช้ชีวมวลจะดำเนินการรวบรวมเองมีการใช้ในปริมาณไม่มาก ไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนชีวมวล

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เกิดขึ้นมากทำให้ความต้องการเชื้อเพลิงชีวมวลเพิ่มขึ้นเพื่อนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงถ่านหินหรือน้ำมันปิโตรเลียม ผู้ประกอบการหรือโรงงานอุตสาหกรรม จำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลและจัดให้มีระบบการจัดซื้อ จัดหา ทำให้เชื้อเพลิงชีวมวลเหล่านี้มีมูลค่าจัดเป็น Modern Biomass และมีแนวโน้มที่จะมีราคาสูงขึ้นยกตัวอย่างเช่น ราคาแกลบ ได้พุ่งสูงขึ้นอย่างมากจากตันละ 250 บาท เป็น 600-800 บาททำให้ผู้ประกอบการ โรงไฟฟ้าชีวมวลปัจจุบัน และผู้ประกอบการที่จะพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลใหม่ ๆ ประสบกับสถานะขาดแคลนวัตถุดิบและไม่คุ้มค่าแก่การลงทุนตามลำดับ จึงจำเป็นต้องคิดถึงทางเลือกอื่น ๆ ที่จะทำให้โครงการคุ้มทุนและยั่งยืน

ชีวมวลที่ได้จากการทำสวนป่าเศรษฐกิจหรือการปลูกไม้โตเร็วไว้ใช้เป็นเชื้อเพลิง (Woody Biomass) จึงเป็นทางเลือกที่ได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการ เนื่องมาจากประเทศไทยเรามีการปลูกสวนป่าเศรษฐกิจกันเป็นจำนวนมาก เช่น ไม้ยูคาลิปตัส กระถินณรงค์ และกระถินเทพา แต่เป็นการใช้เพื่ออุตสาหกรรมอื่น เช่น กระดาษ เฟอร์นิเจอร์ และไม้สำเร็จรูป เป็นต้น ทั้งนี้เศษที่เหลือจากอุตสาหกรรมเหล่านั้นคือ กิ่งไม้ ปลายไม้ขนาดเล็ก และจี้เลื่อย ประมาณ 10% จะถูกนำไป ใช้เป็นพลังงานซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่เกิดขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มพื้นที่ในการปลูกสวนป่าเศรษฐกิจหรือทำการส่งเสริมให้เกิดการปลูกไม้โตเร็วสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเฉพาะ

ในการนำไม้หรือชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้นจำเป็นต้องมีการแปรรูปให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้เนื่องจากสมบัติต่าง ๆ ของไม้หรือชีวมวลนั้นไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะทางกายภาพ (ขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น) ซึ่งมีผลโดยตรงในการใช้เป็นเชื้อเพลิงทั้งนี้ ความชื้นและองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งมีผลต่อปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matter) และค่าความร้อนที่มีผล

ต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นพลังงานของเชื้อเพลิงชีวมวลทางโรงงานอุตสาหกรรมจะถือว่าเป็นประเด็นสำคัญรองลงมา ทั้งนี้เนื่องมาจากการขาดแคลนเชื้อเพลิงชีวมวลดังนั้นจะเห็นว่าขั้นตอนและการผลิตชีวมวลสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทยจะเน้นในส่วนของการลดขนาดชีวมวลเป็นสำคัญ

## 2.2 ประเภทของไม้โตเร็ว

ประเภทหรือพันธุ์ไม้โตเร็วเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในผลิตไฟฟ้าให้ค่าความร้อนสูงที่มีคุณสมบัติข้างต้นมีหลายพันธุ์ แต่ที่น่าสนใจเป็นไม้ต่างถิ่นที่นิยมปลูกกันในปัจจุบัน คือ ยูคาลิปตัส กระจินยักษ์ และกระจินเทา

### 2.2.1 ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส

ไม้ยูคาลิปตัสที่เหมาะสมกับประเทศไทยที่ได้รับการยอมรับและปลูกกันอย่างแพร่หลาย คือ ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อยู่ในวงศ์ Myrtaceae เป็นไม้โตเร็วชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมเนื่องจากมีรูปทรงลำต้นเปลาตรงสามารถเจริญเติบโตและตัดฟันเพื่อใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่อายุ 3-5 ปี และยังสามารถแตกหน่อได้ดีโดยไม่ต้องปลูกใหม่ ยูคาลิปตัสเป็นพันธุ์ไม้จากต่างประเทศที่มีมากกว่า 700 ชนิด มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปออสเตรเลียเป็นส่วนใหญ่ สำหรับประเทศไทยได้เริ่มนำยูคาลิปตัสชนิดต่าง ๆ มาทดลองปลูกเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2493 แต่เริ่มปลูกทดลองกันอย่างจริงจังเมื่อปี พ.ศ. 2507 ผลปรากฏว่ายูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส สามารถเจริญเติบโตได้ในแทบทุกสภาพพื้นที่และมีอัตราการเจริญเติบโตสูงจึงนิยมปลูกกันมากอย่างแพร่หลาย ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพของดินแทบทุกประเภท ตั้งแต่ในที่ริมน้ำ ที่ราบมีน้ำท่วมบางครั้งในรอบปีหรือแม้แต่ดินที่เป็นทรายและมีความแห้งแล้งติดต่อกันเป็นเวลานาน พื้นที่ดินเลวที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 650 มิลลิเมตรต่อปี รวมทั้งพื้นที่ที่มีดินเค็ม ดินเปรี้ยว และไม้ทนทานต่อดินที่มีองค์ประกอบของหินปูนสูง โดย ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส มีลักษณะทั่วไปได้แก่

ลำต้น ยูคาลิปตัสเป็นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่มีความสูง 24-26 m และอาจสูงถึง 50 m ความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-2 m หรืออาจโตมากกว่านี้ รูปทรงสูงเปลาตรง มีกิ่งก้านน้อย ดังแสดงใน รูปที่ 2.1

ใบ เป็นคู่ตรงข้ามเรียงสลับกันลักษณะใบเป็นรูปหอก ก้านใบยาว ใบสีเขียวอ่อนทั้งสองด้านบางครั้งมีสีเทาใบบางห้อยลงเส้นใบมองเห็นได้ชัด ดังแสดงใน รูปที่ 2.2



*เปลือก* มีลักษณะเรียบเป็นมันมีสีเทาสลับสีขาวและน้ำตาลแดงเป็นบางแห่ง เปลือกนอกจะแตกออกเป็นแผ่นหลุดออกจากผิวของลำต้นเมื่อแห้งและลอกออกได้ง่าย

*เมล็ด* ขนาดเล็กกว่า 1 mm สีเหลือง

*ช่อดอก* เกิดที่ข้อต่อระหว่างกิ่งกับใบ มีก้านดอกเรียวยาวและมีก้านย่อยแยกไปอีก ออกดอกเกือบตลอดปี ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นไม้บางครั้งมีทั้งดอกตูมดอกบาน ผลอ่อนและผลแก่ในกิ่งเดียวกันออกดอกปีละ 7-8 เดือน

*ผล* ลักษณะครึ่งวงกลมหรือรูปถ้วย ผิวนอกแข็งเมื่อยังอ่อนอยู่จะมีสีเขียวและจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่ เมื่อผลแก่ปลายผลจะแยกออกทำให้เมล็ดที่อยู่ภายในร่วงหล่นออกมา

*เนื้อไม้* มีแก่นสีน้ำตาล กระจุกสีน้ำตาลอ่อน กระจุกสีและแก่นสีแตกต่างกันได้ชัด ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ที่มีอายุมากขึ้นจะมีสีน้ำตาลแดงเข้มกว่าไม้ที่มีอายุน้อย เนื้อไม้มีลักษณะค่อนข้างละเอียด มีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 ในสภาพแห้งแล้งซึ่งขึ้นอยู่กับอายุของไม้ เนื้อไม้แตกง่ายหลังจากตัดฟันตามแนวยาวขนานลำต้น แต่ถ้าทำให้ถูกหลักวิธีก็สามารถนำมาเลื่อยทำเครื่องเรือนและก่อสร้างได้



รูปที่ 2.1 ลักษณะต้นยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส



รูปที่ 2.2 ลักษณะใบยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส

การเจริญเติบโตและความสามารถในการนำมาใช้เป็นพลังงาน ปัจจุบันไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส ได้รับการปรับปรุงพันธุ์มาอย่างต่อเนื่องและยาวนานทำให้เป็นพันธุ์ไม้ที่ให้ผลผลิตด้านมวลชีวภาพที่สูงมีความแข็งแรงและอัตราการเจริญเติบโตดี เนื่องจากไม้ยูคาลิปตัส มีศักยภาพสูงในด้านการแตกหน่อ ดังนั้นในด้านการจัดการสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสในปัจจุบันจึงนิยมตัดฟันเมื่อต้นไม้มีอายุ 5 ปี หลังการปลูกด้วยกล้า จากนั้นจึงปล่อยให้แตกหน่อตามธรรมชาติภายหลังที่หน่ออายุได้ 5 ปี ก็ดำเนินการตัดไม้ออกทั้งหมดและปล่อยให้แตกหน่อซ้ำอีก 1 ครั้ง โดยดำเนินการกับหน่อเช่นเดียวกันกับการแตกหน่อครั้งที่ 1 ภายหลังจากตัดหน่อในรอบที่สองออกหมดแล้วจึงจะดำเนินการรื้อแปลงแล้วปลูกไม้กระถินเทพาแทนโดยใช้กล้าปลูก เพื่อบำรุงดินต่อไปอีก 5 ปี ไม้ยูคาลิปตัสสามารถขึ้นได้ดีแม้ลักษณะดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเร็วและมีลักษณะน้ำท่วมขังในฤดูฝน ซึ่งลักษณะเช่นนี้ต้นไม้อายุหลายชนิดไม่สามารถปลูกได้หรือในสภาพที่เป็นดินลูกรังที่ต้นไม้อายุชนิดอื่นแทบขึ้นไม่ได้ ยูคาลิปตัสก็สามารถขึ้นได้แม้จะให้ผลผลิตที่ค่อนข้างต่ำแต่คุ้มค่ามากกว่าการปล่อยให้พื้นที่ว่างเปล่าโดยไม่มีการสร้างผลผลิตใด ๆ เลย อีกทั้งยังช่วยรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมทางอ้อม โดยป้องกันการขยายตัวของพื้นที่ดินเค็มที่เกิดจากการระเหยของน้ำในดินในพื้นที่ที่โล่งและไม่มีต้นไม้อายุขึ้นปกคลุมอยู่ ไม้ยูคาลิปตัสเป็นไม้ที่มีคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงที่ดี และมีจีเอ็น้อย จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าไม้ยูคาลิปตัสให้พลังงานค่าความร้อน 18,557 kJ/kg (สาวิตรี คำหอม, 2551)

### 2.2.2 กระจินยักษ์

กระจินยักษ์ อยู่ในวงศ์ Mimosaceae (LEGUMINOSAE) เป็นไม้ขนาดกลางไม่ผลัดใบ ลำต้นเรียบสีน้ำตาลแดง มีการกระจายพันธุ์ในเขตร้อนของอเมริกา และหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยตั้งแต่สมัยสุโขทัย กระจินยักษ์จัดเป็นไม้โตเร็ว รอบการตัดฟันสั้นอายุ 5-6 ปี ก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดีในการทำเสารั้ว ฟัน ถ่าน จนถึงการทำเชื้อกระดาษ ใบกระจินยักษ์สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อีกด้วย เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง แต่หากให้เป็นอาหารสัตว์ติดต่อกันนานจะทำให้สัตว์ขบร่วมหูดเจริญเติบโตได้เนื่องจากมีสาร Mimosine นอกจากนี้ กระจินยักษ์เป็นพืชตระกูลถั่วจึงสามารถปลูกเพื่อบำรุงดินได้ บั๊กเทรีในปมรากสามารถตรึงไนโตรเจนได้มากกว่า 5,000 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 เฮกตาร์ ดังนั้น การปลูกป่ากระจินยักษ์จะช่วยปรับปรุงป่าที่เสื่อมโทรมให้กลับเป็นสภาพป่าที่อุดมสมบูรณ์ได้ เพราะกระจินยักษ์เติบโตเร็ว มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและช่วยในการปรับปรุงดินอีกด้วย ในแง่ของเกษตรกรรม การปลูกพืชระหว่างต้นกระจินยักษ์ก็จะช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดี กระจินยักษ์มีลักษณะทั่วไปได้แก่

*ลำต้น* สูงประมาณ 5-10 m ไม้ผลัดใบ เรือนยอดทรงกลมแผ่กว้างไม่ค่อยแตกกิ่งก้าน โตเร็ว ลำต้นเรียบสีน้ำตาลแดง ดังแสดงใน รูปที่ 2.3

*ใบ* ใบประกอบแบบขนนก 2 ชั้น ปลายคู่ เรียงสลับ แกนกลางใบประกอบยาว 10-20 cm แยกแขนง 3-10 คู่ ใบย่อยรูปไข่ แกมขอบขนานมีขนาดเล็กประมาณ 1 cm โคนใบมนและเบี้ยว ปลายใบแหลม ใต้ใบมีขนเล็กน้อย ดังแสดงใน รูปที่ 2.4

*ดอก* ดอกช่อแบบกระจุกแน่นรูปทรงกลมมีขนาด 2-3 cm ออกที่ซอกใบ 1-3 ช่อ ก้านช่อดอกยาว 2-5 cm ดอกขนาดเล็กกลีบดอก 5 กลีบ ไม้ติดกัน สีครีม มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ออกดอกตลอดปี

*ผล* เป็นฝักแบนรูปขอบขนาน กว้าง 1-2 cm ยาว 10-20 cm ปลายแหลมสีเขียว เมื่อแก่สีน้ำตาลแตกตามตะเข็บทั้ง 2 ด้าน

*เมล็ด* แบนสีน้ำตาลเป็นมันมีจำนวน 10-30 เมล็ด เรียงตามขวางของฝัก

*เนื้อไม้* กระจินยักษ์มีสีเหลืองอ่อนเกือบขาว แก่นมีสีน้ำตาลแดง เปลือกบาง เนื้อไม้เป็นเส้นตรง เลื่อยได้ ตบแต่งได้ง่าย เนื้อไม้ใช้ในการก่อสร้างได้ดี



รูปที่ 2.3 ลักษณะต้นกระถินยักษ์



รูปที่ 2.4 ลักษณะใบกระถินยักษ์

การเจริญเติบโตและความสามารถในการนำมาใช้เป็นพลังงาน การปลูกสร้างสวนป่าไม้กระถินยักษ์ในปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมของเกษตรกร เนื่องจากไม่มีตลาดรับซื้อไม้โดยเฉพาะ แต่ถ้ามีการส่งเสริมและมีโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้ารับซื้อผลผลิตแน่นอนก็มีโอกาสสูงที่เกษตรกรจะหันมาให้ความสนใจ เนื่องจากไม้กระถินยักษ์มีลักษณะเด่นในด้านการแตกหน่อและการสืบพันธุ์

ตามธรรมชาติจากเมล็ดที่ร่วงหล่นภายใต้ต้นแม่ ไม้กระถินยักษ์สามารถทำเป็นเชื้อเพลิงได้ดี เชื้อเพลิงจากไม้กระถินยักษ์ให้พลังงานความร้อน 18,557 kJ/kg (สาวิตรี คำหอม, 2551)

### 2.3 การเก็บเกี่ยวไม้โตเร็ว

วิธีการเก็บเกี่ยว หรือตัดไม้ที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การตัดด้วยเลื่อยโซ่ (Chainsaw) ดังแสดงใน รูปที่ 2.5 ซึ่งต่อมาในการทำสวนป่าเศรษฐกิจขนาดใหญ่มีการนำเครื่องจักรเข้ามาใช้เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถตัดได้เร็วและปลอดภัยกว่าเครื่องจักรที่นำมาใช้ เช่น Feller Buncher ดังแสดงใน รูปที่ 2.6 ทั้งนี้เครื่องจักรดังกล่าวเหมาะสมกับการทำสวนป่าเศรษฐกิจที่มีการผลิตไม้ขนาดใหญ่ เพื่อวัตถุประสงค์ในการทำเชื้อไม้หรือเฟอร์นิเจอร์ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการเก็บเกี่ยวไม้โตเร็ว



(ก) เลื่อยโซ่ไฟฟ้า



(ข) เลื่อยโซ่เครื่องยนต์

รูปที่ 2.5 เลื่อยโซ่



(ก) ประเภทล้อยาง



(ข) ประเภทแทรค

### รูปที่ 2.6 ชนิดของ Feller Buncher

จากการศึกษาและการสำรวจเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวไม้โตเร็วที่มีอายุสั้น ขนาดเล็ก พบว่า ยังไม่มีเครื่องจักรที่เหมาะสมในปัจจุบัน ทั้งนี้การพัฒนาเครื่องจักรเฉพาะดังกล่าวนี้กำลังอยู่ในช่วงเริ่มต้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า ผู้ประกอบการหรือวิศวกรผู้ผลิตเครื่องจักรนิยมดัดแปลงเครื่องเก็บเกี่ยวพืชเกษตร นำมาใช้สำหรับเก็บเกี่ยวไม้โตเร็ว ในกรณีในทวีปยุโรปนิยมปลูกพืช Willow Crop (*Salix Alba-L.*) ซึ่งเป็นพืชรุ่มลุก (Small Shrub) โตเร็วสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงและเยื่อกระดาษได้ดี การใช้เครื่องจักรในการเกี่ยวเก็บทำได้โดยทำการดัดแปลงเครื่องเก็บเกี่ยวหญา มาใช้เป็น Coppice Harvester สามารถเก็บเกี่ยว และย่อย Willow Crop ภายในตัวเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (วิรัช อัจหาญ, 2550)



รูปที่ 2.7 เครื่องเกี่ยวหญ้าที่นำมาดัดแปลงเป็น Coppice Harvester สำหรับใช้เก็บเกี่ยว Willow Crop

สำหรับเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวไม้โตเร็วในประเทศไทย พบว่ายังไม่ได้ให้ความสำคัญมากนักไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร นักวิชาการ วิศวกรเครื่องจักรกลการเกษตร อาจจะเป็นเพราะการปลูกไม้โตเร็วเพื่อใช้เป็นพลังงานยังไม่แพร่หลาย สามารถใช้แรงงานคนในการเก็บเกี่ยวได้ จากการทดสอบเก็บเกี่ยวไม้กระถินยักษ์ขนาดเฉลี่ย 1.5 นิ้ว โดยใช้มีดพร้าตัดฟันพบว่า กำลังการตัดไม้กระถินยักษ์เฉลี่ย 0.8-1.0 ตัน/แรงงานชาย 1 คน (อัตราค่าจ้าง 150 บาท/คน/วัน) ทั้งนี้ ไม่รวมการขนไม้ขึ้นรถ ซึ่งโดยเฉลี่ยอัตราค่าจ้าง 50 บาท/ตัน (วีรชัย อาจหาญ, 2550)

อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาปัญหาการขาดแคลนแรงงานภาคเกษตรที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นการขาดแคลนแรงงานตัดอ้อย แรงงานขุดมันสำปะหลัง ทำให้จำเป็นที่จะต้องพัฒนา หรือนำเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวไม้โตเร็วมาใช้ อันเนื่องมาจากการใช้เครื่องจักรกลเปรียบเทียบกับ การใช้แรงงานคนเป็นที่ยอมรับว่าเครื่องจักรกลสามารถทำงานได้รวดเร็วแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน การใช้แรงงานต่างด้าวและประหยัดกว่า อันเนื่องมีต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำ แต่อย่างไรก็ดี จำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงผลกระทบของการใช้เครื่องจักรในการเก็บเกี่ยว ซึ่งอาจมีผลต่อการเติบโตของชุมชนเวียนและผลผลิตชีวมวลไม้โตเร็ว เนื่องจากเครื่องจักรนั้นมีน้ำหนักมากมีผลต่อการบดอัดของดิน ซึ่งมีผลต่อระบบรากของไม้โตเร็วทั้งนี้เครื่องจักรที่เหมาะสมที่จะนำมาพัฒนามาเป็นเครื่องเก็บเกี่ยวไม้โตเร็วที่เหมาะสมกับประเทศไทย คือ รถตัดอ้อย (ชนิด Cut and Chip) ซึ่งสามารถดัดแปลง หัวตัดให้เหมาะสมกับสมบัติและความแข็งของไม้โตเร็วได้ สามารถตัดและย่อยไม้โตเร็วขนาดเล็ก

ลำเลียงใส่รถบรรทุกพร้อมส่ง ซึ่งในต่างประเทศมีการดัดแปลงรถตัดอ้อยมาใช้ในการเก็บเกี่ยวไม้โตเร็วกันบ้างแล้ว ดังแสดงใน รูปที่ 2.8 (วีรชัย อาจหาญ, 2550)



รูปที่ 2.8 การดัดแปลงรถตัดอ้อยมาใช้ในการเก็บเกี่ยวไม้โตเร็ว

## 2.4 การสับ/การย่อย ลดขนาดเชื้อเพลิงชีวมวล

ปัจจุบันเครื่องจักรกลสำหรับการลดขนาดเชื้อเพลิงชีวมวลมีมากมาย ผลิตทั้งในและต่างประเทศ โดยหลักการทำงานจะใช้แรงบีบอัด (Compression Forces) แรงกระแทก (Impact Forces) หรือแรงเฉือน (Shearing Forces) ขึ้นอยู่กับการออกแบบ โดยทั่วไปการสับ/ย่อยลดขนาดเชื้อเพลิงชีวมวลจะใช้เครื่องจักร 3 ประเภท คือ

### 2.4.1 เครื่องชิพ (Biomass Chipping and Chunking)

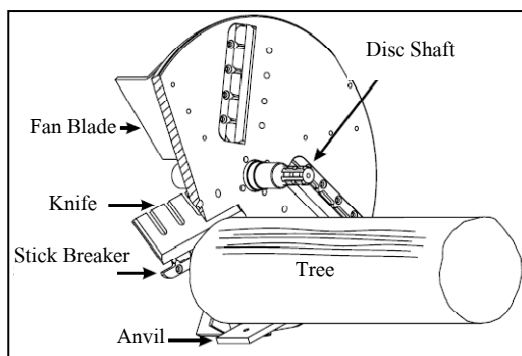
ซึ่งเป็นเครื่องสับ/ย่อยที่ใช้แรงกระแทกและแรงเฉือนประกอบกัน เป็นเครื่องจักรที่ได้รับความนิยมใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขนาดเล็ก เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่าง ๆ สามารถนำไปใช้ได้ในการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล ณ แหล่งกำเนิด (On-site Biomass Feedstock Processing) และแบบรวมศูนย์ (Centralized Biomass Feedstock Processing) โดยการเปลี่ยนต้นกำลังเพื่อสามารถนำไปใช้ในแปลงได้

เครื่องชิพ สามารถจำแนกออกได้ตามประเภทของหัวสับออกเป็น 2 ประเภท คือ หัวสับชนิดจานกลม (Flywheel Type) และหัวสับชนิดทรงกระบอก (Cylinder Type) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ส่วนหัวสับ (Cutter Head) ทั้ง 2 ประเภทจะมีคุณสมบัติเหมือนกันอยู่ 2 ประการดังนี้

- การติดตั้งใบมีดหรือรูปร่างของใบมีดจะทำให้เกิดการตัดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับ



- ใบมีดสามารถถอดออกได้เพื่อเพิ่มความยาวในการสับแต่ใบมีดที่เหลือนี้อาจต้องมีระยะห่างเท่า ๆ กันเพื่อให้เกิดความสมดุล



(ก) หัวสับชนิดจานกลม (Flywheel Type)      (ข) หัวสับชนิดทรงกระบอก (Cylinder Type)

### รูปที่ 2.9 ประเภทของเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด จำแนกตามประเภทของหัวสับ

สำหรับเครื่องสับ/ย่อย แบบ Onsite-Chipper ที่ผลิตในต่างประเทศนั้นสามารถจำแนกออกเป็น 6 แบบ ตามประเภทของการลากจูงและระบบขับเคลื่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งปัจจุบันมีราคาแพงและยังไม่มีการนำเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมหรือโรงไฟฟ้าชีวมวลในประเทศไทย

#### 2.4.2 เครื่องเชือดเคอร์ (Shredder)

ซึ่งเป็นเครื่องสับ/ย่อยที่ใช้แรงกดและแรงเฉือนประกอบกันเป็นเครื่องจักรที่ได้รับความนิยมใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดใหญ่และมีกิ่งก้าน เช่น ท่อนไม้และเศษไม้เฟอร์นิเจอร์ไม้ ลักษณะการทำงานจะใช้หลักการ ขบกันของเล็บสับที่ติดกับเพลลาขับ 2 เพลลา หรือมากกว่าสามารถนำไปใช้ได้ในการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล ณ แหล่งกำเนิด (On-site Biomass Feedstock Processing) และแบบรวมศูนย์ (Centralized Biomass Feedstock Processing) ได้เช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11

#### 2.4.3 เครื่องเลื่อย (Saw Machine)

เป็นเครื่องจักรที่ใช้สำหรับลดขนาดเชื้อเพลิงชีวมวลโดยหลักการกระแทกและเป็นเครื่องที่สามารถลดขนาดได้ตามความต้องการของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับเตาแก๊สซิฟิเคชันและมีขีดจำกัดของสมรรถนะของเครื่องที่มีความสามารถช้ามากทำให้ต้นทุนการเตรียมเชื้อเพลิงสูง โดยปัจจุบันได้มีการได้มีการพัฒนาเครื่องเลื่อยไม้สำหรับเป็นเชื้อเพลิง

แก๊สซิฟไฟเออร์แบบใช้ใบเลื่อยหลายใบในการเลื่อยเพื่อเพิ่มความสามารถในการแปรรูปให้สูงขึ้น  
 ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งในการเตรียมเชื้อเพลิงยังจำเป็นต้องมีการพัฒนาต่อไป



(a) Trailer-mounted Chipper



(b) Tractor-mounted Chipper



(c) Self-propelled Chipper



(d) Forwarder-mounted Chipper

รูปที่ 2.10 On-site Chipper ประเภทต่าง ๆ



(e) Heavy-duty Trailer-mounted Chipper



(f) Truck-mounted Chipper

รูปที่ 2.10 On-site Chipper ประเภทต่างๆ(ต่อ)



(a) ลักษณะเครื่อง



(b) ลักษณะชุดมีด

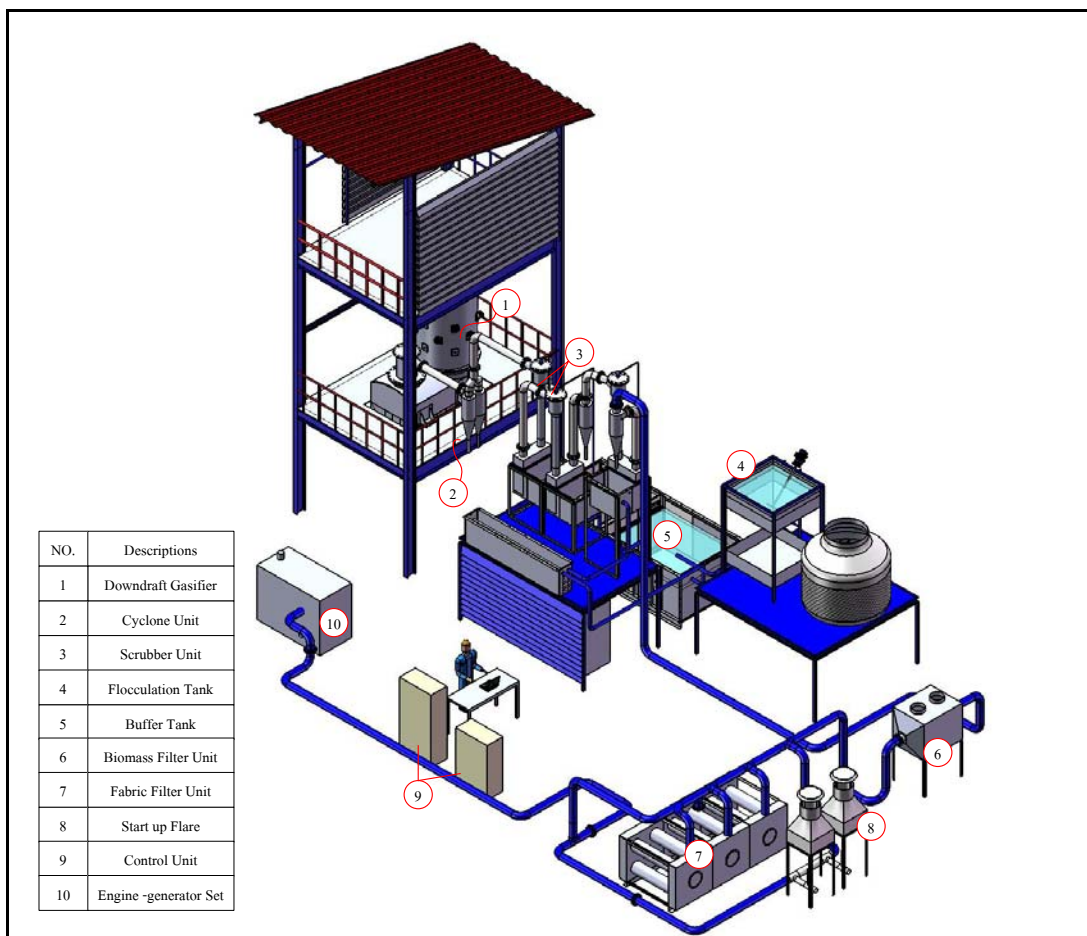
รูปที่ 2.11 เซลดเดอร์ (Shredder)



รูปที่ 2.12 เครื่องเลื่อยสำหรับเตรียมเชื้อเพลิงพัฒนาโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 2.5 การผลิตพลังงานจากไม้โตเร็วโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

จากการศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล “สุรนารี” นี้มีกำลังการผลิต 100 กิโลวัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เป็น โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กใช้เทคโนโลยี Biomass Gasification ชนิด Open Top Downdraft Gasification โดยทำการป้อนเชื้อเพลิงทางด้านบนที่ใช้หลักการเผาไหม้ที่ควบคุมปริมาณอากาศทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นของแข็งจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สมีองค์ประกอบ คือ แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 18-22% แก๊สไฮโดรเจน ( $H_2$ ) 18-20% และแก๊สมีเทน ( $CH_4$ ) 1-2% มีค่าความร้อนเฉลี่ย 4.5-5.5 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมหรือแก๊สธรรมชาติได้ โดยแก๊สชีวมวลที่ผลิตได้เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทำความสะอาดอย่างเหนียวและฝุ่น (Tar and Dust) และลดอุณหภูมิแล้วจะสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่เป็นต้นกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าได้สามารถใช้ได้กับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (ชีวมวล) ได้ทุกประเภท อาทิ เช่น เศษไม้ ทางปาล์ม ทะลายปาล์ม แกลบ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด และเหง้ามันสำปะหลัง จึงเหมาะสมกับทุกภาคของประเทศไทย



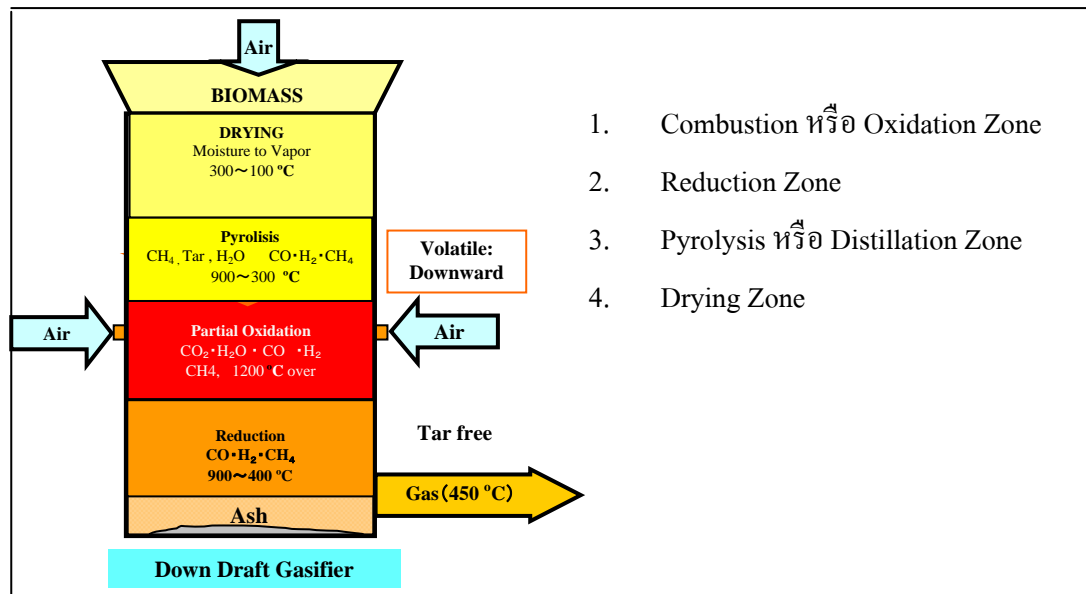
รูปที่ 2.13 แผนผังส่วนประกอบที่สำคัญของต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (วีรัชย์ อัจหาญ, 2551)

#### หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

- กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการทางเคมีความร้อนที่อาศัยการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในเชื้อเพลิงในสถานะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วนที่ต่ำกว่าค่าที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Stoichiometric Fuel Air Ratio) แล้วได้ผลิตภัณฑ์แก๊สซึ่งมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  และ  $\text{CH}_4$  ซึ่งเป็นแก๊สชีวมวลที่จุดไฟติดและมีค่าความร้อนสูง

ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน สามารถแบ่งโซนการเกิดปฏิกิริยาออกเป็น 4 โซน ดังแสดงใน รูปที่ 2.14 โดยโซนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอธิบายได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.14 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

Combustion หรือ Oxidation Zone เป็นบริเวณที่ป้อนอากาศเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อน เชื้อเพลิงชีวมวลจะลุกไหม้เกิดปฏิกิริยาอุณหภูมิระหว่างแก๊สออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอนและไฮโดรเจน ซึ่งอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนและความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาคูดความร้อนในโซน Reduction และ โซน Pyrolysis อุณหภูมิในโซน Combustion จะมีค่าระหว่าง 1,100-1,500 °C

Reduction Zone แก๊สร้อนที่ผ่านมาจาก Combustion Zone จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Reduction ในโซนนี้จะมีอุณหภูมิระหว่าง 500-900 °C ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ในโซนของ Reduction นี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะดีเพียงใดขึ้นกับอุณหภูมิ ความเร็วของแก๊สที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงชีวมวล และพื้นที่ผิวสัมผัสของเชื้อเพลิงชีวมวล ดังนั้นขนาดและปริมาณของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้จะมีผลต่อการผลิตแก๊สชีวมวล ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดใหญ่จะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ ทำให้ยากต่อการจุดเผาภายในเตาและจะทำให้เกิดปริมาณของช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงด้วยกันมาก เป็นผลทำให้มีออกซิเจนไหลผ่านเข้าไปในระบบมาก ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นก็จะน้อยตามไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวมวลมีค่าต่ำ แต่ถ้าขนาดของเชื้อเพลิงมีขนาดเล็กก็จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันภายในเตามาก จึงต้องใช้พัดลมขนาดใหญ่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากยิ่งขึ้นและแก๊สที่ผลิตได้ก็จะมีฝุ่นมากยิ่งขึ้น จากปฏิกิริยาถ้าอุณหภูมิในโซน Reduction สูงกว่า 900 °C แล้ว

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 90% จะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และถ้าอุณหภูมิสูงมากกว่า 1,100°C จะทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเปลี่ยนเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ นั่นคือประสิทธิภาพของเตาเผาจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของโซน Reduction ในขณะที่แก๊สร้อนจากโซน Combustion ไหลเคลื่อนเข้าสู่โซน Reduction จะทำให้อุณหภูมิของแก๊สลดลง เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ดังนั้นไอน้ำกับคาร์บอนจะทำปฏิกิริยากันเพื่อก่อให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 500-600°C ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเพราะจะทำให้ส่วนผสมของแก๊สไฮโดรเจนในแก๊สชีวมวลมีค่ามากขึ้นซึ่งมีผลทำให้แก๊สมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น (แก๊สไฮโดรเจนมีผลต่อการจุดระเบิดของเครื่องยนต์สันดาปภายใน) แต่ถ้าในกระบวนการที่มีไอน้ำมากเกินไปไอน้ำอาจทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ทำให้ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลที่ได้มีค่าลดลง ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้จะต้องมีความชื้นไม่มากเกินไป นอกจากนี้ในกระบวนการ Reduction แก๊สไฮโดรเจนบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้เกิดแก๊สมีเทนขึ้นได้

Pyrolysis หรือ Distillation Zone รับความร้อนจากโซน Reduction ทำให้ Volatile Matter ที่อยู่เหนือเพลิงชีวมวลเกิดการสลายตัวเกิดเป็น เมทานอล กรดน้ำส้ม และทาร์ อุณหภูมิในโซนนี้จะมีค่าประมาณ 200-500°C ของแข็งที่เหลืออยู่ภายหลังจากการผ่านกระบวนการนี้ก็คือ คาร์บอนในรูปถ่าน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อในโซน Reduction และ Combustion

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

- การนำแก๊สชีวมวลไปใช้ผลิตไฟฟ้า

แก๊สชีวมวลที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงแต่ก่อนนำมาใช้งานจำเป็นต้องผ่านระบบทำความสะอาดแก๊สเพื่อกำจัดทาร์และฝุ่น โดยเฉพาะการใช้งานในเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการใช้งานในเครื่องยนต์

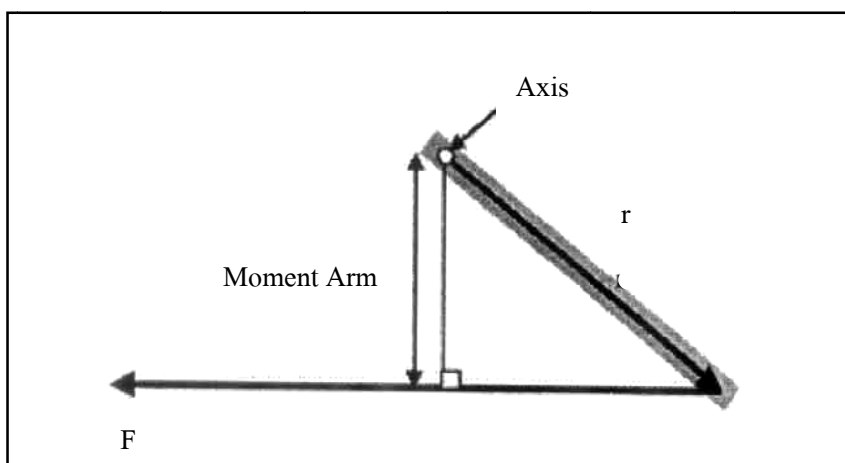
## 2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีทางกลที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

### 2.6.1 ทอร์ก

ทอร์ก  $T$  เกิดจาก แรง  $F$  ที่กระทำที่ระยะทางจากจุดหมุนถึงแนวแรง  $r$  ดังรูปที่ 2.15 นั้นหมายความว่า ทอร์ก คือ แรงที่กระทำคูณกับระยะห่างระหว่างจุดหมุนถึงแนวที่แรงนั้นกระทำ จะได้ว่า

$$T = F \cdot r \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.15 แสดงทอร์กที่กระทำ

### 2.6.2 กำลัง

กำลัง คือ งานที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหรือสั้นเพียงใด หมายความว่า เราต้องรู้ อัตราการทำงาน ซึ่งเรียกว่า “กำลัง” ในช่วงเวลา  $dt$  มีแรง  $F$  มากระทำต่อวัตถุและจุดที่แรงกระทำเกิดการขจัด  $dr$  งานเนื่องจากแรง  $F$  คือ  $dU = F \cdot dr$  จากนิยามของกำลังซึ่งหมายถึงงานที่ได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลาเราสามารถหา  $P$  ได้ดังต่อไปนี้



$$\begin{aligned}
 P &= \frac{dU}{dt} \\
 &= \dot{U} \\
 &= \frac{F \cdot dr}{dt} \\
 &= F \cdot \frac{dr}{dt}
 \end{aligned}$$

$$P = F \cdot v \quad (2.2)$$

เมื่อ  $v$  = ความเร็ว ของจุดที่แรงกระทำ (m/s)

$P$  = กำลัง มีหน่วยเป็น N.m/s = J/s (W)

และเมื่อเราพิจารณากำลังที่เกิดขึ้นจากทอร์ค จะได้ว่ากำลังเกิดจากผลคูณระหว่าง  
ทอร์ค (Torque) กับความเร็วเชิงมุม (Angular Speed) จะได้ว่า

$$Power = Torque \times Angular Speed$$

จะได้ว่า

$$P = T \cdot \omega \quad (2.3)$$

จาก (2.1)

$$T = F \cdot r$$

แทน (2.1) ในสมการที่ (2.3) จะได้ว่า

$$P = Fr\omega \quad (2.4)$$

จะเห็นว่าในการเคลื่อนที่เชิงมุม

$$v = r \cdot \omega \quad (2.5)$$

ดังนั้น จะสามารถหาค่ากำลังได้ดังนี้

$$P = F \cdot v \quad (2.6)$$

### 2.6.3 กำลังเฉือน

กำลังเฉือน หาได้โดยนำค่าแรงเฉือนสูงสุด (Peak Load) ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะที่เกิดผ่านเนื้อไม้ (Force-displacement) หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของไม้ ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\tau$  = กำลังเฉือน, Pa

$F$  = แรงเฉือน, kN

$A$  = พื้นที่หน้าตัด, m<sup>2</sup>

การหาพลังงานตัดจำเพาะคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของแรงเฉือนและระยะที่ใบมีดกดผ่านเนื้อไม้ (Force-displacement) และสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E = \frac{1}{A} \int F dx = n \times \frac{f}{A} \quad (2.8)$$

เมื่อ  $E$  = พลังงานตัดจำเพาะ, kN/m

$F$  = แรงเฉือน, kN

$A$  = พื้นที่หน้าตัด, m<sup>2</sup>

$n$  = จำนวนหน่วยใต้กราฟแรงเฉือนและระยะที่เกิด

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เรื่องเกียรติ ศุภาคาร์ตนาวงศ์ (2547) ได้ทำการออกแบบเครื่องย่อยวัสดุเกษตรแบบแรงเหวี่ยงเพื่อใช้ในการย่อยวัสดุเกษตรขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด 50 mm โดยเครื่องย่อยวัสดุเกษตรใช้ชุดใบมีด 4 เขี้ยว ใช้กำลังขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า พบว่าจำนวนรอบที่เหมาะสมคือ 88 รอบต่อนาที โดยได้ทำการทดสอบ กระจิน ผักตบชวา และกาบมะพร้าว ในการทดสอบย่อยกระจินด้วยเครื่องย่อยวัสดุเกษตร มีกำลังการผลิต 523 kg/hr สำหรับกระจินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-50 mm

Chattopadhyay and Pandey (1999) ได้ศึกษาการเหวี่ยง การกด และการ โกงตัวของต้นข้าวฟ่างโดยใช้เครื่องมือวัดคุณสมบัติทางกล (Universal Testing Machine: UTM) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อมุมคมของใบมีดเพิ่มขึ้นจาก 30-70 องศา ค่ากำลังทางกลและพลังงานที่ใช้ในการกดหรือเหวี่ยงจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าเหล่านี้จะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วของหัวกดเพิ่มขึ้น ส่วนค่ากำลังและพลังงานการ โกงเคาะจะไม่มีความสัมพันธ์กับค่ามุมคมของใบมีดและอัตราเร็วของใบมีดกด

Chancellor (1957) แบ่งประเภทของวัสดุชีวภาพโดยขึ้นอยู่กับลักษณะการตัดออกเป็น 2 ประเภท คือ วัสดุชีวภาพที่ไม่มีเส้นใย (Non-fibrous Materials) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกันในทุกทิศทางของการตัด โดยทั่วไปแล้วเซลล์ของวัสดุจะเต็มไปด้วยของเหลวและวัสดุชีวภาพที่มีเส้นใย (Fibrous Materials) วัสดุชีวภาพแบบนี้จะมีเส้นใยที่แข็งแรงและกำลังที่ใช้ในการตัดจะขึ้นอยู่กับทางของการตัดผ่าน ซึ่งพฤติกรรมการตัดวัสดุเส้นใยประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่แรงกดกระทำอย่างเดียว แรงกดกระทำร่วมกับแรงเหวี่ยง และแรงเหวี่ยงกระทำอย่างเดียว (Ince et al., 2005)

Prasad and Gupta (1975) ได้ทำศึกษาคุณสมบัติทางกลในการตัดต้นข้าวโพด พบว่าที่ความชื้น 74% w.b. มุมคมของใบมีด (Knife Bevel Angle) และมุมในการตัด (Cutting Directions) ที่เหมาะสม คือ 23 และ 55 องศา ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าพื้นที่หน้าตัดและค่าความชื้นมีผลต่อค่าแรงเหวี่ยงสูงสุดและค่าพลังงานที่ใช้ โดยที่ค่าแรงเหวี่ยงสูงสุดและพลังงานที่ใช้ในการตัดจะแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดแต่แปรผกผันกับค่าความชื้น ส่วนค่าความเร็วในการตัดก็มีผลต่อค่าแรงสูงสุดเช่นกัน โดยเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 20 cm/min. เป็น 100 cm/min. ค่ากำลังเหวี่ยงสูงสุดจะลดลงจาก 3.3 ถึง 2 N/mm<sup>2</sup>

Womac et al., (2005) เสนอว่าในการออกแบบเครื่องตัดจะต้องรู้ค่ากำลังเหวี่ยงสูงสุดและพลังงานที่ใช้ในการเหวี่ยง ซึ่งค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล ขนาด อายุ ความชื้น และโครงสร้างของเซลล์ภายในวัสดุ

Persson (1987) ได้อธิบายพฤติกรรมในการตัดวัสดุชีวมวลว่า เมื่อใบมีดเคลื่อนที่ลงไปสัมผัสกับผิววัสดุชีวมวลจะทำให้เกิดแรงเค้นภายในเนื้อวัสดุชีวภาพสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดแตกหัก (Failure Point) ซึ่งวัสดุชีวมวลบางชนิดจะเกิดการแตกหักอาจเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวในขณะที่วัสดุชีวภาพบางชนิดเกิดจุดแตกหักขึ้นหนึ่งจุดก่อนแล้วแรงเค้นค่อย ๆ สูงขึ้นและเกิดจุดแตกหักอีกครั้งเมื่อใบมีดผ่านเนื้อวัสดุ นั้นหมายความว่าพฤติกรรมในการตัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุชีวภาพซึ่งต้องใช้หลายหลักการในการอธิบาย

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการตัด คือ Mesquita and Hanna (1995); El Hag et al., (1971) ได้ศึกษาพลังงานที่ใช้ในการตัด ต้นถั่วเหลืองและกิ่งนุ่น ตามลำดับ ซึ่งพบว่าค่าพลังงานในการตัดจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกล (เช่นแรงและกำลังที่ใช้ในการตัดสูงสุด) และคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ (เช่น ขนาด ความหนาแน่น และความชื้น)

## บทที่ 3

### เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 เชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ทำการทดสอบ คือ ไม้โตเร็ว 2 ชนิดคือ ไม้กระถินยักษ์และยูคาลิปตัส ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 นิ้ว จากแปลงปลูกไม้โตเร็ว ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังแสดงใน รูปที่ 3.1-3.5



รูปที่ 3.1 ไม้กระถินยักษ์สด



รูปที่ 3.2 ไม้ยูคาลิปตัสสด



รูปที่ 3.3 ไม้กระถินยักษ์แห้ง

## 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

### 3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

1. เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล (Universal Testing Machine: UTM) ขนาดแรงสูงสุด 50 kN ดังแสดงใน รูปที่ 3.4 (ก)
2. ใบมีดขนาด กว้างxยาวxหนา 76.2mm x 127mm x 6mm จำนวน 2 ใบ มีมุมคม (Knife Bevel Angle) แต่ละใบ 30 และ 45 องศา ตามลำดับ ดังแสดงใน รูปที่ 3.4 (ข)
3. แท่นรองจับยึดเชื้อเพลิงชีวมวล รูปที่ 3.4 (ค)
4. เครื่องชั่ง ดังแสดงใน รูปที่ 3.4 (ง)
5. เครื่องวัดความเร็วรอบ ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DT-240P ดังแสดงใน รูปที่ 3.4 (จ)
6. เครื่องขยายสัญญาณ (STRAIN Amplifier) ดังแสดงใน รูปที่ 3.4 (ฉ)
7. เครื่องวัดแรงบิด Torque Transducer ดังแสดงใน รูปที่ 3.4 (ช)
8. เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง ดังแสดงใน รูปที่ 3.4 (ซ)
9. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ายี่ห้อ FLUKE รุ่น 43 ดังแสดงใน รูปที่ 3.4 (ฌ)



(ก) เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล



(ข) ใบมีด

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด



(ค) แท่นรอง จับยึดเชื้อเพลิงชีวมวล



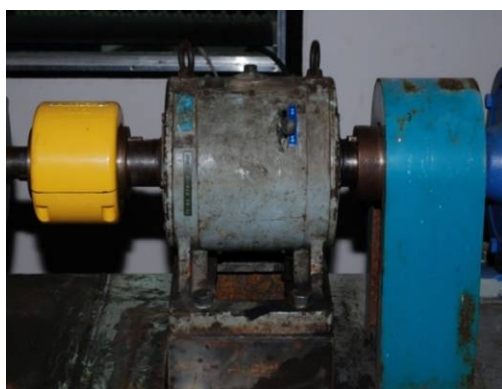
(ง) เครื่องชั่ง



(จ) เครื่องวัดความเร็วรอบ



(ฉ) เครื่องขยายสัญญาณ



(ช) เครื่องวัดแรงบิด Torque Transducer



(ซ) เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด (ต่อ)





(ณ) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

### รูปที่ 3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด (ต่อ)

#### 3.2.2 เครื่องตัดไม้เชื้อเพลิงชีวมวล

เครื่องตัดไม้เชื้อเพลิงชีวมวล มีใบมีดตัด 2 ใบ ดังแสดงใน รูปที่ 3.5 ขับเคลื่อนชุดใบมีดตัดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 7.5 kW ความเร็ว 1440 รอบต่อนาที ที่ 50 Hz ใช้เกียร์เป็นระบบทดกำลัง ดังแสดงใน รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ลักษณะใบมีด 2 ใบ



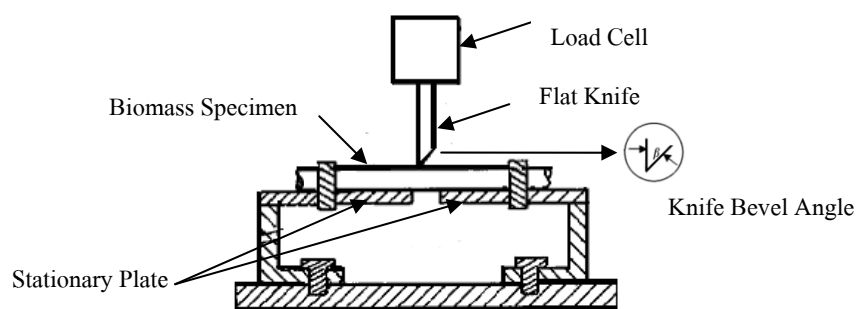
รูปที่ 3.6 เครื่องตัดไม้เชื้อเพลิงชีวมวล 2 ใบมีด

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันนี้จะแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การทดสอบในห้องปฏิบัติการและการพัฒนาต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้ดังนี้

#### 3.3.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1. การเตรียมตัวอย่างและการติดตั้งอุปกรณ์ ไม้กระถินยักษ์ และยูคาลิปตัส ให้มีความยาว 177.8 mm (7 นิ้ว) ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 17.8, 25.4, 38.1 และ 50.8 mm โดยทำการติดตั้งใบมีดและแท่นยึดไม้กับเครื่องมือวัดคุณสมบัติทางกล (Universal Testing Machine: UTM) ดังแสดงใน รูปที่ 3.6 แล้วทำการทดลองกับไม้ที่มีขนาดดังกล่าวมาแล้วที่ความเร็ว 254 mm/min. (Womac et al., 2005) โดยใช้ใบมีดที่มีมุมคม 30 และ 45 องศา กดลงบนไม้ให้ใบมีดที่กดทำมุม 0, 30, 45, 60 และ 90 องศา กับแนวแกนของไม้เชื้อเพลิง ดังแสดงใน รูปที่ 3.7-3.8



รูปที่ 3.7 ลักษณะการติดตั้งการวัดแรงเฉือนโดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine: UTM  
(Chattopadhyay and Pandey, 1999)



รูปที่ 3.8 การเตรียมติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 3.9 การเตรียมตัวอย่างก่อนทดสอบ

2. การหาค่าลึงเฉือนโดยนำค่าแรงเฉือนสูงสุด (Peak Load) ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะที่กุดผ่านเนื้อไม้ (Force-displacement)หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของไม้ซึ่งสามารถหาเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $\tau$  = ค่าลึงเฉือน, kPa

$F$  = แรงเฉือน, kN

$A$  = พื้นที่หน้าตัด,  $m^2$

3. การหาพลังงานตัดจำเพาะทางทฤษฎีหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของแรงเฉือนและระยะที่ใบมีดกุดผ่านเนื้อไม้ (Force-displacement) และสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E = \frac{1}{A} \int F dx = n \times \frac{f}{A} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $E$  = พลังงานตัดจำเพาะ, kN/m

$F$  = แรงเฉือน, kN

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัด, m}^2$$

$n =$  จำนวนหน่วยได้กราฟแรงเฉือนและระยะที่กด

4. กำลังตัดจำเพาะ หาได้จากแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบคูณด้วยความเร็วที่ใช้ในการกดและหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่ใบมีดเคลื่อนตัวผ่านและสามารถเขียนได้ดังนี้

$$P = \frac{F \cdot v}{A} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $P =$  กำลังตัดจำเพาะ, kW/m<sup>2</sup>

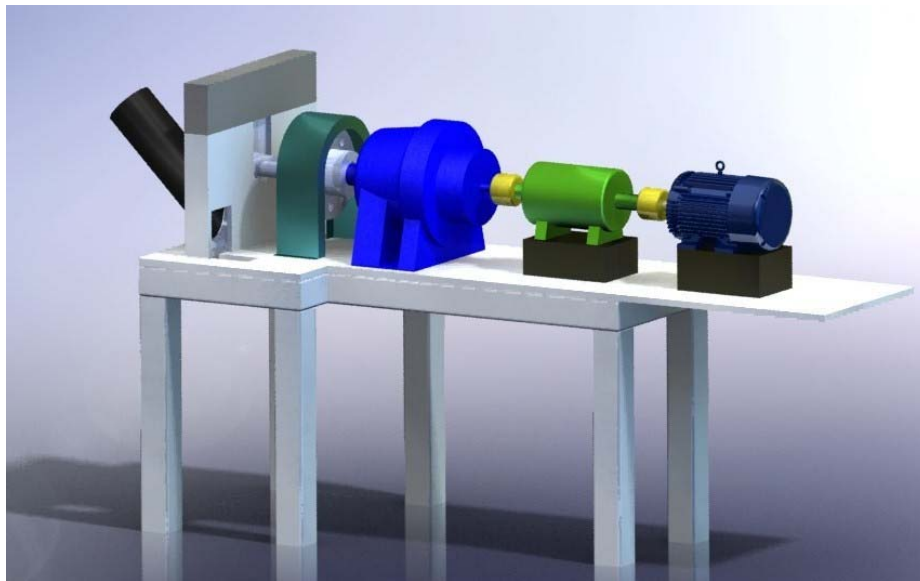
$F =$  แรงเฉือน, kN

$A =$  พื้นที่หน้าตัด, m<sup>2</sup>

$v =$  ความเร็วของใบมีที่ใช้กด, m/s

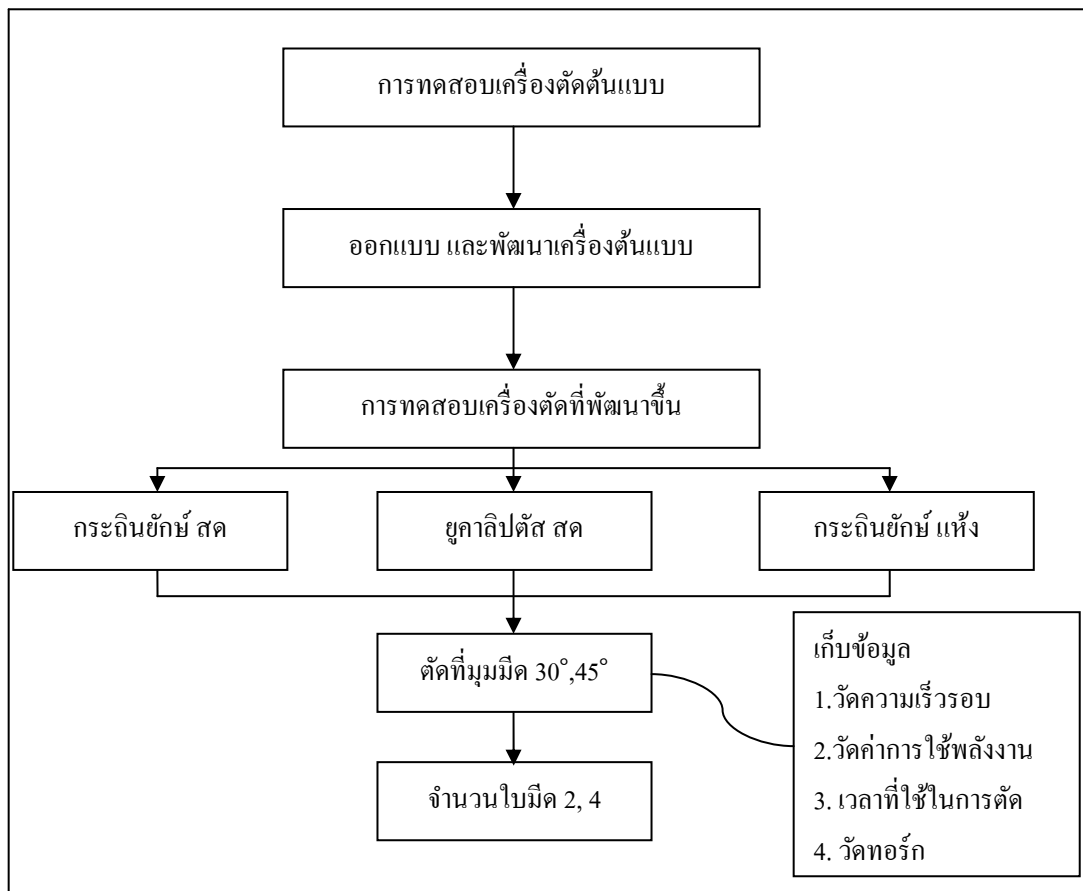
### 3.3.2 การพัฒนาต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล

เมื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการแล้วทำการออกแบบและพัฒนาต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยมีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 90 cm x 240 cm x 140 cm ใช้มอเตอร์ขนาด 7.5 kW เป็นต้นกำลังโดยเปลี่ยนชุดใบมีดที่ใช้ในการตัดจาก 2 เป็น 4 ใบมีด ที่มีใบมีด 30 และ 45 องศา และมุมตัดเท่ากับ 45 องศา ซึ่งมีดที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 180 mm x 80 mm x 20 mm ดังแสดงใน รูปที่ 3.10 เมื่อทำการพัฒนาต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวลแล้วทำการทดสอบหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นเดียวกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงใน รูปที่ 3.11 และมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

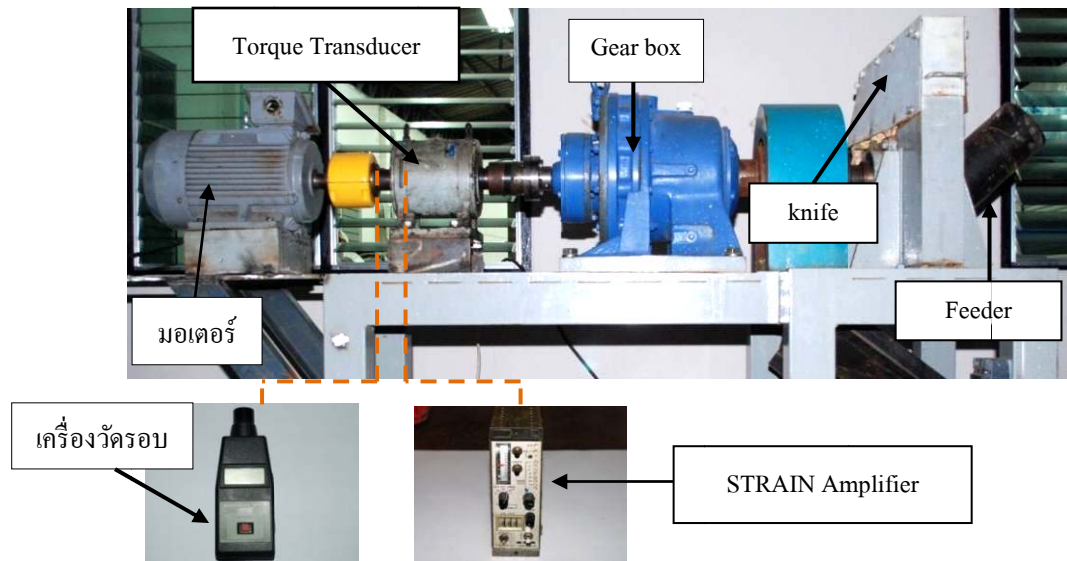


รูปที่ 3.10 แบบต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล

เตรียมตัวอย่างและการติดตั้งอุปกรณ์การวัดค่าต่าง ๆ ดังแสดงใน รูปที่ 3.1 ไม้กระถินยักษ์สด ไม้กระถินยักษ์แห้ง และยูคาลิปตัสสด ให้มีขนาดความยาว 150 cm ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 นิ้ว แล้วทำการทดสอบโดยใช้ใบมีดที่มีมุม 30 และ 45 องศา ที่ 2 และ 4 ใบมีด การวัดค่าแฟกเตอร์ต่าง ๆ โดยติดตั้งเครื่องมือวัด Torque โดยอ่านค่าสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง ผ่านเครื่องขยายสัญญาณ STRAIN Amplifier เพื่อเปรียบเทียบกับ Calibration Cuve Torque Transduce (แสดงไว้ในภาคผนวก ค.) เพื่อใช้ในการหาค่า แรงบิด และแรงที่ใช้ในการตัดเชื้อเพลิงชีวมวลรวมทั้งวัดอัตราการตัด ความหนาแน่นหลังการตัดด้วยเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ที่ได้ระหว่างชุดตัด 2 ใบมีด และ 4 ใบมีด ดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 3.11 การทดสอบหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ด้วยเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ การวัด และการทดสอบ

1. แรงตัดสูงสุด โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรัศมีในการตัด ซึ่งแรงตัดหาได้จาก แรงบิดหารด้วยรัศมีของการตัด ซึ่งสามารถหาเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$F = \frac{T}{r} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $T$  = แรงบิด, kN.m

$F$  = แรงสูงสุด, kN

$r$  = รัศมีการตัดจากศูนย์กลางแกน, m

2. กำลังเฉือน คำนวณได้จากแรงที่ใช้ในการตัดหารด้วยพื้นที่ของวัสดุที่มีการตัดผ่านเขียนสมการได้ดังนี้

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

เมื่อ  $\tau$  = กำลังเฉือน, kN/m<sup>2</sup>

$F$  = แรงสูงสุด, kN



$$A = \text{พื้นที่หน้าตัด, m}^2$$

3. พลังงานตัดจำเพาะ คำนวณได้จากแรงบิดที่ใช้ในการตัดหารด้วยพื้นที่ของวัสดุที่มีตัดผ่านเขียนสมการดังนี้

$$E = \frac{T}{A} \quad (3.6)$$

เมื่อ  $E$  = พลังงานตัดจำเพาะ, kN/m

$T$  = แรงบิด, kN.m

$A$  = พื้นที่หน้าตัด, m<sup>2</sup>

4. กำลังตัดจำเพาะ คำนวณได้จาก แรงบิดจำเพาะที่ได้จากการทดสอบคูณด้วยความเร็วรอบที่ใช้ในการตัด และหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่ใบมีดเคลื่อนตัวผ่าน และสามารถเขียนได้ดังนี้

$$P = \frac{\Gamma}{A} \times N \quad (3.7)$$

และ  $\Gamma = T - T_0$

เมื่อ  $P$  = กำลังตัดจำเพาะ, kW/m<sup>2</sup>

$\Gamma$  = แรงบิดจำเพาะ, kN.m

$A$  = พื้นที่หน้าตัด, m<sup>2</sup>

$N$  = ความเร็วรอบ, rpm

$T_0$  = แรงบิดตัวเปล่า, kN.m

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปรายผล

#### 4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไม้โตเร็ว 2 ชนิด คือ กระจินยักษ์และยูคาลิปตัส ซึ่งจะทำการศึกษาความหนาแน่น ขนาด และความชื้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและใช้พัฒนาเครื่องสับไม้โตเร็ว พบว่าไม้กระจินยักษ์และไม้ยูคาลิปตัสที่สนใจมีขนาดในช่วง 1-2 นิ้ว ค่าความหนาแน่นของ ไม้กระจินยักษ์และไม้ยูคาลิปตัสมีค่าเท่ากับ 700-880 kg/m<sup>3</sup> และ 1020 kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ มีความชื้น 41.00-49.68% และ 57.18% ตามลำดับ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติทางกายภาพของไม้โตเร็วทั้ง 2 ชนิด

Biomass	Cross Section Area (m <sup>2</sup> )	Moisture Content (%w.b.)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
ไม้กระจินยักษ์	2.5x10 <sup>-4</sup> (Ø =17.8 mm)	49.35	880
	5.1x10 <sup>-4</sup> (Ø =25.4 mm)	49.68	840
	11.4x10 <sup>-4</sup> (Ø =38.1 mm)	44.03	750
	20.2x10 <sup>-4</sup> (Ø =50.8 mm)	41.00	700
ไม้ยูคาลิปตัส	20.2x10 <sup>-4</sup> (Ø =50.8 mm)	57.18	1020

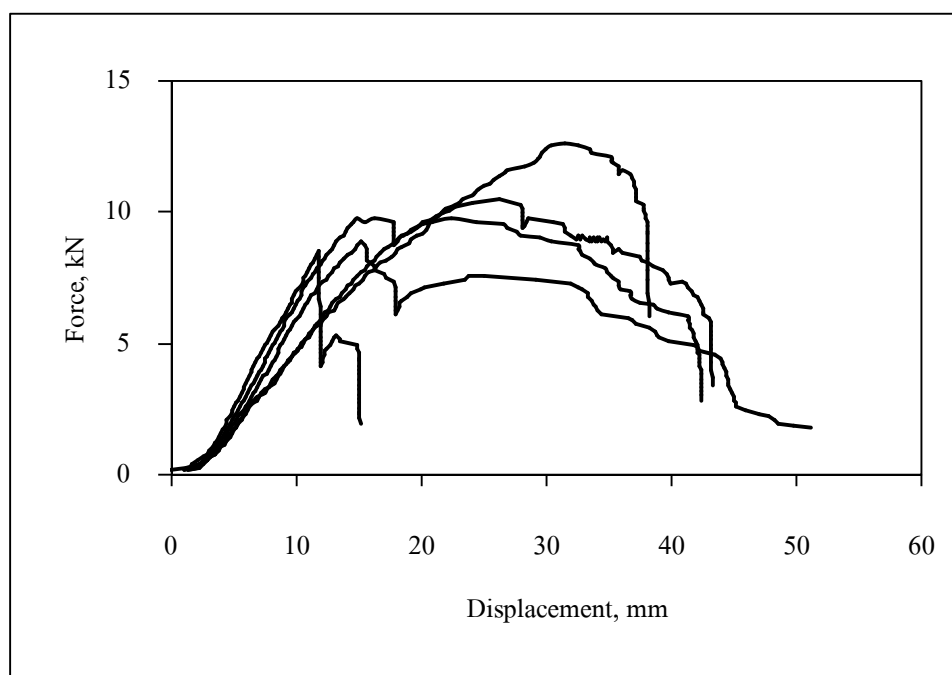
#### 4.2 การศึกษาพฤติกรรมการตัดของไม้โตเร็วในห้องปฏิบัติการ

##### 4.2.1 ลักษณะของ Force-displacement ที่ได้จากการตัด

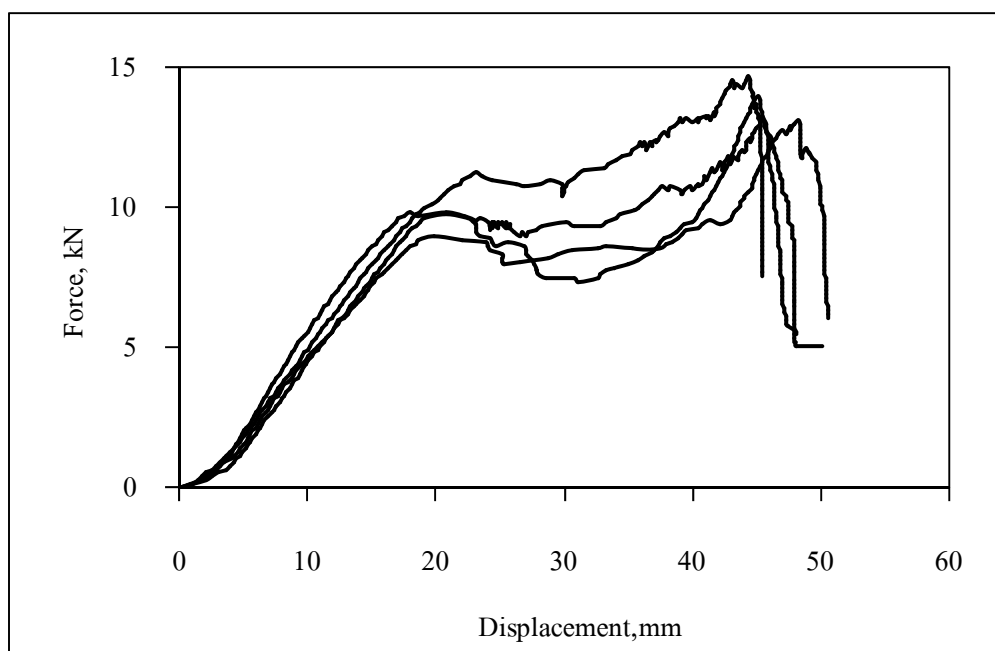
จากรูปที่ 4.1 และ 4.12 แสดงกราฟ Force-displacement ของไม้กระจินยักษ์ และ ไม้ยูคาลิปตัสแสดงให้เห็นว่าลักษณะของแรงที่ใช้ในการตัดไม้กระจินยักษ์และยูคาลิปตัสมีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ แรงตัดจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะของใบมีดที่ผ่านเนื้อไม้และเมื่อถึงจุดจุดหนึ่งแรงจะตกลง (Peak Point) หลังจากนั้น แรงตัดจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ แสดงให้เห็นถึงลักษณะและของไม้ทั้ง 2 ชนิด ว่าไม้ทั้ง 2 ชนิด จัดเป็นวัสดุที่มีสมบัติเป็นวัสดุกิ่งเส้นใย โดยประเมินจากลักษณะของ Force-displacement ที่เกิดขึ้นซึ่งอธิบายไว้ ณ งานวิจัยของ Ince และคณะ (Ince et al.,2005) ใ้ว่าลักษณะของ Force-displacement ของวัสดุเส้นใย กราฟจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังแสดงใน รูปที่ 4.3 (ก) ส่วน A ส่วน B และส่วน C แสดงถึงส่วนที่แรงกด

กระทำอย่างเดียว แรงกดร่วมกับแรงเหวี่ยง และแรงเหวี่ยงกระทำอย่างเดียวดำเนินตามลำดับ แรงตัดจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากศูนย์ จนถึงจุดแตกหัก (Failure Point) ในโครงสร้างของเซลล์วัสดุ (การยุบตัวของแกนกลวง) หลังจากนั้นเมื่อใบมีดเคลื่อนที่ต่อไป แรงกดและแรงเหวี่ยงจะกระทำร่วมกันทำให้แรงในกราฟเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดอีกครั้ง หลังจากนั้น เฉพาะแรงเหวี่ยงกระทำในส่วน C และแรงนี้จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อการตัดเสร็จสิ้นลง

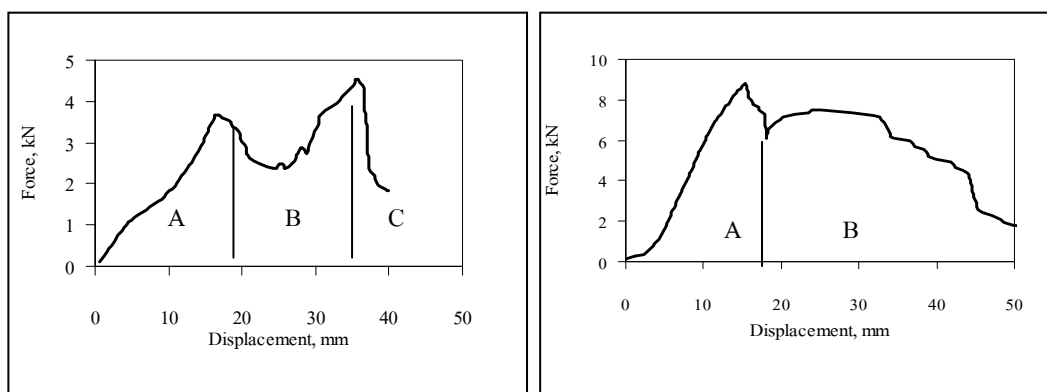
ส่วนกรณีวัสดุกิ่งเส้นใย กราฟ Force-displacement จะเกิดจุดสูงสุด (Peak Point) เพียงจุดเดียวเหมือนวัสดุไม่มีเส้นใย แต่หลังจากนั้นแทนที่แรงกดจะตกลงทันที แรงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เหมือนวัสดุเส้นใย แต่ไม่เกิดจุดสูงสุดชัดเจน เหมือนกับวัสดุเส้นใย ซึ่งสามารถแบ่งกราฟออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงใน รูปที่ 4.3 (ข) โดยส่วน A แสดงถึงเส้นที่แรงกดกระทำเพียงอย่างเดียวและส่วน B เป็นส่วนที่แรงกดกระทำร่วมกับแรงเหวี่ยง



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเหวี่ยงและระยะทางของใบมีดของไม้กระถินยักษ์



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะทางของใบมีดไม้ยูคาลิปตัส



(ก) วัสดุเส้นใย

(ข) วัสดุกิ่งเส้น

รูปที่ 4.3 กราฟอธิบายพฤติกรรมของแรงเฉือนในช่วงต่าง ๆ

## 4.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนสูงสุด

### (1) ขนาดของวัสดุ

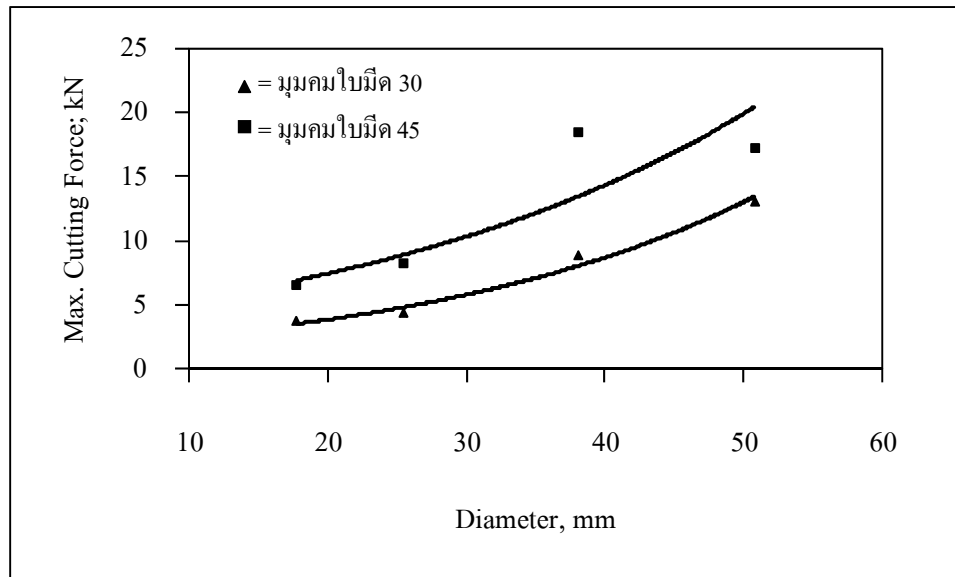
จากการทดสอบหาแรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดชีวมวลพบว่าแรงเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชีวมวล ทั้งนี้จะเห็นว่าค่าแรงเฉือนจะมีค่าเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า เมื่อใช้วัสดุทดสอบขนาดโตขึ้นจาก 17.8 mm เป็น ขนาด 50.8 mm ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนสูงสุดระหว่างมุมคมใบมีด 30 และ 45 องศา พบว่าการตัดวัสดุชีวมวล โดยใช้มุมคมใบมีด 30 องศา ค่าแรงเฉือนสูงสุด ในการตัดจะมีค่าน้อยกว่าวัสดุที่ใช้มุมคมใบมีด 45 องศา ดังแสดง ในรูปที่ 4.4

### (2) มุมตัด

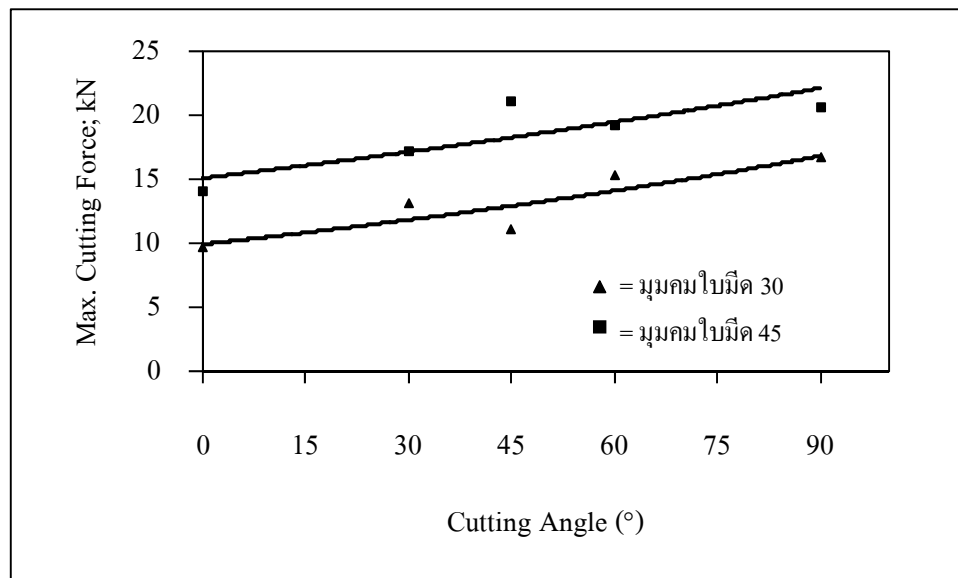
จากการทดสอบหาแรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดชีวมวลพบว่าแรงเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับมุมตัด โดยการตัดที่ใช้มุมตัดที่น้อยกว่าจะทำให้ค่าแรงเฉือนสูงสุดน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนสูงสุดของการตัดด้วยมุมตัดที่ 0, 30 และ 45 องศา มีค่าน้อยกว่า การตัดด้วยมุมตัดที่ 60 และ 90 องศา มาก ดังแสดงใน ตารางที่ 4.2 และเมื่อเปลี่ยนมุมคมใบมีด จาก 45 องศา เป็น 30 องศา พบว่าแรงเฉือนสูงสุดของการตัดจะมีค่าน้อยลง ดังแสดงใน รูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 ผลของมุมเอียงใบมีด ( Knife Bevel Angle) มุมที่มีดกระทำกับไม้ (Cutting Angle) และขนาดของวัสดุต่อค่าแรงเฉือนสูงสุด (Max. Cutting Force; kN)

Diameter	Cutting Angle (°)									
	Knife Bevel Angle = 30°					Knife Bevel Angle = 45°				
	0	30	45	60	90	0	30	45	60	90
กระถินยักษ์										
17.78 mm	4.22	3.69	3.03	5.06	5.05	5.47	6.48	6.48	8.93	8.97
25.4 mm	7.10	4.40	5.07	4.40	7.98	6.92	8.16	8.29	9.31	10.48
38.1 mm	8.48	8.82	9.75	10.44	12.61	14.04	18.47	15.95	17.56	18.62
50.8 mm	9.69	13.03	10.99	15.35	16.61	14.01	17.13	21.12	19.26	20.66
ยูคาลิปตัส										
50.8 mm	N/A	13.12	13.23	11.60	N/A	N/A	13.94	14.67	15.93	17.05



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของวัสดุที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนสูงสุดที่มุมตัด 30°



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมตัดที่มีผลต่อแรงเฉือนสูงสุดที่ขนาดของวัสดุ 50.8 mm

### 4.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังเฉือนสูงสุด

#### (1) ขนาดของวัสดุ

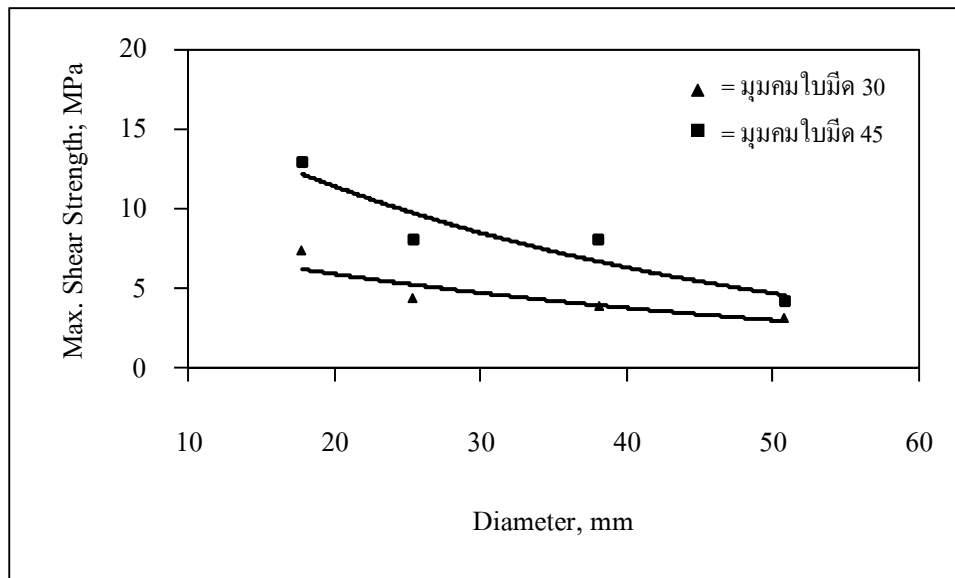
จากการวิเคราะห์หาค่ากำลังเฉือนสูงสุดที่สอดคล้องของการตัดชีวมวลชนิดต่าง ๆ ในบทที่ 3 พบว่า กำลังเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัด ไม้ นั้นจะมีค่าแปรผกผันกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางไม้ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 ซึ่งพฤติกรรมของแรงที่ใช้ในการตัดหากพิจารณาในด้านมุมคมใบมีด การตัดด้วยมุมคมใบมีด 30 องศา พบว่า ค่ากำลังเฉือนสูงสุดของการตัดจะมีค่าน้อยกว่าการตัดด้วยมุมคมใบมีด 45 องศา ดังแสดงใน รูปที่ 4.6

#### (2) มุมตัด

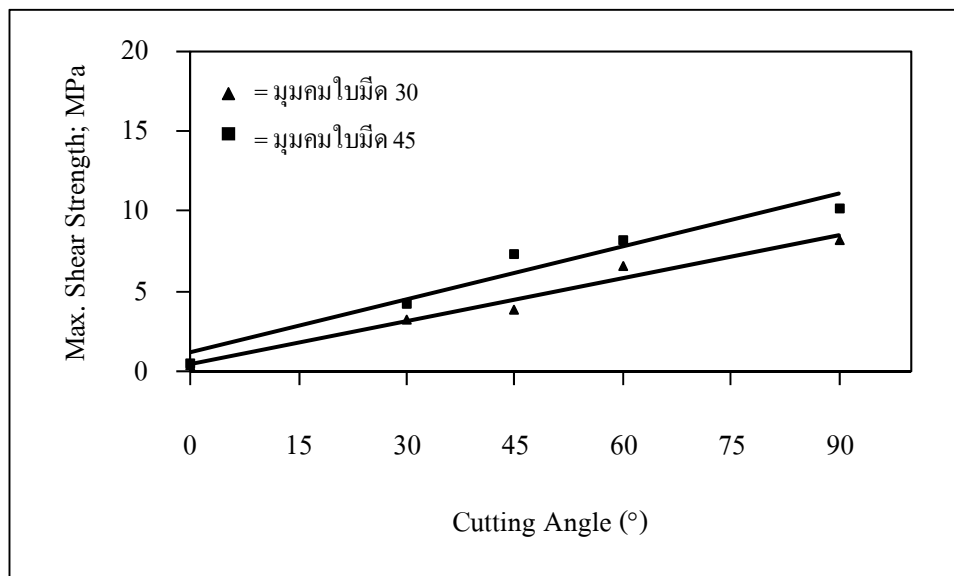
จากการทดสอบหาค่ากำลังเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดชีวมวลพบว่าค่าของกำลังเฉือนสูงสุดจะมีค่าแปรผันตรงกับมุมตัด โดยการตัดที่ใช้มุมตัดที่น้อยกว่า จะทำให้ค่าของกำลังเฉือนสูงสุดน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังเฉือนสูงสุด ของการตัดด้วยมุมตัดที่ 0, 30 และ 45 องศา จะมีค่าน้อยกว่า การตัดด้วยมุมตัดที่ 60 และ 90 องศา มาก ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 และเมื่อเปลี่ยนมุมคมใบมีดจาก 45 เป็น 30 องศา พบว่ากำลังเฉือนสูงสุดของการตัดจะมีค่าน้อยลง ดังแสดงใน รูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.3 ผลของมุมเอียงใบมีด (Knife Bevel Angle) มุมที่มีดกระทำกับ ไม้ (Cutting Angle) และขนาดของวัสดุต่อค่ากำลังเฉือนสูงสุด (Max. Shear Strength; MPa)

Diameter	Cutting Angle (°)									
	Knife Bevel Angle = 30°					Knife Bevel Angle = 45°				
	0	30	45	60	90	0	30	45	60	90
กระถินยักษ์										
17.78 mm	0.43	7.38	8.66	17.45	20.20	0.55	12.96	18.51	30.79	35.88
25.4 mm	0.50	4.34	7.07	7.52	15.74	0.49	8.05	11.56	15.91	20.67
38.1 mm	0.40	3.87	6.05	7.93	11.06	0.66	8.10	9.89	13.33	16.33
50.8 mm	0.34	3.21	3.83	6.56	8.19	0.49	4.23	7.37	8.23	10.19
ยูคาลิปตัส										
50.8 mm	N/A	3.24	4.61	4.96	N/A	N/A	3.44	5.12	6.80	8.41



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ขนาดของวัสดุที่มีผลต่อกำลังเฉือนสูงสุดที่มุมตัด 30°



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมตัดที่มีผลต่อค่ากำลังเฉือนสูงสุดที่ขนาดของวัสดุ 50.8 mm



#### 4.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานตัดจำเพาะ

##### (1) ขนาดของวัสดุ

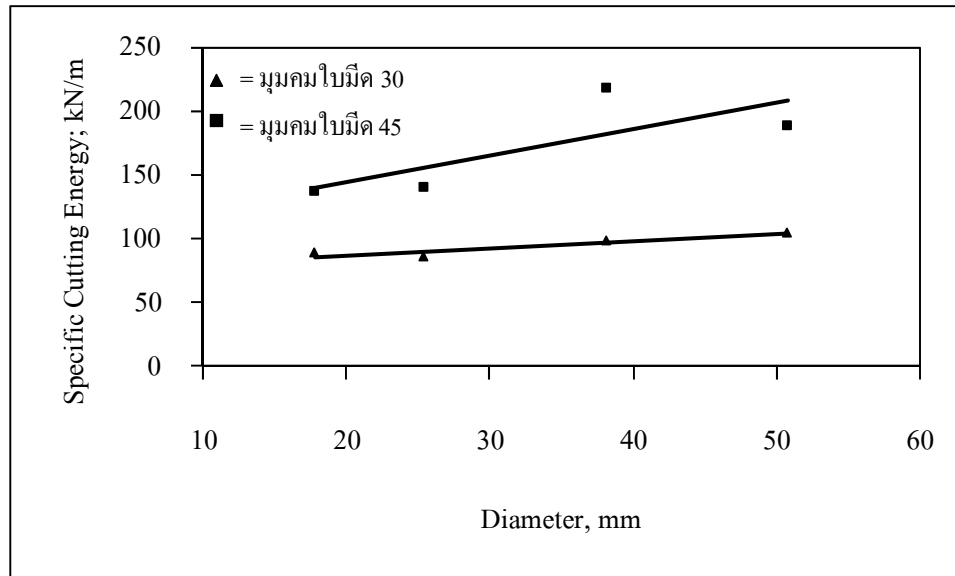
เมื่อพิจารณาพลังงานเฉือนจำเพาะในการตัดชีวมวลพบว่า พลังงานเฉือนจำเพาะของการตัดชีวมวลแต่ละขนาดก่อนข้างคงที่เมื่อทำการตัดชีวมวลด้วยมุมคมใบมีด 30 องศา แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดเมื่อตัดชีวมวลด้วยมุมคมใบมีด 45 องศา ซึ่งผลการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการตัด เมื่อใช้ใบมีดมุมคม 30 องศา จะใช้พลังงานต่ำกว่า การตัดด้วยมุมคมใบมีด 45 องศา สอดคล้องกับค่าแรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัด ดังแสดงใน ตารางที่ 4.4 นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดของชีวมวลเพิ่มขึ้นพลังงานที่ใช้ในการตัดจะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังแสดงใน รูปที่ 4.8

##### (2) มุมตัด

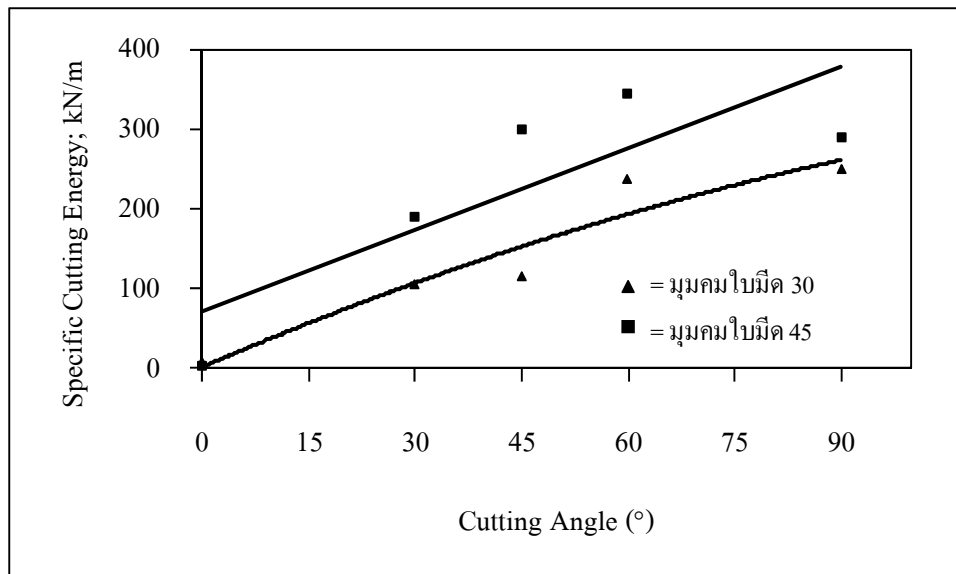
จากการวิเคราะห์ค่าพลังงานเฉือนจำเพาะสำหรับการตัดชีวมวล พบว่า พลังงานเฉือนจำเพาะของการตัดชีวมวลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของมุมตัด สอดคล้องกับค่าแรงเฉือนสูงสุด กล่าวคือ การตัดชีวมวลด้วยมุมตัดเท่ากับ 0 องศา (ขนานกับเส้น) จะใช้พลังงานเฉือนจำเพาะน้อยที่สุดแต่ในทางปฏิบัติการออกแบบเครื่องตัดทำได้ยาก ดังนั้นมุมตัดที่เหมาะสมสำหรับการตัดชีวมวล จะอยู่ประมาณ 30-45 องศา ซึ่งมุมคมของใบมีด 30 องศา จะใช้พลังงานตัดจำเพาะ น้อยกว่ามุมคม 45 องศา ดังแสดงใน รูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.4 ผลของมุมเอียงใบมีด (Knife Bevel Angle) มุมที่มีดกระทำกับไม้ (Cutting Angle) และขนาดของวัสดุต่อค่าพลังงานตัดจำเพาะ (Specific Cutting Energy; kN/m)

Diameter	Cutting Angle (°)									
	Knife Bevel Angle = 30°					Knife Bevel Angle = 45°				
	0	30	45	60	90	0	30	45	60	90
ไม้กระถินยักษ์										
17.78 mm	3.64	88.63	129.61	172.48	148.21	2.26	136.63	177.19	315.68	218.53
25.4 mm	3.67	85.54	130.79	143.30	255.85	4.14	139.85	200.30	262.86	282.27
38.1 mm	2.74	98.81	171.92	204.65	260.67	9.61	217.77	221.68	269.64	354.73
50.8 mm	8.55	104.45	116.29	236.12	249.73	2.65	189.25	299.42	343.78	289.85
ไม้ยูคาลิปตัส										
50.8 mm	N/A	92.54	132.89	143.77	N/A	N/A	90.37	140.22	213.60	205.18



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของวัสดุกับค่าพลังงานตัดจำเพาะที่มุมตัด 30°



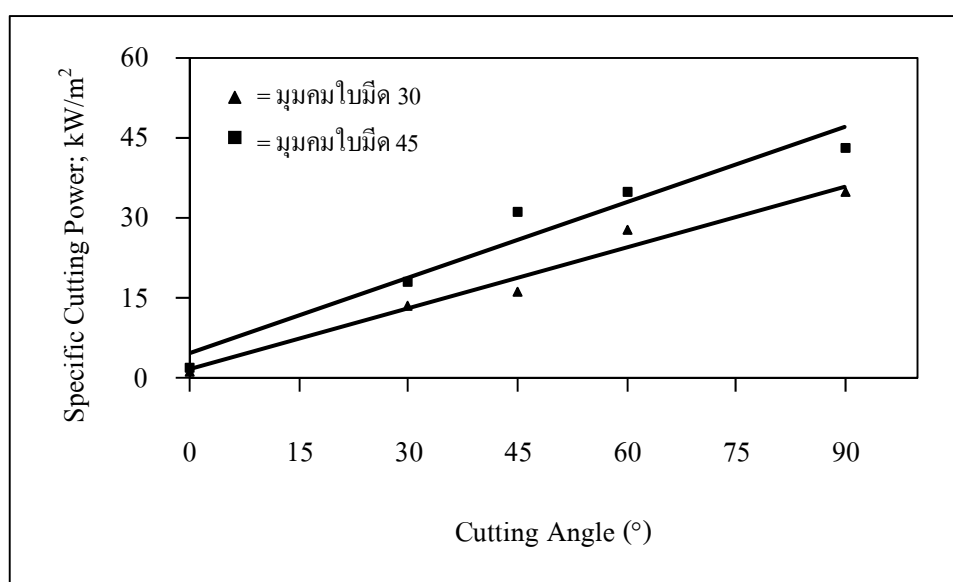
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตัดกับค่าพลังงานตัดจำเพาะที่ขนาดของวัสดุ 50.8 mm

#### 4.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังตัดจำเพาะ

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่ากำลังตัดจำเพาะสำหรับการตัดไม้โตเร็วพบว่า กำลังตัดจำเพาะมีความสัมพันธ์กับมุมตัดในลักษณะแปรผันตรงเนื่องจากแรงเฉือนสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมตัดเพิ่มขึ้นในการเปรียบเทียบขณะที่ความเร็วคงที่ ดังแสดงใน รูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.5 ผลของมุมเอียงใบมีด (Knife Bevel Angle) มุมที่มีดกระทำกับไม้ (Cutting Angle) และขนาดของวัสดุต่อค่ากำลังตัดจำเพาะ (Specific Cutting Power; kW/m<sup>2</sup>)

Diameter	Cutting Angle (°)									
	Knife Bevel Angle = 30°					Knife Bevel Angle = 45°				
	0	30	45	60	90	0	30	45	60	90
ไม้กระถินยักษ์										
17.78 mm	1.80	31.43	36.50	74.65	86.02	2.33	55.19	78.07	131.7	152.8
25.4 mm	2.12	18.36	29.92	31.81	66.61	2.06	34.06	48.93	67.30	87.48
38.1 mm	1.69	16.36	25.58	33.54	46.78	2.79	34.26	41.84	56.42	69.08
50.8 mm	1.44	13.60	16.22	27.74	34.66	2.09	17.87	31.16	34.81	43.11
ไม้ยูคาลิปตัส										
50.8 mm	N/A	13.69	19.52	20.96	N/A	N/A	14.54	21.65	28.79	35.58



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตัดกับกำลังตัดจำเพาะที่ขนาดของวัสดุ 50.8 mm

### 4.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของการตัด

โดยจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของการตัด โดยหลักการ Multiple Linear Regression ถูกใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ขนาดวัสดุ มุมใบมีด มุมตัด ค่าความชื้น และค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าคุณสมบัติทางกลของการตัด (วิเคราะห์จากตัวอย่างไม้กระถินยักษ์) กับค่าแรงเฉือนสูงสุด ค่ากำลังเฉือนสูงสุด และค่าพลังงานตัดจำเพาะ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมการสำหรับทำนายค่าคุณสมบัติทางกลของการตัดของต้นกระถินยักษ์

Cutting Properties	Predictive Model	R <sup>2</sup>
Max. Cutting Force	= 41.302 – 55.787SG + 0.295B + 0.05C	0.879
Max. Shear Strength	= 76.457 + 0.191C – 0.668D + 0.312B – 1.419M	0.786
Specific Cutting Energy	= 78.008 + 2.898C + 4.408B + 264.835SG	0.817

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

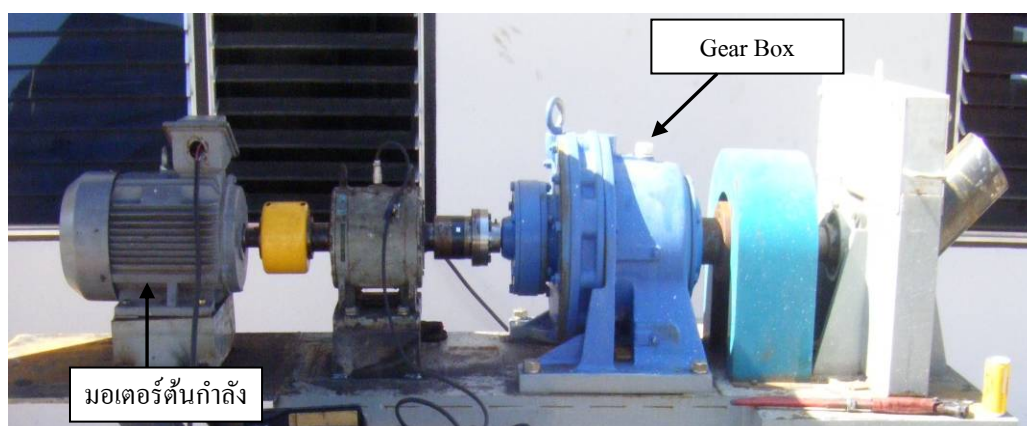
จากตารางที่ 4.6 ค่าคุณสมบัติทางกลของการตัดของต้นกระถินยักษ์สามารถที่จะทำนายได้ ซึ่งดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R<sup>2</sup>) ที่สูง โดยสมการทำนายค่าแรงเฉือนสูงสุดให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด คือ R<sup>2</sup> = 0.879 รองลงมาคือ ค่าพลังงานตัดจำเพาะและ ค่ากำลังเฉือนสูงสุด ที่ R<sup>2</sup> = 0.817 และ R<sup>2</sup> = 0.786 ตามลำดับ จากสมการทั้งสามสมการ ค่ามุมใบมีดและมุมตัดเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติทางกลของการตัด รองลงมาคือ ค่าความถ่วงจำเพาะ ขนาดไม้ และค่าความชื้น

### 4.4 การพัฒนาต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว

เครื่องตัดไม้โตเร็วที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนา มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 90 cm x 240 cm x 140 cm ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังใช้เกียร์เป็นระบบทดกำลัง สามารถเปลี่ยนจำนวนใบมีดตัดจาก 2 เป็น 4 ใบมีดได้ ในการออกแบบใบมีดจะใช้พารามิเตอร์ที่ศึกษาขั้นต้นจากห้องปฏิบัติการเป็นข้อมูล โดยใบมีดที่ออกแบบ มีมุมใบมีด 30 และ 45 องศา และมีการออกแบบทางเข้าของวัสดุเพื่อให้มุมตัดเท่ากับ 45 องศา แต่จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่ามุมตัดที่ 30 องศาจะใช้แรงน้อยกว่ามุมตัด 45 องศา แต่ในทางปฏิบัติหากทำการออกแบบทางเข้าวัสดุ 30 องศา จะป้อนวัสดุค่อนข้างยากจึงได้ออกแบบช่องป้อนวัสดุที่มีมุมตัด 45 องศา แทน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ดังแสดงใน รูปที่ 4.11 และ 4.12

#### 4.4.1 ชุดต้นกำลัง

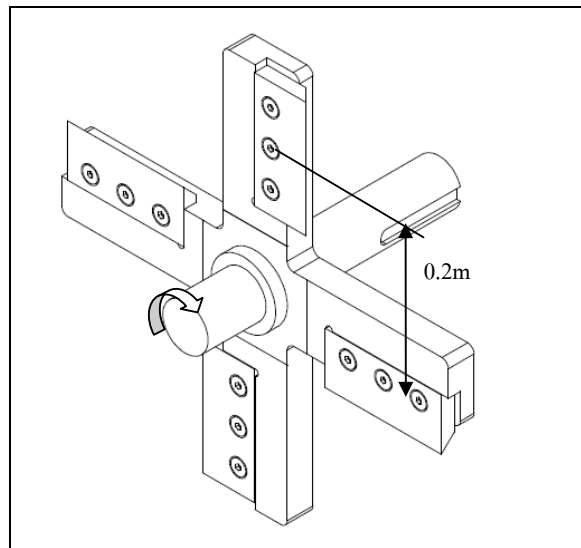
มอเตอร์ที่นำมาใช้เป็นต้นกำลังมีขนาด 7.5 kW ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดชีวมวลจะใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 7.5 kW ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส ของบริษัท SATAKE CORPORATION เป็นต้นกำลังให้กับใบมีดตัดผ่านชุดเพลาและมีระบบเกียร์เป็นระบบถ่ายทอดกำลังโดยชุดเกียร์ถ่ายทอดกำลังมีคุณสมบัติ ดังแสดงใน ตารางที่ 4.7



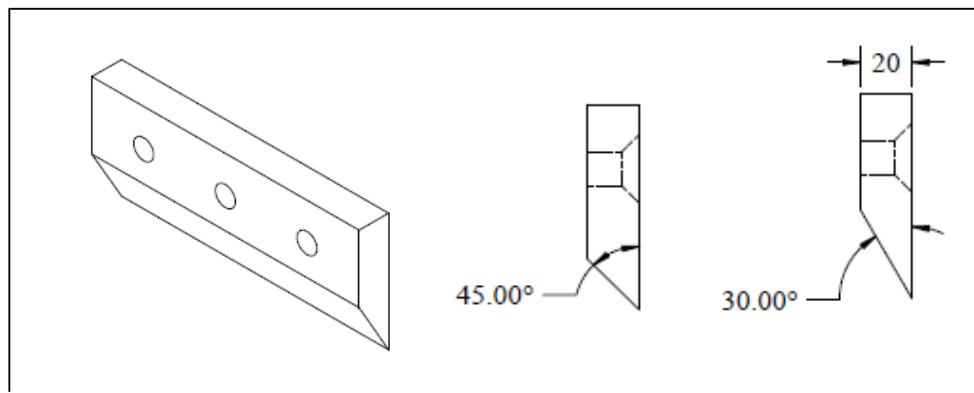
รูปที่ 4.11 มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นต้นกำลังสำหรับเครื่องต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว

#### 4.4.2 ชุดใบมีดตัด

ในการออกแบบชุดใบมีดสำหรับตัดไม้โตเร็วได้ทำการออกแบบให้มีมุมใบมีดเท่ากับ 30 และ 45 องศา มีขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 180 mm x 80 mm x 20 mm รัศมีของชุดประกอบใบมีดมีค่าเท่ากับ 0.2 m ความเร็วรอบการตัดอยู่ที่ 8 rpm สามารถปรับเปลี่ยนใบมีดเพื่อลึบคมมีดได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ในการออกแบบได้ทำการพัฒนาจำนวนใบมีดจาก 2 ใบมีดเป็น 4 ใบมีด เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการตัดให้สูงขึ้น



(ก) ลักษณะการติดตั้งชุดไขว้และลักษณะการหมุนของชุดไขว้



(ข) ลักษณะไขว้ มุมไขว้ 30 และ 45 องศา ของต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว

รูปที่ 4.12 ชุดไขว้

#### 4.4.3 ช่องป้อนวัตถุดิบ

ช่องป้อนวัตถุดิบได้ออกแบบในลักษณะในการป้อนให้เฉียงทำมุม 45 องศา กับแนวดิ่ง เพื่อให้ได้มุมตัดที่มีค่าเท่ากับ 45 องศา ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm ยาว 50 cm ซึ่งความยาวที่ใช้นั้น ได้ออกแบบมาจากลักษณะการป้อน กล่าวคือ มุมที่เหมาะสมต่อการไหลของวัสดุจำเป็นต้องมีความยาวของช่องวัตถุดิบเป็นองค์ประกอบเนื่องจาก ถ้านขนาดความยาวของช่องป้อนวัตถุดิบสั้นเกินไปช่องป้อนจะไม่สามารถประคองวัตถุดิบให้ไหลลงไปสู่เชิงของโบริดได้และถ้าหากช่องป้อนมีความยาวเกินไปจะเกิดความลำบากในการป้อนวัตถุดิบของผู้ป้อนนั่นเอง ซึ่งจากความยาวของช่องป้อนดังที่กล่าวข้างต้น พบว่าการไหลของวัตถุดิบเป็นไปอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องมีการประคองไม้และไม่มีไม้หล่นจากช่องป้อน

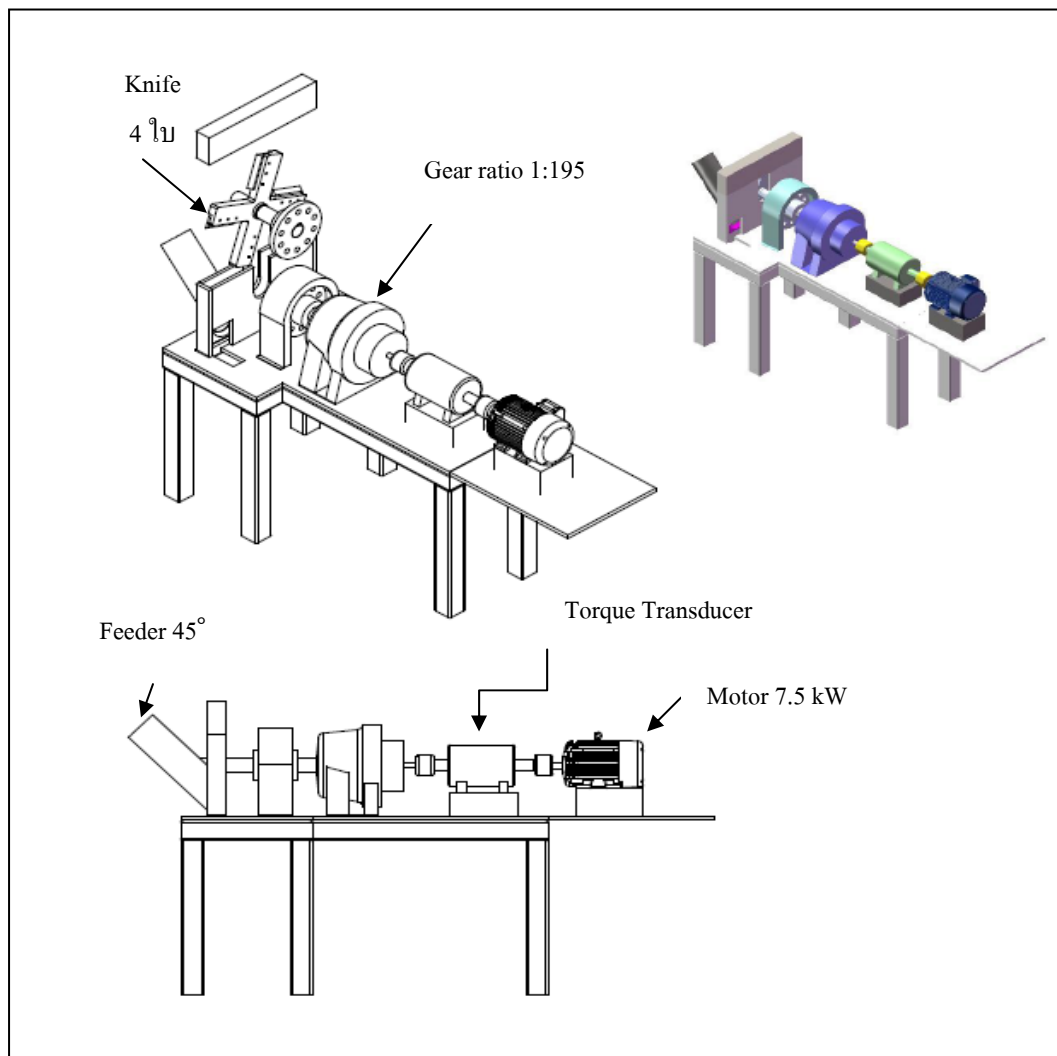


รูปที่ 4.13 แสดงช่องป้อนวัตถุดิบ

ตารางที่ 4.7 สมบัติของชุดเกียร์ถ่ายทอดกำลัง

Cyclo Drive	
Model	CHH-6195DB-195
Ratio	195
Input	5.5 kW
OUTPUT Torque	7910 N.m

#### 4.4.4 เครื่องต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว



รูปที่ 4.14 เครื่องต้นแบบตัดไม้โตเร็วที่ได้ทำการออกแบบและพัฒนา





รูปที่ 4.15 เครื่องต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว

#### 4.5 การทดสอบสมรรถนะต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องตัดไม้โตเร็ว ใช้ไม้โตเร็ว 2 ชนิด คือ ไม้กระถินยักษ์ ยูคาลิปตัส และไม้กระถินยักษ์แห้งที่ความชื้น 36.26%, 56.65% โดยที่ไม้กระถินยักษ์จะทำการทดสอบในสภาพที่มีความชื้นต่ำคือ 15.72% โดยที่ขนาดของไม้ตัวอย่างที่ใช้มีขนาด 1-2 นิ้ว โดยทำการทดสอบที่มุมตัดเท่ากับ 45 องศา โดยทำการทดสอบที่ใบมีด 2 ใบ และ 4 ใบ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ทั้งนี้ในกรณีที่ใช้ใบมีด 4 ใบจะใช้มุมคมใบมีด 2 แบบ คือ 30 องศา และ 45 องศา ส่วนในการทดสอบกรณีของใบมีด 2 ใบจะใช้มุมมีด แบบเดียว คือ 30 องศาทั้งนั้นใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการทดสอบจะทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ และนำค่าที่วัดได้มาเฉลี่ย โดยมีอัตราการป้อนสม่ำเสมอและทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มป้อน ความเร็วรอบ และค่าแรงบิดของการตัด ไม้ รวมไปถึงการวัดค่าความหนาแน่นหลังการทดสอบการตัด

ตารางที่ 4.8 แสดงสมรรถนะในการตัดไม้เชิงปริมาณของเครื่องตัดไม้โตเร็ว (kg/hr)

ชนิดไม้	มุมใบมีด (องศา)		
	จำนวนใบมีด 2 ใบ	จำนวนใบมีด 4 ใบ	
		30	30
ยูคาลิปตัสสด	171.18	338.74	297.08
กระถินยักษ์สด	208.19	270.54	248.51
กระถินยักษ์แห้ง	64.42	176.52	141.67

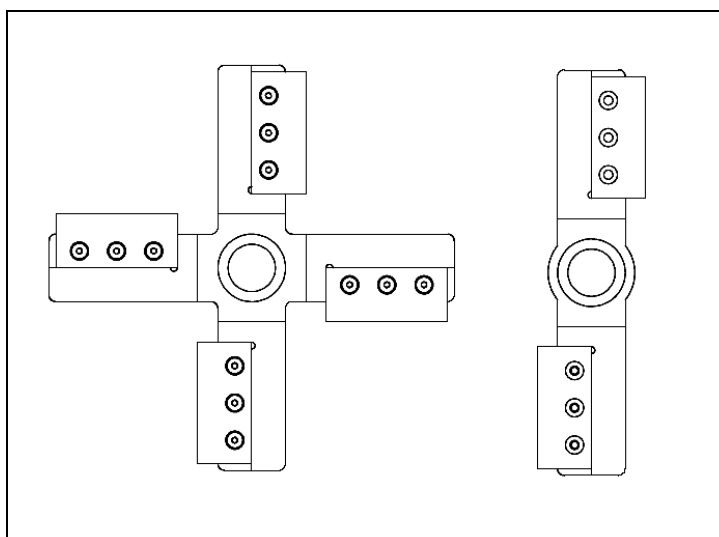
ตารางที่ 4.9 แสดงเปรียบเทียบสมรรถนะที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจาก 2 ใบบีมิดเป็น 4 ใบบีมิด ของเครื่องตัดไม้ไต่เร็ว (%)

ชนิดไม้	จำนวนใบบีมิด 4ใบบีมิด ใบบีมิด 30 องศา
ยูคาลิปตัสสด	97.88
กระถินยักษ์สด	29.95
กระถินยักษ์แห้ง	174.01

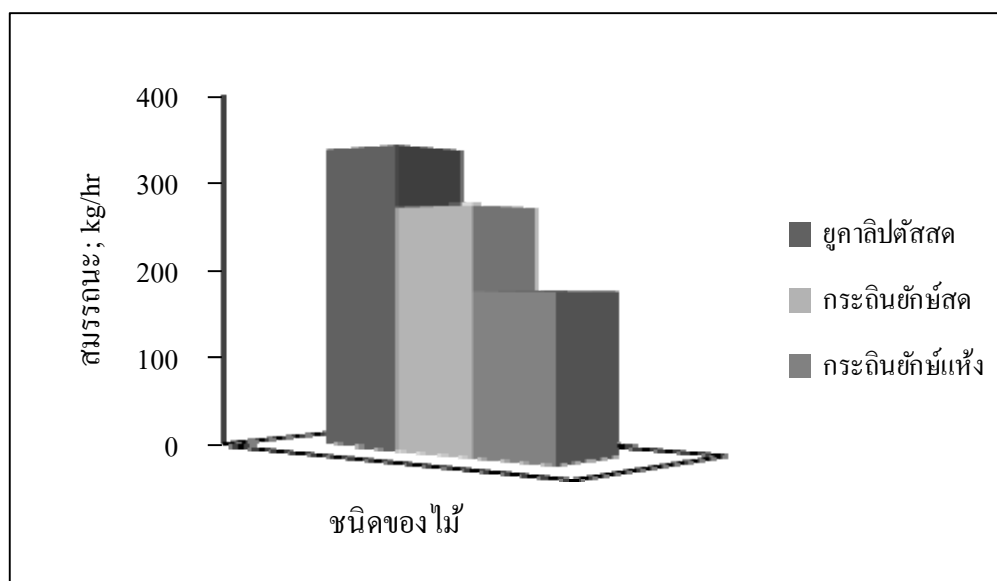
#### 4.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของต้นแบบเครื่องตัดไม้ไต่เร็ว

##### (1) ชนิดไม้และคุณสมบัติทางกายภาพ

จากการทดสอบการตัดไม้ไม้ไต่เร็วพบว่า จากทดสอบตัดไม้ยูคาลิปตัสสด มีความสามารถในการตัดคิดเป็นปริมาณที่ตัดได้สูงกว่ากระถินยักษ์สดและกระถินยักษ์แห้ง ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของยูคาลิปตัสมีค่ามากกว่าเช่นเดียวกันกับความสามารถในการตัดของกระถินยักษ์สด จะสูงกว่ากระถินยักษ์แห้งในขณะที่ปริมาตรไม้ที่ตัดมีค่าใกล้เคียงกัน และอัตราการป้อนไม้เชิงปริมาตรใกล้เคียงกันทำให้วัสดุที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะมีสมรรถนะการตัดมากกว่านั่นเอง ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และดังแสดงใน รูปที่4.17



รูปที่ 4.16 แสดงใบบีมิด 2 ใบ และ 4 ใบ



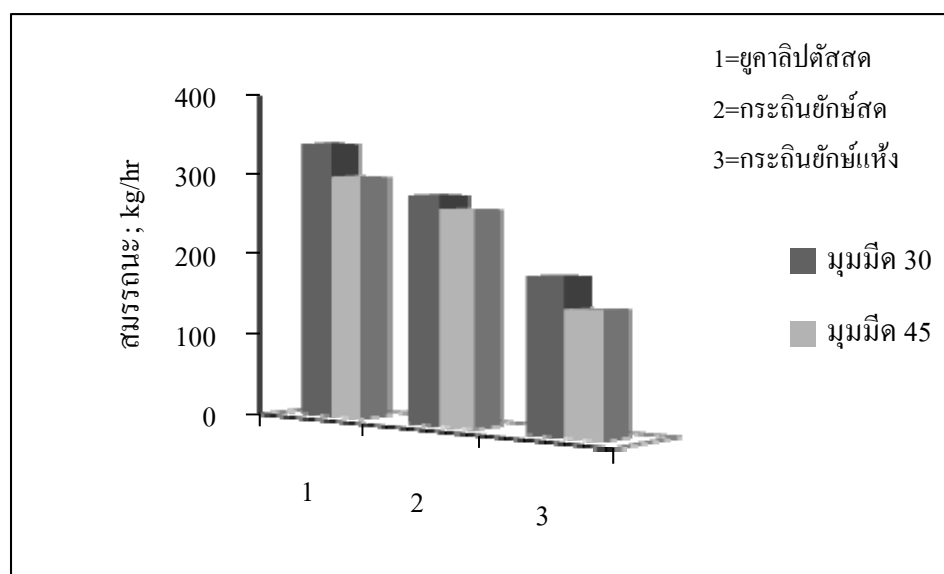
รูปที่ 4.17 แสดงถึงสมรรถนะของเครื่องตัดไม้โตเร็วกับชนิดของไม้

## (2) จำนวนใบมีด

เมื่อพิจารณาจาก ตารางที่ 4.8 ระหว่างชุด 2 ใบมีดและ 4 ใบมีด ที่มุมคม ใบมีด 30 องศา ทำให้ทราบว่าเมื่อเปลี่ยนจาก ใบมีด 2 ใบมีด เป็น 4 ใบมีด ทำให้สมรรถนะในการตัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมีผลเนื่องมาจากจำนวนมีดที่ตัดในรอบการตัดมากกว่าทำให้สมรรถนะในการตัดเพิ่มสูงมากขึ้น โดยที่ไม้ยูคาลิปตัสสด ไม้กระถินยักษ์สดและไม้กระถินยักษ์มีปริมาณการตัดเพิ่มมากขึ้นถึง 97.88, 29.95 และ 174.01% ตามลำดับ

## (3) มุมใบมีด

เมื่อพิจารณามุมใบมีดที่ใช้ในการตัดจะพบว่ามุมมีดที่ 30 องศา มีสมรรถนะเชิงปริมาณการตัดมากกว่าที่ 45 องศา แสดงให้เห็นว่าที่มุมคมใบมีด 30 องศา มีความเหมาะสมกว่า 45 องศา ทั้งในส่วนของการกำลังที่ใช้ในการตัด และปริมาณการตัดดังแสดงใน ตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.18 แสดงถึงสมรรถนะของเครื่องตัดเปรียบเทียบ มุมตัด 30 และ 45 องศา

#### 4.5.2 ปัจจัยที่มีผลแรงบิด (Torque)

##### (1) ชนิดไม้

จากผลการทดสอบไปแล้วข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ใบบิต 30 องศา นั้นมีความเหมาะสมกว่ามุมใบบิต 45 องศา โดยได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการแล้วนั้นในหัวข้อนี้จะแสดงถึงแรงบิดที่ใช้ในการตัดไม้เมื่อใช้มุมใบบิต 30 องศา และ 45 องศา ซึ่งจะเห็นว่า ค่าแรงบิดของมุมใบบิต 45 องศา จะมีค่ามากกว่ามุมใบบิต 30 องศา อยู่เพียงเล็กน้อยและเมื่อพิจารณาที่ชนิดของไม้ที่ทำการทดสอบพบว่าไม้กระถินยักษ์สดจะมีค่าของแรงบิดมากกว่าค่าของไม้ยูคาลิปตัสอยู่เล็กน้อย และเมื่อพิจารณาทางสถิติพบว่าค่าแรงบิดที่ได้ไมมีความแตกต่างทางนัยสำคัญแสดงให้เห็นว่าไม้กระถินยักษ์มีความแข็งและเหนียวกว่าไม้ยูคาลิปตัส

ตารางที่ 4.10 แสดงแรงบิดของการตัดไม้ของเครื่องตัดไม้โตเร็ว (kN.m)

ชนิดไม้	มุมใบบิต(องศา)	
	30	45
No Load.	0.97	N/A
ยูคาลิปตัสสด	1.40	1.63
กระถินยักษ์สด	1.61	1.67
กระถินยักษ์แห้ง	1.26	1.62

## (2) ความชื้น

จากหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าไม้แต่ละประเภทมีความแข็งและเหนียวแตกต่างกันในหัวข้อนี้มีสมมติฐานว่าความชื้นเนื้อไม้ได้มีผลต่อการตัดโดยการพิสูจน์สมมตินี้โดยทำการตัดไม้ประเภทเดียวกัน คือ ไม้กระถินยักษ์ที่มีความชื้นสูงกับความชื้นต่ำ ผลที่เกิดขึ้นคือ ไม้กระถินยักษ์ที่มีความชื้นต่ำจะใช้แรงบิดน้อยกว่าไม้ที่มีความชื้นสูง ซึ่งน่าจะมีผลมาจากโครงสร้างของไม้กระถินยักษ์แห้งมีส่วนประกอบของน้ำน้อยกว่าทำให้โครงสร้างมีความเปราะ และแตกง่ายกว่ากระถินยักษ์สด ดังแสดงใน ตารางที่ 4.10

### 4.5.3 พลังงานที่ใช้ในการตัด

ในหัวข้อนี้แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดของเครื่องตัดไม้โตเร็วที่พัฒนาขึ้น ดังแสดง ในตารางที่ 4.11 ซึ่งจะเห็นว่าพลังงานที่ใช้ในการตัดไม้แต่ละประเภท ที่จำนวนใบมีด 2 ใบ และ 4 ใบ มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงพลังงานที่ใช้ตัดไม้ของเครื่องตัดไม้โตเร็ว (kW)

ชนิดไม้	มุมใบมีด(องศา)		
	จำนวนใบมีด 4 ใบ		จำนวนใบมีด 2 ใบ
	30	45	30
ยูคาลิปตัสสด	1.13	1.31	1.01
กระถินยักษ์สด	1.3	1.36	1.10
กระถินยักษ์แห้ง	1.01	1.3	1.16
No Load.	0.78	N/A	N/A

### 4.5.4 แรงตัดสูงสุด แรงเฉือน และกำลังตัดจำเพาะเฉลี่ย

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องตัดไม้ที่พัฒนาขึ้นพบว่า แรงตัดสูงสุด กำลังเฉือนสูงสุด และกำลังตัดจำเพาะเฉลี่ยดังแสดงใน ตารางที่ 4.12-4.14 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่า แรงตัดสูงสุด แรงเฉือน และกำลังตัดจำเพาะเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกัน สามารถนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องตัดที่มีขนาดต่าง ๆ ได้ต่อไป

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงแรงตัดเฉลี่ยของการตัดไม้ของเครื่องตัดไม้โตเร็ว (kN)

ชนิดไม้	มมไบมิด (องศา)			
	ทดสอบใน ห้องปฏิบัติการ	จำนวนไบมิด 4 ไบ		จำนวนไบมิด 2 ไบ
		30	30	45
ยูคาลิปตัสสด	13.23	7.00	8.16	6.28
กระถินยักษ์สด	7.21	8.06	8.43	6.64
กระถินยักษ์แห้ง	N/A	6.28	8.09	7.23

#### 4.5.5 กำลังเฉือน

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงกำลังเฉือนเฉลี่ยของการตัดไม้ของเครื่องตัดไม้โตเร็ว (MPa)

ชนิดไม้	มมไบมิด (องศา)			
	ทดสอบใน ห้องปฏิบัติการ	จำนวนไบมิด 4 ไบ		จำนวนไบมิด 2 ไบ
		30	30	45
ยูคาลิปตัสสด	4.61	1.65	1.93	1.48
กระถินยักษ์สด	6.4	1.91	1.99	1.57
กระถินยักษ์แห้ง	N/A	1.48	1.91	1.71

#### 4.5.6 กำลังตัดจำเพาะที่ใช้ในการตัด

จากผลการศึกษากำลังตัดจำเพาะพบว่าไม้ยูคาลิปตัสสด กระถินยักษ์สด และ กระถินยักษ์แห้ง ที่มมคมไบมิด 30 จะมีค่ากำลังตัดจำเพาะน้อยกว่ามมคมไบมิด 45 องศา ซึ่งไม้กระถินยักษ์สดที่มมคมไบมิด 30 และ 45 องศา มีค่ากำลังตัดจำเพาะเท่ากับ 20.29 และ 22.62 kW/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ดังแสดงใน ตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงพลังงานตัดจำเพาะของของเครื่องตัดไม้โตเร็ว ( $\text{kW/m}^2$ )

ชนิดไม้	มุมใบมีด (องศา)			
	ทดสอบใน ห้องปฏิบัติการ	จำนวนใบมีด 4 ใบ		จำนวนใบมีด 2 ใบ
		30	30	45
ยูคาลิปตัสสด	19.52	13.61	20.91	9.07
กระถินยักษ์สด	27.06	20.29	22.62	11.34
กระถินยักษ์แห้ง	N/A	9.07	20.48	15.08

#### 4.5.7 ขนาดความยาว และคุณภาพ ของไม้หลังจากการทดสอบเครื่องตัดไม้โตเร็ว

##### (1) ขนาดความยาว

ขนาดของไม้ที่ผ่านการตัดจากเครื่องตัดไม้โตเร็ว ดังแสดงใน ตารางที่ 4.15 พบว่าขนาดเฉลี่ยตลอดการทดสอบทั้งไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินยักษ์ ที่ได้มีค่าเท่ากับ 10.93 cm ซึ่งขนาดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในกระบวนการเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันนั้นมีขนาดความยาวของเชื้อเพลิงไม่เกิน 15 cm ซึ่งมีความเหมาะสมที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

ตารางที่ 4.15 แสดงขนาดเฉลี่ยหลังจากการตัดไม้ของเครื่องตัดไม้โตเร็ว (cm)

ชนิด ไม้	มุมใบมีด(องศา)		
	จำนวนใบมีด 4 ใบ		จำนวนใบมีด 2 ใบ
	30	45	30
ยูคาลิปตัสสด	10.10	10.97	11.50
กระถินยักษ์สด	11.52	10.95	10.90
กระถินยักษ์แห้ง	10.25	10.72	11.47

##### (2) คุณภาพ

การตัดพบว่ามุมคมใบมีด 30 องศา ให้คุณภาพของการตัดที่ดีกว่ามุมคมใบมีด 45 องศา เนื่องจากมุมใบมีด 30 องศา มีความคมและสามารถตัดให้เปลือกของไม้ตัวอย่างขาดออกจากกันส่วนที่มุมใบมีด 45 องศาในบางครั้งไม่สามารถตัดให้เปลือกของไม้ตัวอย่างขาดได้จึง

ทำให้ เปลือกไม้ขาดได้ ดังแสดงใน รูปที่ 4.19 อย่างไรก็ตามจะดังกล่าว ไม่มีผลต่อการนำไปใช้ เป็นเชื้อเพลิง



(ก) ยูคาลิปตัสสด ที่มมคมใบมิด 30 องศา



(ข) ยูคาลิปตัสสด ที่มมคมใบมิด 45 องศา



(ค) กระตินยักษ์แห้ง ที่มมคมใบมิด 30 องศา



(ง) กระตินยักษ์แห้ง ที่มมคมใบมิด 45 องศา

รูปที่ 4.19 แสดงไม้หลังจากการตัดด้วยเครื่องตัดไม้โตเร็ว





จ. กระจินยักษ์สด ที่มุ่มคมใบมีด 30 องศา



ฉ. กระจินยักษ์สด ที่มุ่มคมใบมีด 45 องศา

รูปที่ 4.19 แสดงไม้หลังผ่านการตัดด้วยเครื่องตัดไม้ไต่เร้ว (ต่อ)

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ใช้ในการออกแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ผลการศึกษาสรุปได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ดังต่อไปนี้

##### 5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไม้โตเร็ว

คุณสมบัติทางกายภาพของไม้โตเร็ว 2 ชนิด คือ กระจินยักษ์และยูคาลิปตัสที่สนใจ มีขนาดในช่วง 1-2 นิ้ว ค่าความหนาแน่นของ มีค่าเท่ากับ  $700-880 \text{ kg/m}^3$  และ  $1020 \text{ kg/m}^3$  ตามลำดับและมีความชื้น 41.00-49.68% และ 57.18% ตามลำดับ

##### 5.1.2 คุณสมบัติแรงเหวี่ยงสูงสุด กำลังเหวี่ยง พลังงานที่ใช้ในการตัดรวมทั้งมุมของใบมีด และมุมตัดที่เหมาะสมของการตัดไม้โตเร็ว

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเหวี่ยงสูงสุด กำลังเหวี่ยงสูงสุด และพลังงานเหวี่ยงเฉพาะ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไม้โตเร็ว มุมคมใบมีด และมุมตัด โดยที่แรงเหวี่ยงสูงสุดจะแปรผันตรงกับขนาดของไม้โตเร็ว ตรงข้ามกับกำลังเหวี่ยงสูงสุดจะแปรผกผันกับขนาด ส่วนพลังงานเหวี่ยงเฉพาะของการตัดไม้โตเร็วนั้น มีแนวโน้มคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้โตเร็วและมุมตัดที่ 0 องศา (ขนานเส้น)จะมีผลทำให้มีการใช้แรงเหวี่ยงสูงสุด กำลังเหวี่ยงสูงสุด และพลังงานเหวี่ยงเฉพาะต่ำที่สุดแต่ในทางปฏิบัติงานจริงถ้าใช้มุมตัดที่ 0 องศา จะไม่สามารถตัดเชื้อเพลิงชีวมวลได้เพราะจะมีความยาวของเชื้อเพลิงเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นมุมตัดที่เหมาะสมรองลงมาคือ 30 องศา และ 45 องศา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

มุมคมใบมีด 30 องศา จะให้ค่าของแรงเหวี่ยง กำลังเหวี่ยง และพลังงานเฉพาะน้อยกว่ามุมคมใบมีด 45 องศา เหมาะสมที่จะใช้ในการออกแบบเครื่องตัดต่อไป

##### 5.1.3 เครื่องต้นแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว

เครื่องตัดไม้โตเร็วที่ได้ออกแบบและพัฒนา มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ  $90 \text{ cm} \times 240 \text{ cm} \times 140 \text{ cm}$  ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้นกำลังใช้ชุดเกียร์เป็นระบบทดกำลัง สามารถเปลี่ยนจำนวนใบมีดตัดจาก 2 เป็น 4 ใบมีดได้มีมุมใบมีด 30 และ 45 องศา และมีการออกแบบทางเข้าของวัสดุเพื่อให้มุมตัดเท่ากับ 45 องศา แต่จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มุมตัดที่

30 องศา จะใช้แรงน้อยกว่ามุมตัด 45 องศา แต่ในทางปฏิบัติหากทำการออกแบบทางเข้าวัสดุ 30 องศา จะป้อนวัสดุค่อนข้างยากจึงได้ออกแบบช่องป้อนวัสดุที่มีมุมตัด 45 องศา แทน

#### 5.1.4 ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องตัดไม้โตเร็วต้นแบบ

เครื่องตัดไม้โตเร็วต้นแบบมีกำลังการผลิต ไม้กระถินยักษ์สด ไม้ยูคาลิปตัสสด และกระถินยักษ์แห้งเท่ากับ 338.74, 270.54 และ 176.52 kg/hr ตามลำดับ ซึ่งมีสมรรถนะหลังจากเปลี่ยนใบมีดจาก 2 ใบ เป็น 4 ใบ เพิ่มขึ้น เท่ากับ 97.88, 29.95 และ 174.01% ตามลำดับ

พลังงานที่ใช้ในการตัดไม้ แรงตัดสูงสุด แรงเฉือน และกำลังตัดจำเพาะของไม้กระถินยักษ์สด ไม้ยูคาลิปตัสสด และกระถินยักษ์แห้ง เฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกัน

ขนาดของความยาวไม้ที่ผ่านการตัดจากเครื่องตัดไม้โตเร็วมีขนาดความยาวเฉลี่ย ทั้งไม้ยูคาลิปตัสและไม้กระถินยักษ์เท่ากับ 10.93 cm ซึ่งเป็นขนาดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ในกระบวนการเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน มีขนาดความยาวไม่เกิน 15 cm

ในด้านคุณภาพมูมคมใบมีด 30 องศา ให้คุณภาพของการตัดที่ดีกว่ามูมคมใบมีด 45 องศา เนื่องจากมูมใบมีด 30 องศา มีความคมและสามารถตัดให้เปลือกของไม้ตัวอย่างขาดออกจากกันส่วนที่มูมใบมีด 45 องศา นั้นในบางครั้งไม่สามารถตัดให้เปลือกของไม้ตัวอย่างขาดได้จึงทำให้เปลือกไม้ขาด อย่างไรก็ตามก็ตีสถานะดังกล่าวไม่มีผลต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

## 5.2 การนำไปใช้ประโยชน์

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากห้องปฏิบัติการและจากการทดสอบเครื่องตัดไม้โตเร็วสามารถนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องตัดไม้ชนิดต่าง ๆ ได้และเครื่องตัดไม้ชีวมวลที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถใช้งานได้จริงในการตัดไม้โตเร็วสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน

## 5.3 แนวทางการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบเครื่องตัดไม้โตเร็วทำให้ทราบถึงความสามารถของต้นกำลังขับเคลื่อนที่ยังสามารถพัฒนาชุดใบมีด ให้สามารถตัดไม้ที่มีขนาดใหญ่และเพิ่มอัตราการตัดได้ ซึ่งเป็นส่วนที่น่าสนใจในการพัฒนาต่อไป

## รายการอ้างอิง

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2542). รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาจัดทำแผ่นแม่บทการผลิตไฟฟ้าโดยชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง เล่ม 1 การผลิตและการใช้ชีวมวล. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2544). รายงานพลังงานของประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- วีรชัย อัจหาญ. (2550). โครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (ระดับชุมชน). รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.
- วีรชัย อัจหาญ. (2550). โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการปลูกไม้โตเร็วเพื่อเป็นพลังงานชีวมวล. รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.
- วีรชัย อัจหาญ. (2550). โรงไฟฟ้าต้นแบบชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน. รายงานการวิจัยภารกิจโครงการและประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- สาวิตรี คำหอม และ วีรชัย อัจหาญ. (2551). การศึกษาผลกระทบของสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลต่อค่าความร้อน. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9. เทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ยั่งยืน. หน้า 192.
- เรืองเกียรติ สุภาดารัตนาวงศ์. (2547). เครื่องย่อยวัสดุเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อภิชาติ ศรีชาติ. (2551). การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตชิ้นไม้สับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- 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.
- Chancellor W. K. (1957). **Basic concepts of cutting hay**. PhD thesis Cornell University. Ithaca, (pp. 170). NY.
- 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.

- 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
- Mesquita C. M. and Hunna M. A. (1995). Physical and mechanical properties of grasses **Transactions of the ASAE**. 38(6): 1655-1658
- Persson S. (1987). Mechanics of cutting plant material. **ASAE Monograph** .
- 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.
- Womac A. R., Yu M., Igathinathane C., Ye P. and Hayes D. (2005). Shearing characteristics of biomass for size reduction. **An ASAE meeting presentation**. Paper number: 056058.

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

## วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ

### ก1. การหาคุณสมบัติทางกายภาพของไม้โตเร็ว

#### ก1.1 ความหนาแน่น

วิธีการทดลองนำไม้โตเร็วมาวัดขนาดได้ปริมาตร ( $m^3$ ) นำไปชั่งน้ำหนัก (kg) แล้วบันทึกผล คำนวณของไม้โตเร็วต่อหน่วยปริมาตร

#### ก1.2 ความหนาแน่นหลังการการตัดด้วยเครื่องตัด

วิธีการทดลอง ทำการนำตัวอย่างหาปริมาตรของไม้ แล้วนำค่าที่ได้ มาคำนวณตามสมการที่ (ก1)

$$Density = \frac{Mass (kg)}{Volume (m^3)} \quad (ก1)$$

#### ก1.3 ความชื้น

ความชื้น คือ เปอร์เซ็นต์ของน้ำต่อน้ำหนัก โดยหาเป็นร้อยละของความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

- อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิ  $104-110^{\circ}C$  เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเดสิเคเตอร์ (Desiccator) ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองประมาณ 1 กรัม ลงในถาด อลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง
- นำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ  $104-110^{\circ}C$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างของตัวอย่างคงที่
- นำถาดอลูมิเนียมมาทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำเข้าเดสิเคเตอร์ จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที จึงทำการชั่งน้ำหนักถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างที่ทำการอบแล้วอยู่ภายใน ทำการบันทึกผล จากนั้นนำผลการทดลองมาคำนวณตามสมการที่ (ก2)

$$M(wb) = 100 \times \frac{(W_1 - W_2)}{W} \quad (ก2)$$

เมื่อ	M (wb) คือ	ร้อยละของความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis)
	$W_1$ คือ	น้ำหนักของถาดลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองก่อนทำการอบ (กรัม)
	$W_2$ คือ	น้ำหนักของถาดลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองหลังทำการอบ (กรัม)
	W คือ	น้ำหนักของตัวอย่างตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

## ตัวอย่างการคำนวณ

### ข1. การศึกษาแรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือน และพลังงาน

ใช้ข้อมูลการทดสอบเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล (Universal Testing Machine: UTM)

ขนาดแรงสูงสุด 50 kN ที่ มุมคมใบมีด 30 องศา มุมตัด 45 องศา

#### ข1.1 กำลังเฉือน

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (ข1)$$

$$= (10.99 \text{ kN}) / 0.002867 \text{ m}^2$$

$$= 3.83 \text{ MPa}$$

#### ข1.2 พลังงานตัดจำเพาะทางทฤษฎี

$$E = \frac{1}{A} \int F dx = n \times \frac{f}{A} \quad (ข2)$$

#### ข1.3 กำลังตัดจำเพาะ (Specific Cutting Power; kW/m<sup>2</sup>)

$$P = \frac{F \cdot v}{A} \quad (ข3)$$

$$= ((10.99 \text{ kN}) \times (0.00423 \text{ m/s})) / 0.002867 \text{ m}^2$$

$$= 16.22 \text{ kW/m}^3$$

## ข2 การทดสอบสมรรถนะต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล

### ข2.1 แรงบิด

$$\text{แรงบิด} = (\text{แรงบิดที่วัดได้}) \times C / 1000 \quad (\text{ข4})$$

$$= ((8.27 \text{ N.m}) \times 195 \times ) / 1000$$

$$= 1.61 \text{ kN.m}$$

เมื่อ  $C =$  อัตราทด (1:195)

### ข2.2 แรงตัดเฉลี่ย

$$F = \frac{T}{r} \quad (\text{ข5})$$

$$= (1.61 \text{ kN.m}) / 0.2 \text{ m}$$

$$= 8.05 \text{ kN}$$

เมื่อ  $T =$  แรงบิด, kN.m

$F =$  แรง, N

$r =$  รัศมีการตัดจากศูนย์กลางแกน, m

### ข2.3 กำลังเฉือนเฉลี่ย

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (\text{ข6})$$

$$= (8.05 \text{ kN}) / (0.00423 \text{ m}^2)$$

$$= 1903.07 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$= 1.90 \text{ MPa}$$

เมื่อ  $\tau =$  กำลังเฉือน, N/m<sup>2</sup>

$F =$  แรงสูงสุด, N

$A =$  พื้นที่หน้าตัด, m<sup>2</sup>

## ข2.3 กำลังตัดจำเพาะ

$$P = \frac{\Gamma}{A} \times N \quad (ข7)$$

$$\begin{aligned} &= \{(0.64 \text{ kN.m}) \times (8 \text{ rpm})\} / (0.00423 \text{ m}^2) \\ &= 1210.40 \text{ kN m/m}^2 \cdot \text{min} \\ &= 20.17 \text{ kW/m}^2 \end{aligned}$$

เมื่อ  $P$  = กำลังตัดจำเพาะ, kW/m<sup>2</sup>

$\Gamma$  = แรงบิดจำเพาะ, kN.m

$A$  = พื้นที่หน้าตัด, m<sup>2</sup>

$N$  = ความเร็วรอบ, rpm

$$\Gamma = T - T_0 \quad (ข7)$$

เมื่อ  $\Gamma$  = แรงบิดจำเพาะ, kN.m

$T$  = แรงบิด, kN.m

$T_0$  = แรงบิดเนื่องจากเดินตัวเปล่า, kN.m

ตารางที่ ข1 ตัวอย่างค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล มุมคม ไบมีด 30 องศา

มุมตัด 45						
DP(mm)	DP(m)	CL(kgf)	kN	CSA(m <sup>2</sup> )	S(kN/m <sup>2</sup> )	A
0.0000	0.0000	0.0071	0.0001	0.002867	0.0242	0.0248
1.1311	0.0011	12.7866	0.1254	0.002867	43.7569	0.0591
2.0318	0.0020	25.5975	0.2511	0.002867	87.5972	0.0549
2.5316	0.0025	38.5738	0.3784	0.002867	132.0033	0.0456
2.8278	0.0028	51.3761	0.5040	0.002867	175.8143	0.0587
3.1242	0.0031	64.2940	0.6307	0.002867	220.0205	0.0614
3.3781	0.0034	77.0458	0.7558	0.002867	263.6583	0.0702
3.6236	0.0036	89.9966	0.8829	0.002867	307.9774	0.0699
3.8353	0.0038	103.0923	1.0113	0.002867	352.7922	0.0731
4.0301	0.0040	116.1566	1.1395	0.002867	397.4996	0.0782
4.2164	0.0042	129.0211	1.2657	0.002867	441.5232	0.0745
4.3772	0.0044	141.8101	1.3912	0.002867	485.2884	0.0945
4.5634	0.0046	154.9781	1.5203	0.002867	530.3507	0.1076
4.7582	0.0048	167.9715	1.6478	0.002867	574.8154	0.0909
4.9106	0.0049	180.7399	1.7731	0.002867	618.5101	0.1085
5.0798	0.0051	193.8404	1.9016	0.002867	663.3414	0.1162
5.2492	0.0052	207.0672	2.0313	0.002867	708.6048	0.1115
5.4016	0.0054	220.4156	2.1623	0.002867	754.2844	0.1051
5.5371	0.0055	233.1856	2.2876	0.002867	797.9846	0.1252
5.6896	0.0057	246.4976	2.4181	0.002867	843.5396	0.1465
5.8588	0.0059	259.6988	2.5476	0.002867	888.7154	0.1621
6.0366	0.0060	273.1091	2.6792	0.002867	934.6068	0.1460
6.1891	0.0062	286.3612	2.8092	0.002867	979.9569	0.1951
6.3838	0.0064	299.3781	2.9369	0.002867	1024.5020	0.1950
6.5699	0.0066	312.8157	3.0687	0.002867	1070.4868	0.1852
6.7394	0.0067	325.9495	3.1976	0.002867	1115.4320	0.2022
6.9172	0.0069	338.7186	3.3228	0.002867	1159.1292	0.1600
7.0526	0.0071	352.1183	3.4543	0.002867	1204.9843	0.1664
7.1881	0.0072	365.2152	3.5828	0.002867	1249.8032	0.1723
7.3235	0.0073	378.5238	3.7133	0.002867	1295.3466	0.1787
7.4591	0.0075	391.9584	3.8451	0.002867	1341.3211	0.1961

ตารางที่ ข1 ตัวอย่างค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล มุมคมใบมีด 30 องศา (ต่อ)

มุมตัด 45						
DP(mm)	DP(m)	CL(kgf)	kN	CSA(m <sup>2</sup> )	S(kN/m <sup>2</sup> )	A
7.6029	0.0076	404.7796	3.9709	0.002867	1385.1965	0.2264
7.7638	0.0078	417.5305	4.0960	0.002867	1428.8314	0.2090
7.9078	0.0079	430.6251	4.2244	0.002867	1473.6424	0.2152
8.0516	0.0081	443.8724	4.3544	0.002867	1518.9760	0.2351
8.2042	0.0082	456.9414	4.4826	0.002867	1563.6995	0.2684
8.3734	0.0084	470.1762	4.6124	0.002867	1608.9903	0.3591
8.5935	0.0086	483.2981	4.7412	0.002867	1653.8948	0.2697
8.7544	0.0088	496.1740	4.8675	0.002867	1697.9574	0.3058
8.9323	0.0089	508.9950	4.9932	0.002867	1741.8321	0.3437
9.1270	0.0091	522.3406	5.1242	0.002867	1787.5021	0.2912
9.2879	0.0093	535.5305	5.2536	0.002867	1832.6393	0.4239
9.5164	0.0095	548.5607	5.3814	0.002867	1877.2299	0.4021
9.7281	0.0097	561.6528	5.5098	0.002867	1922.0324	0.3788
9.9229	0.0099	574.7158	5.6380	0.002867	1966.7353	0.4039
10.1259	0.0101	587.8163	5.7665	0.002867	2011.5666	0.4650
10.3546	0.0104	600.8666	5.8945	0.002867	2056.2260	0.4574
10.5746	0.0106	613.7683	6.0211	0.002867	2100.3769	0.4494
10.7863	0.0108	627.0853	6.1517	0.002867	2145.9490	0.3674
10.9558	0.0110	640.1009	6.2794	0.002867	2190.4897	0.4497
11.1590	0.0112	652.8727	6.4047	0.002867	2234.1961	0.4009
11.3367	0.0113	665.8817	6.5323	0.002867	2278.7142	0.4479
11.5314	0.0115	678.6987	6.6580	0.002867	2322.5753	0.5559
11.7685	0.0118	691.5084	6.7837	0.002867	2366.4114	0.4656
11.9634	0.0120	704.8508	6.9146	0.002867	2412.0704	0.4325
12.1411	0.0121	717.6266	7.0399	0.002867	2455.7905	0.4198
12.3104	0.0123	730.7401	7.1686	0.002867	2500.6662	0.4913
12.5052	0.0125	743.6795	7.2955	0.002867	2544.9461	0.5001
12.7000	0.0127	756.6506	7.4227	0.002867	2589.3345	0.5970
12.9286	0.0129	769.5468	7.5493	0.002867	2633.4666	0.5393
13.1317	0.0131	782.7347	7.6786	0.002867	2678.5969	0.4114
13.2840	0.0133	795.7586	7.8064	0.002867	2723.1660	0.4654

ตารางที่ ข1 ตัวอย่างค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล มุมคมใบมีด 30 องศา(ต่อ)

มุมตัด 45						
DP(mm)	DP(m)	CL(kgf)	kN	CSA(m <sup>2</sup> )	S(kN/m <sup>2</sup> )	A
13.4535	0.0135	808.8521	7.9348	0.002867	2767.9733	0.4959
13.6312	0.0136	822.1645	8.0654	0.002867	2813.5297	0.4803
13.8006	0.0138	835.0219	8.1916	0.002867	2857.5290	0.5611
13.9954	0.0140	848.2601	8.3214	0.002867	2902.8315	0.7675
14.2578	0.0143	861.3624	8.4500	0.002867	2947.6689	0.5531
14.4440	0.0144	874.2864	8.5767	0.002867	2991.8961	0.4848
14.6048	0.0146	887.4727	8.7061	0.002867	3037.0209	0.8030
14.8673	0.0149	900.8467	8.8373	0.002867	3082.7881	0.4207
15.0028	0.0150	913.6931	8.9633	0.002867	3126.7498	0.5334
15.1721	0.0152	926.8956	9.0928	0.002867	3171.9301	0.6487
15.3753	0.0154	939.6823	9.2183	0.002867	3215.6874	0.6851
15.5869	0.0156	952.5004	9.3440	0.002867	3259.5523	0.6114
15.7732	0.0158	965.4531	9.4711	0.002867	3303.8777	0.9294
16.0526	0.0161	978.2822	9.5969	0.002867	3347.7802	1.2270
16.4168	0.0164	991.0952	9.7226	0.002867	3391.6276	0.6066
16.5944	0.0166	1004.2270	9.8515	0.002867	3436.5659	0.5275
16.7469	0.0167	1017.5480	9.9821	0.002867	3482.1517	1.3350
17.1279	0.0171	1030.3400	10.1076	0.002867	3525.9272	1.6825
17.6022	0.0176	1043.1040	10.2329	0.002867	3569.6069	0.7904
17.8223	0.0178	1055.9680	10.3590	0.002867	3613.6288	1.7857
18.3134	0.0183	1068.7540	10.4845	0.002867	3657.3838	2.2117
18.9146	0.0189	1081.5980	10.6105	0.002867	3701.3372	2.3008
19.5325	0.0195	1094.4950	10.7370	0.002867	3745.4721	4.2423
20.6586	0.0207	1107.2730	10.8623	0.002867	3789.1997	5.1632
22.0133	0.0220	1120.1520	10.9887	0.002867	3833.2729	3.0012
22.8008	0.0228	1107.1540	10.8612	0.002867	3788.7925	1.3081
23.1481	0.0231	1094.0560	10.7327	0.002867	3743.9698	3.1512
23.9948	0.0240	1081.2520	10.6071	0.002867	3700.1532	3.3627
24.9090	0.0249	1068.3660	10.4807	0.002867	3656.0560	2.8306
25.6879	0.0257	1055.6100	10.3555	0.002867	3612.4037	1.5200
26.1112	0.0261	1042.8520	10.2304	0.002867	3568.7445	2.1917

ตารางที่ ข1 ตัวอย่างค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล มุมคมใบมีด 30 องศา (ต่อ)

มุมตัด 45						
DP(mm)	DP(m)	CL(kgf)	kN	CSA(m <sup>2</sup> )	S(kN/m <sup>2</sup> )	A
26.7291	0.0267	1030.0710	10.1050	0.002867	3525.0067	1.5128
27.1611	0.0272	1016.9460	9.9762	0.002867	3480.0916	1.2298
27.5167	0.0275	1004.1300	9.8505	0.002867	3436.2340	0.4045
27.6352	0.0276	990.9113	9.7208	0.002867	3390.9982	0.3998
27.7539	0.0278	977.6119	9.5904	0.002867	3345.4863	0.5069
27.9064	0.0279	964.1220	9.4580	0.002867	3299.3225	0.3883
28.0249	0.0280	951.1498	9.3308	0.002867	3254.9304	2.5728
28.8208	0.0288	938.2892	9.2046	0.002867	3210.9201	3.3475
29.8705	0.0299	925.4058	9.0782	0.002867	3166.8318	0.7189
30.0991	0.0301	912.3245	8.9499	0.002867	3122.0663	2.1778
30.8017	0.0308	899.3185	8.8223	0.002867	3077.5584	3.0522
31.8007	0.0318	886.3051	8.6947	0.002867	3033.0253	1.7839
32.3846	0.0324	899.3052	8.8222	0.002867	3077.5129	3.5448
33.5282	0.0335	912.2684	8.9494	0.002867	3121.8743	9.4476
36.5759	0.0366	899.4633	8.8237	0.002867	3078.0540	1.1643
36.9569	0.0370	886.2210	8.6938	0.002867	3032.7375	0.2547
37.0416	0.0370	873.1628	8.5657	0.002867	2988.0510	1.0300
37.3888	0.0374	860.3435	8.4400	0.002867	2944.1821	0.7919
37.6598	0.0377	847.4717	8.3137	0.002867	2900.1335	0.8289
37.9478	0.0379	834.6951	8.1884	0.002867	2856.4107	0.4796
38.1171	0.0381	821.1988	8.0560	0.002867	2810.2250	0.3779
38.2526	0.0383	808.2476	7.9289	0.002867	2765.9047	0.4182
38.4051	0.0384	795.2187	7.8011	0.002867	2721.3185	0.4109
38.5573	0.0386	782.2420	7.6738	0.002867	2676.9109	0.8320
38.8707	0.0389	769.3273	7.5471	0.002867	2632.7155	1.0835
39.2857	0.0393	756.5266	7.4215	0.002867	2588.9102	1.0421
39.6921	0.0397	742.0638	7.2796	0.002867	2539.4170	0.1278
39.7429	0.0397	728.0929	7.1426	0.002867	2491.6072	0.1878
39.8190	0.0398	715.1310	7.0154	0.002867	2447.2503	0.2260
39.9122	0.0399	702.3324	6.8899	0.002867	2403.4522	2.4380
40.9364	0.0409	688.8353	6.7575	0.002867	2357.2637	0.3753



ตารางที่ ข1 ตัวอย่างค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล มุมคมใบมีด 30 องศา(ต่อ)

มุมตัด 45						
DP(mm)	DP(m)	CL(kgf)	kN	CSA(m <sup>2</sup> )	S(kN/m <sup>2</sup> )	A
41.0972	0.0411	675.5598	6.6272	0.002867	2311.8336	1.1436
41.5966	0.0416	662.6564	6.5007	0.002867	2267.6769	1.1209
42.0958	0.0421	649.8011	6.3745	0.002867	2223.6848	1.0070
42.5535	0.0426	635.9833	6.2390	0.002867	2176.3989	0.2191
42.6552	0.0427	623.0989	6.1126	0.002867	2132.3072	0.6932
42.9769	0.0430	636.1315	6.2405	0.002867	2176.9060	0.9851
43.4343	0.0434	622.6613	6.1083	0.002867	2130.8097	0.7107
43.7644	0.0438	635.8597	6.2378	0.002867	2175.9759	1.2208
44.3317	0.0443	621.7496	6.0994	0.002867	2127.6897	0.1251
44.3911	0.0444	608.6061	5.9704	0.002867	2082.7113	0.3315
44.5520	0.0446	595.7587	5.8444	0.002867	2038.7463	0.5285
44.8143	0.0448	582.0753	5.7102	0.002867	1991.9203	0.2338
44.9329	0.0449	569.0701	5.5826	0.002867	1947.4152	0.3908
45.1361	0.0451	555.3901	5.4484	0.002867	1900.6008	0.1751
45.2293	0.0452	541.8326	5.3154	0.002867	1854.2057	0.1550
45.3139	0.0453	528.4510	5.1841	0.002867	1808.4125	0.0906
45.3648	0.0454	514.2479	5.0448	0.002867	1759.8081	0.0883
45.4156	0.0454	500.5829	4.9107	0.002867	1713.0451	0.1287
45.4918	0.0455	486.8140	4.7756	0.002867	1665.9265	0.1251
45.5679	0.0456	473.4878	4.6449	0.002867	1620.3229	0.1623
45.6696	0.0457	459.4439	4.5071	0.002867	1572.2633	0.1310
45.7542	0.0458	445.6734	4.3721	0.002867	1525.1392	0.1016
45.8218	0.0458	432.4539	4.2424	0.002867	1479.9008	0.0491
45.8558	0.0459	413.2427	4.0539	0.002867	1414.1581	0.0236
45.8728	0.0459	394.7866	3.8729	0.002867	1350.9995	0.0223
45.8898	0.0459	372.7421	3.6566	0.002867	1275.5610	0.0211
45.9069	0.0459	349.4936	3.4285	0.002867	1196.0023	0.0197
45.9239	0.0459	326.6267	3.2042	0.002867	1117.7495	0.0184
45.9410	0.0459	305.2585	2.9946	0.002867	1044.6253	0.0172

ตารางที่ ข2 ตัวอย่างข้อมูลการวัดค่าสัญญาณ (V) ที่ มุมตัด 45 องศา

Knife		4							
Angle(°)		30				45			
No		1	2	3	Ave	1	2	3	Ave
V'(V)	Max	0.608	0.485	0.36	0.484	0.8	1.158	0.77	0.909
	Ave	0.283	0.275	0.276	0.28	0.28	0.31	0.28	0.29
	Min	0.117	0.205	0.17	0.144	0.11	0.13	0.1	0.113
Torque(kg.m)	Max	2.28	1.82	1.35	1.82	3.00	4.34	2.89	3.41
	Ave	0.86	0.83	0.83	0.84	0.84	0.96	0.84	0.88
	Min	0.44	0.55	0.64	0.54	0.41	0.49	0.38	0.43
Torque(N.m)	Max	22.37	17.67	13.24	17.8	29.43	42.60	28.33	33.45
	Ave	8.39	8.27	8.14	8.27	8.28	9.39	8.28	8.65
	Min	4.30	5.3	6.25	5.28	4.05	4.78	3.68	4.17

**ภาคผนวก ก**

**Calibration Curve of Torque Transducer**

## ตัวอย่างการหา Calibration Cuve

### ค1. Calibration Cuve of Torque Transducer

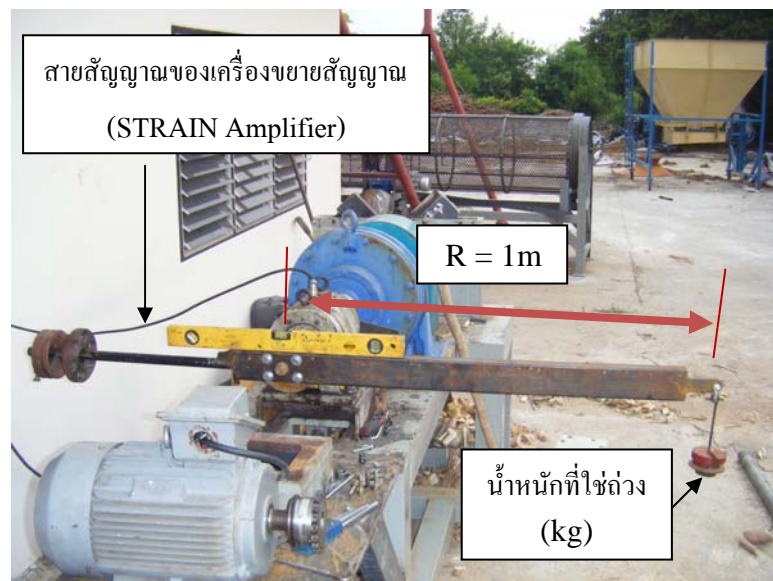
จากการวัดแรงบิดด้วย Torque Transducer จะต้องใช้เครื่องขยายสัญญาณ STRAIN Amplifier เพื่อเปรียบเทียบกับ Calibration Cuve Torque Transduce เพื่อใช้ในการหาค่า แรงบิด ซึ่งจะต้องหา Calibration Cuve



รูปที่ ค1 การติดตั้งอุปกรณ์ในการหา Calibration Cuve



รูปที่ ค2 Set ระดับ



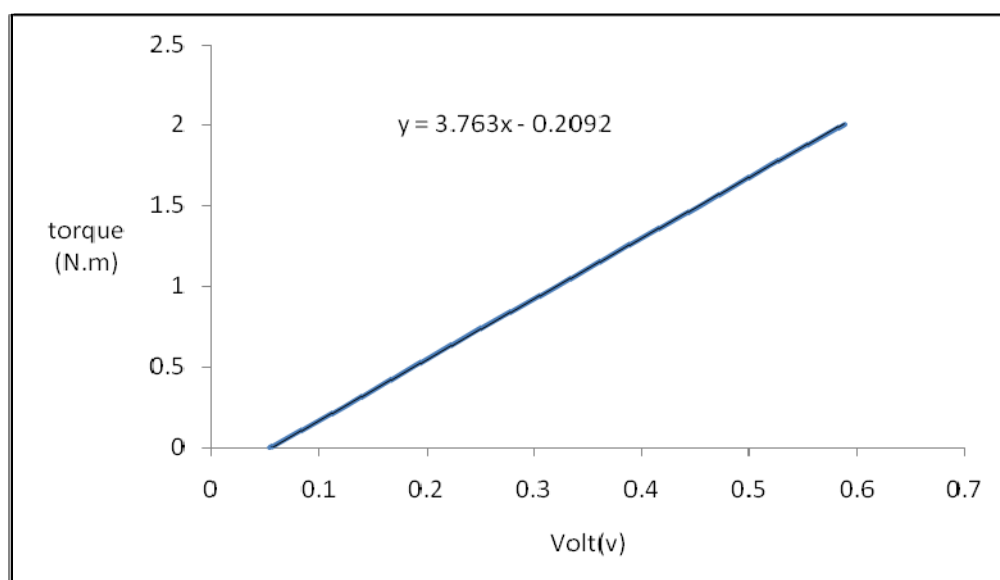
รูปที่ ค3 การหา Calibration Cuve

จากตารางที่ ค1 แสดงถึงการค่าที่วัดได้จากการถ่วงน้ำหนักเพื่อใช้หากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Volt กับ Torque เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบวัด

#### ค1 การวัดค่า Volt

นน. (g)	Torque (kg.m)	Volt (V)
0	0.00	0.055
250	0.25	0.124
500	0.50	0.188
750	0.75	0.253
1000	1.00	0.322
1250	1.25	0.388
1500	1.50	0.455
1750	1.75	0.519
2000	2.00	0.588

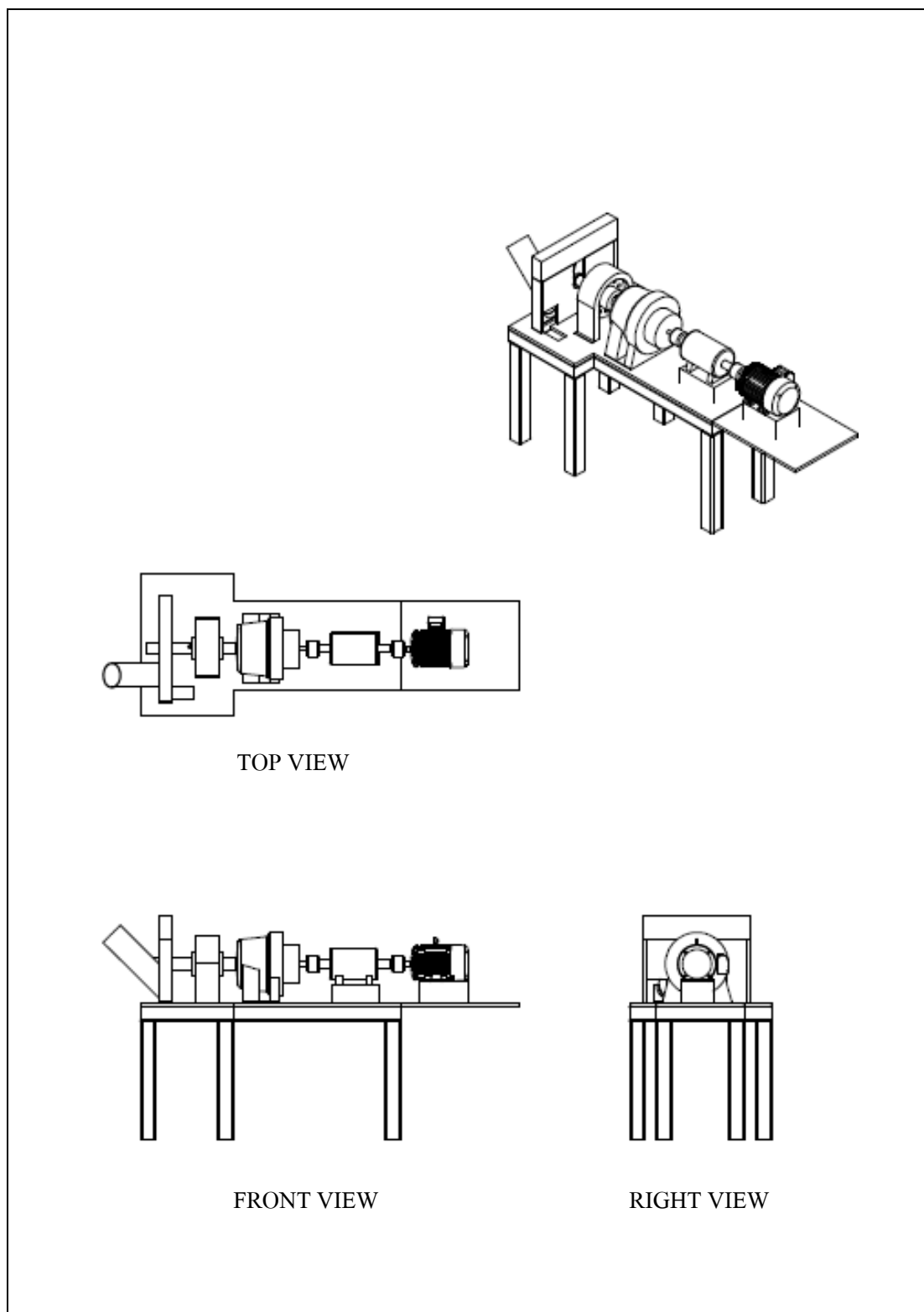
Calibration Curve ของ Torque Transducer เมื่อ; Set STRAIN Amplifier Range  $1 \times 100 \mu\epsilon$ ,  
Vern = Max



รูปที่ ค4 Calibration Curve

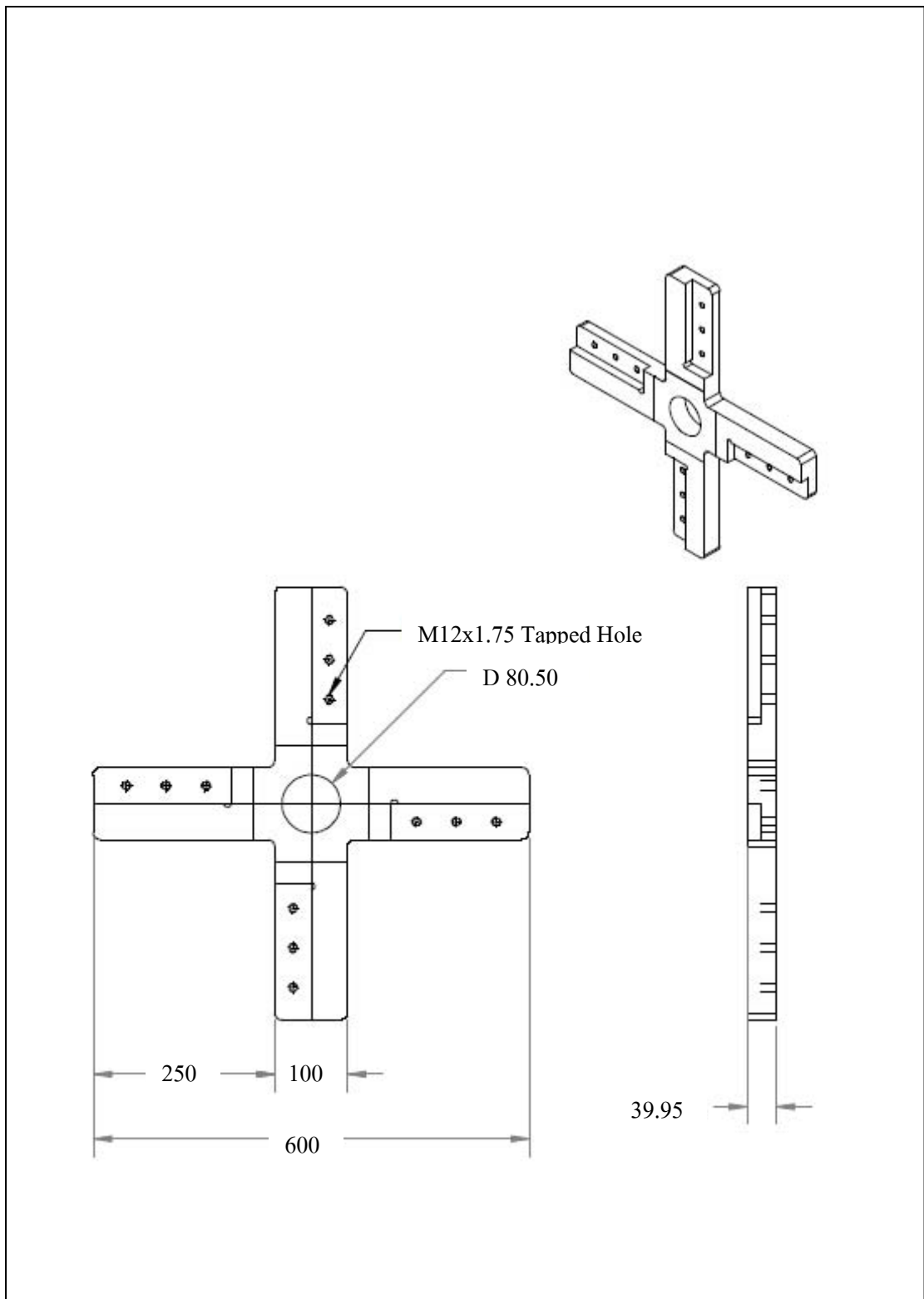
ภาคผนวก ง

แบบเครื่องต้นแบบเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล

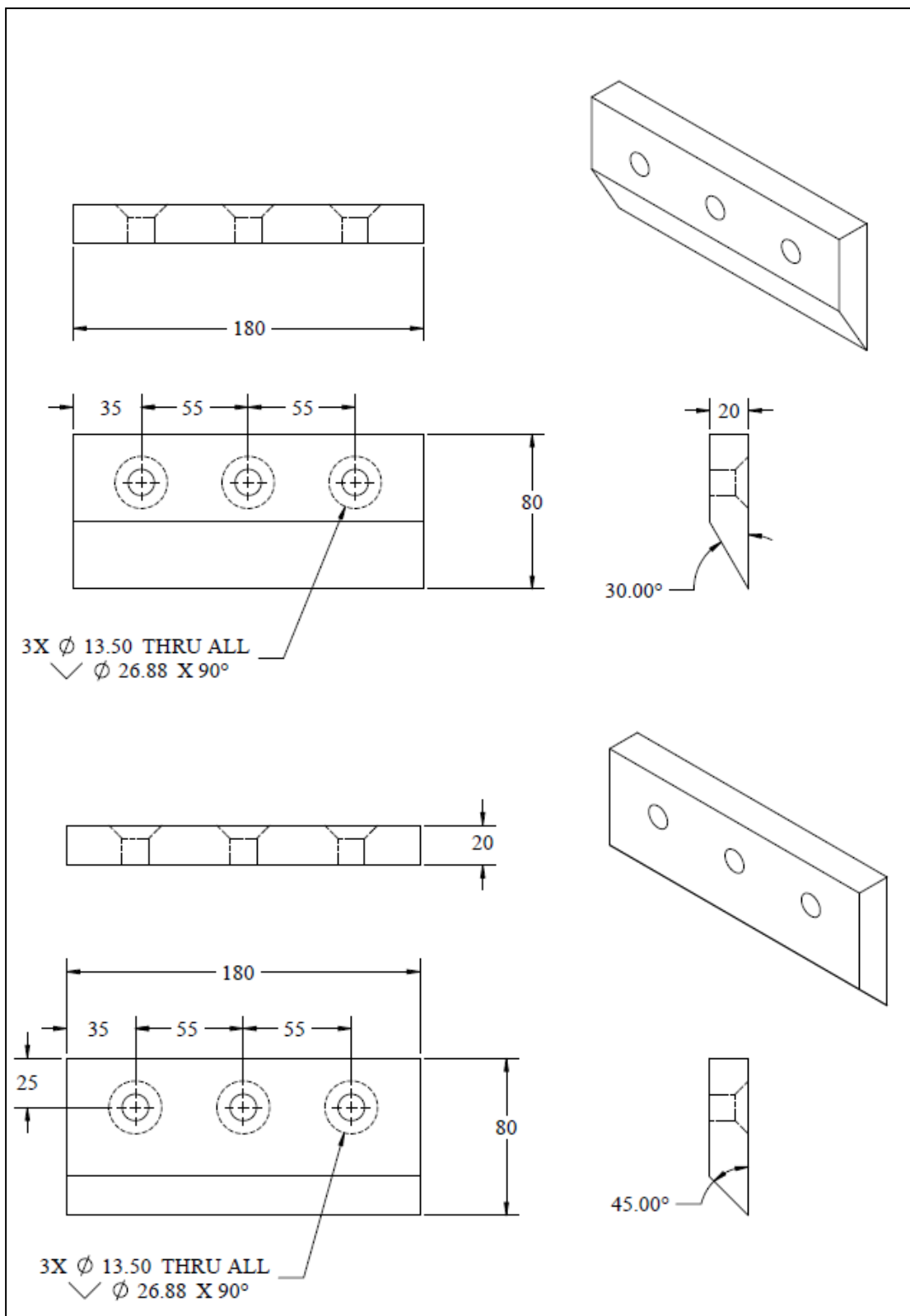


รูปที่ ง1 แสดงแบบเครื่องตัดไม้โตเร็ว





รูปที่ ๖2 แสดงแบบชุดประกอบใบมีด



รูปที่ ๓3 แสดงแบบชุดมีดตัด

ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

## รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ณัฐพงษ์ ประภากร พรรษา ลิบลับ และ วีรชัย อัจฉาญ. (2551). การศึกษาคุณสมบัติกำลังเฉือนของ  
เชื้อเพลิงชีวมวล. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9.  
เทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรที่ยั่งยืน. หน้า 184.



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 ประจำปี 2551

31 มกราคม 2551 - 1 กุมภาพันธ์ 2551



การศึกษาคูสมบัติกำลังเฉือนของเชื้อเพลิงชีวมวล  
Study of Shear Strength Characteristics of Biomass Fuel

ณัฐพงษ์ ประภาคาร<sup>1</sup> พรวณา อิบลิษฐ์<sup>2</sup> และ วิรัช อาชทาย<sup>3\*</sup>

*Nattapong Prapakarn<sup>1</sup>, Pansa Liplop<sup>2</sup> and Wirachai Arjhan<sup>3\*</sup>*

**บทคัดย่อ**

การศึกษาคูสมบัติกำลังเฉือนมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการต้านทานแรงเฉือนของเชื้อเพลิงชีวมวล ขณะทำการสับ/ย่อย หรือลดขนาด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องลดขนาดเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล ในการศึกษาในครั้งนี้ทำการทดสอบคูสมบัติกำลังเฉือน ของเชื้อเพลิงชีวมวล 2 ชนิด คือ ไม้กระถินยักษ์ และ พงปาล์ม โดยใช้เครื่องวัดแรงกด (UTM, Universal Testing Machine) ขนาด 50 kN โดยมีขั้นตอนการศึกษาคือ 1) การเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล โดยแบ่งไม้กระถินยักษ์ออกเป็น 4 ขนาด คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 17.8, 25.4, 38.1 และ 50.8 mm (0.7", 1", 1 1/4" และ 2") และแบ่งพวงปาล์มออกเป็น 2 ขนาด คือ ส่วนกลาง และส่วนปลาย 2) ทำการทดสอบแรงกดโดยใช้ใบมีด ที่มีมุมใบมีด 2 แบบ คือ 30 และ 45 องศา และทำการปรับองศาการตัด 5 แบบ คือ 0, 30, 45, 60 และ 90 องศา 3) ทำการวิเคราะห์แรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือนสูงสุด และ พลังงานตัดจำเพาะ จากผลการทดสอบพบว่า การตัดด้วยใบมีดที่ทำมุม 30 องศาจะใช้แรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือนสูงสุด และ พลังงานตัดจำเพาะน้อยกว่าใบมีดที่ทำมุม 45 องศา และที่องศาการตัด 0 องศา หรือตามแนวเสี้ยนจะใช้แรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือนสูงสุด และ พลังงานตัดจำเพาะในการตัดน้อยที่สุดในทุกขนาด ทั้งนี้ในทางปฏิบัติการออกแบบเครื่องสับ/ย่อย โดยทำการป้อนเชื้อเพลิงในแนวเดียวกันกับใบมีดตัดทำได้ยาก จำเป็นต้องนำข้อมูลด้านอื่นๆ มาใช้ประกอบในการออกแบบด้วย

**คำสำคัญ :** เชื้อเพลิงชีวมวล, แรงเฉือน, กำลังเฉือน, พลังงานตัดจำเพาะ

**ABSTRACT**

The study of shear characteristics is to understand the shear strength and specific cutting energy of biomass fuels which play an important role in preparing feedstock biomass fuels for biomass power plant. In this study, shear characteristics of Giant Leucaena (wood) and palm branch were investigated by Universal Testing Machine, UTM with capacity of 50 kN. The study procedures were comprised of 1) dividing Giant Leucaena and palm branch into 4 and 2 sizes, respectively including diameter of 17.8, 25.4, 38.1 and 50.8 mm (0.7", 1", 1 1/4" and 2") for Giant Leucaena and the middle and tip parts of palm branch, 2) investigating force-displacement derived from different knife bevel angles (30° and 45°) and directions of biomass fuels (0°, 30°, 45°, 60° and 90°), 3) analyzing maximum cutting force, maximum shear strength and specific cutting energy. It was found that maximum cutting force, maximum shear strength and specific cutting energy of 30° knife bevel angle were less than that of 45° knife bevel angle. For cutting directions, 0° or parallel to biomass fuel axis showed less maximum cutting force, maximum shear strength and specific cutting energy than other directions. Practically, it is difficult to design a machine with cutting direction of 0°, other parameters may need to take into consideration.

**KEYWORDS :** biomass fuel, cutting force, shear strength, specific cutting energy

<sup>1</sup>Master Student, School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.

<sup>2</sup>Lecturer, <sup>3</sup>Assistant Professor, School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000.

\* Corresponding author. Tel./Fax: 0-4422-4834; E-mail address: wjharh@st.ue.tsu.ac.th

#### บทนำ

ประเทศไทยมีเชื้อเพลิงชีวมวล หรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมาก ทั้งที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตเกษตร และ ไร่ นา สวนเกษตร ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลคงเหลือ ในปี 2549 ของมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม พบว่า มีเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้า อีกกว่า 34 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานเทียบเท่ามันดิบ 7,200 ตัน (toe) ทั้งนี้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่คงเหลือจะกระจุกกระจายไปในแปลงเกษตร ใช้คืนพูนสูงในการรวบรวม เช่น ใบอ้อย ฟางข้าว เหม้ามันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อเพลิงชีวมวลบางชนิด มีขนาดและความชื้น ที่ยังไม่เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น ทางปาล์ม ทะลายปาล์ม รากไม้ยางพารา เป็นต้น ดังนั้นการที่จะนำเชื้อเพลิงชีวมวลดังกล่าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจำเป็นต้องมีการนำมาแปรรูปให้เหมาะสมก่อนนำมาใช้งาน เช่น การทำความสะอาด การลดขนาด การลดความชื้น เป็นต้น

ในการศึกษารังนี้ จะทำการศึกษาค้นคว้าการลดขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยปกติวิธีการลดขนาดความหนาของวัสดุทางการเกษตร โดยทั่วไปจะใช้วิธีการสับ อ้อย หรือ บด เพื่อให้สอดคล้องต่อความต้องการของอุตสาหกรรม และกระบวนการแปรรูปทางการเกษตร สำหรับขนาดที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชีวมวลก็เช่นเดียวกัน ทั้งนี้ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับประเภทและขนาดของเตาเผา ซึ่งจะตั้งแต่วางรับเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นท่อนขนาดใหญ่ ท่อนขนาดเล็ก ไปจนกระทั่งเป็นผง หรือร่อนรับได้ทุกขนาด ในการศึกษารังนี้ มีเป้าหมายที่จะทำการลดขนาดเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับใช้กับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก ที่ใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวล มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงและกระแสไฟฟ้ามาก โดยขนาดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมจะมีลักษณะเป็นท่อนขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวไม่เกิน 2" และ 15 cm ตามลำดับ ซึ่งปัจจุบัน จะใช้เครื่องเลื่อยไม้ชนิดเคลื่อน ซึ่งมีกำลังการผลิตค่า (ประมาณ 250 hp/hr) และใช้แรงงานในการตัด และยังไม่มีพบเครื่องมือในการลดขนาดที่เหมาะสมกับขนาดดังกล่าว ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่อค่าคุณสมบัติทางกลในการตัด เช่น แรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือนสูงสุด พลังงานตัดจำเพาะ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงเครื่องตัดเชื้อเพลิงชีวมวล

การออกแบบเครื่องตัดวัสดุชีวภาพหรือชีวมวลจะต้องทราบคุณสมบัติทางกลและแรงต้านทานของวัสดุชีวภาพที่มีต่อการตัดเพื่อที่จะเข้าใจพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกตัดที่สภาวะต่างๆกัน โดย Womac และคณะ (Womac et al., 2005) เสนอว่าในการออกแบบเครื่องตัดจะต้องรู้ค่ากำลังเฉือนสูงสุดและพลังงานที่ใช้ในการเฉือนซึ่งค่าเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ขนาด อายุ ความชื้น และ โครงสร้างของเซลล์ภายในวัสดุ ทั้งนี้ Persson (Persson, 1987) ได้อธิบายพฤติกรรมในการตัดวัสดุชีวภาพว่า เมื่อใบมีดเคลื่อนที่ลงไปสัมผัสกับผิววัสดุชีวภาพจะทำให้เกิดแรงดันภายในเนื้อวัสดุชีวภาพสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงจุดแตกหัก (failure point) ซึ่งวัสดุชีวภาพบางชนิดจะเกิดการแตกหักอาจเกิดขึ้นเพียงครั้งเดียวในขณะที่วัสดุชีวภาพบางชนิดเกิดจุดแตกหักขึ้นหนึ่งจุดก่อนแล้วแรงดันค่อยๆ สูงขึ้นและเกิดจุดแตกหักอีกครั้งเมื่อใบมีดผ่านเนื้อวัสดุ นั่นหมายความว่าพฤติกรรมในการตัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุชีวภาพซึ่งต้องใช้หลายหลักการในการอธิบาย

Chancellor (1957) แบ่งประเภทของวัสดุชีวภาพโดยขึ้นอยู่กับลักษณะการตัดออกเป็น 2 ประเภท คือ (1) วัสดุชีวภาพที่ไม่มีเส้นใย (non-fibrous materials) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกันในทุกทิศทางของการตัด โดยทั่วไปแล้วเซลล์ของวัสดุจะเต็มไปด้วยของเหลว และ (2) วัสดุชีวภาพที่มีเส้นใย (fibrous materials) วัสดุชีวภาพแบบนี้จะมีเส้นใยที่แข็งแรงและกำลังที่ใช้ในการตัดจะขึ้นอยู่กับทิศทางของการตัดผ่าน ซึ่งพฤติกรรมการตัดวัสดุเส้นใย ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่แรงกดกระทำอย่างเฉียว แรงกดกระทำร่วมกับแรงเฉือน และแรงเฉือนกระทำอย่างเฉียว (Iace et al., 2005)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการตัด คือ Mezquin and Hanna (1995), El Hag et al. (1971) และ Prasad and Gupta (1975) ได้ศึกษาพลังงานที่ใช้ในการตัด ต้นถั่วเหลือง ถังนุ่น และ ต้นข้าวโพด ตามลำดับ ซึ่งพบว่าพลังงานในการตัดจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกล (เช่น แรงและกำลังที่ใช้ในการตัดสูงสุด) และ คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ (เช่น ขนาด ความหนาแน่น และ ความชื้น) ส่วนลักษณะของใบมีดก็มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการตัดเหมือนกัน ทั้งนี้พบว่าใบมีดที่มีลักษณะคมมีดเป็นร่องจะใช้พลังงานในการตัดสูงกว่าใบมีดที่มีคมมีดเรียบ (Persson, 1987)

Prasad and Gupta (1975) ได้ทำศึกษาค้นคว้าคุณสมบัติทางกลในการตัดต้นข้าวโพดและพบว่า ที่ความชื้น 74% w.b. มุมคมของใบมีด (knife bevel angle) และมุมในการตัด (cutting directions) ที่เหมาะสมคือ 23 และ 55 องศา ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าพื้นที่หน้าตัดและค่าความชื้นมีผลต่อค่าแรงเฉือนสูงสุดและค่าพลังงานที่ใช้ โดยที่ค่าแรงเฉือนสูงสุดและพลังงานที่ใช้ในการตัดจะแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดแต่แปรผกผันกับค่าความชื้น ส่วนค่าความเร็วในการตัดก็มีผลต่อค่าแรงสูงสุดเช่นกัน โดยมีเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 20 cm/min เป็น 100 cm/min ค่ากำลังเฉือนสูงสุดจะลดลงจาก 3.3 ถึง 2 N/mm<sup>2</sup>

Chattopadhyay and Pandey (1999) ได้ศึกษาการเจริญ การกุด และ การโค้งตัว ของต้นข้าวฟ่าง โดยใช้เครื่องมือวัดคุณสมบัติทางกล (Universal Testing Machine: UTM) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อมุมคมของใบมีดเพิ่มขึ้นจาก 30 ถึง 70 องศา ค่ากำลังทางกลและพลังงานที่ใช้ในการกุดหรือเจริญจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าเหล่านี้จะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วของหัวกดเพิ่มขึ้น ส่วนค่ากำลังและพลังงานการโค้งจะ ไม่มีความสัมพันธ์กับค่ามุมคมของใบมีดและอัตราเร็วของใบมีดกด

#### อุปกรณ์และวิธีการ

##### วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกล (Universal Testing Machine: UTM) ขนาดแรงสูงสุด 50 ๒ง ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1
2. ใบมีดขนาด กว้าง x ยาว x หนา 76.2 mm x 127 mm x 6 mm จำนวน 2 ใบ มีมุมคม (knife bevel angle) แต่ละใบ 30 และ 45 องศา ตามลำดับ
3. เชื้อเพลิงชีวมวลที่ไร้ทดสอบ คือ ไม้กระถินยักษ์ และทางปาล์ม โดยมีคุณสมบัติ ในตารางที่ 1



ก. เครื่องวัดแรงกด



ข. ใบมีด



ค. แท่นรอง และจับยึดเชื้อเพลิงชีวมวล

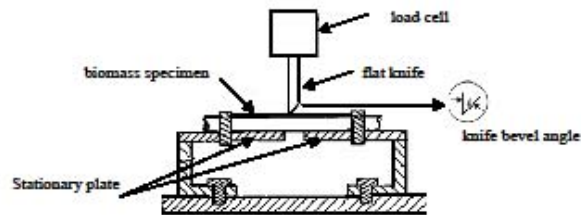
ภาพที่ 1 เครื่องวัดแรงกด และการติดตั้งใบมีด

##### ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวล

Biomass	Cross Section Area (m <sup>2</sup> )	Moisture Content (%w.b.)	Specific Gravity (SG)
ไม้กระถินยักษ์	2.5x10 <sup>-4</sup> (Ø=17.8 mm)	49.35	1.88
	5.1x10 <sup>-4</sup> (Ø=25.4 mm)	49.68	1.36
	11.4x10 <sup>-4</sup> (Ø=38.1 mm)	44.03	1.06
	20.2x10 <sup>-4</sup> (Ø=50.8 mm)	41.00	0.92
ทางปาล์ม	4.74 x10 <sup>-4</sup>	58.89	1.07
	9.3 x10 <sup>-4</sup>	69.59	1.03

**วิธีการ**

1. การเตรียมตัวอย่างและการติดตั้งอุปกรณ์ ไม้กระถินยักษ์ให้มีความยาว 177.8 mm (7") ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 17.8, 25.4, 38.1 และ 50.8 mm และทางปาล์มสองส่วนคือ ส่วนกลาง และส่วนปลาย โดยที่แต่ละส่วนมีความยาวเท่ากับความยาวของไม้กระถินยักษ์ โดยทำการติดตั้งใบมีดและแท่นยึดไม้กับเครื่องมือวัดคุณสมบัติทางกล (Universal Testing Machine: UTM) ตามภาพที่ 2 แล้วทำการทดลองกับไม้ที่มีขนาดดังกล่าวมาแล้ว ที่ความเร็ว 254 mm/min (Womac et al., 2005) โดยใช้ใบมีดที่มีมุมคม 30 และ 45 องศา กดลงบนไม้ให้ใบมีดที่กดทำมุม 0, 30, 45, 60 และ 90 องศา กับแนวแกนของไม้ซึ่งเอียง



ภาพที่ 2 ลักษณะการติดตั้งการวัดแรงเฉือน โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine: UTM (Chattopadhyay and Pandey, 1999)

2. การหาค่าลึงเงื่อนโดยนำค่าแรงเฉือนสูงสุด (peak load) ในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะที่กดผ่านเนื้อไม้ (force-displacement)หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของไม้ ซึ่งสามารถหาเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$T = \frac{F}{A} \tag{1}$$

เมื่อ  $T$  = ค่าลึงเงื่อน, Pa  
 $F$  = แรงเฉือน, N  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัด,  $m^2$

3. การหาพลังงานคัดจำเพาะหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของแรงเฉือนและระยะที่ใบมีดกดผ่านเนื้อไม้ (force-displacement) และสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E = \frac{1}{A} \int f dx = n \times \frac{f}{A} \tag{2}$$

เมื่อ  $E$  = พลังงานคัดจำเพาะ, kN/m  
 $F$  = แรงเฉือน, N  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัด,  $m^2$   
 $n$  = จำนวนหน่วยใต้กราฟแรงเฉือนและระยะที่กด

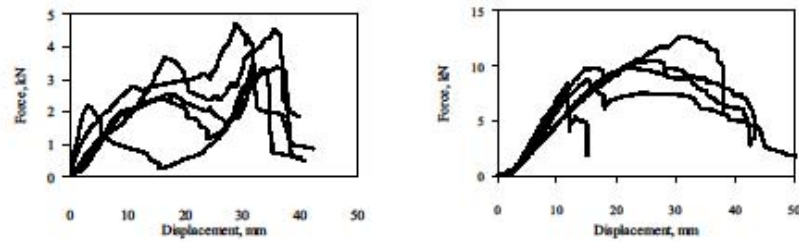
**ผลการทดลองและวิจารณ์**

**1. ลักษณะของ force-displacement ที่ได้จากการคัด**

ภาพที่ 3 แสดงกราฟ force-displacement ของคั้นกระถินยักษ์และทางปาล์ม จะเห็นได้ว่าลักษณะกราฟก่อนข้างจะแตกต่างกันทั้งระดับแรงเฉือนที่ไว้และรูปร่างของกราฟ โดยแรงเฉือนสูงสุดของคั้นกระถินยักษ์จะมากกว่าแรงเฉือนของทางปาล์มประมาณสามเท่า ส่วนรูปร่างของกราฟที่แตกต่างกันคือกราฟของคั้นกระถินยักษ์ แรงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะของใบมีดที่ผ่านเนื้อไม้และเมื่อถึงจุดจุดหนึ่งแรงจะตกลง (peak point) หลังจากนั้น แรงจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ซึ่งแตกต่างจากลักษณะกราฟของทางปาล์ม คือเมื่อแรงตกแล้ว แรงจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งตามระยะที่ใบมีดเคลื่อนที่และแรงจะตกลงเมื่อใบมีดเคลื่อนที่ผ่านทางปาล์มซึ่งจะทำให้ในกราฟเกิดจุดสูงสุด (peak point) ขึ้นสองจุดด้วยกัน พฤติกรรมของทางปาล์มนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Chancellor (1957) ซึ่งได้จัดประเภทของวัสดุชีวภาพแบบนี้ว่า วัสดุเส้นใย (fibrous material) Iace et al. (2005) ได้อธิบายพฤติกรรมของวัสดุเส้นใย โดยกราฟที่ออกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังภาพที่ 4 (ก) ส่วน A ส่วน B และ ส่วน C แสดงถึง ส่วนที่แรงกด

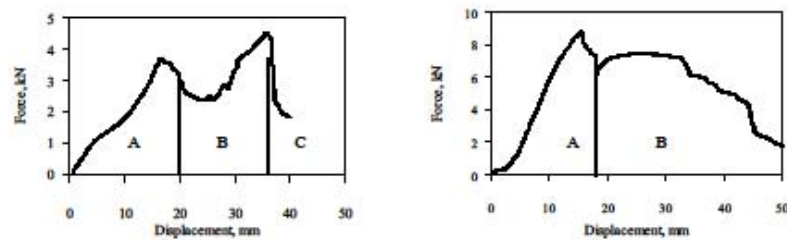


กระทำอย่างเดียว แรงกดกระทำร่วมกับแรงเฉือน และแรงเฉือนกระทำอย่างเดียว ตามลำดับ ส่วน A แรงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากศูนย์จนถึงจุดแตกหัก (failure point) ในโครงสร้างของเซลล์ (การยุบลงของแกนกลาง) หลังจากนั้นเมื่อใบมีดเคลื่อนที่ต่อไป แรงกดและแรงเฉือนจะกระทำร่วมกันทำให้แรงในกราฟเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดอีกครั้ง หลังจากนั้น เฉพาะแรงเฉือนจะกระทำในส่วน C และแรงนี้จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อการตัดเสร็จสิ้นลง



(ก) ทางปาล์ม (ข) ดันกระดิ่งอักษ  
ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและระยะทางของใบมีด (force-displacement)

ส่วนกราฟ force-displacement ของดันกระดิ่งอักษจะมีพฤติกรรมผสมระหว่างวัสดุแบบมีเส้นใย (fibrous materials) และ ไม่มีเส้นใย (non-fibrous materials) คือกราฟจะเกิดจุดสูงสุด (peak point) เพียงจุดเดียวเหมือนวัสดุไม่มีเส้นใย แต่หลังจากนั้นแทนที่แรงจะตกลงทันที แรงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเหมือนวัสดุมีเส้นใยแต่ไม่เกิดจุดสูงสุดชัดเจนเหมือนกับวัสดุเส้นใย ซึ่งสามารถแบ่งกราฟ force-displacement ออกเป็น 2 ส่วนดังภาพที่ 4 (ข) โดยส่วน A จะแสดงถึงส่วนที่แรงกดกระทำเพียงอย่างเดียว และส่วน B เป็นส่วนที่แรงกดกระทำร่วมกับแรงเฉือน



(ก) ทางปาล์ม (ข) ดันกระดิ่งอักษ  
ภาพที่ 4 กราฟอธิบายพฤติกรรมของแรงเฉือนในช่วงต่างๆ

## 2. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนสูงสุด

### 2.1 ขนาดของวัสดุ

จากการทดสอบหาแรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดชีวมวลพบว่า แรงเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชีวมวล ทั้งนี้จะเห็นว่าค่าแรงเฉือนจะมีค่าเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า เมื่อที่ใช้วัสดุทดสอบ ขนาดโคขึ้น จาก 17.8 mm เป็น ขนาด 50.8 mm ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 และเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนสูงสุดระหว่างหมคมใบมีด 30 และ 45 องศา พบว่าการตัดวัสดุชีวมวล โดยใช้หมคมใบมีด 30 องศา ค่าแรงเฉือนสูงสุด ในการตัดจะมีค่าน้อยกว่าวัสดุที่ใช้หมคมใบมีด 30 องศา ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4

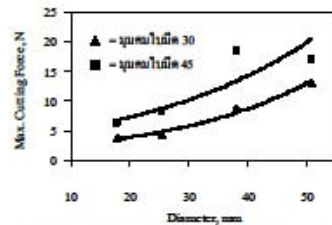
### 2.2 มุมตัด

จากการทดสอบหาแรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดชีวมวลพบว่า แรงเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับมุมตัด โดยการตัดที่ใช้มุมตัดที่น้อยกว่า จะทำให้ค่าแรงเฉือนสูงสุดน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงเฉือนสูงสุด ของการตัดด้วยมุมตัดที่ 0, 30 และ 45 องศา มีค่าน้อยกว่า การตัดด้วยมุมตัดที่ 60 และ 90 องศา มาก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 และเมื่อเปลี่ยนมุมคมใบมีดจาก 45 องศา เป็น 30 องศา พบว่าแรงเฉือนสูงสุดของการตัดจะมีค่าน้อยลง ดังแสดงในภาพที่ 5

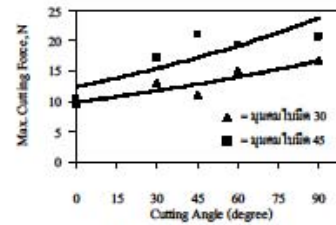
ตารางที่ 2 ผลของมุมเอียงใบมีด (knife bevel angle) มุมที่ติดกระทันกับไม้ (cutting angle) และ ขนาดของวัสดุต่อค่าแรงเฉือนสูงสุด (max. cutting force; kN)

Diameter	Cutting Angle (°)									
	Knife Bevel Angle = 30°					Knife Bevel Angle = 45°				
	0	30	45	60	90	0	30	45	60	90
17.78 mm	4.22	3.69	3.03	5.06	5.05	5.47	6.35	6.48	8.93	8.97
25.4 mm	7.10	4.40	5.07	4.16	7.98	6.92	8.16	8.29	9.31	12.96
38.1 mm	7.78	8.82	9.75	10.44	12.61	14.04	18.47	15.95	15.58	18.62
50.8 mm	9.69	13.03	10.99	15.00	16.61	10.44	17.13	21.13	19.27	20.66
474*	1.26	2.64	2.84	2.65	2.01	1.27	6.13	6.56	6.59	5.66
930*	3.44	4.52	3.38	3.34	4.67	2.29	11.04	6.58	5.19	5.26

\*พื้นที่หน้าตัดทางปาล์ม (mm<sup>2</sup>)



ภาพที่ 5 ขนาดของวัสดุที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนสูงสุดที่มุมตัด 30



ภาพที่ 6 มุมตัดที่มีผลต่อค่าแรงเฉือนสูงสุดที่ขนาดของวัสดุ 50.8 mm

### 3. ปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังเฉือนสูงสุด

#### 3.1 ขนาดของวัตถุ

จากการวิเคราะห์หาค่ากำลังเฉือนสูงสุดของการตัดชีวมวล ชนิดต่างๆ โดยใช้สมการที่ (1) พบว่า กำลังเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดไม้แปรผกผันกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไม้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของแรงที่ใช้ในการตัดประกอบไปด้วยแรงกดและแรงเฉือน ต่างกันกับทางปาล์ม ซึ่งพฤติกรรมของแรงที่ใช้ในการตัด ประกอบด้วยแรงกดกระทำอย่างเดียว แรงกดกระทำร่วมกับแรงเฉือน และแรงเฉือนกระทำอย่างเดียว ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 1 ทำให้ กำลังเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดปาล์มแปรผันตรงกับขนาดความ โดของปาล์ม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 อย่างไรก็ตามก็มีการตัดด้วยมุมคมใบมีด 30 องศา ค่ากำลังเฉือนสูงสุดของการตัด จะมีค่าน้อยกว่า ดังแสดงในภาพที่ 7

#### 3.2 มุมตัด

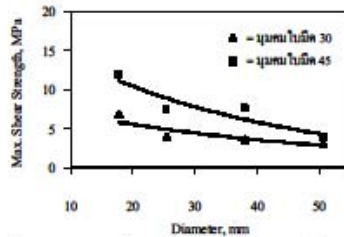
จากการทดสอบหาค่ากำลังเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัดชีวมวลพบว่า กำลังเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับมุมตัด โดยการตัดที่ใช้มุมตัดที่น้อยกว่า จะทำให้ค่ากำลังเฉือนสูงสุดน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังเฉือนสูงสุด ของการตัดด้วยมุมตัดที่ 0, 30

และ 45 องศา มีค่าน้อยกว่า การตัดด้วยมุมตัดที่ 60 และ 90 องศา มาก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 และเมื่อเปลี่ยนมุมคมใบมีดจาก 45 องศา เป็น 30 องศา พบว่าค่าแรงเฉือนสูงสุดของการตัดจะมีค่าน้อยลง ดังแสดงในภาพที่ 8

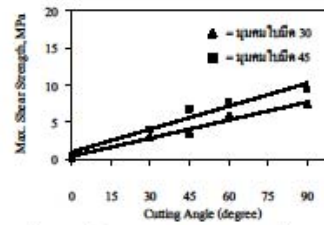
ตารางที่ 3 ผลของมุมเอียงใบมีด (knife bevel angle) มุมที่มีดกระทำกับไม้ (cutting angle) และ ขนาดของวัสดุต่อค่ากำลังเฉือนสูงสุด (max. shear strength; MPa)

Diameter	Cutting Angle (°)									
	Knife Bevel Angle = 30°					Knife Bevel Angle = 45°				
	0	30	45	60	90	0	30	45	60	90
17.78 mm	0.39	6.84	7.94	16.23	18.72	0.51	11.77	16.97	28.68	33.24
25.4 mm	0.46	4.00	6.51	6.55	14.50	0.45	7.41	10.64	14.65	23.54
38.1 mm	0.34	3.56	5.56	7.30	10.18	0.61	7.45	9.10	10.89	15.03
50.8 mm	0.31	2.96	3.53	5.90	7.54	0.34	3.89	6.78	7.58	9.38
474 *	2.67	5.57	5.98	5.58	4.24	2.69	12.94	13.85	13.91	11.93
930*	0.04	40.59	36.4	36	50.24	24.67	118.8	70.74	55.81	56.53

\*พื้นที่หน้าตัดทางปาล์ม (mm<sup>2</sup>)



ภาพที่ 7 ขนาดของวัสดุที่มีผลต่อค่ากำลังเฉือนสูงสุดที่มุมตัด 30 องศา



ภาพที่ 8 มุมตัดที่มีผลต่อค่ากำลังเฉือนสูงสุดที่ขนาดของวัสดุ 50.8 mm

4. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานเฉือนจำเพาะ

4.1 ขนาดของวัสดุ

เมื่อพิจารณาพลังงานเฉือนจำเพาะในการตัดชีวมวลพบว่า พลังงานเฉือนจำเพาะของการตัดชีวมวลแต่ละขนาดค่อนข้างคงที่เมื่อทำการตัดชีวมวลด้วยมุมคมใบมีด 30 องศา แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดเมื่อตัดชีวมวลด้วยมุมคมใบมีด 45 องศา ซึ่งผลการเปรียบเทียบ พลังงานที่ใช้ในการตัด เมื่อใช้ใบมีดมุมคม 30 องศา จะใช้พลังงานต่ำกว่า การตัดด้วยมุมคมใบมีด 45 องศา สอดคล้องกับ ค่าแรงเฉือนสูงสุดที่ใช้ในการตัด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดของชีวมวลเพิ่มขึ้น พลังงานที่ใช้ในการตัดจะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังแสดงไว้ในภาพที่ 9

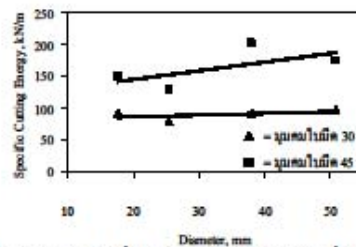
4.2 มุมตัด

จากการวิเคราะห์ค่าพลังงานเฉือนจำเพาะสำหรับการตัดชีวมวล พบว่า พลังงานเฉือนจำเพาะของการตัดชีวมวล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของมุมตัด สอดคล้องกับค่าแรงเฉือนสูงสุด กล่าวคือ การตัดชีวมวลด้วยมุมตัด เท่ากับ 0 องศา (ขนานกับเส้น) จะใช้พลังงานเฉือนจำเพาะ น้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติการออกแบบเครื่องตัดทำไคยาก ดังนั้น มุมตัดที่เหมาะสมสำหรับการตัดชีวมวล จะอยู่ประมาณ 30 – 45 องศา ซึ่งมุมคมของใบมีด 30 องศา จะใช้พลังงานเฉือนจำเพาะ น้อยกว่ามุมคม 45 องศา ดังแสดงในตารางที่ 4

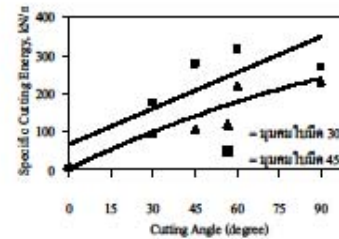
**ตารางที่ 4** ผลของมุมเอียงใบมีด (knife bevel angle) มุมที่มิดกระทำกับไม้ (cutting angle) และ ขนาดของวัสดุต่อค่าพลังงานตัดจำเพาะ (specific cutting energy; kN/m)

Diameter	Cutting Angle (°)									
	Knife Bevel Angle = 30°					Knife Bevel Angle = 45°				
	0	30	45	60	90	0	30	45	60	90
17.78 mm	3.55	90.39	119.28	158.74	147.92	2.08	148.70	195.61	294.46	201.12
25.4 mm	3.37	78.73	120.37	142.73	235.46	3.81	128.71	184.34	259.25	259.78
38.1 mm	2.52	90.94	158.22	188.34	239.90	8.84	200.42	204.02	248.16	326.46
50.8 mm	7.87	96.13	107.03	217.31	229.84	2.44	174.17	275.56	316.39	266.76
474 *	19.88	85.62	88.77	66.71	33.1	23.07	115.10	99.59	146.56	106.85
930*	50.76	79.80	81.17	72.86	92.18	41.9	182.62	135.16	105.1	147.55

\*พื้นที่หน้าตัดทางปาล์ม (mm<sup>2</sup>)



**ภาพที่ 9** ขนาดของวัสดุที่มีผลต่อค่าพลังงานตัดจำเพาะที่มุมตัด 30 องศา



**ภาพที่ 10** มุมตัดที่มีผลต่อค่าพลังงานตัดจำเพาะที่ขนาดของวัสดุ 50.8 mm

**5. ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของการตัด**

หลักการ Multiple linear regression ถูกใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ขนาดวัสดุ มุมใบมีด มุมตัด ค่าความชื้น และ ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าคุณสมบัติทางกลของการตัด ในที่นี้คือ ค่าแรงเฉือนสูงสุด ค่ากำลังเฉือนสูงสุด และ ค่าพลังงานตัดจำเพาะ ดังแสดงในตารางที่ 5 และ ตารางที่ 6

**ตารางที่ 5** สมการสำหรับทำนายค่าคุณสมบัติทางกลของการตัดของต้นกระถินยักษ์

Cutting Properties	Predictive Model	R <sup>2</sup>
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 (w.b.)

จากตารางที่ 5 ค่าคุณสมบัติทางกลของการตัดของต้นกระถินยักษ์สามารถที่จะทำนายได้ ซึ่งดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R<sup>2</sup>) ที่สูง โดยสมการทำนายค่าแรงเฉือนสูงสุดให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด คือ R<sup>2</sup> = 0.861 รองลงมาคือ ค่าพลังงานตัดจำเพาะ และ ค่ากำลังเฉือนสูงสุด ที่ R<sup>2</sup> = 0.812 และ R<sup>2</sup> = 0.791 ตามลำดับ จากสมการทั้งสามสมการ ค่ามุมใบมีด และมุมตัดเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติทางกลของการตัด รองลงมาคือ ขนาดไม้ ค่าความชื้น และ ค่าความถ่วงจำเพาะ

ตารางที่ 6 สมการสำหรับทำนายค่าคุณสมบัติทางกลของการตัดของทางปาล์ม

Cutting Properties	Predictive Model	R <sup>2</sup>
Max. Cutting Force	= -2.089+0.172 B	0.277
Max. Shear Strength	= -83.367 +0.090A + 1.297 B	0.543
Specific Cutting Energy	= -19.445+2.884 B	0.220

เมื่อ : A = ขนาดไม้ (mm<sup>2</sup>), B = มุมใบมีด (องศา)

ส่วนทางปาล์ม ค่าคุณสมบัติทางกายภาพยังไม่สามารถนำมาทำนายค่าคุณสมบัติทางกลของการตัดได้ ซึ่งได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R<sup>2</sup>) ที่ต่ำ โดยสมการทำนายค่ากำลังเฉือนสูงสุดให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุดที่ R<sup>2</sup> = 0.543 รองลงมาคือ ค่าแรงเฉือนสูงสุด และค่าพลังงานตัดจำเพาะ ที่ R<sup>2</sup> = 0.277 และ R<sup>2</sup> = 0.220 ตามลำดับ

### สรุป

#### สรุปผลการทดลอง

- ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือนสูงสุด และพลังงานเฉือนจำเพาะ คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชีวมวล มุมคมใบมีด และ มุมตัด
- แรงเฉือนสูงสุดจะแปรผันตรงกับขนาดของชีวมวล ตรงข้ามกับ กำลังเฉือนสูงสุดจะแปรผกผันกับขนาด
- พลังงานเฉือนจำเพาะของการตัดชีวมวล มีแนวโน้มคงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล
- มุมคมใบมีด 30 องศาจะให้ค่าของแรงเฉือน กำลังเฉือน และพลังงานจำเพาะ น้อยกว่ามุมคมใบมีด 45 องศา เหมาะสมที่จะใช้ในการออกแบบเครื่องตัดต่อไป
- แม้ว่ามุมตัดที่ 0 องศา (ขนาดเหลี่ยม) จะผลทำให้ มีการใช้แรงเฉือนสูงสุด กำลังเฉือนสูงสุด และพลังงานเฉือนจำเพาะ ค่าที่สุด แต่ในทางออกแบบทำได้อาก ดังนั้นมุมตัดที่น่าจะเหมาะสม คือ 30 องศา และ 45 องศา

### คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ การกิจโครงการประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- 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.
- Chancellor W K 1957. Basic concepts of cutting hay. PhD thesis, Cornell University. Ithaca, NY, 170pp.
- 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
- Mesquita C M and Huana M A (1995). Physical and mechanical properties of grasses. *Transactions of the ASAE*, 38(6), 1655-1658
- Persson S 1987. *Mechanics of Cutting Plant Material*. ASAE Monograph No. 7, St. Joseph, Michigan.
- El Hag H E, Kunze O R and Wilke 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.
- 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.
- 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.

## ประวัติผู้เขียน

นายฉัฐพงษ์ ประภาการ เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดสุรินทร์ เป็นบุตรของ ด.ต.บุญรัตน์ ประภาการ และนางสมเพียร ประภาการ เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-2 ที่โรงเรียนบ้านพุทไธสง จังหวัดบุรีรัมย์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3-4 โรงเรียนบ้านโคกสง่า อำเภอแวงน้อย จังหวัดขอนแก่น ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5-6 โรงเรียนเทศบาลพลประชานุกูล อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนเมืองพลพิทยาคม ตำบลลอมคอม อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับอุดมศึกษา ในสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2549

ในปี พ.ศ. 2549 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนจากกองทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา และทำงานในตำแหน่งวิศวกรประจำศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเป็นผู้ร่วมวิจัยในโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2 โครงการ คือ “การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน” และ “การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน (ระยะที่ 2)”

ผลงานวิจัยในระหว่างที่ทำการศึกษาได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 ประจำปี พ.ศ. 2551 เรื่อง “การศึกษาคุณสมบัติกำลังเดือนของเชื้อเพลิงชีวมวล”