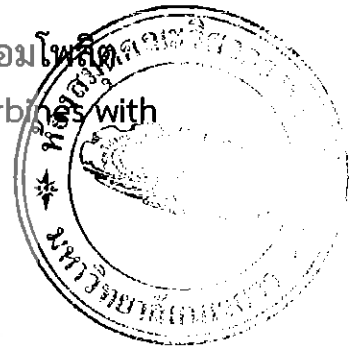




การพัฒนากังหันลมแกนนอนขนาดเล็กด้วยวัสดุคอมโพสิต
Development of a small Horizontal axis wind turbine with
composite material



นายธีระพล อินธิยศ รหัสனிสิต 51382112
นายบัญชา ใจสุข รหัสனிสิต 51382129
นายวสันต์ แสนภาพ รหัสனிสิต 51384765

ห้องสมุดวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 2 ต.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 16430487
เลขเรียกหนังสือ..... นร.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ๘ ๖๖7 ๑

2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ : การพัฒนากังหันลมแกนนอนขนาดเล็กด้วยวัสดุคอมโพสิต
 ผู้ดำเนินโครงการ : นายธีระพล อินธิยศ รหัสนิสิต 51382112
 นายบัญชา ใจสุข รหัสนิสิต 51382129
 นายวสันต์ แสนภาพ รหัสนิสิต 51384765
 ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.ศลิษา วีรพันธุ์
 ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา : 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
 คณะกรรมการสอบโครงการ

.....ประธานกรรมการ
 (ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

.....กรรมการ
 (รศ.ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี)

.....กรรมการ
 (ดร.ภาณุ พุทวงค์)

ชื่อหัวข้อโครงการ : การพัฒนากังหันลมแกนนอนขนาดเล็กด้วยวัสดุคอมโพสิต
ผู้ดำเนินโครงการ : นายธีระพล อินธิยศ รหัส 51382112
นายบัญชา ใจสุข รหัส 51382129
นายวสันต์ แสนภาพ รหัส 51384765
ที่ปรึกษาโครงการ : ดร. ศลิษา วีรพันธุ์
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2555

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการคือ การพัฒนากังหันลมแกนนอนขนาดเล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอโดยใช้การขึ้นรูปด้วยมือ และนำไปทดสอบในอุโมงค์ลมในช่วงความเร็วลมประมาณ 3-5 เมตรต่อวินาที เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกังหันลมและประสิทธิภาพเชิงกล โดยกังหันที่นำมาทดสอบเป็นกังหันลมแบบ 3 ใบพัดและ 5 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 10,20 และ 30 องศาตามลำดับ โดยใบพัดกังหันทำจากวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอโดยการขึ้นรูปด้วยมือ เพื่อพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูปด้วยมือให้มีความสม่ำเสมอและจัดหาส่วนผสมที่เหมาะสม

สูตรการผสมวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอจำนวน 9 สูตร ได้แก่ สูตร A,B,C,D,E,F,G,H และ I ได้ถูกนำไปขึ้นรูปและทดสอบ จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง ได้ส่วนผสมที่นำไปขึ้นรูปใบพัดของกังหัน ซึ่งได้แก่สูตร E ที่มีส่วนผสม ตัวทำแข็ง(MEKPO M-60) 0.67%, ตัวทำละลาย (Monostyrene, C_8H_8) 2.03%, ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics) 29.73% และเรซิน(Polyester Resin-355E)67.57% มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าเท่ากับ 7.074 GPa และความเค้นมีค่าเท่ากับ 226.78 MPa

ผลจากการทดสอบกังหันลมแกนนอนชนิด 3ใบพัดที่มีมุมปะทะ 30 องศา มีประสิทธิภาพของกังหันเท่ากับ 25.25% และประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันเท่ากับ 17.45% และกังหันลมแกนนอนชนิด 5ใบพัดที่มีมุมปะทะ 30 องศา มีประสิทธิภาพของกังหันเท่ากับ 29.67% และประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันเท่ากับ 29.35%

Project title : Development of a small horizontal-axis wind turbine with composite material

Name : Mr. Teerapol Intiyod
 Mr. Bancha Jaisuk
 Mr. Wasan Sanpab

Project advisor : Dr. Salisa Veerapun

Department : Mechanical Engineering

Academic year : 2012

Abstract

The purpose of the project is. The development of small wind turbines with horizontal axis composite resin and glass fiber reinforced pipe forming by hand and tested in the wind tunnel at wind speeds of about 3-5 meters per second. Compare the performance of wind turbines and mechanical performance. The wind turbine was tested with three propeller blade angle and 5 levels 10.20 and 30 degrees respectively, turbine blades made of composite resin and glass fiber reinforced pipe forming by hand to develop techniques of molding by hand to ensure consistency and to provide the right mix.

Formula to mix the resin composite glass fiber reinforced pipe 9 recipes including recipes A, B, C, D, E, F, G, H and I were introduced to the forming and testing. Tensile strength of the test. The mixture was brought to the blades of the turbine. Including the formula E containing a solid (MEKPO M-60) 0.67%, solvent (Monostyrene, C8H8) 2.03%, fiberglass (Woven Fabrics) 29.73% and resin (Polyester. Resin-355E) 67.57% is the modulus of elasticity is equal to 7.074 GPa and the stress is equal to 226.78 MPa.

The results of the test wind turbine horizontal axis types. 3 blades with a 30 degree angle against the turbine efficiency is 25.25% and 17.45%, and the mechanical performance of the turbine is a horizontal axis wind turbine types. 5 blades with a 30 degree angle of attack is equal to 29.67% and the efficiency of the turbine mechanical efficiency of the turbine is equal to 29.35%.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้ดำเนินงาน ต้องขอขอบพระคุณ ดร.ศลิษา วีรพันธุ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินโครงการ ตลอดจนติดตามประเมินผลการดำเนินโครงการมาโดยตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ผู้ดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูและสั่งสอนจนกระทั่งสามารถเติบโตมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนช่วยอุปการะทางการเงินและคอยให้กำลังใจ จนกระทั่งโครงการนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอขอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงการนี้ แต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงการนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขอภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำโครงการ

นายธีระพล อินธิศ

นายบัญชา ใจสุข

นายวสันต์ แสนภาพ

คำนำ

การใช้ประโยชน์จากพลังงานลมมีมากกว่า 3,000 ปี จนกระทั่งต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 ได้เริ่มมีการใช้พลังงานลมเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานกลเพื่อการสูบน้ำและการสีข้าว ต่อมาในช่วงเริ่มต้นของยุคอุตสาหกรรมใหม่การใช้งานพลังงานจากลมถูกแทนที่ด้วยพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1970 เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันทั่วโลก ความสนใจในพลังงานลมจึงกลับมาอีกครั้ง โดยมีเป้าหมายหลักคือการนำพลังงานลมมาใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้า ร่วมกับแหล่งพลังงานฟอสซิลเพื่อความมั่นคงของระบบ และลดปัญหาความไม่แน่นอนของลมตามธรรมชาติ ดังนั้นการจัดทำปริญญาโท ครงงาน การพัฒนากังหันลมแกนนอนขนาดเล็กด้วยวัสดุคอมโพสิต (Development of a small Horizontal axis wind turbines with composite material) เพื่อเป็นการพัฒนากังหันลมที่สามารถทำงานให้เกิดประโยชน์ได้จริงในอนาคต

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ครงงานการพัฒนากังหันลมแกนนอนขนาดเล็กด้วยวัสดุคอมโพสิต (Development of a small Horizontal axis wind turbines with composite material) จะทำให้ผู้ที่ศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับพลังงานสะอาดอย่างพลังงานลมได้ศึกษาและเกิดการพัฒนากังหันลมต่อไปในอนาคต

ผู้จัดทำ

ธีระพล อินธิยศ

บัญชา ใจสุข

วสันต์ แสนภาพ

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
คำนำ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
ลำดับสัญลักษณ์	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญหรือที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 สถานที่ปฏิบัติงาน	2
1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน	2
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ	2
1.8 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	5
2.1 พลังงานลม	5
2.2 ประเภทของกังหันลม	6
2.3 การเปลี่ยนรูปพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า	10
2.4 วัสดุคอมโพสิต (Composites Materials)	12
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต	13
2.6 การรับแรงของวัสดุคอมโพสิต	14
2.7 มาตรฐานการทดสอบความต้านทานแรงดึง ASTM D638 TYPE I	15

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ	16
3.1 วัตถุประสงค์	16
3.2 วัสดุและอุปกรณ์	16
3.3 วิธีการทดลอง	16
3.4 ส่วนผสมและการขึ้นรูป	17
3.5 ผลการทดสอบ	21
3.6 สรุปผลการทดสอบ	25
บทที่ 4 การขึ้นรูปใบพัดและการประกอบกังหันลม	27
4.1 การขึ้นรูปใบพัด	27
4.2 รูปแบบใบพัดกังหันลม	28
4.3 การประกอบชุดกังหันลม	29
บทที่ 5 การหาประสิทธิภาพของกังหันลมแกนนอน	31
5.1 วัตถุประสงค์	31
5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	31
5.3 ขั้นตอนการทดลอง	32
5.4 ผลการทดสอบ	33
5.5 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของกังหันลม	35
5.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพกังหันลม	36
5.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลม	37
5.8 สรุปผลการทดสอบ	38
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	39
6.1 การทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ	39
6.2 การทดสอบกังหันลม	39
6.3 ข้อเสนอแนะ	40

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	41
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ	42
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ	48
ภาคผนวก ค ผลจากการทดสอบกัณฑ์ลมนในอุโมงค์ลม	75
ภาคผนวก ง การคำนวณ	88
ภาคผนวก จ แบบร่างกัณฑ์ลม	91
ประวัติผู้เขียนโครงการ	98



สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ค.9 การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 30 องศา	84
ตารางที่ ค.10 การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 10 องศา	85
ตารางที่ ค.11 การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 20 องศา	86
ตารางที่ ค.12 การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 30 องศา	87



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการทำงานของกัณฑ์ลม	10
รูปที่ 2.2 วัสดุคอมโพสิต (Composites Materials)	12
รูปที่ 2.3 วัสดุคอมโพสิต (Composites Materials)	12
รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของวัสดุคอมโพสิต (Composites Materials)	13
รูปที่ 2.5 แรงดึง	14
รูปที่ 2.6 แรงกดอัด	14
รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะแรงเฉือนที่กระทำต่อคอมโพสิต	14
รูปที่ 2.8 แรงดัด	15
รูปที่ 2.9 มาตรฐานวัสดุทดสอบ ASTM D638 TYPE I	15
รูปที่ 3.1 ทาเรซินที่ผสมแล้วลงในแม่แบบ	20
รูปที่ 3.2 การตัดแบบ	20
รูปที่ 3.3 ชิ้นงานคอมโพสิตที่ตัดตามมาตรฐาน ASTM D368 TYPE I	21
รูปที่ 4.1 การวาดแบบ	28
รูปที่ 4.2 การตัดแบบใบพัดกัณฑ์ลม	28
รูปที่ 4.3 รูปแบบใบพัดกัณฑ์ลม	28
รูปที่ 4.4 รูปแบบใบพัดกัณฑ์ลมที่ทำจากวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ	29
รูปที่ 4.5 ขนาดกัณฑ์ลมแกนนอน	29
รูปที่ 4.6 กัณฑ์ลมชนิด 3 ใบพัดที่มุมปะทะ 10 องศา	30
รูปที่ 4.7 กัณฑ์ลมชนิด 5 ใบพัดที่มุมปะทะ 10 องศา	30
รูปที่ 5.1 การทดสอบกัณฑ์ลม	32
รูปที่ 5.2 ระยะเวลาทดสอบกัณฑ์ลม	33
รูปที่ 5.3 ระยะเวลาการทดสอบกัณฑ์ลม	33
รูปที่ 5.4 แผนภาพการกระจายความเร็วลมหน้ากัณฑ์ลม 3 และ 5 ใบพัดที่มุมปะทะ 30 องศา	34
รูปที่ 5.5 แผนภาพการกระจายความเร็วลมหลังกัณฑ์ลม 3 และ 5 ใบพัดที่มุมปะทะ 30 องศา	34
รูปที่ 5.6 ประสิทธิภาพของกัณฑ์ลม 3 ใบพัด	36
รูปที่ 5.7 ประสิทธิภาพของกัณฑ์ลม 5 ใบพัด	37
รูปที่ 5.8 ประสิทธิภาพเชิงกลของกัณฑ์ลม 3 ใบพัด	37
รูปที่ 5.9 ประสิทธิภาพเชิงกลของกัณฑ์ลม 5 ใบพัด	38

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ข.1 มาตรฐาน ASTM D638	49
รูปที่ ข.2 ชิ้นงานที่ตัดตามมาตรฐาน ASTM D638 TYPE I	49
รูปที่ ค.1 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากึ่งหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 10 องศา	76
รูปที่ ค.2 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากึ่งหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 20 องศา	77
รูปที่ ค.3 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากึ่งหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 30 องศา	78
รูปที่ ค.4 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกึ่งหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 10 องศา	79
รูปที่ ค.5 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกึ่งหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 20 องศา	80
รูปที่ ค.6 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกึ่งหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 30 องศา	81
รูปที่ ค.7 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากึ่งหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 10 องศา	82
รูปที่ ค.8 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากึ่งหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 20 องศา	83
รูปที่ ค.9 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากึ่งหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 30 องศา	84
รูปที่ ค.10 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกึ่งหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 10 องศา	85
รูปที่ ค.11 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกึ่งหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 20 องศา	86
รูปที่ ค.12 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกึ่งหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 30 องศา	87

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่รับลม	m ²
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
E	โมดูลัสความยืดหยุ่น	MPa
I	กระแสวิ่งได้	A
L ₀	ความยาวเดิม	mm
Δl	ความยาวที่ยืดออก	mm
N	ความเร็วรอบ	rpm
P	กำลังไฟฟ้า	W
P _a	กำลังลม	W
P _w	กำลังลมที่กังหันลมดึงออกมา	W
T	แรงบิด	N·m
V	ความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้า	V
V	ความเร็วลม	m/s
σ	ความเค้น	MPa
ε	ความเครียด	-

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญหรือที่มาของปัญหา

พลังงานลมเป็นพลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศและแรงจากการหมุนของโลก สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลม เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าลมเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีอยู่ในตัวเอง ในปัจจุบันมนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญและนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้น ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเอาพลังงานลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เหมือนกับพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ในประเทศไทย บางพื้นที่ยังมีปัญหาในการวิจัยพัฒนานำเอาพลังงานลมมาใช้งาน เนื่องจากปริมาณของลมไม่สม่ำเสมอตลอดปี แต่ก็ยังคงมีพื้นที่บางพื้นที่สามารถนำเอาพลังงานลมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เช่น พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลเป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ที่ช่วยในการเปลี่ยนจากพลังงานลมออกมาเป็นพลังงานในรูปอื่น ๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า หรือ พลังงานกล ก็ได้แก่ กังหันลมเป็นต้น [1]

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษารูปแบบของกังหันลมแกนนอน

1.2.2 พัฒนากังหันลมแกนนอนขนาดเล็กจากวัสดุคอมโพสิตเรซินเสริมใยแก้ว

1.3 ขอบเขตการทำโครงการ

1.3.1 ทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอจากการขึ้นรูปด้วยมือ

1.3.2 สร้างกังหันลมที่มีขนาดไม่เกินความกว้าง 30 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

1.3.3 กังหันมีจำนวนใบพัด 3 และ 5 ใบพัด โดยใบพัดทำจากการขึ้นรูปวัสดุเรซินเสริมใยแก้ว

1.3.4 ทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมที่ความเร็วลมในช่วง 3-5 เมตร/วินาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ศึกษาหลักการของกังหันลมแกนนอน
- 1.4.2 ได้ฝึกทักษะกระบวนการคิด การวางแผนและการทำงานเป็นทีม

1.5 สถานที่ปฏิบัติงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

1.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

- 1.6.1 ูโมงค์ลม
- 1.6.2 ใบพัดกังหันลม
- 1.6.3 เครื่องวัดความเร็วลม
- 1.6.4 เครื่องวัดความเร็วรอบ
- 1.6.5 ตาชั่งสปริง ขนาด 1 kg

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

ตารางที่ 1.1 งบประมาณที่ใช้

ลำดับ	รายการ	ราคา	หน่วย
1	ค่ากังหันลม	1500	บาท
2	ค่าอุปกรณ์ทำฐานและตัวยึดกังหันลม	500	บาท
3	ค่าใช้จ่ายการทำรูปเล่มรายงาน	500	บาท
4	อื่นๆ	500	บาท

1.8 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	พ.ศ. 2554 - 2556																			
	Pre - Project					Project														
	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	*ม.ค.-ก.ย.												
1.หาข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม แบบแกนนอน																				
2.เลือกแบบกังหันลม																				
3.เขียนแบบเสนอโครงการ																				
4.ทำการออกแบบกังหันลมและเขียนแบบ(Drawing)																				
5.ทดสอบวัสดุที่ใช้ทำกังหันลม																				
6.สร้างกังหันลม																				
7.ออกแบบการทดสอบกังหันลม																				
8.ทำการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลม(T,N)																				
9.สรุปผลการทดสอบ																				
10.เขียนเล่มรายงานและสอบโครงการ																				

ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน (ต่อ)

กิจกรรม	พ.ศ. 2554 - 2556									
	Project									
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.		
1.หาข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลม แบบแกนนอน										
2.เลือกแบบกังหันลม										
3.เขียนแบบเสนอโครงการงาน										
4.ทำการออกแบบกังหันลมและเขียนแบบ(Drawing)										
5.ทดสอบวัสดุที่ใช้ทำกังหันลม										
6.สร้างกังหันลม										
7.ออกแบบการทดสอบกังหันลม										
8.ทำการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลม(T,N)										
9.สรุปผลการทดสอบ										
10.เขียนเล่มรายงานและสอบโครงการงาน										

*เนื่องจากมีการทดสอบวัสดุซ้ำหลายรอบจึงใช้ระยะเวลาบานาน - การขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิต - ตัดชิ้นงานให้ตามมาตรฐาน - นำวัสดุไปทดสอบแรงดึง

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 พลังงานลม

การเคลื่อนที่ของลมเกิดจากการที่มีอุณหภูมิในแต่ละสถานที่ต่างๆ แตกต่างกันโดยอากาศร้อนจะวิ่งเข้ามาแทนที่อากาศเย็นรวมทั้งการหมุนของโลกจึงทำให้มีการหมุนเวียนของลมเกิดขึ้นตลอดเวลา ลมเป็นพลังงานทดแทนที่ไม่มีวันหมดไปจากโลกใบนี้ ถ้าโลกยังคงหมุนอยู่และยังคงมีแสงอาทิตย์

การนำพลังงานลมมาใช้จำเป็นต้องทำการแปลงรูปพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศหรือที่เรียกว่า พลังงานจลน์ของลมเปลี่ยนมาเป็นพลังงานกล ในการเปลี่ยนรูปพลังงานจลน์ที่ได้จากลมมาเป็นกำลังงานทางกลนั้น จะต้องมีอุปกรณ์ทางกลหรือกลไกที่จะต้องสร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนรูปของพลังงานโดยแบ่งออกได้หลายชนิดและหลายวิธี แต่ที่ได้รับความนิยมและถือว่าเป็นเครื่องกลไกที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปในขณะนี้ มีชื่อเรียกว่า กังหันลม

จากการศึกษาแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย[2] โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานพบว่า ความเร็วลมเฉลี่ยของประเทศไทยอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำ มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 4 เมตร/วินาทีโดยแหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีที่สุดของประเทศไทยมีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 6.4 เมตร/วินาที ที่ความสูง 50 เมตร โดยจะอยู่ในแถบเทือกเขาและบริเวณชายทะเล

ตารางที่ 2.1 ศักยภาพพลังงานลมตามยอดเขาและชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่ระดับความสูง 50 เมตรจากพื้นดิน [2]

พื้นที่	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
พื้นที่บริเวณชายฝั่งภาคใต้ด้านอ่าวไทยตั้งแต่ จังหวัด สงขลา นครศรีธรรมราช ปัตตานี	6.4
เทือกเขาในจังหวัดเพชรบุรี กาญจนบุรีและตาก ที่เป็นรอยต่อประเทศ พม่า	5.6
บริเวณที่เป็นเทือกเขาในภาคใต้	5.6
พื้นที่ในเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่	5.1
พื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทย จังหวัดชลบุรี ระยอง ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี	4.4
พื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามัน จังหวัดสตูล กระบี่ ภูเก็ตพังงา	4.4
เทือกเขาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดเพชรบูรณ์ เลย	4.4

2.2 ประเภทของกังหันลม



กังหันลมโดยทั่วไปจะมีรูปแบบพื้นฐานหลักคล้ายๆกัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างในส่วนของ รายละเอียด ดังนั้นการแบ่งประเภทของกังหันลมมักจะยึดเอาลักษณะการวางตัวของแกนเพลลาของ กังหันลมเป็นหลัก ซึ่งประเภทหลักๆของกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.2.1 กังหันลมแกนนอน (Horizontal Axis Turbine (HAWT)) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุน ขนานกับทิศทางของลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmill) กังหันลมใบสี่ลำแพน กังหันลมชนิดหลายใบพัด(Multi blade) กังหันลมชนิด 1, 2, 3, 4 หรือ 6 ใบพัดสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิด 3 ใบพัดได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีการใช้งานมากในปัจจุบันเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูง [1]

ตารางที่ 2.2 กังหันลมแกนนอน [1]

ชื่อกังหันลม	ลักษณะของกังหันลมแกนนอน
<p data-bbox="454 481 646 571">กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmill)</p> 	<p data-bbox="790 481 1436 739">เป็นกังหันลมประเภทหนึ่ง ทำงานในการเปลี่ยนพลังงานลมไปหมุนเพื่อใช้ในการทำงานประเภทอื่นๆ กังหันลมวินด์มิลล์นิยมถูกใช้สำหรับโรงโม่ โดยใช้พลังงานลมในการบดอัดธัญพืชหรือเมล็ดพันธุ์ให้ละเอียด นอกจากนี้ยังมีใช้ในการวิดน้ำอีกด้วย ใบของกังหันมีจำนวน 4 ใบถึง 6 ใบ</p>
<p data-bbox="391 929 710 1030">กังหันลมดูดน้ำใบเสื่อลำแพน หรือแบบดูดน้ำ</p> 	<p data-bbox="790 929 1436 1579">การใช้พลังงานลมเพื่อดูดน้ำจากที่ต่ำมาใช้ในพื้นที่สูง พบเห็นได้จากการใช้กังหันลมดูดน้ำเพื่อทำนาเกลือ กังหันลมแบบประทัดดูดน้ำเป็นการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นด้วยภูมิปัญญาชาวบ้านในสมัยโบราณของไทย เพื่อใช้ในนาข้าว นาเกลือ และนากุ้ง ใบพัดกังหันลมจะมีจำนวน 6 ใบพัด วัสดุที่ใช้ทำใบกังหันลมจะทำมาจากเสื่อลำแพนหรือผ้าใบ โดยตัวโครงเสา รางน้ำ และใบระทัด จะทำจากไม้เนื้อแข็งซึ่งมีความทนทานต่อน้ำเค็ม กังหันลมแบบประทัดดูดน้ำใช้ความเร็วลมตั้งแต่ 2.5 เมตร/วินาทีขึ้นไปในการหมุนใบพัดกังหันลม หากมีลมแรงมากไปก็สามารถปรับม้วนใบเก็บให้เหลือสำหรับรับแรงลมเพียง 3 ใบ เพื่อให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน</p>

ตารางที่ 2.2 กังหันลมแกนนอน (ต่อ)

ชื่อกังหันลม	ลักษณะของกังหันลมแกนนอน
<p data-bbox="422 481 670 571">กังหันลมแบบหลายใบ (Multi blade)</p> 	<p data-bbox="783 472 1437 1128">กังหันลมแบบสูบชักเป็น กังหันลมชนิดหลายใบ ส่วนใหญ่ใช้ในการสูบน้ำจากบ่อ สระน้ำ หนองน้ำ ที่มีความลึกไม่มากนัก เพื่อใช้ ใช้ในทางการเกษตรและใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เพื่อความแข็งแรงวัสดุที่ใช้ทำใบพัดและโครงสร้างเสาของกังหันลมชนิดนี้มัก เป็นโลหะเหล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางใบพัดประมาณ 4-6 เมตร จำนวนใบพัด 18, 24, 30, 45 ใบ ปริมาณน้ำที่สูบได้ขึ้นอยู่กับขนาดกระบอกสูบน้ำและปริมาณความเร็วลม กังหันลมเริ่มหมุนทำงานที่ความเร็วลม 3 เมตร/วินาที ขึ้นไปและสามารถทำงานต่อเนื่องได้ด้วยแรงเฉื่อยที่ความเร็วลม 2 เมตร/วินาที แกนใบพัดสามารถหมุนเพื่อรับแรงลมลมได้รอบตัวโดยมีใบแพนทางเสือเป็นตัวควบคุมการหมุน</p>
<p data-bbox="391 1160 710 1249">กังหันลมแบบพรอปเพลเลอร์ (Propeller)</p> 	<p data-bbox="783 1151 1437 1800">เป็นกังหันลมสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกังหันผลิตกระแสไฟฟ้าจะถูกออกแบบให้มีแรงขับแบบแรงยก เพื่อให้ใบพัดหมุนได้เร็วซึ่งจะทำให้เกิดความเร็รรอบสูงและแรงบิดต่ำ ซึ่งเหมาะกับการผลิตกระแสไฟฟ้า หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะ ทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุนและได้เป็นพลังงานกลออกมา และพลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลมจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม</p>

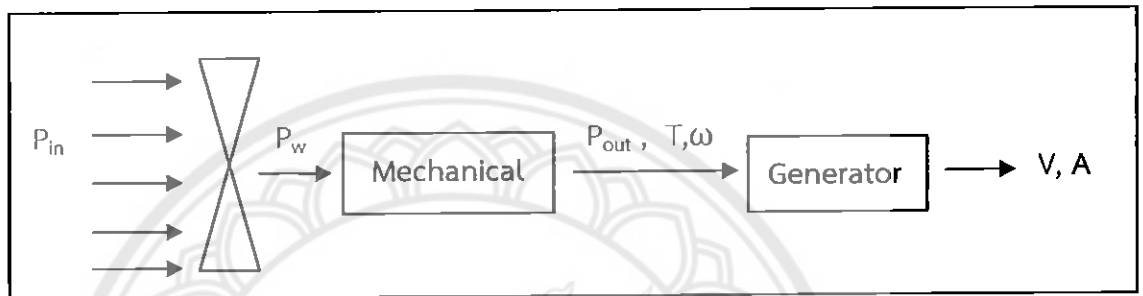
2.2.2 กังหันลมแกนตั้ง (Vertical Axis Turbine (VAWT)) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง มีหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่นกังหันกังหันลมแดร์เรียส (Darrieus) และกังหันลมซาโวเนียส (Savonius) ปัจจุบันมีการพัฒนากังหันลมแกนตั้งและมีการใช้งานกังหันลมแบบแกนตั้งอย่างมากมาย[1]

ตารางที่ 2.3 กังหันลมแกนตั้ง

ชื่อกังหันลม	ลักษณะกังหันลม
<p data-bbox="459 786 663 869">กังหันลมแดร์เรียส (Darrieus)</p> 	<p data-bbox="799 786 1426 1016">กังหันลมแดร์เรียส เป็นกังหันแกนยกประเภทแนวตั้งและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพรับลมได้ทุกทิศทาง ลักษณะใบพัดเป็น airfoils ซึ่งจะให้แรงบิดกับเพลลา โดยใช้หลักการเดียวกับเฮลิคอปเตอร์ แรงและความเร็วของ airfoils จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า</p>
<p data-bbox="459 1245 663 1328">กังหันลมซาโวเนียส (Savonius)</p> 	<p data-bbox="799 1245 1426 1476">กังหันลม (Savonius) เป็นกังหันลมแกนตั้ง (Vertical Axis Wind turbine) ที่อาศัยแรงฉุด (Drag) เป็นแรงขับเคลื่อนทำให้เกิดการหมุนของโรเตอร์ (Rotor) ซึ่งกังหันประเภทนี้สามารถสร้างแรงบิดได้สูงแต่ความเร็วรอบการหมุนจะต่ำ ตัวกังหันลม (Savonius) มีลักษณะโครงสร้างรูปตัว S</p>

2.3 การเปลี่ยนรูปพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า

พลังงานลมซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่มีความเร็วค่าหนึ่ง (พลังงานจลน์) เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานทางกลด้วยแรงบิดและความเร็วรอบของแกนหมุนกังหัน พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกเชื่อมต่อกับแกนหมุนของกังหันลมในรูปของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการทำงานของกังหันลม

2.3.1 กำลังลม (P_{in}) ปริมาณของพลังงานลมในหนึ่งหน่วยเวลา (กำลังลม) คำนวณได้จากสมการพื้นฐาน พลังงานจลน์

$$P_{in} = \frac{1}{2} \dot{m} V^2 \quad (1)$$

$$\dot{m} = \rho A V \quad (2)$$

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (3)$$

P = กำลังลม (W)

\dot{m} = มวลอากาศที่ตกกระทบตั้งฉากกับทิศทางการไหล (kg/s)

V = ความเร็วลม (m/s)

ρ = ความหนาแน่นมวลอากาศ 1.23 (kg/m³)

A = พื้นที่กังหันสามารถเขียนในรูปพื้นที่วงกลม $A = \pi \frac{D^2}{4}$ (m²)

2.3.2 กำลังที่กังหันลมสามารถดึงออกมา (P_w) จากกฎการอนุรักษ์อัตราการไหลเชิงมวล(สมการความต่อเนื่อง) จะได้ดังนี้

$$\rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 \quad (4)$$

ดังนั้น

$$P = \frac{1}{2} \rho A_1 V_1 (V_1^2 - V_2^2) \quad (5)$$

หรือ

$$P_{in} = \frac{1}{2} \dot{m} (V_1^2 - V_2^2) \quad (6)$$

ดังนั้นกำลังที่ได้รับแรงจากอากาศที่ไหลสามารถส่งพลังงานหรือกำลังก่อนและหลังกังหันลมที่ต้องรับภาระจากแรงผลักและความเร็วการไหล V' ดังนี้

$$\frac{1}{2} \dot{m} (V_1^2 - V_2^2) = \dot{m} (V_1 - V_2) V' \quad (7)$$

$$V' = \frac{1}{2} (V_1 + V_2) \quad (8)$$

ดังนั้นความเร็วลมที่ไหลผ่านกังหันลมมีค่าเท่ากับผลเฉลี่ยของ V_1 และ V_2 ดังนี้

$$V' = \frac{1}{2} (V_1 + V_2) \quad (9)$$

ดังนั้นอัตราการไหลเชิงมวลจะได้ดังนี้

$$\dot{m} = \rho A V' = \frac{1}{2} \rho A (V_1 + V_2) \quad (10)$$

ดังนั้นกำลังที่กังหันลมสามารถดึงพลังงานลมออกมาได้โดยไม่คำนึงถึงการสูญเสีย

$$P_w = \frac{1}{4} \rho A (V_1^2 - V_2^2) (V_1 + V_2) \quad (11)$$

2.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกำลัง (P_{out})

$$P_{out} = T\omega = T \frac{2\pi N}{60} \quad (12)$$

P_{out} = คือ กำลังงาน (W)

ω = คือ ความเร็วเชิงมุมมีค่าเท่ากับ $\left(\frac{2\pi N}{60} \text{ rad/s} \right)$

N = คือ ความเร็วรอบของเพลา (rpm)

T = คือ โมเมนต์หรือแรงบิดที่เกิดขึ้น (N·m)

2.3.4 กำลังไฟฟ้า

$$P = IV \quad (13)$$

P = กำลังไฟฟ้า (W)

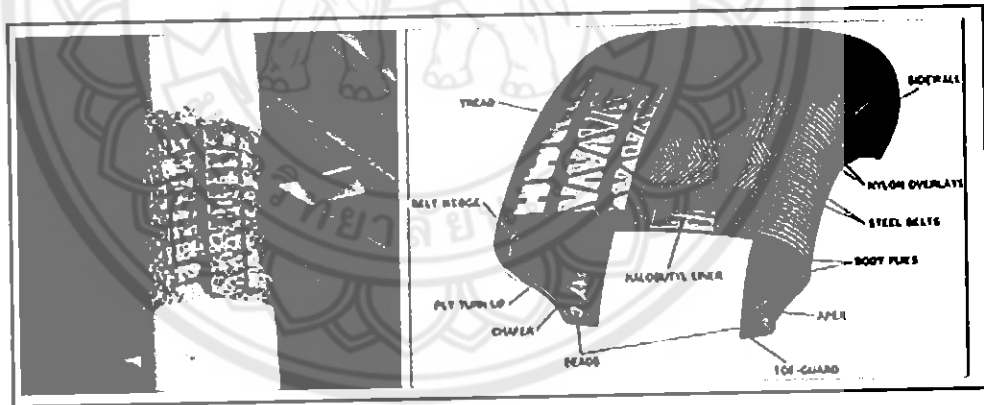
I = กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ (A)

V = ความต่างศักย์ (Volt)

2.4 วัสดุคอมโพสิต (Composites Materials)

คอมโพสิต (Composite) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (matrix) และวัสดุเสริมแรง (reinforcement materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้น วัสดุที่เป็นเนื้อหลัก จะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่ม หรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลัก ให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (base materials) อย่างโลหะ เซรามิกส์ หรือโพลิ-เมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกัน ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรง โดยรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับ ความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภท โดยลำพัง

ปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ กลุ่มที่มีพอลิเมอร์เป็นส่วนผสมหลัก (fiber-reinforced polymers, FRP) กลุ่มที่มีเซรามิกเป็นส่วนผสมหลัก (ceramic-matrix composite, CMC) และกลุ่มที่มีโลหะเป็นส่วนผสมหลัก (metal-matrix composite, MMC) ตัวอย่างเช่นจากรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 นอกจากนี้ วัสดุคอมโพสิตอาจจะแบ่งได้ตามลักษณะของตัวเสริมแรง ได้แก่

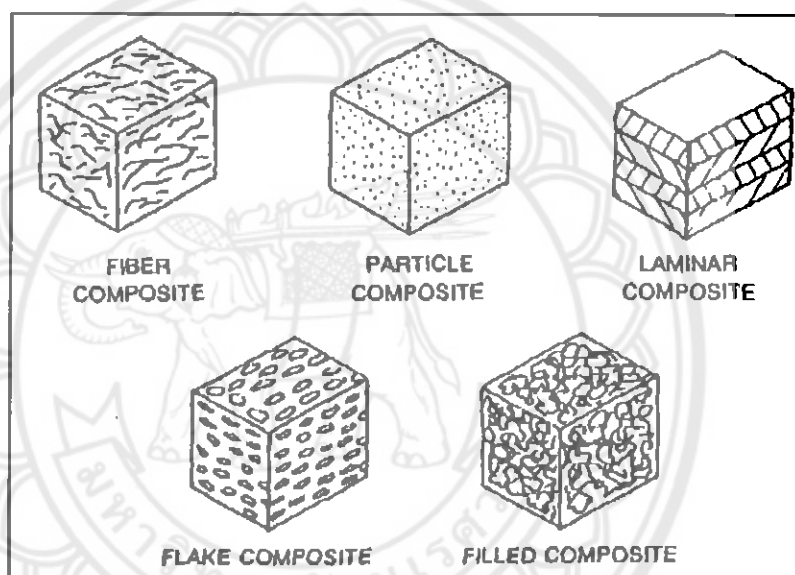


รูปที่ 2.2 วัสดุคอมโพสิต (Composites Materials)[4]



รูปที่ 2.3 วัสดุคอมโพสิต (Composites Materials)[4]

- 2.4.1 ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous Composites)
- 2.4.2 เส้นใยสั้นแบบสุ่ม (Random/Short Fiber)
- 2.4.3 เส้นใยยาว/เส้นใยต่อเนื่อง (Continuous/Long Fiber)
- 2.4.4 ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นอนุภาค (Particulate Composites)
- 2.4.5 ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ (Flake Composites)
- 2.4.6 ตัวเสริมแรงเป็นสารตัวเติม (Filled Composites)
- 2.4.7 ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นชั้นหรือซ้อนแผ่น (Laminar or Layered Composites)



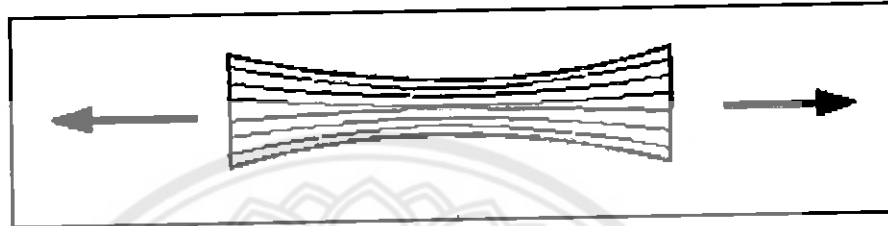
รูปที่ 2.4 โครงสร้างภายในของวัสดุคอมโพสิต (Composites Materials) [4]

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต

ได้แก่ สมบัติของเส้นใยเสริมแรง, สมบัติของพอลิเมอร์ และสัดส่วนของเส้นใยเสริมแรง โดยทั่วไปการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์คอมโพสิต เช่น เรือไฟเบอร์กลาสจะนิยมขึ้นรูปด้วยวิธีที่เรียกว่า แชนด์เลย์อัฟ (hand lay-up) ซึ่งจะมีสัดส่วนของเส้นใยเสริมแรงประมาณ 30-40% แตกต่างจากชิ้นงานคอมโพสิตที่ใช้ในอุตสาหกรรมการบิน และอวกาศที่ผลิตด้วย เทคโนโลยีขั้นสูงจะมีสัดส่วนของเส้นใยประมาณ 70% การจัดเรียงตัว (orientation) ของเส้นใยในคอมโพสิต เนื่องจากเส้นใยเสริมแรงให้ค่าสมบัติเชิงกลตามแนวยาวสูงกว่าแนวขวาง โครงสร้างภายในของวัสดุคอมโพสิต (Composites Materials) ดังนั้นหากเส้นใยในคอมโพสิตมีการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันแล้ว สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่แสดงออกมามีค่าแตกต่างกัน ตามแนวแรงที่กระทำ ดังนั้นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาตั้งแต่การออกแบบคือ ขนาดและลักษณะแรงที่กระทำต่อชิ้นงาน

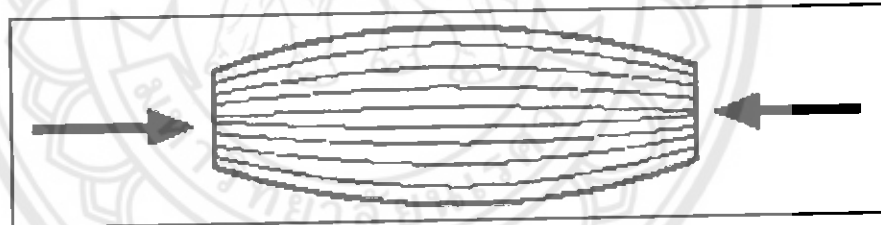
2.6 การรับแรงของวัสดุคอมโพสิต

2.6.1 แรงดึง (Tension) แสดงลักษณะแรงดึงที่กระทำต่อคอมโพสิต การตอบสนองต่อแรงกระทำของวัสดุขึ้นอยู่กับแรงดึง และความแข็งแรงเชิงกลของ เส้นใยเสริมแรงที่ใช้ดังรูป รูปที่ 2.5



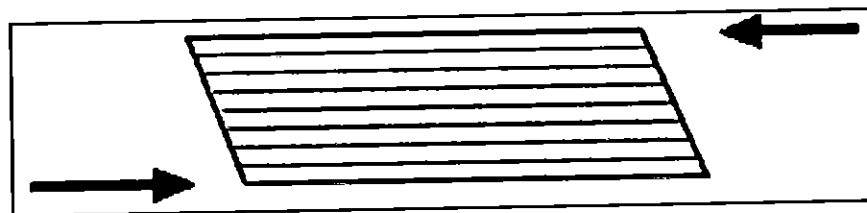
รูปที่ 2.5 แรงดึง

2.6.2 แรงกดอัด (Compression) แสดงลักษณะคอมโพสิตที่ได้รับแรงกดอัด ในสภาพนี้ ความแข็งแรงของวัสดุจะขึ้นกับสมบัติความแข็งแรงดึง และการยึดติด (adhesion) ของเนื้อโพลิเมอร์เป็นหลัก เนื่องจากโพลิเมอร์ทำหน้าที่ห่อหุ้มเส้นใยเสริมแรงให้อยู่ในลักษณะเส้นตรง และป้องกันไม่ให้เส้นใยโค้งงอ ดังรูปที่ 2.6



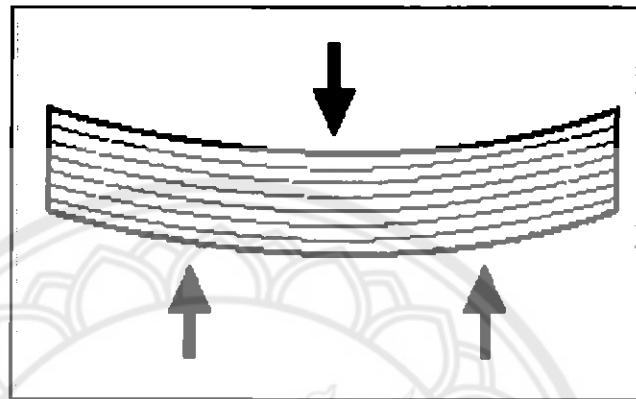
รูปที่ 2.6 แรงกดอัด

2.6.3 แรงเฉือน (Shear) ลักษณะแรงที่กระทำต่อคอมโพสิตมีทิศทางตรงข้ามกัน และแนวแรงอยู่ต่างระดับกันภายใต้สภาวะแบบนี้โพลิเมอร์จะมีบทบาทอย่างมาก ในเรื่องการยึดติดกับเส้นใยเสริมแรงไม่ใช่ในเรื่องสมบัติความแข็งแรงเชิงกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคอมโพสิตที่มีการเรียงเส้นใยเสริมแรงเป็นชั้น ๆ



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะแรงเฉือนที่กระทำต่อคอมโพสิต

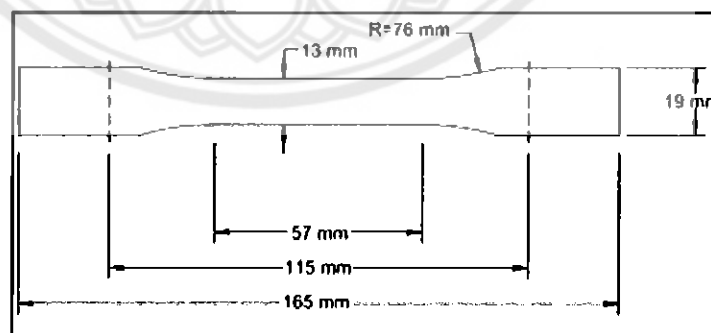
2.6.4 แรงดัด (Flexure) ลักษณะของแรงที่กระทำกับวัสดุมีลักษณะผสมของแรงดึง แรงเฉือน และแรงกดอัด 3 แรงเข้าด้วยกัน เห็นได้ว่ากึ่งกลางของด้านบนของวัสดุถูกแรงกดอัดกระทำ ขณะที่วัสดุจะถูกแรงยืดและแรงเฉือนจากการยึดตัวของวัสดุดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แรงดัด

2.7 มาตรฐานการทดสอบความต้านทานแรงดึง ASTM D638 TYPE I

มาตรฐาน ASTM D638 เป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบสมบัติแรงดึงของพลาสติกและพลาสติกเสริมแรง โดยใช้ชิ้นงานรูปทรงดัมเบลล์ (Types I) ดังรูปที่ 2.9, แห่ง หรือท่อทรงกระบอก สมบัติแรงดึงได้แก่ ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ความเครียดที่จุดแตกหัก และมอดูลัสสมบัติทางกลของพลาสติกสามารถเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเติมสารตัวเติมบางประเภทเข้าไปในพลาสติกทำให้มีผลต่อ ความแข็งแรง, การยึดตัว และความเหนียว



รูปที่ 2.9 มาตรฐานวัสดุทดสอบ ASTM D638 TYPE I [5]

บทที่ 3

การทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ

3.1 วัตถุประสงค์

3.1.1 เพื่อพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอด้วยมือให้เป็นแผ่นบาง

3.1.2 ศึกษาพฤติกรรมทางกลของแผ่นคอมโพสิตภายใต้แรงดึง โดยพิจารณาจากโมดูลัสความยืดหยุ่น, ความเค้นและความเครียด ณ จุดคราก, ค่าความแข็งแรงสูงสุดหรือความต้านแรงดึงสูงสุดของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ

3.2 วัสดุและอุปกรณ์

3.2.1 ชิ้นงานทดสอบแรงดึงสูตรละ 10 ชิ้น

3.2.2 เครื่องมือทดสอบ LR10KPlus 10 kN Universal Materials Testing Machine

3.2.3 คอมพิวเตอร์

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ขึ้นรูปและตัดให้ได้ขนาด

3.3.2 นำชิ้นงานมาทดสอบแรงดึง โดยใช้เครื่องมือทดสอบ LR 10K Plus 10 kN Universal Materials Testing Machine ให้บันทึกข้อมูล Load และ Extension เพื่อนำไปแสดงผลในรูปของ Stress-strain curve

3.3.3 คำนวณหาค่า Young's modulus, Load at Maximum load, Stress at Maximum load, Strain at Maximum load, Tensile Strength

3.3.4 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผล

3.4 ส่วนผสมและการขึ้นรูป

3.4.1 ส่วนผสม

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ

ชื่อสูตร	ส่วนผสม	น้ำหนัก(กรัม)	เปอร์เซ็นต์(%)
สูตร A	ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60)	0.5	0.34
	ตัวทำละลาย (Monostyrene, C ₈ H ₈)	2	1.37
	ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics)	44	30.03
	เรซิน (Polyester Resin-355E)	100	68.26
สูตร B	ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60)	0.5	0.34
	ตัวทำละลาย (Monostyrene, C ₈ H ₈)	3	2.03
	ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics)	44	29.83
	เรซิน (Polyester Resin-355E)	100	67.80
สูตร C	ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60)	0.5	0.34
	ตัวทำละลาย (Monostyrene, C ₈ H ₈)	4	2.69
	ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics)	44	29.63
	เรซิน (Polyester Resin-355E)	100	67.34
สูตร D	ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60)	1	0.68
	ตัวทำละลาย (Monostyrene, C ₈ H ₈)	2	1.36
	ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics)	44	29.93
	เรซิน (Polyester Resin-355E)	100	68.03
สูตร E	ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60)	1	0.67
	ตัวทำละลาย (Monostyrene, C ₈ H ₈)	3	2.03
	ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics)	44	29.73
	เรซิน (Polyester Resin-355E)	100	67.57
สูตร F	ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60)	1	0.67
	ตัวทำละลาย (Monostyrene, C ₈ H ₈)	4	2.69
	ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics)	44	29.53
	เรซิน (Polyester Resin-355E)	100	67.11

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ (ต่อ)

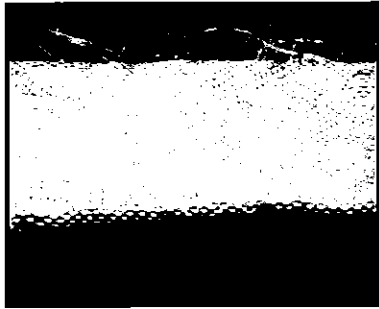

ชื่อสูตร	ส่วนผสม	น้ำหนัก(กรัม)	เปอร์เซ็นต์(%)
สูตร G	ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60)	2	1.35
	ตัวทำละลาย (Monostyrene, C ₈ H ₈)	2	1.35
	ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics)	44	29.73
	เรซิน (Polyester Resin-355E)	100	67.57
สูตร H	ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60)	2	1.34
	ตัวทำละลาย (Monostyrene, C ₈ H ₈)	3	2.01
	ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics)	44	29.53
	เรซิน (Polyester Resin-355E)	100	67.12
สูตร I	ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60)	2	1.33
	ตัวทำละลาย (Monostyrene, C ₈ H ₈)	4	2.67
	ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics)	44	29.33
	เรซิน (Polyester Resin-355E)	100	66.67

การทดสอบวัสดุคอมโพสิตของกลุ่มผู้ดำเนินโครงการนี้ได้ทดสอบวัสดุตั้งแต่สูตร E-I และสูตร A-D เป็นการทดสอบวัสดุคอมโพสิตของกลุ่มกั้นหั่นลมแกนตั้ง


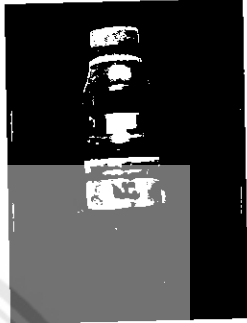

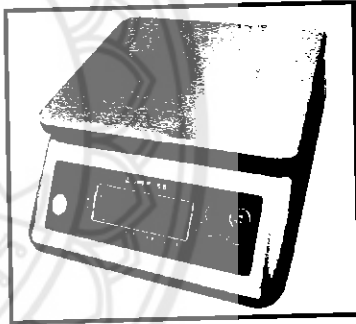
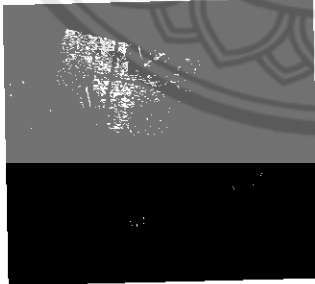

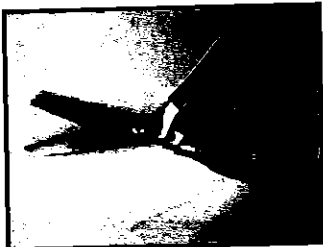

3.4.2 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

3.4.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

ตารางที่ 3.2 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุ	
<p>ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics)</p> 	<p>ซีเมนต์ขัดผิว (Rubbing Compound)</p> 

ตารางที่ 3.2 วัสดุและอุปกรณ์ (ต่อ)

วัสดุ	
<p>โพลีเอสเตอร์เรซิน (Polyester Resin)</p> 	<p>ตัวทำละลาย (Monostyrene, C_8H_8)</p> 
อุปกรณ์	
<p>หลอดหยดสาร</p> 	<p>ตาชั่งดิจิตอล</p> 
<p>แผ่นอะคริลิกใช้เป็นแม่แบบ</p> 	<p>ภาชนะบรรจุสำหรับเทแยก,ผสมเรซิน</p> 
<p>กรรไกร</p> 	<p>เลื่อยฉลุ</p> 

3.4.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปวัสดุทดสอบด้วยแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 TYPE I

ก. ทำความสะอาดแม่แบบด้วยน้ำเช็ดให้แห้งขัดผิวแม่แบบให้เรียบมันด้วยขี้ผึ้งขัดผิวหรือเทียน ให้ผิวเป็นมันเงาเพื่อป้องกันการติดกันระหว่างแม่แบบกับเรซิน (Polyester Resin-355E) เมื่อแข็งตัว

ข. ทำการผสมตัวทำแข็ง (MEKPO M-60) + เรซิน (Polyester Resin-355E) + โมโนสไตรีน (Monostyrene, C_8H_8) (ตามแต่ละส่วนผสม) เพื่อนำไปหล่อขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิต

ค. ทาเรซิน (Polyester Resin-355E) ที่ผสมแล้วลงในแม่แบบ ที่ได้จากการทำการผสมตัวทำแข็ง (MEKPO M-60) + เรซิน (Polyester Resin-355E) + ตัวทำละลาย (Monostyrene, C_8H_8) ดังรูปที่ 3.1

ง. นำใยแก้วแบบทอที่ตัดไว้แล้ว มาวางตามขอบมุมก่อน แล้ววางในส่วนที่เหลือลง แล้วใช้แปรงทาทาเรซิน (Polyester Resin-355E) ที่ผสมแล้วบนใยแก้วอีก 1 ชั้น

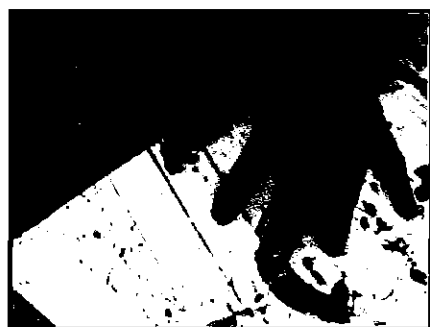
จ. ทำการประกบแม่แบบใช้แผ่นแม่แบบมาประกบ จากนั้นใช้ลูกกลิ้งไล่ฟองอากาศให้ทั่วแล้วทิ้งไว้ประมาณ 3-5 ชม. หลังจากนั้นทำการแกะแม่แบบออก

ฉ. การตัดแบบโดยตัดตามแนวเส้นใยทำการตัดแบบโดยใช้เลื่อยฉลุตัดตามแนวเส้นใย แนวตั้งหรือแนวนอนเพราะเนื่องจากใยทอมีการทอแบบตั้งฉากกันดังรูปที่ 3.2

ช. นำชิ้นงานทดสอบไปขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อให้ผิวขอบเรียบยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.1 ทาเรซินที่ผสมแล้วลงในแม่แบบ



รูปที่ 3.2 การตัดแบบ



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานคอมโพสิตที่ตัดตามมาตรฐาน ASTM D638 TYPE I

3.5 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแรงดึงของแผ่นคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ โดยพิจารณาจาก ค่าความแข็งแรงสูงสุดหรือความต้านแรงดึงสูงสุดและระยะยืด ของส่วนผสมสูตร E-I

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร E

สูตร E	Polyester Resin-355E		67.57%	MEKPO M-60		0.67%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.73%	Monostyrene, C ₈ H ₈		2.03%
ชิ้นงาน	E1	E2	E3	E4	E5	เฉลี่ย
ความหนา (mm)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
พื้นที่หน้าตัด×10 ⁻⁶ (ม ²)	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15
ความยาวเดิม (mm)	57	57	57	57	57	57
แรงที่วัสดุขาด (N)	1425.05	1902.95	1491.22	1498.22	1789.85	1621.46
ระยะยืดรวม (mm)	4.29	4.23	3.96	4.33	3.97	4.16
ความเค้น (MPa)	199.31	266.15	208.56	209.54	250.33	226.78
ความเครียด	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07
Young' Modulus (MPa)	6614.18	8051.90	7260.82	5898.52	7543.94	7073.87
Tensile Strength (MPa)	199.31	266.15	208.56	209.54	250.33	226.78

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร G (ต่อ)

สูตร G	Polyester Resin-355E		67.57%	MEKPO M-60		1.35%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.73%	Monostyrene, C ₈ H ₈		1.35%
ชิ้นงาน	G1	G2	G3	G4	G5	เฉลี่ย
ความยาวเดิม (mm)	57	57	57	57	57	57
แรงที่วัสดุขาด (N)	1041.42	1104.17	978.70	838.63	1105.45	1105.45
ระยะยืดรวม (mm)	2.30	2.98	2.88	3.50	2.52	2.52
ความเค้น (MPa)	140.54	149.01	132.08	113.18	149.18	136.80
ความเครียด	0.04	0.05	0.05	0.06	0.04	0.04
Young' Modulus (MPa)	6587.34	5417.54	6405.65	6162.22	6092.76	6133.10
Tensile Strength (MPa)	140.54	149.01	132.08	113.18	149.18	136.80

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร H

สูตร H	Polyester Resin-355E		67.12%	MEKPO M-60		1.34%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.53%	Monostyrene, C ₈ H ₈		2.01%
ชิ้นงาน	H1	H2	H3	H4	H5	เฉลี่ย
ความหนา (mm)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
พื้นที่หน้าตัด $\times 10^{-6}$ (m ²)	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85
ความยาวเดิม (mm)	57	57	57	57	57	57
แรงที่วัสดุขาด (N)	920.81	1016.35	792.27	818.28	796.01	868.74

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร H (ต่อ)

สูตร H	Polyester Resin-355E		67.12%	MEKPO M-60		1.34%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.53%	Monostyrene, C ₈ H ₈		2.01%
ชั้นงาน	H1	H2	H3	H4	H5	เฉลี่ย
ระยะยึดรวม (mm)	2.72	2.62	2.27	2.51	2.31	2.48
ความเค้น (MPa)	157.40	173.73	135.43	139.88	136.09	148.51
ความเครียด	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
Young' Modulus (MPa)	7558.53	6421.95	7700.43	6307.59	6139.32	6825.56
Tensile Strength (MPa)	157.40	173.73	135.43	139.88	136.09	148.51

ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร I

สูตร I	Polyester Resin-355E		66.67%	MEKPO M-60		1.33%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.33%	Monostyrene, C ₈ H ₈		2.67%
ชั้นงาน	I1	I2	I3	I4	I5	เฉลี่ย
ความหนา (mm)	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
พื้นที่หน้าตัด $\times 10^{-6}$ (m ²)	10.66	10.66	10.66	10.66	10.66	10.66
ความยาวเดิม (mm)	57	57	57	57	57	57
แรงที่วัสดุขาด (N)	1066.08	1190.13	1123.45	1099.42	856.23	1067.06
ระยะยึดรวม (mm)	2.33	2.83	2.54	2.44	2.38	2.50
ความเค้น (MPa)	100.01	111.64	105.39	103.14	80.33	100.10

ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร I (ต่อ)

สูตร I	Polyester Resin-355E		66.67%	MEKPO M-60		1.33%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.33%	Monostyrene, C ₈ H ₈		2.67%
ชิ้นงาน	I1	I2	I3	I4	I5	เฉลี่ย
ความเครียด	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
Young' Modulus (MPa)	5650.29	5579.18	5633.36	5823.15	6345.93	5806.38
Tensile Strength (MPa)	100.01	111.64	105.39	103.14	80.33	100.10

3.6 สรุปผลการทดสอบ

ตารางที่ 3.8 สรุปผลการทดสอบ

สูตร	ค่าเฉลี่ย								
	ความหนา (mm)	พื้นที่หน้าตัด (m ²) ×10 ⁻⁶	ความยาวเดิม (mm)	แรงที่วัสดุขาด (N)	ระยะยืดรวม (mm)	ความเค้น (MPa)	ความเครียด	Young' Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
A	0.62	8.06	57	1066.92	2.51	129.54	0.05	5257.80	129.54
B	0.47	6.11	57	1362.31	3.89	232.17	0.06	6393.69	232.17
C	0.55	7.15	57	1396.75	3.27	196.31	0.06	6868.80	193.31
D	0.52	6.76	57	1067.39	2.80	158.43	0.05	6068.73	158.43
E	0.55	7.15	57	1621.46	4.16	226.78	0.07	<u>7073.87</u>	<u>226.78</u>
F	0.52	6.76	57	1119.98	2.82	136.80	0.04	6133.10	136.80
G	0.57	7.41	57	1105.45	2.52	136.80	0.04	6133.10	136.80
H	0.45	5.85	57	868.74	2.48	148.51	0.04	6825.56	148.51
I	0.82	10.66	57	1067.06	2.50	100.10	0.04	5806.38	100.10

ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตของกลุ่มผู้ดำเนินโครงการได้ผลทดสอบวัสดุตั้งแต่สูตร E-I และสูตร A-D เป็นผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตของกลุ่มกัณฑ์ลมแกนตั้ง

จากการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอดด้วยมือ ได้กำหนดตัวแปรคือ สารตัวทำละลาย(Monostyrene, C_8H_8) และตัวทำแข็ง(MEKPO- M-60) โดยแบ่งส่วนผสมเป็น 9 สูตร เมื่อได้ชิ้นงานจากการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตด้วยมือก็นำไปตัดตามมาตรฐาน (ASTM D638 TYPE I) ผลการทดสอบพบว่า การผสมสารตัวทำละลาย(Monostyrene, C_8H_8) และตัวทำแข็ง (MEKPO- M-60) ตัวใดตัวหนึ่งที่สัดส่วนมากหรือน้อยเกินไปทำให้มีผลต่อความต้านทานแรงดึงและความยืดหยุ่นของวัสดุคอมโพสิตซึ่งทำให้เกิดการแตกหักง่ายหรือมีแข็งแรงแต่มีความเปราะง่าย

จากผลการทดสอบจึงสรุปว่า สูตร E มีแรงที่ทำให้วัสดุขาดมีค่าเท่ากับ 1621.46 N, ความเค้นมีค่าเท่ากับ 226.78 MPa, ความเครียดมีค่าเท่ากับ 0.07, ความยืดหยุ่นของวัสดุ (Young' Modulus) มีค่าเท่ากับ 7073.87 MPa และความต้านแรงดึง(Tensile- Strength) มีค่าเท่ากับ 226.78 MPa (จากตารางที่ 3.8) มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการขึ้นรูปใบพัดกังหันลม



บทที่ 4

การขึ้นรูปใบพัดและการประกอบกังหันลม

จากการทดสอบวัสดุคอมโพสิตในบทที่ผ่านมาทำให้ได้ส่วนผสมที่มีความยืดหยุ่นสูงสุดและมีความแข็งแรงที่เหมาะสมกับการนำมาสร้างใบพัดของกังหัน คือ สูตร E มีอัตราส่วนตัวทำแข็ง (MEKPO M-60) 0.67% (1กรัม), ตัวทำละลาย(Monostyrene, C_8H_8) 2.03% (3กรัม), โยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics) (44กรัม), เรซิน (Polyester Resin-355E) 67.57% (100กรัม) ในบทนี้จึงจะกล่าวถึงการขึ้นรูปใบพัดจากวัสดุคอมโพสิตและการประกอบกังหันลมแกนนอน

4.1 การขึ้นรูปใบพัด

4.1.2 ขั้นตอนการทำใบพัด (*โดยใช้ส่วนผสม E ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60) 0.67%, ตัวทำละลาย (Monostyrene, C_8H_8) 2.03%))

ก. ทำความสะอาดแม่แบบด้วยน้ำเช็ดให้แห้งแล้วขัดผิวแม่แบบให้เรียบมันด้วยขี้ผึ้งขัดผิว ให้ผิวเป็นมันเงาเพื่อป้องกันการติดกันระหว่างแม่แบบกับเรซินเมื่อแข็งตัว

ข. ผสมสารเคมีทำการผสมตัวทำแข็ง(MEKPO M-60) ผสมกับ เรซิน(Polyester Resin-355E) และตัวทำละลาย(Monostyrene, C_8H_8) ผสมส่วนผสมให้เข้ากันทาเรซินที่ผสมแล้วลงในแม่แบบ วางใยแก้วที่ตัดไว้ลงตามขอบหรือมุมก่อน แล้วในส่วนที่เหลือลงให้ทั่ว

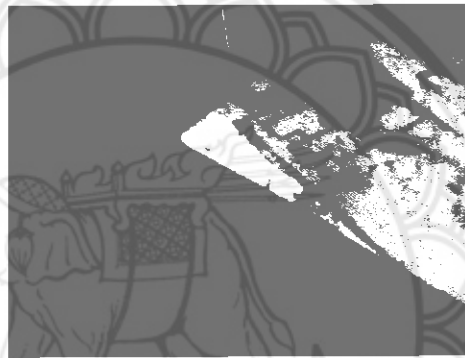
ค. ใช้แปรงจุ่มโพลีเอสเตอร์เรซินที่ผสมแล้วทาบนใยแก้วที่วางบนแม่แบบให้ทั่วอีกครั้ง ใช้แผ่นแม่แบบอีกแผ่นมาประกบ จากนั้นใช้ลูกกลิ้งไล่ฟองอากาศให้ทั่ว ทำการประกบแผ่นแม่แบบ ทิ้งไว้ประมาณ 3-5 ชม.

ง. หลังจากนั้นทำการแกะแม่แบบออก วาดแบบใบพัดกังหันลมลงแผ่นวัสดุคอมโพสิตที่หล่อเสร็จเพื่อที่จะนำไปตัดเป็นใบพัดของกังหันลมดังรูปที่ 4.1 โดยแนวการตัดให้ขนานกับแนวเส้นใย

ฉ. ตัดแบบใบพัดกังหันลมโดยใช้เลื่อยฉลุดังรูปที่ 4.2

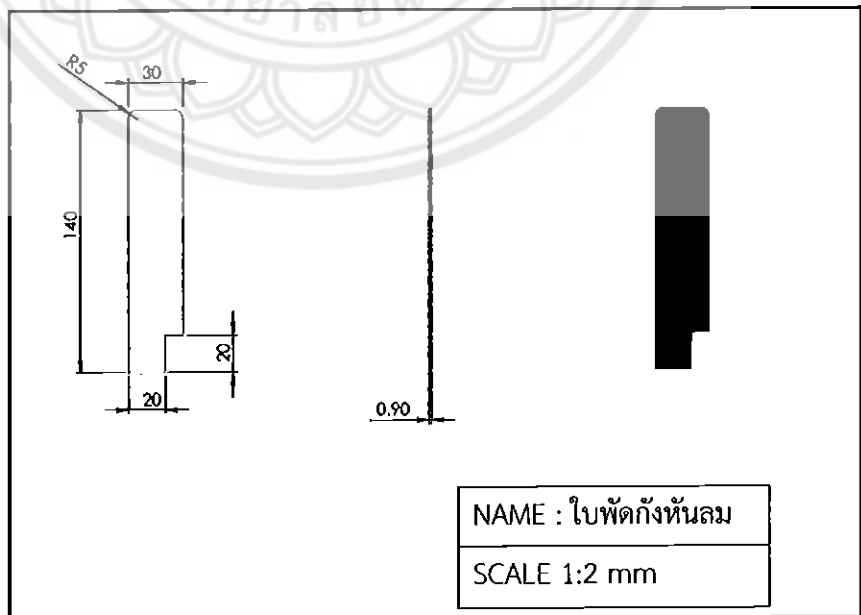


รูปที่ 4.1 กรवादแบบ



รูปที่ 4.2 การตัดแบบใบพัดกังหันลม

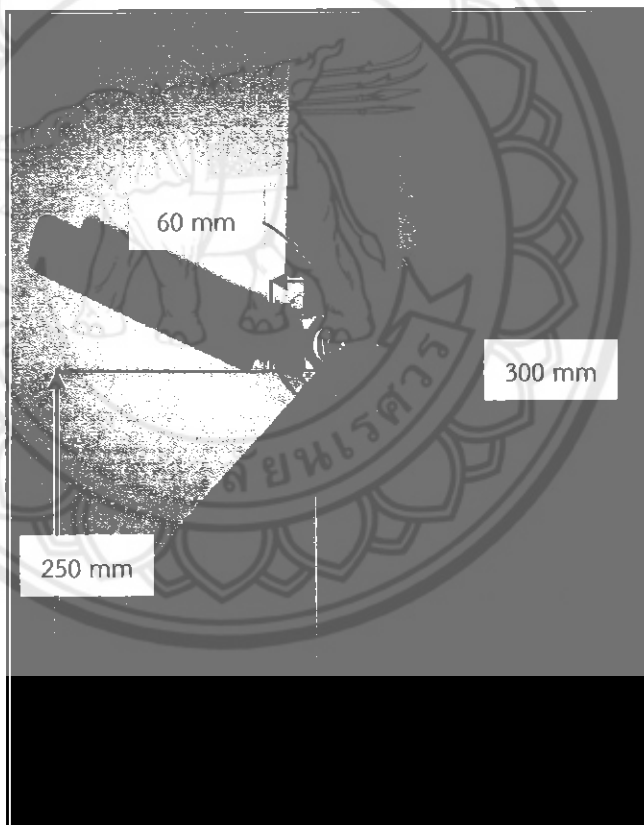
4.2 รูปแบบใบพัดกังหันลม



รูปที่ 4.3 รูปแบบใบพัดกังหันลม



รูปที่ 4.4 รูปแบบใบพัดกังหันลมที่ทำจากวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ

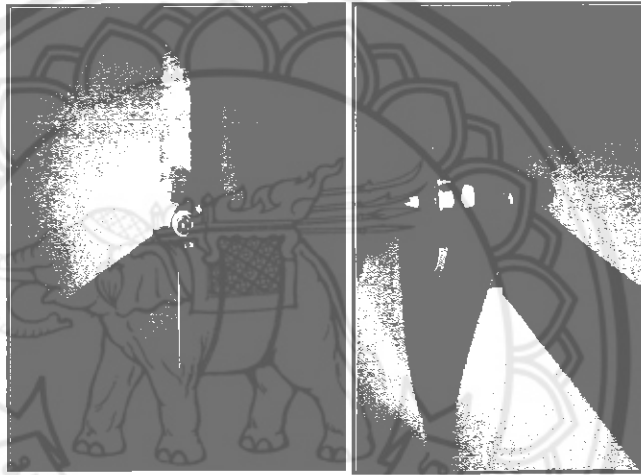


รูปที่ 4.5 ขนาดกังหันลมแกนนอน

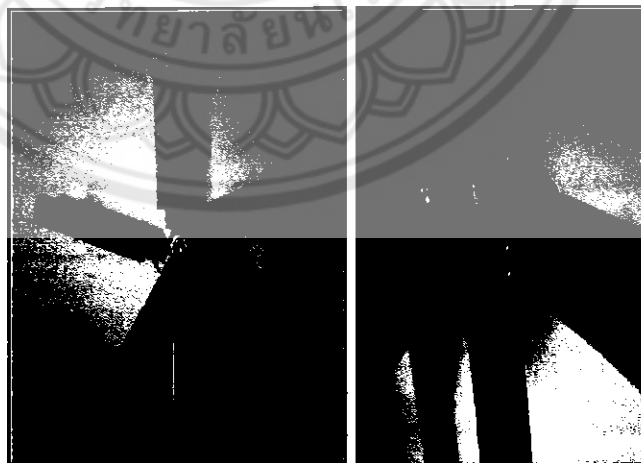
4.3 การประกอบชุดกังหันลม

หลังจากที่ได้ใบพัดกังหันมาแล้ว จากนั้นนำแกนจับที่ทำจากแผ่นอะครีลิกที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร มาตัดเป็นวงกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร จำนวน 6 แผ่น ขั้นตอนต่อไปคือการนำเอาแผ่นอะครีลิกที่ตัดเป็นแผ่นวงกลม มาเจาะทำมุมตามที่ต้องการโดยมุมที่จะเจาะนั้น มีทั้งหมดสามมุม คือ มุม 10, 20 และ 30 องศา โดยการทดลองต้องการใบพัดกังหันที่มีจำนวนใบพัด 3 ใบ

ทั้งหมดสามชุดที่ทำมุม 10,20 และ 30 องศาตามลำดับ และจำนวนใบพัด 5 ใบ ทั้งหมดสามชุดที่ทำมุม 10,20 และ 30 องศา โดยการที่จะเจาะให้แผ่นอะคริลิกให้ทำมุมตามที่เรากำลังต้องการนั้น จะต้องไปวัดขนาดของมุมแล้วเขียนไว้บนกระดาษ จากนั้นจึงนำกระดาษที่ขีดเส้นขนาดของมุมแล้วมาติดไว้ที่แผ่นอะคริลิก เพื่อทำการเจาะต่อไป เมื่อเจาะแผ่นอะคริลิกครบตามที่ต้องการแล้ว จึงนำใบพัดกังหันมาประกอบกับแผ่นอะคริลิกที่เราเตรียมไว้ โดยใช้กาวเป็นตัวผสม เมื่อชุดใบพัดกังหันที่ประกอบกับแกนจับมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ นำชุดใบพัดมาประกอบกับแกนหมุนของกังหันทั้งหมด 6 ชุด ตัวอย่างการประกอบกังหันลมนดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 กังหันลมชนิด 3 ใบพัดที่ทำมุมปะทะ 10 องศา



รูปที่ 4.7 กังหันลมชนิด 5 ใบพัดที่ทำมุมปะทะ 10 องศา

บทที่ 5

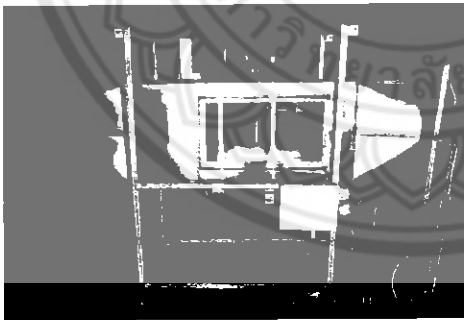
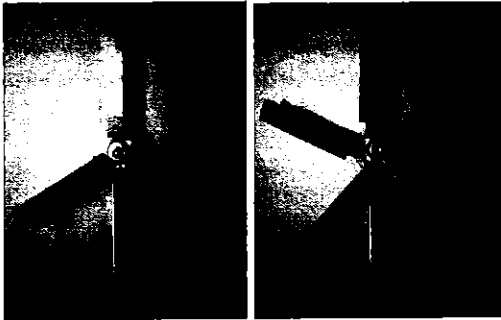
การหาประสิทธิภาพของกังหันลมแกนนอน

5.1 วัตถุประสงค์

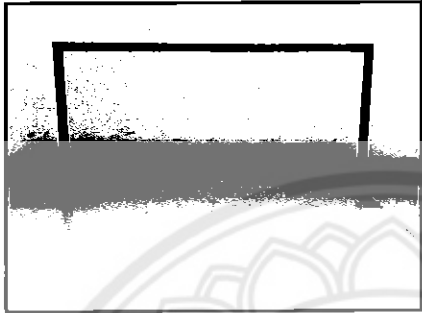
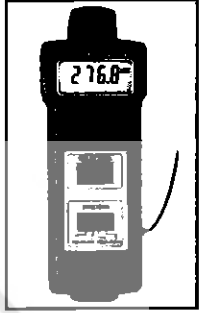
- 5.1.1 ทดสอบกังหันลมที่ขึ้นรูปจากวัสดุคอมโพสิต เพื่อหาค่าสิ่งที่ได้ออกมา
- 5.1.2 ทดสอบกังหันลมที่ขึ้นรูปจากวัสดุคอมโพสิต เพื่อหาประสิทธิภาพของกังหัน
- 5.1.3 ทดสอบกังหันลมที่ขึ้นรูปจากวัสดุคอมโพสิต เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงกลของกังหัน

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์การทดลอง	
อุโมงค์ลมที่มีความเร็วลมช่วง 3-5 m/s 	ตาชั่งสปริงขนาด 10 นิวตัน 
ชุดประกอบใบพัดกังหันลมแกนนอน 	เครื่องวัดความเร็วลม 

ตารางที่ 5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

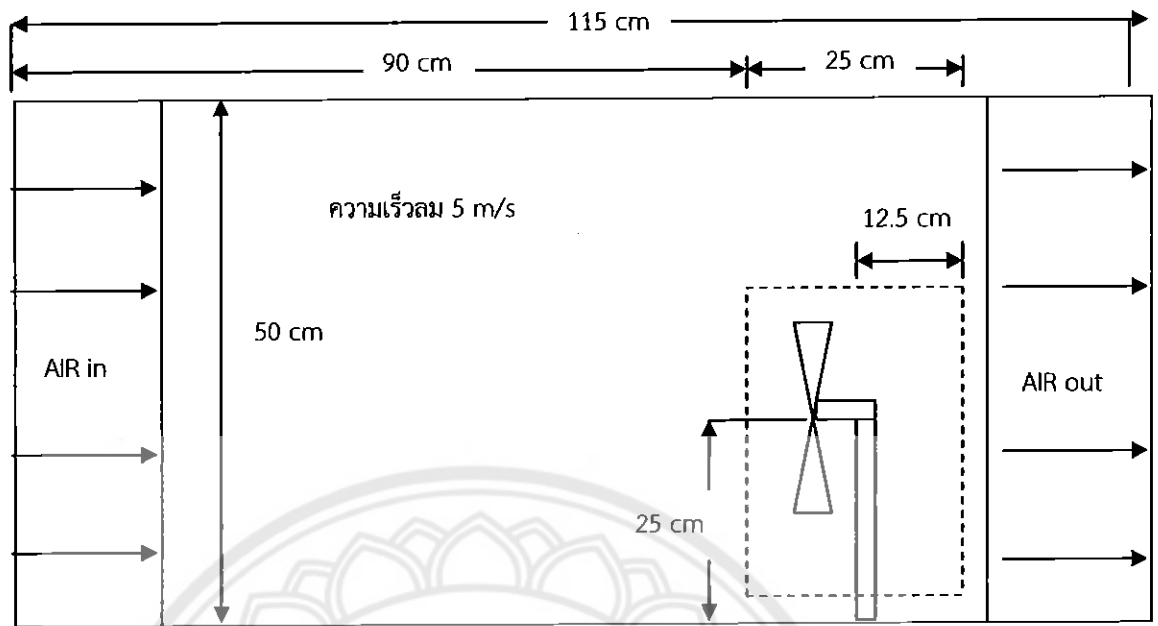
อุปกรณ์การทดลอง	
<p>คานแขวนตาชั่งสปริง</p> 	<p>เครื่องวัดความเร็วรอบ</p> 

5.3 ขั้นตอนการทดลอง

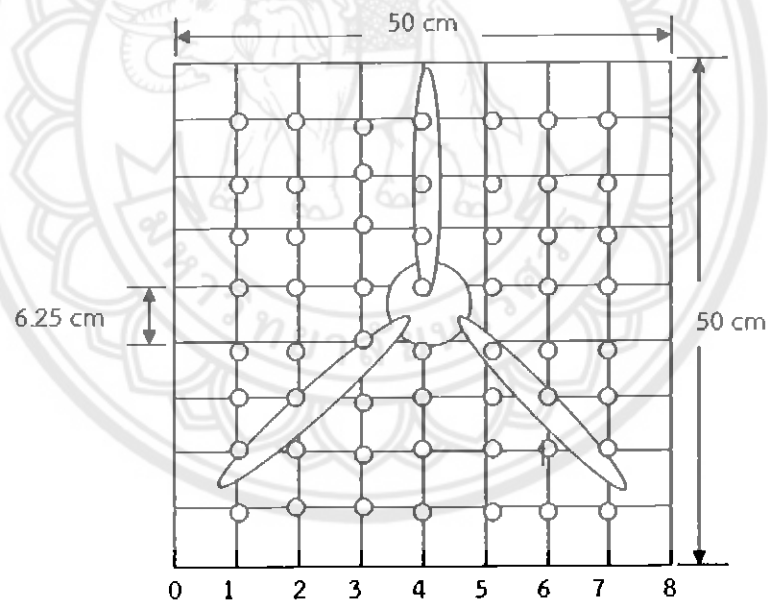
- 5.3.1 ประกอบก้านหลวมชนิด 3 ไบพัตที่มีมุมปะทะ 10 องศา
- 5.3.2 นำก้านหลวมที่ประกอบเสร็จไปติดตั้งในอุโมงค์ลม
- 5.3.3 เปิดเครื่องอุโมงค์เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพก้านหลวม วัดแรง วัดความเร็วลมหน้าและหลังไบพัต ที่มีระยะห่างจากไบพัตก้านหลวม 10 cm
- 5.3.4 บันทึกผลการทดลอง
- 5.3.5 ทำตามขั้นตอนที่ 1 ซ้ำ โดยเปลี่ยนชนิดก้านหลวมเป็น 3 ไบพัตที่มีมุมปะทะ 20, 30 และก้านหลวมแบบ 5 ไบพัตที่มีมุมปะทะ 10, 20 และ 30 องศา ตามลำดับ



รูปที่ 5.1 การทดสอบก้านหลวม



รูปที่ 5.2 ระยะการทดสอบกังหันลม



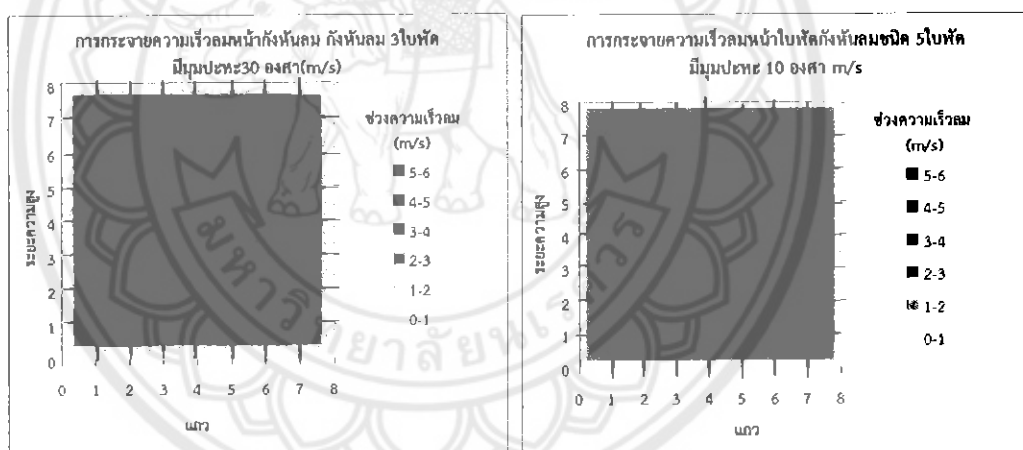
รูปที่ 5.3 ระนาบการทดสอบกังหันลม

5.4 ผลการทดสอบ

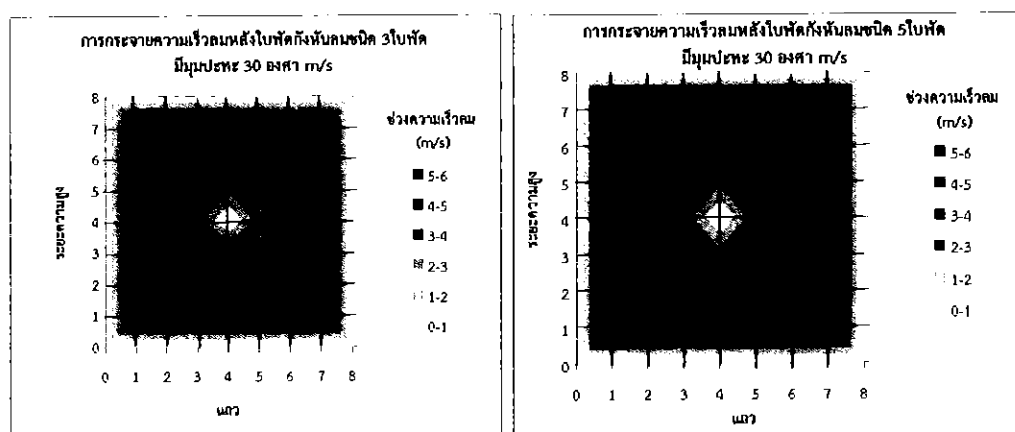
จากผลการทดสอบกังหันลมในอุโมงค์ลมดังรูปที่ 5.1 ได้ทำการวัดความเร็วลมด้านหน้าและหลังกังหันลม ของกังหันทั้ง 6 แบบ ที่มีระยะห่างจากใบพัดกังหันลม 12.5 cm ประกอบด้วย กังหันแบบ 3 ใบพัด ที่ใบพัดกังหันทำมุม 10,20 และ 30 องศา และกังหันแบบ 5 ใบ ที่ใบพัดกังหันทำมุม 10,20 และ 30 องศา จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการสร้างเป็นรูปภาพ contour plot จะเห็นได้ว่าความเร็วลมหน้ากังหันทั้ง 6 แบบ มีความราบเรียบสม่ำเสมอ เนื่องมาจากด้านหน้ากังหันนั้นไม่มีสิ่งกีด

ขบวนการไหลของลม ซึ่งดูได้จากสีของรูปภาพ contour plot ที่เป็นสีเดียวกันไม่มีความทับซ้อนของสี แตกต่างกับสีของรูปภาพ contour plot ด้านหลังใบพัดที่มีความทับซ้อนของสีเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เป็นผลมาจากกังหันลมได้ขบวนการไหลของลมและกังหันได้ดูดซับพลังงานลมที่ไหลผ่าน จึงทำให้มีการทับซ้อนของสีเกิดขึ้น และสามารถดูการดูดซับพลังงานของกังหันลมได้จากสีของรูปภาพ contour plot ได้เช่นเดียวกัน คือ สีที่อ่อนแสดงถึงความเร็วลมที่ต่ำ สีที่เข้มแสดงถึงความเร็วที่สูง จะเห็นได้ว่ารูปภาพ contour plot ด้านหลังกังหันส่วนตรงกลางของรูปซึ่งเป็นส่วนที่ใกล้จุดหมุนของกังหันจะมีสีอ่อนแสดงว่ามีการดูดซับพลังงานได้ดีที่สุดแล้วความเข้มของสีจะเพิ่มขึ้นจากส่วนตรงกลางของรูปภาพ contour plot แสดงถึงการดูดซับพลังงานของกังหันจะน้อยลงตามความยาวของใบพัดดังตัวอย่าง contour plot ของการเปรียบเทียบความเร็วหน้าใบพัดกังหันดังรูปที่ 5.4 และความเร็วหลังใบพัดกังหันดังรูปที่ 5.5

5.4.1 แผนภาพการกระจายความเร็วลมในอุโมงค์ลม



รูปที่ 5.4 แผนภาพการกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 3 และ 5 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 30 องศา



รูปที่ 5.5 แผนภาพการกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 3 และ 5 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 30 องศา

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบกังหันลมในอุโมงค์ลม

ชนิดกังหันลม	ความเร็วลม หน้าใบพัด กังหันลมเฉลี่ย V_1 (m/s)	ความเร็วลม หลังใบพัด กังหันลมเฉลี่ย V_2 (m/s)	แรงที่วัดได้ F (N)	แรงบิด T (Nm) $\times 10^{-3}$	ความเร็วรอบ N (rpm)
3 ใบพัดมีมุม 10°	5.45	4.98	0.91	3.64	910.19
3 ใบพัดมีมุม 20°	5.45	4.81	2.34	9.36	980.70
3 ใบพัดมีมุม 30°	5.44	4.64	2.78	11.12	1048.79
5 ใบพัดมีมุม 10°	5.45	4.79	1.31	5.24	1142.11
5 ใบพัดมีมุม 20°	5.43	4.62	2.80	11.20	1319.25
5 ใบพัดมีมุม 30°	5.42	4.45	5.17	20.68	938.11

5.5 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของกังหันลม

5.5.1 ทฤษฎีการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของกังหันลม (η_T) เท่ากับอัตราส่วนของกำลังลมที่กังหันลมสามารถดึงออกมาได้ (P_w) ต่อกำลังลมที่กังหันได้รับ (P_{in})

$$\eta_T = \frac{P_w}{P_{in}}$$

$$\text{จาก } P_{in} = \frac{1}{2} \rho A V_1^3$$

$$P_w = \frac{1}{4} \rho A (V_1^2 - V_2^2) (V_1 + V_2)$$

$$\text{ความหนาแน่นของอากาศ } \rho = 1.23 \text{ kg/m}^3$$

5.6.2 ทฤษฎีการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลม (η_M) ของกังหันลมเท่ากับอัตราส่วนของกังหันลมที่กังหันลมผลิตได้ (P_{out}) กับกำลังลมที่กังหันลมได้รับ (P_a)

$$\eta_M = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$\text{จาก } P_{out} = T \cdot \omega ; T = F \cdot r$$

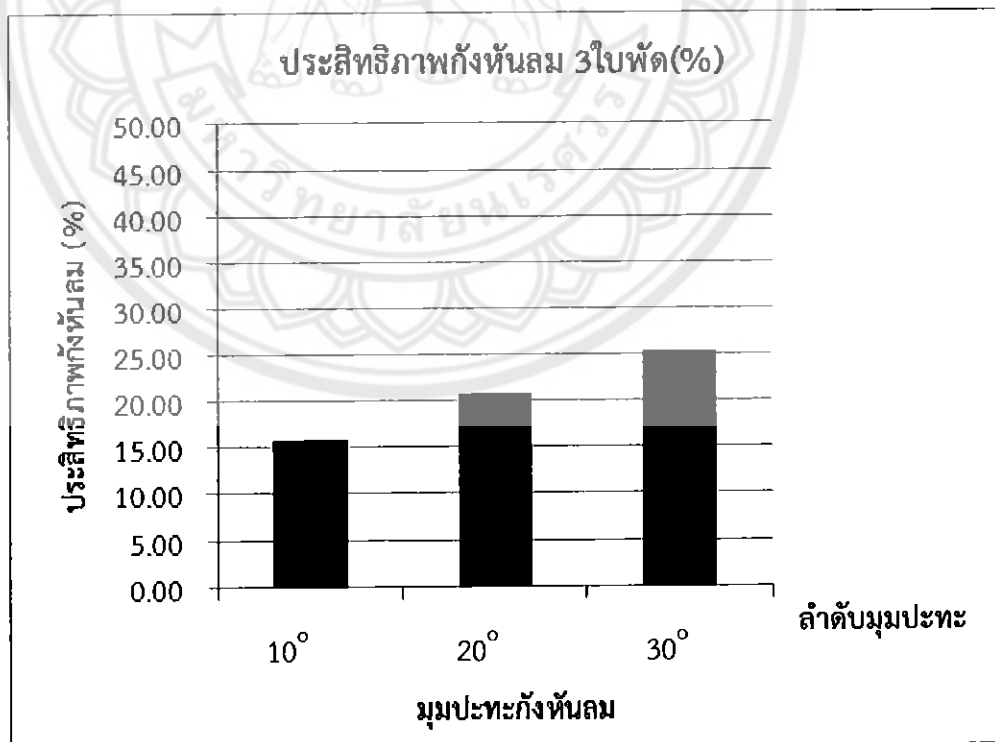
$$r = \text{รัศมีของแกนเพลลา}$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

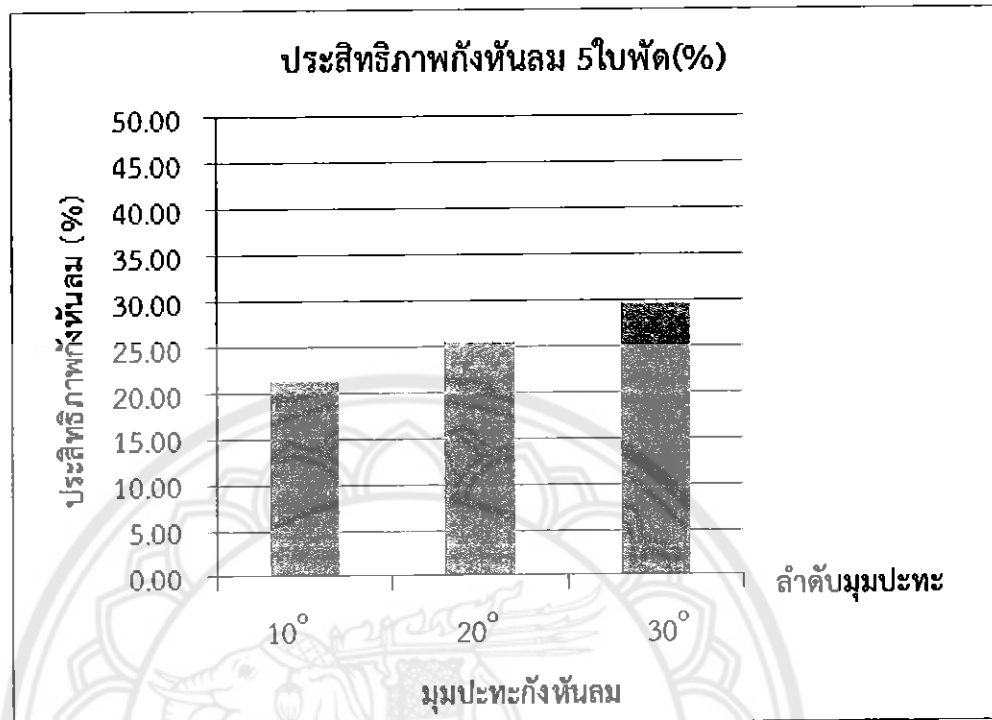
ตารางที่ 5.3 ผลการคำนวณ

ชนิดกังหันลม	กำลังลมที่ กังหัน ได้รับ P_{in} (W)	กำลังที่กังหัน ลมสามารถดึง ออกมาได้ P_w (W)	กำลังเชิงกล ที่กังหันลม ผลิตได้ P_{out} (W)	ประสิทธิภาพ เชิงกลของ กังหันลม $(\eta_M)\%$	ประสิทธิภาพ ของกังหันลม $(\eta_T)\%$
3 ใบพัดมีมุม 10°	7.04	1.11	0.35	4.93	15.79
3 ใบพัดมีมุม 20°	7.04	1.46	0.96	13.66	20.81
3 ใบพัดมีมุม 30°	7.00	1.77	1.22	17.45	25.25
5 ใบพัดมีมุม 10°	7.04	1.50	0.63	8.91	21.38
5 ใบพัดมีมุม 20°	6.96	1.78	1.55	22.23	25.55
5 ใบพัดมีมุม 30°	6.92	2.05	2.03	29.35	29.67

5.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพกังหันลม

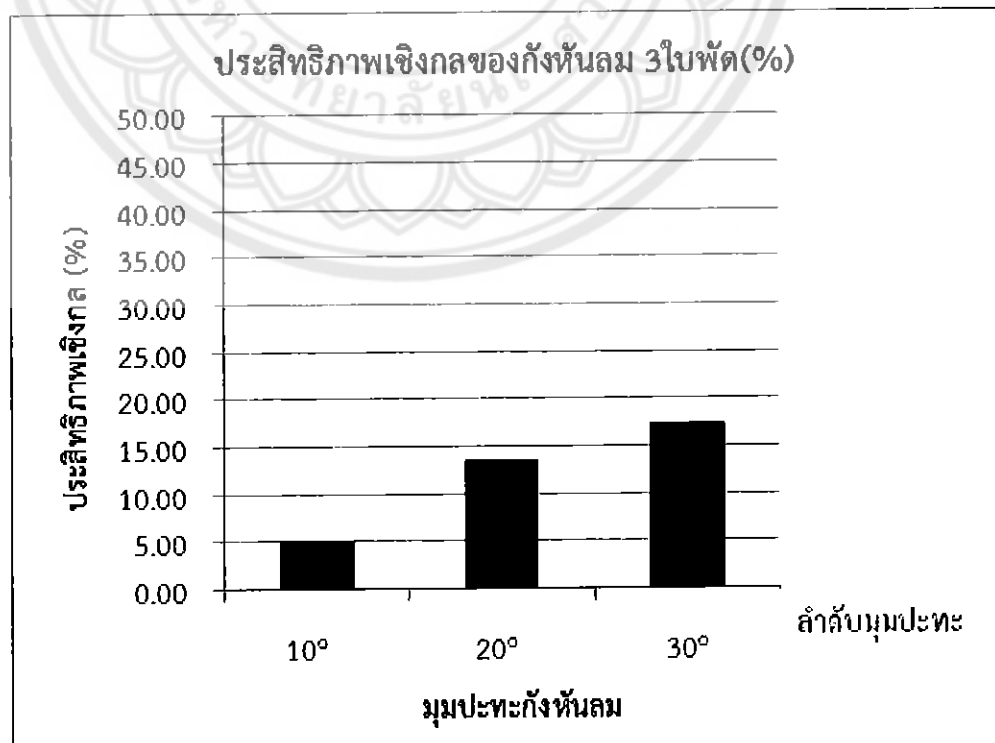


รูปที่ 5.6 ประสิทธิภาพของกังหันลม 3 ใบพัด

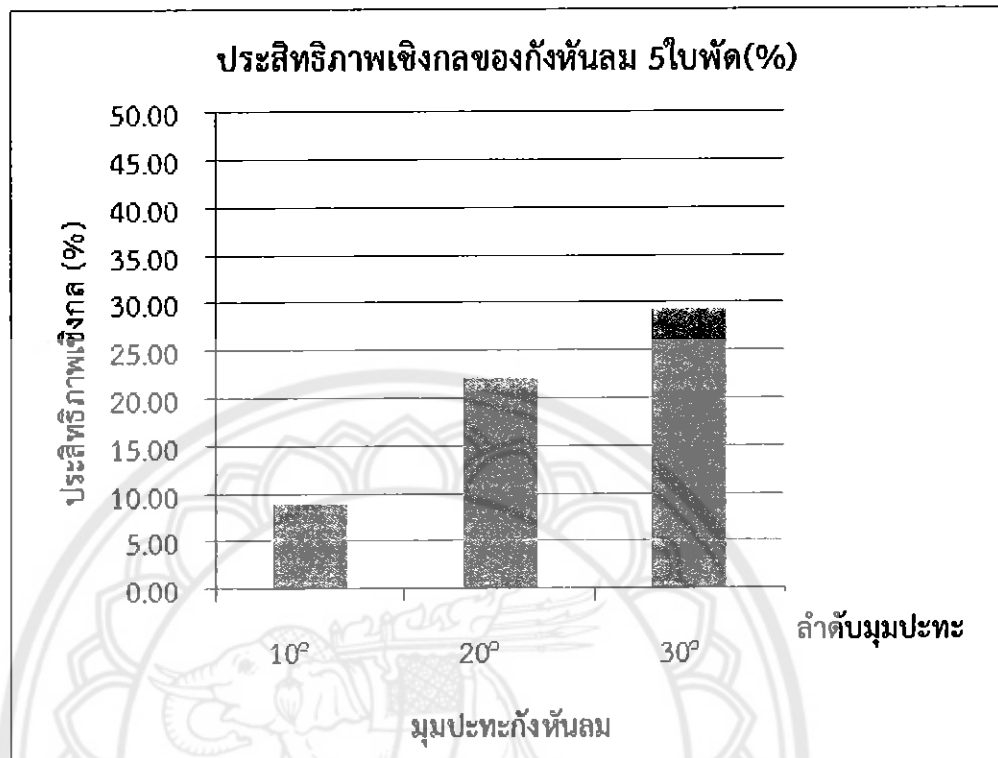


รูปที่ 5.7 ประสิทธิภาพของกังหันลม 5 ใบพัด

5.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลม



รูปที่ 5.8 ประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลม 3 ใบพัด



รูปที่ 5.9 ประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลม 5 ใบพัด

5.8 สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบกังหันลมในอุโมงค์ลมที่มีความเร็วลมช่วง 3-5 m/s , $Re=30,000$ ที่มีมุมปะทะต่างกันและจำนวนใบพัดต่างกัน แบ่งได้เป็น 2 ชุดประกอบของกังหันลมคือ กังหันลม 3ใบพัด และกังหันลม 5ใบพัด โดยกังหันลมแต่ละชุดจะมีมุมปะทะ 10 ,20 และ30 องศา เพื่อหาค่าลําดับที่กังหันลมที่ขึ้นรูปใบพัดจากวัสดุคอมโพสิตสามารถผลิตได้ และหาประสิทธิภาพของกังหัน ประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลม

กังหันลมชนิด 3 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 10,20 และ 30 องศา ตามลําดับพบว่ากังหันลมชนิด 3 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 30 องศา ให้กำลังมากที่สุดเท่ากับ 1.22 W และเมื่อนําค่ากำลังที่ได้ไปคำนวณพบว่าจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลมสูงที่สุดเท่ากับ 17.4 % จากรูปกราฟที่ 5.8 ประสิทธิภาพของกังหันลมซึ่งสอดคล้องกับมุมปะทะของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลง

กังหันลมชนิด 5 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 10,20 และ 30 องศา ตามลําดับพบว่ากังหันลมชนิด 5 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 30 องศา ให้กำลังมากที่สุดเท่ากับ 2.03 W และเมื่อนําค่ากำลังที่ได้ไปคำนวณพบว่าจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลมสูงที่สุดเท่ากับ 29.35 % จากรูปกราฟที่ 5.9 ประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลมซึ่งสอดคล้องกับมุมปะทะของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลง

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 การทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ

การขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอด้วยวิธีขึ้นรูปด้วยมือมีส่วนผสมหลักคือ เรซิน (Polyester Resin-355E), ตัวทำแข็ง (MEKPO M-60), ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics), สารตัวทำละลาย (Monostyrene, C_8H_8) ในการรูปวัสดุคอมโพสิตได้กำหนดตัวแปรคือ สารตัวทำละลาย (Monostyrene, C_8H_8) และตัวทำแข็ง (MEKPO- M-60) โดยพิจารณาจาก แรงสูงสุดที่วัสดุขาด (Load at Maximum Load), ระยะยืดรวม (Extension at Maximum Load), ความเค้นสูงสุด (Stress at Maximum Load), ความเครียด (Strain at Maximum Load), โมดูลัสความยืดหยุ่น (Young's Modulus), ความต้านแรงดึง (Tensile Strength)

ข้อดีของการขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอด้วยมือ ขึ้นรูปง่าย, ชิ้นงานมีความเรียบ, ข้อเสีย ขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความซับซ้อนไม่ได้, ใช้เวลาในการแข็งตัวนาน, กำหนดความหนาของชิ้นงานไม่ค่อยดี

จากการทดสอบของการทดสอบวัสดุคอมโพสิตด้วยแรงดึงโดยตัดชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 TYPE I พบว่าส่วนผสม E ที่มีส่วนผสม เรซิน (Polyester Resin-355E) 0.67%, สารตัวทำละลาย (Monostyrene, C_8H_8) 2.03%, ใยแก้วแบบทอ (Woven Fabrics) 29.73% และตัวทำแข็ง (MEKPO M-60) 67.57% ผลของการทดสอบที่ได้จากส่วนผสม E แรงที่วัสดุขาดมีค่าเท่ากับ 1621.46 N, ความเค้นมีค่าเท่ากับ 226.78 MPa, ความเครียดมีค่าเท่ากับ 0.07, ความยืดหยุ่นของวัสดุ (Young's Modulus) มีค่าเท่ากับ 7073.87 MPa และความต้านแรงดึง (Tensile Strength) มีค่าเท่ากับ 226.78 MPa (จากตารางที่ 3.3) ซึ่งนำไปขึ้นรูปใบพัดกังหันลม

6.2 การทดสอบกังหันลม

การทดสอบกังหันลมในอุโมงค์ลมที่มีความเร็วลมช่วง 5 m/s, $Re=1.536 \times 10^5$ (>4000 , เป็นการไหลแบบปั่นป่วน)

ผลการคำนวณค่าที่ได้จากการทดสอบกังหันลมแกนนอนในอุโมงค์ลม พบว่ากังหันลมชนิด 3 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 10, 20 และ 30 องศา ตามลำดับพบว่ากังหันลมชนิด 3 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 30

องศา ให้กำลังมากที่สุดเท่ากับ 1.22 W และเมื่อนำค่ากำลังที่ได้ไปคำนวณพบว่าจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลมสูงที่สุดเท่ากับ 17.45 % จากรูปกราฟที่ 5.8 ประสิทธิภาพของกังหันลมซึ่งมีความสอดคล้องกับมุมปะทะของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลง

กังหันลมชนิด 5 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 10,20 และ 30 องศา ตามลำดับพบว่ากังหันลมชนิด 5 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 30 องศา ให้กำลังมากที่สุดเท่ากับ 2.03 W และเมื่อนำค่ากำลังที่ได้ไปคำนวณพบว่าจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลมสูงที่สุดเท่ากับ 29.35 % จากรูปกราฟที่ 5.9 ประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลมซึ่งมีความสอดคล้องมุมปะทะของกังหันลมที่เปลี่ยนแปลง

จากผลการทดสอบกังหันลมในอุโมงค์ลมพบว่าการเพิ่มมุมปะทะและการเพิ่มจำนวนใบพัดของกังหันลมมีผลต่อประสิทธิภาพของกังหันลม (η_T) และประสิทธิภาพเชิงกล (η_M) เปรียบเทียบได้จากประสิทธิภาพของกังหันลม (η_T) กังหันลม 3ใบพัดที่มีมุมปะทะ 30องศา มีค่าเท่ากับ 25.25%, ประสิทธิภาพเชิงกล (η_M) มีค่าเท่ากับ17.45% และจากประสิทธิภาพของกังหันลม (η_T) กังหันลม 5 ใบพัดที่มีมุมปะทะ 30องศา มีค่าเท่ากับ 29.67%, ประสิทธิภาพเชิงกล (η_M) มีค่าเท่ากับ 29.35%

6.3 ข้อเสนอแนะ

- การทำงานเรซิน ระหว่างการทำงานเรซินควรใส่ถุงมือ ผ้าปิดจมูก ต้องทำในที่ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก เมื่อทำงานเรซินเสร็จแล้วต้องเก็บวัสดุ งานต่างๆให้เรียบร้อย
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใยแก้วมีผลต่อความต้านทานแรงดึง
- ในการสร้างใบพัดกังหันลมควรมีให้หลายรูปแบบ เพื่อศึกษาและพัฒนาให้กังหันมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น
- จากการทดสอบกังหันลม พบว่าการเพิ่มจำนวนใบพัดและมุมปะทะทำให้กังหันลมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นในการพัฒนาต่อไปควรสร้างกังหันลมที่มีใบพัดหลายใบพัดและเพิ่มมุมปะทะให้มีหลายมุมปะทะ
- การทดสอบกังหันลมในอุโมงค์ลมควรเพิ่มความเร็วลมให้มีหลายช่วงความเร็วลมเพื่อที่จะหาประสิทธิภาพของกังหันที่ดีที่สุดได้

บรรณานุกรม

[1] ธเนศ ปวนคำมา, พงศกร อนุนิวัฒน์, สะท้านภพ ขวัญแก้ว. (2553).ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้กังหันลมขนาดเล็กแบบพกพาได้.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต พิชญโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[2] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2544). แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: เซ็นทรัลการพิมพ์.

จาก : <http://www2.dede.go.th/renew/Twm/main.htm>

[3] ไพรัช กิจารวุธ และ ھرรษา วัฒนานุกิจ. เทคโนโลยีจากอดีตสู่ปัจจุบันและอนาคต (WIND POWER: Evolution Technology from the Past to Presence and Futurity). วิศวกรรมสารภูมิปัญญาวิศวกรไทย ร่วมใจเพื่อสังคม. ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์ 2553, หน้า 75-84. กองพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กทม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2555

จาก : http://gis.eng.ku.ac.th/Research/paper_wind%20energy.pdf

[4] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2555

จาก : <http://www.mtec.or.th>

[5] การรับแรงของวัสดุคอมโพสิต. สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2555

จาก : http://www.instron.co.th/wa/solutions/ASTM_D638



ภาคผนวก ก

การทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ

ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยความเค้นและความเครียด

สมการความเค้น (Stress) = แรงที่กระทำ (F) / พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงนั้น (A_0) หน่วยความเค้นอาจเป็น N/mm^2 หรือ MPa

สมการความเครียด (Strain) = ความยาวที่ยืดออก (Δl) / ความยาวเริ่มต้น (l_0)

ตารางที่ ก.1 ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณ

ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ (V)	10 mm/min
พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงของเรซินเสริมใยแก้ว (A_0)	0.0000208 m^2
ความยาวเริ่มต้น (l_0)	57 mm

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร E

สูตร E	Polyester Resin-355E		67.57%	MEKPO M-60		0.67%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.73%	Monostyrene, C_8H_8		2.03%
ชั้นงาน	E1	E2	E3	E4	E5	เฉลี่ย
ความหนา (mm)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
พื้นที่หน้าตัด $\times 10^{-6}$ (m^2)	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15
ความยาวเดิม (mm)	57	57	57	57	57	57
แรงที่วัสดุขาด (N)	1425.05	1902.95	1491.22	1498.22	1789.85	1621.46
ระยะยืดรวม (mm)	4.29	4.23	3.96	4.33	3.97	4.16
ความเค้น (MPa)	199.31	266.15	208.56	209.54	250.33	226.78
ความเครียด	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07
Young' Modulus (MPa)	6614.18	8051.90	7260.82	5898.52	7543.94	7073.87
Tensile Strength (MPa)	199.31	266.15	208.56	209.54	250.33	226.78

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร G (ต่อ)

สูตร G	Polyester Resin-355E		67.57%	MEKPO M-60		1.35%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.73%	Monostyrene, C ₈ H ₈		1.35%
ชิ้นงาน	G1	G2	G3	G4	G5	เฉลี่ย
ความยาวเดิม (mm)	57	57	57	57	57	57
แรงที่วัสดุขาด (N)	1041.42	1104.17	978.70	838.63	1105.45	1105.45
ระยะยืดรวม (mm)	2.30	2.98	2.88	3.50	2.52	2.52
ความเค้น (MPa)	140.54	149.01	132.08	113.18	149.18	136.80
ความเครียด	0.04	0.05	0.05	0.06	0.04	0.04
Young' Modulus (MPa)	6587.34	5417.54	6405.65	6162.22	6092.76	6133.10
Tensile Strength (MPa)	140.54	149.01	132.08	113.18	149.18	136.80

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร H

สูตร H	Polyester Resin-355E		67.12%	MEKPO M-60		1.34%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.53%	Monostyrene, C ₈ H ₈		2.01%
ชิ้นงาน	H1	H2	H3	H4	H5	เฉลี่ย
ความหนา (mm)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
พื้นที่หน้าตัด $\times 10^{-6}$ (m ²)	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85
ความยาวเดิม (mm)	57	57	57	57	57	57
แรงที่วัสดุขาด (N)	920.81	1016.35	792.27	818.28	796.01	868.74

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร H (ต่อ)

สูตร H	Polyester Resin-355E		67.12%	MEKPO M-60		1.34%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.53%	Monostyrene, C ₈ H ₈		2.01%
ชิ้นงาน	H1	H2	H3	H4	H5	เฉลี่ย
ระยะยึดรวม (mm)	2.72	2.62	2.27	2.51	2.31	2.48
ความเค้น (MPa)	157.40	173.73	135.43	139.88	136.09	148.51
ความเครียด	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
Young' Modulus (MPa)	7558.53	6421.95	7700.43	6307.59	6139.32	6825.56
Tensile Strength (MPa)	157.40	173.73	135.43	139.88	136.09	148.51

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร I

สูตร I	Polyester Resin-355E		66.67%	MEKPO M-60		1.33%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.33%	Monostyrene, C ₈ H ₈		2.67%
ชิ้นงาน	I1	I2	I3	I4	I5	เฉลี่ย
ความหนา (mm)	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
พื้นที่หน้าตัด $\times 10^{-6}$ (m ²)	10.66	10.66	10.66	10.66	10.66	10.66
ความยาวเดิม (mm)	57	57	57	57	57	57
แรงที่วัสดุขาด (N)	1066.08	1190.13	1123.45	1099.42	856.23	1067.06
ระยะยึดรวม (mm)	2.33	2.83	2.54	2.44	2.38	2.50
ความเค้น (MPa)	100.01	111.64	105.39	103.14	80.33	100.10

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ สูตร I (ต่อ)

สูตร I	Polyester Resin-355E		66.67%	MEKPO M-60		1.33%
	Woven Fiberglass Fabrics		29.33%	Monostyrene, C ₈ H ₈		2.67%
ชิ้นงาน	11	12	13	14	15	เฉลี่ย
ความเครียด	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
Young' Modulus (MPa)	5650.29	5579.18	5633.36	5823.15	6345.93	5806.38
Tensile Strength (MPa)	100.01	111.64	105.39	103.14	80.33	100.10

ตารางที่ ก.7 สรุปผลการทดสอบ

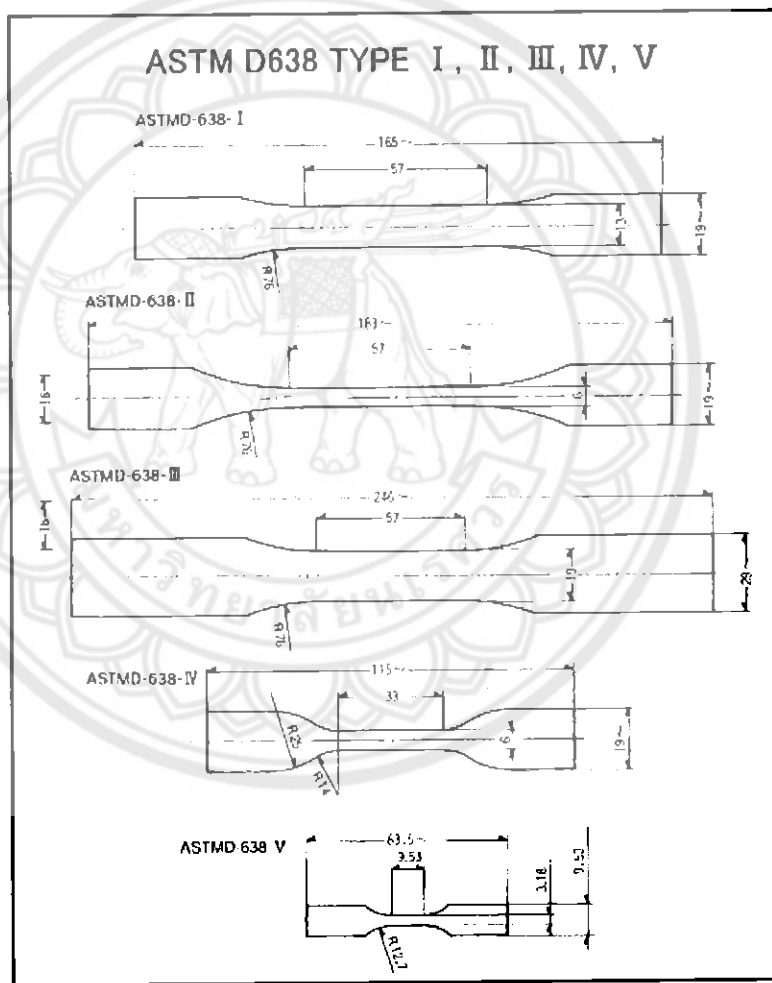
สูตร	ค่าเฉลี่ย								
	ความหนา (mm)	พื้นที่หน้าตัด (mm ²) ×10 ⁻⁶	ความยาวเดิม (mm)	แรงที่วัสดุขาด (N)	ระยะยืดรวม (mm)	ความเค้น (MPa)	ความเครียด	Young' Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
A	0.62	8.06	57	1066.92	2.51	129.54	0.05	5257.80	129.54
B	0.47	6.11	57	1362.31	3.89	232.17	0.06	6393.69	232.17
C	0.55	7.15	57	1396.75	3.27	196.31	0.06	6868.80	193.31
D	0.52	6.76	57	1067.39	2.80	158.43	0.05	6068.73	158.43
E	0.55	7.15	57	1621.46	4.16	226.78	0.07	<u>7073.87</u>	<u>226.78</u>
F	0.52	6.76	57	1119.98	2.82	136.80	0.04	6133.10	136.80
G	0.57	7.41	57	1105.45	2.52	136.80	0.04	6133.10	136.80
H	0.45	5.85	57	868.74	2.48	148.51	0.04	6825.56	148.51
I	0.82	10.66	57	1067.06	2.50	100.10	0.04	5806.38	100.10



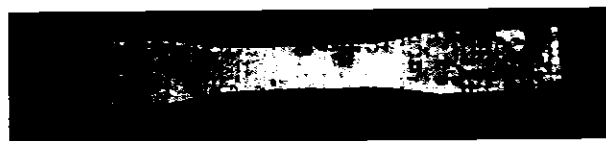
ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ

มาตรฐาน ASTM D638 สำหรับการหาสมบัติแรงดึงของพลาสติกและพลาสติกเสริมแรง ดังรูปที่ ข.1 ชิ้นงานรูปทรงดัมเบลล์ (Types I – V), แท่ง หรือท่อทรงกระบอก โดยการทดสอบด้วยแรงดึง ได้แก่ ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ความเครียดที่จุดแตกหัก และมอดูลัสสมบัติทางกลของพลาสติก สามารถเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเติมสารตัวเติมบางประเภทเข้าไปในพลาสติก เช่น ความแข็งแรง การยึดตัวและ ความเหนียว ในการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบผ้าทอ โดยใช้ชิ้นงานรูปทรงดัมเบลล์ (ASTM D638 Types I) สำหรับการหาค่าสมบัติแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต ซึ่งได้วัสดุที่ขึ้นรูปด้วยมือดังรูปที่ ข.2

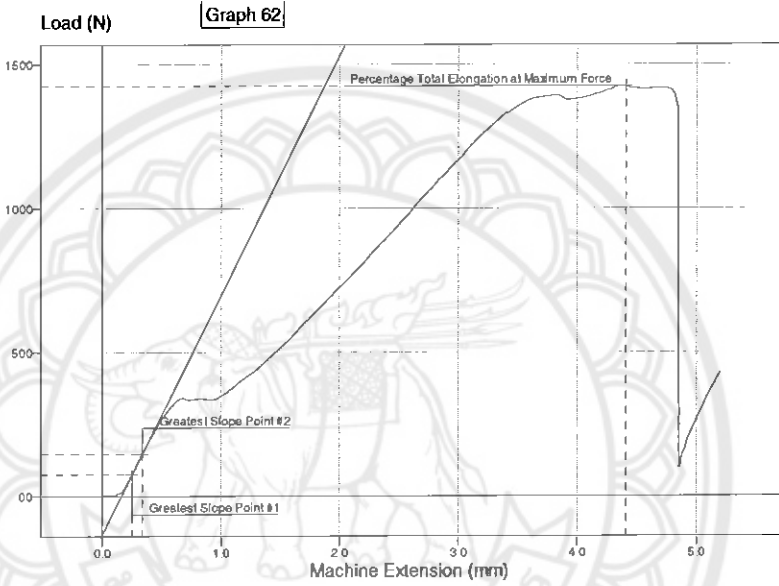


รูปที่ ข.1 มาตรฐาน ASTM D638



รูปที่ ข.2 ชิ้นงานที่ตัดตามมาตรฐาน ASTM D638 TYPE I

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ E1

สูตร E	Polyester Resin-355E	67.57%	MEKPO M-60	0.67%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.73%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.03%
ชิ้นงานทดสอบ E1				
				
Load (N)		Machine Extension (mm)		
0.1823		0.0000		
9.9246		0.1394		
203.1500		0.4070		
571.1000		1.6386		
663.9400		1.8561		
776.4200		2.1228		
967.3200		2.5526		
1093.2000		2.8227		
1387.6000		3.6769		
1397.3		4.1652		
1425.05		4.2920		

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ E2

สูตร E	Polyester Resin-355E	67.57%	MEKPO M-60	0.67%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.73%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.03%

ชิ้นงานทดสอบ E2

[Graph 63]

Load (N)	Machine Extension (mm)
0.2220	0.0000
9.3200	0.1666
79.0840	0.2739
352.2600	0.5645
507.0500	0.7584
747.5900	1.1417
950.6200	1.7203
1099.5000	2.1568
1237.6000	2.4968
1749.5000	3.8368
1896.6000	4.3253
1902.9530	4.2270

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ E3

สูตร E	Polyester Resin-355E	67.57%	MEKPO M-60	0.67%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.73%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.03%

ชิ้นงานทดสอบ E3

Load (N) Graph 68

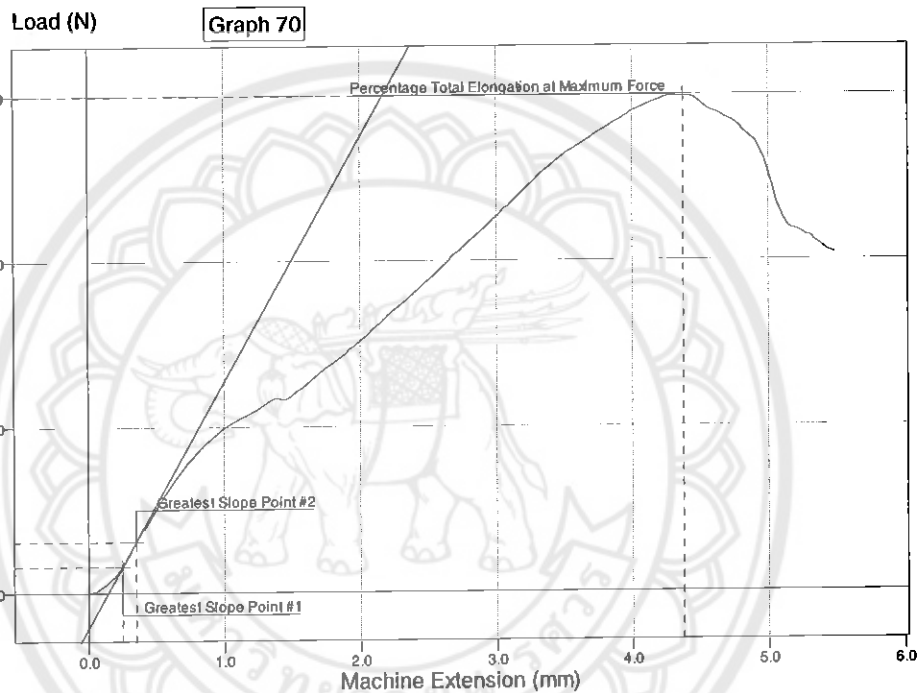
Machine Extension (mm)

Load (N)	Machine Extension (mm)
2.2309	0.1076
158.5700	0.3920
201.5800	0.4388
485.5500	0.7677
555.0600	0.8626
898.5500	1.7475
960.6700	1.8893
1018.9000	2.0287
1375.5000	2.9170
1491.2150	3.9590

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ E4

สูตร E	Polyester Resin-355E	67.57%	MEKPO M-60	0.67%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.73%	Monostyrene, C_8H_8	2.03%

ชิ้นงานทดสอบ E4

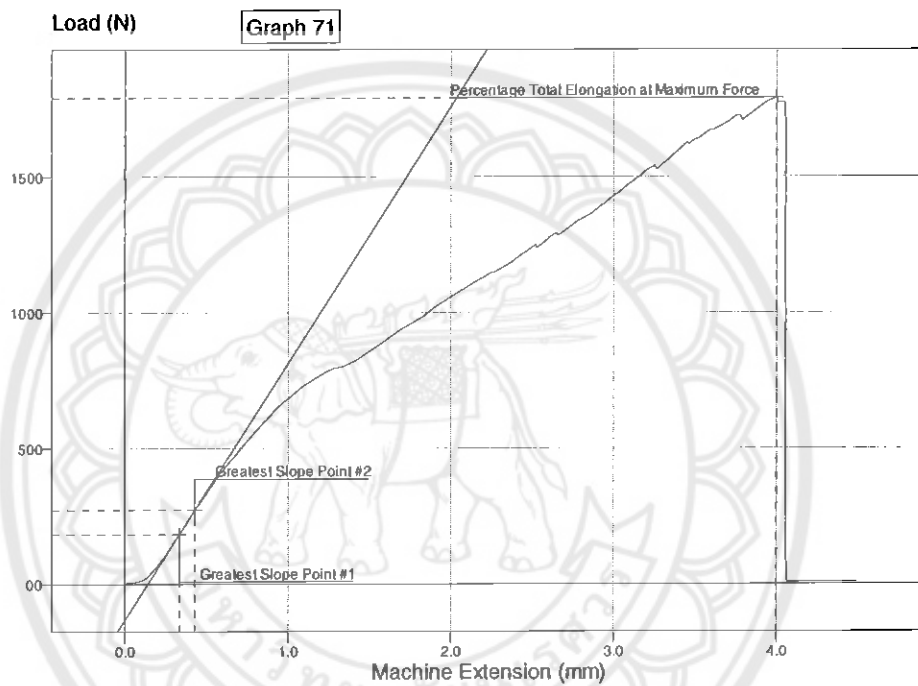


Load (N)	Machine Extension (mm)
0.2384	0.0000
96.4480	0.1734
227.9700	0.3267
448.8500	0.6333
603.1600	0.9383
926.6800	1.9106
1167.5000	2.5157
1292.6000	2.8255
1353.8000	3.0295
1498.2160	4.3270

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ E5

สูตร E	Polyester Resin-355E	67.57%	MEKPO M-60	0.67%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.73%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.03%

ชิ้นงานทดสอบ E5



Load (N)	Machine Extension (mm)
0.3492	0.0000
153.4800	0.3489
336.1800	0.6336
488.2500	0.9753
665.3800	1.7107
989.3900	2.6238
1292.4000	3.4185
1447.7000	3.7903
1688.3000	3.8596
1787.9000	3.9742

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ F1

สูตร F	Polyester Resin-355E	67.11%	MEKPO M-60	0.67%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.53%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.69%

ชิ้นงานทดสอบ F1

Load (N)	Machine Extension (mm)
0.3815	0.0000
87.9120	0.3124
114.5100	0.3460
282.7100	0.5785
305.2400	0.6117
434.2200	0.8437
547.5000	1.1026
626.5500	1.3353
724.7400	1.7639
970.4500	2.4956
1081.8000	2.5946
1091.6940	2.7570

ตารางที่ ข.7 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ F2

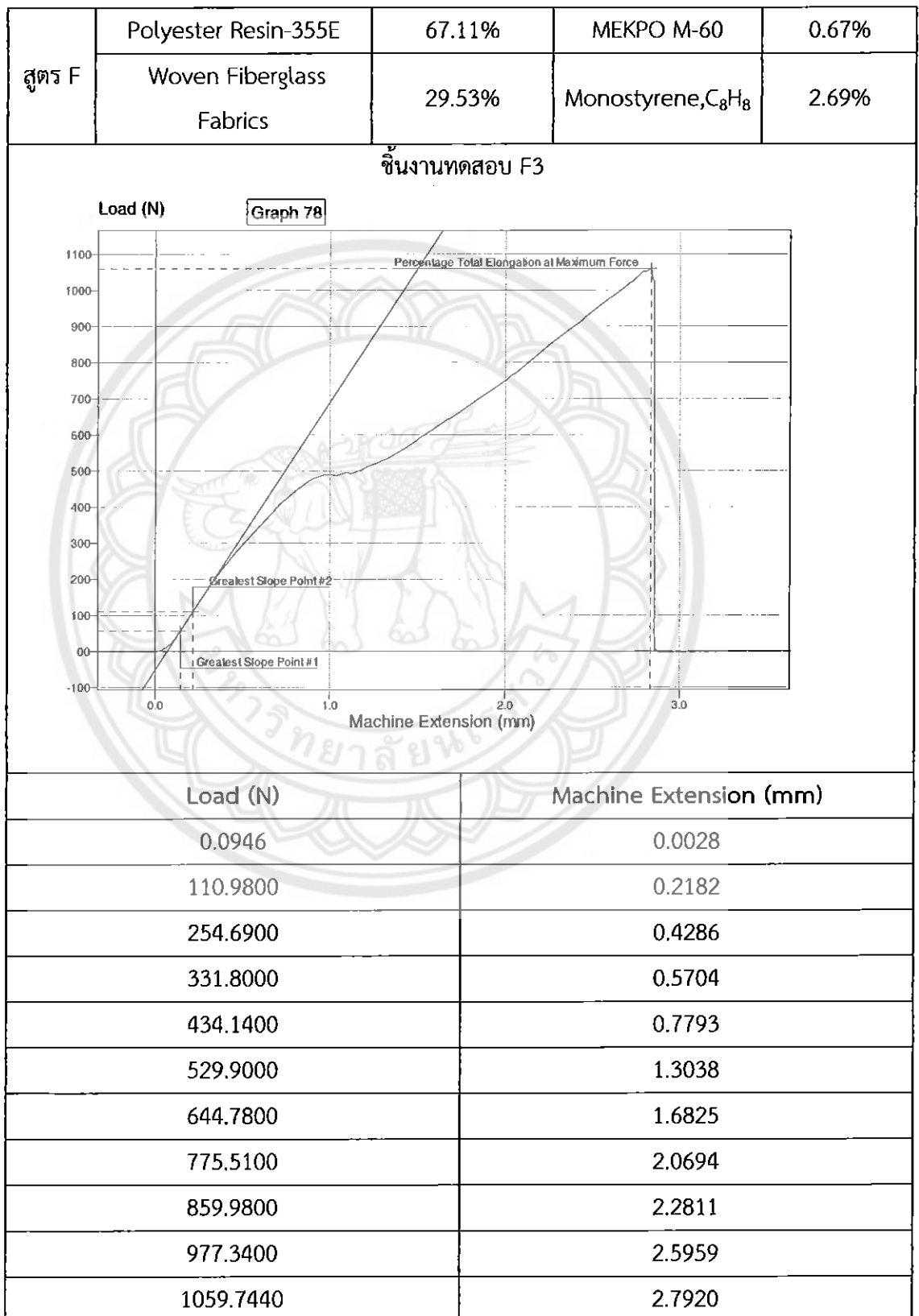
สูตร F	Polyester Resin-355E	67.11%	MEKPO M-60	0.67%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.53%	Monostyrene, C_8H_8	2.69%

ชิ้นงานทดสอบ F2

Graph 74

Load (N)	Machine Extension (mm)
0.1205	0.0537
52.6250	0.4894
264.4900	0.8070
364.4200	0.9491
546.7800	1.2634
639.4000	1.4773
834.8500	2.1808
914.7400	2.3946
1073.9000	2.8169
1194.7000	2.8306
1207.2140	2.8910

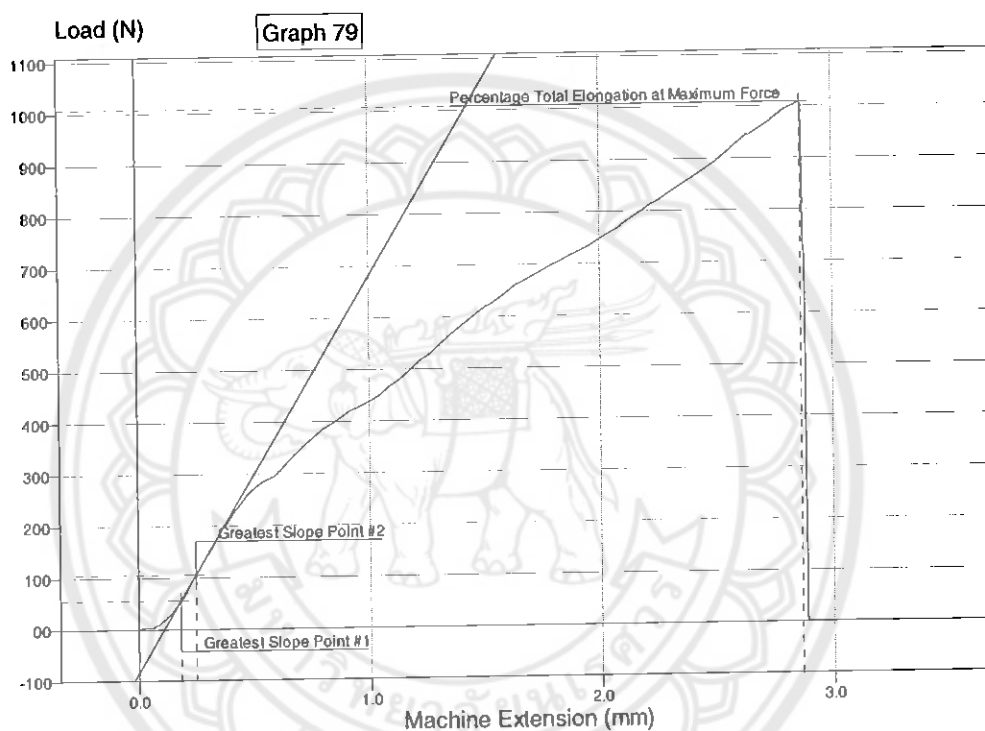
ตารางที่ ข.8 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ F3



ตารางที่ ข.9 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ F4

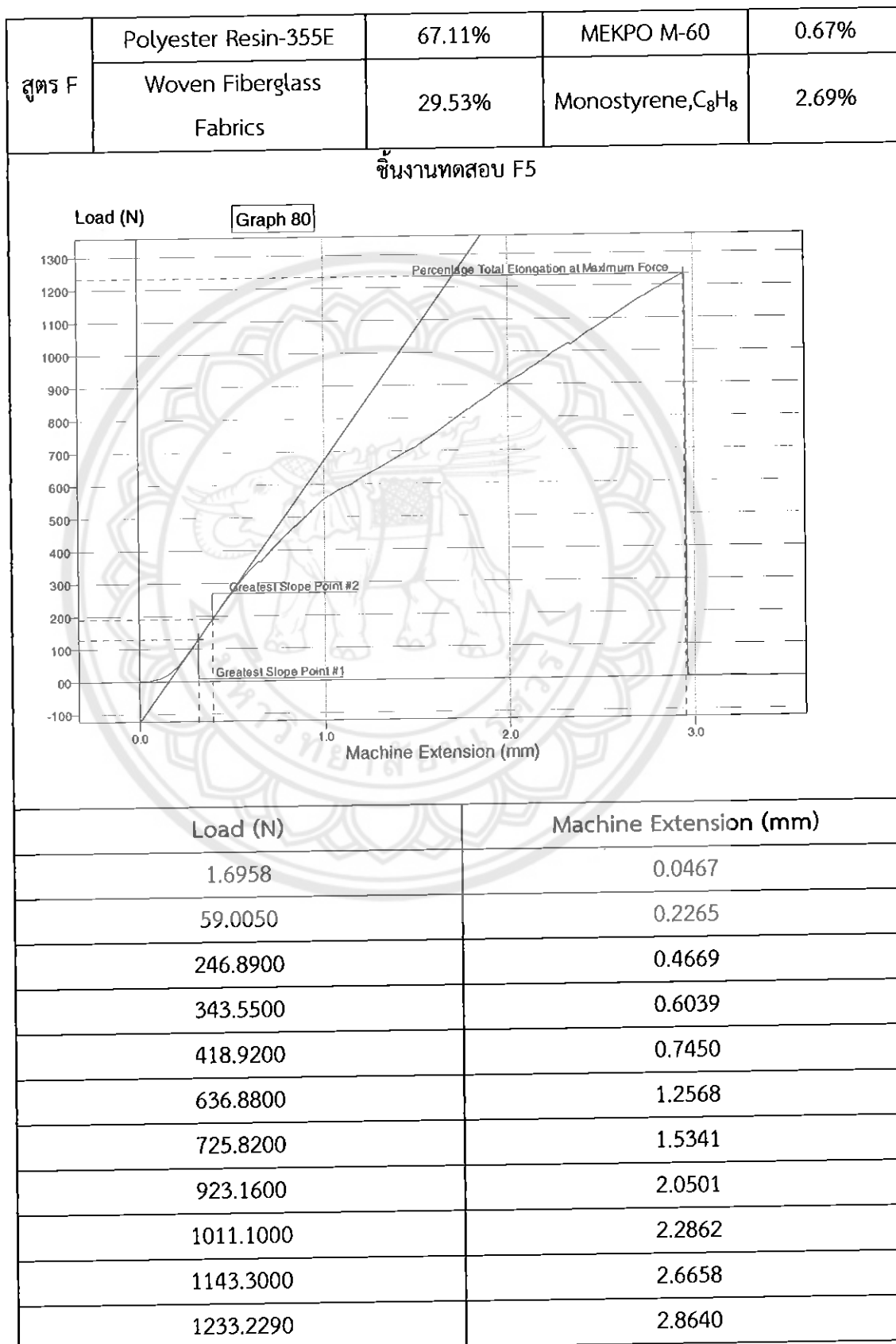
สูตร F	Polyester Resin-355E	67.11%	MEKPO M-60	0.67%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.53%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.69%

ชิ้นงานทดสอบ F4

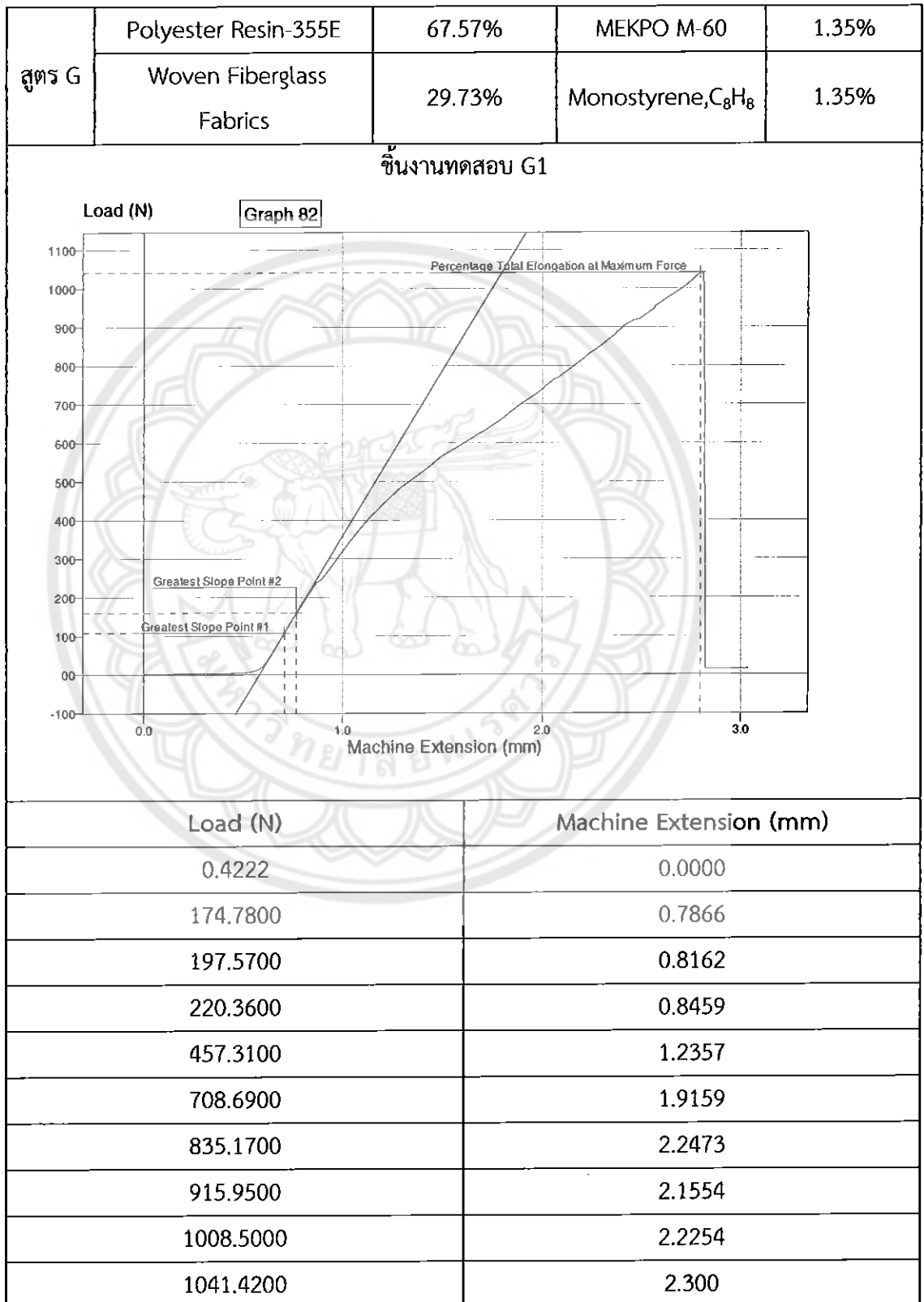


Load (N)	Machine Extension (mm)
0.0530	0.0017
196.9800	0.3686
219.3200	0.4035
342.7500	0.6920
425.0400	0.9399
525.9900	1.2543
628.0900	1.5413
738.3700	1.9699
956.3700	2.6863
1008.0540	2.7940

ตารางที่ ข.10 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ F5



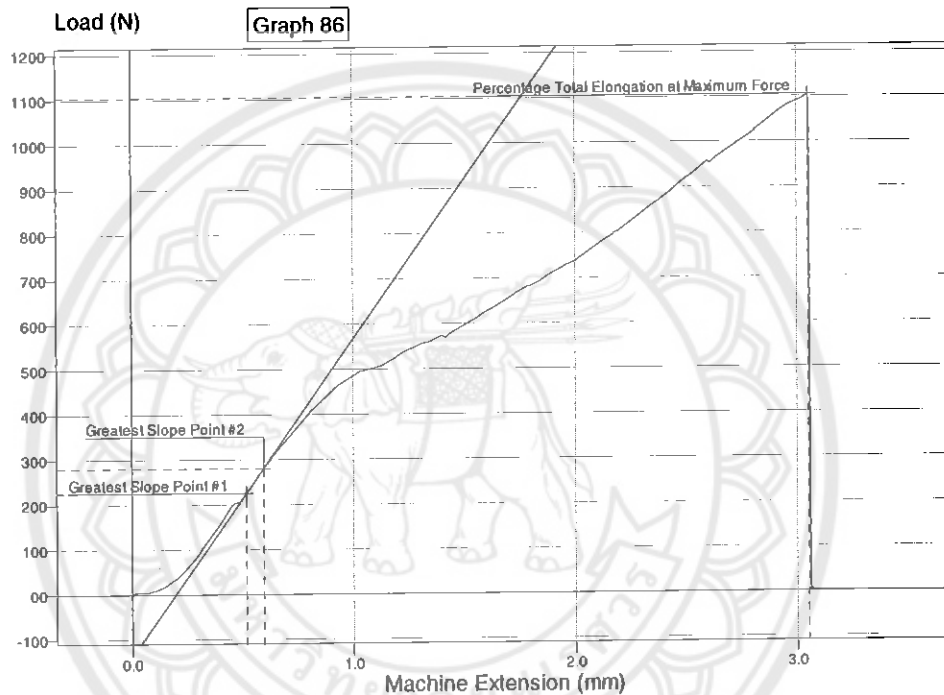
ตารางที่ ข.11 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ G1



ตารางที่ ข.12 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ G2

สูตร G	Polyester Resin-355E	67.57%	MEKPO M-60	1.35%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.73%	Monostyrene, C_8H_8	1.35%

ชิ้นงานทดสอบ G2

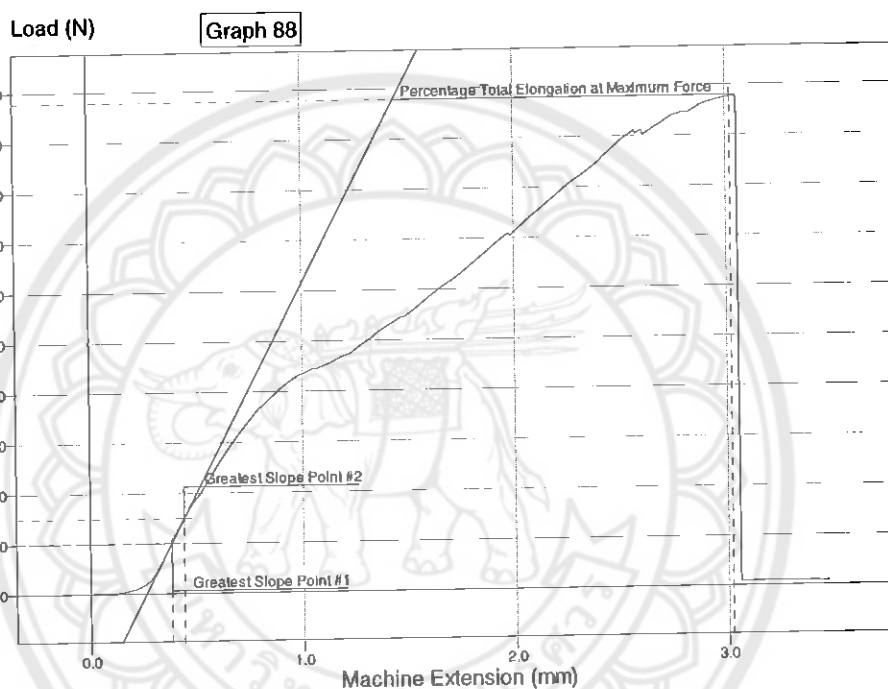


Load (N)	Machine Extension (mm)
0.3815	0.0000
34.8350	0.1960
141.4800	0.3735
205.1400	0.4800
320.9100	0.6578
504.9000	1.1130
721.6300	1.9351
864.6200	2.3605
967.3400	2.6440
1104.1670	2.9800

ตารางที่ ข.13 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ G3

สูตร G	Polyester Resin-355E	67.57%	MEKPO M-60	1.35%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.73%	Monostyrene, C_8H_8	1.35%

ชิ้นงานทดสอบ G3



Load (N)	Machine Extension (mm)
0.1623	0.0426
133.7000	0.4210
230.6900	0.5654
322.4000	0.7110
457.4500	1.1390
537.0300	1.4346
658.5600	1.8267
768.1500	2.1546
863.4300	2.4332
964.3400	2.7104
978.6970	2.8770

ตารางที่ ข.14 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ G4

สูตร G	Polyester Resin-355E	67.57%	MEKPO M-60	1.35%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.73%	Monostyrene, C ₈ H ₈	1.35%

ชิ้นงานทดสอบ G4

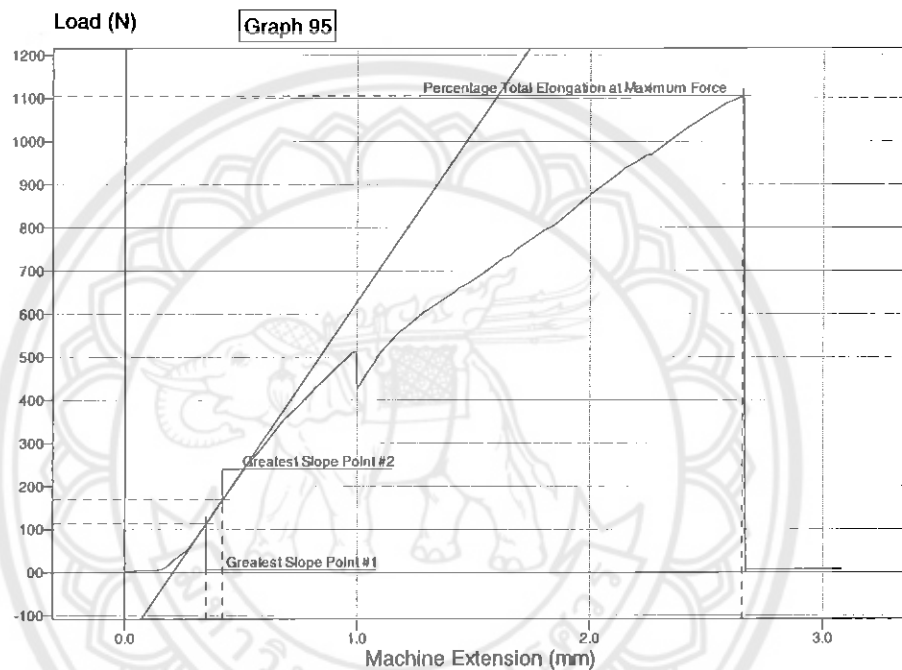
Graph 93

Load (N)	Machine Extension (mm)
0.2622	0.0396
171.4700	0.5863
222.2700	0.7920
356.5500	1.2564
466.5200	1.5132
659.0500	2.0172
766.0100	2.3263
791.7000	3.3062
838.628	3.4960

ตารางที่ ข.15 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ G5

สูตร G	Polyester Resin-355E	67.57%	MEKPO M-60	1.35%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.73%	Monostyrene, C_8H_8	1.35%

ชิ้นงานทดสอบ G5

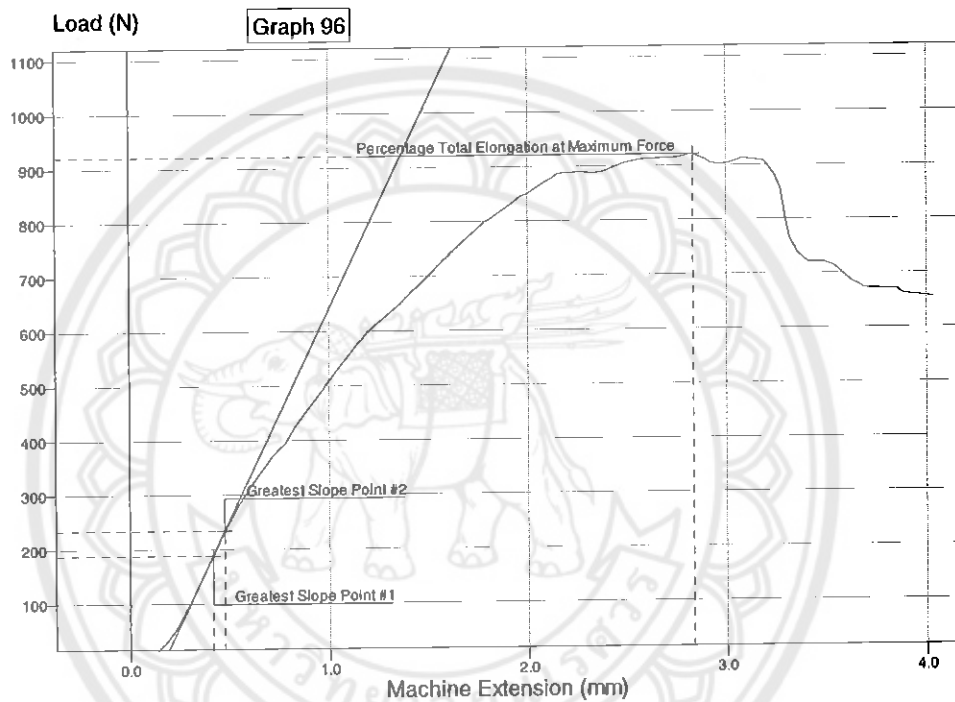


Load (N)	Machine Extension (mm)
0.1144	0.0000
268.8900	0.5554
370.6900	0.7152
458.9600	0.8806
509.8700	0.9766
509.6900	1.0995
748.4900	1.6822
850.1700	1.9434
931.1200	2.1349
1105.4460	2.5240

ตารางที่ ข.16 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ H1

สูตร H	Polyester Resin-355E	67.12%	MEKPO M-60	1.34%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.53%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.01%

ชิ้นงานทดสอบ H1

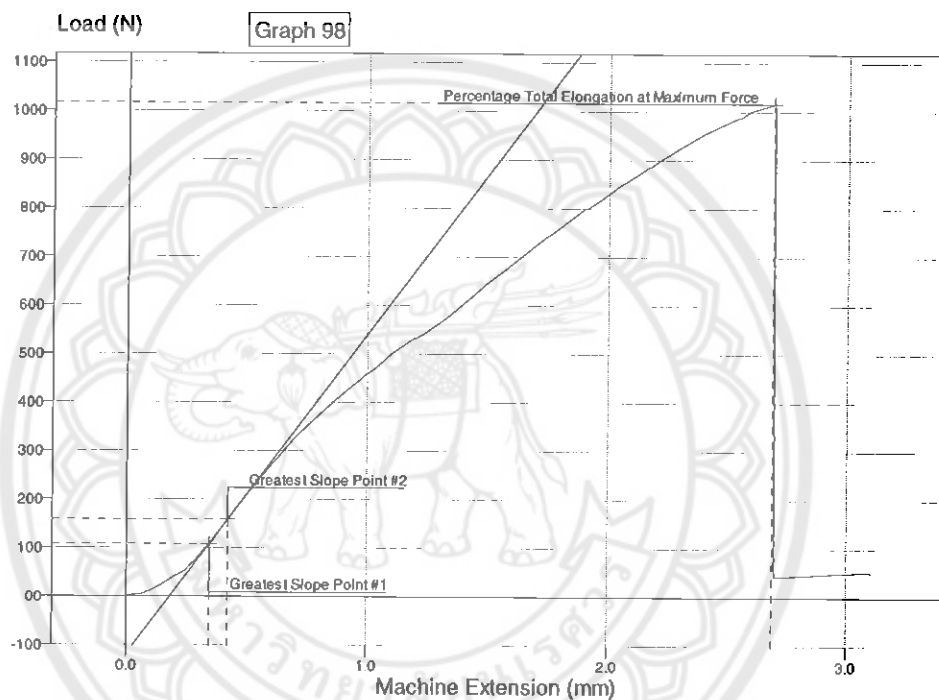


Load (N)	Machine Extension (mm)
3.4964	0.0824
53.8590	0.2327
143.4800	0.3591
267.3600	0.5274
393.9500	0.7804
580.1000	1.1538
758.5900	1.6607
869.7300	2.0800
920.8090	2.7210

ตารางที่ ข.17 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ H2

สูตร H	Polyester Resin-355E	67.12%	MEKPO M-60	1.34%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.53%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.01%

ชิ้นงานทดสอบ H2

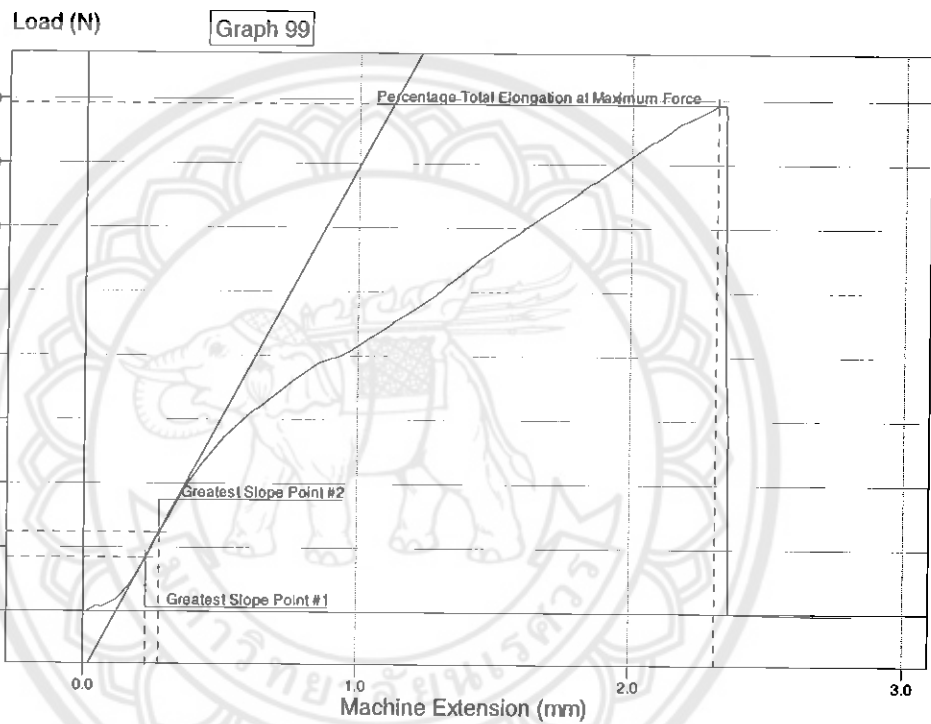


Load (N)	Machine Extension (mm)
1.7733	0.0331
32.1750	0.1720
103.7900	0.3365
231.6400	0.5330
327.6600	0.6982
536.9600	1.2166
766.4100	1.8093
886.0600	2.1684
964.2100	2.4331
1016.3460	2.6200

ตารางที่ ข.18 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ H3

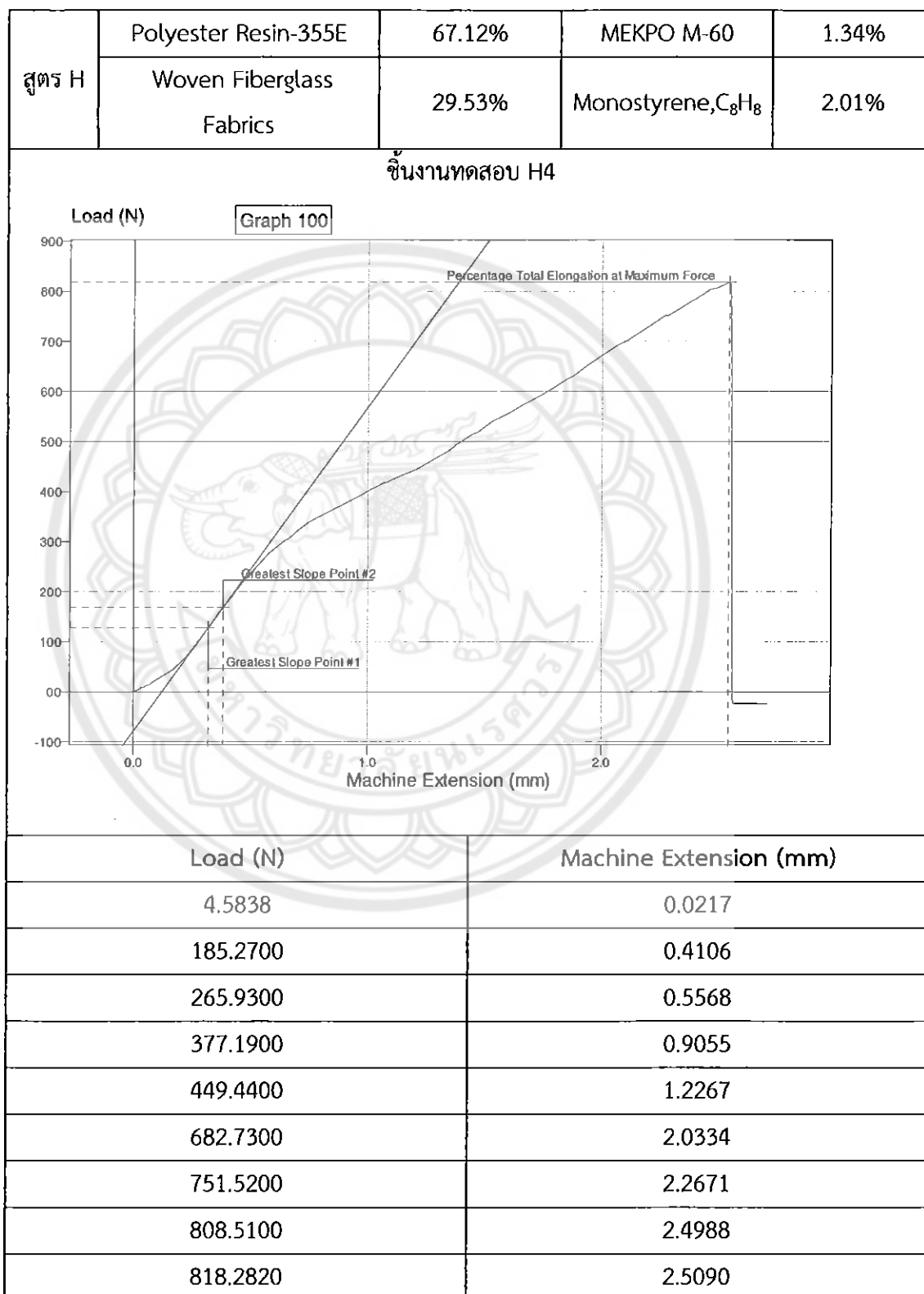
สูตร H	Polyester Resin-355E	67.12%	MEKPO M-60	1.34%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.53%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.01%

ชิ้นงานทดสอบ H3



Load (N)	Machine Extension (mm)
0.2021	0.0000
60.2990	0.1975
150.7900	0.3145
213.4300	0.4025
300.3200	0.5840
401.9000	0.9454
545.4200	1.4273
767.4600	2.2033
792.2660	2.2730

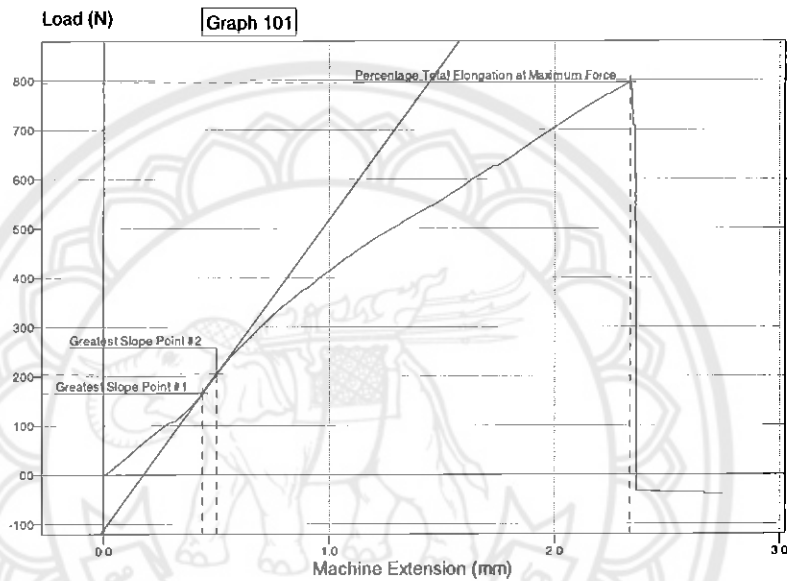
ตารางที่ ข.19 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ H4



ตารางที่ ข.20 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ H5

สูตร H	Polyester Resin-355E	67.12%	MEKPO M-60	1.34%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.53%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.01%

ชิ้นงานทดสอบ H5



Load (N)	Machine Extension (mm)
3.0529	0.0147
15.5860	0.0526
74.9400	0.2054
166.8700	0.4421
265.0600	0.6204
364.0200	0.8536
481.3400	1.2075
544.2300	1.4422
640.0700	1.7906
685.5000	1.9365
762.3400	2.2015
796.0990	2.3080

ตารางที่ ข.21 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ I1

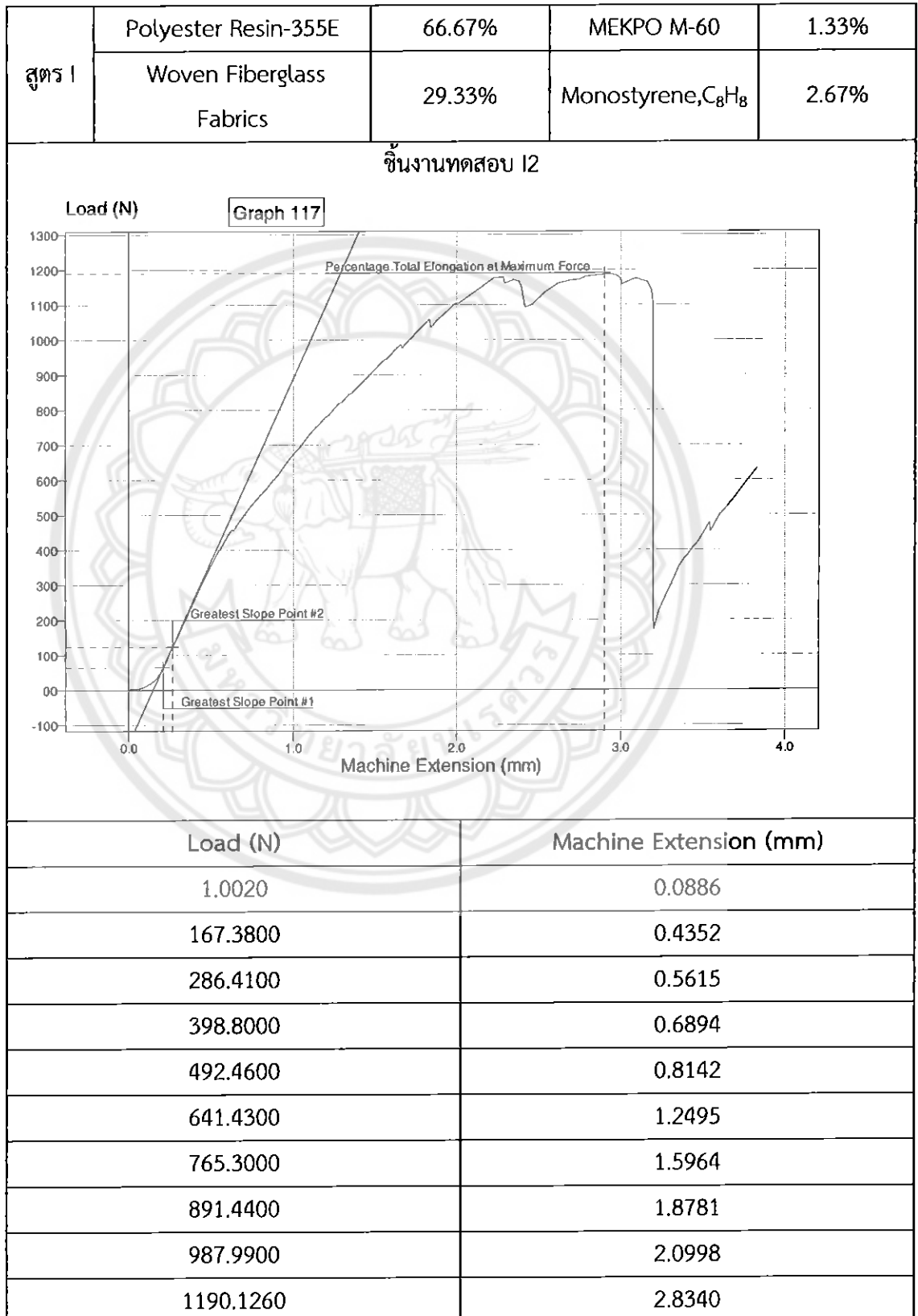
สูตร I	Polyester Resin-355E	66.67%	MEKPO M-60	1.33%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.33%	Monostyrene, C_8H_8	2.67%

ชิ้นงานทดสอบ I1

Graph 111

Load (N)	Machine Extension (mm)
0.3815	0.0000
89.2790	0.1475
180.1000	0.2363
382.6300	0.4707
480.9200	0.6507
581.0400	0.8856
672.9200	1.0912
837.9700	1.5307
946.5400	2.0343
1026.7000	2.2718
1066.0800	2.3290

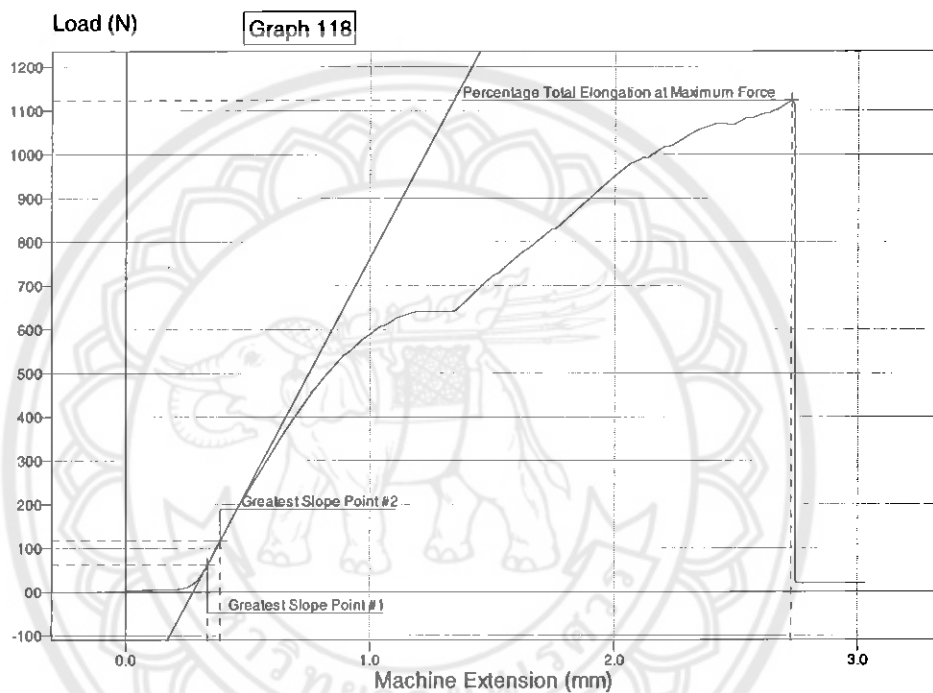
ตารางที่ ข.22 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ I2



ตารางที่ ข.23 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ I3

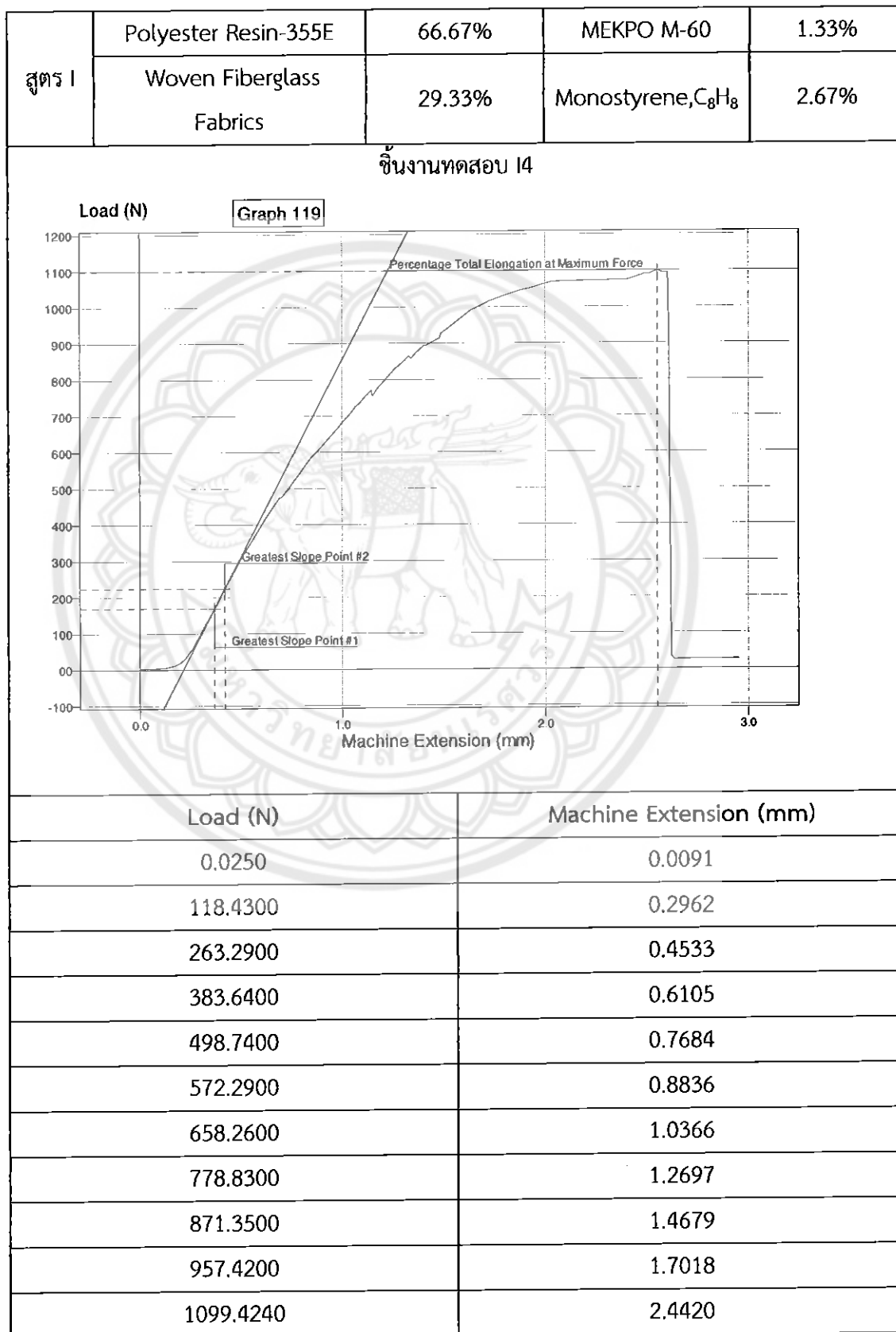
สูตร I	Polyester Resin-355E	66.67%	MEKPO M-60	1.33%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.33%	Monostyrene, C_8H_8	2.67%

ชิ้นงานทดสอบ I3



Load (N)	Machine Extension (mm)
2.5720	0.0765
90.0620	0.2913
153.3300	0.3542
251.5700	0.4467
474.8800	0.6950
587.7100	0.8519
664.6200	0.9764
760.3500	1.1552
973.2100	1.5922
1049.7000	1.9045
1123.4380	2.5390

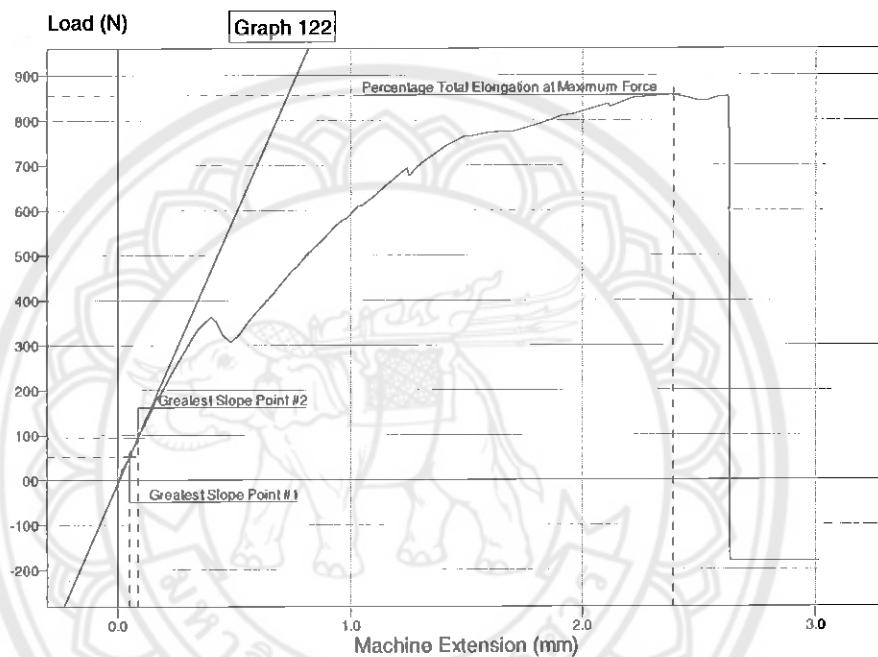
ตารางที่ ข.24 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ I4



ตารางที่ ข.25 ผลการทดสอบวัสดุคอมโพสิตแบบเรซินเสริมใยแก้วแบบทอ I5

สูตร I	Polyester Resin-355E	66.67%	MEKPO M-60	1.33%
	Woven Fiberglass Fabrics	29.33%	Monostyrene, C ₈ H ₈	2.67%

ชิ้นงานทดสอบ I5

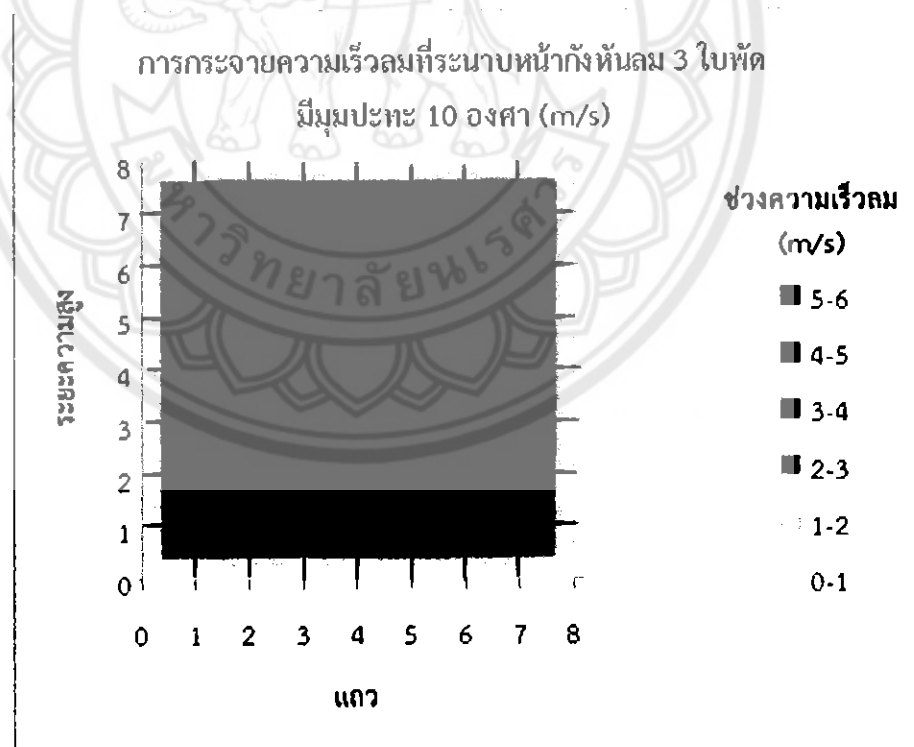


Load (N)	Machine Extension (mm)
0.0143	0.0002
24.9520	0.0214
77.9860	0.0751
181.9500	0.1707
267.4100	0.2658
349.3200	0.5566
479.2600	0.7756
579.5300	0.9673
688.2400	1.2272
768.3500	1.5490
820.6400	2.0027
856.2310	2.3810



ตารางที่ ค.1 การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 10 องศา

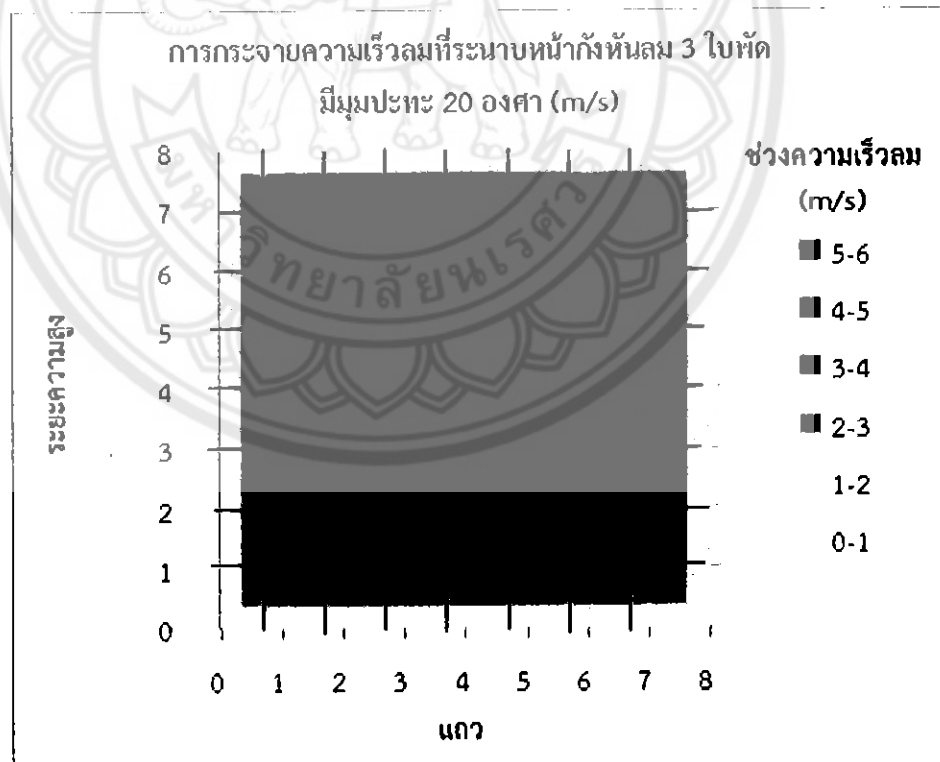
ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 10 องศา (m/s)						
1	5.43	5.45	5.35	5.53	5.61	5.49	5.43
2	5.43	5.40	5.27	5.07	5.47	5.70	5.43
3	5.47	5.77	5.30	5.47	5.60	5.43	5.53
4	5.37	5.50	5.37	5.27	5.33	5.60	5.57
5	5.40	5.53	5.33	5.30	5.60	5.43	5.43
6	5.47	5.50	5.44	5.40	5.40	5.60	5.40
7	5.41	5.61	5.43	5.34	5.46	5.53	5.63
8	5.43	5.45	5.35	5.53	5.61	5.49	5.43
ความเร็วเฉลี่ย	5.45						



รูปที่ ค.1 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากังหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 10 องศา

ตารางที่ ค.2 การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 20 องศา

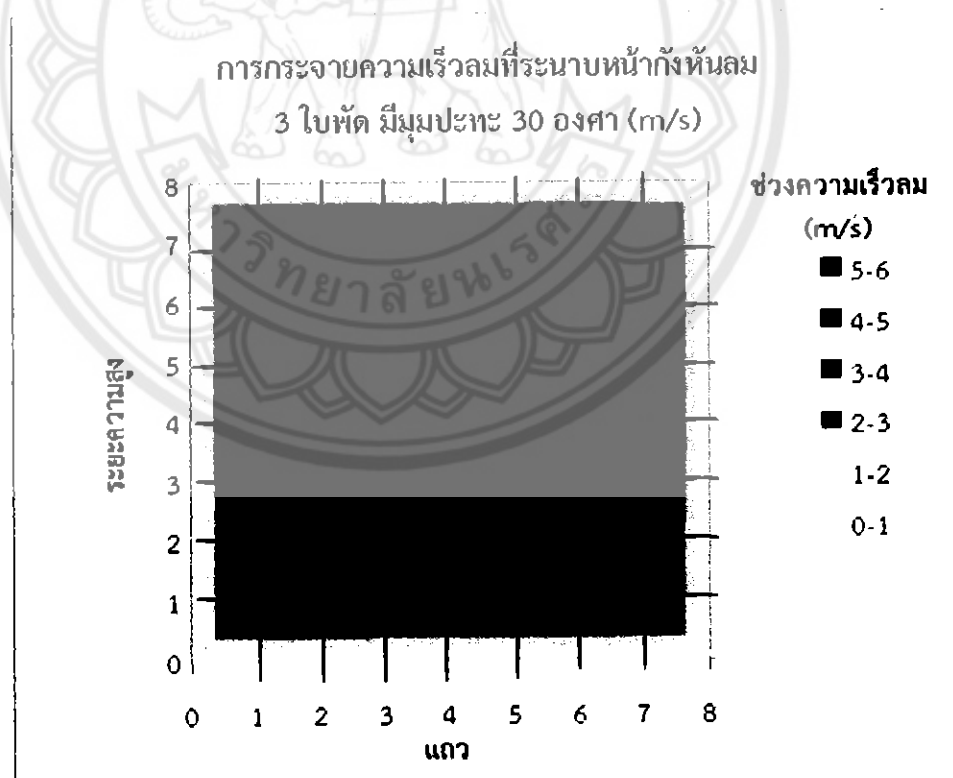
ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 20 องศา (m/s)						
1	5.43	5.47	5.47	5.58	5.46	5.45	5.35
2	5.53	5.43	5.52	5.47	5.45	5.53	5.41
3	5.43	5.43	5.42	5.43	5.47	5.47	5.43
4	5.55	5.35	5.47	5.43	5.53	5.46	5.48
5	5.38	5.46	5.43	5.51	5.46	5.49	5.39
6	5.47	5.46	5.47	5.45	5.34	5.43	5.48
7	5.49	5.48	5.43	5.53	5.43	5.22	5.47
8	5.43	5.47	5.47	5.58	5.46	5.45	5.35
ความเร็วเฉลี่ย	5.45						



รูปที่ ค.2 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากังหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 20 องศา

ตารางที่ ค.3 การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 30 องศา

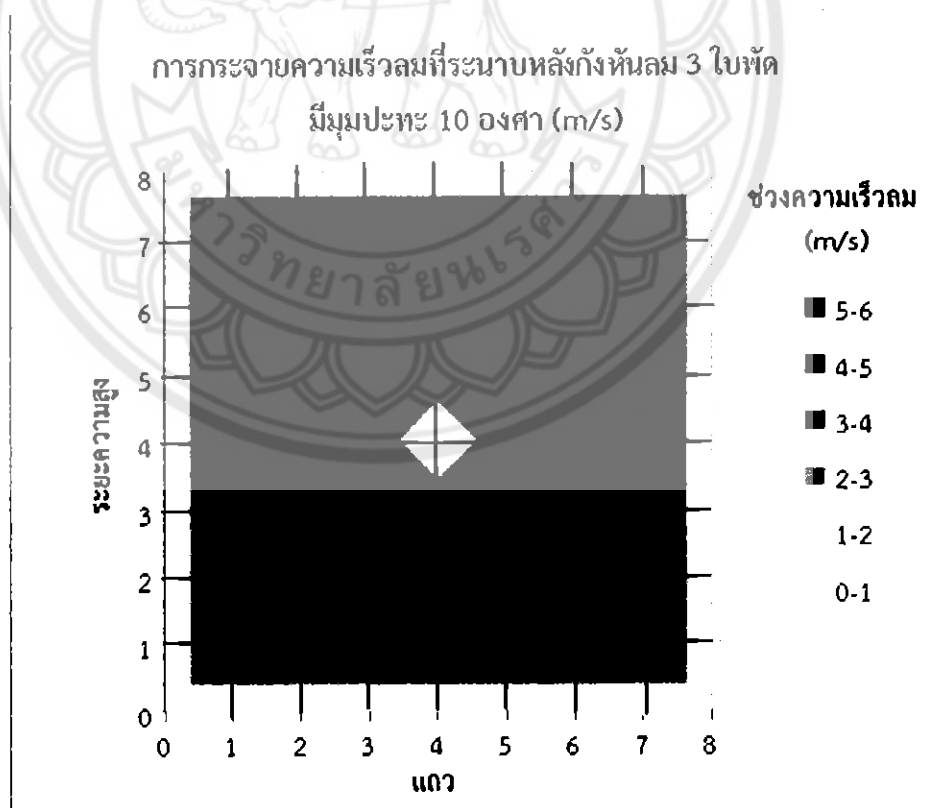
ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 30 องศา (m/s)						
1	5.47	5.53	5.23	5.33	5.43	5.47	5.27
2	5.37	5.61	5.27	5.40	5.39	5.23	5.20
3	5.33	5.33	5.44	5.51	5.55	5.55	5.30
4	5.58	5.44	5.49	5.22	5.57	5.60	5.39
5	5.38	5.37	5.37	5.66	5.60	5.60	5.35
6	5.29	5.71	5.33	5.41	5.54	5.38	5.47
7	5.62	5.70	5.57	5.47	5.37	5.70	5.23
8	5.47	5.53	5.23	5.33	5.43	5.47	5.27
ความเร็วเฉลี่ย	5.44						



รูปที่ ค.3 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากังหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 30 องศา

ตารางที่ ค.4 การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 10 องศา

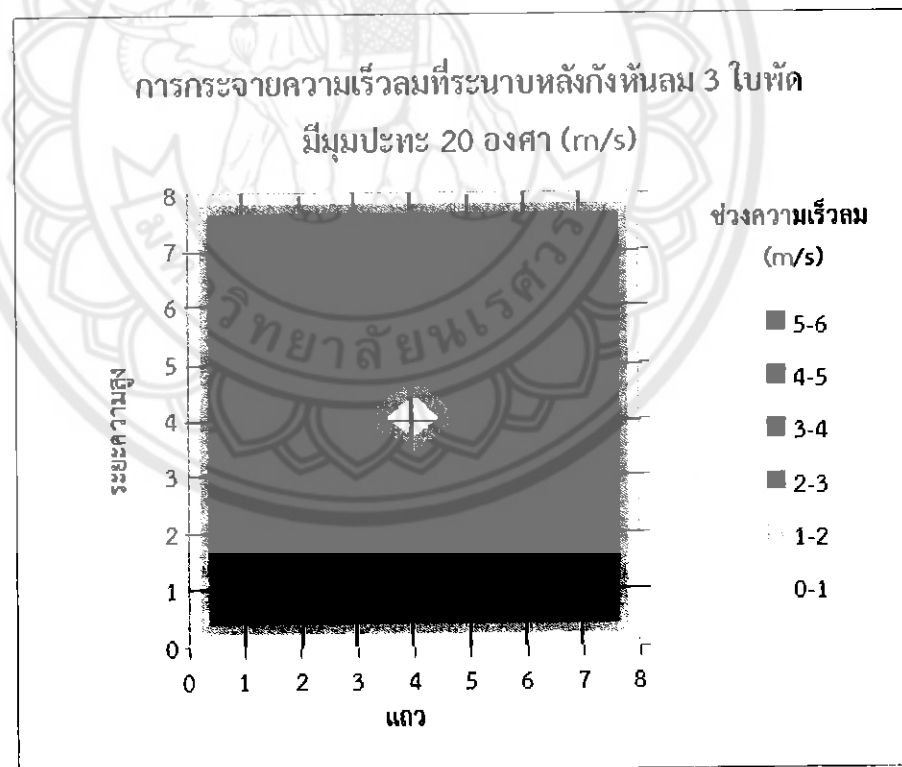
ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 10 องศา (m/s)						
1	5.41	5.30	5.43	5.50	5.49	5.47	5.49
2	5.43	5.13	5.47	4.95	5.45	5.35	5.47
3	5.43	5.43	3.87	3.51	3.93	5.49	5.33
4	5.43	5.45	3.60	0.00	3.47	5.46	5.40
5	5.46	5.35	3.57	3.47	3.37	5.47	5.40
6	5.46	5.37	4.67	4.57	5.43	5.40	5.50
7	5.43	5.47	5.47	5.43	5.47	5.47	5.48
8	5.41	5.30	5.43	5.50	5.49	5.47	5.49
ความเร็วเฉลี่ย	4.98						



รูปที่ ค.4 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกังหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 10 องศา

ตารางที่ ค.5 การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 20 องศา

ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 20 องศา (m/s)						
1	5.37	5.44	5.41	5.33	5.37	5.34	5.35
2	5.43	5.37	5.27	5.31	5.23	5.43	5.40
3	5.31	4.82	4.12	3.25	3.71	4.50	5.47
4	5.27	4.93	2.11	0.00	2.31	4.70	5.36
5	5.12	5.10	3.22	2.61	3.12	4.97	5.34
6	5.22	5.36	5.43	5.25	5.11	5.47	5.47
7	5.31	5.42	5.47	5.46	5.48	5.43	5.47
ความเร็วเฉลี่ย	4.81						

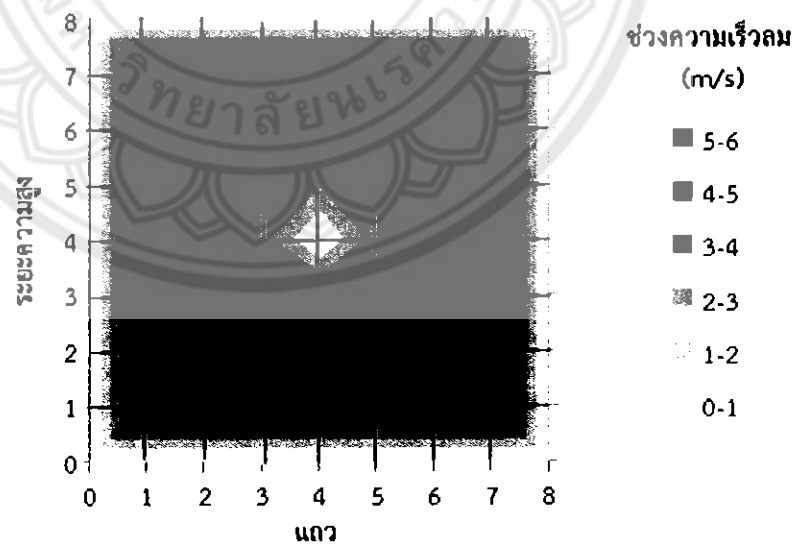


รูปที่ ค.5 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกังหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 20 องศา

ตารางที่ ค.6 การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 30 องศา

ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 3 ใบพัด มีมุมปะทะ 30 องศา (m/s)						
1	5.43	5.47	5.43	5.47	5.37	5.43	5.43
2	5.47	5.43	5.27	4.97	4.13	5.13	5.42
3	5.42	4.32	3.41	3.13	3.20	4.13	5.47
4	5.46	4.28	2.33	0.00	2.50	4.17	5.47
5	5.45	4.17	3.23	2.13	3.67	4.13	5.50
6	5.41	5.13	4.33	4.13	4.22	5.23	5.27
7	5.47	5.45	5.49	5.33	5.43	5.38	5.43
8	5.43	5.47	5.43	5.47	5.37	5.43	5.43
ความเร็วเฉลี่ย	4.64						

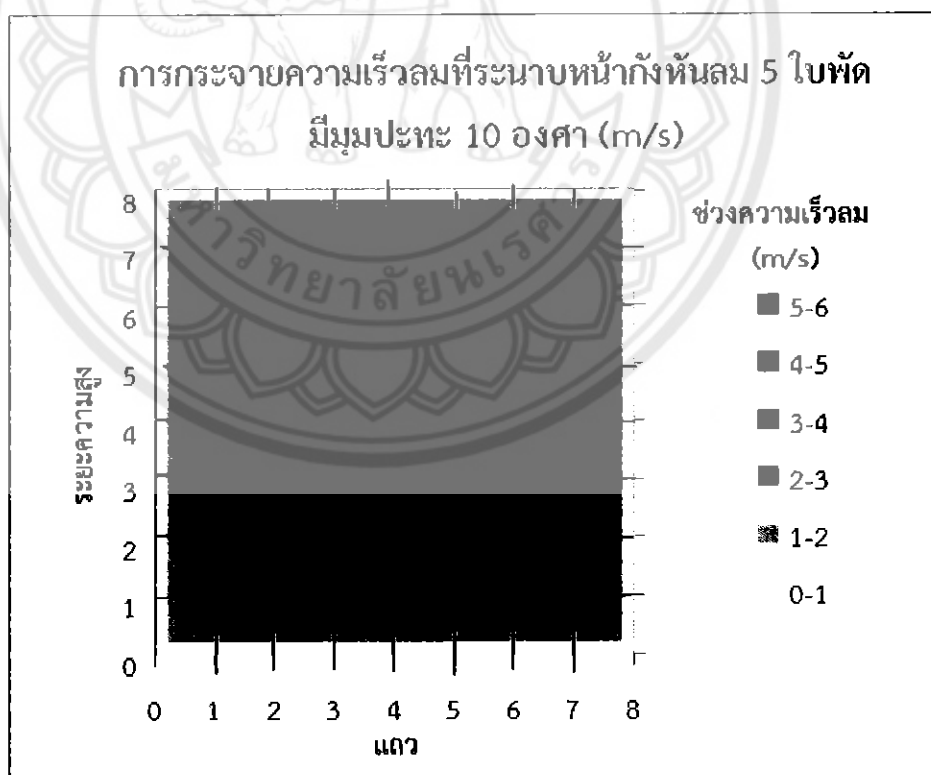
การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกังหันลม 3 ใบพัด
มีมุมปะทะ 30 องศา (m/s)



รูปที่ ค.6 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกังหันลม 3 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 30 องศา

ตารางที่ ค.7 การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 10 องศา

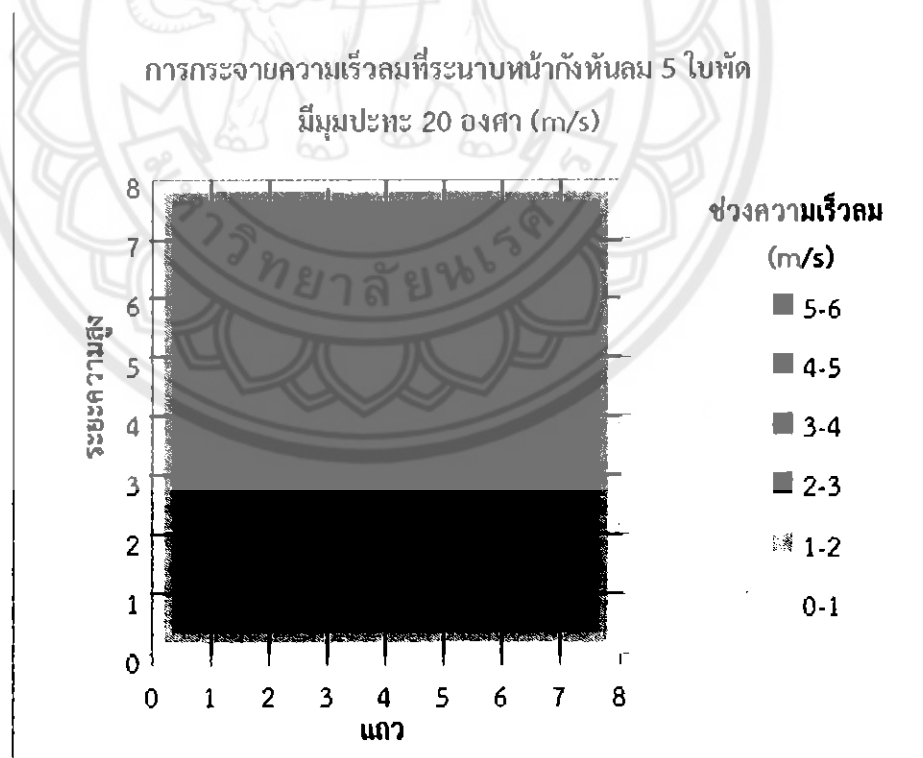
ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 10 องศา (m/s)						
1	5.46	5.47	5.44	5.50	5.48	5.45	5.44
2	5.48	5.48	5.43	5.20	5.30	5.41	5.48
3	5.45	5.32	5.44	5.44	5.44	5.43	5.40
4	5.47	5.50	5.44	5.48	5.43	5.49	5.44
5	5.49	5.47	5.48	5.45	5.55	5.49	5.48
6	5.47	5.47	5.47	5.46	5.36	5.37	5.47
7	5.48	5.47	5.46	5.48	5.39	5.49	5.42
8	5.46	5.47	5.44	5.50	5.48	5.45	5.44
ความเร็วเฉลี่ย	5.45						



รูปที่ ค.7 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากังหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 10 องศา

ตารางที่ ค.8 การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 20 องศา

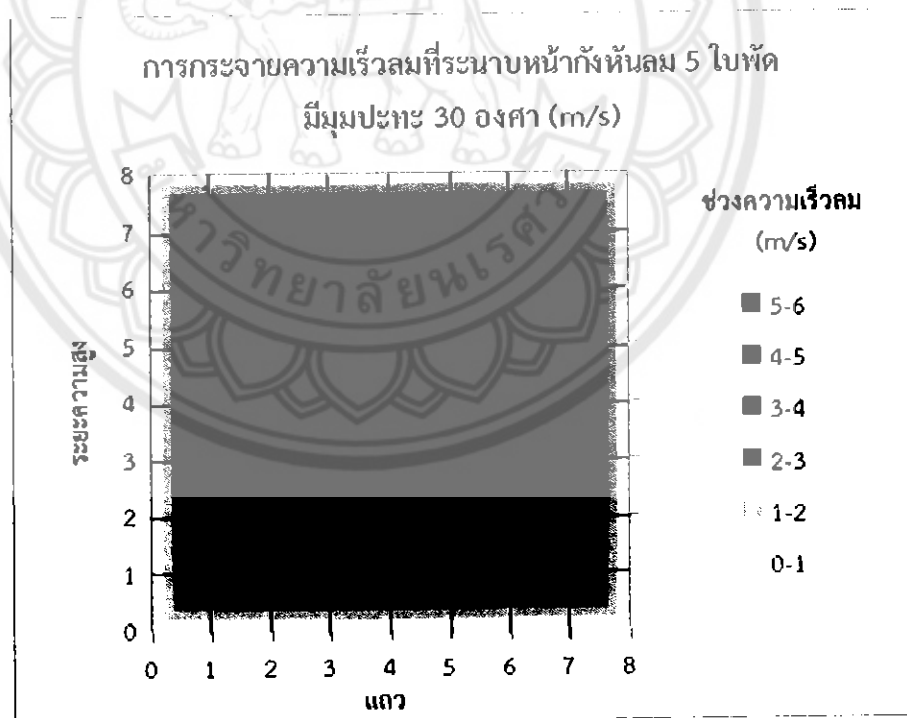
ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 20 องศา (m/s)						
1	5.48	5.44	5.48	5.46	5.41	5.37	5.46
2	5.47	5.45	5.47	5.49	5.46	5.47	5.43
3	5.45	5.44	5.42	5.47	5.44	5.49	5.34
4	5.47	5.43	5.46	5.22	5.37	5.45	5.39
5	5.49	5.41	5.44	5.38	5.33	5.47	5.49
6	5.49	5.49	5.46	5.37	5.45	5.47	5.38
7	5.44	5.47	5.42	5.31	5.51	5.44	5.34
8	5.48	5.44	5.48	5.46	5.41	5.37	5.46
ความเร็วเฉลี่ย	5.43						



รูปที่ ค.8 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากังหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 20 องศา

ตารางที่ ค.9 การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 30 องศา

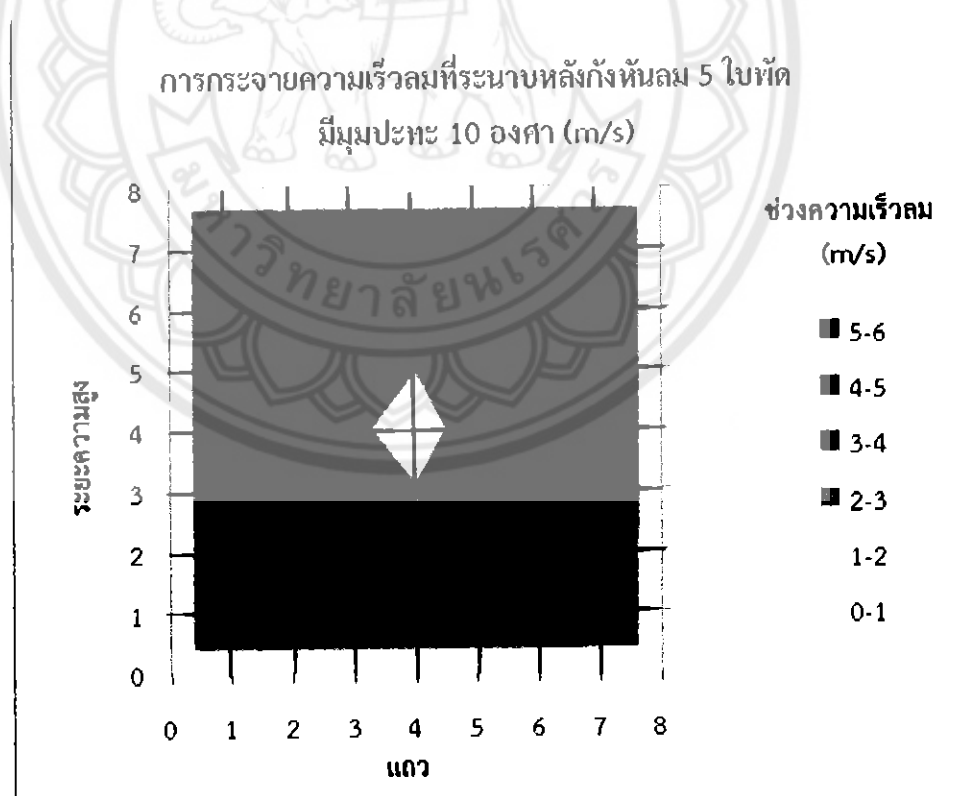
ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหน้ากังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 30 องศา (m/s)						
1	5.22	5.55	5.44	5.63	5.43	5.29	5.23
2	5.53	5.43	5.39	5.47	5.28	5.49	5.47
3	5.27	5.37	5.33	5.39	5.38	5.45	5.34
4	5.61	5.51	5.47	5.44	5.35	5.47	5.24
5	5.35	5.28	5.29	5.35	5.47	5.37	5.35
6	5.34	5.33	5.38	5.51	5.56	5.32	5.61
7	5.61	5.44	5.56	5.52	5.61	5.44	5.47
8	5.22	5.55	5.44	5.63	5.43	5.29	5.23
ความเร็วเฉลี่ย	5.42						



รูปที่ ค.9 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหน้ากังหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 30 องศา

ตารางที่ ค.10 การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 10 องศา

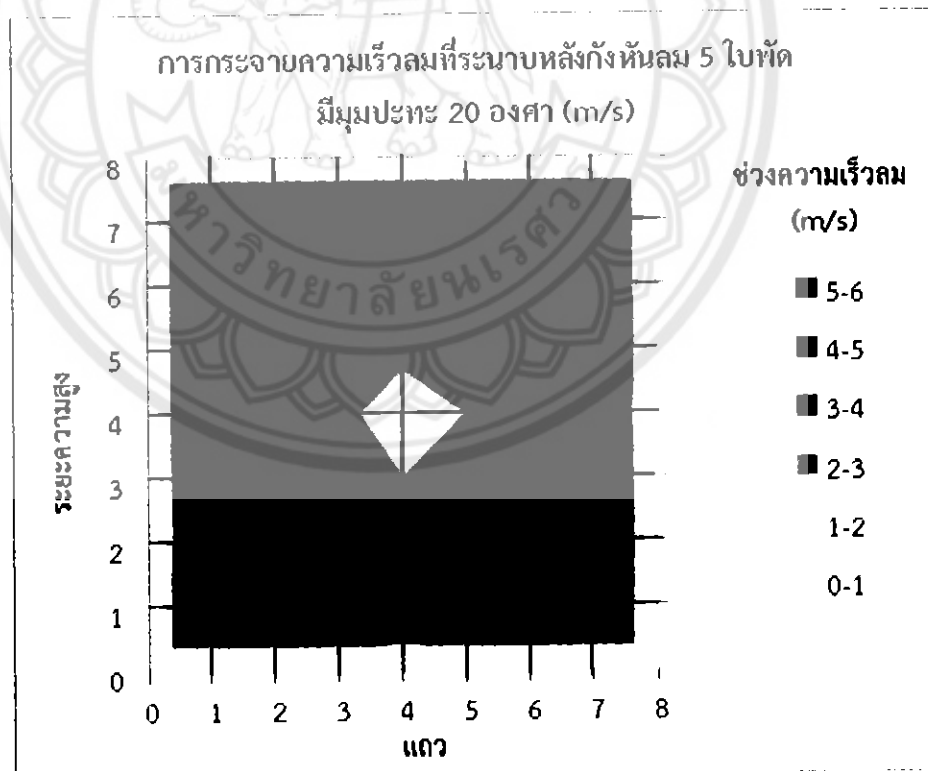
ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 10 องศา (m/s)						
1	5.42	5.47	5.41	5.49	5.47	5.49	5.23
2	5.42	4.98	4.82	4.39	4.42	5.45	5.12
3	5.37	4.72	3.54	2.20	4.22	5.34	5.48
4	5.48	4.67	2.77	0.00	4.11	5.35	5.44
5	5.43	5.09	2.98	2.12	4.27	5.23	5.47
6	5.42	5.15	4.37	4.34	4.84	5.18	5.41
7	5.44	5.34	5.47	5.34	5.41	5.49	5.47
8	5.42	5.47	5.41	5.49	5.47	5.49	5.23
ความเร็วเฉลี่ย	4.79						



รูปที่ ค.10 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกังหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 10 องศา

ตารางที่ ค.11 การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 20 องศา

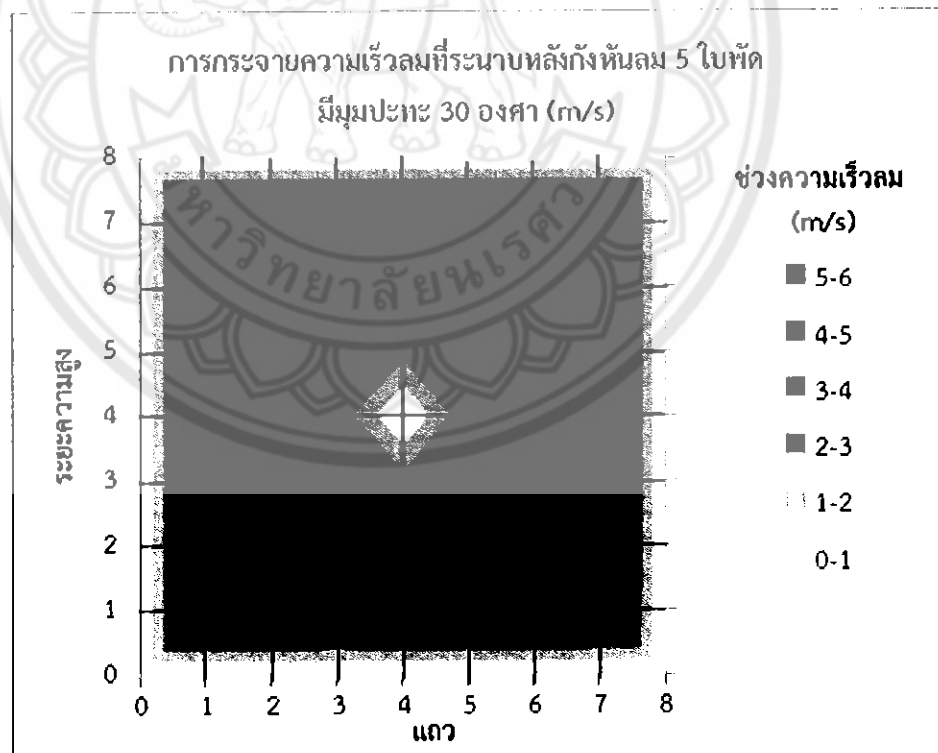
ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 20 องศา (m/s)						
1	5.41	5.49	5.46	4.82	5.41	5.48	5.37
2	5.21	4.45	5.12	4.58	5.26	5.47	5.47
3	5.23	4.94	3.78	2.03	3.86	3.72	5.44
4	5.46	4.98	2.98	0.00	2.03	2.96	5.03
5	5.34	4.02	2.65	2.89	3.75	3.65	5.47
6	5.43	5.25	4.27	4.42	5.16	5.12	5.31
7	5.42	5.48	5.49	5.45	5.47	5.49	5.41
8	5.41	5.49	5.46	4.82	5.41	5.48	5.37
ความเร็วเฉลี่ย	4.62						



รูปที่ ค.11 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกังหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 20 องศา

ตารางที่ ค.12 การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 30 องศา

ระยะความสูง	การกระจายความเร็วลมหลังกังหันลม 5 ใบพัด มีมุมปะทะ 30 องศา(m/s)						
1	5.49	5.49	5.01	5.47	5.50	5.47	5.07
2	5.49	4.37	4.48	4.31	4.33	4.47	5.45
3	5.48	4.19	3.21	2.23	3.02	4.77	5.46
4	5.42	3.14	2.52	0.00	2.74	3.12	5.44
5	5.47	3.46	3.11	2.32	3.02	3.71	5.46
6	5.47	4.21	4.35	4.48	3.87	4.35	5.48
7	5.42	5.39	5.49	5.48	5.47	5.49	5.49
8	5.49	5.49	5.01	5.47	5.50	5.47	5.07
ความเร็วเฉลี่ย	4.45						



รูปที่ ค.12 การกระจายความเร็วลมที่ระนาบหลังกังหันลม 5 ใบพัด ที่มีมุมปะทะ 30 องศา



ภาคผนวก ง

การคำนวณ

มหาวิทยาลัยพระนคร

การคำนวณประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันลมและประสิทธิภาพของกังหันลม

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันและประสิทธิภาพของกังหันชนิด 3 ใบพัด
ที่มุมปะทะ 10 องศา

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A v_1^3$$

$$= (0.5)(1.23)(\pi \times 0.15^2)(5.45^3)$$

$$= 7.04 \text{ W}$$

$$P_w = P_w = \frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2)$$

$$= (0.25)(1.23)(\pi \times 0.15^2)(5.45^2 - 4.98^2)(5.45 + 4.98)$$

$$= 1.11 \text{ W}$$

$$T = F \times r$$

$$= (0.91)(0.004)$$

$$= 3.64 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

$$= \frac{2\pi \times 910.19}{60}$$

$$= 95.31 \text{ rad/s}$$

$$P_{out} = T \times \omega$$

$$= 3.64 \times 10^{-3} \times 95.31$$

$$= 0.35 \text{ W}$$

ประสิทธิภาพเชิงกลของกังหัน

$$\eta_M = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$= \frac{0.35}{7.04}$$

$$= 0.0493 \text{ หรือประมาณ } 4.93\%$$

ประสิทธิภาพของกังหัน

$$\eta_T = \frac{P_w}{P_{in}}$$

$$= \frac{1.11}{7.04}$$

$$= 0.1579 \text{ หรือประมาณ } 15.79\%$$

การคำนวณหาค่า Reynolds Number

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

การหาค่า D จากหน้าตัดทรงสี่เหลี่ยม 50x50 cm

จากสมการ $D_H = 4$

$$= 4 \times$$

กำหนดให้ ความเร็วของอากาศ = 5 m/s

จากตาราง คุณสมบัติของอากาศที่ความดันบรรยากาศ

ที่อุณหภูมิ (T) = 35 °C

$$\rho = 1.146 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.865 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$$

จะได้

$$Re = \frac{1.146 \times 5 \times 0.5}{1.865 \times 10^{-5}}$$

$$= 1.536 \times 10^5$$

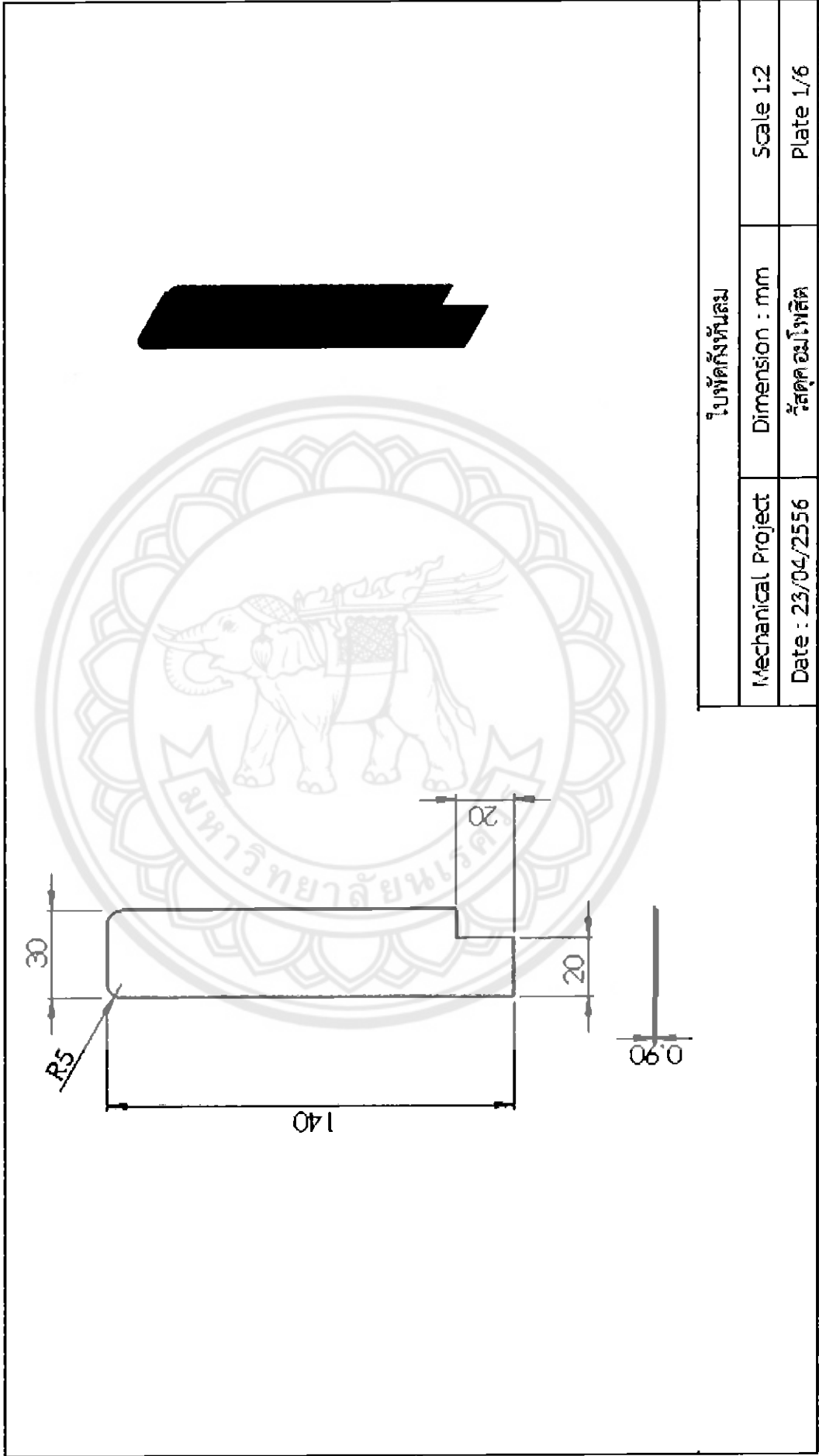
(>4000, การไหลแบบปั่นป่วน)



ภาคผนวก จ

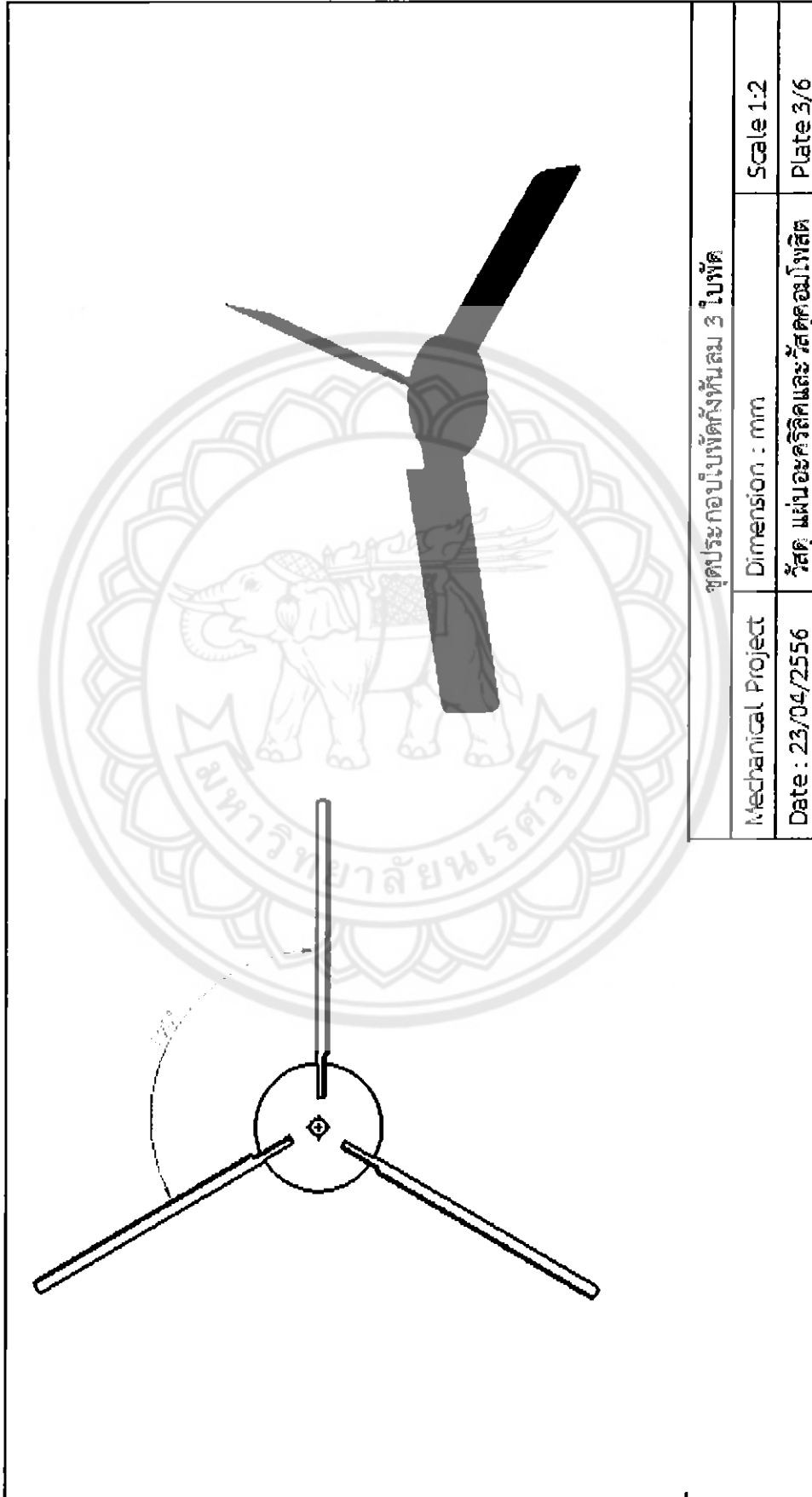
แบบร่างกึ่งหันลม

มหาวิทยาลัยพระนคร



Drawing of a mechanical part showing a circular cross-section and a side view. The circular view includes a diameter of 80, a 10-degree angle, and a 14mm dimension. The side view shows a length of 9.

วิทยาลัยโปเบพิทักษ์ทั้งหมด 3 เบบัดมมมมปะทะ 10 องศก	
Mechanical Project	Dimension : mm Scale 1:1.5
Date : 23/04/2556	วัสดุ แผ่นอะคริลิก Plate 2/6

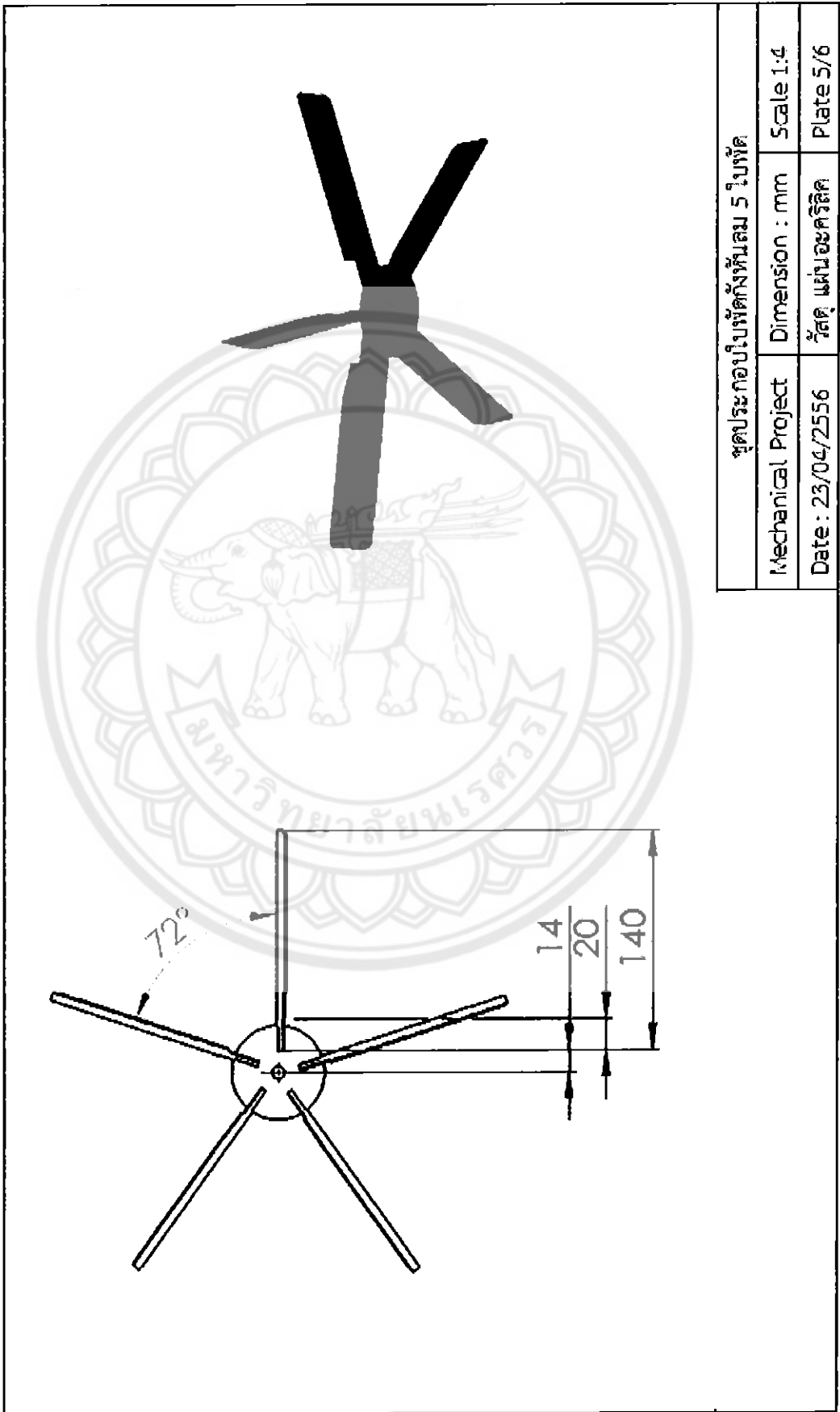


ชุดประกอบใบพัดกังหันลม 3 ใบพัด

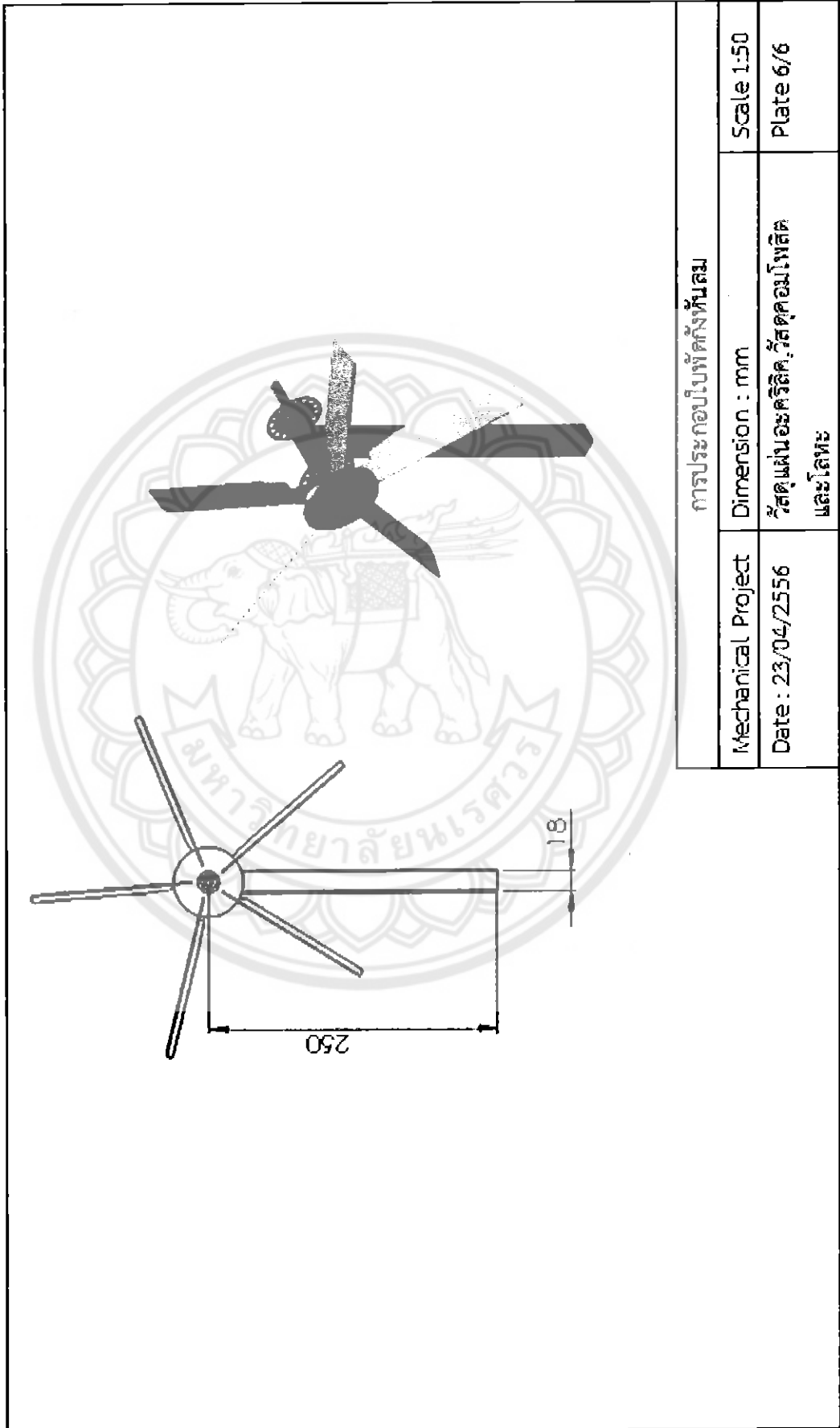
Mechanical Project	Dimension : mm	Scale 1:2
Date : 23/04/2556	วัสดุ แผ่นอะคริลิกและวัสดุคอมโพสิต	Plate 3/6

Technical drawing of a mechanical part. The drawing includes a circular cross-section and a side view. The circular view shows a diameter of 80, a hole diameter of 14, and a 10-degree chamfered edge. The side view shows a length of 5. A watermark of a university logo is visible in the background.

ตัวยัดจับใบพัดค้ำทั้งหมด 5 ใบทั้งหมดมีมุมปะทะ 10 องศา		
Mechanical Project	Dimension : mm	Scale 1:1.5
Date : 23/04/2556	วัสดุ แผ่นอะคริลิก Plate 4/6	



ชุดประกอบใบพัดกังหันลม 5 ใบพัด		
Mechanical Project	Dimension : mm	Scale 1:4
Date : 23/04/2556	วัสดุ แผ่นอะคริลิค	Plate 5/6



การประกอบใบพัดกังหันลม	
Mechanical Project	Scale 1:50
Date : 23/04/2556	Plate 6/6
Dimension : mm	
วัสดุแผ่นอะคริลิค, วัสดุคอมโพสิต และโลหะ	