กังหันลมพลังงานธรรมชาติ

WIND TURBINE

นายธนาวุฒิ ไชยลังกา รหัส 49380875

นายสุริยาวุธ รู้เกณฑ์ รหัส 49381537

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 7 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน 15063929 ปร.
เลขเรียกหนังสือ ช252ก
มหาวิทยาลัยนเรศวร 2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน กังหันลมพลังงานธรรมชาติ

ผู้ดำเนินโครงงาน นายธนาวุฒิ ไชยลังกา รหัส 49380875

นายสุริยาวุธ รู้เกณฑ์ รหัส 49381537

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง

ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน อาจารย์ประเทือง โมรารายย

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2552

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(อาจารย์กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน)

.....กรรมการ

(อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น)

.....กรรมการ

(อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์วัฒเนชัย เยาวรัตน์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	กังหันลมพลังงานธรรมชาติ	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายธนาวุฒิ ไชยลังกา	รหัส 49380875
	นายสุริยาวุธ รู้เกณฑ์	รหัส 49381537
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง	
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	ครูช่างประเทือง โมราราย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2552	

บทคัดย่อ

กังหันลมพลังงานธรรมชาติที่สร้างขึ้นนี้เพื่อใช้ในการปั๊มน้ำเพื่อการเกษตรกรรม เพื่อลดการใช้พลังไม่ว่าจะเป็นไฟฟ้าหรือน้ำมัน โดยเราจะใช้พลังงานจากลมซึ่งมีอยู่ทั่วไปมาใช้ประโยชน์ในการปั๊มน้ำเพื่อในการเกษตร โดยคำนวณและทำการการออกแบบกังหันลมจะเป็นกังหันลมในแนวแกนตั้งแบบซาโวเนียสผสมกับแบบสปลิตซาโวเนียสเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติคิดจากปริมาณน้ำที่ได้จากการปั๊ม (Output) และความเร็วลม (Input) หรือ $\eta = \frac{output}{input}$

ปั๊มน้ำเป็นประเภทปั๊มชักที่สามารถทำงานได้แม้แรงบิดน้อย โครงสร้างมีความแข็งแรง สามารถที่จะถอดประกอบ และเคลื่อนย้ายได้ โดยออกแบบในการสร้างกังหันลมพลังงานธรรมชาติขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการบำรุงรักษาและเกษตรกรสามารถสร้างเองได้ในชุมชน โดยใช้ค่าใช้จ่ายเพียงเล็กน้อย และอุปกรณ์ที่ใช้ก็หาซื้อได้ง่าย

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเรื่องกังหันลมพลังงานธรรมชาติที่สร้างขึ้นนี้ประสบผลสำเร็จ และลุล่วงไปได้นั้น ต้องขอขอบคุณ อาจารย์กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่คอยกระตุ้นและติดตามให้คำแนะนำทุกๆ เรื่องในการทำโครงงานนี้เป็นอย่างดีตลอดมา และขอขอบคุณครูช่างประเทือง โมราราย ที่ปรึกษาร่วมที่คอยให้คำปรึกษาในส่วนของการสร้างกังหันลมพลังงานธรรมชาติ

ขอขอบคุณอาจารย์และบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่คอยตักเตือนและให้คำแนะนำในการทำโครงงานนี้เป็นอย่างดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ ตักเตือน สั่งสอนและให้ทุนในการทำโครงงานจนประสบผลสำเร็จ

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายธนาวุฒิ ไชยลังกา
นายสุริยาวุธ รู้เกณฑ์
เมษายน 2553

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย..... ข

กิตติกรรมประกาศ..... ค

สารบัญ..... ง

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญรูป..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน..... 1

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)..... 1

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ(Outcome)..... 1

1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย..... 1

1.6 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย..... 2

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย..... 2

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)..... 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 พลังงานลม..... 3

2.2 เทคโนโลยีกังหันลม..... 5

2.3 รูปแบบเทคโนโลยีกังหันลม..... 6

2.4 เทคโนโลยีกังหันลมสูบน้ำ..... 8

2.5 ระบบใบพัดกังหัน..... 12

2.6 ระบบส่งกำลัง..... 17

2.7 ปั๊มน้ำ..... 22

2.8 ลักษณะการไหลในท่อ..... 24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9 ระบบ Safety..... 26

2.10 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression)..... 26

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล..... 30

3.2 การคำนวณส่วนต่างๆ..... 30

3.3 ออกแบบและวางแผนในการสร้างกังหันลม..... 30

3.4 จัดซื้อจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือ..... 31

3.5 สร้างกังหันลมตามที่ได้ออกแบบไว้..... 31

3.6 ทดลองและทำการปรับปรุงแก้ไข..... 31

3.7 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติของปริมาณความเร็วลม..... 32

3.8 การออกแบบและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่อปริมาณของน้ำที่ปั๊มได้..... 32

3.9 การหาประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ..... 33

3.10 สรุปและประเมินผลการทำโครงการ..... 34

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 การคำนวณ..... 35

4.2 การออกแบบ..... 38

4.3 การเลือกและจัดซื้ออุปกรณ์..... 43

4.4 การสร้างกังหันลมปั๊มน้ำ..... 46

4.5 การปรับปรุงแก้ไข..... 55

4.6 การทดลองหาความเร็วที่ได้จากพัดลม..... 57

4.7 การวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่อปริมาณของน้ำที่ปั๊มได้..... 64

4.8 การหาประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ..... 65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

5.1 สรุปผล..... 67

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 68

เอกสารอ้างอิง..... 70

ภาคผนวก ก งานเขียนแบบ..... 71

ภาคผนวก ข การหาสมการถดถอย..... 97

ภาคผนวก ค คู่มือการใช้งานและบำรุงรักษากังหันลมพลังงานธรรมชาติ..... 102

ภาคผนวก ง ตารางอ้างอิง..... 105

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนและแผนการทำงาน	2
2.1	ความหนาแน่นของอากาศ ρ เทียบกับอุณหภูมิ°C	17
3.1	ตารางบันทึกค่าวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ	33
4.1	ข้อดีข้อเสียของปั๊มน้ำแบบลูกสูบ	42
4.2	ข้อดีข้อเสียของท่อสายยาง	43
4.3	ข้อดีข้อเสียของเช็ควาล์ว	44
4.4	ข้อดีข้อเสียของแผ่นอลูมิเนียม	45
4.5	ข้อดีข้อเสียของตลับลูกปืนตุ๊กตา	46
4.6	บันทึกค่าความเร็วลมที่พัดลมผลิตได้	59
4.7	บันทึกค่าปริมาณของน้ำที่ได้จากการทดลอง	60
4.8	บันทึกค่าวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ	64
4.9	ตาราง ANOVA	65
4.10	ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ	65
5.1	ตารางแสดงช่วงอัตราการไหลของน้ำในแต่ช่วงความเร็วลม	68
ข.1	ค่าที่ได้จากการคำนวณของการปั๊มน้ำของกังหันลม	98
ค.1	ลักษณะสำคัญของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ	103
ง.1	ค่าวิกฤติของ t	106
ง.2	ตาราง ANOVA ที่นัยสำคัญ 0.05	108

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนที่แสดงพลังงานลม ในประเทศไทย(หน่วย: วัตต์/ตารางเมตร)	5
2.2	กังหันลมแนวแกนตั้ง	7
2.3	กังหันลมแนวแกนนอน	8
2.4	รางและระหัดไม้วิดน้ำ	9
2.5	ส่วนประกอบของกังหันลมสูบน้ำ	10
2.6	กังหันลมแนวแกนนอน	11
2.7	ลักษณะใบพัดกังหันลมแนวตั้ง	12
2.8	ใบพัดกังหันลมแบบผสมระหว่าง ซาโวเนียส และสปลิตซาโวเนียส	13
2.9	ชนิดของใบกังหันลมต่างๆ	13
2.10	กังหันลมประเภทแกนนอน	15
2.11	กังหันลมประเภทแกนตั้ง	16
2.12	แสดงการหมุนของเฟือง	18
2.13	แสดงลักษณะการขบกัน	19
2.14	การขับด้วยสายพาน	22
2.15	การกระจายความเร็วในท่อ	24
2.16	ลักษณะการไหลในท่อ	25
2.17	กระบอกสูบของปั๊มน้ำ	26
2.18	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ S_{YX}>0	28
4.1	โครงสร้างของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ	39
4.2	ลักษณะโครงสร้างภายในของใบพัดของกังหันลม	40
4.3	ลักษณะของใบพัดของกังหันลม	40
4.4	โครงสร้างฐานของกังหัน 4 ชิ้น และรูปตอนประกอบ	41
4.5	ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ท่อสายยางที่ใช้ต่อกับปั๊ม	43
4.7	เช็ควาล์วทองเหลือง	44
4.8	ใบพัดที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียม	45
4.9	ตลับลูกปืนตุ๊กตาที่ต่อเข้ากับแกนเพลา	46
4.10	โครงสร้างด้านในของใบพัด	47
4.11	ใบพัดของกังหันลมเมื่อสร้างเสร็จ	47
4.12	เพลาส่งกำลังที่ใช้ลูกปืนแบบตุ๊กตา	48
4.13	การสร้างโครงสร้างฐานของกังหันลม	48
4.14	การใช้น็อตยึดชิ้นส่วนของโครงสร้างฐาน	49
4.15	รูปร่างของฐานกังหันลมเมื่อประกอบเสร็จ	49
4.16	ตัวยึดปั๊มน้ำให้ติดกับฐานกังหัน	50
4.17	ตัวค้ำยันปั๊มน้ำ	50
4.18	ท่อสายยางขนาด 1 นิ้ว	51
4.19	เข็มขัดล็อคสายยาง	51
4.20	ท่อต่อเข้ากับปั๊มขนาด 1 นิ้ว	51
4.21	เช็ควาล์วขนาด 1 นิ้ว	52
4.22	การทาสีโครงสร้างฐานเพื่อกันสนิม	52
4.23	การประกอบโครงสร้างฐานของกังหันลม	53
4.24	ทำการประกอบส่วนของเพลาและเฟือง	53
4.25	ทำการประกอบส่วนของปั๊มน้ำและสายยางส่งน้ำ	54
4.26	การประกอบใบพัดกังหันลมเข้ากับเพลา	54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.27	เข็มขัดล็อคสายยาง	55
4.28	ต่อเช็ควาล์วที่ปลายท่อน้ำเข้า	55
4.29	เฟืองขับตัวใหญ่ที่ต่อจากใบพัด	56
4.30	เฟืองขับตัวเล็กที่ต่อจากปั๊ม	56
4.31	เครื่องวัดความเร็วลม	57
4.32	การเตรียมสถานที่	58
4.33	การวัดความเร็วลม	58
4.34	การทดลองหาความเร็วลม	59
4.35	การทดลองหาปริมาณของน้ำจากการปั๊มน้ำ	60
4.36	เหยือกวัดปริมาณน้ำ	60
4.37	กราฟประสิทธิภาพการทำงานของกังหันพลังงานธรรมชาติ	66
5.1	กังหันลมพลังงานธรรมชาติ	67
ก.1	กังหันลมพลังงานธรรมชาติ	72
ก.2	ส่วนของใบพัดกังหัน	73
ก.3	แกนเพลา (1)	74
ก.4	แกนเพลา (2)	75
ก.5	ส่วนประกอบของใบพัด (3)	76
ก.6	ส่วนบนและส่วนล่างของใบพัด	77
ก.7	ส่วนประกอบของใบพัด (4)	78
ก.8	ส่วนประกอบของใบพัด (5)	79
ก.9	ส่วนประกอบของใบพัด (6)	80
ก.10	ส่วนฐานของกังหันลม	81
ก.11	ส่วนประกอบของฐาน (1)	82
ก.12	ส่วนประกอบด้านข้าง (1)	83
ก.13	ส่วนประกอบด้านบน (2)	84

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.14	ส่วนประกอบด้านแนวตั้ง (3)	85
ก.15	ส่วนประกอบด้านตรงกลาง (4)	86
ก.16	ส่วนประกอบด้านล่าง (5)	87
ก.17	ส่วนประกอบของฐาน (2)	88
ก.18	คานยึดลูกปืน (3)	89
ก.19	คานรองลูกปืน (4)	90
ก.20	คานยึดปั๊ม (5)	91
ก.21	ตัวยึดปั๊ม (1)	92
ก.22	คานค้ำปั๊มน้ำ (6)	93
ก.23	ตัวรองปั๊ม (1)	94
ก.24	รองขา (7)	95
ก.25	ตัวยึดเฟืองกับแกนเพลา	96

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

เนื่องจากปัจจุบันความต้องการในการใช้น้ำมันและพลังงานไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การใช้น้ำมันและพลังงานไฟฟ้ายังเป็นสาเหตุของการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบันอีกด้วย

คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้เล็งเห็นว่า การคิดสร้างกังหันลมที่สามารถเปลี่ยนพลังงานลมที่มีอยู่ทั่วไปตามลักษณะภูมิประเทศและช่วงของฤดูกาล มาเป็นพลังงานกลเพื่อจะนำกำลังงานที่ได้มาปั๊มน้ำ มาใช้ในการทำการเกษตรของเกษตรกร ทำให้ช่วยลดต้นทุนในการทำการเกษตรลงได้ และยังช่วยลดสาเหตุที่จะทำให้เกิดภาวะโลกร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อสร้างกังหันลมพลังงานธรรมชาติที่สามารถเปลี่ยนพลังงานลมมาเป็นพลังงานกล แล้วนำพลังงานที่ได้มาปั๊มน้ำ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

กังหันลมพลังงานธรรมชาติ

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

กังหันลมพลังงานธรรมชาติสามารถนำมาใช้ทำงานได้จริง และผ่านการประเมินผลด้านการใช้งานจากเกษตรกรผู้ใช้

1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 กังหันลมพลังงานธรรมชาติที่สร้างขึ้นนี้ ใช้แบบซาโวเนียส ผสมกับแบบสปลิตซาโวเนียส โดยมีการประยุกต์ในบางส่วนให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ใช้งาน

1.5.2 ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ คิดจากปริมาณน้ำที่ได้จากการปั๊ม (Output) และความเร็วลม (Input) หรือ $\eta = \frac{output}{input}$

1.5.3 กังหันลมพลังงานธรรมชาตินี้ จะสามารถทำงานได้ในที่ที่มีความเร็วลมตั้งแต่ 2.55 m/s ขึ้นไป

1.5.3 กังหันลมพลังงานธรรมชาตินี้ จะสามารถทำงานได้ในที่ที่มีความเร็วลมตั้งแต่ 2.55 m/s ขึ้นไป

1.6 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

1.6.1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

1.6.2 สถานที่ทดสอบผลการทำงานในสวนผลไม้ของเกษตรกรในเขตพื้นที่จังหวัดพะเยา

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

กรกฎาคม พ.ศ.2552 – เมษายน พ.ศ.2553

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการทำงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค.		ส.ค.		ก.ย.		ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.		ม.ค	
1	ศึกษาและรวบรวมข้อมูล														
2	ออกแบบและวางแผนในการสร้างกังหันลม														
3	จัดซื้อจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือ														
4	สร้างกังหันลมตามที่ได้ออกแบบไว้														
5	ทดลองและทำการปรับปรุงแก้ไข														
6	วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติของปริมาณความเร็วลม														
7	สรุปและประเมินผลการทำโครงการ														

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 พลังงานลม

ลมเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศและแรงจากการหมุนของโลก สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลม เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าลมเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีอยู่ในตัวเอง ซึ่งในบางครั้งแรงที่เกิดจากลมอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่บ้านเรือนที่อยู่อาศัยพังทลาย ต้นไม้หักโค่นลง สิ่งของวัตถุต่างๆ ล้มหรือปลิวลอยไปตามลม ฯลฯ ส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างมาก ในปัจจุบันพลังงานต่างๆมีราคาแพงขึ้น มนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญและนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้น

2.1.1 ศักยภาพพลังงานลม

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย (พ.ศ.2527) โดยมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี และกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าความเร็วลมเฉลี่ยบริเวณชายฝั่งของอ่าวไทย และมหาสมุทรอินเดีย มีค่าค่อนข้างสูงและความเร็วลมเฉลี่ยในเขตพื้นที่ทางภาคเหนือมีค่าต่ำมาก รูปที่ 1 และ 2 เป็นแผนที่แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยในกรณีรวมช่วงเวลาลมสงบ และไม่รวมช่วงเวลาลมสงบตามลำดับ จะเป็นได้ว่าค่าความเร็วลมเฉลี่ยกรณีไม่รวมช่วงเวลาลมสงบในแต่ละภาคทุกพื้นที่มีค่าสูงกว่าความเร็วลมเฉลี่ยในกรณีรวมช่วงเวลาลมสงบ ดังนี้ในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีความเร็วลมเฉลี่ยในกรณีรวมช่วงเวลาลมสงบ อยู่ระหว่าง 2 - 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีความเร็วลมเฉลี่ยกรณีไม่รวมช่วงเวลาลมสงบ อยู่ระหว่าง 6-10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในเขตพื้นที่ภาคใต้ มีความเร็วลมเฉลี่ยในกรณีรวมช่วงเวลาลมสงบ อยู่ระหว่าง 6-10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีความเร็วลมเฉลี่ยกรณีไม่รวมช่วงเวลาลมสงบอยู่ระหว่าง 9-17 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

2.1.2 ลักษณะของลม

ลมเป็นการเคลื่อนไหวของอากาศจากบริเวณที่มีความกดอากาศสูงไปสู่บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำในแนวนอน โดยลมที่เกี่ยวข้องกับความเป็นอยู่ของคนเรานั้นคือ ลมระดับพื้นผิว ซึ่งแบ่งออกเป็นประเภทตามเหตุที่เกิดและบริเวณที่เกิด คือลมประจำปี ลมประจำฤดู ลมประจำเวลา และลมประจำถิ่น แต่ละประเภทที่จะกล่าวถึงคือ

2.1.2.1 ลมประจำปี

เป็นลมที่พัดอยู่เป็นประจำตลอดทั้งปีในส่วนต่างๆ ของโลกแตกต่างกันไปในแต่ละเขตละติจูดของโลกเนื่องจากประเทศไทยอยู่ในบริเวณเขตศูนย์สูตร อิทธิพลของลมประจำปีจึงไม่มีประโยชน์ในการนำมาใช้

2.1.2.2 ลมประจำฤดู

เป็นลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางตามฤดูกาล เรียกว่า ลมมรสุม เฉพาะลมพื้นผิวที่ผ่านประเทศไทยเท่านั้น ลมมรสุมที่มีความสำคัญมากก็คือ

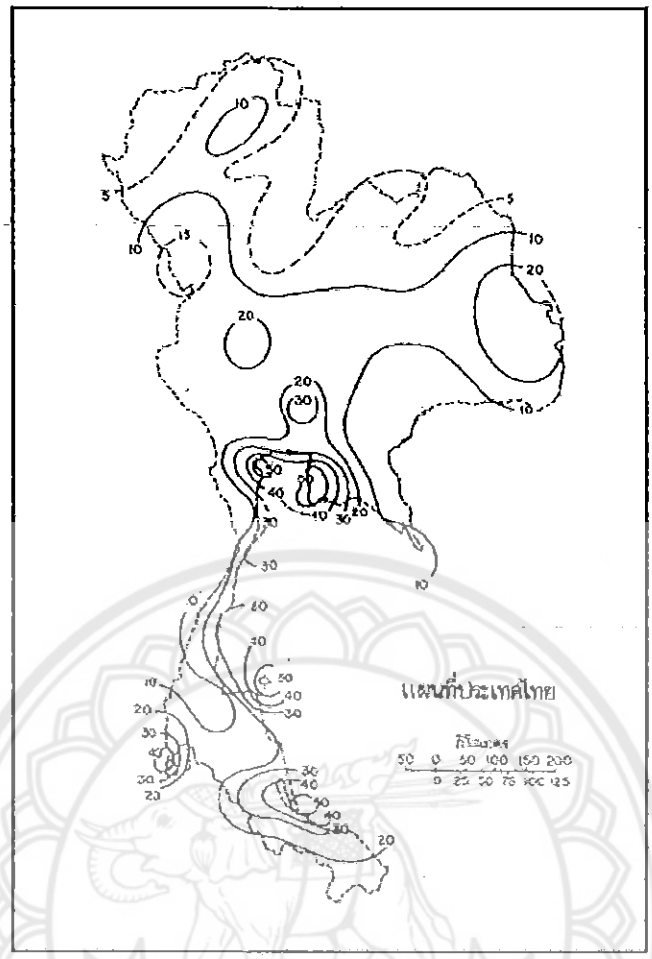
1) ลมมรสุมฤดูร้อน พัดในแนวทางทิศใต้ และทางตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงของเดือนมิถุนายน-สิงหาคม

2) ลมมรสุมฤดูหนาว พัดในแนวทางทิศเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์

2.1.2.3 ลมประจำเวลา

เป็นลมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความกดอากาศระหว่าง 2 บริเวณในระยะเวลาสั้นๆ ได้แก่ ลมบก ลมทะเล ลมภูเขา และลมหุบเขา บริเวณที่อยู่ตามชายฝั่งอิทธิพลของลมบก ลมทะเลมีสูงมาก ยังจำกันได้ไหมว่าลมบกพัดจากบกสู่ทะเลในตอนกลางคืน ส่วนลมทะเลพัดจากทะเลเข้าหาฝั่งในตอนกลางวัน

พลังงานลมเป็นพลังงานธรรมชาติที่สะอาดและบริสุทธิ์ ใช้แล้วไม่มีวันหมดสิ้นไปจากโลกจึงทำให้พลังงานลมได้รับความสนใจในการศึกษา และพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในขณะเดียวกันกังหันลมก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้โดยเฉพาะในการผลิตกระแสไฟฟ้า และการสูบน้ำซึ่งมีการใช้งานกันมาแล้วอย่างแพร่หลายในอดีตที่ผ่านมา



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงพลังงานลม ในประเทศไทย(หน่วย: วัตต์/ตารางเมตร)

ที่มา : http://www2.egat.co.th/re/egat_wind/wind_potentail.htm

2.2 เทคโนโลยีกังหันลม

กังหันลมคือ เครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ จากนั้นนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น การบดสีเมล็ดพืช การสูบน้ำ หรือในปัจจุบันใช้ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนากังหันลมเพื่อใช้ประโยชน์มีมาตั้งแต่ชนชาวอียิปต์โบราณและมีความต่อเนื่องถึงปัจจุบัน โดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด

ชนิดของกังหันลม: กังหันลมแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) แบ่งตามแรงที่กระทำกับใบพัดกังหัน

- ชนิดแรงยก (Lift type) : เป็นกังหันลมที่หมุนได้โดยอาศัยแรงยก
- ชนิดแรงต้าน (Drag type) : เป็นกังหันลมที่หมุนได้โดยอาศัยแรงต้าน

2) แบ่งตามแนวแกนการหมุน

- กังหันลมแกนตั้ง (Vertical-axis wind turbine, VAWT) : เป็นกังหันลมที่มีแกนการหมุนอยู่ในแนวตั้ง หรือแกนการหมุนตั้งฉากกับกระแสลม
- กังหันลมแกนนอน (Horizontal-axis wind turbine, HAWT) : เป็นกังหันลมที่มีแกนการหมุนอยู่ในแนวนอน หรือแกนการหมุนขนานไปกับกระแสลม

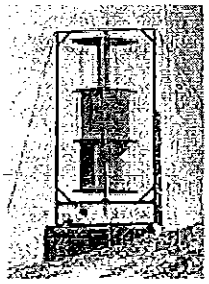
หน้าที่ของกังหันลม คือ เครื่องจักรมีหน้าที่สกัดพลังงานจลน์จากลม โดยพลังงานจลน์ดังกล่าวจะถูกส่งถ่ายผ่านเพลา ที่เชื่อมต่อกับโรเตอร์ของกังหันลมในรูปของพลังงานกล และพลังงานกลจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานทางด้านไฟฟ้าต่อไป เนื้อหาส่วนนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีทางอากาศพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์กังหันลม รวมทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการปรับแก้การสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อการไหลของอากาศผ่านกังหันลมเป็นการไหลแบบสามมิติ เช่น ค่าปรับแก้การสูญเสียที่ปลายโคนใบกังหัน

2.3 รูปแบบเทคโนโลยีกังหันลม

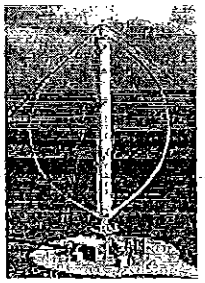
กังหันลมสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดวางแกนของใบพัดได้ 2 รูปแบบ คือ

2.3.1 กังหันลมแนวแกนตั้ง

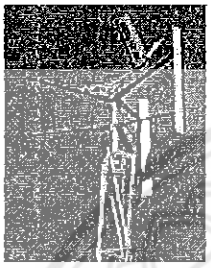
กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Turbine (VAWT)) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง มีเพียง 2 แบบ คือ กังหันลมแดร์เรียส (Darrieus) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส และกังหันลมซาโวเนียส (Savonius) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฟินแลนด์ กังหันลมแบบแกนตั้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำ มีข้อจำกัดในการขยายให้มีขนาดใหญ่และการยกชุดใบพัดเพื่อรับแรงลม การพัฒนาจึงอยู่ในวงจำกัดและมีความไม่ต่อเนื่อง ปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมแบบแกนตั้งน้อยมาก



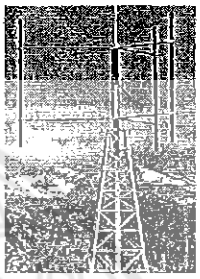
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.2 กังหันลมแนวแกนตั้ง

(ก) กังหันลม Savonius

(ข) กังหันลม Giromill

(ค) กังหันลม Cycrotor

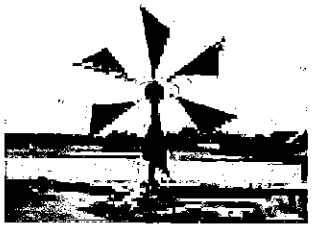
(ง) กังหันลม Darrieus

ที่มา : กระทรวงพลังงาน http://www.dede.go.th

2.3.2 กังหันลมแนวแกนนอน

กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Turbine (HAWT)) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบเสื่อลำแพน กังหันลมชนิดหลายใบพัดสำหรับสูบน้ำ กังหันลมชนิด 1, 2, 3, 4 หรือ 6 ใบพัดสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งกังหันลมผลิตไฟฟ้าชนิด 3 ใบพัดได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูง

(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 กังหันลมแนวแกนนอน

(ก) กังหันลม Windmill

(ข) กังหันลมสูบน้ำใบเสื่อลำแพน

ที่มา : กระทรวงพลังงาน http://www.dede.go.th

2.4 เทคโนโลยีกังหันลมสูบน้ำ

กังหันลมเพื่อสูบน้ำ (Wind Turbine for Pumping) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลม และเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลเพื่อใช้ในการชักหรือสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงเพื่อใช้ในการเกษตร การทำนาเกลือ การอุปโภคและการบริโภค ปัจจุบันมีใช้อยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

2.4.1 กังหันลมแบบระหัดวิดน้ำของคนไทยโบราณ

การใช้พลังงานลมเพื่อวิดน้ำจากที่ต่ำมาใช้ในพื้นที่สูงในประเทศไทยนั้น ได้มีการใช้มาเป็นเวลานานแล้วและยังใช้มาจนถึงปัจจุบัน พบเห็นได้จากการใช้กังหันลมวิดน้ำเพื่อทำนาเกลือ กังหันลมแบบระหัดวิดน้ำเป็นการประดิษฐ์คิดค้นขึ้นด้วยภูมิปัญญาชาวบ้านในสมัยโบราณของไทย เพื่อใช้ในนาข้าว นาเกลือและนากุ้ง เช่นเดียวกันกับการประดิษฐ์กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) เพื่อวิดน้ำและใช้แรงกลช่วยในการแปรผลิตผลทางการเกษตรของชาวยุโรป วัสดุที่ใช้ประดิษฐ์กังหันลมแบบระหัดวิดน้ำ เป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาถูกและมีความเหมาะสมต่อการใช้งานตามสภาพพื้นที่ภูมิประเทศ ใบพัดกังหันลมปกติจะมีจำนวน 6 ใบพัด วัสดุที่ใช้ทำใบกังหันลมจะทำมาจากเสื่อลำแพนหรือผ้าใบ โดยตัวโครงเสา รางน้ำ และใบระหัด จะทำจากไม้เนื้อแข็งซึ่งมีความทนทานต่อน้ำเค็ม สามารถใช้งานได้ยาวนาน กังหันลมแบบระหัดวิดน้ำใช้ความเร็วลมตั้งแต่ 2.5 เมตร/วินาที ขึ้นไปในการหมุนใบพัดกังหันลม หากมีลมแรงมากไปก็สามารถปรับม้วนใบเก็บให้เหลือสำหรับรับแรงลมเพียง 3 ใบ เพื่อให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน เมื่อไม่ต้องการใช้งานก็ม้วนใบเก็บทั้ง 6 ใบ ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลมแบบระหัดวิดน้ำประกอบด้วย

1) ส่วนของใบพัด ก้านใบทำจากไม้ยึดติดกับแกนหมุน ใบรับลมทำจากเสื่อลำแพนหรือผ้าใบ ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้แผ่นพลาสติก มีจำนวน 6 ใบ แกนหมุนตั้งในแนวนอนอยู่บนเสาไม้

2) เสาของกังหันลม ทำจากไม้จำนวน 2 ต้น ปักไว้เป็นคู่เพื่อรองรับแกนหมุน

3) สายพานขับแกนเพลา ทำมาจากเชือกที่มีความเหนียวและทนต่อแรงเสียดสี ทำหน้าที่ถ่ายแรงจากการหมุนของแกนหมุนไปยังแกนเพลาให้หมุนตามเพื่อใช้ฉุดระหัดไม้

4) แกนเพลา ทำจากเหล็กหรือไม้กลม วางอยู่บนเสาไม้คู่เหนือพื้นดินที่พอเหมาะ มีซี่ไม้ลักษณะคล้ายเฟืองยึดติดกลางแกนเพลาเพื่อขับหมุนฉุดแผ่นระหัด

5) ส่วนของรางน้ำและระหัดทำจากไม้ ลักษณะรางน้ำเป็นกล่องรางไม้ตัวยู (u) หงายขึ้น พาดเฉียงระหว่างท้องน้ำกับพื้นนาเกลือแล้วใช้ไม้แผ่นขนาดเท่าหน้าตัดของกล่องรางน้ำทำระหัดเรียงต่อกันเป็นซี่ๆ ด้วยเชือกหรือโซ่ห่างกันพอประมาณเพื่อกักเก็บและฉุดน้ำเคลื่อนตัวจากที่ต่ำขึ้นที่สูง

รูปที่ 2.4 รางและระหัดไม้วิดน้ำ

ที่มา : กระทรวงพลังงาน http://www.dede.go.th

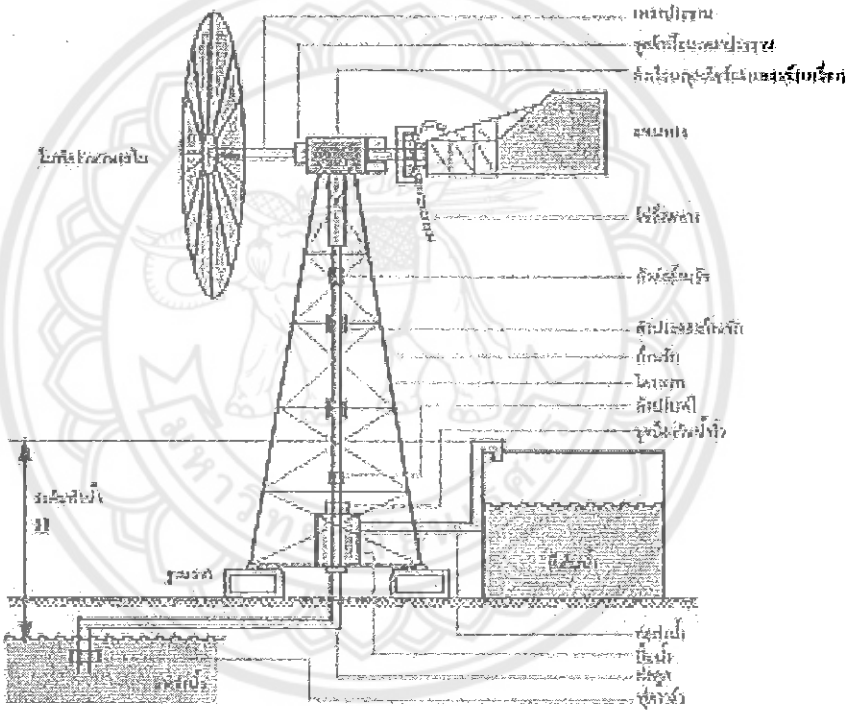
2.4.2 กังหันลมแบบสูบน้ำในปัจจุบัน

กังหันลมแบบสูบชักเป็นกังหันลมชนิดหลายใบ ส่วนใหญ่ใช้ในการสูบน้ำจากบ่อ สระน้ำ หนองน้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ ที่มีความลึกไม่มากนัก เพื่อใช้อุปโภค ใช้ในทางการเกษตรและใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ มีความสามารถในการยกหรือดูดน้ำได้ในระยะที่สูงกว่าแบบระหัด เพื่อความเข็งแรงวัสดุที่ใช้ทำใบพัด และโครงสร้างเสาของกังหันลมชนิดนี้ มักเป็นโลหะเหล็กถ้าผลิตในประเทศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด ประมาณ 4 - 6 เมตร จำนวนใบพัด 18, 24, 30, 45 ใบ การติดตั้งแกนใบพัดสูงจากพื้นดินประมาณ 12-15 เมตร ตัวห้องเครื่องถ่ายแรงจะเป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือเฟืองขับ กระบอกสูบน้ำมีขนาดตั้งแต่ 3-15 นิ้ว ปริมาณน้ำที่สูบได้ขึ้นอยู่กับขนาดกระบอกสูบน้ำและปริมาณความเร็วลม กังหันลมเริ่มหมุนทำงานที่ความเร็วลม 3.0 เมตร/วินาที ขึ้นไปและสามารถทำงานต่อเนื่องได้ด้วยแรงเฉื่อยที่ความเร็วลม 2.0 เมตร/วินาที แกนใบพัดสามารถหมุนเพื่อรับแรงลมลมได้

รอบตัวโดยมีใบแพนหางเสือเป็นตัวควบคุมการหมุน มีระบบความปลอดภัยหยุดหมุนในกรณีที่ลมแรงเกินกำหนด ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลมแบบสูบชักเพื่อสูบน้ำประกอบด้วย

1) ใบพัด ทำจากเหล็กกาวาไนท์หรือแผ่นสังกะสีชนิดหนาอย่างดี ไม่เป็นสนิมทนทานต่อกำลังลม ทำหน้าที่รับแรงลมแล้วเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมเป็นพลังงานกลและส่งต่อไปยังเพลาประธาน

2) ตัวเรือน ประกอบไปด้วยเพลาประธานหรือเพลาหลักทำด้วยเหล็กสแตนเลสที่มีความแข็งเหนียวทนต่อแรงบิดสูง ชุดตัวเรือนเพลาประธานเป็นตัวหมุนถ่ายแรงกลเข้าตัวห้องเครื่อง ภายในห้องเครื่องจะเป็นชุดถ่ายแรงและเกียร์ที่เป็นแบบข้อเหวี่ยงหรือแบบเฟืองขับ เพื่อถ่ายเปลี่ยนแรงจากแนวราบเป็นแนวดิ่งเพื่อดึงก้านชักขึ้นลง ใช้น้ำมันเป็นตัวหล่อลื่นในห้องเครื่อง



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของกังหันลมสูบน้ำ

ที่มา : กระทรวงพลังงาน http://www.dede.go.th

3) ชุดแพนหาง ประกอบไปด้วยใบแพนหางทำจากเหล็กแผ่น ที่ทำหน้าที่บังคับตัวเรือนและใบพัดเพื่อให้หันรับแรงลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง และโซ่ล็อคแพนหางซึ่งทำหน้าที่ล็อคแพนหางให้พับขนานกับใบพัดเมื่อได้รับแรงลมที่ความเร็วลมเกิน 8 เมตร/วินาที และส่ายหนีแรงปะทะของแรงลม

4) โครงเสา ทำด้วยเหล็กประกอบเป็นโครงถัก (Truss Structure) ความสูงของกังหันลมสูบน้ำ มีความสำคัญอย่างมากในการพิจารณาติดตั้งกังลม เพื่อให้สามารถรับลมได้ดี กำหนดที่ความสูงประมาณ 12-15 เมตร และมีแกนกลางเป็นตัวบังคับก้านชักให้ชักขึ้นลงในแนวดิ่ง

5) ก้านชัก ทำด้วยเหล็กกลมตัน รับแรงชักขึ้นลงในแนวดิ่งจากเฟืองขับในตัวเรือน เพื่อทำหน้าที่ปั๊มอัดกระบอกสูบน้ำและถูกบังคับให้ชักขึ้นลงได้ในแนวดิ่งด้วยตัวประคองก้านชัก (Slip Control) ที่อยู่กึ่งกลางโครงเสาในแต่ละช่วง

6) กระบอกสูบน้ำ ลูกสูบของกระบอกสูบน้ำวัสดุส่วนใหญ่เป็นทองเหลืองหรือสแตนเลส มีความคงทนต่อกรดและด่าง สามารถรับแรงดูดและแรงส่งได้สูง มีหลายขนาดแต่ที่ใช้ทั่วไปมีขนาด 3 - 15 นิ้ว ใช้สูบน้ำได้ทั้งจากบ่อบาดาลและแหล่งน้ำตามธรรมชาติอื่นๆ การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับระยะหัวน้ำและการออกแบบ

7) ท่อน้ำ ซึ่งจะประกอบไปด้วยท่อดูดขนาด 2 นิ้ว ต่อระหว่างปั๊มน้ำกับแหล่งน้ำที่จะสูบและติดฟุตวาล์วกันน้ำไหลกลับ ท่อส่งขนาด 1.5 นิ้ว ต่อระหว่างปั๊มน้ำกับถังกักเก็บน้ำเพื่อส่งน้ำที่ดูดได้ไปไว้ที่ถังเก็บน้ำ

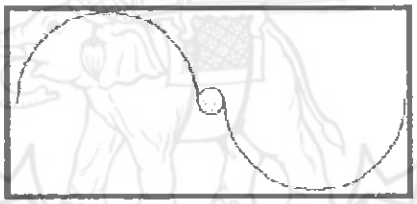
(ก) (ข)

รูปที่ 2.6 กังหันลมแนวแกนนอน
(ก) กังหันลมสูบน้ำของต่างประเทศ
(ข) กังหันลมสูบน้ำของไทย
ที่มา : กระทรวงพลังงาน http://www.dede.go.th

2.5 ระบบใบพัดกังหัน

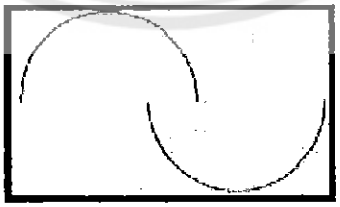
ใบกังหัน นับว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดพลังงานกลที่เพลาของกังหัน จำนวนใบกังหันอาจมีตั้งแต่หนึ่งถึงหลายสิบใบ กังหันลมที่มีจำนวนใบมากส่วนใหญ่จะใช้กับงานที่ต้องการแรงบิด(Torque) สูง ในทางตรงข้ามกังหันที่มีจำนวนใบน้อยส่วนใหญ่ใช้กับงานที่ต้องการความเร็วรอบสูง เช่น การผลิตไฟฟ้า รูปหน้าตัดของใบกังหันอาจมีตั้งแต่ลักษณะแพนอากาศ (Airfoil) หรือลักษณะคล้ายปีกเครื่องบิน เป็นแผ่นโค้งและเป็นแผ่นราบตรง วัสดุที่ใช้ทำใบกังหันควรจะเป็นวัสดุเบาและแข็งแรงซึ่งอาจเป็นอลูมิเนียมอัลลอยด์ แผ่นเหล็ก ไม้ และไฟเบอร์กลาส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความต้องการของผู้ออกแบบ

สำหรับใบกังหันลมที่เราได้ทำการออกแบบคือ กังหันแบบ Savonius ลักษณะของกังหันแบบ Savonius มีรูปแบบคล้ายๆปีกหมุนของเฮลิคอปเตอร์ Savonius สามารถที่ทำงานได้เป็นอย่างดีในการรับลมในทิศของแกนตั้ง ประสิทธิภาพของ Savonius เพียงประมาณร้อยละ 15 แต่เหมาะสำหรับสถานการณ์หลาย รูปแบบบางอย่างที่ปรากฏด้านล่างมองลงมาจากด้านบนของกังหัน



(ก)

และอีกรูปแบบหนึ่งเป็นการออกแบบที่ใช้ได้เป็นอย่างดีเนื่องจากเสากลางมีขนาดเล็ก แต่มีประสิทธิภาพมากกว่า Savonius แบบธรรมดา โดยจะออกแบบให้มีแรงลมเสริมไปยังปีกของใบพัดอีกด้านหนึ่ง เป็นการทำงานที่สนับสนุนกัน



(ข)

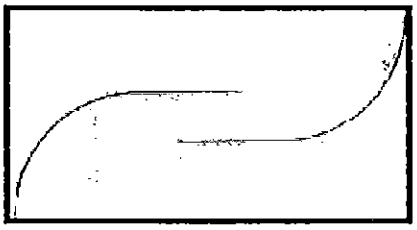
รูปที่ 2.7 ลักษณะใบพัดกังหันลมแนวตั้ง

(ก) ใบพัดกังหันลมแบบ ซาโวเนียส

(ข) ใบพัดกังหันลมแบบ สปลิตซาโวเนียส

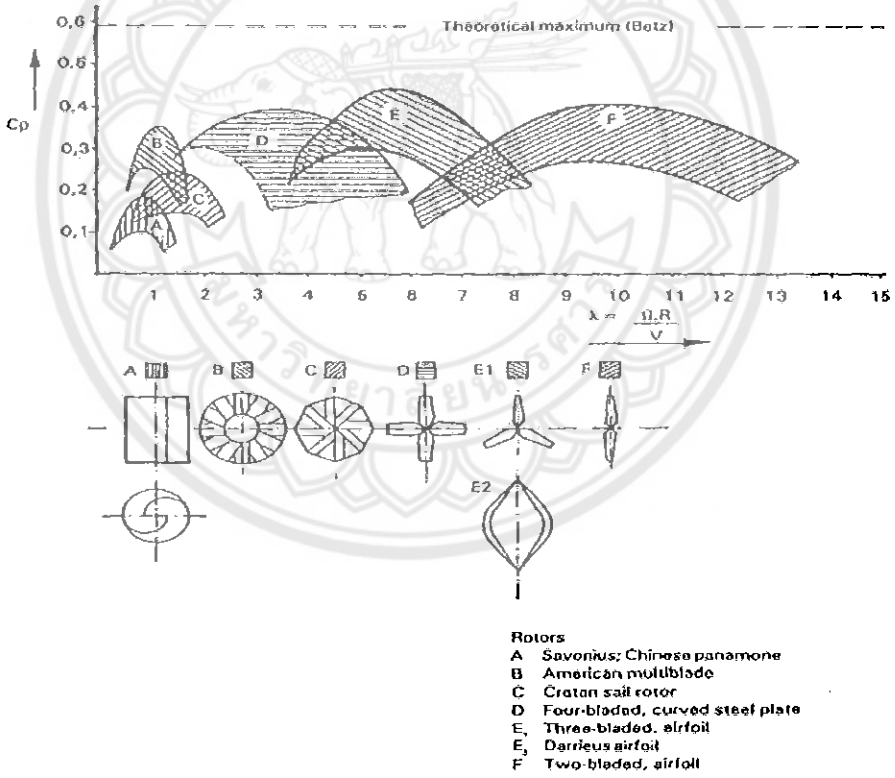
ที่มา : http://www.angelfire.com/ak5/energy21/microsavonius.htm

การออกแบบให้กังหันลมแนวตั้งแบบ Savonius มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือการออกแบบที่ผสมกันระหว่าง ซาโวเนียส และสปลิตซาโวเนียส เข้าด้วยกัน โดยจะออกแบบให้มีแรงลมเสริมไปยังปีกของใบพัดอีกด้านหนึ่ง เป็นการทำงานที่สนับสนุนกัน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้มากขึ้น แต่การสร้างจะมีความยุ่งยากกว่า อีก 2 แบบ



รูปที่ 2.8 ใบพัดกังหันลมแบบผสมระหว่าง ซาโวเนียส และสปลิตซาโวเนียส

ที่มา : http://www.angelfire.com/ak5/energy21/microsavonius.htm



รูปที่ 2.9 ชนิดของใบกังหันลมต่างๆ

ที่มา : http://natee2007.thaiza.com/blog_view.php?blog_id=1620

เนื่องจากว่าความเร็วของลมในทุกพื้นที่ในประเทศไทยจะอยู่ที่ประมาณ 2-3 m/s จะเห็นจากรูปด้านบนว่าใบพัดที่เหมาะสมกับลมบ้านเราจะเป็นแบบ A, B, C และ D กังหันที่ใช้ใบ 3 ใบพัด (แบบ E1) ไม่ค่อยเหมาะสมกับลมบ้านเราเพราะใช้ลมแรงที่ 4-8 m/s

แบบ A คือแบบแนวตั้งแบบ Savonius

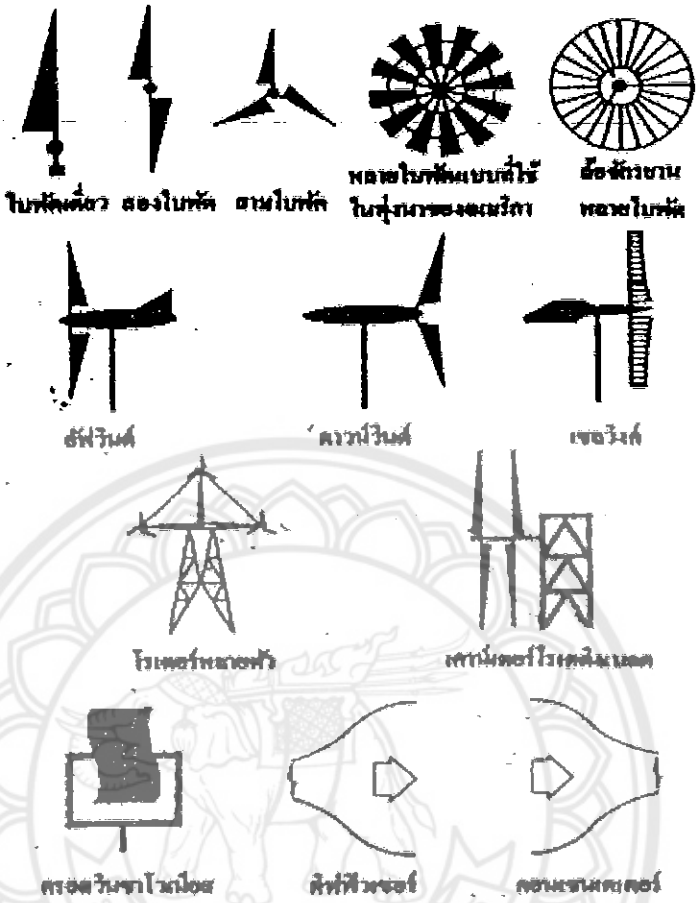
แบบ B คือกังหันแนวนอนที่มีหลายๆใบที่เราเห็นกันทั่วไปเหมาะสมสำหรับปั้มน้ำ

แบบ C คือกังหันแนวนอนที่เราเห็นทั่วไปในนาเกลือ

แบบ D คือกังหันแนวแกนนอนชนิด 4 ใบพัด

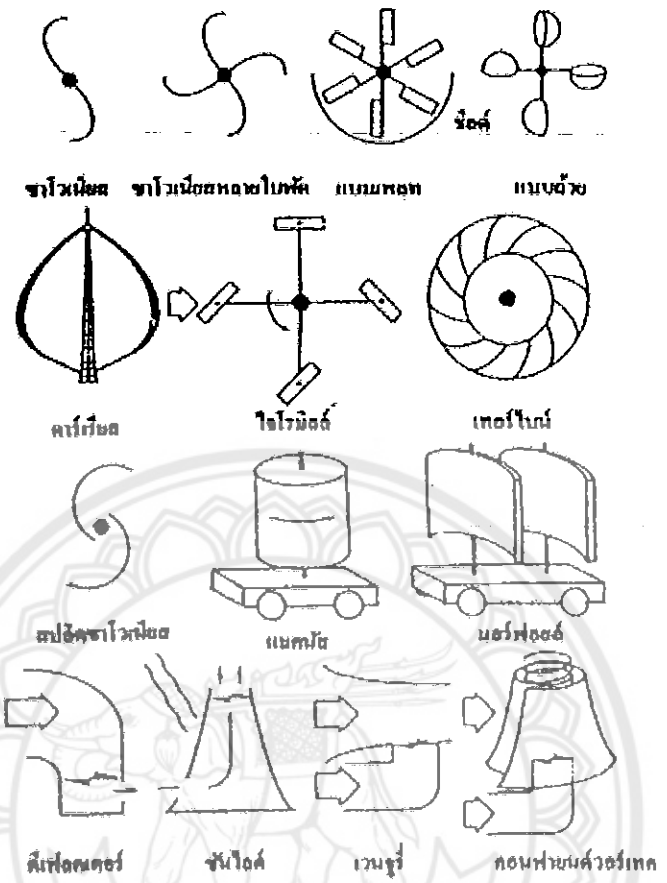
สรุปแล้วคือถ้าท่านทำกังหันแบบ A, B, C หรือ D ท่านสามารถนำไปใช้ได้ทั่วประเทศโดยไม่ต้องวัดความเร็วลมและทำ Generator รอบต่ำ พอกังหันหมุนก็จะได้ไฟฟ้าใช้เลยไม่ต้องรอให้รอบสูงๆลมมามากได้มาก ลมมาน้อยได้น้อย

ตัวอย่างชนิดของกังหันลมแบบต่าง



รูปที่ 2.10 กังหันลมประเภทแกนนอน

ที่มา: http://www2.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm



รูปที่ 2.11 กังหันลมประเภทแกนตั้ง

ที่มา : http://www2.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm

2.6 ระบบส่งกำลัง

สำหรับระบบส่งกำลังจากตัวกังหันเพื่อไปใช้งานอาจต่อกับเพลาได้โดยตรง หรือผ่านระบบส่งกำลัง เช่น เฟือง สายพาน และไฮดรอลิคส์ ซึ่งจะมีการทดรอบให้สอดคล้องกันระหว่างความเร็วรอบของแกนของกังหันกับการใช้งาน

สูตรการคิดกำลังของกังหันลม

$$\text{Power} = 0.5 \times \text{Sweep Area} \times \text{Air Density} \times \text{Velocity}^3 \quad (2.1)$$

$$\text{Sweep Area} = \pi \times (D/2)^2 \quad (2.2)$$

$$\text{Air Density} = 1.23\ \text{Kg/m}^3 \quad (2.3)$$

Power คือ กำลังของกังหันลม หน่วย วัตต์ (Watt)

Sweep Area คือ พื้นที่วงกลมของใบพัด มีหน่วยเป็นตารางเมตร

Air Density คือ ความหนาแน่นของอากาศ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Velocity คือ ความเร็วลม หน่วย เมตร/วินาที (m/s)

D คือ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกังหัน หน่วยเป็นเมตร

ที่มา: http://natec2007.thaiza.com/

ตารางที่ 2.1 ความหนาแน่นของอากาศ ρ เทียบกับอุณหภูมิ °C

T ในหน่วย °C	ρ ในหน่วย kg/m^3
0	1.293
5	1.269
10	1.247
15	1.225
20	1.204
25	1.184
30	1.164

ที่มา : th.wikipedia.org/wiki/

สูตรการหาจำนวนรอบการหมุนของใบพัดกังหัน

$$N = (\text{Velocity} \times \text{TSR} \times 60) / \text{เส้นรอบวงของกังหันลม} \quad (2.4)$$

$$\text{TSR} = \text{ความเร็วลมที่ปลายของใบพัด} / \text{ความเร็วลมในขณะนั้น} \quad (2.5)$$

$$\text{เส้นรอบวงของกังหันลม} = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด} \times 3.14 \quad (2.6)$$

N คือ จำนวนรอบการหมุนของใบพัดต่อนาที หน่วย รอบต่อนาที

TSR คือ ค่า tip speed ratio อัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบพัด

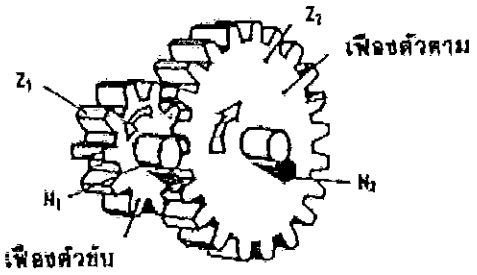
Velocity คือ ความเร็วลม หน่วย เมตร/วินาที (m/s)

เส้นรอบวงของกังหันลม คือ ความยาวของเส้นรอบวงของกังหันลม หน่วย เมตร

ที่มา : www.research.crma.ac.th

2.6.1 การส่งกำลังด้วยเฟือง (Gears)

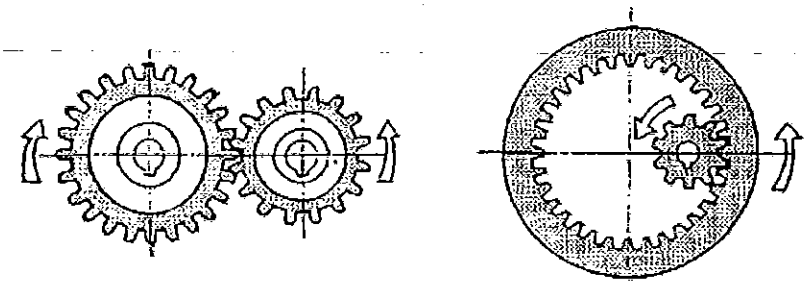
การส่งกำลังด้วยเฟืองมีข้อดีตรงที่แข็งแรงมากกว่าสายพาน แต่มีเสียงดังต้องการการหล่อลื่นมากกว่าวิธีอื่น เฟืองแต่ละชนิดมีหน้าที่หลักที่เหมือนกัน คือ ใช้ในการส่งกำลังจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งแล้วแต่ลักษณะการใช้งาน แต่การใช้งานของเฟืองแต่ละชนิดจะมีหน้าที่รองต่างกันดังรายละเอียดคือ การส่งกำลังจากเฟืองตัวขับไปยังเฟืองตัวตามนั้น ต้องมีการขบกันของเฟือง ส่วนอัตราเร็วของเฟืองจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนฟันเฟืองของเฟือง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และการเคลื่อนที่ของเฟืองตัวขับ จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่สวนกัน ดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการหมุนของเฟือง

ที่มา : http://www.ipst.ac.th/

เมื่อเฟืองตัวขับเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟัน ฟันของเฟืองตัวก็จะขับให้เฟืองตัวตามเคลื่อนที่ไปหนึ่งฟันด้วยและการขบกันของเฟืองอาจขบกันภายนอกหรือภายในก็ได้ดังรูปที่ 2.13



เฟืองขบกันภายนอก เฟืองขบกันภายใน

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการขบกัน

ที่มา : http://www.ipst.ac.th/

เฟือง เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลที่ถ่ายทอดกำลังจากเพลาอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง การถ่ายทอร์กกำลังนั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วและจำนวนฟันของเฟืองสิ่งที่จำเป็นจะต้อง ทราบ คือ ชนิดของเฟือง ความสัมพันธ์ของจำนวนฟันเฟือง (Z) และอัตราเร็วของเฟือง (N) โดยทั่วๆ ไปหน่วยอัตราความเร็วของเฟือง มักนิยมบอกเป็นจำนวนรอบต่อนาที

ความสัมพันธ์ระหว่างเฟืองขับกับเฟืองตาม

$$N_1Z_1 = N_2Z_2 \qquad (2.7)$$

N_1 คือ อัตราเร็วของเฟืองตัวขับ

N_2 คือ อัตราเร็วของเฟืองตัวตาม

Z_1 คือ จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ

Z_2 คือ จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม

อัตราส่วนเฟือง (m_g) คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของเฟืองต่อพิเนียน ถ้าพิเนียนเป็นตัวขับแล้ว

$$m_\omega = m_g = \frac{d}{N} \qquad (2.8)$$

โมดูล คือ $m = \frac{d}{N}$ (2.9)

เมื่อ d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฟือง

N คือ จำนวนฟันเฟือง

2.6.1.1 กลไกภายในห้องชุดเฟืองส่งกำลังประกอบด้วยชุดเฟืองหลักๆ 3 ชุด

ก) ชุดเฟืองหลัก (Main Gear) เป็นชุดเฟืองที่ทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ ปรับเปลี่ยนอัตราทด และ ส่งกำลังขับ ออกไปยังล้อโดยผ่านเพลากลาง และเฟืองท้าย

ข) ชุดเฟืองรอง (Counter Gear) เป็นชุดเฟืองที่ช่วยชุดเฟืองหลักถ่ายอัตราทดของแต่ละความเร็ว ไปที่ด้านท้ายของชุดเฟืองหลัก เพื่อส่งออกไปที่เพลากลาง

ค) ชุดเฟืองถอยหลัง (Reverse Gear) มีเพียงหน้าที่เดียวคือ กลับทิศทางการหมุนที่ชุดเฟืองหลักส่งมาให้หมุนย้อนทางเพื่อใช้สำหรับการถอยหลัง

ทอร์กจากเครื่องที่ถ่ายทอดไปยังล้อขับเคลื่อนจะมีบางส่วนศูนย์เสียไปในกระบวนการถ่ายทอดกำลัง แต่ทอร์กเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราทดเฟือง

อัตราทด คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่ออัตราเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม ถ้าให้ "1" และ "2" แทนเฟืองขับและเฟืองตาม ตามลำดับจะได้ว่า

$$m_\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (2.10)$$

โดยที่ ω คือ ความเร็วเชิงมุมมีหน่วยเป็น องศาเรเดียน/ วินาที

n คือ ความเร็วรอบมีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตช์มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

N คือ จำนวนฟัน

2.6.2 การส่งกำลังด้วยโซ่ (Chain & Sprocket)

การส่งกำลังด้วยโซ่มีข้อดีคือสะดวกในการบำรุงรักษา ไม่ขาดง่าย วิธีนี้ออกแบบให้เฟืองแบบ Sprocket รับการขับเคลื่อนมาจากต้นกำลังมาขับเคลื่อนโซ่และจะมีเฟืองชนิดเดียวกันเป็นเฟืองตามอยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่ง

การขับเคลื่อนด้วยโซ่มีใช้อยู่มากมายทางด้านงานเครื่องจักรกล เนื่องจากมีลักษณะคล้ายการขับด้วยสายพานโซ่จะคล้องแล้วกับเฟืองล้อหรือเฟืองโซ่ ซึ่งติดอยู่บนเพลาขับและเพลาตาม การขับเคลื่อนด้วยโซ่จะไม่มีการลื่นไถลเกิดขึ้นระหว่างโซ่กับเฟือง เนื่องจากการขับเคลื่อนด้วยโซ่มีความไว้ใจได้ และถูกต้องตามหลักเศรษฐศาสตร์จึงนิยมใช้มากในการส่งกำลังในเครื่องยนต์ เครื่องจักรการเกษตร เครื่องจักรกลงานไม้และในการขนส่งและขนถ่ายวัสดุ การขับด้วยโซ่มีข้อดีอยู่ระหว่างการขับด้วยสายพานและการขับด้วยเฟือง ทางด้านราคา สมรรถนะในการส่งกำลังและความบำรุงรักษา โซ่สามารถขับได้ในระยะที่ไกลกว่าสายพาน และขับได้พร้อมกันหลายๆเพลา ซึ่งมีทิศทางการหมุนตามกันหรือสวนทางกันก็ได้

2.6.2.1 ข้อดีของการขับเคลื่อนด้วยโซ่

ก) การติดตั้งไม่ต้องการความเที่ยงตรงมาก

ข) ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงขั้นต้นเหมือนกับสายพานที่ต้องดึงให้ตึง

ค) ไม่มีการลื่นไถลในขณะส่งกำลังเหมือนสายพานทำให้ได้อัตราทดที่แน่นอน

ง) มีขนาดกะทัดรัดกว่าสายพาน

จ) ติดตั้งง่ายกว่าสายพาน

ฉ) ใช้งานได้กับอุณหภูมิสูง บริเวณที่มีความชื้นและฝุ่นละออง

2.6.2.2 ข้อเสียของการขับเคลื่อนด้วยโซ่

ก) มีเสียงดัง

ข) เนื่องจากความเร็วรอบสูงจะมีอันตรายเมื่อโซ่ขาด

ค) ไม่มีความอ่อนตัวในการส่งกำลัง เพลาจะต้องขนานกัน

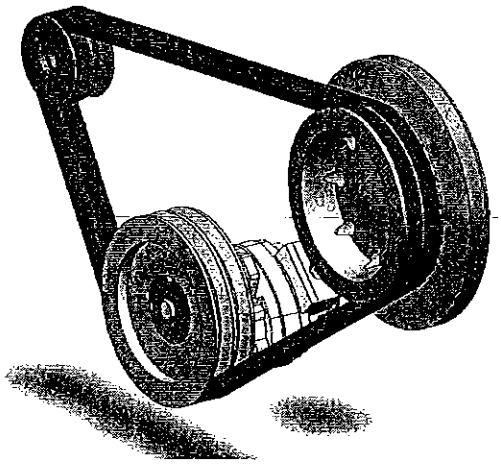
ง) ส่งกำลังแบบไขว้ไม่ได้

จ) มีราคาแพงกว่าการขับเคลื่อนด้วยสายพา

ฉ) ต้องมีการหล่อลื่น

2.6.3 การส่งกำลังด้วยสายพาน

นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากบำรุงรักษาง่าย อะไหล่ราคาถูก และน้ำหนักเบา การส่งกำลังลักษณะนี้จะประกอบด้วยล้อสายพาน (Pulley) 2 ตัวคือ ตัวขับและตัวตาม และต้องมีสายพาน (Belt) เป็นตัวส่งถ่ายกำลังขับเคลื่อน



รูปที่ 2.14 การขับด้วยสายพาน

ที่มา : www.thai3d.net/web/modules.php%3...60100712

2.6.3.1 ข้อดีของสายพานส่งกำลัง

ก) การทำงานของสายพานค่อนข้างเงียบ

ข) สามารถดูดซับการกระแทกและการสั่นสะเทือนได้ดีกว่าโซ่

ค) การติดตั้งง่ายไม่ต้องการเรือนเฟืองและการหล่อลื่น

ง) ราคาถูกกว่ามากโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเพลาห่างกันมากและการติดตั้งพูลเล่ย์ทำได้ง่าย

2.6.3.2 ข้อเสียของสายพานส่งกำลัง

ก) ใช้เนื้อที่มากกว่าในการติดตั้ง

ข) เกิดการลื่น (Slip) ซึ่งจะแปรเปลี่ยนตามแรงในแนวสัมผัส แรงดึงเบื้องต้น ส่วนยืดถาวร และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ค) ส่วนยืดถาวรในสายพานเพิ่มขึ้นแบบก้าวหน้าตามเวลาและโหลด ทำให้เกิดการลื่นและสายพานหลุดจากพูลเลย์จึงต้องมีอุปกรณ์ช่วยปรับความตึง

2.7 ปั๊มน้ำ

ปั๊มน้ำ เป็น อุปกรณ์สำหรับส่งน้ำหรือถ่ายเทของเหลวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง หรือ หมุนเวียนน้ำหรือของเหลวให้ผสมกันในบริเวณที่จำกัด เช่น Centrifugal pump ปั๊มที่ในการเกษตรมีหลากหลายประเภท คุณลักษณะของปั๊มแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันไป การเลือกใช้ปั๊มน้ำนั้นผู้ใช้จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน รวมไปถึงลักษณะของพื้นที่

2.7.1 ประเภทของปั๊ม

ปั๊มน้ำเป็นอุปกรณ์เพิ่มแรงดันน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังหมุนส่งกำลังให้ปั๊มน้ำทำงาน เพิ่มแรงดันให้น้ำและส่งน้ำไปตามท่อ

ปั๊มน้ำในบ้านโดยทั่วไปแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ

1) ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ ทำงานด้วยการชักลูกสูบเลื่อนไป-มา และมีวาล์วเปิด-ปิดน้ำเข้า-ออก จากลูกสูบ เป็นการเพิ่มแรงดันให้น้ำโดยตรง เป็นที่นิยมใช้เมื่อหลายปีที่แล้ว ปัจจุบันมีใช้น้อยมาก มีข้อดีคือได้แรงดันน้ำสูง แต่มีข้อเสียที่ปริมาณน้ำน้อย และมีการสึกหรอมากเพราะมีชิ้นส่วนเคลื่อนที่มาก

2) ปั๊มน้ำแบบใบพัด ทำงานด้วยการหมุนของใบพัดในเสื้อปั๊ม ที่ได้รับการออกแบบเฉพาะ ทำให้เกิดแรงดันในเสื้อปั๊ม จ่ายน้ำไปตามท่อได้ ส่วนใหญ่มีท่อดูดทางด้านหน้าตรงกลางของปั๊ม และมีท่อออกด้านข้างในแนวเส้นสัมผัสกับตัวปั๊ม มีข้อดีคือขนาดเล็ก หลักการทำงานง่าย ชิ้นส่วนไม่มาก จ่ายน้ำได้ปริมาณมาก สร้างแรงดันน้ำได้มากพอควร ถ้าต้องการแรงดันสูงสามารถนำปั๊มมาต่อกันเป็นแบบมัลติสเตทได้ ปัจจุบันนิยมใช้ปั๊มน้ำแบบใบพัดเป็นปั๊มน้ำภายในบ้านมาก ปั๊มแบบใบพัดมีชื่อเรียกต่างๆกันตามลักษณะรูปร่างกละการใช้งาน เช่น ปั๊มบ้าน, ปั๊มหอยโข่ง, ปั๊มไดโว่

แบ่งตามลักษณะการทำงานออกเป็น 2 แบบ คือ แบบอาศัยแรงกลไกลการเหวี่ยงหนีศูนย์ของๆเหลวในการพาของเหลว และแบบอาศัยการแทนที่ของๆเหลวในการพาของเหลว

ปั๊มน้ำอัตโนมัติ เหมาะสำหรับอาคาร ตึกแถว ทาวน์เฮ้าส์ บ้านเดี่ยวเป็นระบบสวิตซ์เปิด-ปิดอัตโนมัติ ประหยัดไฟกำลังส่งไปยังจุดต่างๆภายในบ้านได้ดี สามารถต่อกับเครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องซักผ้า หรือก๊อกน้ำได้

ปั๊มน้ำแรงดันคงที่ เหมาะสำหรับอาคารตึกแถว ทาวน์เฮ้าส์ บ้านเดี่ยว เป็นปั๊มอัตโนมัติควบคุมแรงดันคงที่ ให้น้ำสม่ำเสมอ เหมาะกับการติดตั้งใช้กับเครื่องทำน้ำอุ่น ไม่เป็นสนิมตลอดอายุการใช้งาน

ปั๊มน้ำหอยโข่ง เหมาะกับงานเกษตร งานสูบน้ำขึ้นตึกสูง งานสูบจากแท็งค์หรือบ่อ งานหัวจ่ายน้ำ Sprinkle สามารถสูบน้ำได้ในปริมาณที่มากหรือแรงส่งสูงๆ

ปั๊มน้ำจุ่ม ใช้กับงานสูบน้ำออก เช่น งานน้ำท่วม บ่อน้ำพุ มีกำลังส่งต่ำ แต่สูบน้ำได้ปริมาณมากๆ

2.7.1.1 ปั๊มโยก

เป็นปั๊มที่ใช้ในการสูบน้ำจากบ่อหรือแหล่งน้ำ ที่ความลึกประมาณ 8 -12 เมตร โดยใช้แรงคนในการโยกด้าม ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง อัตราการไหลของน้ำขึ้นกับแรงโยก สามารถสูบน้ำใส่ถังหรือต่อสายยาง เหมาะกับงานกลางแจ้งที่ไม่ต้องการปริมาณน้ำมากและต้องการประหยัดพลังงาน

2.7.1.2 ปั๊มชัก

ปั๊มชนิดนี้ใช้ในการสูบน้ำที่ความลึกประมาณ 8 -12 เมตร จะใช้งานร่วมกับมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนลูกสูบ อัตราการไหลของน้ำจะอยู่ตั้งแต่ 1,500 -25,000 L/H ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของลูกสูบ

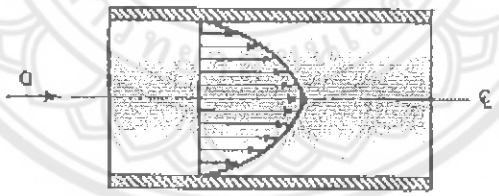
การส่งน้ำขึ้นที่สูง ที่ลาดชัน ที่เป็นเขา ปั๊มชักสามารถส่ง/สูบน้ำ ในความสูงแนวดิ่งได้ 40-50 เมตร, แนวลาดชัน 5 องศา จะได้ 300-400 เมตร และแนวราบ ได้ 1 กิโลเมตร

2.7.1.3 ปั๊มหอยโข่ง

การทำงานของปั๊มจะทำการสูบน้ำโดยใช้ระบบใบพัด ความเร็วรอบสูง จะได้ปริมาณน้ำมาก อัตราการไหลอยู่ที่ 20,000 – 45,000 L/H ขึ้นกับขนาดและลักษณะใบพัด Total Head 15-20 เมตร ถ้าเป็นหอยโข่งรุ่น 2 ใบพัด, 3 ใบพัด Head จะมากขึ้น ในบรรดาเครื่องสูบน้ำที่หลากหลายนั้น เครื่องสูบน้ำโวลูท (หรือที่รู้จักกันแพร่หลายในประเทศไทย หรืออีกชื่อหนึ่งคือเครื่องสูบหอยโข่ง (volute pump) ถือเป็นเครื่องสูบน้ำที่ได้รับการพัฒนาก้าวหน้ามากที่สุด เพราะว่าสามารถสูบน้ำได้ในอัตราที่สูง และมีการใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ

2.8 ลักษณะการไหลในท่อ

การไหลของของไหลจริงในท่อ ชั้นของของไหลที่ติดผนังท่อจะมีความเร็วเป็นศูนย์เนื่องจากความหนืด ส่วนชั้นนอก ๆ ออกไปจะมีความเร็วสูงขึ้น โดยบริเวณกลางท่อจะมีค่าความเร็วสูงสุด



รูปที่ 2.15 การกระจายความเร็วในท่อ

ที่มา : http://www.me.psu.ac.th/~smarn/fpower/Fch4b.htm

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.8.1 การแบ่งชนิดการไหลในท่อตามเวลา สามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

2.8.1.1 การไหลคงที่ (Steady flow) คือการไหลด้วยอัตราการไหลและความเร็วที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น การไหลในท่ออ่างเก็บน้ำที่มีระดับน้ำคงที่ หรือการการไหลในท่อประปาที่มีความดันที่จุดต่อจากท่อหลักคงที่ เป็นต้น

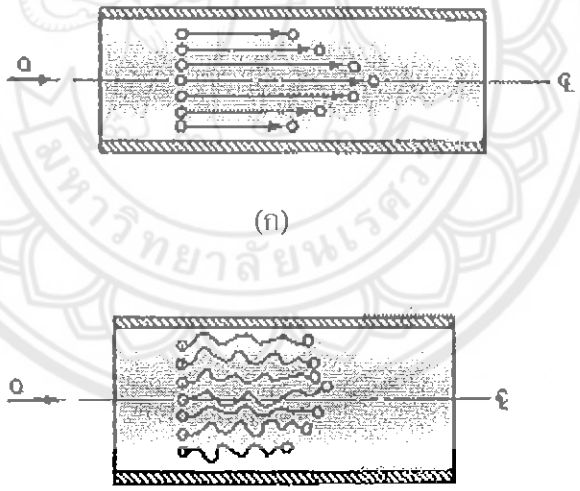
2.8.1.2 การไหลไม่คงที่ (Unsteady flow) คือการไหลในท่อด้วยอัตราการไหลและความเร็วเปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น การไหลในท่อเมื่อเริ่มเปิดเครื่องสูบน้ำ และการเปิดปิดประตูน้ำ เป็นต้น

2.8.2 การแบ่งชนิดการไหลในท่อตามพฤติกรรมการไหลของน้ำ สามารถแบ่งได้โดยการสังเกตแนวเส้นการไหล (Stream line) แบ่งได้ 2 ชนิดคือ

2.8.2.1 การไหลเรียบ (Laminar flow) ซึ่งของไหลจะมีการไหลอย่างราบเรียบหรือเป็นชั้นที่เรียบ

2.8.2.2 การไหลปั่นป่วน (Turbulent flow) ถ้าของไหลมีความเร็วสูงพอถึงค่าหนึ่ง การไหลจะเปลี่ยนจากไหลเรียบเป็นไหลปั่นป่วน

เรือ 3929
ม.
ธ 252 ก
2552



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.16 ลักษณะการไหลในท่อ

(ก) แนวเส้นตรงของอนุภาคของของไหลในการไหลเรียบ

(ข) การเคลื่อนที่ของอนุภาคของไหลในการไหลปั่นป่วน

ที่มา : http://www.me.psu.ac.th/~smarn/fpower/Fch4b.htm

ลักษณะการไหลขึ้นอยู่กับค่าไร้มิติ เรียกว่า เลขเรย์โนลด์(Reynolds number) N_R

1.ถ้า N_R ต่ำกว่า 2000 การไหลเป็นแบบเรียบ

2.ถ้า N_R สูงกว่า 4000 การไหลเป็นแบบปั่นป่วน

3.ถ้า N_R อยู่ระหว่าง 2000 ถึง 4000 เป็นช่วงเปลี่ยนแปลงระหว่างไหลเรียบและปั่นป่วน

ที่มา : http://foodeng.thaifoodscience.com/index.php?option=com_content&view=article&id=34:head-loss-determination&catid=1:rheology

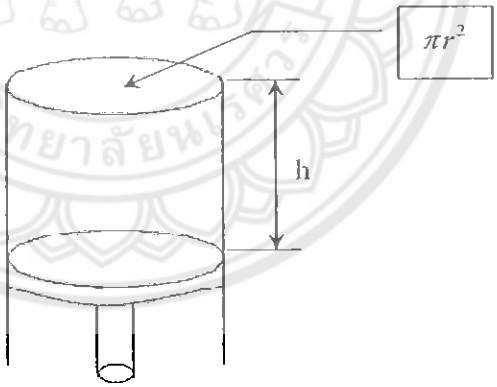
การหาปริมาตรของน้ำในกระบอกสูบจากสูตร

$$\text{ปริมาตรของน้ำในกระบอกสูบ} = \pi r^2 h \qquad (2.11)$$

โดยที่ ปริมาตรของน้ำในกระบอกสูบ หน่วยคือ ลูกบาศก์เซนติเมตร

πr^2 คือ พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ หน่วยคือ ตารางเซนติเมตร

h คือ ระยะชักของลูกสูบปั๊มน้ำ หน่วยคือ เซนติเมตร



รูปที่ 2.17 กระบอกสูบของปั๊มน้ำ

2.9 ระบบ Safety

ความปลอดภัย (Safety) คือความเป็นอิสระจากสภาพความเสี่ยงภัยจากสภาพอันตรายในสภาวะแวดล้อมใดๆ ซึ่งความปลอดภัยอาจกล่าวได้ว่ามันเกี่ยวเนื่องมากับคำว่าอุบัติเหตุ

อุบัติเหตุก็คือปรากฏการณ์หรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยไม่คาดฝันและไม่ได้จัดการวางแผนไว้ทำให้มีการบาดเจ็บแก่บุคคล

สภาพที่ไม่ปลอดภัย คือ สภาพทั่วไปรอบพื้นที่ปฏิบัติงาน ไม่ว่าจะมีผู้ปฏิบัติงานหรือไม่ก็ตาม ก็ยังคงมีสภาพที่เป็นอันตรายคงอยู่ ที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติภัย

ซึ่งอันตรายนั้นอาจเกิดขึ้นได้หลายแบบแต่อันตรายจากการทำงานส่วนมากมักเกิดจากจากเครื่องมือกลอันตรายจากเครื่องมือกลเป็นอันตรายที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือที่เราใช้ในการปฏิบัติงาน ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายที่ต่างกันออกไป เช่น การตัด การเฉือน การบด และการเคล็ดขัดยอก จากการใช้เครื่องมือกล ซึ่งอันตรายจากเครื่องมือกลแบ่งตามลักษณะการเกิดได้ดังนี้

2.9.1 เกิดจากการหมุน

เป็นอันตรายที่เกิดจากการที่มีอุปกรณ์ที่มีการหมุน แล้วส่วนของร่างกายคนเราไปโดนหรือสัมผัส เช่น เพลา เฟือง โซ่ ซึ่งเหล่านี้อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บแก่ร่างกายได้

2.9.2 เกิดจากการชักไปมาหรือการเลื่อน

ซึ่งในลักษณะนี้มักจะพบกับอุปกรณ์ประเภท เครื่องไส เครื่องปั๊ม อันตรายที่เกิดขึ้นลักษณะนี้อาจเป็นแบบการถูกกดทับหรือการกระแทก

2.10 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression)

ในการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายจะเป็นการวิเคราะห์กับตัวแปรตาม (Y) โดยมีตัวแปรต้น (X) เพียงตัวเดียว การใช้ตัวแปรต้นเพียงตัวเดียวจะไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะอธิบายตัวแปรตามได้ ในกรณีที่จะพยายามอธิบายสัดส่วนความแปรปรวนของตัวแปรตามได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีตัวแปรต้นมากกว่า 1 ตัว ซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเมื่อมีตัวแปรต้นตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปใช้ในการทำนายตัวแปรตาม ซึ่งโดยปกติตัวแปรต้นจะใช้สัญลักษณ์ X และตัวแปรตามจะใช้สัญลักษณ์ Y

2.10.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอย

2.10.1.1 ตรวจสอบว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นหรือไม่

2.10.1.2 สร้างสมการการพยากรณ์ เพื่อใช้สำหรับการประมาณค่า Y

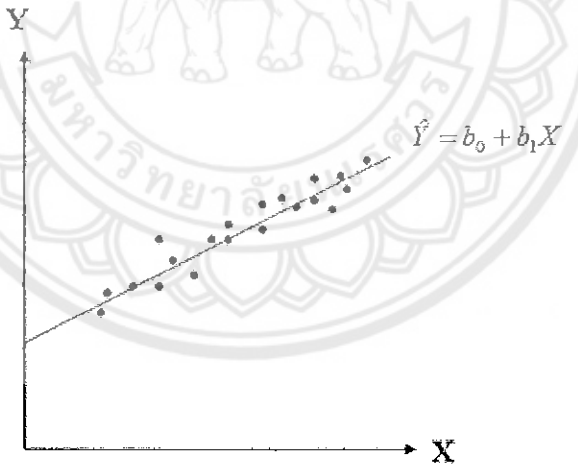
2.10.1.3 ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของตัวแปรทั้งสอง โดยทำการตรวจสอบว่าสมการพยากรณ์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้มากน้อยเพียงใด ดูจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of Determination) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of the Estimate) และการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความแข็งจากการทดลองและการพยากรณ์

2.10.2 ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.10.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of Determination)

- เกิดจากการนำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยกกำลังสอง
- ใช้แสดงความแปรผันที่เกิดขึ้นกับตัวแปร Y มีผลเนื่องมาจากตัวแปร X คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์
- ใช้ศึกษาว่าสมการการประมาณค่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้มากหรือน้อย
- ค่าที่คำนวณได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1
- สัญลักษณ์ที่ใช้คือ r^2
- ในกรณีที่ค่า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y อย่างมาก หมายความว่า สมการการประมาณค่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้มาก
- ในกรณีที่ค่า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า ตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y น้อยมาก หมายความว่า สมการการประมาณค่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้น้อย

2.10.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of the Estimate)



- สัญลักษณ์ที่ใช้คือ $S_{Y.X}$
- เป็นค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประมาณค่า Y ด้วย $\hat{Y}$

รูปที่ 2.18 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ $S_{Y.X}>0$

2.10.3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการพยากรณ์

สถิติ t-test ใช้ทดสอบความแตกต่างหรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ใช้สำหรับการทดสอบข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

1. ตั้งสมมติฐาน

H_0 : ค่าเฉลี่ยของประชากรของ 2 กลุ่มเท่ากัน คือ $\mu_1 = \mu_2$

H_1 : ค่าเฉลี่ยของประชากรของ 2 กลุ่มแตกต่างกัน คือ $\mu_1 \neq \mu_2$

2. กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบ $\alpha = 0.05$

3. เลือกตัวสถิติที่เหมาะสม

ความแปรปรวนของประชากรเท่ากัน คือ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

ตัวสถิติ : $$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N\sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}} \qquad (2.12)$$

เมื่อ t = ความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณ

D = ความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณของแต่ละค่า

$\sum D$ = ผลรวมของความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณของทุกค่า

D^2 = ความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณของแต่ละค่ายกกำลังสอง

$(\sum D)^2$ = ผลรวมของความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณของทุกค่ายกกำลังสอง

$N\sum D^2$ = จำนวนค่าปริมาณการปั๊มน้ำ คูณ ผลรวมของความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณของทุกค่ายกกำลังสอง

N-1 = จำนวนค่าปริมาณการปั๊มน้ำ ลบ 1

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

3.1.1 กังหันลม

ศึกษาข้อมูลและรายละเอียดของพลังงานลมที่มีอยู่ในประเทศไทย ในช่วงฤดูกาลต่างๆ เทคโนโลยีการสร้างกังหันลม รูปแบบของกังหันสูบน้ำตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ระบบใบพัดของกังหันลม

3.1.2 ระบบส่งกำลัง

ทำการศึกษาหลักการส่งกำลังในทำงานของกังหัน รูปแบบของการใช้งาน รูปแบบของใบพัด โครงสร้างของกังหันลมในแต่ละประเภท

3.1.3 ลักษณะของปั๊มน้ำที่เหมาะสมต่อการสร้างกังหันลมสูบน้ำ

ทำการศึกษาถึงประเภทของปั๊มน้ำที่ใช้ในการสูบน้ำ ส่วนประกอบต่างๆ ของปั๊มน้ำ รูปแบบการทำงาน อัตราการไหล

3.2 การคำนวณส่วนต่างๆ

ใช้หลักการและทฤษฎีคำนวณในส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้องคือ การคำนวณหาปริมาตรของน้ำในกระบอกสูบ การคำนวณหาจำนวนรอบการทำงานของปั๊มน้ำ การคำนวณหาพลังงานที่ใช้ต่อ 1 รอบการทำงานของปั๊มน้ำ การคำนวณหาขนาดใบพัดของกังหันลม เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบขนาดของใบพัดกังหันลม

3.3 การออกแบบและวางแผนในการสร้างกังหันลม

จากการศึกษาข้อมูลที่ได้ประกอบกับ วัสดุที่จัดหาจัดซื้อได้ในท้องถิ่นก็สามารถออกแบบ และวางแผนได้ดังนี้

3.3.1 ออกแบบส่วนของใบรับลมของกังหัน

ในขั้นนี้จะออกแบบให้เหมาะสมกับลักษณะของปริมาณลม ในแต่ละพื้นที่ของการใช้งานโดยใบพัดของกังหันจะเป็นกังหันแนวตั้ง สามารถรับแรงลมได้จากทุกทิศทาง

3.3.2 ออกแบบส่วนโครงสร้างและฐาน

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบโครงสร้างของฐานกังหันลมที่รองรับใบพัด และปั๊มชัก จะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถที่จะถอดประกอบได้ และต้องมีขนาดที่พอดีกับตัวของใบพัด เพื่อจะทำให้การหมุนของใบพัดราบรื่น

3.3.3 ออกแบบระบบปั๊ม

ในส่วนของปั๊มที่ใช้จะเป็นปั๊มชักที่มีการดัดแปลงให้ติดกับแกนของใบพัดกังหัน เพื่อใช้ใน การปั๊มน้ำ ปั๊มชักที่ใช้เป็นปั๊มชักรุ่นมาตรฐาน ขนาดลูกสูบ 49 มิลลิเมตร ท่อดูดและท่อส่งของปั๊มมีขนาด 1 นิ้ว ให้ปริมาณน้ำมาก

3.4 การจัดซื้อจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือ

3.4.1 ทำการศึกษาหาคุณสมบัติของวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้

ทำการศึกษาหาคุณสมบัติของวัสดุตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อที่จะสามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการสร้างกังหันลม และเพื่อความเหมาะสมในการออกแบบกังหันลม อย่างเช่นมีความยืดหยุ่นและแข็งแรงในการรับลมและส่งกำลัง เป็นต้น

3.4.2 จัดทำรายการวัสดุ อุปกรณ์

จัดทำรายการวัสดุ อุปกรณ์ เพื่อที่จะนำไปใช้ในจัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์ สำหรับการสร้างกังหันลมพลังงานธรรมชาติ

3.4.3 ทำการจัดซื้อจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ตามรายการ

ทำการจัดซื้อจัดหาวัสดุ และอุปกรณ์ตามรายการตลอดจนการหาสถานที่ของการจัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ เหล่านั้นมาใช้ในการสร้างกังหันลม

3.5 การสร้างกังหันลมตามที่ได้ออกแบบไว้

สร้างชิ้นส่วนแต่ละส่วนตามที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นนำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกันได้ตามที่ออกแบบไว้

3.6 ทดลองและทำการปรับปรุงแก้ไข

3.6.1 ทดสอบการทำงานในส่วนต่างๆ

ทดสอบการทำงานในส่วนต่างๆของกังหันลมภายในสวนผลไม้ของเกษตรกรในเขตจังหวัดพะเยา

3.6.2 แก้ไขปรับปรุงหาจุดบกพร่องของกังหันลม

แก้ไขปรับปรุงหาจุดบกพร่องของกังหันลม ทำการตรวจสอบจุดที่ส่งผลให้เกิดปัญหาในการทำงาน และทำการแก้ไขปรับปรุงในส่วนของจุดบกพร่องดังกล่าว

3.7 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติของปริมาณความเร็วลม

ทำการทดลองโดยปรับความเร็วของลม โดยเริ่มบันทึกค่าที่ความเร็วลมที่สามารถทำให้กังหันลมเริ่มทำงานแล้วบันทึกผลประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มน้ำ โดยใช้เวลาที่เท่ากันใส่ค่าในตารางที่ 3.1

3.7.1 วิเคราะห์หาความเร็วลมที่น้อยที่สุดที่กังหันลมพลังงานธรรมชาติสามารถทำงานได้

3.7.2 วิเคราะห์ว่าความเร็วลมมีผลต่อการทำงานของปั๊มหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

3.8 การออกแบบและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่อปริมาณของน้ำที่ปั๊มได้

3.8.1 กำหนดปัจจัย

ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์มี 1 ปัจจัย คือ ความเร็วลม

3.8.2 ระดับปัจจัย

ความเร็วที่จะทำให้กังหันเริ่มทำงานมี 5 ระดับที่ได้จากการทดลอง คือ 2.55, 2.81, 3.25, 3.86 และ 4.11 m/s

3.8.3 สมมติฐานของการทดลอง

ให้ $H_0 = \mu_{2.55} = \mu_{2.81} = \mu_{3.25} = \mu_{3.86} = \mu_{4.11}$ **(3.1)**

H_1 คือมีค่า μ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ที่แตกต่างกัน

$$\mu_{2.55} = \mu_{2.81} = \mu_{3.25} = \mu_{3.86} = \mu_{4.11} \neq 0 \quad \textbf{(3.2)}$$

เมื่อ μ คือ ความเร็วลมที่ 2.55, 2.81, 3.25, 3.86 และ 4.11 m/s

3.8.4 ดำเนินการทดลอง

3.8.4.1 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์

เตรียมกังหันลมโดยการนำตั้งกังหันลมให้ห่างจากพัดลม 1.5 เมตร โดยจะต้องเตรียมพัดลม 2 ตัว เพื่อปรับความเร็วลมของพัดลมตั้งแต่เบอร์ 1-3

3.8.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

โดยเริ่มจากการเปิดพัดลมแล้วเพิ่มระดับความเร็วลมของพัดลมตามลำดับ จนกังหันลมเริ่มทำงานและปั๊มน้ำได้แล้วบันทึกค่าความเร็วลมนั้น แล้วทำการวัดปริมาณของน้ำที่ปั๊มได้แล้วบันทึกค่าลงตารางที่ 3.1

ตารางบันทึกค่าวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติของการทำงานของปั๊มน้ำ

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกค่าวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ความเร็วลม (m/s)	ปริมาณของน้ำที่ปั๊มได้ในเวลา 1 นาที/ครั้ง (ลิตร)										เฉลี่ย (ลิตร)
	จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2.55											
2.81											
3.25											
3.86											
4.11											

3.8.5 วิเคราะห์ข้อมูล

3.8.5.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน

3.8.5.2 วิเคราะห์ความถดถอยของข้อมูล

3.8.6 สรุปผลการทดลอง

นำผลที่ได้จากการทดลองมาสรุปผล

3.9 การหาประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ

การคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ คิดจากปริมาณน้ำที่ได้จากการปั๊ม(Output) และความเร็วลม (Input) หรือ $\eta = \frac{output}{input}$ x 100 เพื่อจะทำให้ทราบถึงความเร็วลมที่ทำให้การทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติมีประสิทธิภาพมากที่สุด นำค่าที่ได้จากตารางที่ 3.1 มาคิดหาค่าประสิทธิภาพ แล้วทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมกับความเร็วลม

3.10 สรุปและประเมินผลการทำโครงการ

นำข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการมาสรุปผล เพื่อตรวจสอบว่ากังหันลมสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 การคำนวณ

การคำนวณส่วนต่างๆของเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบ เพื่อการออกแบบขนาดที่เหมาะสมในการสร้างส่วนประกอบต่างๆของกังหันลม โดยคำนวณและออกแบบจากข้อมูลพื้นฐานดังต่อไปนี้คือ พื้นที่ที่จะนำกังหันลมไปใช้งานคือสวนผลไม้ของ นายสมพร เจริญมี มีพื้นที่ประมาณ 5ไร่ มีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 2.5 เมตรต่อวินาที ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้คือ 45 ลิตรต่อชั่วโมง

4.1.1 การคำนวณหาปริมาตรของน้ำในกระบอกสูบ

ทำการหาปริมาตรน้ำต่อ 1 รอบการทำงานของปั๊มเพื่อจะได้นำไปหาว่าปั๊มน้ำจะต้องทำงานกี่รอบเพื่อที่จะให้ได้ปริมาณน้ำตามที่ต้องการ โดยหาจากสมการที่ 2.11

$$\text{ปริมาตรของน้ำในกระบอกสูบ} = \pi r^2 h$$

โดยที่ ปริมาตรของน้ำในกระบอกสูบ หน่วยคือ ลูกบาศก์เซนติเมตร

πr^2 คือ พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ หน่วยคือ ตารางเซนติเมตร

h คือ ระยะชักของลูกสูบปั๊มน้ำ หน่วยคือ เซนติเมตร

จากข้อมูล ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบของปั๊มน้ำคือ 49 มิลลิเมตร ระยะชักของลูกสูบ คือ 5 เซนติเมตร

จะได้ ปริมาตรของน้ำในกระบอกสูบ $= \pi r^2 h$

$$= \pi \times \left(\frac{4.9}{2}\right)^2 \times 5$$

$= 94.23$ ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ 1รอบการทำงาน

ทำให้เป็นหน่วย ลิตร จะได้ $\frac{94.23}{1000} = 0.09423$ ลิตรต่อ 1รอบการทำงาน

สรุปได้ว่า ปริมาตรของน้ำแปรผันตรงกับระยะชักของลูกสูบ ระยะชักมากปริมาตรของน้ำก็จะมากด้วยในหนึ่งรอบการทำงาน ระยะชักน้อยปริมาตรของน้ำก็จะน้อยตามด้วย

จากการทดลองการทำงานของปั๊มน้ำโดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ความเร็วรอบที่ 300 รอบ/นาที ได้ปริมาตรน้ำ 15 ลิตร/นาที จากข้อมูลแสดงว่าประสิทธิภาพของปั๊มน้ำมีประมาณ 50% โดยประมาณพิจารณาจาก ในอุดมคติแล้วถ้าปั๊มน้ำทำงาน 300 รอบในแต่ละรอบได้ปริมาณน้ำตามคำนวณคือ 0.09423 ลิตร ก็จะได้ปริมาณน้ำเท่ากับ 28.2 ลิตร/นาที แต่โดยจากการทดลองแล้วได้ปริมาณน้ำเพียง 15 ลิตร/นาที สรุปว่า เมื่อปั๊มน้ำทำงาน Input = 100 % จะได้ Output = 50 % โดยประมาณ

ที่มา : http://www.egmu.net/civil/areeya/EGCE322/Lab7_A'Suwanna.doc

4.1.2 การคำนวณหาจำนวนรอบการทำงานของปั๊มน้ำ

การหาจำนวนรอบที่ปั๊มน้ำต้องทำงานต่อนาทีเพื่อที่จะให้ได้ปริมาณน้ำตามต้องที่ต้องการใช้โดยคำนวณได้โดยหาจาก ปริมาณน้ำในกระบอกสูบ และประสิทธิภาพที่คำนวณได้จากหัวข้อ 4.1.1

จำนวนรอบการทำงาน = (ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ต่อนาที / ปริมาณน้ำที่ได้จาก 1 รอบการทำงานของปั๊มน้ำ) / ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มน้ำ

$$= \frac{(0.75 / 0.09423)}{50\%}$$

= 15.92 รอบต่อนาที = 0.265 รอบต่อวินาที

ดังนั้น ปั๊มน้ำต้องทำงาน 15.92 รอบต่อนาทีจึงจะได้น้ำมาใช้ตามที่ต้องการ นำไปหากำลังของกังหัน

4.1.3 การคำนวณหาพลังงานที่ใช้ต่อ 1 รอบการทำงานของปั๊มน้ำ

การคำนวณหาหาพลังงานที่ต้องใช้ใน 1 รอบการทำงานของปั๊มน้ำโดยการเปรียบเทียบบัญญัติไตรยางศ์จากข้อมูลดังนี้ การทำงานของปั๊มน้ำโดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ความเร็วรอบที่ 300 รอบ/นาที ได้ปริมาตรน้ำ 15 ลิตร/นาที ก็จะได้ว่าใช้มอเตอร์ 1 แรงม้ามีพลังงานเท่ากับ 745.7 วัตต์ทำการหมุนปั๊มน้ำที่ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาทีเท่ากับหมุน 5 รอบต่อวินาที

พลังงานที่ใช้ใน 1 รอบการทำงานของปั๊ม = พลังงานที่ใช้ต่อวินาที / จำนวนรอบที่หมุนต่อวินาที

= 745.7 / 5

= 149.14 วัตต์ / รอบ

แต่ถ้าต้องการใช้น้ำเท่ากับ 0.75 ลิตรต่อนาที หมุนที่ 15.92 รอบต่อนาทีหรือ 0.265 รอบต่อวินาที จะต้องใช้พลังงานเท่ากับ

$$\frac{x}{0.265} = \frac{745.7}{5}$$

$$x = 39.52$$

จากการเปรียบเทียบบัญญัติไตรยางศ์การปั๊มน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการต้องใช้พลังงานเท่ากับ 39.52 วัตต์ / วินาที นำไปใช้หาขนาดของใบพัด

4.1.4 การคำนวณหาขนาดใบพัดของกังหันลม

การหาขนาดใบพัดของกังหันลมหาได้จากสูตร

Power = 0.5 x Sweep Area x Air Density x Velocity^3

Sweep Area = π x (D/2)^2

Power คือ กำลังของกังหันลม หน่วย วัตต์ (Watt)

Sweep Area คือ พื้นที่วงกลมของใบพัด มีหน่วยเป็นตารางเมตร

Air Density คือ ความหนาแน่นของอากาศคือ 1.23 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Velocity คือ ความเร็วลม หน่วย เมตร/วินาที (m/s)

D คือ ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกังหัน หน่วยเป็นเมตร

การคำนวณย้ายข้างเพื่อหา Sweep Area

$$\text{Sweep Area} = \frac{power}{\left(0.5 \times AirDensity \times Velocity^3\right)}$$

$$= \frac{39.52}{\left(0.5 \times 1.23 \times 2.5^3\right)}$$

= 4.11 ตารางเมตร

4.1.5 การคำนวณหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกังหัน

การคำนวณหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกังหันคำนวณจากสูตรโดยทำการย้ายข้างและใช้ค่าSweep Area เท่ากับ 4.11 ตารางเมตรที่คำนวณได้ในหัวข้อที่ 4.1.4 เพื่อหาความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกังหัน

$$D = \left(\sqrt{\frac{SweepArea}{\pi}}\right) \times 2$$

$$D = \left(\sqrt{\frac{4.11}{\pi}}\right) \times 2$$

D = 2.29 เมตร

ในการออกแบบการสร้างใบพัดของกังหันปั๊มน้ำลมควรออกแบบให้ใหญ่กว่าการคำนวณ เพราะว่าในการทำกังหันลมปั๊มน้ำนั้นจะมีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นจากหลายๆอย่างเช่น แรงเสียดทานที่เกิดจากการเสียดสีของเฟืองที่ใช้ทดรอบ และแรงลมที่เข้ามาปะทะใบพัดของกังหันอาจจะไม่ตั้งฉากกับใบพัดของกังหันก็จะทำให้แรงสูญเสียไปได้ เป็นต้น

4.2 การออกแบบ

ในส่วนของการออกแบบกังหันลมพลังงานธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

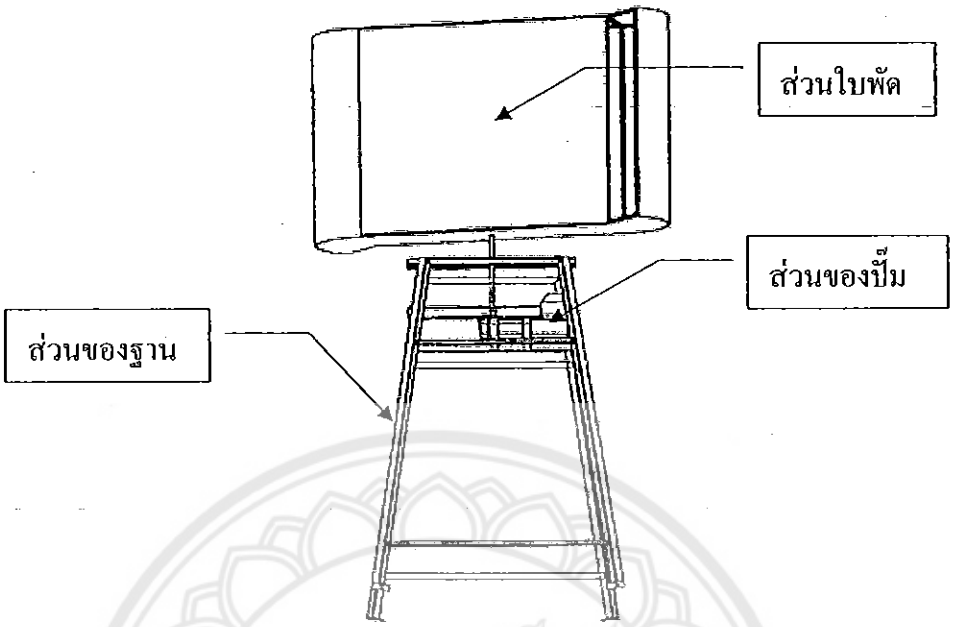
4.2.1 ส่วนของใบพัดกังหันลม

4.2.2 ส่วนของโครงสร้างและฐาน

4.2.3 ส่วนของปั๊มน้ำ

4.2.1 การออกแบบใบพัดและระบบส่งกำลัง

ส่วนของโครงสร้างได้ออกแบบเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกคือการออกแบบโครงสร้างจะเป็นส่วนที่ต้องใช้การออกแบบที่ต้องคำนึงถึง ลักษณะการทำงานของใบพัดที่เหมาะสม แรงลมที่มีอยู่ในพื้นที่ แรงบิดและงานที่ได้



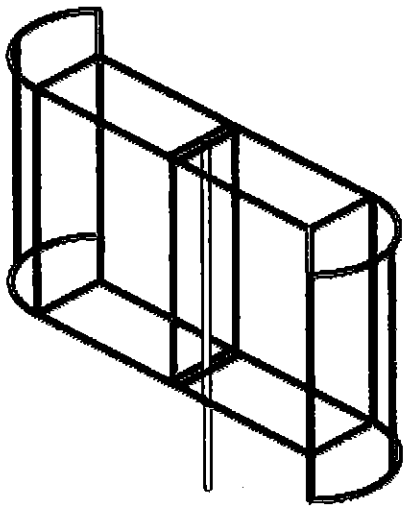
รูปที่ 4.1 โครงสร้างของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ

การเลือกใช้วัสดุที่จะนำมาสร้างกังหัน จะเป็นส่วนที่ต้องคำนึงถึง ความเหมาะสม ความแข็งแรง และน้ำหนักของวัสดุที่นำมาใช้เพื่อกังหันลมจะได้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

4.2.1.1 โครงสร้างของใบพัดทำจากเหล็กกล่องขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว เพราะว่า เหล็กกล่องเป็นเหล็กหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป เป็นเหล็กที่มีขนาดเล็กแข็งแรง และที่สำคัญคือน้ำหนักเบากว่าเหล็กประเภทอื่น

4.2.1.2 เพลาทำจากเหล็กเพลากลวงขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว เพราะว่าเป็นเหล็กที่กลวงสามารถสอดแกนเพลาเหล็กเข้าไปและสามารถถอดเข้า ออก ได้ตอนประกอบ และขนย้าย

4.2.1.3 ตัวกังหันทำจากแผ่นอลูมิเนียม และอลูมิเนียมฉากขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้วยึดด้วยรีเวท เพราะใช้แผ่นอลูมิเนียมมีน้ำหนักเบา สวยงาม และยึดด้วยรีเวทเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของใบพัดเมื่อโดนลมแรงๆ



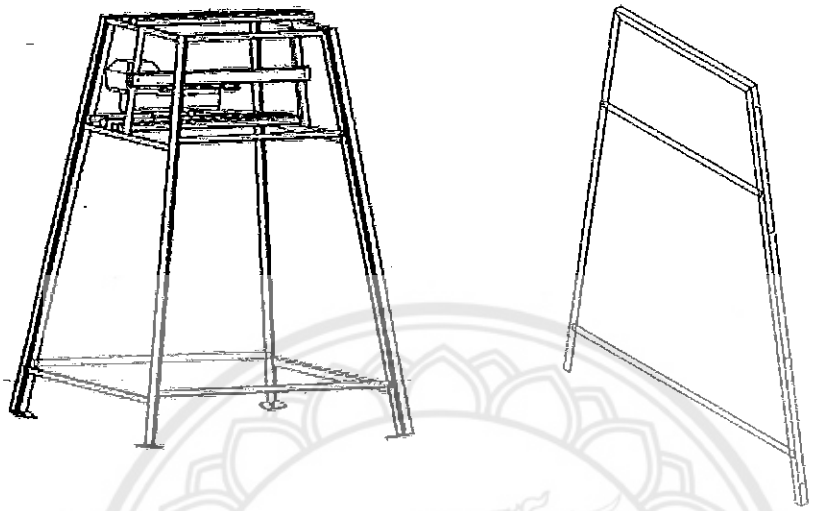
รูปที่ 4.2 ลักษณะโครงสร้างภายในของใบพัดของกังหันลม

รูปที่ 4.3 ลักษณะของใบพัดของกังหันลม

ในส่วนของการออกแบบขนาดของใบพัดกังหัน จะใช้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่ 4.1 โดยการคำนวณจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของใบพัด ใบพัดเป็นแบบผสมกันระหว่างซาโวเนียส และสปลิตซาโวเนียส เข้าด้วยกัน ใบพัดที่ออกแบบไว้นั้นมีขนาดของพื้นที่วงกลมของใบพัดเท่ากับ 4.11 ตารางเมตร หรือมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกังหันเท่ากับ 2.29 เมตร มีลักษณะกลวงตรงกลาง เพื่อที่เมื่อมีลมพัดมาจะอาศัยลมส่วนหนึ่งพัดลอดเข้าไปในใบพัดแล้วไปปะทะใบพัดอีกข้างหนึ่งเป็นการช่วยหมุน โดยระยะความยาวของใบพัดจะมีขนาดประมาณ 2 เท่าของความกว้างของใบพัดก็จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.29 ×1.20 เมตร และระบบส่งกำลัง มีการต่อเพลาจากใบพัดของกังหันลม มีการใช้เฟืองและมีการทดรอบก่อนเข้ากับปั๊มน้ำ

4.2.2 การออกแบบโครงสร้างฐาน

หลักการออกแบบโครงสร้างฐานต้องคำนึงถึงลักษณะของการใช้งานคือ



รูปที่ 4.4 โครงสร้างฐานของกังหัน 4 ชิ้น และรูปตอนประกอบ

4.2.2.1 การขนย้าย ออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ โดยแยกออกเป็น 4 ส่วน หลักเพื่อสะดวกต่อการขนย้ายไปในสถานที่ที่ใช้งานได้ ทำจากเหล็กฉากขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ประกอบโดยการใช้น็อตยึดเพื่อที่จะสามารถถอดประกอบและสะดวกต่อการขนย้าย

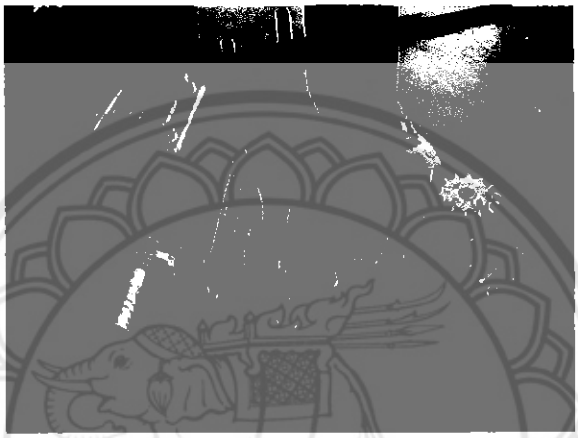
4.2.2.2 ความสูงของฐานออกแบบให้สูงอย่างน้อย 2 เมตร เพราะว่ากังหันลมพลังงานธรรมชาติจะรับลมได้ดีที่ความสูงประมาณ 3 เมตร โดยการวัดความเร็วลมในพื้นที่ใช้งานความกว้างของฐาน 1.33 เมตร ก็จะออกแบบให้ส่วนของฐานกว้างกว่าส่วนบน เพื่อจะได้รับน้ำหนักของปั๊มน้ำ ใบพัดกังหัน และแรงปะทะของลม

4.2.2.3 ในส่วนขาของฐานทั้ง 4 ขา ก็ออกแบบให้มีส่วนที่จะสามารถจับยึดกับพื้นที่ที่จะติดตั้งกังหันลมได้เพื่อไม่ให้ยกตัวและเคลื่อนที่ได้กรณีที่มีลมแรงมาก

4.2.2.4 ฐานกังหัน ควรมีความกว้างไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของใบพัด เพื่อความมั่นคงในการรับแรงประทะของลมได้ดี

4.2.3 ส่วนของปั๊มน้ำและท่อ

การเลือกใช้ปั๊มน้ำแบบปั๊มชัก (ปั๊มแบบลูกสูบ) ขนาดเล็กท่อน้ำเข้าน้ำออก 1 นิ้ว เพราะว่าปั๊มน้ำแบบลูกสูบใช้แรงหมุน(แรงทอร์ค)และความเร็วรอบในการทำงานสูงมาก ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ ทำงานด้วยการชักลูกสูบเลื่อนไป-มา และมีวาล์วเปิด-ปิดน้ำเข้า-ออก จากลูกสูบ เป็นการเพิ่มแรงดันให้น้ำโดยตรง เป็นที่นิยมใช้เมื่อหลายปีที่แล้ว ปัจจุบันมีใช้น้อยมาก มีข้อดีคือได้แรงดันน้ำสูง แต่มีข้อเสียที่ปริมาณน้ำน้อย และมีการสึกหรอมากเพราะมีชิ้นส่วนเคลื่อนที่มาก



รูปที่ 4.5 ปั๊มน้ำแบบลูกสูบ

หลักการทำงานของปั๊มชนิดนี้คือ ใช้ข้อเหวี่ยงเลื่อนลูกสูบภายในปั๊มเข้า - ออกตามระยะชักลูกสูบเคลื่อนที่เท่าไหร่ได้ปริมาณน้ำเท่านั้น จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ความเร็วรอบมากก็สามารถทำงานได้

ตารางที่ 4.1 ข้อดีข้อเสียของปั๊มน้ำแบบลูกสูบ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ใช้กำลังในการทำงานไม่เยอะ	1. การต่อท่อน้ำเข้าน้ำออกยาก
2. สามารถทำงานได้ในความเร็วรอบที่ไม่สูง	2.ปริมาณน้ำน้อย
3. ติดตั้งและบำรุงรักษาง่าย	3.มีการสึกหรอมากเพราะมีชิ้นส่วนเคลื่อนที่มาก
4. ราคาไม่สูง	

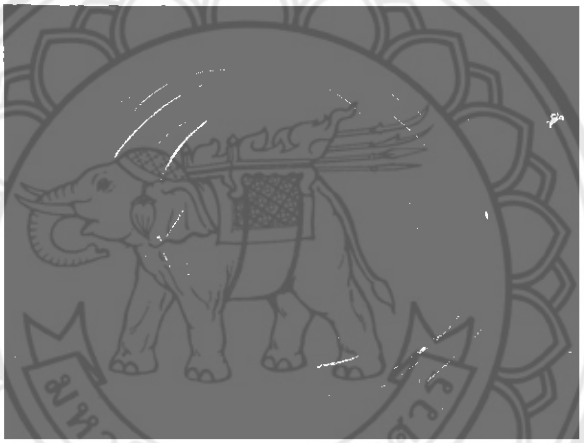
4.3 การเลือกและจัดซื้ออุปกรณ์

4.3.1 ปั๊มน้ำ

ในการสร้างกังหันลมปั๊มน้ำได้เลือกซื้อปั๊มน้ำแบบลูกสูบขนาด 1 นิ้วตามหัวข้อที่ 4.2.3

4.3.2 ท่อสายยาง

ในการสร้างกังหันลมปั๊มน้ำได้เลือกซื้อท่อสายยางจะต้องเลือกท่อสายยางที่มีขนาดพอดีกับขนาดของท่อน้ำเข้า - ออกของปั๊มที่ใช้ สายยางมีอยู่หลายประเภทหลายขนาดแต่สำหรับปั๊มต้องใช้สายยางที่ทนแรงดันปานกลางซึ่งสายยางทนแรงดันก็มีหลายขนาดซึ่งในการเลือกต้องเลือกให้เหมาะสมกับขนาดแรงดันของปั๊มซึ่งมีขนาดต่างๆกันดังนี้ สายยางขนาด 1 นิ้ว



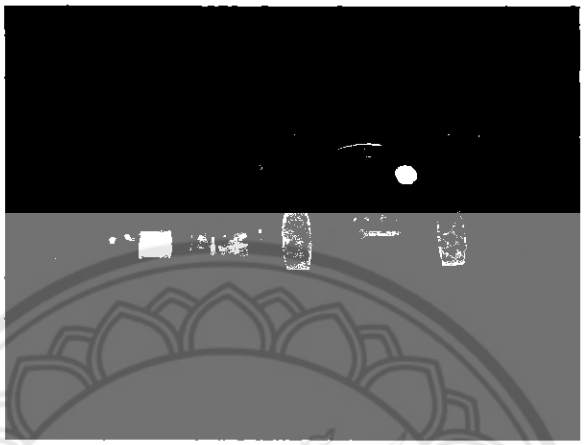
รูปที่ 4.6 ท่อสายยางที่ใช้ต่อกับปั๊ม

ตารางที่ 4.2 ข้อดีข้อเสียของท่อสายยาง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ราคาถูก	1. มีความอ่อนตัวหักงอได้ง่าย
2. ให้ปริมาณน้ำไหลได้มาก	2.ทนแรงดันได้ไม่มาก
3. ใช้งานง่าย น้ำหนักเบา	
4. สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์อื่นได้ง่าย	

4.3.3 เช็ควาล์ว

เป็นอุปกรณ์ประกอบที่มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำไหลย้อยกลับ ซึ่งจะใช้ต่อเข้ากับสายยางที่ต่อเข้ากับท่อน้ำข้าวของปั๊มน้ำ เมื่อเวลาที่ปั๊มน้ำดูดน้ำเข้าน้ำที่อยู่ในท่อแล้วก็จะไม่ไหลย้อนกลับทำให้สามารถที่จะดูดน้ำขึ้นที่สูงในระดับต่างๆได้ ซึ่งที่ใช้จะเป็นทองเหลือง ขนาดท่อ 1 นิ้ว



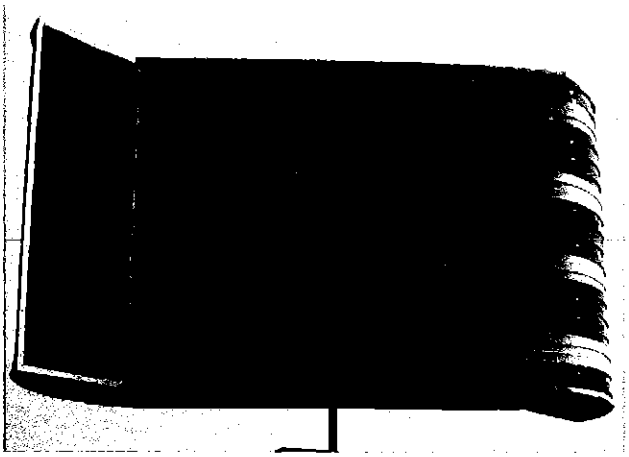
รูปที่ 4.7 เช็ควาล์วทองเหลือง

ตารางที่ 4.3 ข้อดีข้อเสียของเช็ควาล์ว

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีความคงทน แข็งแรง	1. ราคาแพง
2. สามารถทนแรงดันได้มาก	
3. ไม่เกิดสนิม	

4.3.4 แผ่นอลูมิเนียม

เป็นวัสดุที่ใช้ทำใบพัดของกังหันลมเนื่องจากน้ำหนักเบากว่าสังกะสีแผ่นเรียบ เพื่อต้องการให้ใบพัดมีน้ำหนักเบาที่สุด ซึ่งจะทำให้ใบพัดหมุนได้ง่ายขึ้นด้วย



รูปที่ 4.8 ใบพัดที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียม

ตารางที่ 4.4 ข้อดีข้อเสียของแผ่นอลูมิเนียม

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีความคงทน แข็งแรงต่อแดดและฝน	1. ราคาแพง
2. น้ำหนักเบา	
3. รับแรงปะทะจากลมได้ดี	

4.3.5 ตลับลูกปืนตุ๊กตา

ใช้สำหรับต่อเข้ากับเพลาเพื่อช่วยส่งแรง ช่วยเพิ่มความคล่องตัวในการหมุนคุณสมบัติตลับลูกปืนชนิดนี้ ตัวเสื้อ (HOUSING) ผลิตจากเหล็กแผ่นขนาดหนา ผ่านการแปรรูปโดยใช้วิธีการตัดด้วยหัวตัดแก๊ส คุณสมบัติพิเศษเฉพาะของตัวเสื้อชนิดนี้จะมีความแข็งแรงสูง โครงสร้างของวัสดุที่นำมาใช้ผลิต มีโมเลกุลของวัตถุจับตัวกันอย่างหนาแน่น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ตัวเสื้อ ขนาดพิกัดของสัดส่วนต่าง ๆ เป็นไปตามมาตรฐาน ISO ที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นขนาดเดียวกับตลับลูกปืนตุ๊กตาแบบทั่ว ๆ ไป

ตลับลูกปืนตุ๊กตาชนิดนี้ สามารถรับภาระได้มากกว่าค่าภาระทางจลศาสตร์ของตลับลูกปืนอยู่ประมาณ 5 เท่าตัว หากทำการเปรียบเทียบกับตัวเสื้อชนิดเหล็กหล่อ หรือเหล็กแผ่นปั๊มขึ้นรูป จะพบว่าตัวเสื้อแบบ ROLED STEEL มีความแข็งแรงสูงกว่า

การใช้งานตลับลูกปืนตุ๊กตาชนิดนี้ มีคุณสมบัติต่อการใช้งาน ในสภาวะที่มีแรงกระแทกและแรงสั่นสะเทือนสูง รวมทั้งในภาวะของงานที่หนักหน่วง

(ก) (ข)

รูปที่ 4.9 ตลับลูกปืนตุ๊กตาที่ต่อเข้ากับแกนเพลา
(ก) ตลับลูกปืนแบบขึดน็อต 4 ตัว
(ข) ตลับลูกปืนแบบขึดน็อต 2 ตัว

ตารางที่ 4.5 ข้อดีข้อเสียของตลับลูกปืนตุ๊กตา

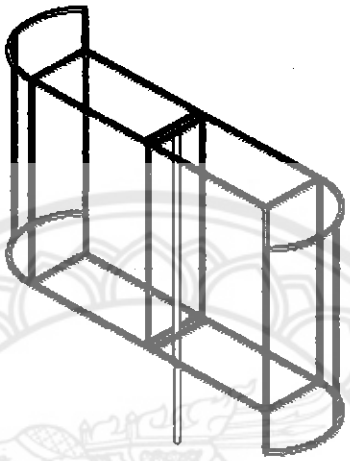
ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีความคงทน แข็งแรง	1. ราคาแพง
2. ทนต่อแรงกระแทกสูง	
3. ทนต่อแรงสั่นสะเทือนสูง	
4. ติดตั้งได้ง่าย	

4.4 การสร้างกังหันลมปั๊มน้ำ

4.4.1 การสร้างใบพัดและระบบส่งกำลัง

ส่วนของการสร้างใบพัดและระบบส่งกำลังแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของใบพัดของกังหันลมส่วนของเพลาและเฟืองทดรอบ สร้างใบพัด กับระบบส่งกำลังโดยในส่วนของใบพัดนั้นโครงสร้างทั้งหมดจะทำด้วยเหล็กกล่องขนาดเล็ก เพื่อต้องการให้ใบพัดมีน้ำหนักที่เบาที่สุด และ

จะต้องมีความมั่นคงแข็งแรงด้วย ส่วนแผ่นปิดด้านนอกนั้นจะใช้แผ่นอลูมิเนียมซึ่งมีความคงทนและมีน้ำหนักเบา รับลมได้ดี ส่วนแกนเพลาส่งกำลังนั้นจะทำการเชื่อมเข้ากับส่วนของใบพัดอย่างถาวรเพื่อความมั่นคง และไม่สั่นคลอน ปลายของเพลาจะต่อเข้ากับเฟืองเพื่อทำการทดรอบตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12



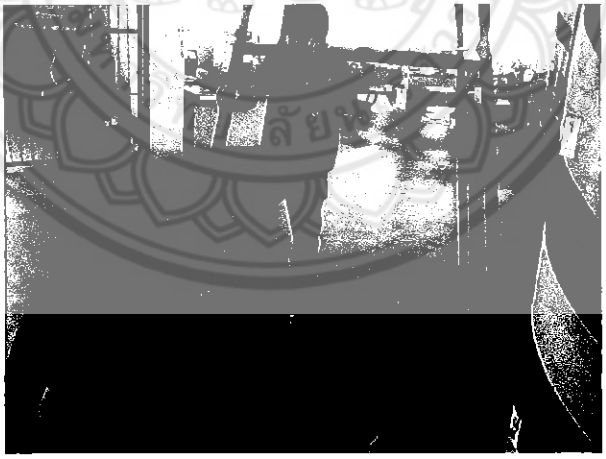
รูปที่ 4.10 โครงสร้างด้านในของใบพัด

รูปที่ 4.11 ใบพัดของกังหันลมเมื่อสร้างเสร็จ

รูปที่ 4.12 เพลาส่งกำลังที่ใช้ลูกปืนแบบตุ๊กตา

4.4.2 การสร้างโครงสร้างฐาน

ส่วนของโครงสร้างและฐานนั้นทำโดยใช้เหล็กฉากขนาด หนึ่งนิ้วครึ่งมาเชื่อมตามแบบที่ได้ออกไว้จำนวน 4 ชิ้น เจาะรูขนาด 10 mm. เพื่อใส่น็อตยึดขึ้นเป็นฐานและโครงสร้างของกังหันลมดังรูป



รูปที่ 4.13 การสร้างโครงสร้างฐานของกังหันลม

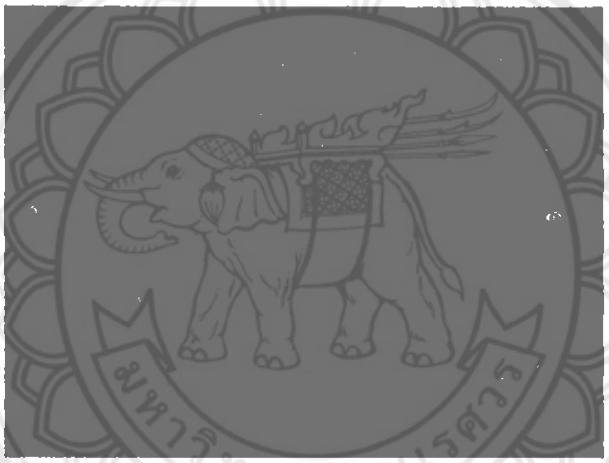
รูปที่ 4.14 การใช้น็อตยึดชิ้นส่วนของโครงสร้างฐาน

รูปที่ 4.15 รูปร่างของฐานกังหันลมเมื่อประกอบเสร็จ

4.4.3 การสร้างระบบส่งน้ำ

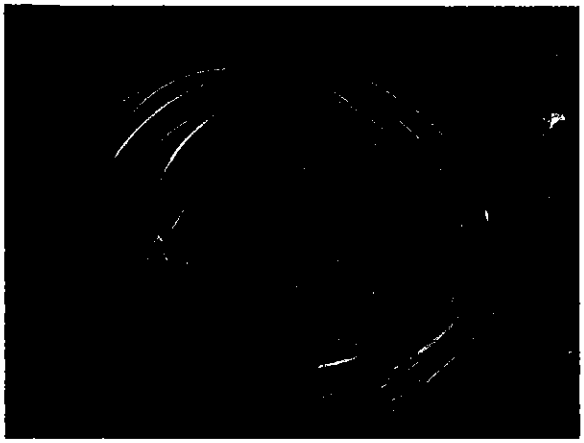
การสร้างระบบส่งน้ำส่วนของปั๊มน้ำและท่อแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของปั๊มน้ำและท่อส่งน้ำแยก ส่วนของปั๊มน้ำก็เลือกซื้อปั๊มน้ำที่มีอยู่ตามท้องตลาดทั่วไป การสร้างตัวยึดปั๊มน้ำให้ติดกับฐานกังหันลมแล้ว นำปั๊มน้ำที่ได้มาเจาะรูร้อยน็อตเพื่อหันด้านตัวปั๊มขึ้นมาด้านบนและตัวค้ำยันปั๊มน้ำให้มีความมั่นคง ดังรูป

รูปที่ 4.16 ตัวยึดปั๊มน้ำให้ติดกับฐานกังหัน

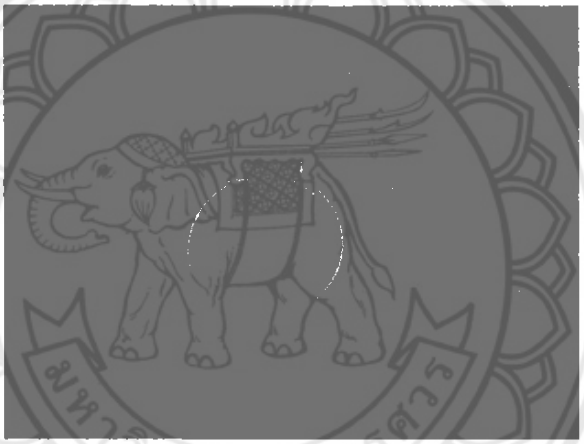


รูปที่ 4.17 ตัวค้ำยันปั๊มน้ำ

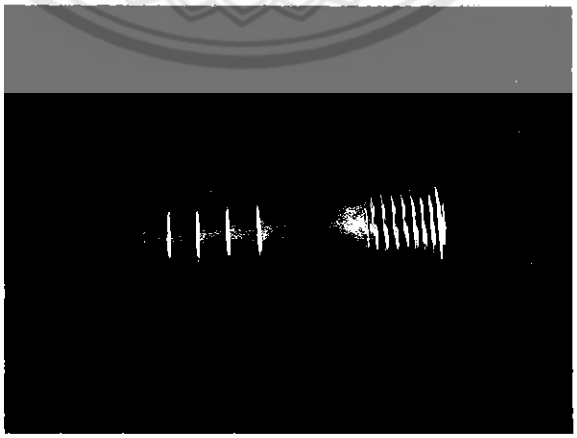
ส่วนของท่อน้ำเข้าและท่อส่งน้ำก็ซื้อท่อสายยางขนาด 1 นิ้ว เช็ควาล์วขนาด 1 นิ้ว แหวนยึดสายยางกับท่อ ท่อต่อเข้ากับปั๊มขนาด 1 นิ้ว หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป



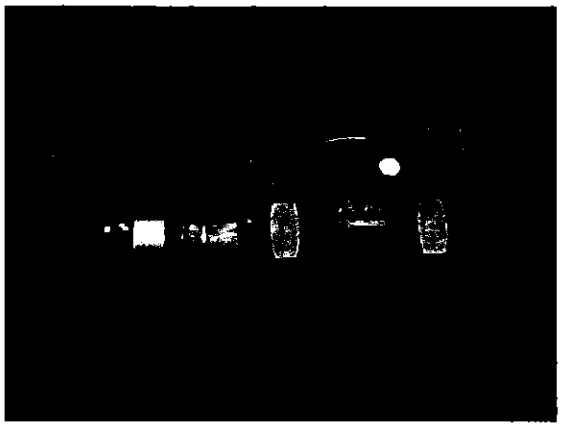
รูปที่ 4.18 ท่อสายยางขนาด 1 นิ้ว



รูปที่ 4.19 เข็มขัดล็อคสายยาง



รูปที่ 4.20 ท่อต่อเข้ากับปั๊มขนาด 1 นิ้ว



รูปที่ 4.21 เช็ควาล์วขนาด 1 นิ้ว

4.4.4 การเก็บรายละเอียดและทาสี

การตกแต่งและทาสีเมื่อทำการสร้างส่วนประกอบต่างๆเสร็จสิ้น **เพื่อป้องกันสนิม** และความสวยงาม

รูปที่ 4.22 การทาสีโครงสร้างฐานเพื่อกันสนิม

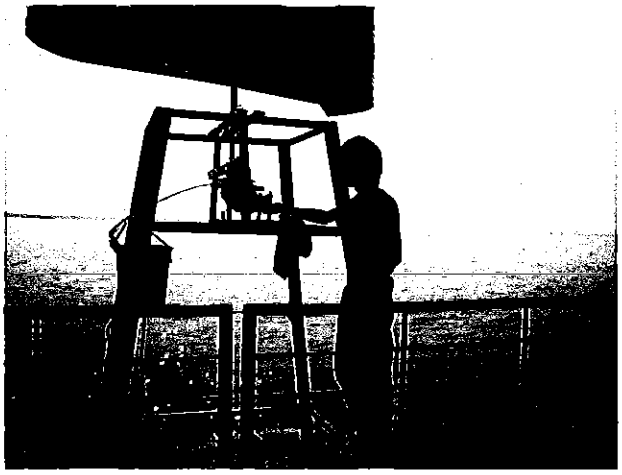
4.4.5 การประกอบกังหันลม

เมื่อขนส่วนประกอบต่างๆ ของกังหันลมไปยังพื้นที่ที่ต้องการใช้งานแล้ว การประกอบกังหันลมก็เริ่มต้นโดยการประกอบส่วนโครงสร้างฐานก่อน

รูปที่ 4.23 การประกอบโครงสร้างฐานของกังหันลม

การประกอบส่วนที่สองคือการประกอบส่วนของปั๊มน้ำและระบบส่งกำลังคือเพลาและเฟืองเข้ากับโครงสร้างฐาน

รูปที่ 4.24 ทำการประกอบส่วนของเพลาและเฟือง



รูปที่ 4.25 ทำการประกอบส่วนของปั๊มน้ำและสายยางส่งน้ำ

การประกอบส่วนที่สามคือ การประกอบใบพัดกังหันลมเข้ากับเพลาส่งกำลัง และยกไปติดตั้งในพื้นที่โล่งแจ้งบริเวณต้องการใช้งาน

รูปที่ 4.26 การประกอบใบพัดกังหันลมเข้ากับเพลา

4.5 ปรับปรุงและแก้ไข

จากการทดลองมาจะมีบางจุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข

4.5.1 ระบบการทำงานของปั๊มน้ำ

เนื่องจากระบบการทำงานของปั๊มน้ำจะต้องเป็นระบบแบบสุญญากาศ และท่อน้ำเข้าออกต้องไปบีบตัวและเสียรูปได้ง่าย แก้ไขโดยเลือกซื้อท่อสายยางท่อมีความแข็งแรงต้านทานต่อการเสียรูป เมื่อนำมาประกอบกับตัวปั๊มก็นำเข็มขัดล็อคด้วยเพื่อไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปในท่อ

รูปที่ 4.27 เข็มขัดล็อคสายยาง

4.5.2 ความสามารถในการดูดน้ำขึ้นของปั๊ม

เนื่องความสามารถในการดูดน้ำขึ้นจากของปั๊มน้ำ ในแนวดิ่งได้ไม่เกิน 1 -2 เมตร แก้ไขโดยการติดเช็ควาล์วที่ปลายท่อน้ำเข้า เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดน้ำของปั๊มให้สูงขึ้นเป็น 2 - 3 เมตร

รูปที่ 4.28 ต่อเช็ควาล์วที่ปลายท่อน้ำเข้า

4.5.3 การทดรอบ

เนื่องจากกังหันลมที่สร้างขึ้น เป็นกังหันลมแนวตั้งความเร็วรอบของการหมุนช้ากว่ากังหันลมแนวนอนจึงต้องมีการทดรอบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลม

รูปที่ 4.29 เฟืองขับตัวใหญ่ที่ต่อจากใบพัด

รูปที่ 4.30 เฟืองขับตัวเล็กที่ต่อจากปั๊ม

เฟืองที่ใช้คือเฟืองที่ได้จากสเตอร์รถจักรยานยนต์ทั่วไป โดยจะใช้ทั้งสเตอร์หน้าและหลัง การทดรอบนั้นคือเมื่อใบพัดกังหันหมุน 1 รอบเฟืองตัวใหญ่ของใบพัดจะทดรอบให้เฟืองตัวเล็กของปั๊มน้ำหมุน 36/14 รอบ หรือ 2.57 รอบ และในขั้นตอนของการถอดประกอบหรือติดตั้งควรให้ความระมัดระวังในการประกอบระบบส่งกำลัง ในส่วนของเฟืองควรมีการปรับตั้งให้มีความสมบูรณ์ ถ้าเฟืองไม่ขบกันเต็มที่การทำงานก็จะไม่เต็มประสิทธิภาพ ต้องมีการปรับตั้งหรือเปลี่ยนเฟืองชุดใหม่ เพื่อทำให้กังหันลมพลังงานธรรมชาติทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

4.6 การทดลองหาความเร็วที่ได้จากพัดลม

การทดลองนี้เพื่อศึกษาและเก็บข้อมูล เพื่อไว้เป็นมาตรฐานในการหาอัตราการไหลของน้ำในการทดลองต่อไป ซึ่งมีการทดลองดังนี้

4.6.1 ขั้นตอนการเตรียม

4.6.1.1 เตรียมอุปกรณ์

ก) กังหันลมพลังงานธรรมชาติที่สร้างขึ้น

ข) ถังน้ำ

ค) เครื่องวัดความเร็วลม

ง) นาฬิกาจับเวลา

จ) เหยือกวัดปริมาณน้ำ

ฉ) ตลับเมตร

ช) พัดลม

ซ) น้ำ

รูปที่ 4.31 เครื่องวัดความเร็วลม

4.6.1.2 เตรียมสถานที่

ก) เลือกบริเวณที่ไม่มีการพัดของอากาศ เพื่อไม่ให้ลมที่พัดมีผลต่อลมที่เราสร้างขึ้นโดยพัดลม

ข) นำโต๊ะมาวางพัดลมเพื่อให้วางพัดลมได้เสมอกับระดับของใบพัด

ค) นำเอากังหันลมที่สร้างขึ้นมาตั้งหน้าพัดลมที่ระยะห่าง 1.5 เมตร

รูปที่ 4.32 การเตรียมสถานที่

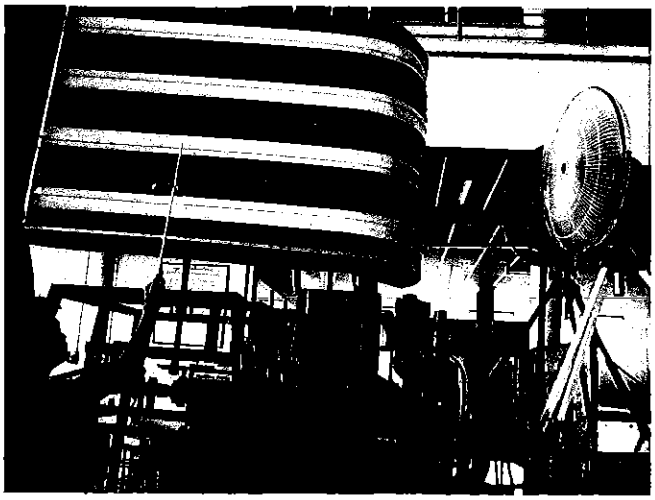
4.6.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนคือการหาความเร็วลม และหาอัตราการไหลของน้ำที่ความลมนั้นๆ

4.6.2.1 การทดลองหาความเร็วลม

ทำการเปิดพัดลมในแต่ละเบอร์ เพื่อทำการทดลองหาความเร็วลมที่พัดลมสองตัวผลิตได้เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการทดลองหาปริมาณการไหลของน้ำ

รูปที่ 4.33 การวัดความเร็วลม



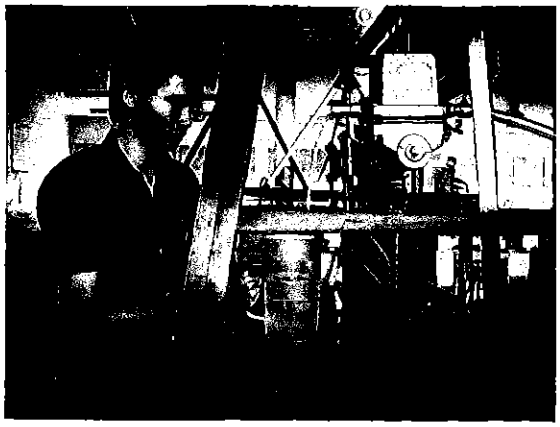
รูปที่ 4.34 การทดลองหาความเร็วลม

ตารางที่ 4.6 บันทึกค่าความเร็วลมที่พัดลมผลิตได้

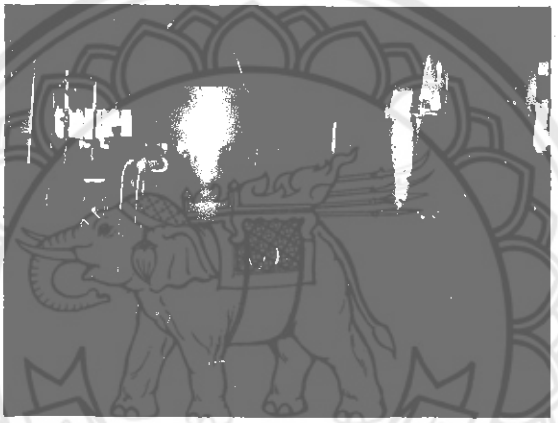
เบอร์ของพัดลม		ความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้ (m/s)
เครื่องที่1	เครื่องที่ 2	
ปิด	1	1.65
ปิด	2	2.07
ปิด	3	2.33
1	1	2.55
1	2	2.81
2	2	3.25
2	3	3.86
3	3	4.11

4.6.2.2 การทดลองหาอัตราการไหลของน้ำ

การทดลองหาอัตราการไหลของน้ำที่กังหันลมทำงานได้ ใช้ข้อมูลจากการทดลองหาความเร็วลมที่ได้จากพัดลม โดยการใช้พัดลมผลิตลม โดยจะเปิดพัดลมในแต่ละเบอร์ตั้งแต่เบอร์ 1 – เบอร์ 3 เพื่อมาพัดใบพัดของกังหันลม ทำให้ทำการหมุนให้ปั๊มน้ำทำงานแล้ววัดปริมาณน้ำที่ได้ เป็นเวลา 1 นาทีต่ออัตราความเร็วลมแต่ละค่า



รูปที่ 4.35 การทดลองหาปริมาณของน้ำจากการปั๊มน้ำ



รูปที่ 4.36 เหยือกวัดปริมาณน้ำ

ตารางที่ 4.7 บันทึกค่าปริมาณของน้ำที่ได้จากการทดลอง

ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	ปริมาณน้ำเฉลี่ย (ลิตรต่อนาที)
1.65	0
2.06	0
2.33	0
2.55	0.52
2.81	1.14
3.25	1.89
3.86	2.15
4.12	2.23

จากตารางที่ 4.7 สรุปได้ว่าความเร็วลมที่น้อยที่สุด ที่ทำให้กังหันลมพลังงานธรรมชาติเริ่มทำงานคือที่ความเร็วลมเท่ากับ 2.55 m/s และปริมาณน้ำที่สามารถปั๊มได้ที่ความเร็วลม 2.55 m/s คือ 0.52 ลิตร/นาที และดูจากค่าความเร็วลมที่เพิ่มมากขึ้นปริมาณน้ำที่ได้จากการปั๊มก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.6.2.3 การคำนวณหากำลังที่ได้จากกังหันลมพลังงานธรรมชาติ

จากข้อมูลคือ จะคิดอัตราความเร็วลมที่น้อยที่สุด ที่ให้กังหันลมพลังงานธรรมชาติเริ่มทำงาน คือที่ความเร็วลม 2.55 m/s ค่าความหนาแน่นของอากาศคือ 1.23 kg/m^3 ค่าความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกังหันลมคือ 2.29 เมตร

ดังนั้นจะหาค่า Sweep Area ได้จากสมการ $\text{Sweep Area} = \pi \times (D/2)^2$

$$= 3.14 \times \left(\frac{2.29}{2}\right)^2$$

$$= 4.116$$

ดังนั้นจะนำค่า Sweep Area ที่ได้ไปแทนค่าในสมการ

$$\text{Power} = 0.5 \times \text{Sweep Area} \times \text{Air Density} \times \text{Velocity}^3$$

$$\text{Power} = 0.5 \times 4.116 \times 1.23 \times (2.55)^3$$

$$\text{Power} = 41.973 \text{ วัตต์}$$

สรุปได้ว่า กำลังของกังหันลมจะมากหรือน้อยนั้นจะแปรผันตามความเร็วของลม ซึ่งไม่สามารถที่จะออกแบบหรือควบคุมได้ ส่วน Sweep Area นั้นสามารถที่จะออกแบบและควบคุมได้โดยการเพิ่มความยาวและความกว้างของใบพัดกังหันนั่นเอง ดังนั้นการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพหรือกำลังของกังหันลมจึงต้องเพิ่มในส่วนของ Sweep Area คือขนาดของใบพัดนั่นเอง

4.6.2.4 การหารอบการทำงานของกังหันลม

คำนวณได้จากสูตร

$$N = (\text{Velocity} \times \text{TSR} \times 60) / \text{เส้นรอบวงของกังหันลม}$$

$$\text{TSR} = \text{ความเร็วลมที่ปลายของใบพัด} / \text{ความเร็วลมในขณะนั้น}$$

$$\text{เส้นรอบวงของกังหันลม} = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด} \times 3.14$$

N คือ จำนวนรอบการหมุนของใบพัดต่อนาที หน่วย รอบต่อนาที

TSR คือ ค่า tip speed ratio อัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบพัด

เส้นรอบวงของกังหันลม คือ ความยาวของเส้นรอบวงของกังหันลม หน่วย เมตร

จากข้อมูลคือจะคิดอัตราความเร็วลมที่น้อยที่สุด ที่ให้กังหันลมพลังงานธรรมชาติเริ่มทำงาน คือที่ความเร็วลม 2.55 m/s เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดกังหันลมคือ 2.29 เมตร ความเร็วลมที่ปลายใบพัด 2.67 m/s

ดังนั้นทำการหาค่า TSR ได้จากสมการ TSR = ความเร็วลมที่ปลายของใบพัด / ความเร็วลมในขณะนั้น

TSR = 2.67 / 2.55

TSR = 1.047

นำค่า TSR ที่ได้ไปแทนในสมการ N = (Velocity x TSR x 60) / เส้นรอบวงของกังหันลม

= (2.55 x 1.047 x 60) / (2.29 x 3.14)

= 160.191 / 7.19

= 22.27 รอบ/นาที

ทำให้เป็นรอบ / วินาที

จะได้ 22.27 / 60 = 0.371 รอบ / วินาที

4.6.2.5 การคำนวณหาอัตราเร็วของเฟือง

$$N_1Z_1 = N_2Z_2$$

N_1 คือ อัตราเร็วของเฟืองตัวขับ

N_2 คือ อัตราเร็วของเฟืองตัวตาม

Z_1 คือ จำนวนฟันของเฟืองตัวขับ

Z_2 คือ จำนวนฟันของเฟืองตัวตาม

จากข้อมูลต่อไปนี้

อัตราเร็วของเฟืองตัวขับเท่ากับ 0.371 รอบต่อวินาที

จำนวนฟันของเฟืองตัวขับเท่ากับ 36 ฟัน

จำนวนฟันของเฟืองตัวตามเท่ากับ 14 ฟัน

จะได้ว่า $N_1Z_1 = N_2Z_2$

$$N_2 = \frac{N_1Z_1}{Z_2}$$

$N_2 = (0.371 \times 36) / 14$

$N_2 = 0.954$ รอบต่อวินาที

4.6.2.6 การคำนวณหาอัตราทดรอบของเฟือง (m_ω)

$$m_\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

ω คือ ความเร็วเชิงมุมมีหน่วยเป็น องศาเรเดียน/ วินาที

n คือ ความเร็วรอบมีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตช์มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm)

N คือ จำนวนฟัน

จากข้อมูล

N_1 คือ อัตราเร็วของเฟืองตัวขับ

N_2 คือ อัตราเร็วของเฟืองตัวตาม

จำนวนฟันของเฟืองตัวขับเท่ากับ 36 ฟัน

จำนวนฟันของเฟืองตัวตามเท่ากับ 14 ฟัน

อัตราทดของเฟืองตามจะได้ว่า $m_\omega = \frac{N1}{N2}$

$$m_\omega = \frac{36}{14}$$

$$m_\omega = 2.57$$

สรุปได้ว่า เฟืองขับหมุนไป 1 รอบ เฟืองตามจะหมุนไป 2.57 รอบ

อัตราทดของเฟืองขับจะได้ว่า $m_\omega = \frac{N2}{N1}$

$$m_\omega = \frac{14}{36}$$

$$m_\omega = 0.388$$

สรุปได้ว่า เฟืองตามหมุน 1 รอบ เฟืองขับจะหมุนไป 0.388 รอบ

4.7 การวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่อปริมาณของน้ำที่ปั๊มได้

ตารางที่ 4.8 บันทึกค่าวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	ปริมาณของน้ำที่ปั๊มได้ในเวลา 1 นาที/ครั้ง (ลิตร) จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง										เฉลี่ย (ลิตร)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2.55	0.48	0.52	0.61	0.54	0.49	0.47	0.51	0.49	0.54	0.62	0.527
2.81	1.15	1.27	1.23	1.12	1.08	1.05	1.12	1.09	1.14	1.15	1.140
3.25	1.87	1.95	1.94	1.75	1.94	1.86	1.95	1.97	1.75	1.97	1.895
3.86	2.18	2.24	2.34	2.15	2.12	2.05	2.03	2.13	2.18	2.09	2.151
4.11	2.25	2.27	2.35	2.21	2.23	2.25	2.31	2.39	2.24	2.25	2.275

จากตารางที่ 4.8 นำค่าที่ได้จากการทดลองในตารางไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ ANOVA โดยการใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ก็จะได้ตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ตาราง ANOVA

Source	SS	df	MS	F
Regression	20.373	2	10.187	165.07
Error	2.90	47	0.062	
Total	23.273	49		

$F_c = 165.07 > F_{0.05,2,47} = 3.202$

F_c ที่ได้จากตาราง ANOVA มีค่ามากกว่าค่า $F_{0.05,2,47}$ ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 หรือสรุปได้ว่า ความเร็วลมมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณน้ำที่ปั๊มได้ของกังหัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.8 การหาประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ

การคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ คิดจากปริมาณน้ำที่ได้จากการปั๊ม(Output) และความเร็วลม (Input) หรือ $\eta = \frac{output}{input} \times 100$ ก็จะได้ผลการคำนวณโดยเฉลี่ยในแต่ละค่าความเร็วลม โดยค่าประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติที่ได้จะมีหน่วยเป็น % ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ

ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ (%) จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง										เฉลี่ย (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2.55	18.82	20.39	23.92	21.17	19.21	18.43	20	19.21	21.17	24.31	20.66
2.81	40.92	45.19	43.77	39.85	38.43	37.36	39.85	38.79	40.56	40.92	40.56
3.25	57.53	60	59.69	53.84	59.69	57.23	60	60.61	53.84	60.61	58.30
3.86	56.47	58.03	60.62	55.69	54.92	53.10	52.59	55.18	56.47	54.14	55.72
4.11	54.74	55.23	57.17	53.77	54.25	54.74	56.20	58.15	54.50	54.74	55.35

จากหัวข้อ 4.7 ผลการทดสอบทางสถิติสรุปได้ว่า ความเร็วลมมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำหรือประสิทธิภาพของกังหันจึงสามารถนำค่าจากตารางที่ 4.10 นำมาสร้างความสัมพันธ์ในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.37

รูปที่ 4.37 กราฟประสิทธิภาพการทำงานของกังหันพลังงานธรรมชาติ

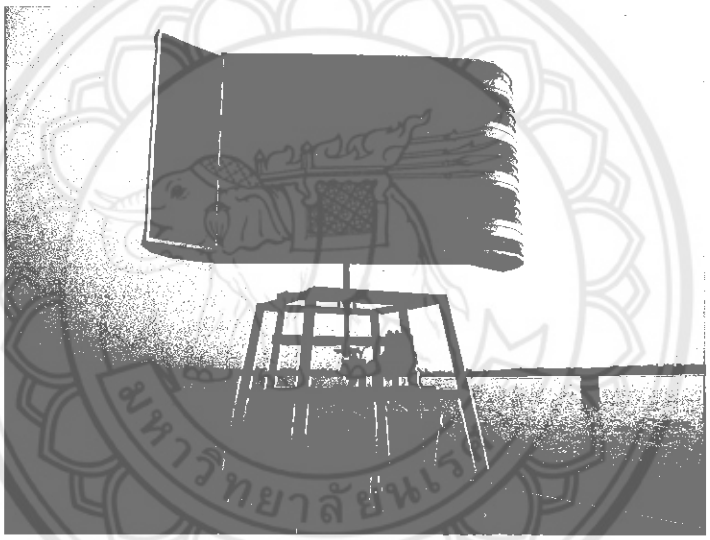
จากกราฟจะเห็นว่าความเร็วลมมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลม เมื่อความเร็วลมเพิ่มมากขึ้น ความเร็วรอบของกังหันก็จะเพิ่มมากขึ้น และจะเพิ่มขึ้นตามในอัตราที่ไม่คงที่ เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่ง ความเฉื่อยของการหมุนก็จะเพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้ความเร็วรอบในการหมุนของใบพัดกังหันมีอัตราที่ลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของกังหันลมก็จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งความเร็วลมที่สูงขึ้นจะส่งผลทำให้ใบพัดกังหัน หรือระบบส่งกำลังเกิดความเสียหายได้ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมลดลง

จากกราฟสรุปได้ว่าทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมจะมีมากที่สุด ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.25 เมตร/วินาที ซึ่งจะให้ปริมาณน้ำที่ปั๊มได้คือ 1.895 ลิตร/นาที ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 3.25 เมตร/วินาที ทำให้การทำงานของกังหันลมมีประสิทธิภาพมากสุด ถ้าความเร็วลมมากกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลดลง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

กังหันลมพลังงานธรรมชาติที่สร้างขึ้นนี้ สามารถนำเอาพลังงานลมที่มีอยู่ตามธรรมชาติเปลี่ยนมาเป็นพลังงานกลเพื่อปั๊มน้ำขึ้นมาใช้ในกิจกรรมต่างๆได้ ซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานน้ำมันและพลังงานไฟฟ้าแต่อย่างใด ช่วยให้ประหยัดค่าใช่จ่ายและลดปัญหาของสาเหตุการเกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน



รูปที่ 5.1 กังหันลมพลังงานธรรมชาติ

5.1 สรุปผล

กังหันลมพลังงานธรรมชาติจะสามารถปั๊มน้ำขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้นั้นจะต้องมีความเร็วลมตั้ง 2.55 เมตรต่อวินาที ขึ้นไป และอัตราการไหลของน้ำที่ได้นั้นก็ขึ้นอยู่กับช่วงความเร็วลมที่มีดังนี้

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงช่วงอัตราการไหลของน้ำในแต่ช่วงความเร็วลม

ช่วงของความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ช่วงของปริมาณของน้ำที่ปั๊มได้ (ลิตรต่อนาที)
0.0 - 2.50	กังหันลมไม่ทำงาน
2.55 - 3.0	0.5 - 1.5
3.0 - 3.5	1.5 - 2.0
3.5 - 4.0	2.0 - 2.2

สรุปได้ว่าความเร็วลมมีผลต่อการทดลองปั๊มน้ำ ยิ่งความเร็วของลมมีมากเพิ่มขึ้นเท่าไหร่ ก็จะส่งผลต่อการปั๊มน้ำ ทำให้ปั๊มน้ำสามารถปั๊มน้ำได้ปริมาณของน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

ในการทดลองจะได้ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลม จะมีมากที่สุดที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.25 เมตร/วินาที ซึ่งจะให้ปริมาณน้ำที่ปั๊มได้คือ 1.895 ลิตร/นาที ถ้าความเร็วลมมากกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลดลงหรือความเร็วลมที่มากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อใบพัด ทำให้ใบพัดกังหันเกิดความเสียหายได้

จากการทดลองในการปั๊มน้ำของกังหันลมพลังงานธรรมชาตินี้ จะสามารถทำงานได้ในที่ที่มีความเร็วลมตั้งแต่ 2.55 m/s ขึ้นไป ซึ่งปริมาณของน้ำที่ปั๊มได้ที่ความเร็วลม 2.55 m/s โดยเฉลี่ยคือ 0.527 ลิตร ในเวลา 1 นาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

ก่อนการใช้งานผู้ใช้ควรศึกษาข้อมูลของระบบการทำงาน และการซ่อมบำรุงรักษาและตรวจเช็คสภาพของอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆเสียก่อน หลังการใช้งานควรทำความสะอาดและเช็ดน้ำมันในจุดที่จะเกิดสนิมก่อนเก็บ

5.2.1 ส่วนใบพัดและระบบส่งกำลัง

ในการสร้างใบพัดของกังหันลมนั้น จะต้องสร้างให้แข็งแรงโดยที่มีน้ำหนักเบาและสมดุลกันทั้งสองข้าง เวลาประกอบและติดตั้งก็ต้องปรับพื้นที่ให้เรียบประกอบ และติดตั้งให้สมดุลและตั้งฉากกับพื้นเพื่อที่การหมุนของใบพัดจะคล่องตัวและไปสูญเสียไปกับการเสียดทาน

เพลาของกังหันลมจะมีลูกปืนตุ๊กตาอยู่ 2 จุด ควรอัดจารบีหรือหยอดน้ำมัน อย่างน้อยอาทิตย์ละครั้งเพื่อความคล่องตัวในการหมุนส่งกำลัง

ในขั้นตอนของการถอดประกอบหรือติดตั้งควรให้ความระมัดระวัง ในการประกอบระบบส่งกำลังในส่วนของเฟืองควรมีการปรับตั้งให้มีความสมบูรณ์ ถ้าเฟืองไม่ขบกันเต็มที่การทำงานก็จะไม่เต็มประสิทธิภาพ ต้องมีการปรับตั้งหรือเปลี่ยนเฟืองชุดใหม่ เพื่อทำให้กังหันลมพลังงานธรรมชาติทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

5.2.2 ส่วนของโครงสร้างฐาน

ในส่วนของโครงสร้างฐานของกังหัน ในตอนที่ขนย้ายและประกอบระวังอย่าประกอบผิดด้านรูของน็อตยึดจะไม่ตรงกัน

การติดตั้งก็ต้องปรับพื้นติดตั้งให้สมดุลไม่เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง อย่าลืมยึดน็อตที่ขาตั้งฐานกันพื้นเพื่อป้องกันการล้มที่เกิดจากแรงปะทะของลมที่แรง

5.2.3 ส่วนของปั๊มน้ำและท่อ

ปั๊มน้ำแบบลูกสูบจะมีซีลยางที่ป้องกันการรั่วซึมของน้ำและอากาศถ้าหากซีลยางหมดอายุหรือชำรุด ปั๊มน้ำก็ไม่สามารถปั๊มน้ำได้ ควรตรวจสภาพก่อนการใช้งาน และในส่วนของก้านชักของปั๊มน้ำจะมีจุดที่ตรงใส่น้ำมันเครื่องก็ต้องเติมน้ำมันก่อนใช้และดูแลอย่าให้หมด

ใช้เข็มขัดล็อคท่อสายยางเมื่อต่อเข้ากับปั๊มน้ำ และเช็ควาล์ว ท่อน้ำเข้าต้องไม่รั่วซึมและหดตัวเสียรูปตอนใช้งาน หลังจากใช้งานเสร็จก็ควรกดเช็ควาล์วเอาน้ำที่ค้างในท่อสายยางออก

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน . (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปี เผยแพร่). **กังหันลมเพื่อสูบน้ำ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2552. จาก : http://www.dede.go.th

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปี เผยแพร่). **พลังงานลม**. สืบค้นเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2552. จาก : http://www2.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm

กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง.(2549).**เอกสารประกอบการสอนเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม**. พิษณุโลก

(ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปี เผยแพร่). **กังหันแบบ Savonius**. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2552.จาก : http://www.angelfire.com/ak5/energy21/microsavonius.htm

(ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปี เผยแพร่).การทดสอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำ.สืบค้นเมื่อวันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2552.จาก : http://www.egmu.net/civil/areeya/EGCE322/Lab7_A'Suwanna.doc

(ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปี เผยแพร่).การไหลเรียบและปั่นป่วน. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2552.จาก : http://www.me.psu.ac.th/~smarn/fpower/Fch4b.htm

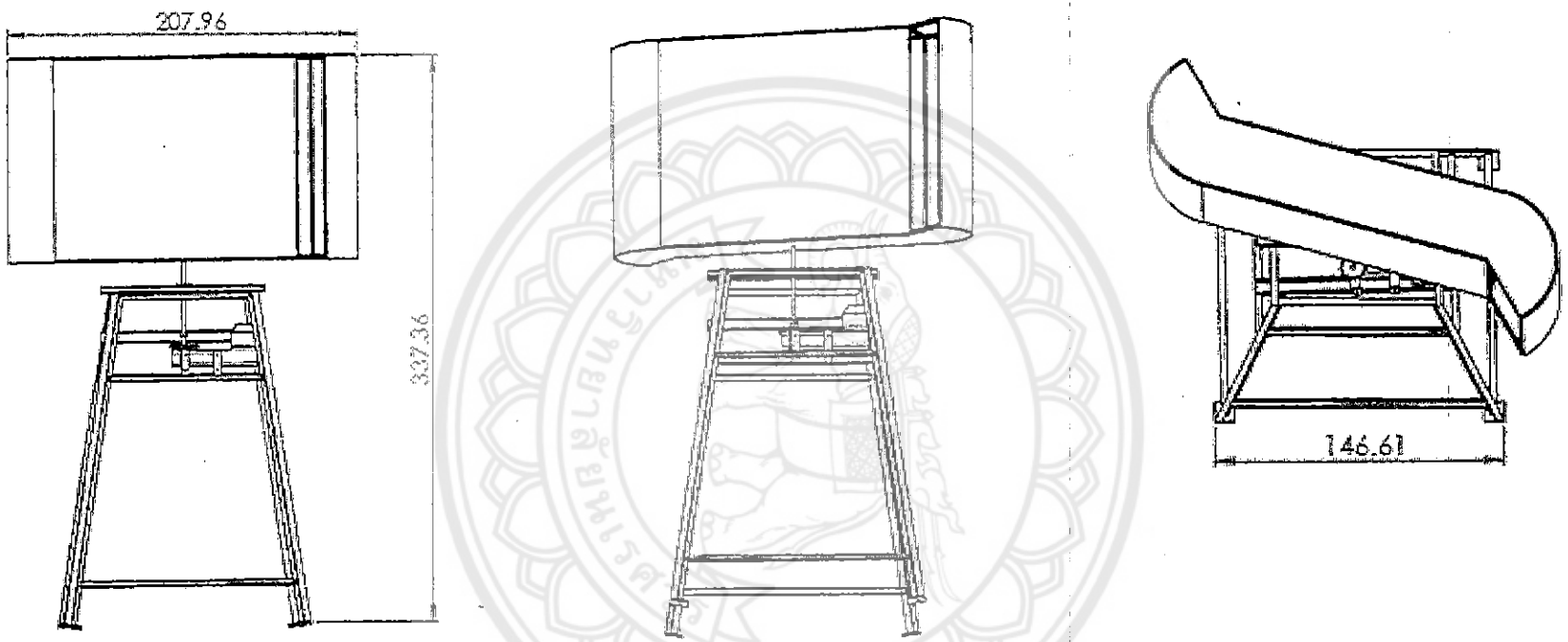
(ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปี เผยแพร่).ความรู้เกี่ยวกับ **Wind Turbine**.สืบค้นเมื่อวันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2552.จาก : http://www.thaiwindturbine.com/windturbine.html

นที ศรีทอง.(ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปี เผยแพร่).กังหันลมสูบน้ำ.สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2552. จาก : http://album.thaiza.com/myalbum.php?u=natee2007&a=6

นที ศรีทอง. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปี เผยแพร่).**ชนิดของใบกังหันลม**. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2552.จาก : http://natee2007.thaiza.com/blog_view.php?blog_id =1620

(ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปี เผยแพร่). **ประเภทปั๊มน้ำ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2552. จาก : http://www.pumpvr.com/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=85&Itemid=320&lang=en

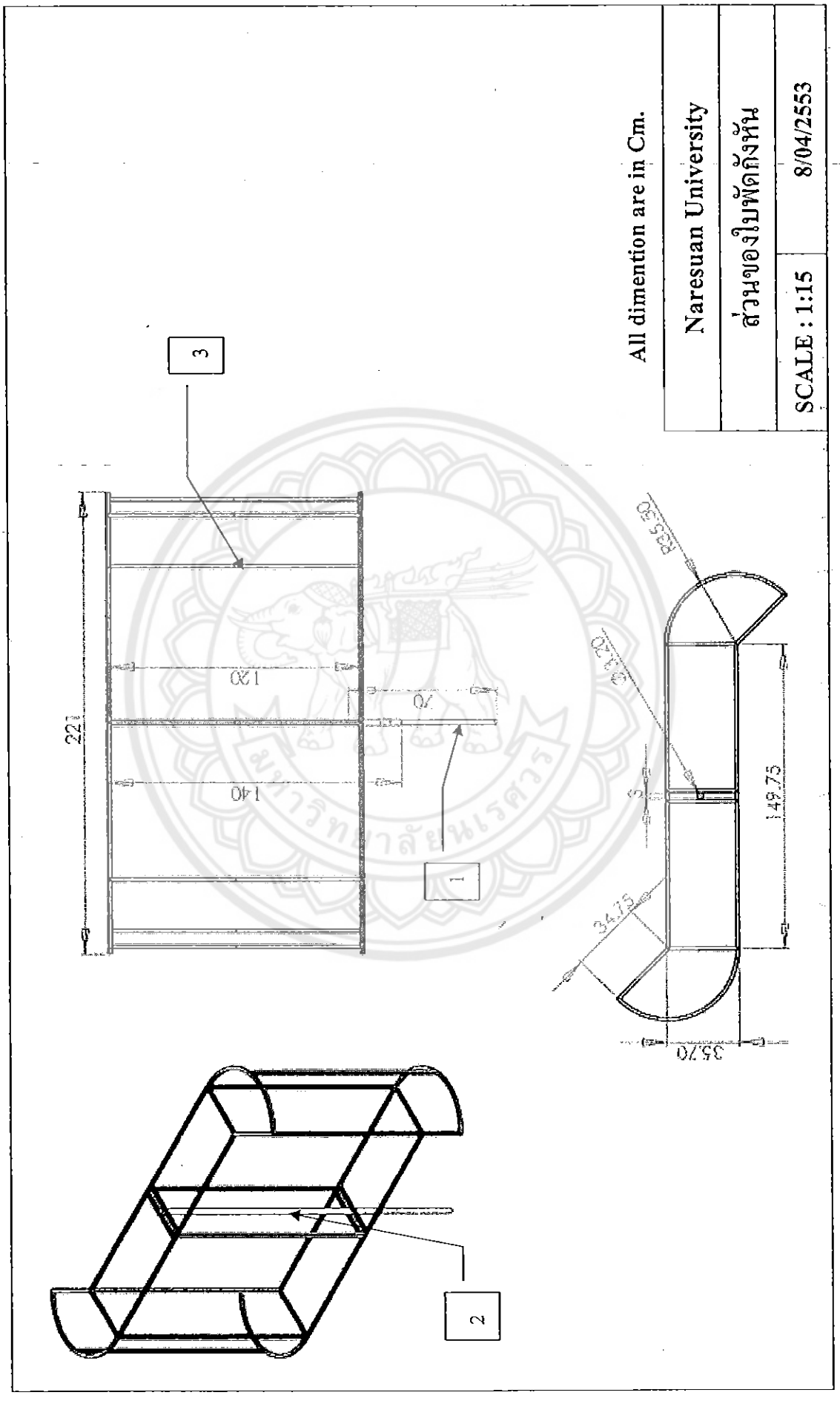
ภาคผนวก ก



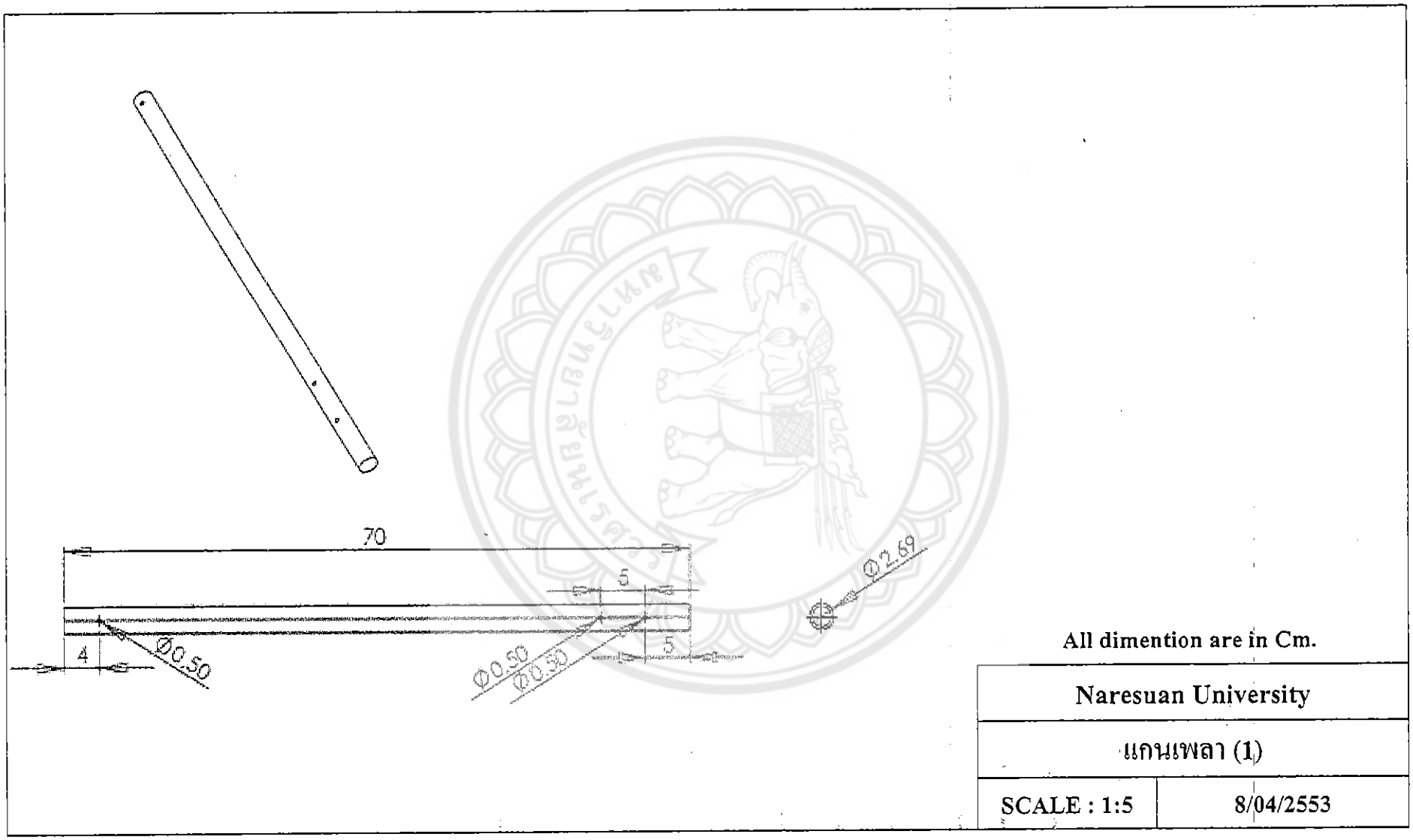
All dimention are in Cm.

Naresuan University	
กังหันลมพลังงานธรรมชาติ	
SCALE : 1:24	8/04/2553

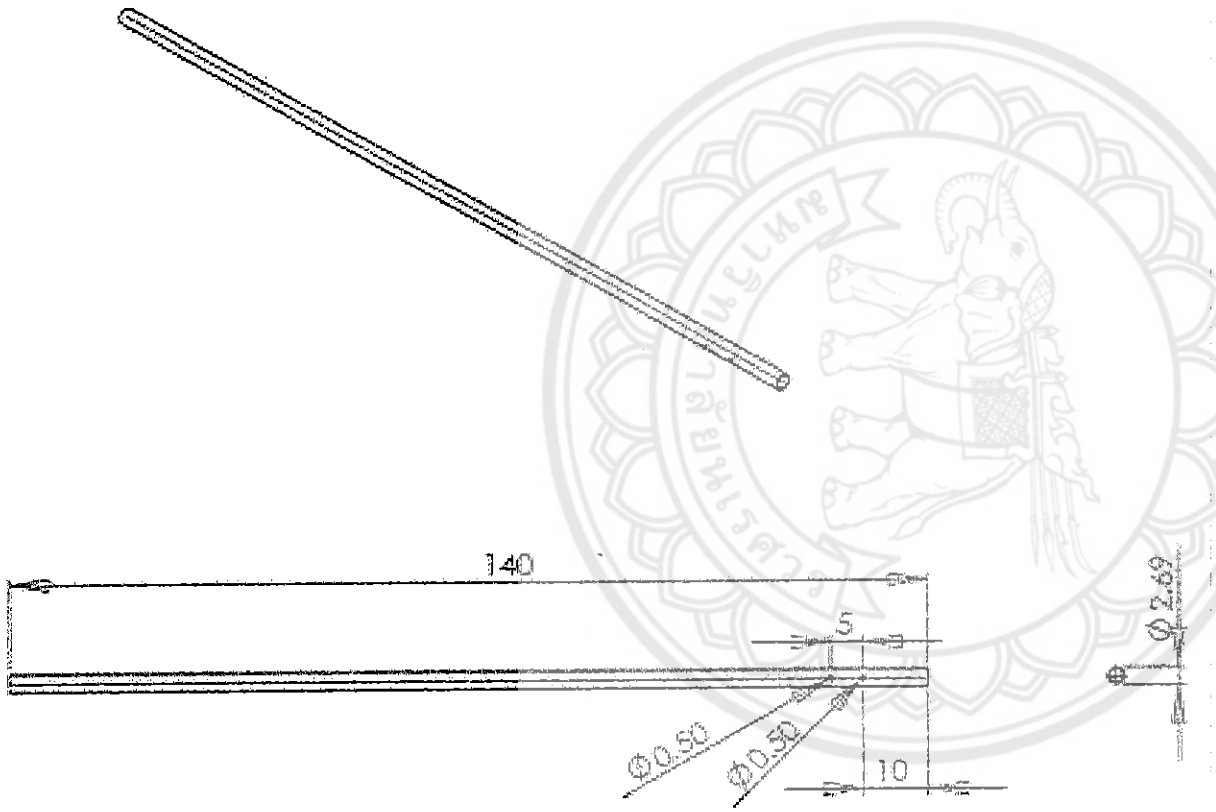
รูปที่ ก.1 กังหันลมพลังงานธรรมชาติ



รูปที่ ก.2 ส่วนของไม้พักถังหัน



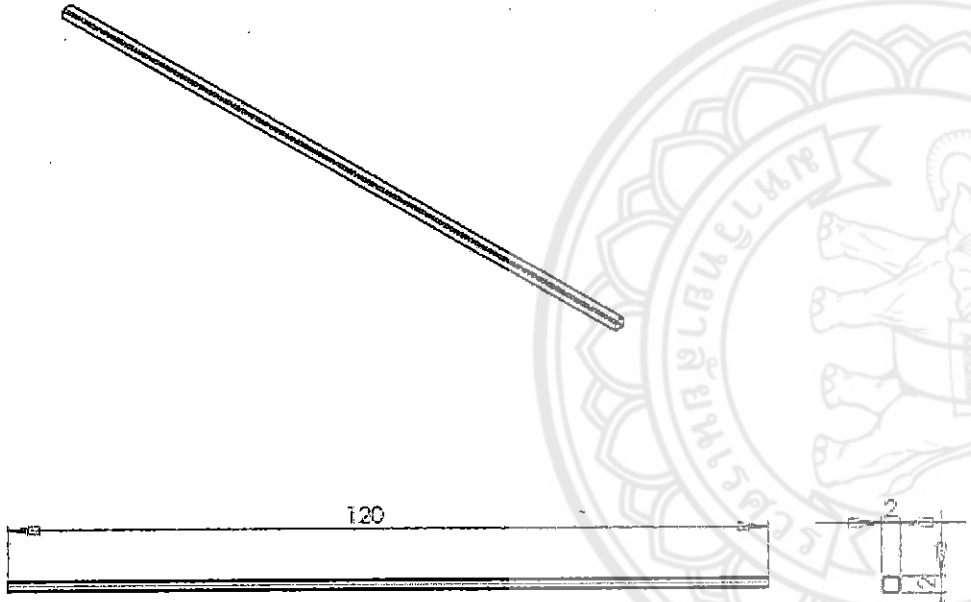
รูปที่ ก.4 แกนเพลา (1)



All dimention are in Cm.

Naresuan University	
แกนเพลา (2)	
SCALE : 1:5	8/04/2553

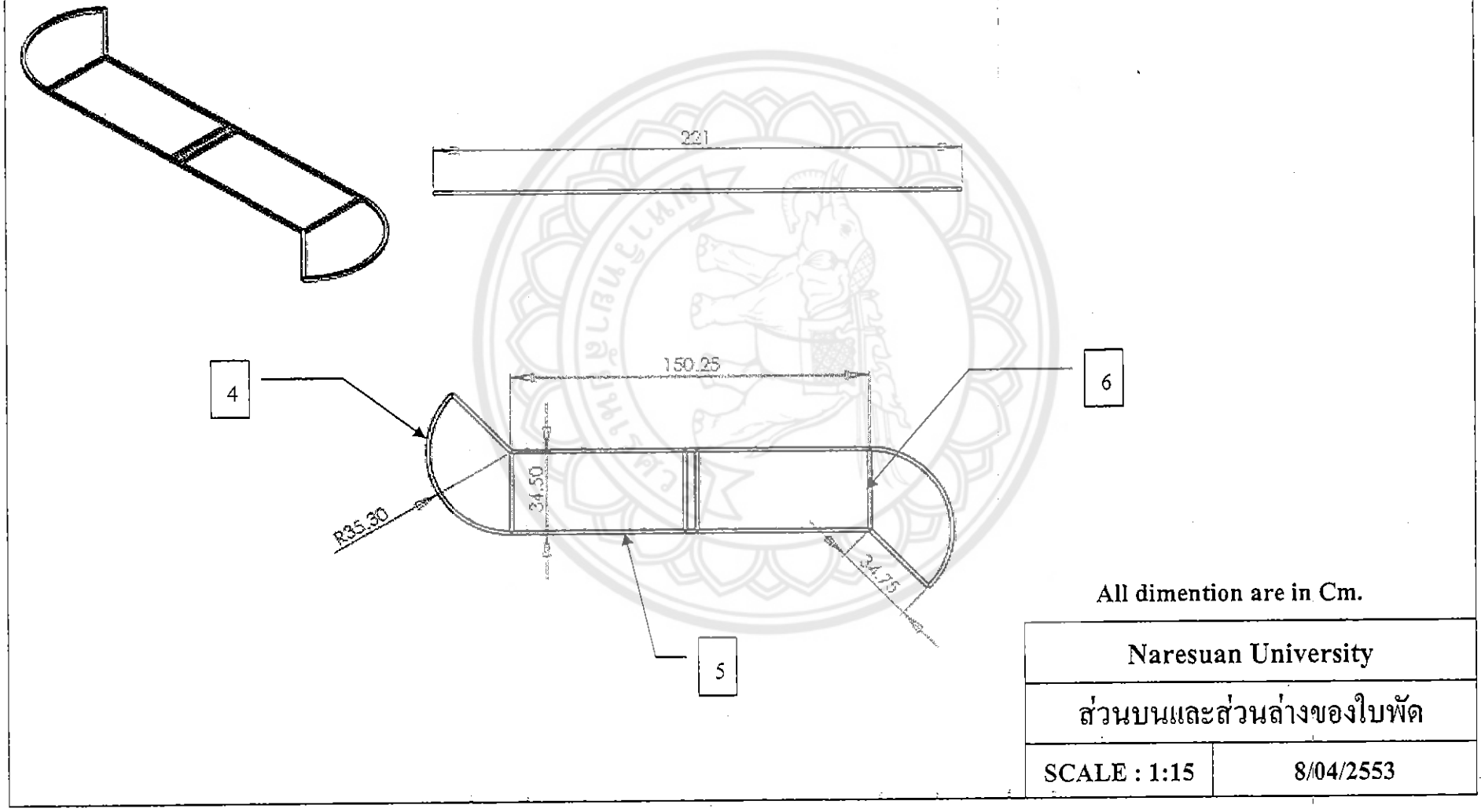
รูปที่ ก.5 แกนเพลา (2)



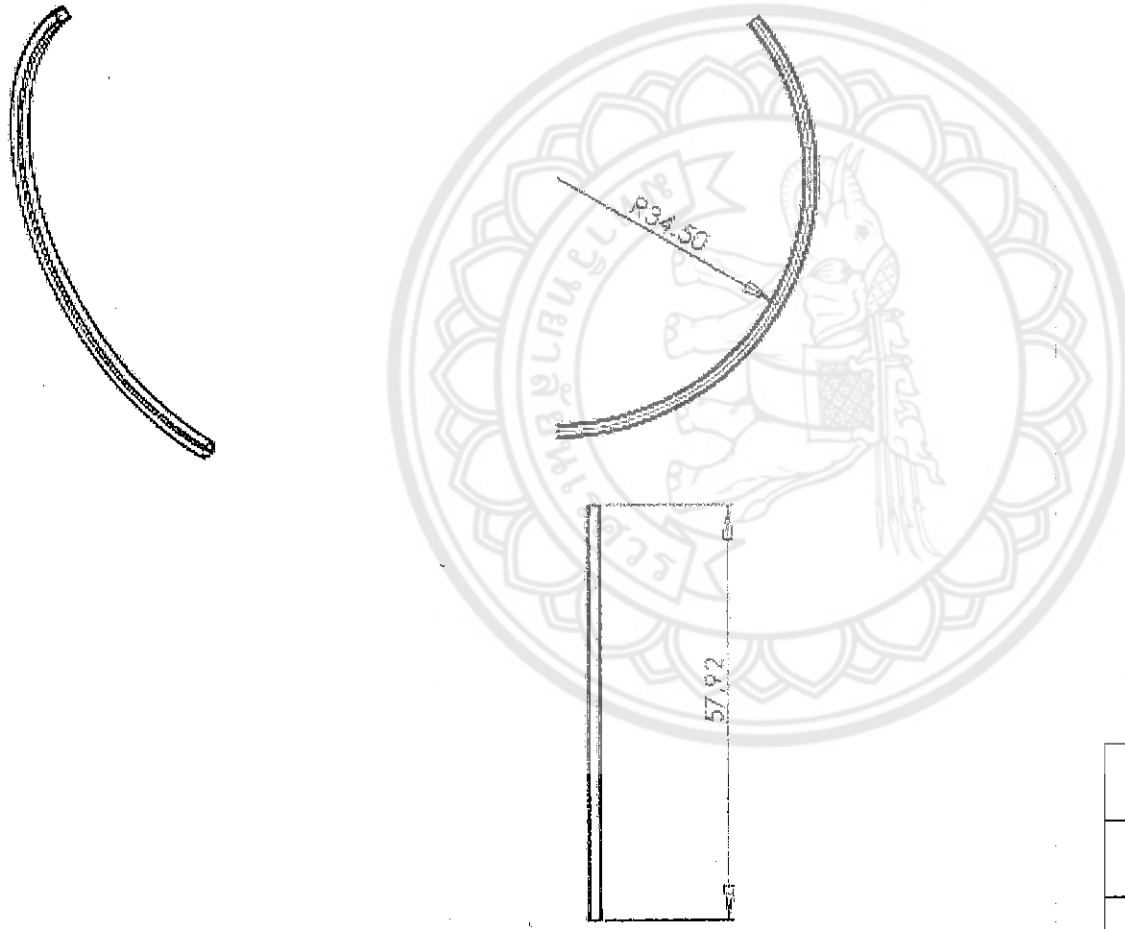
All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ส่วนประกอบของใบพัด (3)	
SCALE : 1:8	8/04/2553

รูปที่ ก.9 ส่วนประกอบของใบพัด (3)



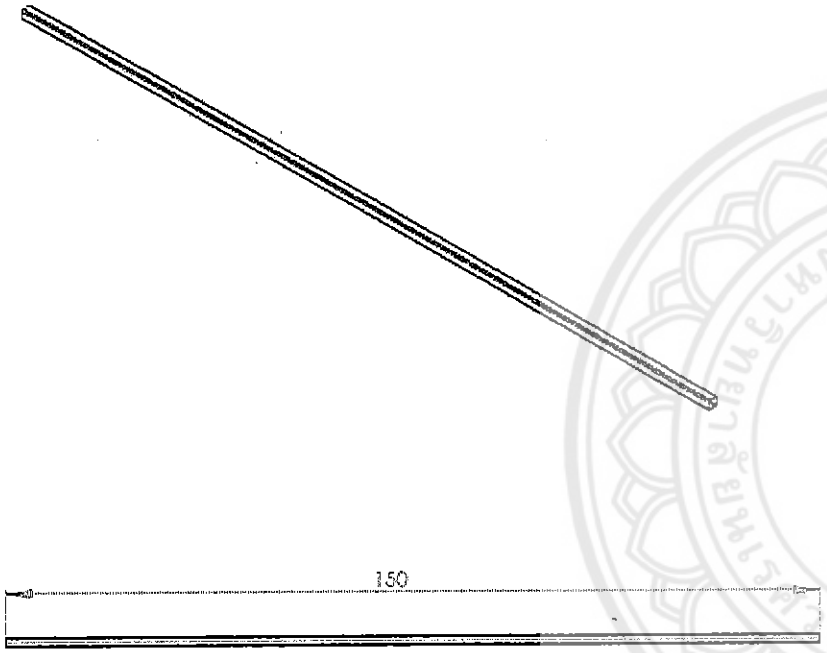
รูปที่ ก.3 ส่วนบนและส่วนล่างของใบพัด



All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ส่วนประกอบของใบพัด (4)	
SCALE : 1:8	8/04/2553

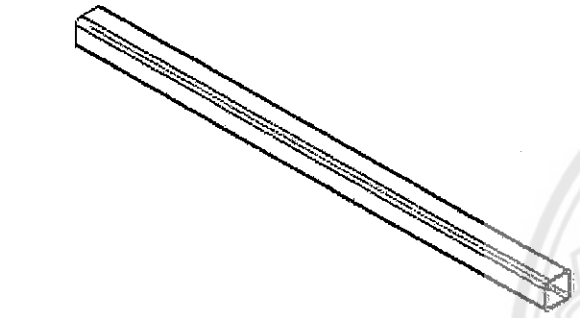
รูปที่ ก.6 ส่วนประกอบของใบพัด (4)

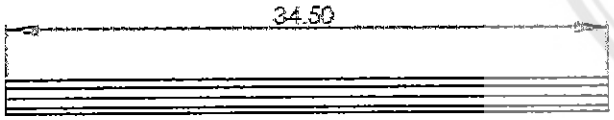


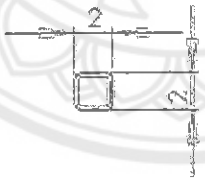
All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ส่วนประกอบของใบพัด (5)	
SCALE : 1:8	8/04/2553

รูปที่ ก.7 ส่วนประกอบของใบพัด (5)



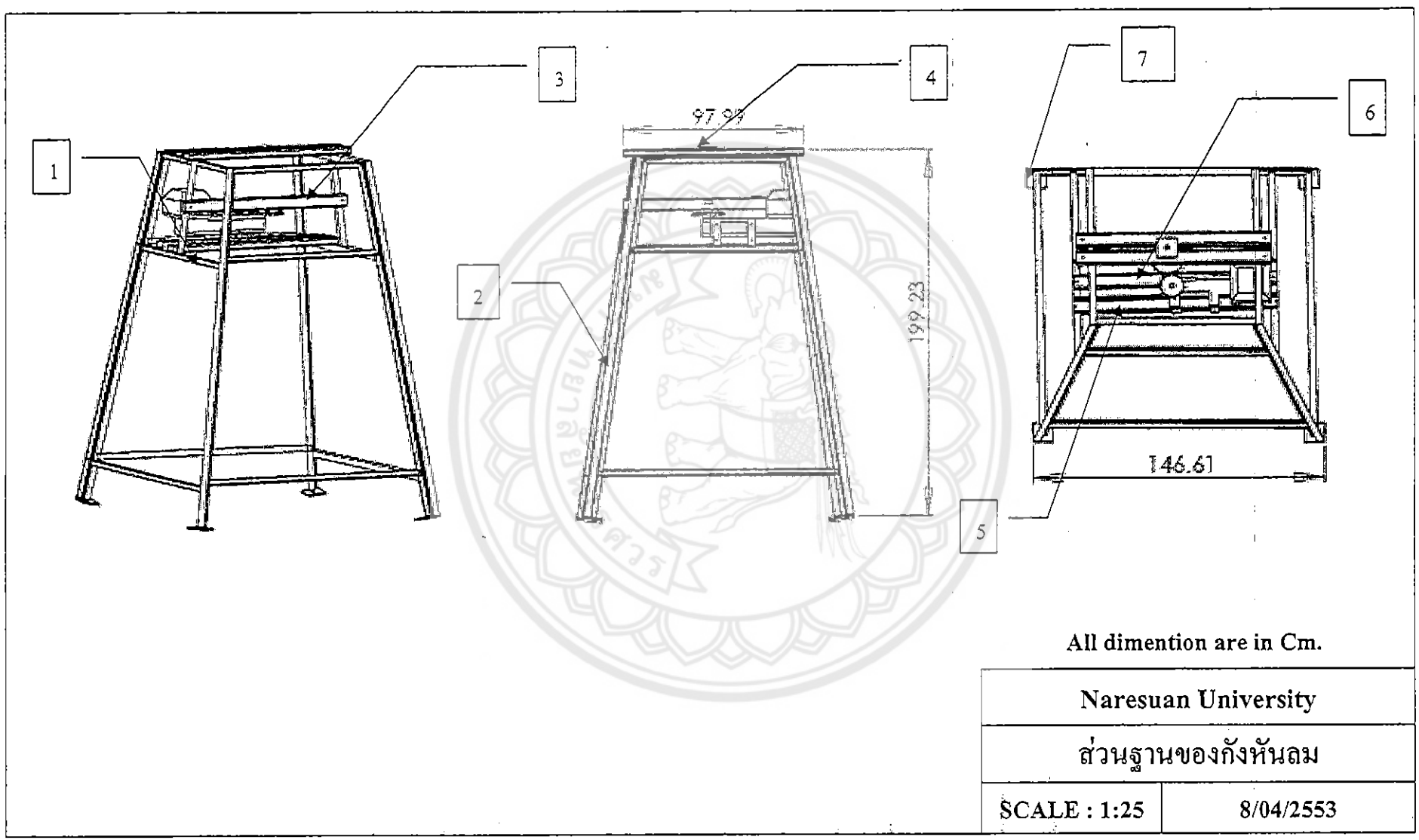




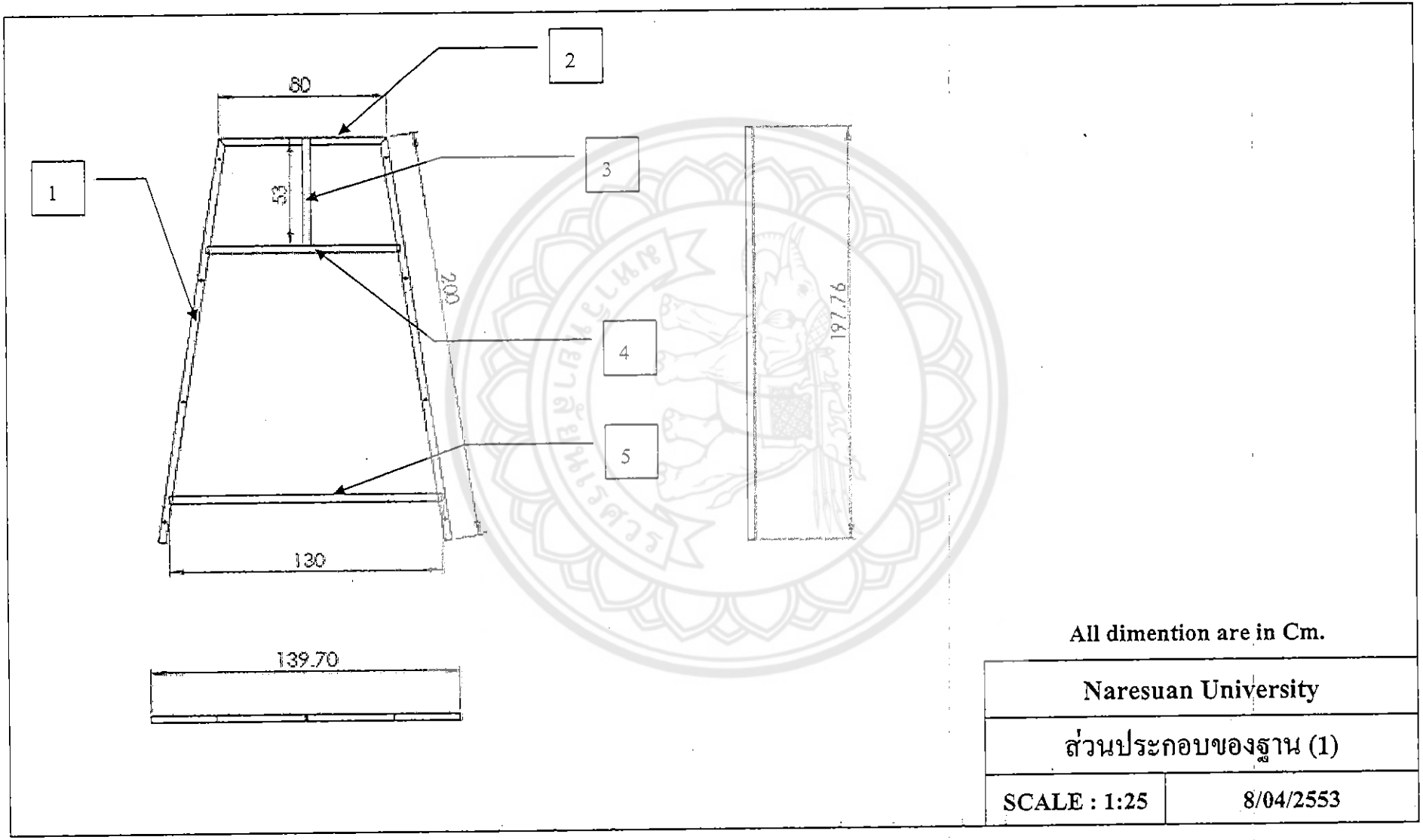
All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ส่วนประกอบของใบพัด (6)	
SCALE : 1:8	8/04/2553

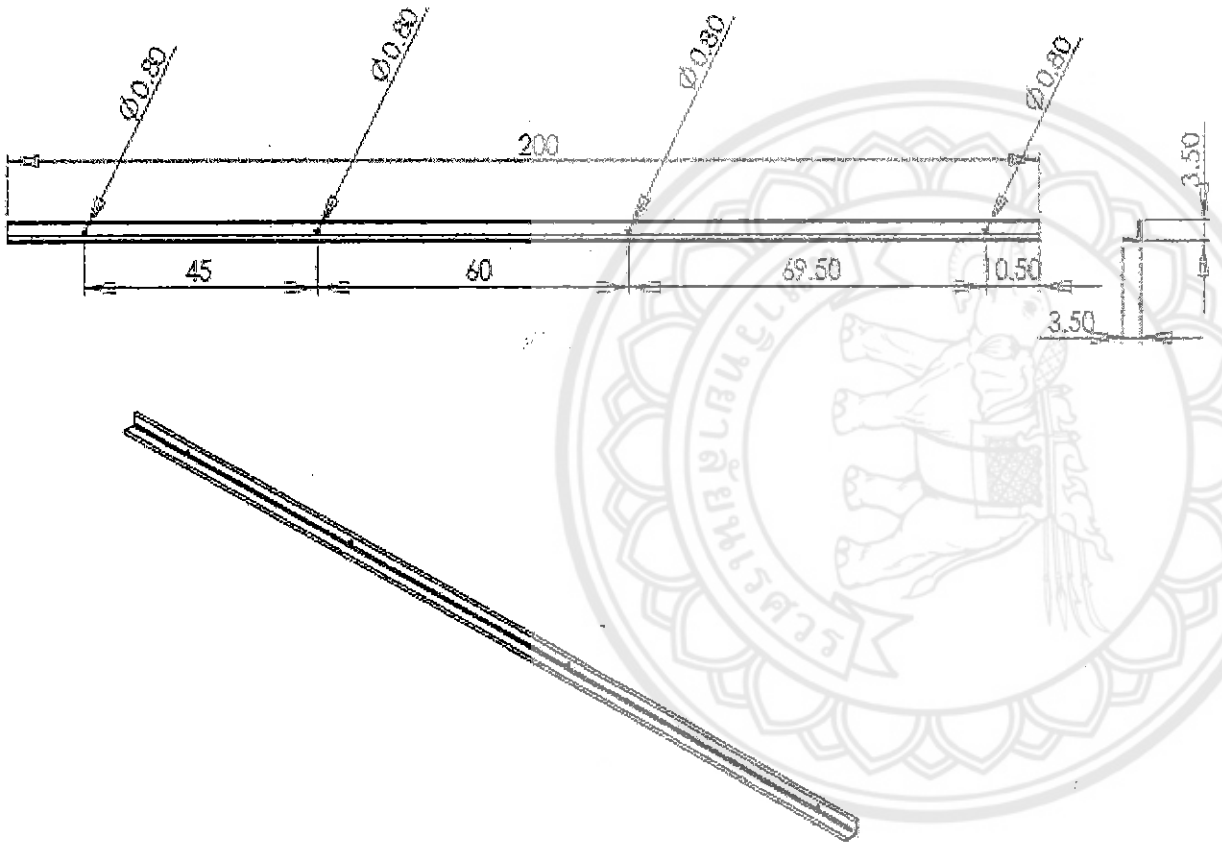
รูปที่ ก.8 ส่วนประกอบของใบพัด (6)



รูปที่ ก.10 ส่วนฐานของกังหันลม



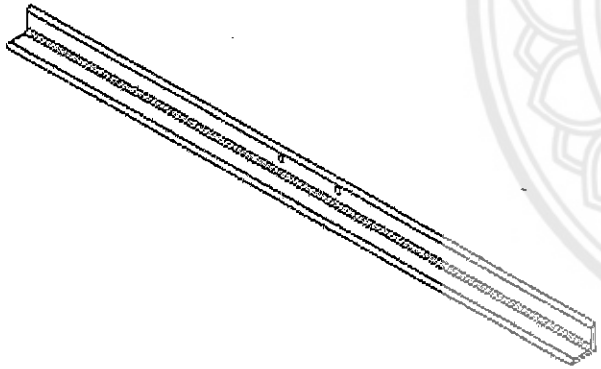
รูปที่ ก.11 ส่วนประกอบของฐาน (1)



All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ส่วนประกอบด้านข้าง (1)	
SCALE : 1:8	8/04/2553

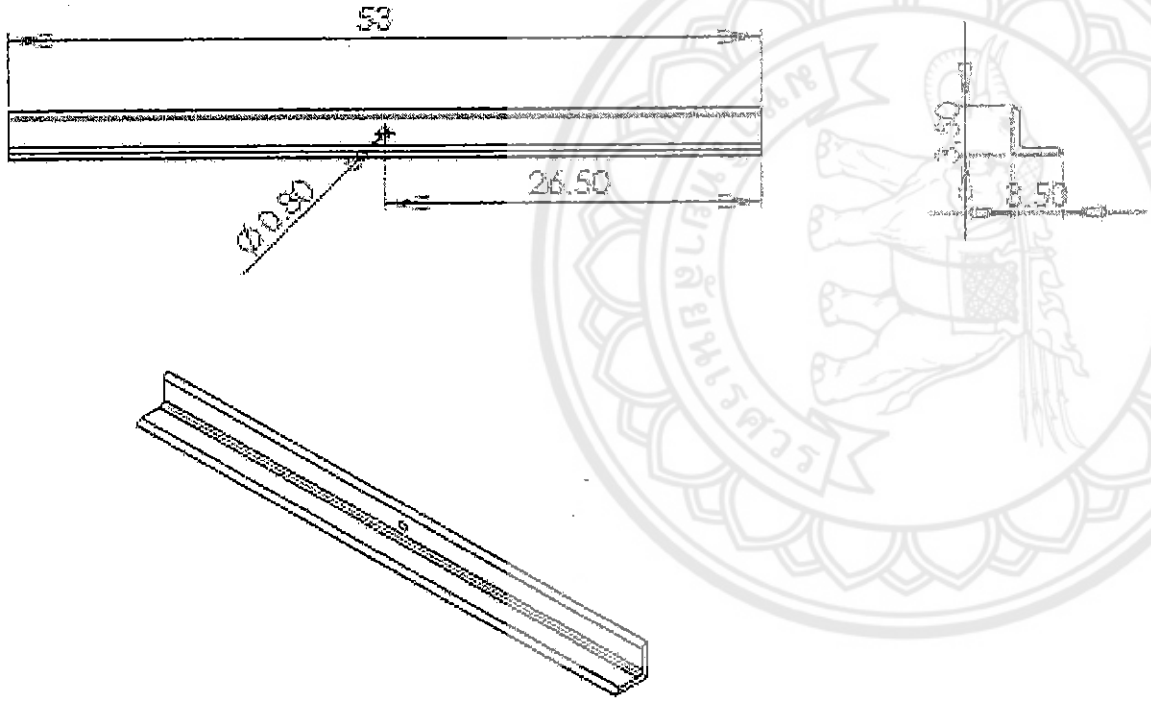
รูปที่ ก.12 ส่วนประกอบด้านข้าง (1)



All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ส่วนประกอบด้านบน (2)	
SCALE : 1:5	8/04/2553

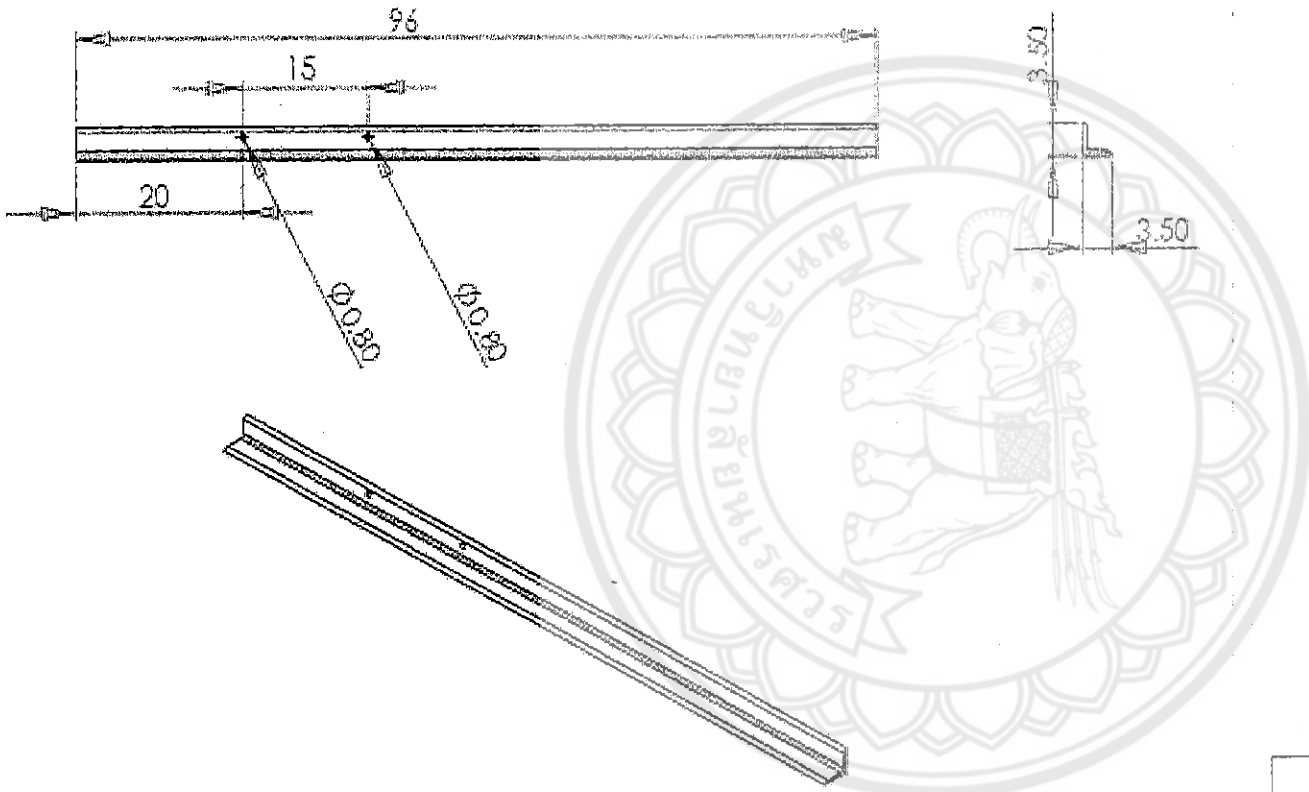
รูปที่ ก.13 ส่วนประกอบด้านบน (2)



All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ส่วนประกอบด้านแนวตั้ง (3)	
SCALE : 1:5	8/04/2553

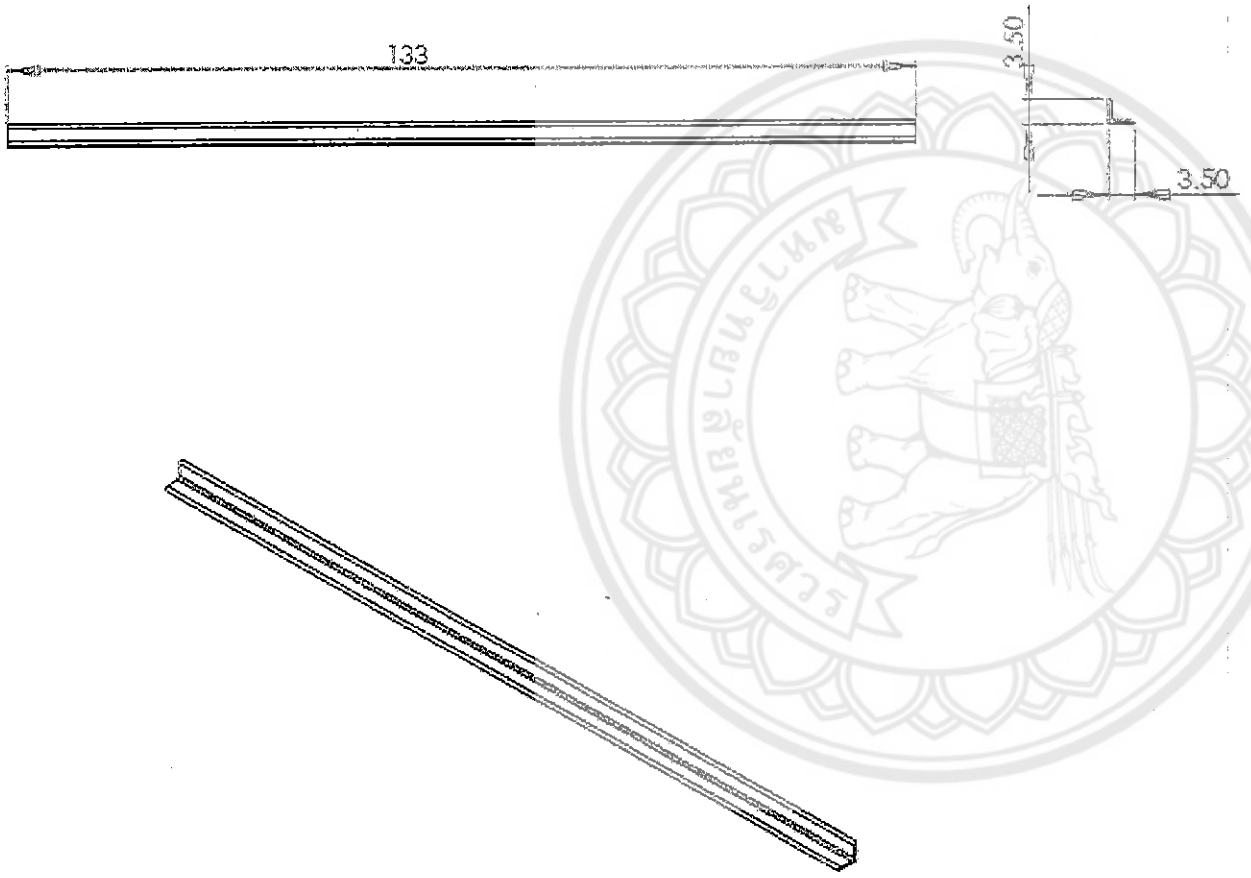
รูปที่ ก.14 ส่วนประกอบด้านแนวตั้ง (3)



All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ส่วนประกอบด้านตรงกลาง (4)	
SCALE : 1:5	8/04/2553

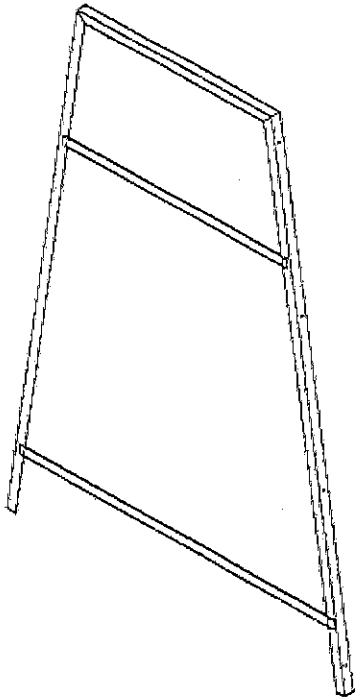
รูปที่ ก.15 ส่วนประกอบด้านตรงกลาง (4)

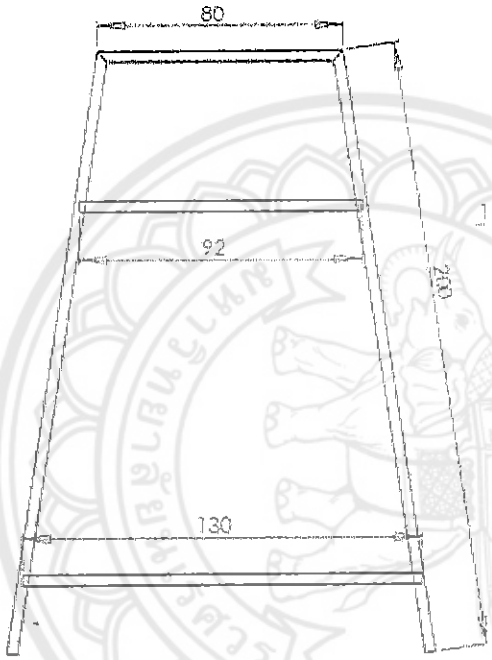


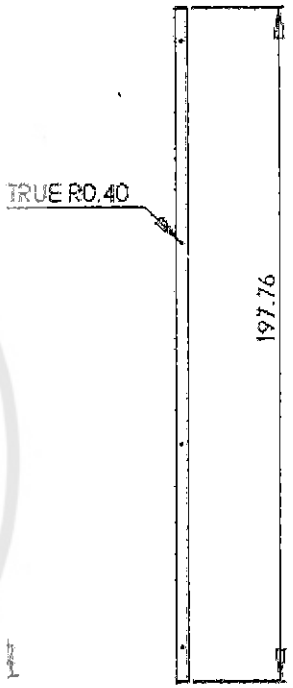
All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ส่วนประกอบด้านล่าง (5)	
SCALE : 1:5	8/04/2553

รูปที่ ก.16 ส่วนประกอบด้านล่าง (5)



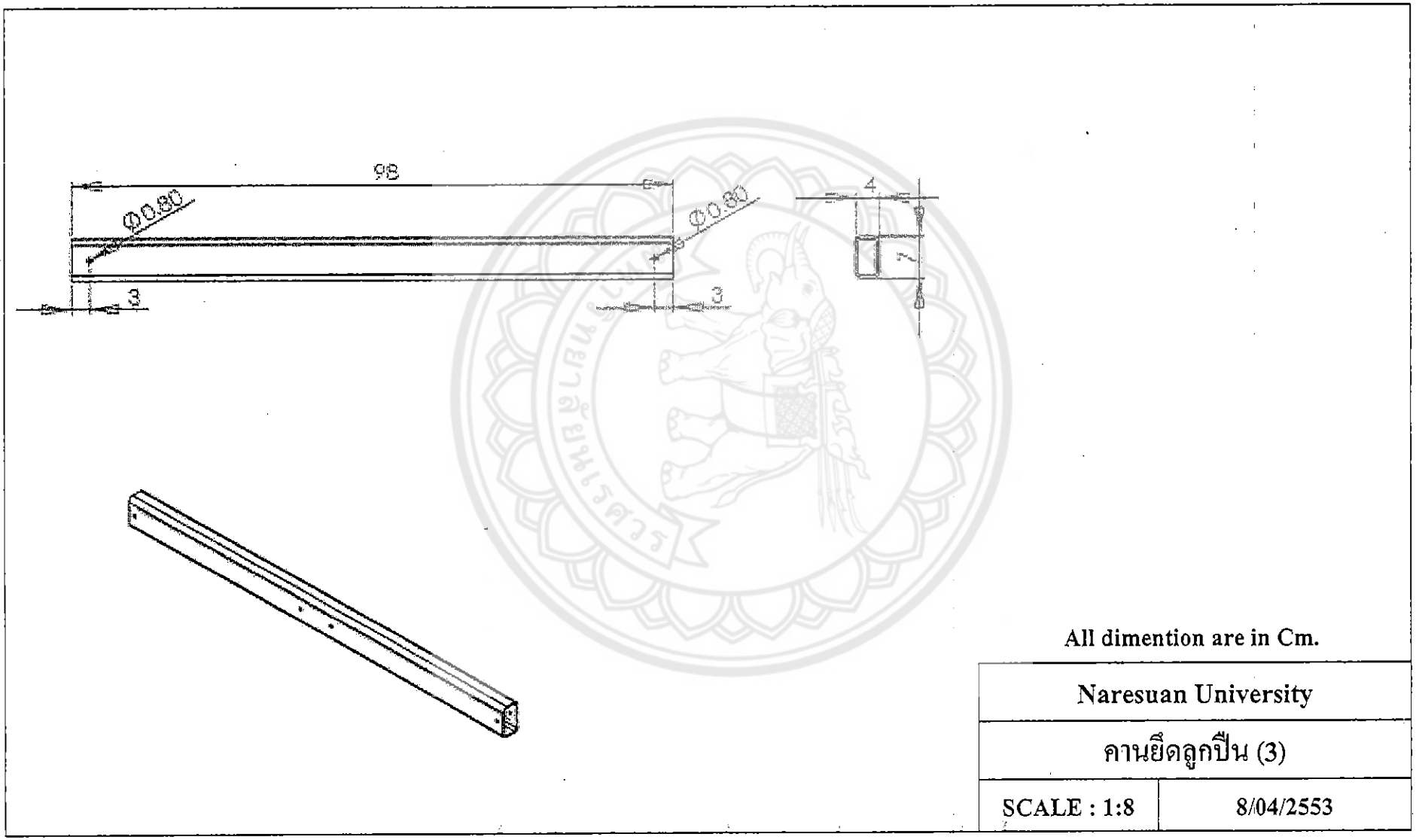




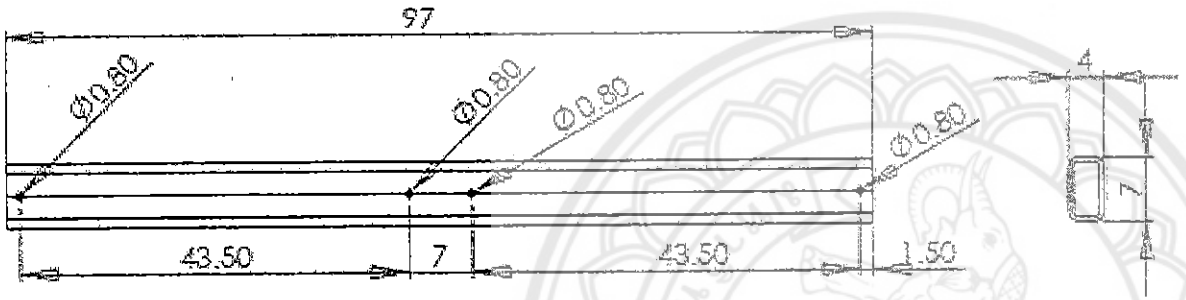
All dimention are in Cm.

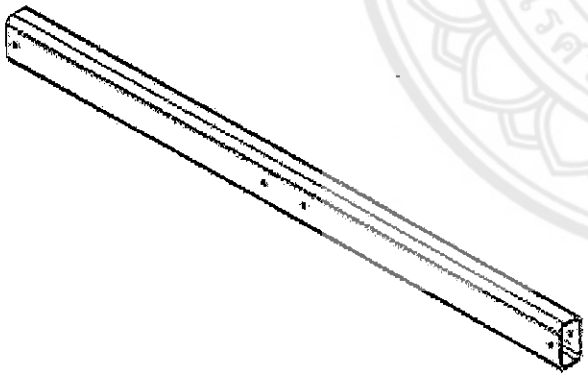
Naresuan University	
ส่วนประกอบของฐาน (2)	
SCALE : 1:20	8/04/2553

รูปที่ ก.17 ส่วนประกอบของฐาน (2)



รูปที่ ก.18 คานยึดลูกปืน (3)

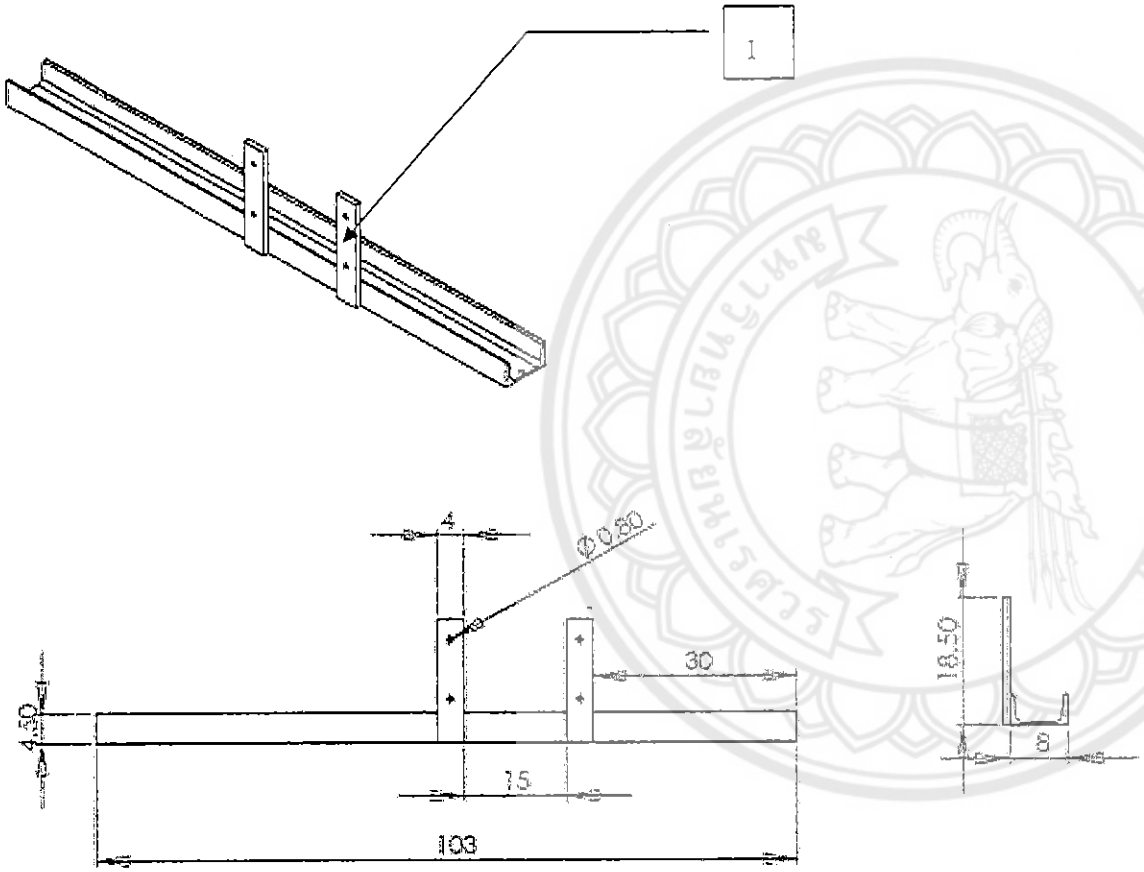




All dimention are in Cm.

Naresuan University	
คานรองลูกปืน (4)	
SCALE : 1:8	8/04/2553

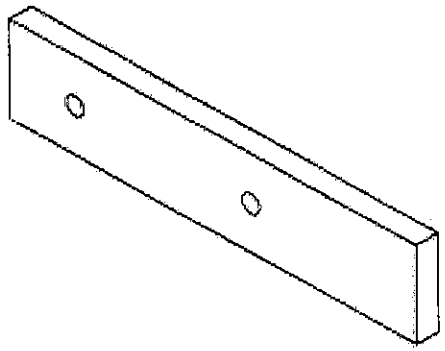
รูปที่ ก.19 คานรองลูกปืน (4)

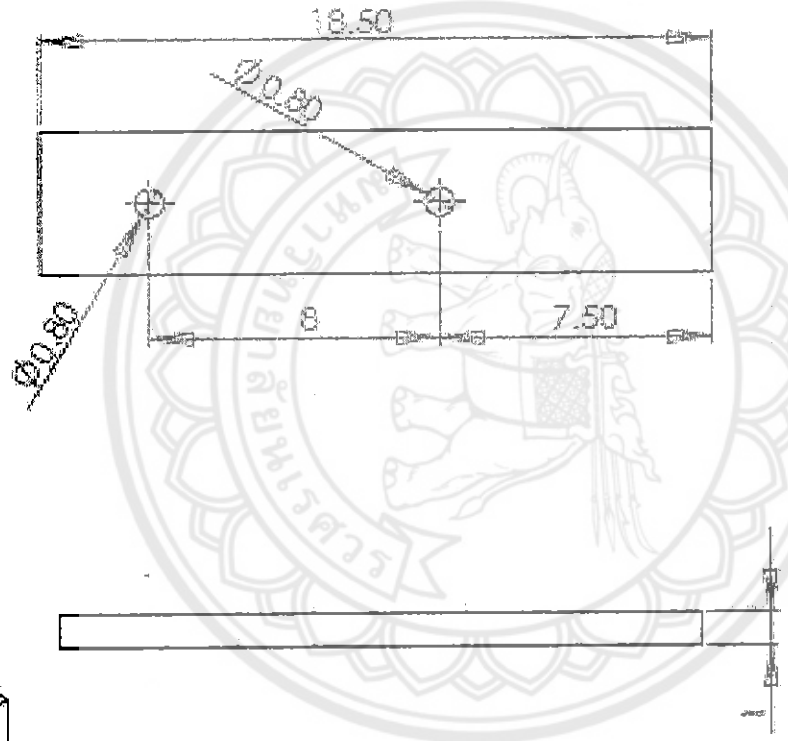


All dimention are in Cm.

Naresuan University	
คานยึดปั๊ม (5)	
SCALE : 1:8	8/04/2553

รูปที่ ก.20 คานยึดปั๊ม (5)

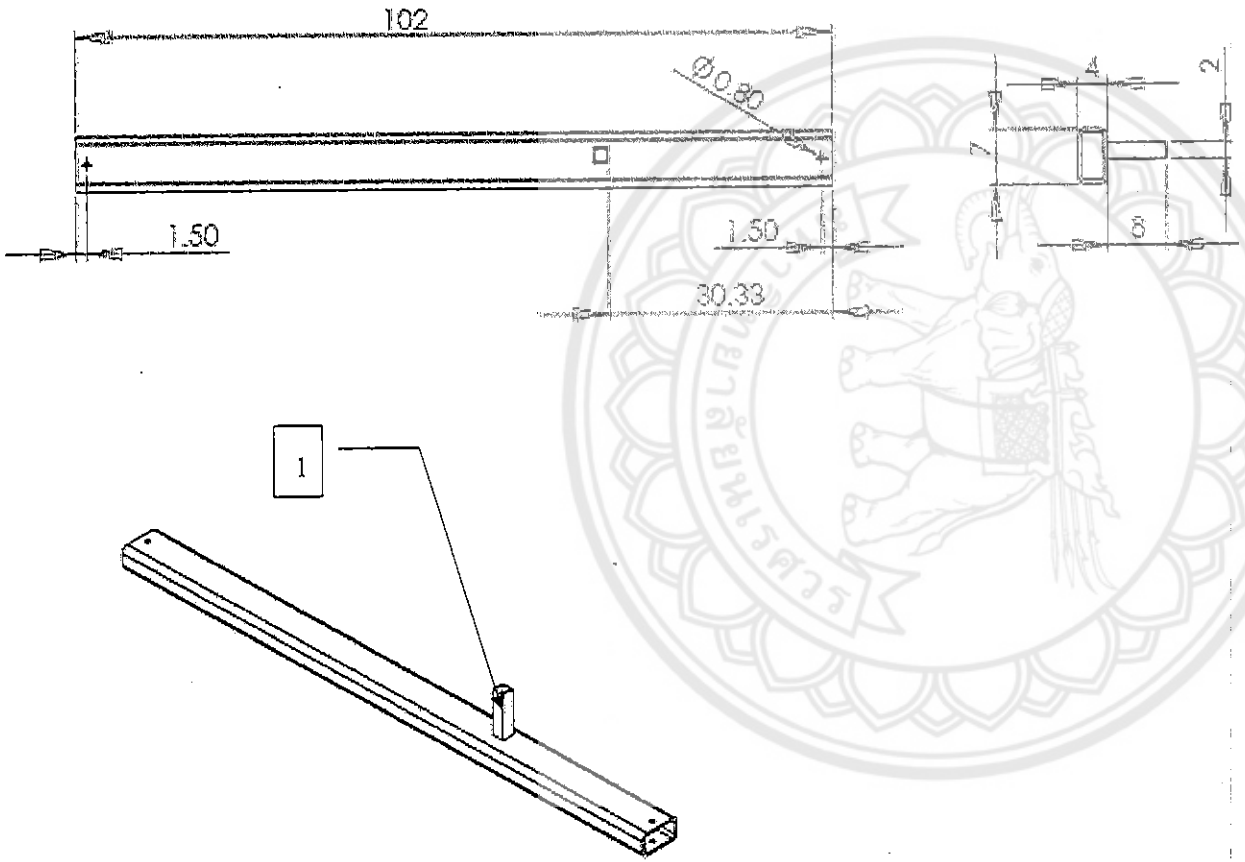




All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ตัวยึดปั๊ม (1)	
SCALE : 1:5	8/04/2553

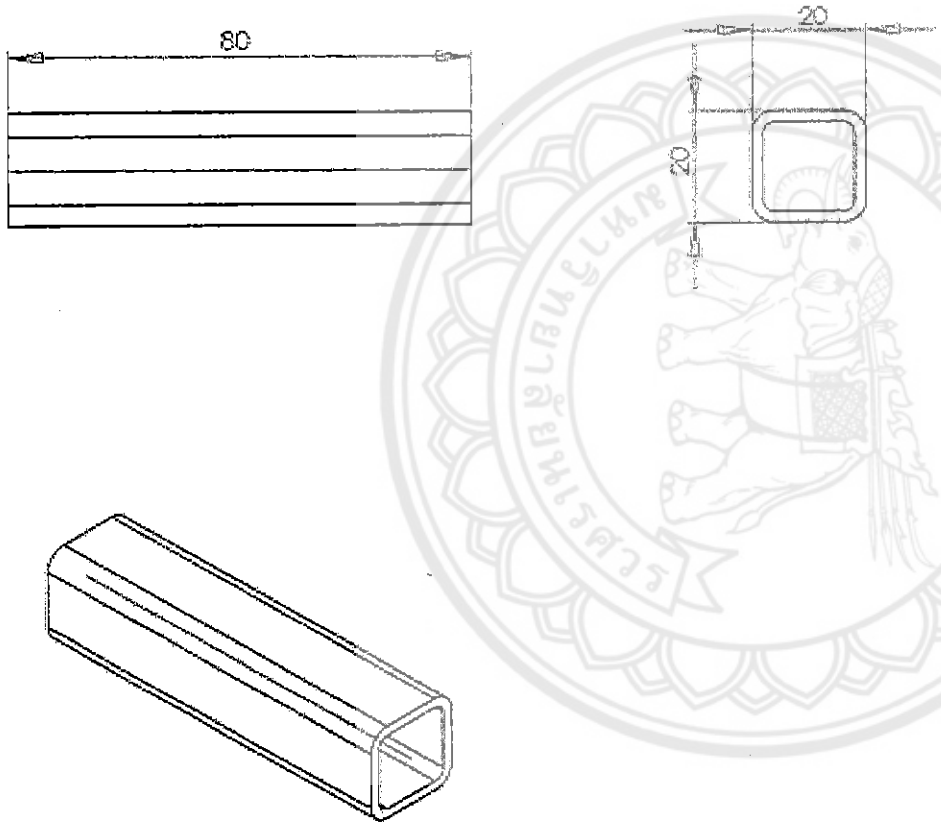
รูปที่ ก.21 ตัวยึดปั๊ม (1)



All dimention are in Cm.

Naresuan University	
คานค้ำปั๊มน้ำ (6)	
SCALE : 1:8	8/04/2553

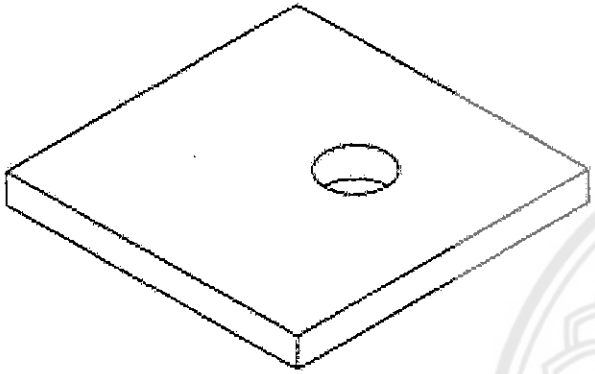
รูปที่ ก.22 คานค้ำปั๊มน้ำ (6)

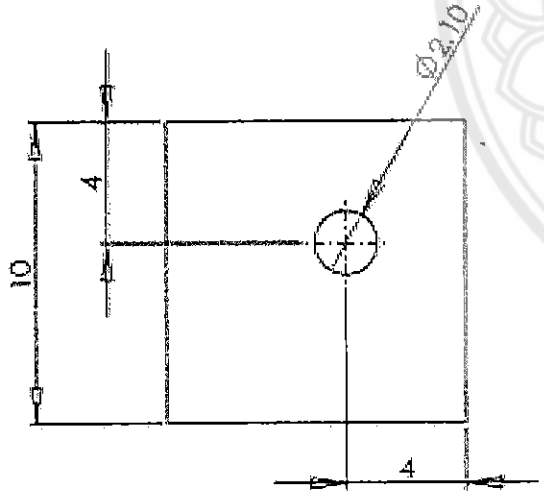


All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ตัวรองปั๊ม (1)	
SCALE : 1:8	8/04/2553

รูปที่ ก.23 ตัวรองปั๊ม (1)

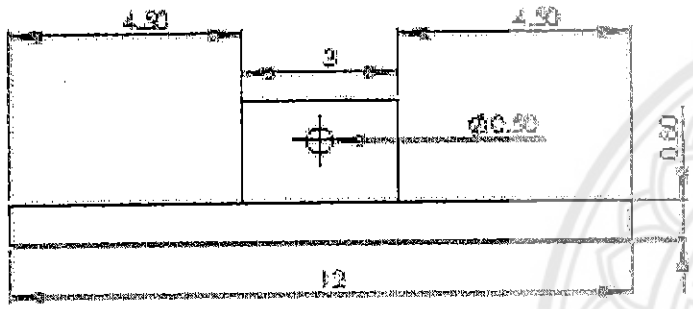


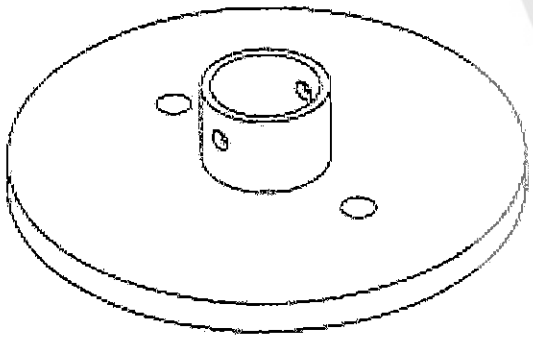


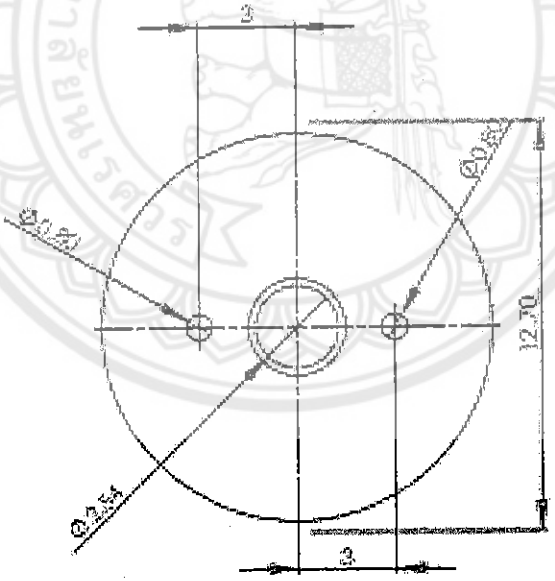
All dimention are in Cm.

Naresuan University	
รองขา (7)	
SCALE : 1:1.5	8/04/2553

รูปที่ ก.24 รองขา (7)







All dimention are in Cm.

Naresuan University	
ตัวยึดเฟืองกับแกนเพลา	
SCALE : 1:1.5	8/04/2553

รูปที่ ก.25 ตัวยึดเฟืองกับแกนเพลา

ภาคผนวก ข

1. การหาสมการถดถอย

1.1 การวิเคราะห์หาสมการถดถอยของการปั๊มน้ำของกังหันลม

ใช้โปรแกรม Minitab หา

ได้สมการถดถอยเป็น volumn = -1.92 + 1.07 speed - 0.0061 number volumn

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-1.9202	0.2091	-9.18	0.000
Speed	1.06660	0.05872	18.16	0.000
Number	-0.00607	0.01223	-0.50	0.622

ตารางที่ ข.1 ค่าที่ได้จากการคำนวณของการปั๊มน้ำของกังหันลม

speed	number volumn	วัดได้	คำนวณ	D	D^2
2.55	1	0.48	0.8024	0.3224	0.10394176
2.55	1	0.52	0.8024	0.2824	0.07974976
2.55	1	0.61	0.8024	0.1924	0.03701776
2.55	1	0.54	0.8024	0.2624	0.06885376
2.55	1	0.49	0.8024	0.3124	0.09759376
2.55	1	0.47	0.8024	0.3324	0.11048976
2.55	1	0.51	0.8024	0.2924	0.08549776
2.55	1	0.49	0.8024	0.3124	0.09759376
2.55	1	0.54	0.8024	0.2624	0.06885376
2.55	1	0.62	0.8024	0.1824	0.03326976
2.81	2	1.15	1.0745	-0.0755	0.00570025
2.81	2	1.27	1.0745	-0.1955	0.03822025
2.81	2	1.23	1.0745	-0.1555	0.02418025
2.81	2	1.12	1.0745	-0.0455	0.00207025
2.81	2	1.08	1.0745	-0.0055	3.025E-05
2.81	2	1.05	1.0745	0.0245	0.00060025
2.81	2	1.12	1.0745	-0.0455	0.00207025
2.81	2	1.09	1.0745	-0.0155	0.00024025
2.81	2	1.14	1.0745	-0.0655	0.00429025

ตารางที่ ข.1 ค่าที่ได้จากการคำนวณของการปั๊มน้ำของกังหันลม (ต่อ)

2.81	2	1.15	1.0745	-0.0755	0.00570025
3.25	3	1.87	1.5392	-0.3308	0.10942864
3.25	3	1.95	1.5392	-0.4108	0.16875664
3.25	3	1.94	1.5392	-0.4008	0.16064064
3.25	3	1.75	1.5392	-0.2108	0.04443664
3.25	3	1.94	1.5392	-0.4008	0.16064064
3.25	3	1.86	1.5392	-0.3208	0.10291264
3.25	3	1.95	1.5392	-0.4108	0.16875664
3.25	3	1.97	1.5392	-0.4308	0.18558864
3.25	3	1.75	1.5392	-0.2108	0.04443664
3.25	3	1.97	1.5392	-0.4308	0.18558864
3.86	4	2.18	2.1858	0.0058	3.364E-05
3.86	4	2.24	2.1858	-0.0542	0.00293764
3.86	4	2.34	2.1858	-0.1542	0.02377764
3.86	4	2.15	2.1858	0.0358	0.00128164
3.86	4	2.12	2.1858	0.0658	0.00432964
3.86	4	2.03	2.1858	0.1558	0.02427364
3.86	4	2.05	2.1858	0.1358	0.01844164
3.86	4	2.13	2.1858	0.0558	0.00311364
3.86	4	2.18	2.1858	0.0058	3.364E-05
3.86	4	2.09	2.1858	0.0958	0.00917764
4.12	5	2.25	2.4579	0.2079	0.04322241
4.12	5	2.27	2.4579	0.1879	0.03530641
4.12	5	2.35	2.4579	0.1079	0.01164241
4.12	5	2.21	2.4579	0.2479	0.06145441
4.12	5	2.23	2.4579	0.2279	0.05193841
4.12	5	2.25	2.4579	0.2079	0.04322241
4.12	5	2.31	2.4579	0.1479	0.02187441
4.12	5	2.39	2.4579	0.0679	0.00461041

ตารางที่ ข.1 ค่าที่ได้จากการคำนวณของการปั๊มน้ำของกังหันลม (ต่อ)

4.12	5	2.24	2.4579	0.2179	0.04748041
4.12	5	2.25	2.4579	0.2079	0.04322241

$$\sum D = 0.718 \qquad \sum D^2 = 2.648525 \qquad \left(\sum D\right)^2 = 0.515524$$

แทนค่าที่ได้ในสมการ

ตัวสถิติ : $t = \dfrac{\sum D}{\sqrt{\dfrac{N\sum D^2 - (\sum D)^2}{N-1}}}$

เมื่อ t = ความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณ

D = ความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณของแต่ละค่า

$\sum D$ = ผลรวมของความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณของทุกค่า

D^2 = ความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณของแต่ละค่ายกกำลังสอง

$(\sum D)^2$ = ผลรวมของความแตกต่างของค่าปริมาณการปั๊มน้ำจากการทดลองและการคำนวณของทุกค่ายกกำลังสอง

$N\sum D^2$ = จำนวนค่าปริมาณการปั๊มน้ำ คูณ ผลรวมของความแตกต่างของค่าปริมาณการตัดจากการทดลองและการคำนวณของทุกค่ายกกำลังสอง

N-1 = จำนวนค่าปริมาณการปั๊มน้ำ ลบ 1

จะได้ดังนี้

$$t = \frac{0.718}{\sqrt{\frac{(50)(2.648525)-(0.515524)}{50-1}}}$$

$$t = 0.4376$$

สรุปได้ว่าสมการถดถอยได้ค่า t-test = 0.4376 < t ตาราง ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ในตารางที่ ง.1 จึงสรุปได้ว่าสมการถดถอยสามารถใช้ได้

ภาคผนวก ค

คู่มือการใช้งานและบำรุงรักษา

กังหันลมพลังงานธรรมชาติ

ตารางที่ ค.1 ลักษณะสำคัญของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ

การใช้งาน	ใช้ในการปฏิบัติงานทางการเกษตรคือ ปั๊มน้ำ
สถานที่ประกอบการ	สวนผลไม้ แหล่งที่ทำการเกษตรทั่วไป
ลักษณะผลิตภัณฑ์สำเร็จ	กังหันลมพลังงานธรรมชาติ
ขนาดของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ	207.96 x146.6 x 337.36 เซนติเมตร
น้ำหนักของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ	95 กิโลกรัมโดยประมาณ
ขนาดของปั๊มน้ำ	ปั๊มชักรุ่นมาตรฐาน ขนาดลูกสูบ 49 มิลลิเมตร ท่อดูดและท่อส่งของปั๊มน้ำมีขนาด 1 นิ้ว
ความเร็วลมเฉลี่ยที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมสูงที่สุด	3.25 เมตร/วินาที ซึ่งจะปริมาณน้ำที่ปั๊มได้โดยเฉลี่ยคือ 1.895 ลิตร/นาที
ความเร็วลมเฉลี่ยที่น้อยที่สุดที่ทำให้กังหันลมพลังงานธรรมชาติเริ่มทำงาน	2.55 m/s ซึ่งจะปริมาณน้ำที่ปั๊มได้โดยเฉลี่ยคือ 0.527 ลิตร/นาที

ข้อควรปฏิบัติก่อนการใช้งาน

1. ตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานเสมอ
2. ตรวจสอบปั๊มน้ำและใบพัดกังหันลมให้อยู่ในตำแหน่งและสภาพที่พร้อมใช้งานเสมอ
3. ควรตรวจระดับน้ำมันเครื่องของปั๊มให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม
4. ควรมีการวางแผนการปฏิบัติงานก่อนการลงมือทุกๆครั้ง . เพื่อให้การทำงานประสบผลสำเร็จตามเป้าหมายที่ตั้งไว้
5. ควรถอดอุปกรณ์ต่างๆเพื่อทำความสะอาดหลังการปฏิบัติงานทุกครั้ง
6. ควรอ่านคู่มือก่อนการใช้งานเพื่อให้การใช้งานถูกวิธี
7. ควรที่จะตรวจวัดระดับความเร็วลมของพื้นที่ที่จะใช้งานก่อน เพื่อทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ
8. พื้นที่ที่จะใช้งานกังหันลมพลังงานธรรมชาติจะต้องเป็นที่โล่งแจ้ง ไม่มีสิ่งขวางกั้นแรงลม

ขั้นตอนในการทำงาน

1. ตรวจสอบกังหันลมพลังงานธรรมชาติให้พร้อมใช้งานในทุกส่วน
2. ทำการติดตั้งกังหันลมพลังงานธรรมชาติในพื้นที่ที่เหมาะสม
3. ติดตั้งส่วนประกอบต่างๆของกังหันลมพลังงานธรรมชาติเช่น ส่วนของการปั๊มน้ำ ส่วนของใบพัด ระบบส่งกำลัง เป็นต้น ให้มีสภาพที่พร้อมใช้งาน
4. ปล่อยให้กังหันลมพลังงานธรรมชาติทำการปั๊มน้ำจนเสร็จ
5. ทำความสะอาดกังหันลมพลังงานธรรมชาติ และชิ้นส่วน อุปกรณ์ต่างๆ
6. เก็บกังหันลมพลังงานธรรมชาติเข้าที่เก็บให้เรียบร้อย

การบำรุงรักษา

1. ตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆให้อยู่ในสภาพที่พร้อมทำงานเสมอ
2. หลังจากปฏิบัติงานเสร็จ ควรทำความสะอาดและตรวจสอบอุปกรณ์ที่เกิดความชำรุด ทำการซ่อมแซมและแก้ไขให้เรียบร้อย
3. หมั่นตรวจสอบบริเวณจุดที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายได้ง่าย เช่น บริเวณรอยเชื่อมและจุดข้อต่อต่างๆ ท่อส่งน้ำ เป็นต้น
4. หมั่นตรวจสอบจารบี บริเวณส่วนของเพลา เฟือง และแกนของปั๊มน้ำ เพื่อป้องกันการสึกหรอ
5. ตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานและทำการแก้ไขปรับปรุง ซ่อมแซมอยู่เสมอ

ข้อควรปฏิบัติและบำรุงรักษากังหันลมพลังงานธรรมชาติ

1. ตรวจระดับน้ำมันเครื่อง
2. ตรวจน้ำมันหล่อลื่น และจารบีของเฟืองขับ เฟืองตาม แกนเพลา
3. ตรวจดูรอยรั่วของจุดข้อต่อของสายยาง เช็ควาล์ว
4. หมั่นทำความสะอาดทุกๆส่วนของกังหันลมพลังงานธรรมชาติ
5. ตรวจสอบซีลยางของปั๊มน้ำอยู่เสมอเพื่อไม่ให้เกิดรอยรั่ว

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 ค่าวิกฤติของ t

df	Level of significance for one-tailed test	
	.05	.01
1	6.314	31.821
2	2.920	6.965
3	2.353	4.541
4	2.132	3.747
5	2.015	3.365
6	1.943	3.143
7	1.895	2.998
8	1.860	2.896
9	1.833	2.821
10	1.812	2.764
11	1.796	2.718
12	1.782	2.681
13	1.771	2.650
14	1.761	2.624
15	1.753	2.602
16	1.746	2.583
17	1.740	2.567
18	1.734	2.552
19	1.729	2.539
20	1.725	2.528
21	1.721	2.518
22	1.717	2.508

ตารางที่ ง.1 ค่าวิกฤติของ t (ต่อ)

df	Level of significance for one-tailed test	
	.05	.01
23	1.714	2.500
24	1.711	2.492
25	1.708	2.485
26	1.706	2.479
27	1.703	2.473
28	1.701	2.467
29	1.677	2.462
30	1.697	2.457
40	1.684	2.423
60	1.671	2.390
120	1.658	2.358

ตารางที่ ง.2 ตาราง ANOVA ที่นัยสำคัญ 0.05

Table VI Percentage Points of the F-Distribution (continued)

$f_{0.05,\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1	Degrees of freedom for the numerator (ν_1)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Degrees of freedom for the denominator (ν_2)

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายธนาวุฒิ ไชยลังกา

ภูมิลำเนา 138 หมู่ 7 ต. ทุ่งรวงทอง อ. จุน จ. พะเยา

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพญาลอวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **tanawut_tom@hotmail.com**

ชื่อ นายสุริยาวุธ รู้เกณฑ์

ภูมิลำเนา 86 หมู่ 2 ต. ทุ่งกว๋าว อ. เมืองปาน จ. ลำปาง

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนทุ่งกว๋าววิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **silvir_picku@hotmail.com**