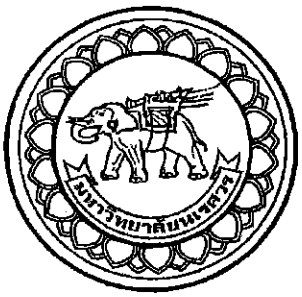


การผลิตกระแสไฟฟ้าตรงด้วยกังหันลม

Electricity Direct Current Generation by Using a Wind Turbine

นายเมคิน รุ่งโรจน์ รหัส 46380247

นายเทพพิทักษ์ สลีวงศ์ รหัส 46380322

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 25 พ.ค. 2553
เลขทะเบียน 150 25515 e.2
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก
2550

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2550

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน การผลิตกระแสไฟฟ้าตรงด้วยกังหันลม

ผู้ดำเนินโครงงาน นายเมคิน รุ่งโรจน์ รหัส 46380247

นายเทพพิทักษ์ สลีวงศ์ รหัส 46380322

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2550

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการการสอบสวนโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานคณะกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ แย้มเม่น)

.....กรรมการ

(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

.....กรรมการ

(ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช)

หัวข้อโครงงาน	การผลิตกระแสไฟฟ้าตรงด้วยกังหันลม
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายเมคิน รุ่งโรจน์ รหัส 46380247
	นายเทพพิทักษ์ สลิวงศ์ รหัส 46380322
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยได้ประสบปัญหาวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน พลังงานเชื้อเพลิงที่มีอยู่ตามธรรมชาติภายในประเทศลดลงอย่างรวดเร็ว และมีราคาเพิ่มขึ้นทุกวัน ดังนั้นคณะผู้จัดทำโครงงานจึงทำการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานทดแทนโดยการนำพลังงานลมมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลม

โครงงานนี้ได้พัฒนาการผลิตกระแสไฟฟ้าตรงด้วยกังหันลมความเร็วรอบต่ำแกนหมุนอยู่ในแนวแกนนอน ขนาดกำลังการผลิตไม่เกิน 400 วัตต์ ใบพัดทำจากไม้เนื้ออ่อนจำนวน 3 ใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ฟุต ส่วนของโรเตอร์ ทำจากแม่เหล็กถาวรชนิด นีโอดิเมี่ยม ขนาด 40 x 25 x 10 มิลลิเมตร ความแรง 4,500 เกาส์ จำนวน 24 ก้อน ติดบนแผ่นเหล็กกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 นิ้ว 2 แผ่น โดยติดแม่เหล็ก 12 ก้อน ต่อแผ่นเหล็ก 1 แผ่น ส่วนของสเตเตอร์ ทำจากขดลวดทองแดงเบอร์ 18 พันจำนวน 160 รอบ เป็นรูปสี่เหลี่ยมมีแกนอากาศตรงกลางขนาดเท่ากับก้อนแม่เหล็ก จำนวน 10 ขด ต่อขดลวดเข้าด้วยกันแบบ Star จากนั้นนำขดลวดไปหล่อเรซิ่น

ผลการทดสอบกำลังการผลิตของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นมาด้วยการใช้พัดลมขนาด 12 นิ้ว 196 วัตต์ จำนวน 4 เครื่อง เป่าลมให้กังหันหมุน พบว่ากังหันสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 391.62 วัตต์ ที่แรงดัน 18.3 โวลต์ กระแส 21.4 แอมแปร์ ที่ความเร็วรอบ 198 รอบต่อนาที และมีค่าประสิทธิภาพของกังหันลมสูงสุดเท่ากับ 49.95 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุที่ค่าประสิทธิภาพของกังหันลมมีค่าน้อยเกิดจาก การสูญเสียของลม การสูญเสียทางกล และการสูญเสียทางไฟฟ้า ถ้าหากนำกังหันไปทดสอบในสถานที่ที่มีปริมาณลมมากกว่านี้ กังหันก็จะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้นถึง 2.5 กิโลวัตต์ ตามการออกแบบของกังหันลมซึ่งใบพัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ฟุต

Project Title	Electricity Direct Current Generation by Using a Wind Turbine
Name	Mr. Mekhin Rungrot ID. 46380247
	Mr. Teppitak Saleewong ID. 46380322
Project Advisor	Assistant. Professer. Dr. Suehart Yammen, Ph.D.
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic year	2007

ABSTRACT

At this present, Thailand has faced with the energy crisis. The decrease and the cost of the natural fuel are rapidly expand and become more and more serious. Therefore, the project developed by using a wind turbine to generate the direct current electricity as a renewable energy was established to solve this problem.

This project has developed the direct current electricity generator using a low speed horizontal core wind turbine which produces less than 400 [W]. This generator consists of 3 main parts as follows.

1) 3 blades made from soft wood with a 8 feet diameter.

2) 24 Neodymium magnet rotors with a (40x25x10 mm.) diameter and 4,500 [Gs] flux attached to (12.5 inches diameter) 2 round iron plates. (12 magnets per 1 plate).

3) A stator winded up by no.18 copper wire for 160 rounds into square shape with the air axle in the middle. The air axles are equal to 10 coils of magnetic pieces and these coils was linked in a star shape. The model was molded by the resin.

The result shows that the electric fan using a 4 (12 inches) wind turbine can generate the highest capacity of power 391.62 [W] and voltage 18.3 [V] at the current 21.4 [A]. The speed was 198 revolution per minute has the highest efficieney 49.95%. The reason for the less value of efficieney is that the lose of wind, mechanic and electric. If the turbine was tested in the windy environment, the turbine would be able to generate the maximum of the electrical power up to 2.5 [kW] according to the design of the blades of the turbine which has 8 feet diameter.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับคำปรึกษาและการส่งเสริมสนับสนุนจากบุคคลหลายๆท่านซึ่งถ้าไม่มีบุคคลดังกล่าวโครงงานนี้คงไม่สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีคณะผู้จัดทำโครงงานจึงขอขอบพระคุณบุคคลดังกล่าวดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ส่งเสริมสนับสนุน และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ แย้มเม่น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่เสียสละเวลาและให้คำปรึกษาในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ คุณบรรจง ขยันกิจ ที่ให้คำแนะนำ และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการทำโครงงานในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพงศกร นาคแย้ม เจ้าของร้านพงศกรค้าไม้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และวัสดุอุปกรณ์งานไม้ในการทำชิ้นงานตลอดจนถึงช่างไม้ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทำชิ้นงาน

ขอขอบพระคุณ คุณประสิทธิ์ วิชัย ที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่องการชาร์จแบตเตอร์รี่และเอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบชิ้นงาน

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ รุจิรัตน์ ชัยแสง และคุณทัตพิชา ชลวิสูตร ที่เสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือในการแปลบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานในครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา

เมคิน รุ่งโรจน์

เทพพิทักษ์ สลีวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....ฉ

สารบัญรูป.....ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....1

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน.....2

1.4 แผนการดำเนินงาน.....2

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....3

1.6 งบประมาณที่ใช้.....3

บทที่ 2 งานวิจัย และทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกังหันลมในต่างประเทศ.....4

2.2 การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกังหันลมในประเทศ.....5

2.3 ทฤษฎีพลังงานลม.....6

2.4 เทคโนโลยีกังหันลม.....9

2.5 การนำกังหันลมไปใช้ประโยชน์.....11

2.6 ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลม.....11

2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้กับระบบพลังงานลมมี 2 ประเภท.....12

2.8 พลังงานลมในประเทศไทย.....13

2.9 ความต้านทานการเคลื่อนที่ของกระแสลมในสภาพพื้นที่ต่างๆ.....14

2.10 ทฤษฎีแม่เหล็ก.....15

2.11 ไดโอด.....19

2.12 วงจรไอซีเรกกูเรเตอร์.....24

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.13 อินเวอร์เตอร์.....26
2.14 แบตเตอร์รี่.....27

บทที่ 3 ขั้นตอนการประดิษฐ์กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า
3.1 ขั้นตอนการทำใบพัด.....29
3.2 ขั้นตอนการทำหางเสือ.....33
3.3 ขั้นตอนการทำโครงเหล็ก.....34
3.4 ขั้นตอนการทำระบบไฟ.....38
3.5 การประกอบกังหัน.....43

บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล
4.1 ผลการทดสอบวัดความเร็วรอบ และแรงดันไฟฟ้าขณะยังไม่ต่อแบตเตอร์รี่.....47
4.2 ผลการทดสอบวัดแรงดัน และกระแสไฟฟ้าขณะต่อแบตเตอร์รี่.....49
4.3 ผลการทดสอบวัดความเร็วรอบแรงดันกระแสและกำลังไฟฟ้าขณะต่อตัวต้านทาน...50

บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ
5.1 สรุปผลการทดสอบ.....54
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....54
5.3 ข้อเสนอแนะ.....54

เอกสารอ้างอิง.....55
ภาคผนวก.....56
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน.....62

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงเบอร์ไอซีและค่าแรงดันใช้งาน.....25

4.1 ผลการทดสอบวัดความเร็วรอบ และแรงดันไฟฟ้าขณะยังไม่ต่อแบตเตอร์รี่.....47

4.2 ผลการทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสขณะต่อแบตเตอร์รี่.....49

4.3 ผลการทดสอบวัดความเร็วรอบ แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ขณะต่อตัวต้านทาน.....50

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กังหันลมใบพัดโรเตอร์ผลิตกระแสไฟฟ้ากำลังการผลิต 1,250 kW	4
2.2 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตกำลังการผลิตไม่เกิน 2 kW ที่ จ. ภูเก็ต	5
2.3 แสดงความเร็วลม V เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A	7
2.4 แสดงรูปแบบการไหลของอากาศในแนวแกน	9
2.5 (ก) กังหันลม Savonius และ (ข) กังหันลม Darrieus	10
2.6 (ก) กังหันลม Windmill และ (ข) กังหันลมผลิตไฟฟ้า	10
2.7 แสดงระบบการเก็บสะสมพลังงานจากกังหันลม	12
2.8 แสดง Profile ของกระแสลมที่พัดผ่านพื้นที่ต่างๆ	14
2.9 แสดงทิศของสนามแม่เหล็ก	15
2.10 แสดงสนามแม่เหล็กโลก	17
2.11 แสดงกฎสกรูของแมกเวลล์	18
2.12 แสดงกฎกำมือขวา	18
2.13 แสดงไดโอด	19
2.14 แสดงไดโอดกำลัง (Power Diode)	20
2.15 วงจรเร็กติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่น	21
2.16 แสดงวงจรหรี่ไฟ	21
2.17 แสดงวงจรลดความเร็วของมอเตอร์	22
2.18 แสดงวงจรเร็กติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น	22
2.19 แสดงวงจรจ่ายไฟตรงแบบเดียวใช้หม้อแปลงธรรมดาไม่มีแท็ปกลาง	23
2.20 แสดงวงจรจ่ายไฟตรงแบบเดียวใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง	23
2.21 แสดงวงจรจ่ายไฟตรงแบบคู่ใช้ไดโอดบริดจ์	24
2.22 แสดงวงจรจ่ายไฟตรงแบบคู่ใช้ไดโอดต่อร่วมกัน 4 ตัว	24
2.23 ลักษณะรูปร่างภายนอกและขาใช้งาน	24
2.24 วงจรใช้งาน	25
2.25 การทำงานของอินเวอร์เตอร์	26
2.26 แสดงหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์	26

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 แบตเตอร์รี่	27
2.28 การต่อแบตเตอร์รี่แบบอนุกรม	27
2.29 การต่อแบตเตอร์รี่แบบขนาน	28
2.30 การต่อแบตเตอร์รี่แบบอนุกรมและขนานรวมกัน	28
3.1 การแบ่งส่วนของใบพัด	29
3.2 การถากเนื้อไม้ส่วนของหน้าใบ	30
3.3 การถากเนื้อไม้ส่วนของหลังใบ	30
3.4 การแบ่งส่วนของหลังใบ	31
3.5 การตัดไม้ส่วนที่นำมาเสริมใบพัด	31
3.6 การติดไม้ส่วนที่เสริมหน้าใบ	32
3.7 ใบกังหันที่ประกอบเสร็จแล้ว	32
3.8 แบบของหางเสือ	33
3.9 หางเสือที่พร้อมใช้งาน	33
3.10 ดุมล้อหน้ารถเก็ง (HUB)	34
3.11 แบบของโครงเหล็กส่วนที่ติดกับ HUB	34
3.12 โครงเหล็กส่วนที่ติดกับ HUB	35
3.13 เหล็กยึดส่วนของหางเสือ	35
3.14 มุมระหว่างหางเสือกับเหล็กราง	36
3.15 โครงเหล็ก	36
3.16 การบากท่อเหล็ก	37
3.17 โครงเหล็กของหางเสือ	37
3.18 โครงเสาของกังหันลม	38
3.19 การจัดวางแม่เหล็ก	38
3.20 แม่เหล็กที่ติดกับแผ่นเหล็ก (Rotor)	39
3.21 การต่อวงจรบริดเร็กติไฟ	39
3.22 การจัดวางขดลวดลงในแบบเพื่อหล่อเรซิ่น	40
3.23 การหล่อเรซิ่น	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24 ขดลวดทองแดงหลังหล่อเรซิ่น (Stator)	41
3.25 ไดโอด	41
3.26 กล่องพลาสติกกันน้ำ	42
3.27 สายไฟ	42
3.28 แบตเตอร์รี่	43
3.29 ลักษณะการประกอบกังหัน	43
3.30 การประกอบ HUB กับโครงเหล็ก	44
3.31 การประกอบส่วนของ Rotor แผ่นที่หนึ่ง กับแกนของ HUB	44
3.32 การประกอบขดลวด Stator กับโครงเหล็ก	45
3.33 การประกอบส่วนของ Rotor แผ่นที่สอง กับแกนของ HUB	45
3.34 การประกอบวงจรของขดลวด (Stator) เข้ากับไดโอด	46
3.35 กังหันที่พร้อมใช้งาน	46
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ และแรงดันไฟฟ้า	48
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน และกระแสไฟฟ้า	49
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และความเร็วรอบ	51
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบ	51
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบ	52

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

มนุษย์ได้รู้จักการนำเอาพลังงานลมมาใช้ให้เกิดประโยชน์มาเป็นเวลานับพันปีแล้ว เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้นอาทิ ใช้พลังงานลมในการขับเคลื่อนเรือเดินทะเล การสร้างกังหันลมเพื่อเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกลเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ตัวอย่างเช่น การสูบน้ำ การกะเทาะเมล็ดพืช เป็นต้น จากวิกฤตการณ์ด้านพลังงานที่ผ่านมา จึงได้มีการศึกษาและค้นคว้าหาแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งนับวันจะน้อยลงทุกที พลังงานลมจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้ด้วยการพัฒนารูปแบบ และกลไกของกังหันลมเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ปัจจุบันประเทศไทย ได้มีการศึกษาพัฒนารูปแบบและวิธีการเปลี่ยนแปลงพลังงานลม ให้เป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ ด้วยการสร้างและพัฒนากังหันลมที่มีใช้กันแต่ดั้งเดิม อาทิ กังหันลมแบบเสื่อลำแพนซึ่งติดตั้งบริเวณชายทะเลเพื่อใช้ทำนาเกลือ กังหันลมแบบใบพัดทำด้วยโลหะเพื่อใช้ในการสูบน้ำขึ้นที่สูงๆ จนถึงปัจจุบันได้มีการสร้างกังหันลมเพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในระดับเมกกะวัตต์ การพัฒนากังหันลมเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นยังคงดำเนินการต่อไป เนื่องจากพลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียน และสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานอื่นๆที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ เมื่อเทียบกับการบำรุงรักษาและอายุการใช้งาน

โครงงานนี้จะนำเสนอกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำมาเก็บไว้ในแบตเตอร์รี่ แล้วแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อที่จะนำไปใช้งานกับโหลดในที่อยู่อาศัยได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อพัฒนาการผลิตไฟฟ้ากระแสตรงด้วยกังหันลมขนาด 400 วัตต์ พร้อมกับทดสอบสมรรถนะของกังหัน

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1.3.1 พัฒนาการผลิตกระแสไฟฟ้าตรงด้วยกังหันลมขนาดไม่เกิน 400 วัตต์

1.3.2 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์กับชุมชนที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้แต่ต้องเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณลมที่เพียงพอ และสม่ำเสมอในการผลิตกระแสไฟฟ้า

1.4 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2549				2550							
	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค
1. เสนอหัวข้อโครงงาน	←	→										
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า			←	→								
3. ประดิษฐ์กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า					←				→			
4. ทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า										←	→	
5. สรุปผลการทดสอบ											←	→
6. นำเสนอโครงงาน												← →

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจหลักการการทำงานของกังหันลมในการเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ตลอดจนกระบวนการในการนำกระแสไฟฟ้าที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในที่อยู่อาศัยได้

1.5.2 สามารถนำข้อบกพร่องของกังหันลมที่ประดิษฐ์ขึ้นนำมาปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.6 งบประมาณที่ใช้

1.6.1 ค่าวัสดุในการประดิษฐ์ชิ้นงาน	1,000 บาท
1.6.2 ค่าปริ้นงานและค่าเข้าเล่มโครงงาน	1,000 บาท
รวมเป็นเงิน	2,000 บาท

มหาวิทยาลัยนเรศวร

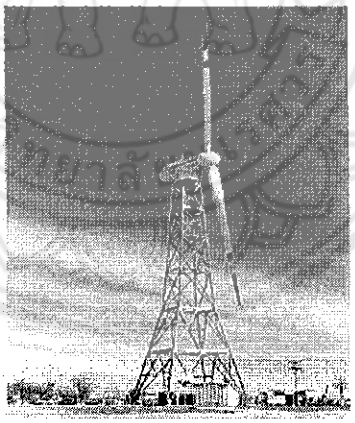
บทที่ 2
งานวิจัย และทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกังหันลมในต่างประเทศ

Prof. Lacour (1895) ชาวเดนมาร์กได้ทำการออกแบบและสร้างกังหันลมมีขนาดความสูง 80 ฟุต เป็นกังหันลมแบบโรเตอร์ 4 ใบพัด ชุดถ่ายทอดกำลังเป็นเฟืองเกียร์และไปขับเคลื่อน Generator ผลิตกระแสไฟฟ้า

ประเทศเดนมาร์ก (1910) ได้มีการสร้างและติดตั้งกังหันลมเป็นจำนวนมากมาย เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งมีกำลังการผลิตประมาณ 5 ถึง 25 กิโลวัตต์

ประเทศสหรัฐอเมริกา (1941) ได้มีการติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตที่สูงที่สุดในช่วงนั้น คือมีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าถึง 1,250 กิโลวัตต์ กังหันลมมีขนาดความสูงถึง 110 ฟุต ขนาดโรเตอร์มีความยาวจากปลายด้านหนึ่งไปยังอีกปลายด้านหนึ่ง 175 ฟุต และออกแบบให้สามารถใช้กับความเร็วลมที่ 13 เมตร/วินาที โดยทำการติดตั้งบนภูเขาซึ่งมีขนาดความสูง 2,000 ฟุต ที่ Grandpa's Knob มลรัฐ Vermont เพลาของโรเตอร์จะไปขับเคลื่อน Generator เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า (ดังรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 กังหันลมใบพัดโรเตอร์ผลิตกระแสไฟฟ้ากำลังการผลิต 1,250 kW

ศูนย์วิจัยขององค์การนาสาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (1978) ได้มีการสร้างและทดสอบกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าแบบแกนนอนชนิด Propeller มีขนาดกำลังการผลิตถึง 2,000 กิโลวัตต์ จากกังหันลมแบบ Darrieus ได้มีการพัฒนาไปเป็นกังหันลมรูปแบบอื่นอีกหลายแบบ อาทิ กังหันลมดาร์เรียสแบบสามเหลี่ยม กังหันลมดาร์เรียสแบบสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน กังหันลมแกนหมุน

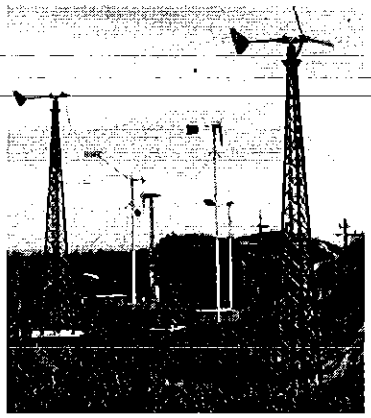
แนวดิ่งใบตรง กังหันลมแบบ Giro - Rotor กังหันลมแบบหักเหลี่ยม (Kinked Blade) และกังหันลมแบบปรับพื้นที่กวาดได้ (Variable Geonetry) เป็นต้น

2.2 การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกังหันลมภายในประเทศ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ) ร่วมมือกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยสนับสนุนทุนวิจัยออกแบบสร้างกังหันและนำไปติดตั้งทดลอง ปรากฏว่ามีปัญหาเกี่ยวกับระบบส่งกำลังและความแข็งแรงของใบกังหัน และเมื่อ กฟผ.ทดลองออกแบบสร้างกังหันแบบล้อจักรยาน นำไปติดตั้งใช้งานที่ชายฝั่งทะเลบริเวณบ้านอ่าวไผ่ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ก็พบว่ามีปัญหาเรื่องระบบส่งกำลัง เช่นกัน

ในปี พ.ศ. 2526 กฟผ. ได้ร่วมมือกับหน่วยงานราชการจังหวัดภูเก็ต จัดตั้งสถานีทดลองใช้งานขึ้นในจังหวัด เพื่อรวบรวมข้อมูลนำไปวิเคราะห์ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ โดยนำกังหันลมผลิตไฟฟ้าซึ่งสั่งซื้อจากต่างประเทศในราคามิตรภาพ ติดตั้งในบริเวณแหลมพรหมเทพ จำนวน 4 ชุด ในขนาด 18.5, 2, 1 และ 0.83 กิโลวัตต์ พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูล Digital Data Logger และ Strip Chart Recorder ไว้อย่างครบถ้วน ไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นนำมาใช้ในบริเวณสถานีทดลอง โดยใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ติดตั้งไว้ ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่ากังหันลมที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในสถานีนี้ใช้งานได้ดีพอสมควร แต่มีปัญหาเรื่องชิ้นส่วนบางชนิด เช่น ใบกังหันและตลับลูกปืนชำรุด และยังมีปัญหาด้านการจัดซื้ออะไหล่จากต่างประเทศในบางกรณี

เมื่อการทดลองใช้พลังงานลมผลิตไฟฟ้าปรากฏผลเป็นที่น่าพอใจ ในปี พ.ศ. 2531 กฟผ.จึงกำหนดแผนงานเชื่อมโยงระบบกังหันลม เพื่อผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ) เพื่อการใช้งานจริงและเพื่อศึกษาหาทางพัฒนาการใช้พลังงานลมกับระบบด้วย และด้วยความร่วมมือจาก กฟภ. การจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบได้เริ่มขึ้นในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2533 นับเป็นการนำไฟฟ้าจากพลังงานลมมาใช้งาน โดยผ่านระบบจำหน่ายเป็นครั้งแรกในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2535 กฟผ. ทำการติดตั้งกังหันลมเพิ่มขึ้นอีก 2 ชุด ขนาดกำลังผลิต ชุดละ 10 กิโลวัตต์



รูปที่ 2.2 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตกำลังการผลิตไม่เกิน 2 kW ที่ จ. ภูเก็ต

2.3 ทฤษฎีพลังงานลม

2.3.1 หลักการของพลังงานลม พลังงานลม คือ มวลของอากาศซึ่งเคลื่อนที่ไปบนผิวโลกตามแนวนอนในทุกทิศทางด้วยความเร็วต่างๆ กัน พลังงานลมเกิดจากออิทธิพลของดวงอาทิตย์ โดยที่ผิวโลกแต่ละส่วนได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน จึงเป็นสาเหตุให้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงเกิดการลอยตัวสูงขึ้น และอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำไหลเข้ามาแทนที่ จึงทำให้มวลของอากาศเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นซึ่งเราเรียกว่า ลม พลังงานลมเป็นพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ เมื่อพิจารณาในรูปของสมการ โดยพิจารณาว่า มวล m กิโลกรัม ถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V เมตร/วินาที จะก่อให้เกิดพลังงานจลน์ (E) ดังสมการที่ 2.1

$$E = (0.5)(m\,V^2)\ [\text{Joule}] \qquad (2.1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานจลน์ [Joule]

m คือ มวลของอากาศ [kg]

V คือ ความเร็วลม [m/s]

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศมีหน่วยเป็นมวล / เวลา ถ้าเราแทนค่า m ด้วย $\dot{m}$ ลงในสมการที่ 2.1 จะทำให้ลมในรูปของพลังงานจลน์เปลี่ยนเป็นกำลังงานลม P ดังสมการที่ 2.2

$$P = (0.5)(\dot{m}\,V^2)\ [\text{Watt}] \qquad (2.2)$$

เมื่อ P คือ กำลังงานลม [Watt]

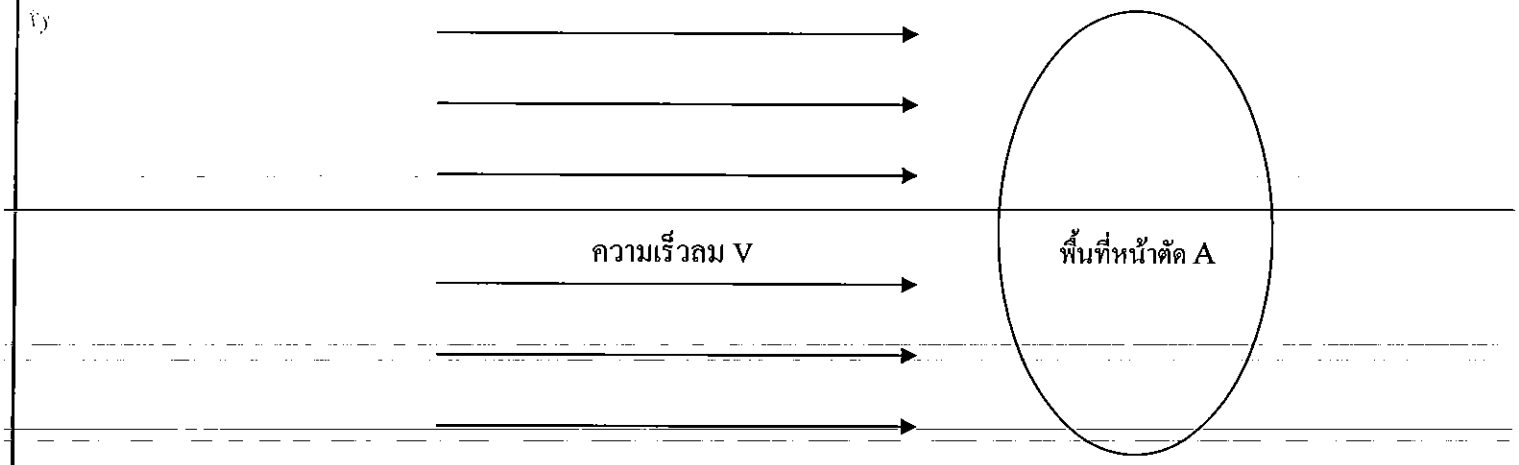
$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของอากาศเชิงมวลต่อเวลา [kg / s]

ถ้าลมเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A ดังรูปที่ 2.3 เราสามารถเขียนอัตราการไหลของอากาศเชิงมวลต่อเวลา ($\dot{m}$) ดังสมการที่ 2.3

$$\dot{m} = \rho V A\ [\text{kg / s}] \qquad (2.3)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ [kg / m^3]

A คือ พื้นที่หน้าตัด [m^2]



รูปที่ 2.3 แสดงความเร็วลม V เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A

แทนค่าสมการ 2.3 ลงในสมการ 2.2 จะได้กำลังลม P_w ซึ่งเป็นพลังงานจลน์เมื่อกระแสลมมีความหนาแน่นและมีความเร็วลม V พัดผ่านพื้นที่หน้าตัด A ต่อหน่วยเวลาดังสมาการที่ 2.4

$$P_w = (0.5)(\rho A V^3) \ [\text{Watt}] \qquad (2.4)$$

ถ้าเขียนให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนกำลังลมต่อพื้นที่หน้าตัดจะได้สมการที่ 2.5

$$P_w / A = (0.5)(\rho V^3) \ [\text{Watt} / m^2] \qquad (2.5)$$

กังหันลมจะสามารถนำกำลังงานลมที่มีอยู่ในกระแสลมมาใช้ประโยชน์ได้เป็นเพียงบางส่วนเท่านั้น เนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากสาเหตุต่างๆ ในระบบขึ้น ถ้ากำหนดให้ Cp เป็นค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power Coefficient) ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสัดส่วนของกำลังงานที่กังหันลมจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้นั้นกำลังงานลมที่จะได้จากกังหันลม คือ

$$P = (0.5)(Cp)(\rho A V^3) \ [\text{Watt}] \qquad (2.6)$$

ตามทฤษฎีแล้วค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน Cp ของกังหันลมมีค่าสูงสุดแค่ 16/27 หรือ ประมาณ 59% ของพลังงานจลน์ของลมเท่านั้นแต่ในความเป็นจริงค่าของ Cp จะอยู่ระหว่าง 10-50% เท่านั้น สูตรกำลังของใบกังหัน

$$\text{Blade power} = 0.15 \times (\text{Diameter})^2 \times (\text{windspeed})^3 \ [\text{Watt}] \qquad (2.7)$$

ค่าของกำลังไฟฟ้าหาได้จากสูตร

$$P = IV \text{ [Watt]} \quad (2.8)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า [Watt]
I คือ กระแสไฟฟ้า [Amp]
V คือ แรงดันไฟฟ้า [Volt]

สูตรความเร็วของใบกังหัน

$$\text{Blade speed} = \text{wind speed x tsr x 60/circumference [rpm]} \quad (2.9)$$

เมื่อ Blade speed คือ ความเร็วรอบของใบกังหัน [rpm]
windspeed คือ ความเร็วลม [m/s]
tsr คือ อัตราความเร็วปลายใบพัดต่อความเร็วลม ค่า tsr ที่เหมาะสมคือ 7
r คือ รัศมีของใบกังหัน [m]

2.3.2 ทฤษฎีโมเมนตัมการไหลของอากาศในแนวแกน Rankine (1865) ได้อธิบายทฤษฎีโมเมนตัมการไหลของอากาศใน Axial Fan ว่าเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำบนใบพัดและความเร็วในการไหลของอากาศ ซึ่งต่อมา Froude ได้ปรับปรุงทฤษฎีดังกล่าวให้มีความเหมาะสม จึงทำให้สามารถทำนายประสิทธิภาพของใบพัดได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น ในการพิจารณากังหันลมที่มีพื้นที่หน้าตัด A ตั้งรับกระแสลมซึ่งมีความเร็วลม V ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าความเร็วลม V_1, V และ V_2 ที่พัดผ่านพื้นที่หน้าตัด A_1, A และ A_2 ตามลำดับเท่ากันทุกจุด สามารถเขียนความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ในแต่ละจุดได้ดังนี้

$$A_1V_1 = AV = A_2V_2$$

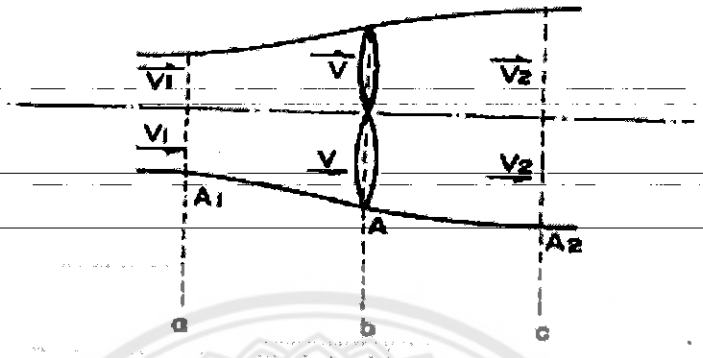
ปริมาณของแรงลมที่เปลี่ยนแปลงต่อกังหัน คือ

$$F = \rho AV (V_1 - V_2) \text{ [Nm]} \quad (2.10)$$

เมื่อ F คือ แรงลม [Nm]

การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของกระแสลม ณ หน่วยเวลา t จะได้กำลังลมดังนี้

$$P = FV = \rho AV^2 (V_1 - V_2) \quad P = (0.5)[\rho AV (V_1^2 - V_2^2)] \text{ [Watt]} \qquad (2.11)$$



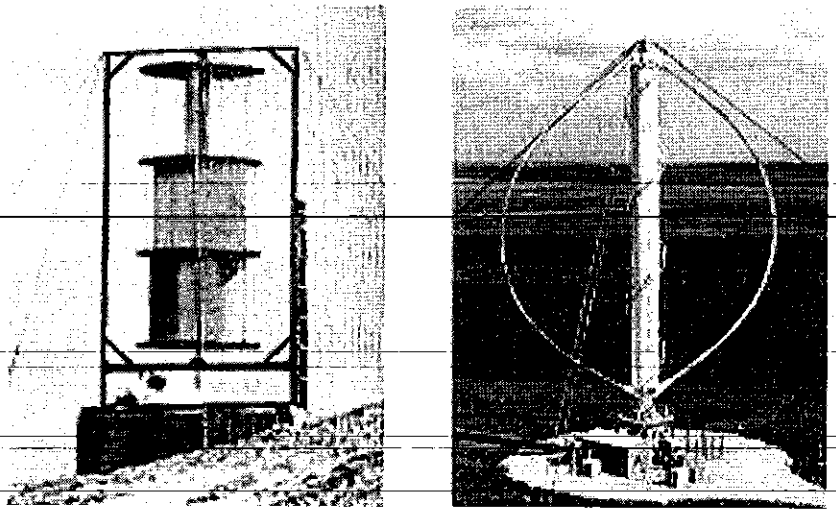
รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการไหลของอากาศในแนวแกน

2.4 เทคโนโลยีกังหันลม

กังหันลม คือ เครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ จากนั้นนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น การบดสีเมล็ดพืช การสูบน้ำ หรือในปัจจุบันใช้ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนากังหันลมเพื่อใช้ประโยชน์มีมาตั้งแต่ชนชาวอียิปต์โบราณและมีความต่อเนื่องถึงปัจจุบัน โดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด

2.4.1 รูปแบบเทคโนโลยีกังหันลม กังหันลมสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดวางแกนของใบพัดได้ 2 รูปแบบ คือ

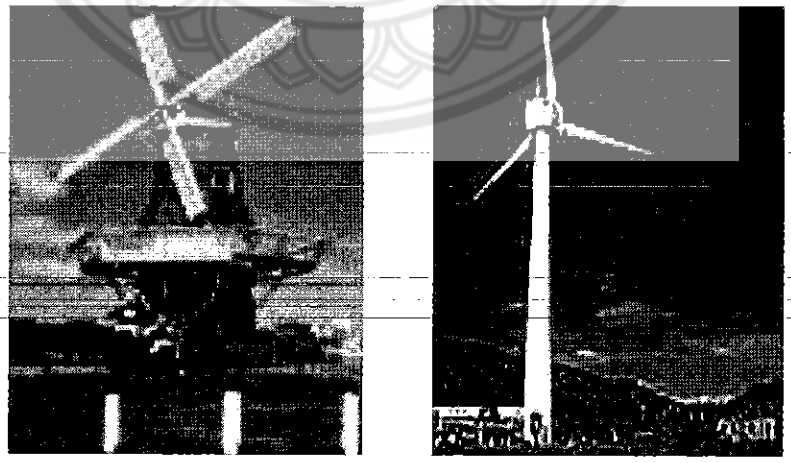
2.4.1.1 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Turbine : VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง มีเพียง 2 แบบ คือ กังหันลมแดร์เรียส (Darrieus) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส และกังหันลมซาโวเนียส (Savonius) ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในประเทศฟินแลนด์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



(ก) (ข)

รูปที่ 2.5 (ก) กังหันลม Savonius และ (ข) กังหันลม Darrieus

2.4.1.2 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 2.6 (ก) กังหันลม Windmill และ (ข) กังหันลมผลิตไฟฟ้า

2.5 การนำกังหันลมไปใช้ประโยชน์

2.5.1 กังหันลมเพื่อสูบน้ำ (Wind Turbine for Pumping) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลเพื่อใช้ในการชักหรือสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงเพื่อใช้ในการเกษตร การทำนาเกลือ การอุปโภคและการบริโภค ปัจจุบันมีใช้อยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบระหัด และแบบสูบชัก

2.5.2 กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine for Electric) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล จากนั้นนำพลังงานกลมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันมีการนำมาใช้งานทั้ง กังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) และกังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)

2.6 ส่วนประกอบที่สำคัญของกังหันลม

2.6.1 ใบกังหันลม ใบกังหันลมเป็นส่วนที่จะก่อให้เกิดพลังงานกล โดยการเปลี่ยนพลังงานจากการหมุนมาเป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนเพลา ใบกังหันลมจะมีจำนวนจากน้อยใบไปจนถึงหลายใบกังหันลมที่ออกแบบสร้างให้มีหลายใบจะใช้ในงานที่ต้องการแรงบิดสูง อาทิ ใช้ในงานสูบน้ำกะเทาะเมล็ดพืช เป็นต้น ส่วนกังหันลมที่มีใบกังหันจำนวนน้อย ก็เพื่อต้องการให้รอบการหมุนของใบพัดมีความเร็วรอบสูงนั่นเอง ซึ่งจะเหมาะกับการผลิตกระแสไฟฟ้า วัสดุที่ใช้ในการสร้างใบกังหันจะต้องมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความเบาและแข็งแรงซึ่งวัสดุที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ แผ่นเหล็กบาง แผ่นไม้ อะลูมิเนียมอัลลอยด์ และไฟเบอร์กลาส

2.6.2 ชุดควบคุม สำหรับรับลมแกนนอน ชุดควบคุมจะทำหน้าที่ในการบังคับทิศทางใบพัดให้หันหน้ารับกระแสลมตลอดเวลา หรือกล่าวอีกนัยก็คือชุดแพนหางของกังหันลมนั่นเองและยังมีชุดควบคุมซึ่งทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายให้แก่กังหันลมในกรณีที่มีลมแรงจัดสำหรับชุดควบคุมซึ่งทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายให้แก่กังหันลม ในที่ลมแรงจัดนี้จะมีลักษณะการทำงาน 2 ลักษณะ คือ

- ทำให้กังหันลมหันเหจากกระแสลมโดยการหันไปทางด้านข้างหรือเงยหน้าขึ้น
- ก่อให้เกิดการหน่วงต่อการหมุนให้แก่ชุดใบพัด อาทิ การบิดมุมของใบพัดให้มีพื้นที่ในการรับลมน้อยลง หรือเพิ่มอุปกรณ์ที่จะทำให้เกิดภาระต่อการขับของใบพัดเพิ่มมากขึ้น

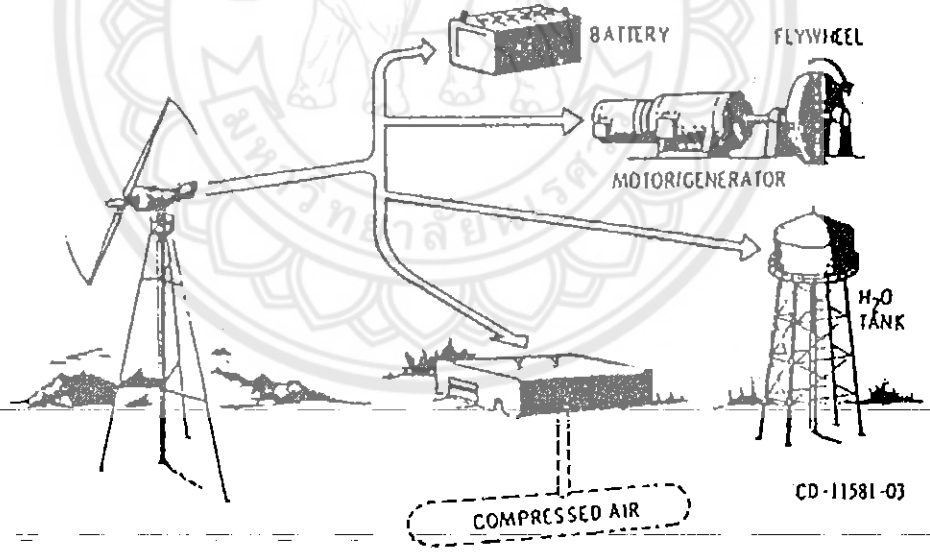
2.6.3 ระบบถ่ายทอดกำลัง การถ่ายทอดกำลังจากการหมุนของใบพัด จะถูกส่งผ่านไปยังเพลาขับและนำไปใช้งานโดยตรงเลย หรือผ่านชุดเฟืองทด สายพาน หรือระบบไฮดรอลิกส์ เพื่อให้การหมุนของเพลาได้แรงบิด หรือความเร็วรอบตามที่ต้องการต่อการใช้งานเสียก่อน

2.6.4 หอคอย หอคอยจะทำหน้าที่ในการยึดชุดกังหันลม ให้อยู่ในระดับความสูงตามที่ต้องการ เพื่อที่จะทำให้การรับกระแสลมในระยะความสูง ซึ่งมีกระแสลมพัดอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาได้ดี หอคอยอาจทำด้วยโครงสร้างไม้หรือโลหะก็ได้ ซึ่งสามารถรับภาระต่างๆที่กระทำต่อชุดกังหันลมได้อย่างเพียงพอโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในขณะที่มีลมแรงจัด

2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้กับระบบพลังงานลมมี 2 ประเภท คือ

2.7.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Synchronous เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะหมุนด้วยความเร็วรอบที่คงที่ ดังนั้นจึงจะต้องสามารถปรับระยะ Pitch ของใบพัดกังหันลมได้ตามสภาวะการเปลี่ยนแปลงความเร็วของกระแสลมได้

2.7.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Field - Modulated เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้สามารถทำงานที่ความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลงได้ แต่จะมีอุปกรณ์ประกอบเพิ่มเติมเข้าไปในระบบด้วยเพื่อที่จะปรับค่าความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้มีค่าตามที่ต้องการ การพัฒนาระบบเก็บสะสมพลังงานที่ได้เป็นสิ่งสำคัญที่จะใช้ในการพิจารณาออกแบบระบบการติดตั้งกังหันลม เพื่อที่จะทำให้พลังงานที่ได้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด



รูปที่ 2.7 แสดงระบบการเก็บสะสมพลังงานที่ได้จากกังหันลม

2.8 พลังงานลมในประเทศไทย

การใช้ประโยชน์จากพลังงานลม ด้วยการนำเอากังหันลมมาใช้งานนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ หลายประการ อาทิ การออกแบบกังหันลม และการเลือกสถานที่ติดตั้งให้เหมาะสม เพื่อให้ได้พลังงานและมีความต่อเนื่องของพลังงานที่ได้รับมีค่าสูงเพียงพอ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัดข้อมูลลม และนำข้อมูลลมนั้นมาทำการศึกษาวิจัย สำหรับการคัดเลือกสถานที่และตำแหน่งติดตั้งตลอดจนการออกแบบกังหันลมด้วย

การวิเคราะห์พลังงานลมในประเทศไทย ในระยะเวลาที่ผ่านมามีบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลต่างๆ ดังนี้

สำนักงานพลังงานแห่งชาติ (2519) ได้นำข้อมูลลมราย 3 ชั่วโมง ระหว่างปี พ.ศ. 2513 - 2518 จากกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 53 สถานี มาทำการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยปรับความเร็วลมให้อยู่ในระดับความสูงมาตรฐาน 10 เมตร จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณและรายงานผลในลักษณะของตารางการกระจายช่วงเวลาของความเร็วลม และกราฟการแจกแจงเชิงความถี่ของแต่ละสถานี แล้วนำผลของความเร็วลมเฉลี่ยที่คำนวณได้มาเขียนลงบนแผนที่ประเทศไทย

บุญชัย (2523) ได้นำข้อมูลลมจากกรมอุตุนิยมวิทยามาทำการวิเคราะห์ และเสนอผลในรูปของการกระจายเชิงความถี่ และการกระจายช่วงเวลาของความเร็วลมแต่ละสถานี โดยเฉลี่ยเป็นรายเดือนและรายปี

พินิจ และคณะ (2524) ได้นำข้อมูลจากบุญชัยมาทำการวิเคราะห์ต่อโดยการปรับความเร็วของกระแสลมให้อยู่ในระดับความสูง 10 เมตร และประเมินศักยภาพของกำลังงานลมในประเทศไทย ด้วยการเขียนแผนที่ศักยภาพกำลังงานลมโดยรวมค่าสัมประสิทธิ์ของ Betz เข้าไปในสมการ และคิดพื้นที่ฉายบนพื้นดินเป็น 1,000 เท่าของพื้นที่กวาดของกังหันลมแล้วสรุปผลว่าศักยภาพพลังงานลมทั่วประเทศไทย มีค่า 4.4×10^{10} กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อปี

ได้มีการจำแนกระดับความเร็วเฉลี่ยของกระแสลมที่ความสูง 10 เมตร จากพื้นดินที่เหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าออกเป็น 3 ระดับ คือ

- ระดับต่ำ	4 - 5 เมตร / วินาที
- ระดับปานกลาง	5 - 7 เมตร / วินาที
- ระดับสูง ตั้งแต่	7 เมตร / วินาทีขึ้นไป

ส่วนกังหันลมเพื่อการสูบน้ำ เช่น กังหันลมแบบหลายใบพัดที่จำหน่ายในประเทศสามารถใช้งานได้กับความเร็วลมเฉลี่ยต่ำถึง 3 เมตร/วินาที หากความเร็วเฉลี่ยต่ำกว่านี้พลังงานที่ได้จะน้อยจนไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

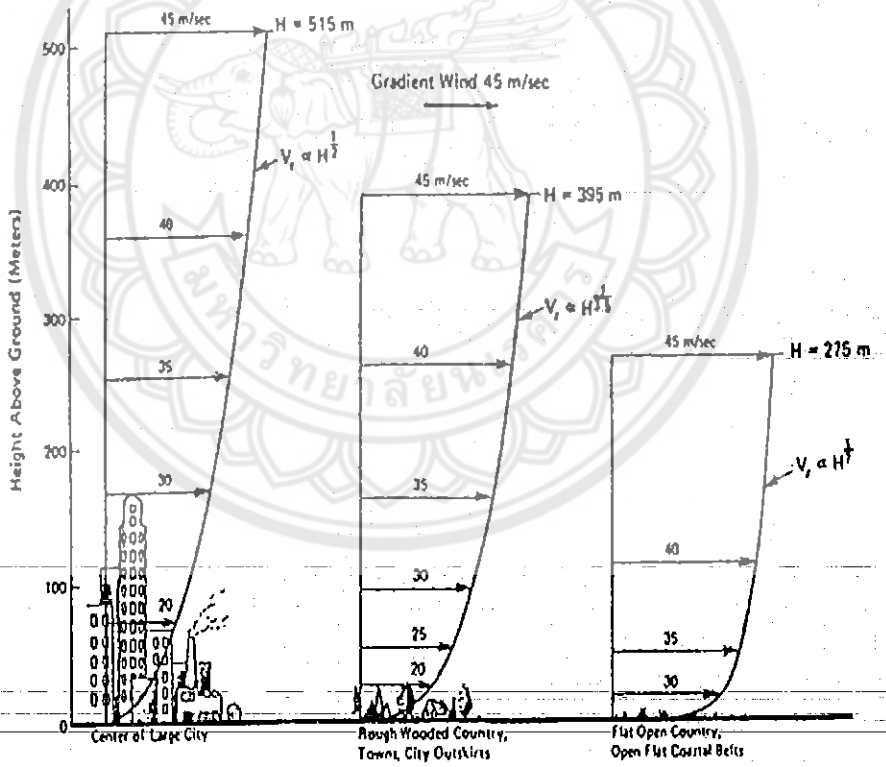
2.9 ความต้านทานการเคลื่อนที่ของกระแสลมในสภาพพื้นที่ต่างๆ

เมื่อลมพัดผ่านพื้นผิวที่มีค่าความขรุขระแตกต่างกันจะมีผลทำให้ Profile ของลมเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังรูปที่ 2.8 แสดงถึงพื้นผิวในทำเลต่างๆ ซึ่งมีความขรุขระของพื้นผิวแตกต่างกันไป มีผลทำให้ความเร็วของกระแสลมมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยจะแปรผันตามระยะความสูงของสภาพพื้นที่นั้นๆ

รูปที่ 2.8 ก แสดง Profile ของกระแสลมที่พัดผ่านอาคารสูงและบ้านเรือนในย่านตัวเมืองใหญ่ ความเร็วของกระแสลมจะแปรผันตามระยะความสูงยกกำลัง 1/2

รูปที่ 2.8 ข แสดง Profile ของกระแสลมที่พัดผ่านพื้นที่บริเวณชนบทซึ่งมีป่าไม้ขึ้นปกคลุม ความเร็วของกระแสลมจะแปรผันตามระยะความสูงยกกำลัง 1/3.5

รูปที่ 2.8 ค แสดง Profile ของกระแสลมที่พัดผ่านพื้นที่ราบเรียบและชายฝั่งทะเล ความเร็วของกระแสลมจะแปรผันตามระยะความสูงยกกำลัง 1/7



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.8 แสดง Profile ของกระแสลมที่พัดผ่านพื้นที่ต่างๆ

2.10 ทฤษฎีแม่เหล็ก

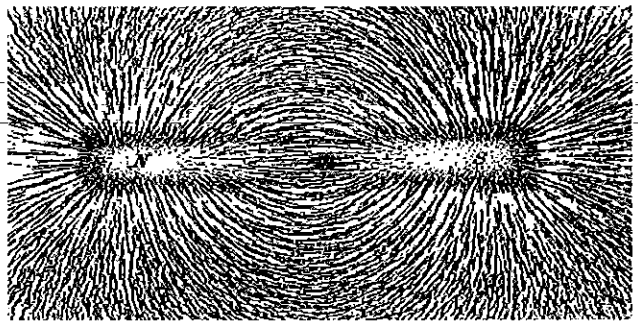
2.10.1 แม่เหล็ก : Magnet แม่เหล็กเป็นของแข็งชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติพิเศษ สามารถดึงดูดสารบางชนิดได้ โดยทั่วไปแม่เหล็กมี 2 ขั้วคือ ขั้วเหนือ กับขั้วใต้ เมื่อนำแม่เหล็กมาผูกห้อยในแนวดิ่ง แล้วปล่อยให้หมุนได้อย่างอิสระ จะพบว่าแม่เหล็กจะหยุดนิ่งและวางตัวในแนวทิศเหนือใต้เสมอ จึงเรียกด้านที่ชี้ไปทางทิศเหนือว่าขั้วเหนือ และด้านที่ชี้ไปทางทิศใต้ว่าขั้วใต้ ขั้วแม่เหล็ก คือ จุดบนแท่งแม่เหล็กที่มีความเข้มของแรงแม่เหล็กมาก กฎข้อแรกของแม่เหล็กกล่าวว่า ขั้วต่างกันดูดกันและขั้วเหมือนกันผลักกัน

2.10.2 สารแม่เหล็ก : Ferromagnetic สารแม่เหล็กเป็นวัตถุที่เป็นแม่เหล็กอย่างแรง (ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ง่าย) ซึ่งได้แก่ เหล็ก นิเกิล โคบอลต์ และสารประกอบของโลหะเหล่านี้สารแม่เหล็กแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

- สารแม่เหล็กถาวร (Hard) เป็นสารแม่เหล็กที่ไม่เสียอำนาจแม่เหล็กได้ง่ายหลังจากถูกทำให้เป็นแม่เหล็ก
- สารแม่เหล็กชั่วคราว (Soft) เป็นสารแม่เหล็กที่ไม่อาจรักษาอำนาจแม่เหล็กได้นานหลังจากการถูกทำให้เป็นแม่เหล็ก

2.10.3 การทำแม่เหล็ก : Magnetization ทำได้โดยการทำให้ไดโพลทั้งหมดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบเรียบร้อยโดยใช้วิธีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กนำวัตถุนั้นไปไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก การสัมผัสทางเดียว (Single touch) ใช้ปลายแท่งแม่เหล็กถูบนวัตถุซ้ำหลายๆครั้งในทางเดียวกันการสัมผัสแยกส่วน (Divided touch) ใช้ปลายแท่งแม่เหล็ก 2 แท่ง ถูบนวัตถุนละจุดหลายๆครั้ง

2.10.4 สนามแม่เหล็ก : Magnetic Fields สนามแม่เหล็ก คือ บริเวณรอบๆแท่งแม่เหล็ก เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic field lines) หรือ ฟลักซ์แม่เหล็ก (Flux lines) คือ เส้นที่แสดงทิศของสนามแม่เหล็กรอบๆ แท่งแม่เหล็ก โดยจะมีทิศชี้จากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้จุดเป็นกลางเป็นจุดที่ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 2.9 แสดงทิศของสนามแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กนั้นอาจเกิดขึ้นได้จากกระแสไฟฟ้า หรือในทางกลศาสตร์ควอนตัมนั้นสปินของอนุภาคต่างๆ ก็ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเช่นกันซึ่งสนามอย่างหลังนี่เองเป็นที่มาของสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรต่างๆ ในระบบหน่วย SI และ นั้นมีหน่วยเป็นเทสลา (T) และ แอมแปร์/เมตร (A/m) หรือในระบบหน่วย cgs หน่วยของทั้งสองคือ เกาส์ (G) และ oersted (Oe)

นิยาม

สนามแม่เหล็กนั้นถูกนิยามขึ้นตามแรงที่มันกระทำ เช่นเดียวกับในกรณีของสนามไฟฟ้า ในระบบหน่วย SI แรงดังกล่าวนี้คือ

$$F = qv \times B \tag{2.12}$$

เมื่อ F คือ แรงที่เกิดขึ้น [Nm]

$\times$ คือ สัญลักษณ์แสดง cross product ของเวกเตอร์

q คือ ประจุไฟฟ้า [C]

v คือ ความเร็วของประจุไฟฟ้า q [m/s]

B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก [T]

กฎด้านบนนี้มีชื่อเรียกว่า กฎแรงของลอเรนซ์

ถ้าประจุที่เคลื่อนที่นั้นเป็นส่วนหนึ่งของกระแสในเส้นลวด กฎด้านบนนี้สามารถเขียนใหม่ได้ในรูป

$$\frac{dF}{dl} = i \times B \tag{2.13}$$

หรือพูดอีกอย่างคือ สมการนี้กล่าวว่าแรงที่กระทำต่อหน่วยกระแสไฟฟ้านั้นเท่ากับ cross product ระหว่างเวกเตอร์กระแสและสนามแม่เหล็กในสมการนี้ เวกเตอร์กระแส i มีขนาดเท่ากับค่าสเกลาร์ (scalar) ของกระแส i และมีทิศทางชี้ไปในทางที่กระแสไหลการเกิดขึ้นของสนามแม่เหล็กนั้นสามารถบรรยายได้เมื่อใช้เวกเตอร์แคลคูลัส ดังนี้ (สำหรับกรณีของสุญญากาศ)

$$\nabla \times B = \mu_0 J + \mu_0 \in_0 \frac{\partial E}{\partial t} \tag{2.14}$$

$$\nabla \cdot B = 0 \tag{2.15}$$

เมื่อ $\nabla\times$ คือ โอเปอเรเตอร์ เคิร์ล (curl)

$\nabla\cdot$ คือ โอเปอเรเตอร์ ไดเวอร์เจนซ์ (divergence)

μ_0 คือ สภาพให้ซึมได้ของสุญญากาศ

J คือ ความหนาแน่นของกระแส

∂ คือ อนุพันธ์ย่อย

ϵ_0 คือ สภาพยอมของสุญญากาศ

E คือ สนามไฟฟ้า

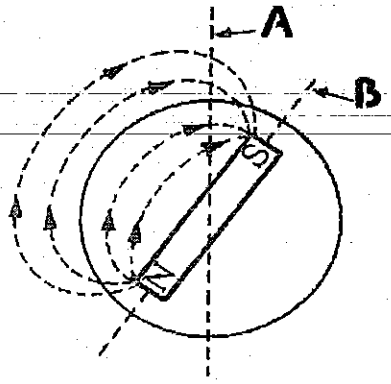
t คือ เวลา

สมการแรกนั้นรู้จักกันในชื่อกฎของแอมแปร์ (หลังการแก้ไขโดยแมกซ์เวลล์) พจน์ที่สองของสมการนี้ $\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$ จะมีค่าเป็นศูนย์ในกรณีที่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนสมการที่สองนั้นแสดงให้เห็นว่า magnetic monopole นั้นไม่มีอยู่ ทั้งสองสมการนี้เป็นส่วนหนึ่งของชุดสมการของแมกซ์เวลล์

2.10.5 สนามแม่เหล็กโลก : The Earth's magnetism โลกเรานี้มีอำนาจแม่เหล็ก เพราะแท่งแม่เหล็กที่แขวนไว้ในระดับหรือเข็มทิศจะวางตัวในแนวเหนือใต้เสมอจากการสำรวจสนามแม่เหล็ก หรือเส้นแรงแม่เหล็กพบว่าโลกทำตัวเหมือนกับมีแท่งแม่เหล็กขนาดใหญ่อยู่ใจกลางโลก เรียกว่า สนามแม่เหล็กโลก แม่เหล็กโลกวางตัวโดยเอาขั้ว S อยู่ทางซีกโลกเหนือ และขั้ว N อยู่ทางซีกโลกใต้ แนวแกนของแม่เหล็กทำมุมเล็กน้อย (ประมาณ 17 องศา) กับแนวเหนือใต้ภูมิศาสตร์โลก ดังรูปที่ 2.10

A = แนวเหนือใต้ภูมิศาสตร์

B = แนวแกนแม่เหล็กโลก



รูปที่ 2.10 แสดงสนามแม่เหล็กโลก

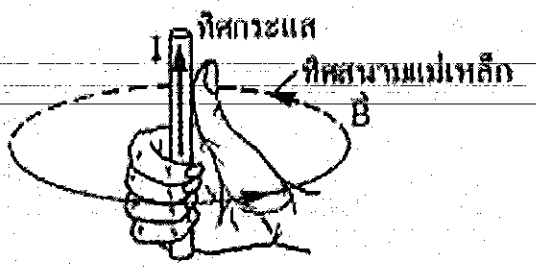
เนื่องจากขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันจะผลักกัน ต่างชนิดกันจะดูดกัน ดังนั้นเข็มทิศซึ่งเป็นแม่เหล็กเมื่อวางไว้ในสนามแม่เหล็กโลก เข็มทิศจะต้องเอาขั้ว N ชี้ไปทางทิศเหนือ (เพราะขั้ว S ของแม่เหล็กโลกอยู่ทางเหนือ) และเอาขั้ว S ชี้ไปทางใต้ (เพราะขั้ว N ของแม่เหล็กโลกอยู่ทางใต้)เสมอ

2.10.6 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า : Electromagnetism แม่เหล็กไฟฟ้า คือ สภาวะแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวด เรานำสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ไปใช้ในการสร้างแม่เหล็กที่มีกำลังสูง และใช้สำหรับทำให้เกิดการเคลื่อนที่โดยกระแสไฟฟ้า การหาทิศของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้นเราสามารถหาได้จากกฎสกรูของแมกเวลล์ หรือจากกฎมือขวา (Right-hand grip rule)

กฎสกรูของแมกเวลล์ (Maxwell's screw rule) ทิศของสนามแม่เหล็กรอบๆ เส้นลวดจะอยู่ในทิศที่สกรูหมุนเมื่อขันสกรูเข้าไปตามทิศของกระแสที่ไหล

รูปที่2.11 แสดงกฎสกรูของแมกเวลล์

กฎกำมือขวา (Right-hand grip rule) ทิศของสนามแม่เหล็กรอบเส้นลวดอยู่ในแนวนิ้วมือขวาที่กำรอบลวดโดยหัวแม่มือชี้ไปทางทิศของกระแสแม่เหล็กไฟฟ้านั้น จะประกอบไปด้วยสิ่งที่สำคัญ 2 สิ่งก็คือ ขดลวด (Coil) กับแกน (Core) โดยที่ขดลวดนี้จะหมายถึง ขดลวดหลายๆขดที่พันอยู่รอบๆ แกน ขดลวดที่ใช้พันนั้น ยกตัวอย่างได้เช่น ขดลวดแบน (Flat coil or plane coil) เป็นขดลวดที่มีความยาวน้อยเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลาง โซลินอยด์ (Solenoid) เป็นขดลวดที่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นต้น โดยสนามแม่เหล็กที่เกิดจากโซลินอยด์จะคล้ายกับแท่งแม่เหล็กส่วนแกนจะเป็นสารแม่เหล็กชั่วคราวทำให้มีหรือไม่มีอำนาจแม่เหล็กได้ โดยการปิด หรือเปิดสวิตซ์แม่เหล็กไฟฟ้าโดยทั่วไปจะมีขั้วที่ต่างกันอยู่ใกล้ๆกันเพื่อให้ได้สนามแม่เหล็กความเข้มสูง

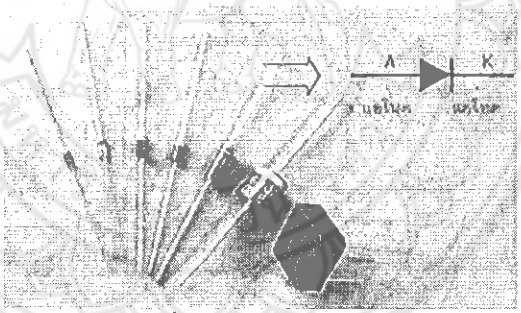


รูปที่ 2.12 แสดงกฎกำมือขวา

2.10.7 ประโยชน์ของแม่เหล็กไฟฟ้า : Applications of electromagnets เราใช้ประโยชน์จากการดูดโลหะของแม่เหล็กเมื่อวงจรปิด เพื่อนำมาเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่ใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าก็คือ รีเลย์ (Relay) หูฟัง (Earpiece) แม่เหล็กยกของ (Lifting magnet) รถแม่เหล็กไฟฟ้า (Maglev)

2.11 ไดโอด

ไดโอดถือเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่จำกัดทิศทางการไหลของประจุไฟฟ้า มันจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียว และกั้นการไหลในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นจึงอาจถือว่าไดโอดเป็นวาล์วตรวจสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่ง ซึ่งนับเป็นประโยชน์อย่างมากในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้เป็นอุปกรณ์กรองแรงดันไฟฟ้าในวงจรภาคจ่ายไฟ เป็นต้นไดโอดตัวแรกเป็นอุปกรณ์หลอดสุญญากาศ (vacuum tube หรือ valves) แต่ทุกวันนี้ไดโอดที่ใช้ทั่วไปส่วนใหญ่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน หรือ เจอร์เมเนียมไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ p-n สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด p และ แคโทด (Cathode; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด n



รูปที่ 2.13 แสดงไดโอด

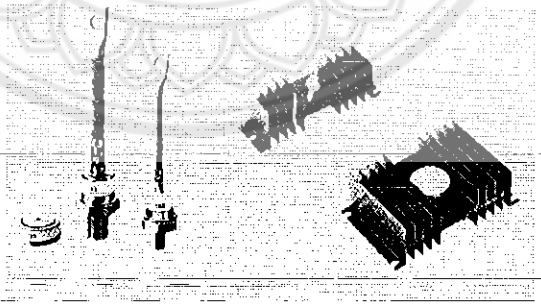
2.11.1 ไดโอดในทางอุดมคติ ไดโอดในอุดมคติ (Ideal Diode) มีลักษณะเหมือนสวิตช์ที่สามารถนำกระแสไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว ถ้าต่อขั้วแบตเตอร์รี่ให้เป็นแบบไบอัสตรงไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนกับสวิตช์ที่ปิด (Close Switch) หรือไดโอดลัดวงจร (Short Circuit) Id ไหลผ่านไดโอดได้ แต่ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่แบบไบอัสกลับ ไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนสวิตช์เปิด หรือเปิดวงจร (Open Circuit) ทำให้ Id เท่ากับศูนย์

2.11.2 ไดโอดในทางปฏิบัติ ไดโอดในทางปฏิบัติ (Practical Diode) มีการแพร่กระจายของพาหะส่วนน้อยที่บริเวณรอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง ดังนั้น ถ้าต่อไบอัสตรงให้กับไดโอดในทางปฏิบัติก็จะเกิด แรงดันเสมือน (Ge >= 0.3V ; Si >= 0.7V) ซึ่งต้านแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเพื่อการไบอัสตรง

ขนาดของแรงดันเสมือนจึงเป็นตัวบอกจุดทำงาน ดังนั้น จึงเรียก "แรงดันเสมือน" อีกอย่างหนึ่งว่า "แรงดันในการเปิด" (Turn-on Voltage ; Vt) กรณีไบอัสกลับเราทราบว่า Depletion Region จะขยายกว้างขึ้น แต่ก็ยังมีพาหะข้างน้อยแพร่กระจายที่รอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก็ยังมีกระแสรั่วไหลอยู่จำนวนหนึ่ง เรียกว่า กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ กระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ไดโอดนำกระแสเพิ่มขึ้นมาก ระดับกระแสที่จุดนี้ เรียกว่า "กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ" (Reverse Saturation Current ; Is) แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้ เรียกว่า แรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) และถ้าแรงดันไบกลับสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ไดโอดทนได้ เราเรียกว่า "แรงดันพังทลายซีเนอร์" (Zener Breakdown Voltage ; Vz) ถ้าแรงดันไบอัสกลับสูงกว่า Vz จะเกิดความร้อนอย่างมากที่รอยต่อของไดโอด ส่งผลให้ไดโอดเสียหายหรือพังได้ แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้เราเรียกว่า แรงดันพังทลายอวาแลนซ์ (Avalance Breakdown Voltage) ดังนั้น การนำไดโอดไปใช้งานจึงใช้กับการไบอัสตรงเท่านั้น

2.11.3 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) ซีเนอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่นำกระแสได้เมื่อได้รับไบอัสกลับ และระดับแรงดันไบอัสกลับที่นำซีเนอร์ไดโอดไปใช้งานได้เรียกว่า ระดับแรงดันพังทลายซีเนอร์ (Zener Breakdown Voltage ; Vz) ไดโอดประเภทนี้เหมาะที่จะนำไปใช้ควบคุมแรงดันที่โหลดหรือวงจรที่ต้องการแรงดันคงที่ เช่น ประกอบอยู่ในแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง หรือโวลเทจเรกูเลเตอร์

2.11.4 ไดโอดกำลัง (Power Diode) ไดโอดกำลังเป็นไดโอดที่ออกแบบให้บริเวณรอยต่อมีช่วงกว้างมากกว่าไดโอดทั่วไป เพื่อนำไปใช้กับงานที่มีกำลังไฟฟ้าสูง กระแสสูงและทนต่ออุณหภูมิสูงได้ เช่น ประกอบเป็นวงจรเรียงกระแส ในอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เป็นต้น

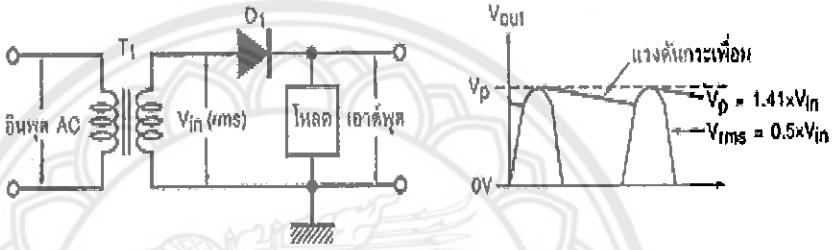


รูปที่ 2.14 แสดงไดโอดกำลัง (Power Diode)

2.11.5 การประยุกต์ใช้งานไดโอด

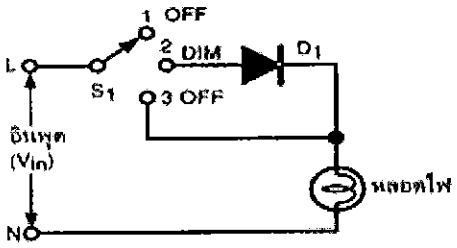
2.11.5.1 วงจรเร็กติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่น การนำไดโอดมาประยุกต์ใช้งานที่ง่ายที่สุดก็คือ การนำมาทำเป็นวงจรเร็กติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่น จากรูปที่ 2.15 แสดงวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น และสัญญาณแรงดันเอาต์พุทจากวงจรซึ่งหม้อแปลงใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้แก่ ไดโอด

(แรงดันอิน พุตของไดโอด Vin เป็นโวลท์อาร์เอ็มเอส) จากวงจรถ้าโหลดเป็นประเภทคาปาซิตีฟโหลดวงจรจะแสดงลักษณะเป็นวงจรดีเทก ค่าแรงดันสูงสุด ซึ่งแรงดันเอาต์พุต (แรงดันสูงสุด) จะเท่ากับ 1.41 Vin แต่ถ้าโหลดเป็นประเภทรีซิสตีฟโหลด วงจรจะเป็น ลักษณะวงจรเร็กติไฟเออร์อย่างง่าย และให้แรงดันเอาต์พุต (rms) เท่ากับ 0.5 Vin ในกรณีที่โหลดเป็นทั้งคาปาซิตีฟโหลดและรีซิสตีฟโหลด ดังที่ใช้ในวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง แรงดันเอาต์พุตจะมีลักษณะเป็นแรงดันกระเพื่อมหรือริปเปิล (ripple) และมีค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสอยู่ระหว่างค่าทั้งสอง สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการใช้วงจรนี้คือ ถ้าเป็นคาปาซิตีฟโหลด ไดโอดจะต้องทนแรงดันย้อนกลับสูงสุดได้อย่างน้อย 2.82 Vin และถ้าเป็นรีซิสตีฟโหลดต้องทนได้อย่างน้อย 1.41 Vin เพื่อป้อง กันไม่ให้ไดโอดเกิดความเสียหาย



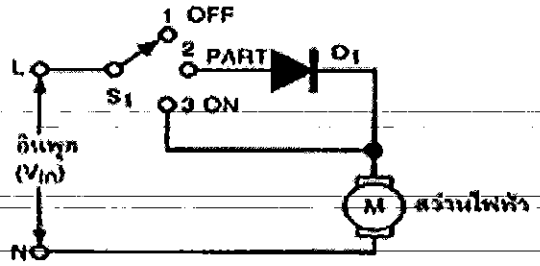
รูปที่ 2.15 วงจรเร็กติไฟเออร์แบบครึ่งคลื่น

กำลังงานที่โหลดได้รับจากวงจรนี้ ถ้าโหลดเป็นรีซิสตีฟโหลดจะได้รับกำลังงานเพียง 1 ใน 4 ของกำลังงานสูงสุด เท่านั้น เพราะกำลังงานแปรตามค่ากำลังสองของแรงดันอาร์เอ็มเอสที่จ่าย จากรูปที่ 2.16 ถึง 2.17 แสดงการนำวงจรเร็กติไฟเออร์แบบ ครึ่งคลื่นมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมกำลังที่จ่ายให้หลอดไฟ, สว่านไฟฟ้า เพื่อให้มีการทำงานแบบ 2 ระดับ โดยแต่ละวงจร แรงดัน (อาร์เอ็มเอส) ที่จ่ายให้กับโหลดจะเท่ากับ Vin เมื่อสวิตซ์ S1 อยู่ตำแหน่ง 3 และเท่ากับ 0.5 Vin เมื่อสวิตซ์ S1 อยู่ที่ตำแหน่ง 2 วงจรในรูปที่ 2.16 โหลดเป็นหลอดไฟ ซึ่งมีค่าความต้านทานค่าหนึ่งอยู่ภายใน โดยจะแปรตามอุณหภูมิของไส้หลอด เมื่อ หลอดไฟได้รับแรงดันเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันสูงสุด ค่าความต้านทานจะลดลงครึ่งหนึ่งจากค่าสูงสุดเช่นกัน ดังนั้นหลอดไฟ จึงทำงานด้วยกำลังเพียงครึ่งหนึ่งของกำลังงานสูงสุด



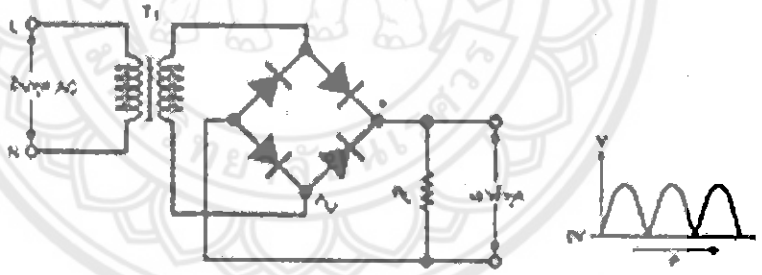
รูปที่ 2.16 แสดงวงจรหรี่ไฟ

วงจรในรูปที่ 2.17 โหลดเป็นยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ของสว่านไฟฟ้า ซึ่งสามารถที่จะควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ (เมื่อโหลดมีขนาดเบา) ดังนั้นมอเตอร์จะทำงานประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วสูงสุดเมื่อสวิตซ์ S1 อยู่ในตำแหน่ง PART



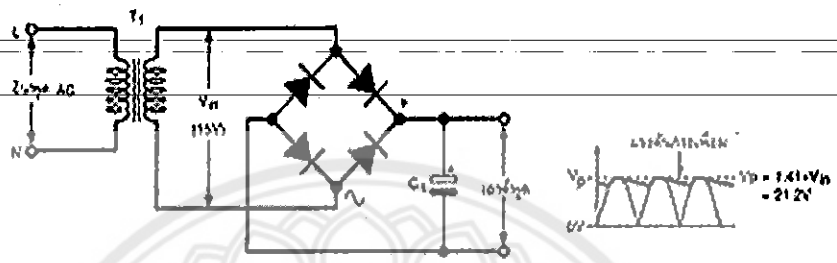
รูปที่ 2.17 แสดงวงจรลดความเร็วของมอเตอร์

2.11.5.2 วงจรเร็กติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น จากรูปที่ 2.18 แสดงการนำไดโอด 4 ตัวมาต่อกันในลักษณะบริดจ์ เพื่อใช้เป็นวงจรเร็กติไฟเออร์แบบเต็มคลื่นซึ่งสัญญาณ เอาต์พุตของวงจรนี้จะมีความถี่เป็น 2 เท่า ของสัญญาณอินพุต ดังนั้นวงจรนี้จึงสามารถใช้เป็นวงจรเพิ่มความถี่เป็นสองเท่าอย่างง่ายได้อีกด้วย



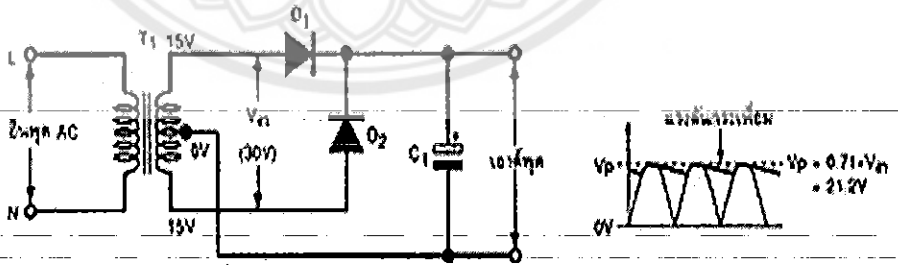
รูปที่ 2.18 แสดงวงจรเร็กติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น

2.11.5.3 วงจรจ่ายไฟตรงแบบเดียวใช้หม้อแปลงธรรมดาไม่มีแท็ปกลาง แต่การใช้งานที่เรารู้จักกันมากที่สุดของวงจรเร็กติไฟเออร์ก็คือ การนำมาใช้ในวงจรแหล่งจ่ายกระแสตรง ซึ่งประกอบด้วย หม้อแปลงที่ใช้ ในการแปลงแรงดันจากไฟกระแสสลับ 220 โวลต์ตามบ้าน เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ในระดับที่ต้องการใช้งาน และวงจรเร็กติไฟเออร์ที่ต่อร่วมกับวงจรกรองกระแส จะทำหน้าที่แปลงแรงดัน ไฟกระแสสลับ ที่ได้จากหม้อแปลงให้เป็นแรงดันไฟกระแสตรงที่ราบเรียบตามต้องการ

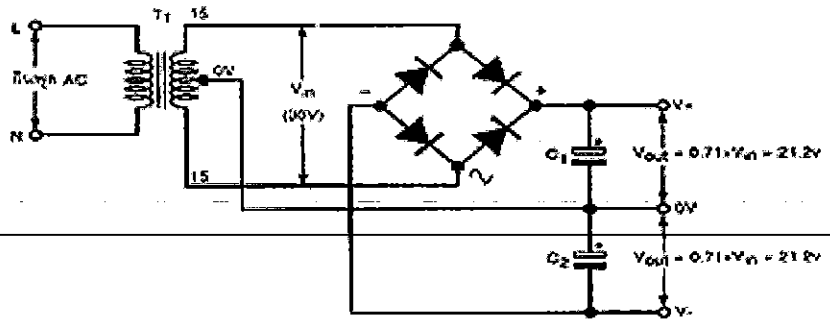


รูปที่ 2.19 แสดงวงจรจ่ายไฟตรงแบบเดียวใช้หม้อแปลงธรรมดาไม่มีแท็ปกลาง

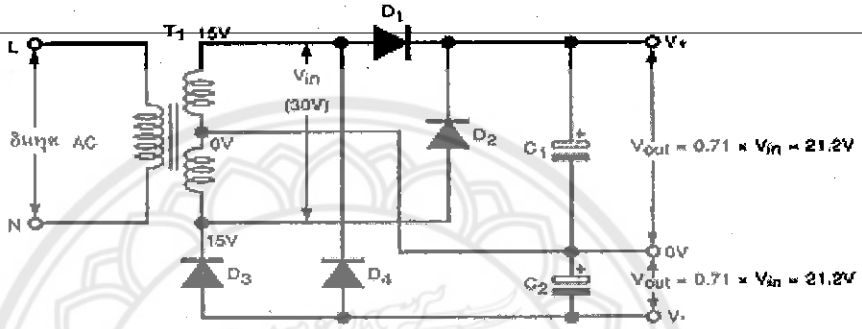
รูปที่ 2.19 ถึง 2.22 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงพื้นฐานที่ใช้กันมากทั้ง 4 แบบ วงจรในรูปที่ 2.19 จะให้แรงดันไฟ กระแสตรงจากหม้อแปลงธรรมดา (singer-ended tranformer) ซึ่งต่อร่วมอยู่กับวงจรเร็กติไฟเออร์แบบบริดจ์ และให้ผล เช่นเดียวกับวงจรในรูปที่ 2.20 ซึ่งใช้หม้อแปลง ชนิดมีแท็ปกลาง (center-tapped tranformer) ส่วนวงจรรูปที่ 2.21 และ 2.22 ก็มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับวงจรที่ 2.19 และ 2.20 เพียงถูกออกแบบให้เป็นแหล่งจ่ายไฟ แบบคู่ (ไฟบวก, กราวด์, ไฟ, ลบ)



รูปที่ 2.20 แสดงวงจรจ่ายไฟตรงแบบเดียวใช้หม้อแปลงมีแท็ปกลาง



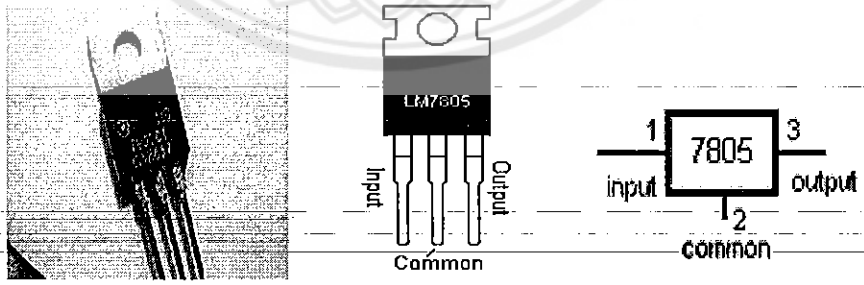
รูปที่ 2.21 แสดงวงจรจ่ายไฟตรงแบบคู่ใช้ไดโอดบริดจ์



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรจ่ายไฟตรงแบบคู่ใช้ไดโอดต่อร่วมกัน 4 ตัว

2.12 วงจรไอซีเรกกูเรเตอร์

ไอซีเรกกูเรเตอร์ 78xx เป็นไอซีที่ใช้ในวงจรควบคุมแรงดันให้คงที่โดยมีค่าแรงดัน 5 V, 12 V และ 15 V จ่ายกระแสได้ 1 A แต่ถ้าเป็นเบอร์ 79xx จะให้แรงดันไฟลบออกมาเช่น -15 V , -9 V เป็นต้น



รูปที่ 2.23 ลักษณะรูปร่างภายนอก และขาใช้งาน

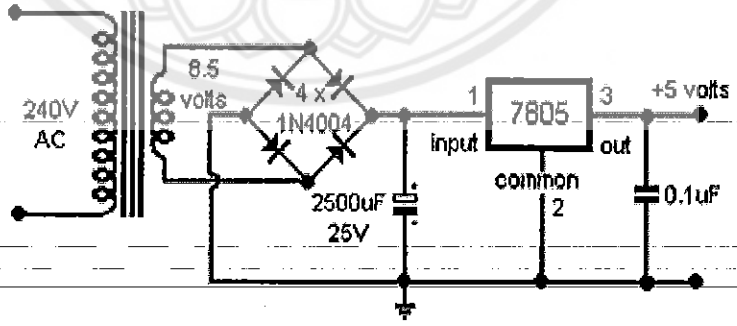
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ว02556

ตารางที่ 2.1 แสดงเบอร์ไอซีและค่าแรงดันใช้งาน

Name	Voltage
LM7805	+ 5 volts
LM7809	+ 9 volts
LM7812	+ 12 volts
LM7815	+15 volts
LM7905	- 5 volts
LM7909	- 9volts
LM7912	- 12volts
LM7915	- 15 volts

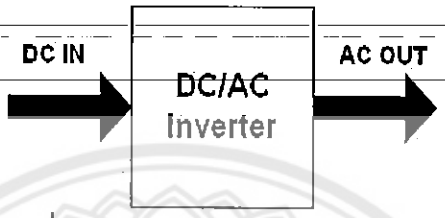
การต่อวงจรใช้งานเราสามารถต่อได้ดังรูปที่ 2.24 ในวงจรจากรูปจะเห็นว่าแรงดันเอาท์พุตออกมา 5 โวลท์เมื่อใช้ไอซีเบอร์ 7805 ในวงจรประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสและกรองกระแสด้วยตัวเก็บประจุ 2500 uF/25 V ส่วนตัวเก็บประจุ 0.1 uF นั้นทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนความถี่สูงที่เข้ามาทำความเสียหายให้กับไอซี ถ้าใช้กระแสมากควรติดแผ่นระบายความร้อนให้กับไอซีด้วย (ไม่เกิน 1 แอมป์)



รูปที่ 2.24 วงจรใช้งาน

2.13 อินเวอร์เตอร์

Inverter เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดย ไฟฟ้ากระแสตรงที่จะ นำมาทำการเปลี่ยนนั้นมาจาก แบตเตอร์รี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือแผงโซล่าเซลล์ก็ได้ ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้มานั้น จะเหมือนกับไฟฟ้าที่ได้จากปลั๊กไฟ ตามผนังบ้านทุกอย่าง โดย inverter ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์, พัดลม หรืออุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.25 การทำงานของอินเวอร์เตอร์

2.13.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนไฟฟ้า กระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยจะนำไฟฟ้ากระแสตรงต่อ เข้ากับสวิตช์ 4 ตัว และทำการเปิด-ปิด สวิตช์ทั้ง 4 เป็นจังหวะจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 2.26 จากรูป เมื่อปิดสวิตช์ S1 และ S4 ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากจุด A ไปยังจุด B และเมื่อปิดสวิตช์ S2 และ S3 ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากจุด B ไปยังจุด A ดังนั้นถ้าเปิด-ปิดสวิตช์ S1 และ S4 สลับกับสวิตช์ S2 และ S3 จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นนั่นเอง โดยถ้ามีการควบคุมเวลา ในการเปิด-ปิดสวิตช์ ที่ต่างกัน ก็จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่แตกต่างกันไป ในความเป็นจริงแล้ว อินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์ เนื่องจากทรานซิสเตอร์สามารถ เปิด-ปิด

รูปที่ 2.26 แสดงหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

2.14 แบตเตอร์รี่

2.14.1 ส่วนประกอบของแบตเตอร์รี่

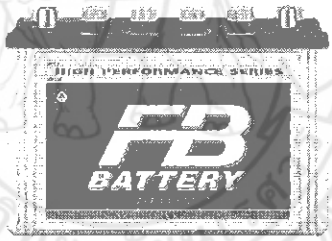
2.14.1.1 แผ่นธาตุลบ (Negative Plates) เป็นแผ่นตะกั่วที่มีรูพรุน เป็นส่วนสำคัญช่วยเก็บไฟเหมือนแผ่นธาตุบวก

2.14.1.2 แผ่นกั้น (Separators & Glass mat) ทำด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น กระดาษสังเคราะห์ ยาง พลาสติก ด้านหนึ่งเป็นลูกคลื่น เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำกรด และ ทำให้น้ำยากระจายทั่วแผ่น ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวก และลบแตะกัน เพื่อป้องกันการลัดวงจร

2.14.1.3 แผ่นธาตุบวก (Positive Plate) สารเลตเปอร์ออกไซด์สีน้ำตาลแก่ เป็นส่วนสำคัญช่วยเก็บประจุไฟแผ่นธาตุบวกที่ดี ควรมีรูพรุนมาก เพื่อให้น้ำกรดเข้าทำปฏิกิริยาได้มาก

2.14.1.4 จุกปิด (Vent plugs) จุกปิดทำหน้าที่ระบายความร้อน และแก๊สที่เกิดขึ้นในขณะใช้งานทำด้วยยางแข็ง หรือพลาสติกเช่นเดียวกับเปลือกหม้อของแบตเตอร์รี่

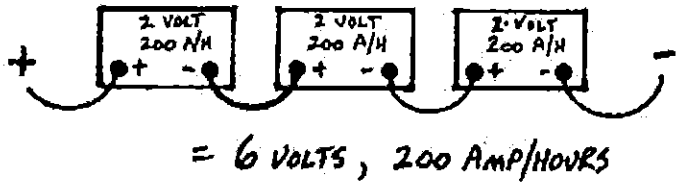
2.14.1.5 เปลือกหม้อและฝาหม้อ (Container & Lid) ทำด้วยยางหรือพลาสติก มีความต้านทานต่อการดูดซึมของน้ำกรดสูง เป็นฉนวนและมีความทนทานต่อความร้อนเย็น ส่วนล่างของหม้อมียางเป็นซี่ ป้องกันการลัดวงจรเมื่อมีเศษตะกั่วตกลงไปด้านล่างของหม้อ



รูปที่ 2.27 แบตเตอร์รี่

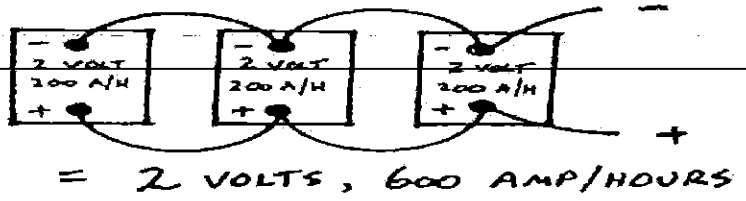
2.14.2 หลักการต่อแบตเตอร์รี่ สามารถต่อได้ 3 แบบ

2.14.2.1 การต่อแบบอนุกรม เป็นการต่อเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นแต่จะได้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายโหลดเท่าเดิม ดังรูปที่ 2.28



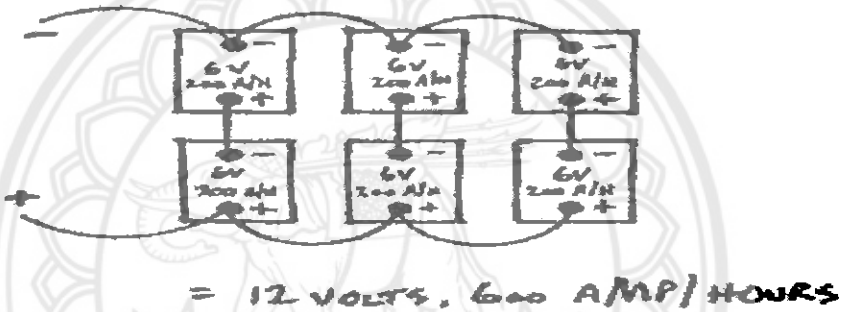
รูปที่ 2.28 การต่อแบตเตอร์รี่แบบอนุกรม

2.14.2.2 การต่อแบบขนาน เป็นการต่อเพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายโหลดเพิ่มมากขึ้นแต่จะได้แรงดันไฟฟ้าที่เท่าเดิม ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 การต่อแบตเตอร์รี่แบบขนาน

2.14.2.3 การต่อแบบอนุกรมและขนานรวมกัน เป็นการต่อเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นและกระแสไฟฟ้าที่จ่ายโหลดมากขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 การต่อแบตเตอร์รี่แบบอนุกรมและขนานรวมกัน

บทที่ 3
ขั้นตอนการประดิษฐ์กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

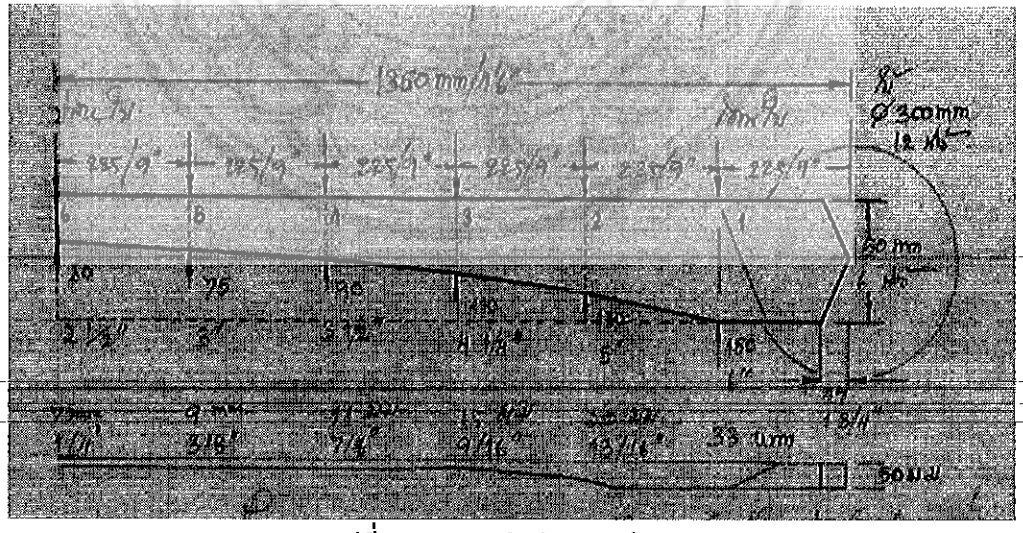
เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการประดิษฐ์กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าตรงความเร็วรอบต่ำ ขนาดกำลังการผลิตไม่เกิน 400 วัตต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 8 ฟุต หรือ 2.4 เมตร เริ่มผลิตไฟฟ้าได้ ที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบ 167 รอบต่อนาที ส่วนประกอบของกังหันแบ่งเป็น 4 ส่วนคือ ใบพัด หางเสือ โครงเหล็ก และส่วนของระบบไฟ

3.1 ขั้นตอนการทำใบพัด

ในส่วนของใบพัดมีขนาดความยาว 4 ฟุต จำนวน 3 ใบ โดยใช้ไม้เนื้ออ่อนในการทำเพราะมีน้ำหนักเบา และเพื่อความสะดวกในการทำ เนื่องจากลักษณะของใบจะต้องทำขอบล่างของใบให้บาง ที่ใช้ไม้เนื้ออ่อนก็เพื่อป้องกันการแตกหัก และสะดวกในการไสหรือขัดให้ได้ตามแบบ ทาสีเพื่อความสวยงามและคงทน

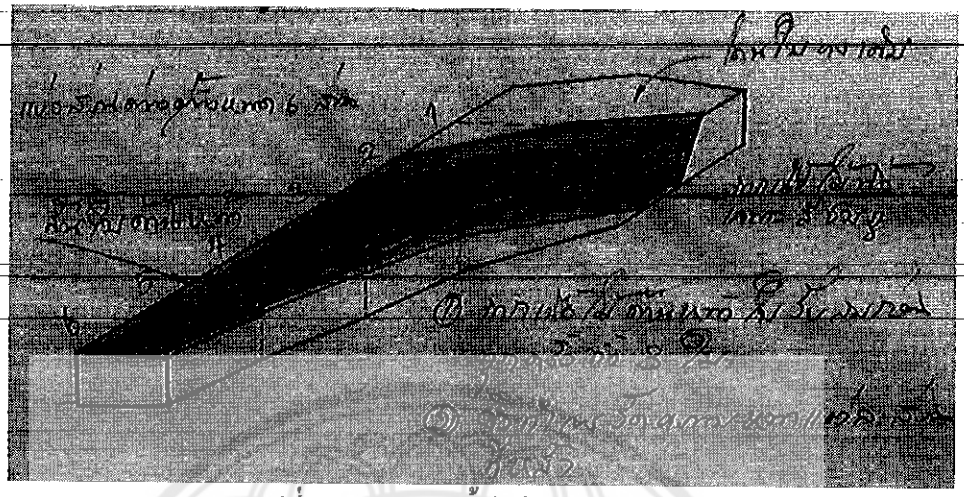
3.1.1 ขั้นตอนการเหลาใบพัด

3.1.1.1 การแบ่งส่วนของใบพัด แบ่งไม้เป็น 6 ส่วน ปลายใบกว้างประมาณ 1 : 3 ของโคนใบ ตัดไม้ส่วนที่ 2 ถึงส่วนที่ 6 ออกดังรูปที่ 3.1



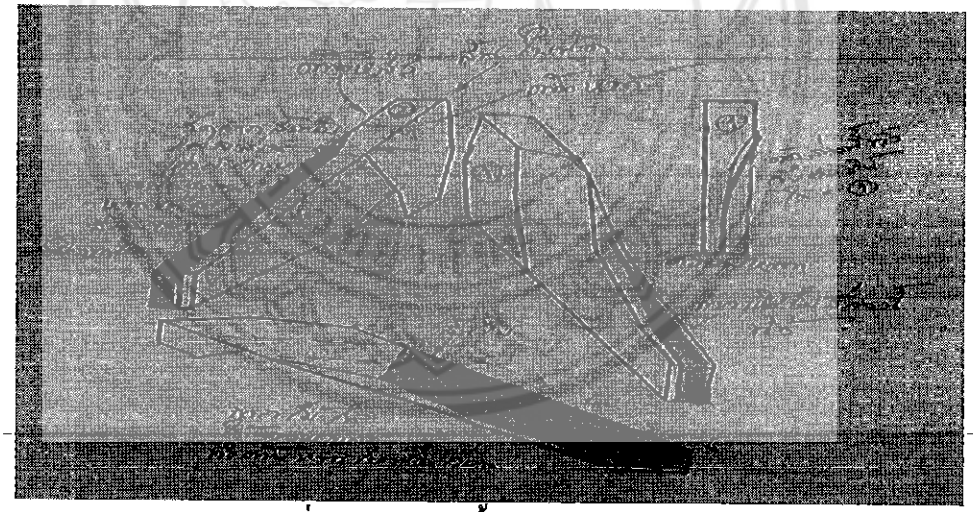
รูปที่ 3.1 การแบ่งส่วนของใบพัด

3.1.1.2 ส่วนของหน้าใบ ถากเนื้อไม้ส่วนที่เป็นสีชมพูออกทั้ง 3 ใบ ก็จะได้ส่วนของหน้าใบเพื่อรับลม แล้ววัดความหนาของแต่ละส่วนให้ได้ขนาดตามรูปที่ 3.2



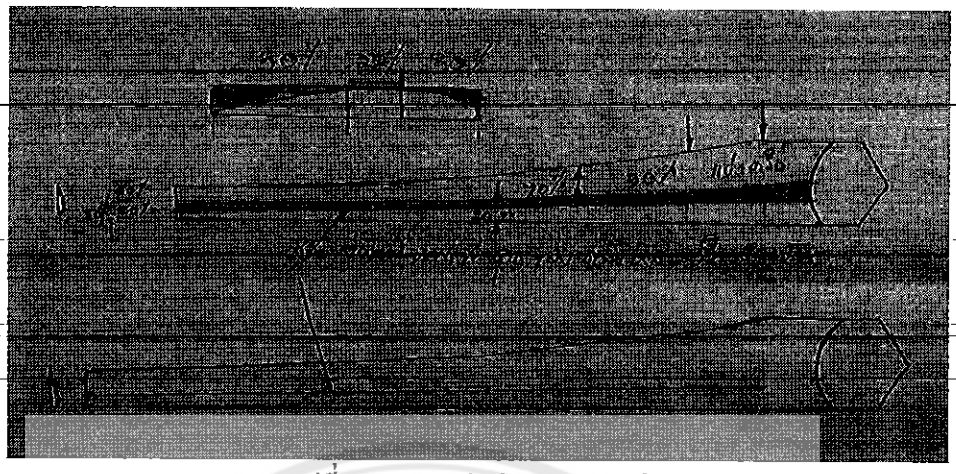
รูปที่ 3.2 การถากเนื้อไม้ส่วนของหน้าใบ

3.1.1.3 ส่วนของหลังใบ ถากเนื้อไม้ส่วนที่เป็นสีชมพูตามแบบในรูปที่ 3.3 ออก



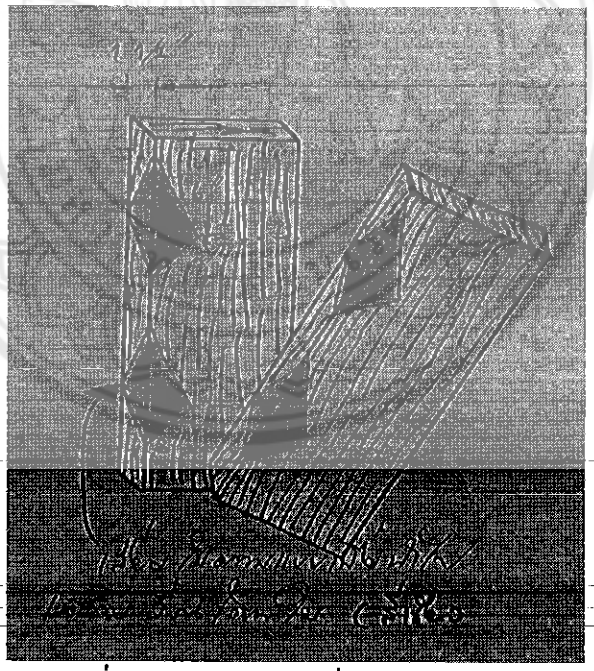
รูปที่ 3.3 การถากเนื้อไม้ส่วนของหลังใบ

โดยให้ส่วนที่หนาที่สุดของด้านหลังใบมีพื้นที่เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ตามรูปที่ 3.4



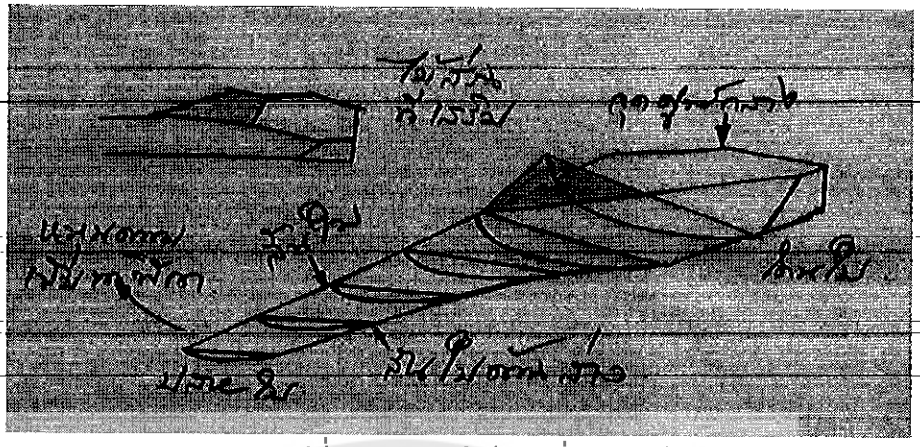
รูปที่ 3.4 การแบ่งส่วนของหลังใบ

3.1.1.4 **ไม้ส่วนที่เสริมหน้าใบ** ตัดไม้ขนาดความกว้าง 1 1/2 นิ้ว ยาว 9 นิ้ว**ตามรูปสีเขียว จะได้ไม้เป็น**รูปสามเหลี่ยมรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การตัดไม้ส่วนที่นำมาเสริมใบพัด

นำไม้ส่วนที่เสริมใบพัดมายึดติดกับด้านหน้าใบพัดโดยใช้สกรูยึดให้แน่นตามรูปที่ 3.6

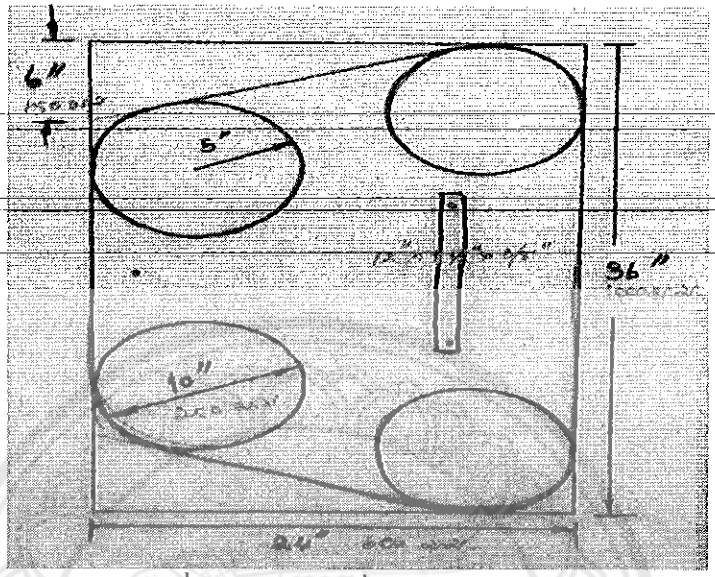


รูปที่ 3.6 การติดไม้ส่วนที่เสริมหน้าใบ

นำใบพัดทั้ง 3 ใบมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยให้แต่ละใบทำมุม 120 องศา แล้วนำไม้อัดที่ตัดเป็นวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว มาประกบทั้งสองด้านยึดให้แน่นด้วยสกรู แล้วนำไปเจาะรู 4 รู เพื่อยึดติดกับแกนของ HUB ทาด้วยสีน้ำมันเพื่อป้องกันแสงแดด และป้องกันน้ำฝนไม่ให้ซึมเข้าไปในเนื้อไม้ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของใบกังหันให้ยาวนานขึ้น จะได้ใบกังหันที่พร้อมใช้งาน ดังรูปที่ 3.7

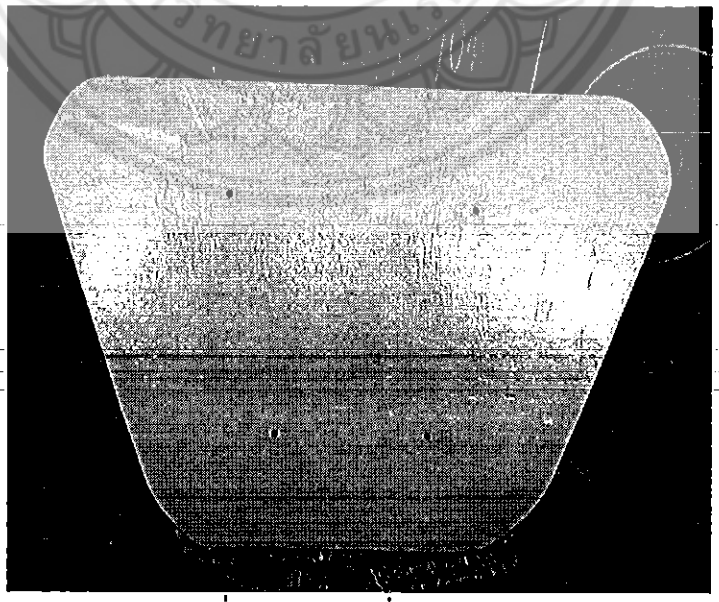
รูปที่ 3.7 ใบกังหันที่ประกอบเสร็จแล้ว

3.2 ขั้นตอนการทำหางเสือ หางเสือทำจากไม้อัดหนา 1.5 เซนติเมตร กว้าง 24 นิ้ว ยาว 36 นิ้ว โดยสามารถออกแบบให้เป็นรูปอะไรก็ได้แล้วแต่ความชอบ แต่ต้องอยู่ในขอบเขตพื้นที่ที่กำหนดดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ใบกังหันที่ประกอบเสร็จแล้ว

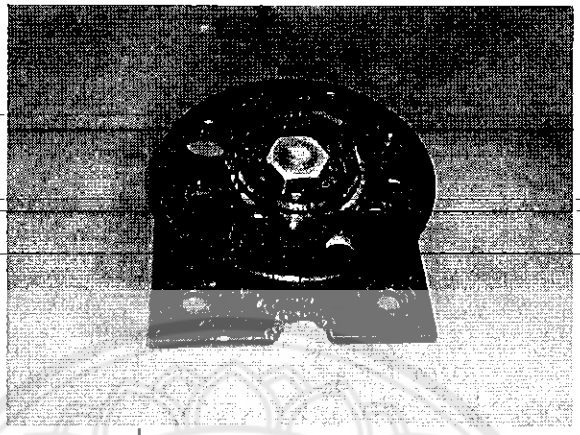
จากนั้นตัดตามแบบที่ออกแบบไว้ทาด้วยสีน้ำมันเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งาน ก็จะได้หางเสือของกังหันดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 หางเสือที่พร้อมใช้งาน

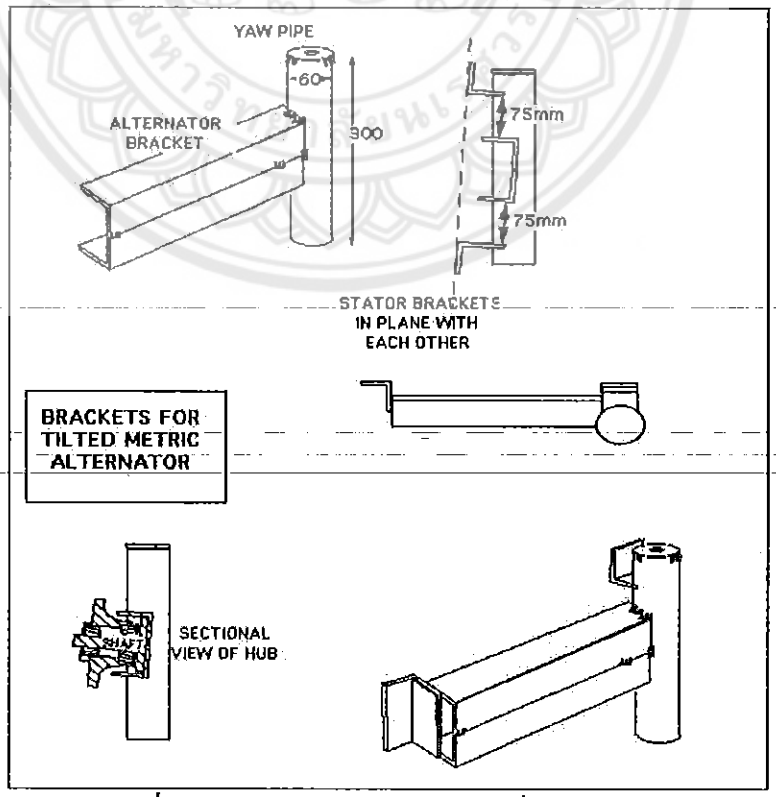
3.3 ขั้นตอนการทำโครงเหล็ก

3.3.1 ดุมล้อหน้ารถเก็ง (HUB) ใช้ดุมล้อหน้ารถเก็งตัดแผ่นเหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้วนำไปเจาะรู 4 รูเพื่อยึดกับโครงเหล็ก เชื่อมแผ่นเหล็กติดกับแกนกลางของ HUB จะได้ดังรูปที่ 3.10



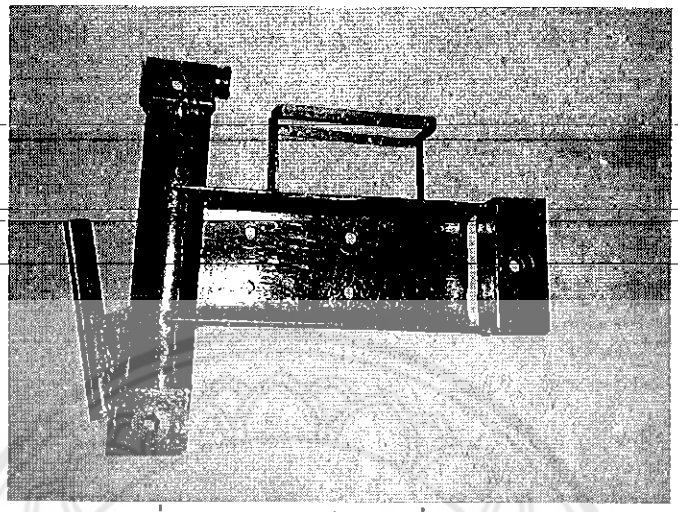
รูปที่ 3.10 ดุมล้อหน้ารถเก็ง (HUB)

3.3.2 โครงเหล็กส่วนที่ติดกับ HUB ทำจากเหล็กท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และเหล็กรางหน้า 5 ยาว 30 เซนติเมตร หนึ่งท่อน เชื่อมเหล็กรางติดกับเหล็กท่อ โดยให้เหล็กรางทำมุม 4 องศากับเหล็กท่อตามรูปที่ 3.11



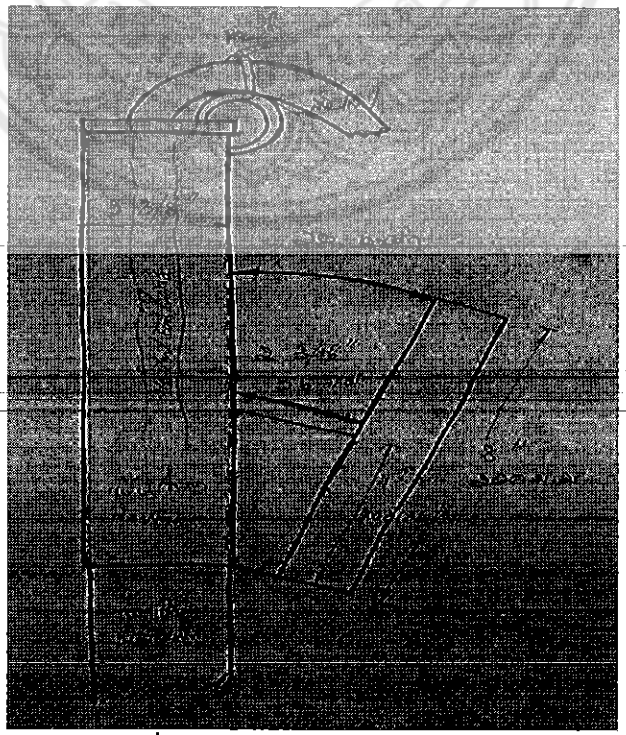
รูปที่ 3.11 แบบของโครงเหล็กส่วนที่ติดกับ HUB

นำโครงเหล็กในรูปที่ 3.11 มาเจาะรูเพื่อร้อยสายไฟออก เชื่อมเหล็กเส้นเป็นที่ใส่กล่องพลาสติกไว้ด้านบนของเหล็กกลาง นำเหล็กฉาก 3 อันมาเชื่อมที่ด้านบน-ล่างของเหล็กท่อและปลายอีกด้านของเหล็กราง และเจาะรูที่เหล็กฉากทั้ง 3 อันสำหรับยึดกับส่วนของขดลวด (Stator) ดังรูปที่ 3.12



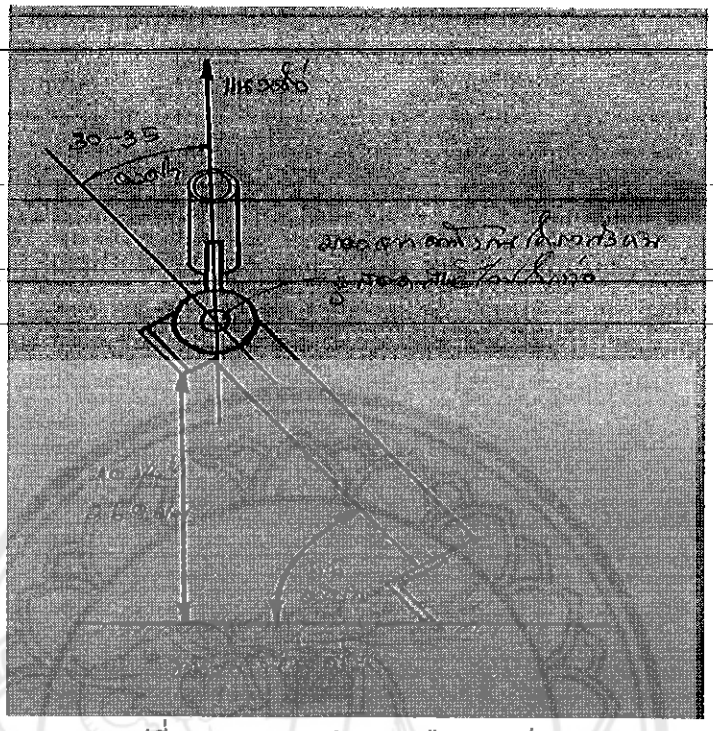
รูปที่ 3.12 โครงเหล็กส่วนที่ติดกับ HUB

3.3.3 เหล็กยึดส่วนของหางเสือ นำเหล็กท่อขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วมาเชื่อมติดกับเหล็กท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ให้เหล็กท่อทั้งสองทำมุมระหว่างกัน 20 องศาในแนวตั้ง ลักษณะดังรูปที่ 3.13

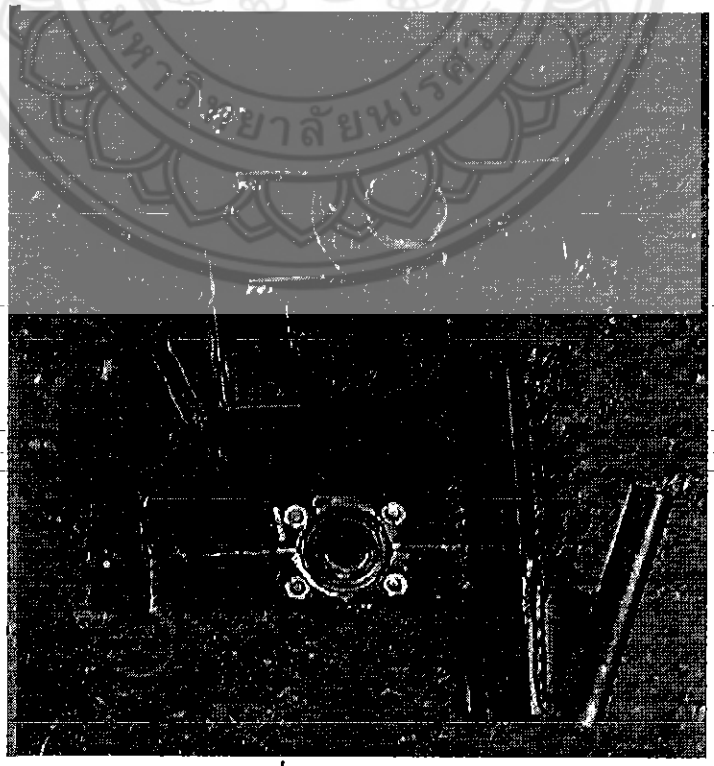


รูปที่ 3.13 เหล็กยึดส่วนของหางเสือ

และให้เหล็กท่อขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้วทำมุม 30-35 องศากับเหล็กรางในแนวระนาบ ดังรูปที่ 3.14 ก็จะได้ลักษณะของโครงเหล็กดังรูที่ 3.15

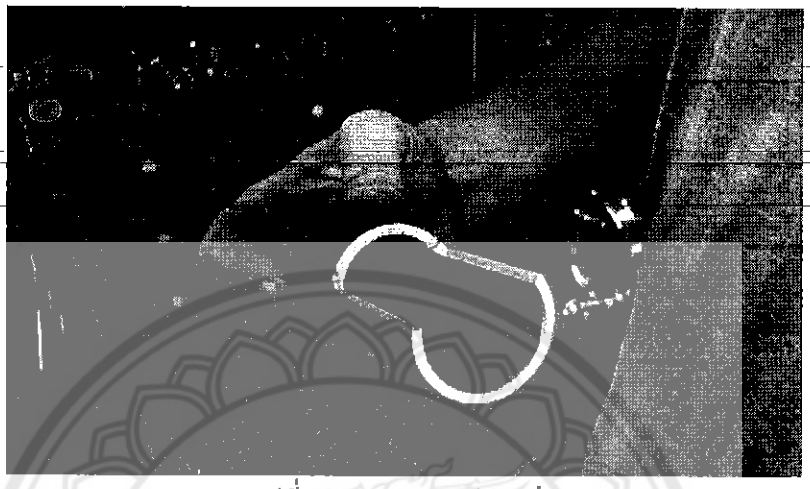


รูปที่ 3.14 มุมระหว่างหางเสือกับเหล็กราง



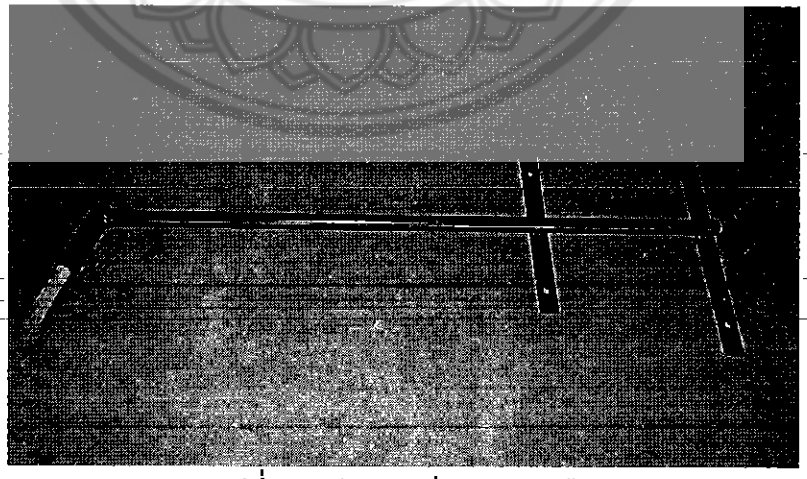
รูปที่ 3.15 โครงเหล็ก

3.3.4 โครงเหล็กของหางเสือ ทำจากเหล็ก 2 ท่อน ท่อนที่หนึ่งใช้เหล็กท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 1/8 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว แล้วผ่าท่อเหล็กเป็นรอยบากทำมุมประมาณ 90 องศา ความยาวจากปลายเหล็กถึงรอยบากยาว 2 นิ้ว เพื่อประโยชน์ในการบังคับเวลาหางเสือกางออกและพับเก็บ เวลาลมแรงเกิน 7 เมตร/วินาที หรือ 25.2 กิโลเมตร/ชั่วโมง ก็จะได้ลักษณะดังรูปที่ 3.16



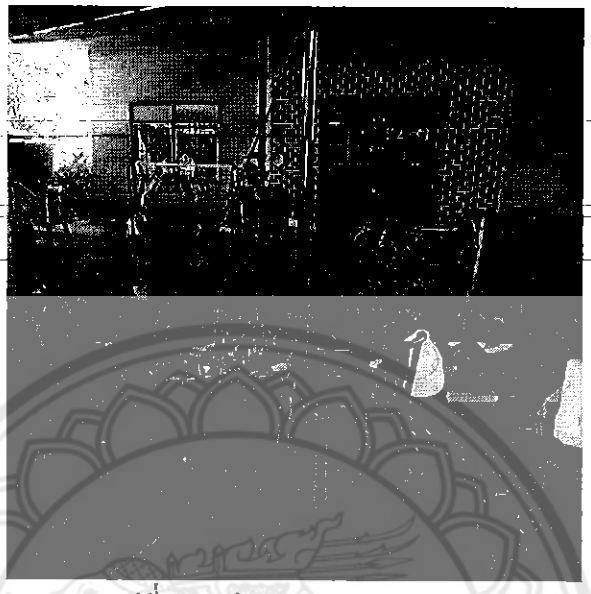
รูปที่ 3.16 การบากท่อเหล็ก

ท่อนที่สองใช้เหล็กท่อขนาดส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 48 นิ้ว นำแผ่นเหล็กขนาดกว้าง 1 นิ้ว หนา 0.3 เซนติเมตร 2 แผ่น มาเชื่อมติดกับเหล็กท่อนดังกล่าวเพื่อจะนำไม้อัดส่วนที่เป็นหางเสือมายึดติด แล้วนำเหล็กท่อนที่หนึ่งเชื่อมติดกับเหล็กท่อนที่สอง ก็จะได้โครงเหล็กของหางเสือดังรูปที่ 3.17 แล้วนำโครงเหล็กในรูปที่ 3.17 ไปสวมกับโครงเหล็กในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.17 โครงเหล็กของหางเสือ

3.3.5 โครงเสาของกังหัน ใช้เหล็กท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 2.1 เมตรและเหล็กท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตรยาว 17 นิ้ว นำเหล็กฉากยาว 1 เมตร 3 ท่อน และยาว 1.2 เมตรอีก 3 ท่อนมาเชื่อมติดกับเหล็กท่อนที่ยาว 17 นิ้ว ให้มีลักษณะเป็นสามขาดังรูปที่ 3.18



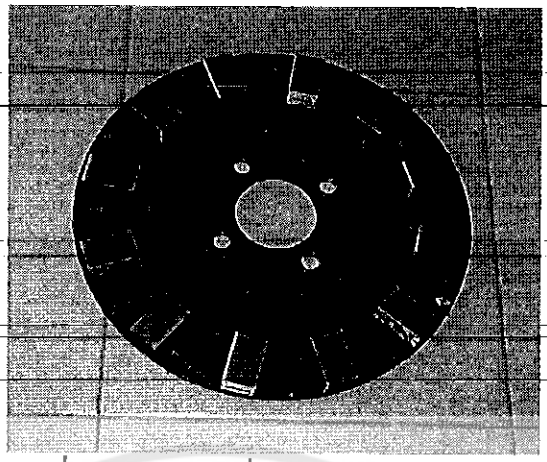
รูปที่ 3.18 โครงเสาของกังหันลม

3.4 ขั้นตอนการทำระบบไฟ

3.4.1 แม่เหล็ก ใช้แม่เหล็กถาวรชนิด Neodymium Magnet สีเงินเป็นแม่เหล็กแรงสูง ความแรงอยู่ที่ประมาณ 4,500 Gs ขนาด 40 x 25 x 10 มิลลิเมตร จำนวน 24 ก้อน ตัดเหล็กแผ่นให้เป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.5 นิ้ว 2 แผ่น แล้วเจาะรู 4 รูเพื่อยึดกับแกนของ HUB ทำเหมือนกันทั้ง 2 แผ่น การจัดวางแม่เหล็กให้วางขั้วเหนือ และขั้วใต้ สลับกันดังรูปที่ 3.19

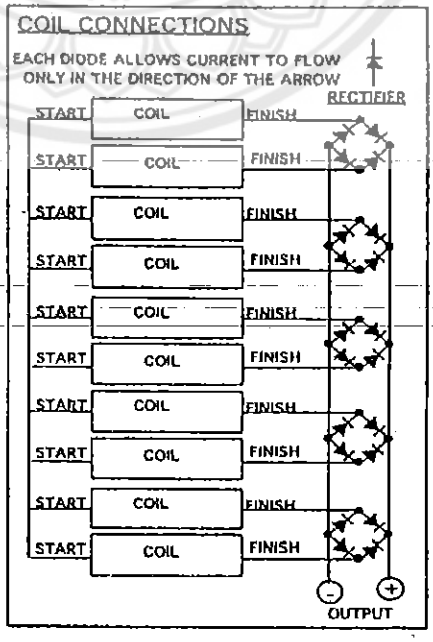
รูปที่ 3.19 การจัดวางแม่เหล็ก

ก็จะได้ส่วนของ Rotor ที่ทำจากแม่เหล็กที่พร้อมจะนำไปประกอบเป็นกังหันดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แม่เหล็กที่ติดกับแผ่นเหล็ก (Rotor)

3.4.2 ขดลวดทองแดง ใช้ขดลวด # 18 AWG พัน 160 รอบ จำนวน 10 ขด **พันขดลวดให้มีแกน**อากาศขนาดเท่ากับ 40 x 25 x 10 มิลลิเมตร หรือเท่ากับขนาดของก้อนแม่เหล็ก **นำขดลวดที่พัน**เสร็จแล้วต่อวงจรเข้าด้วยกัน การต่อวงจรจะต่อแบบ Star โดยนำสายด้านหนึ่งของขดลวดทั้ง 10 ขด ต่อเข้าหากัน สายอีกด้านของขดที่ 1 กับ 2 ต่อเข้าบริดเร็กติไฟชุดที่ 1 ขดที่ 3 กับ 4 ต่อเข้าบริดเร็กติไฟชุดที่ 2 ขดที่ 5 กับ 6 ต่อเข้าบริดเร็กติไฟชุดที่ 3 ขดที่ 7 กับ 8 ต่อเข้าบริดเร็กติไฟชุดที่ 4 ขดที่ 9 กับ 10 ต่อเข้าบริดเร็กติไฟชุดที่ 5 นำขั้วบวกของชุดบริดเร็กติไฟชุดที่ 1-5 ต่อเข้าหากัน นำขั้วลบของชุดบริดเร็กติไฟชุดที่ 1-5 ต่อเข้าหากัน สายไฟออกจะมี 2 สาย คือสายขั้วบวกกับขั้วลบ ดังรูปที่ 3.21

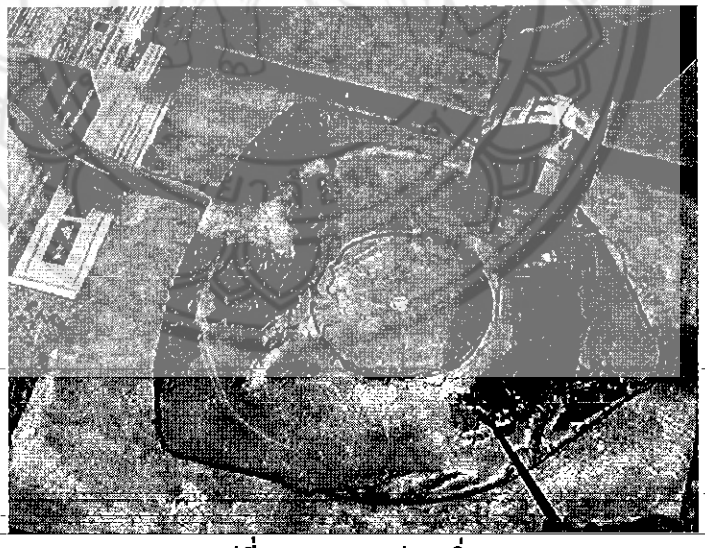


รูปที่ 3.21 การต่อวงจรบริดเร็กติไฟ

จากนั้นนำขดลวดที่ต่อเป็นวงจรแล้ววางลงในแบบเพื่อทำการหล่อเรซิ่นลักษณะดังรูปที่ 3.22

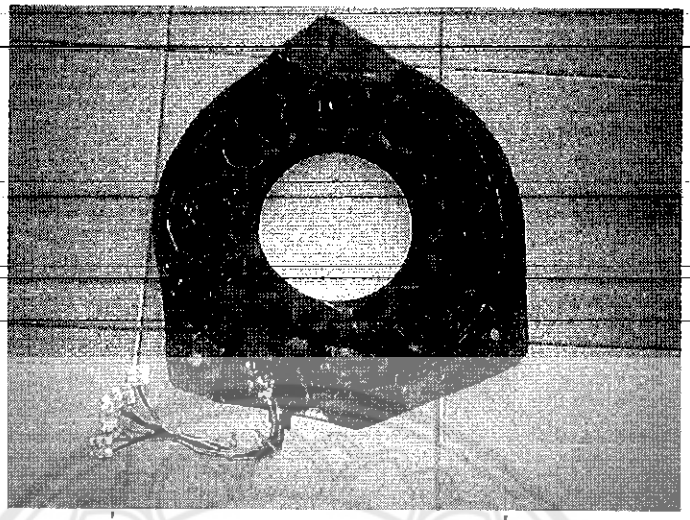
รูปที่ 3.22 การจัดวางขดลวดลงในแบบเพื่อหล่อเรซิ่น

วิธีการหล่อเรซิ่นให้ใช้เรซิ่นแบบใสปริมาณ 1. 5 ลิตร ผสมน้ำยาเร่งแข็งปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ นำไปเทในแบบที่จัดวางขดลวดไว้เรียบร้อยแล้วในรูปที่ 3.22 ลักษณะการหล่อเรซิ่นดังรูปที่ 3.23



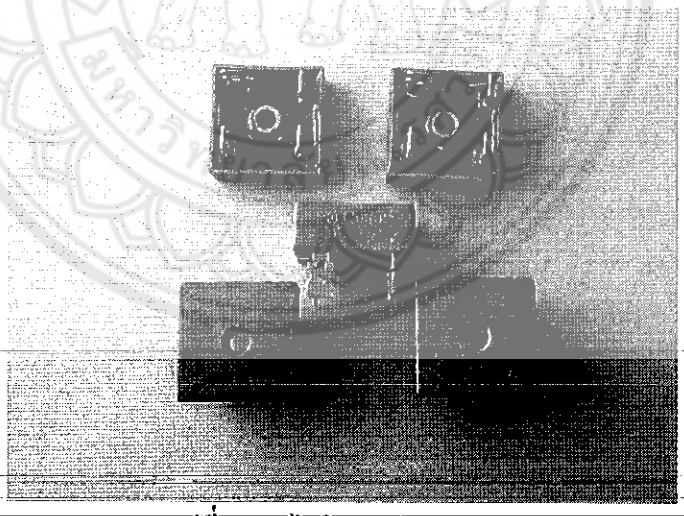
รูปที่ 3.23 การหล่อเรซิ่น

ปล่อยทิ้งไว้ให้เรซิ่นแข็งตัวแล้วถอดออกจากแบบก็จะได้ส่วนของ Stator ที่ทำจากขดลวดพร้อมจะนำไปประกอบเป็นกังหันดังรูปที่ 3.24



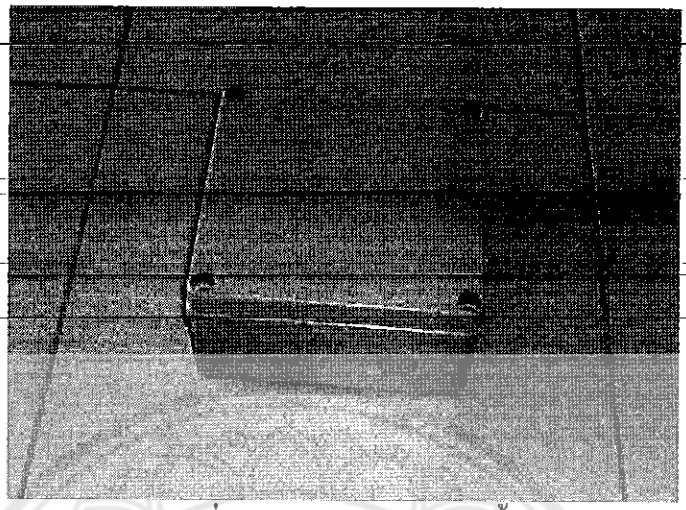
รูปที่ 3.24 ขดลวดทองแดงหลังหล่อเรซิ่น (Stator)

3.4.3 ไดโอด ใช้ไดโอดชนิด KBPC 3506 ทนกระแสได้ 35 แอมป์ และแรงดัน 600 โวลต์ จำนวน 5 ตัวดังรูปที่ 3.25



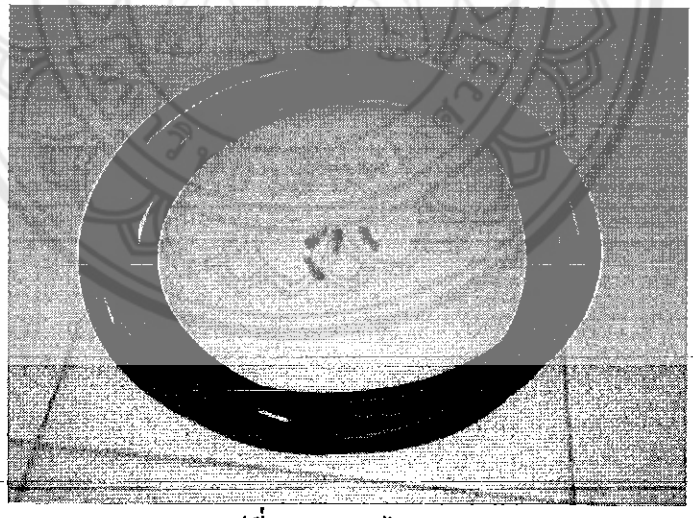
รูปที่ 3.25 ไดโอดชนิด KBPC 3506

3.4.4 กล่องพลาสติกกันน้ำ กล่องพลาสติกใช้สำหรับป้องกันวงจรบริดเร็กติไฟไม่ให้เกิดความเสียหายเนื่องจากน้ำฝนหรือแสงแดด ดังรูปที่ 3.26



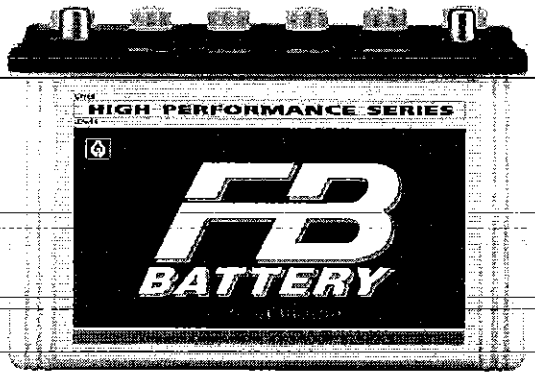
รูปที่ 3.26 กล่องพลาสติกกันน้ำ

3.4.5 สายไฟ ใช้สาย VCT ขนาด 2 X 2.5 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 สายไฟ VCT

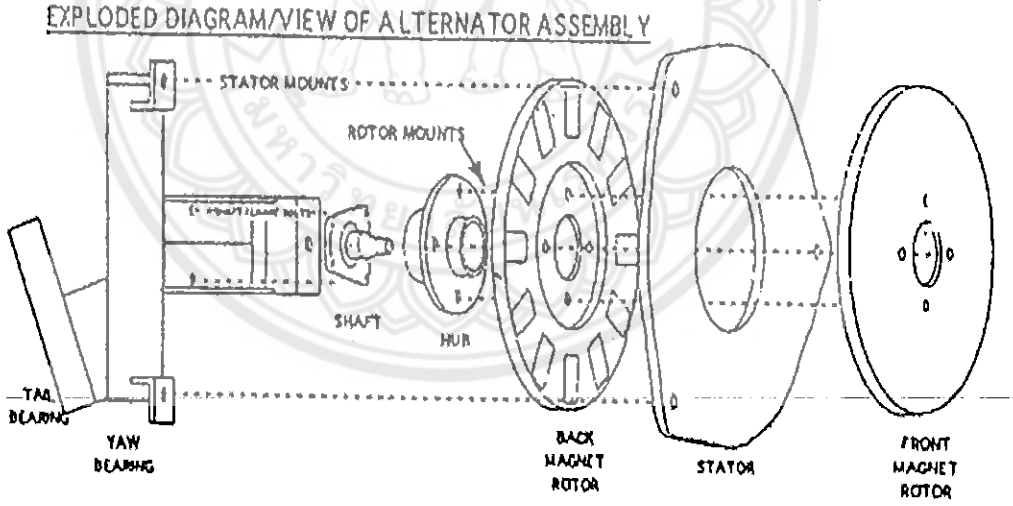
3.4.6 แบตเตอร์รี่ แบตเตอร์รี่ที่เลือกใช้เป็นแบตเตอร์รี่เปียกยี่ห้อ FB ขนาด 12 โวลต์ 35 แอมป์



รูปที่ 3.28 แบตเตอร์รี่

3.5 การประกอบกังหัน

นำส่วนของ ใบกังหัน หางเสือ HUB โครงเหล็กส่วนที่ติดกับHUB แม่เหล็ก (Rotor) และขดลวด (Stator) ประกอบเข้าด้วยกันลักษณะดังรูปที่ 3.29 ซึ่งมีขั้นตอนการประกอบ 6 ขั้นตอนดังนี้

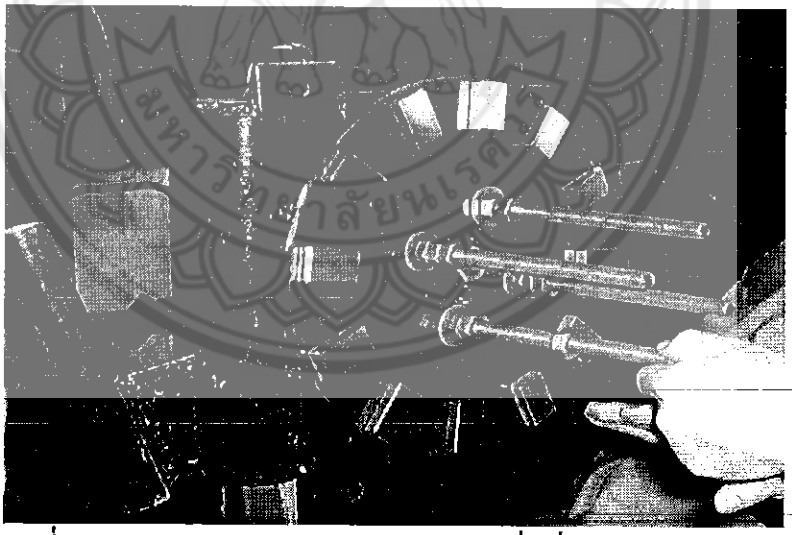


รูปที่ 3.29 ลักษณะการประกอบกังหัน

ขั้นตอนที่ 1 นำ HUB มาติดกับโครงเหล็กรางยึดด้วยน็อตให้แน่นก็จะได้ลักษณะดังรูปที่ 3.30

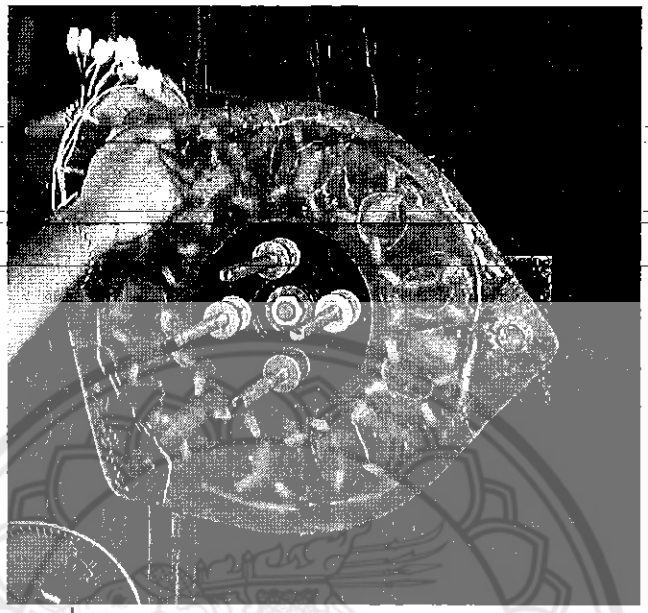
รูปที่ 3.30 การประกอบHUBกับโครงเหล็ก

ขั้นตอนที่ 2 นำส่วนของ Rotor แผ่นที่หนึ่ง ที่ทำจากแม่เหล็กสวมเข้าไปติดกับ HUB ยึดให้แน่นด้วยน็อตได้ลักษณะดังรูปที่ 3.31



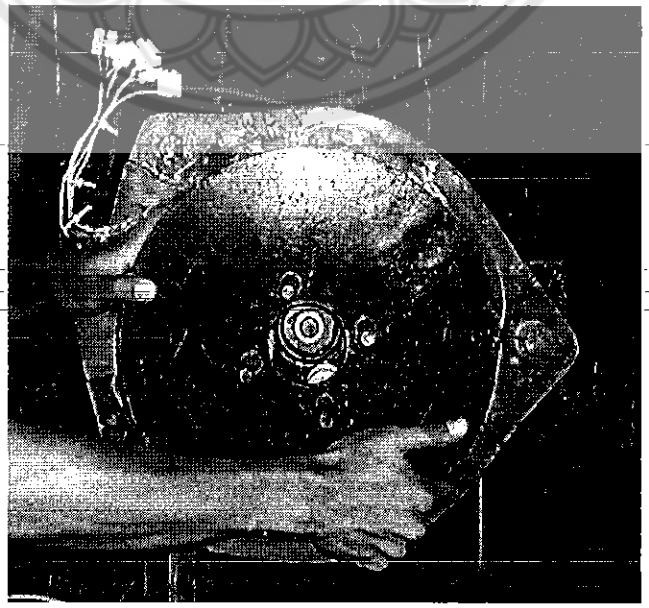
รูปที่ 3.31 การประกอบส่วนของ Rotor แผ่นที่หนึ่ง กับแกนของHUB

ขั้นตอนที่ 3 นำส่วนของ Stator ซึ่งทำจากขดลวดที่หล่อเรซิ่นประกบเข้ากับส่วนของ Rotor แผ่นที่หนึ่ง โดยให้ระยะห่างระหว่างส่วนของ Stator กับ ส่วนของ Rotor ชิดกันให้มากที่สุด ใช้น็อตยึดส่วนของ Stator กับรูทั้ง 3 รู ของโครงเหล็กส่วนที่ติดกับHUB ลักษณะดังรูปที่ 3.32



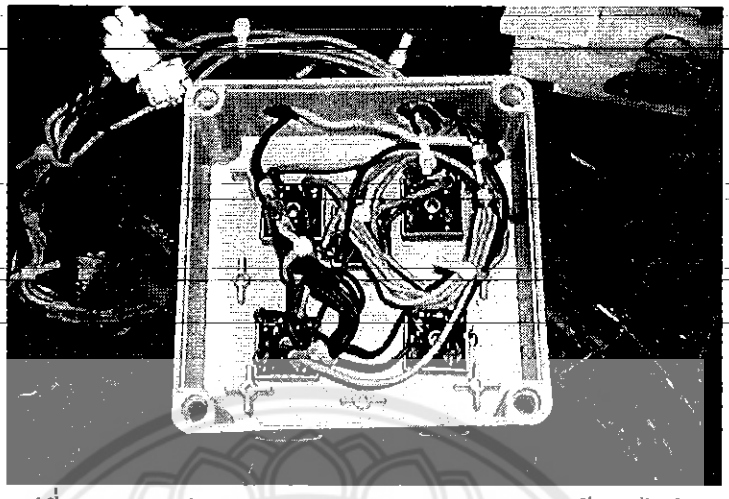
รูปที่ 3.32 การประกอบขดลวด Stator กับโครงเหล็ก

ขั้นตอนที่ 4 นำส่วนของ Rotor แผ่นที่สอง ที่ทำจากแม่เหล็กสวมเข้าไปกับแกนเหล็กที่ออกมาจาก HUB ยึดให้แน่นด้วยน็อตโดยให้ระยะห่างระหว่างส่วนของ Rotor กับ ส่วนของ Stator ชิดกันให้มากที่สุด ได้ลักษณะดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 การประกอบส่วนของ Rotor แผ่นที่สอง กับแกนของ HUB

ขั้นตอนที่ 5 ต่อวงจรของขดลวดเข้ากับวงจรของไดโอดที่อยู่ในกล่องพลาสติกกันน้ำ ตามรูปการต่อวงจรบริดเร็กติไฟในรูปที่ 3.21 ก็จะได้ลักษณะตามรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 การประกอบวงจรของขดลวด (Stator) เข้ากับไดโอด

ขั้นตอนที่ 6 นำใบพัดที่ประกอบเสร็จแล้วมาสวมเข้ากับแกนของ HUB ยึดน็อตให้แน่นจากนั้นหางเสือที่ประกอบเสร็จแล้วมาสวมเข้ากับเหล็กยึดส่วนของหางเสือแล้วนำส่วนที่ประกอบเสร็จแล้วทั้งหมดไปสวมที่ปลายของโครงเสาของกังหัน ก็จะได้กังหันที่พร้อมใช้งานลักษณะดังรูปที่ 3.35

รูปที่ 3.35 กังหันที่พร้อมใช้งาน

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบ และผลการทดสอบของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ การทดสอบใช้แบตเตอร์รี่ขนาด 12 โวลต์ 35 แอมป์ และตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม 10 วัตต์ ต่อขนานกัน10 ตัว เพื่อเป็นโหลดจากนั้นใช้พัดลมขนาด 12 นิ้ว 196 วัตต์ จำนวน 4 เครื่อง เป่าให้กังหันหมุนแล้วทำการวัดค่าความเร็วรอบ แรงดัน และกระแส

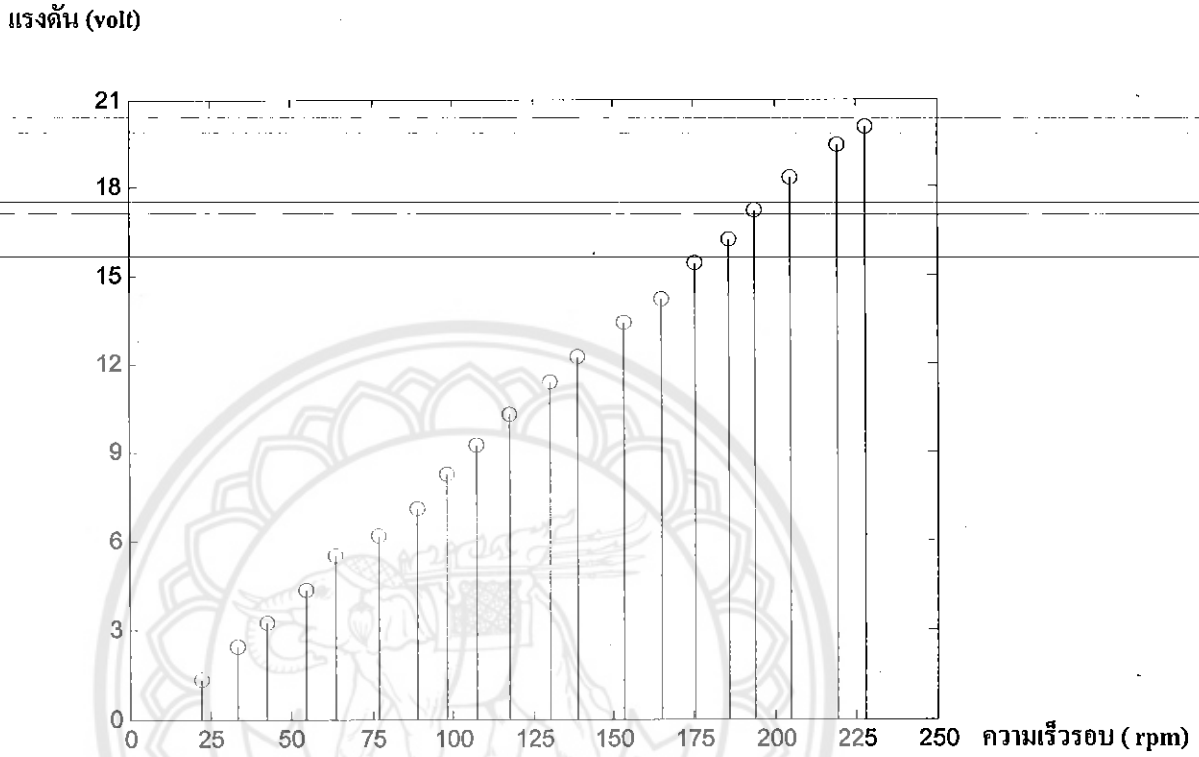
4.1 ผลการทดสอบวัดความเร็วรอบ และแรงดันไฟฟ้าขณะยังไม่ต่อแบตเตอร์รี่

การทดสอบใช้พัดลมขนาด 12 นิ้ว 196 วัตต์ จำนวน 4 เครื่อง เป่าให้กังหันแล้วทำการวัดค่าความเร็วรอบ แรงดันไฟฟ้า 3 ครั้ง นำผลที่ได้มาเขียนลงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบวัดความเร็วรอบ และแรงดันไฟฟ้าขณะไม่ยังต่อแบตเตอร์รี่

ความเร็วลม (m/s)			ความเร็วรอบ (rpm)			แรงดันไฟฟ้า (volt)		
ครั้งที่			ครั้งที่			ครั้งที่		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.38	0.4	0.41	21.5	22.5	23	1.1	1.3	1.5
0.59	0.61	0.59	33.2	34.1	32.9	2.7	2.4	2.2
0.68	0.82	0.76	38	45.6	42.7	3	3.4	3.2
0.95	1	0.98	53	55.6	54.5	4.1	4.5	4.3
1.19	1.12	1.11	66.8	62.3	62.2	5.7	5.5	5.2
1.43	1.36	1.34	80	76	75.1	6.4	6	6.1
1.6	1.63	1.55	89.3	91	86.7	7	7.2	7
1.76	1.72	1.78	98.4	96	99.4	8.5	8.3	8
1.87	1.97	1.94	104.7	109.6	108.3	9.2	9.4	9.1
2.05	2.11	2.16	114.8	118	120.6	10.1	10.5	10.2
2.25	2.39	2.37	125.5	133.1	132.5	11.2	11.5	11.4
2.42	2.55	2.51	135	142.4	140.1	12.1	12.4	12.3
2.70	2.82	2.74	150.8	157.2	153.2	13.4	13.6	13.2
2.92	2.98	2.96	163	166.4	165.5	14.1	14.3	14.2
3.26	3.44	3.31	181.7	191.9	184.5	16.2	16.4	16.2
3.39	3.58	3.44	189.3	199.4	192	17	17.4	17.3
3.76	3.64	3.62	209.8	203.1	201.6	18.7	18.2	18
3.91	4.03	3.84	218	225	214.4	19.6	19.6	19.1
4.07	4.11	4.09	227	229	228	20	20.1	20

ความเร็วลมในตางรางที่ 4.1 หาได้จากการคำนวณโดยประยุกต์ใช้สมการ (2.9) ในบทที่2 จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.1 สามารถนำเอาค่าของความเร็วรอบ และแรงดันไฟฟ้าขณะยังไม่ต่อแบตเตอร์รี่มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ และแรงดันไฟฟ้า

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ และแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 4.1 พบว่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่กังหันสามารถผลิตได้เท่ากับ 20.1 โวลต์ ที่ความเร็วรอบ 229 รอบต่อนาที จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วรอบของกังหันเพิ่มขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

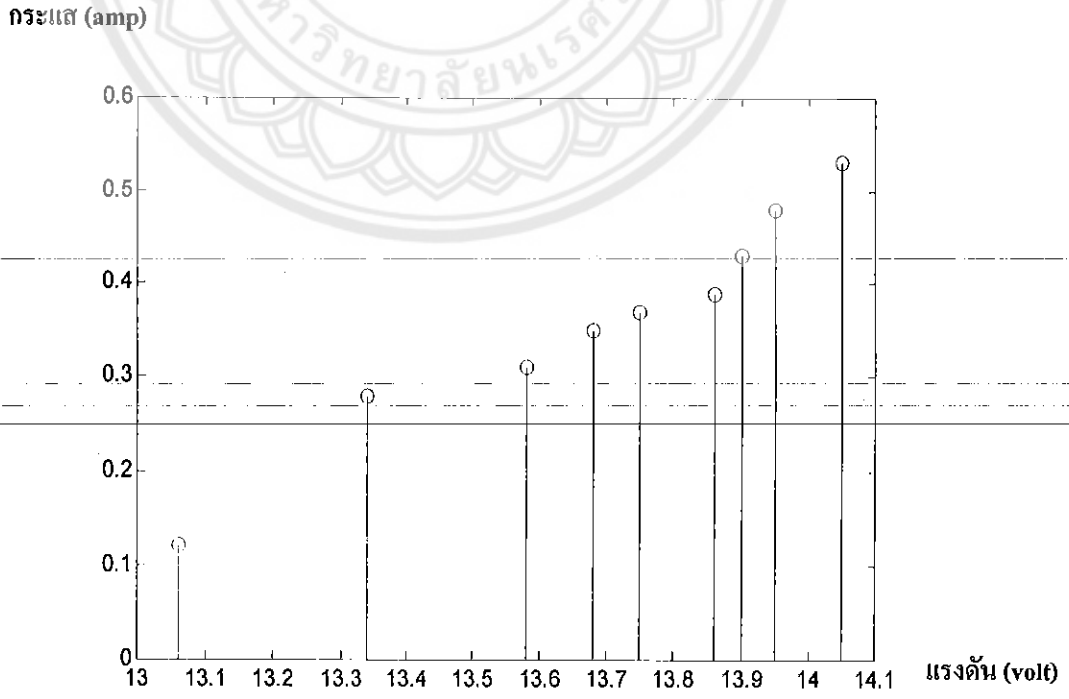
4.2 ผลการทดสอบวัดแรงดัน และกระแสไฟฟ้าขณะต่อแบตเตอร์รี่

ทำการทดสอบเหมือนกับหัวข้อ 4.1 แต่ต่อโหลดเป็นแบตเตอร์รี่ขนาด 12 โวลต์ 35 แอมป์ แล้วทำการวัดค่าแรงดัน และกระแสไฟฟ้า นำผลที่ได้มาเขียนลงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบวัดแรงดัน และกระแสไฟฟ้าขณะต่อแบตเตอร์รี่

แรงดันขณะชาร์จแบตเตอร์รี่ (volt)	กระแสขณะชาร์จแบตเตอร์รี่ (amp)
13.06	0.12
13.34	0.28
13.68	0.35
13.75	0.37
13.86	0.39
13.90	0.43
13.95	0.48
14.05	0.53

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.2 นำเอาค่าของแรงดัน และกระแสไฟฟ้าขณะต่อแบตเตอร์รี่มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน และกระแสไฟฟ้า

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน และกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 4.2 กระแสสูงสุดที่ชาร์จเข้าแบตเตอร์รี่เท่ากับ 0.53 แอมป์ ที่แรงดันไฟฟ้า 14.05 โวลต์ ผลการทดสอบกระแสที่ได้มีค่าน้อย เนื่องจากความแรงและปริมาณของลมไม่เพียงพอ

4.3 ผลการทดสอบวัดความเร็วรอบ แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ขณะต่อตัวต้านทาน

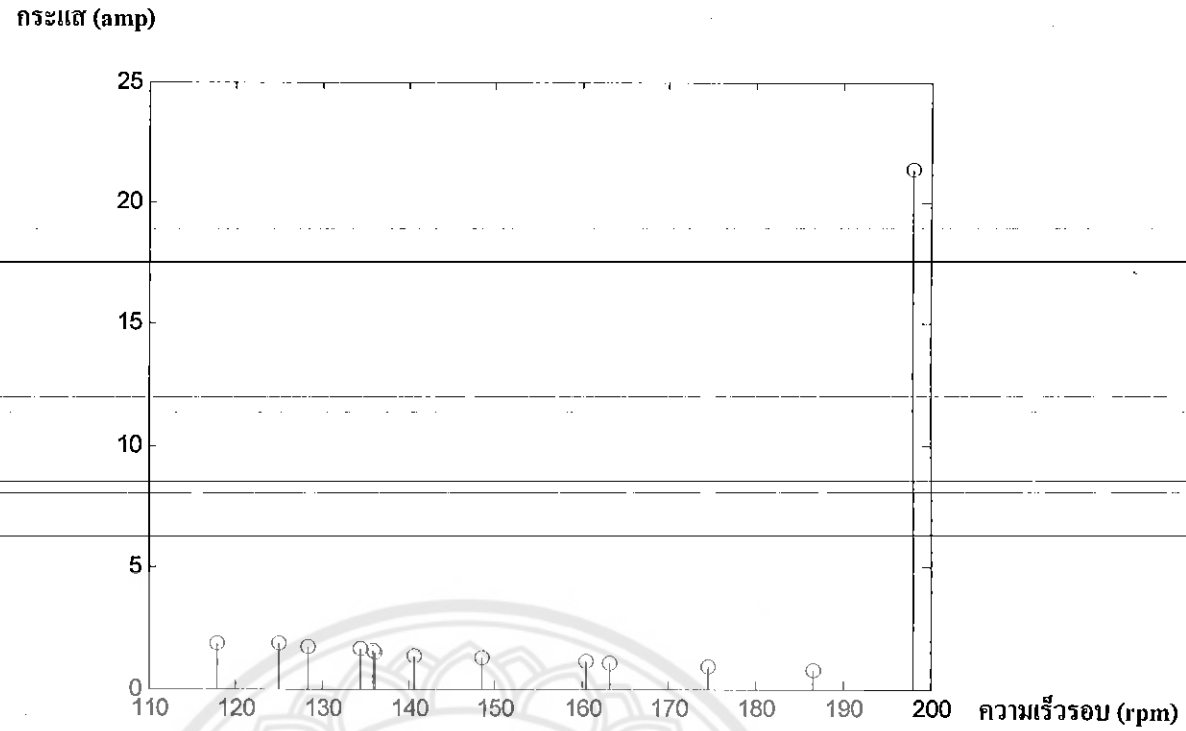
ทำการทดสอบเหมือนกับหัวข้อ 4.2 แต่ต่อโหลดเป็นตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม 10 วัตต์ ต่อขนานกันโดยต่อตัวต้านทานเพิ่มขึ้นทีละ 1 ตัว จนครบ 12 ตัว ทำการวัดค่าแรงดัน กระแสและความเร็วรอบ แล้วคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า นำผลที่ได้มาเขียนลงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบวัดความเร็วรอบ แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ขณะต่อตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน 100 Ω / 10 W ต่อขนานกัน	กระแส (A)	แรงดัน (V)	ความเร็วรอบ (rpm)	กำลังไฟฟ้า (W)
1 ตัว 100 Ω	0.75	17.64	186.6	13.23
2 ตัว 50 Ω	0.89	15.5	174.6	13.79
3 ตัว 33.3 Ω	1.05	14.6	163.2	15.33
4 ตัว 25 Ω	1.12	13.2	160.5	14.78
5 ตัว 20 Ω	1.3	12.05	148.4	15.66
6 ตัว 16.6 Ω	1.36	11.50	140.6	15.64
7 ตัว 14.3 Ω	1.5	10.94	136.1	16.41
8 ตัว 12.5 Ω	1.6	10.54	135.8	16.86
9 ตัว 11 Ω	1.67	9.75	134.4	16.28
10 ตัว 10 Ω	1.7	9.21	128.3	15.65
11 ตัว 9 Ω	1.83	8.76	125	16.03
12 ตัว 8.3 Ω	1.9	8.21	118	15.59
0 Ω	21.4	18.3	198	391.62

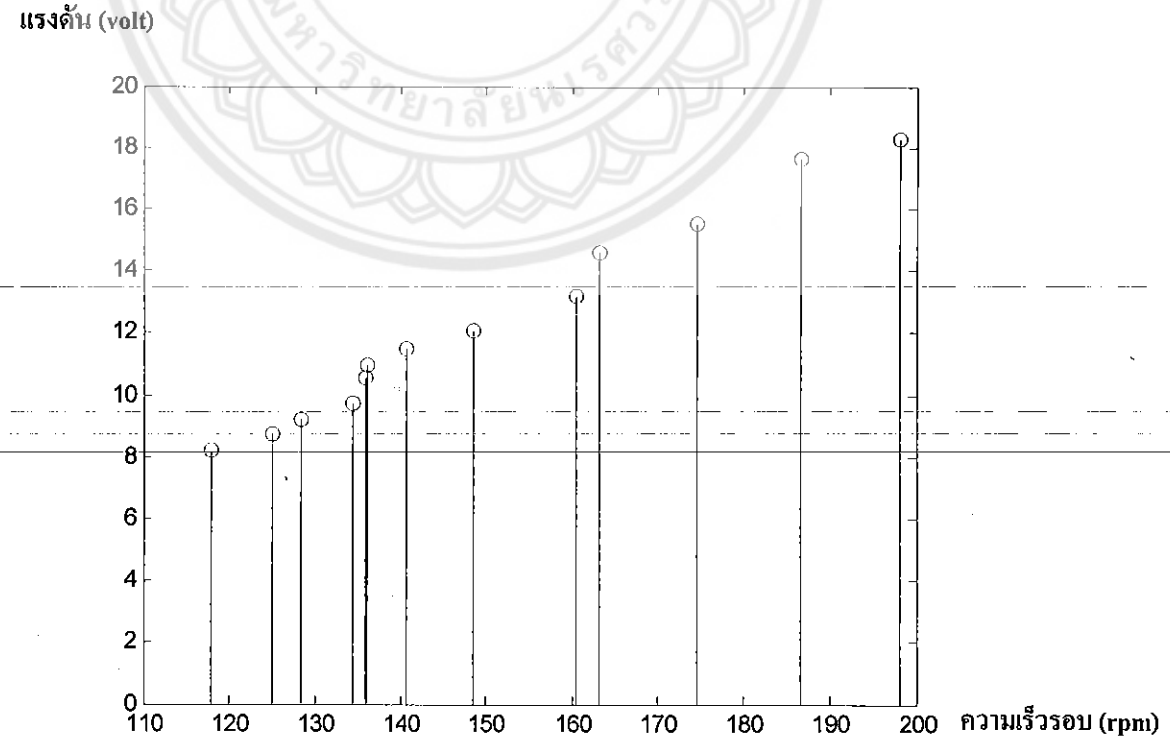
ค่ากำลังไฟฟ้าในตารางที่ 4.3 คำนวณได้จากสมการที่ (2.8) ในบทที่ 2

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.3 นำเอาค่าของความเร็วรอบ แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ขณะต่อตัวต้านทานมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5



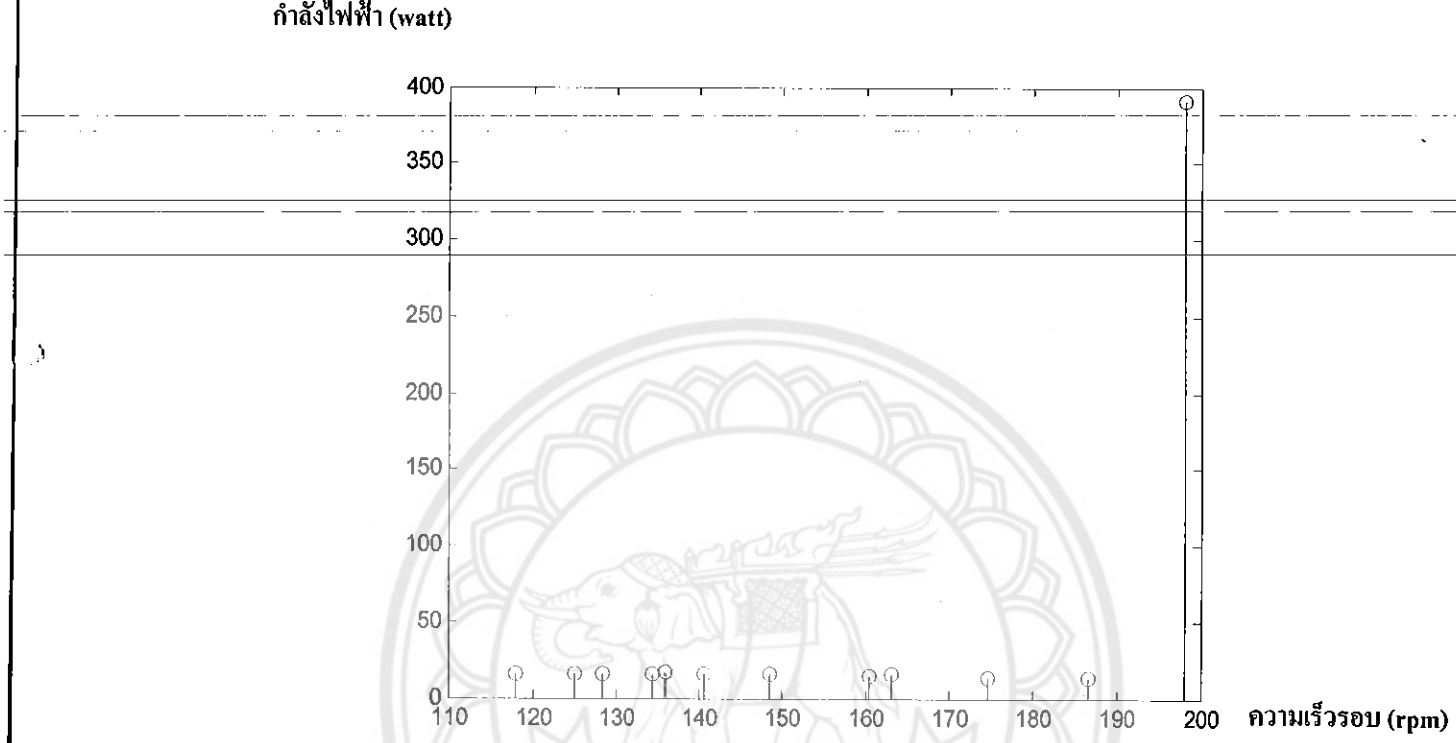
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และความเร็วรอบ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และความเร็วรอบรูปที่ 4.3 ผลการทดสอบพบว่าเมื่อค่าความต้านทานลดลงกระแสก็จะเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งความต้านทานลดลงเป็น 0 โอห์ม จะได้ค่ากระแสสูงสุดเท่ากับ 21.4 แอมป์ ที่ความเร็วรอบ 198 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างแรงดันไฟฟ้า และความเร็วรอบรูปที่ 4.4 ผลการทดสอบพบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นค่าแรงดันไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แรงดันสูงสุดที่กังหันผลิตได้เท่ากับ 18.3 โวลต์ ที่ความเร็วรอบ 198 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบในรูปที่ 4.5 ผลการทดสอบพบว่ากำลังไฟฟ้าที่กังหันผลิตได้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 391.62 วัตต์ ที่ความต้านทานมีค่า 0 โอห์ม ความเร็วรอบ 198 รอบต่อนาที

$$\text{ประสิทธิภาพ } \eta = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้า}}$$

$$= \frac{391.62 \text{ [Watt]}}{196 \times 4 \text{ [Watt]}}$$

$$= 0.4995 \text{ หรือ } 49.95\ \%$$

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่ากังหันสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 391.62 วัตต์ ที่แรงดัน 18.3 โวลต์ กระแส 21.4 แอมป์ ค่าความต้านทาน 0 โอห์ม ที่ความเร็วรอบ 198 รอบต่อนาที และมีค่าประสิทธิภาพของกังหันลมสูงสุดเท่ากับ 49.95 เปอร์เซ็นต์ การที่กังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้าได้น้อย

เนื่องมาจากลมที่ใช้ในการทดลองไม่แรงพอ และมีการสูญเสียของลมเกิดขึ้นซึ่งถ้าหากนำกังหันไปทดลองในสถานที่ที่มีลมแรงและสม่ำเสมอมากกว่านี้ กังหันก็อาจจะผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้นถึง 2.5 กิโลวัตต์ ตามการออกแบบของกังหันลมซึ่งใบพัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ฟุต

บทที่ 5
สรุปผลการทดสอบ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการทำงานของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 391.62 วัตต์ ที่แรงดัน 18.3 โวลต์ กระแส 21.4 แอมแปร์ ที่ความเร็วรอบ 198 รอบต่อนาที และมีค่าประสิทธิภาพของกังหันลมสูงสุดเท่ากับ 49.95 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุที่ค่าประสิทธิภาพของกังหันลมมีค่าน้อยเนื่องจากเกิดการสูญเสียของลม การสูญเสียทางกล และการสูญเสียทางไฟฟ้า ถ้าหากนำกังหันไปทดสอบในสถานที่ที่มีปริมาณลมมากกว่านี้ กังหันก็จะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้นถึง 2.5 กิโลวัตต์ ตามการออกแบบของกังหันลมซึ่งใบพัดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ฟุต

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ค่าประสิทธิภาพของกังหันลมมีค่าน้อย เนื่องจากการทดสอบใช้พัดลมเป่าให้กังหัน ลมที่ได้จึงมีความแรง และปริมาณน้อย หรืออาจเกิดจากการสูญเสียของลม และการสูญเสียทางกลของกังหัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

การนำกังหันไปใช้งานต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของสภาพลมในสถานที่นั้นๆว่ามีลมต่อเนื่อง และเพียงพอที่จะทำให้กังหันผลิตกระแสไฟฟ้าได้

ถ้าหากจะนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอร์รี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยอินเวอร์เตอร์ก่อน

เอกสารอ้างอิง

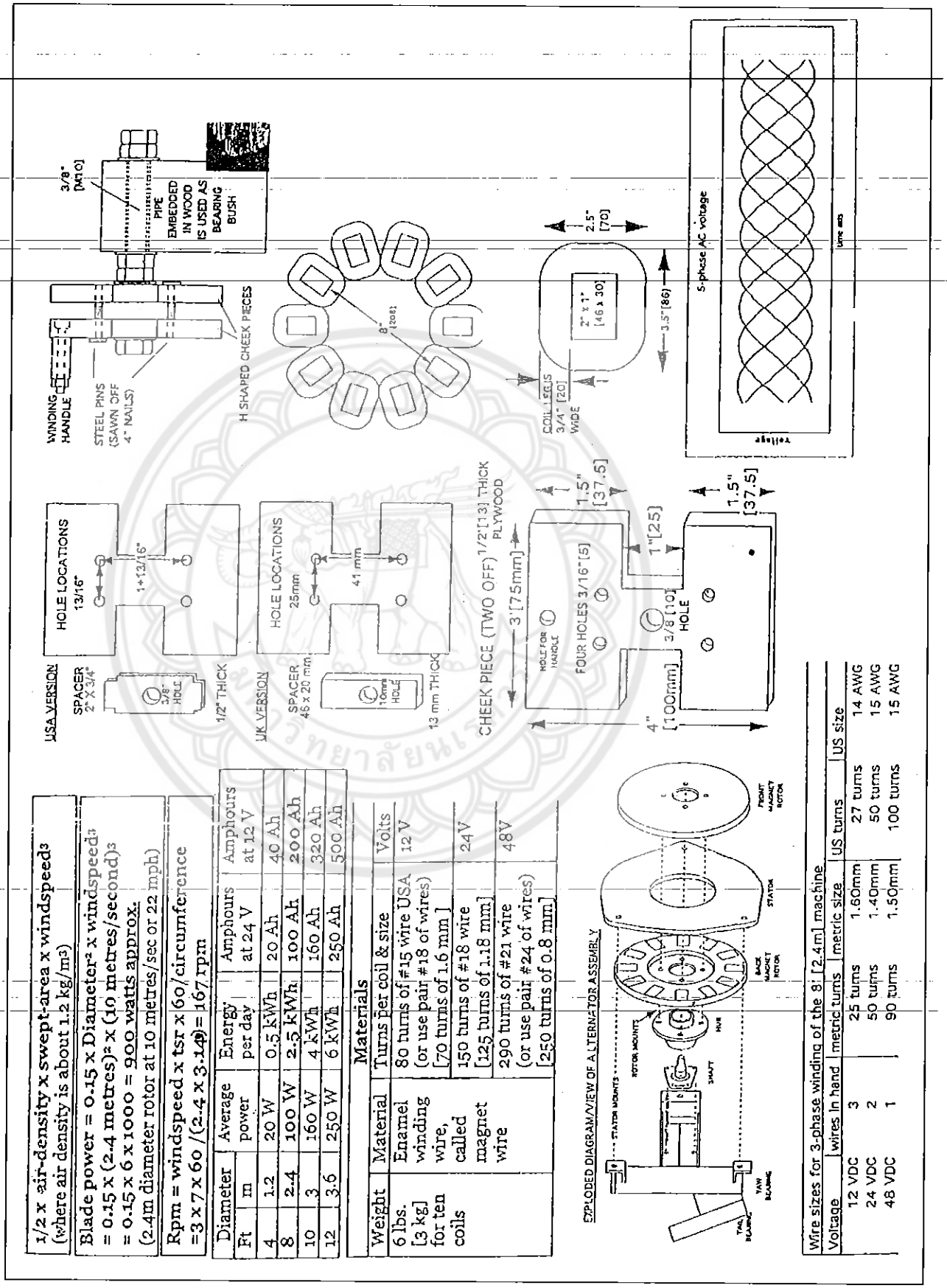
[1] ผศ.อนุตร จำลองกุล. **พลังงานหมุนเวียน**. กรุงเทพมหานคร : โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์. 2545

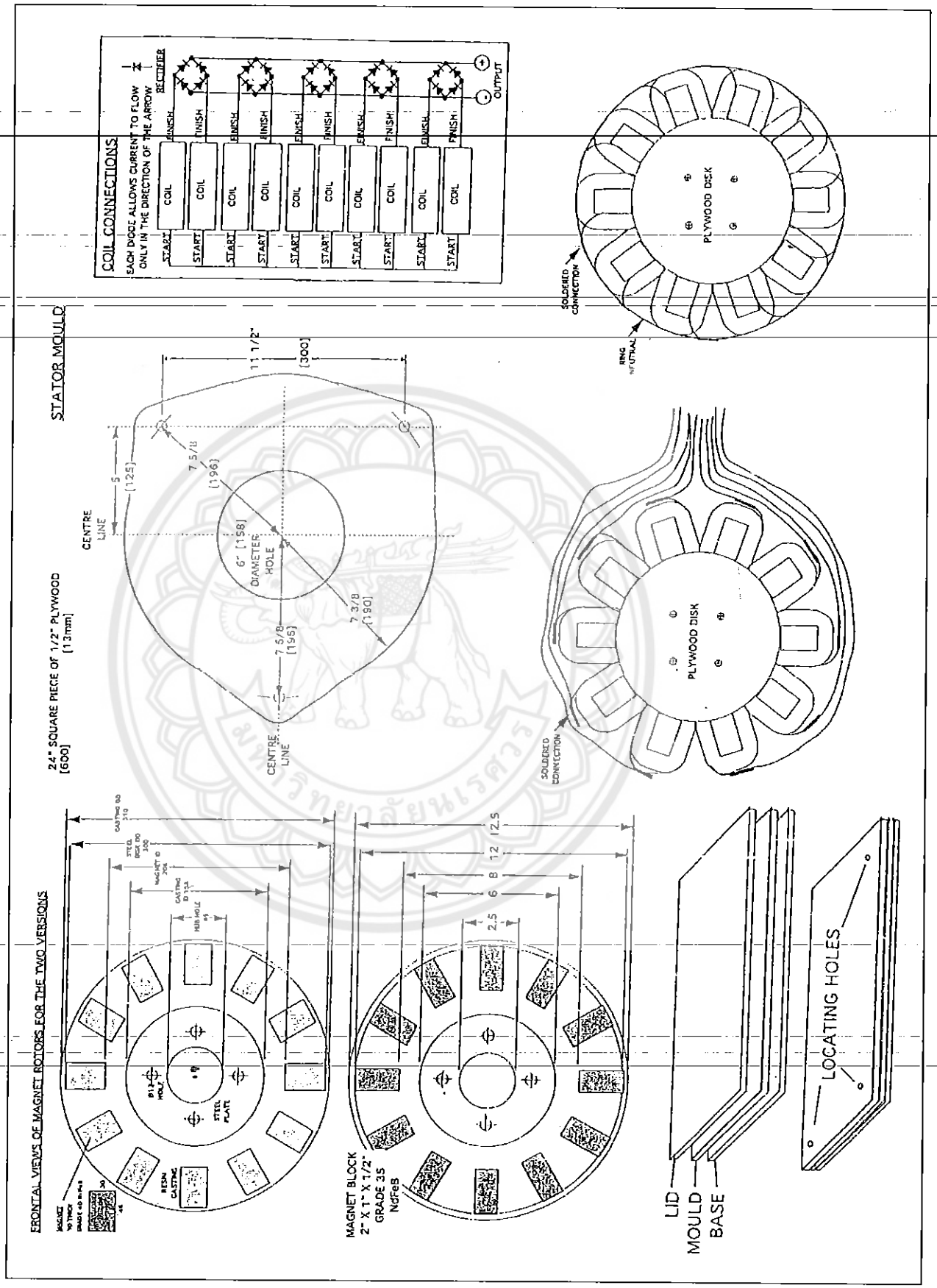
[2] เฉลิมพล น้ำค้าง. **ทฤษฎีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก**. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ส่งเสริม กรุงเทพ. 2543.

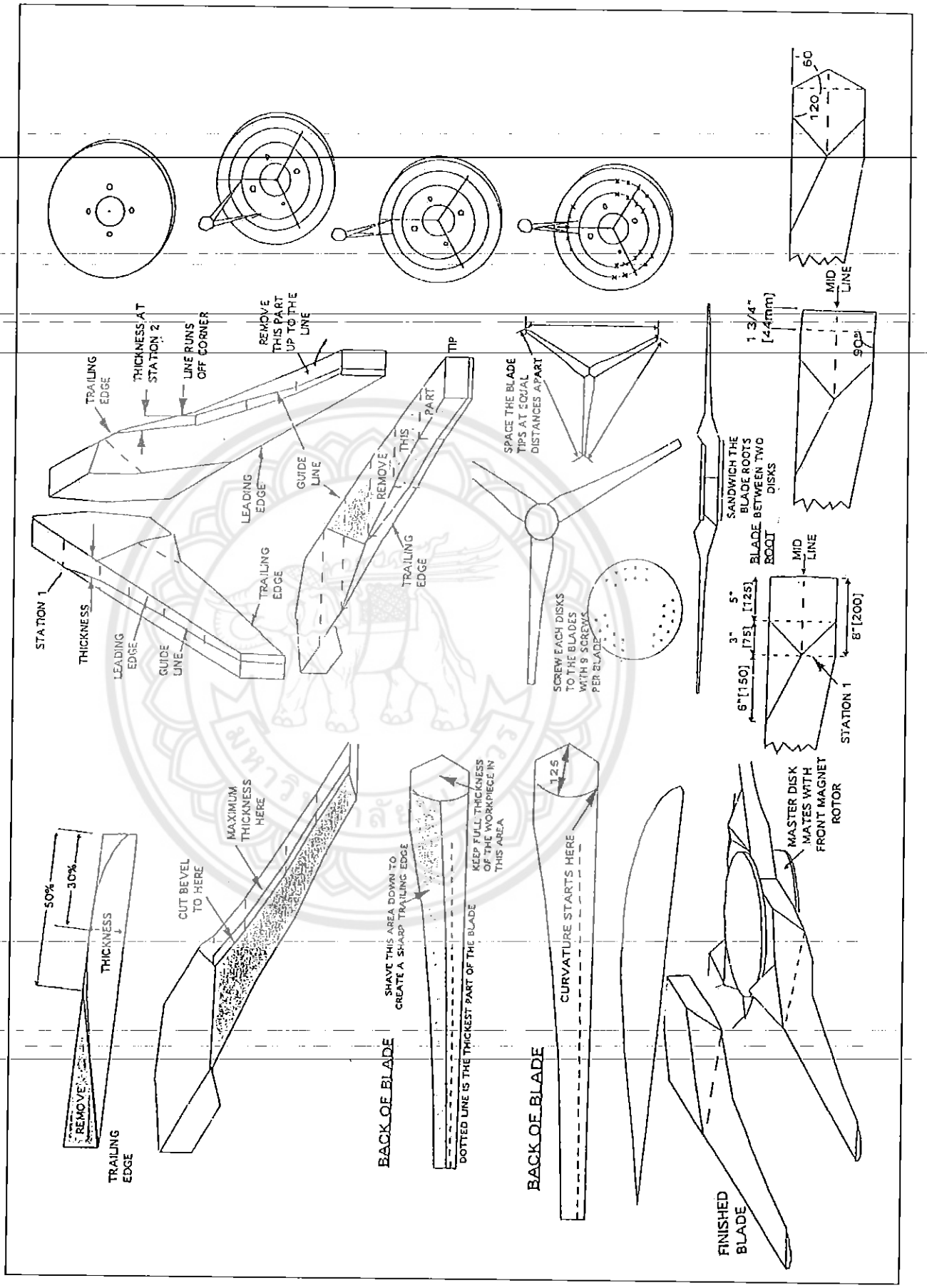
[3] บรรจง ขยันกิจ. "**กังหันลมแห่งประเทศไทย**." [Online]. Available : http://www.thaiwindmill.com

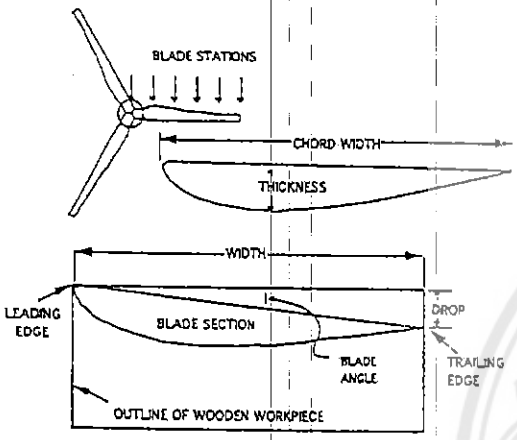
ภาคผนวก

ภาพประกอบการประดิษฐ์กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

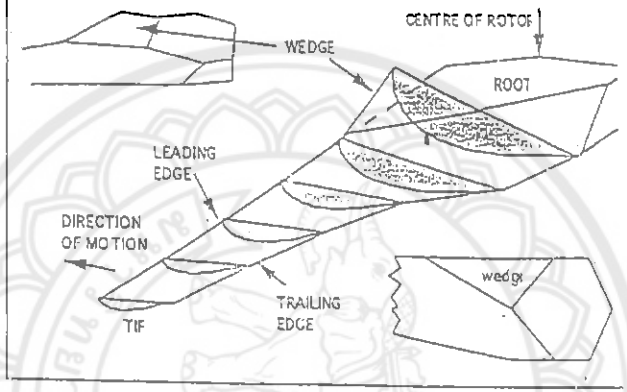


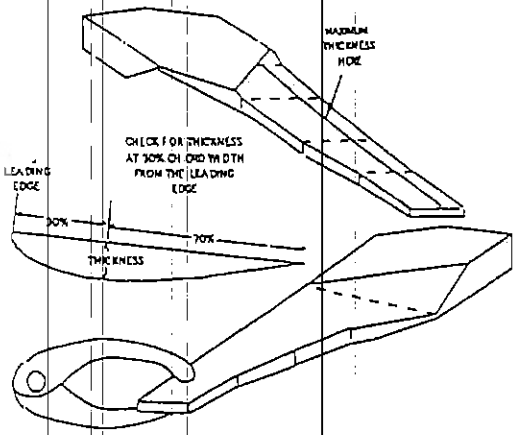

COIL CONNECTIONS
EACH DIODE ALLOWS CURRENT TO FLOW ONLY IN THE DIRECTION OF THE ARROW
RECTIFIER
OUTPUT
COIL
START
FINISH
PLYWOOD DISK
SOLDERED CONNECTION
RING NEUTRAL
STATOR MOULD
24" SQUARE PIECE OF 1/2" PLYWOOD [13mm]
CENTRE LINE
6" [158] DIAMETER HOLE
11 1/2" [300]
7 5/8 [196]
5 [125]
7 3/8 [190]
7 5/8 [195]
FRONTAL VIEWS OF MAGNET ROTORS FOR THE TWO VERSIONS
STEEL PLATE
RESIN CASTING
MAGNET BLOCK 2" X 1" X 1/2" GRADE 35 NdFeB
LID
MOULD
BASE
LOCATING HOLES


STATION 1
THICKNESS
LEADING EDGE
GUIDE LINE
TRAILING EDGE
TRAILING EDGE
THICKNESS AT STATION 2
LINE RUNS OFF CORNER
REMOVE THIS PART UP TO THE LINE
LEADING EDGE
GUIDE LINE
TIP
REMOVE THIS PART
TRAILING EDGE
SPACE THE BLADE TIPS AT EQUAL DISTANCES APART
SCREW EACH DISKS TO THE BLADES WITH 9 SCREWS PER BLADE
SANDWICH THE BLADE ROOTS BETWEEN TWO DISKS
BLADE ROOT
1 3/4" [44mm]
MID LINE
90°
120°
60°
MID LINE
5" [125]
3" [75]
6"[150]
8"[200]
STATION 1
MASTER DISK MATES WITH FRONT MAGNET ROTOR
FINISHED BLADE
50%
30%
THICKNESS
REMOVE
TRAILING EDGE
CUT BEVEL TO HERE
MAXIMUM THICKNESS HERE
BACK OF BLADE
SHAVE THIS AREA DOWN TO CREATE A SHARP TRAILING EDGE
KEEP FULL THICKNESS OF THE WORKPIECE IN THIS AREA
DOTTED LINE IS THE THICKEST PART OF THE BLADE
BACK OF BLADE
125
CURVATURE STARTS HERE

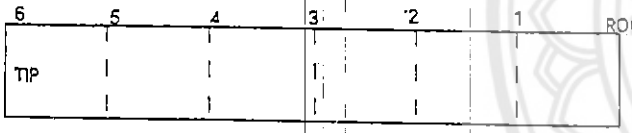


A SERIES OF SECTIONAL VIEWS OF THE BLADE, TO INDICATE HOW THEY CHANGE IN SIZE AND ANGLE BETWEEN THE TIP AND THE ROOT OF THE BLADE

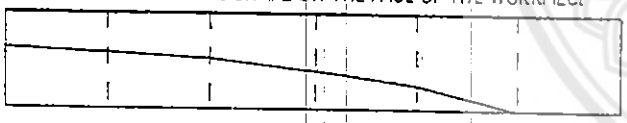


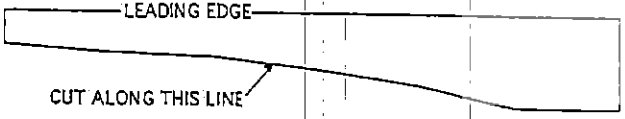


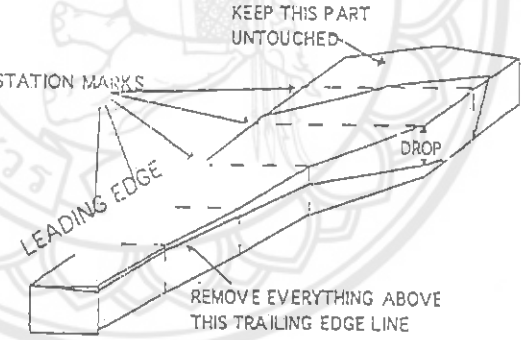
PENCIL LINES AT STATIONS

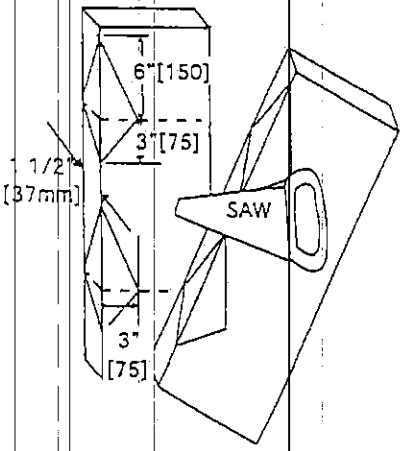


MARK OUT THE SHAPE ON THE FACE OF THE WORKPIECE





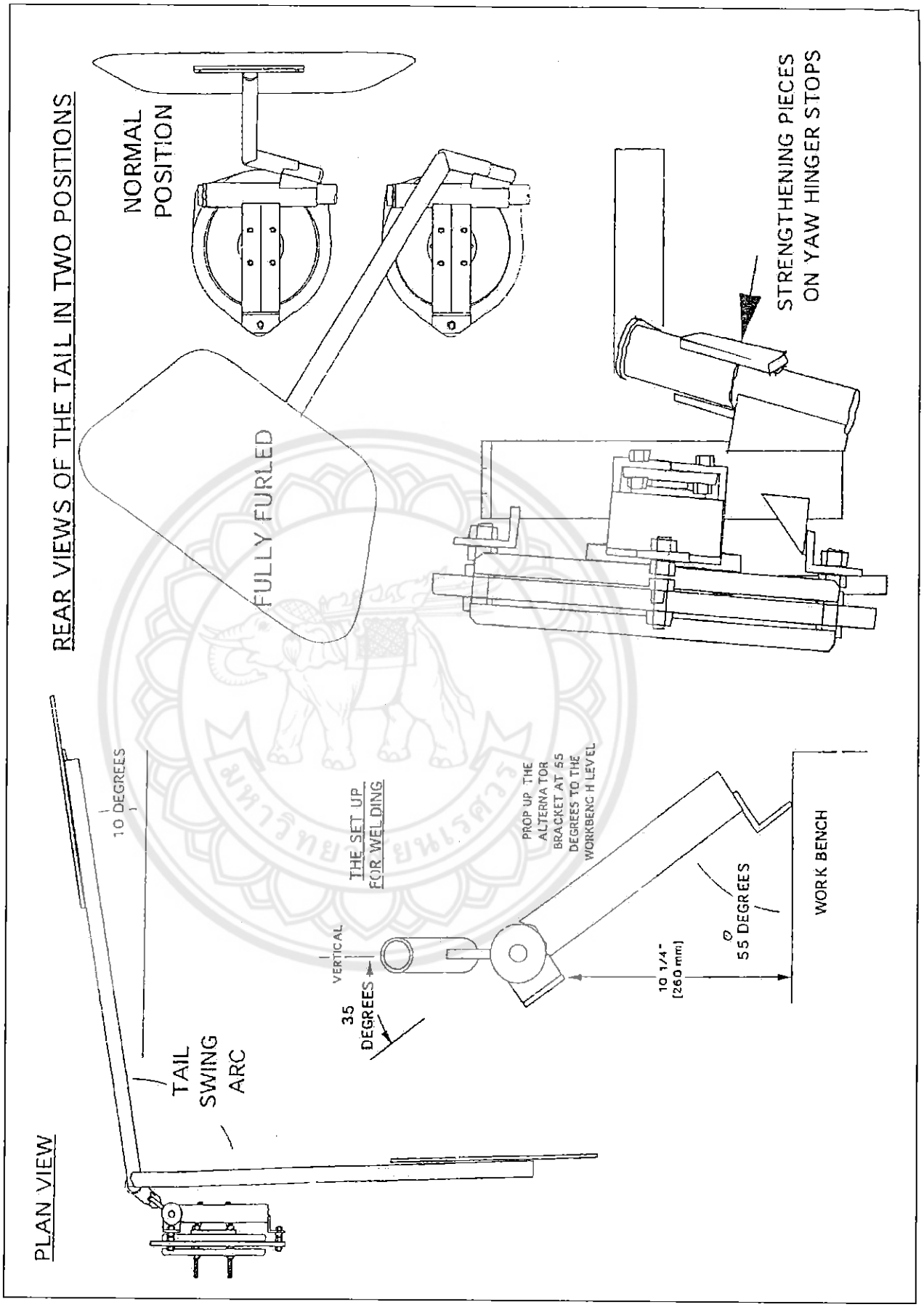




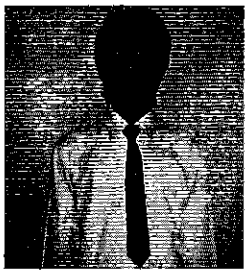
station	drop		width		thickness	
1	1 1/2"	37 mm	6 "	150 mm		
2	1	25 mm	4 3/4"	120 mm	15/16	25 mm
3	7/16	12 mm	3 15/16"	100 mm	1/2	13 mm
4	1/4	6 mm	3 1/8"	80 mm	3/8	10 mm
5	1/8	3 mm	2 3/4"	70 mm	5/16	8 mm
6 (tip)	1/16	2 mm	2 3/8"	60 mm	1/4	7 mm

Materials

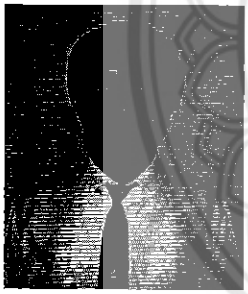
Pieces	Material	Length	Width	Thic
Enough for 3 wedges	Offcut(s) of wood, with straight grained portions	Enough to find some nice portions	Over 3" [75mm]	1 1/2 [37 mm]


REAR VIEWS OF THE TAIL IN TWO POSITIONS
NORMAL POSITION
FULLY FURLED
STRENGTHENING PIECES ON YAW HINGER STOPS
PLAN VIEW
10 DEGREES
TAIL SWING ARC
THE SET UP FOR WELDING
VERTICAL
35 DEGREES
PROP UP THE ALTERNATOR BRACKET AT 55 DEGREES TO THE WORKBENCH LEVEL
10 1/4" [260 mm]
55 DEGREES
WORK BENCH

ประวัติผู้เขียนโครงงาน



ชื่อ นายเทพพิทักษ์ สลีวงศ์
เกิดเมื่อ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2527
ภูมิลำเนา 77/1 หมู่ 3 ต.ไทยชนะศึก อ.ทุ่งเสลี่ยม จ.สุโขทัย 64150
ประวัติการศึกษา
- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
E- mail: Teppitak_ee@hotmail.com



ชื่อ นายเมคิน รุ่งโรจน์
เกิดเมื่อ 3 มกราคม พ.ศ. 2527
ภูมิลำเนา 284 หมู่ 10 ต.บ้านตึก อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย 64130
ประวัติการศึกษา
- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเมืองด้งวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: may_gib@hotmail.com