

ต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งขนาดเล็กสำหรับความเร็วลมต่ำ  
โดยใช้แนวคิดร่วมระหว่างกังหันลมเซโวเนียชและใจโรมิล

PROTOTYPE OF A VERTICAL-AXIS-LOW-SPEED WIND TURBINE  
USING A HYBRID CONCEPT  
BETWEEN SAVONIUS AND GIROMILL WIND TURBINES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-020-211

ต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งขนาดเล็กสำหรับความเร็วลมต่ำ  
โดยใช้แนวคิดร่วมระหว่างกังหันลมเซโวนีเยชและไจโรมิล

PROTOTYPE OF A VERTICAL-AXIS-LOW-SPEED WIND TURBINE  
USING A HYBRID CONCEPT  
BETWEEN SAVONIUS AND GIROMILL WIND TURBINES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-020-211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12/7/4836

PROTOTYPE OF A VERTICAL-AXIS-LOW-SPEED WIND TURBINE

USING A HYBRID CONCEPT

BETWEEN SAVONIUS AND GIROMILL WIND TURBINES



KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015

KMITL-2015-EN-M-020-211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งขนาดเล็กสำหรับความเร็วลมต่ำโดยใช้แนวคิดร่วมระหว่าง  
กังหันลมเซโวนีเยซและจีโรมิล

Thesis Title Prototype of a Vertical-Axis-Low-Speed Wind Turbine using a Hybrid Concept  
between Savonius and Giromill Wind Turbines

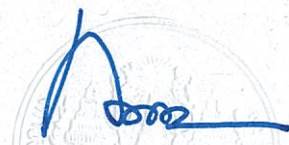
นักศึกษา นายภูษงค์ เจริญประสพสุข  
รหัสประจำตัว 53610530  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M- 020 - 211

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชาย	ชมภูอินไหว	
รศ.ดร.สมชาติ	จิรวีภากร	
รศ.ดร.เกียรติ	ชยะกุลศิริ	
ผศ.ดร.นิรุช	จิรสวรรณกุล	
ผศ.ดร.เชาว์	ชมภูอินไหว	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2558 เวลา 13.00-15.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2558  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งขนาดเล็กสำหรับความเร็วลมต่ำ โดยใช้แนวคิดร่วมระหว่างกังหันลมเซโวนีเยชและใจโรมิล
นักศึกษา	นาย ภูซงค์ เจริญประสพสุข
รหัสประจำตัว	53610530
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งขนาดเล็กโดยใช้แนวคิดร่วมระหว่างกังหันลมเซโวนีเยชและใจโรมิลเพื่อรองรับแหล่งรับพลังงานจากลมภายในประเทศไทยที่มีลักษณะความเร็วลมต่ำและมีความแปรปรวนสูง โดยการนำแนวคิดของชุดกังหันลมเซโวนีเยชที่มีคุณสมบัติการตอบสนองต่อความเร็วลมต่ำที่ดี แต่ความเร็วลมสูงไม่ดีจึงมีความเร็วรอบการทำงานต่ำ ออกแบบร่วมกับแนวความคิดของชุดกังหันใจโรมิลที่มีคุณสมบัติการตอบสนองต่อความเร็วลมต่ำไม่ดี แต่ตอบสนองที่ความเร็วลมสูงดี จึงมีความเร็วรอบการทำงานเทียบเท่าหรือสูงกว่าความเร็วลม ชุดกังหันต้นแบบคาดหวังการพัฒนาความเร็วรอบและแรงบิดของชุดกังหันลมแนวแกนตั้งที่ตอบสนองต่อความเร็วลมต่ำและแปรปรวนให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยวิเคราะห์เลือกชุดกังหันเซโวนีเยช 2 ชั้นและขนาดของใบกังหันใจโรมิลรวมถึงองศาการติดตั้งที่เหมาะสม ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ความเร็วลมคงที่แสดงให้เห็นถึงความเร็วรอบและแรงบิดที่สูงขึ้นของชุดกังหันต้นแบบ และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที แสดงให้เห็นถึงแนวทางการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยการขยายขนาดชุดกังหันตามอัตราส่วนการออกแบบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดการรับภาระทางไฟฟ้าได้มากขึ้น

Thesis	PROTOTYPE OF A VERTICAL-AXIS-LOW-SPEED WIND TURBINE USING A HYBRID CONCEPT BETWEEN SAVONIUS AND GIROMILL WIND TURBINES
Student	Mr. Puchong Charoenprasopsuk
Student ID.	53610530
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chow Choompoo-inwai

### ABSTRACT

The purpose of this thesis is to present the design and operation of small vertical-axis wind turbines by combining the concept of Savonius and Giromill wind turbine in order to receive wind power in Thailand, which has low speed and atmospheric variables. The concept of savonius wind turbine that has a great response to low wind speed has also been studied. However, its rotor speed is inappropriate for high speed wind. Furthermore, the selection of suitable design for turbines has applied the idea of Giromill wind turbine. Giromill wind turbine has a slightly response to the low speed wind, but it has rotor speed which has a good response to high speed wind. The designed model of turbine blades aims to develop rotor speed of horizontal axis wind turbine which the blades always move perpendicular to the wind, receiving low speed and changeable wind to produce clean energy. By doing these, Savonius wind turbie gradation design the size of Giromill's blades and the suitable degree blades' setting has been examined. The result of an examination at stable wind speed shows that there is an increase in rotor speed and torque of the designed model and it can generate electricity from wind speed 2.5 meter per second. It can be seen that these development can increase its efficiency by expanding the turbine blades in the same portion of electricity generator.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ใหญ่ของสถาบัน ทั้งนี้จึงขอกล่าวขอบพระคุณสำหรับผู้มีอุปการะทุกท่านมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา วันชัย เจริญประสพสุข และมารดา นางบุญสิตา เจริญประสพสุข เป็นอย่างล้นพ้นที่คอยกล่าวสั่งสอนและมอบคำแนะนำรวมถึงกำลังใจ ในการหาวิธีปรับปรุงและแก้ไขปัญหาระหว่างงานวิจัยให้ผ่านพ้นในทุกปัญหา โดยเฉพาะกำลังใจที่ได้หลังจากการเกิดอุบัติเหตุรุนแรงที่เกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อระบบสมองและความทรงจำของข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. เขาว์ ชมภูอินไหว ที่มอบโอกาสจัดทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์ และแนวความคิดในการดำเนินชีวิตรวมถึงกำลังใจความเอาใจใส่เสมอมา ทั้งนี้เมื่อข้าพเจ้าเกิดอุบัติเหตุอย่างรุนแรงและส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการทำวิจัย ท่านยังคงดูแลเอาใจใส่และสละเวลามาคำเพื่อดูแลศิษย์อย่างตั้งมั่น ข้าพเจ้าขอกล่าวกราบขออภัยสำหรับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นและกราบแทบเท้าท่านด้วยความเคารพเปรียบบิดาผู้ให้กำเนิด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้และรูปแบบแนวคิดต่อข้าพเจ้าผู้จัดทำโครงการซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำมาใช้ในการจัดทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชาย ชมพูอินไหว นายอนุรักษ์ ขำดี นายวันชัย อุดมมงคลกิจ และนายชนกันท์ หอนรินทร์พงศ์ ที่มอบความช่วยเหลือและแนวคิดรวมถึงคำติชมในงานวิจัยต่อข้าพเจ้าอย่างมีเคหหวังสิ่งตอบแทน รวมถึงห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมส่องสว่าง (ESIRC) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้เอื้อเพื่ออุปกรณ์และสถานที่ในการทดสอบตลอดระยะเวลาการศึกษา

ภุชงค์ เจริญประสพสุข

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญรูป .....	VII
สารบัญตาราง .....	XI
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 การทบทวนวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง .....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย .....	3
1.5 ลำดับขั้นตอนการทำวิจัย .....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	6
2.1 การใช้พลังงานในประเทศไทย .....	6
2.2 พลังงานลม .....	7
2.2.1 ลมสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย .....	10
2.2.2 การใช้พลังงานลมในประเทศไทย .....	12
2.3 ทฤษฎีพลังงานลม .....	13
2.4 รูปแบบกังหันลม .....	14
2.4.1 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน .....	14
2.4.2 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวตั้ง .....	18
2.5 ทฤษฎีพลังงานกังหันลมเซโวนีเยซ .....	23
2.5.1 การคำนวณพลังงานที่เกิดจากกังหันเซโวนีเยซ .....	24
2.6 ทฤษฎีพลังงานกังหันลมแตรเรียสและใจโรมิล .....	25
2.6.1 คำจำกัดความ .....	25
2.6.2 สมการและความสัมพันธ์ .....	26

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 แรงและโมเมนต์ในการไหล.....	27
2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง.....	27
2.8.1 เฟืองตรง (Spur gear) .....	28
2.8.2 เฟืองเฉียง (helix gear).....	29
2.8.3 เฟืองดอกจอก (bevel gear).....	30
2.8.4 เฟืองหนอน (worm gear) .....	31
2.8.5 ส่วนประกอบของเฟือง .....	32
2.8.6 หลักการเลือกใช้และการบำรุงรักษา.....	33
2.8.7 การคำนวณของเฟือง .....	35
2.9 วงจรเรียงกระแส (Rectifier) .....	36
2.9.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier).....	36
2.9.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier).....	37
2.9.3 การฟิลเตอร์ในวงจรเรียงกระแส.....	40
2.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Synchronous Generator) .....	42
2.10.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	44
<b>บทที่ 3 การออกแบบสร้างชุดกังหันลมแนวแกนตั้งออกแบบร่วมระหว่างเซโวนีเยชและใจโรมิล</b>	<b>47</b>
3.1 การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอการวางใบกังหันลมเซโวนีเยช.....	48
3.1.1 มิติของของไหล (Dimensions).....	49
3.1.2 สมการการไหลอย่างต่อเนื่อง.....	49
3.1.3 การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอการวางใบกังหันลมเซโวนีเยช .....	50
3.2 การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอจำนวนใบกังหันลมเซโวนีเยช .....	56
3.3 การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอเพิ่มขึ้นใบกังหันลมเซโวนีเยช.....	59
3.4 การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอแผ่นปิดด้านบนและล่างของกังหันลมเซโวนีเยช.....	61
3.5 การวิเคราะห์เพื่อการตอบสนองต่อลมของใบกังหันใจโรมิลรูปแบบ NACA0015 .....	65
3.5.1 สมการการคำนวณแรงยกปีกกังหัน .....	65

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.2 การจำลองสร้างใบก้างตันด้วยโปรแกรม Solid work .....	66
3.5.3 การสร้างใบก้างตัน NACA0015 .....	70
3.5.4 การจำลองการทำงานใบก้างตัน NACA0015 .....	71
3.6 การวิเคราะห์เพื่อออกแบบชุดต้นแบบก้างตันออกแบบร่วม .....	73
3.6.1 การวิเคราะห์เพื่อติดตั้งใบก้างตันลมโโจโรมิลรูปแบบ NACA0015 .....	74
<b>บทที่ 4 ผลการทดสอบต้นแบบก้างตันลมแนวแกนตั้ง .....</b>	<b>75</b>
4.1 ผลการทดสอบการวางใบก้างตันลมเซโวเนี่ยช .....	77
4.2 ผลการคำนวณเพื่อเลือกจำนวนใบก้างตัน .....	79
4.3 ผลการทดสอบเทียบการทำงานก้างตันเซโวเนี่ยชแบบชั้น กับก้างตันโโจโรมิล 4 ใบ .....	81
4.4 ผลการทดสอบต้นแบบชุดก้างตันออกแบบร่วม .....	83
4.5 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	88
4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองชุดก้างตันต้นแบบขนาดเล็ก .....	88
4.5.2 การออกแบบเพื่อประกอบชุดกำเนิดไฟฟ้า .....	91
4.6 โครงสร้างชุดตั้งใบก้างตัน .....	93
4.6.1 ข้อมูลในการผลิตก้างตันร่วม .....	93
<b>บทที่ 5 สรุป .....</b>	<b>96</b>
5.1 สรุปผลการทดสอบ .....	96
5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางพัฒนา .....	97
<b>เอกสารอ้างอิง .....</b>	<b>98</b>
<b>ภาคผนวก ก. ....</b>	<b>100</b>
<b>รายละเอียดอุปกรณ์ .....</b>	<b>100</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดสุทธิในประเทศไทยของระบบ กฟผ. [9].....	6
2.2 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดสุทธิในประเทศไทยของระบบ กฟผ. [9].....	7
2.3 แผนที่อากาศ.....	8
2.4 แรงโคริออริส.....	8
2.5 โซโคลน และ แอนติโซโคลน ในซีกโลกเหนือ.....	9
2.6 พายุไต้ฝุ่นผ่าแฝด.....	9
2.7 แสดงภาพการเกิดลมบกและลมทะเล.....	10
2.8 แสดงภาพลมหุบเขา(ซ้าย) และ ลมภูเขา(ขวา).....	11
2.9 ลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทย.....	12
2.10 กังหันแนวแกนนอน.....	14
2.11 กังหันลมแบบความเร็วคงที่.....	15
2.12 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่.....	15
2.13 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ต่อตรง.....	16
2.14 ส่วนประกอบของกังหันลมในการผลิตไฟฟ้า.....	17
2.15 กังหันลมแนวแกนตั้งในปัจจุบัน.....	18
2.16 แผนผังโครงสร้างของกังหันลมเซโวนีเยชตันก้าเนต.....	19
2.17 แผนผังโครงสร้างของกังหันลมแดร์เรียส [12].....	20
2.18 แผนผังโครงของกังหันลมใจโรมิล.....	21
2.19 ส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนตั้ง.....	22
2.20 แสดงลักษณะเฟืองตรง [30].....	28
2.21 แสดงลักษณะเฟืองเฉียง [30].....	29
2.22 แสดงลักษณะเฟืองดอกจอก [30].....	30
2.23 แสดงลักษณะเฟืองหนอน [30].....	31
2.24 แสดงส่วนประกอบของเฟือง [30].....	32
2.25 การจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ตัวไดโอดเรียงกระแส.....	36
2.26 วงจรและแรงดันไฟสลับที่จุดต่างๆ ของการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น.....	37
2.27 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์.....	38
2.28 รูปคลื่นแรงดันระหว่างสายและลำดับของสัญญาณจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์.....	38
2.29 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมบริดจ์เมื่อภาระเป็นตัวต้านทาน.....	39
2.30 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมและกระแสที่ไหลผ่านภาระ ที่มุมเกิดไทรสเตอร์ $\alpha = 60^\circ, 0^\circ$ .....	40
2.31 วงจรฟิลเตอร์แบบต่างๆ.....	41

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.32 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่มีวงจรถูกไฟเตอร์ .....	42
2.33 โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กเรียบ .....	44
2.34 โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กยื่น .....	45
2.35 เอ็กไซเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน .....	46
2.36 เอ็กไซเตอร์แบบไร้แปรงถ่านและมีไฟลัด .....	46
3.1 ต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งออกแบบร่วม .....	47
3.2 ตัวอย่างรูปแบบของกังหันลมเซโวนีเยช .....	48
3.3 การไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดลดขนาด .....	49
3.4 แสดงการไหลผ่านของอากาศ(แบบไม่มีช่องว่าง) .....	50
3.5 แสดงการไหลผ่านของอากาศ(แบบมีช่องว่าง 6.4 ซม.) .....	51
3.6 แสดงการไหลผ่านของอากาศ ณ องศาต่างๆ ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที .....	52
3.7 ภาพขยายของรูปที่ 3.4 และ 3.5 .....	53
3.8 ภาพโครงสร้างเพื่อการวิเคราะห์ร่วมกับสมการที่ 3.8 .....	54
3.9 ภาพเทียบกังหันรูปแบบ 2 ใบ และ 3 ใบ .....	56
3.10 ภาพโครงสร้างชุดใบกังหัน 3 ใบ .....	56
3.11 ภาพเปรียบเทียบแรงดันและการไหลที่กระทำต่อกังหันเซโวนีเยช 2 ใบ และ 3 ใบ ด้วย .....	57
3.12 พื้นที่รับลมที่เปลี่ยนไปของกังหันเซโวนีเยช 3 ใบ .....	57
3.13 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแรงบิดของกังหันลมเซโวนีเยชขนาดเล็ก [20] .....	58
3.14 ภาพเทียบกังหันแบบไม่มีชั้นและมีชั้น .....	59
3.15 ภาพเทียบกังหันรูปแบบฝาปิดสนิท และมีช่องว่าง .....	61
3.16 แรงดันอากาศที่กระทำต่อกังหันเซโวนีเยชขอบปิดสนิทด้วยความเร็วลม 5 m/s ในแนวแกน x จากขวาไปซ้าย .....	62
3.17 แรงดันอากาศต่อกังหันเซโวนีเยชขอบปิดห่าง 8 cm. ด้วยความเร็วลม 5 (m/s) ในแนวแกน x จากขวาไปซ้าย .....	63
3.18 ความเร็วลมปรากฏต่อกังหันเซโวนีเยชมีขอบปิดสนิท ความเร็วลม 5 m/s ในแนวแกน x จากขวาไปซ้าย .....	64
3.19 ความเร็วลมปรากฏต่อกังหันเซโวนีเยชมีขอบปิดห่าง 8 cm ความเร็วลม 5 m/s ในแนวแกน x จากขวาไปซ้าย .....	64
3.20 ภาพตัดรูปแบบกังหัน NACA0015 .....	65
3.21 ผลการจำลอง NACA0015 ด้วยโปรแกรม Solid work .....	66
3.22 การพิจารณาแรงที่อากาศทำต่อแพนอากาศ .....	66

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 กังหัน NACA0015 จำนวน 3 ใบ .....	68
3.24 แรงในแนวการเคลื่อนที่ของกังหัน NACA0015 จำนวน 3 ใบ .....	68
3.25 แรงในแนวรัศมีของกังหัน NACA0015 จำนวน 3 ใบ .....	69
3.26 แรงในแนวการเคลื่อนที่ของกังหัน NACA0015 จำนวน 3 ใบ .....	69
3.27 ผลการ plot 0015 ลงในสมการที่ 3.8.....	70
3.28 ผลการจำลองเพื่อสังเกตแรงดันที่การเปลี่ยนแปลงของใบกังหันทุก $15^\circ$ .....	72
3.29 แรงดันอากาศที่กระทำต่อกังหันเซโวนีเยชด้วยความเร็วลม $5 \text{ m/s}$ มีแรงกระทำที่ก่อให้เกิดแนวต้านการหมุน.....	73
3.30 ภาพเทียบการวางใบกังหันโจโรมิล NACA0015 .....	74
3.31 ภาพเทียบแรงดันที่ขึ้นหลังติดตั้งใบ NACA0015 .....	74
4.1 แสดงรูปแบบกังหันเซโวนีเยชจากมุมมองด้านบน .....	77
4.2 แสดงรูปแบบกังหันเซโวนีเยชจากมุมมองด้านบน .....	77
4.3 กราฟเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับอัตราส่วนความเร็วกังหันเทียบความเร็วลม .....	78
4.4 กราฟเทียบประสิทธิภาพการทำงานจากการคำนวณ .....	80
4.5 กราฟเทียบแรงบิดความสัมพันธ์ทางกำลังจากการคำนวณ .....	80
4.6 Savonius gradation design .....	81
4.7 รูปจำลองชุดทดสอบใบ NACA0015 4 ใบ .....	82
4.8 กราฟแสดงผลทดสอบเทียบความเร็วลมระหว่าง NACA0015 กับ Savonius gradation Design.....	82
4.9 โครงสร้างกังหันต้นแบบออกแบบร่วม .....	84
4.10 ผลการจำลองแรงดันอากาศภาพตัดขวางใบชั้นบนของ ที่ $90^\circ$ .....	84
4.11 ผลการจำลองแรงดันอากาศภาพตัดขวางใบชั้นล่างของ ที่ $90^\circ$ .....	84
4.12 ผลการจำลองแรงดันอากาศ โดยวาง NACA0015 ที่ $90^\circ$ .....	85
4.13 กราฟแสดงผลทดสอบความเร็วรอบและแรงบิดการออกแบบร่วมโดยวาง NACA0015 ที่ $90^\circ$ .....	85
4.14 ผลการจำลองแรงดันอากาศภาพตัดขวางใบชั้นบนของ ด้วยความเร็วลม $5 \text{ m/s}$ กังหันออกแบบร่วมโดยวาง NACA0015 ที่ $45^\circ$ .....	86
4.15 ผลการจำลองแรงดันอากาศภาพตัดขวางใบชั้นล่างของ ด้วยความเร็วลม $5 \text{ m/s}$ กังหันออกแบบร่วมโดยวาง NACA0015 ที่ $45^\circ$ .....	86
4.16 ผลการจำลองแรงดันอากาศ ด้วยความเร็วลม $5 \text{ m/s}$ กังหันออกแบบร่วมโดยวาง NACA0015 ที่ $45^\circ$ .....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 กราฟแสดงผลทดสอบความเร็วรอบและแรงบิด การออกแบบร่วมโดยวาง NACA0015 ที่ 45° .....	87
4.18 การเตรียมการทดลอง .....	89
4.19 ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าเทียบความเร็ว .....	90
4.20 ผลการทดลองกำลังเทียบความเร็ว .....	90
4.21 การต่อวงจรเพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า .....	91
4.22 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับชุดกังหันออกแบบร่วมบนความต้านทาน .....	92
4.23 ภาพจำลองโครงสร้างจากมุมมองด้านบน .....	94
4.24 ภาพจำลองโครงสร้างจากมุมมองด้านหน้าและด้านข้าง .....	94
4.25 ภาพจำลองโครงสร้างจากมุมมองรวม .....	95
4.26 ภาพฐานกังหันที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ร่วมกับกังหันลม .....	95



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ผลการคำนวณเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะช่องกับความกว้างของใบ.....	54
3.2 ผลการคำนวณเพื่อวิเคราะห์การวางใบกังหัน 2 ชั้น โดยทำมุมต่างกัน $90^{\circ}$ .....	60
4.1 ผลทดสอบความเร็วรอบและแรงบิดของกังหันทดสอบรูปแบบทดสอบที่ 1 และ 2 .....	77



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของคนในประเทศไทย โดยทั่วไปมนุษย์ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากสารไฮโดรคาร์บอนหรือรู้จักกันในรูปแบบของน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ โดยต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าและการใช้พลังงานจากสารดังกล่าวก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและสภาพแวดล้อมที่เป็นภัยต่อโลกและสิ่งมีชีวิตเช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สารไฮโดรคาร์บอนออกไซด์ของไนโตรเจน สารตะกั่ว ฯลฯ อีกทั้งต้นทุนการผลิตพลังงานด้วยสารไฮโดรคาร์บอนนั้นมีอยู่อย่างจำกัดบนโลกและลดลงอย่างต่อเนื่องสืบเนื่องจากการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ดังนั้นการพัฒนาแบบการผลิตพลังงานจากต้นทุนบริสุทธิ์หรือพลังงานสะอาดเพื่อทดแทนพลังงานจากต้นทุนสารไฮโดรคาร์บอนจึงเป็นที่มาของการศึกษาประโยชน์ของไบแก๊สในแนวแกนตั้งเซเวเนียซที่มีข้อได้เปรียบในด้านการใช้งานที่ไม่คำนึงถึงแนวการเข้าปะทะของของไหลและข้อได้เปรียบในด้านของแรงบิดออกตัว [1] เมื่อเทียบกับรูปแบบไบแก๊สของกังหันลักษณะอื่น ซึ่งกังหันเซเวเนียซมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้งานกับรูปแบบลมในประเทศไทย อย่างไรก็ตามจากการผลการศึกษาในอดีต กังหันลมเซเวเนียซมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานลมเป็นพลังงานจลน์เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าต่ำเนื่องจากอัตราการหมุนเทียบความเร็วลม [2] ดังนั้นการทดลองจึงกล่าวถึงการออกแบบและสร้างต้นแบบร่วมกับกังหันลมใจโรมิรูรูปแบบไบแก๊ส NACA0015 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความเร็วของการหมุนของไบแก๊สของกังหันรูปแบบแนวแกนตั้ง กล่าวคือพัฒนาอัตราส่วนความเร็วรอบการหมุนต่อความเร็วลม แต่อย่างไรก็ตามรูปแบบกังหันดังกล่าวไม่สามารถเทียบได้กับกังหันในแนวแกนนอนที่มีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนพลังงานที่สูง แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพของลมในประเทศไทยตามที่กล่าวข้างต้น ชุดกังหันดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาใช้ในประเทศ

## 1.2 การทบทวนวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง

1. ต้นทุนการผลิตพลังงานสวนทางกับการใช้พลังงานของโลกที่มีอัตราสูงขึ้น โดยน้ำมัน ถือเป็นพลังงานที่มีการใช้มากที่สุดและก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก [3]
2. พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำ (1 - 3 เมตรต่อวินาที) กังหันลมแนวแกนนอนและกังหันลมแนวแกนตั้งใจโรมิลจะยังไม่สามารถทำงานในช่วงความเร็วลมนี้ กังหันลมจะยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5 - 5 เมตรต่อวินาที แต่กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่า "cut in wind speed" ที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12 - 15 เมตรต่อวินาที [4]
3. กังหันลมเซโวนีซแนวแกนตั้ง (VAWTs) ขนาดเล็กสามารถเริ่มต้นหมุนได้ด้วยตัวเองโดยไม่คำนึงถึงทิศทางลมในแนวแกนราบ กล่าวคือไม่จำเป็นต้องมีกลไกการเปลี่ยนทิศทางรับลมของใบกังหัน ซึ่งสามารถรับพลังงานลมได้อย่างต่อเนื่องและทำงานได้ในความเร็วลมต่ำ แต่การเพิ่มจำนวนใบพัดร่วมแนวแกนหมุนส่งผลให้ประสิทธิภาพความเร็วรอบและแรงบิดลดต่ำลง [5]
4. การเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมเซโวนีซตามผลการวิเคราะห์ Reynolds นำไปสู่การพัฒนาของประสิทธิภาพกำลังและแรงบิด โดยการเพิ่มช่องถ่ายเทอากาศรวมถึงการวางใบกังหันสองชุดซ้อนเพื่อทดสอบประสิทธิภาพใบกังหันจะพบค่าสูงสุดและต่ำสุดของแรงบิดที่เกิดขึ้นในที่มุม  $60^\circ$  และ  $120^\circ$  ตามลำดับและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหมุนและแรงบิด [6], [7]
5. การศึกษาเชิงวิเคราะห์ของประสิทธิภาพอากาศพลศาสตร์ใบกังหัน 3 ใบของใจโรมิล ของรูปแบบกังหัน NACA0018, NACA0015 และ S1210 โดยการพิจารณาด้วยหลักการพลศาสตร์ของไหลในการใช้รูปแบบกังหันสมมาตรและไม่สมมาตรที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที และ 5 เมตรต่อวินาที แสดงให้เห็นถึงสัมประสิทธิ์พลังของ NACA0018 S1210 ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของการหมุนเทียบความเร็วลมเท่ากับ 3 โดย NACA0018 มีค่าสัมประสิทธิ์กำลังสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 0.4 ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที สำหรับกังหันรูปแบบ NACA0015 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาทีแต่ล้มเหลวในการรับพลังงานที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที [8]

## 1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติการทำงาน และแนวคิดของกังหันลมแนวแกนตั้ง
2. เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบกังหันลมที่เหมาะสมต่อสภาพความเร็วลมลมต่ำและแปรปรวน
3. เพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้าจากรูปแบบลมธรรมชาติในประเทศไทยด้วยชุดกังหันต้นแบบ
4. เพื่อให้เกิดแนวทางการพัฒนารูปแบบกังหันลมเซโวนีซจากการคิดวิเคราะห์และผลทดสอบ

#### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม โดยทำการสืบค้นจากรฐานข้อมูลปริญญานิพนธ์และวิทยานิพนธ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องจากในประเทศและต่างประเทศ
2. ศึกษารูปแบบลมธรรมชาติและการใช้งานพลังงานลมที่มีอยู่ในประเทศไทย
3. ศึกษาทฤษฎี แนวความคิด และวิธีการออกแบบกังหันลมแนวแกนตั้ง
4. ศึกษาทฤษฎีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับกังหันลมที่ออกแบบ
5. ออกแบบสร้างต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งขนาดเล็กโดยแนวคิดร่วมระหว่างกังหันลมเซโวนีเยซและกังหันลมใจโรมิลโดยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล Solidworks
6. การประกอบสร้างต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งออกแบบร่วม
7. ทดลองใช้ต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งขนาดเล็ก บันทึกผล และวิเคราะห์
8. สรุปผลการพัฒนาต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งขนาดเล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ลำดับขั้นตอนการทำวิจัย

การทำงาน	ปีการศึกษา 2554		ปีการศึกษา 2555		ปีการศึกษา 2556		ปีการศึกษา 2557	
	ภาคเรียนที่		ภาคเรียนที่		ภาคเรียนที่		ภาคเรียนที่	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1. ค้นคว้ามาตรฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง								
2. ศึกษารูปแบบพลังงานลม								
3. ศึกษาการทำงานของกังหันลม								
4. ออกแบบการทดลอง								
5. จัดทำข้อมูลเพื่อนำเสนอ								
6. จัดเตรียมและสร้างอุปกรณ์ชุดกังหันเพื่อทำทดสอบ								
7. ทำการทดสอบบันทึกผลการทดสอบและข้อมูลต่างๆ								
8. นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมารวบรวมและทำการวิเคราะห์								
9. สรุปผลการทดสอบ								
10. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์								



การวางแผน



การปฏิบัติงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างชุดอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าจากกังหันลมแนวแกนตั้งที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและเสียง

1. ได้ทราบถึงคุณสมบัติเด่นและด้อยของของกังหันลมแนวแกนตั้งทุกรูปแบบ
2. ได้ต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งที่เริ่มทำงานได้ในสภาพความเร็วลมต่ำ และแปรปรวน
3. ได้ทดสอบสร้างพลังงานไฟฟ้าจากรูปแบบลมธรรมชาติในประเทศไทยด้วยชุดกังหันต้นแบบ
4. ได้แนวทางการพัฒนารูปแบบกังหันลมเซโวนีชจากการคิดวิเคราะห์และผลทดสอบ
5. ได้ต้นแบบกังหันแนวแกนตั้งร่วมแนวคิดขนาดเล็กที่มีความสามารถในการรับพลังลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

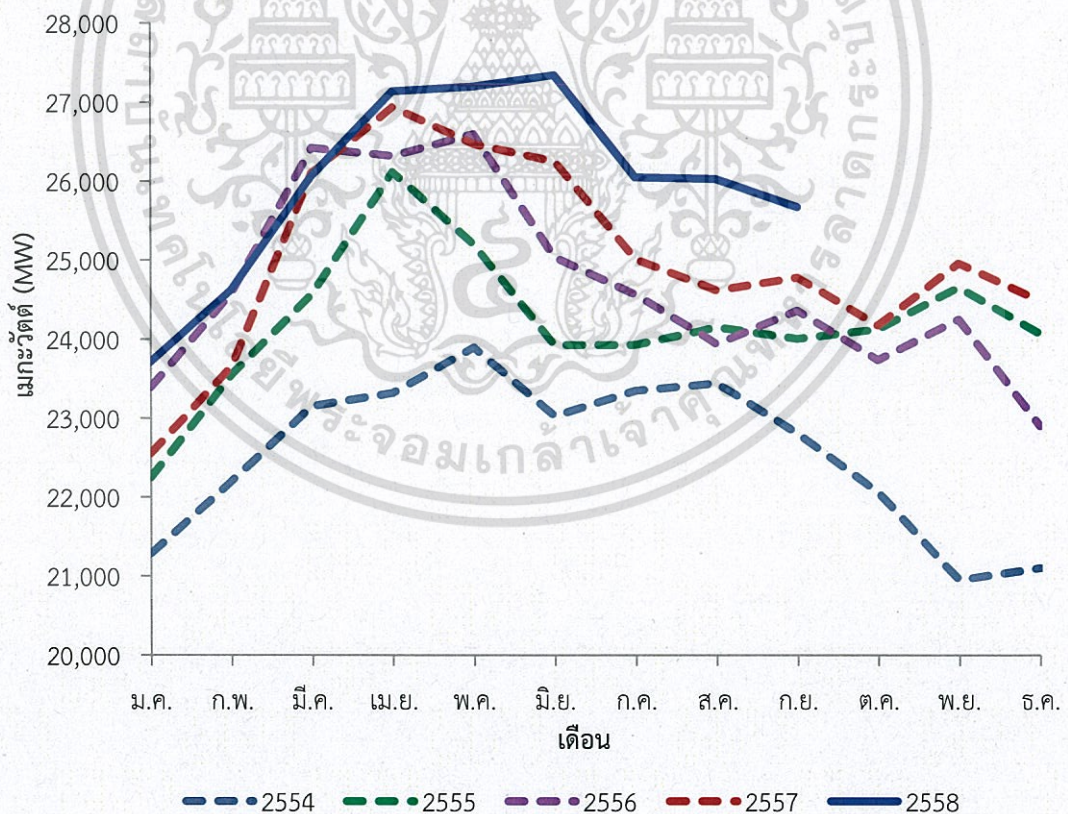
## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะนำเสนอแนวโน้มความต้องการพลังงาน ต้นทุนการผลิตพลังงาน รูปแบบลมในประเทศไทย ทฤษฎีพลังงานลม รูปแบบกังหัน และทฤษฎีกังหันลมแนวแกนตั้ง

#### 2.1 การใช้พลังงานในประเทศไทย

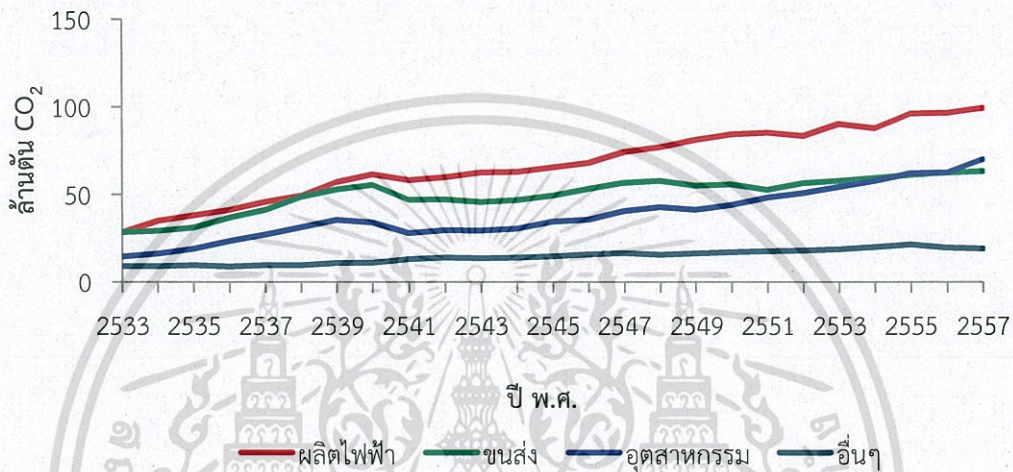
ในกลางศตวรรษที่ 20 จนถึงปัจจุบัน พลังงานหลักที่ใช้ในกิจกรรมต่างๆล้วนมาจาก น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติ แต่เนื่องจากน้ำมันถือว่าเป็นทรัพยากรที่จำกัด และมีแต่จะหมดไป ซึ่งมีการพยากรณ์ไว้ว่าประมาณ 50 ปี น้ำมันจะเป็นพลังงานราคาแพงจนไม่คุ้มที่จะเป็นพลังงานหลักในการผลิตสินค้าและพลังงานอีกต่อไป เราจึงมีความจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ที่มีราคาถูกกว่าเพื่อนำมาทดแทนการใช้น้ำมันที่มีอยู่อย่างจำกัดในธรรมชาติ [9] โดยความต้องการการใช้พลังงานมีเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปีสามมารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดสุทธิในประเทศไทยของระบบ กฟผ. [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

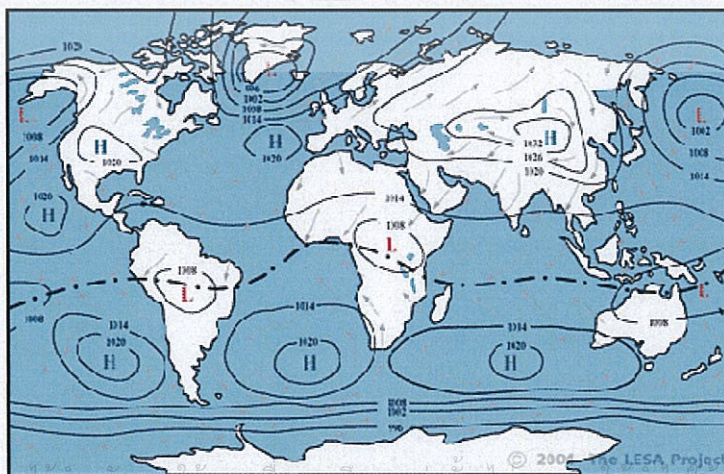
จากข้อมูลข้างต้นที่ได้จากกองสารสนเทศฝ่ายสื่อสารของกรไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนในการบริโภคพลังงานจากผลผลิตปิโตรเลียมมากถึงร้อยละ 66 ต่อปี ซึ่งผลจากการสำรวจมลพิษทางอากาศในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศของโลกได้อย่างชัดเจน ดังนั้นการมองหาและใช้พลังงานทางเลือกจากพลังงาน บริสุทธิ์ไม่เพียงช่วยลดการนำเข้าเชื้อเพลิงหรือพัฒนาความเหมาะสมของอุปกรณ์เพื่อพัฒนาใช้ในประเทศ แต่ยังเป็นการช่วยลดอัตราการสร้างมลพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตโดยรวมบนโลกอีกด้วย



รูปที่ 2.2 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดสุทธิในประเทศไทยของระบบ กฟผ. [9]

### 2.2 พลังงานลม

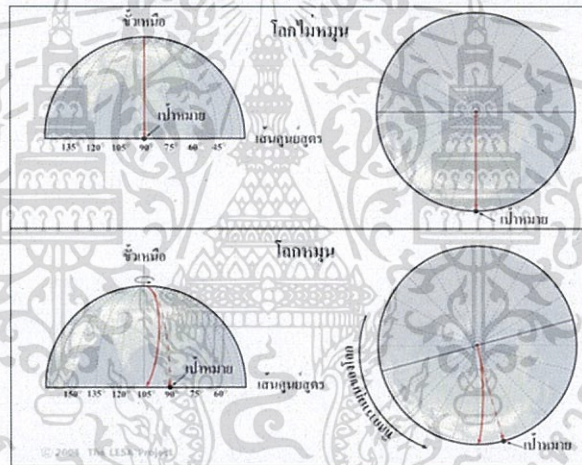
ลมเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลในอากาศและเป็นต้นกำเนิดของคลื่นน้ำทะเล การเคลื่อนที่ของโมเลกุลในอากาศมีผลสืบเนื่องจาก ความแตกต่างของอุณหภูมิสองแห่ง หรือความแตกต่างของความกดอากาศสองแห่ง โดยลมจะพัดจากบริเวณที่มีความกดอากาศสูงเข้าสู่บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ โดยกระแสการไหลของลมจะหยุดเมื่อความดันของสองจุดมีค่าเท่ากัน แต่การไหลของลมจะเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากปรากฏการณ์ โคริโอลิส (Coriolis) [10]



### รูปที่ 2.3 แผนที่อากาศ [10]

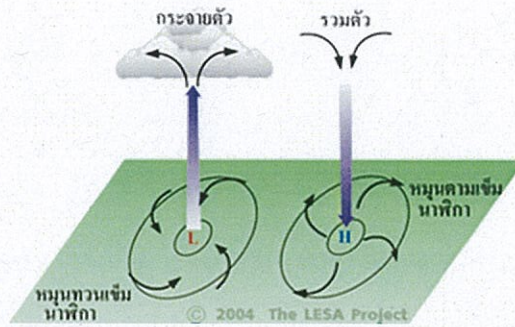
ลมหรือกระแสอากาศในแนวราบ เกิดขึ้นจากอากาศเย็นในห่อมความกดอากาศสูง (H) เคลื่อนที่มาแทนที่อากาศร้อนในห่อมความกดอากาศต่ำ (L) แต่หากเราพิจารณาเครื่องหมายลูกศร ซึ่งแสดงถึงทิศทางของลมในแผนที่อากาศในรูปที่ 2.3 จะเห็นว่า กระแสลมเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง ทั้งนี้ โดยมีสาเหตุเนื่องมาจากแรงโคริออริส

แรงโคริออริส เป็นแรงเสมือนซึ่งเกิดจากการที่โลกหมุนรอบตัวเองดังรูปที่ 2.4 ด้านบนแสดงให้เห็นว่า หากโลกไม่หมุนรอบตัวเอง การยิงจรวดจากขั้วโลกเหนือไปยังเป้าหมายซึ่งอยู่บนตำแหน่งที่เส้นศูนย์สูตรตัดกับเส้นแวงที่  $90^\circ$  จะได้วิถีของจรวดเป็นเส้นตรง โดยสมมุติให้จรวดใช้เวลาเดินทางจากจุดปล่อยไปยังเป้าหมายใช้เวลาเดินทาง 1 ชั่วโมง รูปที่ 2.4 ด้านล่างอธิบายการเกิดแรงโคริออริส เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบใช้เวลา 24 ชั่วโมง เมื่อเวลาผ่านไปหนึ่งชั่วโมง นับตั้งแต่จรวดถูกปล่อยออกจากจุดปล่อยไปยังเป้าหมาย การหมุนของโลกทำให้วิถีของจรวดเป็นเส้นโค้งและเคลื่อนไปตกบนเส้นแวงที่  $105^\circ$  เนื่องจากหนึ่งชั่วโมงโลกหมุนไปได้  $15^\circ$  ( $105^\circ - 90^\circ = 15^\circ$ )



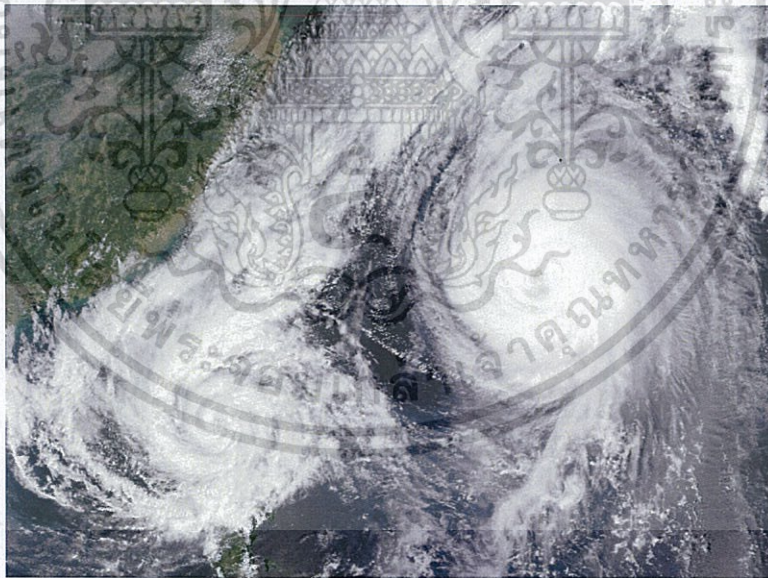
รูปที่ 2.4 แรงโคริออริส [10]

แรงโคริออริสไม่มีอิทธิพลต่อกระแสลมที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร แต่จะมีอิทธิพลมากขึ้นในละติจูดสูงเข้าใกล้ขั้วโลก แรงโคริออริสทำให้ลมในซีกโลกเหนือเบี่ยงเบนไปทางขวา และทำให้ลมในซีกโลกใต้เบี่ยงเบนไปทางซ้ายของ รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึง ในบริเวณซีกโลกเหนือ แรงโคริออริสทำให้มวลอากาศรอบห่อมความกดอากาศต่ำ หรือ “ไซโคลน (Cyclone)” หมุนตัวทวนเข็มนาฬิกาเข้าสู่ศูนย์กลาง และมวลอากาศรอบห่อมความกดอากาศสูง หรือ “แอนติไซโคลน (Anticyclone)” หมุนตัวตามเข็มนาฬิกาออกจากศูนย์กลาง ในบริเวณซีกโลกใต้ “ไซโคลน” จะหมุนตัวตามเข็มนาฬิกา และ “แอนติไซโคลน” จะหมุนตัวทวนเข็มนาฬิกา ตรงกันข้ามกับซีกโลกเหนือดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ไซโคลน และ แอนติไซโคลน ในซีกโลกเหนือ [10]

เมื่อเราเปรียบเทียบแผนที่อากาศกับภาพถ่ายดาวเทียม จะเห็นว่าบริเวณหย่อมความกดอากาศต่ำ ซึ่งมีเส้นไอโซบาร์อยู่ชิดติดกันในแผนที่อากาศ จะเป็นพายุหมุนซึ่งเต็มไปด้วยเมฆสีขาวในภาพถ่ายดาวเทียม เมฆเหล่านี้เกิดจากอากาศยกตัวแล้วควบแน่นเป็นหยดน้ำจึงปรากฏตัวให้เห็น ส่วนบริเวณที่เป็นหย่อมความกดอากาศสูง ในแผนที่อากาศ รูปที่ 2.3 จะเป็นท้องฟ้าใสไร้เมฆในภาพถ่ายดาวเทียม ส่วนรูปที่ 2.6 เป็นพายุไต้ฝุ่นฝาแฝด (Twin Typhoon) ซึ่งเกิดจากหย่อมความกดอากาศต่ำสองหย่อมในบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตอนเหนือ เกิดขึ้นจากน้ำในมหาสมุทรได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์แล้วระเหยเป็นไอน้ำ ลอยยกตัวขึ้นแล้วควบแน่นกลายเป็นเมฆ แรงโคริโอลิสทำให้กระแสอากาศภายในก่อนเมฆบิดตัวในทิศทวนเข็มนาฬิกาถือเป็นพายุหมุน



รูปที่ 2.6 พายุไต้ฝุ่นฝาแฝด [10]

## 2.2.1 ลมสำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

### 2.2.1.1 ลมมรสุม (Monsoon)

ลมมรสุมเป็นลมที่พัดประจำฤดูพบได้เฉพาะท้องถิ่นหนึ่งๆ มีบริเวณกว้างและเป็นลมที่พัดเป็นเวลาแน่นอนตลอดฤดูของทุกปีจึงก่อให้เกิดลมประจำฤดู

ลมมรสุมแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ลมมรสุมฤดูร้อนและลมมรสุมฤดูหนาว

(1) ลมมรสุมฤดูร้อน เป็นลมที่พัดจากทะเลเข้าสู่พื้นดิน เกิดขึ้นในฤดูร้อน ลมมรสุมฤดูร้อนจะนำความชุ่มชื้นหรือฝนจากทะเลมาสู่แผ่นดิน ในโซนทวีปเอเชียเรียกลมมรสุมชนิดนี้ว่า ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยจะพัดอยู่นาน 6 เดือน ระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนกันยายน

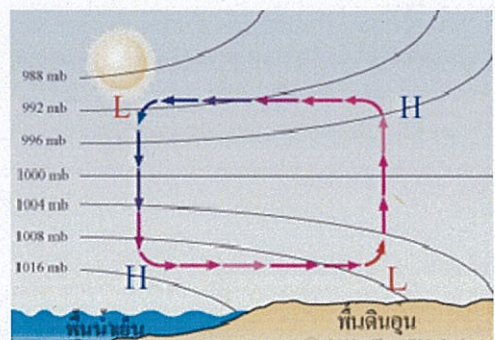
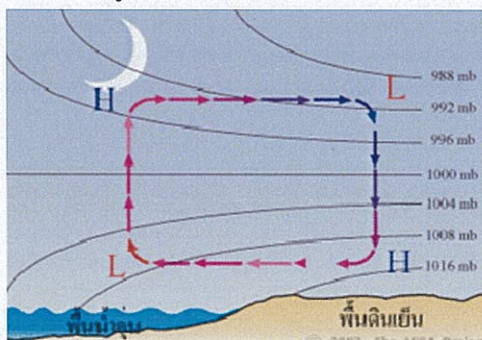
(2) ลมมรสุมฤดูหนาว เป็นลมที่พัดจากใจกลางของทวีปที่มีความกดอากาศสูงไปสู่ทะเลหรือบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ เป็นลมที่นำความหนาวเย็นและความแห้งแล้งมา เรียกว่า ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจะพัดอยู่นาน 6 เดือน ระหว่างเดือน ตุลาคม ถึง เดือน มีนาคม

### 2.2.1.2 ลมประจำถิ่น

ลมประจำถิ่น เป็นลมที่เกิดขึ้นในท้องถิ่น สืบเนื่องจากอิทธิพลความเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศและภูมิประเทศแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆได้เป็น ลมทะเลและลมบก เป็นลมประจำถิ่น ซึ่งเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างทะเลกับพื้นแผ่นดิน

(1) ลมทะเล (Sea Breeze) ในเวลากลางวันเมื่อพื้นดินได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นดินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะขยายตัวลอยขึ้นสู่เบื้องบน กล่าวคือ ความกดอากาศต่ำ อากาศเหนือพื้นน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่ากล่าวคือ ความกดอากาศสูง ก็จะไหลเข้ามาแทนที่ เกิดลมทะเลพัดเข้าหาชายฝั่ง เรียกว่า ลมทะเล ดังรูปที่ 2.7 (ขวา)

(2) ลมบก (Land Breeze) ในเวลากลางคืนเมื่อพื้นดินคายความร้อนโดยการแผ่รังสีออกมาและจะคายความร้อนออกได้เร็วกว่าพื้นน้ำ ทำให้พื้นดินมีอุณหภูมิต่ำ (ความกดอากาศสูง) กว่าพื้นน้ำอากาศเหนือพื้นน้ำซึ่งร้อน (ความกดอากาศต่ำ) กว่าจึงลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน อากาศเหนือพื้นดินซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่ เกิดเป็นลมที่พัดจากฝั่งไปสู่ทะเลจึงเรียกลมประเภทนี้ว่า ลมบก ดังรูปที่ 2.7 (ซ้าย)



รูปที่ 2.7 แสดงภาพการเกิดลมบกและลมทะเล [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงนโยบายเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1.3 ลมหุบเขาและลมภูเขา

ลมหุบเขาและลมภูเขาเป็นลมประจำท้องถิ่นที่เกิดขึ้นเอง สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท

(1) ลมหุบเขา (Valley Breeze) ในเวลากลางวันอากาศตามไหล่เขาได้รับความร้อนเต็มที่ จะมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ลาดหุบเขาจึงลอยขึ้นสูงหรือความกดอากาศต่ำ ส่วนอากาศที่อยู่ด้านล่างมีอุณหภูมิต่ำหรือความกดอากาศสูงกว่าจะเข้าแทนที่ ทำให้มีลมเย็นจากหุบเขาพัดไปตามลาดเขา ขึ้นสู่ด้านบนดังรูปที่ 2.8 (ซ้าย)

(2) ลมภูเขา (Mountain Breeze) ในเวลากลางคืน อากาศตามไหล่เขาและลาดเขาจะลดอุณหภูมิลงจนต่ำหรือความกดตันสูง อากาศตามหุบเขามีอุณหภูมิสูงกว่าหรือความกดตันต่ำจะลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน อากาศที่ที่มีอุณหภูมิต่ำและหนักกว่าบริเวณใกล้เคียงจึงไหลเข้ามาแทนที่ ทำให้ลมพัดตามลาดเขาลงสู่หุบเขา ดังรูปที่ 2.8 (ขวา)



รูปที่ 2.8 แสดงภาพลมหุบเขา(ซ้าย) และ ลมภูเขา(ขวา)

(3) ลมตะเภา เป็นลมท้องถิ่นในประเทศไทย โดยลมที่พัดมาจากทางทิศใต้ไปยังทิศเหนือคือ พัดจากอ่าวไทยเข้าสู่ภาคกลางตอนล่าง ในเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะเปลี่ยนเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้เป็นลมที่นำความชื้นมาสู่ภาคกลางตอนล่าง โดยในสมัยโบราณลมนี้อาจพัดเรือสำเภาเข้ามาค้าขายให้แล่นไปตามแม่น้ำเจ้าพระยา

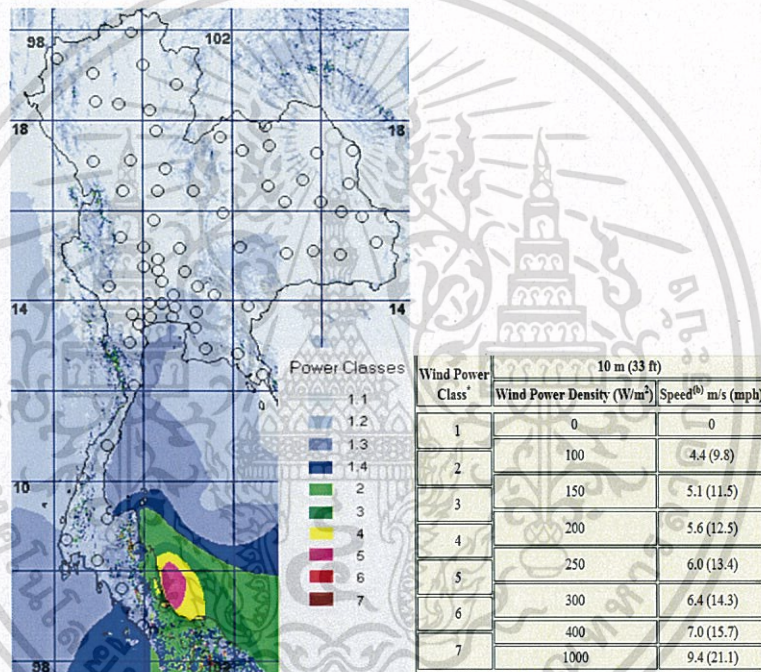
(4) ลมว่าว เป็นลมที่พัดจากทางทิศเหนือไปยังทางทิศใต้จะเกิดขึ้นในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน เป็นลมเย็นที่พัดมาตามลำแม่น้ำเจ้าพระยาและพัดในช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าลมข้าวเบากำลังออกรวง

(5) ลมพื้นผิว เป็นลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดินซึ่งเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศ และมีแรงฝัดอันเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางร่วมกระทำด้วย

## 2.2.2 การใช้พลังงานลมในประเทศไทย

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและจ่ายเข้าระบบสายส่งในปริมาณที่น้อยมากหากเทียบกับแหล่งพลังงานอื่นๆ โดยมีการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 150 กิโลวัตต์ซึ่งผลิตโดยบริษัทนอร์ดเทค ประเทศเดนมาร์ก ในพื้นที่สถานีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ณ แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 เพื่อสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์

อิทธิพลของลมที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ประเทศไทยแบ่งทิศทางของลมออกได้เป็น ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือน พฤศจิกายน – เมษายน และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเดือน พฤษภาคม–ตุลาคม ดังรูปที่ 2.9 [12]



รูปที่ 2.9 ลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้เก็บข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยที่ในสถานีผลิตกระแสไฟฟ้า 3 แห่งได้ดังนี้

1. ที่แหลมพรหมเทพจังหวัดภูเก็ตประมาณ 5 เมตรต่อวินาที
2. ที่อ่างพักน้ำตอนบนลำตะคลองจังหวัดนครราชสีมาประมาณ 6 เมตรต่อวินาที
3. ที่อ่าวไผ่จังหวัดชลบุรีประมาณ 5 เมตรต่อวินาที

## 2.3 ทฤษฎีพลังงานลม

พลังงานของลมถูกมองอยู่ในแนวความคิดของหลักจลนศาสตร์และสามารถคำนวณได้จากครึ่งเท่าของมวลของความเร็วลมยกกำลังสองดังสมการที่ 2.1

$$P_w = \frac{1}{2} m V^2 \quad (2.1)$$

เมื่อ	$P_w$	คือพลังงานจลน์ (Kinetic Energy)	(Watt)
	$m$	คือมวลของของไหล	(kg)
	$V$	คือความเร็วของลมที่พัดผ่าน	(m/s)

โดยปริมาณมวลของอากาศที่พัดผ่านคำนวณได้จากนิยามความหนาแน่นพื้นฐานที่แปรผันตามมวลเทียบอัตราส่วนกับปริมาตรดังสมการที่ 2.2

$$\rho = \frac{m}{AV} \quad \text{หรือ} \quad m = \rho AV \quad (2.2)$$

เมื่อ	$\rho$	คือความหนาแน่นของอากาศ 1.225	(kg/m <sup>3</sup> )
	$m$	คือมวลของของไหล	(kg)
	$A$	คือพื้นที่หน้าตัดของจุดสังเกต	(m <sup>2</sup> )
	$V$	คือความเร็วของอากาศ	(m/s)

ดังนั้นเมื่อแทนสมการที่ 2.2 ลงในสมการที่ 2.1 จะได้พลังงานจลน์ดังสมการที่ 2.3

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V V^2$$

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.3)$$

เมื่อ	$P_w$	คือพลังงานจลน์	(Watt)
	$m$	คือมวลของของไหล(ลม)	(kg)
	$V$	คือความเร็วของลมที่พัดผ่าน	(m/s)

## 2.4 รูปแบบกังหันลม

กังหันลมคือเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมเป็นพลังงานกล และในปัจจุบันกังหันลมสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดวางแกนของใบกังหันได้ 2 รูปแบบ คือ

### 2.4.1 กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน

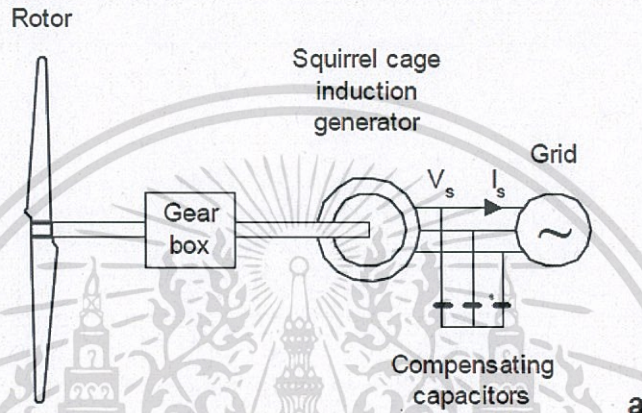
กังหันลมที่มีแกนเพลลาอยู่ในแนวนอน (horizontal-axis type wind turbine, HAWT) วางตัวอยู่ในทิศขนานกับพื้นผิวโลก โดยมีใบตังฉากกับแรงลมดังรูปที่ 2.10 กังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการนำมาใช้งานในปัจจุบันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูง แต่ต้องติดตั้งบนเสาที่มีความสูงเพื่อรับลมที่ความเร็วมากกว่า 8 เมตรต่อวินาที พร้อมชุดควบคุมทิศทางหันรับลม โดยกังหันลมแนวแกนนอนสามารถจำแนกการทำงานตามรูปแบบของลมได้ทั้งหมด 3 รูปแบบ แต่อย่างไรก็ตามการใช้กังหันลมแนวแกนนอนกับภูมิภาคที่มีความเร็วลมต่ำและแปรปรวนจึงไม่เหมาะสม สืบเนื่องจากพลังงานไม่มากพอเพื่อเริ่มหมุนหรือหันรับลม



รูปที่ 2.10 กังหันแนวแกนนอน

#### 2.4.1.1 กังหันลมแบบความเร็วคงที่ (Fixed speed turbine)

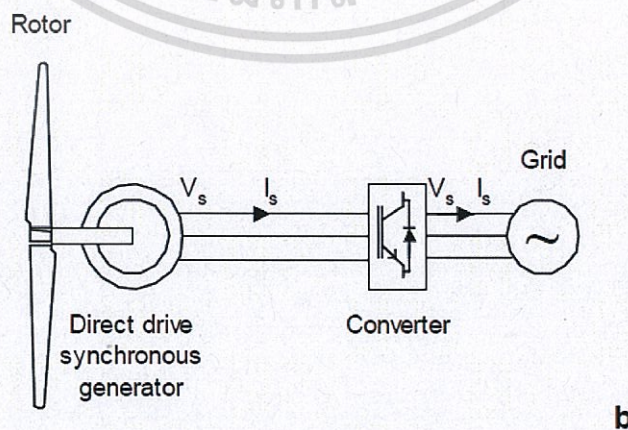
กังหันลมชนิดแบบความเร็วคงที่ประกอบด้วย ใบกังหัน ชุดเกียร์เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแสดงดังรูปที่ 2.11 ชุดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ากับระบบสายส่ง และเนื่องจากรูปแบบอุปกรณ์นี้มีค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่คงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่า 1 - 2% โดยประมาณ ดังนั้นจึงเรียกกังหันลมที่มีชุดอุปกรณ์รูปแบบดังกล่าวว่าแบบความเร็วคงที่



รูปที่ 2.11 กังหันลมแบบความเร็วคงที่

#### 2.4.1.2 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (Variable speed turbine)

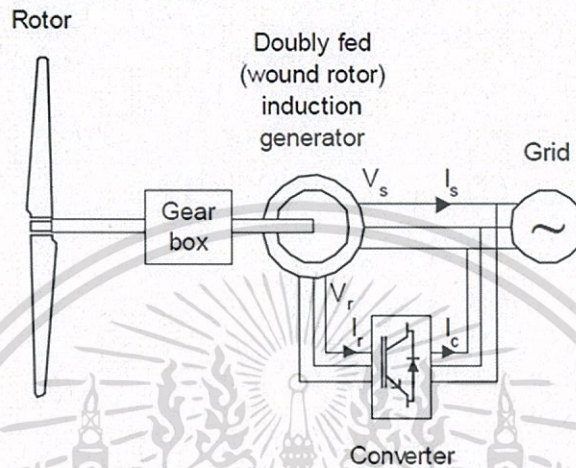
กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ประกอบด้วย ใบกังหัน ชุดเกียร์เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบบดับเบิลเฟด (Double fed induction generator) ดังรูปที่ 2.12 ชุดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ากับระบบสายส่ง กังหันลมชนิดนี้สามารถควบคุมความเร็วได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วรอบและความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้



รูปที่ 2.12 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่

### 2.4.1.3 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (Variable speed with direct drive)

กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรงประกอบด้วย ใบกังหัน ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซิงโครนัสโดยตรงและมีอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับการควบคุมความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ต่อตรงแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ต่อตรง

### 2.4.1.4 ส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนนอน

กังหันลมโดยทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ คือ ใบกังหัน ระบบถ่ายทอดกำลังจากใบกังหัน ชุดควบคุมการบังคับทิศทางของใบกังหันและเสาหรือหอคอย อย่างไรก็ตามในสายรายละเอียดของส่วนประกอบของกังหันลมจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของกังหันลมนั้น

ส่วนประกอบสำคัญของระบบกังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าดังรูปที่ 2.14

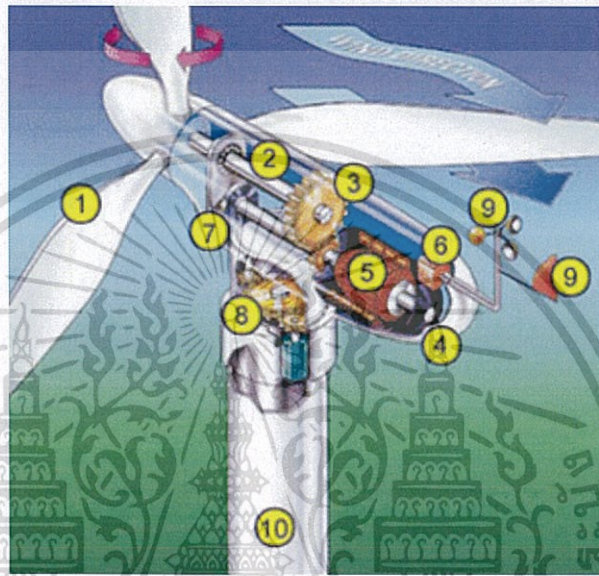
- (1) ใบกังหัน มีหน้าที่เป็นตัวรับพลังลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล ซึ่งยึดติดกับชุดแกนหมุนและส่งแรงจากแกนหมุนไปยังเพลาแกนหมุน
- (2) เพลาแกนหมุน มีหน้าที่รับแรงจากแกนหมุนใบกังหันและส่งผ่านระบบกำลังเพื่อหมุนและปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- (3) ห้องส่งกำลัง มีหน้าที่เป็นระบบปรับเปลี่ยนและควบคุมความเร็วในการหมุน ระหว่างเพลาแกนหมุนกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- (4) ห้องเครื่อง มีหน้าที่ใช้บรรจุระบบต่างๆ ของกังหันลม เช่น ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เบรก และระบบควบคุม
- (5) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า
- (6) ระบบควบคุมไฟฟ้า มีหน้าที่ควบคุมการทำงานและจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ
- (7) ระบบเบรก มีหน้าที่ควบคุมการหยุดหมุนของใบกังหันและเพลาแกนหมุนของกังหัน

เมื่อได้รับความเร็วลมเกินความสามารถของกังหันที่จะรับได้ และเพื่อความปลอดภัยในระหว่างการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (8) แกนคอกหมุนรับทิศทางลม มีหน้าที่ควบคุมการหมุนห้องเครื่องเพื่อให้ใบกังหันรับทิศทางลมโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อให้มีความสัมพันธ์กับหางเสือรับทิศทางลมที่อยู่ด้านบนของเครื่อง
- (9) เครื่องวัดความเร็วลมและทิศทางลม มีหน้าที่ชี้ขนาดของความเร็วและทิศทางของลมเพื่อที่คอมพิวเตอร์จะได้ควบคุมกลไกอื่นๆ ได้ถูกต้อง
- (10) เสา มีหน้าที่แบกรับส่วนที่เป็นตัวเครื่องที่อยู่ข้างบน



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของกังหันลมในการผลิตไฟฟ้า

หลักการการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือเมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบกังหันของกังหันเกิดการหมุนและได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลมทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า ทั้งนี้ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม, ความยาวของใบกังหัน และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

### 2.4.2 กังหันลมที่มีแกนเพลายูในแนวตั้ง

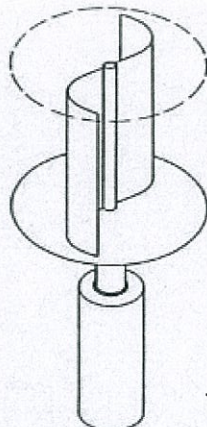
เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของลมดังรูปที่ 2.15 ซึ่งสามารถรับลมได้ทุกทิศทางและติดตั้งอยู่ในระดับต่ำได้ กังหันลมรูปแบบแนวแกนตั้งเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อของ “กังหันลมใจโรมิอิล” ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1920 ข้อดีของกังหันลมแนวตั้งคือสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง มีชุดปรับความเร็ว และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถติดตั้งอยู่ที่ระดับพื้นล่างได้ นอกจากนี้ตัวเสาของกังหันลมยังไม่สูงมากนัก แต่มีข้อเสียเปรียบทางด้านประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับกังหันลมแนวแกนนอน

#### ○ ข้อดีของกังหันลมแนวแกนตั้ง

- บำรุงรักษาง่าย เพราะชิ้นส่วนอุปกรณ์ติดตั้งใกล้พื้นดิน
- แกนใบกังหันอยู่ในแนวตั้ง ไม่จำเป็นต้องมีหางเสือปรับทิศทาง
- วัสดุเนื้อขึ้นกว่าแกนนอน สามารถที่จะเคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่าย น้ำหนักเบา

#### ○ ข้อเสียของกังหันลมแนวแกนตั้ง

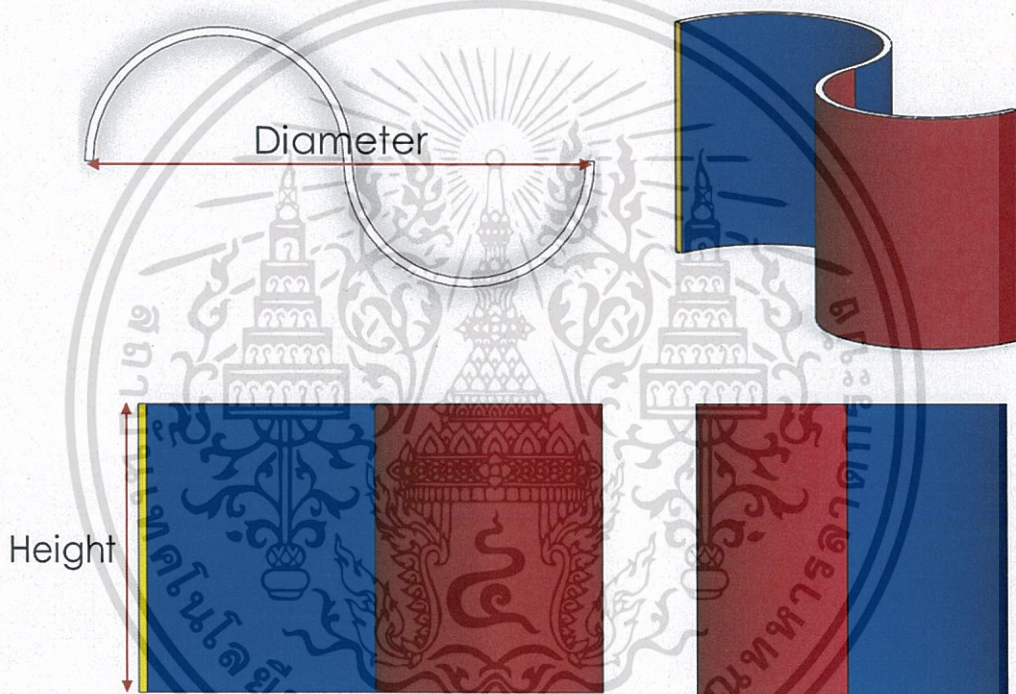
- สถานที่ติดตั้งต้องเป็นพื้นที่ราบเท่านั้น
- กังหันลมแนวแกนตั้งรูปแบบแตรรี่จะต้องมีเชือกผูกโยงเพื่อความแข็งแรง
- ประสิทธิภาพด้อยกว่าเมื่อเทียบกับกังหันลมแนวแกนนอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในกิจการศึกษาระดับปริญญาตรีเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.15 กังหันลมแนวแกนตั้งในปัจจุบัน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2.1 กังหันลมเซโวเนียซ (Savonius Wind Turbine)

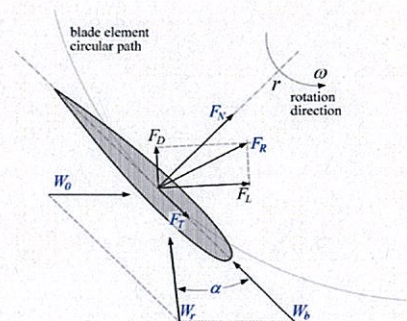
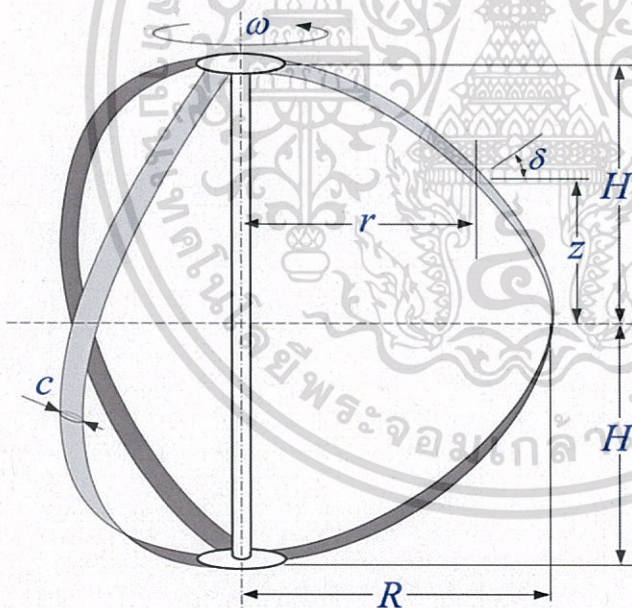
กังหันลมเซโวเนียซเป็นหนึ่งในกังหันลมแนวแกนตั้งอันดับต้นๆที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นด้วยแนวคิด Drag Device, High solidity ครั้งแรกในปี ค.ศ.1922 โดยวิศวกรชาวเยอรมันชื่อ ซิกการ์ด โจฮานเนส เซโวเนียซ (Sigurd Johannes Savonius) ร่วมกับบริษัทแห่งหนึ่ง แต่ โยฮันน์ เอิร์น อีเลียส เบสเรอ (Johann Ernst Elias Bessler) ได้นำมาพัฒนาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1745 ในรูปแบบของกังหันลมในแนวแกนนอนที่เมืองเฟอร์สเทินเบิร์ก (Fürstenburg) แต่ในปัจจุบันไม่นิยมนำมาพัฒนาและใช้กับงานด้านการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากรูปแบบของตัวกังหันชนิดนี้สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมให้เป็นพลังงานกลได้สูงสุดเพียง 15% โดยมีแผนผังโครงสร้างดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แผนผังโครงสร้างของกังหันลมเซโวเนียซต้นกำเนิด

#### 2.4.2.2 กังหันลมแดร์เรียส (Darrieus Turbine)

กังหันลมแดร์เรียสและโจโรมิลเป็นหนึ่งในกังหันลมแนวแกนตั้ง ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นด้วยแนวคิด Lift Device, Low solidity ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1931 โดยวิศวกรการบินชาวฝรั่งเศสชื่อ จอร์จ ฌอง มารี แดร์เรียส (Georges Jean Marie Darrieus) โดยมีแนวความคิดด้วยการวางแนวแกนเพลลาในแนวแกนตั้งซึ่งต่างออกไปจากรูปแบบแนวแกนเพลลาของกังหันผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1927 และกังหันลมแดร์เรียสดังกล่าวยังเป็นกังหันลมแนวแกนตั้งที่พบได้มากในรัฐแคลิฟอร์เนียโดยบริษัท โพลวินด์ โคโอเปอร์เรชั่น โดยหลักการหมุนของกังหันแนวแกนตั้งชนิดนี้เป็นแนวคิดการวิ่งเข้าหาอากาศของใบกังหันโดยคำนึงถึงความเร็วลมที่ผ่านใบกังหันสูงขึ้นเมื่อมีการเดินทางส่วนกันระหว่างลมเทียบกับใบกังหันและเกิดความแตกต่างเชิงมุมของใบกังหัน (Angle of attack to the blade) ซึ่งความแตกต่างของมุมดังกล่าวก่อให้เกิดแรงผ่านในแนวแกนเพลลาเชิงบวกจึงช่วยให้กังหันลมแดร์เรียสสามารถหมุนได้เสมือนกังหันโจโรและใบกังหันของเฮลิคอปเตอร์ที่มีประสิทธิภาพของกำลังอยู่ที่ประมาณ 0.3 และสามารถทำความเร็วได้สูงกว่าความเร็วลมโดยแรงบิดและความเร็วมีความน่าสนใจในการนำมาพัฒนาเพื่อผลิตไฟฟ้าโดยมีแผนผังโครงสร้างดังรูปที่ 2.17

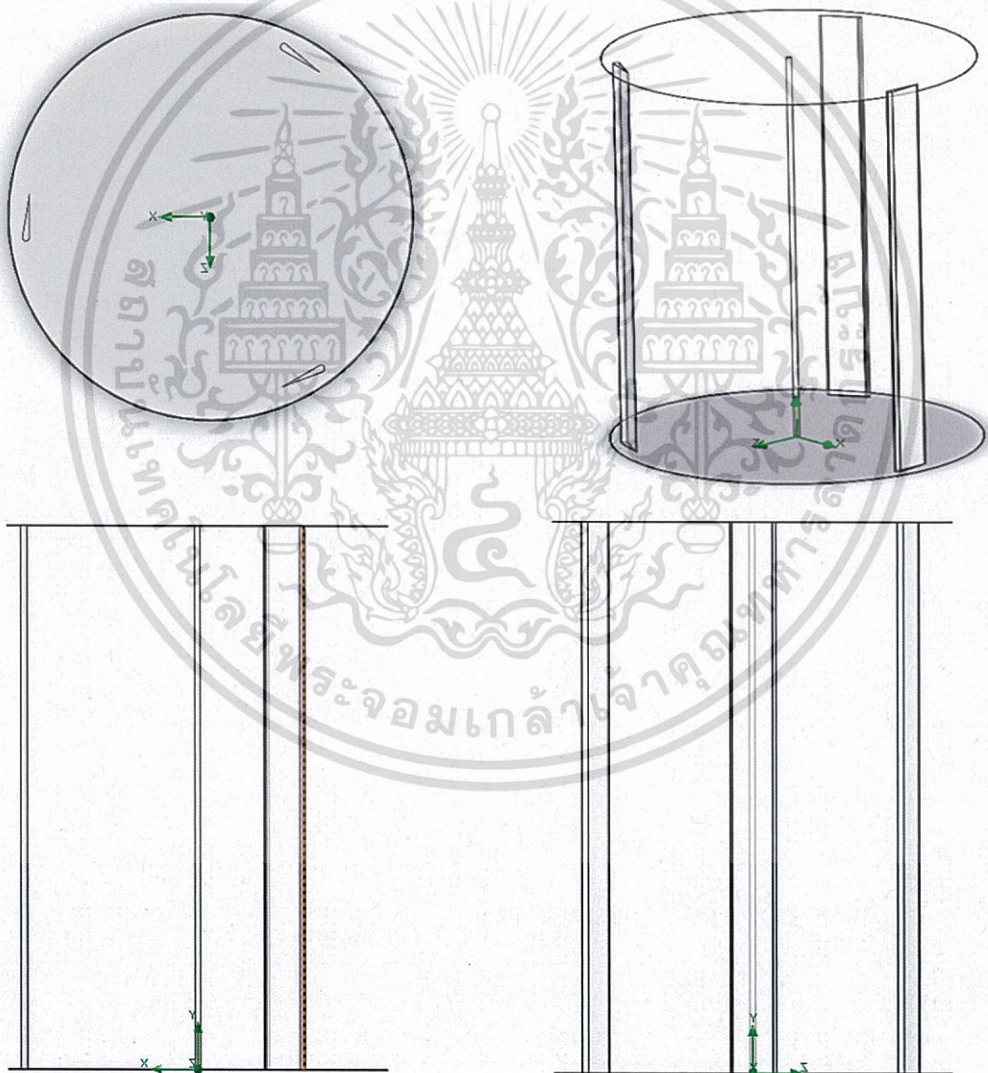


รูปที่ 2.17 แผนผังโครงสร้างของกังหันลมแดร์เรียส [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2.3 กังหันลมใจโรมิล (Giromill Turbine)

กังหันลมใจโรมิล เป็นกังหันลมที่มีแนวแกนเพลลาอยู่ในแนวแกนตั้งและมีลักษณะใบตรง (The straight-bladed wind Turbine) หรือ H-Rotor ถูกพัฒนาขึ้นโดยวิศวกรการบินชาวฝรั่งเศสชื่อ จอร์จ ฌอง มารี แตร์เรียส ในปี ค.ศ. 1927 ซึ่งเป็นผู้ออกแบบกังหันลมแตร์เรียส ลักษณะและแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบโดยรวมมีความคล้ายคลึงกับกังหันลมแตร์เรียสแต่ต่างกันที่ใบมีลักษณะตรง สืบเนื่องเพราะการออกแบบและสร้างใบกังหันสามารถทำได้ง่ายแต่ส่งผลให้ใบกังหันต้องการความแข็งแรงมากกว่า ดังนั้นกังหันลมใจโรมิลจึงมีประสิทธิภาพต่ำกว่ากังหันลมแตร์เรียสและยังต้องการชุดมอเตอร์ในการเริ่มออกตัว แต่กลับสามารถทำงานได้ดีในพื้นที่ที่มีการไหลของอากาศแปรปรวนโดยมีแผนผังโครงสร้างดังรูปที่ 2.18 [12][13][14]

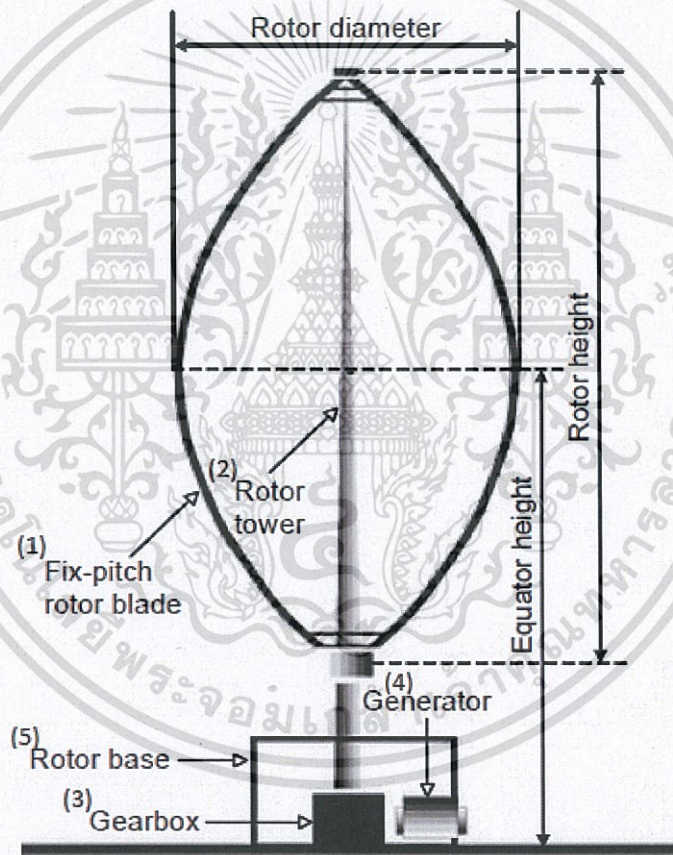


รูปที่ 2.18 แผนผังโครงสร้างของกังหันลมใจโรมิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2.3 ส่วนประกอบสำคัญของกังหันลมแนวแกนตั้งดังรูปที่ 2.19

- (1) ใบกังหัน มีหน้าที่รับพลังลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล ซึ่งยึดติดกับชุดแกนหมุนและส่งแรงจากแกนหมุนไปยังเพลลาแกนหมุน
- (2) เพลลาแกนหมุน มีหน้าที่รับแรงจากแกนหมุนใบกังหันในแนวแกนตั้งและส่งผ่านระบบกำลังเพื่อส่งต่อไปยังห้อง
- (3) ห้องส่งกำลัง มีหน้าที่ปรับเปลี่ยนและควบคุมความเร็วในการหมุน ระหว่างเพลลาแกนหมุนกับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- (4) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า
- (5) ฐาน มีหน้าที่แบกรับส่วนที่เป็นตัวเครื่องที่อยู่ข้างบน



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของกังหันลมแนวแกนตั้ง

## 2.5 ทฤษฎีพลังงานกังหันลมเซโวนีเยซ

เนื่องจากกังหันลมเซโวนีเยซเป็นกังหันที่ผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบโดยหลักการการเข้าปะทะของอากาศเป็นแนวคิดหลักดังนั้นลักษณะและรายละเอียดการทำงานของกังหันดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 4 ประการคือ ความเร็วลม ความกว้างของใบกังหัน ความสูงของใบกังหัน และรูปแบบฐานติดตั้งกังหัน

### 1. ปัจจัยความเร็วลม

ความเร็วลมเป็นสิ่งสำคัญอันดับแรกสำหรับการออกแบบกังหันเพราะถือได้ว่าเป็นต้นทุนในการผลิตพลังงานหรือเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนชุดกังหันให้สามารถทำงานได้ โดยเป็นปัจจัยหลักในการสร้างแรงผลักดันที่ใบกังหันจนเกิดความไม่สมดุลและหมุนเพลาเพื่อส่งพลังงานผ่านแกนเพลาไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าต่อไป

### 2. ปัจจัยความกว้างของใบกังหัน

ความกว้างของใบกังหันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเพราะความกว้างของใบกังหันเป็นส่วนโดยตรงกับพื้นที่รับลม กล่าวคือใบกังหันที่มีขนาดใหญ่กว่าก็จะสามารถรับพลังงานจากการพัดผ่านของลมได้ดีกว่าขนาดใบกังหันที่เล็กกว่า ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลต่อแรงบิดที่แกนเพลาสูงกว่าใบกังหันขนาดเล็กอีกด้วย

### 3. ปัจจัยความสูงของใบกังหัน

ความสูงของใบกังหันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและสอดคล้องกับความกว้างของใบกังหันดังกล่าวข้างต้นในข้อที่ 2 เพราะเป็นปัจจัยที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่รับลมและแสดงให้เห็นได้ชัดถึงความจริงที่ว่าความสูงของใบกังหันที่มากขึ้นจะสามารถตอบสนองต่อความเร็วลมได้ดีกว่า กล่าวคือใบกังหันสามารถหมุนได้เร็วขึ้น

### 4. ปัจจัยฐานติดตั้งกังหัน

ฐานการติดตั้งกังหันเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ไม่สามารถมองข้ามได้เพราะนอกจากจะต้องรับน้ำหนักของชุดกังหันแล้วฐานยังต้องรับภาระที่แรงเกิดจากการลากที่เกิดจากลมอีกด้วย ดังนั้นถ้าฐานติดตั้งมีความอ่อนแอจะส่งผลให้ชุดกังหันไม่สามารถรักษาแนวแกนไว้ได้ซึ่งประสิทธิภาพที่จะด้อยลงไปเมื่อสิ่งเหล่านั้นเกิดขึ้น

### 2.5.1 การคำนวณพลังงานที่เกิดจากกังหันเซโวนีเยซ

จากปัจจัยข้างต้นตามหัวข้อ 2.5 การหมุนของกังหันแนวแกนตั้งชนิดเซโวนีเยซเกิดจากแรงลมที่เข้าปะทะใบกังหันเป็นสำคัญและประสิทธิภาพการทำงานขึ้นอยู่กับพื้นที่ความกว้างของใบกังหันในการรับลมจึงสามารถคำนวณพลังงานได้จากปัจจัยที่มีผลต่อชุดกังหันดังสมการต่อไปนี้

$$P_a = \frac{\rho \pi D^2 V^3}{8} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $P_a$  คือพลังงานลมเฉลี่ยที่ผ่านใบกังหัน (Watt)

สมการที่ 2.4 เกิดจากการแทนค่าสมการที่ 2.5 ลงในสมการที่ 2.3

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $A$  คือพื้นที่หน้าตัดของใบกังหัน ( $m^2$ )

$\pi$  คือค่าคงตัวทางคณิตศาสตร์ (3.14159...)

$D$  คือความกว้างของใบกังหัน (m)

$$P_i(\theta) = F(\theta) \cdot v(\theta) = T(\theta) \cdot \omega(\theta) \quad (2.6)$$

เมื่อ  $\theta$  คือมุมของตำแหน่งใบกังหัน (rad)

$T$  คือแรงบิดที่กระทำในแนวตั้งฉาก ( $N \cdot m$ )

$F \cdot v$  คือกำลังของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว (Watt)

$\omega$  คือความเร็วเชิงมุมของใบกังหัน (rad/s)

## 2.6 ทฤษฎีพลังงานกังหันลมแตรรีเรียสและใจโรมิล

จากข้อมูลข้างต้นจากแนวคิดของผู้ออกแบบกังหันโดยหลักการหมุนของกังหันแนวแกนตั้งชนิดนี้เป็นแนวคิดการวิ่งเข้าหาอากาศของใบกังหันโดยคำนึงถึงความเร็วลมที่ผ่านใบกังหันสูงขึ้นเมื่อมีการเดินทางสวนกันระหว่างลมเทียบกับใบกังหันและเกิดความแตกต่างเชิงมุมของใบกังหันตามทฤษฎีของของไหลตั้งนั้นปัจจัยที่เกี่ยวข้องของจึงมีดังต่อไปนี้

### 1. ลักษณะของใบ

ลักษณะของใบเป็นอันดับแรกของการตัดสินใจในการเลือกเพราะส่งผลต่อการเริ่มต้นหมุน แรงบิด และความเร็วของกังหันเทียบความเร็วลม

### 2. ความแข็งแรงของใบกังหัน

ความแข็งแรงของใบกังหันนั้นมีผลอย่างยิ่งเมื่อมีการรับแรงกระทำจากลมธรรมชาติดังนั้นการเลือกใบกังหันที่แข็งแรงนั้นจะช่วยรักษาสมดุลของการหมุนได้เป็นอย่างดี

### 3. การตั้งองศาของใบกังหัน

การตั้งองศาของใบกังหันเป็นสิ่งสำคัญต่อประสิทธิภาพความเร็วและแรงบิดกล่าวคือหากมีการตั้งใบในมุมที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดแรงต้านในการวิ่งสวนทางกับลมและอาจทำให้กังหันเสียประสิทธิภาพในทิศทางการหมุนได้

### 2.6.1 คำจำกัดความ

$A$	คือพื้นที่หน้าตัดของกังหัน	( $m^2$ )
$C$	คือความกว้างของใบกังหัน	( $m$ )
$C_p$	คือประสิทธิภาพกำลัง	
$d$	คือเส้นผ่าศูนย์กลางของกังหัน	( $m$ )
$F_\theta$	คือแรงเชิงมุม	( $N$ )
$F_{\theta,ave}$	คือแรงเชิงมุมเฉลี่ย	( $N$ )
$H$	คือความสูงของใบกังหัน	( $m$ )
$N$	คือจำนวนของใบกังหัน	
$P$	คือกำลังรวม	( $Watt$ )
$Q$	คือแรงบิดรวม	( $N \cdot m$ )
$R$	คือรัศมีของกังหัน	( $m$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_\infty$	คือความเร็วลม	(m/s)
$\lambda$	คืออัตราส่วนความเร็วกังหันเทียบความเร็วลม (Tip speed ratio, TSR)	
$\omega$	คือความเร็วเชิงมุม	(rad/s)
$\theta$	คือองศาการรับลมของใบกังหัน	(deg)
$\sigma$	คือความหนาแน่นหรือความแข็งแรงของใบกังหัน	

### 2.6.2 สมการและความสัมพันธ์

$$\sigma = \frac{Nc}{d} \quad (2.7)$$

$$\lambda = \frac{R\omega}{V_\infty} \quad (2.8)$$

$$C_p = \frac{P_m}{\left(\frac{1}{2}\rho AV_\infty^3\right)} \quad (2.9)$$

$$A = D \times H \quad (2.10)$$

$$Q = NF_{\theta,avr}R \quad (2.11)$$

$$F_{\theta,avr} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F_\theta(\theta) d\theta \quad (2.12)$$

$$P = Q \times \omega \quad (2.13)$$

## 2.7 แรงและโมเมนตัมในการไหล

อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงเส้น (Linear momentum) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่กระทำกับวัตถุนั้นๆ และการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงเส้นนั้นจะต้องอยู่ในทิศทางที่แรงกระทำซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตันสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.14

$$F = ma$$

$$F = m \frac{dV}{dt}$$

$$Fdt = mdV \quad (2.14)$$

เมื่อ	$F$	คือแรงที่กระทำต่อวัตถุ	(N)
	$m$	คือมวลของวัตถุ	(kg)
	$a$	คืออัตราเร่งของวัตถุ	(m/s <sup>2</sup> )

ในกรณีของไหลแบบคงที่และปริมาตรแบบคงที่สามารถอินทิเกรตสมการ 2.14 ได้ดังสมการ 2.15

$$F = m\dot{V}(V_1 - V_2)$$

$$F = \rho AV(V_2 - V_1) \quad (2.15)$$

เมื่อ	$m^\circ$	คืออัตราการไหลของของไหล	(kg/s)
	$A$	คือพื้นที่หน้าตัดของการไหล	(m <sup>2</sup> )
	$V$	คือความเร็วเฉลี่ยของการไหล	(m/s)
	$\rho$	คือความหนาแน่นของของไหล	(kg/m <sup>3</sup> )

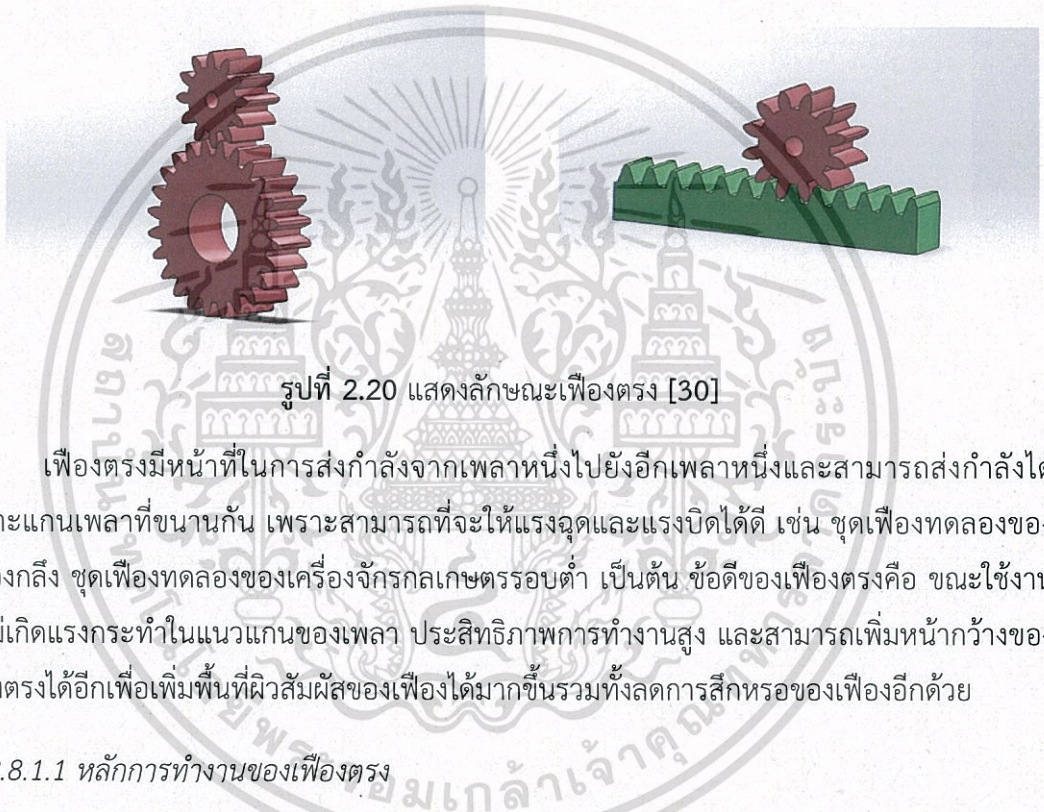
## 2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟือง

เฟืองใช้ทำหน้าที่ถ่ายเทโมเมนตัมระหว่าง 2 เพลา ที่มีระยะห่างระหว่างแกนเพลาที่สั้น โดยถ่ายเทในรูปของแรง หมายความว่าไม่มีการสูญเสียจากการลื่นเหมือนสายพานจึงมีอัตราทดที่คงที่ เฟืองเหมาะสำหรับการหมุนที่ความเร็วรอบต่ำจนถึงรอบสูงๆ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นเฟืองชนิดใด ตามแต่ตำแหน่งของเฟืองเพลาที่วางไว้ประกบกันจะเรียกชื่อเฟือง

เฟืองที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้นมีหลากหลายรูปแบบ เราสามารถที่จะจำแนกชนิดของเฟืองออกได้ตามการวางของแนวแกนเพลาคู่ที่ขบกันแบ่งชนิดของเฟืองออกเป็น 4 ประเภทคือ เฟืองตรง, เฟืองเฉียง, เฟืองดอกจอก และเฟืองหนอน โดยแต่ละชนิดมีลักษณะจำเพาะดังนี้ [30]

### 2.8.1 เฟืองตรง (Spur gear)

เฟืองตรงมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีฟันล้อมรอบทรงกระบอกนั้นในลักษณะฟันที่ขนานไปกับแกนของเพลาทรงกระบอกขบกันกับทรงกระบอกอีกอัน เฟืองชนิดนี้เป็นแบบธรรมดา กล่าวคือผลิตง่ายและมีราคาถูกที่สุดเมื่อเทียบกับเฟืองชนิดอื่นๆ ด้วยหน้าที่หลักเฟืองตรงถูกใช้ถ่ายทอดกำลังระหว่างเพลาที่ขนานกัน เช่น ชุดเฟืองทดในเครื่องจักรเฟืองตรงใช้ส่งกำลังกับเพลาที่ขนานกัน เหมาะสำหรับการส่งกำลังที่มีความเร็วรอบต่ำหรือความเร็วรอบปานกลางไม่เกิน 20 เมตรต่อนาที เช่น ชุดเฟืองทดของเครื่องกลึงเพื่อเดินกลึงอัตโนมัติหรือชุดเฟืองทดของเครื่องจักรกลการเกษตรที่ความเร็วรอบต่ำๆ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะเฟืองตรง [30]

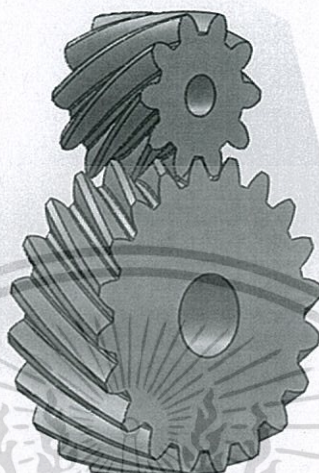
เฟืองตรงมีหน้าที่ในการส่งกำลังจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งและสามารถส่งกำลังได้เฉพาะแกนเพลาที่ขนานกัน เพราะจะทำให้แรงจุดและแรงบิดได้ดี เช่น ชุดเฟืองทดของเครื่องกลึง ชุดเฟืองทดของเครื่องจักรกลเกษตรรอบต่ำ เป็นต้น ข้อดีของเฟืองตรงคือ ขณะใช้งานจะไม่เกิดแรงกระทำในแนวแกนของเพลา ประสิทธิภาพการทำงานสูง และสามารถเพิ่มหน้ากว้างของเฟืองตรงได้อีกเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของเฟืองได้มากขึ้นรวมทั้งลดการสึกหรอของเฟืองอีกด้วย

#### 2.8.1.1 หลักการทำงานของเฟืองตรง

ในการส่งกำลังของเฟืองตรง แกนเพลาของชุดเฟืองที่ขบกันจะต้องขนานกันไม่ว่าเฟืองจะเป็นเฟืองใหญ่หรือเล็กก็ตาม เฟืองที่จะสามารถเข้าคู่ขบกันได้จะต้องเป็นเฟืองระบบเดียวกันคือ มีขนาดไดเมทรีลพิทซ์ หรือ ขนาดโมดูล ที่เท่ากัน ทิศทางการหมุนกระทำได้ 2 ทิศทางคือ ทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกา ในขณะที่เฟืองทำงานเฟืองจะส่งผ่านแรงต่อกันที่ละฟันเฟือง และก็จะเกิดการส่งถ่ายแรงบิดเกิดขึ้นในคู่เฟืองซึ่งแรงนั้นจะไม่กระทำต่อแนวแกนเพลา การส่งกำลังของเฟืองตรงสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น นอกขบนอก นอกขบใน และแบบนอกขบร่วมกับเฟืองสะพาน เป็นต้น

## 2.8.2 เฟืองเฉียง (helix gear)

เฟืองเฉียงมีลักษณะเป็นทรงกระบอกและมีฟันล้อมรอบเหมือนเฟืองฟันตรงต่างกันตรงที่ลักษณะของฟันเฟืองจะเป็นลักษณะเฉียงเอียงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะเฟืองเฉียง [30]

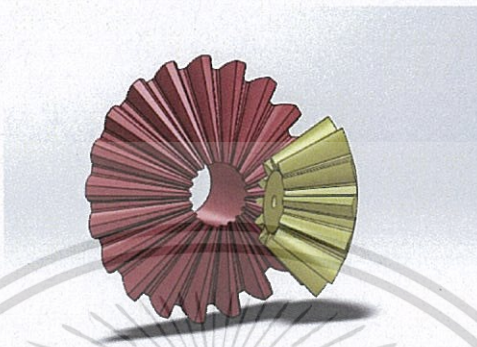
เฟืองเฉียงนั้นมีหน้าที่เหมือนกับเฟืองตรงคือ สามารถส่งกำลังจากเพลานึงไปยังอีกเพลานึงที่ขบกัน และยังสามารถที่จะส่งกำลังในแกนเพลานานกันและไม่ขนานกันได้(ขึ้นอยู่กับมุมของเฟืองเฉียงที่ออกแบบ) ข้อดีของเฟืองเฉียง เมื่อเราส่งกำลังด้วยความเร็วรอบที่สูงแล้วคู่เฟืองเฉียงจะไม่มีเสียงดังและการขบกันของคู่เฟืองจะขบกันที่ละมากกว่าหนึ่งฟันเฟืองจึงทำให้เกิดการทำงานที่ราบเรียบกว่าด้วย

### 2.8.2.1 หลักการทำงานของเฟืองเฉียง

ในการส่งกำลังของเฟืองเฉียงนั้น นอกจากขนาดของไดเมทรีลพิทซ์หรือ ขนาดโมดูลจะต้องเท่ากันเช่นเดียวกับของเฟืองตรงแล้ว แกนเพลานานกันหรือไม่ขนานกันก็ได้ขึ้นอยู่กับมุมเฉียงของฟันเฟือง เฟืองเฉียงจะส่งกำลังโดยการเข้าขบฟันเฟืองกันทีละหลายฟันแล้วส่งผ่านแรงบิดจากเพลานึงไปสู่อีกเพลานึงซึ่งจะนำไปใช้งาน การขบกันทีละหลายฟันของเฟืองเฉียงจะทำให้มีเสียงที่เงียบและสึกหรอน้อยกว่าเฟืองตรง ต่างจากเฟืองตรงที่ขบกันทีละฟัน ในการส่งกำลังที่ต้องการกำลังสูงๆ จะจับเฟืองเฉียงมาประกอบกันเป็นเฟืองฟันปลา เพื่อให้เกิดความแข็งแรงมากขึ้นในการส่งกำลัง และรับแรงได้ดีขึ้นด้วย

### 2.8.3 เฟืองดอกจอก (bevel gear)

เฟืองดอกจอกมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยปลายตัดแล้วมีฟันเฟืองล้อมรอบบนผิวของกรวย โดยการขบกันนั้นจะเป็นในลักษณะกรวยอีกอันหนึ่งวางอยู่บนผิวกรวยอีกอันหนึ่งแล้วหันปลายของกรวยนั้นเข้าหากันดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะเฟืองดอกจอก [30]

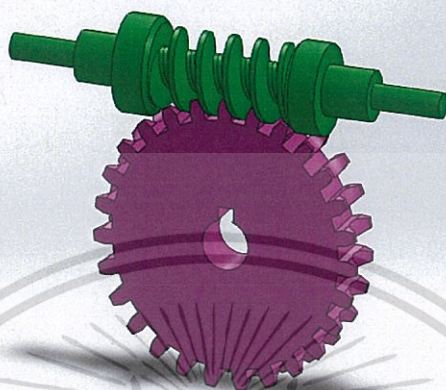
เฟืองดอกจอกนั้นมีหน้าที่ส่งกำลังจากเพลลาหนึ่งไปยังอีกเพลลาหนึ่งเช่นเดียวกัน แต่ไม่ใช่ในลักษณะที่แกนเพลลาขนานกัน เฟืองดอกจอกที่เป็นฟันเฟืองตรงจะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับเฟืองตรง คือ ขบกันได้ทีละคู่ฟันและจะเกิดเสียงดังที่ความเร็วรอบสูง ส่วนเฟืองดอกจอกที่เป็นฟันเฉียงก็จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับเฟืองเฉียง คือ จะขบกันได้ทีละหลายฟัน(มากกว่าหนึ่งฟัน) และที่ความเร็วรอบสูงจะไม่เกิดเสียงดังเหมือนเฟืองตรง แต่เฟืองดอกจอกนั้นวัตถุประสงค์หลักคือออกแบบมาเพื่อใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของการส่งกำลัง (ทิศทางแกนเพลลาตาม) โดยสามารถทำมุมได้น้อยกว่า 90 องศา เท่ากับ 90 องศา และมากกว่า 90 องศาได้

#### 2.8.3.1 หลักการทำงานของเฟืองดอกจอก

ในการส่งกำลังของเฟืองดอกจอกนั้นจะทำงานโดยส่งกำลังและถ่ายทอดการเคลื่อนที่ได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอนและจากเพลลาหนึ่งไปยังอีกเพลลาหนึ่ง อาจจะส่งจากเล็กไปใหญ่หรือใหญ่ไปเล็กก็ได้ มีทั้งแบบเฟืองดอกจอกฟันตรงและเฟืองดอกจอกฟันเฉียงตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แน่นอนว่า การขบกันของคู่เฟืองค่าขนาดโตเมทริลพิทซ์ หรือ ค่าขนาดของโมดูลจะต้องมีขนาดเท่ากันจึงจะสามารถเข้าคู่ขบกันได้ ข้อดีของเฟืองดอกจอกคือ สามารถส่งกำลังได้ทั้งในที่แคบๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเฟืองชนิดอื่นๆ

#### 2.8.4 เฟืองหนอน (worm gear)

เฟืองหนอนมีลักษณะคล้ายกับเฟืองเฉียงหรือเฟืองตรงที่ขบกับเฟืองอีกตัวหนึ่งซึ่งเรียกว่า ตัวหนอน ที่เป็นแบบทรงกระบอกยาวมีเกลียวคล้ายสกรูดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะเฟืองหนอน [30]

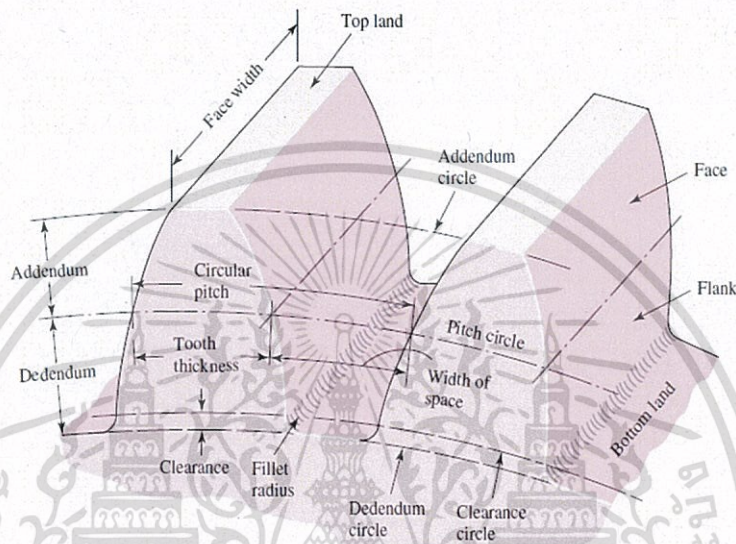
เฟืองหนอนนั้นมีส่วนที่ส่งกำลังจากเพลลาหนึ่งไปยังอีกเพลลาหนึ่งในลักษณะที่แกนเพลลาตั้งฉากกัน โดยที่ตัวหนอนนั้นจะเป็นตัวขับ และเฟืองหนอนนั้นจะเป็นตัวตาม การวางแกนเพลลาของตัวหนอนกับเฟืองหนอนนั้นจะทำมุมตั้งฉากกัน (90 องศา) ดังนั้นเฟืองหนอนนี้จึงสามารถเปลี่ยนทิศทางการส่งกำลังได้เหมือนเฟืองเฉียงและเฟืองดอกจอก แต่ในการใช้งานส่วนมากจะใช้ในการทดรอบของเฟืองมากกว่า เพราะมีคุณสมบัติในการทดรอบได้มาก (โดยทั่วไปจะเป็นการทดรอบสูงมาเป็นรอบต่ำ)

##### 2.8.4.1 หลักการทำงานของเฟืองหนอน

ขณะส่งกำลังของเฟืองหนอนนั้น แนวแกนเพลลาทั้งของตัวหนอนและเฟืองหนอนจะต้องขนานกันและทำมุม 90 องศาซึ่งกันและกัน โดยตัวหนอนจะทำหน้าที่เป็นตัวขับ เฟืองหนอนจะเป็นตัวตาม โดยการเข้าคู่ขบกันขนาดไดเมทริลพิทซ์หรือขนาดโมดูลของทั้งตัวหนอนและเฟืองหนอนจะต้องมีขนาดที่เท่ากัน ทิศทางการหมุนจะเป็นไปได้ทั้งสองทางคือ ไปและกลับ การส่งกำลังด้วยชุดเฟืองหนอนจะได้เปรียบกว่าเฟืองอื่นๆ กล่าวคือ ที่เกลียวหนอนนั้นจะสามารถออกแบบให้มีขนาดโต เล็ก สั้นหรือยาวได้ตามความต้องการของผู้ใช้

### 2.8.5 ส่วนประกอบของเฟือง

ส่วนประกอบของเฟืองนั้นจะเป็นชื่อเรียกหรือคำนิยามต่างๆ ของเฟืองเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันในการเรียกส่วนต่างๆ และเนื่องจากเฟืองแต่ละชนิดนั้นมีรายละเอียดที่เหมือนกันและแตกต่างกันเฉพาะในรายละเอียดที่จำเพาะ ดังนั้นในที่นี้จึงจะขอกกล่าวเฉพาะส่วนประกอบของเฟืองตรง เนื่องจากเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของเฟืองชนิดอื่นด้วยดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงส่วนประกอบของเฟือง [30]

- (1) ฟันเนียนหรือพีเนียน (pinion) ใช้เรียกชื่อเฟืองขับของคู่เฟืองที่ขบกัน (ส่วนใหญ่จะเป็นเฟืองตัวเล็ก) โดยเฟืองตามจะมีชื่อเรียกว่า เฟืองหรือเกียร์ (gear)
- (2) พื้นผิวพิทช์ (pitch surface) คือพื้นผิวทรงกระบอกในจินตนาการที่มีเส้นศูนย์ผ่านกลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ของเฟืองที่เราพิจารณาอยู่ และความกว้างของหน้าเฟือง (face width) ก็คือความยาวของทรงกระบอกพิทช์ที่เราพิจารณา
- (3) วงกลมพิทช์ (pitch circle) คือวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางเดียวกันกับจุดศูนย์กลางของเฟือง เป็นวงกลมทางทฤษฎีที่ใช้ในการเรียกขนาดของเฟือง โดยจะบอกขนาดเฟืองด้วยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ (pitch diameter) ในทางทฤษฎีเฟืองคู่ที่ขบกันจะต้องมีเส้นสัมผัสกัน ณ วงกลมพิทช์กรณีที่วงกลมพิทช์มีรัศมีอนันต์เฟืองนั้นจะเป็นเส้นตรงหรือที่เรียกกันว่า เฟืองสะพาน (rack)
- (4) ระยะพิทช์วงกลม (circular pitch,  $p$ ) เป็นระยะที่วัดบนวงกลมพิทช์โดยวัดจากตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนฟันเฟืองไปยังตำแหน่งเดิมที่อยู่บนฟันเฟืองของฟันเฟืองถัดไป
- (5) โมดูล (module,  $m$ ) เป็นค่าของอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์กับจำนวนฟันของเฟือง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ค่าโมดูลนี้จะใช้ในการบอกขนาดเฟืองในระบบเอสไอ

- (6) ไดมეტรัลพิทช์ (diametral pitch, P) เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของเฟืองกับเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ หรือกล่าวได้ว่าเป็นส่วนกลับของโมดูล มีหน่วยเป็นนิ้ว (เนื่องจากใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ที่มีหน่วยเป็นนิ้ว) ค่าไดเมทรรัลพิทช์นี้จะใช้ในการบอกขนาดของเฟืองในระบบอังกฤษ
- (7) วงกลมแอดเดนดัม (addendum circle) คือวงกลมที่มีรัศมีอยู่ที่ปลายสุดของฟันเฟืองและมีจุดศูนย์กลางเดียวกันกับของเฟือง
- (8) วงกลมดีเดนดัม (dedendum circle) คือวงกลมที่ล้อมรอบฐานของฟันเฟืองและมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่เดียวกับของเฟือง
- (9) วงกลมพิทช์ (pitch circle) คือวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางเดียวกับของเฟืองแต่มีรัศมีที่ปลายนอกสุดของฟันเฟืองของอีกเฟืองหนึ่งที่จะเข้ามาขบกัน
- (10) ระยะแอดเดนดัม (addendum, a) คือระยะระหว่างวงกลมพิทช์กับวงกลมแอดเดนดัม
- (11) ระยะดีเดนดัม (dedendum, b) คือระยะระหว่างวงกลมพิทช์กับวงกลมดีเดนดัม
- (12) ระยะพิทช์ (pitch) คือระยะห่างระหว่างวงกลมพิทช์กับวงกลมดีเดนดัม
- (13) ความลึกทำงาน (working depth) คือระยะห่างระหว่างวงกลมแอดเดนดัมกับวงกลมพิทช์
- (14) หน้าฟันเฟือง (face of tooth) คือพื้นผิวหน้าของฟันเฟืองที่อยู่เหนือวงกลมพิทช์ไปถึงวงกลมแอดเดนดัม
- (15) ความหนาของฟันเฟือง (tooth thickness, t) คือความหนาของเฟืองที่วัดตามแนวของเส้นวงกลมพิทช์
- (16) ช่องว่างของฟันเฟือง (tooth space) คือระยะระหว่างฟันเฟืองที่อยู่ใกล้กันโดยวัดตามแนวเส้นวงกลมพิทช์
- (17) ระยะคลอน (back lash, B) คือระยะที่เหลือของช่องว่างฟันเมื่อมีการเข้าขบกันของคู่ฟันเฟือง

### 2.8.6 หลักการเลือกใช้และการบำรุงรักษา

หลักการเลือกใช้เฟืองแต่ละชนิดนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเฟืองชนิดนั้นๆ ด้วยว่ามีหน้าที่การทำงานในลักษณะใด เมื่อสอดคล้องตามความต้องการของเราแล้วเราถึงจะเลือกใช้หรือเลือกซื้อเฟืองชนิดนั้นๆ ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับงาน นอกจากนั้นขนาดของเฟือง จำนวนเฟือง อัตราทดพื้นที่การติดตั้ง รวมทั้งการบำรุงรักษาเฟืองก็ยังเป็นข้อคำนึงถึงที่จะขาดเสียมิได้

ในการใช้งานเฟืองและชุดเฟืองนั้นสิ่งที่ขาดไม่ได้ก็คือสารหล่อลื่น สารหล่อลื่นที่นิยมใช้กันมากคือน้ำมันหล่อลื่น โดยเป็นสารหล่อลื่นที่ใช้คู่กับเฟืองมานานแล้ว ดังนั้นเราควรที่จะหล่อลื่นชิ้นส่วนของชุดเฟืองตามระยะเวลาที่กำหนด ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเฟืองที่ใช้งานกันอยู่บ่อยๆ ก็คือปัญหา

เอกสารที่มีสาเหตุมาจากสารหล่อลื่น การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.6.1 สาเหตุการเสียหายที่เกิดจากการขาดการดูแลรักษาสภาพ

- (1) สภาพน้ำมันหล่อลื่น อาจจะทำการตรวจสอบด้วยตนเองหรือส่งไปทำการตรวจที่ห้องแลปตามความเหมาะสม การตรวจสอบสภาพน้ำมันหล่อลื่นตามระยะเวลานั้นจะสามารถบอกถึงสภาพน้ำมัน สภาพการชำระคูสติกหรือของเฟือง และสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นได้
- (2) อุณหภูมิการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น หากอุณหภูมิการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นสูงเกินไปจะส่งผลให้อายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นลดลง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นลดลงด้วย โดยปกติแล้วอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นหรือน้ำมันที่ใช้กับเครื่องจักรจะต้องไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส
- (3) การรั่วซึมของน้ำมันหล่อลื่น การรั่วซึมของน้ำมันที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวบ่งบอกถึงระดับน้ำมันที่อาจจะมากเกินไป ถ้าหากเกิดการรั่วซึมขึ้นโดยไม่ได้รับการดูแลก็จะทำให้ระดับน้ำมันลดลงจนอาจส่งผลเสียต่อการหล่อลื่นได้ นอกจากนั้นการรั่วของน้ำมันที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวบอก สภาพถึงการชำระคูสติกและผิดปกติของโอริงหรืออุปกรณ์กันรั่วที่ใช้กับห้องเกียร์ได้
- (4) สภาพของชุดกรองอากาศ เนื่องจากการทำงานของชุดเฟืองในห้องเกียร์นั้น เวลาทำงานอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นและอากาศบริเวณผิวน้ำมันหล่อลื่นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้อากาศเกิดการขยายตัวและอากาศส่วนหนึ่งจะถูกดันออกไปนอกห้องเกียร์ แต่เมื่อหยุดการทำงานอุณหภูมิภายในห้องเกียร์จะเย็นลงทำให้อากาศเกิดการหดตัว อากาศจากด้านนอกจะถูกดูดเข้ามาด้านในในห้องเกียร์ โดยจะผ่านเข้ามาทางชุดกรองอากาศ (air breather) ความชื้นหรือฝุ่นผงสกปรกก็จะถูกตัวกรองอากาศ ดักเอาไว้ไม่ให้มาปะปนกับน้ำมันหล่อลื่น ดังนั้นการตรวจสอบชุดกรองอากาศให้อยู่ในสภาพปกติ ก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีความจำเป็นและสำคัญ
- (5) สภาพทั่วไปของฟันเฟือง ควรที่จะมีการตรวจสอบและถ่ายรูปลักษณะของฟันเฟืองเก็บเอาไว้ เพื่อเอาไว้ทำการเปรียบเทียบสภาพของฟันเฟืองที่เปลี่ยนไป โดยทำการเปรียบเทียบอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เป็นการติดตามสภาพการสึกหรอของชุดฟันเฟืองว่าเกิดการสึกหรอมากน้อยเพียงใดตามช่วงเวลา
- (6) สภาพผิดปกติอื่นๆเช่น เสียงผิดปกติขณะทำงานหรือการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับห้องเกียร์

### 2.8.7 การคำนวณของเฟือง

ในการหาอัตราการทรอบความเร็วเชิงมุมของเฟืองหรือมุมุ่ล่สำหรับระบบทรอบครั้งเดียว นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V = \omega r \quad (2.16)$$

$$V_1 = V_2 \quad (2.17)$$

$$\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2 \quad (2.18)$$

$$m_\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.19)$$

$$F_t = \frac{W_p}{V} \quad (2.20)$$

$$V = \pi D n \quad (2.21)$$

$$T = F \times R \quad (2.22)$$

เมื่อ	$V$	คือความเร็ว	(m/s)
	$\omega$	คือความเร็วเชิงมุม	(rad/s)
	$r$	คือรัศมีของเฟือง	(m)
	$m_\omega$	คืออัตราทด	
	$n$	คือความเร็วรอบมีหน่วยเป็น	(rpm)
	$D$	คือเส้นผ่านศูนย์กลางพิทซ์	(mm)
	$N$	คือจำนวนฟัน	
	$F_t$	คือแรงที่ส่งผ่านมายังฟันเฟือง	(N)
	$W_p$	คือกำลังงานที่ส่งผ่าน	(Watt)
	$V$	คือความเร็วพิทซ์	(m/s)
	$T$	คือแรงบิดของเฟือง	(N•m)
	$F$	คือแรงของฟันเฟือง	(N)
	$R$	คือรัศมีของเฟือง	(m)

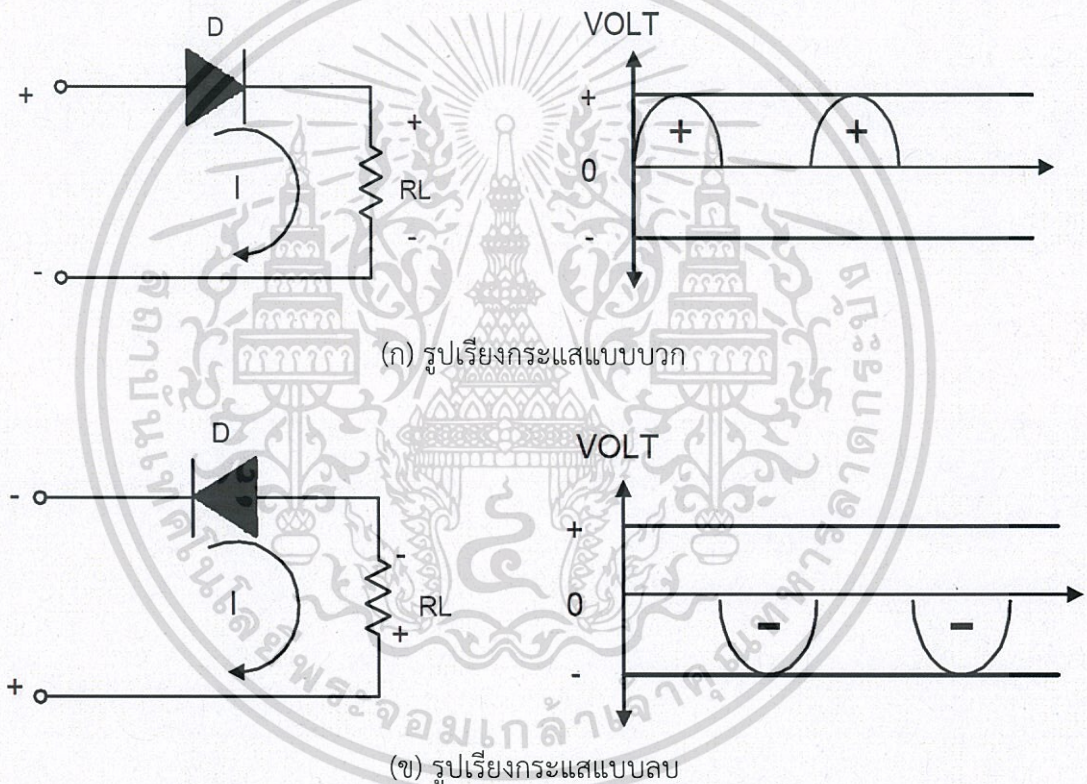
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

วงจรเรียงกระแส คือวงจรที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยมีส่วนสำคัญของวงจรถือคือ ไดโอด และสามารถแยกพิจารณาวงจรเรียงกระแสได้ออกเป็น 2 รูปแบบ [16]

### 2.9.1 วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier)

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จะตัดแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามาออกไปครึ่งหนึ่งอาจเป็นครึ่งบวกหรือครึ่งลบแล้วแต่การจัดวงจรไดโอดโดยใช้ขาแคโทด (K) ออกเอาต์พุต หรือขาแอนโนด (A) ออกเอาต์พุตโดยวงจรเรียงกระแส 2 เฟส จะใช้ไดโอดเพียงตัวเดียวในการทำงาน

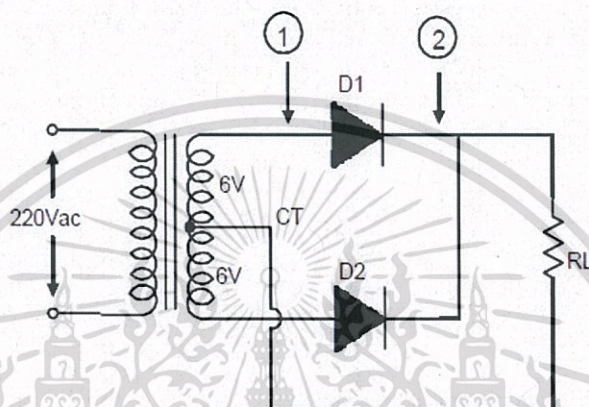


รูปที่ 2.25 การจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ตัวไดโอดเรียงกระแส

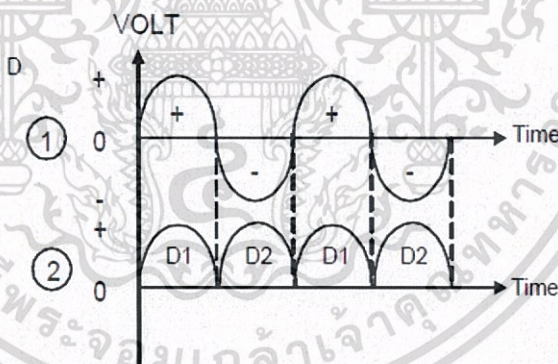
จากรูปที่ 2.25 (ก) วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นมีไดโอดเป็นตัวกำหนดแรงดันไฟสลับผ่านไปตกรวมที่โหลดความต้านทานเป็นแรงดันออกเอาต์พุต เมื่อนำออสซิลโลสโคปไปวัดคร่อมไดโอดจะได้แรงดันไฟสลับคลื่นขายน้แสดงบนจอออสซิลโลสโคปและเมื่อย้ายออสซิลโลสโคปมาวัดคร่อมโหลดความต้านทานจะได้แรงดันไฟสลับเฉพาะซีกบวกออกมา ส่วนแรงดันไฟสลับซีกลบจะถูกตัดทิ้งเพราะการต่อไดโอดหันขาไดโอดด้านแคโทดออกเอาต์พุตไดโอดจะได้รับไบอัสตรงยอมให้แรงดันไฟสลับผ่านตัวมันเฉพาะซีกบวกเท่านั้น ส่วนแรงดันไฟสลับซีกลบไดโอดจะได้รับไบอัสกลับไม่นำกระแส

## 2.9.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier)

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะแปลงแรงดันไฟสลับออกเอาต์พุตได้ทั้ง 2 ช่อง คือทั้งช่องบวกและช่องลบของแรงดันไฟสลับโดยไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่ง ของแรงดันไฟสลับถูกตัดทิ้ง แรงดันที่ถูกส่งออกเอาต์พุตอาจจะเป็นเฉพาะซีกบวกเมื่อต่อไดโอดขาแคโทดออกเอาต์พุตและแรงดันที่ถูกส่งออกเอาต์พุตเฉพาะซีกลบเมื่อต่อไดโอดขาแอนโอดออกเอาต์พุต การทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะใช้ไดโอดทำงาน 2 ตัว โดยสลับกันทำงาน



(ก) วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น



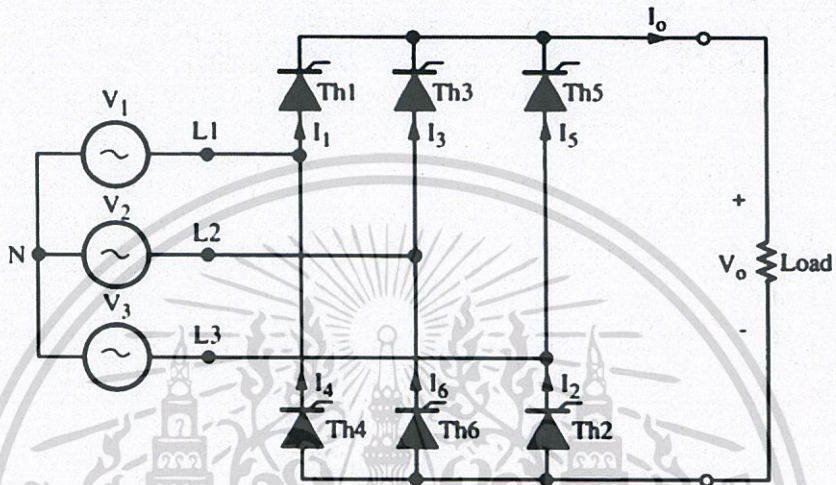
(ข) ตัวอย่างแรงดันไฟสลับแต่ละจุด

รูปที่ 2.26 วงจรและแรงดันไฟสลับที่จุดต่างๆ ของการเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

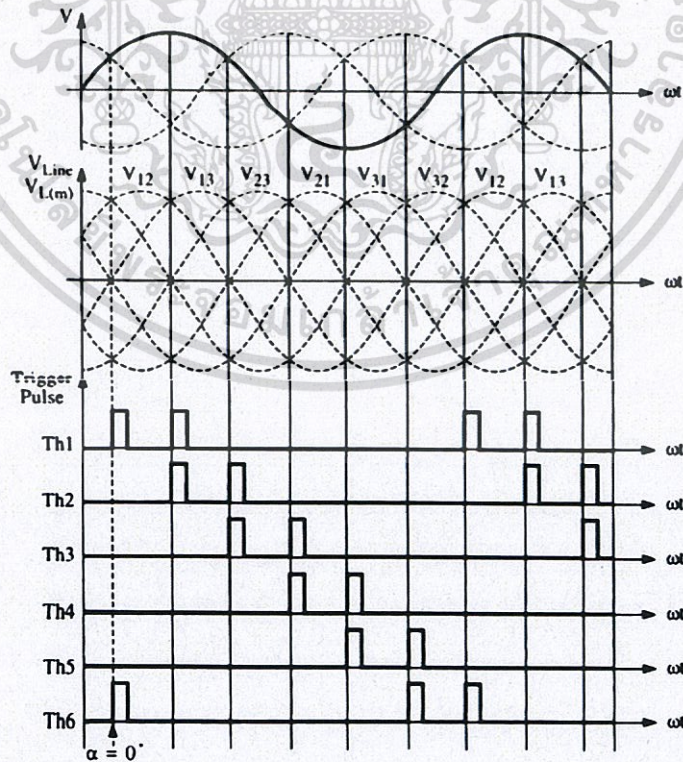
รูปที่ 2.26 (ก) เป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีไดโอด D1, D2 เป็นตัวกำหนดแรงดันไฟสลับผ่านไปตกคร่อมที่โหลดความต้านทาน RL เป็นแรงดันออกเอาต์พุต เมื่อนำออสซิลโคปไปวัดคร่อมจุดที่ 1 เทียบกับจุดเซ็นเตอร์แทปจะได้แรงดันไฟสลับคลื่นซายน์แสดงบนจอออสซิลโลสโคป ดังจุดที่ 1 รูปที่ 2.26 (ข) และเมื่อย้ายออสซิลโลสโคปมาวัดคร่อมจุดที่ 2 จะได้แรงดันไฟสลับเฉพาะซีกบวกออกมา ดังจุดที่ 2 รูปที่ 2.26 (ข) แรงดันไฟสลับเฉพาะซีกบวกนี้ จะถูกส่งมาจากการทำงานของไดโอด D1, D2 ตัวละครึ่งซีกสัญญาณสลับกัน

2.9.2.1 วงจรเรียงกระแสแบบ 3 เฟสที่ควบคุมเต็มบริดจ์ และแบบจำลองตัวเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแส 3 เฟสเต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์ประกอบไปด้วยไทรสเตอร์ทั้งหมดจำนวน 6 ตัว ดังแสดงในรูป 2.27 โดยที่ไทรสเตอร์แต่ละคู่จะทำงานตามลำดับการป้อนสัญญาณจุดชนวนเกต ดังแสดงในรูป 2.28



รูปที่ 2.27 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมเต็มบริดจ์



รูปที่ 2.28 รูปคลื่นแรงดันระหว่างสายและลำดับของสัญญาณจุดชนวนเกตของไทรสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.28 จะพบว่าลำดับชั้นการจุดชนวนเกิดของไทรสเตอร์ทั้ง 6 ตัวจะเป็นไปตามลำดับดังนี้ คือ ไทรสเตอร์ 6 และ 1 ทำงานที่มุม  $\omega t = 0^\circ$

ไทรสเตอร์ 1 และ 2 ทำงานที่มุม  $\omega t = 60^\circ$

ไทรสเตอร์ 2 และ 3 ทำงานที่มุม  $\omega t = 120^\circ$

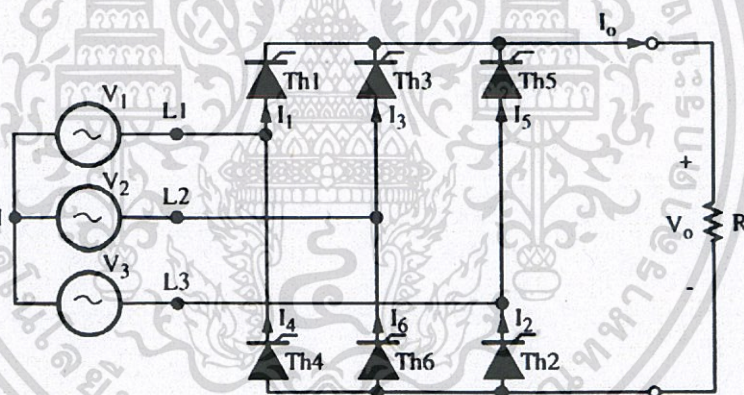
ไทรสเตอร์ 3 และ 4 ทำงานที่มุม  $\omega t = 180^\circ$

ไทรสเตอร์ 4 และ 5 ทำงานที่มุม  $\omega t = 240^\circ$

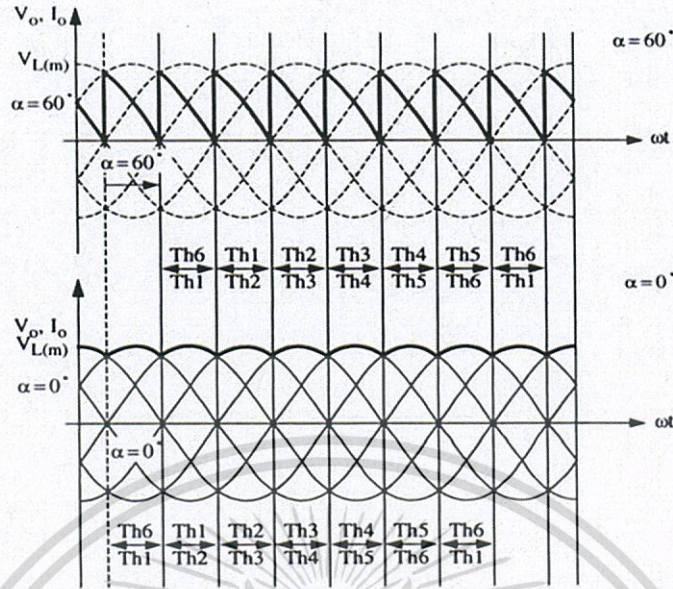
ไทรสเตอร์ 5 และ 6 ทำงานที่มุม  $\omega t = 300^\circ$

### 2.9.2.2 วงจรเรียงกระแสแบบ 3 เฟส เมื่อภาระเป็นตัวต้านทาน

การทำงานของวงจรเมื่อภาระเป็นตัวต้านทานเพียงอย่างเดียวให้พิจารณาในรูป 2.29 และรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมภาระ ( $V_o$ ) และกระแสที่ไหลผ่านภาระ ( $I_o$ ) ในรูป 2.30



รูปที่ 2.29 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส เต็มคลื่นที่ควบคุมบริดจ์เมื่อภาระเป็นตัวต้านทาน



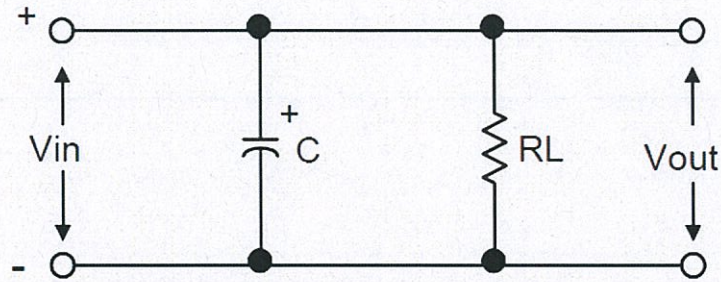
รูปที่ 2.30 รูปคลื่นแรงดันตกคร่อมและกระแสที่ไหลผ่านภาวะ ที่มุมเกตไทรสเตอร์  $\alpha = 60^\circ, 0^\circ$

2.9.3 การฟิลเตอร์ในวงจรเรียงกระแส

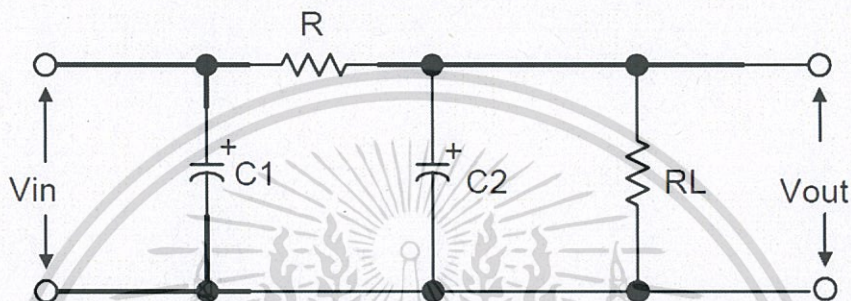
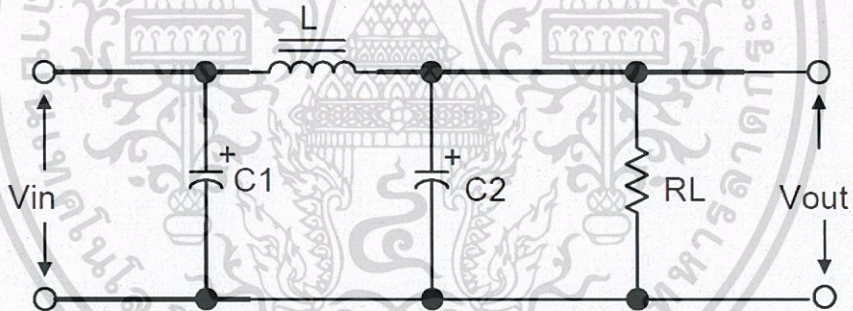
การแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือวงจรเรียงกระแส แรงดันที่ผ่านการเรียงกระแสแล้วจะไม่เรียบเหมือนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ แต่จะเกิดการกระเพื่อมเป็นช่วง ๆ ตามความถี่ของแรงดันไฟสลับ เมื่อนำไปใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะเกิดการรบกวนของส่วนกระเพื่อมเหล่านี้ ทำให้เกิดปัญหาในการใช้งาน

แรงดันไฟที่ต้องการจะต้องเป็นแรงดันไฟตรงที่เรียบใกล้เคียงแรงดันจากแบตเตอรี่ ดังนั้นแรงดันที่ผ่านวงจรเรียงกระแสแล้วจึงต้องผ่านวงจรฟิลเตอร์ (FILTER) อีกครั้งหนึ่งเพื่อทำให้แรงดันที่ได้เป็นแรงดันไฟตรงที่เรียบใกล้เคียงแรงดันจากแบตเตอรี่ อุปกรณ์ที่นำมาทำเป็นวงจรฟิลเตอร์มีตัวเก็บประจุ (C) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวต้านทาน (R)

การต่อวงจรฟิลเตอร์จะมีตัวเก็บประจุต่อเป็นวงจรขนานกับเอาต์พุตทำหน้าที่เสริมแรงดันให้มีระดับแรงดันใกล้เคียงกันตลอดเวลาและมีตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทานต่อเป็นวงจรอันดับกับเอาต์พุตทำหน้าที่ต้านการไหลของกระแสให้ไหลผ่านออกเอาต์พุตมีระดับกระแสคงที่มากขึ้น



(ก) วงจรฟิลเตอร์แบบ C ฟิลเตอร์

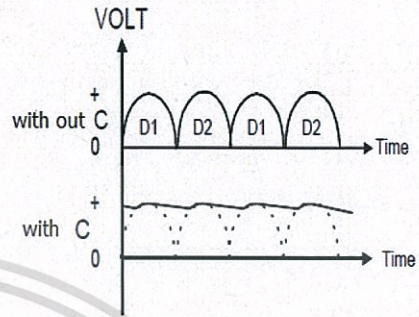
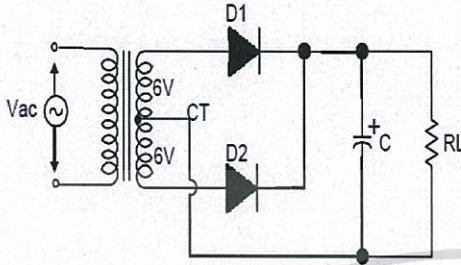
(ข) วงจรฟิลเตอร์แบบ RC- $\pi$  ฟิลเตอร์(ค) วงจรฟิลเตอร์แบบ LC- $\pi$  ฟิลเตอร์

รูปที่ 2.31 วงจรฟิลเตอร์แบบต่างๆ

การฟิลเตอร์ที่จะทำให้ได้แรงดันไฟตรงที่เรียบใกล้เคียงแรงดันไฟตรง จากแบตเตอรี่มากน้อยเพียงไร จะขึ้นอยู่กับชนิดของวงจรเรียงกระแส เรียงกระแสชนิดเต็มคลื่นเมื่อใส่ฟิลเตอร์แล้วจะได้แรงดันไฟตรงที่เรียบมากกว่าเรียงกระแสชนิดครึ่งคลื่นและยังขึ้นอยู่กับค่าความจุของตัวเก็บประจุถ้าใส่ค่าความจุมากจะได้แรงดันไฟตรงที่เรียบมากกว่าใส่ค่าความจุน้อย เป็นต้น

2.9.3.1 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีวงจรมีฟิเตอร์

จากรูปที่ 2.32 เป็นวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมีวงจรมีฟิเตอร์ด้วยแบบ C ฟิเตอร์ การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้



(ก) เรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

(ข) แรงดันที่ตกคร่อม RL

รูปที่ 2.32 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่มีวงจรมีฟิเตอร์

แรงดันไฟสลับ ที่จะป้อนไปยังไดโอดจะมีศักย์แรงดันไฟฟ้าเทียบกับจุดเซ็นเตอร์แทป ศักย์แรงดันไฟฟ้างกล่าว เมื่อป้อนให้ไดโอด D1, D2 จะมีขั้วต่างกันคือถ้าขาแอนโนดของ D1 ได้รับศักย์บวก ขาแอนโนดของ D2 จะได้รับศักย์ลบเป็นต้น จะทำให้ไดโอด D1, D2 ทำงานสลับกัน ตัวละครึ่งสัญญาณ ได้แรงดันไฟสลับซีกบวกออกเอาท์พุทแบบเต็มคลื่น ดังรูปที่ 2.32 (ข) รูปขณะไม่ต่อตัวเก็บประจุ เมื่อต่อตัวประจุ C1 เข้าวงจร ตัวเก็บประจุ C1 จะประจุแรงดันซีกบวกไว้ จนถึงระดับแรงดันสูงสุด มีศักย์ตกคร่อม C1 บนบวกลบ ในขณะี่แรงดันซีกบวกของ D1 เริ่มลดต่ำลงจากค่าสูงสุด C1 จะเริ่มคายประจุแรงดันออกมาเสริม ทำให้ระดับแรงดันบวกลบไม่ลดลงอย่างรวดเร็ว แต่จะลดลงตามระดับ แรงดันที่ตกคร่อม C1 จนถึงจังหวะที่มีแรงดันซีกบวกของ D2 ป้อนเข้ามา C1 จะเริ่มประจุแรงดันอีกครั้งจนถึงค่าสูงสุด และ C1 จะเริ่มคายประจุแรงดันออกมาเสริมอีกเมื่อระดับแรงดันซีกบวกของ D2 เริ่มลดลงจากค่าสูงสุด การทำงานจะเป็นเช่นนี้ตลอดเวลาได้แรงดันตกคร่อมโหลด RL ดังรูปที่ 2.32 (ข) รูปขณะต่อตัวเก็บประจุ

2.10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Synchronous Generator)

ระบบไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันได้มาจากโรงต้นกำลัง (Power Plant) ซึ่งเป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ทำหน้าที่ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้การไฟฟ้าภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวงเพื่อจำหน่ายให้กับบ้านพักอาศัย สำนักงาน หน่วยงานต่างๆ และโรงงานอุตสาหกรรม โรงต้นกำลังที่ผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นมีทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม โรงไฟฟ้านิวเคลียร์และยังรวมถึงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอีกด้วย [17]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเครื่องกลที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กตามหลักการของ ไมเคิล ฟาราเดย์ โดยการหมุนตัดกันระหว่างขดลวดตัวนำกับสนามแม่เหล็ก พิกัดกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะบอกเป็นโวลต์-แอมป์ (VA) หรือกิโลโวลต์-แอมป์ (KVA) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ที่เครื่องจ่ายออกมา และสามารถแบ่งชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละประเภทได้ดังนี้

1. แบ่งตามจำนวนเฟสของระบบไฟฟ้า
  - 1.1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 1 เฟส (Single Phase Generator)
  - 1.2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 3 เฟส (Three Phase Generator)
2. แบ่งตามลักษณะของขดลวดสนามแม่เหล็กที่กระทำกับขดลวดสเตเตอร์
  - 2.1. เครื่องกำเนิดชนิดขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่
  - 2.2. เครื่องกำเนิดชนิดขดลวดสนามแม่เหล็กหมุน
3. แบ่งตามลักษณะการติดตั้ง
  - 3.1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเพลาอน
  - 3.2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเพลาตั้ง
4. แบ่งตามพิกัดกำลังใช้งาน
  - 4.1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (ขนาดไม่เกิน 5 KVA)
  - 4.2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกลาง (ขนาดตั้งแต่ 5 KVA ถึง 500 KVA)
  - 4.3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ (ขนาดตั้งแต่ 500 KVA ขึ้นไป)
5. แบ่งตามพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิด
  - 5.1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดใช้กังหันไอน้ำเป็นตัวต้นกำลัง
  - 5.2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดใช้กังหันน้ำเป็นตัวต้นกำลัง
  - 5.3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดใช้กังหันก๊าซเป็นตัวต้นกำลัง
  - 5.4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดใช้กังหันลมเป็นตัวต้นกำลัง
6. แบ่งตามลักษณะการนำไปใช้งาน
  - 6.1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดสำรอง (Standby Generator Type)
  - 6.2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดสำรองต่อเนื่อง (Continuous Generator Type)
  - 6.3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดจ่ายกำลังหลัก (Base load Generator)
7. แบ่งตามลักษณะการออกแบบ
  - 7.1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเปลือยติดตั้งอยู่กับที่ (Bare Generator)
  - 7.2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดตู้ครอบเก็บเสียง (Canopied and Sound Proof)
  - 7.3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเคลื่อนย้าย (Mobile Generator Trailer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

พิจารณาเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดขดลวดสนามแม่เหล็กหมุนซึ่งประกอบด้วยส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) ส่วนหมุน (Rotor) ขดลวดแดมเปอร์ (Damper Winding) และเอ็กไซเตอร์ (Exciter)

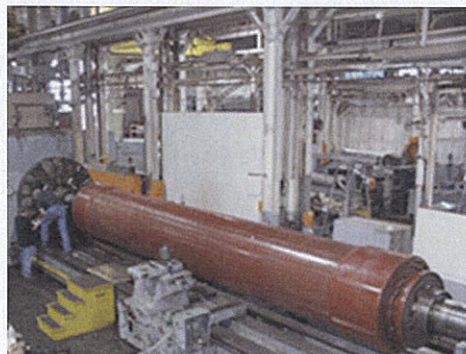
#### 2.10.1.1 ส่วนที่อยู่กับที่หรือขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature winding)

ขดลวดอาร์เมเจอร์จะพันอยู่ในร่องของแกนเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกันเป็นเหล็กอ่อนผสมสารซิลิกอนเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current) และลดการสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิส (Hysteresis) ขดลวดอาร์เมเจอร์มีอยู่ด้วยกัน 3 ชุด (เฟส A, B, C) แต่ละชุดวางมุมห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า มีลักษณะการพัน 2 แบบคือ พันขดลวดแบบชั้นเดียวจำนวนคอยล์ต่อกรุปจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนขั้วแม่เหล็กและการพันขดลวดแบบสองชั้นมีจำนวนคอยล์ต่อกรุปเท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็ก ในการต่อขดลวดอาร์เมเจอร์เพื่อใช้งานสามารถต่อได้ทั้งแบบสตาร์ (Star) และแบบเดลตา (Delta) เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าออกสู่วงจรภายนอกและมีอยู่ส่วนหนึ่งที่ใช้สำหรับกระตุ้นให้กับตัวเอง

#### 2.10.1.2 ส่วนที่หมุน หรือขดลวดสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating field winding)

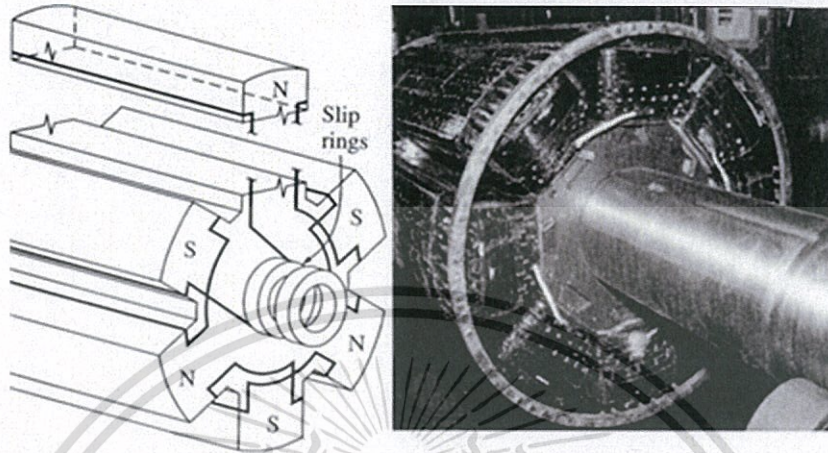
ส่วนที่หมุนจะทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก (ขั้ว N, S) จากการกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสตรงของตัวเอ็กไซเตอร์ (Exciter) ขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันอยู่บนแกนเหล็กของโรเตอร์จะมีลักษณะเป็นขั้วๆ 2 ขั้ว 4 ขั้ว หรือ 24 ขั้ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานมีความเร็วรอบของการหมุนเท่าใดเช่นเครื่องกำเนิดชนิด 2 ขั้วแม่เหล็กจำเป็นต้องใช้กำลังกลหมุนขับให้มีความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เครื่องกำเนิดชนิด 4 ขั้วแม่เหล็กต้องใช้กำลังกลหมุนขับให้มีความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที เป็นต้น ขดลวดสนามแม่เหล็กหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามี 2 แบบคือ แบบขั้วแม่เหล็กเรียบทรงกระบอก (Cylindrical Rotor) และแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salientpole Rotor)

โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กเรียบรูปทรงกระบอกจะใช้กับเครื่องกำเนิดที่มีความเร็วรอบสูง 1,500 และ 3,000 รอบต่อนาที ใช้ร่วมกับตัวต้นกำลังที่เป็นกังหันไอน้ำและกังหันก๊าซ โรเตอร์แบบนี้จะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางต่ำและลดการสูญเสียเนื่องจากแรงต้านจากลมดังรูปที่ 2.33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.33 โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กเรียบตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนโรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กยื่น ขดลวดที่พันอยู่บนแกนเหล็กจะมีลักษณะเป็นขั้วยื่นออกมาเห็นได้ชัดเจน เหมาะสำหรับเครื่องกำเนิดที่ถูกขับด้วยความเร็วต่ำ และปานกลาง ใช้ตัวต้นกำลังที่เป็นกังหันน้ำของเขื่อนต่างๆ และเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วต่ำดังรูปที่ 2.34



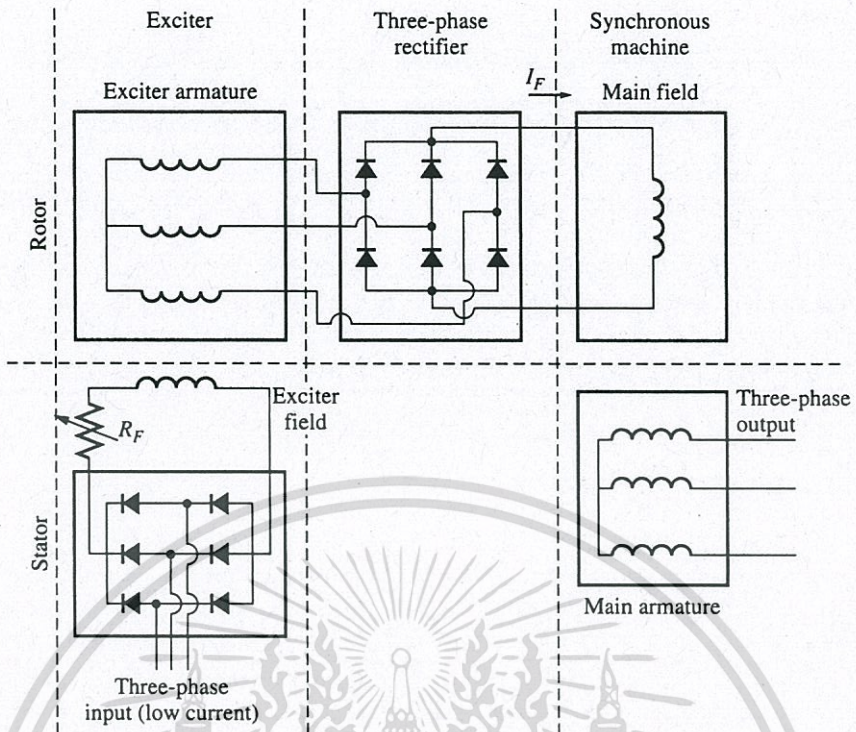
รูปที่ 2.34 โรเตอร์แบบขั้วแม่เหล็กยื่น

#### 2.10.1.3 ขดลวดแดมเปอร์ (Damper Winding)

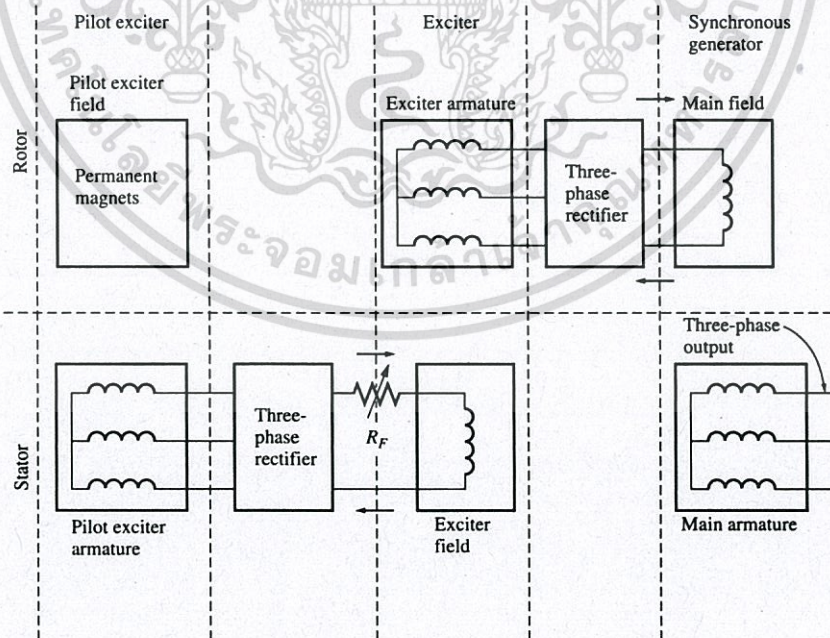
ขดลวดแดมเปอร์มีลักษณะเป็นแท่งทองแดงฝังอยู่ที่ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทุกขั้ว ปลายของแท่งทองแดงจะถูกลัดวงจรเชื่อมต่อกันหมดทุกขั้ว มีไว้สำหรับแก้ปัญหาการแกว่งหรือการสั่นของโรเตอร์ขณะที่โรเตอร์กำลังหมุนอยู่ ซึ่งการสั่นของโรเตอร์เกิดขึ้นเนื่องจากความเร็วรอบของต้นกำลังไม่สม่ำเสมอ

#### 2.10.1.4 เอ็กไซเตอร์ (Exciter)

มีลักษณะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ทำหน้าที่ผลิตและจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เครื่องกำเนิดขนาดใหญ่จะใช้เอ็กไซเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่านและแบบมีไฟล็ดรวมอยู่ด้วย เพื่อต้องการลดการบำรุงรักษา เนื่องจากไม่มีแปรงถ่านและสลิปริง และไม่ให้อำนาจแม่เหล็กตกค้างหมดในขณะที่ยุติเดินเป็นเวลานานสามารถแสดงวงจรดังรูปที่ 2.35 และ 2.36



รูปที่ 2.35 เอ็กไซเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน



รูปที่ 2.36 เอ็กไซเตอร์แบบไร้แปรงถ่านและมีไฟลิต

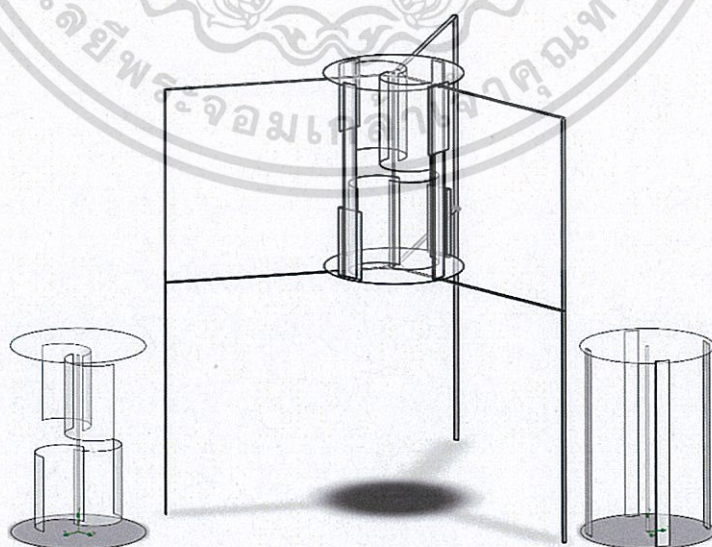
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การออกแบบสร้างชุดกังหันลมแนวแกนตั้งออกแบบร่วมระหว่าง เซโวนีเยชและใจโรมิล

ในบทที่ 3 เป็นส่วนของการออกแบบโดยการวิเคราะห์ของไหลด้วยโปรแกรม Solidworks การวิเคราะห์ของไหลด้วยทฤษฎี การวิเคราะห์จากการคำนวณรูปแบบหาแรงบิด และประสิทธิภาพ การทำงานของใบกังหัน โดยสรุปพร้อมอธิบายแนวคิดของวิธีการเลือกรูปแบบกังหันลมเซโวนีเยช การเลือกจำนวนใบกังหัน การเพิ่มประสิทธิภาพใบกังหัน การทดสอบการตอบสนองต่อลมของใบกังหันใจโรมิลรูปแบบ NACA0015 การทดสอบการเลือกจำนวนและมุมการติดตั้งของใบกังหัน NACA0015 การทดสอบและออกแบบชุดทดสอบความเร็วรอบเพื่อให้เหมาะสมต่อความเร็วลมต่ำในประเทศไทย และส่วนสุดท้ายเป็นการทดสอบการผลิตไฟฟ้าร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่กล่าวทั้งหมดนี้ได้ทำการปฏิบัติโดยลมธรรมชาติในประเทศไทยจริง และสามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอการวางใบกังหันลมเซโวนีเยช
2. การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอจำนวนใบกังหันลมเซโวนีเยช
3. การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอเพิ่มขึ้นใบกังหันลมเซโวนีเยช
4. การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอแผ่นปิดด้านบนและล่างของกังหันลมเซโวนีเยช
5. การวิเคราะห์เพื่อการตอบสนองต่อลมของใบกังหันใจโรมิลรูปแบบ NACA0015
6. การวิเคราะห์ชุดต้นแบบกังหันออกแบบร่วม

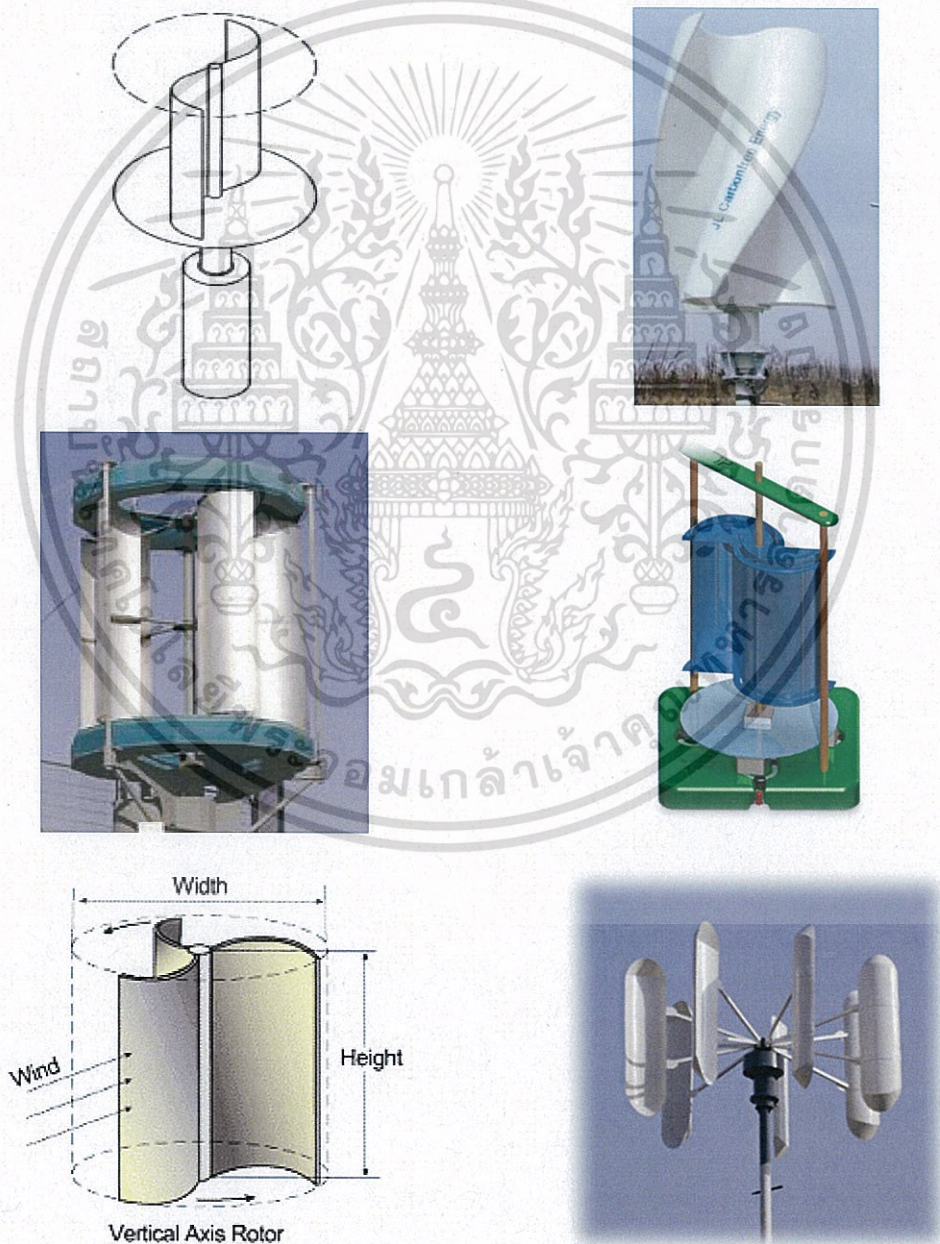


รูปที่ 3.1 ต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งออกแบบร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอการวางใบกังหันลมเซโวนีเยช

จากการศึกษาและการพัฒนาการทำงานของกังหันลมแนวแกนตั้งเซโวนีเยชจากอดีตถึงปัจจุบัน พบว่ากังหันดังกล่าวขาดการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพราะถูกมองว่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ต่ำกว่ากังหันรูปแบบแนวแกนนอน แต่ด้วยลักษณะลมในประเทศไทยมีความเร็วต่ำเฉลี่ยไม่เกิน 4 เมตรต่อวินาที และความแปรปรวนสูง ดังนั้นเอกลักษณ์ของการหมุนทางเดียว (Directional Rotation) และเริ่มออกตัวที่ความเร็วลมต่ำของกังหันลมเซโวนีเยชจึงเหมาะต่อการศึกษาเพื่อพัฒนาความเร็วรอบ โดยอดีตจนถึงปัจจุบันกังหันลมเซโวนีเยชขาดการพัฒนาและสามารถพบเห็นได้ในรูปแบบที่หลากหลายดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างรูปแบบของกังหันลมเซโวนีเยช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เพื่อความเหมาะสมในการศึกษาและงานวิจัยในการพัฒนาเพื่อการผลิตไฟฟ้า การเลือกรูปแบบพื้นฐานของกังหันลมเซโวนีซจึงเลือกรูปแบบแรกของแนวคิด เพื่อทำความเข้าใจถึงต้นกำเนิดของกังหันลมที่มีแนวคิดหลักในการใช้ลมเป็นตัวลากพาในการหมุน ดังนั้นวิเคราะห์เพื่อการเลือกหรือการออกแบบใบกังหันควรคำนึงถึงแนวคิดการไหลของของไหลเป็นสำคัญดังต่อไปนี้

### 3.1.1 มิติของของไหล (Dimensions)

มิติ หมายถึง คุณสมบัติทางกายภาพของสสาร ซึ่งสามารถระบุได้ในเชิงปริมาณ เช่น ความยาว น้ำหนัก มวล แรง ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

#### 1. มิติปฐมภูมิ หรือ มิติพื้นฐาน (Primary Dimensions or Basic Dimensions)

มิติปฐมภูมิ หมายถึง มิติของตัวแปรพื้นฐานที่ไม่สามารถแยกเป็นมิติอื่นได้อีก และไม่ขึ้นอยู่กับมิติอื่นๆ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณที่ที่สสารแสดงออกมาโดยตรง ในวิชากลศาสตร์ของของไหลจะใช้มิติพื้นฐาน 4 ตัว คือ มวล ความยาว เวลา และอุณหภูมิ [19] [18]

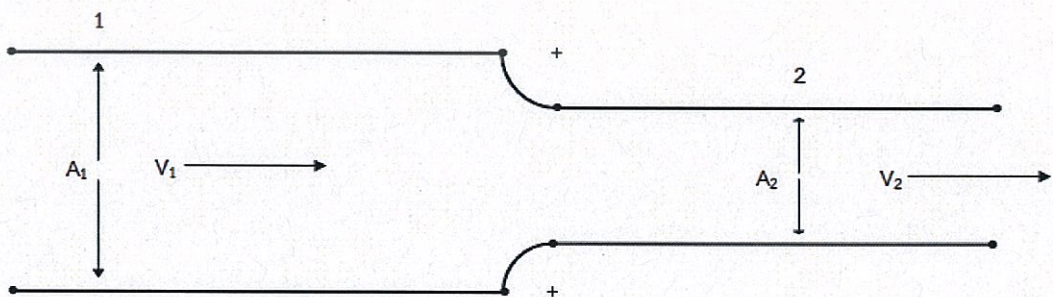
#### 2. มิติทุติยภูมิ (Secondary Dimensions)

มิติทุติยภูมิ เป็นมิติที่เกิดจากการรวมกันของมิติปฐมภูมิ ซึ่งตัวแปรจะแสดงค่ามิติตามที่ถูกกำหนดขึ้นจาก นิยาม หรือทฤษฎี เช่น ปริมาตร เกิดจาก ความกว้าง (L) x ความยาว (L) x ความสูง (L) ดังนั้น ปริมาตร จึงมีมิติเป็น  $L^3$  หรือ ความเร็ว คือ ระยะทางที่เปลี่ยนไป (L) ต่อหนึ่งหน่วยเวลา (T) ดังนั้น ความเร็ว จึงมีมิติเป็น  $L/T$  เป็นต้น

### 3.1.2 สมการการไหลอย่างต่อเนื่อง

จากสมการการไหลอย่างต่อเนื่อง (Equation of Continuity) เมื่อมีการไหลภายในท่อจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 มวลของของไหลที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะมีค่าคงที่ ดังรูปที่ 3.3 ตามหลักทรงมวล (Conservation of mass) ซึ่งจะเขียนเป็นสมการ 3.1

$$\rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 \quad (3.1)$$

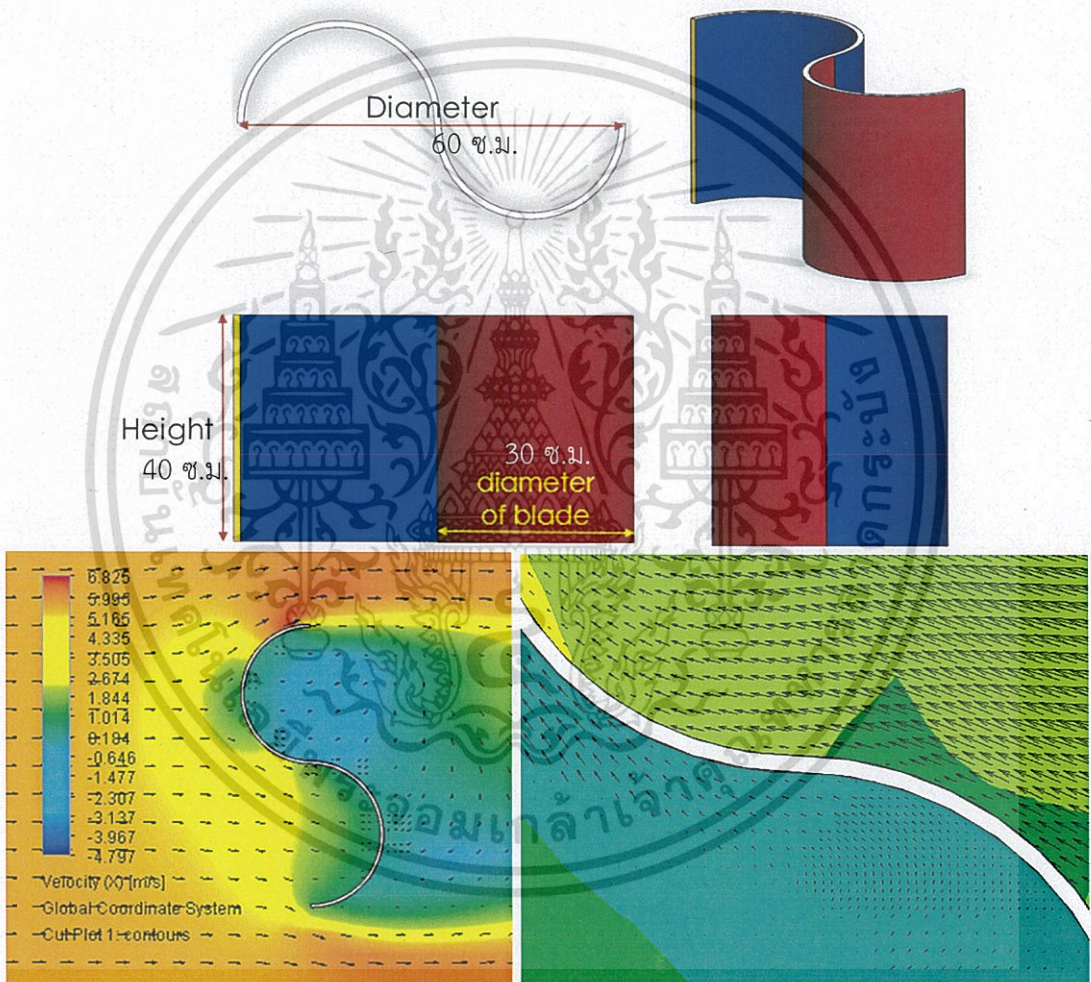


รูปที่ 3.3 การไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดลดขนาด

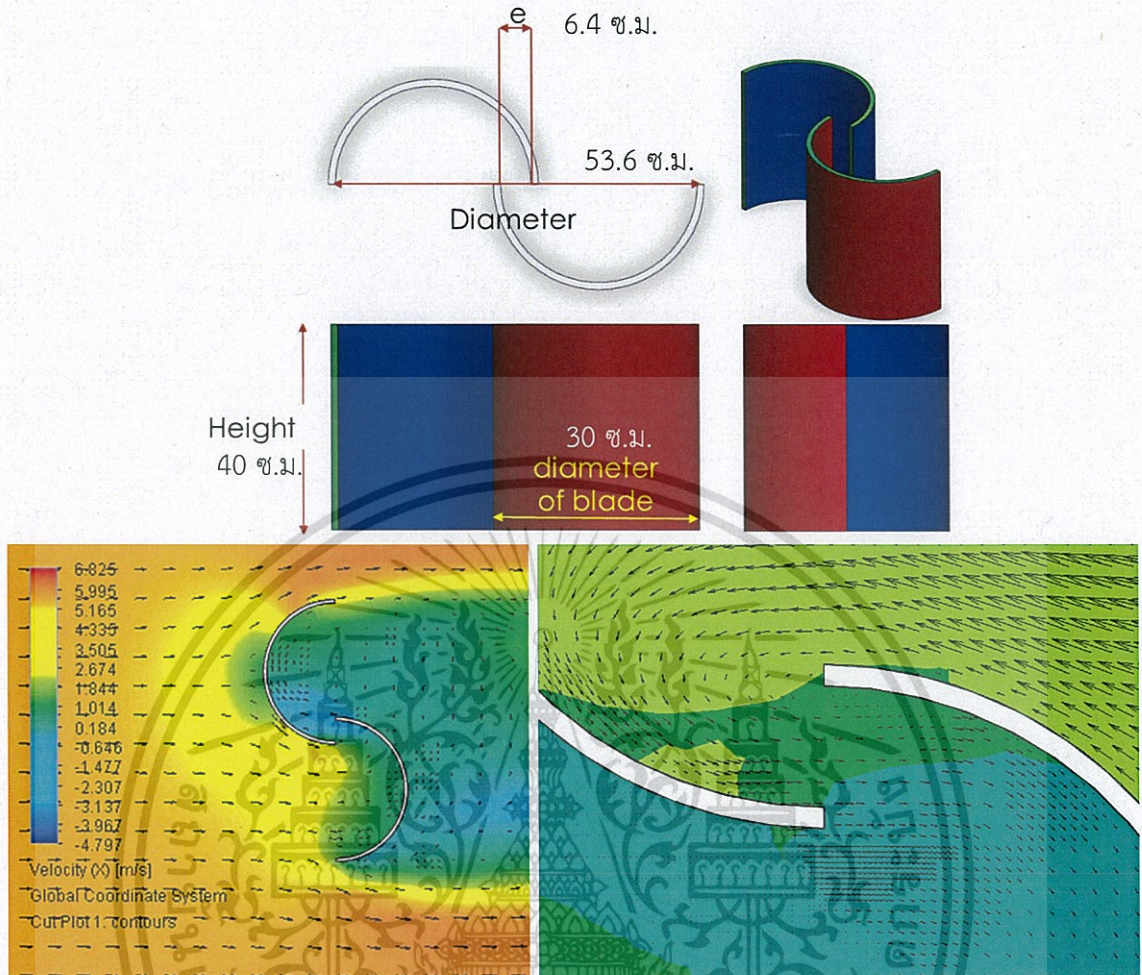
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอการวางใบกังหันลมเซโวนีเยซ

เนื่องด้วยกังหันเซโวนีเยซเป็นกังหันลมที่ขาดการพัฒนาเป็นเวลานาน ดังนั้นการศึกษาเพื่อการออกแบบอย่างชัดเจนยังมีน้อย และข้อจำกัดของการจัดหาอุปกรณ์เพื่อการทดลอง ผู้เขียนจึงเริ่มต้นด้วยรูปแบบมาตรฐานตามต้นกำเนิดกังหันลมแนวแกนตั้งดังกล่าวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับการทำงานวิจัย โดยใช้โปรแกรม Solidworks ในการวิเคราะห์เพื่อนำเสนอการวางใบกังหันลมเซโวนีเยซร่วมกับการคำนวณ เพื่อเลือกรูปแบบใบกังหันที่ไม่มี หรือมีช่องถ่ายเทอากาศระหว่างใบกังหันดังรูปที่ 3.4 และ 3.5

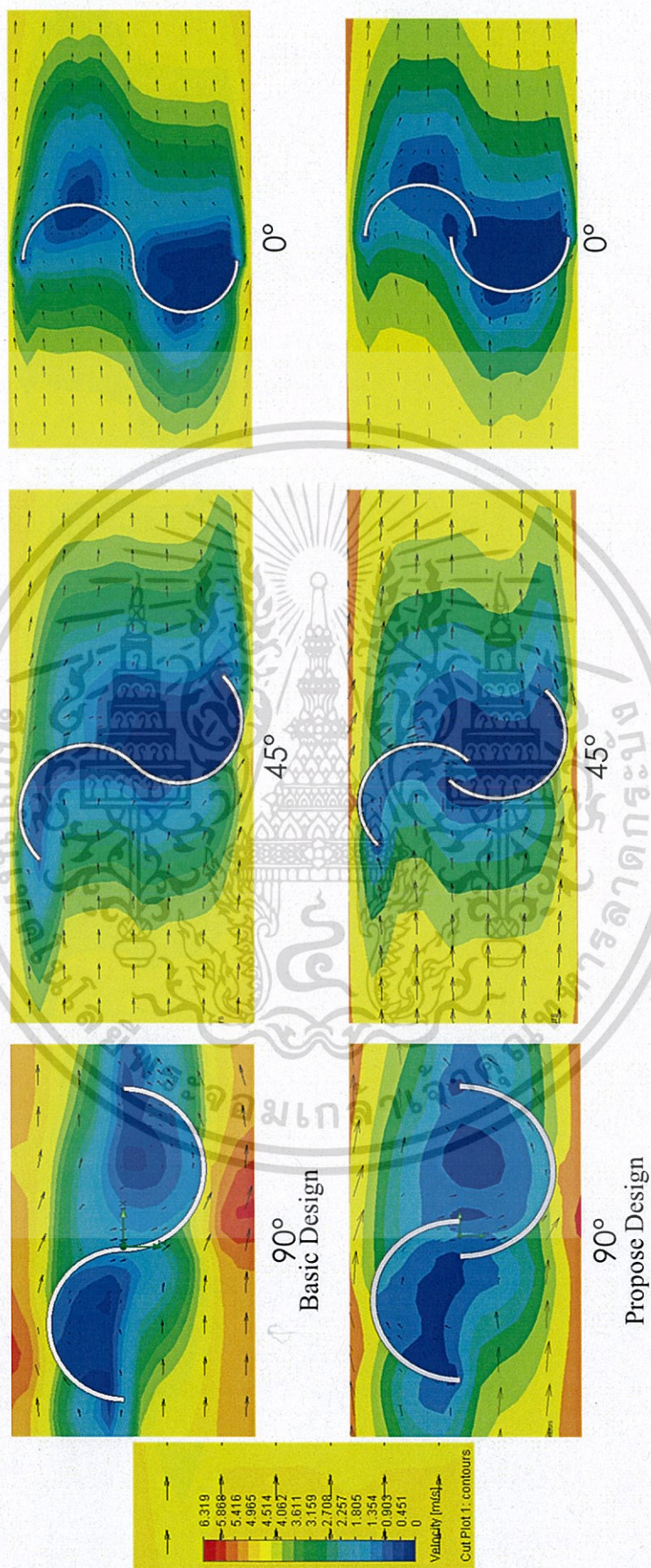


รูปที่ 3.4 แสดงการไหลผ่านของอากาศ(แบบไม่มีช่องว่าง)



รูปที่ 3.5 แสดงการไหลผ่านของอากาศ(แบบมีช่องว่าง 6.4 ซม.)

ผลการจำลองความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที ผ่านใบกังหันด้วยโปรแกรม Solidworks แสดงให้เห็นถึงความเร็วที่แตกต่างของการไหลผ่านของอากาศที่ใบกังหันทั้งสองรูปแบบดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 โดยรูปที่ 3.5 จะแสดงให้เห็นถึงอากาศที่ไหลผ่านช่องระหว่างใบเข้าปะทะใบที่หันหลังให้ลมด้วยความเร็วลมเฉลี่ย 1.22 เมตรต่อวินาที และส่งเสริมการหมุน ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากแนวความคิดการไหลอย่างต่อเนื่องสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบกังหันที่มีช่องว่างระหว่างใบสามารถถ่ายเทมวลของอากาศเพื่อรักษาความเร็วในการเข้าปะทะอากาศได้ดีกว่า และอากาศที่ไหลผ่านช่องระหว่างใบยังช่วยลดแรงต้านลมดูดที่เกิดขึ้นที่มุมอับอากาศหลังใบระหว่างการหมุน



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.6 แสดงการไหลผ่านของอากาศ ณ องศาต่างๆ ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาทีที่อาคารค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_a = \left( \frac{\rho \pi D^2 v^3}{8} \right) \quad (2.6)$$

เมื่อ	$\rho$	เท่ากับ	1.225	(kg/m <sup>3</sup> )
	$\pi$	เท่ากับ	3.141...	
	$D^2$	เท่ากับ พ.ท. หน้าตัด	0.32(1), 0.2944(2)	(m <sup>2</sup> )
	$v$	เท่ากับ	5	(m/s)

จากการคำนวณกำลังพื้นฐาน กังหันรูปแบบที่ 1 จะสามารถรับพลังงานได้ 18.24 วัตต์ และรูปแบบกังหันที่ 2 จะสามารถรับพลังงานได้ 17.7 วัตต์ ซึ่งการรับพลังงานต่างกันถึง 2.96 % แต่ทั้งนี้ความเร็วลมที่เข้าปะทะใบกังหันที่เกิดขึ้นจากการจำลองจากโปรแกรม solidworks แสดงให้เห็นถึงความเร็วลมเฉลี่ยที่มากกว่าของใบกังหันรูปแบบที่ 2 ซึ่งจากการเทียบผลในรูปที่ 3.7 สามารถเห็นได้ชัดเจนเมื่อลมพัดในแนวแกนราบจากซ้ายไปขวา ที่ตำแหน่งใกล้แกนกลางจะแสดงถึงความเร็วลมที่โครงสร้างกังหันลมรูปแบบที่ 2 สามารถรักษาไว้ได้ดีกว่ากังหันลมรูปแบบที่ 1 นอกจากนี้ลักษณะลมที่ผ่านช่องไปหาอีกใบของกังหันรูปแบบที่ 2 ยังมีความเร็วที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับกังหันรูปแบบที่ 1 ซึ่งช่วยสนับสนุนการหมุนดังรูปเปรียบเทียบที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ภาพขยายของรูปที่ 3.4 และ 3.5

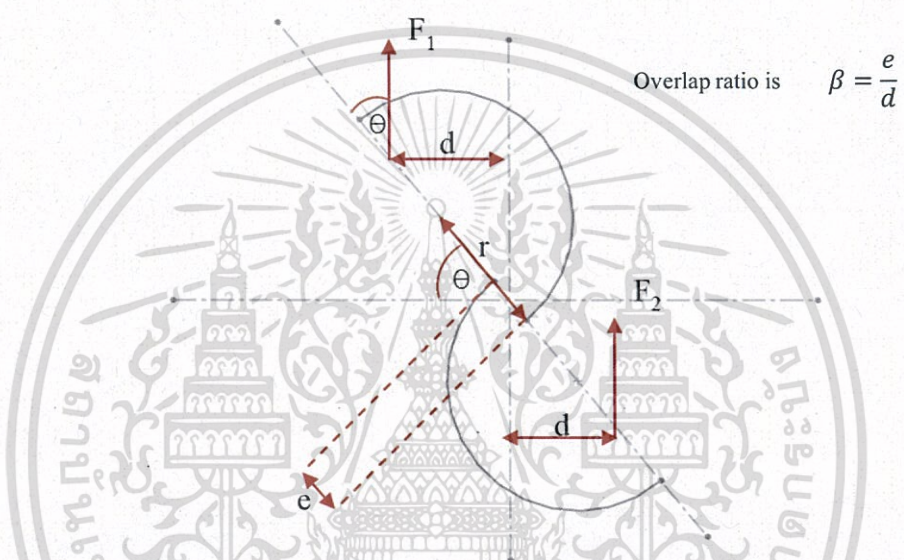
รูปที่ 3.7 เป็นการขยายภาพผลการจำลองของใบกังหันลมเซโวนีเยชในรูปแบบที่ 1 (ไม่มีช่องระหว่างใบ, ซ้าย) และกังหันลมเซโวนีเยชรูปแบบที่ 2 (มีช่องระหว่างใบ 6.4 ซม., ขวา) โดยผลการจำลองด้วยโปรแกรมแสดงให้เห็นถึงความเร็วลมภายใต้กรอบสี่เหลี่ยมของกังหันลมในรูปแบบที่ 2 มีความเร็วของลมที่เข้าหาใบกังหันสูงกว่าเมื่อเทียบกับกังหันลมรูปแบบที่ 1 ภายใต้เงื่อนไขจำลองความเร็วลมความเร็ว 5 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ภาพใต้พื้นที่กรอบวงกลมของกังหันลมรูปแบบที่ 2 แสดงถึงความเร็วลม ที่วิ่งเข้าชนและมีทิศทางสนับสนุนการหมุน ในทางเดียวกันเมื่อจำลองความเร็วลมสูงที่ 12 เมตรต่อวินาที ลักษณะการไหลและการเกิดแรงดันของอากาศมีลักษณะเดียวกันเพียงแต่ค่าแรงดันสูงมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับความเร็วลมที่เข้าปะทะ ณ จุดนั้นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการวิเคราะห์การไหลของอากาศด้วยโปรแกรม Solidwork ยังสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของช่องระหว่างใบกังหันเทียบกับขนาดความกว้างของใบกังหันที่ควรมีอัตราส่วนให้ได้ใกล้เคียง 0.2 จากสมการที่ 3.2 โดยอ้างอิงตามโครงสร้างดังรูปที่ 3.8 และสามารถคำนวณภายใต้เงื่อนไขได้ดังตารางที่ 3.1

$$T_{\theta} = \sum_{n=1}^n F_n \cdot d \tag{3.2}$$

$$T_{\theta} = (F_1 \cdot (r - \beta \cdot d)) \cdot \cos \theta - (F_2 \cdot (r - \beta \cdot d)) \cdot \cos \theta$$



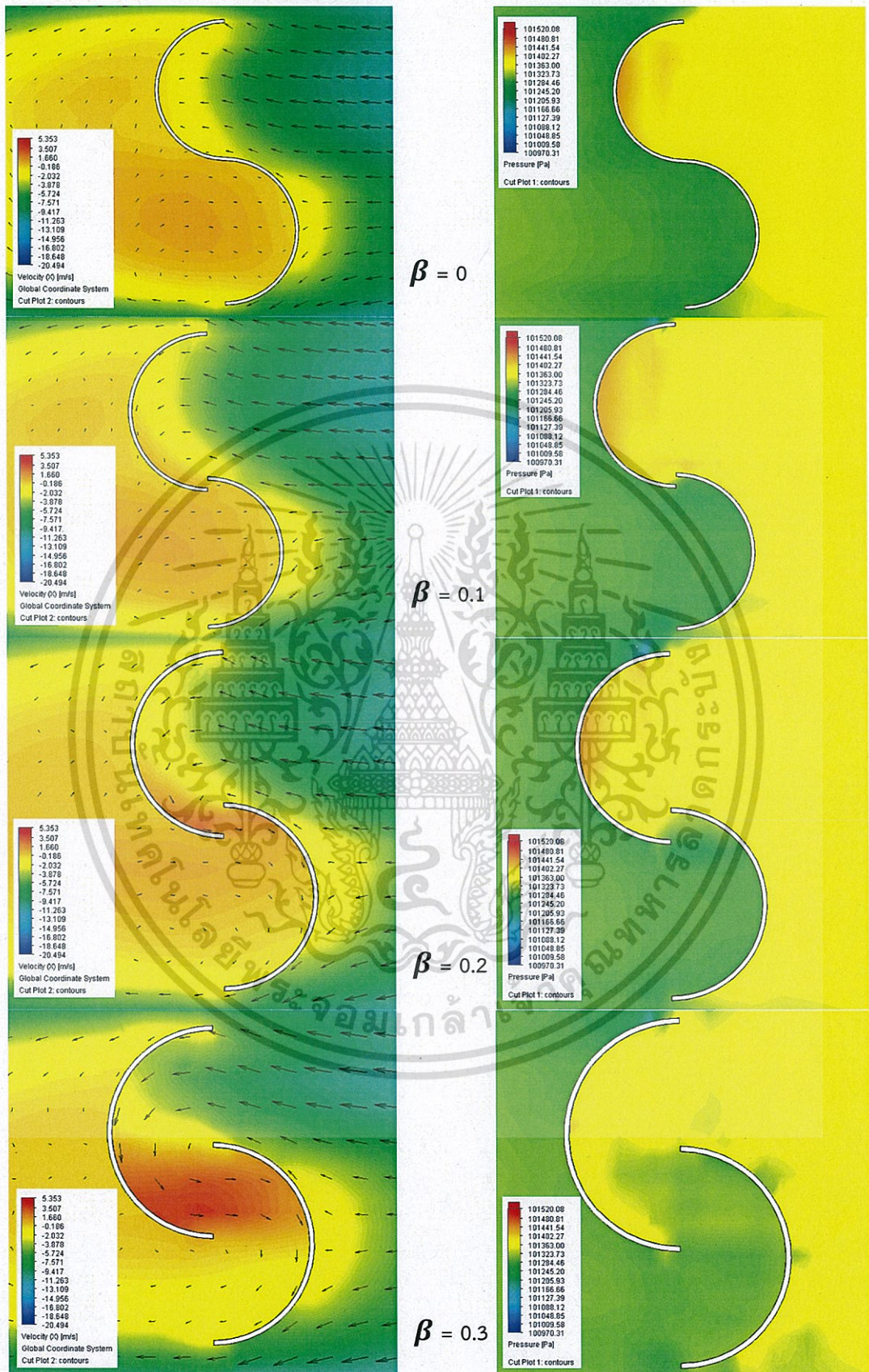
รูปที่ 3.8 ภาพโครงสร้างเพื่อการวิเคราะห์ร่วมกับสมการที่ 3.8

ตารางที่ 3.1 ผลการคำนวณเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะช่องกับความกว้างของใบ

Overlap Ratio( $\beta$ )	Angular Position ( $\theta$ )	Torque ( $T_{\theta}$ )(N·m)	Avg. ( $T_{\theta}$ )(N·m)	Power(W)
0	0°	0.86705	0.6416	4.029
	45°	0.5054		
	90°	-0.0271		
	135°	1.2209		
0.1	0°	0.79796	0.7489	4.7034
	45°	0.99505		
	90°	0.83604		
	135°	0.3667		
<b>0.2</b>	0°	0.85248	<b>0.7825</b>	<b>4.914</b>
	45°	0.6687		
	90°	1.0064		
	135°	0.6024		

เอกสารนี้เป็น \*\*\* การคำนวณภายใต้เงื่อนไข ความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาที ที่กังหันความเร็วรอบ 6.28 รอบต่อวินาที \*\*\*

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

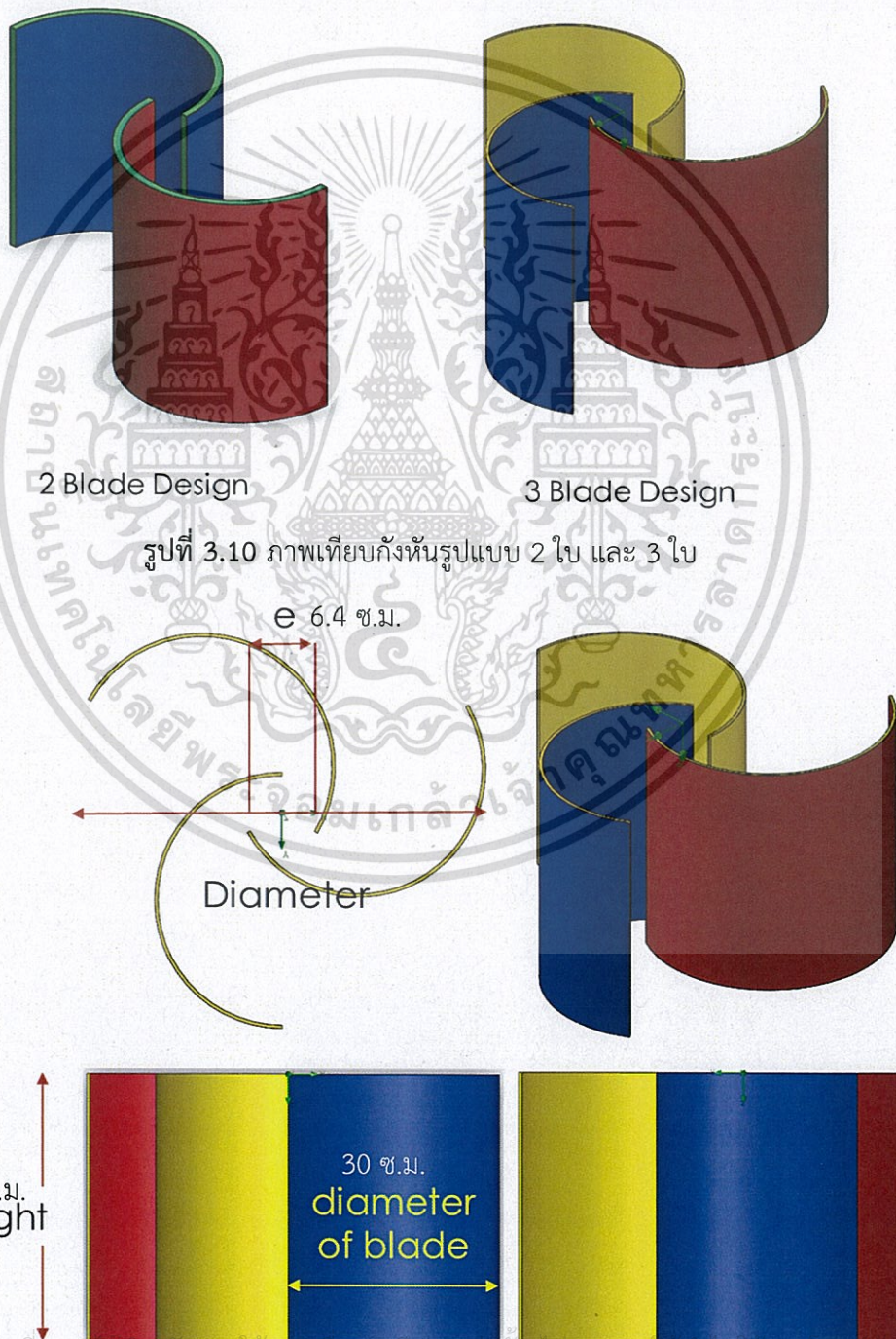


รูปที่ 3.9 ภาพเทียบความเร็วลมและแรงดันที่อัตราส่วนระหว่างใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

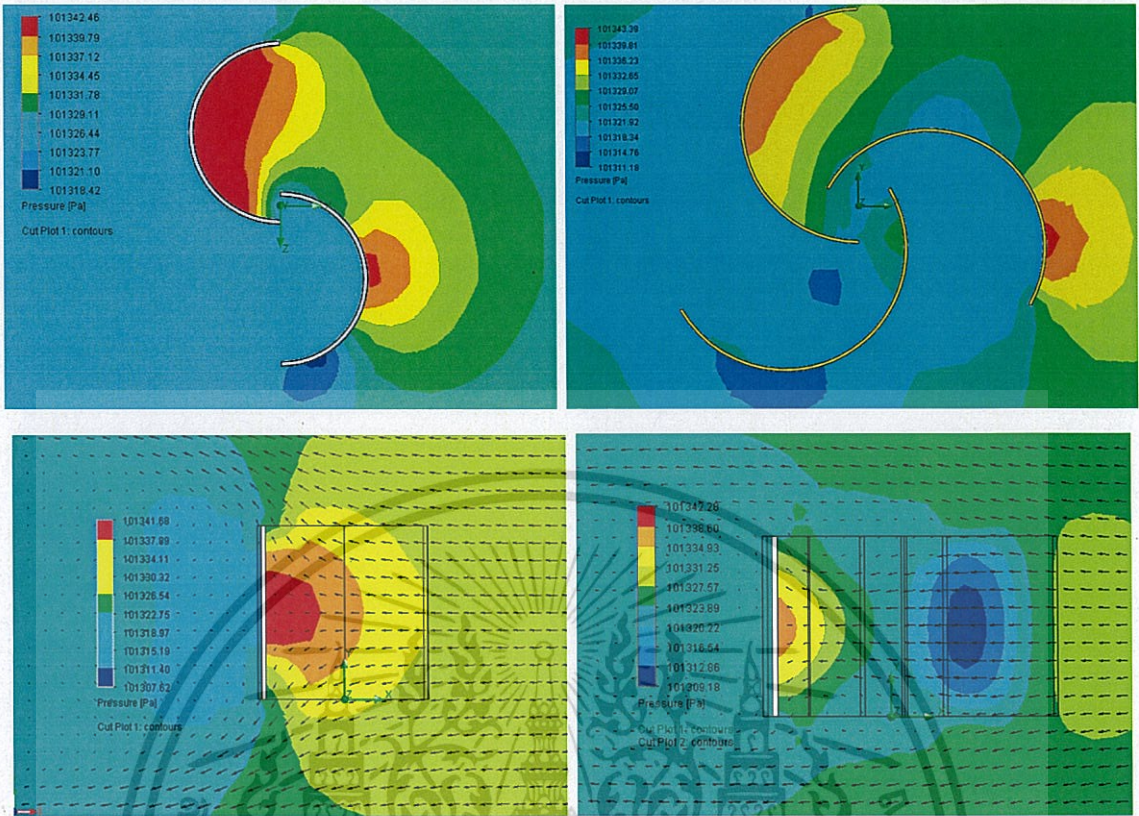
### 3.2 การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอจำนวนใบกังหันลมเซโวนีเยช

ในหัวข้อที่ 3.2 นำเสนอแนวความคิดและวิเคราะห์เพื่อศึกษาการเพิ่มจำนวนใบกังหัน โดยการวิเคราะห์ใบกังหันลมเซโวนีเยชรูปแบบ 3 ใบ และ 2 ใบ ดังรูปที่ 3.10 ในแนวระนาบเดียวกันโดยโปรแกรม Solidwork เพื่อสังเกตการณ์ไหลผ่านของอากาศและแรงที่เกิดจากอากาศ ภายใต้เงื่อนไขความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที รวมถึงการเปรียบเทียบผลการทดสอบจากวิทยานิพนธ์ต่างประเทศเพื่อข้อมูลสนับสนุนความถูกต้องในการวิเคราะห์ ทั้งนี้แบบจำลองใบกังหัน 2 ใบ ยังคงรูปแบบของกังหันเซโวนีเยชรูปแบบที่ 2 ในหัวข้อที่ 3.1.3 เพื่อความต่อเนื่องในการออกแบบดังรูปที่ 3.10



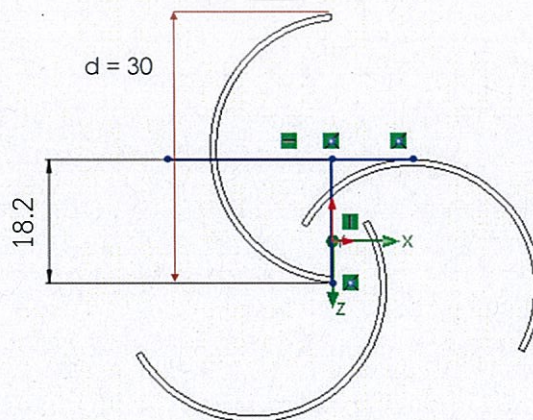
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือจำหน่าย การค้า  
 ระบุว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 ภาพโครงสร้างชุดใบกังหัน 3 ใบ



รูปที่ 3.12 ภาพเปรียบเทียบแรงดันและการไหลที่กระทำต่อกังหันเซโวนีซ 2 ใบ และ 3 ใบ ด้วย

จากการจำลองความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที ในแนวระนาบเดียวกันด้วยโปรแกรม Solid work รูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นถึงแรงดันที่มากกว่าของอากาศกระทำต่อกังหันเซโวนีซรูปแบบ 2 ใบ และแรงดันที่น้อยกว่ากระทำต่อรูปแบบ 3 ใบ เมื่อทำการวิเคราะห์ทางการคำนวณที่สอดคล้องกับสมการที่ 2.6 แต่ความสัมพันธ์และองค์ประกอบในการคำนวณจะแตกต่างกันออกไปสืบเนื่องจากรูปแบบใบกังหัน 3 ใบ ที่  $90^\circ$  ดังรูปที่ 3.13 หรือกล่าวได้ว่าเป็นมุมที่สามารถรับพลังงานลมได้มากที่สุด แสดงให้เห็นถึงส่วนต่างของพื้นที่รับพลังงานลมที่ลดลงถึง 50 % แต่จากรูปแบบการวางจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อโอกาสการรับพลังงานใน 1 รอบ การทำงานที่มากขึ้นเช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.13 พื้นที่รับลมที่เปลี่ยนไปของกังหันเซโวนีซ 3 ใบ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์จากการคำนวณประสิทธิภาพเบื้องต้นต่อการทำงาน 1 รอบ โดยสมมติให้ ความเร็วรอบเท่ากันและความเร็วลมเท่ากัน ดังนั้นการทำงานของกังหันลม 2 ใบ ในหนึ่งรอบจะมีการ รับพลังงานลมสูงสุดทั้งหมด 2 ครั้ง ส่วนการทำงานของกังหันลม 3 ใบ ในหนึ่งรอบจะมีการรับ พลังงานลมสูงสุดทั้งหมด 3 ครั้ง ดังนั้นเมื่อแทนลงในสมการที่ 2.6 จะได้ว่า

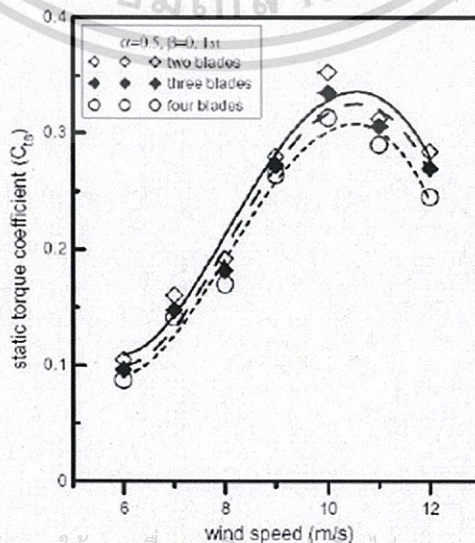
$$P_a = \left( \frac{\rho \pi D^2 v^3}{8} \right) \tag{2.6}$$

เมื่อ	$\rho$	เท่ากับ	1.225	(kg/m <sup>3</sup> )
	$\pi$	เท่ากับ	3.141...	
	$D^2$	เท่ากับ พ.ท. หน้าตัด	0.1472 (3 ใบ), 0.2944(2 ใบ)	(m <sup>2</sup> )
	$v$	เท่ากับ	5	(m/s)

$$P_a = \left( \frac{\rho \pi D^2 v^3}{8} \right) = \frac{1.255 \times 3.141 \times 0.1472 \times 5^3}{8} \text{ (3 ใบ)}$$

$$P_a = \left( \frac{\rho \pi D^2 v^3}{8} \right) = \frac{1.255 \times 3.141 \times 0.2944 \times 5^3}{8} \text{ (2 ใบ)}$$

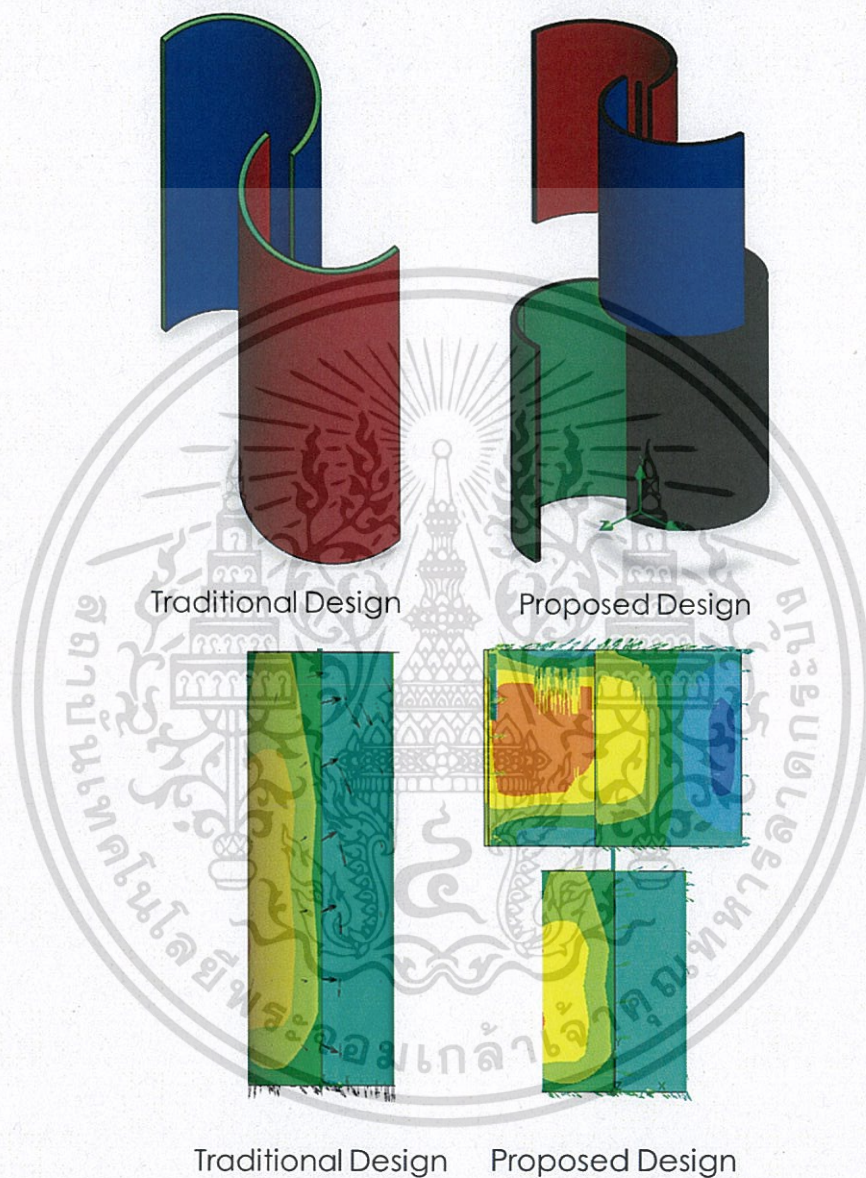
เมื่อเทียบการทำงานที่ 1 รอบ ของกังหันรูปแบบ 3 ใบสามารถรับพลังงานได้ 27.2 วัตต์ แต่ กังหัน 2 ใบสามารถรับพลังงานได้ได้ถึง 36.265 วัตต์ ดังนั้นในการเลือกจำนวนใบของกังหันลมเซโว เนียซจึงไม่เหมาะสมต่อการเพิ่มใบในระนาบเดียวกันเพราะผลจากพื้นที่ที่ลดน้อยลง โดยสามารถเทียบ ผลการวิเคราะห์เทียบจากงานวิจัยดังรูปที่ 3.14 จากวิทยานิพนธ์โดยการวิเคราะห์การวางใบกังหัน ของภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล (A Review Study on Savonius Wind Rotors for Accessing the Power Performance), [20]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.14** ผลการทดสอบประสิทธิภาพแรงบิดของกังหันลมเซโวเนียซขนาดเล็ก [20]  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

### 3.3 การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอเพิ่มขึ้นใบกังหันลมเซโวเนียช

ในหัวข้อที่ 3.3 นำเสนอการวิเคราะห์เพื่อนำเสนอเพิ่มขึ้นใบกังหันลมเซโวเนียช โดยการวิเคราะห์จากการคำนวณโดยอ้างอิงจากสมการที่ 3.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเริ่มหมุน



รูปที่ 3.15 ภาพเทียบกังหันแบบไม่มีชั้นและมีชั้น

ภาพที่ 3.15 แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของการวางจำนวนใบกังหันที่ไม่กระทบต่อพื้นที่รับพลังงานลมของใบกังหัน โดยในการหมุน 1 รอบที่ความเร็วเท่ากันนั้น ใบกังหันแบบระดับชั้นจะสามารถรับลมได้สูงสุดถึง 4 ครั้ง เมื่อแทนลงไปในสมการที่ 2.7 จะได้ว่ากังหันรูปแบบที่ 2 (ใบวางซ้อนกันโดยวางแนวใบระหว่างชั้นต่างกัน  $90^\circ$ ) สามารถรับพลังงานได้ประมาณ 72.53 วัตต์ ต่อ 1 รอบ หรือสามารถคำนวณเทียบแรงบิดจากสมการที่ 3.2 เพื่อวิเคราะห์การทำงานได้ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ผลการคำนวณเพื่อวิเคราะห์การวางใบกังหัน 2 ชั้น โดยทำมุมต่างกัน 90°

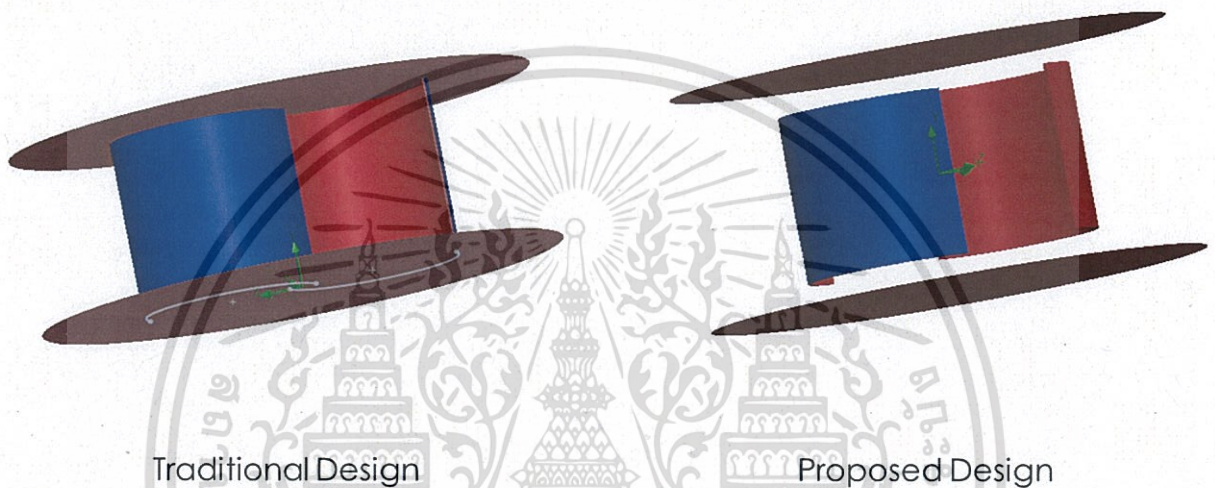
Gradation	Angular Position ( $\theta$ )	Torque ( $T_\theta$ ) (N·m)	Avg. ( $T_\theta$ ) (N·m)
First step	0	0.85248	0.6416
	45	0.6687	
	90	1.0064	
	135	0.6024	
Second Step	0+90	1.0064	0.7489
	45+90	0.6024	
	90+90	0.85248	
	135+90	0.6687	
Combine Torque	0	1.85888	1.56499
	45	1.2711	
	90	1.85888	
	135	1.2711	

\*\*\* การคำนวณภายใต้เงื่อนไข ความเร็วลม 0.6 เมตรต่อวินาที ที่กังหันความเร็วรอบ 6.28 รอบต่อวินาที \*\*\*

จากตารางที่ 3.2 ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 3.2 แสดงถึงประสิทธิภาพแรงบิดของชุดใบกังหันเซโวนีซที่เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มระดับชั้นของการติดตั้งที่มุมต่างกัน 90° และช่วยเพิ่มโอกาสการเริ่มหมุน เพราะจากรูปที่ 3.15 เป็นการจำลองให้อากาศไหลเข้าทำเมื่อใบกังหันอยู่ในรูปแบบที่วางขนานกับอากาศ ซึ่งรูปแบบแรงที่เกิดขึ้นกับกังหันลมรูปแบบชั้นเดียวแสดงให้เห็นถึงแรงที่ก่อให้เกิดการหมุนสวนทางก่อนหน้าใบกังหันรับลมจะอยู่ในตำแหน่งที่สามารถรับพลังงานได้ และจะเริ่มหมุนตามลักษณะที่ถูกต้องของกังหันเมื่อนำใบกังหันหันเข้ารับลม ดังนั้นการเลือกใบกังหันเพื่อออกแบบร่วมจึงควรใช้รูปแบบการวาง 2 ชั้น หรือแบบชั้น เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสในการรับพลังงานลมและสามารถเริ่มออกตัวในทิศทางการหมุนที่ถูกต้อง และรักษาเสถียรภาพของแรงบิดในรอบการหมุนได้ดีกว่า

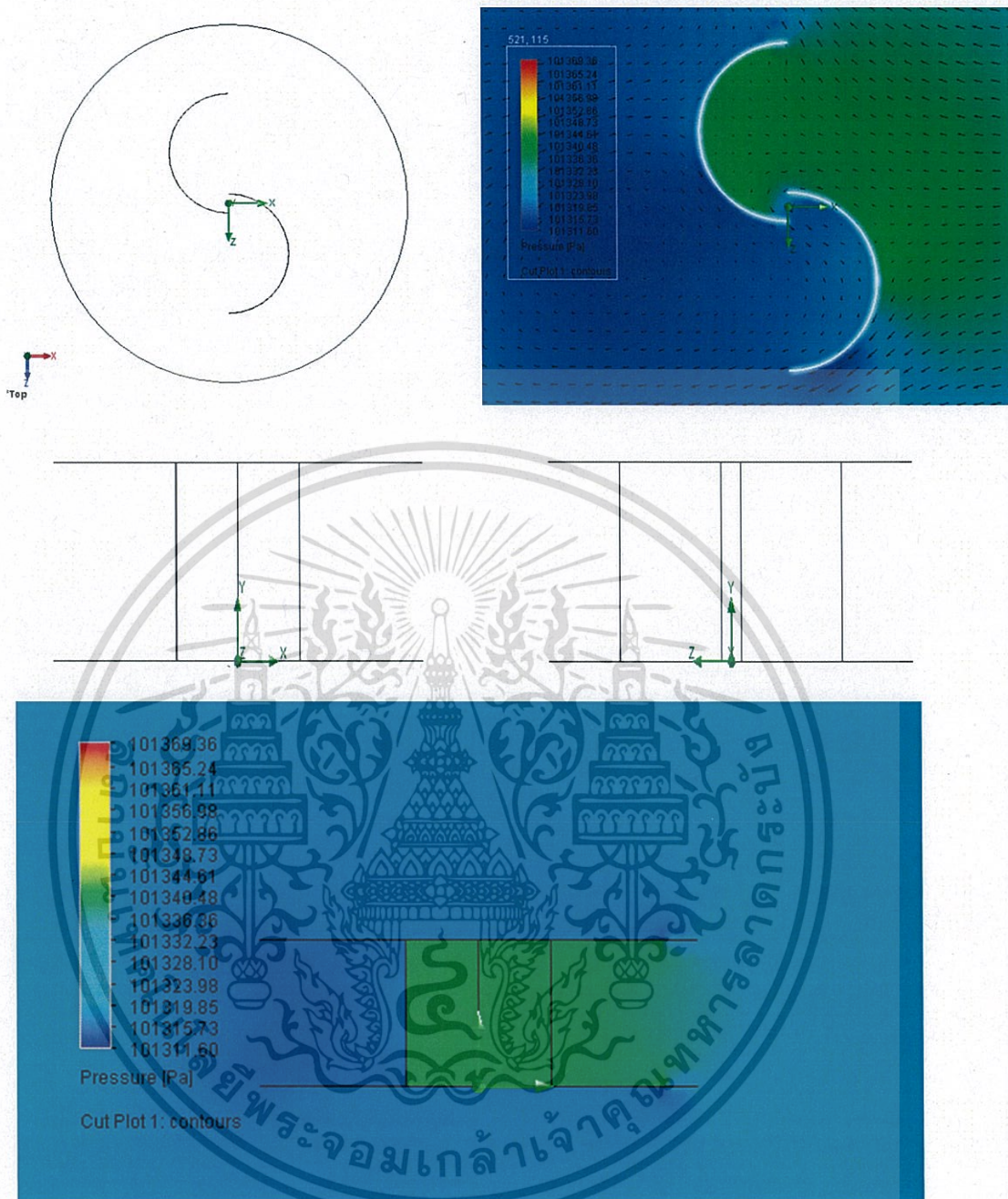
### 3.4 การวิเคราะห์เพื่อนำเสนอแผ่นปิดด้านบนและล่างของกังหันลมเซโวนีเยซ

ในหัวข้อ 3.4 นำเสนอวิธีการวิเคราะห์เลือกรูปแบบของกรอบปิดด้านบนและล่าง เพื่อการติดตั้งชุดใบกังหันใจโรมิลของต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งออกแบบร่วม โดยจากรูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นถึงอากาศบางส่วนที่ถูกบีบอัดไหลผ่านส่วนบนและล่างของใบกังหันเซโวนีเยซชุดรับลม ณ ขณะนั้น ดังนั้นการมีขอบเขตช่องว่างเพื่อการถ่ายเทมวลอากาศในระหว่างการไหลของอากาศผ่านช่องด้านบนและล่าง จึงส่งผลต่อแรงดันอากาศและความเร็วลมที่เคลื่อนที่เข้าหาใบกังหันต่างออกไป โดยการจำลองแรงดันอากาศที่ไหลผ่านใบกังหันที่มีการปิดด้านบนและล่างของใบกังหัน ดังรูปที่ 3.16



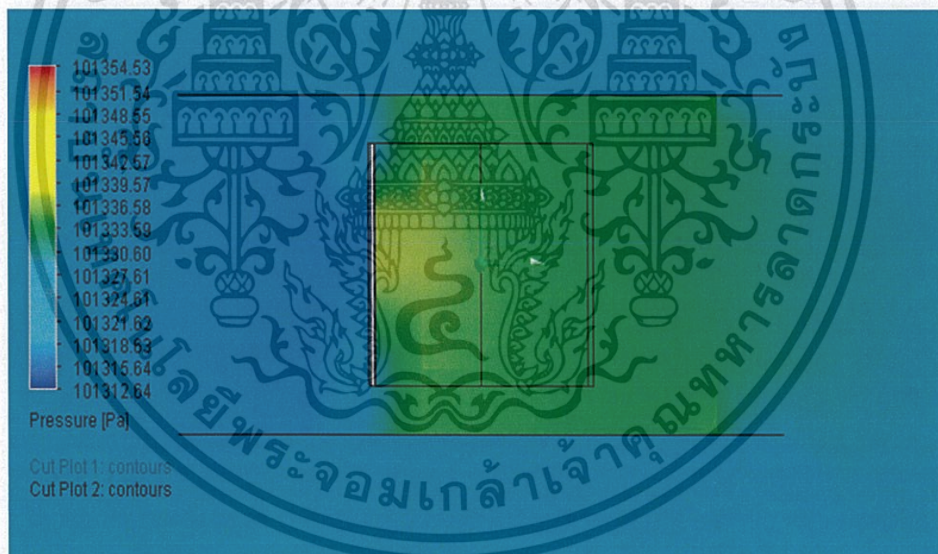
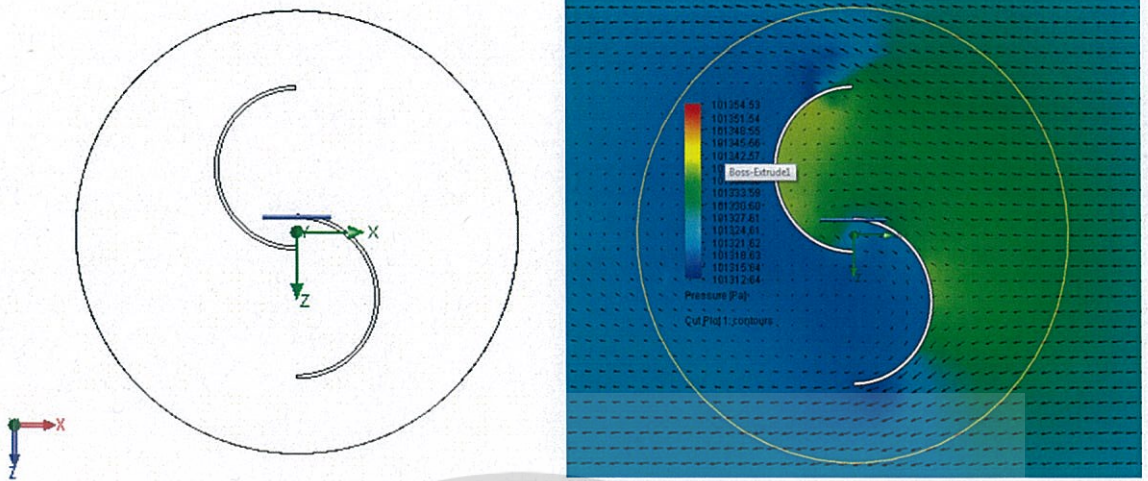
รูปที่ 3.16 ภาพเทียบกังหันรูปแบบฝาปิดสนิท และมีช่องว่าง

ดังนั้นเพื่อความสอดคล้องในการออกแบบให้อากาศสามารถไหลผ่านใบกังหันได้ดี จึงทำการจำลองขนาดของใบกังหันที่มีฝาปิดด้านบนและล่างอยู่ห่างกับโครงสร้างใบกังหันเป็นระยะ 8 เซนติเมตร ด้วยแนวคิดของไหลอย่างต่อเนื่อง เพื่อรักษาความเร็วของอากาศที่เข้าปะทะหน้าใบรับพลังงาน กล่าวคือใบกังหันจากเดิมมีพื้นที่รับพลังงานเท่ากับ  $30 \times 40 = 1,200$  ตารางเซนติเมตร และมีช่องอากาศที่เกิดจากการวางใบซ้อนที่มีพื้นที่อยู่แล้ว ดังนั้นการสร้างระยะห่างระหว่างใบ ขนาด 8 เซนติเมตร จึงทำให้ขนาดรวมของพื้นที่ในการถ่ายเทอากาศ มีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่รับพลังงานเท่ากับ 1010.08 ตารางเซนติเมตร โดยไม่คำนึงด้านปลายเปิดของใบกังหันเพราะ ณ จุดดังกล่าว อากาศที่ไหลตามส่วนโค้งจะถูกมวลอากาศชุดหลังผลักกลับเข้าไปดังรูปที่ 3.7 นอกจากการออกแบบเพื่อช่วยยึดใบกังหันลมใจโรมิล การสร้างขอบปิดด้านบนล่างยังมีส่วนช่วยในการจัดเรียงอากาศก่อนเข้าปะทะหน้าใบกังหันอีกด้วย



รูปที่ 3.17 แรงดันอากาศที่กระทำต่อกังหันเซโวนีชขอบปิดสนิทด้วยความเร็วลม 5 m/s  
ในแนวแกน x จากขวาไปซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

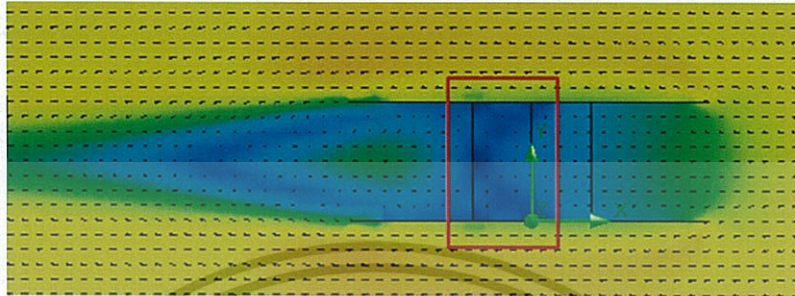


รูปที่ 3.18 แรงดันอากาศต่อกั้นหันเซวเนียชขอบปิดห่าง 8 cm. ด้วยความเร็วลม 5 (m/s)  
ในแนวแกน x จากขวาไปซ้าย

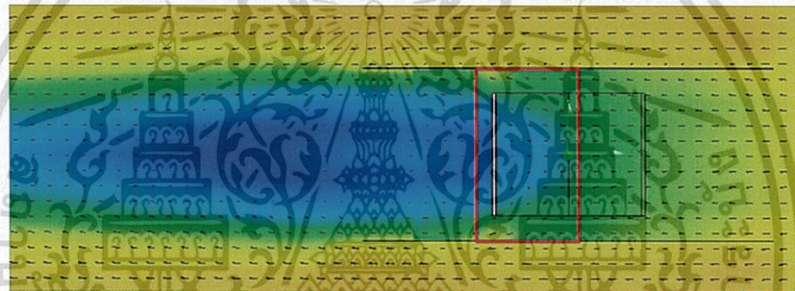
จากรูปที่ 3.17 และ 3.18 เป็นการจำลองรูปแบบใบกั้นหันตามรูปแบบที่ 2 อ้างอิงจากหัวข้อ 3.13 ซึ่งจากผลการจำลองหลังจากที่ใส่ขอบเขตปิดด้านบนล่างโดยไม่มีและมีระยะห่าง แสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของชุดกั้นหันที่มีระยะห่างจากขอบปิด 8 เซนติเมตร เพราะผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงแรงดันและความเร็วอากาศที่สามารถไหลได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการจำลองใบกังหันลมด้วยโปรแกรม Solid work เห็นได้ว่าอัตราการไหลของลมและการออกแบบการวางใบกังหันมีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของกังหันลมอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการออกแบบขอบปิดด้านบนและล่างเพื่อใช้ในการออกแบบร่วมกับกังหันลมโวจโรมิลนั้นจึงควรออกแบบให้มีระยะห่างระหว่างขอบปิดบนล่างเพื่อรักษาความเร็วลมดังรูปที่ 3.19 และ 3.20



รูปที่ 3.19 ความเร็วลมปรากฏต่อกังหันเซโวจโรมิลที่มีขอบปิดสนิท  
ความเร็วลม 5 m/s ในแนวแกน x จากขวาไปซ้าย

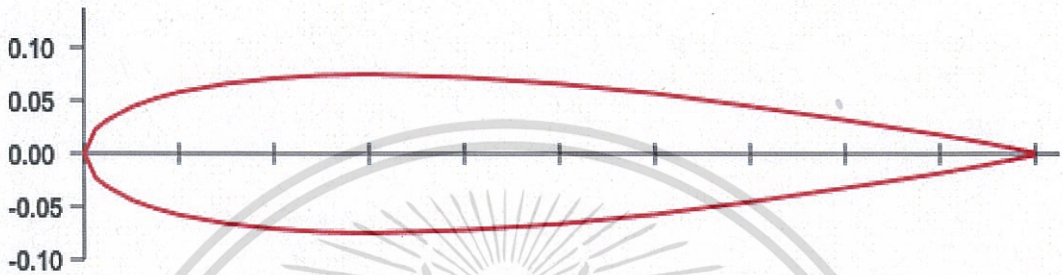


รูปที่ 3.20 ความเร็วลมปรากฏต่อกังหันเซโวจโรมิลที่มีขอบปิดห่าง 8 cm.  
ความเร็วลม 5 m/s ในแนวแกน x จากขวาไปซ้าย

รูปที่ 3.19 และ 3.20 เกิดจากการจำลองความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที เข้าหาใบกังหันทั้งสองรูปแบบจากขวาไปซ้ายโดย รูปที่ 3.20 มีอัตราการไหลของอากาศสูงกว่ารูปแบบที่มีการปิด ในรูปที่ 3.19 ที่มีขอบบนและล่างแบบปิดสนิท จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นของการออกแบบรูปแบบกังหันในเรื่องความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับประสิทธิภาพ ดังนั้นการเลือกการติดตั้งขอบปิดด้านบนเพื่อใช้ร่วมกับกังหันลมโวจโรมิลควรออกแบบให้มีระยะห่างของขอบปิด มีอัตราส่วนเทียบความสูงใบมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 สืบเนื่องจากระยะปิดขอบที่น้อยไปจะทำให้เกิดการอัดอากาศและส่งผลกระทบต่ออัตราไหลของอากาศ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกขอบปิดที่มีระยะห่างจากตัวใบพัดมากเกินไปก็อาจทำให้ระยะไม่มีผลต่ออัตราการไหลของลมเพราะขอบปิดไม่สามารถเรียงอากาศได้

### 3.5 การวิเคราะห์เพื่อการตอบสนองต่อลมของใบกังหันใจโรมิลรูปแบบ NACA0015

ใบกังหันลม NACA0015 เป็นใบกังหันรูปแบบหนึ่งที่อยู่ในช่วงต้นของการศึกษาและพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาใจโรมิลหรือกังหันลมแนวแกนตั้งดังรูปที่ 3.21 โดยมีแนวคิดจากการออกแบบปีกเครื่องบิน กล่าวคือด้วยแนวคิดของผู้คิดริเริ่ม ได้นำเอาแรงยกของการออกแบบของปีกเครื่องบินและหลักการ Airfoil เป็นหลัก ดังนั้นการศึกษาใบกังหันของใจโรมิลจึงต้องมุ่งเน้นทฤษฎีของแรงยกปีกเครื่องบินเป็นสำคัญ



รูปที่ 3.21 ภาพตัดรูปแบบกังหัน NACA0015

แรงยกที่เกิดขึ้นจากการตัดผ่านของอากาศเป็นแรงที่เกิดขึ้นจากพลศาสตร์อากาศ ในทางวิศวกรรมได้แบ่งแรงพลศาสตร์อากาศออกเป็นแรงเฉือนและความดัน โดยความเฉือนคือแรงต่อพื้นที่หนึ่งตารางหน่วยโดยที่ทิศทางของแรงกระทำอยู่ในระนาบที่ขนานกับพื้นที่ และความดันคือแรงต่อพื้นที่หนึ่งตารางหน่วยโดยที่ทิศทางของแรงตั้งฉากกับพื้นที่

#### 3.5.1 สมการการคำนวณแรงยกปีกกังหัน

เมื่อมีอากาศไหลผ่านปีกกังหัน อากาศที่วิ่งผ่านด้านบนกังหันจะมีความเร็วสูงแต่ความดันอากาศจะลดลง และในเวลาเดียวกันที่ด้านล่างปีกของกังหันจะมีแรงดันเพิ่มสูงขึ้นซึ่งผลลัพธ์สุดท้ายคือการยกตัวหรือที่เรียกว่าแรงยก (Lift Force;  $F_L$ ) ซึ่งสามารถคำนวณแรงได้จากสมการที่ 3.3 [19]

$$F_L = C_L A \left( \frac{\rho v^2}{2} \right) \quad (3.3)$$

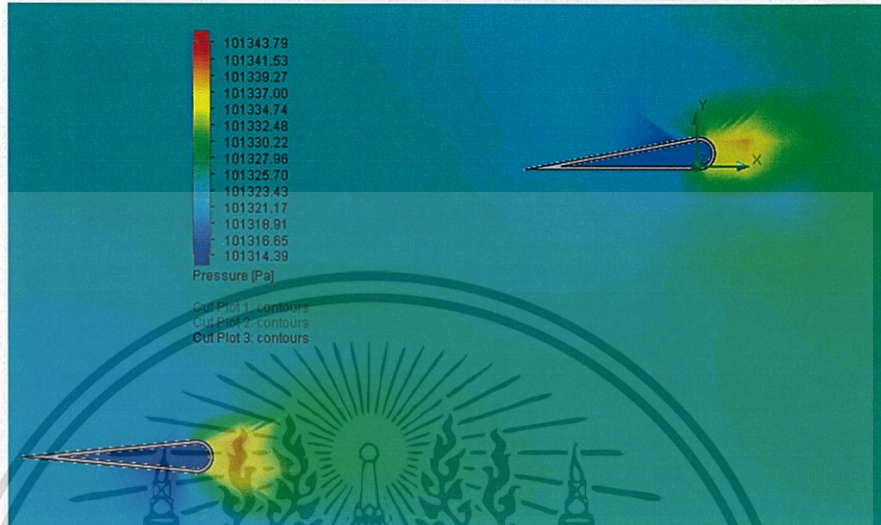
เมื่อ	$F_L$	คือแรงยก	(N)
	$A$	คือพื้นที่หน้าตัดของกังหัน	(m <sup>2</sup> )
	$C_L$	คือค่าสัมประสิทธิ์การยกตัว	
	$v$	คือความเร็วของของไหลที่ผ่านกังหัน	(m/s)

มุมปะทะ (Angle of attack) เป็นมุมระหว่างทิศทางบิน (Flight path) กับเส้นสมมติ (Chord line) และทิศทางสัมพันธ์ของลม (Relative wind) โดยมุมปะทะนี้เป็นส่วนสำคัญในการสร้างแรงยก ดังนั้นการจำลองในหัวข้อ 3.5 จะจำลอง NACA0015 กับความเร็วลมธรรมชาติในไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

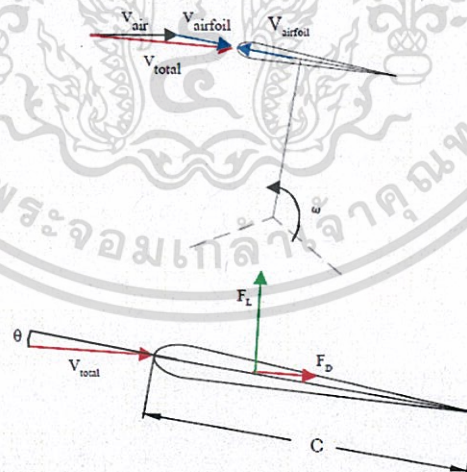
### 3.5.2 การจำลองสร้างใบกังหันด้วยโปรแกรม Solid work

หัวข้อที่ 3.5.2 เป็นการจำลองใบกังหันด้วยโปรแกรม Solid work เพื่อทดสอบการทำงานจริงด้วยการใช้แผ่นอะคริลิกหนา 3 มม. พบโค้งตามทรงใบ NACA0015 ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ผลการจำลอง NACA0015 ด้วยโปรแกรม Solid work

ด้วยแนวคิดในการสร้าง NACA0015 ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้คุณลักษณะของแพนอากาศ โดยส่วนมากผู้วิจัยท่านอื่นๆมักจะใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในการแก้สมการอนุพันธ์ที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ของการไหลของอากาศผ่านแพนอากาศได้ดังรูปที่ 3.23 [19]



รูปที่ 3.23 การพิจารณาแรงที่อากาศทำต่อแพนอากาศ [19]

จากรูปที่ 3.23 ใบกังหันลมอยู่ในสถานการณ์หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม  $\omega$  ทำให้แพนอากาศมีความเร็วเท่ากับ  $V_{\text{airfoil}}$  ในขณะที่อากาศไหลด้วยความเร็ว  $V_{\text{air}}$  ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ที่อากาศไหลเข้าปะทะกับกังหันลมมีค่าเท่ากับ  $V_{\text{total}}$  นอกจากนี้ความเร็วดังกล่าวยังก่อให้เกิดแรงยก  $F_L$  ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับ  $V_{\text{total}}$  และ แรงต้าน  $F_D$  ซึ่งมีทิศทางอยู่ในแนวเดียวกันกับ  $V_{\text{total}}$  โดยแรงยกและแรงเอกสารต้านที่อากาศกระทำต่อแพนอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.10 และ 3.11 ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{F_L}{l} = C_L \times 0.5 \times \rho \times V_{total}^2 \times c \quad (3.4)$$

$$\frac{F_D}{l} = C_D \times 0.5 \times \rho \times V_{total}^2 \times c \quad (3.5)$$

เมื่อ	$F_L$	คือแรงยก	(N)
	$F_D$	คือต้าน	(N)
	$C_L$	คือสัมประสิทธิ์แรงยก	
	$C_D$	คือสัมประสิทธิ์แรงต้าน	
	$l$	คือความยาวของแพนอากาศ	(m)
	$C$	คือระยะคอร์ดหรือความกว้างใบ	(m)

แต่อย่างไรก็ตาม Nasa ได้ให้คำอธิบายไว้ถึงความสัมพันธ์ของ  $C_L$  และ  $C_D$  จะถูกแสดงสำหรับมุมปะทะเพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น และเมื่อมุมปะทะมากขึ้นก็จะส่งผลต่อการเกิดการหมุนวนของแพนอากาศมากขึ้นจนทำให้แพนอากาศสูญเสียเสถียรภาพ โดยการทดลองเพื่อหาค่า  $C_L$  และ  $C_D$  ของแพนอากาศที่อยู่ในสภาพนี้จะทำได้ยากมาก และโดยปกติแล้วแพนอากาศจะไม่ได้ถูกใช้งานในช่วงดังกล่าวนี้ จึงไม่ปรากฏข้อมูล  $C_L$  และ  $C_D$  ในลักษณะการเคลื่อนไหวดังกล่าว อย่างไรก็ตาม Nasa ได้ให้นิยามแนวโน้มของ  $C_D$  ที่อยู่ในลักษณะการเคลื่อนที่ดังกล่าวว่ามีคุณลักษณะเป็น Sine Form เพราะฉะนั้นสัมประสิทธิ์แรงต้านจึงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.6 และ 3.7

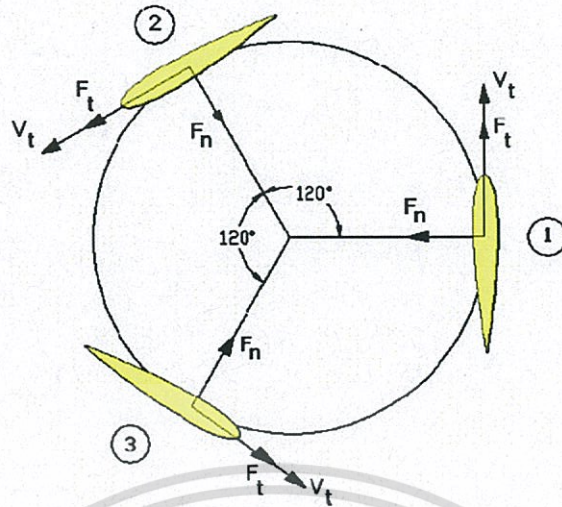
ที่มุมปะทะ  $\theta \leq 90^\circ$

$$C_{D,\theta} = C_{D,end} + \left\{ (C_{D,90} - C_{D,end}) \times \sin \left[ (\theta - \theta_{end}) \times \left( \frac{90^\circ}{90^\circ - \theta_{end}} \right) \right] \right\} \quad (3.6)$$

ที่มุมปะทะระหว่าง  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$

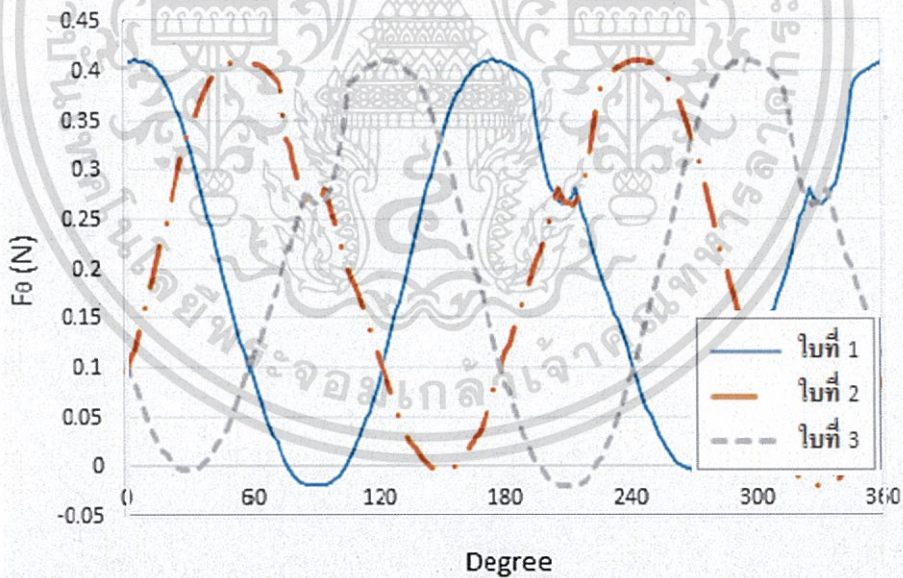
$$C_{D,\theta} = C_{D,180} + \left[ (C_{D,90} - C_{D,180}) \times \sin \theta \right] \quad (3.7)$$

ในส่วนของการจำลองรูปแบบใบพัดเพื่อศึกษากังหัน NACA0015 จะแสดงในรูปที่ 3.23



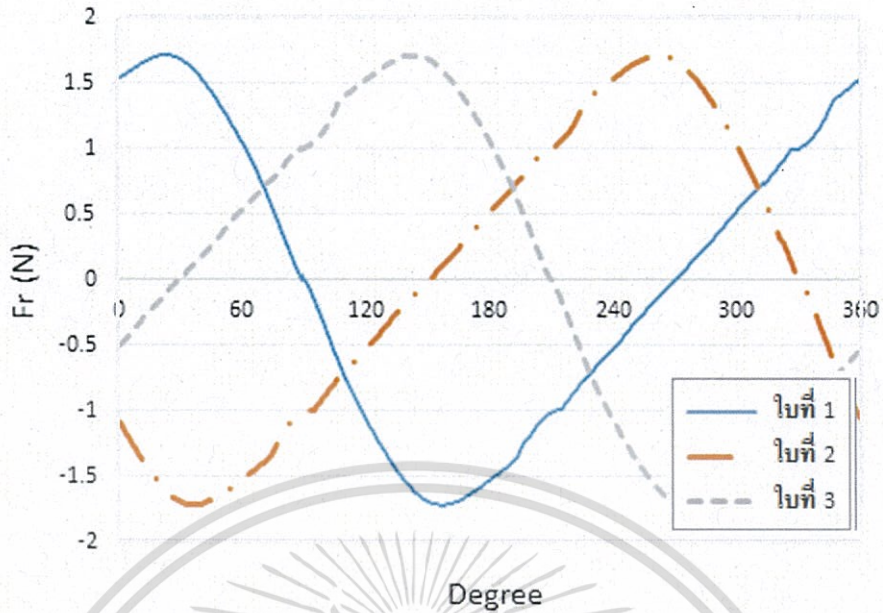
รูปที่ 3.24 กังหัน NACA0015 จำนวน 3 ใบ [19]

ซึ่งการจำลองเพื่อการวิเคราะห์ถูกจำลองขึ้นโดย นาย ศุภอัฐ เกรียรติโสภณ ภายใต้เงื่อนไขของขนาดความเร็วลมคงที่ 3 เมตรต่อวินาที ความกว้างใบ 12 เซนติเมตร ความยาวใบ 36 เซนติเมตร และรัศมีกังหัน 35 เซนติเมตร โดยผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมสามารถคำนวณได้ดังรูปที่ 3.25 3.26 และ 3.27 [19]

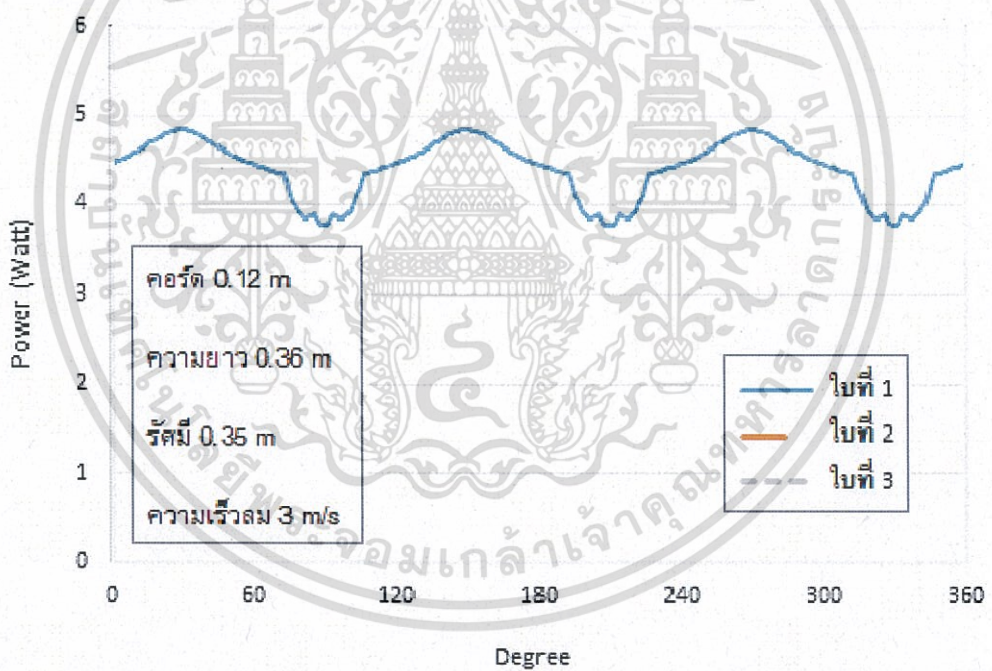


รูปที่ 3.25 แรงในแนวการเคลื่อนที่ของกังหัน NACA0015 จำนวน 3 ใบ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 แรงในแนวรัศมีของกังหัน NACA0015 จำนวน 3 ใบ [19]



รูปที่ 3.27 แรงในแนวการเคลื่อนที่ของกังหัน NACA0015 จำนวน 3 ใบ [19]

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถสังเกตได้ว่าแรงในแนวการเคลื่อนที่ของ NACA0015 มีลักษณะคล้ายกราฟไซน์อยู่ระหว่าง  $-0.02$  ถึง  $0.41$  นิวตัน ซึ่งแรงดังกล่าวเกิดจากแรงยกและแรงต้านที่เกิดขึ้นจากมุมปะทะที่แตกต่างกัน ในส่วนของผลการจำลองในรูปที่ 3.25 จะสามารถวิเคราะห์ได้ถึงแรงในแนวรัศมีที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ระหว่าง  $-1.7$  ถึง  $1.7$  นิวตัน และกำลังที่ได้จากการจำลองผลแสดงในรูปที่ 3.26 มีค่าอยู่ระหว่าง  $3.8$  ถึง  $4.9$  วัตต์ โดยค่าของกำลังที่ได้จะค่อนข้างมีเสถียรภาพเพราะสืบเนื่องจากแรงในแนวการเคลื่อนที่ในรูป 3.27 ที่มีการส่งเสริมกันในช่วงที่อีกใบหนึ่งแรงมีค่าลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 การสร้างใบกังหัน NACA0015

ใบกังหัน NACA0015 เป็นรูปแบบหนึ่งของใบกังหันที่กำลังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนาซึ่งเลข 4 ตัวหลังคำว่า “NACA” กล่าวคือ 0015 มีนัยในการออกแบบดังสมการที่ 3.8 และแสดงตัวอย่างการออกแบบได้ในรูปที่ 3.28 เมื่อแทนค่า 0015 ในสมการ

$$y_t = 5tc \left[ 0.2969 \sqrt{\frac{x}{c}} + (-0.1260) \left(\frac{x}{c}\right) + (-0.3516) \left(\frac{x}{c}\right)^2 + 0.2843 \left(\frac{x}{c}\right)^3 + (-0.1015) \left(\frac{x}{c}\right)^4 \right] \quad (3.8)$$

เมื่อ  $C$  คือระยะคอร์ดหรือความกว้างใบ  $m$

$x$  คือตำแหน่งที่อยู่ในคอร์ด, จุดอ้างอิง

$y_t$  คือความสูงของขอบใบที่ห่างจากเส้นอ้างอิง

$t$  คือจุดที่สูงที่สุดของคอร์ด โดยค่า  $t$  จะถูกระบุไว้ในเลข 4 หลัก



รูปที่ 3.28 ผลการ plot 0015 ลงในสมการที่ 3.8

#### ขั้นตอนในการสร้างใบกังหัน NACA0015

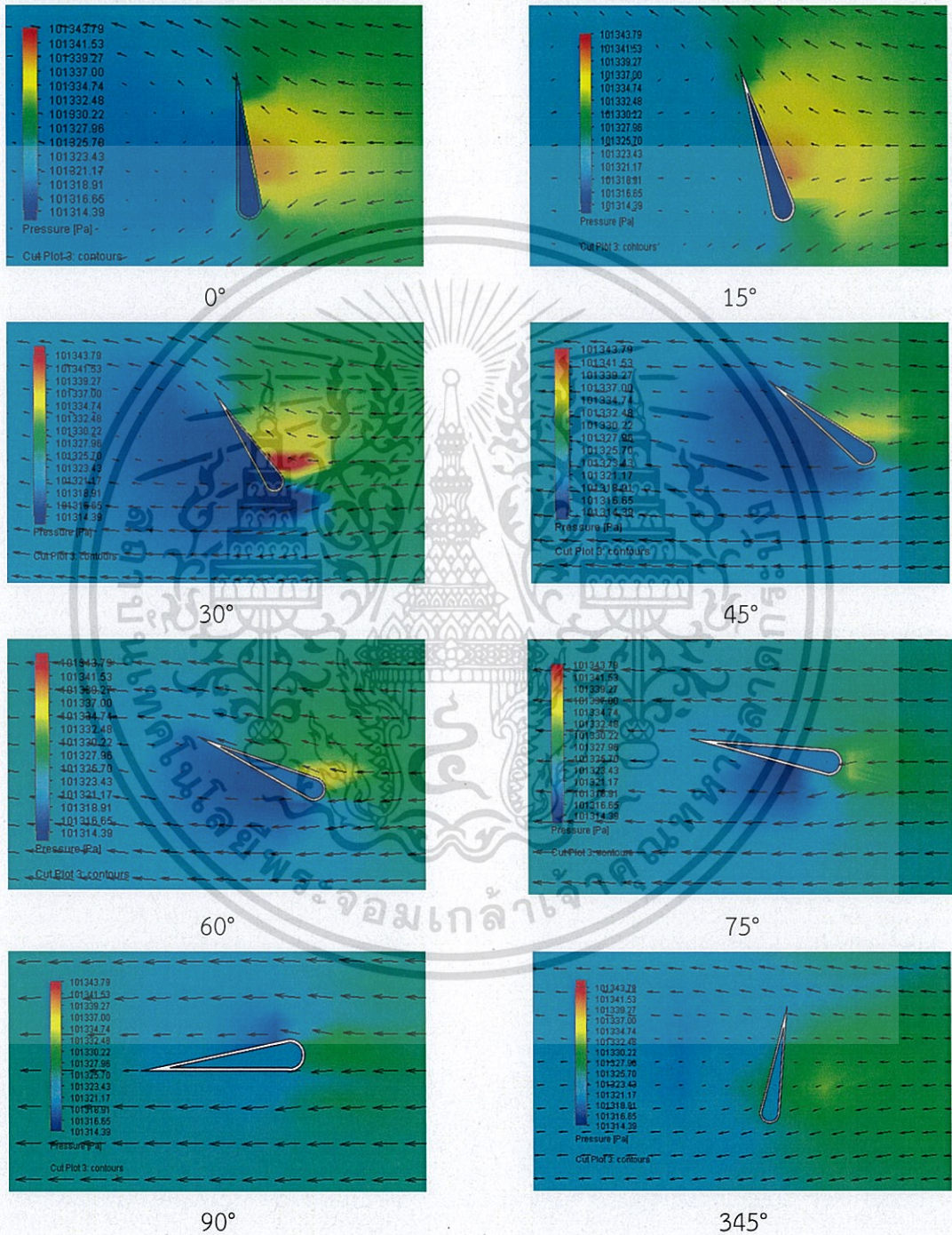
1. ทำการตัดแผ่นอะคริลิกหนา 3 มิลลิเมตร ความยาว 1 เมตร ความกว้าง 0.2 เมตร.
2. ทำการวัดเพื่อแบ่งครึ่งใบตามความยาว
3. ใช้เครื่องเป่าลมร้อนเป่าตามเส้นที่แบ่งกลางจนกระทั่งแผ่นอะคริลิกอ่อนตัว
4. ใช้ท่อ PVC ขนาด 1 นิ้วสอดเข้าไป ณ ตำแหน่งที่ห่างจากจุดพับ 1 เซนติเมตร
5. ใช้ตัวหนีบกระดาษหนีบตามแนวปลายกังหันเพื่อรักษาความสมมาตร
6. ใช้ลมร้อนเป่าด้านข้างอย่างช้าๆ เพื่อให้ข้างใบโค้งทั้งสองข้าง
7. รอจนกระทั่งใบอะคริลิกเย็นตัว
8. ใช้กาวอะคริลิกที่หางใบเพื่อป้องกันการคืนตัว
9. ใช้ตัวหนีบกระดาษหนีบทิ้งไว้ 15 นาที
10. ทำซ้ำขั้นตอนแรกจนครบ 4 ใบ

#### ขั้นตอนการเตรียมชุดหมุน

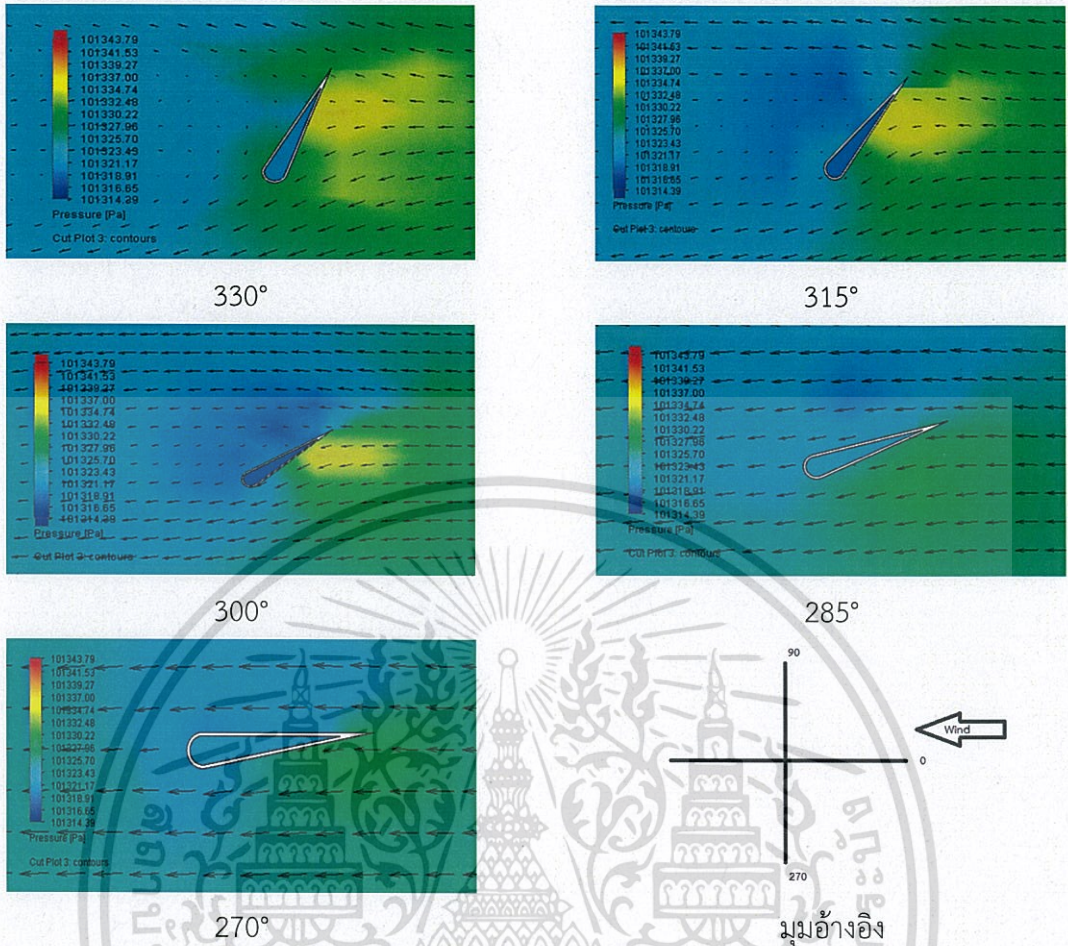
1. ทำการตัดแผ่นอะคริลิกเป็นวงกลมรัศมี 60 เซนติเมตร
2. ทำการวัดแบ่งแผ่นอะคริลิกทั้งหมด 4 ส่วน
3. ทำการวาดรูปใบ NACA0015 ที่ตำแหน่งห่างจากขอบใบ 10 เซนติเมตร และทำมุม  $5^\circ$
4. ทำการเจาะแผ่นอะคริลิกกลมตามรูปทรงของใบ NACA0015 ทั้ง 4 มุม

### 3.5.4 การจำลองการทำงานใบกังหัน NACA0015

ในหัวข้อ 3.5.4 จะเป็นการจำลองการทำงานของใบกังหันแบบแยกส่วนด้วยการแยกส่งพลังงานลมสู่ใบกังหันทุกมุม  $15^\circ$  เพื่อสังเกตแรงดันอากาศที่ใบกังหัน NACA0015 ดังรูปที่ 3.29 ด้วยความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที เทียบเท่ากับความเร็วลมต่ำในประเทศไทย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

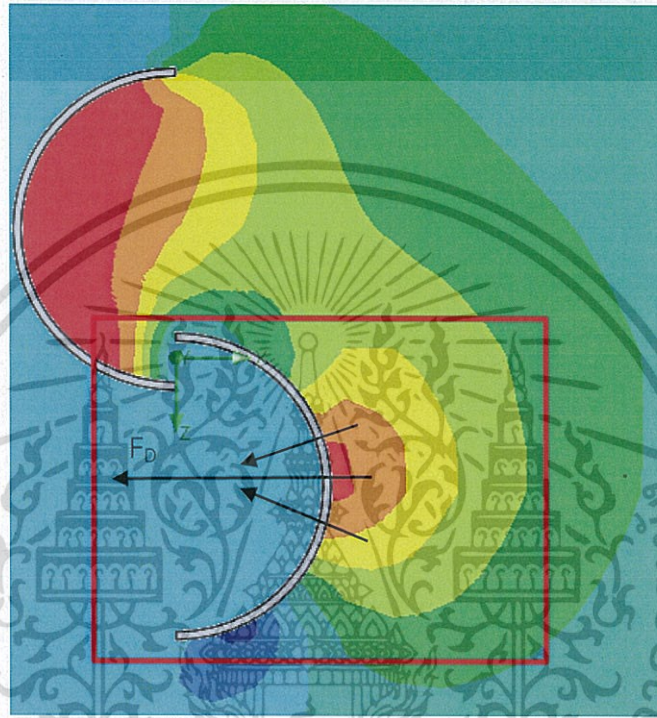


รูปที่ 3.29 ผลการจำลองเพื่อสังเกตแรงดันที่การเปลี่ยนแปลงของใบกังหันทุก 15°

จากผลการจำลองในรูปที่ 3.28 แสดงให้เห็นขนาดขอแรงที่จะเกิดขึ้น ณ องศาต่างๆ เมื่อลมมีการเคลื่อนตัวจากขวาไปซ้าย ซึ่งกล่าวได้ว่าที่ความเร็วลมต่ำหรือยังไม่เริ่มการหมุน แรงลมที่เข้ากระทบใบกังหันจะเกิดแรงผลัก และแรงที่เกิดขึ้นจะเฉียดออกจากแนวแกนเพลลา 15 องศา ตามความชันของใบพัด

### 3.6 การวิเคราะห์เพื่อออกแบบชุดต้นแบบกังหันออกแบปร่วม

ในหัวข้อ 3.6 จะกล่าวถึงการวิเคราะห์เพื่อออกแบบต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้งออกแบปร่วมระหว่างกังหันลมเซโวเนียช กับกังหันลมโรโมลรูปแบบใบกังหัน NACA0015 สืบเนื่องจากการเกิดลมในประเทศไทยมีความเร็วลมเฉลี่ยต่ำกว่า 4 เมตรต่อวินาที และมีความแปรปรวนสูง ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อด้อยของใบกังหันลมเซโวเนียชจึงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.30

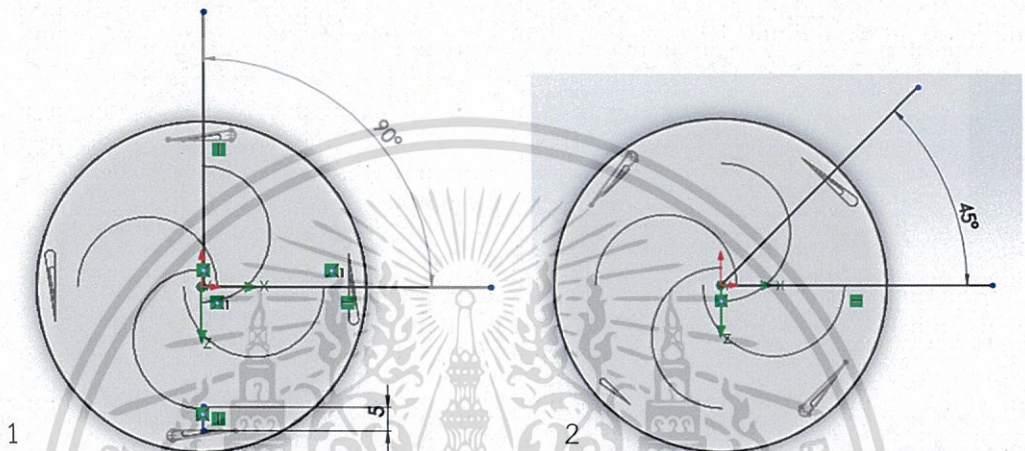


รูปที่ 3.30 แรงดันอากาศที่กระทำต่อกังหันเซโวเนียชด้วยความเร็วลม 5  $m/s$  มีแรงกระทำที่ก่อให้เกิดแนวต้านการหมุน

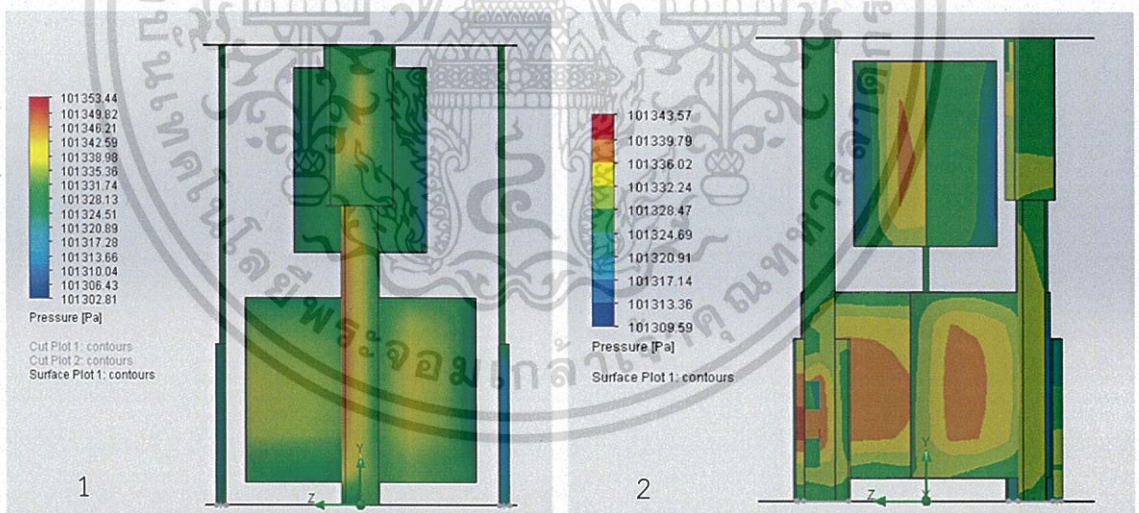
จากรูปที่ 3.30 แสดงใบกังหันเซโวเนียชด้านหลังให้ลมภายใต้กรอบสีแดงเกิดแรงต้านจากลม เพราะถึงแม้รูปแบบของกังหันลมเซโวเนียชจะมีพื้นผิวโค้งลดแรงต้านอากาศ แต่ผลการจำลองแรงดันอากาศที่เกิดขึ้น แสดงแรงต้านการหมุนที่เกิดจากระนาบของส่วนโค้งตามเอกลักษณ์ของกังหันลมเซโวเนียช โดยเมื่ออากาศแบ่งไหลออกทั้งสองข้างเท่ากันจึงทำให้เกิดการหักล้างกันในแนวแกน-Z (อ้างอิงจากแนวแกนในรูปที่ 3.30) แต่แนวแรงที่แตกเข้าแนวแกน-X จะมีทิศต่อต้านกับการหมุน

### 3.6.1 การวิเคราะห์เพื่อติดตั้งใบกังหันลมจโรมิลรูปแบบ NACA0015

จากข้อต่อที่สามารถสังเกตได้จากหัวข้อที่ 3.5.4 รูปที่ 3.30 สามารถเลือกรูปแบบการวางใบกังหันลมจโรมิลได้ 2 รูปแบบ จาก 2 แนวคิดคือ การวางที่มุม  $90^\circ$  เทียบกับใบกังหันลมเซโวนีเยช เพื่อเป็นการเบี่ยงอากาศที่จะเข้าปะทะใบด้านหลังของกังหันลมเซโวนีเยชให้เปลี่ยนทางไม่เข้าปะทะโดยตรงดังรูปที่ 3.31 (1) และการวางที่มุม  $45^\circ$  เทียบกับใบกังหันลมเซโวนีเยชเพื่อใช้ตัวใบกังหันลมจโรมิลบังรูปแบบ NACA0015 บังลมที่จะเข้าปะทะ ณ จุดที่เกิดแรงต้านมากที่สุดดังรูปที่ 3.32 (2)



รูปที่ 3.31 ภาพเทียบการวางใบกังหันจโรมิล NACA0015



รูปที่ 3.32 ภาพเทียบแรงดันที่ขึ้นหลังติดตั้งใบ NACA0015

รูปที่ 3.31 แสดงให้เห็นถึงความได้เปรียบของการติดตั้งใบกังหัน NACA0015 ที่  $90^\circ$  (1) เทียบกับใบกังหันลมเซโวนีเยช ที่สามารถลดแรงที่ก่อให้เกิดแรงต้านการหมุนได้มากกว่าแต่แรงที่กระทำต่อใบรับลมน้อยกว่าเมื่อเทียบกับรูปแบบการวางใบ  $45^\circ$  (2) ในส่วนรูปแบบการวางใบกังหัน NACA0015 ที่  $45^\circ$  แสดงให้เห็นถึงแรงต้านที่เลื่อนออกจากจุดกึ่งกลางของใบด้านล่างและแรงต้านการหมุนที่เกิดขึ้นที่ขอบใบกังหันลมเซโวนีเยชด้านบน ดังนั้นรูปแบบการวางใบกังหัน NACA0015 เพื่อลดข้อต่อของกังหันลมเซโวนีเยชที่มีแรงต้านการหมุนจึงควรวางใบกังหันตามรูปแบบที่ (1) ทำมุม  $90^\circ$  เทียบกับใบกังหันลมเซโวนีเยช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบต้นแบบกังหันลมแนวแกนตั้ง

ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงผลการทดสอบอุปกรณ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การจำลองผลความเร็วลมและแรงดันที่เกิดจากลมกระทำต่อใบกังหันด้วยโปรแกรม Solid work ด้วยลมธรรมชาติที่เกิดในประเทศไทยจริงดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบการวางใบกังหันลมเซโวนีเยซ
2. ผลการคำนวณเพื่อเลือกจำนวนใบกังหัน
3. ผลการทดสอบเทียบการทำงานกังหันเซโวนีเยซแบบชั้น กับกังหันโรโรมิล 4 ใบ
4. ผลการทดสอบต้นแบบชุดกังหันออกแบบร่วม
5. ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
6. การออกแบบ

ดังนั้นในการวิเคราะห์ทฤษฎีของ Momentum นั้นเราจะอ้างอิงถึงความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิปกติมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ  $1.225 \text{ kg/m}^3$  และจากกฎของการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuity equation) จะกล่าวถึงการไหลที่เท่ากันทั้งระบบดังสมการที่ 3.1 และกฎของเบอร์นูลลี โดยวิเคราะห์ในส่วนของความดันอย่างเดียวจะสามารถสรุปเป็นสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์กังหันลมได้ดังสมการที่ 4.1 และสามารถเทียบประสิทธิภาพการทำงานของกังหันได้จากสมการที่ 2.9

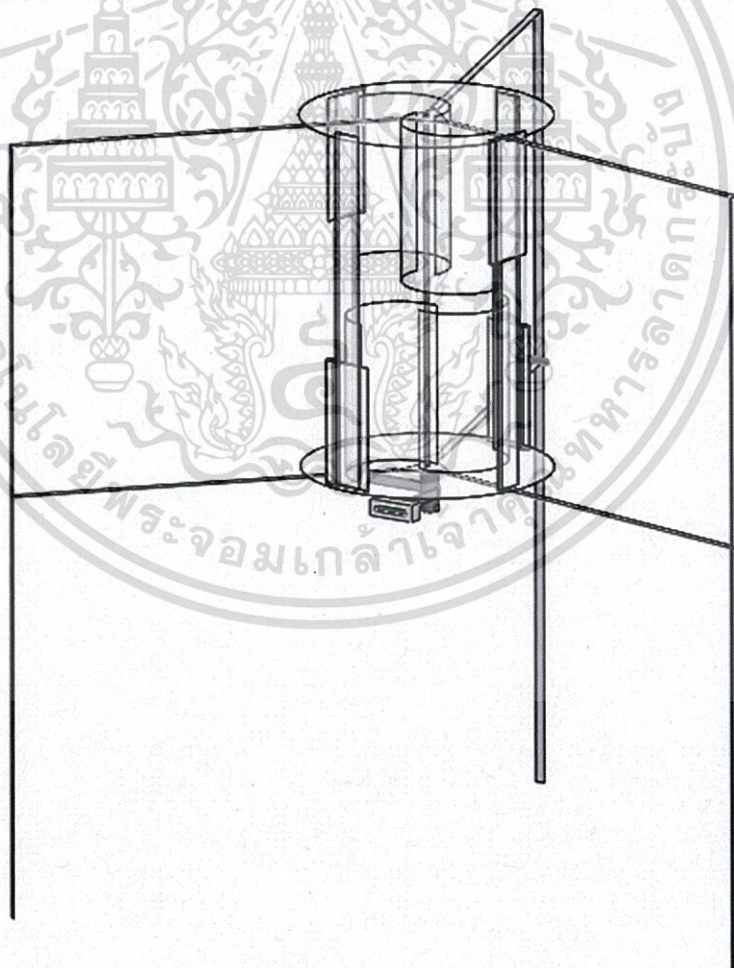
$$\frac{1}{2} \rho A V_0^3 + P_0 = \frac{1}{2} \rho A V_1^3 + P_1 \quad (4.1)$$

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองชุดกังหันขนาดเล็กและชุดต้นแบบกังหันออกแบบร่วม

1. ชุดกังหันเพื่อการทดสอบ
2. ฐานตั้งชุดกังหัน
3. เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer 7911
4. เครื่องชั่งน้ำหนักกระเป๋าดินทาง Digital / Zero set function
5. รอก
6. สปริง
7. เครื่องวัดความเร็วรอบ Yokogawa TM-300

การเตรียมการทดสอบใบกังหันเพื่อเทียบประสิทธิภาพการทำงาน

1. แรงบิด : เก็บข้อมูลโดยวิธีการ Rope brake dynamometer โดยใช้แกนเพลลาในการจับลูกบิดยางขนาดเล็กที่สัมผัสอยู่กับสายของเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อค่าส่วนต่างของแรงที่เกิดขึ้น ณ เวลานั้นๆ ที่แกนเพลลา
2. ความเร็วลม : เก็บโดยอุปกรณ์ Anemometer 7911
3. ความเร็วรอบ : เก็บค่าโดย Yokogawa TM-300
4. ทำการชิงเชือกกับสปริงที่เสา
5. ทำการยึดเครื่องชั่งน้ำหนักแบบ Digital ในระนาบเดียวกับสปริงที่ชิงด้วยเชือก
6. ทำการติดตั้งสายรับน้ำหนักผ่านลูกยางแกนเพลลา และยึดเข้ากับสปริง
7. ตั้งความตึงสปริงไม่เกิน 0.5 กิโลกรัม/นิวตัน และกดตั้งค่าให้เป็น 0 นิวตัน
8. ทำการเก็บค่าแรงบิด ความเร็วรอบ และความเร็วลม จาก  $kg \times 9.8 \times 0.015$  (รัศมีजूวัด)
9. ทำการคำนวณผ่านสมการที่ 2.4



รูปที่ 4.1 การเตรียมการทดลองใบกังหันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1 ผลการทดสอบการวางใบกังหันลมเซโวนีเยซ

จากข้อมูลข้างต้นทำให้เห็นว่าช่องอากาศมีผลต่อแรงดันและความเร็วของอากาศแต่ความเร็ว ดังนั้นการทดลองเพื่อการออกแบบกังหันเซโวนีเยซจึงเลือกสร้างมีการจำลองรูปแบบที่แตกต่างกันเพื่อเทียบประสิทธิภาพการทำงานด้วยชุดกังหันขนาด  $0.4 \times 0.4 \times 0.3$  เมตร หนา 5 ม.ม. ผลิตจากแผ่นอะคริลิกภายใต้เงื่อนไขใบขึ้นเดียวดังต่อไปนี้



รูปแบบที่ 1 ไม่มีช่องว่าง

รูปแบบที่ 2 ช่องว่าง 6.4 ซม.

#### รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบกังหันเซโวนีเยซจากมุมมองด้านบน

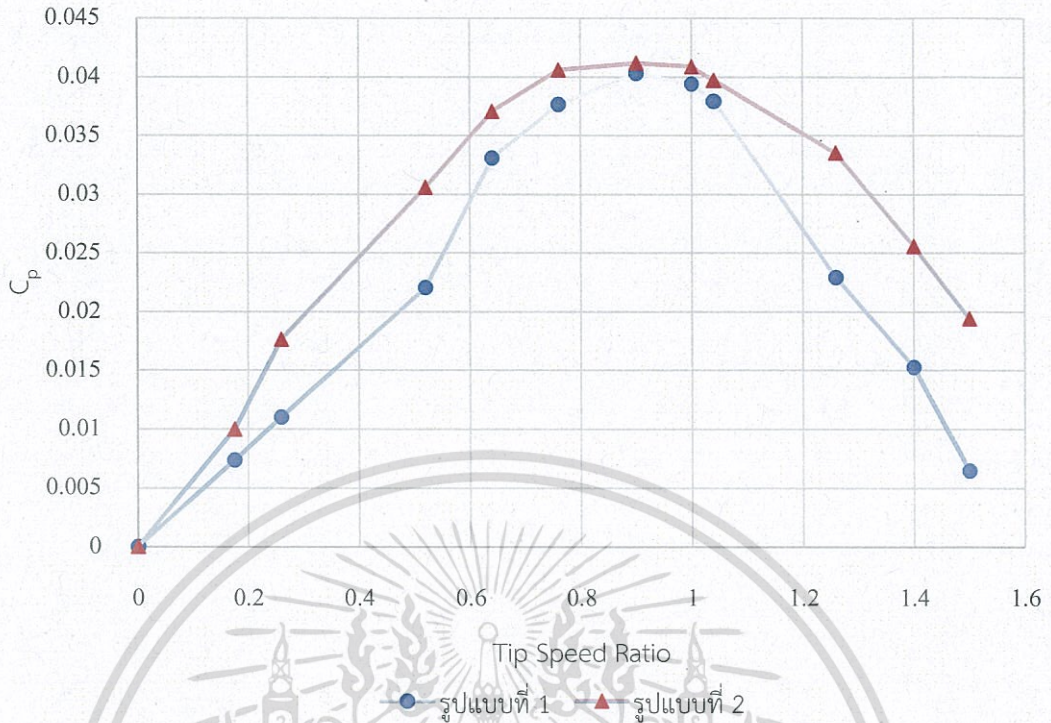
จากการทดลองข้างต้นได้ทำการเก็บค่าความเร็วรอบของการหมุนและแรงบิดของกังหันดังรูปที่ 4.2 ด้วยอุปกรณ์วัดรอบ Yokogawa รุ่น TM-300 และหลักการวัดแรงบิด Rope break ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 เมื่อพื้นที่หน้าตัดการรับลมของกังหันเซโวนีเยซรูปแบบที่ 1 เท่ากับ 0.32 ตารางเมตร และเมื่อพื้นที่หน้าตัดการรับลมของกังหันเซโวนีเยซรูปแบบที่ 2 เท่ากับ 0.2944 ตารางเมตร

ตารางที่ 4.1 ผลทดสอบความเร็วรอบและแรงบิดของกังหันทดสอบรูปแบบทดสอบที่ 1 และ 2

Tip speed ratio	ความเร็วรอบ (RPM) รูปแบบที่ 1	ความเร็วรอบ (RPM) รูปแบบที่ 2	แรงบิด ( $N \cdot m$ ) รูปแบบที่ 1	แรงบิด ( $N \cdot m$ ) รูปแบบที่ 2	$C_p$ รูปแบบที่ 1	$C_p$ รูปแบบที่ 2
0.175	10	25	0.04	0.09	0.0736	0.0100
0.26	14	29	0.87	0.13	0.0110	0.0176
0.52	22	32	0.16	0.21	0.0221	0.0306
0.64	28	38	0.17	0.21	0.0331	0.0370
0.76	32	47	0.14	0.19	0.0376	0.0406
0.9	38	52	0.13	0.17	0.0403	0.0412
1	45	58	0.11	0.15	0.0394	0.0409
1.04	49	64	0.09	0.13	0.0379	0.0397
1.26	58	72	0.06	0.10	0.0229	0.0335
1.4	68	84	0.02	0.06	0.0153	0.0256
1.5	73	92	0	0.05	0.0065	0.0194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟเทียบประสิทธิภาพการทำงานกับอัตราส่วนความเร็วกังหันเทียบความเร็วลม

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3 แสดงค่าระหว่างความเร็วกังหันเทียบความเร็วลมและประสิทธิภาพกำลังที่เกิดจากการเก็บค่าจริงในช่วงเดือน มกราคม ถึง เมษายน ปี 2558 และนำมาเฉลี่ยเพื่อใช้คำนวณ ดังนั้นการเก็บค่าจึงมีความสำคัญทั้งหมด 3 ค่าคือ ความเร็วลม (V) ความเร็วกังหัน ( $\omega$ ) และแรงบิด (T) จากค่าดังกล่าวเราสามารถนำเข้าสู่สมการ 2.4 เพื่อหาค่าพลังงานลมที่พัดผ่านใบกังหัน, จะได้ค่าเทียบอัตราส่วนความเร็วกังหันเทียบความเร็วลม และแทนค่าลงในสมการที่ 2.10 จะได้ประสิทธิภาพการทำงานของใบกังหัน จากผลการทดลองและการคำนวณที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของความเร็วในการหมุนกับช่องว่างระหว่างใบกังหันถึงแม้ว่าการเพิ่มช่องว่างทำให้ขนาดของหน้าสัมผัสใบกังหันลดลง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อขนาดของแรงบิดที่แกนเพลลา แต่ในทางกลับกันช่องว่างดังกล่าวส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์กำลังเพราะสืบเนื่องจากความเร็วลมที่เข้าปะทะใบกังหันไม่เกิดการอัดตัวจนเสียความเร็วลม จึงส่งผลให้ลมที่เข้าปะทะหน้าใบกังหันที่มีช่องว่างระหว่างใบมีความเร็วสูงกว่ากังหันลมที่ไม่มีช่องอากาศระหว่างใบกังหันตามแนวคิดของการไหลผ่านช่องแคบและสมการการไหลต่อเนื่อง ดังนั้นการออกแบบใบพัดเซโวนีเยชควรออกแบบให้สอดคล้องกับอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางช่องภายใน (ครึ่งของระยะห่างใบกังหัน) กับรัศมีวงกว้างของใบกังหันให้มีค่าใกล้เคียงกับ 0.2 เพราะการเพิ่มขนาดช่องว่างระหว่างใบที่มากเกินไปในใบกังหันขนาดเดียวกันจะเป็นการลดพื้นที่การรับแรงลมและอาจส่งผลเหมือนการออกแบบใบกังหัน 3 ใบ

จากผลการทดสอบจริงของอากาศที่เป็นของไหลสามารถอัดตัวได้ และแนวคิดของการไหลผ่านช่องแคบแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของพื้นที่ในการไหลที่มีต่อความเร็วของของไหล ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ว่าในกังหันรูปแบบที่ 1 เมื่ออากาศไหลเข้ามาปะทะกับหน้าใบกังหันในแนวตั้งฉาก จะมีพื้นที่ให้อากาศไหลออกเพียง  $\pi r^2$  จากอุปกรณ์ทดสอบเท่ากับ 0.126 ตารางเมตร ส่วนในรูปแบบกังหันทดสอบที่ 2 มีพื้นที่การไหลผ่านเท่ากับ 0.139 ตารางเมตร ซึ่งมีพื้นที่ให้อากาศไหลผ่านได้มากกว่า 9.35 % ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศย่อมแปรผันตามสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือเมื่ออากาศเข้าปะทะกังหันรูปแบบที่ 1 การอัดตัวกันของอากาศจะส่งผลต่ออัตราไหลของของอากาศที่ไหลตามเข้ามาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความเร็วของลมลดลง แต่ในส่วนของกังหันในรูปแบบที่ 2 มีการไหลของอากาศได้ดีกว่าในรูปแบบที่ 1 ประมาณ 9.35 % ซึ่งส่งผลต่อการอัดตัวของอากาศที่ลดน้อยลงจึงส่งผลให้ความเร็วลมที่ไหลผ่านดีกว่ารูปแบบที่ไม่มีช่องว่าง

#### 4.2 ผลการคำนวณเพื่อเลือกจำนวนใบกังหัน

การคำนวณข้างต้นในหัวข้อที่ 3.2 ยังไม่เพียงพอต่อการนำมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในการผลิตไฟฟ้าเพราะเป็นการคำนวณเทียบประสิทธิภาพการทำงานต่อการหมุน 1 รอบ ที่มุมตั้งฉากกับลมเท่านั้นโดยการวิเคราะห์คำนึงเพียงการรับพลังงานที่สูงที่สุดและไม่คำนึงถึงความเร็วรอบ มวลอากาศ และแรงบิดใดๆ แต่เมื่อนำอัตราส่วนค่ากำลังที่สูญหายมาคำนวณแทนในผลการทดสอบที่ 4.1 ซึ่งสมมติให้ความเร็วในการหมุนคงที่ ดังนั้นแรงบิดจะแปรผันตามพลังงานที่สูญหายได้ผลการคำนวณดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 แต่ทั้งนี้การทดสอบเพื่อเก็บแรงบิดของการทำงานจริง จะสามารถหาประสิทธิภาพของแรงบิดได้จากสมการ 4.2

$$C_{ts} = \frac{4T}{\rho D^2 v^2 H} \quad (4.2)$$

เมื่อ	$C_{ts}$	คือประสิทธิภาพของแรงบิด		
	$\rho$	คือความหนาแน่นของอากาศ	1.225	(kg/m <sup>3</sup> )
	$\pi$	คือค่าคงที่	3.141...	
	$D^2$	คือ พ.ท. หน้าตัด 0.1472 (3 ใบ), 0.2944(2 ใบ)		(m <sup>2</sup> )
	$v$	คือความเร็วลมในการจำลอง	5	(m/s)
	$T$	คือแรงบิดที่กระทำในทิศทางตั้งฉาก		(N•m)
	$H$	คือความสูงของใบกังหัน	0.4	(m)

การคำนวณจะทำการแปลงกำลังที่เกิดจากใบกังหันให้กลับไปอยู่ในรูปแบบของแรงบิดด้วยสมการที่ 2.6 และคำนวณแรงที่กระทำต่อใบกังหันได้จากสมการ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

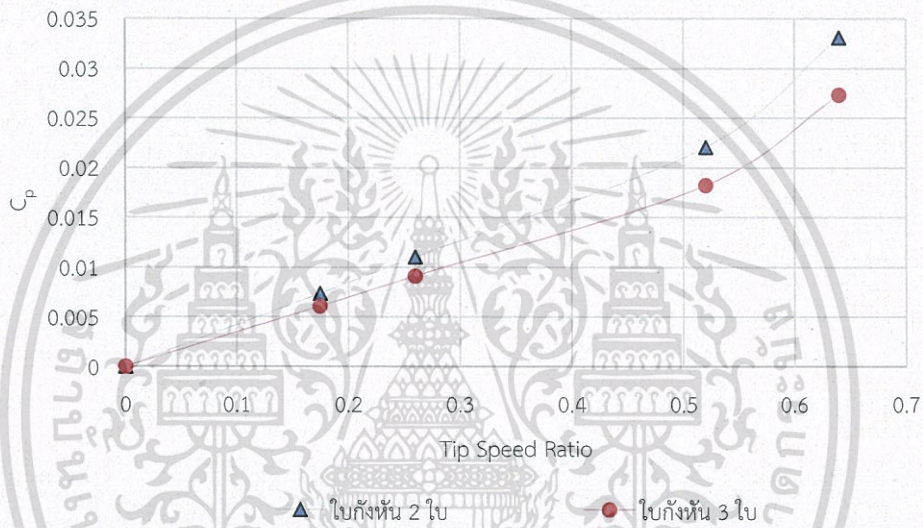
$$F = \rho Qv = \frac{P_t}{v} \quad (4.3)$$

$$Q = Av \quad (4.4)$$

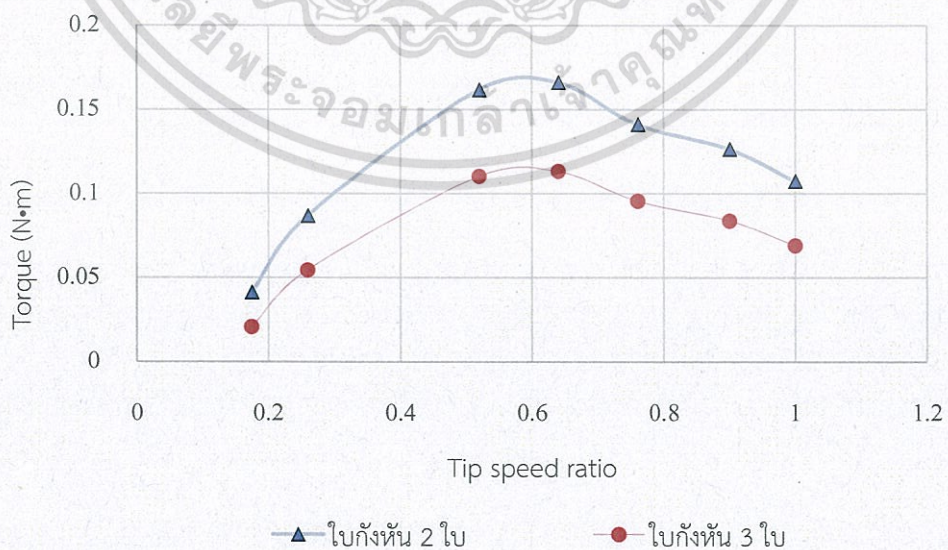
เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการไหล

$A$  คือ พื้นที่การเข้าปะทะของอากาศ ( $m^2$ )

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม Solid work ข้างต้น ได้มีความสอดคล้องต่อทฤษฎีของของไหลและเมื่อนำข้อมูลของใบกังหันทั้งสองรูปแบบดังกล่าวมาเทียบกันโดยอ้างอิงข้อมูลลมและความเร็วกังหันเทียบความเร็วลมจะสามารถแสดงประสิทธิภาพการทำงานได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 กราฟเทียบประสิทธิภาพการทำงานจากการคำนวณ



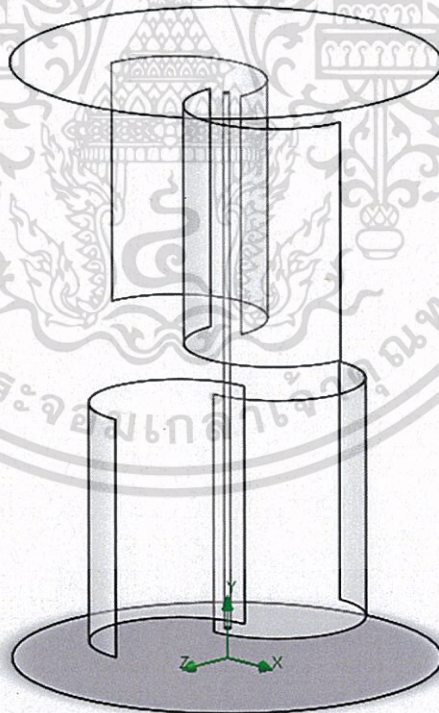
รูปที่ 4.5 กราฟเทียบแรงบิดความสัมพันธ์ทางกำลังจากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

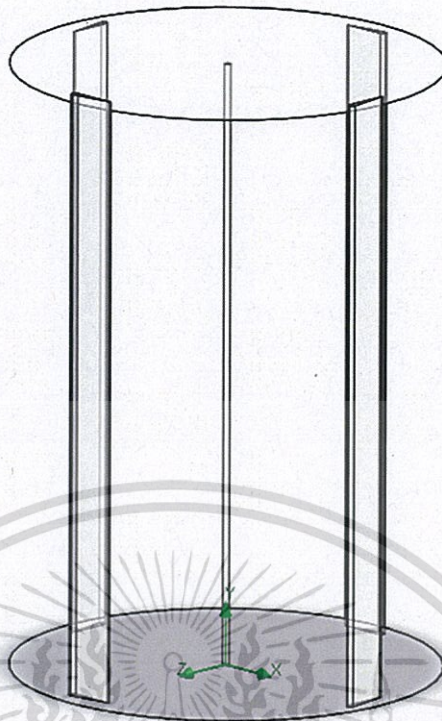
จากผลการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณโดยสร้างภายใต้กรอบอ้างอิงสมมติ ได้ผลการคำนวณดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 โดยมีแนวโน้มของผลการทดสอบไปในทิศทางเดียวกับผลการทดลองจากต่างประเทศในรูปที่ 3.13 แต่ลักษณะกราฟที่ต่างกันสืบเนื่องจากการคำนวณในรูปที่ 4.5 ไม่มีผลของแรงบิดที่เกิดขึ้นจริง จึงสามารถวิเคราะห์ได้เพียงแรงบิดที่เกิดจากการคำนวณ ณ ความเร็วนั้นๆ โดยอ้างอิงจากอัตราส่วนของความเร็วกัณฑ์เทียบความเร็วลม ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่การรับพลังงานจากลมและจำนวนใบกัณฑ์ส่งผลโดยตรงต่อแรงบิดอย่างชัดเจน ดังนั้นการเลือกรูปแบบและจำนวนของใบกัณฑ์ควรคำนึงถึงการวางใบกัณฑ์ในเชิงหับซ้อนเพราะการเพิ่มใบกัณฑ์จะบังพื้นที่ในการรับพลังงานบางส่วน และส่งผลโดยตรงต่อแรงบิด

#### 4.3 ผลการทดสอบเทียบการทำงานกังหันเซโวเนียชแบบชั้น กับกังหันโรโรมิล 4 ใบ

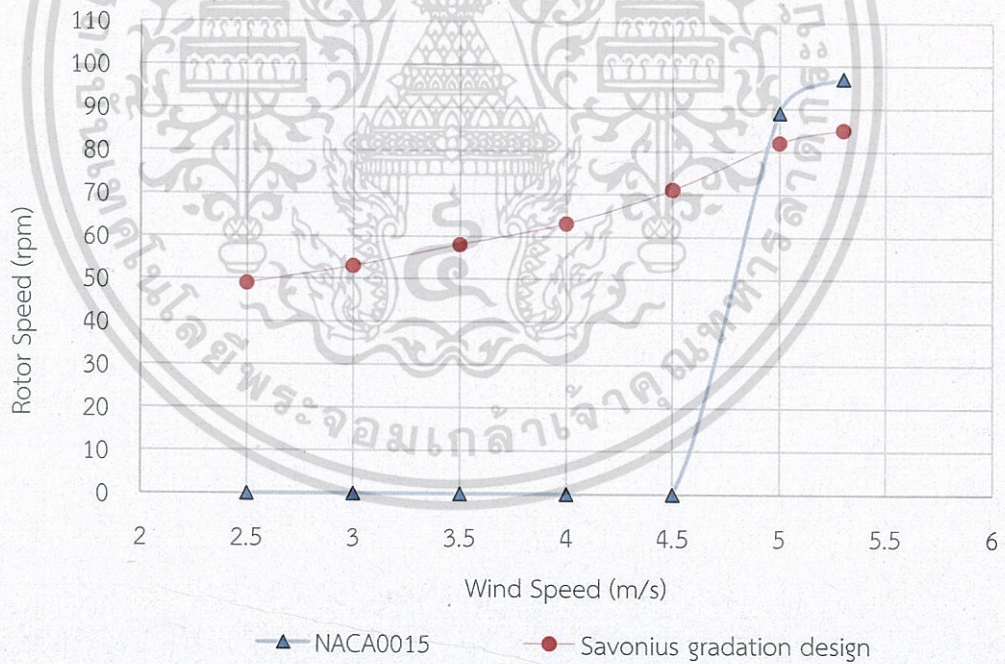
ในหัวข้อที่ 4.3 จะเป็นการทดสอบการตอบสนองการทำงานของกังหันลมเซโวเนียชแบบชั้นอ้างอิงรูปจำลองดังรูปที่ 4.6 และ ใบกัณฑ์ NACA0015 โดยการติดตั้งใบกัณฑ์รูปแบบ NACA0015 จำนวน 4 ใบห่างจากแกนเพลาระยะ 50 ซม. อ้างอิงตามรูปจำลองรูปที่ 4.7 โดยทดสอบการตอบสนองความเร็วรอบการหมุนต่อความเร็วลมธรรมชาติ และได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปของกราฟเทียบความเร็วลมดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.6 Savonius gradation design



รูปที่ 4.7 รูปจำลองชุดทดสอบใบ NACA0015 4 ใบ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลทดสอบเทียบความเร็วลมระหว่าง NACA0015 กับ Savonius gradation Design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองกังหันใบ NACA0015 ที่มีคอร์ดขนาดความยาว 10 เซนติเมตร ความสูงใบ 1 เมตร จำนวน 4 ใบ ทำมุมห่างกัน  $90^\circ$  ต่อกัน ที่ความเร็วลมต่างๆ ได้ผลดังรูปที่ 4.8 ซึ่งแตกต่างออกไปจากการจำลองผลด้วยโปรแกรมที่สามารถเริ่มหมุนได้ตั้งแต่ความเร็วลมต่ำ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้รับมีความสัมพันธ์และสอดคล้องต่อขนาดของใบในการวิเคราะห์เทียบประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมชนิดนี้ และเป็นการยืนยันการทำงานของกังหันที่มีความต้องการความเร็วลมสูงในการเริ่มออกตัว โดยงานวิจัยอื่นได้กล่าวถึงความเร็วลมที่กังหันลมแนวแกนตั้งใจโลมิลสามารถเริ่มทำงานที่ความเร็วลมสูงกว่า 5 เมตรต่อวินาที ขึ้นไป

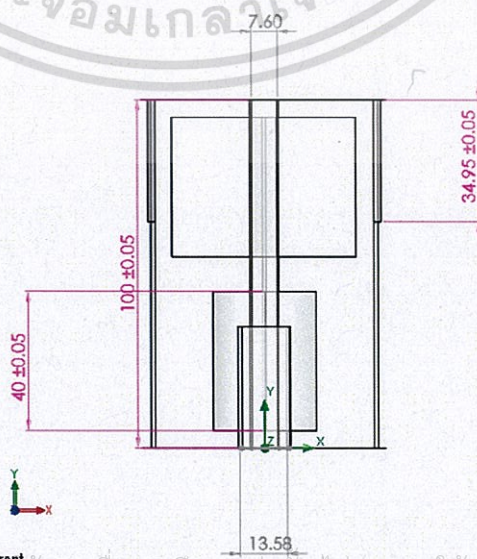
#### 4.4 ผลการทดสอบต้นแบบชุดกังหันออกแบพร้อม

ในหัวข้อที่ 4.4 จะทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมแนวแกนตั้งออกแบพร้อม โดย ทดสอบประสิทธิภาพความเร็วในการหมุนของกังหันออกแบพร้อม 2 รูปแบบ ทั้งนี้รูปแบบการวัดค่าต่างๆจะกระทำเหมือนในหัวข้อ 4.1 และการเลือกรูปแบบการวางใบกังหัน NACA0015 นั้น จะกระทำ 2 รูปแบบคือ ตำแหน่ง  $45^\circ$  เทียบกับใบกังหันลมเซโวนีเยชและ  $90^\circ$  เทียบกับใบกังหันเซโวนีเยช หรือ อาจเทียบได้ กับ  $0^\circ$  ในใบกังหันเซโวนีเยชชั้นที่ 2

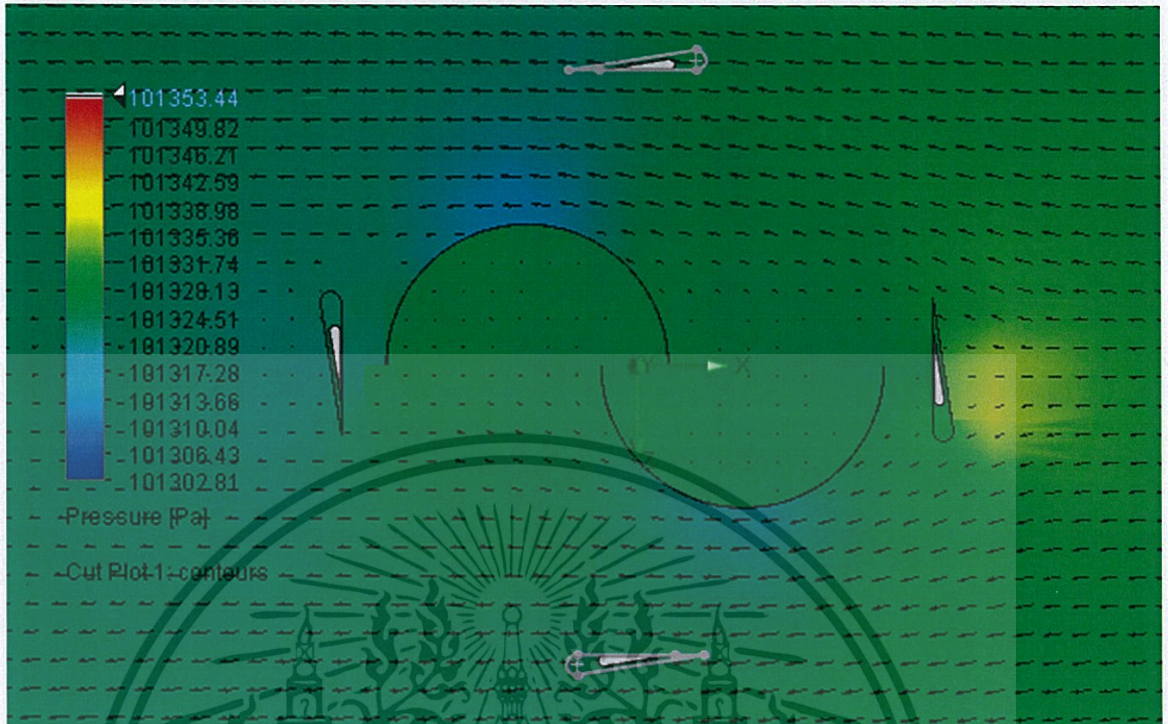
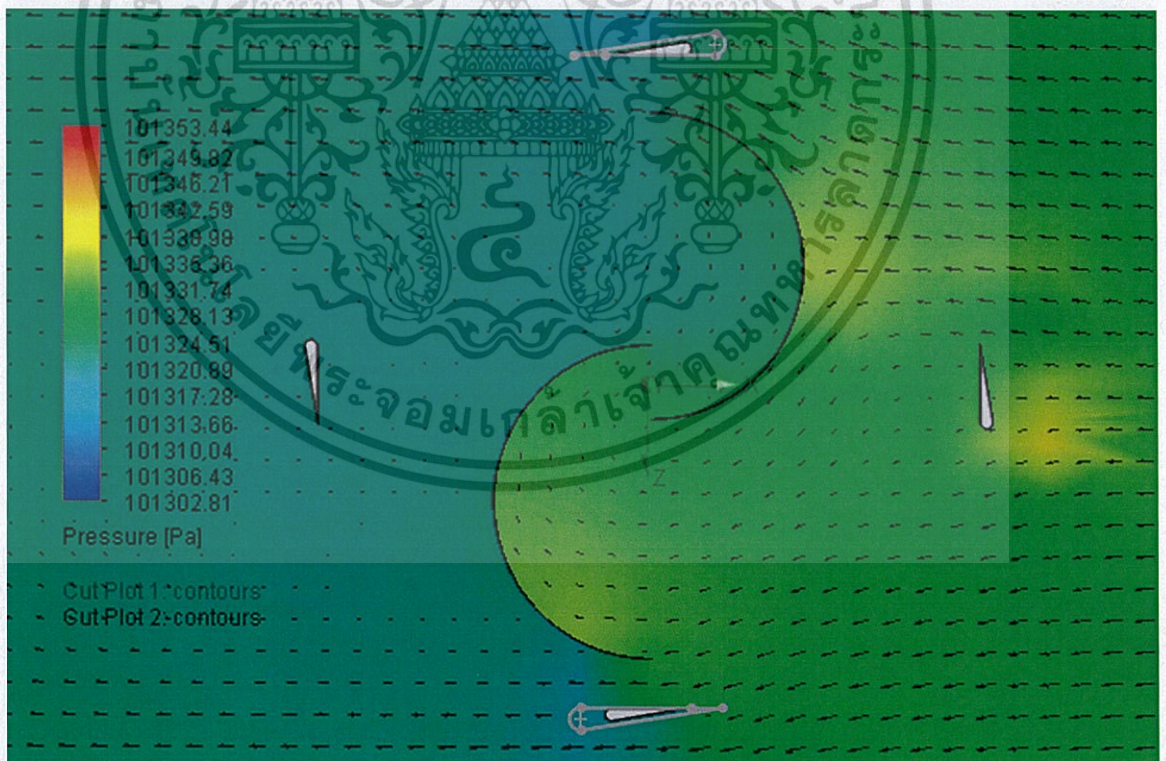
ในส่วนการทดสอบแนวกังหันออกแบพร้อมเกิดจากการนำข้อด้อยของกังหันทั้งสองรูปแบบมาวิเคราะห์เพื่อพัฒนาเพื่อศึกษาคุณสมบัติขั้นสูงสุดในแต่ละรูปแบบความคิดและประยุกต์สร้างตามแนวทางการวิเคราะห์ที่แสดงโครงสร้างในดังรูปที่ 4.9

การออกแบบแนวกังหันร่วมที่ในระนาบเดียวกันนั้นมีปัจจัยในการออกแบบอยู่ 2 ประการคือ

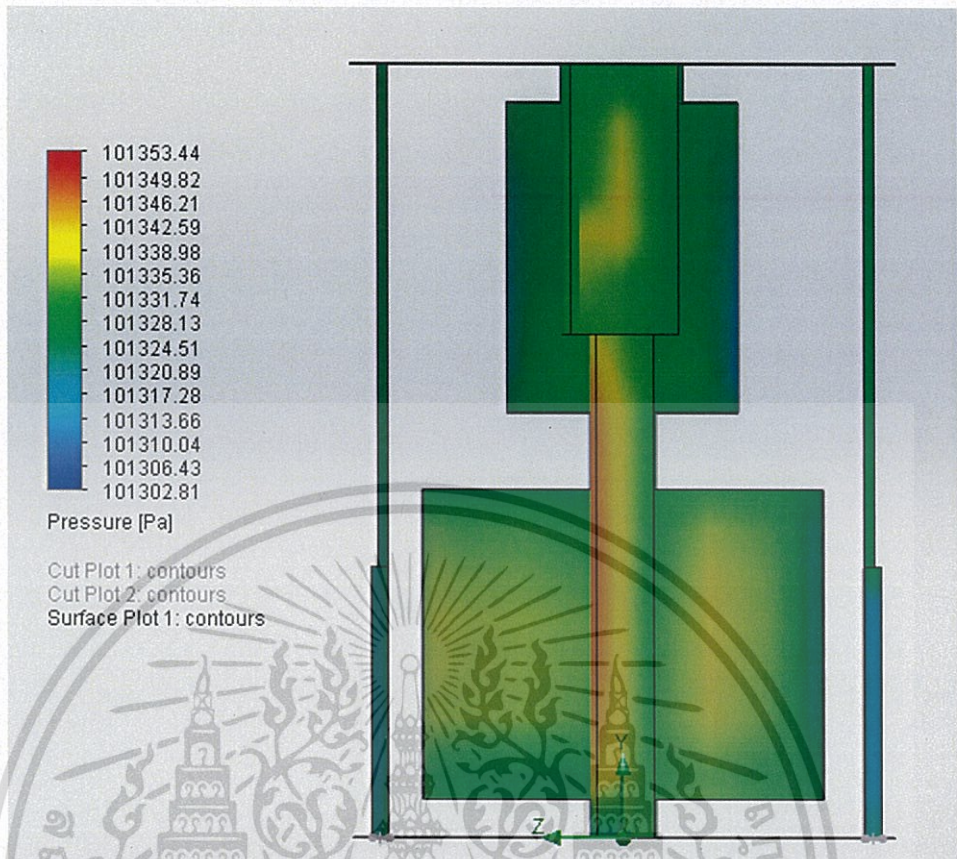
1. การวางแนวกังหันที่พื้นที่ผิวนอกนอก NACA0015 เพื่อรับพลังงานโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของใบกังหันเซโวนีเยชที่อยู่ด้านใน
2. การเลือกขนาดความกว้างและมุมมองตาของใบกังหัน NACA0015 เพื่อพัฒนาการทำงานกังหันลมเซโวนีเยชในพื้นที่ความเร็วลมต่ำและแปรปรวน



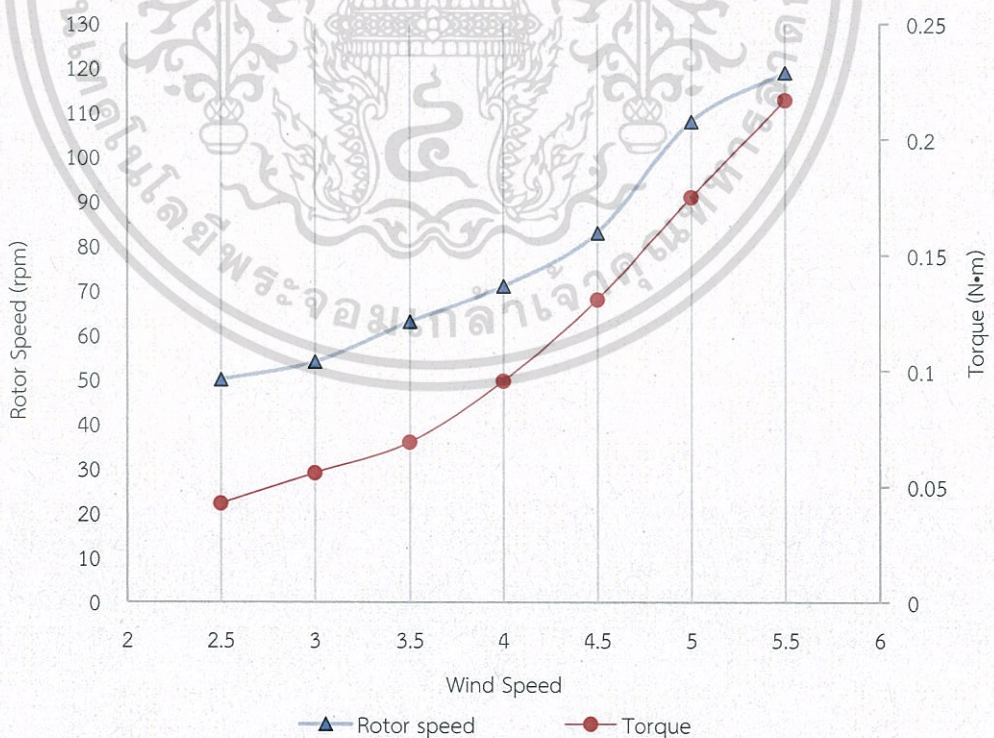
รูปที่ 4.9 โครงสร้างกึ่งหันทันแบบออกแบบร่วม

รูปที่ 4.10 ผลการจำลองแรงดันอากาศภาพตัดขวางใบชั้นบนของ ที่  $90^\circ$ รูปที่ 4.11 ผลการจำลองแรงดันอากาศภาพตัดขวางใบชั้นล่างของ ที่  $90^\circ$ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



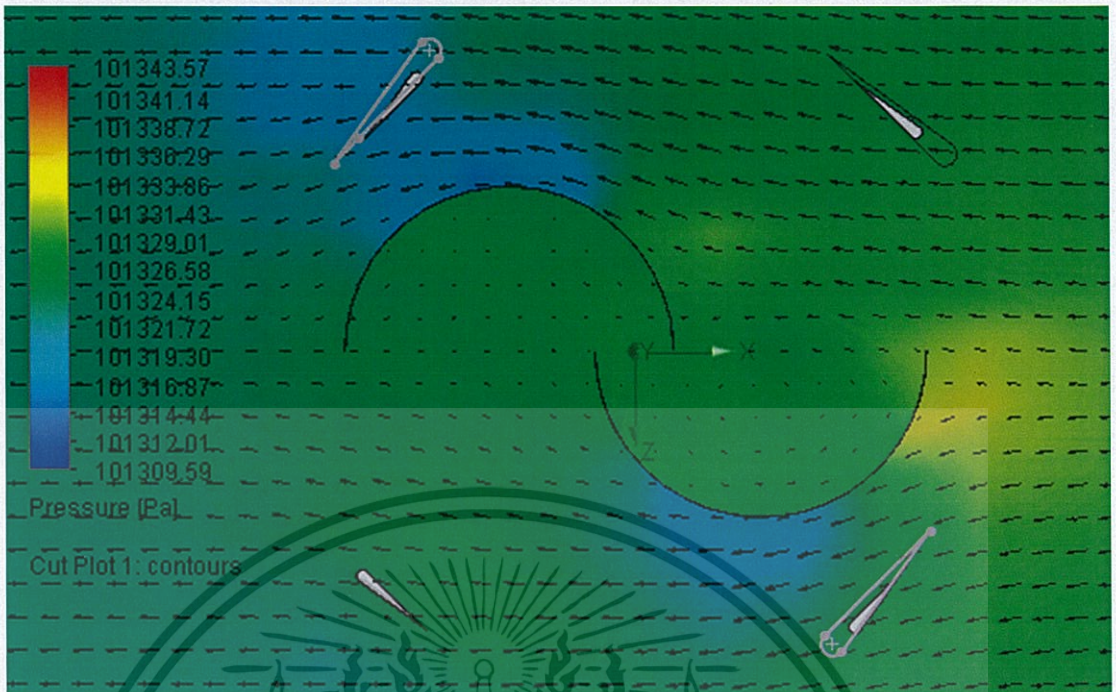
รูปที่ 4.12 ผลการจำลองแรงดันอากาศ โดยวง NACA0015 ที่  $90^\circ$



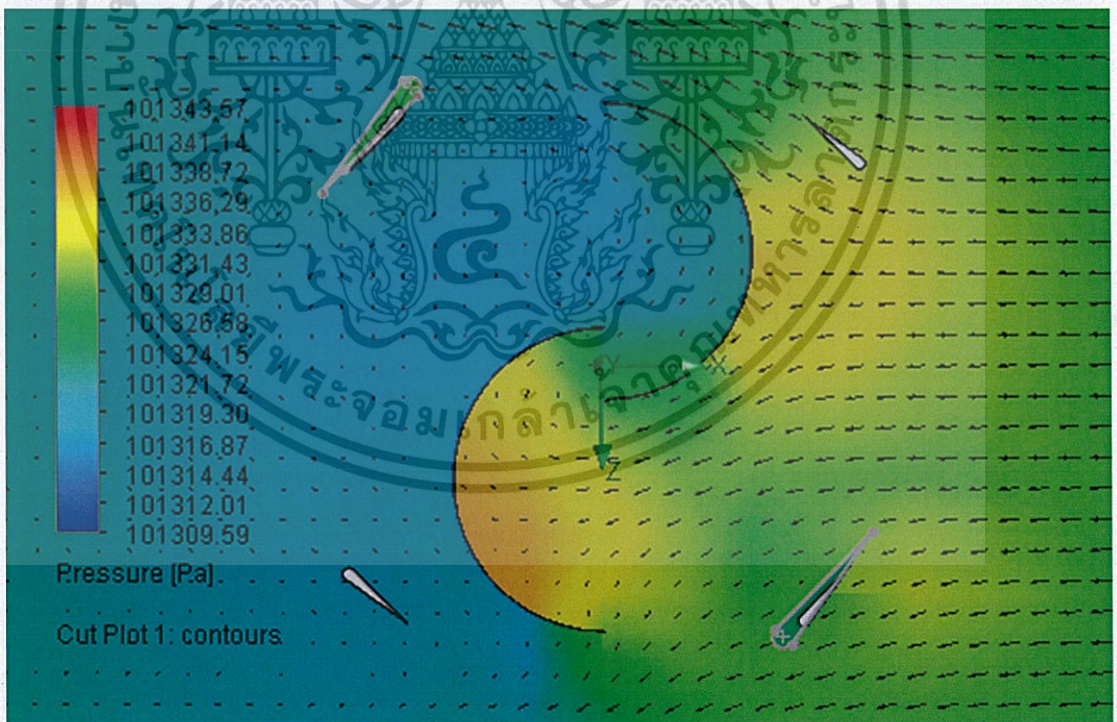
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลทดสอบความเร็วรอบและแรงบิดการออกแบบร่วมโดยวง NACA0015 ที่  $90^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

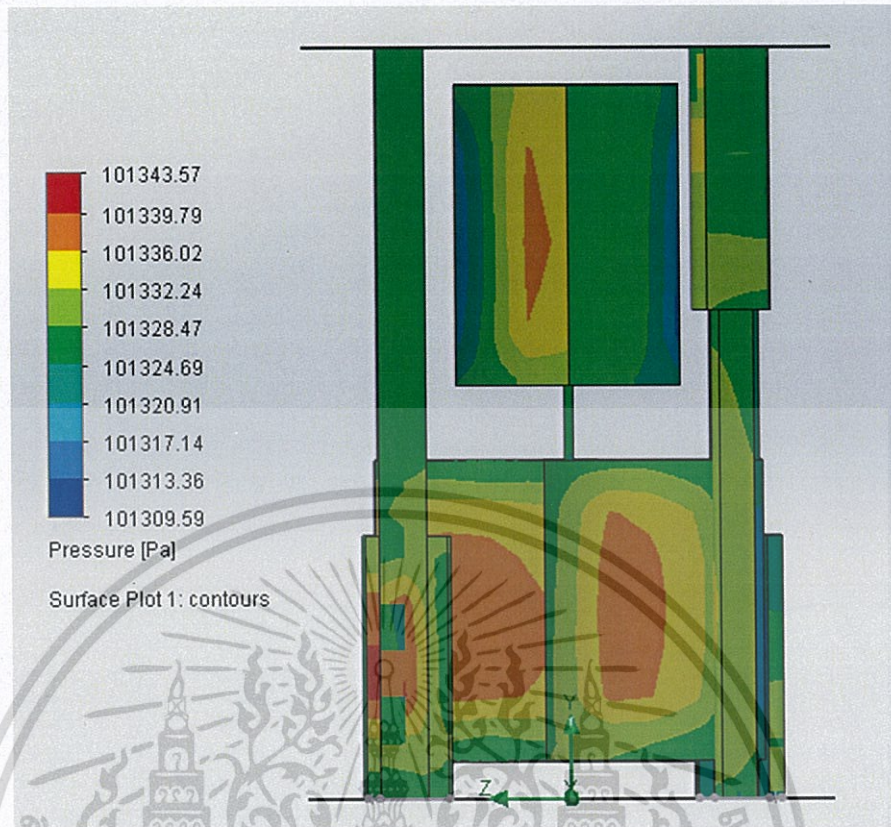


รูปที่ 4.14 ผลการจำลองแรงดันอากาศภาพตัดขวางใบขึ้นบนของ ด้วยความเร็วลม 5 m/s  
กึ่งหันออกแบร้อมโดยวาง NACA0015 ที่ 45°

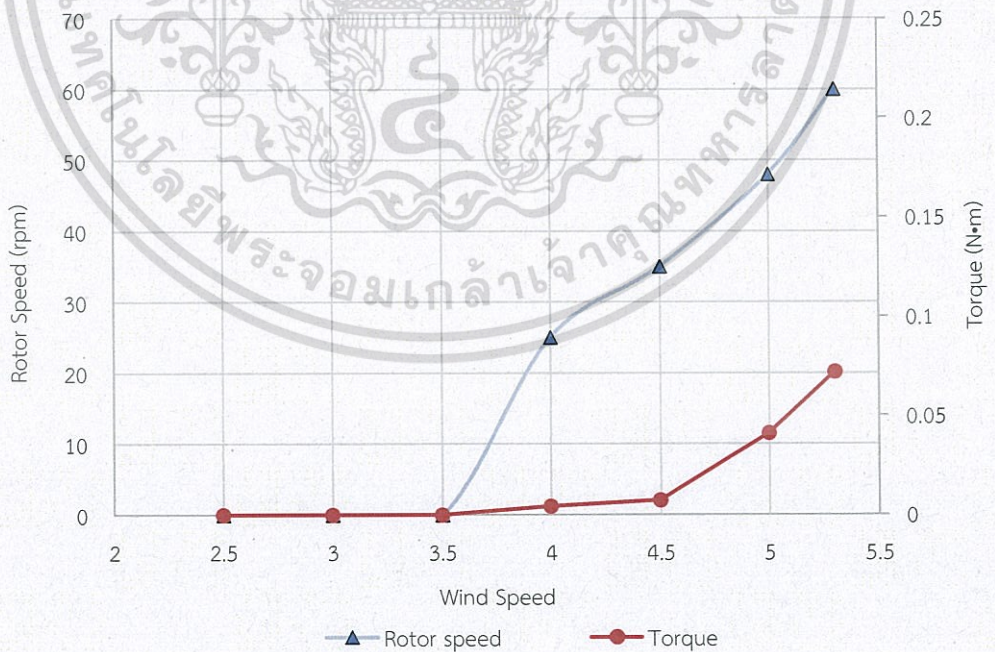


รูปที่ 4.15 ผลการจำลองแรงดันอากาศภาพตัดขวางใบขึ้นล่างของ ด้วยความเร็วลม 5 m/s  
กึ่งหันออกแบร้อมโดยวาง NACA0015 ที่ 45°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ผลการจำลองแรงดันอากาศ ด้วยความเร็วลม 5 m/s  
กึ่งหันออกแบบร่วมโดยวาง NACA0015 ที่ 45°



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลทดสอบความเร็วรอบและแรงบิด  
การออกแบบร่วมโดยวาง NACA0015 ที่ 45°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สืบเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในปัจจุบันมีอยู่หลากหลายรูปแบบ แต่เนื่องด้วยท้องตลาดในประเทศไทยมีจำหน่ายเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่เท่านั้น ดังนั้นผู้เขียนจึงมีความจำเป็นในการเลือกหาอุปกรณ์ทดแทน กล่าวคือมอเตอร์ไฟฟ้าชนิด 3 เฟส แบบแม่เหล็กถาวรที่สามารถใช้ร่วมกับกังหันลมออกแบบร่วมขนาดเล็กได้ ดังนั้นปัจจัยในการเลือกจึงแยกได้ออกเป็น 3 ประการ ตามการทำงานของกังหันลมแนวแกนตั้ง

1. กังหันลมออกแบบร่วมที่ความเร็วลมต่ำจะมีความเร็วหมุนต่ำ
2. แรงบิดที่สอดคล้องกับชุดกังหันลม
3. ขนาดที่เหมาะสมต่อรูปแบบการติดตั้งกับชุดอุปกรณ์ทดลอง

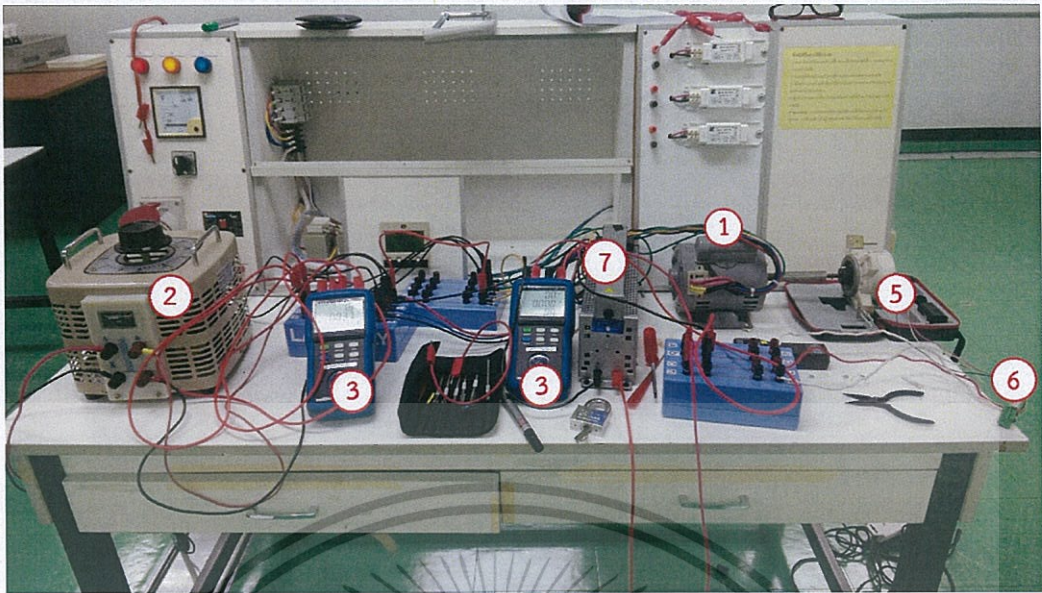
ดังนั้นการทดสอบความสามารถของมอเตอร์เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าจึงเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญและต้องสอดคล้องกับขนาดของกังหันลมแนวแกนตั้ง

##### 4.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

1. มอเตอร์ขับเคลื่อน ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์
2. อุปกรณ์ไฟฟ้าชุดควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน
3. อุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้า ใช้ในการตรวจสอบพลังงานในการผลิตและพลังงานที่ได้
4. อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ ใช้ในการตรวจสอบความเร็วในการหมุน
5. มอเตอร์กำเนิดไฟฟ้า UK07AB/ICF-140-43-4R/GTUK6, 800 rpm, 52 watt
6. วงจรเรียงกระแส 3 เฟส
7. ความต้านทานปรับค่าได้

##### o การเตรียมการทดลอง

1. ตรวจสอบระบบไฟฟ้าว่าได้ทำการตัดระบบก่อนต่อวงจร
2. ต่อชุดควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนเข้ากับระบบไฟฟ้า
3. ต่ออุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้ากับชุดควบคุมและมอเตอร์ขับเคลื่อน
4. ติดตั้งคัปปลิ่งเพื่อต่อแกนหมุนมอเตอร์ขับเคลื่อนเข้ากับแกนหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
5. ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับอุปกรณ์วัดกำลังทางไฟฟ้าและความต้านทานปรับค่าได้



รูปที่ 4.18 การเตรียมการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การเตรียมการทดสอบแบ่งเป็น 2 รูปแบบ

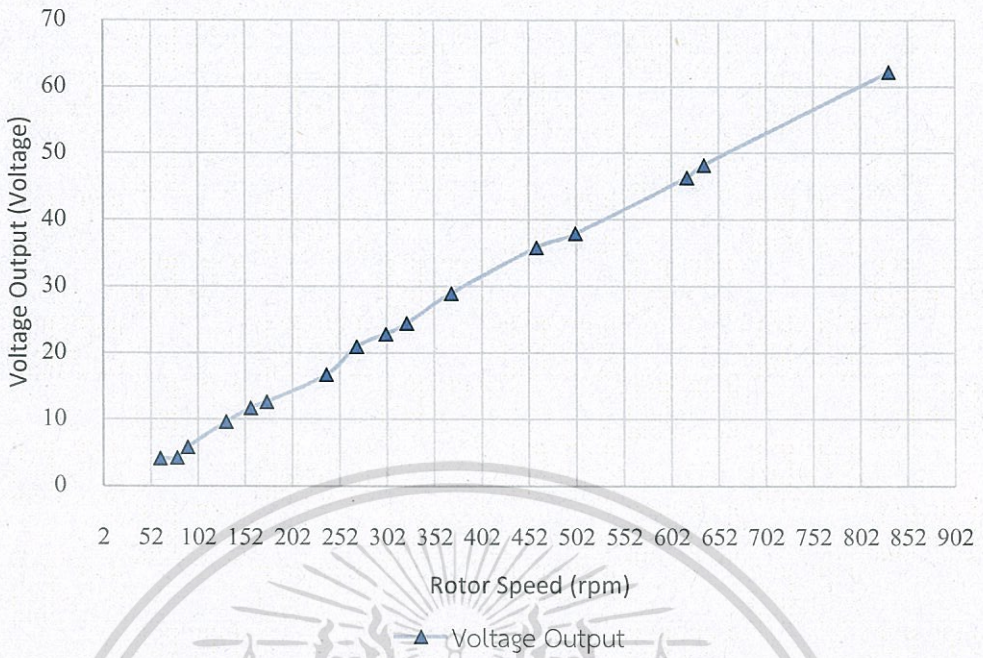
ในรูปแบบการทดลองที่ 1

1. สังเกตแรงดันที่ความเร็วต่างระดับแบบไม่มีโหลด

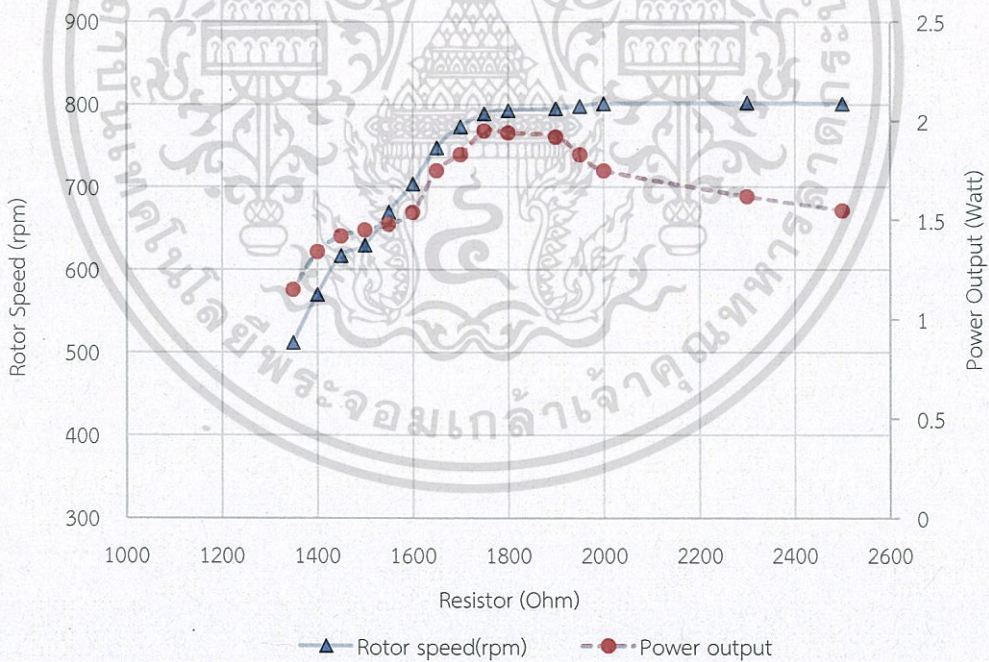
ในรูปแบบการทดลองที่ 2

1. ทำการควบคุมพลังงานที่ 3.5 watt ให้กับมอเตอร์กำลัง ความเร็วเริ่มต้น 800 rpm
2. สังเกตพลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. สังเกตการณ์แปรผันของรอบและการผลิตกำลังเมื่อค่าความต้านทานต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ผลการทดลองแรงดันไฟฟ้าเทียบความเร็ว

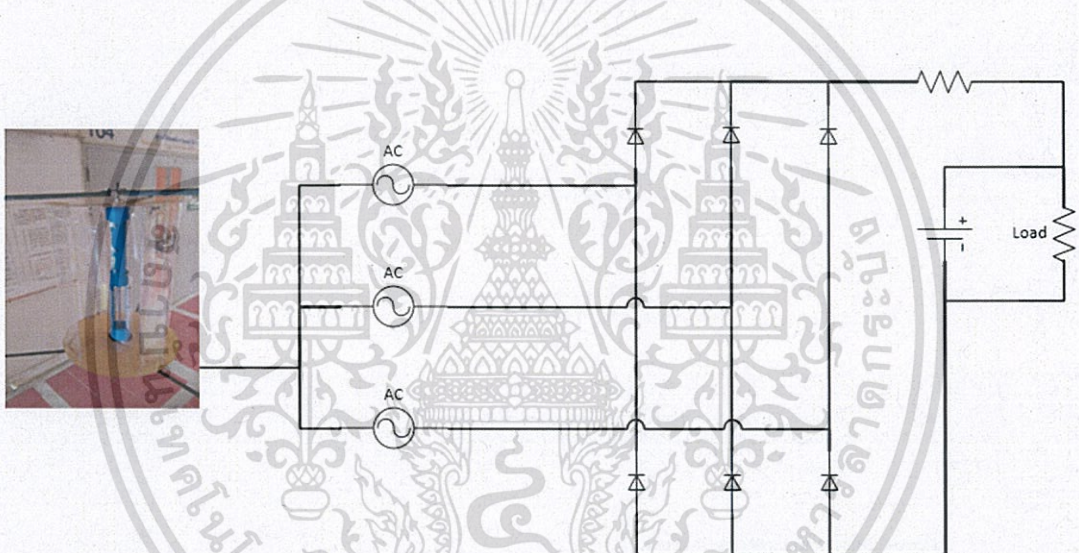


รูปที่ 4.20 ผลการทดลองกำลังเทียบความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

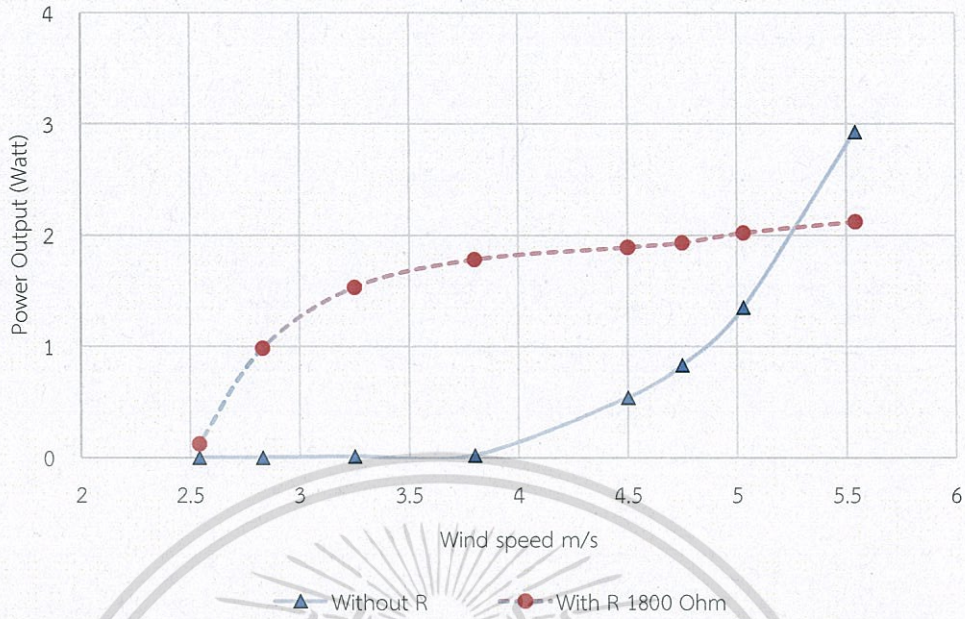
#### 4.5.2 การออกแบบเพื่อประกอบชุดกำเนิดไฟฟ้า

จากผลการทดสอบความสามารถของมอเตอร์ในบทที่ 3 แสดงให้เห็นถึงค่าความเร็วที่เริ่มลดลงเมื่อความต้านทานต่ำกว่า 1800 โอห์ม ดังนั้นในการออกแบบเพื่อใช้งานร่วมกับกังหันลมความเร็วต่ำพร้อมการติดตั้งชุดเฟืองเพื่อทดความเร็วรอบ จึงไม่ควรต่อวงจรเพื่อจ่ายไฟโดยตรงให้กับการใช้งานเพราะสืบเนื่องจากลมในประเทศไทยมีความเร็วลมต่ำ แปรปรวน และไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความเร็วลมต่ำควรใช้งานร่วมกับการต่อความต้านทานอนุกรมกับวงจรเรียงกระแสที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งนี้ขนาดของความต้านทานขึ้นอยู่กับความสามารถของมอเตอร์ที่นำมาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าแล้วเก็บในเครื่องสำรองไฟฟ้างดรูปที่ 4.21 และแสดงผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าเทียบความเร็วรอบที่เกิดจากลมธรรมชาติเมื่อมีตัวต้านทานและไม่มีตัวต้านทานผ่านเฟืองทดรอบอัตราส่วน 5 : 1 ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 การต่อวงจรเพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากวงจรเรียงกระแสในรูปที่ 4.21 วงจรทำหน้าที่เรียงกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส เปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงผ่านความตัวต้านทานเพื่อลดแรงบิดไปเก็บในแบตเตอรี่เก็บพลังงานก่อนส่งไปยังหลอดไฟ LED ทั้งนี้เนื่องด้วยชุดกังหันลมออกแบบร่วมมีขนาดเล็กและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความเร็วรอบต่ำที่มีอยู่ในประเทศไทยยังหาความเหมาะสมได้ยาก จึงควรมีการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฉพาะในการใช้ร่วมกับกังหันลมแนวแกนตั้ง ในส่วนของการทดสอบกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากชุดกังหันลมออกแบบร่วม



รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับชุดกังหันนอกแบบร่วมบนความต้านทาน

จากการทดสอบการผลิตไฟฟ้าจริงจากต้นแบบกังหันลมออกแบร่วมดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความต้องการความต้านทานพื้นฐานของชุดอุปกรณ์สร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าในงานวิจัย สืบเนื่องจากลมในไทยมีความเร็วต่ำ ดังนั้นการหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงความเร็วระหว่างการหมุนในอัตราส่วนถือเป็นสิ่งสำคัญเพราะลมจากธรรมชาติเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ถ้าชุดกังหันหยุดหมุนง่ายจะทำให้เสียประโยชน์ในการใช้พลังงานจากลมต่ำ ดังนั้นการเลือกออกแบบชุดกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการสร้างพลังงานไฟฟ้าควรหลีกเลี่ยงอุปกรณ์หรือการออกแบบที่มีผลต่อแรงบิดในแกนเพลลาและออกแบบให้ชุดกังหันประคองการหมุนได้ที่ความเร็วลมต่ำ

## 4.6 โครงสร้างชุดตั้งใบกังหัน

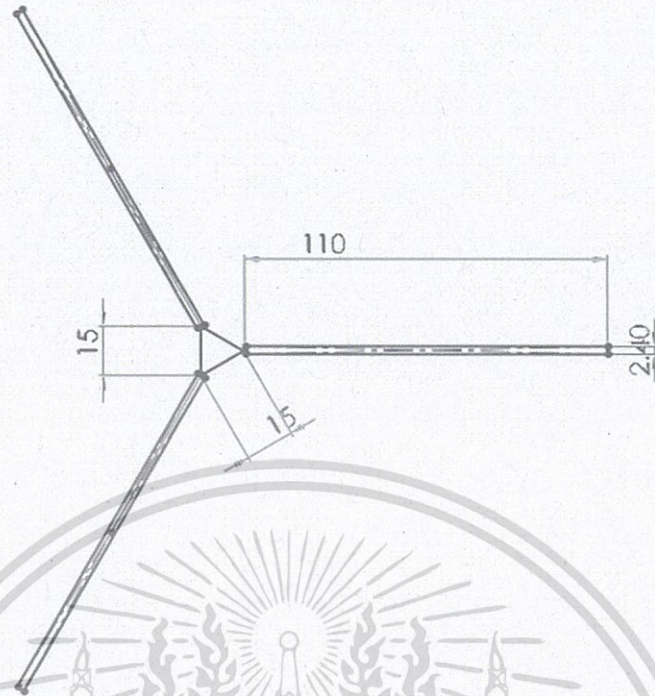
ฐานการติดตั้งชุดใบกังหันเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของชุดกังหันลมเพราะต้องรับน้ำหนักและรับแรงในแนวแกนราบที่เกิดจากแรงลม ดังนั้นการออกแบบควรคำนึงถึงการรับน้ำหนักเบื้องต้นด้วย ดังนั้นชุดฐานประกอบควรมีการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. ขนาดความสูง ความกว้าง และน้ำหนักของชุดกังหันลมรวม
2. โครงสร้าง และแผนผังของ ฐานรับน้ำหนัก
3. กำหนดคุณสมบัติวัสดุในการออกแบบ
4. รูปตัดพื้น
5. รูปตัดคาน
6. คำนวณโครงสร้าง
7. รูปตัดรากฐาน
8. รวบรวมรายการคำนวณ

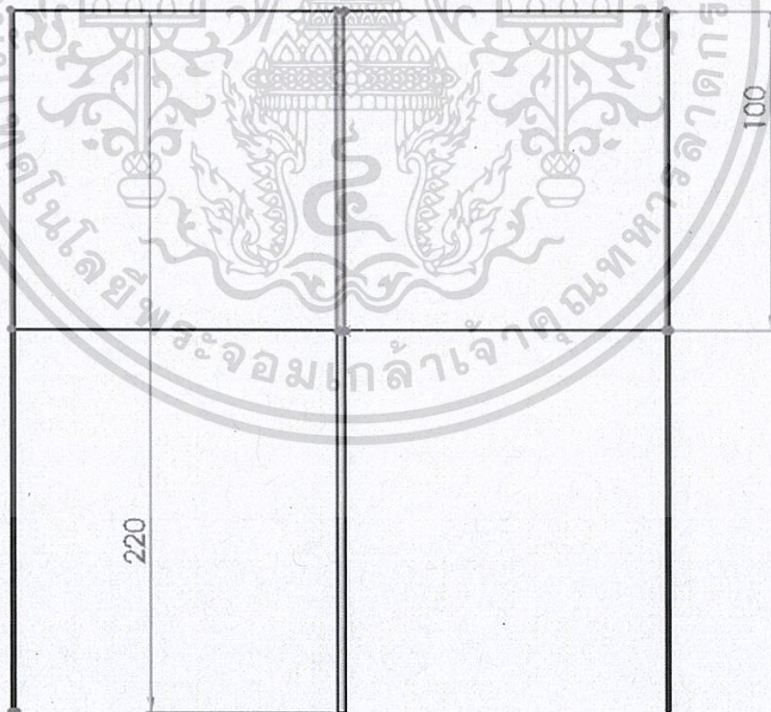
### 4.6.1 ข้อมูลในการผลิตกังหันร่วม

1. ขนาดความสูง 1 เมตร
2. รัศมีขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร
3. น้ำหนัก 17.4 กิโลกรัม โดยประมาณ
4. แกนเพลยาว 1.2 เมตร
5. ชุดเฟืองและชุดกำเนิดพลังงานไฟฟ้าและวงจรเรียงกระแส 1 กิโลกรัม
6. ต้องการให้กังหันสูงจากพื้นอย่างน้อย 1 เมตร

ดังนั้นควรออกแบบโครงสร้างให้สามารถรับน้ำหนักได้อย่างน้อย 30 กิโลกรัมเพราะต้องสามารถรับภาระน้ำหนักที่เกิดจากตัวโครงสร้างเหล็กอีกด้วย แต่เนื่องจากขนาดของกังหันที่ออกแบบมีขนาดเล็กและไม่หนักมากจึงสามารถออกแบบฐานกังหันลมออกแบบรวม 3 ขา เพื่อง่ายต่อการถอดประกอบและเคลื่อนย้าย รวมถึงการใช้ต้นทุนในการสร้างชิ้นงานดังรูปที่ 4.23, 4.24, 4.25 และ 4.26

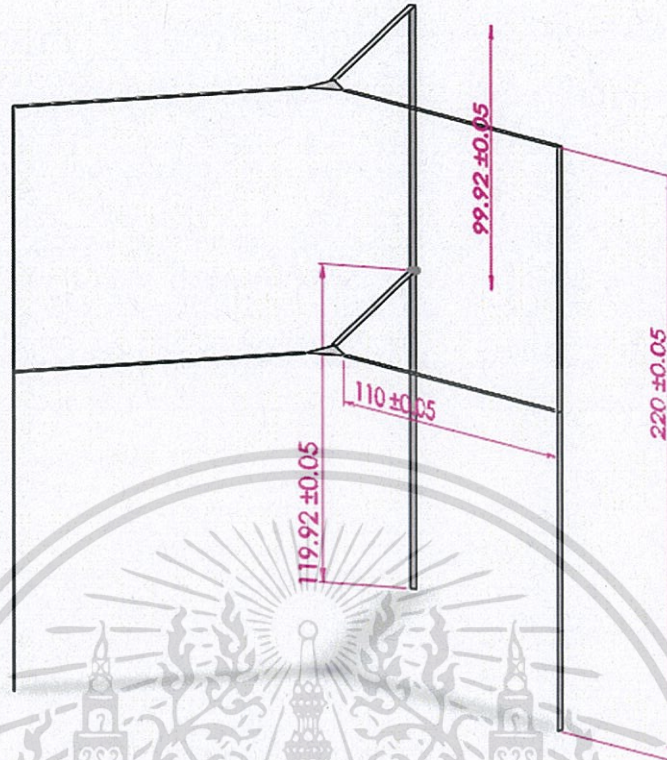


รูปที่ 4.23 ภาพจำลองโครงสร้างจากมุมมองด้านบน



รูปที่ 4.24 ภาพจำลองโครงสร้างจากมุมมองด้านหน้าและด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ภาพจำลองโครงสร้างจากมุมมองรวม



รูปที่ 4.26 ภาพฐานก้านที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ร่วมกับก้านลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผล

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบ

ในการศึกษาและทดสอบการออกแบบร่วมกังหันลมแนวแกนตั้งมีแนวคิดเริ่มจากการศึกษาพลังงานจากแหล่งพลังงานบริสุทธิ์ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และสามารถใช้งานได้เหมาะสมกับสภาพลมที่แปรปรวนในประเทศไทย ดังนั้นกังหันลมแนวแกนตั้งจึงเหมาะสมที่สุดกับการใช้งานดังกล่าวและนำมาพัฒนาเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานในประเทศโดยการแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วนตามองค์ประกอบของปริญญานิพนธ์ในแต่ละบทได้ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของแนวคิดเพื่อใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานบริสุทธิ์ จุดประสงค์ของการทำวิจัยเพื่อกำหนดขอบเขตของการศึกษาในการพัฒนารูปแบบกังหันแนวแกนตั้งที่เหมาะสมต่อประเทศไทย การวางแผนในการออกแบบเพื่อการทดลองพร้อมการออกแบบร่วมที่เหมาะสมการพัฒนาประสิทธิภาพของชุดกังหัน และรวมถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและแนวทางในการพัฒนาต่อเพื่อการใช้งานและสนับสนุนความต้องการของการใช้งานไฟฟ้าในประเทศ

บทที่ 2 กล่าวถึงพลังงานและต้นทุนของการใช้พลังงานในประเทศไทยที่มีผลต่อการพัฒนาพลังงานในประเทศ พลังงานทางเลือกใหม่ที่สามารถสร้างได้จากต้นทุนทางธรรมชาติและปฏิกิริยาเคมีรูปแบบลมที่มีอยู่ในประเทศไทย รูปแบบกังหันลมที่มีอยู่ในปัจจุบัน ทฤษฎีในการออกแบบกังหันรูปแบบแกนตั้งทั้งสองรูปแบบ และแนวความคิดเพื่อการออกแบบร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ยังต้องการพัฒนาหาความเหมาะสม

บทที่ 3 กล่าวถึงระดับขั้นตอนการออกแบบและรูปแบบการทดสอบเพื่อผลของประสิทธิภาพตามสมมติฐานที่เกิดจากทฤษฎีของของไหลในกังหันลมเซโวนีเยช พร้อมการวิเคราะห์ร่วมเพื่อออกแบบการวางใบกังหัน จำนวนและมุมของใบกังหัน NACA0015 เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการออกแบบร่วมกับกังหันลมที่มีประสิทธิภาพต่ำแต่ความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานลมต่ำได้ดี เพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถหาได้ในประเทศไทย

บทที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดผลที่เกิดขึ้นในการทดลองในบทที่ 3 และแนวทางในการออกแบบการเลือกการติดตั้งเพื่อสนับสนุนจุดด้อยของกังหันอย่างต่อเนื่องดังต่อไปนี้

1. กังหันเซโวนีเยชสามารถพัฒนาประสิทธิภาพได้ด้วยการเพิ่มช่องว่างระหว่างใบเพื่อลดแรงอัดอากาศซึ่งมีผลต่อความเร็วลมที่เข้าสู่ใบกังหัน
2. การเพิ่มประสิทธิภาพแรงบิดใบกังหันลมเซโวนีเยชสามารถทำได้โดยการเพิ่มระดับชั้นของใบในมุมต่างๆ

3. การวางใบกังหัน NACA0015 ที่รอบนอกของกันหันเซโวนีเยช 4 ใบ หลักไม่ควรมีขนาดของคอร์ดใบใหญ่กว่าช่องของอากาศใบกังหันลมเซโวนีเยช
4. ด้านข้างของใบกังหันเซโวนีเยชสามารถเพิ่มขนาดของใบ NACA0015 โดยไม่กระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมและสามารถเพิ่มพื้นที่การรับพลังงานจากลมได้อีกด้วย

ผลจากการออกแบบร่วมระหว่างกันหันแนวแกนตั้งเซโวนีเยชกับใบกังหันโรโรมิลแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาร่วมสองแนวคิดของกันหันแนวแกนตั้งเพื่อใช้ในพื้นที่ลมความเร็วต่ำและแปรปรวนในประเทศไทย จากการทำงานร่วมของใบพัดดังกล่าวสามารถพัฒนาความเร็วรอบในการหมุนให้กับใบพัดที่ความเร็วลมต่ำสูงสุดถึง 12% แต่การนำกันหันแนวแกนตั้งในการทดลองไปใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแอสลับจะส่งผลโดยตรงต่อแรงบิดเริ่มต้นขณะเริ่มออกตัวของใบพัดดังนั้นการติดตั้งที่แนวแกนเพลลาจะส่งผลน้อยที่สุดต่อแรงบิดขณะเริ่มต้น โดยตำแหน่งดังกล่าวเป็นจุดที่มีความเร็วรอบต่ำที่สุดแต่แรงบิดสูงที่สุดสำหรับการใช้งาน แต่เมื่อมีการใช้เพลลาเพื่อลดความเร็วรอบความจำเป็นในการต่อความต้านทานอนุกรมกับระบบนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เพราะแรงบิดออกตัวที่เกิดขึ้นจะสอดคล้องกับรูปแบบของต้นกำเนิดพลังงานไฟฟ้าและเป็นทวิคูณเมื่อผ่านชุดลดความเร็ว ดังนั้นการเลือกขนาดและตำแหน่งการติดตั้งของเพลลาจึงถูกทดสอบร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังต่ำรุ่น ICF-140-43-4R 140 โวลต์ 43 วัตต์ ที่ 700 รอบต่อนาทีโดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ตำแหน่งแกนเพลลาโดยตรงที่ความเร็วลมเฉลี่ย 5 เมตรต่อวินาที สามารถสร้างแรงดันเฉลี่ย 14.82 โวลต์ (ไม่มีภาระทางไฟฟ้า) แต่เมื่อติดตั้งผ่านชุดเพลลาทดรอบ 1:5 จะสามารถสร้างแรงดันสูงสุดได้ถึง 41.72 โวลต์ (ไม่มีภาระทางไฟฟ้า) แต่เมื่อมีการทดสอบภาระทางไฟฟ้ากับระบบ การทำงานผ่านชุดเพลลาทดจะส่งผลต่อความเร็วอย่างเห็นได้ชัดเจนดังนั้นจากผลการทดสอบเพื่อใช้งานควรมีการติดตั้งความต้านทานขนาด 1800-2000 โอห์มเพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพของความเร็วในการหมุนไว้ แต่อย่างไรก็ตามการต่อความต้านทานอนุกรมไว้กับระบบจะทำให้กำลังที่สามารถผลิตได้สูงสุดนั้นลดลงแต่สิ่งที่ได้คือความต่อเนื่องของพลังงานในความเร็วลมต่ำ

## 5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนา

งานวิจัยการออกแบบร่วมกันหันลมแนวแกนตั้งยังไม่เป็นที่รู้จักในวงกว้าง แต่ในการพัฒนารูปแบบกันหันแนวแกนตั้งดังกล่าวสามารถพัฒนาต่อในเรื่องของขนาด จำนวน และศึกษาความเหมาะสมในการใช้งานจริงรวมถึงพื้นที่การติดตั้งที่เหมาะสมในประเทศ ทั้งนี้กันหันลมแนวแกนตั้งสามารถติดตั้งได้ในระดับต่ำและสูง เพราะทิศทางลมไม่มีความจำเป็นต่อการใช้งานร่วมกับกันหันลมแนวแกนตั้ง นอกจากนี้ต้นแบบกันหันลมแนวแกนตั้งออกแบบร่วมขนาดเล็กดังกล่าวยังสามารถตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวภายใต้คลื่นน้ำทะเล และเป็นที่น่าสนใจเพราะความหนาแน่นของน้ำมากกว่าอากาศจึงสามารถพัฒนาเพื่อใช้ร่วมกับชุดเพลลาทดความเร็วได้ในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Savonius S J., "The S-rotor and its applications," Mech, Eng, 1931; 53: 333-8.
- [2] Menet J.-L., "A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study," Journal of Renewable Energy, Vol. 29, 2004, pp. 1843-1862,
- [3] "<http://www.pea-encom.com/index.php?mo=3&art=42138833>"
- [4] มหาวิทยาลัยศิลปากร., "เทคโนโลยีพลังงานลม," P. 4-189,
- [5] A. A. Kadam, S.S. Patil, "A Review Study on Savonius Wind Rotors for Accessing the Power Performance," IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 1684, pp. 18-24,
- [6] Savonius S.J., "The Savonius rotor and its applications," Mechanical Engineering, Vol. 35(5), 1931, pp. 333-337,
- [7] J. V. Akwa, G. A. da Silva Júnior, "A. P. Petry Discussion on the verification of the overlap ratio influence on performance coefficients of a Savonius wind rotor using computational fluid dynamics," Renewable Energy, 38, 2012, P 141-149,
- [8] Prathamesh De., Xianchang Li., "Numerical Study of Giromill-Type Wind Turbines with Symmetrical and Non-symmetrical Airfoils," European International Journal of Science and Technology, 2013, Vol. 2 No.8 p. 196-208,
- [9] "<http://www.eppo.go.th>"
- [10] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานลม, "พลังงานลม," Vol. 3, No. 3, 2008,
- [11] Yongyos V., Det D., "Analysis of Potential for Electricity Generation of Wind Energy," Chiang Mai University, ETM038, 2547,
- [12] "[www.mdpi.com](http://www.mdpi.com),"
- [13] Francisc G., Adrian B., "Computational Modeling of Giromill Wind Turbines," International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics Timisoara, Romania, October 21 - 22, 2004, P.283-286,
- [14] Marco D., Marco M., "Vertical Axis Wind Turbines: History, Technology and Applications," Master thesis in Energy Engineering, 2010, P 25-90,
- [15] Marco D., Marco Medaglia, "Vertical Axis Wind Turbines: History, Technology and Applications," Uppsala University Master Thesis, 2010 pp. 11-35,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] หลักสูตรการสอนมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, “วงจรรีจกกระแสบแบบ 3 เฟสที่ควบคุมเต็มบริดจ์ และแบบจำลองตัวเรียจกระแส,”
- [17] “[www.retc.ac.th/v3/kru\\_pitoon/2/6.doc](http://www.retc.ac.th/v3/kru_pitoon/2/6.doc)”
- [18] Bruce R. Munson, Donald F. Young, “Fundamentals of Fluid Mechanics,” Reading, 1950, pp. 3-12,
- [19] พีระ ภาคอุทัย, “การศึกษาประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์ของแพนอากาศใบพัด กังหันลมที่มีชายหลังแบบลู่อกด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 25, 2011,
- [20] Miyoshi Na., Shouichiro I., Toshihiko IK., “Performance of Double-step Savonius Rotor for Environmentally Friendly Hydraulic Turbine,” Journal of Fluid Science and Technology, Vol. 3, No. 3, 2008, PP410-419,
- [21] Menet J.-L., “A double-step Savonius rotor for local production of electricity: a design study,” Journal of Renewable Energy, Vol. 29, 2004, pp. 1843-1862,
- [22] Savonius S J., “The S-rotor and its applications,” Mech, Eng, 1931; 53: 333-8.
- [23] Savonius SJ., “The Savonius rotor and its applications,” Mechanical Engineering, Vol. 35(5), 1931, pp. 333-337,
- [24] “<http://www.windturbine-analysis.netfirms.com>”
- [25] Wilson R.E., Lissaman P. B.S., “Applied Aerodynamics of wind power machines,” Research Applied to National Needs, Oregon State University., GI-41840, 1974, pp. 145-232,
- [26] Fujisawa N, “Velocity measurements and numerical calculations of flow fields in and around Savonius rotors,” J. of Wind Eng. and Ind. l Aero, Vol. 59 (1), 1996, pp. 39-50,
- [27] Manuel F.V., “Brief introduction to the Darrieus wind turbines,” [www.amics21.com](http://www.amics21.com),
- [28] B. Jones, “Elements of Aerodynamics,” New York, USA, 1950, PP.73-158,
- [29] Abdul H.B., Pramod A., “Improved Power Quality AC/DC Converters,” National Institute of Technology Srinagar, Kashmir India, 2011, P. 271-310,
- [30] “<http://surinmarket.com/transmission/index.php?url=quizdetail.php>”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายละเอียดอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และสร้างกังหันลมแนวแกนตั้งออกแบบร่วมระหว่างกังหันลมเซโวเนียชกับกังหันลมใจโรมิลโบกังหัน NACA0015

1. Program Solid Work 2014
2. แผ่นอะคริลิกใสหนา 5 mm. วงกลมรัศมี 60 cm. 2 แผ่น
3. แผ่นอะคริลิกใสหนา 5 mm. สีเหลี่ยมผืนผ้า 40 x 63 cm. 4 แผ่น
4. แผ่นอะคริลิกใสหนา 3 mm. สีเหลี่ยมผืนผ้า 15 x 100 cm. 4 แผ่น
5. แผ่นอะคริลิกใสหนา 3 mm. สีเหลี่ยมผืนผ้า 30 x 60 cm. 4 แผ่น
6. ท่อ PVC หนา 5 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 Inc ยาว 1 m.
7. ปลายปิดท่อ PVC 3.5 Inc 2 ชิ้น
8. เพลากลึงยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ยาว 1.2 m.
9. ลูกปืนรู 10 mm. 2 ลูก
10. ลูกปืนรู 14 mm. 2 ลูก
11. แหวนฉิ่ง 10 ตัว
12. สกรูตัวเมียขนาด M10 10ตัว
13. เหล็กฉากหนา 3 mm. ยาว 10 m.
14. อุปกรณ์เป่าลมร้อน Bosch รุ่น GHG 630 DCE 2000 watt
15. ชุดสกรูขันแน่น M5 12 ชุด
16. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า รุ่น ICF-140-43-4R 140 โวลต์ 43 Watt ที่ 700 rpm
17. ไดโอด 6 ตัว
18. ตัวเก็บประจุ 48 V.

เครื่องมือวัดเพื่อเก็บผลการทดลอง

1. เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer 7911
2. เครื่องชั่งน้ำหนักกระเป๋าดำ
3. สปริง
4. เครื่องวัดความเร็วรอบ Yokogawa TM-300

## SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

INTUITIVE AND POWERFUL CFD SIMULATION FOR PRODUCT ENGINEERS



Examine complex flow in and around components to detect turbulence and recirculation issues.

SolidWorks Flow Simulation software is a powerful CFD (computational fluid dynamics) tool that takes the complexity out of flow analysis and enables you to easily simulate fluid flow, heat transfer, and fluid forces so you can investigate the impact of a liquid or gas flow on product performance.

### Evaluate and optimize complex flows

- Examine complex flows through and around your components with parametric analysis
- Align your model with flow conditions, such as pressure drop, to satisfy design goals
- Detect turbulences and recirculation issues with animated flow trajectories
- Understand the flow of non-Newtonian liquids, such as blood and liquid plastic
- Assess the impact of different impellers and fans on your design
- Include sophisticated effects like porosity, cavitation, and humidity

### Reduce the risk of overheating in your designs

- Visualize and understand temperature distribution in and around your products
- Couple flow with thermal analysis, simulating convection, conduction, and radiation effects
- Apply time- and coordinate-dependent boundary conditions and heat sources
- Find the best dimensions to satisfy your design goals, such as heat exchanger efficiency
- Get thermal heat sources and PCBs layer definition from EDA thermal properties

### Optimize the thermal performance of your PCBs and electronic components

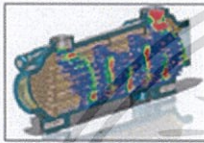
With the Electronic Cooling Module, you can include Joule heating effect, simulate components with two-resistor compact model, with heat pipe compact model, and include PCB properties to evaluate and boost cooling efficiency.

### Predict and achieve airflow and comfort parameters in working and living environments

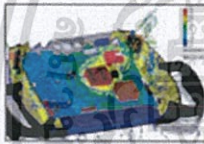
The HVAC Module includes advanced radiation modeling (such as semitransparent material and wavelength-dependent radiative properties), comfort parameters, and a large database of building materials to evaluate gas movement, temperature in working and living environments, and radiation.

### Gain valuable insights with powerful and intuitive results visualization tools

- Utilize Section or Surface plots to study the distribution of resultant values, including velocity, pressure, vorticity, temperature, and mass fraction
- Compare the Fluid Flow results for various configurations with the Compare Mode
- Measure results at any location with the Point, Surface, and Volume Parameter tool
- Graph results variation along any SolidWorks sketch
- List results and automatically export data to Microsoft® Excel®
- Communicate your CFD results in 3D with eDrawings®



Prevent heating problems by inspecting temperature distribution and heat fluxes.



Use the Electronic Cooling Module to optimize thermal performance of your electronic components.



Study thermal behavior of lighting systems with advanced radiation capabilities of the HVAC module.

## LEARNING AND SUPPORT

### A worldwide community of learning and support

SolidWorks users can access a broad range of tools and resources—tutorials, online help, blogs, forums, the SolidWorks User Group Network ([www.SWUGN.org](http://www.SWUGN.org)), and an extensive worldwide network of local resellers. Tap into a global community to share best practices, refine tasks, and rapidly work through design challenges. Our value-added resellers are based around the world and work to make you instantly productive. With an average of over 10 years of experience in the CAD business and a primary focus on the SolidWorks product development solution, our resellers deliver world-class support, continuous training, and personalized service to always ensure your success.

### SOLIDWORKS PRODUCT DEVELOPMENT SOLUTIONS

SolidWorks software provides users with an intuitive 3DEXPERIENCE development environment that maximizes the productivity of your design and engineering resources to create better products faster, and more cost-effectively. See the full range of SolidWorks software for design, simulation, sustainable design, technical communication, and data management at [www.solidworks.com/products2014](http://www.solidworks.com/products2014).

### LEARN MORE

Visit [www.solidworks.com/premium](http://www.solidworks.com/premium) or contact your local authorized SolidWorks reseller to learn more.

## DATA EXCHANGE

SolidWorks Premium 2014 features built-in translators that let you exchange CAD data created in a wide variety of software applications and file formats:

- 3D XML
- 3DS
- AI (Adobe® Illustrator®)
- ASC
- Autodesk® Inventor®
- CADKEY®
- CGR (CATIA® graphics)
- DWG
- DXF
- HCG (CATIA highly compressed graphics)
- HSF (Hoops)
- IBL
- IDF
- IFC
- IGES
- JPG
- Mechanical Desktop®
- IZIP
- INM
- OBJ
- Parasolid®
- PDF
- PNG
- PLY
- PLY2
- Pro/ENGINEER®
- PSD (Adobe Photoshop®)
- Rhino
- SAT (ACIS®)
- Solid Edge®
- STEP
- STL
- TIF
- TXT
- USD (Universal 3D)
- Unigraphics®
- VDA-FS
- VRML
- XYZ

## SUPPORTED STANDARDS

- ANSI
- BSI
- DIN
- GB
- GOST
- ISO
- JIS

## SYSTEM REQUIREMENTS

- Windows® 7 (32- or 64-bit) or Windows 8 (64-bit)
- 2 GB RAM (minimum)
- 5 GB disk space free (minimum)
- Certified video card and driver
- Intel® or AMD® processor with SSE2 support
- DVD or broadband Internet connection
- Internet Explorer 8 or later
- Microsoft Office® 2007 or later

For additional details, visit [www.solidworks.com/systemrequirements](http://www.solidworks.com/systemrequirements).

## Our 3DEXPERIENCE Solutions powered by our brand applications serving 12 industries

Dassault Systèmes, the 3DEXPERIENCE Company, provides users and people with virtual universes to create sustainable innovations. Its world-leading solutions transform the way products are designed, produced, and supported. Dassault Systèmes' solutions foster social innovation, expanding possibilities for the virtual world to improve the real world. The group brings value to over 150,000 customers of all sizes in all industries in more than 100 countries. For more information, visit [www.3ds.com](http://www.3ds.com).

Visit us at [3DS.COM/SOLIDWORKS](http://3DS.COM/SOLIDWORKS)



Americas  
Dassault Systèmes  
175 William Street  
Waltham, Massachusetts  
02451-1223  
USA

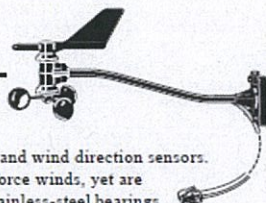
Europe/Middle East/Africa  
Dassault Systèmes  
10, rue Marcel Dassault  
CS 40520  
78054 Velizy-Villacoublay Cedex  
France

Asia-Pacific  
Dassault Systèmes  
Rm. 401, Shiba Park Bldg 30F  
3-18-1 Aoyagi, Minami-Ku  
Tokyo 106-0032  
Japan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Anemometer

7911



Perception and Wizard Sensors

The Anemometer includes both wind speed and wind direction sensors. Rugged components stand up to hurricane-force winds, yet are sensitive to a light breeze. Includes sealed stainless-steel bearings for long life. The range and accuracy specifications of this unit have been verified in wind-tunnel tests (information available upon request). A model 7911 Anemometer reported wind speeds of 175 miles per hour before its tower collapsed during hurricane Andrew, 1992. Digital filtering, with time constant as specified below, is applied to wind direction measurements. In areas where icing of the anemometer is a problem, use Anemometer Drip Rings to deflect water from the joint between moving parts.

## General

Sensor Type	
Wind Speed	Wind cups and magnetic switch
Wind Direction	Wind vane and potentiometer
Attached Cable Length	40' (12 m)

Note: On Monitor and Wizard stations, cable lengths longer than 140' (42 m) between sensors and console may artificially limit wind speed readings. That is, beyond that length, maximum recordable wind speed decreases as cable length increases. For example, with a length of 140' (42 m), the maximum recordable speed exceeds 175 mph. At 240' (72 m), however, the maximum recordable speed drops to less than 140 mph. Below that upper limit, however, the anemometer's accuracy is not affected.

Cable Type	4-conductor, 26 AWG
Connector	Modular connector (RJ-11)
Recommended Maximum Cable Length	
Wizard and Monitor	140' (42 m) Sensor to Console
Material	
Wind Vane and Control Head	UV-resistant ABS
Wind Cups	Polycarbonate
Anemometer Arm	Black-anodized aluminum
Dimensions	18.5" long x 7.5" high x 4.75" wide (470 mm x 191 mm x 121 mm)
Weight	2 lbs, 15 oz. (1.332 kg)

## Console Data

Note: These specifications apply to sensor output as converted by Davis Instruments weather station consoles.

Range	
Wind Speed (large wind cups) (See Note 1)	2 to 150 mph, 2 to 130 knots, 1 to 67 m/s, 3 to 241 km/h
Wind Speed (small wind cups) (See Note 1)	3 to 175 mph, 3 to 150 knots, 1.5 to 79 m/s, 5 to 282 km/h
Wind Direction	0° to 360° or 16 compass points
Wind Run	0 to 1999.9 miles (1999.9 km)
Accuracy	
Wind Speed (large wind cups)	±2 mph (2 kts, 3 km/h, 1 m/s) or ±5%, whichever is greater
Wind Speed (small wind cups)	±3 mph (3 kts, 5 km/h, 1.5 m/s) or ±5%, whichever is greater
Wind Direction	±7°
Wind Run	±5%
Resolution	
Wind Speed	1 mph (1 knot, 0.1 m/s, 1 km/hr)
Wind Direction	1° (0° to 355°), 22.5° between compass points
Wind Run	0.1 m (0.1 km)

DS7911 (Rev. E, 1/8/07)

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2

**Perception and Wizard Sensors****Measurement Timing**

Wind Speed Sample Period .....	2.25 seconds
Wind Speed Sample and Display Interval .....	2.25 seconds (Monitor & Wizard)
Wind Direction Sample Interval .....	1 second (Monitor & Wizard)
Wind Direction Filter Time Constant (typical) .....	8 seconds (Monitor & Wizard)
Wind Direction Display Update Interval .....	2 seconds (Monitor & Wizard)

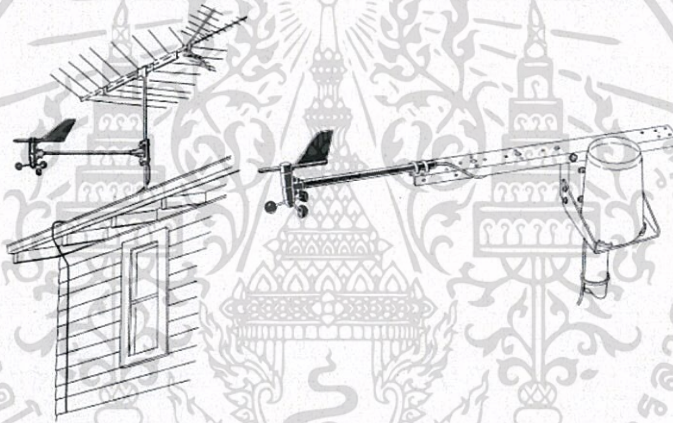
**WeatherLink® Data**

Note: These specifications apply to sensor output as logged and displayed by the WeatherLink.

Wind Speed .....	Average during archive interval
High Wind Speed .....	Maximum during archive interval
Wind Direction .....	Dominant wind direction during archive interval

**Input/Output Connections**

Black .....	Wind speed contact closure to ground
Green .....	Wind direction pot wiper (360° = 20 kOhm)
Yellow .....	Pot supply voltage
Red .....	Ground

**Installation Options****Package Dimensions**

Product #	Package Dimensions (Length x Width x Height)	Package Weight	UPC Codes
7911	17.50" x 5.75" x 2.50" (445 mm x 146 mm x 64 mm)	1.7 lbs. (.7 kg)	011698 79110 1

**DAVIS**  **Davis Instruments** 3485 Diablo Ave., Hayward, CA 94545-2778  
(510) 732-9229 • FAX (510) 670-0589 • sales@davisnet.com • www.davisnet.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SKD 82

SEMIKRON<sup>®</sup> 3

## Power Bridge Rectifiers

SKD 82

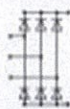
## Features

- Robust plastic case with screw terminals
- Large, isolated base plate
- Blocking voltage up to 1800 V
- High surge current
- Three phase bridge rectifier
- Easy chassis mounting
- UL recognized, file no. E 63 532

## Typical Applications\*

- Three phase rectifiers for power supplies
- Input rectifiers for variable frequency drives
- Rectifiers for DC motor field supplies
- Battery charger rectifiers

- 1) Freely suspended or mounted on an isolator  
 2) Mounted on a painted metal sheet of min. 250 x 250 x 1 mm;  
 $R_{th(j-c)} = 1,8 \text{ KW}^{-1}$   
 3) Available in limited quantities



SKD

$V_{RSM}$ V	$V_{RSM} - V_{ORM}$ V	$I_o = 80 \text{ A}$ (full conduction) ( $T_c = 110^\circ \text{C}$ )
400	400	SKD 82/04
800	800	SKD 82/08
1200	1200	SKD 82/12
1400	1400	SKD 82/14
1600	1600	SKD 82/16
1800	1800	SKD 82/18 <sup>2)</sup>

Symbol	Conditions	Values	Units
$I_o$	$T_c = 110^\circ \text{C}$ resistive / inductive load	80	A
	$T_a = 45^\circ \text{C}$ ; isolated <sup>1)</sup>	12	A
	$T_a = 45^\circ \text{C}$ ; chassis <sup>2)</sup>	26	A
	$T_a = 45^\circ \text{C}$ ; P1A/120 (P1A/200)	54 (63)	A
$I_{RSM}$	$T_c = 25^\circ \text{C}$ ; 10 ms	750	A
	$T_c = 150^\circ \text{C}$ ; 10 ms	640	A
$I_T$	$T_c = 25^\circ \text{C}$ ; 8,3 ... 10 ms	2900	A/s
	$T_c = 150^\circ \text{C}$ ; 8,3 ... 10 ms	2000	A/s
$V_T$	$T_c = 25^\circ \text{C}$ ; $I_T = 150 \text{ A}$	max. 1,6	V
$V_{T(O)}$	$T_c = 150^\circ \text{C}$	max. 0,85	V
$f_c$	$T_c = 150^\circ \text{C}$	max. 5	ms
$I_{SO}$	$T_c = 25^\circ \text{C}$ ; $V_{DO} = V_{ORM}$ ; $V_{FO} = V_{RSM}$	max. 0,5	mA
	$T_c = 150^\circ \text{C}$ ; $V_{DO} = V_{RSM}$	6	mA
$P_{D(j-c)}$	per diode	1,1	KW
	total	0,183	KW
$R_{th(j-c)}$		0,07	KW
$T_{stg}$		-40 ... +150	$^\circ \text{C}$
		-40 ... +125	$^\circ \text{C}$
$V_{max}$	a. c. 50 Hz; r.m.s.; 1 s / 1 min. to heatsink	3600 (3000)	V
$M_s$	to terminals	$5 \pm 15\%$	Nm
$M_t$		$5 \pm 15\%$	Nm
$m$		165	g
Case		G 56	

1

28-06-2007 SCH

© by SEMIKRON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SKD 82**

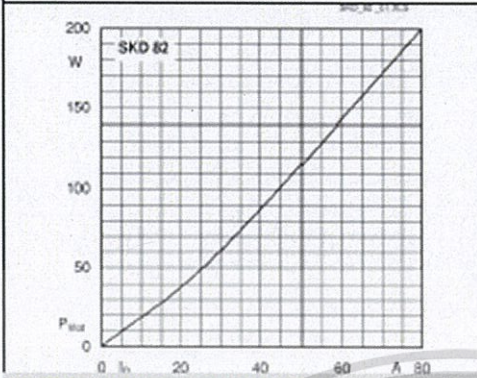


Fig. 3L Power dissipation vs. output current

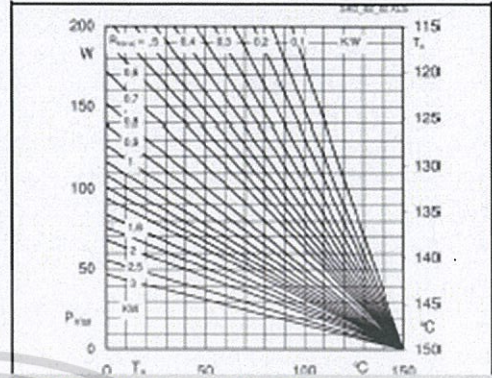


Fig. 3R power dissipation vs. case temperature

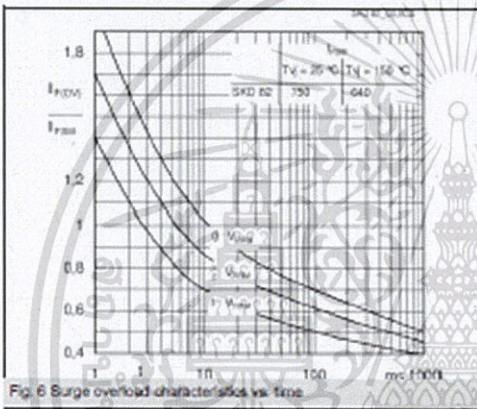


Fig. 6 Surge overload characteristics vs. time

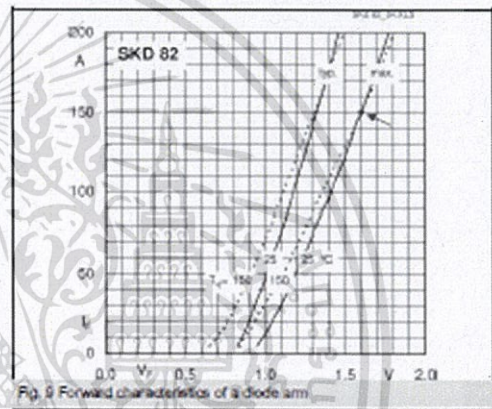


Fig. 8 Forward characteristics of a diode arm

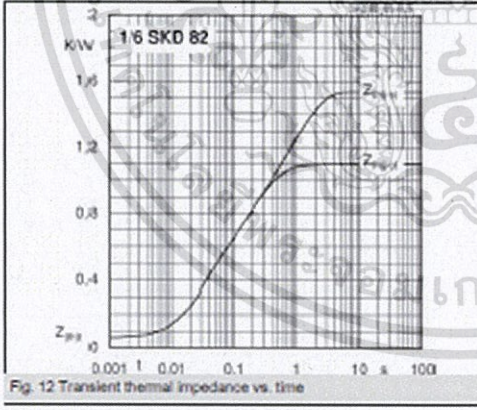
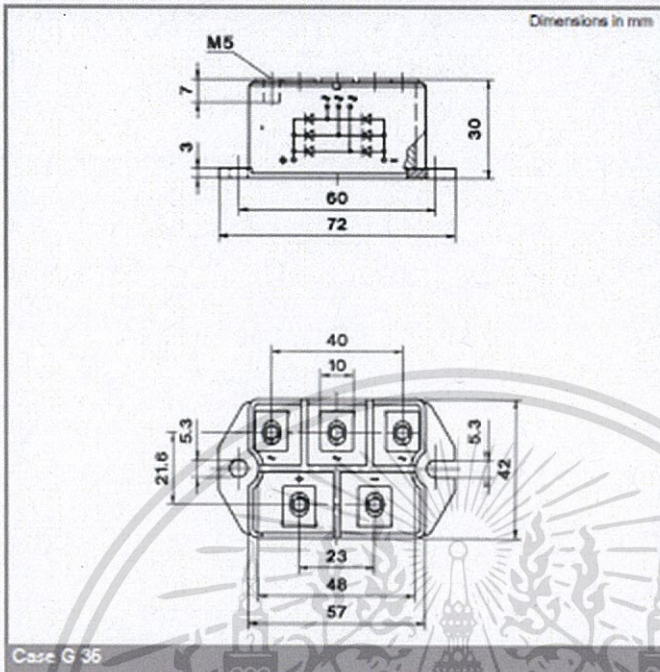


Fig. 12 Transient thermal impedance vs. time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SKD 82



\* The specifications of our components may not be considered as an assurance of component characteristics. Components have to be tested for the respective application. Adjustments may be necessary. The use of SEMIKRON products in life support appliances and systems is subject to prior specification and written approval by SEMIKRON. We therefore strongly recommend prior consultation of our personal.

**GHG 500-2**  
**GHG 600-3**  
**GHG 630 DCE**

**BOSCH**  
 Ideas that work.

\* Des idées en action.

Operating Instructions

操作指南

操作指南

사용 설명서

પરિચયકોષ્ટિકાચારુ

Petunjuk-Petunjuk

untuk Penggunaan

Hướng dẫn sử dụng

Instructions d'emploi

کراسه الاستعمال

راهنمای دستگاه



**Product Specifications**

Hot Air Blower		GHG 500-2	GHG 600-3	GHG 630 DCE
Order number		0 601 94A 0..	0 601 94B 0..	0 601 94C 7..
Power consumption max.	[W]	1600	1800	2000
Air flow approx.	[l/min]	240/450	250/350/500	150/300/500
Temperature at nozzle outlet approx.	[°C]	300/500	50/400/600	50 ... 630
Temperature measuring accuracy at the nozzle outlet on the display		±10 % -	±10 % -	±10 % ±5 %
Display operating temperature*	[°C]	-	-	0 ... +50
Weight (without accessories) approx.	[kg]	0.75	0.8	0.9
Protection class		IP / II	IP / II	IP / II

\* Outside of the operating temperature, the display can become black.

Please observe the order number of your unit. The trade names of the individual units may vary.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 12. LG2/LGU Grease-Packed Bearings (For use in normal atmosphere only)

LG2/LGU clean grease-packed stainless steel bearings are suitable for clean environments in normal atmosphere.



Product Specifications		Representative structure
Structure	Shielded Type	
Outer/inner rings	Martensite stainless steel	
Balls	Martensite stainless steel	
Specifications Cage	Stainless steel or resin	
Lubricant	NSK clean grease LG2/LGU	
Shields	Austenite stainless steel	

Applications: Equipment in clean rooms

### Operating Instructions and Notes

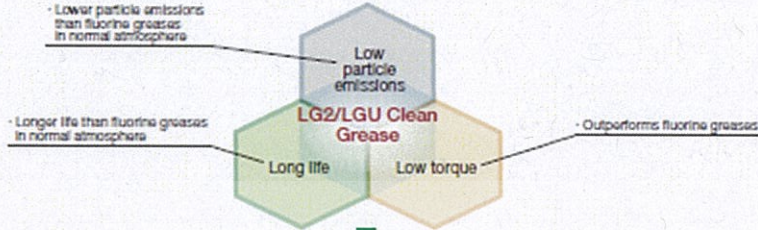
- The LG2/LGU grease products are for use in normal atmospheric conditions only.
- Bearing should not be unpacked until immediately before mounting.
- See the tables of SPACEA™ bearing nomenclature on pages A25 and A26 for the limiting loads and limiting rotational speeds.
- Cleanliness may vary depending on operating conditions, surrounding components, and other factors.
- All comments referencing certain values or degrees of performance in this catalog are intended to be used as a reference only. NSK provides this guide "As is" without warranty of any kind, either expressed or implied.

A51 | **NSK**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Features**

- Clean grease lubrication for use in normal atmosphere only
- Lower particle emissions, lower torque, longer operating life and higher corrosion resistance than commercially available fluorine greases
- LGU grease is free of metallic elements



**Performance**

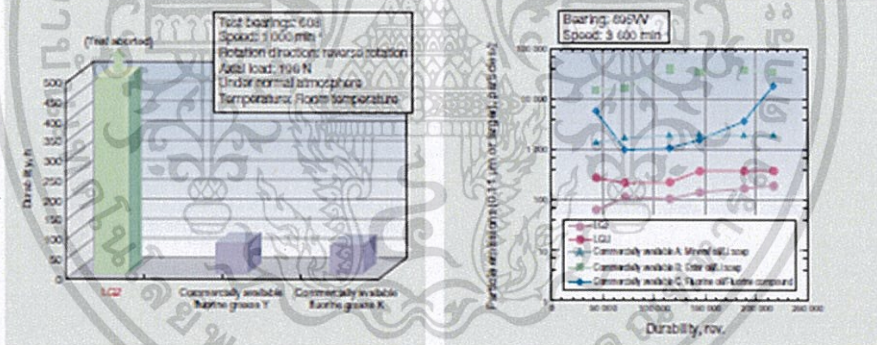
● Properties of Grease

Operating environment	For use in normal atmosphere only	
	LG2	LGU
Product	Mineral oil and synthetic hydrocarbon oil	Synthetic hydrocarbon oil
Base oil	Mineral oil and synthetic hydrocarbon oil	Synthetic hydrocarbon oil
Thickener	Lithium soap	Diurea
Kinematic viscosity (mm <sup>2</sup> /s, 40°C)	32	96
Consistency	199	201
Maximum operating temperature, °C	up to 70	up to 120

LGU grease is free of metallic elements

● Results of durability tests in normal atmosphere  
LG2/LGU grease has a longer life than any other grease in normal atmosphere.

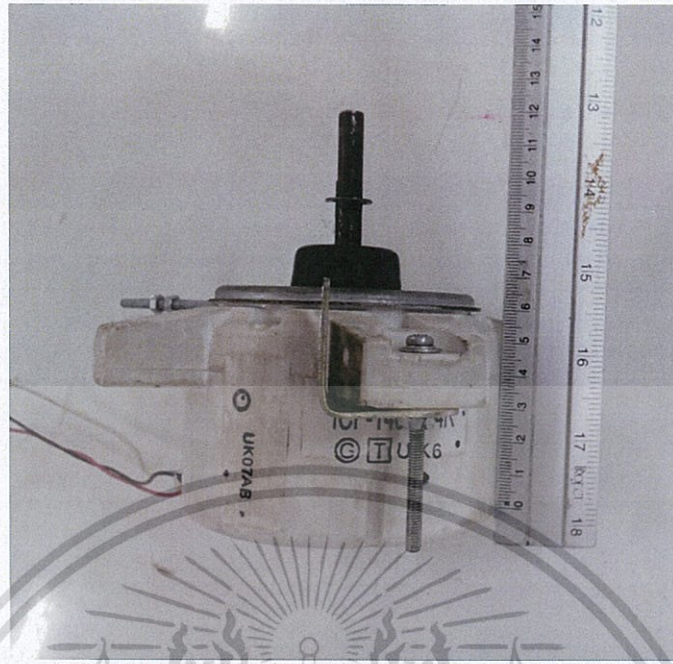
● Results of particle emission tests in normal atmosphere  
LG2/LGU grease are lowest in particle emissions in normal atmosphere.



NSK | A52

Bearings LGU Oil Grease-based Bearings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Outdoor fan motor  
(Model : ICF-140-43-4)

Measure the resistance value of winding by using the tester.



Position	Resistance value
Red - White	21Ω
White - Black	
Black - Red	

For details, refer to Section 10-9.



หน้าจอแสดงผล LCD 4 หลัก  
แสดงหน่วยวัดน้ำหนัก 2 หน่วย : kg / lb  
แสดงหน่วยวัดอุณหภูมิ 2 หน่วย : C / F  
ระบบชดเชยน้ำหนัก (TARE)

ปิดเครื่องอัตโนมัติเมื่อไม่มีการใช้งานภายใน 2 นาที

ขนาดเครื่อง : 128 X 28 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ถ่านกระดุม CR2032 1 ก้อน อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**นามสกุล** นายภุชงค์ เจริญประสพสุข  
**วัน เดือน ปีเกิด** 22 สิงหาคม 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
**ที่อยู่** 1388 ถ.พระรามที่4 เขต.คลองเตย แขวง.คลองเตย  
 กรุงเทพมหานคร 10110  
**ประวัติการศึกษา** 2553 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
**ประวัติการทำงาน** 2553 - 2554 Production Engineer, UTAC Thai.Co.,Ltd  
 2554 - 2554 Project Engineer, Power Well.Co.,Ltd  
 2554 - 2555 Project&Service Engineer, Atech.Co.,Ltd  
 2555 - ปัจจุบัน Senior Project Engineer, ABB LIMITED

#### ผลงานทางวิชาการ

1. Charoenprasopsuk P., Udommongkhonkit W. and Chompoo-inwai C., "Study of Power Electrical by Combination Design Between Savonius and Giromill Wind Turbine", *Electrical Engineering Conference 2015 (EECON-38)*, P. 189-192 , November 2015

## การศึกษาการสร้างพลังงานไฟฟ้าด้วยการออกแบบร่วม ระหว่าง กังหันลมเซโวเนียช กับ ไจโรมิลล์

### Study of Power Electrical by Combination Design Between Savonius and Giromill Wind Turbine

พงษ์ เจริญประสาทสุข<sup>1</sup>, วันชัย อุดมมงคลกิจ<sup>2</sup> และเชาว์ ชมภูอิน<sup>3</sup>

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร 0-2326-9902

puchong.charoenprasopsuk@th.abb.com<sup>1</sup>, wanchai.ud@thaiobayashi.com<sup>2</sup>, chompooc@gmail.com<sup>3</sup>

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบการประยุกต์ใช้กังหันลมแนวแกนตั้งเพื่อพัฒนาแหล่งรับพลังงานจากลมธรรมชาติในประเทศไทยอันสืบเนื่องมาจากห้องวิจัย Energy System and Illumination Research Center (ESIRC) ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีความตระหนักถึงการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบันของประเทศไทย ดังนั้นจึงมีแนวคิดริเริ่มและนำเสนอการออกแบบการประยุกต์ใช้กังหันลมแนวแกนตั้งเพื่อพัฒนาแหล่งรับพลังงานจากลมธรรมชาติที่มีความเร็วลมต่ำและแปรปรวน ด้วยการนำคุณลักษณะเด่นของกังหันลมแนวแกนตั้งที่มีคุณสมบัติรับแรงบิดในการออกตัวและทิศทางการรับพลังงานสลับเนื่องจากการเข้าปะทะของของไหลเพื่อเปลี่ยนรูปพลังงานลมในธรรมชาติ โดยออกแบบและติดตั้งใบพัดแนวแกนตั้งของกังหันเซโวเนียชร่วมกับใบพัดแนวแกนตั้งไจโรมิลล์ที่มีข้อได้เปรียบในด้านประสิทธิภาพแต่ด้อยในเรื่องการออกตัว ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงแนวทางการพัฒนาเพื่อหาทางเลือกใหม่ของพลังงานที่บริสุทธิ์ในประเทศไทย

**คำสำคัญ:** กังหันลมแนวแกนตั้ง

#### Abstract

The purpose of this article is to present an applied vertical wind turbine to develop source of energy from ocean surface waves. According to Energy system and illumination research center (ESIRC) of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang recognizes an increase of electricity consumption in Thailand. These bring an idea of initiation and development of an applied wind wheel in vertical in order to transfer energy from low velocity and variant wind in Thailand. The development has a distinctive point of starting torque and the direction of power brings the transport of Potential energy. The propeller was designed to use Savonius wind turbine with Giromill that good with coefficients but pool on starting up point.

**Keywords:** Vertical axis wind turbine (VAWTs)

#### 1. บทนำ

ในการออกแบบชุดอุปกรณ์สืบเนื่องจากปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย หนึ่งปัจจัยสำคัญคือชีวิตรวมถึงการการพัฒนาและขับเคลื่อนเศรษฐกิจ อาทิเช่น การสื่อสาร การคมนาคม การให้ความรู้การศึกษา การแพทย์ การรักษาความสงบสุขของชาติ การอุตสาหกรรม รวมถึงการดำรงอยู่ของชีวิตมนุษย์ทั่วโลก โดยทั่วไปมนุษย์ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากสารไฮโดรคาร์บอนหรือรู้จักกันดีในรูปแบบของน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ โดยต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าและการใช้พลังงานจากสารดังกล่าวก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและสภาพแวดล้อมที่เป็นภัยต่อโลกและสิ่งมีชีวิต ดังนั้นจึงเริ่มต้นการศึกษาการใช้พลังงานด้วยกังหันลมแนวแกนตั้งในประเทศไทย ที่นำเสนอมีข้อดีดังนี้

- (1) ชุดอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ
- (2) สร้างทางเลือกใหม่ในการผลิตพลังงานเพื่อใช้ในประเทศไทย
- (3) สร้างพลังงานไฟฟ้าจากต้นทุนทางธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศ
- (4) มีความเหมาะสมต่อสภาพลมที่ต่ำและแปรปรวนของประเทศ
- (5) ชุดกังหันสามารถรับพลังงานลมได้ทุกทิศทางในแนวราบ

#### 2. ทฤษฎีและหลักการ

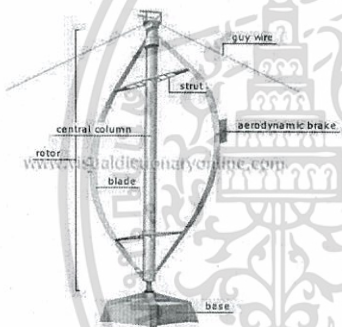
##### 2.1 พลังงานลม (Wind Power)

ลมเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในอากาศและเป็นต้นกำเนิดของคลื่นน้ำทะเล ลมเกิดขึ้นเมื่อเกิดความแตกต่างของความดันอากาศหรือความแตกต่างของอุณหภูมิในธรรมชาติ และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ตามเหมาะสม เมื่ออดีตกาลมนุษย์เราได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานลมในการอำนวยความสะดวกสบายแก่ชีวิต รวมถึงการคมนาคมและขนส่ง เช่น เรือใบขนส่งสินค้าข้ามมหาสมุทร การหมุนกังหันวิดน้ำ การหมุนโมทีนบดเมล็ดพืชให้เป็นแป้ง ในปัจจุบันมนุษย์ได้ให้ความสำคัญและนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยการนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไปในธรรมชาติ ไม่มีต้นทุนและเป็นพลังงานที่สะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย

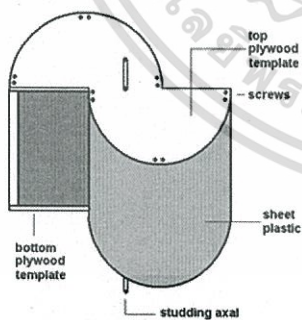
ต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างต่อเนื่อง โดย “กังหันลม” เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นและนำมาใช้สกัดพลังงานจลน์ของกระแสลมและเปลี่ยนเป็นพลังงานกล จากนั้นจึงนำพลังงานกลดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อกระแสลมพัดผ่านใบกังหัน จะเกิดการถ่ายเทพลังงานจลน์ไปสู่ใบกังหัน ทำให้กังหันหมุนรอบแกนและสามารถนำพลังงานจากการหมุนไปใช้งานได้ดังตัวอย่างกังหันลมที่ใช้กันมากในประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันข้างต้น

## 2.2 พลังงานลม (Wind Power)

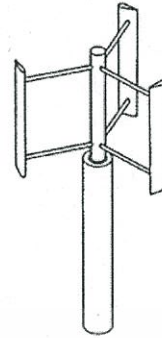
กังหันลมแนวแกนตั้งเป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากเทียบกับพื้นผิวโลกและยังไม่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เมื่อมีการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบผ่านกังหันในแนวแกนตั้ง ใบกังหันสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง กังหันลมแบบแกนตั้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำ แต่มีข้อจำกัดในการขยายให้มีขนาดใหญ่และการยกชุดใบพัดเพื่อติดตั้งรับแรงลม



รูปที่ 1 กังหันลมเดร์เรียส (Darrieus Turbine)



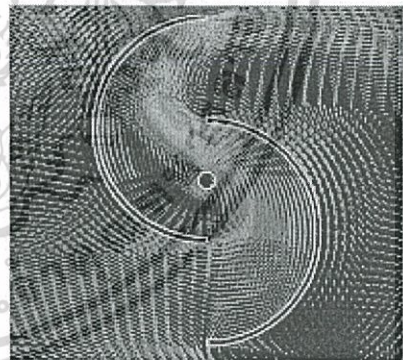
รูปที่ 2 กังหันลมเซโวเนียส (Savonius Turbine)



รูปที่ 3 กังหันลมใจโรมิล (Giromill Turbine)

### 2.2.1 กังหันลมเซโวเนียส (Savonius Turbine)

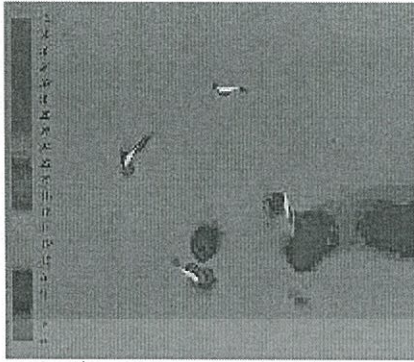
กังหันลมเซโวเนียสเป็นหนึ่งในกังหันลมแนวแกนตั้งอันดับต้นๆ ที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.1922 โดยวิศวกรชาวเยอรมันชื่อ ซิกการ์ด โจฮานเนส เซโวเนียส (Sigurd Johannes Savonius) ร่วมกับบริษัทแห่งหนึ่ง แต่ถูกนำมาพัฒนาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1745 ในรูปแบบของกังหันลมในแนวแกนนอนที่เมืองเฟอร์สเทนเบิร์ก (Furstenberg) แต่ในปัจจุบันไม่นิยมนำมาพัฒนาและใช้กับงานทางด้านการผลิตไฟฟ้า ด้วยพลังงานลม เนื่องจากจากรูปแบบของตัวกังหันชนิดนี้สามารถหมุนได้เทียบเท่ากับความเร็วลมหรืออาจต่ำกว่าความเร็วลมหรือกล่าวได้ว่าสัมประสิทธิ์ความเร็วใบกังหันเทียบความเร็วลมต่ำ โดยมีแนวคิดหลักจากแรงต้านของมวลในอากาศดังรูปที่ 2, 4



รูปที่ 4 ผลการจำลองความเร็วลมที่กังหันเซโวเนียส

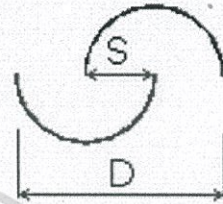
### 2.2.2 กังหันลมใจโรมิล (Giromill Turbine)

ใจโรมิลถือกำเนิดจากการพัฒนารูปแบบกังหันแนวแกนตั้งของวิศวกรชาวฝรั่งเศส ชื่อ จอร์จ มารี เดอรูช (Georges Jean Marie Darrieus) จดสิทธิบัตรในปี ค.ศ.1931 โดยมีทุนร่วมกับบริษัทขนาดใหญ่และเริ่มมีการใช้งานที่รัฐแคลิฟอร์เนีย (California) เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศที่มีความเร็วลมมากกว่า 5 เมตร/วินาที ขึ้นไปเพราะไม่สามารถออกตัวด้วยความเร็วลมต่ำได้ โดยมีแนวคิดหลักจากแรงเฉือนและหลักการยกตัวของมวลในอากาศดังรูปที่ 3, 5



รูปที่ 5 ผลการจำลองความเครียดกังหันโรโรมิล

จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของความเร็วในการหมุนกับช่องว่างระหว่างใบพัด แต่ในทางกลับกันช่องว่างส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์กำลัง ดังนั้นการออกแบบใบพัดเซโวเนียชควรออกแบบให้สอดคล้องกับอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางช่องภายในกับความกว้างของใบพัดให้มีค่าใกล้เคียงกับ 0.2



รูปที่ 7 มุมองด้านบนบนแผนผังของกังหันลมเซโวเนียช

### 3. การออกแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

#### 3.1 การเลือกจำนวนใบกังหันของกังหันลมเซโวเนียช

กังหันลมเซโวเนียชสามารถออกแบบได้หลายรูปแบบดังนั้นจึงมีการจำลองรูปแบบที่แตกต่างกันเพื่อเทียบประสิทธิภาพการทำงานด้วยชุดกังหันขนาด 0.4 x 0.4 x 0.3 เมตร หน้า 5 ม.ม. ผลิตจากแผ่นอะคริลิกดังต่อไปนี้



รูปแบบที่ 1 ไม่มีช่องว่าง

รูปแบบที่ 2 ช่องว่าง 3.2 ซม.

จากการทดลองดังกล่าวสามารถหาค่าประสิทธิภาพได้จากสมการที่ 1

และผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการเลือกรูปแบบที่มีช่องว่างที่เหมาะสมต่อการใช้งานจากการคำนวณตามสมการที่ 1

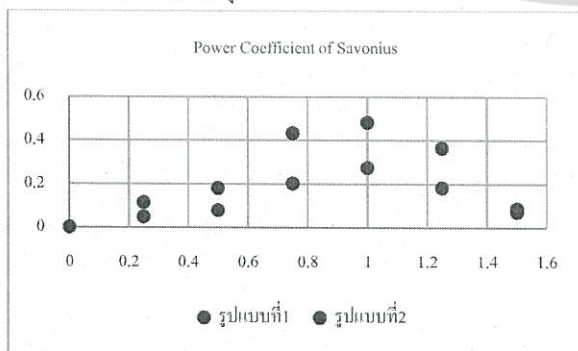
$$C_p = \frac{2Fu}{\rho V^3 DH} = \frac{2P_0}{\rho AV^3} \quad (1)$$

$C_p$  คือสัมประสิทธิ์กำลัง (Power Coefficient)

$H$  คือความสูงของใบพัด

$\rho$  คือความหนาแน่นจำเพาะของอากาศ 1.2929 kg/m<sup>3</sup>

$A$  คือพื้นที่ผิวแกนหมุน



รูปที่ 6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์กำลังเทียบตามรูปแบบ

#### 3.2 การเลือกรูปแบบใบกังหันโรโรมิล

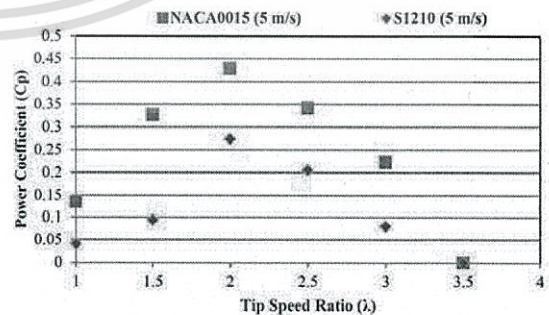
ใบกังหันโรโรมิลได้มีการพัฒนาขึ้นหลายรูปแบบ แต่สืบเนื่องจากการออกแบบและเหมาะสมต่อการนำมาทำวิจัยจึงเลือกรูปแบบที่สามารถสร้างได้ง่ายและเกิดประโยชน์สูงสุด



รูปที่ 8 รูปแบบใบกังหัน NACA0015



รูปที่ 9 รูปแบบใบกังหัน S1210



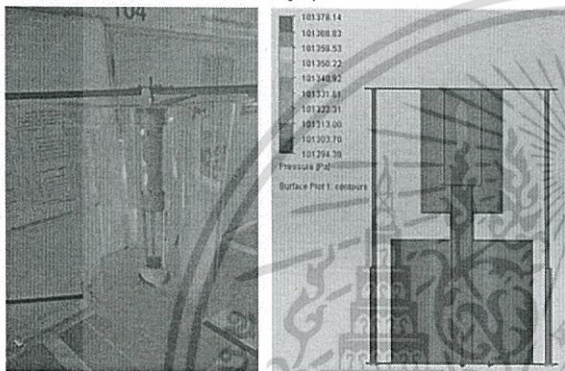
รูปที่ 10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์กำลังเทียบตามรูปแบบ

จากผลการทดลองดังกล่าวการเลือกใช้รูปแบบกังหันจึงควรเลือกตามรูปแบบ NACA0015 เพราะสามารถตอบสนองต่อความเร็วลมได้ดีกว่ากังหันรูปแบบ S1210 เพื่อนำมาพัฒนากังหันลมที่เหมาะสมต่อการ

ทดสอบและใช้งานในภูมิประเทศของไทยแต่อย่างไรก็ตามการทดสอบดังกล่าวได้ระบุนความชัดเจนในการเริ่มหมุนของตัวกังหันดังกล่าวที่ความเร็วลม 5 เมตร/วินาที ดังนั้นการใช้รูปแบบกังหันดังกล่าวเพียงลำพังจึงยังไม่เหมาะสมต่อสภาพลมในประเทศไทย

### 3.3 การออกแบบแนวแกนร่วมเพื่อเลือกวางตำแหน่งใบพัด

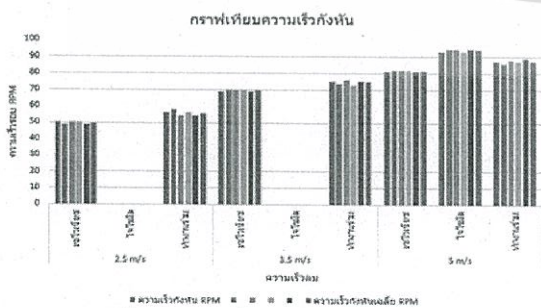
จากการทดลองและผลการศึกษาการทดลองดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์และวางรูปแบบของกังหัน NACA0015 รวม 4 ใบ ที่มีขนาดเทียบเท่ากับช่องว่างภายในกังหันเซโวเนียร์ร่วมแกนดังรูปที่ 11 ทั้งนี้การเลือกขนาดที่เหมาะสมเพื่อไม่ขวางทางไหลของอากาศเพื่อกังหันลมเซโวเนียร์สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 12 รูปแบบการวางแนวแกนร่วม

### 4. ผลการทดลอง

บทความนี้นำเสนอการแนวทางการออกแบบร่วมของกังหันลมเซโวเนียร์และกังหันลม ไจโรมิสเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนากังหันลมแนวแกนตั้งในประเทศไทยอันสืบเนื่องจากสภาพลมในประเทศไทยมีความเร็วต่ำและมีความแปรปรวนสูงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเลือกรูปแบบกังหันลมเพื่อให้เหมาะสมและจากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการพัฒนารูปแบบกังหันแนวแกนตั้งขนาดเล็กที่ตอบสนองต่อลมในอากาศแต่ไม่สามารถเทียบได้กับกังหันลมแนวแกนนอน ดังนั้นผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงความเร็วรอบกังหันเทียบความเร็วลม

จากการทำงานร่วมของใบพัดดังกล่าวสามารถพัฒนาความเร็วรอบในการหมุนให้กับใบพัดที่ความเร็วลมต่ำสูงสุดถึง 12% แต่การนำ

กังหันแนวแกนตั้งในการทดลองไปใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงจะส่งผลโดยตรงต่อแรงบิดเริ่มต้นขณะเริ่มออกตัวของใบพัดดังนั้นการติดตั้งที่แนวแกนเพลาจะส่งผลน้อยที่สุดต่อแรงบิดขณะเริ่มต้นแต่อย่างไรก็ตามที่ตำแหน่งดังกล่าวเป็นจุดที่มีความเร็วรอบต่ำที่สุดแต่แรงบิดสูงที่สุด ทั้งนี้แรงบิดออกตัวที่เกิดขึ้นจะสอดคล้องกับรูปแบบของต้นกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นการเลือกขนาดและตำแหน่งการติดตั้งจึงถูกทดสอบร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังต่ำรุ่น ICF-140-43-4R 140 โวลต์ 43 วัตต์ 700 รอบต่อนาที ที่ตำแหน่งแกนสามารถสร้างแรงดันเฉลี่ย 2.75 โวลต์ แบบไม่มีโหลด แต่เมื่อติดตั้งที่ตำแหน่งห่างออกจากแกนมา 25 ซม. จะสามารถสร้างแรงดันเฉลี่ย 5.87 โวลต์ แบบไม่มีโหลด การทดสอบดังกล่าวทดสอบที่ความเร็วลมเฉลี่ย 5 เมตร/วินาที แต่การเลื่อนตำแหน่งติดตั้งตัวกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวที่ระยะห่างจากแกนทำให้ความเร็วในการหมุนของใบพัดลดลง อย่างไรก็ตามยังคงควรทดลองอุปกรณ์ดังกล่าวกับการใช้งานจริงเพื่อหาความเหมาะสมของขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและตำแหน่งติดตั้ง

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Marco D'Ambrosio, Marco Medaglia, "Vertical Axis Wind Turbines: History, Technology and Applications", Master thesis in Energy Engineering – May 2010
- [2] BRUCE R. MUNSON, DONALD F. YOUNG, "Fundamentals of Fluid Mechanics"
- [3] <http://www.windturbine-analysis.net/firms.com/>
- [4] Heuvelen, A. Van. (1982). Physics. California, U.S.A: Little Brown & company (Canada)
- [5] Wilson R.E., Lissaman P. B.S. Applied Aerodynamics of wind power machines, Research Applied to National Needs, GI-41840; 1974; Oregon State University.
- [6] Savonius S. J. "The S-rotor and its applications," Savonius with company, pp. 1-22, Mach 1931
- [7] Menet J.-L. "Local production of electricity with a small Savonius rotor," in Proceedings of 2002 Global Wind Power Conference, pp. 25-40, March 2002.
- [8] Akwa JV, Vielmo HA, Petry APA, "review on the performance of Savonius wind turbines," Renew.and Sust. Energy Rev, Vol. 16 (5), pp. 3054-3064, Jan 2012
- [9] Fujisawa N, "Velocity measurements and numerical calculations of flow fields in and around Savonius rotors," J. of Wind Eng. and Ind. I Aero, Vol. 59 (1), pp. 39-50, August 1996