

การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่

ฉัตรชัย พรหมดี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

สิงหาคม 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่

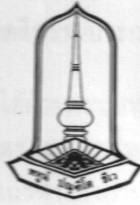
ฉัตรชัย พรหมดี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

สิงหาคม 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายฉัตรชัย พรหมดี
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ.ดร.อดิเรก จันตะคุณ)

ประธานกรรมการ

(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

(ผศ.ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทอง)

กรรมการ

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

(รศ.ดร.อภินันท์ อูธสาคุล)

กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

(ผศ.ดร.นิวัตร อังควิษณุพันธ์)

กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

(รศ.ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดทูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๒๒ เดือน ๙.๑. พ.ศ. 2559



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากบุคคลต่างๆ หลายท่านดังนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสคอยให้คำชี้แนะ ดูแล เอาใจใส่และแนะนำแนวทางทั้งการเรียน การทำงาน และการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมไปถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิเรก จันทะคุณ ประธานกรรมการสอบรองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ อรุโสมภณ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิเศษฐพันธ์ กรรมการที่ให้คำแนะนำที่ดีเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีขอขอบพระคุณ อาจารย์สุขสันต์ พรหมดี บิดา อาจารย์ปองทอง พรหมดี มารดา และพี่น้องวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือมาตลอด

ฉัตรชัย พรหมดี



ชื่อเรื่อง การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่
 ผู้วิจัย นายฉัตรชัย พรหมดี
 ปริญญา ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทอง
 สถาบันศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2559

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่กังหันลมชาโวเนียสต้นแบบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 เซนติเมตร สูง 32 เซนติเมตร ใบพัดที่ทำจากสังกะสีหนา 0.35 มิลลิเมตร และช่องลมคู่แต่ละช่องลมมีความกว้าง 45 เซนติเมตร ยาว 52 เซนติเมตร และสูง 32 เซนติเมตร แกนของกังหันเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 28 วัตต์ 140 โวลต์ ผลการทดลองพบว่ากังหันลมชาโวเนียสที่นำเสนอสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ในช่วง 6.3 - 9.5 โวลต์และผลิตได้เพิ่มขึ้น 5.65% เมื่อติดตั้งช่องลมคู่ที่มุม 30 องศา เทียบกับทิศทางการแผลม ณ ความเร็วลม 4.68 - 6.41 เมตรต่อวินาที และที่ตำแหน่งห่างจากกระแสลมระยะ 20-60 เซนติเมตร สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงขึ้นเฉลี่ย 45-68% เมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสแบบเดิมที่ไม่มีช่องลมกังหันลมที่ออกแบบยังให้คุณภาพสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีระดับระลอกคลื่นต่ำที่ 1.32% เมื่อเปรียบเทียบกับแบบเดิมที่ไม่มีช่องลมที่ระดับระลอกคลื่น 14.26% การทดลองเก็บผลลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจริง พบว่า เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ที่ระดับความเร็ว 90 - 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เก็บข้อมูลลมชั่วขณะที่ระดับความสูง 10 - 90 เซนติเมตรพบว่า โดยเฉลี่ยแล้วจะมีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะ 5.82 วินาทีความเร็วลมชั่วขณะสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.28 เมตรต่อวินาทีที่เวลา 2.91 วินาที และเมื่อได้ทำการจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม 2 ชุด พบว่า ระดับความเร็วลมของพัดลม 4.68 เมตรต่อวินาที ให้ลักษณะลมที่มีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุดด้วยความคาดเคลื่อนระยะเวลาเกิดลมและความเร็วลมเพียง 1.74-2.33% และ 2.4-3.5% เท่านั้น เมื่อใช้แหล่งลมจำลองด้วยพัดลม 2 ชุดดังกล่าวเพื่อตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมที่ออกแบบ พบว่า สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าชั่วขณะได้มากกว่ากังหันลมแบบอื่นทุกคิดเป็น 77.14% โดยผลิตกำลังไฟฟ้าชั่วขณะสูงสุดเฉลี่ย 136.68 มิลลิวัตต์

คำสำคัญ: กังหันลมชาโวเนียส, ช่องลมคู่, การผลิตพลังงานไฟฟ้า, ลมชั่วขณะ



TITLE Electric Power Generation of Savonius Wind Turbine with Double Wind Tunnels
AUTHOR Mr.Chatchai Promdee
DEGREE Master Degree **MAJOR** Electrical and Computer Engineering
ADVISOR Asst.Prof.Dr.Chonlatee Photong
UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2016

ABSTRACT

This thesis presents electric power generation of Savonius wind turbine with double wind tunnels. The proposed wind turbine has diameter of 32 cm and height of 32 cm. The blades made from zinc with thickness of 0.35 mm. Each of the double tunnels has width of 45 cm, length of 52 cm and height of 32 cm. The core axis of the turbine is connected to a 28W 140V DC generator. The experimental test results show that the proposed Savonius wind turbine can generate maximum voltage of 6.3-9.5 V and even higher by 5.65% when the tunnels are installed with 30 degrees across the wind flow at wind speed of 4.68-6.41 m/s, as well as, higher by 45-68% when compared to one without the tunnels. The proposed turbine also provides low output DC voltage ripple of 1.32% compared to 14.26% of one without the tunnels. The test for forming the short time wind curved created by the actual car found that, with speed of 90-100 km/hr at height of 10-90 cm, the wind duration occurred by 5.82 s in average with maximum wind of 2.28 m/s at the time of 2.91 s. When applying to the laboratory experimental test rig using two sets of electric fans found that electric fans with wind speed of 4.68 m/s provided the wind curve similar to the actual short-time wind with error in duration and speed errors of 1.74-2.33% and 2.4 – 3.5%, respectively. The electric power generated from the test rig found that the proposed wind turbine could generate higher electric power by 77.14% with maximum power level of 136.68 mW compared to other type of Savonius wind turbines.

Key Words: Savonius wind turbine, double tunnels, electric power generation, short-time wind



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย	5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล	6
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับลม	6
2.2 พลังงานลมและกังหันลม	14
2.3 ประเภทของกังหันลม	18
2.4 กังหันลมที่มีความเหมาะสมสำหรับการรับลมแบบสองทิศทาง	21
2.5 ประเภทและสมรรถนะของกังหันลมแกนตั้ง	22
2.6 การออกแบบกังหันลมชาโวเนียส	25
2.7 การออกแบบช่องรับลม	28
2.8 การไหลของของไหลภายในท่อทางออกที่มีขนาดเล็กลง	29
2.9 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	32
2.10 คุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	34
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	43
3.1 การออกแบบและจัดสร้างกังหันลมต้นแบบ	43
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
3.3 วิธีการทดลอง	46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	70
4.1 โครงสร้างที่ใช้ในการทดลอง	70
4.1.1 โครงสร้างการทดลองที่ 1 การทดลองหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมและมุมของช่องลมที่ให้แรงดันสูงสุด	70
4.1.2 โครงสร้างการทดลองที่ 2 การเก็บลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะและการจำลองลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม	75



	หน้า
4.1.3 โครงสร้างการทดลองที่ 3 การศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะและ การผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกันหันลมชาโวเนียส 12 แบบ	78
4.2 ผลการทดลอง	83
4.2.1 สรุปผลโครงสร้างการทดลองที่ 1 ผลการทดลองหาตำแหน่งของแหล่ง กำเนิดลมและมุมของช่องลมที่ให้แรงดันสูงสุด	83
4.2.2 สรุปผลโครงสร้างการทดลองที่ 2 ผลการเก็บลักษณะลมชั่วขณะที่ เกิดจากยานพาหนะและการจำลองลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม	91
4.2.3 สรุปผลโครงสร้างการทดลองที่ 3 ผลการศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้า ชั่วขณะและการผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกันหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม	96
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	104
5.1 สรุปผล และอภิปรายผล	104
5.2 ข้อเสนอแนะ	105
เอกสารอ้างอิง	107
ภาคผนวก	112
ประวัติย่อผู้วิจัย	162



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2.1 เปรียบเทียบข้อดีของกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้ง	19
ตาราง 2.2 เปรียบเทียบข้อเสียของกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้ง	19
ตาราง 2.3 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการทำงานของกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้ง	20
ตาราง 2.4 เปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้ง ต่อความเป็นไปได้ในการใช้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่สวนทางกัน	21
ตาราง 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติกังหันลมชาโวเนียสและกังหันลมแดร์เรียส	24
ตาราง 3.1 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม	47
ตาราง 3.2 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองการรับลมสวนทางที่มีช่องมคุ่มุม 90 ถึง -90 องศา	49
ตาราง 3.3 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองการทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องมคุ่มุม ในตำแหน่ง องศาที่เหมาะสม และมีการเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร	50
ตาราง 3.4 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลม ชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่เปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวชา กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้าย และกังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลม	57
ตาราง 3.5 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองการวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกังหัน ลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่ เปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลม กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวชา และกังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้าย	59
ตาราง 3.6 แสดงแผนการบันทึกผลการทดลองลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจาก ยานพาหนะเทียบกับเวลาทดสอบที่ความเร็วระหว่าง 90-100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	62
ตาราง 3.7 คำอธิบายภาพประกอบ 3.22	63
ตาราง 3.8 แสดงแผนการบันทึกผลการทดลองลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่จำลองขึ้น โดยใช้พัดลมให้มีลักษณะใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด	64
ตาราง 3.9 คำอธิบายภาพประกอบ 3.23	65
ตาราง 3.10 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองการศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจาก กันหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นจากพัดลม	66
ตาราง 3.11 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกันหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม	68
ตาราง 4.1 คำอธิบายภาพประกอบ 4.1	71
ตาราง 4.2 คำอธิบายภาพประกอบ 4.2	72
ตาราง 4.3 คำอธิบายภาพประกอบ 4.3	73
ตาราง 4.4 คำอธิบายภาพประกอบ 4.4	74
ตาราง 4.5 ผลการวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ	89
ตาราง 4.6 เปรียบเทียบคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย	90



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1.1 ลักษณะการเกิดลมสวนทางบริเวณเกาะกลางถนน	3
ภาพประกอบ 2.1 ทิศทางลมประจำสำหรับประเทศไทย	7
ภาพประกอบ 2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย	8
ภาพประกอบ 2.3 ลักษณะลมที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะเมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ	9
ภาพประกอบ 2.4 การเคลื่อนไหวของอากาศผ่านรูปทรงต่าง ๆ	10
ภาพประกอบ 2.5 ปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ยบนทางหลวงหมายเลข 1	11
ภาพประกอบ 2.6 แผนที่ระบบทางด่วนทุกสายในกรุงเทพและปริมณฑล	11
ภาพประกอบ 2.7 ปริมาณการจราจรบนทางด่วนทุกสายในปีแต่ละปี	12
ภาพประกอบ 2.8 จำนวนประชากรในเขตกรุงเทพและปริมณฑล	13
ภาพประกอบ 2.9 จำนวนรถยนต์และรถบรรทุกที่จะทะเบียนในกรุงเทพและปริมณฑล	13
ภาพประกอบ 2.10 การเคลื่อนที่ของกระแสลม ผ่านพื้นที่หน้าตัดกังหันลม	15
ภาพประกอบ 2.11 สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมชนิดต่างๆ	17
ภาพประกอบ 2.12 ลักษณะลมที่กระทำต่อใบพัดของกังหันลมชาโวเนียส	22
ภาพประกอบ 2.13 แรงที่ยกของแพนอากาศ เนื่องจากการไหลของแพนอากาศ	23
ภาพประกอบ 2.14 (ก) แรงที่กระทำต่อกังหันลมแดร์เรียส (ข) ลักษณะของกังหันลมแดร์เรียส	23
ภาพประกอบ 2.15 ข้อมูลงานวิจัยศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพของกังหันลมชาโวเนียสตั้งแต่ปี 1978-2004 รวบรวมโดย Saha	25
ภาพประกอบ 2.16 แผนภาพของกังหันลมชาโวเนียส	27
ภาพประกอบ 2.17 อัตราส่วนความเร็วสูงสุด	27
ภาพประกอบ 2.18 ลักษณะและค่าพารามิเตอร์ของกังหันลมชาโวเนียส	28
ภาพประกอบ 2.19 ลักษณะและค่าพารามิเตอร์ของช่องลม	29
ภาพประกอบ 2.20 แสดงการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดลดขนาด	29
ภาพประกอบ 2.21 แสดงการไหลของกระแสลมในท่อลดขนาด	30
ภาพประกอบ 2.22 การไหลของของไหลผ่านช่องทางที่มีแผ่นขวางกั้น	31
ภาพประกอบ 2.23 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กตามกฎของ ฟาราเดย์ และเฟรมมิง	32
ภาพประกอบ 2.24 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	33
ภาพประกอบ 2.25 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	33
ภาพประกอบ 2.26 แสดงตำแหน่งที่จะวางบล็อกคอนกรีต	34
ภาพประกอบ 2.27 ลักษณะการวางบล็อกคอนกรีตบริเวณข้างถนน	35
ภาพประกอบ 2.28 ลักษณะการวางบล็อกคอนกรีตบริเวณกลางถนน	35
ภาพประกอบ 2.29 ลักษณะของใบพัดชนิด C-type หรือ Savonius และ J-type หรือ Noguch	36
ภาพประกอบ 2.30 แสดงภาพตัวอย่างโมเดลกังหันลมแบบแรงผสม (ก) และลักษณะการเกิดแรงของกังหันลม (ข)	36
ภาพประกอบ 2.31 ลักษณะของกังหันลมแบบแรงผสม	37



	หน้า
ภาพประกอบ 2.32 แสดงลักษณะใบพัดแบบตรง (ก) และใบพัดแบบดัดโค้งทำมุม 15 องศา (ข)	38
ภาพประกอบ 2.33 กังหันลมแกนตั้งที่มีใบพัดแผ่นเรียบดัดโค้ง	38
ภาพประกอบ 2.34 ลักษณะของลมที่เคลื่อนที่ปะทะใบพัดแผ่นเรียบ	39
ภาพประกอบ 2.35 ความเร็วลมที่ทำให้กังหันเริ่มหมุนที่มุมปะทะต่างๆ (ไม่มีข้อมูลการทดลอง)	39
ภาพประกอบ 2.36 ตัวอย่างมุมของใบพัดรับลมที่ทำการศึกษา	40
ภาพประกอบ 2.37 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์กำลังกังหันลมแกนตั้งชาโวเนียส 2, 3 และ 4 ใบ	40
ภาพประกอบ 2.38 กังหันลมแกนตั้งแบบชาโวเนียส 2 และ 3 ใบ และค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานของกังหันลมทั้งสองชนิด	41
ภาพประกอบ 2.39 ค่าพารามิเตอร์ของช่องลม	42
ภาพประกอบ 2.40 ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานระหว่างกังหันลมแกนชาโวเนียสกับกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลม	42
ภาพประกอบ 3.1 ลักษณะค่าพารามิเตอร์ของกังหันลมชาโวเนียส และช่องลม	43
ภาพประกอบ 3.2 ต้นแบบกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่	44
ภาพประกอบ 3.3 ขนาดของพัดลมที่นำมาใช้กำเนิดลมสวนทาง	45
ภาพประกอบ 3.4 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด	45
ภาพประกอบ 3.5 ออสซิลโลสโคปที่ใช้สำหรับการทดลองนี้	46
ภาพประกอบ 3.6 แสดงลักษณะการทดลองการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ 20-60 เซนติเมตร	47
ภาพประกอบ 3.7 แสดงลักษณะการทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคู่มุม 90 ถึง -90 องศา	48
ภาพประกอบ 3.8 กังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่รับลมสวนทาง (ก)	51
ภาพประกอบ 3.9 กังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา (ข)	51
ภาพประกอบ 3.10 กังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่รับลมฝั่งซ้าย (ค)	52
ภาพประกอบ 3.11 กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวารับลมสวนทาง (ง)	53
ภาพประกอบ 3.12 กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งขวา (จ)	53
ภาพประกอบ 3.13 กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งซ้าย (ฉ)	54
ภาพประกอบ 3.14 กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมสวนทาง (ฉ)	54
ภาพประกอบ 3.15 กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งขวา (ช)	55
ภาพประกอบ 3.16 กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งซ้าย (ซ)	55
ภาพประกอบ 3.17 กังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลมรับลมสวนทาง (ส)	56
ภาพประกอบ 3.18 กังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งขวา (ห)	56
ภาพประกอบ 3.19 กังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งซ้าย (ม)	57
ภาพประกอบ 3.20 ลักษณะการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลม	61
ภาพประกอบ 3.21 ยานพาหนะที่ใช้ในการสร้างลมชั่วขณะ	62
ภาพประกอบ 3.22 ลักษณะการจำลองลมชั่วขณะ	63
ภาพประกอบ 3.23 ลักษณะการจำลองลมชั่วขณะ	65
ภาพประกอบ 4.1 การทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง	70



ภาพประกอบ 4.2	การทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคู่ในตำแหน่งองศาที่เหมาะสม ณ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ให้แรงดันสูงสุด	71
ภาพประกอบ 4.3	การทดลองเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งของช่องลมคู่ที่ให้แรงดันสูงสุด	72
ภาพประกอบ 4.4	การทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลม ซาโวนีเยส 12 แบบ	73
ภาพประกอบ 4.5	ติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมที่ระดับความสูง 10-90 เซนติเมตร	75
ภาพประกอบ 4.6	(ก) ลักษณะถนนที่ใช้ในการทดสอบ (ข) ยานพาหนะเมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่านเครื่องวัดความเร็วลม	76
ภาพประกอบ 4.7	(ก) การจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม A (ข) การจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม B	77
ภาพประกอบ 4.8	(ก-ม) การทดลองศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมซาโวนีเยส 12 แบบ	78
ภาพประกอบ 4.9	ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง	83
ภาพประกอบ 4.10	ผลการทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคู่ในตำแหน่งองศา 90 ถึง -90 องศา ณ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ให้แรงดันสูงสุด เซนติเมตร	84
ภาพประกอบ 4.11	ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งมุมของช่องลมคู่ที่ = 30 องศา	85
ภาพประกอบ 4.12	ผลการทดลองกังหันลมเมื่อมีการติดตั้งช่องลมคู่ที่มุม = 30 องศา, $l = 70$ เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกังหันลมที่ไม่มีการติดตั้งช่องลม ที่ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม = 20-60 เซนติเมตร ที่ความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที	86
ภาพประกอบ 4.13	เปรียบเทียบความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมซาโวนีเยส 12 แบบ	87
ภาพประกอบ 4.14	เปรียบเทียบการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมซาโวนีเยส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย	88
ภาพประกอบ 4.15	ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะที่ระดับความสูง 10 -90 เซนติเมตร	91
ภาพประกอบ 4.16	ลักษณะของความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะเฉลี่ยรวมระดับความสูง 10 - 90 เซนติเมตร	92
ภาพประกอบ 4.17	ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร ที่ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาที เปรียบเทียบกับลักษณะลมที่เกิดขึ้นจริง	93
ภาพประกอบ 4.18	ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม B ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร ที่ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาที เปรียบเทียบกับลักษณะลมที่เกิดขึ้นจริง	94



ภาพประกอบ 4.19 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A และ B ที่ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาที นำมาเฉลี่ยรวมกัน เพื่อจำลองเป็นลักษณะลมสวนทาง	95
ภาพประกอบ 4.20 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่ยาลองขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที	96
ภาพประกอบ 4.21 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่ยาลองขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที	97
ภาพประกอบ 4.22 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่ยาลองขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที	98
ภาพประกอบ 4.23 เปรียบเทียบลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที	99
ภาพประกอบ 4.24 ผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ ในสภาวะมีโหลด 0.5 - 10 โอห์ม ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที	100
ภาพประกอบ 4.25 ผลการทดลองผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่ยาลองขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที	101
ภาพประกอบ 4.26 เปรียบเทียบลักษณะกำลังไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที	102
ภาพประกอบ 4.27 กราฟแสดงลักษณะกำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะ ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที	103



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และ ก๊าซธรรมชาติ มาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในประเทศเป็นจำนวนมาก ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ในปี 2557 พบว่า ประเทศไทยมีการใช้ไฟฟ้า 168,620 กิกะวัตต์ต่อชั่วโมง ซึ่งนับเป็นอันดับที่ 24 ของโลก [1] และในขณะเดียวกัน อัตราความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศก็เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยปีละ 4-5% ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา [2] ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าภายในประเทศล่าสุด ในช่วงมกราคม-พฤษภาคม 2558 มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปคิดเป็นร้อยละ 94.84 ของแหล่งพลังงานทั้งหมดที่ใช้ผลิตไฟฟ้าภายในประเทศ หรือคิดเป็นประมาณ 102,710.62 ล้านกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง [3] ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นได้ว่าในแต่ละปีมีอัตราความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลต่อทรัพยากรธรรมชาติในประเทศที่มีปริมาณลดลงและจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อพลังงานเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นประเทศไทยจึงได้มีการจัดทำแผนการพัฒนาพลังงานทดแทน เพื่อลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศให้ได้อย่างน้อยประมาณ 25% ภายในปี 2564 [4]-[5]

ประเทศไทยได้มีการนำพลังงานทดแทน เช่น แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล และน้ำ มาใช้เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่ได้จากทรัพยากรธรรมชาติโดยมีสัดส่วนในการนำพลังงานทดแทนมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม 2558 คิดเป็นร้อยละ 5.07 ของพลังงานทั้งหมด หรือประมาณ 5,484.02 ล้านกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง [1] โดยพลังงานทดแทนหลักที่ใช้มากที่สุดในประเทศไทย คือ พลังจากชีวมวล จากข้อมูลปี 2557 มีกำลังการผลิตสูงสุดที่ระดับ 2,451.20 เมกะวัตต์ รองลงมาเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ระดับ 1,298.51 เมกะวัตต์ พลังงานก๊าซชีวภาพ ที่ระดับ 311.50 เมกะวัตต์ พลังงานลม ที่ระดับ 224.47 และ พลังงานน้ำขนาดเล็ก 142.01 เมกะวัตต์ [6]

อย่างไรก็ตามพลังงานทดแทนที่ใช้ในประเทศไทยยังมีข้อจำกัดในเรื่องของกระบวนการผลิตที่มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน เช่น การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล มีความจำเป็นต้องจัดหาวัตถุดิบจำนวนมากเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า วัตถุดิบอาจไม่เพียงพอและมีราคาแพง ยิ่งไปกว่านั้น ในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องมีการควบคุมกากชีวมวลที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเป็นอย่างดี เพื่อไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสภาวะแวดล้อม พลังงานแสงอาทิตย์ ถึงแม้ประเทศไทยจะมีศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นประเทศที่อยู่ในเส้นศูนย์สูตร ทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีประมาณ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตร แต่การผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ยังมีต้นทุนการผลิตที่สูง ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cells) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญในการเปลี่ยนรังสีอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์นี้ ณ ปัจจุบันยังมีราคาแพงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานรังสีอาทิตย์ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความคงที่และความต่อเนื่องของปริมาณแสงแดดที่ไม่แน่นอน ซึ่งเป็นผลจากหลายปัจจัย เช่น สภาพ



ภูมิอากาศ ภูมิศาสตร์ เมฆหมอก และ ฝุ่นละอองเป็นต้น อีกทั้งการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานรังสีอาทิตย์ ยังมีข้อจำกัดในส่วนการเก็บเกี่ยวพลังงานซึ่งสามารถทำได้เฉพาะเวลากลางวันที่มีแสง ในส่วนของพลังงานน้ำประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำน้อยมาก มีสัดส่วนเพียง 5-6% เท่านั้น ประเทศไทยไม่สามารถสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ได้ และมีความจำเป็นจะต้องสร้างอยู่ในพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนส่วนมากจะมีการรับซื้อพลังงานน้ำจากประเทศเพื่อนบ้าน เช่น ลาว ซึ่งมีกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึงหมื่นเมกะวัตต์ [7]-[8]

พลังงานลมเป็นรูปแบบพลังงานอย่างหนึ่งที่น่าสนใจและมีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สำหรับประเทศไทย ซึ่งข้อดีของพลังงานลมที่ดีกว่าพลังงานทดแทนชนิดอื่นๆ คือ พลังงานลมไม่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานจึงไม่ต้องการจัดหาเชื้อเพลิง หรือควบคุมการปล่อยมลพิษ ซึ่งอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาวะแวดล้อมเหมือนกับพลังงานชีวมวล นอกจากนั้นพลังงานลมยังมีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งกลางวันและกลางคืน เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สามารถผลิตพลังงานได้เฉพาะกลางวัน อีกทั้งในการนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่มากเมื่อเทียบกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำ แต่อย่างไรก็ตาม พลังงานลมอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณของลมซึ่งอาจขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิศาสตร์และสภาพอากาศที่ต้องเอื้อต่อการเกิดลม จากการสำรวจแล้ว มีเพียงบางพื้นที่ในประเทศไทยเท่านั้นที่มีความเร็วลมเหมาะสมในการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า

สำหรับประเทศไทยได้มีการติดตั้งสถานีทดสอบการใช้กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม 2 แห่ง คือ กังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าแหลมพรหมเทพจังหวัดภูเก็ต และกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า เขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมาซึ่งมีอัตราเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีสำหรับประเทศไทยจะมีอัตราเฉลี่ย 5-6 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความสูง 50 เมตร ซึ่งถือว่าเป็นอัตราเร็วลมที่ต่ำเมื่อเทียบกับอัตราเร็วลมในยุโรปที่มีอัตราเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 12-15 เมตรต่อวินาที จากข้อจำกัดดังกล่าว จึงทำให้ประเทศไทยสามารถนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียง 5.9% ของพลังงานทดแทนที่มีทั้งหมดในประเทศไทย [9]-[10]

นอกจากจะมีลมที่เกิดขึ้นได้จากธรรมชาติแล้ว ยังมีลมอีกชนิดหนึ่งที่สามารถเกิดขึ้นได้โดยมนุษย์หรือผลจากมนุษย์ เช่น ลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เป็นต้น [11] ลมลักษณะดังกล่าว มีความพิเศษ คือ เป็นลมที่สามารถระบุแหล่งต้นกำเนิดของลมและพฤติกรรมของลมที่เกิดขึ้นได้ค่อนข้างชัดเจน ซึ่งเอื้อต่อการออกแบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมที่มีประสิทธิภาพได้นอกจากนี้ลมลักษณะนี้ ยังสามารถเกิดขึ้นได้แม้ในแหล่งที่ไม่มีลมธรรมชาติ ซึ่งผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาลมลักษณะนี้โดยเฉพาะลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ทั้งนี้เพื่อจะได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมชนิดนี้

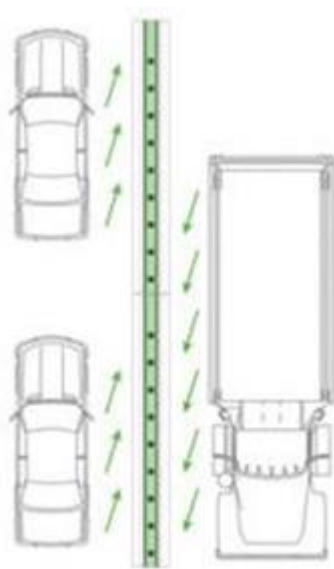
เมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการนำลมที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะมาประยุกต์ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ปริมาณการจราจรของยานพาหนะบนทางด่วนและถนนหลวงในเส้นทางสายหลักของประเทศไทยบริเวณถนนจะต้องมีปริมาณการจราจรที่เหมาะสมจึงจะทำให้มีโอกาสเกิดลมจากยานพาหนะได้อย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลปริมาณการจราจรเฉลี่ยคันต่อวันบนทางหลวงในเส้นทางสายหลัก ปี 2557 ถนนหลวงหมายเลข 1 พหลโยธินแขวงทางทางปทุมธานีจังหวัดปทุมธานี 6-8 ช่องทางจราจร จะมีปริมาณการจราจรสูงสุด รวมรถทุกชนิด 298,478



คันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 4.53 ปริมาณรถบนทางหลวงทุกสายในประเทศไทย [12] และจากการศึกษา ค้นคว้าพบว่า มีปริมาณการจราจรบนทางด่วนทุกสายในปี 2557 เฉลี่ย 1,103.61 พันเที่ยวต่อวัน [13] จากข้อมูลการจราจรบนทางหลวงสายหลักและการจราจรบนทางด่วน ในแต่ละวันมีการจราจรเป็น จำนวนมาก ทำให้มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุจากยานพาหนะได้อย่างต่อเนื่อง โดยความเร็วที่ใช้วิ่งบนทางด่วนและ ทางหลวงทุกสายกฎหมายอนุญาตไว้ที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [14]

จากข้อมูลการเก็บความเร็วลมบนท้องถนน ณ บริเวณถนนหน้ามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต วันที่ 14 กันยายน 2547 เวลา 15.00 น. [10] สภาพแวดล้อมบริเวณที่วัดความเร็วลมนั้น โดยทั่วไปมีปริมาณการจราจรหนาแน่น வீที่ความเร็ว 80-100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีปริมาณรถวิ่งไม่ขาด สาย วัดที่ความสูงจากพื้นถนน 1.5 เมตร และมีลมธรรมชาติพัดผ่านตลอดเวลา ที่เกาะกลางถนนมีต้นไม้ น้อยและโล่ง ซึ่งวัดความเร็วลมเฉลี่ยเบื้องต้นได้ 5-7 เมตรต่อวินาทีซึ่งเป็นความเร็วลมที่สามารถนำมาใช้ ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างคุ้มค่า โดยกังหันลมทั่วไปจะสามารถเริ่มทำงานได้ที่ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที [15] ซึ่งข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำพลังงานลมจากการเคลื่อนที่ของ ยานพาหนะมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

การนำลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า จะต้องใช้ กังหันลมที่มีความเหมาะสมและการติดตั้งควรคำนึงถึงบริเวณที่มีโอกาสเกิดลมได้มากที่สุด [16] ผู้วิจัยจึง ได้ศึกษาลักษณะลมที่เกิดขึ้นบริเวณเกาะกลางถนนหรือถนนที่รถวิ่งสวนทางกัน เนื่องจากบริเวณดังกล่าว เป็นบริเวณที่มีโอกาสเกิดลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้สองทิศทางดังภาพประกอบ 1.1 [17]



ภาพประกอบ 1.1 ลักษณะการเกิดลมสวนทางบริเวณเกาะกลางถนน [17]

จากการศึกษาพบว่า ลักษณะลมที่เกิดขึ้นบริเวณเกาะกลางถนนหรือกึ่งกลางถนนที่มีรถวิ่งสวน ทาง หากใช้ทำการติดตั้งกังหันลมในบริเวณนี้ จะต้องมีการเลือกใช้กังหันลมที่สามารถรับลมที่มีลักษณะ ปั่นป่วน (Turbulence) ลมชั่วขณะ (Impulse) และไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous) ได้เป็นอย่างดีและ รองรับการรับลมในหลายทิศทาง นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงการทำงานของกังหันลมเมื่อมีการรับลมสวน



ทาง เนื่องจากว่าลักษณะลมสวนทางนี้เป็นลมที่มีการเคลื่อนที่เข้าสู่กังหันลมพร้อมกันสองทิศทาง ซึ่งจะต่างจากลมที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติที่มีการเคลื่อนที่เข้าสู่กังหันลมเพียงทิศทางเดียว การเคลื่อนที่เข้าสู่กังหันลมสองทิศทางพร้อมกันหรือลมสวนทางนั้น อาจก่อปัญหาต่อการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมทั้งในส่วนปริมาณการผลิตและอายุการใช้งานของอุปกรณ์จึงมีความจำเป็นต้องออกแบบกังหันลมให้มีลักษณะพิเศษเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งผู้วิจัยได้นำประเด็นปัญหานี้มาเพื่อออกแบบกังหันลมที่มีความเหมาะสมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะแบบสวนทางกัน โดยจะทำการศึกษาพฤติกรรมการผลิตพลังงานไฟฟ้าของกังหันลมที่ได้จากการออกแบบ เมื่อมีการรับลมสวนทางเปรียบเทียบกับกังหันลมทิศทางเดียว

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาและออกแบบกังหันลมที่มีความเหมาะสมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสวนทางกัน ซึ่งมีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

ในปี 2552 วิรัชย์ โรยรณินท์ และคณะ [15] ได้มีการออกแบบและสร้างกังหันลมแบบแรงผสมโดยอาศัยลมจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและลมจากธรรมชาติเป็นต้นกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้าพบว่า ได้ประสิทธิภาพของกังหันลมสูงสุดที่ 20.4 เปอร์เซ็นต์ กังหันลมสามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเองที่ความเร็วลมต่ำ 5 เมตรต่อวินาทีอย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังเป็นการรับลมในทิศทางเดียว ต่อมาปี 2554 Sathyanarayanan [18] ได้เสนอแนวคิดในการที่จะติดตั้งกังหันลมแกนตั้งบริเวณเกาะกลางถนนและสร้างโมเดลกังหันลมแกนตั้งแบบแรงผสม โดยในการศึกษาได้ใช้แหล่งกำเนิดเป็นพัดลมแต่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เพียง 1-1.2 โวลต์เท่านั้น ต่อมาในปี 2555 N. H. Mahmoud [19] ได้ทำการศึกษาและทดลองปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมซาโวนีเยสโดยทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกังหันลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 62 ซม. และสูง 62 ซม. โดยทดสอบด้วยจำนวนใบพัด 2 3 และ 4 ใบ พบว่า กังหันลมซาโวนีเยสแบบ 2 ใบพัด ให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงสุดที่ 0.08 อีกทั้งให้แรงบิดเริ่มต้นสูงแม้มีความเร็วต่ำ ในปี 2556A Zarkesh [16] ได้นำเสนอแนวคิดในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมที่ฝังในบล็อกรถคอนกรีตวางบนเกาะกลางถนน 4 ช่องทางที่มีรถวิ่งสวนทางกัน A Zarkesh พบว่า จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 100 วัตต์ต่อบล็อกรถคอนกรีต 2 เมตร อย่างไรก็ตามยังไม่มี การจัดสร้างกังหันจริง เป็นเพียงการทดลองและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เท่านั้น

ข้อมูลจากการศึกษาเบื้องต้น ชี้ให้เห็นว่า กังหันลมแกนตั้งแบบซาโวนีเยสมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในการรับลมแบบสองทิศทาง และหากมีการใช้ช่องลมในการเพิ่มสมรรถนะและประสิทธิภาพก็ยิ่งน่าสนใจ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการออกแบบช่องรับลม พบว่า Altan และ Atilgan [21] ได้นำเสนอการออกแบบและคำนวณค่าตัวแปรสำหรับกังหันลมแกนตั้งซาโวนีเยส พบว่า หากเพิ่มช่องบังคับทิศทางลมนี้จะช่วยให้กังหันลมมีความเร็วรอบเพิ่มขึ้น มีแรงบิดที่ดีขึ้น และได้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.38

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของ Altan และ Atilgan [21] เป็นการศึกษาในส่วนของช่องรับลมเพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ซึ่งในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจะทำการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมสวนทาง ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าโดยละเอียดแล้ว พบว่า ยังไม่มีผู้ศึกษาในส่วนนี้ ผู้วิจัยจึงประสงค์ที่จะศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมซาโวนีเยสแบบช่องลมคู่ เพื่อนำข้อมูลไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานวิจัยในอนาคตที่มีความเกี่ยวข้องกับการนำลมสวนทางกันนี้มาประยุกต์ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อไป



1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษา ออกแบบและ จัดสร้างกังหันลมชาโวนีเยสแบบช่องลมคู่
- 1.2.2 ศึกษาพฤติกรรมการผลิตพลังงานไฟฟ้าของกังหันลมชาโวนีเยสแบบช่องลมคู่โดยเปรียบเทียบกับแบบไม่ติดตั้งช่องลม และแบบติดตั้งช่องลมเดียว
- 1.2.3 ศึกษาพฤติกรรมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมชาโวนีเยสแบบช่องลมคู่ เมื่อมีการรับลมที่มีลักษณะเหมือนลมที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

หากการเพิ่มช่องรับลมให้กังหันลมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมทิศทางเดียวได้ ดังนั้นการเพิ่มช่องรับลมอีกช่องสำหรับรับลมสวนทางได้ทั้งสองทิศทางก็น่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมได้มากยิ่งขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 ออกแบบกังหันลมชาโวนีเยส 2 ใบพัด ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 เซนติเมตร สูง 32 เซนติเมตร ระยะทับซ้อนระหว่างใบ 2.6 เซนติเมตร ใบพัดทำจากแผ่นสังกะสีหนา 0.35 เซนติเมตร และช่องลม 2 ช่องที่มีขนาดขอบสั้น 45 เซนติเมตร ขอบยาว 52 เซนติเมตร และสูง 32 เซนติเมตร ติดตั้งช่องรับลมห่างกัน 180 องศา
- 1.4.2 ศึกษาพฤติกรรมการผลิตพลังงานไฟฟ้าของกังหันลมชาโวนีเยสแบบช่องลมคู่ จะศึกษาในส่วนแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะคงที่ขณะไม่ต่อโหลดและขณะต่อโหลด ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบกับกังหันลมที่ไม่มีช่องรับลม และกังหันลมที่มีช่องรับลมเดียว
- 1.4.3 ทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมที่ได้ออกแบบ เมื่อมีการรับลมที่มีลักษณะเหมือนลมที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ศึกษา ออกแบบ และจัดสร้าง ต้นแบบกังหันลมชาโวนีเยสแบบช่องลมคู่
- 1.5.2 ทราบถึงพฤติกรรมการผลิตพลังงานไฟฟ้าของกังหันลมชาโวนีเยสแบบช่องลมคู่เปรียบเทียบกับกังหันลมแบบเดียวกันที่ไม่มีช่องรับลม และมีช่องรับลมเพียงช่องเดียว



บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเนื้อหาที่สำคัญที่ใช้เป็นแนวคิดในการออกแบบ จัดสร้าง และทดสอบกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่ตามแนวทางวิจัยและจุดประสงค์ที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 1 โดยเนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับลม กังหันลม การผลิตไฟฟ้าจากลม และ เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับลม

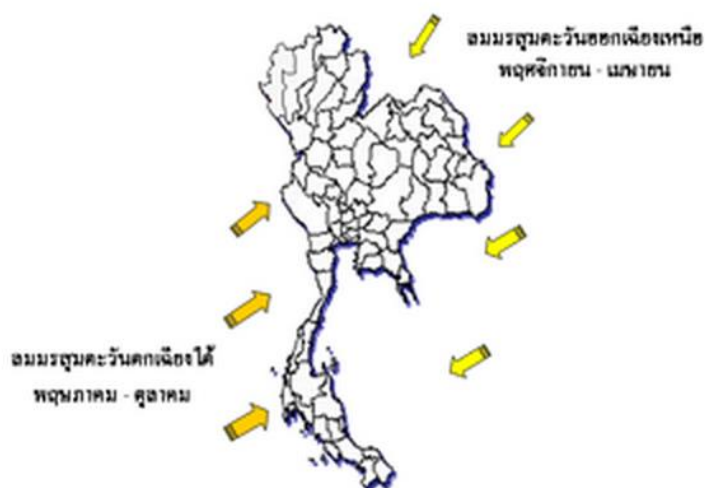
ลมถือเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานสะอาดที่น่าสนใจในการนำมาผลิตไฟฟ้าเนื่องจากลมไม่ต้องการเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ใช้พื้นที่การติดตั้งน้อย อีกทั้งมีความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องทั้งกลางวันและกลางคืน เพื่อจำแนกลักษณะลมให้เหมาะสมในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งประเภทของลมออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ลมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และลมที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ความรู้เกี่ยวกับประเภทของลมจะทำให้สามารถออกแบบและวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ลมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

ลมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หมายถึง ลมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยมนุษย์ไม่ได้เป็นผู้สร้างขึ้นหรือมีผลให้เกิดขึ้น ลมลักษณะนี้เกิดขึ้นได้ด้วยหลายปัจจัยเช่น สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ และ ฤดูกาล เป็นต้น ซึ่งอาจจะมีความแตกต่างและลักษณะแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ลมลักษณะนี้มีการเกิดที่คล้ายกัน คือ เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศระหว่างพื้นที่ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกที่แตกต่างกันโดยอากาศในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงจะลอยตัวสูง และอากาศจากพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลเข้าแทนที่และเกิดเป็นลมในที่สุด สำหรับประเทศไทยจะมีลักษณะลมธรรมชาติซึ่งเป็นลมประจำดังแสดงในภาพประกอบ 2.1 [23] ในประเทศไทยได้มีการศึกษาและเก็บข้อมูลอัตราเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่ต่างๆอีกทั้งได้มีการศึกษาพัฒนาด้านพลังงานลมมาอย่างต่อเนื่อง [10],[22] สรุปโดยสังเขป ได้ดังนี้

ในปี พ.ศ. 2526 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้เลือกบริเวณแหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต เป็นสถานที่ตั้งของสถานีวิจัยทดลองการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม ใช้ชื่อว่า สถานีวิจัยพลังงานทดแทนพรหมเทพบริเวณนี้จะอยู่ติดกับทะเล และได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งนับได้ว่าเป็นตำแหน่งที่รับลมได้เกือบทั้งปี มีความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 5 เมตรต่อวินาทีปัจจุบันได้มีการติดตั้งกังหันลมขนาด 10 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ชุด และกังหันลมขนาด 150 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นกังหันลมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่เคยติดตั้งมาในประเทศไทย ทำให้กำลังผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมรวม 170 กิโลวัตต์





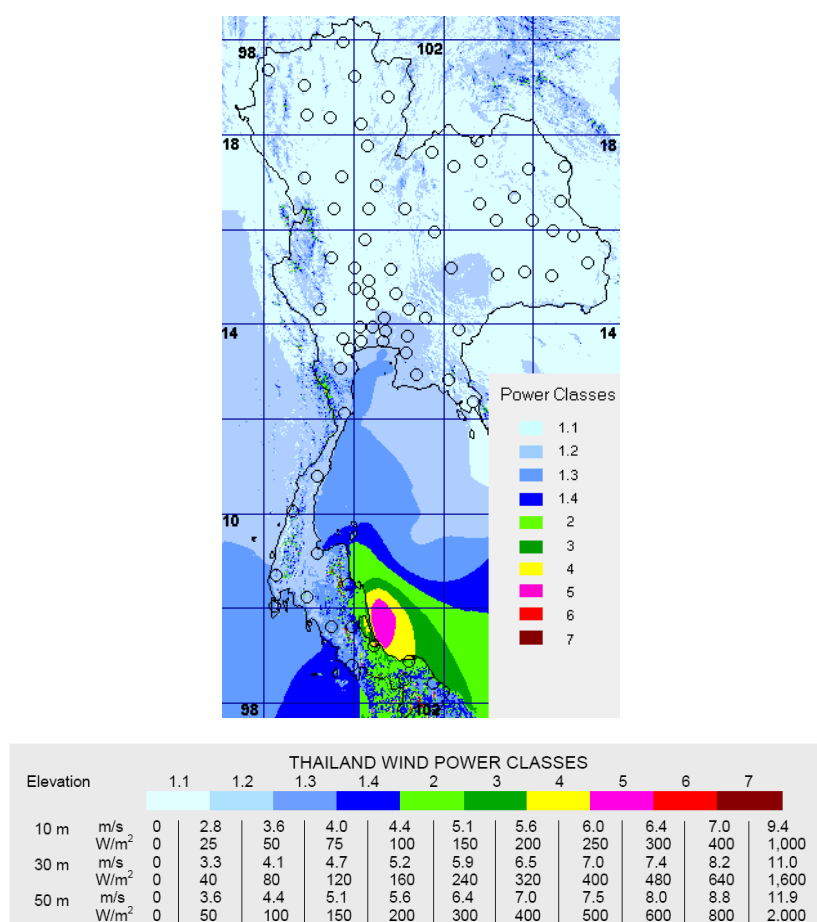
ภาพประกอบ 2.1 ทิศทางลมประจำสำหรับประเทศไทย [23]

ในปี พ.ศ. 2527 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีได้นำข้อมูลศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทยที่ได้มีการศึกษาครั้งแรกในปี 2524 โดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (Asian Institute of Technology) มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลลมในระดับความสูงใกล้พื้นผิว โดยทำการวิจัยร่วมกับกรมอุตุนิยมวิทยาได้ผลสรุปว่า ความเร็วลมเฉลี่ยในทุกส่วนของประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นลมปานกลาง กล่าวคือมีความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง 10 เมตรเหนือพื้นดินขนาด 2 เมตรต่อวินาทีในภาคเหนือจนถึง 4 เมตรต่อวินาทีในบางพื้นที่ตามชายฝั่ง [24]

ในปี พ.ศ. 2544 ธนาคารโลกได้รายงานผลการศึกษาแผนที่แหล่งพลังงานลมของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Wind Energy Resource Atlas of South East Asia) รายงานนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์พลังงานลมในรูปแบบแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วย ในรายงานนี้ที่กล่าวในส่วนของประเทศไทยว่ามีหลายพื้นที่ที่ระดับความสูง 65 เมตรที่มีกระแสลมแรงโดยมีความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 6.4 เมตรต่อวินาทีหรือมากกว่าพื้นที่เหล่านี้ได้รับอิทธิพลจากพายุมรสุมตามแนวชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของอ่าวไทยและบริเวณภูเขาฝั่งตะวันตกภาคใต้ของประเทศไทยส่วนบริเวณด้านทิศตะวันตกของอ่าวไทยและภาคกลางจะมีลมปานกลางที่มีความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปี 4.4 เมตรต่อวินาที [25]

ในปี พ.ศ. 2544 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้มีการศึกษาหาความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่ต่างๆ พบว่า บริเวณที่มีพลังงานลมที่ดีที่สุดในประเทศไทยจะอยู่ที่ภาคใต้บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกเริ่มตั้งแต่จังหวัดนครศรีธรรมราชสงขลาและปัตตานี ดังแสดงในภาพประกอบ 2.2 [26] นอกจากนี้ ยังมีที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่เหล่านี้มีกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ระดับ 3 (Class 3) หรือที่ความเร็ว 6.4 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความสูง 50 เมตร [26]





ภาพประกอบ 2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทย [26]

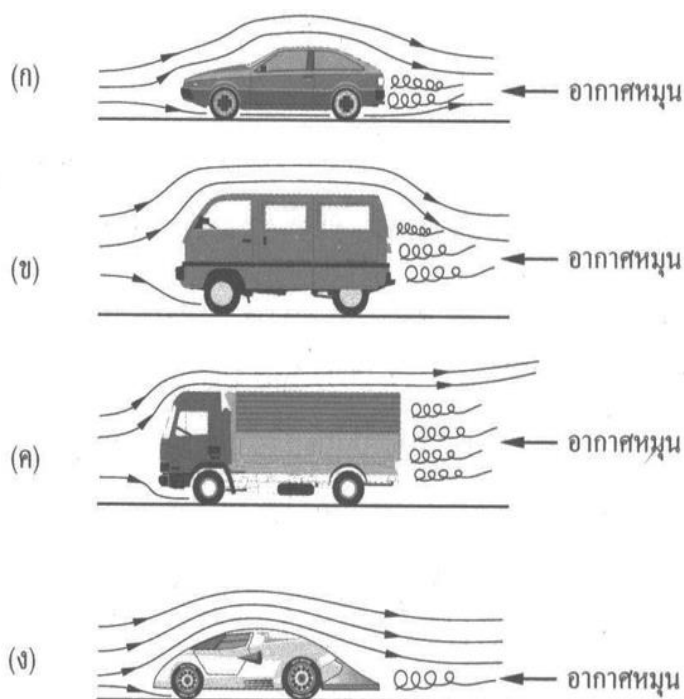
ในปี พ.ศ. 2547 ได้มีการเก็บสถิติความเร็วลมที่ระดับความสูง 45 เมตร โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ทั้งนี้เพื่อตรวจวัดศักยภาพพลังงานลมสำหรับผลิตไฟฟ้าทั่วประเทศพบว่า ที่บริเวณอ่างพักน้ำตอนบนโรงไฟฟ้าลำนาคองชลภาวัฒนา ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา มีศักยภาพพลังงานลมดีที่สุดแห่งหนึ่งของประเทศไทย มีลมพัดถึง 2 ช่วง คือช่วงฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงปลายเดือนมีนาคม และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงกลางเดือนตุลาคม มีความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 5-6 เมตรต่อวินาที ปัจจุบันมีการติดตั้งกังหันลมขนาด 1,250 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ชุด รวมกำลังการผลิตได้ 2,500 กิโลวัตต์ [23]

จากข้อมูลศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยที่ได้กล่าวมานั้นประเทศไทยมีความเร็วลมดีที่สุด อยู่ประมาณ 6.4 เมตรต่อวินาทีซึ่งมีเพียงบางพื้นที่เท่านั้น ถือว่าไม่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตขนาดเมกะวัตต์เมื่อเทียบกับต่างประเทศที่มีกังหันลมขนาดใหญ่ โดยมีกำลังการผลิตสูงสุดถึง 1.65 เมกะวัตต์ ซึ่งต้องการความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 12-15 เมตรต่อวินาที และได้มีการพัฒนาจนเป็นสามารถกลายเป็นการค้าขายพลังงานภายในประเทศได้ ดังนั้นประเทศไทยอาจจะสามารถจะผลิตไฟฟ้าด้วยชุดกังหันลมในช่วงพิกัดกำลังระดับกิโลวัตต์จึงจะเหมาะสมกว่า [10], [27]



2.1.2 ลมที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

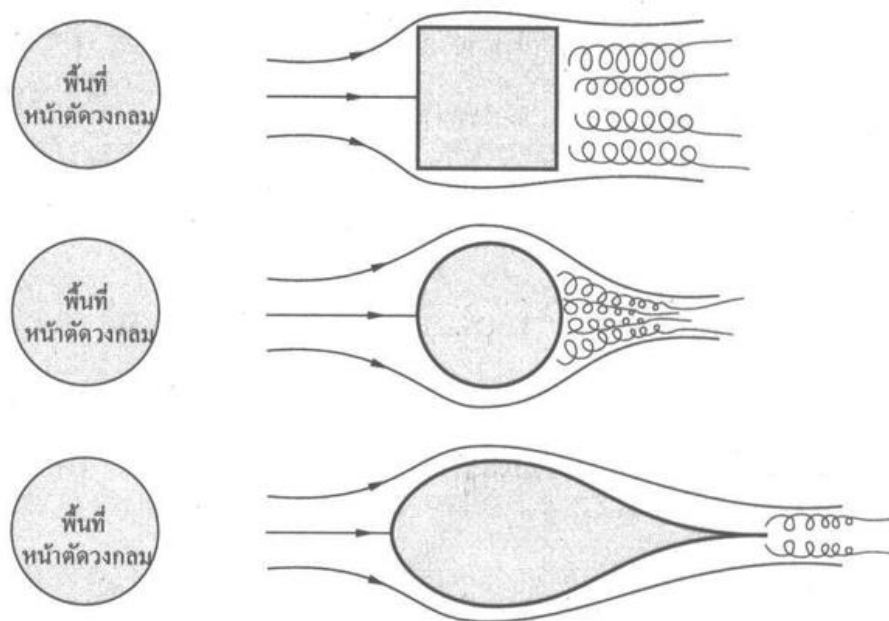
ลมที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ ลมประเภทอื่น ๆ ที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งอาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์หรือผลของสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ในที่นี้จะกล่าวถึง ลมประเภทนี้ในส่วนที่เป็นลมที่เกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอากาศที่ไหลผ่านยานพาหนะขณะกำลังเคลื่อนที่ [28] การวิจัยพบว่า ลมที่ไหลผ่านหลังคายานพาหนะสามารถเพิ่มความเร็วได้สูงกว่าลมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยความเร็วลมที่ไหลผ่านเหนือรถจะมีความเร็วสูงกว่าใต้ท้องยานพาหนะซึ่งเป็นลมที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะชนิดต่าง ๆ มีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 2.3



ภาพประกอบ 2.3 ลักษณะลมที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะเมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ [28]

ในการทดสอบวัตถุทรงต่างๆ เพื่อหาแรงต้านอากาศ พบว่าวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมและมีพื้นที่เท่ากันแต่รูปทรงต่างกันจะมีแรงต้านอากาศที่ไม่เท่ากัน เช่น แท่งทรงกระบอก ทรงกลม และทรงหยดน้ำ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 วัตถุทรงหยดน้ำจะมีอากาศหมุนที่เกิดขึ้นด้านหลังน้อยกว่าวัตถุทรงกลมและทรงกระบอก จึงทำให้วัตถุทรงหยดน้ำมีแรงต้านอากาศน้อยมาก และน้อยกว่าวัตถุรูปทรงอื่นๆ ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าขนาดและพื้นที่หน้าตัดของยานพาหนะที่แตกต่างกัน เมื่อยานพาหนะมีการเคลื่อนที่แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณท้ายรถหรือแรงลมที่เกิดขึ้นนั้น จะมีมากขึ้นตามขนาดและพื้นที่หน้าตัดของยานพาหนะ อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับความเร็วของยานพาหนะขณะเคลื่อนที่อีกด้วย ซึ่งแรงลมที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจะถูกนำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า





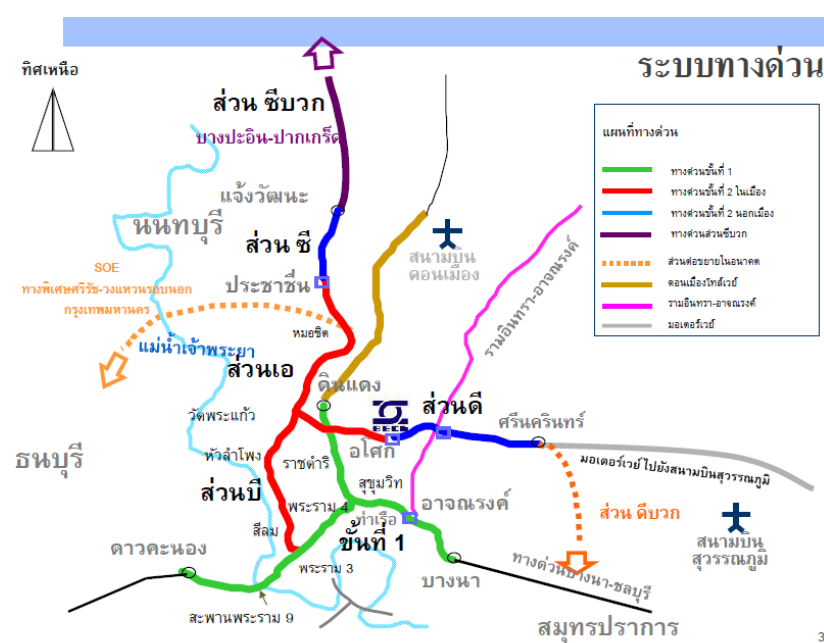
ภาพประกอบ 2.4 การเคลื่อนไหวของอากาศผ่านรูปทรงต่าง ๆ [28]

เมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการนำลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะมาประยุกต์ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยได้พิจารณาถึงปริมาณการจราจรของยานพาหนะบนทางด่วนและถนนหลวงในเส้นทางสายหลักของประเทศไทย บริเวณดังกล่าวจะต้องมีปริมาณการจราจรที่เหมาะสมที่จะทำให้มีโอกาสเกิดลมจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะได้อย่างต่อเนื่องมากที่สุดซึ่งผู้วิจัยจะทำการพิจารณาจากข้อมูลดังต่อไปนี้

จากข้อมูลปริมาณการจราจรเฉลี่ยคันต่อวัน บนทางหลวงในเส้นทางสายหลัก ปี 2557 ถนนหลวงหมายเลข 1 พหลโยธินแขวงทางทางปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี 6-8 ช่องทางจราจร มีปริมาณการจราจรสูงสุดจากข้อมูลปริมาณการจราจรเฉลี่ยคันต่อวัน บนทางหลวงในเส้นทางสายหลัก ปี 2557 ถนนหลวงหมายเลข 1 พหลโยธินแขวงทางทางปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี 6-8 ช่องทางจราจร มีปริมาณการจราจรสูงสุด รวมรถทุกชนิด 298,478 คันต่อวัน คิดเป็น 4.53% ของทางหลวงทุกสายในประเทศไทย ประเภทยานพาหนะที่มีปริมาณการจราจรมากที่สุด แบ่งเป็น รถยนต์นั่ง (ไม่เกิน 7 คน) จำนวน 166,419 คันต่อวัน และรถบรรทุกขนาดเล็ก (4 ล้อ) จำนวน 59,907 คันต่อวัน แสดงดังภาพประกอบ 2.5 [12] ในขณะที่ภาพประกอบ 2.6 แสดงแผนที่ระบบทางด่วนทุกสายในกรุงเทพและปริมณฑล และภาพประกอบ 2.7 แสดงข้อมูลการจราจรบนทางด่วนทุกสายในแต่ละปี ซึ่งในปี 2557 ปริมาณการจราจรบนทางด่วนทุกสายเฉลี่ย 1,103.61 คันเที่ยวต่อวัน และภาพประกอบ 2.7 แสดงปริมาณการจราจรบนทางด่วนทุกสายในปีแต่ละปี ระหว่างปี 2550-2558 [13]



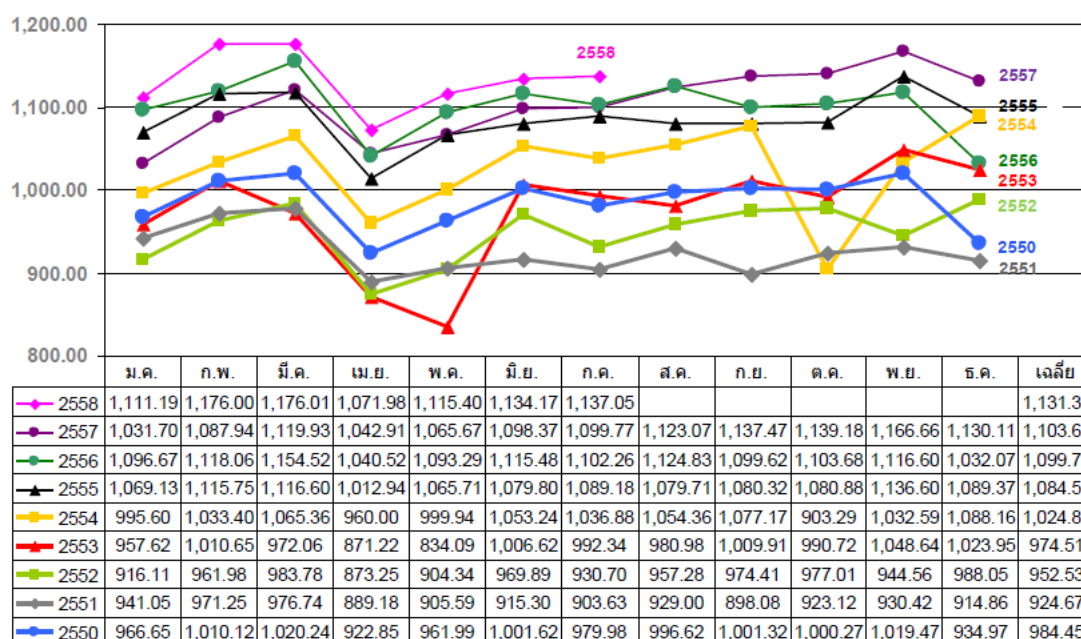
ภาพประกอบ 2.5 ปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ยบนทางหลวงหมายเลข 1 [12]



ภาพประกอบ 2.6 แผนที่ระบบทางด่วนทุกสายในกรุงเทพและปริมณฑล [13]

ปริมาณจราจร

(พันเที่ยว/วัน)



4

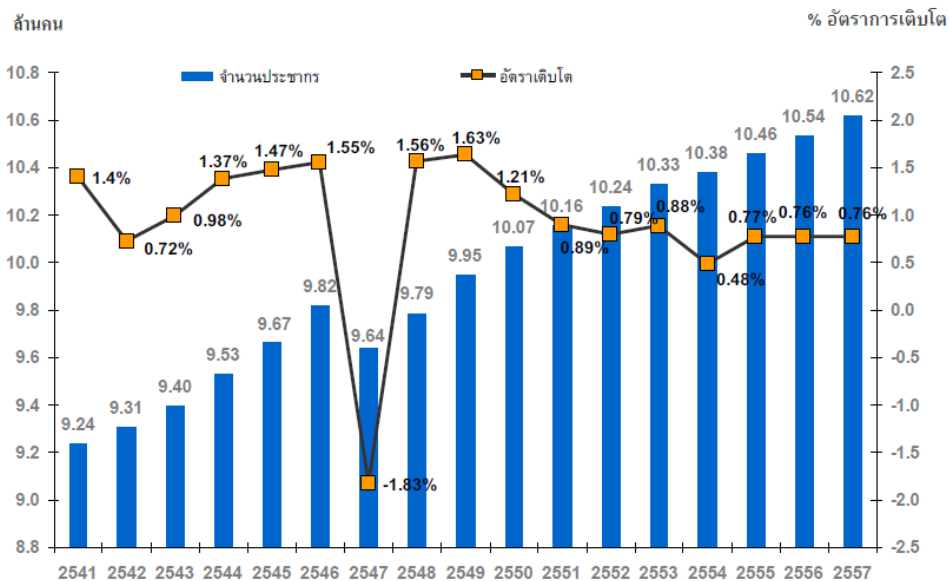
ภาพประกอบ 2.7 ปริมาณการจราจรบนทางด่วนทุกสายในปีแต่ละปี [13]

จากภาพประกอบ 2.7 จะเห็นได้ว่า ในแต่ละปีจะมีปริมาณการจราจรบนทางด่วนเพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องจากประชากรในเขตกรุงเทพและปริมณฑล มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี ตามภาพประกอบ 2.8 นอกจากนี้ยังมีจำนวนรถยนต์และรถบรรทุกต่อประชากรในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพประกอบ 2.9



จำนวนประชากรในเขตกรุงเทพฯ

- การเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของประชากร



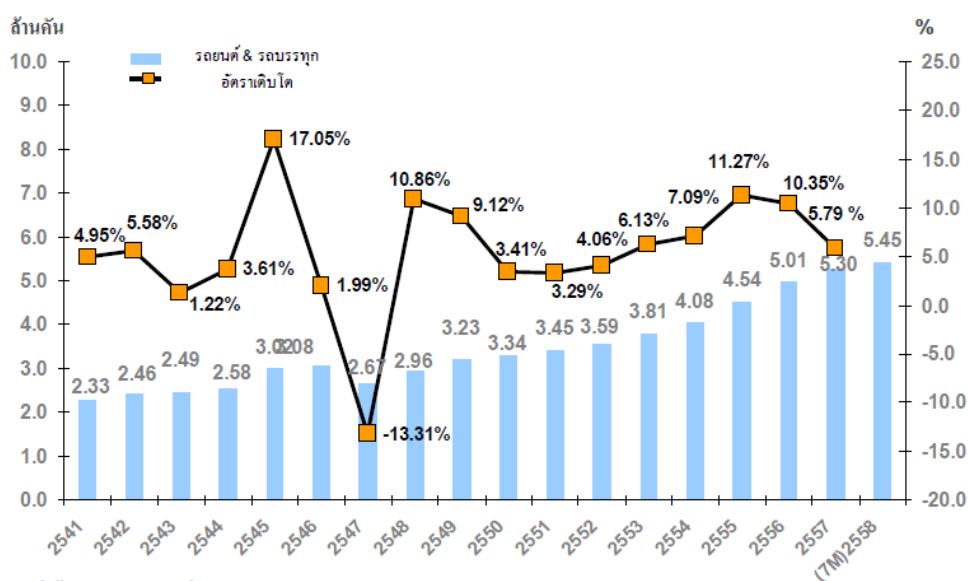
แหล่งข้อมูล : ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร, กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย

13

ภาพประกอบ 2.8 จำนวนประชากรในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล [13]

รถยนต์ & รถบรรทุกที่จดทะเบียนในเขตกรุงเทพฯ

- มีจำนวนรถต่อประชากรในสัดส่วนที่สูง



แหล่งข้อมูล : กรมการขนส่งทางบก

14

ภาพประกอบ 2.9 จำนวนรถยนต์และรถบรรทุกที่จดทะเบียนในกรุงเทพฯและปริมณฑล [13]



จากข้อมูลการจราจรบนทางหลวงสายหลักและการจราจรบนทางด่วน จะเห็นได้ว่าในแต่ละวันมีการจราจรเป็นจำนวนมากสาเหตุนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะบนถนน มีโอกาสเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องและมีปริมาณมากซึ่งจะส่งผลดีในแง่ของการนำพลังงานลมดังกล่าวมาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้า โดยความเร็วสำหรับยานพาหนะที่อนุญาตให้ใช้วิ่งบนทางด่วนและทางหลวงทุกสายได้ ตามกฎหมายแล้วอนุญาตไว้ที่ไม่เกิน 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 25 เมตรต่อวินาที [14]

ในงานวิจัยนี้ผู้ได้ศึกษาและสนใจลักษณะของลมสวนทางที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสวนทางกัน มาใช้เพื่อทดลองกับกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่ที่ออกแบบตามแนวทางการวิจัย ทั้งนี้เพื่อศึกษาพฤติกรรมการผลิตพลังงานไฟฟ้าของกังหันลมดังกล่าวเปรียบเทียบกับกังหันที่มีการรับลมทิศทางเดียวหรือไม่มีช่องรับลม โดยจะกล่าวในรายละเอียดในบทที่ 3 ต่อไป

2.2 พลังงานลมและกังหันลม

สำหรับในประเทศไทย พลังงานลมส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและการสูบน้ำ [29],[30] โดยพลังงานลมจะใช้ขับเคลื่อนกังหันลมให้หมุนเพื่อเปลี่ยนพลังงานจลน์ของลมให้เป็นพลังงานกลและจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า หากพิจารณากระแสลมที่มีความหนาแน่น และมีความเร็วลมเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดในหนึ่งหน่วยเวลา จะได้กำลังงานที่ได้จากลมตามสมการ (2.1)

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot (\rho AV) \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho AV^3 \quad (2.1)$$

เมื่อ P_w = กำลังงานที่ได้จากลม (วัตต์)
 ρ = ความหนาแน่นของอากาศ 25°C
 มีค่าเท่ากับ 1.225 (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
 A = พื้นที่หน้าตัดของกังหันลม (ตารางเมตร)
 V = ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

โดยทั่วไปแล้ว กังหันลมจะสามารถสกัดกำลังงานที่มีอยู่ในกระแสลมมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่นิยมใช้ในการกำหนดความสามารถในการสกัดกำลังงานลมได้นั้น คือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power Coefficient) หรือ C_p กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ C_p เป็นตัวบ่งชี้สัดส่วนของกำลังงานที่กังหันลมสามารถสกัดได้จากกระแสลม กังหันลมที่มีค่าของ C_p มีสูง หมายความว่ากังหันลมนั้นมีความสามารถเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกลได้มากนั่นเอง ถ้า P แทนกำลังงานที่ได้จากกังหันลม จะได้ว่า

$$P = C_p \cdot P_w = \frac{1}{2} \cdot C_p \rho AV^3 \quad (2.2)$$



หรือ

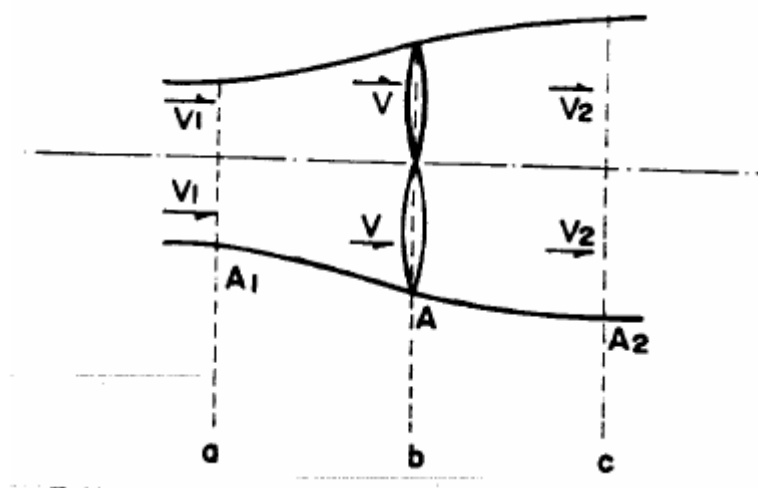
$$C_p = \frac{P}{P_w} = \frac{P}{\left(\frac{1}{2} \cdot \rho AV^3\right)} \quad (2.3)$$

เมื่อ P = กำลังงานที่ได้จากกังหันลม (วัตต์)

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

หากพิจารณากังหันลมที่มีพื้นที่หน้าตัดรับลมใด ๆ ขนาด A ตารางเมตร ตั้งรับกระแสที่มีความเร็วใด ๆ ที่ V เมตรต่อวินาที ดังแสดงในภาพประกอบ 2.10 [29] เมื่อกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดขาเข้าและขาออกของช่องรับลมเป็น A_1 และ A_2 ตามลำดับ (ที่ตำแหน่ง a และ c) โดยมีค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งขาเข้าและขาออกขนาด V_1 และ V_2 ตามลำดับ จะสามารถหาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ต่อเนื่อง (Continuity Equations) ได้ดังสมการ (2.4)

$$A_1 V_1 = AV = A_2 V_2 \quad (2.4)$$



ภาพประกอบ 2.10 การเคลื่อนที่ของกระแสลม V_1 ผ่านพื้นที่หน้าตัดกังหันลม A [29]

หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของกระแสลม ณ หน่วยเวลา t จะได้ว่า

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho AV (V_1^2 - V_2^2) \quad (2.5)$$



และจากสมการโมเมนตัมปริมาณการเปลี่ยนแปลงของกระแสลมที่กระทำต่อกังหันลม โดยแรง F หาได้จาก สมการ (2.6)

$$F = \rho AV(V_1 - V_2) \quad (2.6)$$

สามารถคิดเป็นกำลังงานได้

$$P = FV = \rho AV^2(V_1 - V_2) \quad (2.7)$$

จากสมการ (2.5) และ (2.7) จะได้กำลังงานลมที่ถ่ายทอดให้กังหันลม ทั้ง 2 สมการมีค่าเท่ากัน

$$\rho AV^2(V_1 - V_2) = \frac{1}{2} \cdot \rho AV(V_1^2 - V_2^2)$$

ดังนั้นจะได้

$$V = \frac{1}{2} \cdot (V_1 + V_2) \quad (2.8)$$

ตามทฤษฎีของเบทซ์ (Betz) ได้กล่าวไว้ว่ากำลังงานสูงสุดที่กังหันลมสามารถสกัดได้จากกระแสลม โดยสามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของความเร็วลม V_1 และ V_2 เมื่อกำหนดให้ $V_2 = d \cdot V_1$ และจากสมการ (2.8) แทนค่าลงในสมการ (2.5) จะได้

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho A \left\{ \frac{1}{2} \cdot (V_1 + dV_1) \right\} (V_1^2 - d^2V_1^2) \quad (2.9)$$

หรือ

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho AV_1^3 (1 + d)(1 - d^2) \quad (2.10)$$

ค่า P จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\partial P / \partial d = 0$ และ ณ จุดนี้พบว่า $d = \frac{1}{3}$

ดังนั้น

$$P_{\max} = \frac{1}{4} \cdot \rho AV_1^3 \left(1 + \frac{1}{3} \right) \left(1 - \frac{1}{9} \right) \quad (2.11)$$

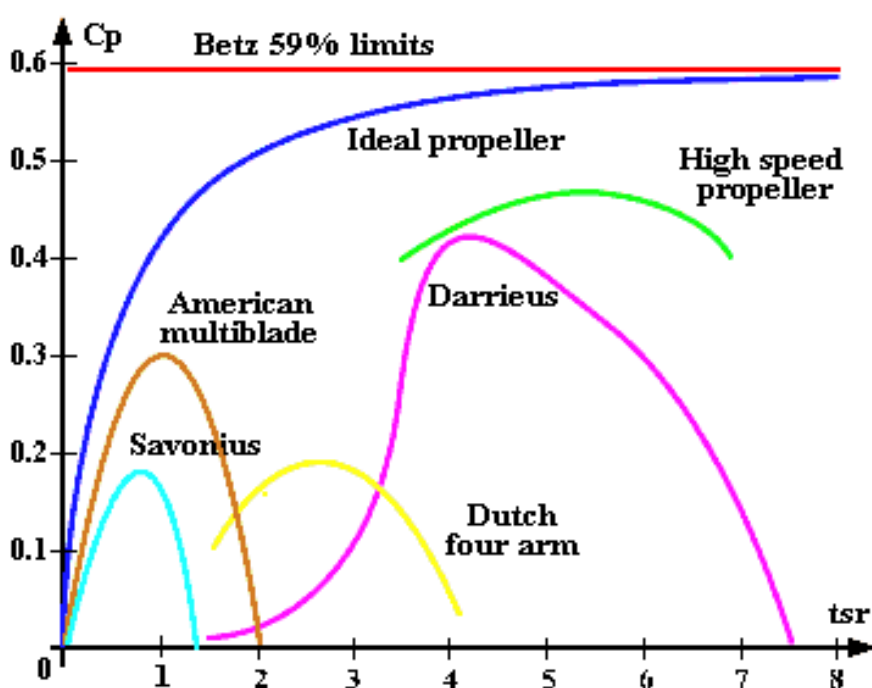
หรือ

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{16}{27} \right) \rho AV_1^3 \quad (2.12)$$



จากสมการ (2.2) และ (2.12) จะเห็นได้ว่ากำลังงานสูงสุดที่กังหันลมสามารถผลิตได้นั้นจะมีค่าไม่เกิน 0.5926 หรือ 16/27 ซึ่งจะเรียกว่า สัมประสิทธิ์เบ็ต (Betz Coefficient), ($C_{p,max}$) กล่าวคือ ถ้าพลังงานลม 100 % กังหันลมที่ดีที่สุดจะสามารถเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานกลได้สูงสุดไม่เกิน 59.26 % เนื่องจากปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้เกิดการสูญเสีย เช่น การสูญเสียในใบพัด, การสูญเสียในระบบส่งจ่ายกำลัง และการสูญเสียที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น [31]

ภาพประกอบ 2.11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมชนิดต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าไม่มีกังหันลมชนิดใดที่สามารถออกแบบให้มีประสิทธิภาพถึง 50 % ได้ การออกแบบกังหันลมให้มีประสิทธิภาพได้ 30 - 35 % ถือว่ามีประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้ว ในทางปฏิบัติทั้งนี้เนื่องจากกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นเป็นเครื่องจักรที่ไม่ใช้การสันดาปเหมือนกับเครื่องยนต์ความร้อน ทำให้การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมนั้นเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ อีกทั้งการที่ติดตั้งกังหันลมนั้นจะต้องคำนึงถึงศักยภาพของลมในแต่ละพื้นที่ เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ [31]



ภาพประกอบ 2.11 สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมชนิดต่างๆ [32]



2.3 ประเภทของกังหันลม

การจำแนกประเภทของกังหันลมสามารถจำแนกได้หลายประเภท ดังนี้

2.3.1 จำแนกประเภทตามลักษณะการวางของแกนหมุน

การจำแนกกังหันลมตามลักษณะการวางของแกนหมุนจะสามารถแบ่งประเภทของกังหันลมออกเป็น 2 ประเภท คือ กังหันลมแกนนอน (Horizontal axis wind turbine) และกังหันลมแกนตั้ง (Vertical axis wind turbine) โดย กังหันลมแกนนอน หมายถึง กังหันลมที่มีแกนหมุนของกังหันขนานกับทิศทางของกระแสลม กังหันลมประเภทนี้ ได้แก่ กังหันลมพรอเพลเลอร์ (Propeller wind turbine) เป็นต้น ส่วนกังหันลมแกนตั้ง (Vertical axis wind turbine) หมายถึง กังหันลมที่มีแกนหมุนของกังหันตั้งฉากกับทิศทางของกระแสลม ยกตัวอย่าง เช่น กังหันลมแดร์เรียส (Darrius wind turbine) และ กังหันลมซาโวเนียส (Savonius wind turbine) เป็นต้น

2.3.2 จำแนกตามลักษณะของแรงขับเคลื่อนที่กระแสลมกระทำต่อกังหัน

กังหันลมสามารถจำแนกตามลักษณะของแรงขับเคลื่อนที่กระแสลมกระทำต่อกังหันได้ด้วย โดยจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ กังหันลมประเภทขับเคลื่อนด้วยแรงยก (Lift force) และกังหันลมที่ขับเคลื่อนด้วยแรงดูดหรือแรงหน่วง (Drag force)

การจำแนกกังหันลมตามลักษณะการวางของแกนหมุนนั้นจะเป็นที่นิยมมากกว่าการจำแนกตามลักษณะของแรงขับเคลื่อน ทั้งนี้เนื่องจากการจำแนกที่เด่นชัดและสามารถเข้าใจได้ง่ายกว่าการจำแนกตามลักษณะแรงขับเคลื่อนซึ่งจะต้องพิจารณาโดยใช้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแอร์โรไดนามิกประกอบด้วย นอกจากนี้ก็ยังมีกังหันลมที่ไม่จัดอยู่ในการจำแนกประเภททั้ง 2 ประเภทดังกล่าวเช่น กังหันลมเทอร์นาโดและกังหันลมที่มีการเพิ่มดิฟฟิวเซอร์หรือคอนเซนเตรเตอร์ (Diffuser or Concentrator)

ปัจจุบันกังหันลมแกนนอนเป็นที่นิยมใช้มากกว่ากังหันลมแกนตั้ง ซึ่งจากภาพประกอบ 2.11 จะเห็นได้ว่ากังหันลมแกนนอนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากังหันลมแกนตั้ง เนื่องจากกังหันลมแกนนอนมีค่าอัตราส่วนปลายใบอยู่ระหว่าง 5 และ 7 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเร็วรอบที่ปลายใบกังหันมีความเร็วรอบสูงกว่าความเร็วของกระแสลมที่ปะทะกังหันลม[35]จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้กังหันลมแกนนอนมีความนิยมนำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากกว่ากังหันลมแกนตั้ง อย่างไรก็ตามกังหันลมแกนตั้งนั้นในปัจจุบันได้มีการวิจัยและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ตาราง 2.1 และตาราง 2.2 แสดงข้อดีและข้อเสียเปรียบเทียบระหว่างกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้งและ ตาราง 2.3แสดงข้อมูลเปรียบเทียบสมรรถนะของกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้งโดย [40]



ตาราง 2.1 เปรียบเทียบข้อดีของกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้ง [10], [34], [35], [37], [38], [39]

กังหันลมแกนนอน	กังหันลมแกนตั้ง
1. มีพื้นที่ในการรับลมมาก 2. เริ่มหมุนได้ที่ความเร็วลมต่ำ 3. ประสิทธิภาพสูง 4. แรงบิดรอบแกนสูง 5. มีอัตราความเร็วปลายใบสูง 6. ความเร็วรอบคงที่กว่า	1. สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง 2. การถ่ายเทน้ำหนักลงบนฐานมาความสมดุลมากกว่า 3. ทำงานได้ดีในลักษณะลมปั่นป่วน 4. ระบบการส่งกำลังและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถติดตั้งอยู่บนระดับพื้นดินได้, ง่ายต่อการซ่อมบำรุง 5. ไม่ต้องอาศัยชุดควบคุมทิศทางลม 6. มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ความเร็วลมต่ำ 7. เสี่ยงรบกวนน้อยเมื่อมีความเร็วรอบสูง 8. ต้นทุนการสร้างต่ำกว่า

ตาราง 2.2 เปรียบเทียบข้อเสียของกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้ง [10], [34], [35], [37], [38], [39]

กังหันลมแกนนอน	กังหันลมแกนตั้ง
1. ต้องอาศัยชุดควบคุมทิศทางลม 2. ต้องใช้แรงบิดเริ่มต้นที่ความเร็วสูงกว่า 3. มีการออกแบบใบพัดที่ยากกว่า เนื่องจากต้องมีการคำนึงถึง มุมบิด, มุมปะทะ 4. มีเสียงดังเมื่อกังหันลมมีความเร็วรอบสูง 5. ความไม่สะดวกในการติดตั้งและซ่อมบำรุง	1. ใบพัดไม่สามารถรับลมได้พร้อมกันทุกใบ 2. มีแรงต้านจากใบพัดที่ไม่รับลม 3. ความเร็วรอบไม่คงที่ 4. มีประสิทธิภาพต่ำ



ตาราง 2.3 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการทำงานของกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้ง [40]

ตัวแปรสมรรถนะ	กังหันลมแกนนอน	กังหันลมแกนตั้ง
ประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน	50 - 60%	สูงกว่า 70%
การสร้างสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวน (Electromagnetic Interference)	มี	ไม่มี
การเกิดแรงเฉือนของกระแสลม (Steering mechanism of wind)	มี	ไม่มี
ขนาดของการทดกำลังฟันเฟือง (Gearbox)	สูงกว่า 10 KW:ใช้	ไม่ใช้
ระยะหมุนของกังหัน(Blade rotation space)	ค่อนข้างใหญ่	ค่อนข้างเล็ก
ความสามารถการต้านกำลังลม (Wind-resistance capability)	น้อย	สูง(สามารถต้านแรงพายุได้ฝุ่น ขนาด class 12-14 ได้)
เสียงรบกวน (Noise)	5 - 60 dB	0-10 dB
ความเร็วลมที่กังหันเริ่มหมุน(Starting speed)	สูง (2.5 - 5 m/s)	ต่ำ(1.5 - 3 m/s)
ระบบกราวด์ที่มีผลต่อมนุษย์ (Ground projection)	อาจมีผล	ไม่มีผล
อัตราการทำงานผิดพลาด(Failure rate)	สูง	ต่ำ
การซ่อมบำรุง (Maintenance)	ซับซ้อน	สะดวก
อัตราการหมุนของกังหัน (Rotating speed)	สูง	ต่ำ
ผลกระทบเนื่องจากนก (Effect on birds)	มาก	น้อย
ปัญหาเกี่ยวกับการชิงหรือเกี่ยวสายยึด (Cable Stranding Problem)	มี	ไม่มี
กราฟกำลัง (Power curve)	ลดทอนได้ง่าย	เต็มอัตรา



2.4 กังหันลมที่มีความเหมาะสมสำหรับการรับลมแบบสองทิศทาง

จากข้อมูลในตาราง 2.1-2.3 เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมระหว่างกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้งสำหรับการนำมาใช้ในการทดลองรับลมสอบทิศทางแบบสวนทางกัน อาจสรุปได้ว่าความเหมาะสมระหว่างกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้งได้ดังแสดงในตาราง 2.4

ตาราง 2.4 เปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างกังหันลมแกนนอนและกังหันลมแกนตั้งต่อความเป็นไปได้ในการใช้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่สวนทางกัน

สมรรถนะของกังหันลม	กังหันลมแกนนอน	กังหันลมแกนตั้ง
ความสามารถในการรับลมสวนทาง	รับลมได้ทิศทางเดียว และต้องมีอุปกรณ์ควบคุมทิศทางในการรับลม	สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง
ความเหมาะสมกับความเร็วลมต่ำ	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม
ความเร็วในการเริ่มหมุน	สูง(2.5-5เมตรต่อวินาที)	ต่ำ(1.5-3เมตรต่อวินาที)
ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกล	สูง	ต่ำ
การสร้างและออกแบบใบพัด	ยากเนื่องจากต้องมีการคำนึงถึง มุมบิด, มุมปะทะ และอื่นๆ	ง่าย
ความเหมาะสมในการรับลมปั่นป่วน	ไม่เหมาะสมเนื่องจากลักษณะของใบมีลักษณะเรียวยาว	เหมาะสมเนื่องจากลักษณะใบพัดมีพื้นที่หน้าตัดรับลมมากกว่า

จากข้อมูลในตาราง 2.4 อาจสรุปได้ว่ากังหันลมแกนตั้งมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิจัยในการเป็นกังหันลมที่สามารถรับลมสวนทางและแปลงพลังงานลมสวนทางเป็นพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่าทั้งนี้เนื่องจากกังหันลมแกนตั้งสามารถรับลมได้ทุกทิศทางไม่ต้องอาศัยชุดควบคุมทิศทางลมสามารถเริ่มหมุนได้ที่ระดับความเร็วลมต่ำสามารถออกแบบและสร้างได้ง่าย และสามารถทำงานทำงานในลักษณะลมปั่นป่วนได้ดีด้วย แต่อาจมีข้อเสียคือ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานกลยังมีอัตราที่ต่ำกว่ากังหันลมแกนนอน อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้มีนักวิจัยที่ได้ทำการคิดค้นและออกแบบกังหันลมแกนตั้งในหลายรูปแบบที่มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเพิ่มขึ้นซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ กังหันลมซาโวเนียส (Savonius wind turbine) และกังหันลมแดร์เรียส (Darrius wind turbine)

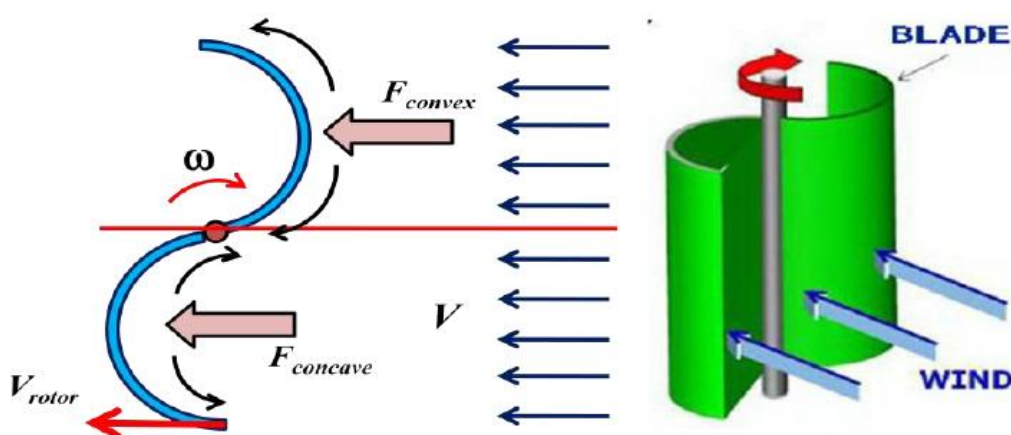


2.5 ประเภทและสมรรถนะของกังหันลมแกนตั้ง

กังหันลมแกนตั้ง (Vertical axis wind turbine) จะมีลักษณะเด่นคือ ลักษณะใบพัดและแกนหมุนจะตั้งฉากกับกระแสลม ทำให้สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง ระบบการส่งจ่ายกำลัง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถติดตั้งอยู่บนระดับพื้นดินได้ ไม่ต้องอาศัยชุดควบคุมทิศทางลม แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ กังหันลมซาโวเนียส (Savonius wind turbine) และ กังหันลมแดร์เรียส (Darrius wind turbine)

2.5.1 กังหันลมซาโวเนียส (Savonius Wind Turbine)

กังหันลมซาโวเนียส (Savonius wind turbine) เป็นกังหันลมแกนตั้งที่มีลักษณะใบพัดเป็นรูปตัวเอส(S) ออกแบบโดยวิศวกรชาวฟินแลนด์ Savonius ในปี 1922 กังหันลมชนิดนี้มีการทำงานโดยอาศัยแรงต้านจากใบพัดด้านหนึ่งที่มีส่วนเว้า รับลมเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวยและในระหว่างนั้นจะมีแรงต้านจากใบพัดอีกด้านหนึ่งที่มีส่วนโค้ง จะทำให้เกิดการต้านการหมุนของกังหันลม แสดงดังภาพประกอบ 2.12 เนื่องจากกังหันลมชนิดนี้อาศัยลมในการขับเคลื่อนใบพัดตลอดรอบการหมุน ดังนั้นกังหันลมชนิดนี้จึงไม่สามารถหมุนได้เร็วกว่าความเร็วลม ซึ่งหมายความว่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบจะมีค่าน้อย ประมาณ 1 และมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับกังหันลมแกนนอน กังหันลมซาโวเนียส มีการออกแบบที่ง่าย สามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วลมต่ำ ทนต่อสภาพลมปั่นป่วน มีแรงบิดสูง กังหันลมชนิดนี้จึงมีความนิยมที่จะนำมาใช้เพื่อสูบน้ำหรือผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็ก [33], [41], [42]



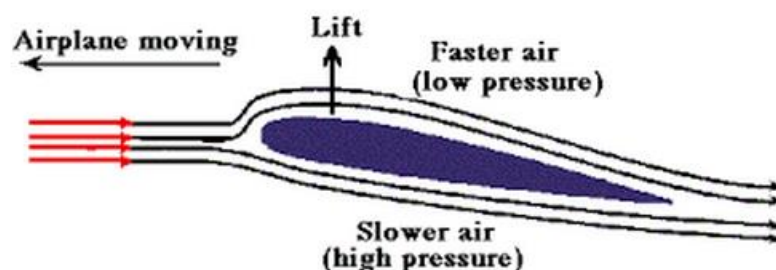
ภาพประกอบ 2.12 ลักษณะลมที่กระทำต่อใบพัดของกังหันลมซาโวเนียส [43]

2.5.2 กังหันลมแดร์เรียส (Darrius Wind Turbine)

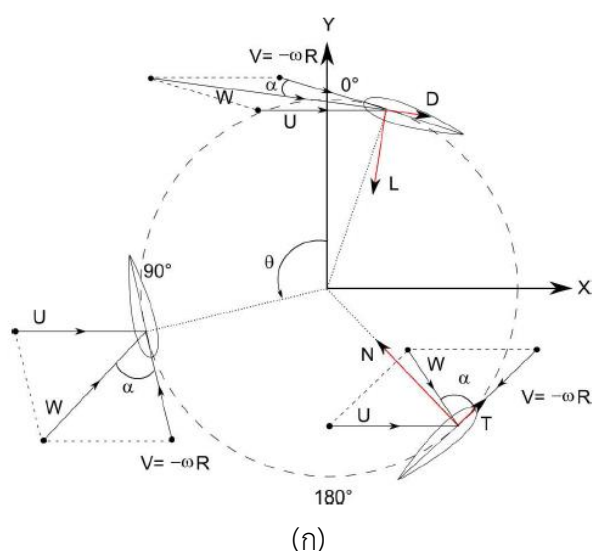
กังหันลมแดร์เรียส (Darrius wind turbine) เป็นกังหันลมแกนตั้งที่ขับเคลื่อนโดยใช้แรงตามหลักอากาศพลศาสตร์มีรูปร่างคล้ายไข่ ถูกพัฒนาขึ้นโดยวิศวกรการบินชาวฝรั่งเศสและได้จดสิทธิบัตรครั้งแรกในปี 1927 กังหันลมแดร์เรียสอาศัยแรงตามหลักอากาศพลศาสตร์ของใบกังหันที่มีรูปร่างแบบแพนอากาศหรือ แอร์ฟอยล์ (Airfoil) เมื่อมีความเร็วลมผ่านพัดผ่านแพนอากาศจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมรอบๆ แพนอากาศ โดยด้านบนของแพนอากาศจะมีความเร็วลมสูงกว่าด้านล่าง ทำให้ความดันทางด้านบนของแพนอากาศมีค่าต่ำกว่าความดันทางด้านล่างของแพนอากาศ จะทำให้เกิดแรงยก (Lift) และแรงต้าน (Drag) ซึ่งจะทำให้เกิดแรงขับใบกังหันให้สามารถหมุนรอบแกนได้



แสดงดังภาพประกอบ 2.13 และ 2.14 [30], [42] กังหันลมแตรเรียสมีอัตราส่วนความเร็วปลายใบสูงสุดที่ 4 ซึ่งจะมีความเร็วรอบที่สูงกว่าความเร็วลมจึงเหมาะที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า แต่ประสิทธิภาพยังต่ำเมื่อเทียบกับกังหันลมแกนนอน อย่างไรก็ตามกังหันลมแตรเรียสมีข้อเสียคือ ไม่สามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเอง เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดเริ่มต้นเป็นศูนย์จึงมีความจำเป็นต้องใช้มอเตอร์ขนาดเล็กเพื่อให้กังหันลมแตรเรียสสามารถเริ่มหมุนได้ [45]



ภาพประกอบ 2.13 แรงที่ยกของแพนอากาศ เนื่องจากการไหลของแพนอากาศ [30]



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 2.14 (ก) แรงที่กระทำต่อกังหันลมแตรเรียส (ข) ลักษณะของกังหันลมแตรเรียส [30]



2.5.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกังหันลมชาโวเนียสและกังหันลมแดร์เรียส

ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกังหันลมชาโวเนียสและกังหันลมแดร์เรียส แสดงในตาราง 2.5 ข้อมูลนี้จะถูกใช้เพื่อการออกแบบกังหันลมที่เหมาะสมในการรับกระแสลมแบบสวนทางในงานวิจัยนี้

ตาราง 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติกังหันลมชาโวเนียสและกังหันลมแดร์เรียส [30], [32], [41], [42], [45], [46]

คุณสมบัติ	กังหันลมชาโวเนียส	กังหันลมแดร์เรียส
การออกแบบใบพัด	ง่าย	ค่อนข้างซับซ้อน
เสียงรบกวนที่ความเร็วลมสูง	ต่ำ	สูง
เริ่มต้นหมุนด้วยตัวเอง	สามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเอง	ไม่สามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเอง
ความเหมาะสมกับความเร็วลมต่ำ	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
แรงบิดเริ่มต้น	สูง	ต่ำ
ต้นทุนการสร้างกังหันลม	ปานกลาง	ค่อนข้างสูง
ประสิทธิภาพ	ต่ำ	สูงกว่า
ความสามารถในการรับลมปั่นป่วน	สามารถทำงานได้	สามารถทำงานได้

จากข้อมูลในตาราง 2.5 ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาเลือกกังหันลมชาโวเนียส เพื่อใช้ในการออกแบบกังหันลมที่สามารถรับลมสวนทางสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากกังหันลมชาโวเนียสมีคุณสมบัติทำงานได้ดีที่ความเร็วลมต่ำด้วยอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip speed ratio) อยู่ระหว่าง 0-1.5 (ภาพประกอบ 2.11) มีแรงบิดเริ่มต้นที่ดี การออกแบบและจัดสร้างทำได้ง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำและสามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเองดังนั้นกังหันลมชาโวเนียสจึงได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีค่า Tip speed ratio อยู่ในช่วงที่ต่ำในขณะที่มีค่า Coefficient of power (Cp) สูง ซึ่งการมีค่า Tip speed ratio ที่อยู่ในช่วงที่ต่ำจะเป็นผลดีต่อใบกังหันลม ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อใบกังหันลม และไม่เกิดเสียงดังเมื่อมีความเร็วรอบสูง [35], [41], [42], [47] อย่างไรก็ตาม กังหันลมชาโวเนียสอาจมีข้อด้อยในส่วนการมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานลดลงเมื่อมีความเร็วลมสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกังหันลมชาโวเนียสมีแรงต้านการหมุนที่เกิดจากใบพัดด้านนูน กังหันลมชาโวเนียสจึงไม่สามารถหมุนได้ที่ความเร็วสูงกว่าความเร็วลม ภาพประกอบ 2.15 แสดงพัฒนาการของกังหันลมชาโวเนียสในช่วงปี ค.ศ. 1987-2004 โดยมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [52]



Authors	Year of study	Type of rotor	Rotor dia (m)	Rotor height (m)	Wind tunnel dimensions (m × m)	Free stream velocity (m/s)	Reynolds number × 10 ³	Tip speed ratio	Corrected max. C _p (%)
Sheldahl et al. [16] (two-bladed rotor)	1978	Savonius	1.000	1.500	4.9 × 6.1 closed sec	14	9.3	0.85	19.5
Sheldahl et al. [16] (three-bladed rotor)	1978	Savonius	1.000	1.500	4.9 × 6.1 closed sec	14	8.67	0.65	15 including frictional power
Alexander and Holownia [17]	1978	Savonius	0.383	0.460	Closed sec	6–9	1.53–2.32	0.49	12.5
Baird and Pender [23]	1980	Savonius	0.076	0.060	0.305 × 0.305 closed sec	29.2–24.6	1.04–1.25	0.78	18.1–18.5
Bergless and Athanassiadis [24]	1982	Savonius	0.700	1.400	3.5 × 2.5 closed sec	8	2.8–3.7	0.70	12.5–12.8
Sivasegaram and Sivapalan [25]	1983	—	0.120	0.150	0.46 × 0.46 open jet	18	1.44	0.75	20
Bowden and Mc-Aleese [26]	1984	Savonius	0.164	0.162	0.76 m dia open jet	10	0.87–1.09	0.68–0.72	14–15
Ogawa and Yoshida [27] without deflector	1986	S-shaped	0.175	0.300	0.8 × 0.6 open jet	7	0.81	0.86	17
Ogawa and Yoshida [27] with deflector	1986	Savonius	0.175	0.300	0.8 × 0.6 open jet	7	0.81	0.86	21.2
Huda et al. [13] without deflector	1992	S-shaped	0.185	0.320	0.5 m dia open jet	6.5–12.25	0.08–1.5	0.68–0.71	15.2–17.5
Huda et al. [13] with deflector	1992	S-shaped	0.185	0.320	0.5 dia open jet	12.25	1.5	0.65–0.72	17–21
Grinspan [15] (twist of 10°)	2002	Twisted Savonius	0.280	0.22	0.375 × 0.375 open sec	8.22	1.327	0.669	11.59 excluding frictional power
Raj Kumar [22] (twist of 12.5°)	2004	Twisted Savonius	0.250	0.220	0.375 × 0.375 open sec	8.23	1.327	0.6523	13.99 excluding frictional power

ภาพประกอบ 2.15 ข้อมูลงานวิจัยศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพของกังหันลมชาโวเนียสตั้งแต่ปี 1978-2004 รวบรวมโดย Saha [52]

2.6 การออกแบบกังหันลมชาโวเนียส

กำลังงานที่กังหันลมชาโวเนียสสามารถสกัดได้จากลม (P_{sw}) [20], [31] จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม พื้นที่หน้าตัดรับลม และค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานของกังหันลม (Power Coefficient; C_p) กำลังงานที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียสจะพิจารณาความเร็วของลมเป็นหลัก เนื่องจากกำลังงานของลมนี้จะแปรผันตามความเร็วลมยกกำลังสาม ดังนั้นกำลังงานที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียสจะสามารถหาได้จากสมการ (2.13)

$$P_{sw} = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \quad (2.13)$$

- เมื่อ P_{sw} = กำลังงานที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส (วัตต์)
 ρ = ความหนาแน่นของอากาศ 25°C
 มีค่าเท่ากับ 1.225 (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
 A = พื้นที่หน้าตัดของกังหันลม (ตารางเมตร)
 V = ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
 C_p = ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมชาโวเนียส



ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมคือค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างกำลังงานที่ได้จากกังหันลม (P_{sw}), (Power wind turbine) กับกำลังงานที่ได้จากลม (P_a), (Power Air) ซึ่งค่ากำลังงานของกังหันลมที่ผลิตได้จะแปรผันตามค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานด้วยแสดงตาม สมการ (2.14)

$$C_p = \frac{P_{sw}}{P_a} = \frac{P_{sw}}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad (2.14)$$

เมื่อ P_a คือ กำลังงานที่ได้จากลม (วัตต์)

กำลังงานที่ผลิตโดยกังหันลมชาโวนีเยสจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ(2.15) โดยตัวแปร H และ D แสดงในภาพประกอบ 2.16 [43]

$$A = HD \quad (2.15)$$

เมื่อ H = ความสูงของกังหันลมชาโวนีเยส (เมตร)
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางของกังหันลมชาโวนีเยส (เมตร)

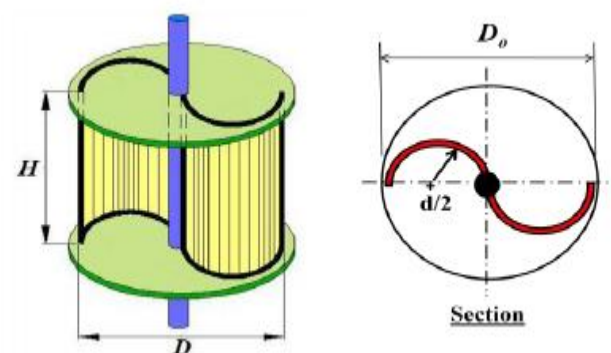
อัตราส่วนความเร็วสูงสุด (Tip speed ratio; TSP) เป็นอัตราส่วนความเร็วสูงสุดระหว่างรอบการหมุนของกังหันลมกับความเร็วของกระแสลมที่เคลื่อนที่ปะทะใบกังหันตามสมการ 2.16 โดยตัวแปรต่าง ๆ ในสมการแสดงในภาพประกอบ 2.17 [43]

$$TSP = \frac{V_{rotor}}{V} = \frac{\omega d}{V} = \frac{2\pi N d}{V 60} \quad (2.16)$$

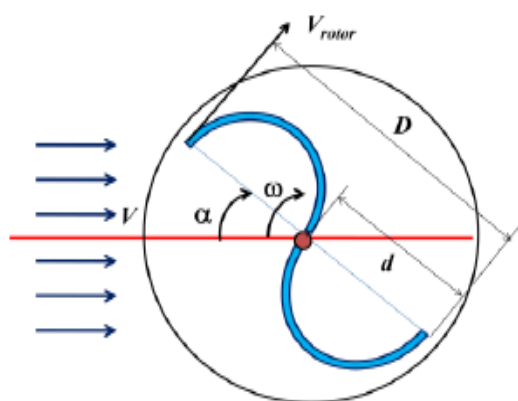
เมื่อ TSP = อัตราส่วนความเร็วสูงสุด
 V = ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)
 d = รัศมีของใบกังหัน (เมตร)
 N = ความเร็วรอบของกังหันลม (รอบต่อวินาที)
 ω = ความเร็วเชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที)

ในการออกแบบกังหันลมนั้นจะต้องมีการกำหนดค่าอัตราความเร็วสูงสุด (TSP) ให้เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้พลังงานจากลมมากที่สุด ค่า TSP ที่มากกว่า 1 นั้นจะแสดงให้เห็นว่า กังหันลมหมุนเร็วกว่าความเร็วลม แต่ถ้าหากค่า TSP น้อยกว่า 1 แสดงว่ากังหันลมนั้นหมุนช้ากว่าความเร็วลม เพราะว่ามีแรงดูดหรือแรงต้านที่ใบกังหันมากเกินไป [31]





ภาพประกอบ 2.16 แผนภาพของกังหันลมชาโวนีเยส [43]



ภาพประกอบ 2.17 อัตราส่วนความเร็วสูงสุด [43]

การออกแบบกังหันลมชาโวนีเยสที่ได้กล่าวข้างต้นเป็นเพียงวิธีออกแบบในเบื้องต้นตามทฤษฎีเท่านั้น ในการออกแบบกังหันลมชาโวนีเยสสำหรับการใช้งานจริง นอกจากจะมีการคำนึงถึงความเร็วลมและพื้นที่หน้าตัดรับลมแล้ว จะต้องมีการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์กำลังของระบบกังหันลมทั้งหมด ($C_{p,total}$) นั่นคือ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังทางกลของกังหันลม (C_p) และค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (C_g) ดังสมการ (2.17) และ (2.18) [31], [48]

$$C_p = \frac{P_{sw}}{P_a} = \frac{T\omega}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \quad (2.17)$$

$$C_g = \frac{VI}{T\omega} \quad (2.18)$$

$$C_{p,total} = C_p + C_g \quad (2.19)$$

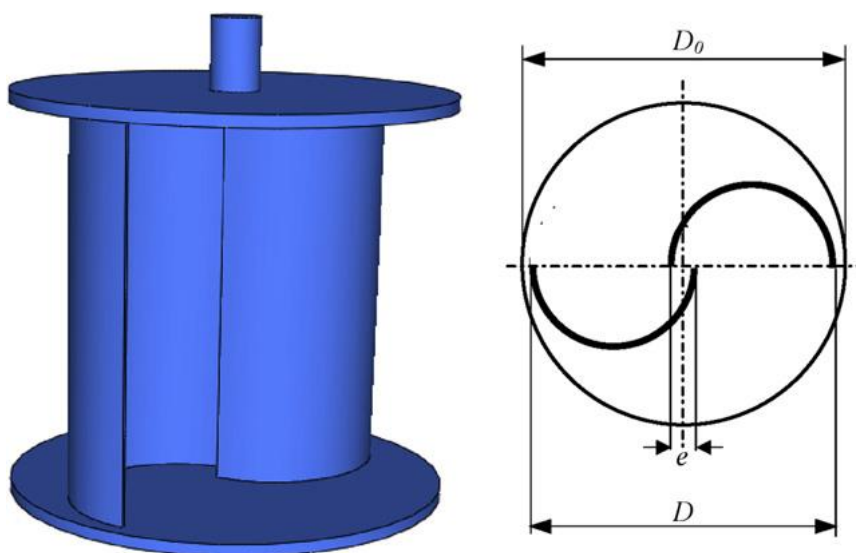


เมื่อ T = แรงบิดสูงสุดของกังหันลม (นิวตันต่อเมตร)
 V = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
 I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

หลังจากที่ได้ศึกษากังหันลมชนิดต่างๆ และได้ทำการพิจารณาเลือกกังหันลมที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาทดลองรับลมสวนทาง ผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่า กังหันลมชาโวเนียสมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองนี้ หัวข้อดังต่อไปนี้จะเป็นการกล่าวถึงกังหันลมชาโวเนียสที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการใส่ช่องรับลม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7 การออกแบบช่องรับลม

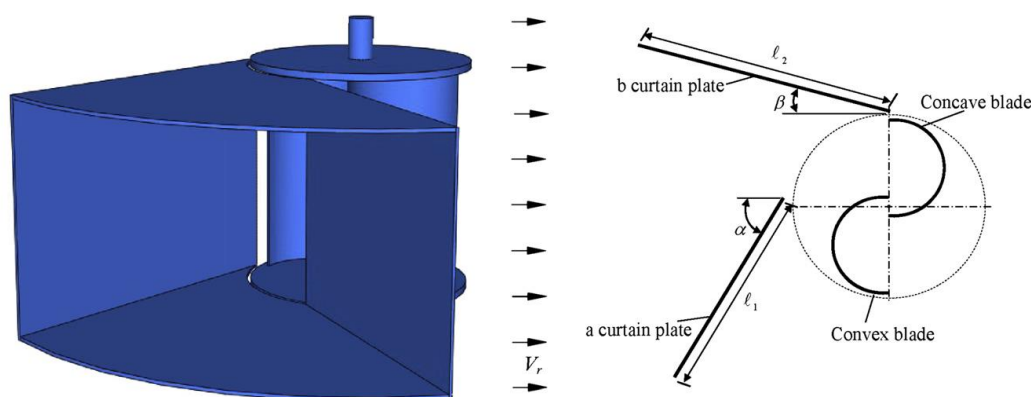
การออกแบบช่องรับลมสำหรับกังหันลมชาโวเนียสจากการศึกษาพบว่า งานวิจัยของ Altan และ Atilgan, [21] ได้ออกแบบกังหันลมแกนตั้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 32 ซม. สูง (H) 32 ซม. ระยะทับซ้อนระหว่างใบ (e) 2.6 ซม. ขนาดของใบทำจากแผ่นเหล็กหนา 2 มม. แผ่นกลมปิดหัวท้ายทำจากแผ่นเหล็กหนา 4 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_0) 35.2 ซม. แสดงดังภาพประกอบ 2.18



ภาพประกอบ 2.18 ลักษณะและค่าพารามิเตอร์ของกังหันลมชาโวเนียส [21]

จากนั้นได้ทำการสร้างช่องรับลมเพื่อทดลองเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมชาโวเนียส ขนาดของช่องรับลมที่มุม $\alpha = 45^\circ$ และ $\beta = 15^\circ$ ที่มีขนาดขอบสั้น (l_1) = 45 เซนติเมตร ขอบยาว (l_2) = 52 เซนติเมตร และสูง 32 เซนติเมตร แสดงดังภาพประกอบ 2.19 โดยในการออกแบบช่องรับลมจะถูกกล่าวไว้อย่างละเอียดในหัวข้อ 2.11





ภาพประกอบ 2.19 ลักษณะและค่าพารามิเตอร์ของช่องลม [21]

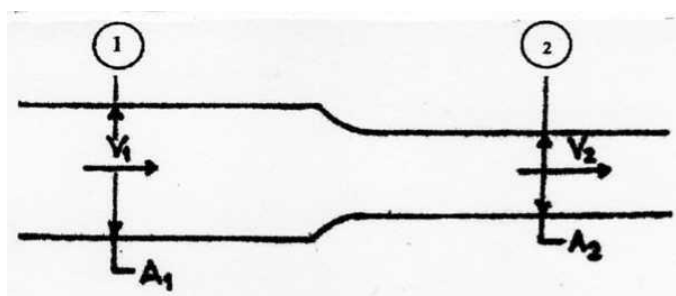
จากภาพประกอบ 2.19 ลักษณะของช่องลมจะมีพื้นที่หน้าตัดรับลมทางออกแคบกว่าพื้นที่หน้าตัดรับลมทางเข้าซึ่งจะส่งผลต่อความเร็วลมที่เคลื่อนผ่านช่องลมเข้าสู่กังหันลมชาโวเนียส ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะศึกษาลักษณะการไหลของของไหลภายในท่อทางออกที่มีขนาดเล็กลงโดยจะกล่าวถึงหัวข้อต่อไปนี้

2.8 การไหลของของไหลภายในท่อทางออกที่มีขนาดเล็กลง

จากสมการการไหลอย่างต่อเนื่อง (Equation of Continuity) เป็นสมการที่ใช้ศึกษาการไหลของของไหลภายในท่อที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอเมื่อมีการไหลภายในท่อจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 มวลของของไหลที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 จะมีค่าคงที่ตามหลักทรงมวล (Conservation of mass) [20] ซึ่งจะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 \quad (2.20)$$

เมื่อ	ρ	คือ	ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	A	คือ	พื้นที่การไหลของการไหล (ตารางเมตร)
	V	คือ	ความเร็วของการไหล (เมตรต่อวินาที)

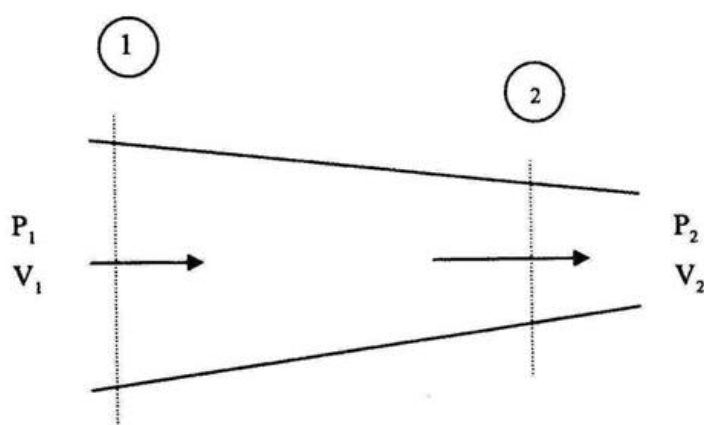


ภาพประกอบ 2.20 แสดงการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดลดขนาด [20]



จากภาพประกอบ 2.20 กรณีที่ของไหลเป็นชนิดเดียวกันและเป็นของไหลที่ไม่สามารถยุบตัวได้(Incompressible flow) ท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดที่ตำแหน่งที่ 2 แคบกว่าตำแหน่งที่ 1 ถ้าของไหลมีอัตราการไหลสม่ำเสมอความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านตำแหน่งที่ 2 จะเร็วกว่าความเร็วที่ไหลผ่านตำแหน่งที่ 1 เพราะตำแหน่งที่ 2 มีพื้นที่หน้าตัดที่เล็กกว่าจะได้ว่า ρ_1 เท่ากับ ρ_2 สรุปได้ว่าผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับอัตราเร็วของของไหลอุดมคติไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งใดในท่อการไหลจะมีค่าคงตัวดังนั้นจากสมการที่ (2.20) จะสามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.21)$$



ภาพประกอบ 2.21 แสดงการไหลของกระแสลมในท่อลดขนาด [20]

จากภาพประกอบ 2.21 ถ้าให้อากาศไหลผ่านท่อลดขนาดที่จุด 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เมตร ความเร็ว V_1 เท่ากับ 4 เมตรต่อวินาที และมีความดัน P_1 เป็น 270,000 (นิวตันต่อตารางเมตร) ไหลออกที่จุดที่ 2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 0.6 เมตรจะได้ความเร็ว V_2 และ P_2 ที่จุด (2) ดังนี้

แทนค่าในสมการ (2.21) จะได้

$$\begin{aligned} \pi(0.6m)^2 (4m/s) &= \pi(0.3m)^2 V_2 \\ 4.524m^3/s &= 0.283m^2 (V_2) \\ V_2 &= 16m/s \end{aligned}$$

จากสมการเบอร์นูลลี (Bernoulli, s Equation) หา P_2

$$P_1 / \gamma + V_1^2 / 2g + Z_1 = P_2 / \gamma + V_2^2 / 2g + Z_2 \quad (2.22)$$



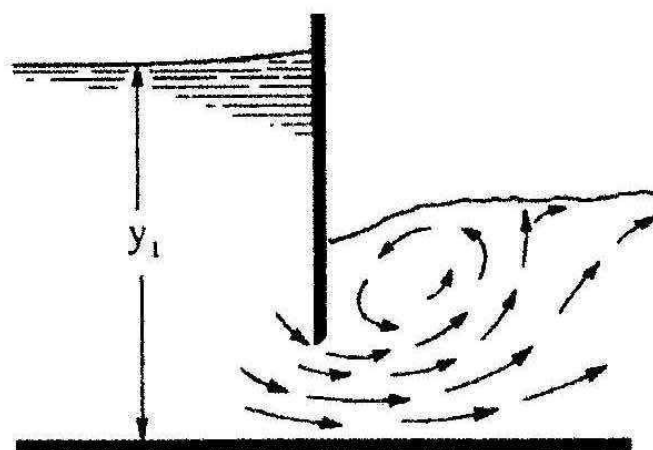
จะได้

$$\frac{(270,000 \text{ N} / \text{m}^2)}{(9,810 \text{ N} / \text{m}^3)} + \frac{(4 \text{ m} / \text{s})^2}{(2 \times 9.81) \text{ m} / \text{s}^2} = \frac{P_2}{(9,810 \text{ N} / \text{m}^3)} + \frac{(16 \text{ m} / \text{s})^2}{(2 \times 9.81) \text{ m} / \text{s}^2}$$

$$P_2 = 150,000 \text{ N} / \text{m}^2$$

จะเห็นว่าจุดที่ 2 นั้นจะมีความเร็วของกระแสลมที่สูงกว่าจุดที่ 1 และมีความดัน P_2 ที่จุดที่ 2 ต่ำกว่า P_1 ที่จุดที่ 1 เนื่องจากกระแสลมที่ไหลเข้าช่องทางที่กว้างกว่าและไหลออกที่ช่องทางที่แคบลงจะทำให้กระแสลมที่ไหลออกมีความเร็วลมที่สูงขึ้น

นอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้ศึกษาในเรื่อง การไหลของของไหลผ่านช่องทางที่มีแผ่นขวางกั้นของไหล จะมีลักษณะการไหลที่หมุนวนดังภาพประกอบ 2.22 เนื่องจากในระหว่างทดลองการทำงานของกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคูล์นั้น ในระหว่างการทดลองนั้นจะมีการวางตำแหน่งของช่องลมคูล์เพื่อรับลมสวนทางที่ตำแหน่งองศา 90 ถึง -90 องศา ซึ่ง ณ ตำแหน่งหนึ่งจะมีการวางตำแหน่งของช่องลมคูล์คล้ายกับภาพประกอบ 2.22 เมื่อมีการรับลมสวนทางจะทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศ อาจจะทำให้ส่งผลต่อการหมุนของกังหันลมและการผลิตแรงดันไฟฟ้า [20]



ภาพประกอบ 2.22 การไหลของของไหลผ่านช่องทางที่มีแผ่นขวางกั้น [20]

จากหัวข้อเรื่องการไหลของของไหลภายในท่อทางออกที่มีขนาดเล็กลง เหตุผลที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเนื่องจากว่าช่องลมที่ผู้วิจัยได้ศึกษาจากงานของ Altan และนำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยนี้มีลักษณะคล้ายท่อลดขนาด ที่มีพื้นที่หน้าตัดทางออกแคบกว่าพื้นที่หน้าตัดทางเข้า ซึ่งจะทำให้ความเร็วลมที่เคลื่อนผ่านช่องลมเข้าสู่กังหันลมชาโวเนียสมีความเร็วลมสูงขึ้น

ในการศึกษาพฤติกรรมการผลิตและระดับแรงดันไฟฟ้าของกังหันลม กังหันลมจะเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Generator) โดยสัญญาณและค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสจะถูกนำมา



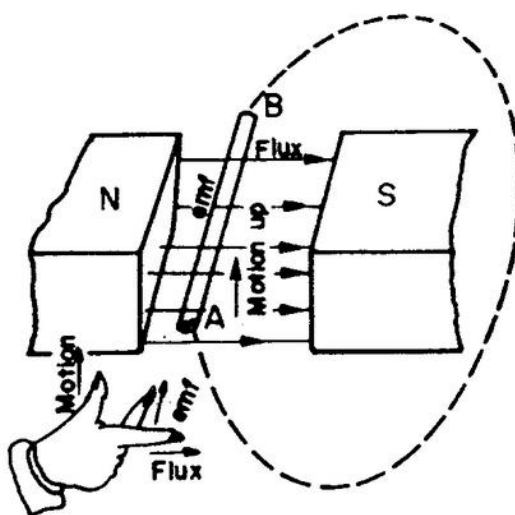
วิเคราะห์ และสรุปผลการทำงานของกันหันลมนชาโวนีเยส เมื่อมีการรับลมสวนทางเปรียบเทียบกับ การรับลมทิศทางเดียวจะมีผลแตกต่างกันอย่างไร ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงความเข้าใจถึงหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะกล่าวดังหัวข้อต่อไปนี้

2.9 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า จากกฎของฟาราเดย์เมื่อนำแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่าน ขดลวดหรือนำขดลวดเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดกระแสไฟฟ้าจะเกิดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนขดลวดจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก และความเร็วในการเคลื่อนที่ของแม่เหล็ก อธิบายได้ดังสมการ 2.23 [49]

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.23)$$

เมื่อ e = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)
 N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)
 ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์)
 T = เวลา (วินาที)



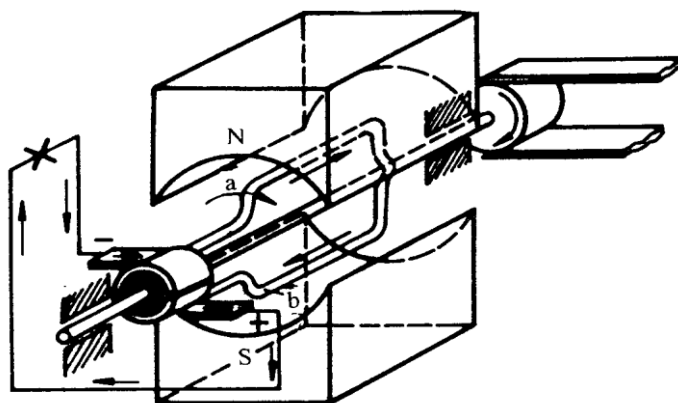
ภาพประกอบ 2.23 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กตามกฎของ ฟาราเดย์ และเฟรมมิง [49]

จากหลักการดังกล่าวจะเป็นหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Generator) และ กระแสสลับ (A.C. Generator)



2.9.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะประกอบด้วยขดลวดเพียงขดเดียว (2 ตัวนำ) โดยปลายทั้งสองข้างจะต่อเข้ากับซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ เมื่อทำให้หมุนในสนามแม่เหล็ก N-S จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับบนตัวนำทั้งสองของขดลวด และจะเกิดเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อผ่านซี่ของทองแดงของคอมมิวเตเตอร์

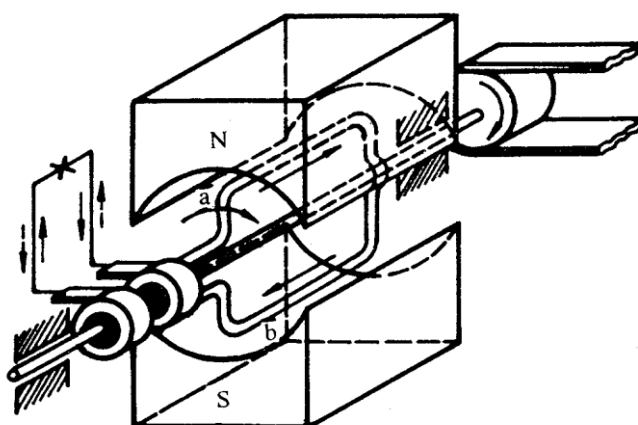


ภาพประกอบ 2.24 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง [49]

ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงจะเกิดได้จากการต่อปลายทั้งสองข้างของขดลวดตัวนำเข้ากับซี่ของคอมมิวเตเตอร์ เพื่อเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง

2.9.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

มีลักษณะการทำงานคล้ายกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แต่จะต่างกันที่ปลายทั้งสองข้างของขดลวดตัวนำ จะถูกต่อเข้ากับแหวนทองแดง หรือ สลิปริง (Slip Ring) เพื่อนำกระแสสลับที่เกิดขึ้นบนตัวนำไปใช้โดยตรงด้วยการต่อผ่านสลิปริง



ภาพประกอบ 2.25 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ [49]

2.10 คุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ในการศึกษาพฤติกรรมการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส เมื่อมีการรับลมสวนทางจะมีการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากกังหันลม โดยจะใช้ระลอกคลื่น (Ripple) ในการพิจารณา ซึ่งระลอกคลื่นจะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกังหันลมแกนตั้งที่มีช่องลมคู่เปรียบเทียบกับกังหันลมแกนตั้งที่ไม่ติดตั้งช่องลม ดังแสดงในสมการ 2.24 [50]

$$\%R = \frac{\Delta V}{V_{DC}} \times 100 \quad (2.24)$$

เมื่อ ΔV = ระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้า (V)
 V_{dc} = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ย (V)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Zarkesh [16] ได้นำเสนอแนวคิดในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมบนถนนเพื่อแจกจ่ายให้กับไฟแสงสว่างบริเวณถนน รวมไปถึงพื้นที่โดยรอบ โดยถนนที่พิจารณานั้นเป็นลักษณะของถนน 4 ช่องทางและได้นำเสนอการวางบล็อกคอนกรีตบริเวณกึ่งกลางของถนนและบริเวณข้างถนน แสดงดังภาพประกอบ 2.26 แทบสีแดงแสดงตำแหน่งที่จะวางบล็อกคอนกรีต



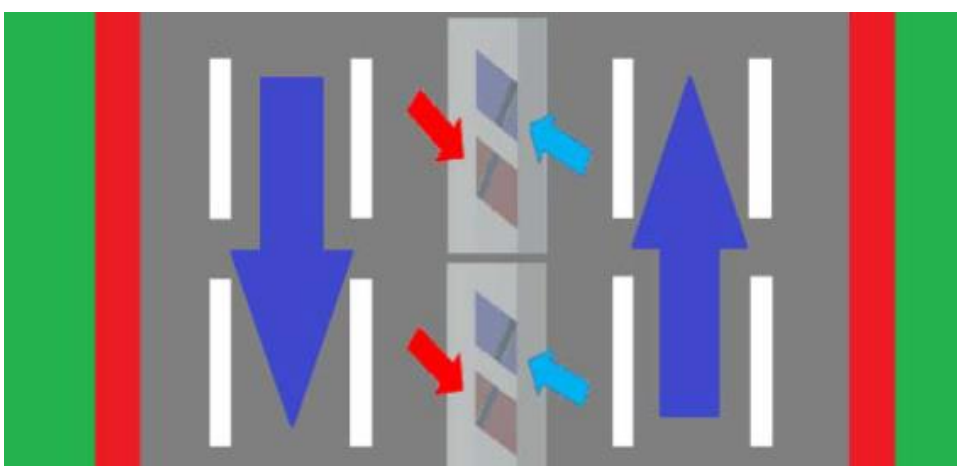
ภาพประกอบ 2.26 แสดงตำแหน่งที่จะวางบล็อกคอนกรีต [16]

ภาพประกอบ 2.27 และ 2.28 แสดงลักษณะการวางบล็อกคอนกรีตบริเวณข้างถนนและกึ่งกลางถนน เพื่อรับลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ จากภาพจะเห็นได้ว่าบริเวณกึ่งกลางถนนเมื่อมีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสวนทางกันจะทำให้เกิดลักษณะลมเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณกึ่งกลางถนนสองทิศทาง จึงทำให้บริเวณกึ่งกลางถนนมีโอกาสเกิดลมได้มากกว่าบริเวณข้างถนน





ภาพประกอบ 2.27 ลักษณะการวางบล็อกคอนกรีตบริเวณข้างถนน [16]

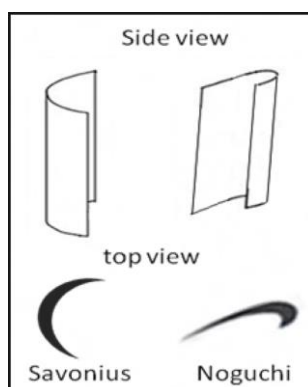


ภาพประกอบ 2.28 ลักษณะการวางบล็อกคอนกรีตบริเวณกลางถนน [16]

ภายในบล็อกคอนกรีตจะติดตั้งกังหันลมแกนนอนเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า และมีช่องรับลมเพื่อบังคับทิศทางลมที่ให้เข้าสู่กังหันลมแกนนอนโดยตรง จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะเคลื่อนที่ โดยมีความคิดที่จะนำมาใช้กับถนนหลวงที่มีความยาว 10 กิโลเมตร และมีความเป็นไปได้ที่จะผลิตไฟฟ้าได้ 3 เมกกะวัตต์ต่อวัน จากการวิเคราะห์ของ Ali Zarkesh ขนาดบล็อกคอนกรีตที่มีความยาว 2 เมตร ถ้าหากติดตั้งทั้งบริเวณกึ่งกลางถนน และบริเวณข้างถนน ตลอดทั้งความยาวของถนนหลวง 10 กิโลเมตร จะทำให้มีบล็อกคอนกรีตทั้งหมด 15000 บล็อก และภายในบล็อกคอนกรีต แต่ละบล็อกจะมีกังหันลมแกนนอนผลิตไฟฟ้า 2 เครื่อง ดังนั้นที่ตลอดความยาวของถนนหลวง 10 กิโลเมตร จะมีกังหันลมแกนนอนผลิตไฟฟ้าจำนวน 30000 เครื่อง จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่มีอัตราความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ 36 โวลต์ 3800 มิลลิแอมป์ ที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.8 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสามารถผลิตพลังงานได้ประมาณ 100 วัตต์ และจะได้ 3 เมกกะวัตต์ ที่เครื่อง

กำเนิดไฟฟ้า 30000 เครื่อง อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการจัดสร้างกังหันจริง เป็นเพียงการทดลองและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เท่านั้น

งานวิจัยของ Sathyanarayanan[18] ได้มองถึงปัญหาแสงสว่างในเวลากลางคืนบริเวณถนนที่อยู่ห่างจากตัวเมือง ซึ่งในการติดตั้งโคมไฟถนนนั้น มีความยากลำบากในการวางสายไฟฟ้าใต้ดิน เพื่อจ่ายให้กับโคมไฟถนนที่ห่างจากพื้นที่ในเมือง ดังนั้นเลยมีการเสนอแนวคิดในการที่จะติดตั้งกังหันลมแกนตั้ง โดยมีการติดตั้งไว้บริเวณเกาะกลางถนน เพื่อรับลมจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและธรรมชาติ โดยงานวิจัยนี้ได้เสนอเป็นกังหันลมแกนตั้งลักษณะของใบพัดเป็นการผสมระหว่างใบพัดชนิด C-type หรือ Savonius และ J-type หรือ Noguchi ลักษณะใบพัดแสดงดังภาพประกอบ 2.29

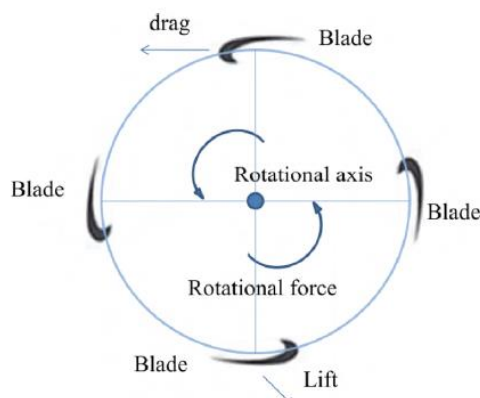


ภาพประกอบ 2.29 ลักษณะของใบพัดชนิด C-type หรือ Savonius และ J-type หรือ Noguchi [18]

กังหันลมจะอาศัยแรงยก (Lift force) และแรงต้าน (Dragforce) ในการหมุน และได้สร้างโมเดลกังหันลมเพื่อจำลองการทำงาน ภาพประกอบ 2.30 แสดงภาพตัวอย่างโมเดลกังหันลมแบบแรงผสม ในการทดลองได้ใช้พัดลมเป็นแหล่งกำเนิดลม สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ออก 1-1.2 โวลต์



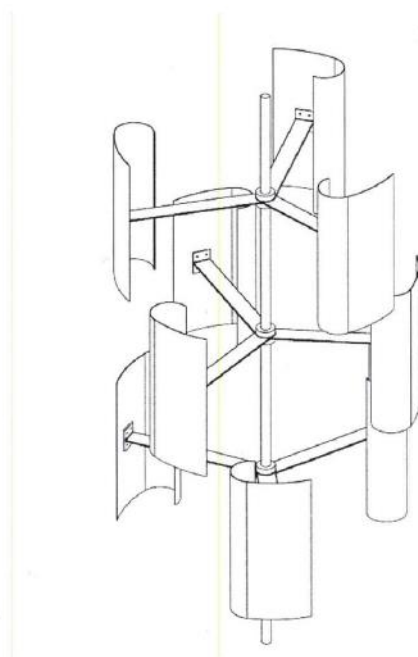
(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 2.30 แสดงภาพตัวอย่างโมเดลกังหันลมแบบแรงผสม (ก) และลักษณะการเกิดแรงของกังหันลม (ข) [18]

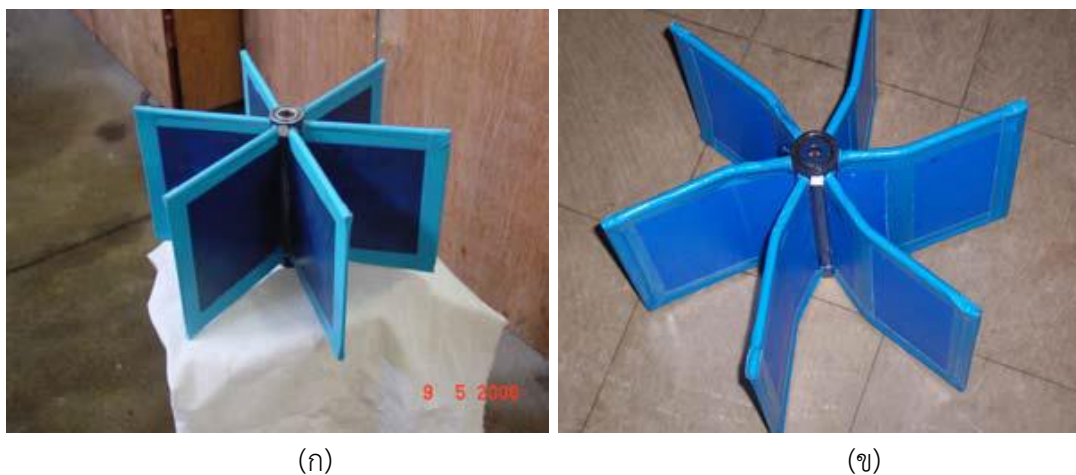
งานวิจัยของ วิรัชย์ โรยณรินทร์ และคณะ [15] ได้มีการออกแบบและสร้างกังหันลมแบบแรงผสม แสดงดังภาพประกอบ 2.31 โดยอาศัยลมจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ และลมจากธรรมชาติ เป็นต้นกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้า



ภาพประกอบ 2.31 ลักษณะของกังหันลมแบบแรงผสม [15]

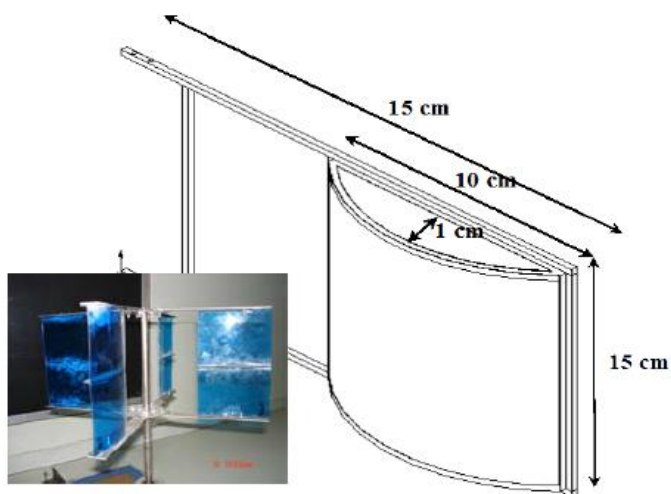
ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที ขณะต่อโหลดกังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่ 30 โวลต์ 5 แอมแปร์ (DC) ประสิทธิภาพของกังหันลมอยู่ที่ 20.4 เปอร์เซ็นต์ กังหันลมสามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเอง ที่ความเร็วลมต่ำ ดังนั้นกังหันลมที่สร้างขึ้นสามารถพัฒนาต่อให้สามารถติดตั้งใช้งานได้บนถนนจริงต่อไป

งานวิจัยของ สมจิต ชินะใจ [20] มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมรรถนะและวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานของกังหันลมแกนตั้งโดยใช้กรอบเสริมกันบังคับลมเข้า ทำการทดลองปรับเปลี่ยนกรอบเสริมกันบังคับลมเข้าที่ตั้งค่าไว้มีค่าต่างกัน 7 มุม มีมุม 0 15 30 45 60 75 และ 90 องศา ตามลำดับ และปรับเปลี่ยนพื้นที่ช่องลมเข้า 4 ค่า ตั้งแต่ 0.01-0.04 ตารางเมตร ทดสอบในอุโมงค์ลม พื้นที่หน้าตัดช่วงการทำงานขนาด 25 x 50 ตารางเซนติเมตร ผลจากการวิจัยพบว่า การแปรเปลี่ยนมุมกรอบเสริมกันบังคับลมเข้า พื้นที่ช่องลมเข้าและแปรเปลี่ยนความเร็วลม มีผลทำให้ความเร็วรอบเพลากำลังขาออก และแรงบิด เพิ่มขึ้น ในกรณีใช้ใบพัดแบบตรง และกรณีใช้ใบพัดแบบหลังดัดโค้งหลังทำมุม 15 องศา แสดงดังภาพประกอบ 2.32 ซึ่งพบว่า การทดสอบทั้ง 2 กรณี ได้ตำแหน่งที่ใช้กรอบเสริมกันบังคับลมเข้ามุม 75 องศา ใช้พื้นที่ภาคตัดช่องลมเข้าขนาด 0.01ตารางเมตร เหมือนกัน คือให้กำลังขาออกสูงสุด คือ 5.5 และ 7.1 วัตต์ แรงบิดอยู่ที่ 4.9×10^{-2} และ 7.1×10^{-2} นิวตัน- เมตร และได้ประสิทธิภาพ 47.2 % และ 57.3% ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2.32 แสดงลักษณะใบพัดแบบตรง (ก) และใบพัดแบบดัดโค้งทำมุม 15 องศา (ข) [20]

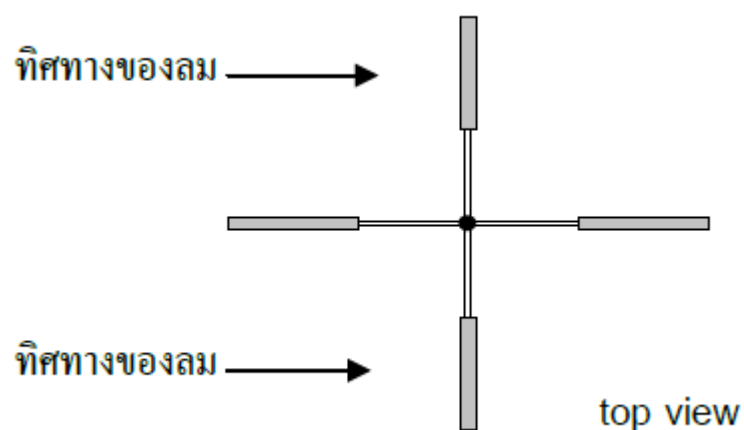
งานวิจัยของ สัมพันธ์ไชยเทพและคณะ [51] ได้ทำการศึกษาผลของมุมปะทะต่อการเริ่มหมุนของระบบกังหันลมแกนตั้งแบบใบปรับโค้ง และได้สร้างกังหันลมแกนตั้งมีใบพัดแบบแผ่นเรียบ ขนาดยาว 15 เซนติเมตร กว้าง 10 เซนติเมตร รัศมีกังหัน 15 เซนติเมตร และแบบแผ่นเรียบดัดโค้ง ใบพัดกังหันเป็นการพัฒนาจากกังหันลมแบบแผ่นเรียบ โดยนำมาดัดใบกังหันให้โค้งที่สัดส่วนความโค้งต่อความกว้างของใบเท่ากับ 1 ต่อ 10 ใบมีความกว้าง เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร และมีส่วนโค้งสูงสุดเท่ากับ 1 เซนติเมตร รัศมีกังหัน 15 เซนติเมตร แสดงดังภาพประกอบ 2.33



ภาพประกอบ 2.33 กังหันลมแกนตั้งที่มีใบพัดแผ่นเรียบดัดโค้ง [51]

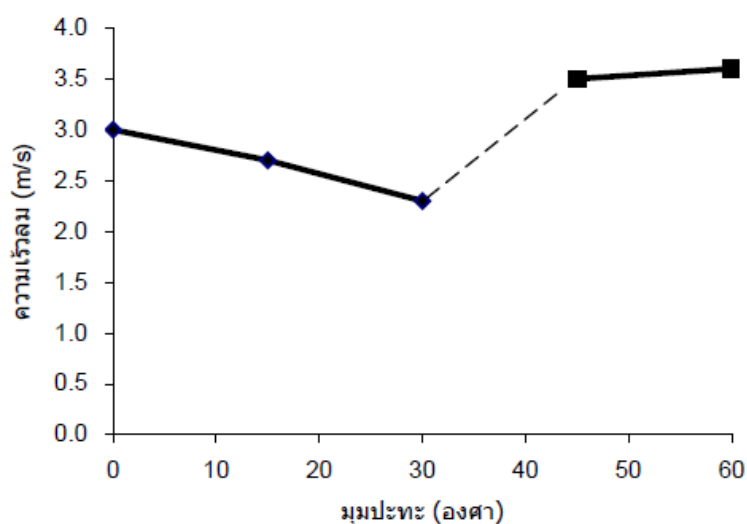
โดยทำการทดสอบในอุโมงค์ลมที่ความเร็วลมปัจจัยที่ทำการศึกษาคือมุมปะทะเริ่มต้นของกังหันต่อการเริ่มทำงานของกังหันผลการศึกษาพบว่า กังหันแบบใบพัดแผ่นเรียบไม่สามารถเริ่มหมุนได้

ด้วยตัวเอง ต้องเสริมระบบช่วยการหมุน เนื่องจากแรงกระทำของลมต่อใบกังหันมีค่าเท่ากันทั้งสองด้านของกังหัน กังหันจึงไม่สามารถหมุนได้ แสดงดังภาพประกอบ 2.34



ภาพประกอบ 2.34 ลักษณะของลมที่เคลื่อนที่ปะทะใบพัดแบบเรียบ [51]

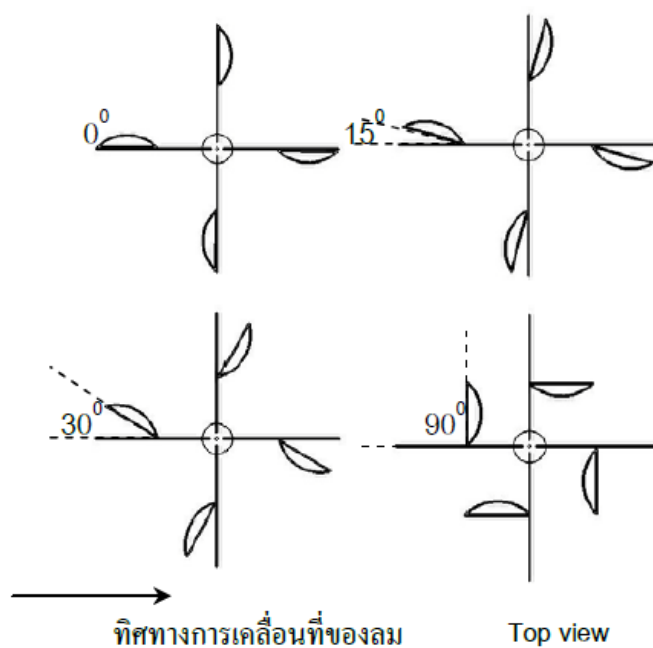
ในส่วนการทดสอบการเริ่มหมุนของกังหันลมแบบใบพัดแบบแผ่นเรียบโค้งพบว่า ที่มุมปะทะ จาก 0 ถึง 30 องศา ความเร็วลมเริ่มหมุนของกังหันมีค่าน้อยลง โดยมีความเร็วเริ่มหมุนประมาณ 3 เมตรวินาที แต่เมื่อมุมปะทะมีค่าสูงขึ้น (45 และ 60 องศา) ความเร็วเริ่มหมุนมีค่าสูงขึ้น (มากกว่า 3.5 เมตรวินาที) แสดงดังภาพประกอบ 2.35



ภาพประกอบ 2.35 ความเร็วลมที่ทำให้กังหันเริ่มหมุนที่มุมปะทะต่างๆ (ไม่มีข้อมูลการทดลอง) [51]

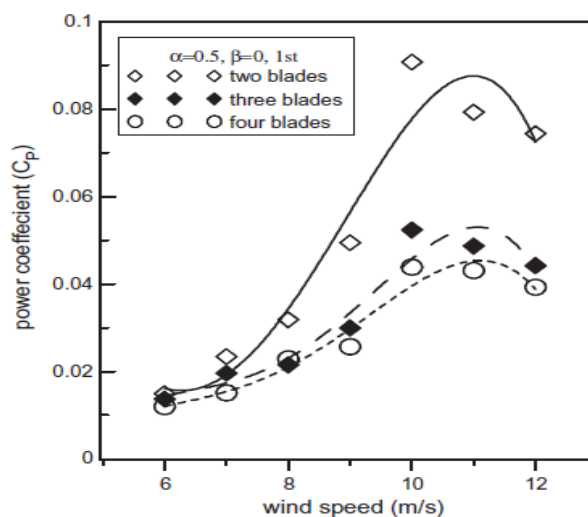


และจากการทดลองพบว่า ในกรณีมุมปะทะ 90° องศา กังหันลมไม่เกิดการหมุนไม่ว่าที่ความเร็วลมใดๆ แม้จะทำการช่วยหมุนกังหันลมก็ไม่เกิดการหมุน แต่จะเกิดการส่ายของกังหันไปมาเท่านั้น มุมของใบพัดที่ได้ทำการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 2.36



ภาพประกอบ 2.36 ตัวอย่างมุมของใบพัดรับลมที่ทำการศึกษา [51]

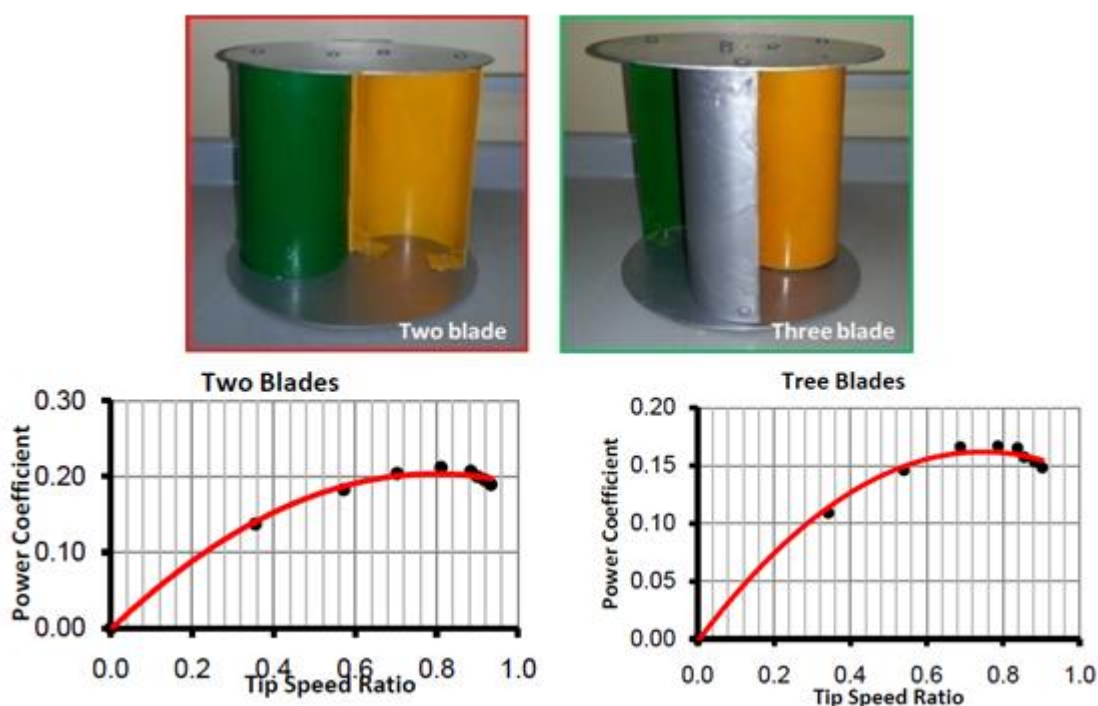
งานวิจัยของ Mahmoud [19] ได้ทำการศึกษาและทดลองปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมชาโวเนียสโดยทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของกังหันลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 62 ซม. และสูง 62 ซม. โดยทดสอบด้วยจำนวนใบพัด 2 3 และ 4 ใบ พบว่า กังหันลมชาโวเนียสแบบ 2 ใบพัด ให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงสุดที่ 0.08 แสดงดังภาพประกอบ 2.37



ภาพประกอบ 2.37 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์กำลังกังหันลมแกนตั้งชาโวเนียส 2, 3 และ 4 ใบ [19]

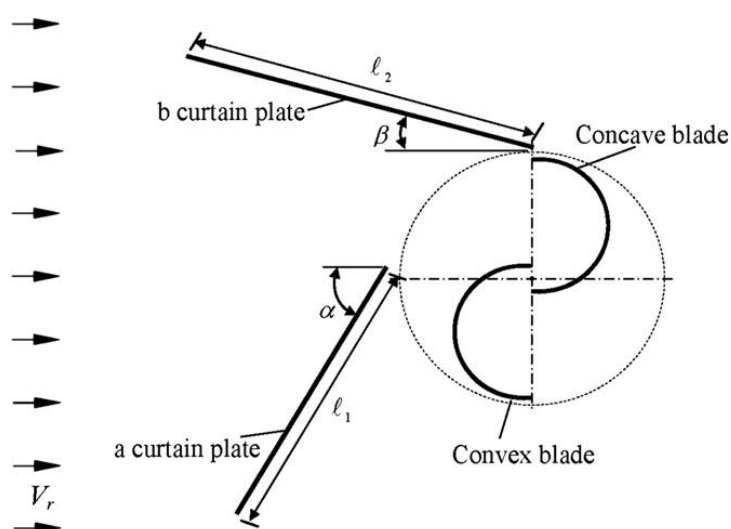


งานวิจัยของ Mohammed Hadi Ali [43] ได้ทำการเปรียบเทียบการทำงานของกังหันลมแกนตั้งซาโวนีเยส 2 ใบและ 3 ใบ ในการสร้างกังหันลมทั้งสองแบบจะสร้างจากแผ่นอลูมิเนียม โดยมีอัตราส่วน aspect ratio ($A_s = H/D = 1$), เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 เซนติเมตร (D) และสูงเท่ากับ 20 เซนติเมตร (H) ขนาดของใบพัดมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร กังหันทั้งสองแบบมีอัตราส่วนการทับซ้อนเท่ากับ over lap ratio = 0 ทดสอบโดยใช้อุโมงค์ลมความเร็วลมต่ำ โดยส่วนใหญ่กังหันลม Savonius จะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ Tip speed ratio เท่ากับ 1 และมีแรงบิดเริ่มต้นสูงที่ความเร็วลมต่ำ จากผลการทดลองกังหันลมซาโวนีเยส 2 ใบ จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า 3 ใบ เนื่องจากการเพิ่มจำนวนของใบนั้นจะทำให้เกิดแรงบิดที่เกิดจากใบกังหันมากขึ้น ทำให้กังหันลมที่มี 3 ใบมีประสิทธิภาพลดลง ลักษณะของกังหันลมและผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 2.38



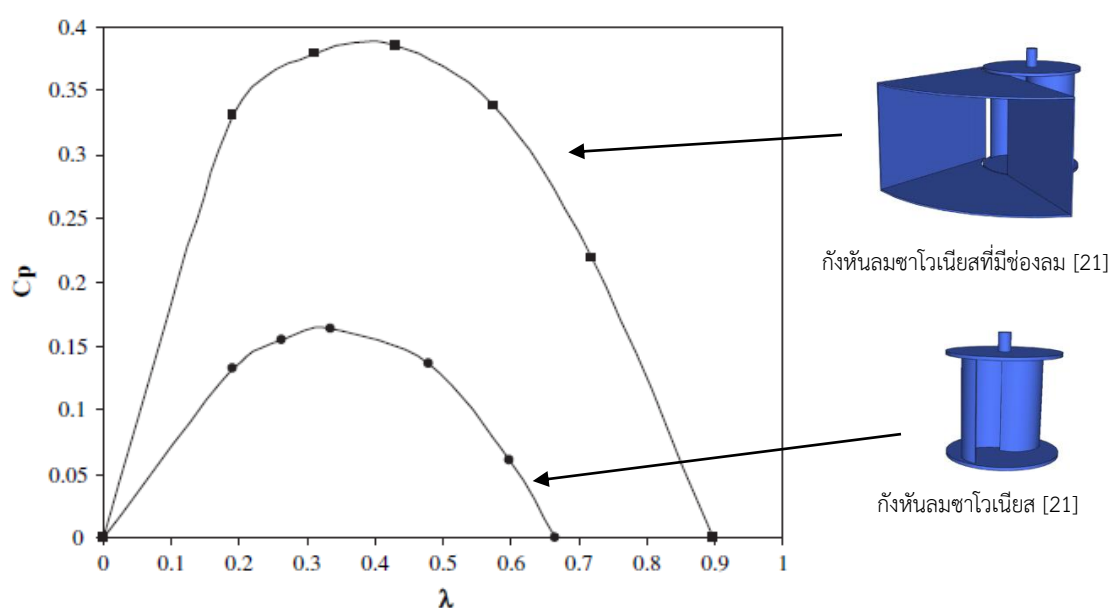
ภาพประกอบ 2.38 กังหันลมแกนตั้งแบบซาโวนีเยส 2 และ 3 ใบ และค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานของกังหันลมทั้งสองชนิด [43]

งานวิจัยของ Altan และ Atilgan [21] ได้ออกแบบกังหันลมซาโวนีเยส จากการทดลองกังหันลมให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังประมาณ 0.17 และได้ทำการสร้างช่องลมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลม ช่องลมนี้จะบังคับทิศทางลมเข้าสู่ใบกังหันโดยตรงในด้านที่มีส่วนเว้า เพื่อป้องกันแรงบิดเชิงลบที่เกิดจากใบกังหันด้านที่มีส่วนโค้ง โดยช่องลมนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ด้านคือด้านขอบสั้น (ℓ_1) และขอบยาว (ℓ_2) แสดงดังภาพประกอบ 2.39



ภาพประกอบ 2.39 ค่าพารามิเตอร์ของช่องลม [21]

ในการทดลองหาขนาดของช่องลมขอบสั้นและขอบยาวจะถูกเพิ่มขนาดความยาวขึ้นไปเรื่อยๆ เพื่อหาความยาวที่เหมาะสม โดยจะมีการทดลองที่ 3 ระดับ คือ ขอบสั้น (ℓ_1) จะทดลองที่ความยาว 45 34 และ 22 เซนติเมตร ขอบยาว (ℓ_2) จะทดลองที่ความยาว 52 39 และ 26 เซนติเมตร มุม (α) จะมีการทดลองที่มุม 45 60 และ 90 องศา และ มุม (β) จะมีการทดลองที่มุม 10 และ 15 องศา จากผลการทดลองพบว่าที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที ตำแหน่ง (ℓ_1) = 45 เซนติเมตร (α) = 45 องศา (ℓ_2) = 52 เซนติเมตร และ (β) = 15 องศา จะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุดที่ 0.38 แสดงดังภาพประกอบ 2.40



ภาพประกอบ 2.40 ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานระหว่างกังหันลมแกนชาโวเนิสกับกังหันลมชาโวเนิสที่มีช่องลม [21]



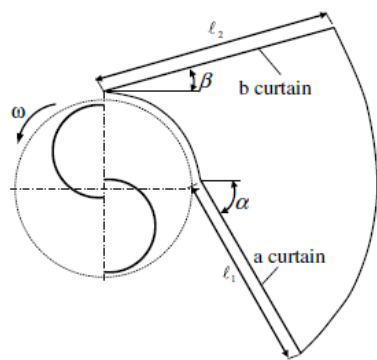
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

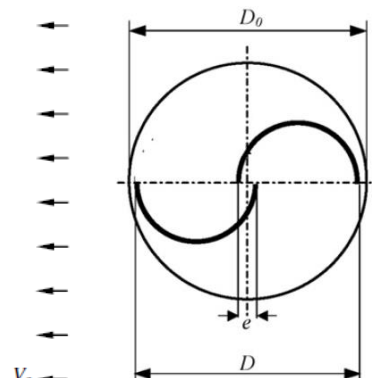
จากบทที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้สรุปข้อมูลปริมาณการจราจรของยานพาหนะบนถนนหลวงสายหลัก และบนทางด่วนทุกสายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเพื่อพิจารณาถึงโอกาสเกิดลมจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะบนถนน สรุปได้ว่า ปริมาณการจราจรบนทางหลวงสายหลัก และการจราจรบนทางด่วน ในแต่ละวันมีการจราจรเป็นจำนวนมาก จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะบนถนน มีโอกาสเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง จากนั้น ผู้วิจัยได้พิจารณาถึงจุดที่มีโอกาสการเกิดลมจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะบนถนนมากที่สุด ระหว่างบริเวณกึ่งกลางถนนและบริเวณข้างถนน จึงสรุปได้ว่าบริเวณกึ่งกลางถนนนั้นมีโอกาสเกิดลมได้มากที่สุด เนื่องจากบริเวณกึ่งกลางถนนจะมีลมเกิดขึ้นสองทิศทางเป็นลักษณะลมสวนทาง ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่สวนทางกันของยานพาหนะ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้นำลักษณะ ลมสวนทาง มาทดลองกับกังหันลมเพื่อศึกษาพฤติกรรมการผลิตแรงดันไฟฟ้า จากนั้นผู้วิจัยได้ศึกษาชนิดของกังหันลม และพิจารณาถึงกังหันลมที่มีความเหมาะสมสำหรับรับลมสวนทาง สรุปได้ว่า กังหันลมแกนตั้งซาโวนีเยส มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก กังหันลมแกนตั้งซาโวนีเยสมีคุณสมบัติทำงานได้ดีที่ความเร็วลมต่ำ มีแรงบิดเริ่มต้นที่ดี มีการออกแบบและสร้างได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวเอง

3.1 การออกแบบและจัดสร้างกังหันลมต้นแบบ

กังหันลมแกนตั้งซาโวนีเยสที่ได้นำเสนอในผลงานของ Altan [21] ที่มีลักษณะแสดงดังภาพประกอบ 3.1 ได้ถูกนำมาดัดแปลงเพื่อทำเป็นต้นแบบกังหันลมซาโวนีเยสที่มีช่องลมคู่เพื่อใช้ในการทดลองรับลมสวนทางผู้วิจัยได้ออกแบบมีลักษณะตามภาพประกอบ 3.2



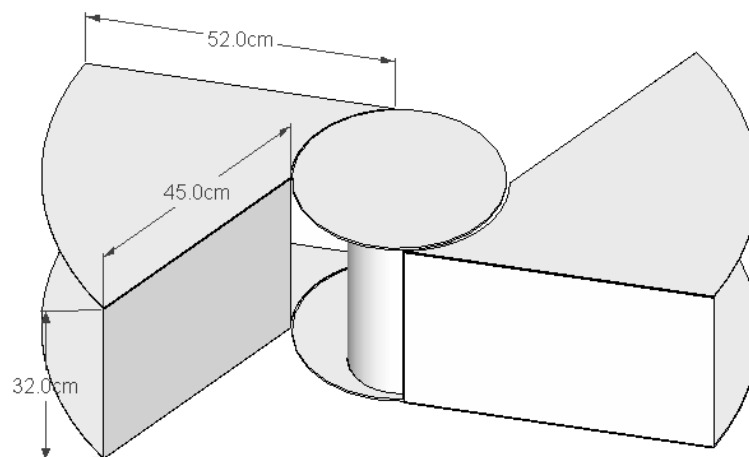
(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 3.1 ลักษณะค่าพารามิเตอร์ของกังหันลมซาโวนีเยส และช่องลม [21]





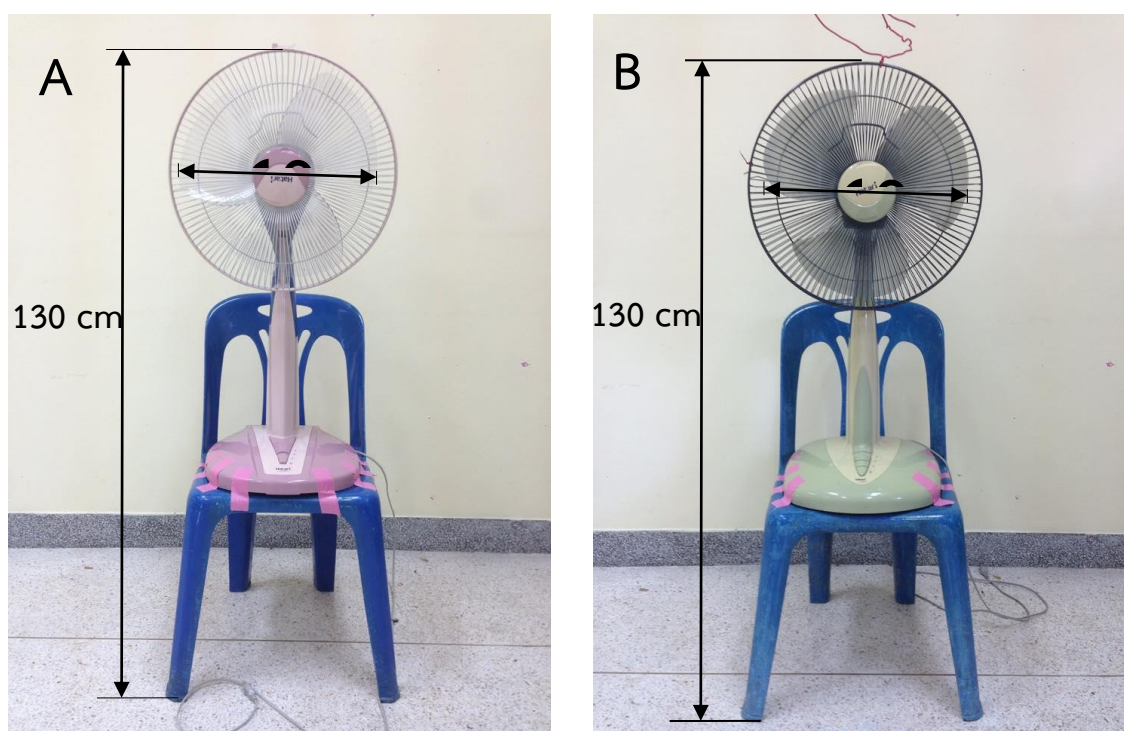
ภาพประกอบ 3.2 ต้นแบบกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่

โดยกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่ต้นแบบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 32 เซนติเมตรสูง (H) 32 เซนติเมตรระยะทับซ้อนระหว่างใบ (e) 2.6 เซนติเมตรกังหันประกอบด้วยใบพัด 2 ใบพัด โดยใบพัดทำจากแผ่นสังกะสีหนา 0.35 มิลลิเมตร แผ่นกลมปิดหัวท้ายทำจากแผ่นไม้อัดหนา 6 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D_0) 35.2 เซนติเมตร และได้ทำการสร้างช่องลม ที่มุม $\alpha = 45^\circ$ และ $\beta = 15^\circ$ ที่มีขนาดขอบสั้น (l_1) 45 เซนติเมตร ขอบยาว (l_2) 52 เซนติเมตรและสูง 32 เซนติเมตร จำนวน 2 ชุด เพื่อบังคับให้ทิศทางลมเข้าสู่ใบกังหันโดยตรงทั้งเพลของกังหันลมจะถูกเชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 28 วัตต์ 140 โวลต์ และจะมีการวัดคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เพื่อศึกษาพฤติกรรมการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่ เปรียบเทียบกับกังหันที่ไม่มี การติดตั้งช่องลม

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 แหล่งกำเนิดลมสวนทางสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้พัดลมตั้งพื้นจำนวน 2 เครื่อง เพื่อสร้างลมสวนทาง แต่ละเครื่องมีความสูงจากพื้น 130 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 40 เซนติเมตร กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์ แสดงดังภาพประกอบ 3.3





ภาพประกอบ 3.3 ขนาดของพัดลมที่นำมาใช้กำหนดลมสวนทาง

3.2.2 เครื่องวัดความเร็วลมเป็นเครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 3 เซนติเมตรแสดงหน่วยความเร็วเป็น เมตรต่อวินาที แสดงดังภาพประกอบ 3.4



ภาพประกอบ 3.4 เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัด

3.2.3 ออสซิลโลสโคปใช้วัดสัญญาณและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ และสรุปผลการทำงานของกังหันลมแกนตั้งชาโวเนียส





ภาพประกอบ 3.5 ออสซิลโลสโคปที่ใช้สำหรับการทดลองนี้

3.3 วิธีการทดลอง

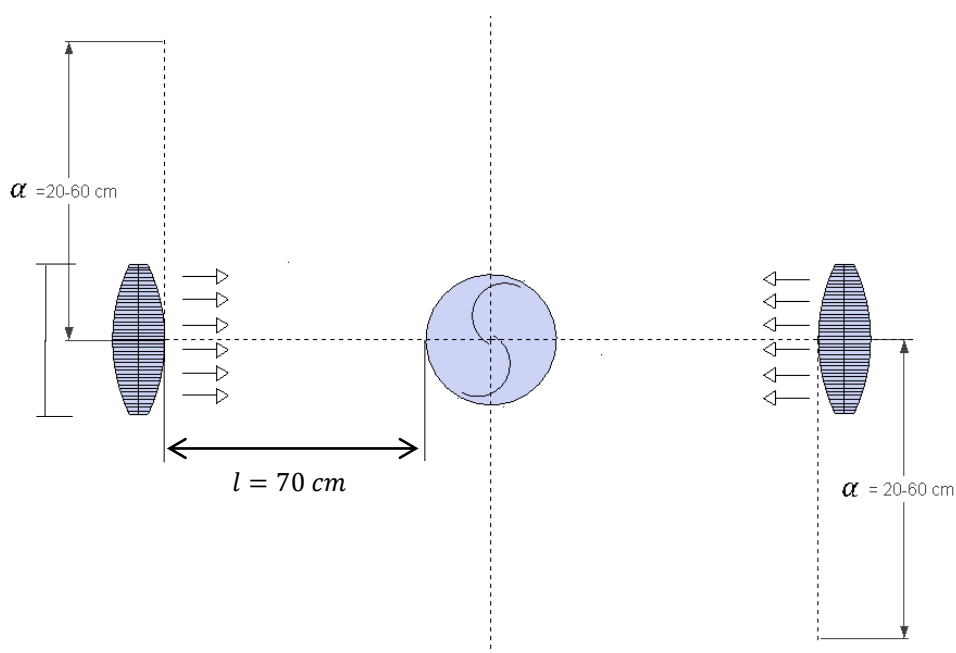
ในส่วนนี้จะอธิบายรายละเอียดและวิธีการทดลอง โดยจะแบ่งออกเป็น 3 โครงสร้างการทดลองดังต่อไปนี้

3.3.1 โครงสร้างการทดลองที่ 1 การทดลองหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมและมุมของช่องลมที่ให้แรงดันสูงสุดแบ่งออกเป็น 5 การทดลอง ดังต่อไปนี้

3.3.1.1 การทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง (α)

ในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทางเมื่อกังหันลมมีการรับลมสวนทาง ตำแหน่งใดจะให้แรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด ซึ่งจะแบ่งเป็นตำแหน่ง 20-60 เซนติเมตร แสดงดังภาพประกอบ 3.6





ภาพประกอบ 3.6 แสดงลักษณะการทดลองการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ 20-60 เซนติเมตร

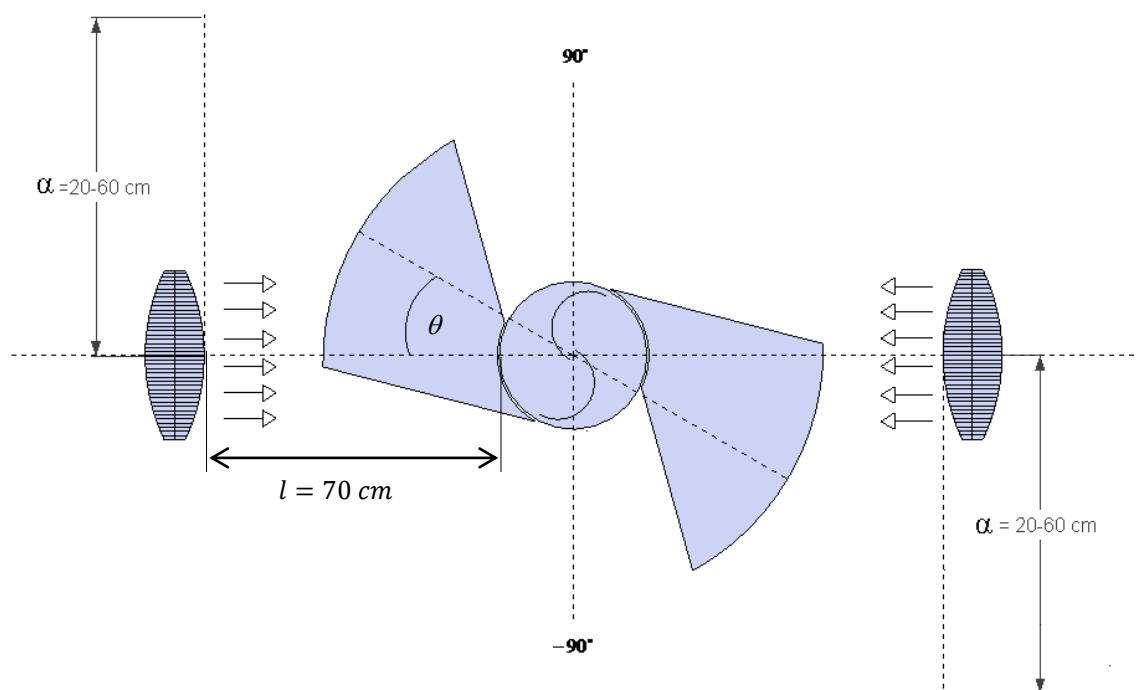
ตาราง 3.1 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม (เซนติเมตร)	แรงดันเฉลี่ย (โวลต์) ครั้งที่					เฉลี่ย (โวลต์)
		1	2	3	4	5	
ทดสอบที่ความเร็ว ลม 6.41 5.63 และ 4.86	20						
	22.5						
	25						
	27.5						
	30						
	32.5						
	35						
	37.5						
	40						
	42.5						
	45						
	47.5						
	50						
	52.5						
	55						
	57.5						
	60						



3.3.1.2 การทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องมู่คู ที่ตำแหน่งองศาต่าง ๆ (θ)

จากการทดลองที่ 3.3.1.1 เมื่อทราบตำแหน่งการวางแหล่งกำเนิดลมสวนทางในตำแหน่งที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด จะใช้ตำแหน่งนั้นเป็นหลัก จากนั้นทำการทดลองติดตั้งช่องลมคูให้กับกังหันลมชาโวเนียส และทำการทดลองรับลมสวนทาง โดยจะมีการเปลี่ยนมุมของช่องลมคูไปทีละมุม 90 องศา เพื่อหามุมของช่องลมคูที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดแสดงดังภาพประกอบ 3.7



ภาพประกอบ 3.7 แสดงลักษณะการทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคูมุม 90 ถึง -90 องศา



ตาราง 3.2 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองการรับลมสวนทางที่มีช่องมคุ่มุม 90 ถึง -90 องศา

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	มุมของช่องลม (องศา)	แรงดันเฉลี่ย (โวลต์) ครั้งที่					เฉลี่ย (โวลต์)
		1	2	3	4	5	
ทดสอบที่ ความเร็วลม 6.41 5.63 และ 4.86	90						
	75						
	60						
	45						
	30						
	15						
	0						
	-15						
	-30						
	-45						
	-60						
	-75						
	-90						

3.3.1.3 การทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องมคุ่ ในตำแหน่งองศาที่เหมาะสม และมีการเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร

การทดลองนี้จะเป็นการนำผลการทดลองที่ 3.3.1.2 มาใช้กับการทดลองนี้ ซึ่งจะเป็นการนำมุมของช่องลมคุ่ที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด มาใช้เป็นมุมหลัก แต่จะมีการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทางที่ตำแหน่ง 20-60 เซนติเมตรเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.3.1.1



ตาราง 3.3 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองการทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคู่ ในตำแหน่งองศาที่เหมาะสม และมีการเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร

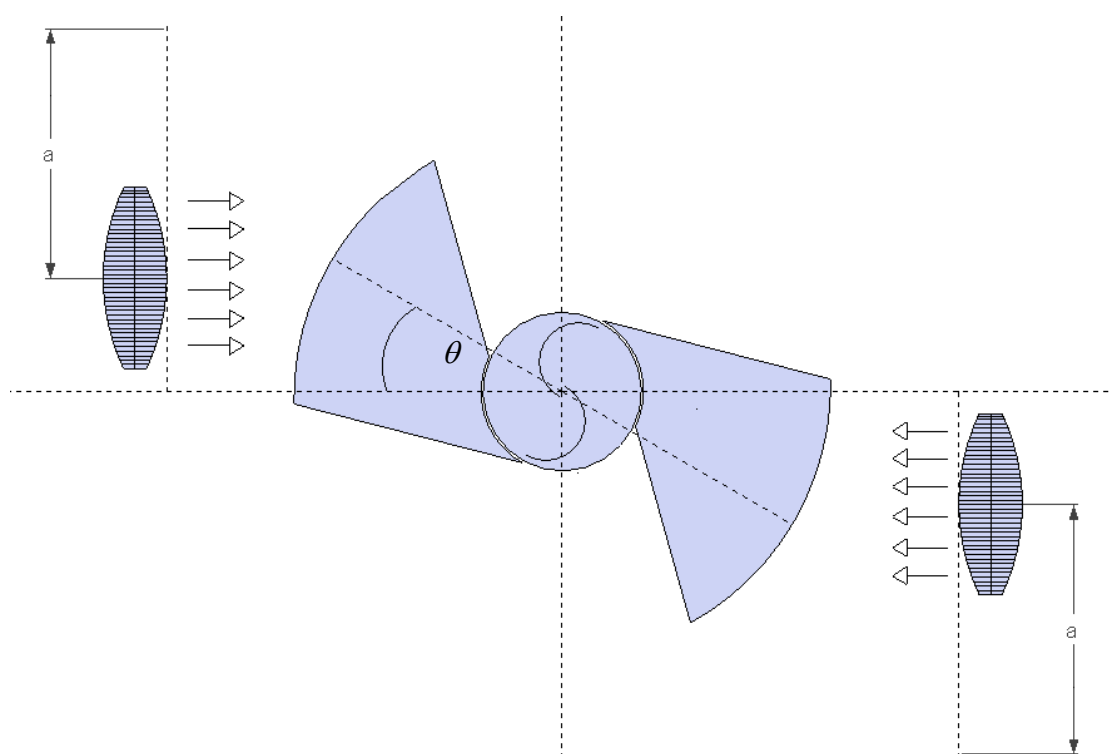
ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ตำแหน่งของ แหล่งกำเนิดลม (เซนติเมตร)	แรงดันเฉลี่ย (โวลต์) ครั้งที่					เฉลี่ย (โวลต์)
		1	2	3	4	5	
ทดสอบที่ ความเร็วลม 6.41 5.63 และ 4.86	20						
	22.5						
	25						
	27.5						
	30						
	32.5						
	35						
	37.5						
	40						
	42.5						
	45						
	47.5						
	50						
	52.5						
	55						
	57.5						
	60						

3.3.1.4 การทดลองความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่เปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลม และกังหันลมชาโวเนียสลักษณะอื่นๆ

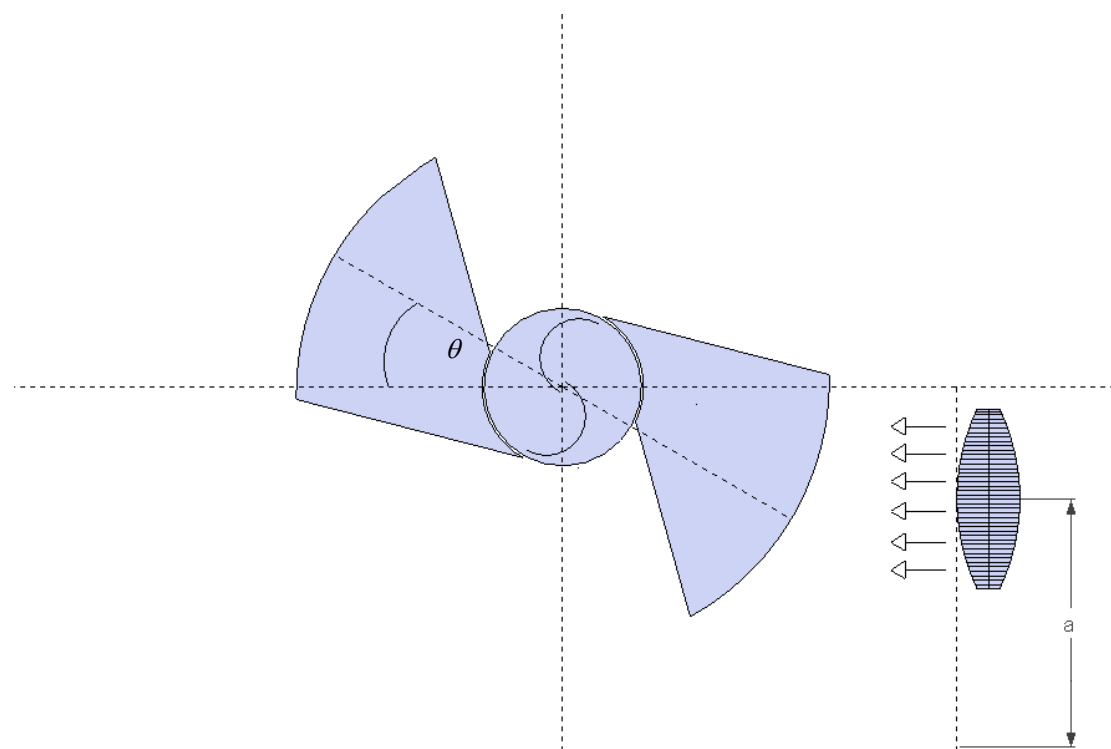
การทดสอบนี้จะเป็นการนำผลการทดลองที่ 3.3.1.1 และ 3.3.1.2 มายึดเป็นตำแหน่งหลัก เพื่อใช้ในการทดลองความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่เปรียบเทียบกับ กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวา กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้าย และกังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลมโดยมีลักษณะการทดลองดังต่อไปนี้

1) กังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่ จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ลักษณะคือ จะมีการทดลองรับลมสวนทาง รับลมฝั่งขวา และรับลมฝั่งซ้าย แสดงดังภาพประกอบ 3.8 3.9 และ 3.10



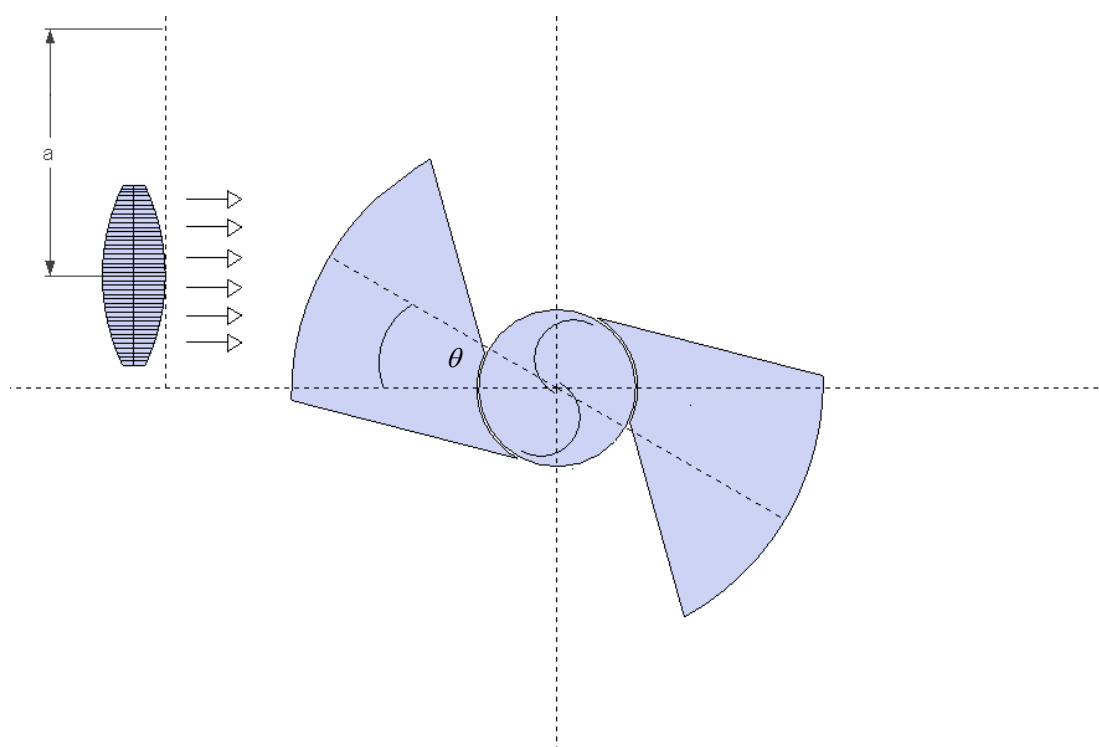


ภาพประกอบ 3.8 กังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่รับลมสวนทาง (ก)



ภาพประกอบ 3.9 กังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา (ข)

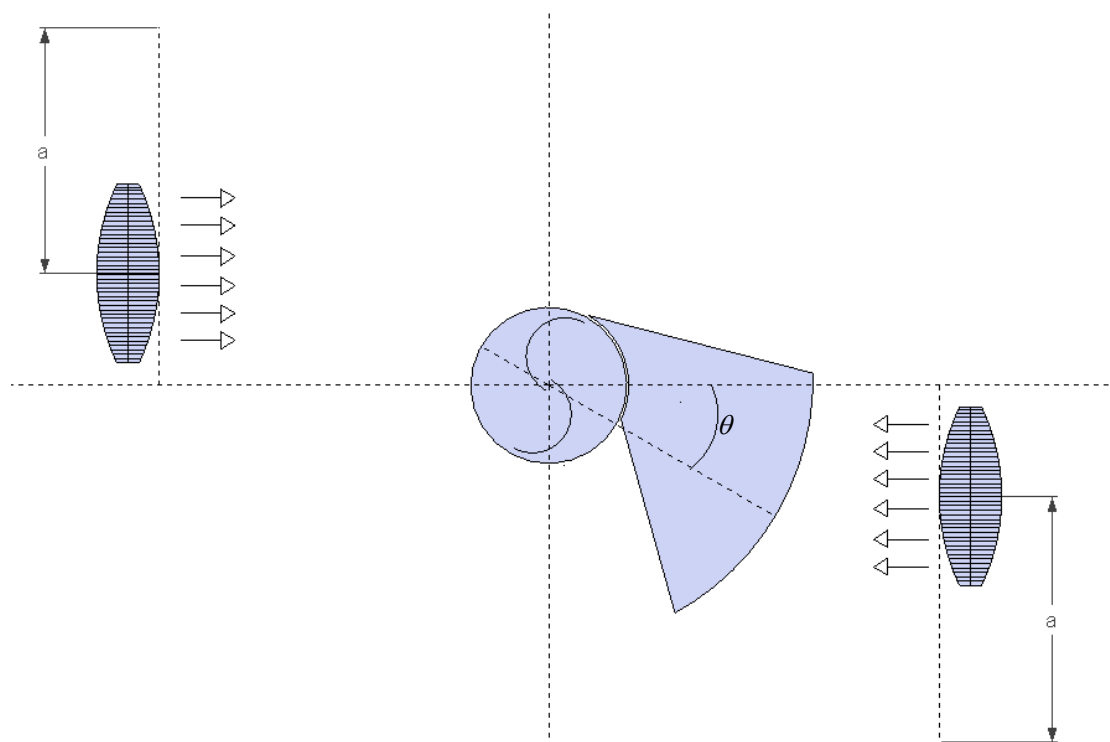




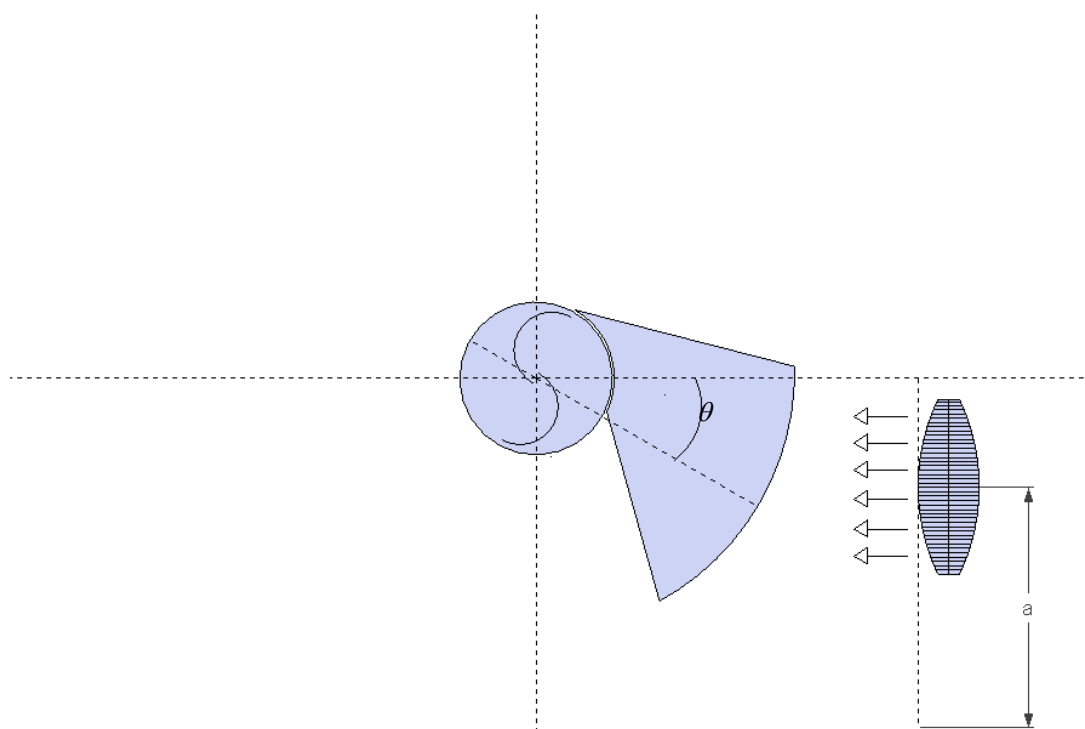
ภาพประกอบ 3.10 กังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่รับลมฝั่งซ้าย (ค)

2) กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวาจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ลักษณะ คือ จะมีการทดลองรับลมสวนทาง รับลมฝั่งขวา และรับลมฝั่งซ้าย แสดงดังภาพประกอบ 3.11 3.12 และ 3.13



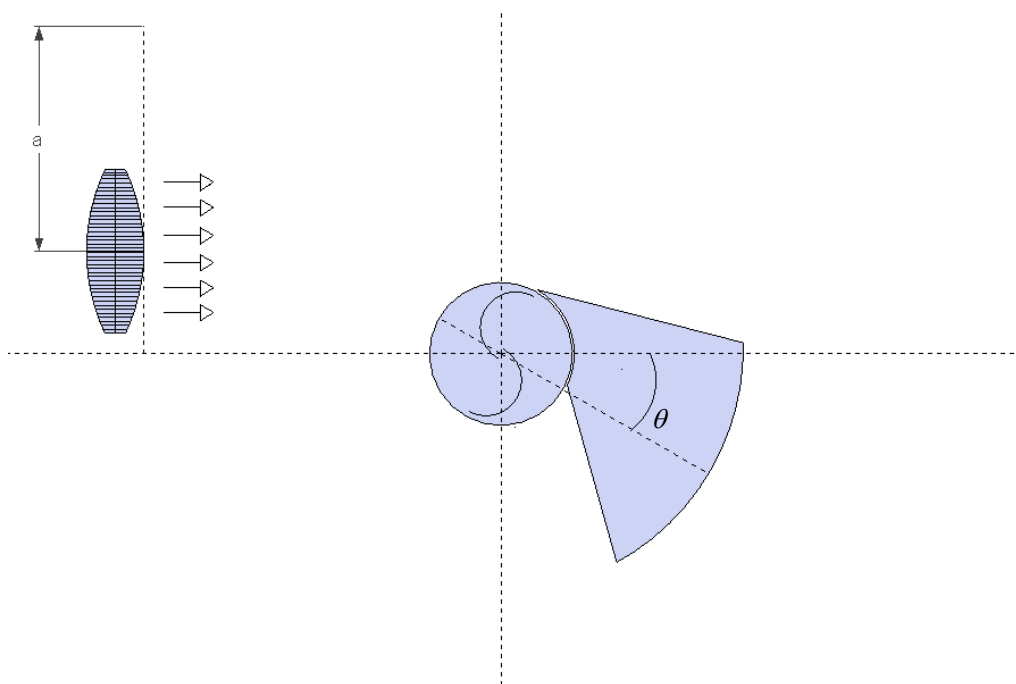


ภาพประกอบ 3.11 กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวารับลมสวนทาง (ง)



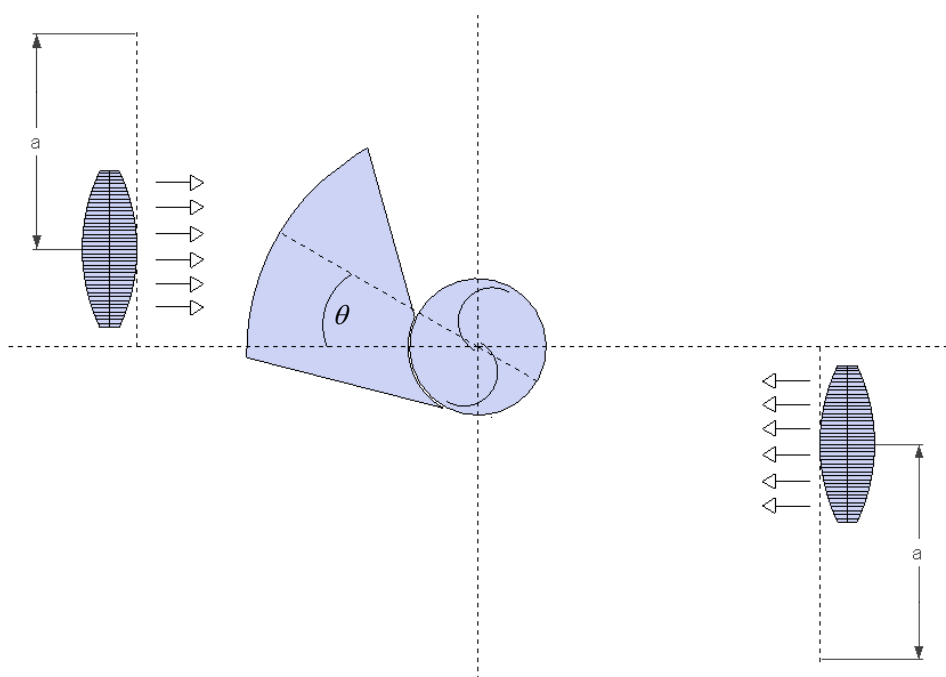
ภาพประกอบ 3.12 กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งขวา (จ)





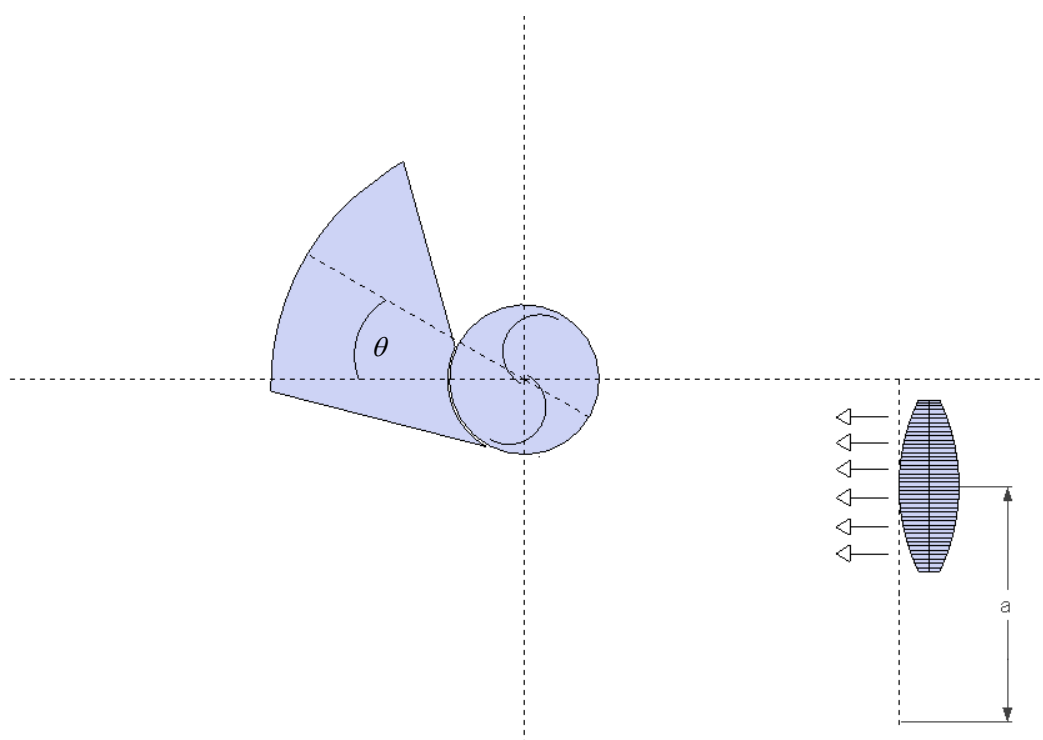
ภาพประกอบ 3.13 กังหันลมชาโวเนียช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งซ้าย (น)

3) กังหันลมชาโวเนียช่องลมเดี่ยวซ้ายจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ลักษณะ คือ จะมีการทดลองรับลมสวนทาง รับลมฝั่งขวา และรับลมฝั่งซ้าย แสดงดังภาพประกอบ 3.14 3.15 และ 3.16

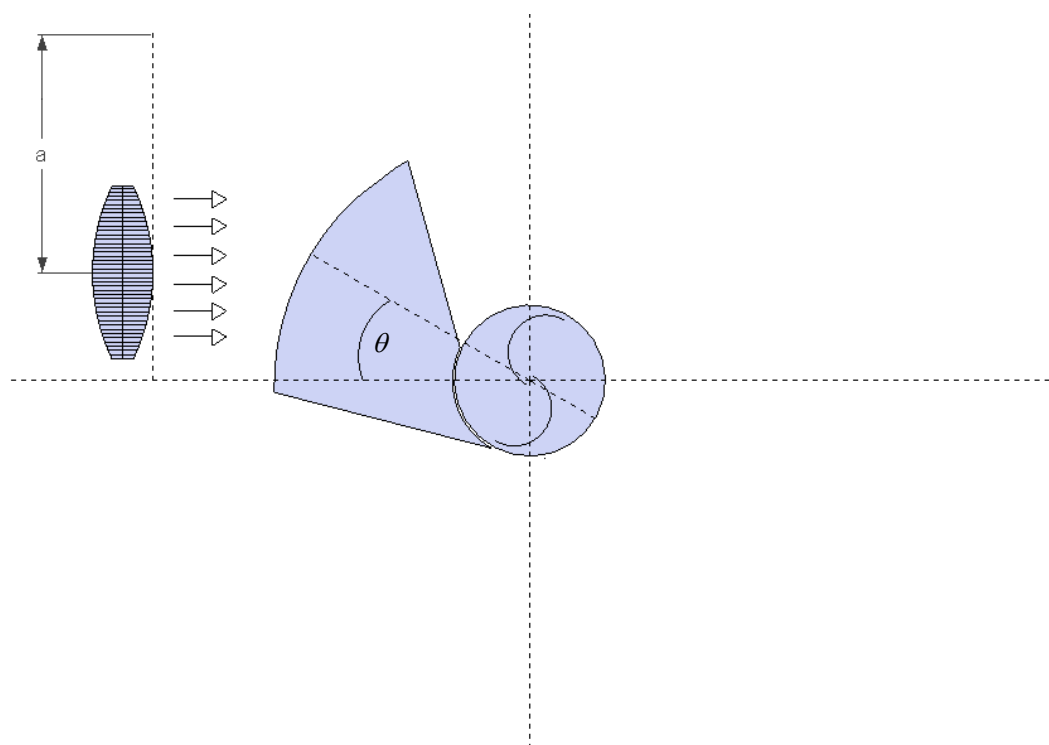


ภาพประกอบ 3.14 กังหันลมชาโวเนียช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมสวนทาง (ฉ)





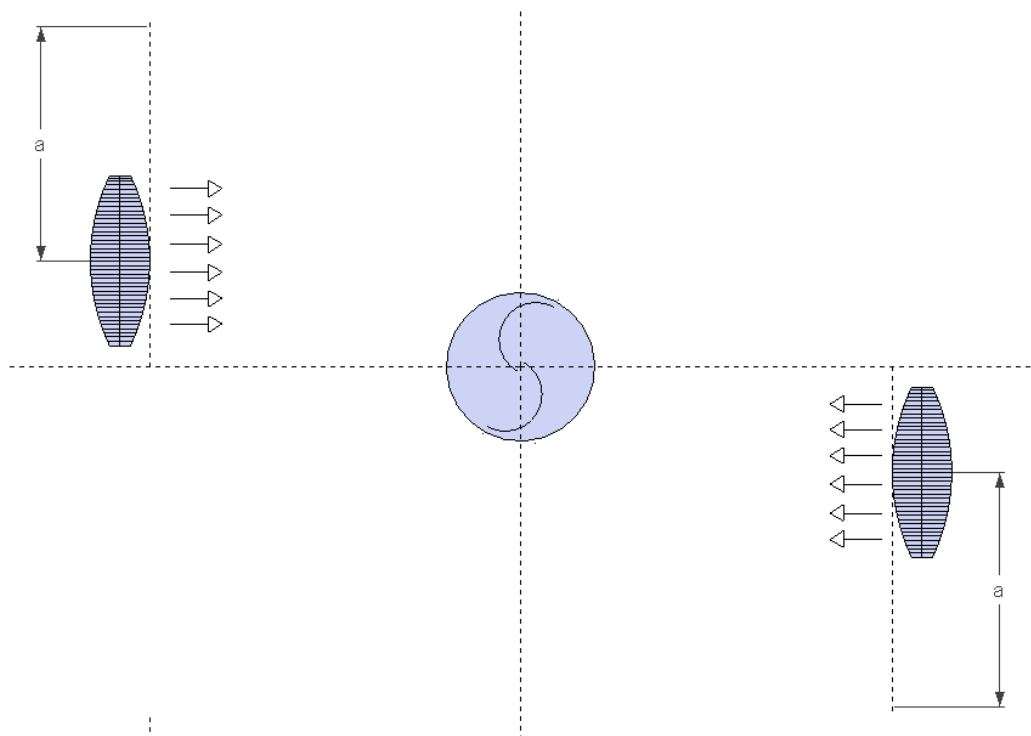
ภาพประกอบ 3.15 กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งขวา (ข)



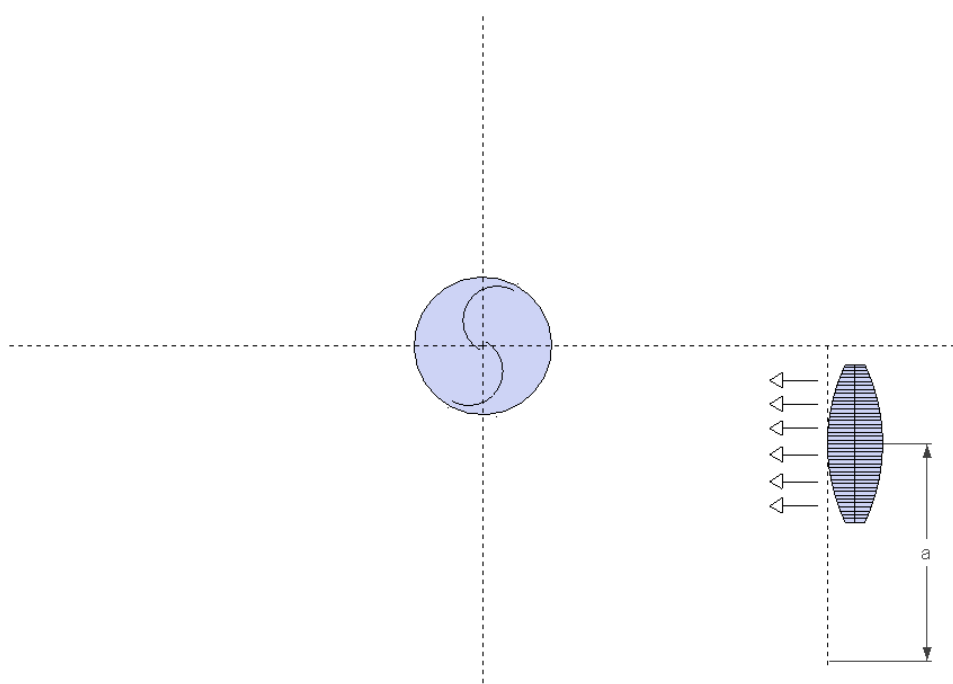
ภาพประกอบ 3.16 กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งซ้าย (ข)



4) กังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลมจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ลักษณะคือ จะมีการทดลองรับลมสวนทาง รับลมฝั่งขวา และรับลมฝั่งซ้าย แสดงดังภาพประกอบ 3.173.18และ 3.19

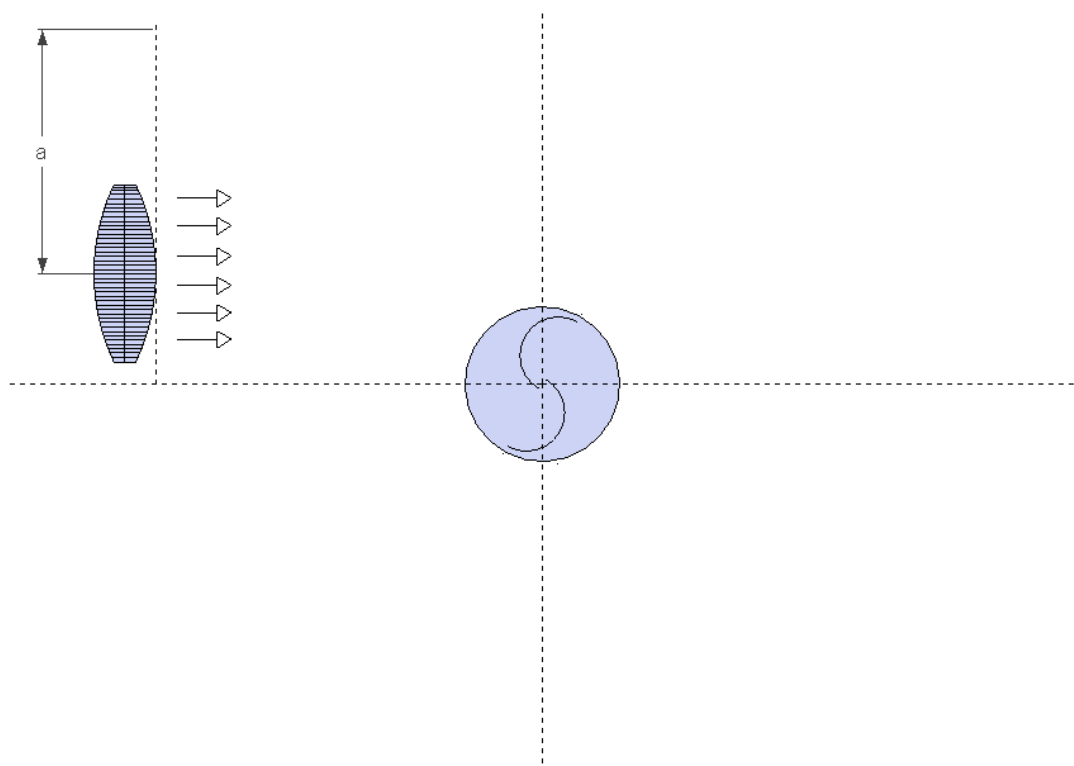


ภาพประกอบ 3.17 กังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลมรับลมสวนทาง (ส)



ภาพประกอบ 3.18 กังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งขวา (ท)





ภาพประกอบ 3.19 กังหันลมชาโวเนิสที่ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งซ้าย(ม)

ตาราง 3.4 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนิสที่มีช่องลมคู่เปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนิสช่องลมเดี่ยวขวา กังหันลมชาโวเนิสช่องลมเดี่ยวซ้าย และกังหันลมชาโวเนิสที่ไม่มีช่องลม

ทดสอบที่ตำแหน่ง $\alpha = ? , \theta = ? , l = 70cm$							
ลักษณะกังหันลมชาโวเนิส	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	แรงดันเฉลี่ย (โวลต์) ครั้งที่					เฉลี่ย (โวลต์)
		1	2	3	4	5	
ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง)	6.41						
	5.63						
	4.86						
ข (ช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา)	6.41						
	5.63						
	4.86						
ค (ช่องลมคู่รับลมฝั่งซ้าย)	6.41						
	5.63						
	4.86						



ตาราง 3.4 (ต่อ)

ทดสอบที่ตำแหน่ง $\alpha = ?, \theta = ?, l = 70\text{cm}$							
ลักษณะกังหันลม ซาโวนเนียส	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	แรงดันเฉลี่ย (โวลต์) ครั้งที่					เฉลี่ย (โวลต์)
		1	2	3	4	5	
ง (ช่องลมเดี่ยวขวา รับลมสวนทาง)	6.41						
	5.63						
	4.86						
จ (ช่องลมเดี่ยวขวา รับลมฝั่งขวา)	6.41						
	5.63						
	4.86						
น (ช่องลมเดี่ยว ขวารับลมฝั่งซ้าย)	6.41						
	5.63						
	4.86						
ฉ (ช่องลมเดี่ยว ซ้ายรับลมสวน ทาง)	6.41						
	5.63						
	4.86						
ช (ช่องลมเดี่ยว ซ้ายรับลมฝั่งขวา)	6.41						
	5.63						
	4.86						
ซ (ช่องลมเดี่ยว ซ้ายรับลมฝั่งซ้าย)	6.41						
	5.63						
	4.86						
ส (ไม่มีช่องลมรับ ลมสวนทาง)	6.41						
	5.63						
	4.86						
ห (ไม่มีช่องลมรับ ลมฝั่งขวา)	6.41						
	5.63						
	4.86						
ม (ไม่มีช่องลมรับ ลมฝั่งซ้าย)	6.41						
	5.63						
	4.86						



3.3.1.5 การวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส

การวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จะเป็นการเปรียบเทียบคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากกังหันลมที่มีช่องลมคู่ เปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลมกังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวา และกังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้ายโดยจะใช้ระลอกคลื่น (Ripple) ในการพิจารณาถึงคุณภาพของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตามสมการที่ 2.24 ดังกล่าวในบทที่ 2

$$\%R = \frac{\Delta V}{V_{DC}} \times 100 \quad (2.24)$$

เมื่อ ΔV = ระลอกคลื่นแรงดันไฟฟ้า (V)

V_{dc} = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ย (V)

ตาราง 3.5 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองการวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่ เปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลมกังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวา และกังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้าย

ทดสอบที่ 50 วินาที ที่ตำแหน่ง $\alpha = ? , \theta = ? , l = 70cm$						
ลักษณะการทดลอง			แรงดัน (โวลต์)			
ลักษณะกังหันลมชาโวเนียส	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทดสอบ ครั้งที่	แรงดัน สูงสุด	แรงดัน เฉลี่ย	แรงดัน พีคทูพีค	ระลอกคลื่น แรงดันไฟฟ้า
ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
ข (ช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
ค (ช่องลมคู่รับลมฝั่งซ้าย)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
ง (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมสวนทาง)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				



ตาราง 3.5 (ต่อ)

ทดสอบที่ 50 วินาที ที่ตำแหน่ง $\alpha = ?, \theta = ?, l = 70cm$						
ลักษณะการทดลอง			แรงดัน (โวลต์)			
ลักษณะกังหันลมชาโวเนียส	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ทดสอบ ครั้งที่	แรงดัน สูงสุด	แรงดัน เฉลี่ย	แรงดัน พีคทูพีค	ระลอกคลื่น แรงดันไฟฟ้า
จ (ช่องลมเดี่ยวขาารับลมฝั่ง ขวา)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
น (ช่องลมเดี่ยวขาารับลมฝั่ง ซ้าย)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
ฉ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมสวน ทาง)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
ช (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่ง ขวา)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
ซ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่ง ซ้าย)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
ส (ไม่มีช่องลมรับลมสวนทาง)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
ท (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งขวา)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				
ม (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งซ้าย)	6.41	1				
		2				
		3				
		เฉลี่ย				

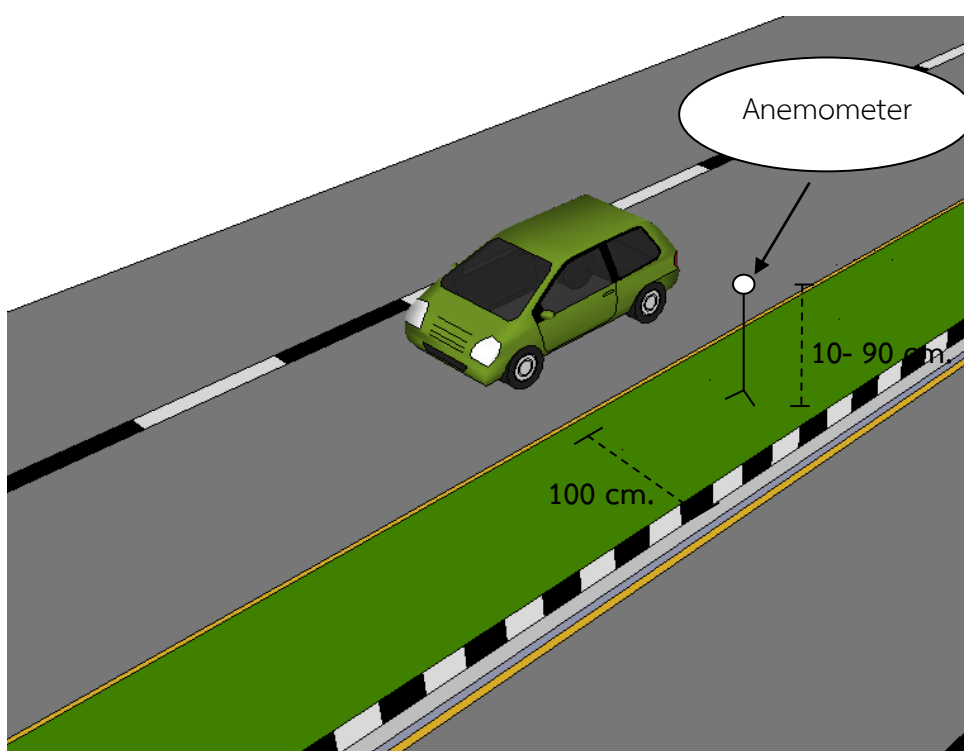


3.3.2 โครงสร้างการทดลองที่ 2 การเก็บลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะและการจำลองลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม

สำหรับการทดลองนี้จะเป็นการเก็บลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เพื่อต้องการทราบถึงลักษณะความเร็วลมของลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะเมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่านเครื่องวัดความเร็วลมจะมีลักษณะอย่างไร จากนั้นจะมีการจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม ให้มีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะมากที่สุด โดยจะแบ่งลักษณะการเก็บผลการทดลองออกเป็น 2 การทดลองดังต่อไปนี้

3.3.2.1 การเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ

การทดลองนี้จะทำการจำลองลักษณะความกว้างของเกาะกลางถนนที่ 100 เซนติเมตร และติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมบริเวณกึ่งกลางของเกาะกลางถนน การเก็บลักษณะลมชั่วขณะจะเก็บที่ระดับความสูง 10-90 เซนติเมตร ตามภาพประกอบ 3.20



ภาพประกอบ 3.20 ลักษณะการติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลม

ยานพาหนะสำหรับการทดลองนี้คือ ยานพาหนะยี่ห้อ Benz รุ่น E220 ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่อยู่ระหว่าง 90-100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง





ภาพประกอบ 3.21 ยานพาหนะที่ใช้ในการสร้างลมชั่วขณะ

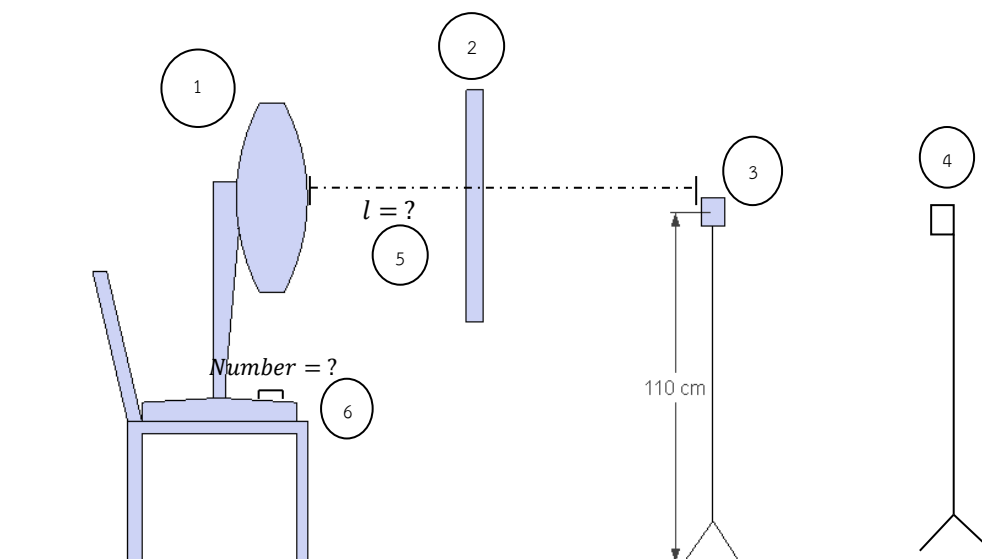
ตาราง 3.6 แสดงแผนการบันทึกผลการทดลองลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ
เทียบกับเวลาทดสอบที่ความเร็วระหว่าง 90-100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ทดลองที่ระดับความสูงของเครื่องวัดความเร็วลม 10-90 เซนติเมตร									
ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 4		ครั้งที่ 5	
t (s)	v(m/s)	T (s)	v(m/s)	T (s)	v(m/s)	T (s)	v(m/s)	T (s)	v(m/s)



3.3.2.2 การจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม

จากการทดลองที่ 3.3.2.1 เมื่อทราบลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะแล้ว จากนั้นจะทำการจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลมให้มีลักษณะใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด โดยมีลักษณะการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้



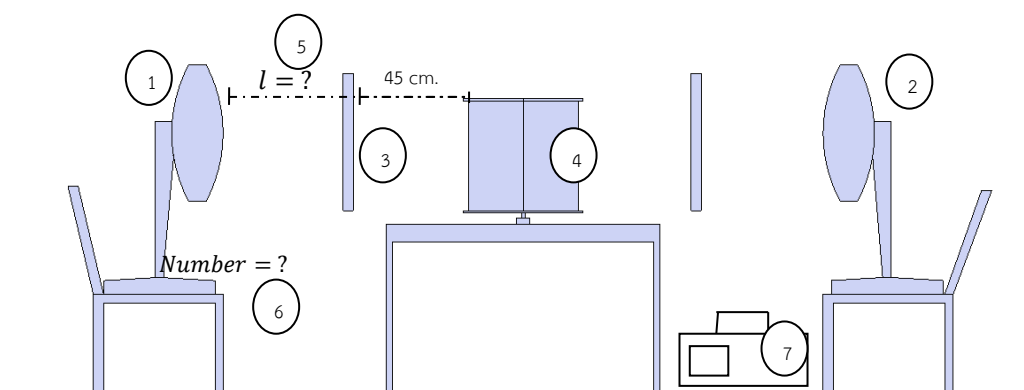
ภาพประกอบ 3.22 ลักษณะการจำลองลมชั่วขณะ

ตาราง 3.7 คำอธิบายภาพประกอบ 3.22

คำอธิบายภาพประกอบ 3.22	
หมายเลข 1 แหล่งกำเนิดลม A,B	ทำหน้าที่กำเนิดลม
หมายเลข 2 แผ่นฉากบังลม	ทำหน้าที่เปิดปิดเพื่อจำลองเป็นลักษณะลมชั่วขณะตามเวลาที่กำหนด
หมายเลข 3 เครื่องวัดความเร็วลม	ทำหน้าที่วัดความเร็วลมชั่วขณะ
หมายเลข 4 กล้องบันทึกวีดิโอ	ทำหน้าที่บันทึกวีดิโอที่หน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดความเร็วลม เพื่อบันทึกผลการทดลองความเร็วลมเทียบกับเวลา
หมายเลข 5 ระยะห่างระหว่างพัดลมกับเครื่องวัดความเร็วลม (l)	ตำแหน่งของพัดลมจะถูกเลื่อนห่างออกจากเครื่องวัดความเร็วลมเรื่อยๆ เพื่อหาตำแหน่งที่ให้ลักษณะลมชั่วขณะใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด
หมายเลข 6 ระดับความเร็วลมของพัดลม (4.86, 5.63 และ 6.41 เมตรต่อวินาที)	สำหรับพัดลม A และ B จะสามารถปรับระดับความเร็วลมได้ 3 ระดับ ดังนั้นจะต้องปรับระดับความเร็วลมให้เหมาะสม เพื่อหาระดับความเร็วลมที่ให้ลักษณะลมชั่วขณะใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด



สำหรับการทดลองนี้จะเป็นการนำกังหันลมชาโวเนียสทั้ง 12 แบบ ตามการทดลองที่ 3.3.1.4 มาทดลองผลิตแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นโดยการจำลอง โดยมีลักษณะการทดลองดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 3.23 ลักษณะการจำลองลมชั่วขณะ

ตาราง 3.9 คำอธิบายภาพประกอบ 3.23

คำอธิบายภาพประกอบที่ 3.22	
หมายเลข 1 แหล่งกำเนิดลม A	ทำหน้าที่กำเนิดลม
หมายเลข 2 แหล่งกำเนิดลม B	ทำหน้าที่เปิดปิดเพื่อจำลองเป็นลักษณะลมชั่วขณะตามเวลาที่กำหนด
หมายเลข 3 แผ่นฉากบังลม	ทำหน้าที่วัดความเร็วลมชั่วขณะ
หมายเลข 4 กังหันลมชาโวเนียส	กังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เพื่อศึกษาลักษณะของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่ได้จากกังหันลมแต่ละแบบ
หมายเลข 5 ระยะห่างระหว่างพัดลมกับเครื่องวัดความเร็วลม (l)	ตำแหน่งของพัดลมจะถูกเลื่อนห่างออกจากเครื่องวัดความเร็วลมเรื่อยๆ เพื่อหาตำแหน่งที่ให้ลักษณะลมชั่วขณะใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด
หมายเลข 6 ระดับความเร็วลมของพัดลม (4.86, 5.63 และ 6.41 เมตรต่อวินาที)	สำหรับพัดลม A และ B จะสามารถปรับระดับความเร็วลมได้ 3 ระดับ ดังนั้นจะต้องปรับระดับความเร็วลมให้เหมาะสม เพื่อหาระดับความเร็วลมที่ให้ลักษณะลมชั่วขณะใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด
หมายเลข 7 ออสซิลโลสโคป	ทำหน้าที่จับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่ได้จากกังหันลมแต่ละแบบ โดยใช้โหมด Trigger



ตาราง 3.10 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองการศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากกันหัน
ลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นจากพัดลม

กังหันลม 12 แบบ	ความเร็วลมเบอร์ (เมตรต่อวินาที)	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (โวลต์) ทดสอบ 1 ถึง 5 ครั้ง	เฉลี่ย
ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง)	6.41		
	5.63		
	4.68		
ข (ช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา)	6.41		
	5.63		
	4.68		
ค (ช่องลมคู่รับลมฝั่งซ้าย)	6.41		
	5.63		
	4.68		
ง (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมสวนทาง)	6.41		
	5.63		
	4.68		
จ (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งขวา)	6.41		
	5.63		
	4.68		
ฉ (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งซ้าย)	6.41		
	5.63		
	4.68		
ฉ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมสวนทาง)	6.41		
	5.63		
	4.68		
ช (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งขวา)	6.41		
	5.63		
	4.68		
ซ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งซ้าย)	6.41		
	5.63		
	4.68		



ตาราง 3.10 (ต่อ)

กังหันลม 12 แบบ	ความเร็วลมเบอร์ (เมตรต่อวินาที)	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (โวลต์) ทดสอบ 1 ถึง 5 ครั้ง	เฉลี่ย
	5.63		
	4.68		
	6.41		
ส (ไม่มีช่องลมรับลมสวนทาง)	5.63		
	4.68		
	6.41		
ท (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งขวา)	5.63		
	4.68		
	6.41		
ม (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งซ้าย)	5.63		
	4.68		
	6.41		

3.3.3.2 การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม

สำหรับการทดลองนี้จะเป็นการนำกังหันลมชาโวเนียสทั้ง 12 แบบ มาทดลองผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นโดยการจำลอง โดยลักษณะการทดลองจะเหมือนกับการทดลองที่ 3.3.3.1



ตาราง 3.11 แสดงแผนบันทึกผลการทดลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส
12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม

กังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ	ค่าความต้าน (โอห์ม)	กระแส ทดสอบ1-5 ครั้ง (มิลลิแอมป์)	กระแสเฉลี่ย (มิลลิแอมป์)	กำลังไฟฟ้า (มิลลิแอมป์)	แรงดันไฟฟ้า (มิลลิแอมป์)
ก (ช่องลมคู่รับลม สวนทาง)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				
ข (ช่องลมคู่รับลมฝั่ง ขวา)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				
ค (ช่องลมคู่รับลมฝั่ง ซ้าย)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				
ง (ช่องลมเดี่ยวขวา รับลมสวนทาง)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				
จ (ช่องลมเดี่ยวขวา รับลมฝั่งขวา)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				
น (ช่องลมเดี่ยวขวา รับลมฝั่งซ้าย)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				



ตาราง 3.11 (ต่อ)

กังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ	ค่าความต้าน (โอห์ม)	กระแส ทดสอบ1-5 ครั้ง (มิลลิแอมป์)	กระแสเฉลี่ย (มิลลิแอมป์)	กำลังไฟฟ้า (มิลลิแอมป์)	แรงดันไฟฟ้า (มิลลิแอมป์)
ฉ (ช่องลมเดี่ยวซ้าย รับลมสวนทาง)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				
ซ (ช่องลมเดี่ยวซ้าย รับลมฝั่งขวา)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				
ซ (ช่องลมเดี่ยวซ้าย รับลมฝั่งซ้าย)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				
ส (ไม่มีช่องลมรับลม สวนทาง)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				
ท (ไม่มีช่องลมรับลม ฝั่งขวา)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				
ม (ไม่มีช่องลมรับลม ฝั่งซ้าย)	0.5				
	1				
	2				
	5				
	10				



บทที่ 4

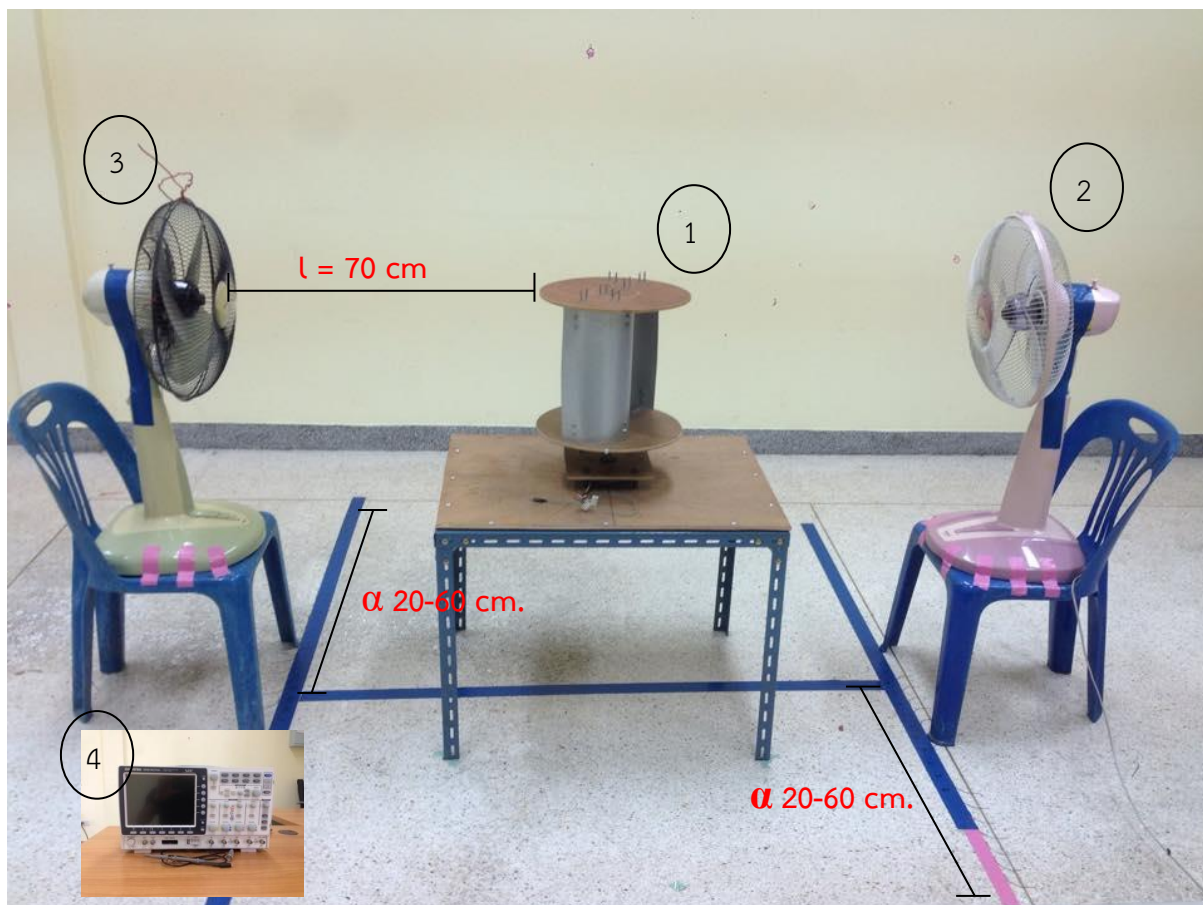
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากบทที่ 3 ผู้วิจัยได้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างกังหันลมแกนตั้งชาโวเนียส รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง โดยได้แบ่งโครงสร้างที่ใช้ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 โครงสร้างหลัก คือ การทดลองหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมและมุมของช่องลมที่ให้แรงดันสูงสุด การศึกษาลักษณะของลมชั่วขณะที่เกิดจากรถยนต์และการจำลองลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม และการผลิตกำลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่เมื่อมีการรับลมชั่วขณะ โดยมีลักษณะโครงสร้างที่ใช้ในการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 โครงสร้างที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 โครงสร้างการทดลองที่ 1 การทดลองหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมและมุมของช่องลมที่ให้แรงดันสูงสุด แบ่งออกเป็น 5 การทดลอง ดังต่อไปนี้

4.1.1.1 การทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง (α)



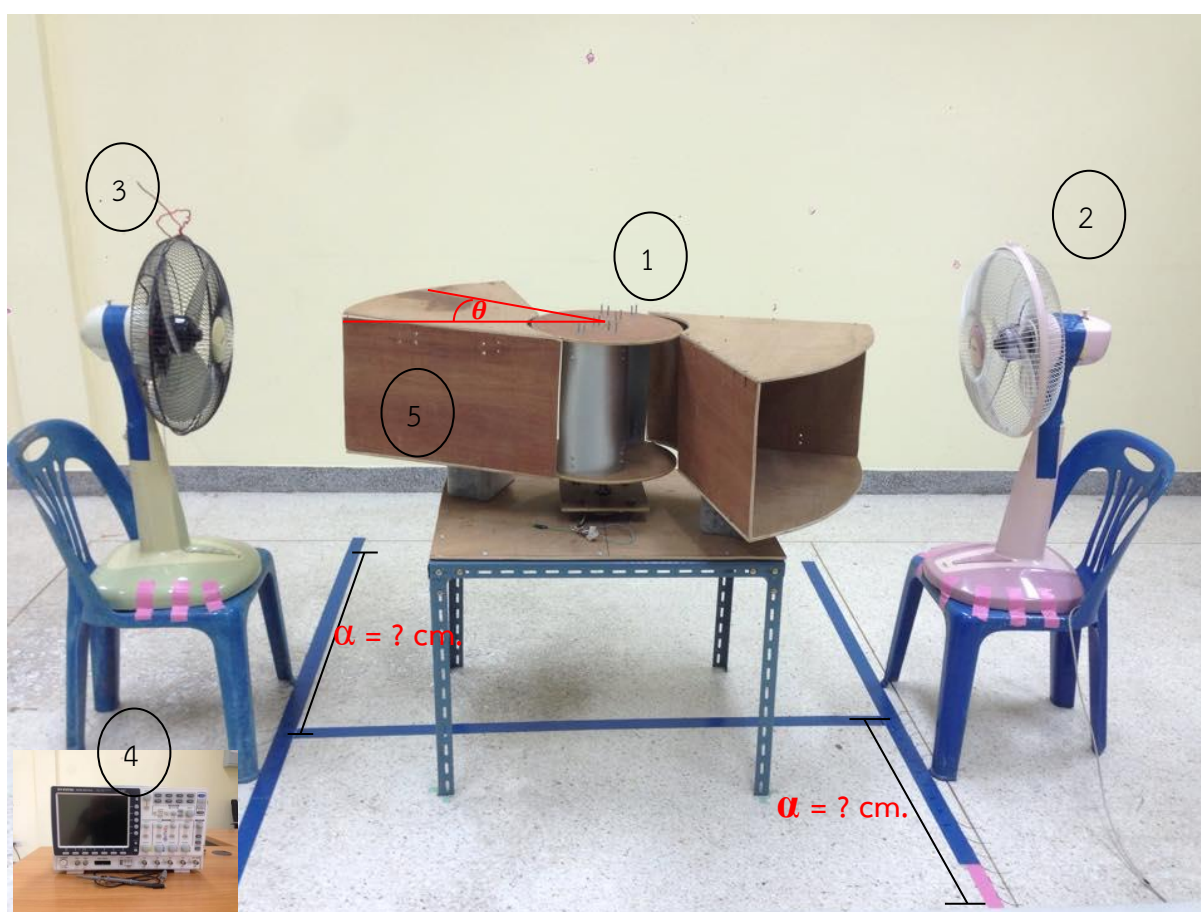
ภาพประกอบ 4.1 การทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง



ตาราง 4.1 คำอธิบายภาพประกอบ 4.1

คำอธิบายภาพประกอบ 4.1	
หมายเลข 1 กังหันลมชาโวเนียส	ทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟฟ้า
หมายเลข 2 แหล่งกำเนิดลม A	ทำหน้าที่กำเนิดลมและมีการเลื่อนตำแหน่งของพัดลมไปตามระยะ α
หมายเลข 3 แหล่งกำเนิดลม B	ทำหน้าที่กำเนิดลมและมีการเลื่อนตำแหน่งของพัดลมไปตามระยะ α
หมายเลข 4 ออสซิลโลสโคป	ทำหน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส

4.1.1.2 การทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคูในตำแหน่งองศาที่ให้แรงดันสูงสุด (θ) ณ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ให้แรงดันสูงสุด (α)

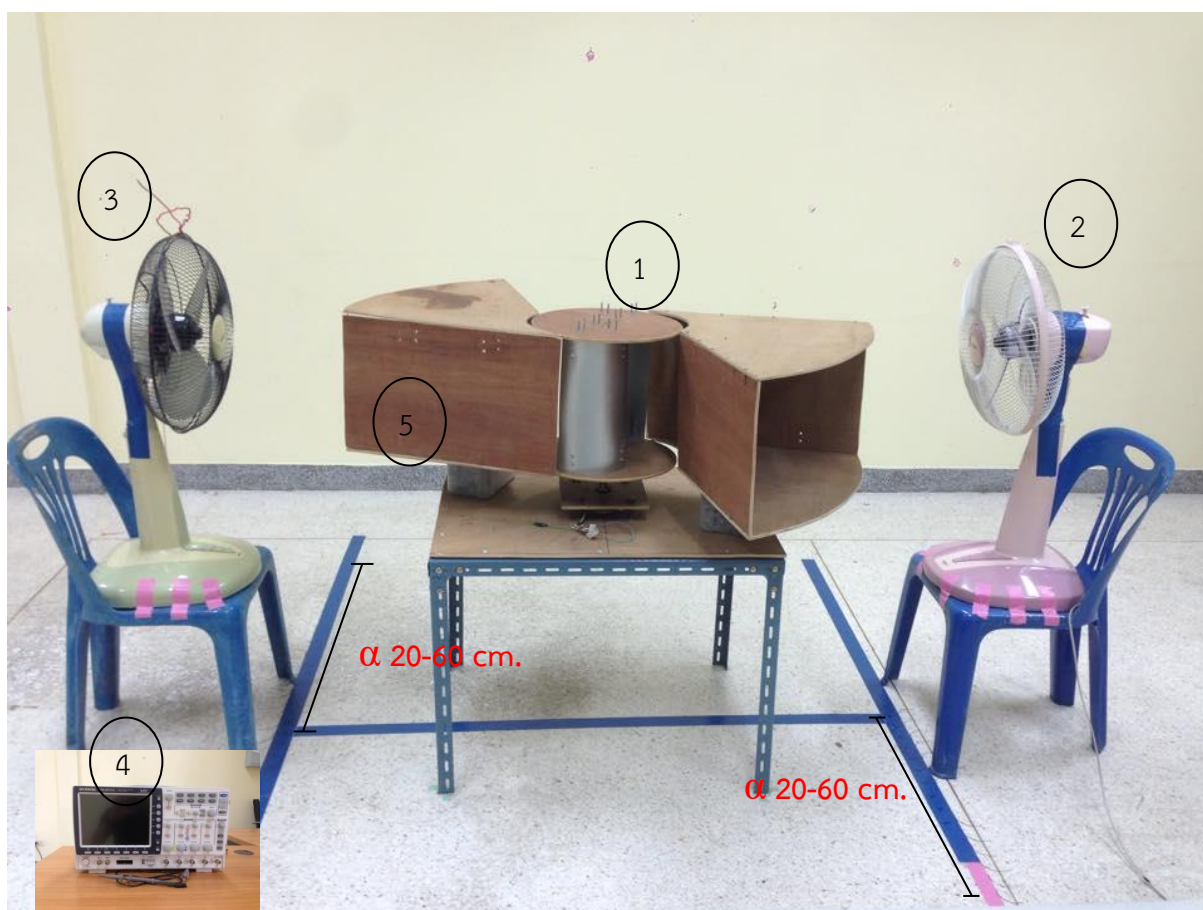


ภาพประกอบ 4.2 การทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคูในตำแหน่งองศาที่เหมาะสม ณ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ให้แรงดันสูงสุด

ตาราง 4.2 คำอธิบายภาพประกอบ 4.2

คำอธิบายภาพประกอบ 4.2	
หมายเลข 1 กังหันลมชาโวเนียส	ทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟฟ้า
หมายเลข 2 แหล่งกำเนิดลม A	ทำหน้าที่กำเนิดลม ณ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ให้แรงดันสูงสุด
หมายเลข 3 แหล่งกำเนิดลม B	ทำหน้าที่กำเนิดลม ณ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ให้แรงดันสูงสุด
หมายเลข 4 ออสซิลโลสโคป	ทำหน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส
หมายเลข 5 ช่องลมคู่	ทำหน้าที่รับลมและบังคับทิศทางลมให้เข้าสู่กังหันลมชาโวเนียส และเปลี่ยนตำแหน่งของช่องลมไปตาม θ เพื่อหาตำแหน่งที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด

4.1.1.3 การทดลองเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งของช่องลมคู่ที่ให้แรงดันสูงสุด

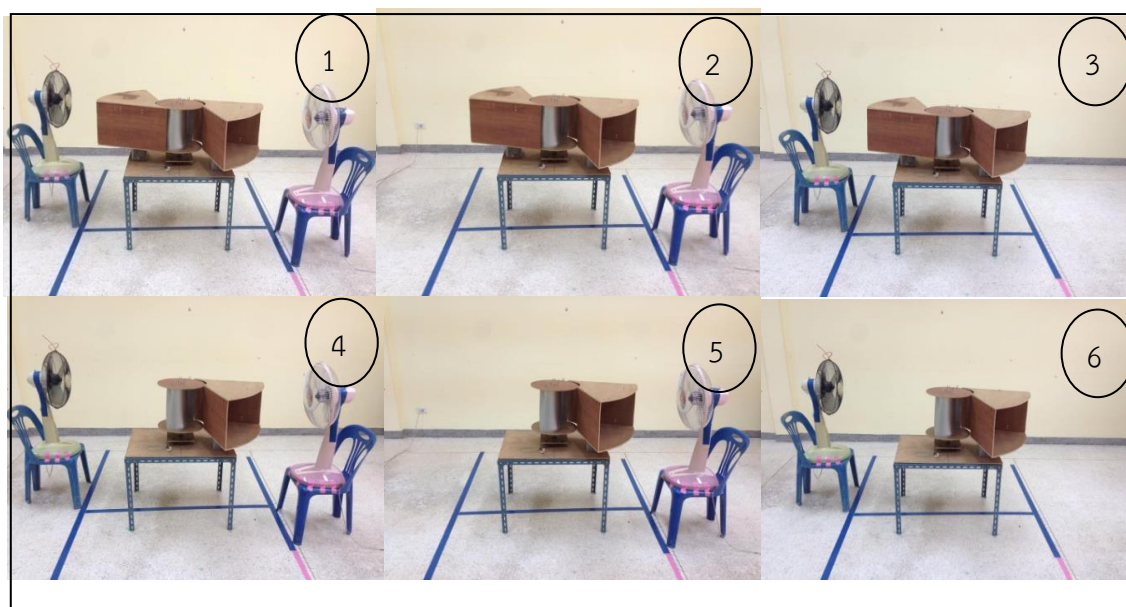


ภาพประกอบ 4.3 การทดลองเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งของช่องลมคู่ที่ให้แรงดันสูงสุด

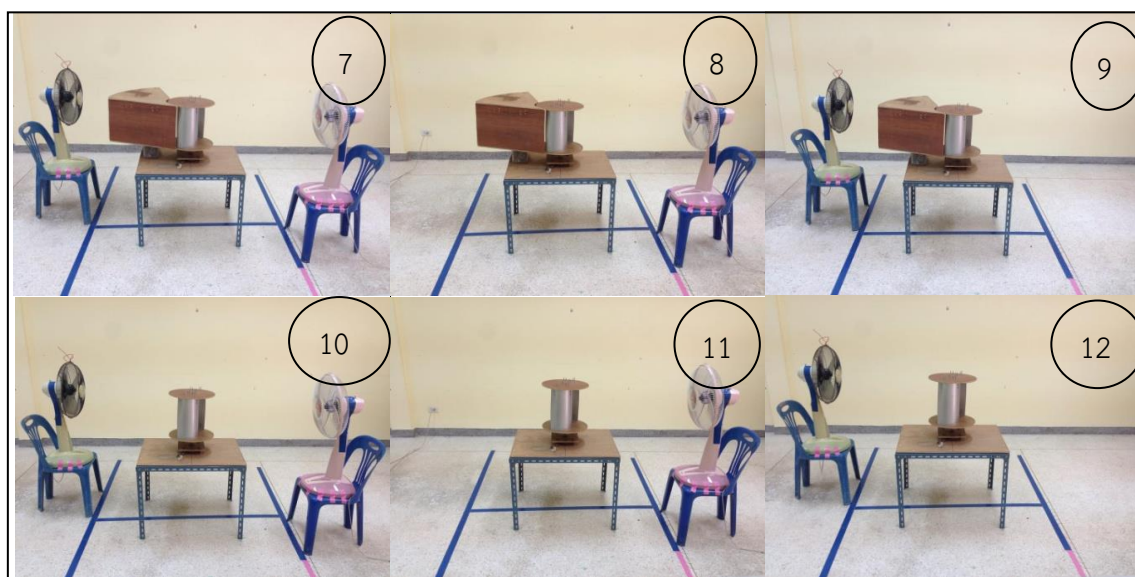
ตาราง 4.3 คำอธิบายภาพประกอบ 4.3

คำอธิบายภาพประกอบที่ 4.3	
หมายเลข 1 กังหันลมชาโวเนียส	ทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟฟ้า
หมายเลข 2 แหล่งกำเนิดลม A	ทำหน้าที่กำเนิดลมและมีการเลื่อนตำแหน่งของพัดลมไปตามระยะ α
หมายเลข 3 แหล่งกำเนิดลม B	ทำหน้าที่กำเนิดลมและมีการเลื่อนตำแหน่งของพัดลมไปตามระยะ α
หมายเลข 4 ออสซิลโลสโคป	ทำหน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส
หมายเลข 5 ช่องลมคู่	ทำหน้าที่รับลมและบังคับทิศทางลมให้เข้าสู่กังหันลมชาโวเนียส ณ ตำแหน่งของช่องลมคู่ที่ให้แรงดันสูงสุด

4.1.1.4 การทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ



ภาพประกอบ 4.4 การทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ



ภาพประกอบ 4.4 (ต่อ)

ตาราง 4.4 คำอธิบายภาพประกอบ 4.4

คำอธิบายภาพประกอบที่ 4.4	
หมายเลข 1 กังหันลมชาโวเนียส	ช่องลมคู่รับลมสวนทาง
หมายเลข 2 กังหันลมชาโวเนียส	ช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา
หมายเลข 3 กังหันลมชาโวเนียส	ช่องลมคู่รับลมฝั่งซ้าย
หมายเลข 4 กังหันลมชาโวเนียส	ช่องลมเดี่ยวขวา รับลมสวนทาง
หมายเลข 5 กังหันลมชาโวเนียส	ช่องลมเดี่ยวขวา รับลมฝั่งขวา
หมายเลข 6 กังหันลมชาโวเนียส	ช่องลมเดี่ยวขวา รับลมฝั่งซ้าย
หมายเลข 7 กังหันลมชาโวเนียส	ช่องลมเดี่ยวซ้าย รับลมสวนทาง
หมายเลข 8 กังหันลมชาโวเนียส	ช่องลมเดี่ยวซ้าย รับลมฝั่งขวา
หมายเลข 9 กังหันลมชาโวเนียส	ช่องลมเดี่ยวซ้าย รับลมฝั่งซ้าย
หมายเลข 10 กังหันลมชาโวเนียส	ไม่มีช่องลมรับลมสวนทาง
หมายเลข 11 กังหันลมชาโวเนียส	ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งขวา
หมายเลข 12 กังหันลมชาโวเนียส	ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งซ้าย

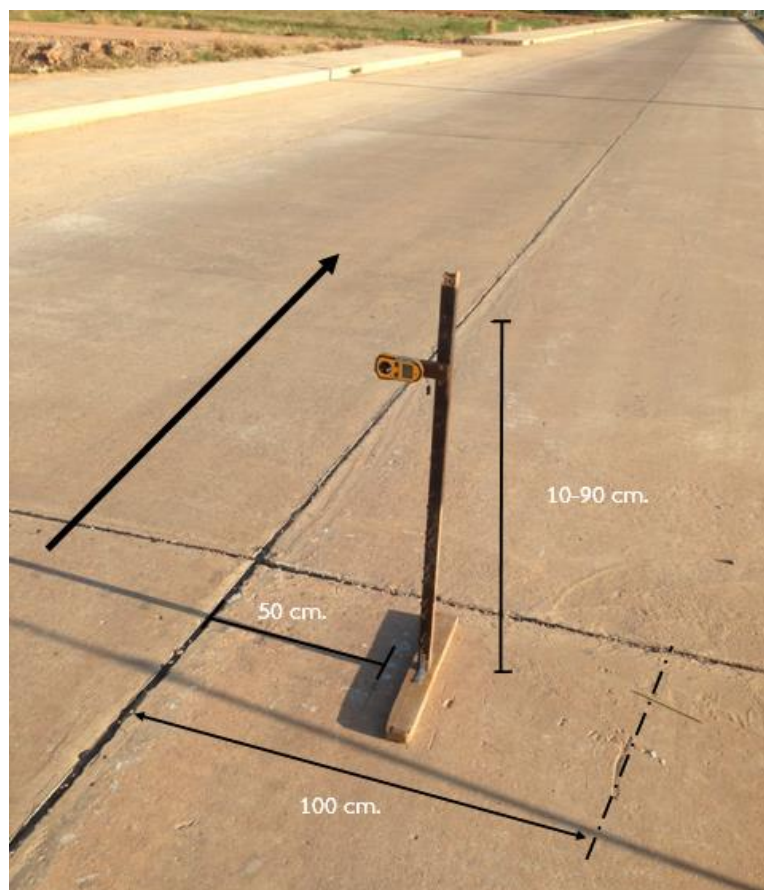
4.1.1.5 การวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่เปรียบเทียบกับกังหันลมแบบต่างๆ

จากภาพประกอบ 4.4 กังหันลมชาโวเนียสแต่ละแบบจะมีการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียสแต่ละแบบ โดยจะใช้ระลอกคลื่น (Ripple) ในการพิจารณา ดังแสดงในสมการ 2.24

4.1.2 โครงสร้างการทดลองที่ 2 การเก็บลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะและการจำลองลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม

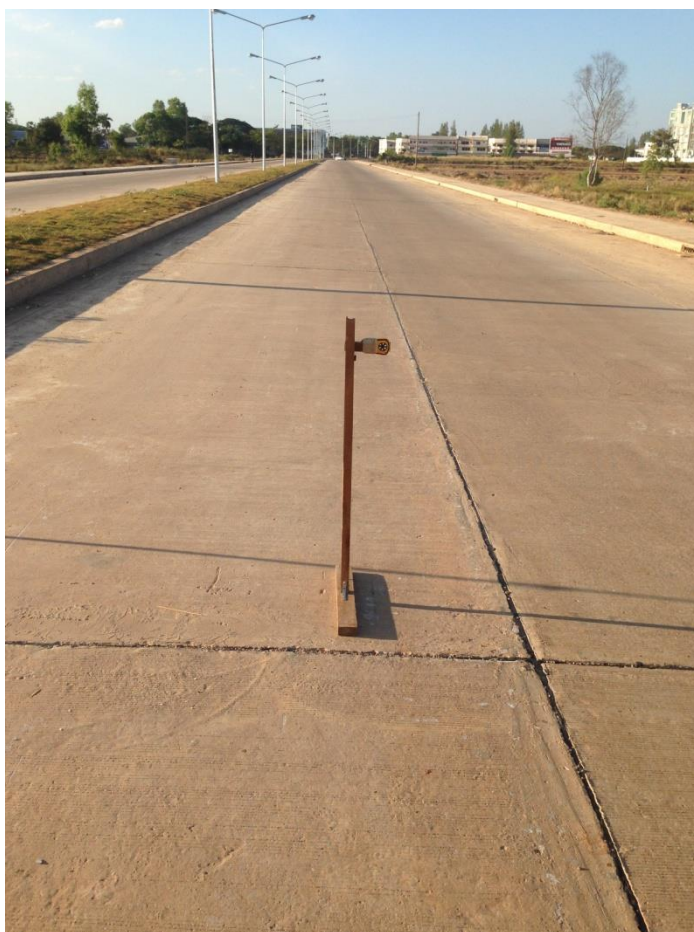
4.1.2.1 การเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ

การทดลองนี้จะทำการจำลองลักษณะความกว้างของเกาะกลางถนนที่ 100 เซนติเมตร. และติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมบริเวณกึ่งกลางของเกาะกลางถนน การเก็บลักษณะลมชั่วขณะจะเก็บที่ระดับความสูง 10-90 เซนติเมตร ตามภาพประกอบ 4.5,4.6



ภาพประกอบ 4.5 ติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลมที่ระดับความสูง 10-90 เซนติเมตร





(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 4.6 (ก) ลักษณะถนนที่ใช้ในการทดสอบ (ข) ยานพาหนะเมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่านเครื่องวัดความเร็วลม



4.1.2.2 การจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม

จากการทดลองที่ 4.1.2.1 เมื่อทราบลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะแล้ว จากนั้นจะทำการจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลมให้มีลักษณะใกล้เคียงกับลมที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด โดยจะทำการทดลองภายในห้องทดลองที่ไม่มีลมจากธรรมชาติรบกวน ซึ่งมีลักษณะการเก็บข้อมูล ดังภาพประกอบ 4.7



(ก)



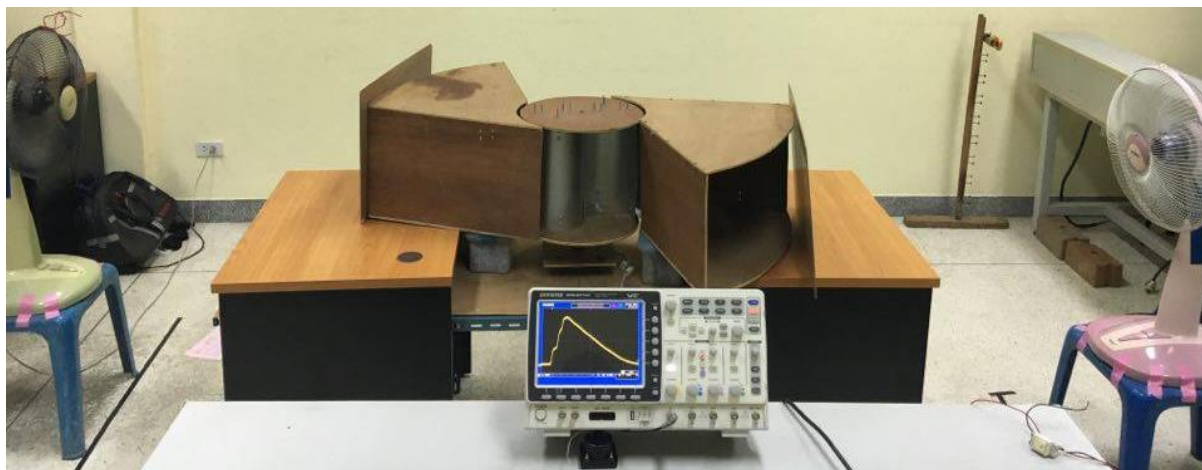
(ข)

ภาพประกอบ 4.7 (ก) การจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม A (ข) การจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม B

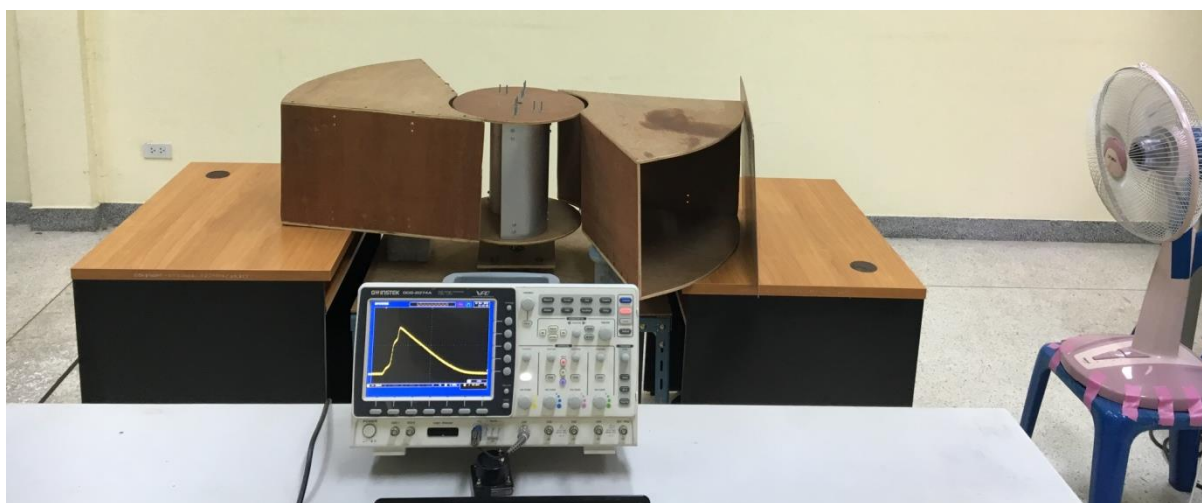


4.1.3 โครงสร้างการทดลองที่ 3 การศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะและการผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม

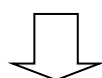
4.1.3.1 การศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองโดยใช้พัดลม

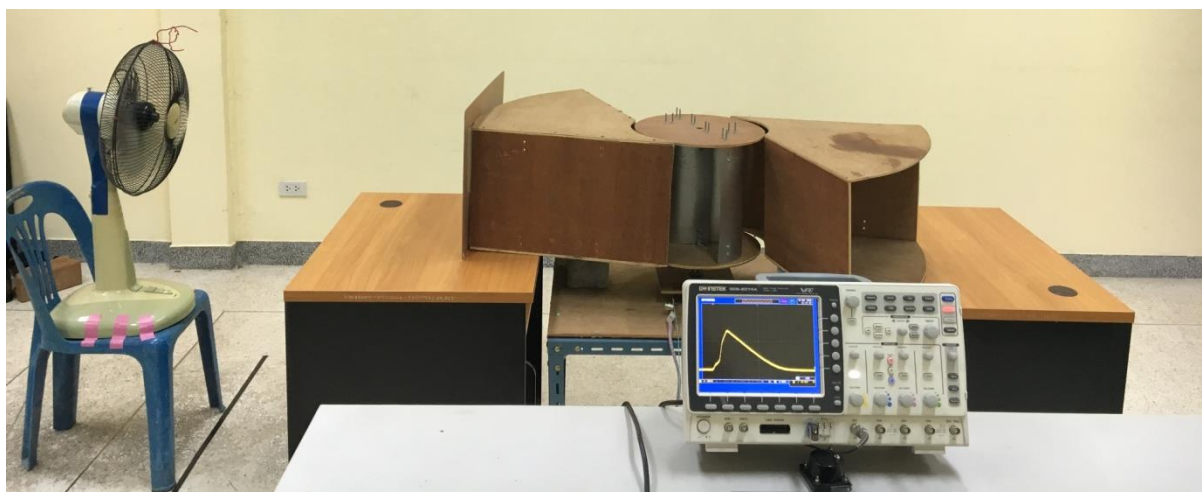


ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง)

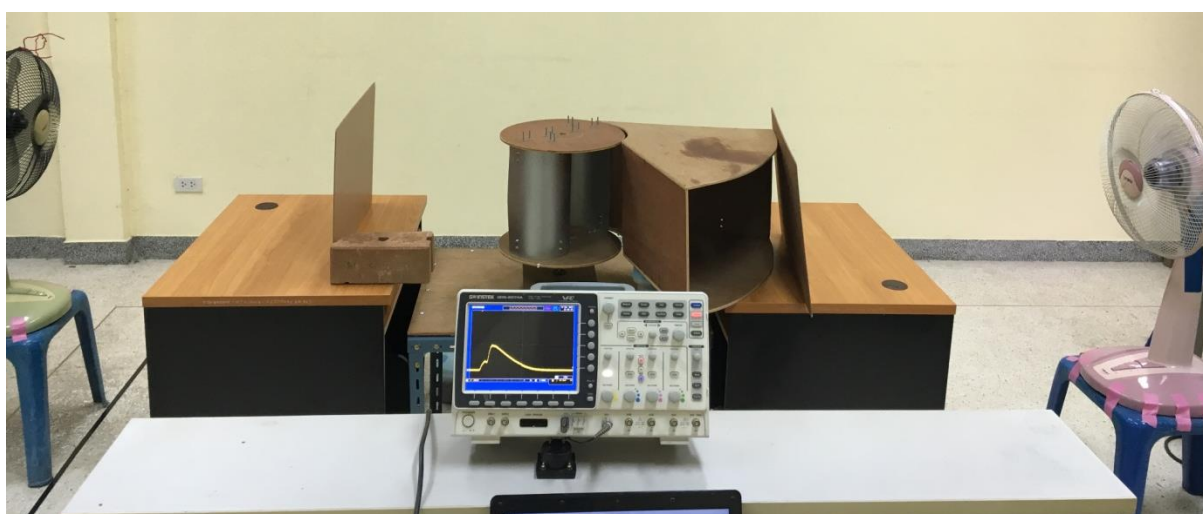


ข (ช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา)

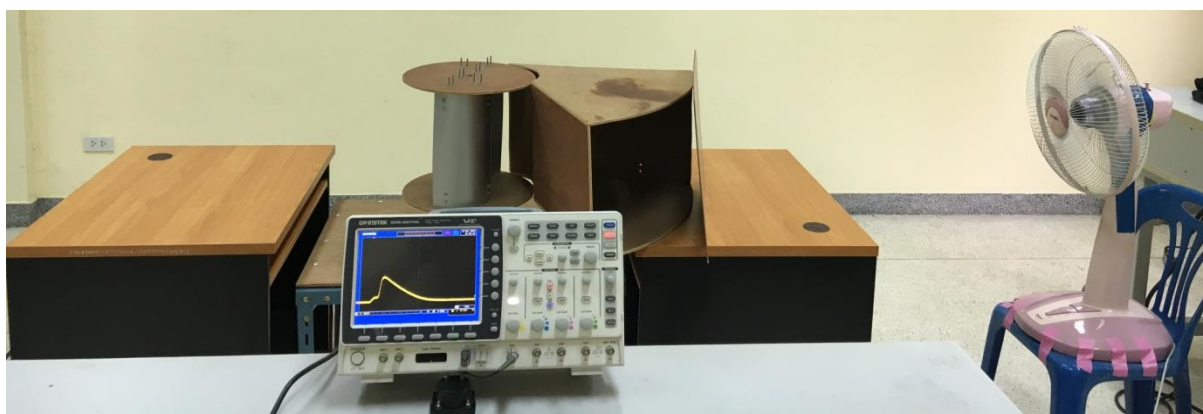




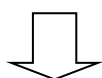
ค (ช่องลมคู่รับลมฝั่งซ้าย)

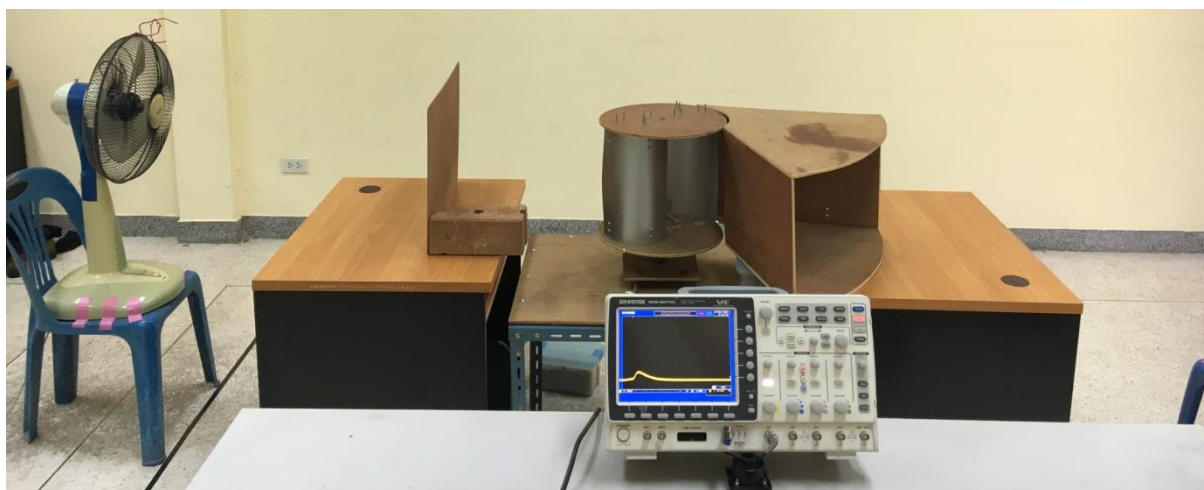


ง (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมสวนทาง)

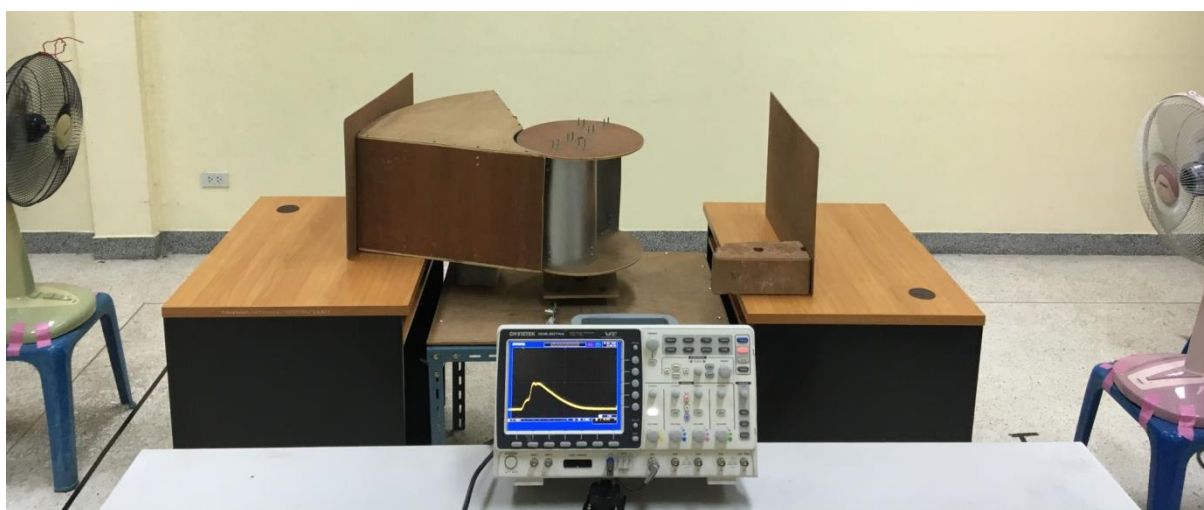


จ (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งขวา)

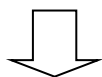


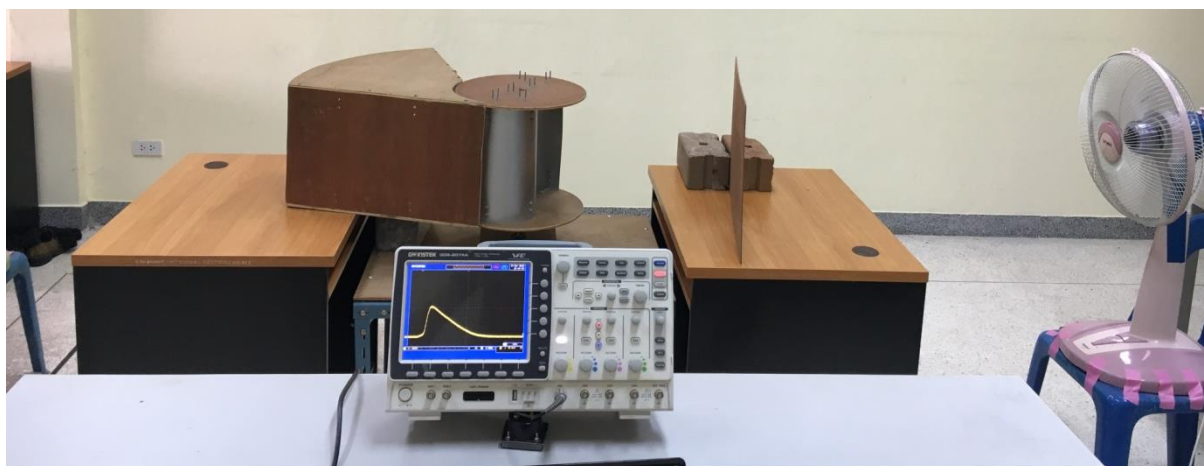


น (ช่องลมเดี่ยวขาารับลมฝั่งซ้าย)

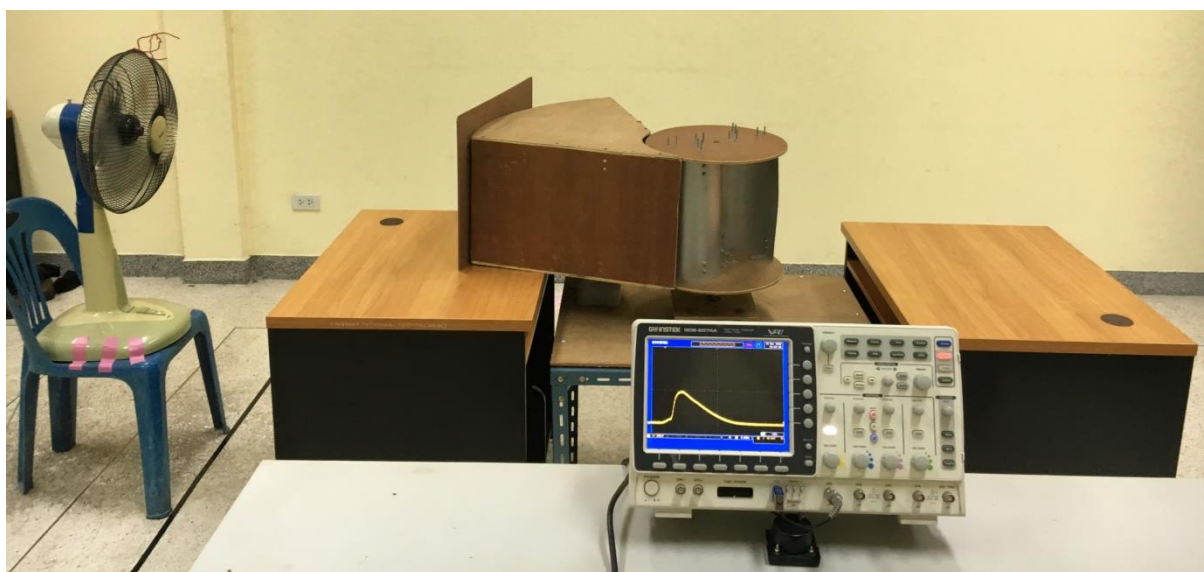


ฉ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมสวนทาง)

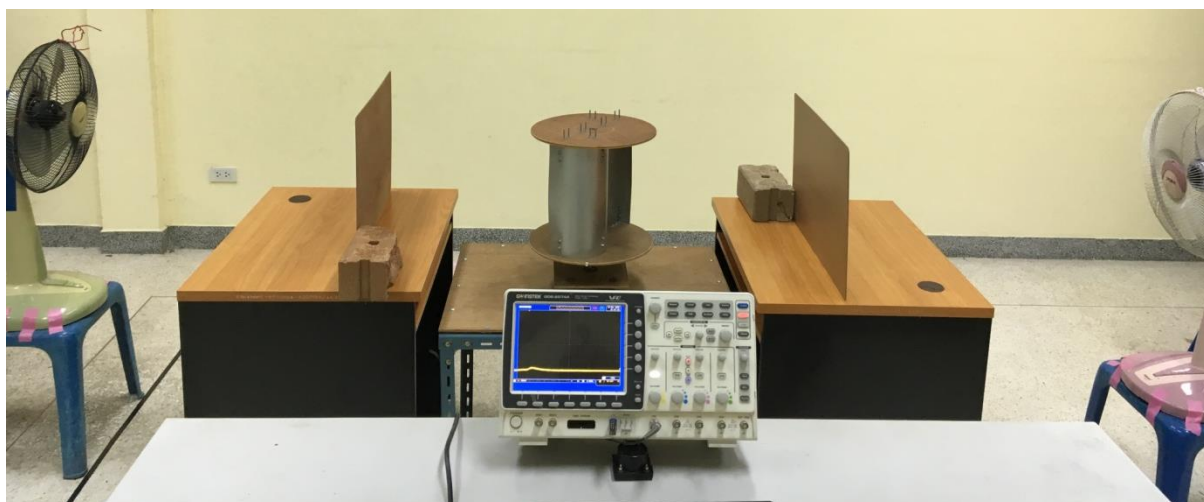




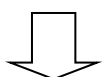
ซ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งขวา)

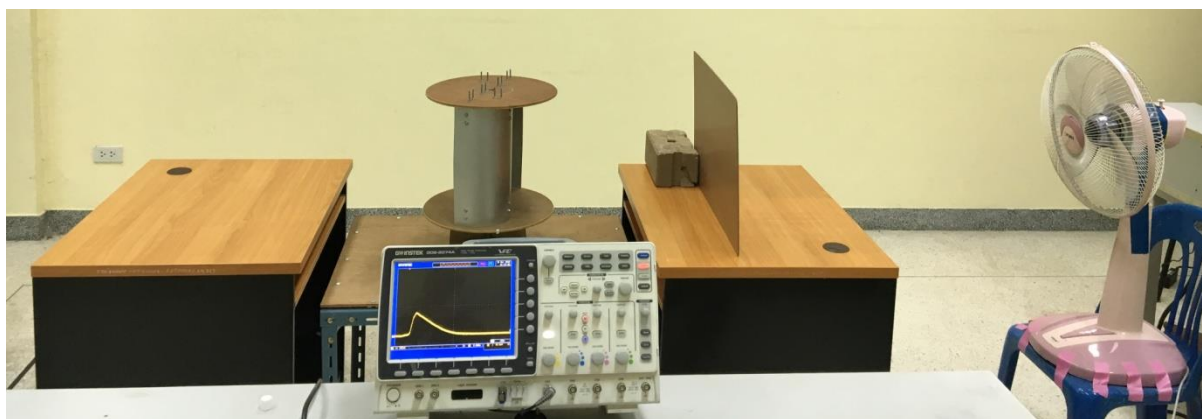


ซ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งซ้าย)

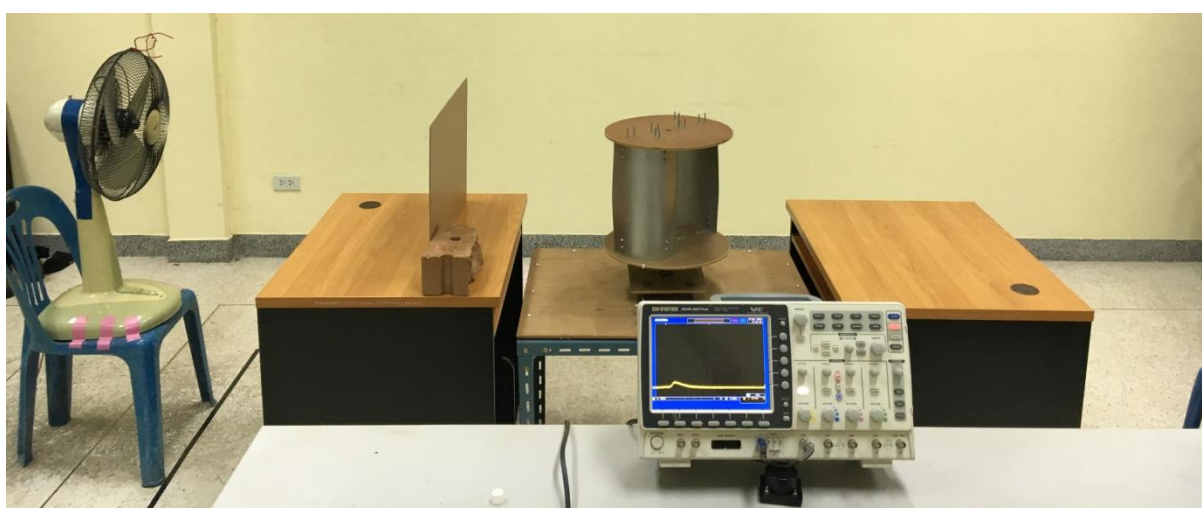


ส (ไม่มีช่องลมรับลมสวนทาง)





ท (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งขวา)



ม (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งซ้าย)

ภาพประกอบ 4.8 (ก-ม) การทดลองศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ

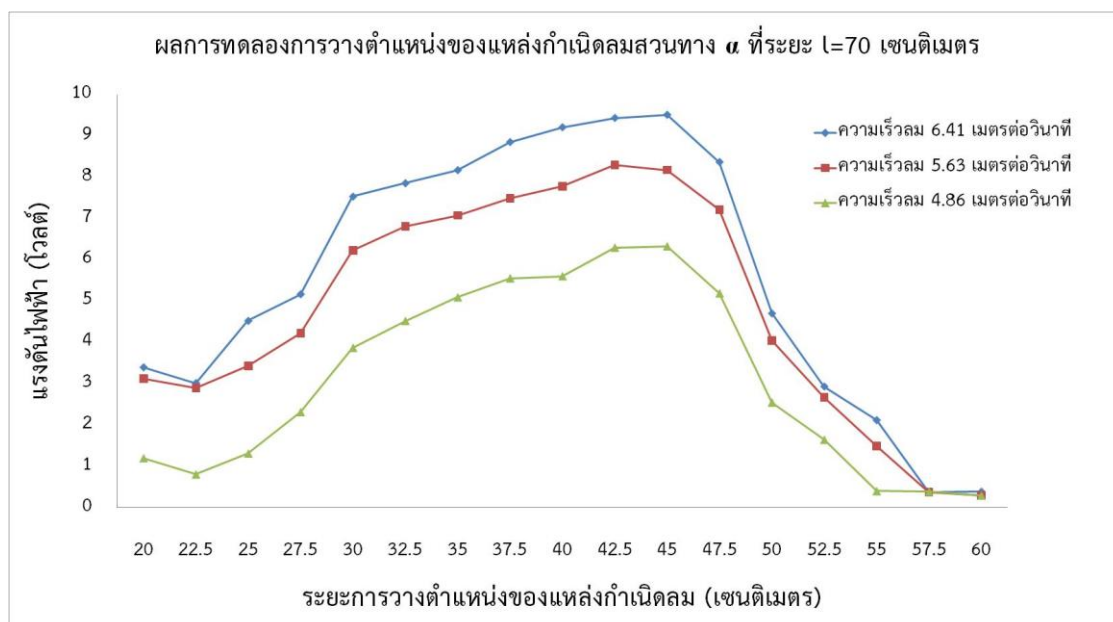
4.1.3.2 การผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม

สำหรับการทดลองนี้จะเป็นการนำกังหันลมชาโวเนียสทั้ง 12 แบบ มาทดลองผลิตกำลังงานไฟฟ้าเมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นโดยการจำลอง โดยลักษณะการทดลองจะเหมือนกับการทดลองที่ 4.1.3.1 ซึ่งจะสรุปผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.3

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 สรุปผลโครงสร้างการทดลองที่ 1 ผลการทดลองหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมและมุมของช่องลมที่ให้แรงดันสูงสุด แบ่งออกเป็น 5 การทดลอง ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.2.1.1 ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง (α)

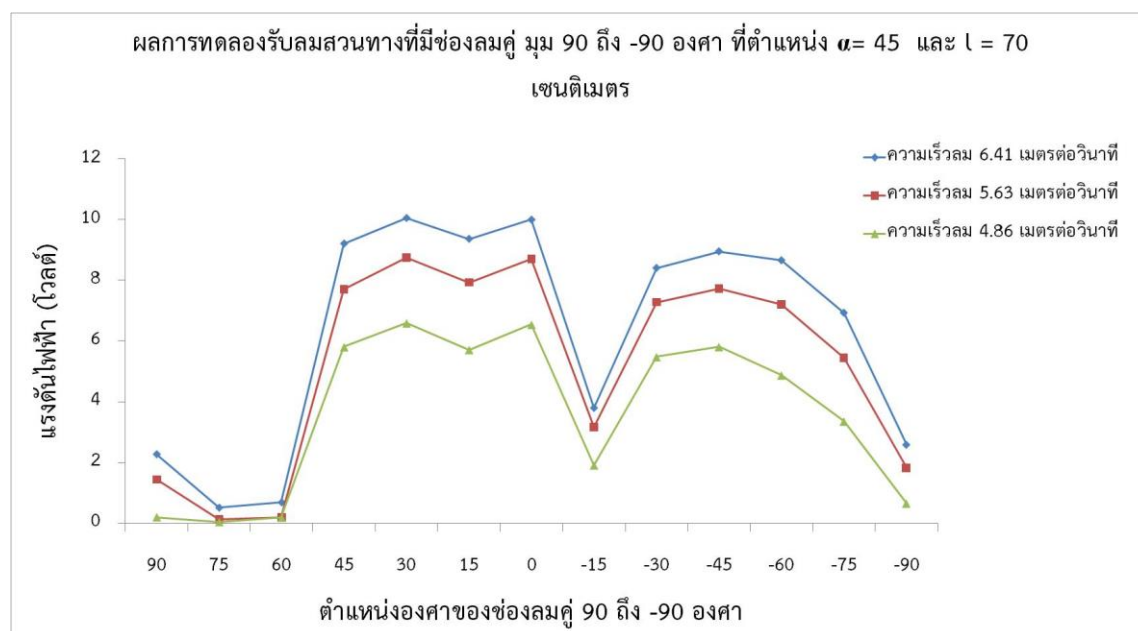


ภาพประกอบ 4.9 ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง (α)

จากภาพประกอบ 4.9 ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง (α) จะเห็นว่าเมื่อมีการเลื่อนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทางไปที่ตำแหน่ง 20 - 60 เซนติเมตร กังหันลมชาโวเนียสามารถรับลมได้ดีที่สุดที่ตำแหน่ง $\alpha = 45$ เซนติเมตร สามารถผลิตแรงดันได้สูงสุดอยู่ในช่วง 6.332 - 9.516 โวลต์ ที่ระดับความเร็วลม 4.68 - 6.41 เมตรต่อวินาที



4.2.1.2 ผลการทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคู่ในตำแหน่งองศาที่ให้แรงดันสูงสุด (θ)
ณ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ให้แรงดันสูงสุด $\alpha = 45$ เซนติเมตร

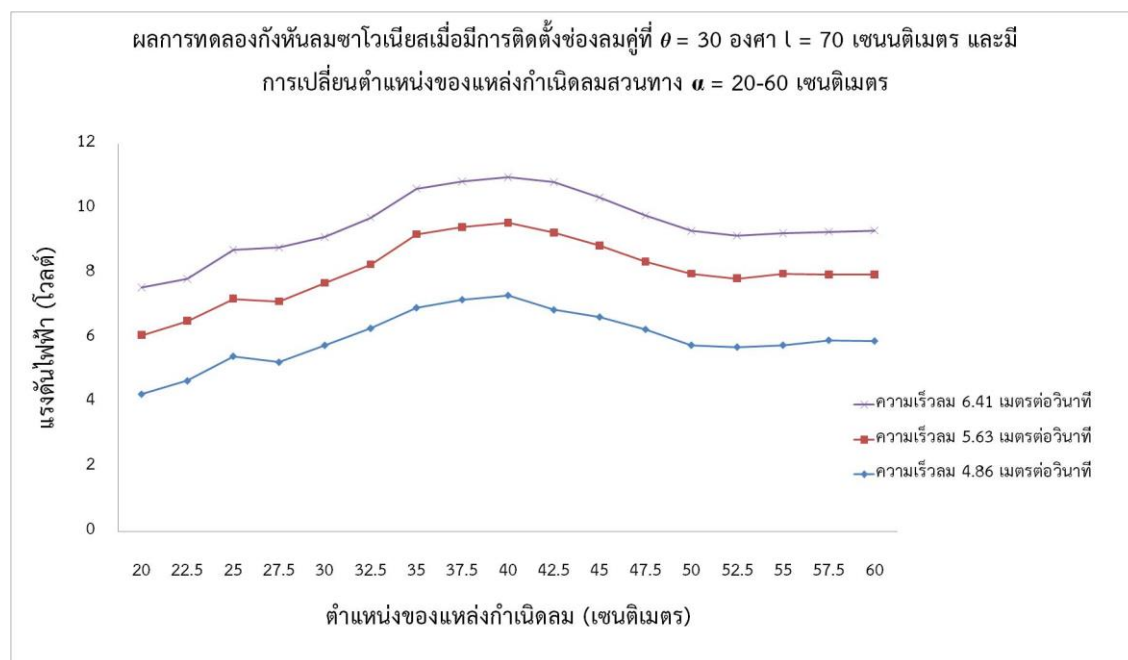


ภาพประกอบ 4.10 ผลการทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคู่ในตำแหน่งองศา 90 ถึง -90 องศา (θ)
ณ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ให้แรงดันสูงสุด $\alpha = 45$ เซนติเมตร

จากภาพประกอบ 4.10 ผลการทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคู่ในตำแหน่งองศา 90 ถึง -90 องศา ณ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ให้แรงดันสูงสุด $\alpha = 45$ เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการหมุนช่องลมคู่ไปที่ตำแหน่งต่างๆ 90 ถึง -90 องศา ที่มุมของช่องลม $\theta = 30$ องศา กังหันลมชาโวเนียสามารถผลิตแรงดันได้สูงสุดในช่วง 6.594 - 10.054 โวลต์ ที่ระดับความเร็วลม 4.68 - 6.41 เมตรต่อวินาที กังหันลมชาโวเนียที่มีช่องลมคู่สามารถผลิตแรงดันได้เพิ่มขึ้นคิดเป็น 5.65% เมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียที่ไม่มีช่องลม



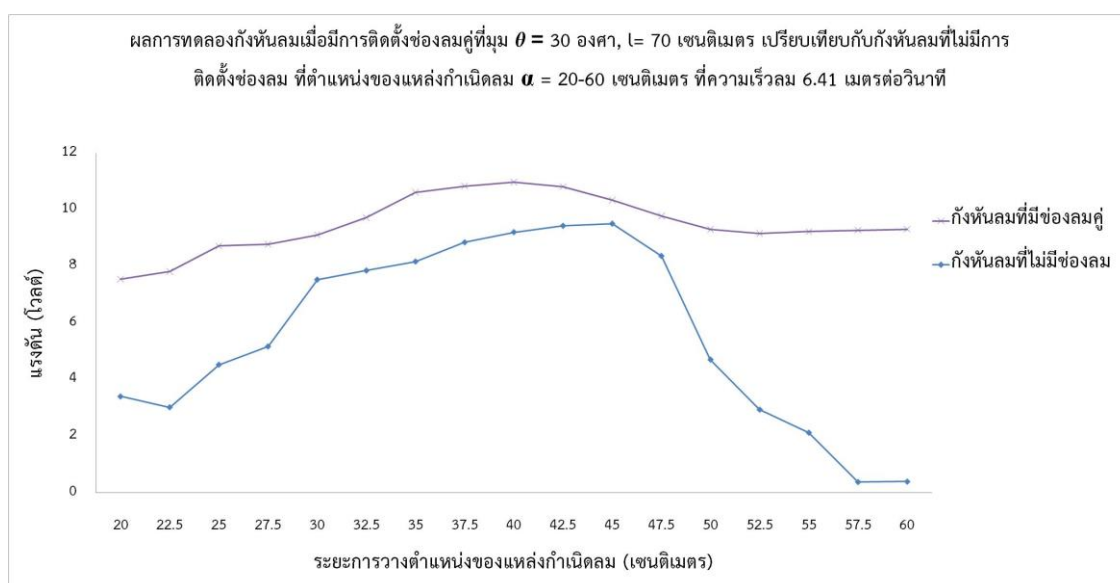
4.2.1.3 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งมุมของช่องลมคู่ที่ $\theta = 30$ องศา



ภาพประกอบ 4.11 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งมุมของช่องลมคู่ที่ $\theta = 30$ องศา

จากภาพประกอบ 4.11 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง $\alpha = 20-60$ เซนติเมตร ณ ตำแหน่งมุมของช่องลมคู่ที่ $\theta = 30$ องศา จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง $\alpha = 40$ เซนติเมตร กังหันลมชาโวเนียส สามารถผลิตแรงดันได้สูงสุดในช่วง 7.31 - 10.98 โวลต์ ที่ระดับความเร็วลม 4.68 - 6.41 เมตรต่อวินาที และเมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่ที่มุม $\theta = 30$ องศา กับกังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลม ที่ความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที แสดงดังภาพประกอบ 4.12



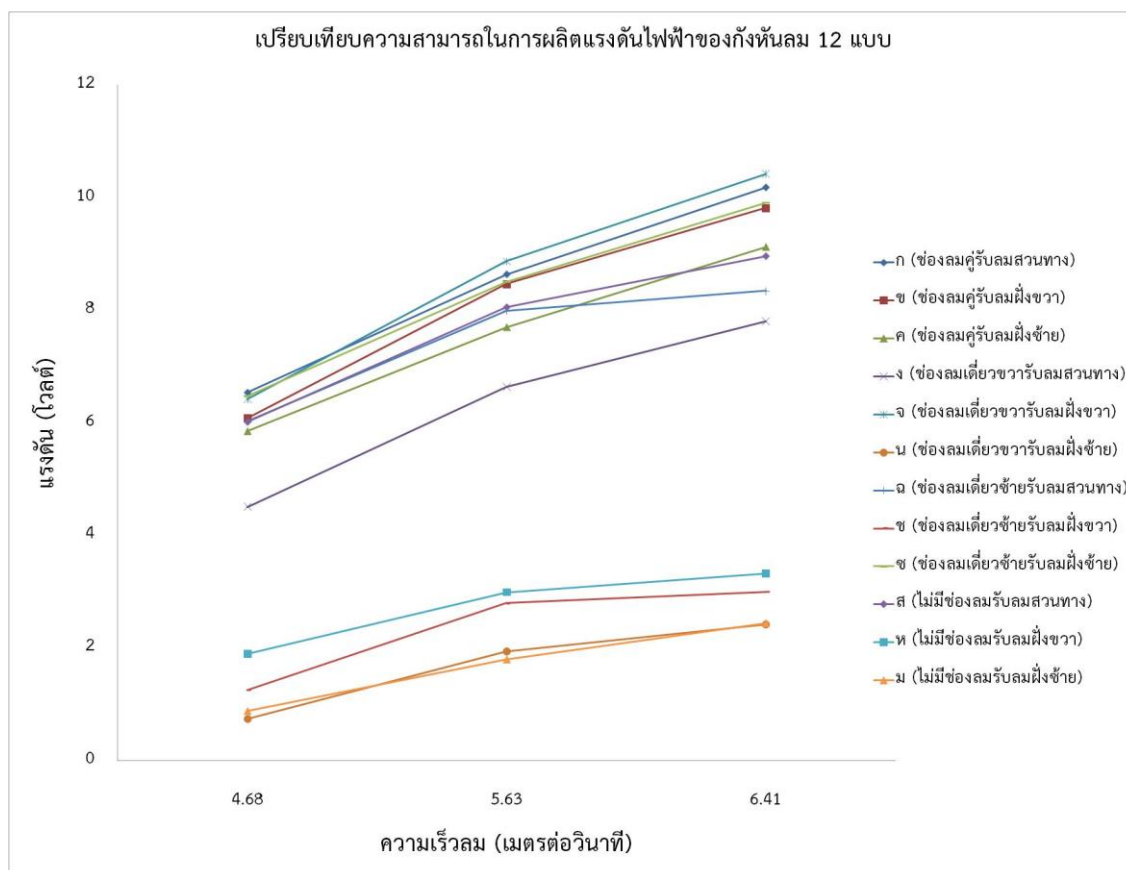


ภาพประกอบ 4.12 ผลการทดลองกังหันลมเมื่อมีการติดตั้งช่องลมคู่ที่มุม $\theta = 30$ องศา, $l = 70$ เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกังหันลมที่ไม่มีการติดตั้งช่องลม ที่ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม $\alpha = 20-60$ เซนติเมตร ที่ความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

จากภาพประกอบ 4.12 ผลการทดลองกังหันลมเมื่อมีการติดตั้งช่องลมคู่ที่มุม $\theta = 30$ องศา, $l = 70$ เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกังหันลมที่ไม่มีการติดตั้งช่องลม ที่ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม $\alpha = 20-60$ เซนติเมตร จะเห็นได้ว่า กังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงขึ้นเฉลี่ย 45-68% ทุกช่วงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม เมื่อเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลม



4.2.1.4 การทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ

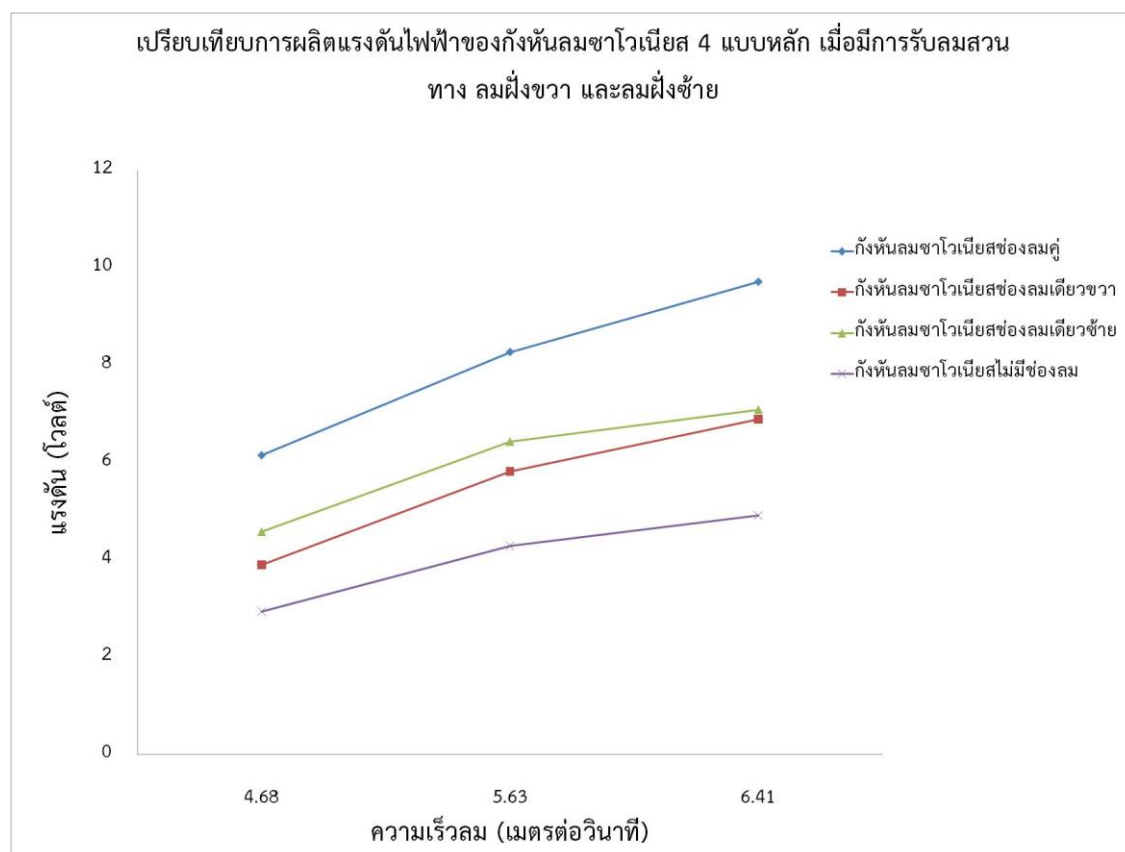


ภาพประกอบ 4.13 เปรียบเทียบความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ

จากภาพประกอบ 4.13 เปรียบเทียบความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ จะเห็นได้ว่ากังหันลมชาโวเนียสแบบ จ (ช่องลมเดี่ยวขาารับลมฝั่งขวา) สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในช่วง 8.86 - 10.42 โวลต์ มากกว่ากังหันลมชนิดอื่นๆ คิดเป็น 49.26% ที่ระดับความเร็วลม 5.63 - 6.41 เมตรต่อวินาที



เมื่อเปรียบเทียบการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลักคือ กังหันลมชาโวเนียสช่องลมคู่ กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวา กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้าย และกังหันลมชาโวเนียสไม่มีช่องลม เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย แสดงดังภาพประกอบ 4.14



ภาพประกอบ 4.14 เปรียบเทียบการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย

จากภาพประกอบ 4.14 เปรียบเทียบการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย จะเห็นได้ว่ากังหันลมชาโวเนียสช่องลมคู่ กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวา กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้าย และกังหันลมชาโวเนียสไม่มีช่องลม สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดเฉลี่ย 6.15 - 9.71 , 3.89 - 6.88, 4.58 - 7.08, และ 2.93 - 4.91 โวลต์ ตามลำดับ อีกทั้งจะเห็นได้ว่ากังหันลมชาโวเนียสช่องลมคู่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดเมื่อเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสแบบอื่นๆคิดเป็น 54.61% ที่ความเร็วลม 4.68 - 6.41 เมตรต่อวินาที



4.2.1.5 การวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ

ตาราง 4.5 ผลการวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ

ทดสอบที่ 50 วินาที เพื่อดูค่า Vripple				
ที่ความเร็วลม 6.41 m/s $\alpha = 45^\circ$ ซม. $\theta = 30^\circ$ องศา $l = 70$ ซม.				
กังหันลม 12 แบบ	แรงดันเฉลี่ย (V)			
	Vmax	Vmean	Vp-p	ระลอกคลื่น(Vp-p/Vmean)
ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง)	10.57	10.03	1.12	0.112 (1.11%)
ข (ช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา)	10.30	9.52	1.33	0.14 (1.47%)
ค (ช่องลมคู่รับลมฝั่งซ้าย)	9.65	9.06	1.15	0.126 (1.40%)
ง (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมสวนทาง)	9.07	7.89	2.03	0.257 (3.26%)
จ (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งขวา)	11.07	10.33	1.33	0.129 (1.25%)
ฉ (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งซ้าย)	3.12	2.12	1.81	0.845 (39.94%)
ช (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมสวนทาง)	9.09	8.18	1.79	0.22 (2.68%)
ซ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งขวา)	5.36	4.11	2.69	0.663 (16.12%)
ด (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งซ้าย)	10.04	9.52	1.12	0.118 (1.24%)
ต (ไม่มีช่องลมรับลมสวนทาง)	10.00	9.23	1.57	0.171 (1.85%)
ท (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งขวา)	4.75	3.69	2.29	0.627 (16.99%)
ม (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งซ้าย)	3.87	2.85	1.95	0.683 (23.97%)

จากตาราง 4.5 การวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ จะเห็นได้ว่า กังหันลมชาโวเนียสแบบ ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง) ให้คุณภาพสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงในส่วนของการมีระลอกคลื่นดีที่สุด 0.112 (1.11%) ซึ่งต่ำกว่ากังหันแบบอื่นๆ และยัง สามารถผลิตแรงดันได้สูงสุด 10.57 โวลต์

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก คือ กังหันลมชาโวเนียสช่องลมคู่ กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวา กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้าย กังหันลมชาโวเนียสไม่มีช่องลม เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย แสดงดังตาราง 4.6



ตาราง 4.6 เปรียบเทียบคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก
เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย

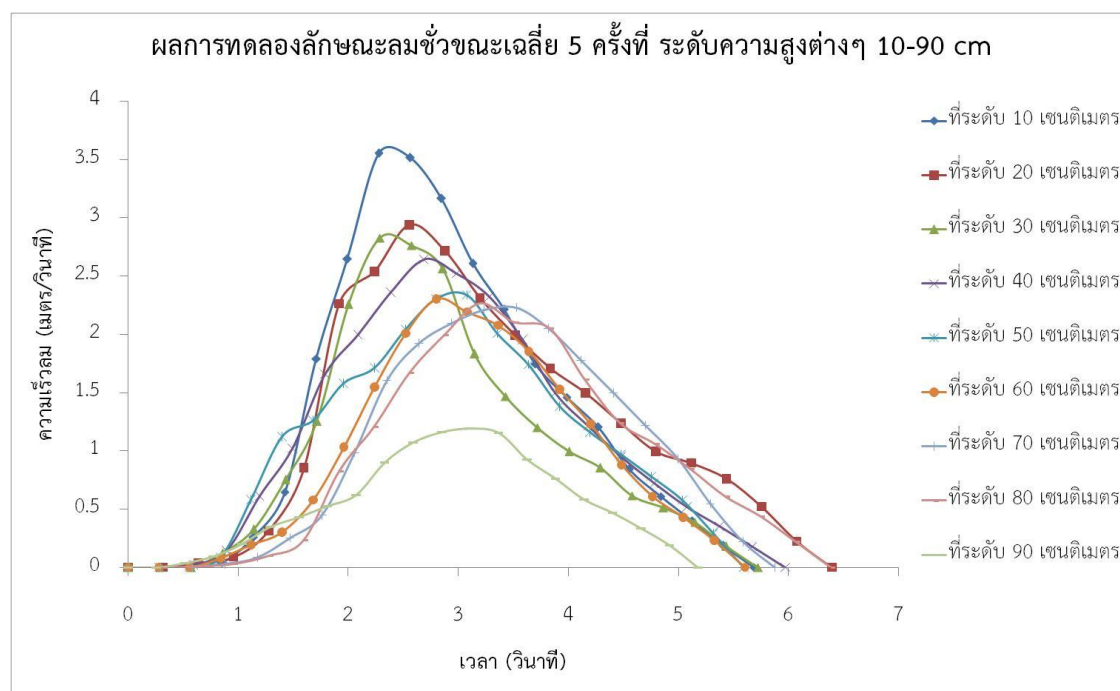
เปรียบเทียบคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย ที่ความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที				
กังหันลม 4 แบบหลัก	แรงดันเฉลี่ย (V)			
	Vmax	Vmean	Vp-p	ระลอกคลื่น(Vp-p/Vmean)
กังหันลมชาโวเนียสช่องลมคู่	10.17	9.54	1.2	0.126 (1.32%)
กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวขวา	7.75	6.78	1.72	0.254 (3.75%)
กังหันลมชาโวเนียสช่องลมเดี่ยวซ้าย	8.16	7.27	1.87	0.257 (3.53%)
กังหันลมชาโวเนียสไม่มีช่องลม	6.20	5.26	1.94	0.369 (7.02%)

จากตาราง 4.6 เปรียบเทียบคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก จะเห็นได้ว่า กังหันลมชาโวเนียสช่องลมคู่เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย สามารถผลิตแรงดันได้สูงสุดอยู่ในช่วง 9.67 - 10.57 โวลต์ ที่ความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที ตามตาราง 4.5 และกังหันลมชาโวเนียสช่องลมคู่ ให้คุณภาพสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในส่วนของการมีระลอกคลื่นที่ต่ำที่สุด 0.126 (1.32%) ซึ่งต่ำกว่ากังหันแบบอื่นๆ



4.2.2 สรุปผลโครงสร้างการทดลองที่ 2 ผลการเก็บลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะและการจำลองลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม

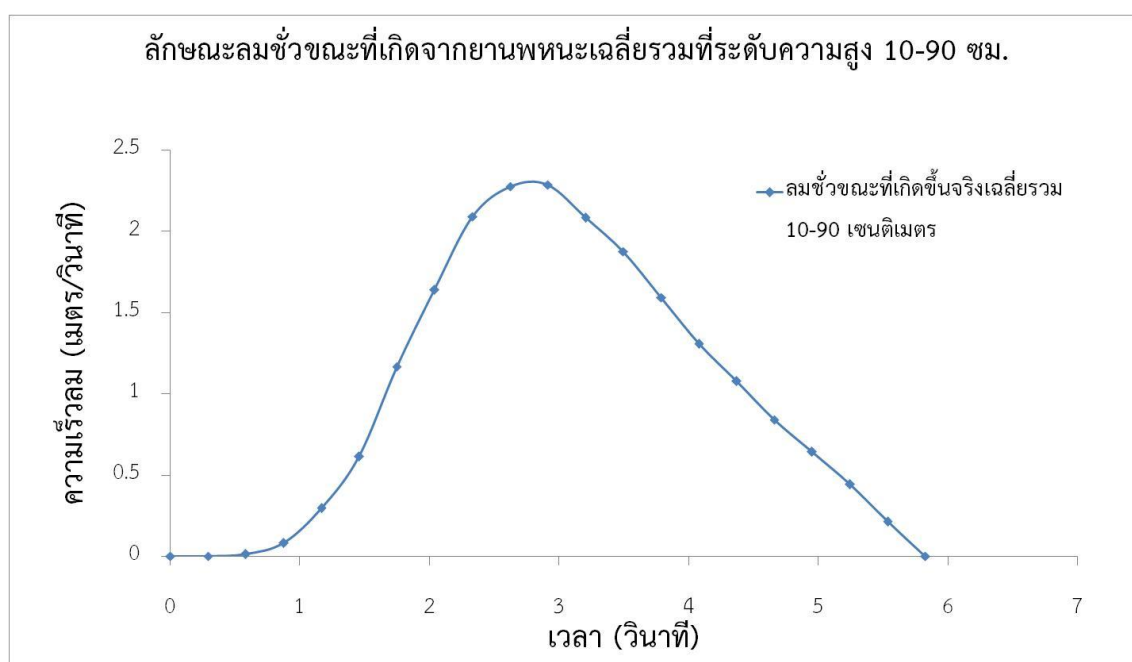
4.2.2.1 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ



ภาพประกอบ 4.15 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะที่ระดับความสูง 10 -90 เซนติเมตร

จากภาพประกอบ 4.15 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะที่ระดับความสูง 10 -90 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าลักษณะของลมชั่วขณะที่เกิดจากการเคลื่อนที่จากยานพาหนะนั้น จะมีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะเฉลี่ยที่ระดับ 10 - 90 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 5 - 6 วินาที และที่ระดับ 10 เซนติเมตรให้ความเร็วลมสูงสุด 3.55 เมตรต่อวินาที ที่เวลา 2.30 วินาที และมีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะ 5.69 วินาที ลักษณะของความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะเฉลี่ยรวมระดับความสูง 10 -90 เซนติเมตร แสดงดังภาพประกอบ 4.16



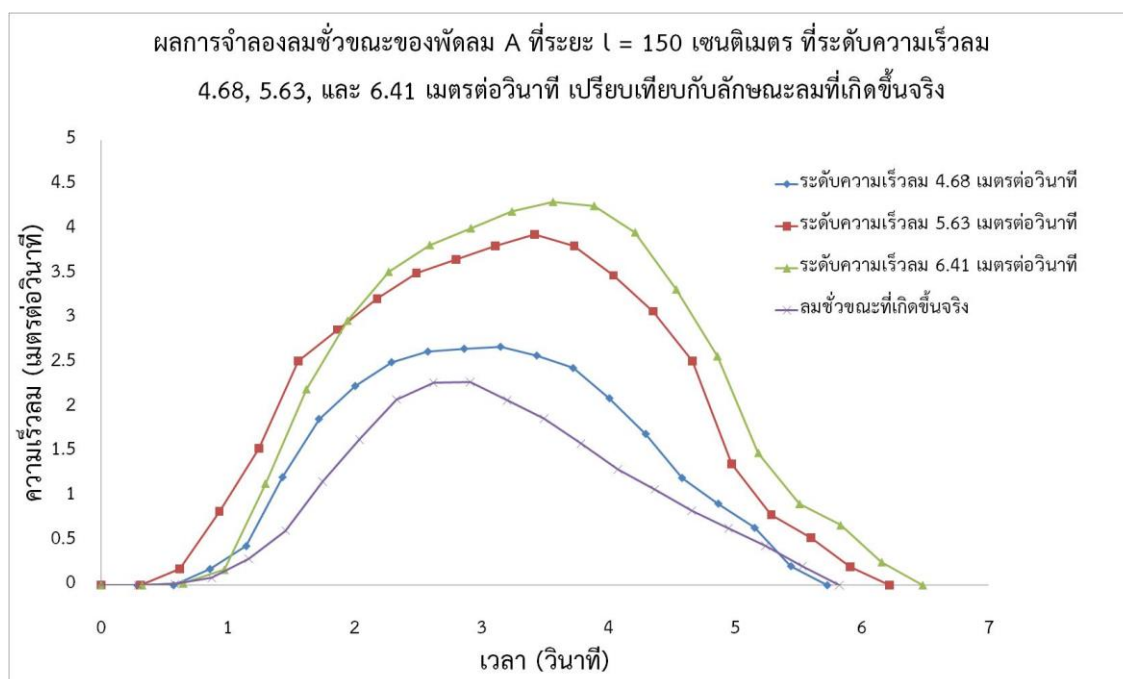


ภาพประกอบ 4.16 ลักษณะของความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะเฉลี่ยรวมระดับความสูง 10 - 90 เซนติเมตร

จากภาพประกอบ 4.16 ลักษณะของความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะเฉลี่ยรวมที่ระดับความสูง 10 - 90 เซนติเมตร เมื่อเฉลี่ยแล้วจะเห็นได้ว่าช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะจะอยู่ในช่วง 5.82 วินาที และความเร็วลมชั่วขณะสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.28 เมตรต่อวินาที ที่เวลา 2.91 วินาที ความเร็วลมลดลง 35.77% เมื่อเทียบกับความเร็วลมที่เกิดขึ้นในระดับความสูง 10 เซนติเมตร ดังนั้นจากภาพประกอบ 4.16 ลักษณะการเกิดลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงนี้ จะถูกนำมาจำลองขึ้นโดยใช้พัดลมเพื่อที่จะนำทำการศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะและการผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม ซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป



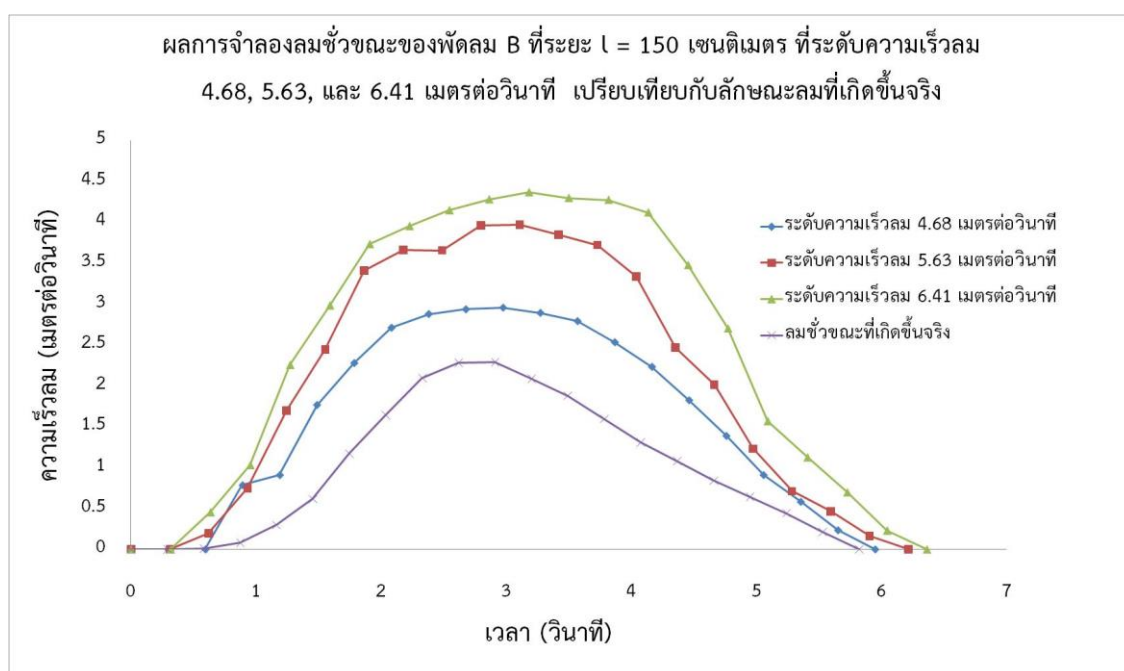
4.2.2.2 การจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม



ภาพประกอบ 4.17 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร ที่ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาที เปรียบเทียบกับลักษณะลมที่เกิดขึ้นจริง

จากภาพประกอบ 4.17 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร จะเห็นได้ว่า พัดลม A ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที มีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะจะอยู่ในช่วง 5.72 วินาที และมีความเร็วลมชั่วขณะสูงสุดอยู่ที่ 2.68 เมตรต่อวินาที ที่เวลาระยะ 3.15 วินาที ซึ่งพัดลม A ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที นั้นมีค่าใกล้เคียงกับลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด โดยมีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะแตกต่างจากลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงคิดเป็น 1.74% และมีความเร็วลมชั่วขณะแตกต่างจากลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงเฉลี่ยทุกช่วงระยะเวลาที่เกิดลมคิดเป็น 24%



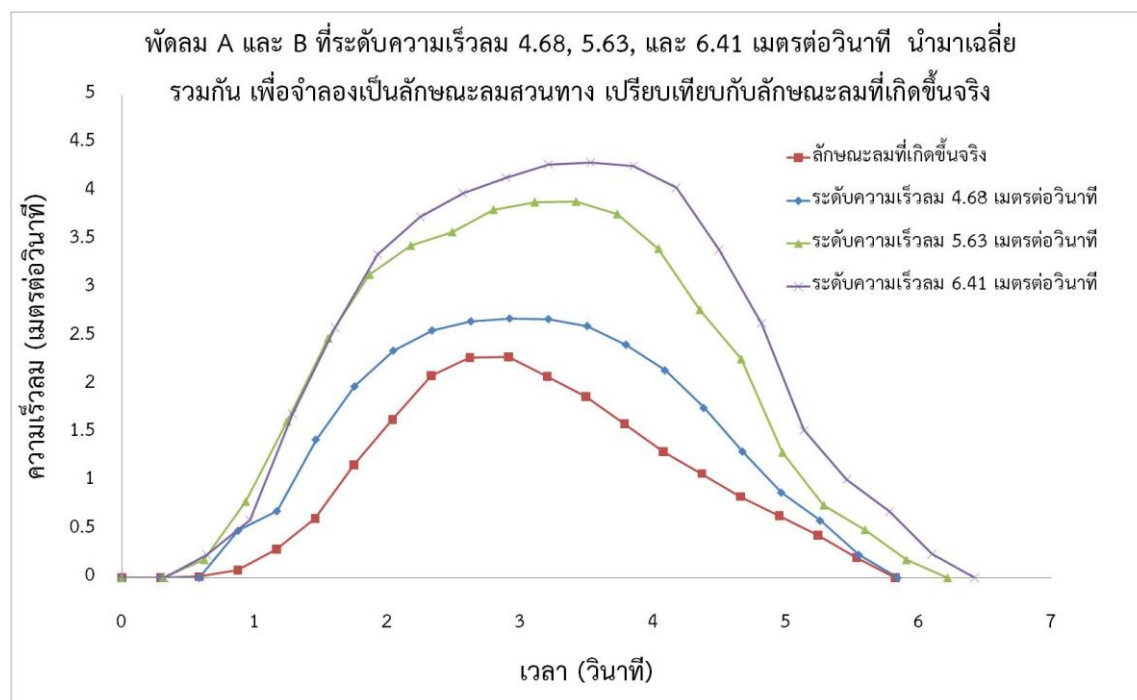


ภาพประกอบ 4.18 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม B ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร ที่ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาที เปรียบเทียบกับลักษณะลมที่เกิดขึ้นจริง

จากภาพประกอบ 4.18 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม B ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร จะเห็นได้ว่า พัดลม B ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที มีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะอยู่ในช่วง 5.95 วินาที และมีความเร็วลมชั่วขณะสูงสุดอยู่ที่ 2.95 เมตรต่อวินาที ที่เวลาระยะ 2.97 วินาที ซึ่งพัดลม B ที่ระดับที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที นั้นมีค่าใกล้เคียงกับลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด โดยมีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะแตกต่างจากลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงคิดเป็น 2.23% และมีความเร็วลมชั่วขณะแตกต่างจากลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงเฉลี่ยทุกช่วงระยะเวลาที่เกิดลมคิดเป็น 35%



จากภาพประกอบ 4.17 และ 4.18 พัดลม A และ B ที่ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาที นำมาเฉลี่ยรวมกันเพื่อจำลองเป็นลักษณะลมสวนทาง แสดงดังภาพประกอบ 4.19



ภาพประกอบ 4.19 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A และ B ที่ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาที นำมาเฉลี่ยรวมกัน เพื่อจำลองเป็นลักษณะลมสวนทาง

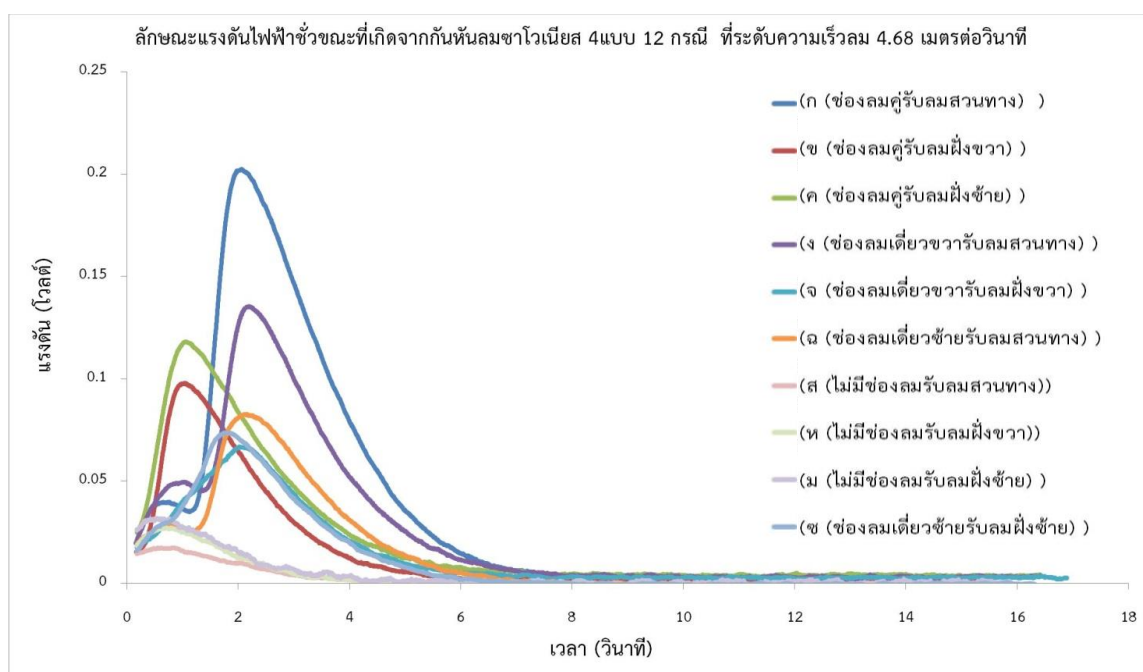
จากภาพประกอบ 4.19 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A และ B ที่ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาที นำมาเฉลี่ยรวมกันเพื่อจำลองเป็นลักษณะลมสวนทาง จะเห็นได้ว่าเมื่อนำผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A และ B มาเฉลี่ยรวมกัน ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที มีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะอยู่ในช่วง 5.84 วินาที และมีความเร็วลมชั่วขณะสูงสุดอยู่ที่ 2.68 เมตรต่อวินาที ที่เวลาระยะ 2.92 วินาที ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะลมชั่วขณะที่ไม่ใกล้เคียงกับลักษณะลมที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด โดยมีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะแตกต่างจากลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงคิดเป็น 0.34% และมีความเร็วลมชั่วขณะแตกต่างจากลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงเฉลี่ยทุกช่วงระยะเวลาที่เกิดลมคิดเป็น 27%

ดังนั้นจากผลการทดลองที่ 4.2.2.2 การจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม ผู้วิจัยจึงได้นำลักษณะลมชั่วขณะที่ได้จำลองขึ้น มาทำการทดลองกับกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบ เพื่อศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าและการผลิตกำลังไฟฟ้าเมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม



4.2.3 สรุปผลโครงสร้างการทดลองที่ 3 ผลการศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะและการผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกันหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม

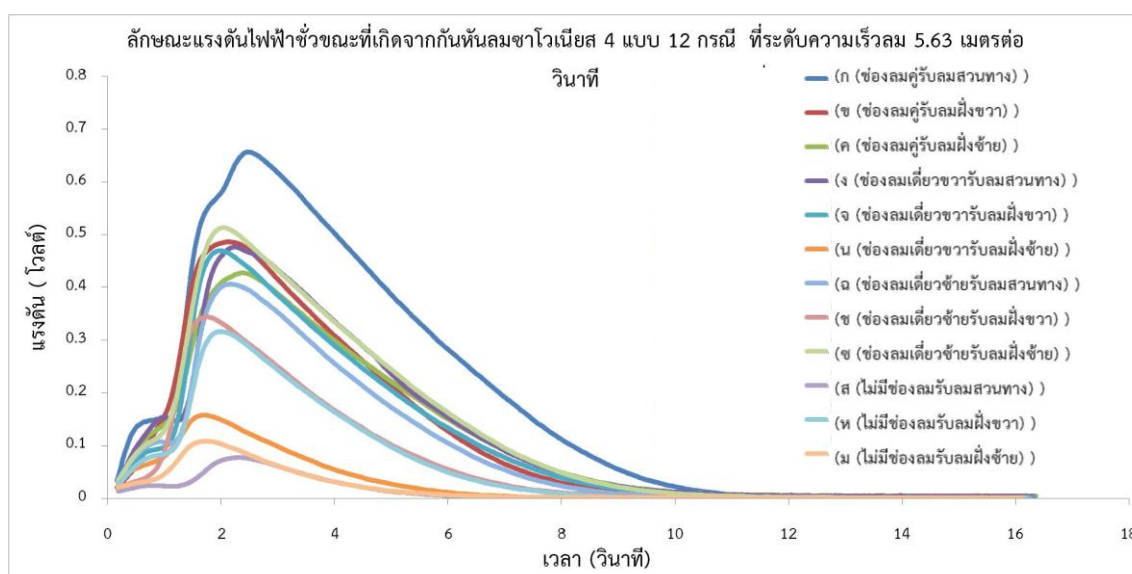
4.2.3.1 ผลการศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกันหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม



ภาพประกอบ 4.20 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกันหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที

จากภาพประกอบ 4.20 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกันหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที จะเห็นว่า กันหันลมชาโวเนียสแบบ ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง) สามารถผลิตแรงได้สูงสุด 0.22 โวลต์ ที่ระยะเวลา 1.90 วินาที และมีช่วงระยะเวลาที่เกิดแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ 6.31 วินาที ซึ่งสามารถผลิตแรงดันได้สูงกว่ากันหันลมชาโวเนียสแบบอื่นๆเฉลี่ยคิดเป็น 59.52%

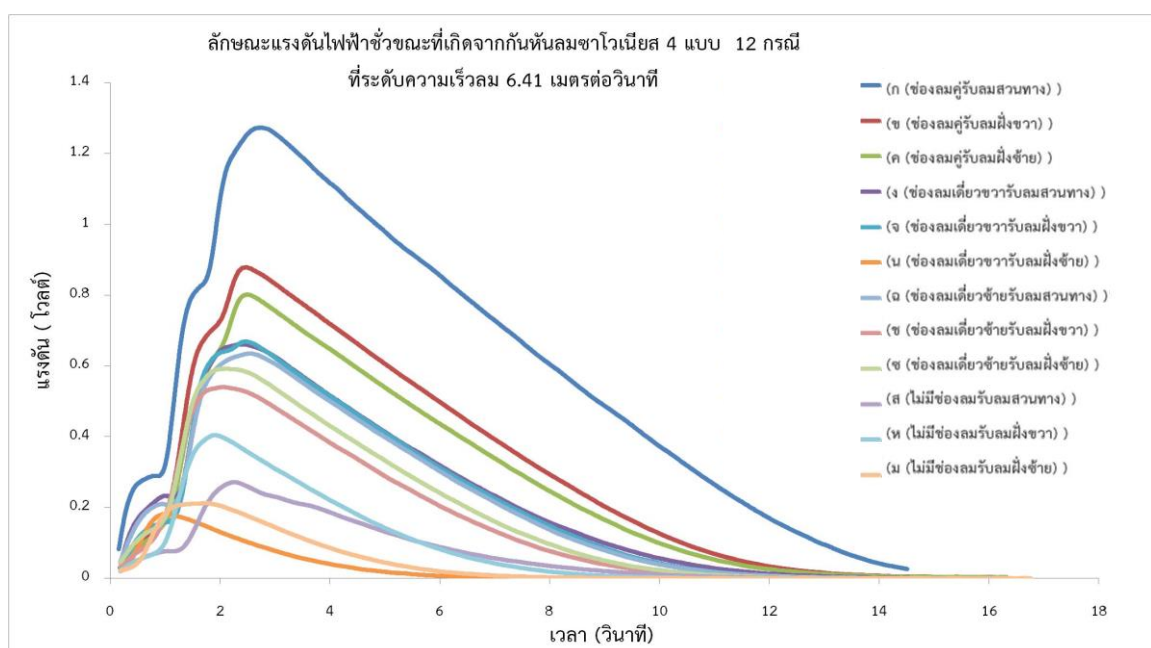




ภาพประกอบ 4.21 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

จากภาพประกอบ 4.21 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่า กังหันลมชาโวเนียสแบบ ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง) สามารถผลิตแรงได้สูงสุด 0.67 โวลต์ ที่ระยะเวลา 2.39 วินาที และมีช่วงระยะเวลาที่เกิดแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ 10.45 วินาที ซึ่งสามารถผลิตแรงดันได้สูงกว่ากังหันลมชาโวเนียสแบบอื่นๆเฉลี่ยคิดเป็น 49.90% และเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความเร็วลม 4.68 และ 5.63 เมตรต่อวินาที กังหันลมชาโวเนียสแบบ ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที สามารถผลิตแรงดันเพิ่มขึ้นคิดเป็น 66.66%

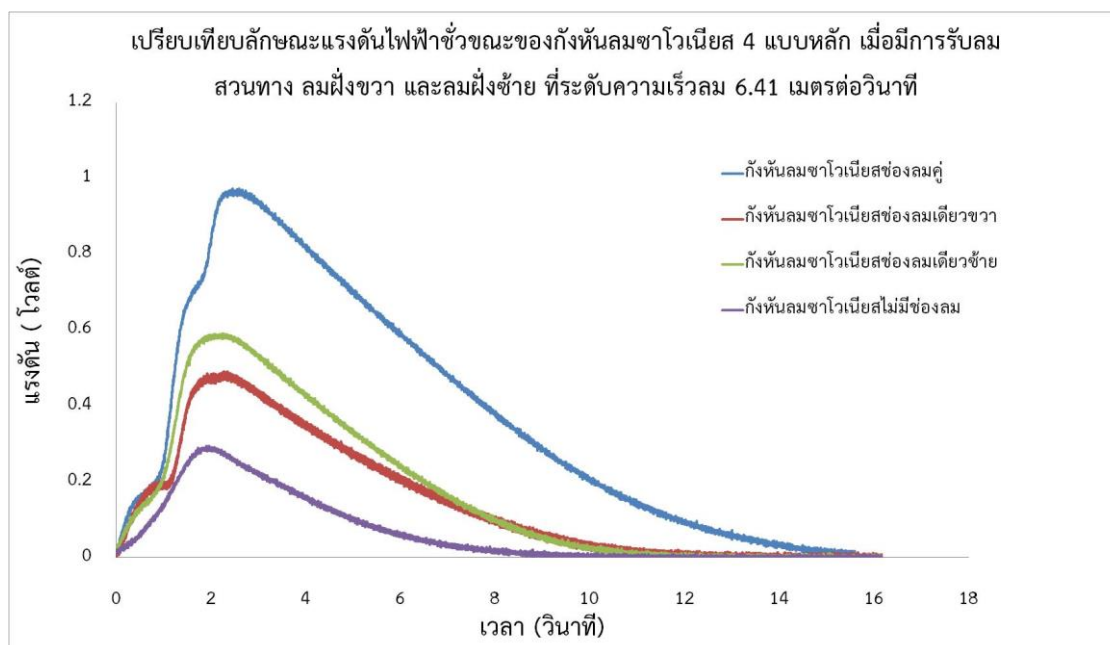




ภาพประกอบ 4.22 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกันหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี
เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่กำลังขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 6.41
เมตรต่อวินาที

จากภาพประกอบ 4.22 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดจากกันหันลมชาโวเนียส 4 แบบ 12 กรณี เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่กำลังขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่า กันหันลมชาโวเนียสแบบ ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง) สามารถผลิตแรงได้สูงสุด 1.30 โวลต์ ที่ระยะเวลา 2.61 วินาที และมีช่วงระยะเวลาที่เกิดแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ 14.51 วินาที และ ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที สามารถผลิตแรงดันได้สูงกว่ากันหันลมชาโวเนียสแบบอื่นๆ เฉลี่ยคิดเป็น 58.13% เพิ่มขึ้นจากระดับความเร็วลม 5.63 และ 4.68 เฉลี่ยคิดเป็น 65.76% และมีช่วงระยะเวลาที่เกิดแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะเพิ่มขึ้นจากระดับความเร็วลม 5.63 และ 4.68 เฉลี่ยคิดเป็น 42.45% เปรียบเทียบลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกันหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย แสดงดังภาพประกอบ 4.23





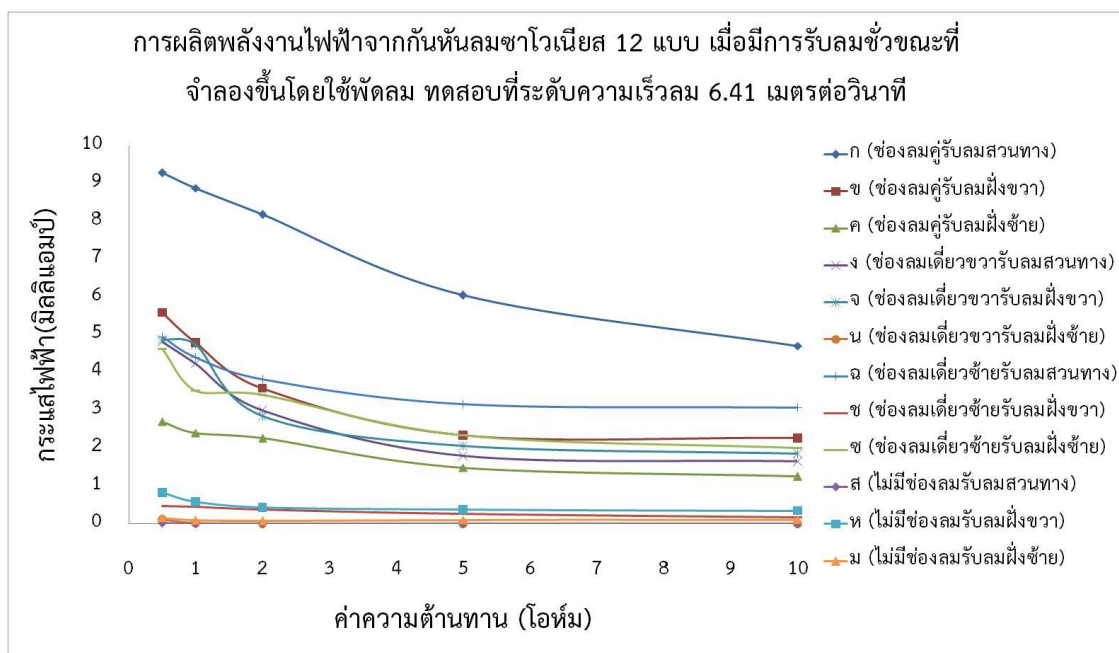
ภาพประกอบ 4.23 เปรียบเทียบลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกัณฑ์ลมหชาวเเนยส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมหสวนทาง ลมฝ่งขวา และลมฝ่งซ้าย ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

จากภาพประกอบ 4.23 เปรียบเทียบลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกัณฑ์ลมหชาวเเนยส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมหสวนทาง ลมฝ่งขวา และลมฝ่งซ้าย ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่า กัณฑ์ลมหชาวเเนยสช่องลมหคู่ กัณฑ์ลมหชาวเเนยสช่องลมหเดี่ยวขวา กัณฑ์ลมหชาวเเนยสช่องลมหเดี่ยวซ้าย และกัณฑ์ลมหชาวเเนยสไม่มีช่องลมห สามารถลมหิตแรงดันไฟฟ้าได้ 0.97, 0.49, 0.59, และ 0.29 โวลต์ ตามลำดับ และมีช่วงระยะเวลาลมหิตแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ 14.68, 11.05, 11.11, และ 8.67 วินาที

กัณฑ์ลมหชาวเเนยสที่มีช่องลมหคู่เมื่อมีการรับลมหชั่วขณะ ในลักษณะรับลมหสวนทาง ลมฝ่งขวา และลมฝ่งซ้าย จะสามารถลมหิตแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่ากัณฑ์ลมหชาวเเนยสแบบอื่นๆเฉลี่ยลมหิตเป็น 53.60% และยังมีช่วงระยะเวลาลมหิตแรงดันไฟฟ้ามากกว่ากัณฑ์ลมหชาวเเนยสชนิดอื่นๆเฉลี่ยลมหิตเป็น 29.97% และเมื่อเปรียบเทียบกับกัณฑ์ลมหชาวเเนยสที่ไม่มีช่องลมห กัณฑ์ลมหชาวเเนยสที่มีช่องลมหคู่นั้น เมื่อมีการรับลมหชั่วขณะในลักษณะต่างๆ จะสามารถลมหิตแรงดันได้มากกว่าลมหิตเป็น 70.10% และมีช่วงระยะเวลาลมหิตแรงดันไฟฟ้ามากกว่าลมหิตเป็น 40.94%

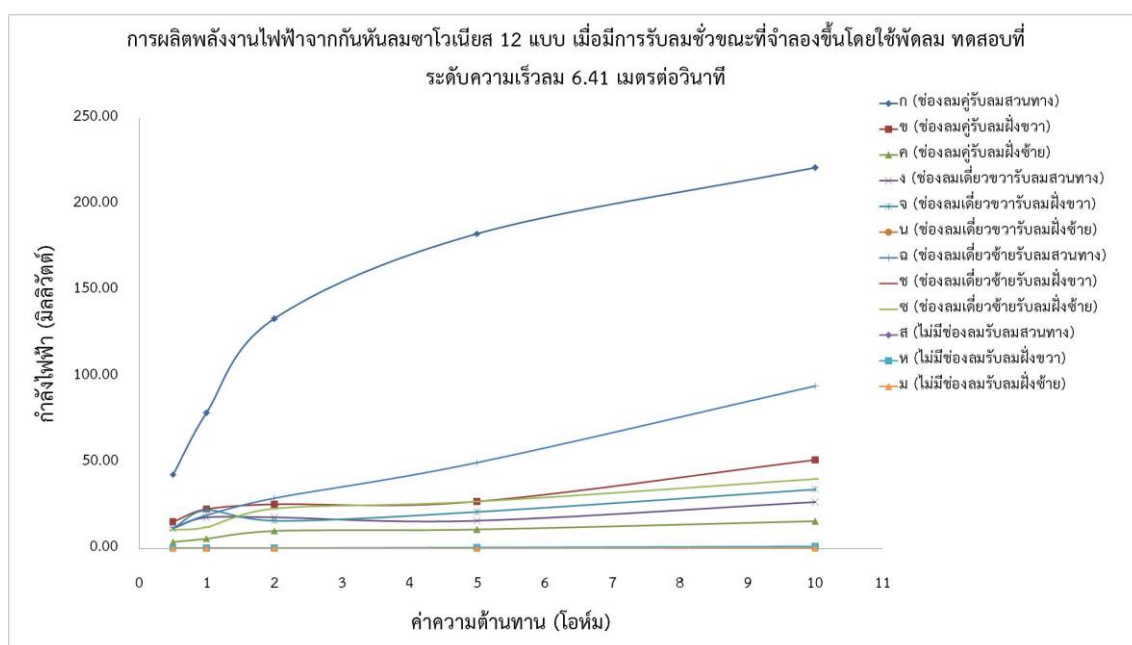


4.2.3.2 ผลการทดลองผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม ทดสอบที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที



ภาพประกอบ 4.24 ผลการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ ในสภาวะมีโหลด 0.5 - 10 โอห์ม ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

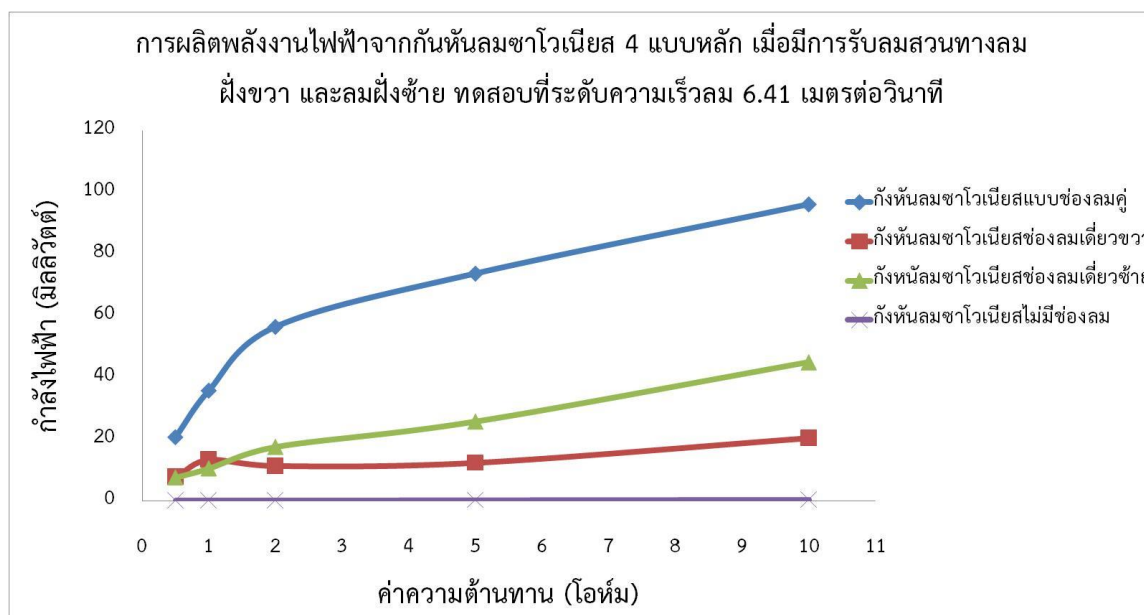




ภาพประกอบ 4.25 ผลการทดลองผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

จากภาพประกอบ 4.24 และ 4.25 ผลการทดลองผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที จะเห็นได้ว่ากังหันลมชาโวเนียสแบบ ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง) สามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้มากกว่ากังหันลมชาโวเนียสแบบอื่นๆ อยู่ในช่วง 43.02 - 221.28 มิลลิวัตต์ ที่ค่าความต้านทาน 0.5 - 10 โอห์ม และเมื่อเปรียบเทียบการผลิตกำลังงานไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที ค่าความต้านทาน 10 โอห์ม กังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่ ช่องลมเดี่ยวขวา ช่องลมเดี่ยวซ้าย และไม่มีช่องลม สามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าชั่วขณะได้ 96.14, 20.46, 45.01 และ 0.43 มิลลิวัตต์ แสดงดังภาพประกอบ 4.26

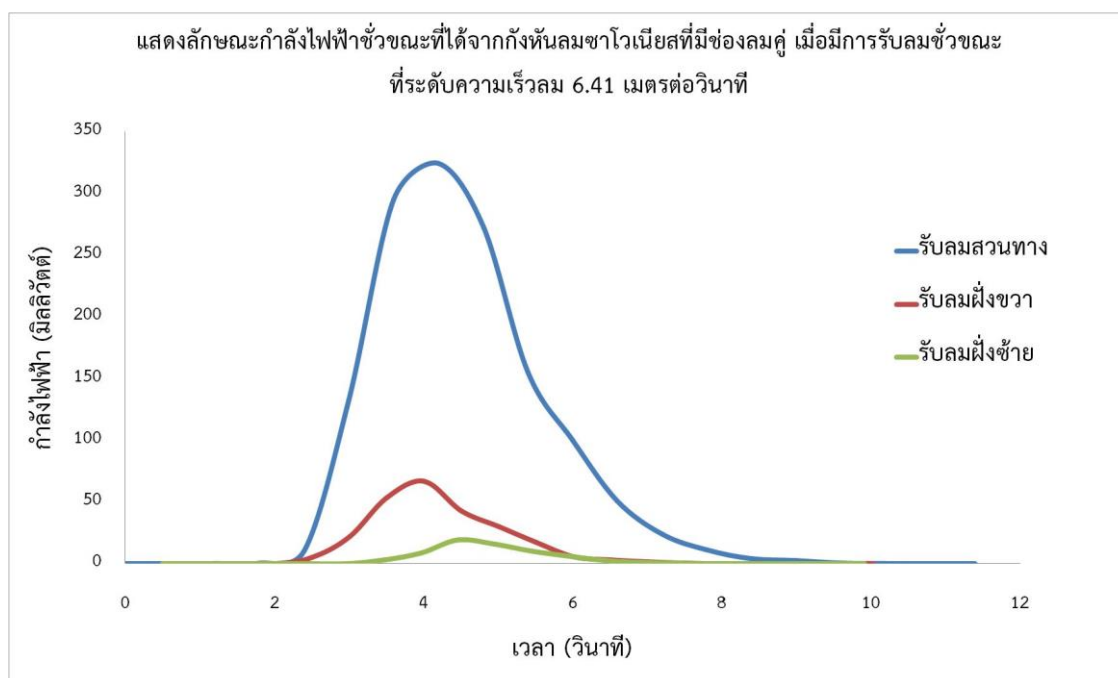




ภาพประกอบ 4.26 เปรียบเทียบลักษณะกำลังไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที



ภาพประกอบ 4.27 ผู้วิจัยได้นำกังหันลมชาโวเนียสแบบที่มีช่องลมคู่ ซึ่งเป็นกังหันที่สามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด แสดงในลักษณะกราฟกำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียสแบบที่มีช่องลมคู่ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะ ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที



ภาพประกอบ 4.27 กราฟแสดงลักษณะกำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะ ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

จากภาพประกอบ 4.27 แสดงลักษณะกำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะ ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที จะเห็นว่ากังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่เมื่อมีการรับลมสวนทางสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 324 มิลลิวัตต์ ที่ระยะเวลา 4.19 วินาที มากกว่ากรณีที่รับลมฝั่งขวาและฝั่งซ้ายเฉลี่ยอยู่ที่ 86.77% ที่สามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเพียง 66.56 และ 19.13 มิลลิวัตต์ ที่ระยะเวลา 4.00 และ 4.46 วินาที



บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล และอภิปรายผล

งานวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากการจำลองโดยใช้พัดลม กังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่ต้นแบบ จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 เซนติเมตร สูง 32 เซนติเมตร ระยะทับซ้อนระหว่างใบ 2.6 เซนติเมตร กังหันประกอบด้วยใบพัด 2 ใบพัด โดยใบพัดทำจากแผ่นสังกะสีหนา 0.35 มิลลิเมตร แผ่นกลมปิดหัวท้ายทำจากแผ่นไม้อัดหนา 6 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35.2 เซนติเมตร และได้ทำการสร้างช่อง ที่มีขนาดขอบสั้น 45 เซนติเมตร ขอบยาว 52 เซนติเมตรและสูง 32 เซนติเมตร จำนวน 2 ชุด เพื่อบังคับให้ทิศทางการลมเข้าสู่ใบกังหันโดยตรงทั้งเพลลาของกังหันลมจะถูกเชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 28 วัตต์ 140 โวลต์ จากนั้นได้ทำการทดลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมชาโวเนียสโดยแบ่งออกการ 3 โครงสร้างการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 สรุปผลโครงสร้างการทดลองที่ 1 ผลการทดลองหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทางและมุมของช่องลมที่ให้แรงดันสูงสุด จากผลการทดลองพบว่าตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20 - 60 เซนติเมตร กังหันลมชาโวเนียสสามารถรับลมได้ดีที่สุดที่ตำแหน่ง 45 เซนติเมตร สามารถผลิตแรงดันได้สูงสุดอยู่ในช่วง 6.332 - 9.516 โวลต์ และเมื่อติดตั้งช่องลมคู่ที่มุม 30 องศา กังหันลมชาโวเนียสสามารถผลิตแรงดันได้สูงสุดในช่วง 6.594 - 10.054 โวลต์ เพิ่มขึ้นคิดเป็น 5.65% เมื่อเปรียบเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลม ที่ระดับความเร็วลม 4.68 - 6.41 เมตรต่อวินาที และเมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมไปที่ 20-60 เซนติเมตร มุมของช่องลม 30 องศา ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที กังหันลมชาโวเนียสที่มีช่องลมคู่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงขึ้น เฉลี่ย 45-68% ทุกช่วงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม เมื่อเทียบกับกังหันลมชาโวเนียสที่ไม่มีช่องลม

จากการทดลองเปรียบเทียบการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก คือ กังหันลมชาโวเนียสช่องลมคู่ ช่องลมเดี่ยวขวา ช่องลมเดี่ยวซ้าย และไม่มีช่องลม เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย พบว่า กังหันลมชาโวเนียสช่องลมคู่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด เฉลี่ย 6.15 - 9.71 โวลต์ มากกว่ากังหันลมชาโวเนียสแบบอื่นๆ 54.61% ที่ความเร็วลม 4.68 - 6.41 เมตรต่อวินาที อีกทั้งกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่ยังให้คุณภาพสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในส่วนของการมีรบกวนคลื่นดีที่สุด 0.126 (1.32%) ซึ่งต่ำกว่ากังหันแบบอื่นๆ

5.1.2 สรุปผลโครงสร้างการทดลองที่ 2 ผลการเก็บลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะและการจำลองลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม จากผลการทดลองพบว่าลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะเมื่อมีการเคลื่อนที่ที่ระดับความเร็ว 90 - 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เฉลี่ยลักษณะของความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะเฉลี่ยรวมที่ระดับความสูง 10 - 90 เซนติเมตร ช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะอยู่ในช่วง 5.82 วินาที ความเร็วลมชั่วขณะสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.28 เมตรต่อวินาที ที่เวลา 2.91 วินาที จากนั้นได้ทำการจำลองลักษณะลมชั่วขณะโดยใช้พัดลม A และ B ผลการจำลองพบว่าพัดลม A และ B ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที มีค่าใกล้เคียงกับลักษณะลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริง



มากที่สุด โดยมีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะแตกต่างจากลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงคิดเป็น 1.74% และ 2.23% ตามลำดับ และมีความเร็วลมแตกต่างจากลมที่เกิดขึ้นจริงเฉลี่ยทุกช่วงระยะเวลาที่เกิดลมคิดเป็น 24% และ 35% ตามลำดับ

เมื่อนำพัดลม A และ B ที่ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63 และ 6.41 เมตรต่อวินาที นำมาเฉลี่ยรวมกันเพื่อจำลองเป็นลักษณะลมสวนทาง พบว่าที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที เป็นลักษณะลมชั่วขณะที่ใกล้เคียงกับลักษณะลมที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด โดยมีช่วงระยะเวลาที่เกิดลมชั่วขณะแตกต่างจากลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงคิดเป็น 0.34% และมีความเร็วลมชั่วขณะแตกต่างจากลมชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงเฉลี่ยทุกช่วงระยะเวลาที่เกิดลมคิดเป็น 27%

5.1.3 สรุปผลโครงการสร้างการทดลองที่ 3 ผลการศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะและการผลิตกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม จากผลการทดลองพบว่า ที่ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63 และ 6.41 เมตรต่อวินาที กังหันลมชาโวเนียสแบบ ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง) สามารถผลิตแรงดันได้สูงสุด 0.22, 0.67 และ 1.30 โวลต์ สูงกว่ากังหันลมชนิดอื่นๆคิดเป็น 59.52%, 66.66%, และ 42.45% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมชาโวเนียส 4 แบบหลัก เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที กังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าและมีช่วงระยะเวลาการผลิตแรงดันไฟฟ้ามากกว่ากังหันลมชาโวเนียสแบบอื่นๆเฉลี่ยคิดเป็น 53.60% และ 29.97% ตามลำดับ อีกทั้งยังสามารถผลิตแรงดันได้มากกว่ากังหันลมชาโวเนียสแบบไม่มีช่องลมคิดเป็น 70.10% และมีช่วงระยะเวลาการผลิตแรงดันไฟฟ้ามากกว่าคิดเป็น 40.94%

การทดลองการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่ ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย กังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่เมื่อมีการรับลมสวนทางสามารถผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 324 มิลลิวัตต์ มากกว่ากรณีที่ได้รับลมฝั่งขวาและฝั่งซ้ายเฉลี่ยอยู่ที่ 84%

สำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการสร้างและออกกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่เพื่อศึกษาพฤติกรรมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่ เมื่อมีการรับลมที่มีลักษณะเสมือนลมที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ผู้วิทยานิพนธ์จึงได้ทำการสรุปได้ว่า กังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่เมื่อมีการรับลมสวนทาง ลมฝั่งขวา และลมฝั่งซ้าย ในลักษณะเสมือนลมที่เกิดขึ้นจริงสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าชั่วขณะได้มากกว่ากังหันลมแบบอื่นๆคิดเป็น 77.14% สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าชั่วขณะสูงสุดเฉลี่ย 136.68 มิลลิวัตต์ ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมชาโวเนียสแบบช่องลมคู่ผู้วิทยานิพนธ์ได้ปฏิบัติตามวัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อให้งานวิทยานิพนธ์นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงและอาจจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการนำไปพัฒนาต่อยอด เพื่อเป็นการนำลมในลักษณะที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะไปใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ผู้วิทยานิพนธ์จึงมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้



5.2.1 งานวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าชั่วขณะที่ได้จากกังหันลมชาโวเนียส ควรจะมีการทดสอบกับกังหันลมแกนตั้งชนิดอื่นๆ เช่น กังหันลมแบบ Darrieus, Savonius & Darrieus และกังหันลมแกนนอน เพื่อหากังหันลมที่ทำงานได้ดีกับลักษณะลมชั่วขณะ

5.2.2 ควรจะมีการจำลองลมที่ได้จากยานพาหนะชนิดต่างๆ เช่น รถกระบะ รถบรรทุก เป็นต้น เพื่อการออกแบบกังหันลมให้เหมาะสมที่สุดสำหรับลมที่เกิดจากยานพาหนะทุกชนิด

5.2.3 สำหรับกังหันลมชาโวเนียสวัสดุที่ใช้ในการสร้างกังหันลมควรจะเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาที่สุด เพื่อการเริ่มหมุนที่เหมาะสมกับลมชั่วขณะ

5.2.4 ควรจะมีการพัฒนากังหันลมชาโวเนียสให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและมีการรักษาช่วงเวลาการหมุนของกังหันลมชาโวเนียสให้เหมาะสมกับลมชั่วขณะมากที่สุด โดยมีการทดลองกับกังหันลมชาโวเนียสแบบ Multi-blade และแบบ Helical-blade เป็นต้น

5.2.5 ควรจะมีการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อมีการรับลมชั่วขณะ เพื่อให้สามารถนำพลังงานไปใช้ได้จริง

5.2.6 กังหันลมชาโวเนียสยังให้ประสิทธิภาพต่ำสำหรับการรับลมในลักษณะลมชั่วขณะ ควรมีการคิดค้นพัฒนา ออกแบบ และสร้างกังหันลมที่สามารถทำงานได้ดีกับลักษณะลมเช่นนี้

5.2.7 ควรจะมีการนำกังหันลมที่ออกแบบไปติดตั้งในสถานที่จริง เพื่อทดสอบกับลมที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะทุกชนิดขณะเคลื่อนที่บนถนน รวมถึงศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการทำงานของกังหันลมเมื่อมีการรับลมจากธรรมชาติ



เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- [1] ภูมิ สิริสุนทร. การปฏิรูปภาคการไฟฟ้าของไทย: บทวิเคราะห์และความท้าทายในอนาคต. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.; ม.ป.ป.
- [2] ภัทรภรณ์ หิรัญวงศ์. อนาคตพลังงานไฟฟ้าไทย พอเพียงแต่เสี่ยงภัย. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.; 2558.
- [3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. “สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ”. [ออนไลน์]. 2558. [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2558]; ได้จาก:
http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=579&Itemid=116.
- [4] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. การใช้ไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าของ ประเทศไทย. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.; 2554.
- [5] เอ็กโก. “พลังงานแสงอาทิตย์ อีกหนึ่งพลังขับเคลื่อนพลังงานทดแทนไทย”. [ออนไลน์]. 2558. [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2558]; ได้จาก:
http://www.egco.com/th/energy_knowledge_solar1.asp.
- [6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. “สัดส่วนการใช้พลังงาน ทดแทน”. [ออนไลน์]. 2558. [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2558]; ได้จาก:
http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=1841%3A2010-09-22-07-02-07&catid=128&lang=th.
- [7] “ประเทศไทยกับการพัฒนาพลังงานทดแทนของ AEC”. [ออนไลน์]. 2558. [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2558]; ได้จาก: <http://www.renewableenergy-asia.com/Articles/tabid/462/ID/284/--AEC.aspx>.
- [8] เอ็กโก. “พลังงานน้ำรู้”. [ออนไลน์]. 2558. [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2558]; ได้จาก:
http://www.egco.com/th/energy_knowledge.asp.
- [9] มณฑาสินี หอมหวาน. พลังงานทดแทน พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับอนาคต. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.; ม.ป.ป.
- [10] นิพนธ์ เกตุจ้อย และอชิตพล ศศิธรานุวัฒน์. เทคโนโลยีพลังงานลม. วารสารมหาวิทยาลัย นเรศวร 2547; 57-73.
- [11] พงษ์พันธ์ ฤกษ์ชุมทรัพย์ และเพ็ญฤกษ์ ยิ้มเสมอจิต. การพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าแรงดันต่ำด้วย กังหันลมแนวแกนตั้งขนาดกะทัดรัด. วารสารวิชาการปทุมวัน 2556; 11 – 16.
- [12] สำนักงานอำนวยการความปลอดภัยทางหลวง. ปริมาณจราจรบนทางหลวงในเขตกรุงเทพ และปริมณฑล. [ออนไลน์]. 2558. [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2558]; ได้จาก:
<http://bhs.doh.go.th/download/traffic>.
- [13] บริษัททางด่วนกรุงเทพจำกัด. ข้อมูลสรุปปริมาณการจราจร. [ออนไลน์]. 2558. [สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2558]; ได้จาก: <http://www.becl.co.th/index.php>.
- [14] ชรินทร์พร ธนศุภานุเวช. ขั้วขึ้นบนทางด่วนทางหลวงต้องมีทักษะและสมาธิสูง. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.; ม.ป.ป.



- [15] วิรัชย์ โรยณรินทร์. กังหันลมผลิตไฟฟ้าบนถนน. ประทุมธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สังกัดภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2552.
- [16] Zarkesh, A. and Heidari, M. Developing a New Application for Wind Generators in Highways. In: 2013 Fifth International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks; Jun 2013; n.p.: n.p.; 2013. unpagued.
- [17] “Voltair Vertical Turbine”. [Online]. n.p. [cited 2015]; Available from: <http://www.tuvie.com/voltair-turbine-utilizes-wind-generated-electricity>.
- [18] Sathyanarayanan, R., Muthamizh, S., Giriramprasath, C. and Gopinath, K.T. Highway windmill. In: 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks; May 2011; n.p.: n.p.; 2011.
- [19] Mahmoud, N.H., El-Haroun, A.A., Wahba, E. and Nasef, M.H. An experimental study on improvement of Savonius rotor performance. Alexandria Engineering Journal 2012; 51(1): 19–25.
- [20] สมจิต ชินะใจ. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานของกังหันลมแกนตั้งโดยใช้กรอบเสริมกันบังคับลมเข้า. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน]. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2550.
- [21] Altan, B.D. and Atilgan, M. The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors. Renewable Energy 2010; 35(4): 821–829.
- [22] สุนทร บุญญาธิการ. พลังงานใกล้ตัว. กรุงเทพฯ: เพียร์ส ออฟเซท; 2545.
- [23] การไฟฟ้าฝ่ายผลิต. “กับการพัฒนาพลังงานลมเพื่อผลิตไฟฟ้า”. [ออนไลน์]. 2558. [สืบค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2558]; ได้จาก: http://www3.egat.co.th/re/egat_wind/egat_wind.htm.
- [24] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และกรมอุตุนิยมวิทยา. แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.; 2527.
- [25] The World Bank. “Wind Energy Resource Atlas of Southeast Asia”. [Online]. n.p. [cited 2015]; Available from: <http://www.worldbank.org/astea/werasa/windenergy.htm>.
- [26] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. “แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย”. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. [สืบค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2558]; ได้จาก: <http://www2.dede.go.th/renew/Twm/main.htm>.
- [27] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. “พลังงานลม งานพัฒนาพลังงานลมเพื่อผลิตไฟฟ้า. ”. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. [สืบค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2558]; ได้จาก: www.egat.co.th/re.
- [28] อีระยุทธ สุวรรณประทีป. อากาศพลศาสตร์ของยานยนต์. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.; ม.ป.ป.



- [29] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. “พลังงานลม กองพัฒนาพลังงานทดแทนฝ่ายพัฒนาและแผนงานโรงไฟฟ้า”. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. [สืบค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2558]; ได้จาก: www.egat.co.th
- [30] เกียรติขจร สุเวทเวทิน. กังหันลมแกนตั้งประสิทธิภาพสูง. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2552.
- [31] สว่าง ขาติทอง และวิรัชย์ โรยนรินทร์. การออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์. ใน: การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, จังหวัดอุบลราชธานี 2554; ม.ป.ท.: ม.ป.พ.; 2554. ไม่มีเลขหน้า.
- [32] Urjart. “Power Coefficient for varous wind converters”. [Online]. n.p. [cited 2015]; Available from: <https://urjart.wordpress.com>.
- [33] Tabassum, S., Rahaman, M., Bashar, M.S., Islam, S. Sharmin, A.. and Khanam, M. Design and analysis of different types of rotors for pico-turbine. SGRE 2015; 6(6): 141–147.
- [34] ชรินทร์ ทุ่มโม่ง. การศึกษาด้านเทคนิคการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมแกนตั้งใบพัดสองชุดหมุนสวนทาง. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานทดแทน]. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2552.
- [35] Zhongtao, Wang and Qian, Liu. Breeze wind power in china. [Bachelor’s Thesis in Energy Systems] 2012.
- [36] Windpowerengineering. “Vertical axis wind turbines vs horizontal axis wind turbines”. [Online]. n.p. [cited 2015]; Available from: <http://www.windpowerengineering.com/construction/vertical-axis-wind-turbines-vs-horizontal-axis-wind-turbines>.
- [37] Ishan, Patnaik. Wind as a renewable source of energy. [A project report submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of Technology In Electrical Engineering]; n.d.
- [38] Mohamed, Fared Zuhri Yafi. The construction costs of wind turbines. n.p.: n.p.; n.d.
- [39] Worcester polytechnic institute. Vertical axis wind turbine evaluation and design. A major qualifying project report. n.p.: Faculty of the Worcester polytechnic institute. n.d.
- [40] Windturbinestar. “Horizontal axis wind turbine vs vertical axis wind turbine”. [Online]. n.p. [cited 2015]; Available from: <http://www.windturbinestar.com/hawt-vs-vawt.html>.
- [41] Ragheb, M. Vertical axis wind turbines. n.p.: n.p.; 2015.



- [42] Marco, D' Ambrosio and Marco, Medaglia. Vertical axis wind turbines: history, technology and applications. [Master thesis in Energy Engineering]. n.p.: n.p.; 2010.
- [43] Mohammed, Hadi Ali. Experimental comparison study for savonius wind turbine of two & three blades at low wind speed. International Journal of Modern Engineering Research 2013; 3(5): 2978-2986.
- [44] Dafrose, Camille M. Bajaro. Horizontal and vertical axis wind turbines. n.p.: n.p.; n.d.
- [45] Kragten, A. The Darrieus rotor, a vertical axis wind turbine (VAWT) with only a few advantages and many disadvantages. n.p.: Engineering office Kragten Design; 2004.
- [46] Eriksson, S., Bernhoff, H. and Leijon, M. Evaluation of different turbine concepts for wind power. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2008; 12(5): 1419–1434.
- [47] วสันต์ เพชรพิมูล. การออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 1 กิโลวัตต์. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2553.
- [48] Percival, M.C., Leung, P.S. and Datta, P.K. The development of a vertical turbine for domestic electricity generation. Newcastle: University of Northumbria.
- [49] อภิสิทธิ์ ไชยบัง. การประเมินความสามารถในการแปลงรูปพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า ของพลังงานสะสมจากการหมุนของล้อแนวอิสระแนวตั้ง. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล]. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2554.
- [50] นภัทร วัจนเทพินทร. อิเล็กทรอนิกส์วิศวกรรม. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ; ม.ป.ป.
- [51] สัมพันธ์ ไชยเทพ, ธเนศ ไชยชนะ และสุฤทธิ์พร วิทย์ผดุง. ผลของมุมปะทะต่อการเริ่มหมุนของระบบกังหันลมแกนตั้งแบบใบปรับโค้ง. ใน: การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4-7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.; 2552. ไม่มีเลขหน้า.
- [52] Saha, U.K. and Rajkumar, M.J. On the performance analysis of Savonius rotor with twisted blades. Renewable Energy 2006; 31(11): 1776–1788.

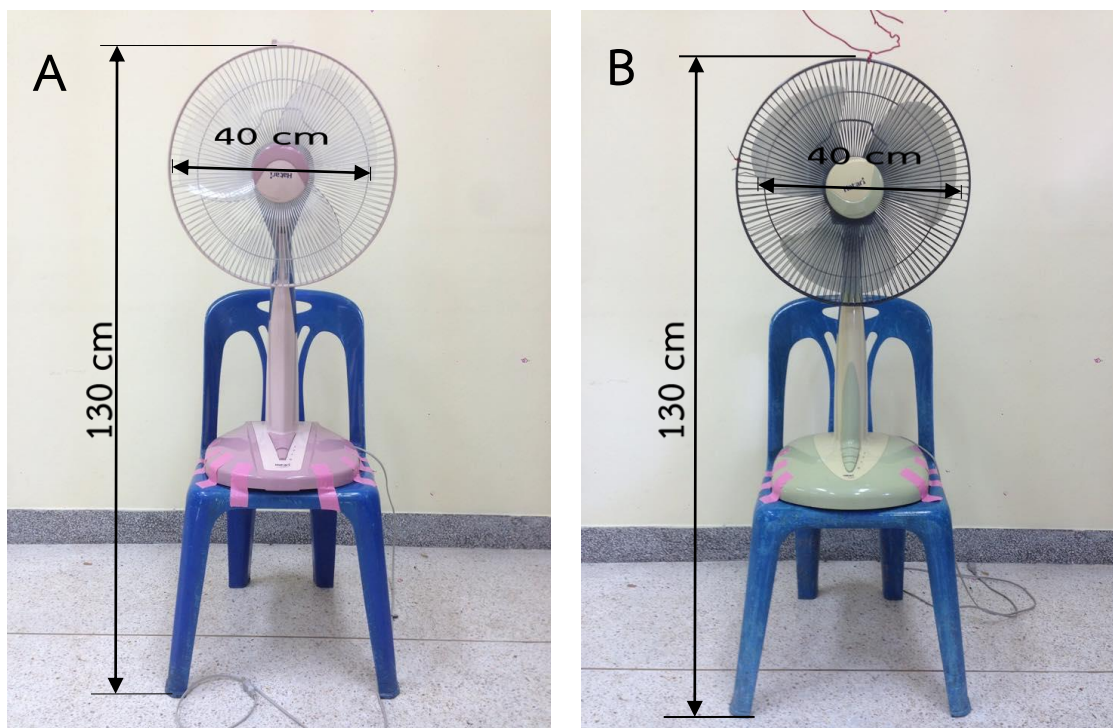


ภาคผนวก



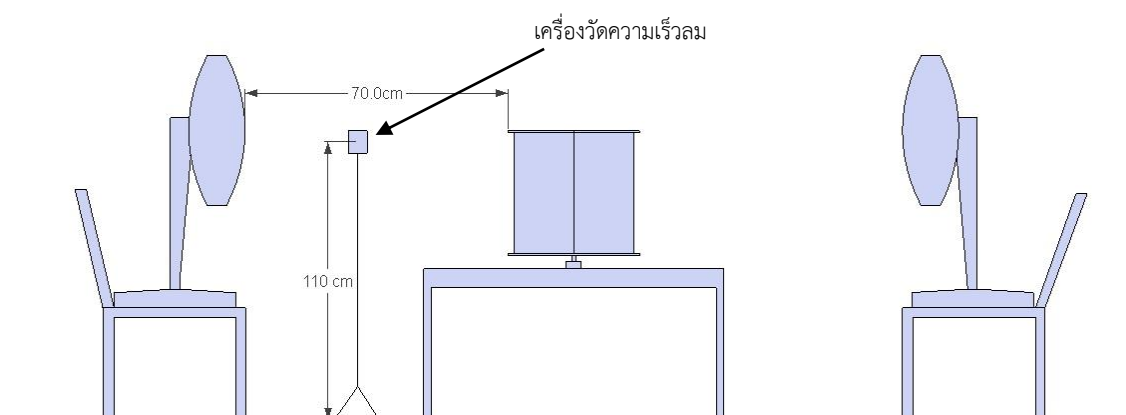
1. แหล่งกำเนิดลมที่ใช้ในการทดลอง

แหล่งกำเนิดลมสวนทาง สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้พัดลมตั้งพื้นจำนวน 2 เครื่อง เพื่อสร้างลมสวนทาง แต่ละเครื่องมีความสูงจากพื้น 130 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 40 เซนติเมตร กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์ แสดงดังภาพประกอบภาคผนวก 1.1



ภาพประกอบภาคผนวก 1.1 ขนาดของพัดลมที่นำมาใช้กำเนิดลมสวนทาง

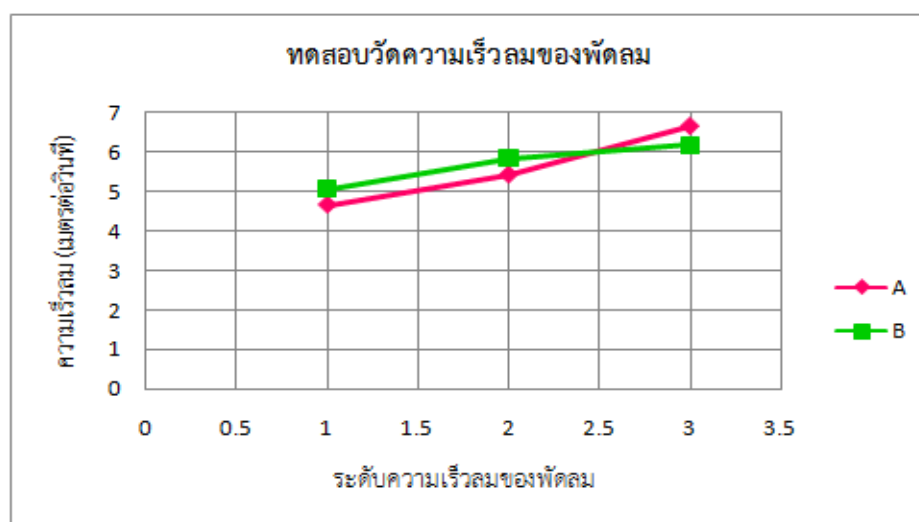
ทดสอบวัดความเร็วลมของพัดลม โดยพัดลมแต่ละเครื่องจะมีระดับความเร็วลมแบ่งเป็น เบอร์ 1 2 และ 3 แต่ละเบอร์จะให้ความเร็วลมที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลดังต่อไปนี้



ภาพประกอบภาคผนวก 1.2 ลักษณะการวัดความเร็วลม

ตารางภาคผนวก 1.1 แสดงผลการวัดความเร็วลมของพัดลม A และ B ที่ระดับความเร็วลมเบอร์ 1 2 และ 3

พัดลม	เบอร์	ทดสอบความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ครั้งที่					เฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)
		1	2	3	4	5	
A	1	4.4	4.6	5.1	4.3	4.9	4.66
	2	5.3	5.4	5.5	5.7	5.2	5.42
	3	6.7	6.5	6.3	6.8	6.9	6.64
B	1	4.9	5.2	5.1	4.8	5.3	5.06
	2	5.9	5.7	6	5.7	5.9	5.84
	3	6	6.1	6.1	6.8	5.9	6.18



ภาพประกอบภาคผนวก 1.3 แสดงกราฟผลการวัดความเร็วลมของพัดลม A, B

ตาราง 1.2 แสดงค่าเฉลี่ยความเร็วลมของพัดลม A และ B รวมกัน

เบอร์	ความเร็วลมที่วัดได้เฉลี่ย 5 ครั้ง (เมตรต่อวินาที)		ค่าเฉลี่ยความเร็วลมของพัดลมทั้งสองเครื่อง รวมกัน (เมตรต่อวินาที)
	A	B	
1	4.66	5.06	4.86
2	5.42	5.84	5.63
3	6.64	6.18	6.41



2 ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง (α)

ตารางภาคผนวก 1.3 ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง

ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม ที่ระยะ $l = 70$ ซม.							
ความเร็วลมเบอร์ (m/s)	ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม (cm)	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (V)					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
ความเร็วลมสวนทาง 6.41	20	3.39	3.71	2.69	3.93	3.31	3.406
	22.5	2.89	3.05	2.83	3.19	3.16	3.024
	25	5.49	5.52	4.15	3.73	3.76	4.53
	27.5	5.22	5.76	4.38	5.61	4.9	5.174
	30	7.41	7.27	7.79	7.58	7.64	7.538
	32.5	7.6	7.6	7.67	8.16	8.27	7.86
	35	8.07	8.1	8.38	8.31	8.02	8.176
	37.5	9.17	8.63	8.56	8.88	9.04	8.856
	40	9.24	9.2	9.13	9.06	9.45	9.216
	42.5	9.51	9.49	9.46	9.35	9.39	9.44
	45	9.79	9.52	9.51	9.61	9.15	9.516
	47.5	8.41	8.38	8.4	8.36	8.32	8.374
	50	4.13	4.51	5.38	4.42	5.11	4.71
	52.5	2.85	3.03	3.01	2.86	2.96	2.942
	55	2.02	2.014	2.2	2.11	2.29	2.1268
	57.5	0.37	0.39	0.39	0.4	0.36	0.382
	60	0.39	0.4	0.4	0.4	0.39	0.396
ความเร็วลมสวนทาง 5.63	20	2.35	3.5	3.54	2.94	3.29	3.124
	22.5	3.14	2.4	2.9	2.89	3.14	2.894
	25	3.29	4.19	3.18	3.34	3.16	3.432
	27.5	4.59	3.65	4.34	4.18	4.36	4.224
	30	6.41	6.27	6.04	6.2	6.23	6.23
	32.5	6.89	6.57	6.52	6.92	7.12	6.804
	35	6.87	7	7.12	7.23	7.15	7.074
	37.5	7.54	7.5	7.54	7.5	7.32	7.48
	40	7.85	7.87	7.8	7.73	7.62	7.774
	42.5	7.94	8.09	8.73	8.35	8.36	8.294
	45	8.12	8.23	8.16	8.24	8.1	8.17



ตารางภาคผนวก 1.3 (ต่อ)

ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม ที่ระยะ $l = 70$ ซม.							
ความเร็วลมเบอร์ (m/s)	ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม (cm)	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (V)					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
ความเร็วลมสวนทาง 5.63	47.5	6.86	7.32	7.43	7.04	7.39	7.208
	50	4.12	4.18	4.32	4.14	3.48	4.048
	52.5	3.07	2.86	2.47	2.45	2.49	2.668
	55	1.67	1.73	1.74	1.01	1.29	1.488
	57.5	0.39	0.39	0.37	0.36	0.39	0.38
	60	0.38	0.22	0.36	0.31	0.21	0.296
ความเร็วลมสวนทาง 4.68	20	1.72	0.884	1.87	0.92	0.605	1.1998
	22.5	0.526	0.902	1.02	1.09	0.499	0.8074
	25	1.41	1.33	1.04	1.29	1.5	1.314
	27.5	2.04	2.46	2.5	2.16	2.42	2.316
	30	4.14	3.82	4.38	3.39	3.64	3.874
	32.5	4.22	4.53	4.43	4.83	4.62	4.526
	35	4.81	5.31	5.1	5.14	5.12	5.096
	37.5	5.59	5.43	5.66	5.57	5.54	5.558
	40	5.71	5.65	5.47	5.66	5.55	5.608
	42.5	6.51	6.42	6.27	6.08	6.23	6.302
	45	6.39	6.21	6.35	6.51	6.2	6.332
	47.5	4.52	5.39	5.39	5.74	4.93	5.194
	50	2.3	2.02	2.86	2.73	2.84	2.55
	52.5	1.65	1.6	1.64	1.89	1.46	1.648
	55	0.451	0.39	0.4	0.39	0.38	0.4022
	57.5	0.36	0.39	0.39	0.4	0.38	0.384
	60	0.23	0.29	0.38	0.18	0.39	0.294



3. ผลการทดลองรับลมสวนทางที่มีช่องลมคู่ในตำแหน่งองศาที่ให้แรงดันสูงสุด (θ) ณ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมที่ให้แรงดันสูงสุด $\alpha = 45$ เซนติเมตร

ตารางภาคผนวก 1.4 ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมสวนทาง

ผลการทดลองช่องลมที่มุม 90 ถึง -90 องศา ที่ตำแหน่ง $\alpha = 45$ $l = 70$							
ความเร็วลมเบอร์ (m/s)	มุมของช่องลม	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (V)					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
ความเร็วลมสวนทาง 6.41	90	2.27	2.25	2.32	2.34	2.26	2.288
	75	0.576	0.494	0.578	0.51	0.5	0.5316
	60	0.58	0.713	0.828	0.649	0.749	0.7038
	45	9.26	9.09	8.8	9.2	9.73	9.216
	30	9.97	10	10.1	10.1	10.1	10.054
	15	9.45	9.57	9.41	9.27	9.15	9.37
	0	10	10	10	10	10	10
	-15	3.8	3.75	3.92	3.98	3.61	3.812
	-30	8.41	8.44	8.35	8.45	8.42	8.414
	-45	8.95	8.99	8.81	9.06	8.98	8.958
	-60	8.47	8.5	8.93	8.53	8.9	8.666
	-75	6.68	6.97	6.85	7.11	7.09	6.94
	-90	2.69	2.67	2.52	2.56	2.55	2.598
ความเร็วลมสวนทาง 5.63	90	1.51	1.42	1.47	1.32	1.53	1.45
	75	0.176	0.127	0.097	0.15	0.102	0.1304
	60	0.265	0.16	0.195	0.177	0.23	0.2054
	45	7.75	7.44	7.43	7.92	8.05	7.718
	30	8.7	8.76	8.75	8.85	8.75	8.762
	15	8.12	7.94	7.81	7.91	7.95	7.946
	0	8.66	8.8	8.67	8.75	8.71	8.718
	-15	3.16	3.03	3.27	3.17	3.28	3.182
	-30	7.36	7.38	7.22	7.31	7.18	7.29
	-45	7.74	7.8	7.63	7.81	7.7	7.736
	-60	7.36	7.2	6.98	7.43	7.14	7.222
	-75	5.47	5.42	5.34	5.62	5.43	5.456
	-90	1.82	1.84	1.86	1.8	1.83	1.83



ตารางภาคผนวก 1.4 (ต่อ)

ผลการทดลองช่องลมที่มุม 90 ถึง -90 องศา ที่ตำแหน่ง $\alpha = 45$ $l = 70$							
ความเร็วลมเบอร์ (m/s)	มุมของช่องลม	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (V)					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
ความเร็วลมสวนทาง 4.68	90	0.213	0.2	0.185	0.204	0.197	0.1998
	75	0.04	0.039	0.04	0.04	0.039	0.0396
	60	0.039	0.039	0.039	0.4	0.39	0.1814
	45	5.89	5.9	5.73	5.66	5.85	5.806
	30	6.55	6.62	6.7	6.51	6.59	6.594
	15	5.63	5.73	5.71	5.85	5.65	5.714
	0	6.62	6.5	6.53	6.6	6.47	6.544
	-15	1.98	1.81	1.81	2	1.93	1.906
	-30	5.5	5.57	5.33	5.46	5.53	5.478
	-45	5.66	5.78	5.7	5.95	5.97	5.812
	-60	4.83	5.11	4.56	4.86	5.01	4.874
	-75	3.54	3.42	3.21	3.34	3.25	3.352
	-90	0.662	0.713	0.552	0.628	0.685	0.648

4. ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร ณ ตำแหน่งมุมของช่องลมคู่ที่ $\theta = 30$ องศา

ตารางภาคผนวก 1.5 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งแหล่งกำเนิดลมสวนทาง 20-60 เซนติเมตร
ณ ตำแหน่งมุมของช่องลมคู่ที่ $\theta = 30$ องศา

ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมแบบมีช่องลมที่มุม 30 องศา ที่ระยะ $l = 70$ ซม.							
ความเร็วลมเบอร์ (m/s)	ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม (cm)	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (V)					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
ความเร็วลมสวนทาง 6.41	20	7.65	7.56	7.47	7.62	7.44	7.548
	22.5	7.8	7.73	7.84	7.8	7.94	7.822
	25	8.65	8.83	8.64	8.81	8.67	8.72
	27.5	8.9	8.91	8.56	8.75	8.81	8.786
	30	9.17	9.16	9.09	9.12	9.04	9.116
	32.5	9.65	9.7	9.79	9.82	9.65	9.722
	35	10.6	10.6	10.7	10.7	10.5	10.62



ตารางภาคผนวก 1.5 (ต่อ)

ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมแบบมีช่องลมที่มุม 30 องศา ที่ระยะ $l = 70$ ซม.							
ความเร็วลมเบอร์ (m/s)	ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม (cm)	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (V)					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
ความเร็วลมสวนทาง 6.41	37.5	10.7	10.7	10.9	10.9	11	10.84
	40	10.9	11	10.9	11.1	11	10.98
	42.5	10.9	10.9	10.7	10.8	10.8	10.82
	45	10.3	10.4	10.4	10.3	10.3	10.34
	47.5	9.69	9.75	9.83	9.85	9.8	9.784
	50	9.36	9.31	9.37	9.29	9.23	9.312
	52.5	9.01	9.13	9.34	9.15	9.18	9.162
	55	9.21	9.27	9.19	9.07	9.41	9.23
	57.5	9.28	9.34	9.19	9.27	9.32	9.28
	60	9.35	9.37	9.28	9.3	9.29	9.318
ความเร็วลมสวนทาง 5.63	20	6.13	6.07	6.26	5.97	5.94	6.074
	22.5	6.42	6.59	6.52	6.59	6.49	6.522
	25	7.26	7.3	7.18	7.21	7.09	7.208
	27.5	7.14	7.12	7.17	6.99	7.18	7.12
	30	7.59	7.65	7.68	7.89	7.66	7.694
	32.5	8.16	8.33	8.34	8.26	8.27	8.272
	35	8.98	9.25	9.28	9.3	9.23	9.208
	37.5	9.54	9.42	9.52	9.32	9.35	9.43
	40	9.54	9.64	9.52	9.5	9.63	9.566
	42.5	9.23	9.31	9.3	9.34	9.12	9.26
	45	8.84	8.83	8.94	8.85	8.83	8.858
	47.5	8.28	8.22	8.39	8.47	8.44	8.36
	50	8.05	8.01	7.98	8.03	7.83	7.98
	52.5	7.79	7.83	7.96	7.84	7.76	7.836
	55	7.98	7.99	8.03	7.99	7.93	7.984
	57.5	8	7.93	7.92	7.89	8.03	7.954
	60	7.98	7.85	7.94	8.04	7.98	7.958



ตารางภาคผนวก 1.5 (ต่อ)

ผลการทดลองการวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลมแบบมีช่องลมที่มุม 30 องศา ที่ระยะ $l = 70$ ซม.							
ความเร็วลมเบอร์ (m/s)	ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดลม (cm)	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (V)					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
ความเร็วลมสวนทาง 4.68	20	4.24	4.23	4.22	4.29	4.27	4.25
	22.5	4.78	4.58	4.71	4.65	4.59	4.662
	25	5.53	5.35	5.52	5.34	5.38	5.424
	27.5	5.21	5.18	5.31	5.27	5.23	5.24
	30	5.7	5.71	5.86	5.82	5.73	5.764
	32.5	6.41	6.23	6.33	6.24	6.24	6.29
	35	6.95	6.93	6.9	6.91	6.94	6.926
	37.5	7.2	7.1	7.31	7.23	7.05	7.178
	40	7.41	7.23	7.35	7.26	7.3	7.31
	42.5	6.85	6.91	6.77	6.96	6.82	6.862
	45	6.69	6.61	6.48	6.8	6.62	6.64
	47.5	6.46	6.32	6.11	6.15	6.25	6.258
	50	5.79	5.86	5.85	5.67	5.67	5.768
	52.5	5.74	5.64	5.89	5.56	5.72	5.71
	55	5.66	5.66	5.86	5.8	5.86	5.768
	57.5	6.09	6	5.98	5.75	5.79	5.922
	60	5.98	5.84	5.92	5.86	5.89	5.898



5. ผลการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ

ตารางภาคผนวก 1.6 ผลการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตแรงดันไฟฟ้าของกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ

กังหันลม 12 แบบ	ความเร็วลมเบอร์ (m/s)	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (V)					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง)	6.41	10.1	10.2	10.3	10.1	10.2	10.18
	5.63	8.61	8.52	8.58	8.8	8.67	8.636
	4.68	6.59	6.4	6.54	6.59	6.56	6.536
ข (ช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา)	6.41	10	9.84	9.7	9.63	9.91	9.816
	5.63	8.57	8.49	8.57	8.2	8.49	8.464
	4.68	5.88	6.61	6.04	5.88	5.99	6.08
ค (ช่องลมคู่รับลมฝั่งซ้าย)	6.41	9.09	9.24	9.21	9.04	9.06	9.128
	5.63	7.73	7.7	7.71	7.72	7.64	7.7
	4.68	5.81	5.8	6.03	5.8	5.8	5.848
ง (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมสวนทาง)	6.41	7.97	7.88	7.62	7.71	7.82	7.8
	5.63	6.66	6.45	6.66	6.63	6.76	6.632
	4.68	4.63	4.43	4.61	4.29	4.56	4.504
จ (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งขวา)	6.41	10.4	10.4	10.4	10.4	10.5	10.42
	5.63	8.98	8.68	8.89	8.92	8.87	8.868
	4.68	6.34	6.29	6.55	6.33	6.6	6.422
ฉ (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งซ้าย)	6.41	2.42	2.33	2.27	2.62	2.47	2.422
	5.63	1.65	2.02	2.2	1.78	2.05	1.94
	4.68	0.615	1	0.62	0.572	0.858	0.733
ฉ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมสวนทาง)	6.41	8.65	8.58	7.86	8.27	8.36	8.344
	5.63	7.94	8.08	7.99	7.93	8	7.988
	4.68	6.08	6	5.96	6.06	6.02	6.024
ซ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งขวา)	6.41	2.8	2.95	2.95	3.23	3.02	2.99
	5.63	2.88	2.83	2.79	2.76	2.69	2.79
	4.68	1.43	1.38	1.25	1.23	0.953	1.2486
ซ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งซ้าย)	6.41	10.1	10	9.91	9.74	9.77	9.904
	5.63	8.55	8.56	8.44	8.49	8.46	8.5
	4.68	6.6	6.55	6.49	6.29	6.46	6.478



ตารางภาคผนวก 1.6 (ต่อ)

กัณฑ์ลม 12 แบบ	ความเร็วลมเบอร์ (m/s)	แรงดันเฉลี่ยครั้งที่ (V)					เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	
ส (ไม่มีช่องลมรับลมสวนทาง)	5.63	8.55	8.56	8.44	8.49	8.46	8.5
	4.68	6.6	6.55	6.49	6.29	6.46	6.478
	6.41	9.02	8.78	8.95	9.06	9.01	8.964
ส (ไม่มีช่องลมรับลมสวนทาง)	5.63	8.24	8.02	8.08	7.89	8.04	8.054
	4.68	6.09	5.99	5.98	5.86	6.13	6.01
	6.41	3.66	3.24	3.25	3.35	3.12	3.324
ห (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งขวา)	5.63	2.84	3.16	3.11	2.43	3.4	2.988
	4.68	1.78	1.66	1.9	2.1	2.02	1.892
	6.41	2.61	2.98	2.12	2.22	2.27	2.44
ม (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งซ้าย)	5.63	1.53	1.44	2.64	1.71	1.66	1.796
	4.68	0.905	0.83	1.13	1.25	0.293	0.8816
	6.41	2.61	2.98	2.12	2.22	2.27	2.44

6. ผลการวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกัณฑ์ลมชาโวเนียส 12 แบบ

ตารางภาคผนวก 1.7 ผลการวัดคุณภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากกัณฑ์ลมชาโวเนียส 12 แบบ

ทดสอบที่ 50 วินาที เพื่อดูค่า Vripple						
ที่ความเร็วลม 6.41 m/s a=45 ซม. มุม 30 องศา l = 70 ซม.						
ลักษณะกัณฑ์การทดลอง			แรงดัน (โวลต์)			
กรณี	ความเร็วลม m/s	ทดสอบครั้งที่	Vmax	Vmean	Vp-p	ระลอกคลื่น (Vp-p/Vmean)
ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง)	6.41	1	10.7	10.1	1.2	0.119
		2	10.5	9.99	1.12	0.112
		3	10.5	10	1.04	0.104
	เฉลี่ย		10.57	10.03	1.12	0.112
ข (ช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา)	6.41	1	10.3	9.67	1.12	0.116
		2	10.6	9.46	1.76	0.186
		3	10	9.44	1.12	0.119
	เฉลี่ย		10.3	9.52	1.33	0.140



ตารางภาคผนวก 1.7 (ต่อ)

ทดสอบที่ 50 วินาที เพื่อดูค่า Vripple						
ที่ความเร็วลม 6.41 m/s a=45 ซม. มุม 30 องศา l = 70 ซม.						
ลักษณะกั้นการทดลอง			แรงดัน (โวลต์)			
กรณี	ความเร็วลม m/s	ทดสอบครั้งที่	Vmax	Vmean	Vp-p	ระลอกคลื่น (Vp-p/Vmean)
ค (ช่องลมคู่รับลม ฝั่งซ้าย)	6.41	1	9.84	9.21	1.44	0.156
		2	9.6	8.97	1.04	0.116
		3	9.52	8.99	0.96	0.107
	เฉลี่ย		9.65	9.06	1.15	0.126
ง (ช่องลมเดี่ยว ขวารับลมสวน ทาง)	6.41	1	8.72	7.74	1.84	0.238
		2	9.04	7.95	2.08	0.262
		3	9.44	7.97	2.16	0.271
	เฉลี่ย		9.07	7.89	2.03	0.257
จ (ช่องลมเดี่ยว ขวารับลมฝั่งขวา)	6.41	1	11	10.2	1.44	0.141
		2	11	10.2	1.52	0.149
		3	11.2	10.6	1.04	0.098
	เฉลี่ย		11.1	10.33	1.33	0.129
น (ช่องลมเดี่ยว ขวารับลมฝั่งซ้าย)	6.41	1	2.6	2.03	1.20	0.591
		2	2.7	1.84	1.68	0.913
		3	4.0	2.48	2.56	1.032
	เฉลี่ย		3.1	2.12	1.81	0.845
ฉ (ช่องลมเดี่ยว ซ้ายรับลมสวน ทาง)	6.41	1	8.9	7.97	1.84	0.231
		2	9.2	8.53	1.36	0.159
		3	9.2	8.05	2.16	0.268
	เฉลี่ย		9.1	8.18	1.79	0.220
ช (ช่องลมเดี่ยว ซ้ายรับลมฝั่งขวา)	6.41	1	5.3	3.78	3.20	0.847
		2	5.5	4.27	2.56	0.600
		3	5.3	4.28	2.32	0.542
	เฉลี่ย		5.4	4.11	2.69	0.663
ซ (ช่องลมเดี่ยว ซ้ายรับลมฝั่งซ้าย)	6.41	1	10.2	9.58	1.36	0.142
		2	10.0	9.48	1.12	0.118
		3	9.9	9.50	0.88	0.093
	เฉลี่ย		10.0	9.52	1.12	0.118



ตารางภาคผนวก 1.7 (ต่อ)

ทดสอบที่ 50 วินาที เพื่อดูค่า Vripple						
ที่ความเร็วลม 6.41 m/s a=45 ซม. มุม 30 องศา l = 70 ซม.						
ลักษณะกั้นการทดลอง			แรงดัน (โวลต์)			
กรณี	ความเร็วลม m/s	ทดสอบครั้งที่	Vmax	Vmean	Vp-p	ระลอกคลื่น (Vp-p/Vmean)
ส (ไม่มีช่องลมรับ ลมสวนทาง)	6.41	1	10	9.33	1.44	0.154
		2	10	9.21	1.76	0.191
		3	10	9.14	1.52	0.166
	เฉลี่ย		10	9.23	1.57	0.171
ท (ไม่มีช่องลมรับ ลมฝั่งขวา)	6.41	1	5.28	4.13	2.32	0.562
		2	4.72	3.66	2.24	0.612
		3	4.24	3.28	2.32	0.707
	เฉลี่ย		4.75	3.69	2.29	0.627
ม (ไม่มีช่องลมรับ ลมฝั่งซ้าย)	6.41	1	3.84	2.86	2	0.699
		2	3.84	2.85	1.84	0.646
		3	3.92	2.84	2	0.704
	เฉลี่ย		3.87	2.85	1.95	0.683



7. ผลการเก็บลักษณะความเร็วมัชวขณะที่เกิดจากยานพาหนะ

ตารางภาคผนวก 1.8 ผลการเก็บลักษณะความเร็วมัชวขณะที่เกิดจากยานพาหนะ
ที่ระยะ 10 เซนติเมตร

ที่ระยะ 10 เซนติเมตร											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วม (เมตรต่อวินาที)ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tmean	v1	v2	v3	v4	v5	Vmean
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.24025	0.317	0.30365	0.30695	0.25525	0.28462	0	0	0	0	0	0
0.4805	0.634	0.6073	0.6139	0.5105	0.56924	0	0	0	0	0	0
0.72075	0.951	0.91095	0.92085	0.76575	0.85386	0	0.1524	0	0	0.05199	0.040878
0.961	1.268	1.2146	1.2278	1.021	1.13848	0.1517	0.3015	0.25	0.4968	0.1	0.26
1.20125	1.585	1.51825	1.53475	1.27625	1.4231	0.3238	1	0.508	1.017	0.3959	0.64894
1.4415	1.902	1.8219	1.8417	1.5315	1.70772	1.616	1.801	2.789	2.047	0.7	1.7906
1.68175	2.219	2.12555	2.14865	1.78675	1.99234	2.542	2.601	3.35	3.089	1.641	2.6446
1.922	2.536	2.4292	2.4556	2.042	2.27696	3.471	3.7	3.9	4.1	2.597	3.5536
2.16225	2.853	2.73285	2.76255	2.29725	2.56158	3.401	3.55	3.238	3.801	3.579	3.5138
2.4025	3.17	3.0365	3.0695	2.5525	2.8462	3.279	3.397	2.604	3.501	3.048	3.1658
2.64275	3.487	3.34015	3.37645	2.80775	3.13082	2.606	3.103	1.618	3.203	2.51	2.608
2.883	3.804	3.6438	3.6834	3.063	3.41544	1.887	2.794	1.393	2.892	2.093	2.2118
3.12325	4.121	3.94745	3.99035	3.31825	3.70006	1.497	2	1.25	2.276	1.712	1.747
3.3635	4.438	4.2511	4.2973	3.5735	3.98468	1.1	1.603	1.097	2.102	1.4	1.4604
3.60375	4.755	4.55475	4.60425	3.82875	4.2693	0.8508	1.206	0.9507	1.9	1.108	1.2031
3.844	5.072	4.8584	4.9112	4.084	4.55392	0.6086	0.7961	0.8058	1.093	0.9016	0.84102
4.08425	5.389	5.16205	5.21815	4.33925	4.83854	0.4494	0.5003	0.5475	0.8495	0.6999	0.60932
4.3245	5.706	5.4657	5.5251	4.5945	5.12316	0.3009	0.3016	0.2913	0.6	0.4981	0.39838
4.56475	6.023	5.76935	5.83205	4.84975	5.40778	0.1481	0.09309	0.09036	0.293	0.3055	0.18601
4.805	6.34	6.073	6.139	5.105	5.6924	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 1.9 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ
ที่ระยะ 20 เซนติเมตร

ที่ระยะ 20 เซนติเมตร											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	v1	v2	v3	v4	v5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.347	0.30365	0.2786	0.3502	0.24525	0.30494	0	0	0	0	0	0
0.694	0.6073	0.5572	0.7004	0.4905	0.60988	0	0.04812	0.05047	0.05213	0	0.030144
1.041	0.91095	0.8358	1.0506	0.73575	0.91482	0.05119	0.1087	0.09812	0.1	0	0.071602
1.388	1.2146	1.1144	1.4008	0.981	1.21976	0.1	0.2519	0.2022	0.7	0.1517	0.28116
1.735	1.51825	1.393	1.751	1.22625	1.5247	0.3	0.4	0.311	2.398	0.3097	0.74374
2.082	1.8219	1.6716	2.1012	1.4715	1.82964	2.42	2.01	1.316	3.3	0.4055	1.8903
2.429	2.12555	1.9502	2.4514	1.71675	2.13458	2.71	2.637	2.302	2.503	0.5	2.1304
2.776	2.4292	2.2288	2.8016	1.962	2.43952	2.755	3.28	3.239	2.481	0.7535	2.5017
3.123	2.73285	2.5074	3.1518	2.20725	2.74446	2.12	2.95	4.185	1.612	1	2.3734
3.47	3.0365	2.786	3.502	2.4525	3.0494	1.9	2.607	3.374	1.348	2.082	2.2622
3.817	3.34015	3.0646	3.8522	2.69775	3.35434	1.899	2.059	2.904	1.1	2.4	2.0724
4.164	3.6438	3.3432	4.2024	2.943	3.65928	1.6	1.898	2.276	1.05	2.5	1.8648
4.511	3.94745	3.6218	4.5526	3.18825	3.96422	1.349	1.798	1.839	0.9989	2.599	1.71678
4.858	4.2511	3.9004	4.9028	3.4335	4.26916	1.103	1.5	1.39	0.9503	2.104	1.40946
5.205	4.55475	4.179	5.253	3.67875	4.5741	0.7133	1.352	1.009	0.8942	1.612	1.1161
5.552	4.8584	4.4576	5.6032	3.924	4.87904	0.6002	1.205	0.9806	0.8003	1.1	0.93722
5.899	5.16205	4.7362	5.9534	4.16925	5.18398	0.5067	1	0.8492	0.6741	0.6193	0.72986
6.246	5.4657	5.0148	6.3036	4.4145	5.48892	0.3001	0.787	0.7	0.2975	0.3548	0.48788
6.593	5.76935	5.2934	6.6538	4.65975	5.79386	0.2038	0.3	0.2885	0.1004	0.1158	0.2017
6.94	6.073	5.572	7.004	4.905	6.0988	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 1.10 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ
ที่ระยะ 30 เซนติเมตร

ที่ระยะ 30 เซนติเมตร											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	v1	v2	v3	v4	v5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2903	0.3086	0.23025	0.2586	0.3152	0.28059	0	0	0	0	0	0
0.5806	0.6172	0.4605	0.5172	0.6304	0.56118	0	0	0	0.05007	0	0.010014
0.8709	0.9258	0.69075	0.7758	0.9456	0.84177	0.1536	0	0.2066	0.09989	0.152	0.122418
1.1612	1.2344	0.921	1.0344	1.2608	1.12236	0.3	0.3034	0.4	0.2955	0.3025	0.32028
1.4515	1.543	1.15125	1.293	1.576	1.40295	0.502	0.6074	0.8007	0.5238	1.095	0.70578
1.7418	1.8516	1.3815	1.5516	1.8912	1.68354	0.7082	1.059	1.2	1.405	2.05	1.28444
2.0321	2.1602	1.61175	1.8102	2.2064	1.96413	2.593	1.513	1.923	2.312	3.001	2.2684
2.3224	2.4688	1.842	2.0688	2.5216	2.24472	3.213	1.892	2.601	3.229	3.6	2.907
2.6127	2.7774	2.07225	2.3274	2.8368	2.52531	3.796	1.692	2.651	4.182	2.914	3.047
2.903	3.086	2.3025	2.586	3.152	2.8059	3.204	1.5	2.674	3.853	2.876	2.8214
3.1933	3.3946	2.53275	2.8446	3.4672	3.08649	2.603	1.094	2.102	3.502	1.523	2.1648
3.4836	3.7032	2.763	3.1032	3.7824	3.36708	2.05	1.004	1.506	2.691	1.308	1.7118
3.7739	4.0118	2.99325	3.3618	4.0976	3.64767	1.496	0.9093	1.3	1.913	1.1	1.34366
4.0642	4.3204	3.2235	3.6204	4.4128	3.92826	1.017	0.8041	1.1	1.489	1.05	1.09202
4.3545	4.629	3.45375	3.879	4.728	4.20885	0.8516	0.7045	0.8646	1.1	0.9905	0.90224
4.6448	4.9376	3.684	4.1376	5.0432	4.48944	0.5517	0.5121	0.7004	0.8543	0.6964	0.66298
4.9351	5.2462	3.91425	4.3962	5.3584	4.77003	0.5488	0.4037	0.5	0.6	0.5989	0.53028
5.2254	5.5548	4.1445	4.6548	5.6736	5.05062	0.3908	0.3045	0.3514	0.4448	0.5007	0.39844
5.5157	5.8634	4.37475	4.9134	5.9888	5.33121	0.0929	0.141	0.1921	0.2756	0.3	0.20032
5.806	6.172	4.605	5.172	6.304	5.6118	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 2.0 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ
ที่ระยะ 40 เซนติเมตร

ที่ระยะ 40 เซนติเมตร											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	v1	v2	v3	v4	v5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.3153	0.2586	0.4004	0.22355	0.2953	0.29863	0	0	0	0	0	0
0.6306	0.5172	0.8008	0.4471	0.5906	0.59726	0.002676	0	0.0999	0	0	0.0205152
0.9459	0.7758	1.2012	0.67065	0.8859	0.89589	0.1029	0.04936	0.4158	0.003536	0.1481	0.1439392
1.2612	1.0344	1.6016	0.8942	1.1812	1.19452	0.2032	0.1105	2.208	0.2015	0.3352	0.61168
1.5765	1.293	2.002	1.11775	1.4765	1.49315	0.3	0.3092	3.001	0.3976	1.091	1.01976
1.8918	1.5516	2.4024	1.3413	1.7718	1.79178	0.9058	1.109	3.8	0.5545	1.919	1.65766
2.2071	1.8102	2.8028	1.56485	2.0671	2.09041	1.5	1.917	3.099	0.6999	2.779	1.99898
2.5224	2.0688	3.2032	1.7884	2.3624	2.38904	2.31	2.837	2.096	0.8517	3.7	2.35894
2.8377	2.3274	3.6036	2.01195	2.6577	2.68767	3.126	3.774	1.898	1.008	3.404	2.642
3.153	2.586	4.004	2.2355	2.953	2.9863	3.4	3.548	1.7	1.296	2.662	2.5212
3.4683	2.8446	4.4044	2.45905	3.2483	3.28493	3.009	3.301	1.597	1.589	2.118	2.3228
3.7836	3.1032	4.8048	2.6826	3.5436	3.58356	2.6	2.598	1.494	1.465	1.601	1.9516
4.0989	3.3618	5.2052	2.90615	3.8389	3.88219	1.754	1.888	1.392	1.334	1.1	1.4936
4.4142	3.6204	5.6056	3.1297	4.1342	4.18082	1.399	1.486	1.284	1.192	0.7009	1.21238
4.7295	3.879	6.006	3.35325	4.4295	4.47945	1.094	1.098	1.101	0.7986	0.6488	0.94808
5.0448	4.1376	6.4064	3.5768	4.7248	4.77808	0.8992	0.8064	0.9015	0.4158	0.5854	0.72166
5.3601	4.3962	6.8068	3.80035	5.0201	5.07671	0.6945	0.5029	0.6474	0.2963	0.446	0.51742
5.6754	4.6548	7.2072	4.0239	5.3154	5.37534	0.5001	0.3621	0.4028	0.2007	0.2935	0.35184
5.9907	4.9134	7.6076	4.24745	5.6107	5.67397	0.3006	0.1942	0.1952	0.1122	0.09242	0.178924
6.306	5.172	8.008	4.471	5.906	5.9726	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 2.1 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ
ที่ระยะ 50 เซนติเมตร

ที่ระยะ 50 เซนติเมตร											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	v1	v2	v3	v4	v5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2886	0.29495	0.2436	0.357	0.2152	0.27987	0	0	0	0	0	0
0.5772	0.5899	0.4872	0.714	0.4304	0.55974	0	0	0	0	0	0
0.8658	0.88485	0.7308	1.071	0.6456	0.83961	0.04881	0.05007	0.1505	0.2	0.0002419	0.0899244
1.1544	1.1798	0.9744	1.428	0.8608	1.11948	0.09983	0.09939	0.2979	2.264	0.153	0.582824
1.443	1.47475	1.218	1.785	1.076	1.39935	0.1495	0.1507	0.397	4.6	0.2981	1.11906
1.7316	1.7697	1.4616	2.142	1.2912	1.67922	0.2141	0.1983	0.5053	4.549	0.8424	1.26182
2.0202	2.06465	1.7052	2.499	1.5064	1.95909	1.013	0.4113	0.5992	4.5	1.36	1.5767
2.3088	2.3596	1.9488	2.856	1.7216	2.23896	1.649	1.181	0.6981	3.122	1.908	1.71162
2.5974	2.65455	2.1924	3.213	1.9368	2.51883	2.283	1.986	0.8	2.694	2.448	2.0422
2.886	2.9495	2.436	3.57	2.152	2.7987	2.392	2.689	1.154	2.289	3	2.3048
3.1746	3.24445	2.6796	3.927	2.3672	3.07857	2.482	3.39	1.493	1.806	2.511	2.3364
3.4632	3.5394	2.9232	4.284	2.5824	3.35844	2.203	2.993	1.553	1.286	1.998	2.0066
3.7518	3.83435	3.1668	4.641	2.7976	3.63831	1.9	2.546	1.6	1.086	1.566	1.7396
4.0404	4.1293	3.4104	4.998	3.0128	3.91818	1.411	2.108	1.396	0.9021	1.1	1.38342
4.329	4.42425	3.654	5.355	3.228	4.19805	1.247	1.755	1.203	0.5975	1.003	1.1611
4.6176	4.7192	3.8976	5.712	3.4432	4.47792	1.094	1.404	0.958	0.4971	0.8956	0.96974
4.9062	5.01415	4.1412	6.069	3.6584	4.75779	0.8996	1.102	0.6994	0.3939	0.8081	0.7806
5.1948	5.3091	4.3848	6.426	3.8736	5.03766	0.6896	0.8	0.5026	0.2958	0.5974	0.57708
5.4834	5.60405	4.6284	6.783	4.0888	5.31753	0.2969	0.307	0.3038	0.1227	0.4137	0.28882
5.772	5.899	4.872	7.14	4.304	5.5974	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 2.2 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ
ที่ระยะ 60 เซนติเมตร

ที่ระยะ 60 เซนติเมตร											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	v1	v2	v3	v4	v5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.3153	0.3103	0.24025	0.27025	0.26525	0.28027	0	0	0	0	0	0
0.6306	0.6206	0.4805	0.5405	0.5305	0.56054	0	0	0	0	0	0
0.9459	0.9309	0.72075	0.81075	0.79575	0.84081	0	0	0.1506	0.1	0.1567	0.08146
1.2612	1.2412	0.961	1.081	1.061	1.12108	0.1523	0	0.307	0.2023	0.3091	0.19414
1.5765	1.5515	1.20125	1.35125	1.32625	1.40135	0.3227	0.003757	0.4056	0.3	0.468	0.3000114
1.8918	1.8618	1.4415	1.6215	1.5915	1.68162	0.8974	0.1514	0.5314	0.7027	0.6029	0.57716
2.2071	2.1721	1.68175	1.89175	1.85675	1.96189	1.503	0.3099	1.524	1.111	0.7114	1.03186
2.5224	2.4824	1.922	2.162	2.122	2.24216	2.11	0.8088	2.508	1.502	0.8	1.54576
2.8377	2.7927	2.16225	2.43225	2.38725	2.52243	2.694	1.251	3.156	1.551	1.387	2.0078
3.153	3.103	2.4025	2.7025	2.6525	2.8027	2.4	1.712	3.8	1.602	2.005	2.3038
3.4683	3.4133	2.64275	2.97275	2.91775	3.08297	1.955	1.997	3.097	1.651	2.25	2.19
3.7836	3.7236	2.883	3.243	3.183	3.36324	1.5	2.299	2.389	1.7	2.5	2.0776
4.0989	4.0339	3.12325	3.51325	3.44825	3.64351	1.005	2.597	1.748	1.65	2.257	1.8514
4.4142	4.3442	3.3635	3.7835	3.7135	3.92378	0.8088	2.147	1.087	1.6	1.996	1.52776
4.7295	4.6545	3.60375	4.05375	3.97875	4.20405	0.7015	1.703	0.7427	1.297	1.707	1.23024
5.0448	4.9648	3.844	4.324	4.244	4.48432	0.5956	1	0.4008	1.004	1.398	0.87968
5.3601	5.2751	4.08425	4.59425	4.50925	4.76459	0.4516	0.8039	0.3654	0.6974	0.723	0.60826
5.6754	5.5854	4.3245	4.8645	4.7745	5.04486	0.3022	0.6031	0.3325	0.4	0.5005	0.42766
5.9907	5.8957	4.56475	5.13475	5.03975	5.32513	0.1529	0.3013	0.3013	0.09594	0.3009	0.230468
6.306	6.206	4.805	5.405	5.305	5.6054	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 2.3 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ
ที่ระยะ 70 เซนติเมตร

ที่ระยะ 70 เซนติเมตร											
ทดสอบครั้งที่ (เวลา s)					เฉลี่ย	ทดสอบครั้งที่ (ความเร็วลม m/s)					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	v1	v2	v3	v4	v5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.31865	0.32865	0.3637	0.21855	0.24025	0.29396	0	0	0	0	0	0
0.6373	0.6573	0.7274	0.4371	0.4805	0.58792	0	0	0	0	0	0
0.95595	0.98595	1.0911	0.65565	0.72075	0.88188	0.09949	0	0.05053	0	0.003619	0.0307278
1.2746	1.3146	1.4548	0.8742	0.961	1.17584	0.2251	0	0.09939	0.05086	0.0523	0.08553
1.59325	1.64325	1.8185	1.09275	1.20125	1.4698	0.8018	0.1016	0.1492	0.0981	0.1178	0.2537
1.9119	1.9719	2.1822	1.3113	1.4415	1.76376	1.449	0.2005	0.2	0.1465	0.2496	0.44912
2.23055	2.30055	2.5459	1.52985	1.68175	2.05772	2.112	1.326	0.9	0.1704	0.4192	0.98552
2.5492	2.6292	2.9096	1.7484	1.922	2.35168	2.8	1.748	2.186	0.2	1.104	1.6076
2.86785	2.95785	3.2733	1.96695	2.16225	2.64564	2.747	2.195	2.402	0.4425	1.821	1.9215
3.1865	3.2865	3.637	2.1855	2.4025	2.9396	2.688	2.233	2.597	0.7125	2.224	2.0909
3.50515	3.61515	4.0007	2.40405	2.64275	3.23356	2.406	2.266	2.394	1.386	2.6	2.2104
3.8238	3.9438	4.3644	2.6226	2.883	3.52752	2.152	2.3	2.351	2.1	2.24	2.2286
4.14245	4.27245	4.7281	2.84115	3.12325	3.82148	1.894	1.983	2.266	2.203	1.905	2.0502
4.4611	4.6011	5.0918	3.0597	3.3635	4.11544	1.596	1.749	1.793	2.309	1.442	1.7778
4.77975	4.92975	5.4555	3.27825	3.60375	4.4094	1.308	1.503	1.291	2.381	0.9914	1.49488
5.0984	5.2584	5.8192	3.4968	3.844	4.70336	0.9022	1.25	1.103	1.96	0.8808	1.2192
5.41705	5.58705	6.1829	3.71535	4.08425	4.99732	0.6543	1	0.899	1.506	0.6029	0.93244
5.7357	5.9157	6.5466	3.9339	4.3245	5.29128	0.4007	0.486	0.4994	1.055	0.2858	0.54538
6.05435	6.24435	6.9103	4.15245	4.56475	5.58524	0.1317	0.1529	0.1103	0.5942	0.1032	0.21846
6.373	6.573	7.274	4.371	4.805	5.8792	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 2.4 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ
ที่ระยะ 80 เซนติเมตร

ที่ระยะ 80 เซนติเมตร											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	v1	v2	v3	v4	v5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.3837	0.2836	0.27525	0.2686	0.3854	0.31931	0	0	0	0	0	0
0.7674	0.5672	0.5505	0.5372	0.7708	0.63862	0	0	0	0	0.05079	0.010158
1.1511	0.8508	0.82575	0.8058	1.1562	0.95793	0.0339	0	0	0	0.1008	0.02694
1.5348	1.1344	1.101	1.0744	1.5416	1.27724	0.06659	0.15	0	0.1184	0.1532	0.097638
1.9185	1.418	1.37625	1.343	1.927	1.59655	0.09885	0.2955	0	0.5564	0.2	0.23015
2.3022	1.7016	1.6515	1.6116	2.3124	1.91586	1.315	0.4	0.06907	1.043	1.303	0.826014
2.6859	1.9852	1.92675	1.8802	2.6978	2.23517	1.669	0.501	0.1325	1.821	1.89	1.2027
3.0696	2.2688	2.202	2.1488	3.0832	2.55448	2.027	0.9933	0.223	2.584	2.499	1.66526
3.4533	2.5524	2.47725	2.4174	3.4686	2.87379	2.401	1.501	0.5459	2.798	2.699	1.98898
3.837	2.836	2.7525	2.686	3.854	3.1931	2.502	2	0.9162	3	2.9	2.26364
4.2207	3.1196	3.02775	2.9546	4.2394	3.51241	2.6	1.851	1.407	2.655	2	2.1026
4.6044	3.4032	3.303	3.2232	4.6248	3.83172	2.597	1.697	1.9	2.302	1.741	2.0474
4.9881	3.6868	3.57825	3.4918	5.0102	4.15103	1.905	1.548	1.654	1.486	1.451	1.6088
5.3718	3.9704	3.8535	3.7604	5.3956	4.47034	1.292	1.397	1.401	0.9897	1.117	1.23934
5.7555	4.254	4.12875	4.029	5.781	4.78965	1.052	1.153	1.153	0.9468	0.9948	1.05992
6.1392	4.5376	4.404	4.2976	6.1664	5.10896	0.804	0.9001	0.8973	0.9117	0.6978	0.84218
6.5229	4.8212	4.67925	4.5662	6.5518	5.42827	0.3975	0.6471	0.6519	0.736	0.5936	0.60522
6.9066	5.1048	4.9545	4.8348	6.9372	5.74758	0.2975	0.3972	0.3954	0.59	0.4898	0.43398
7.2903	5.3884	5.22975	5.1034	7.3226	6.06689	0.1161	0.2028	0.2012	0.2808	0.2857	0.21732
7.674	5.672	5.505	5.372	7.708	6.3862	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 2.5 ผลการเก็บลักษณะความเร็วลมชั่วขณะที่เกิดจากยานพาหนะ
ที่ระยะ 90 เซนติเมตร

ที่ระยะ 90 เซนติเมตร											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	v1	v2	v3	v4	v5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.29195	0.21855	0.20185	0.2269	0.35535	0.25892	0	0	0	0	0	0
0.5839	0.4371	0.4037	0.4538	0.7107	0.51784	0	0	0	0	0.1962	0.03924
0.87585	0.65565	0.60555	0.6807	1.06605	0.77676	0.05064	0	0	0.01626	0.4095	0.09528
1.1678	0.8742	0.8074	0.9076	1.4214	1.03568	0.09918	0.152	0	0.0377	0.7065	0.199076
1.45975	1.09275	1.00925	1.1345	1.77675	1.2946	0.1998	0.3017	0.07341	0.05379	1.096	0.34494
1.7517	1.3113	1.2111	1.3614	2.1321	1.55352	0.303	0.3997	0.1529	0.06837	1.233	0.431394
2.04365	1.52985	1.41295	1.5883	2.48745	1.81244	0.4495	0.4971	0.227	0.08289	1.365	0.524298
2.3356	1.7484	1.6148	1.8152	2.8428	2.07136	0.6056	0.6	0.3039	0.1	1.492	0.6203
2.62755	1.96695	1.81665	2.0421	3.19815	2.33028	1.536	1.101	0.3489	0.3188	1.206	0.90214
2.9195	2.1855	2.0185	2.269	3.5535	2.5892	1.743	1.594	0.4007	0.5198	1.101	1.0717
3.21145	2.40405	2.22035	2.4959	3.90885	2.84812	2	1.65	0.4509	0.7002	1.001	1.16042
3.5034	2.6226	2.4222	2.7228	4.2642	3.10704	1.95	1.693	0.5	0.9159	0.9049	1.19276
3.79535	2.84115	2.62405	2.9497	4.61955	3.36596	1.898	1.339	0.5999	1.094	0.8487	1.15592
4.0873	3.0597	2.8259	3.1766	4.9749	3.62488	1.206	0.9904	0.6984	0.9479	0.7978	0.9281
4.37925	3.27825	3.02775	3.4035	5.33025	3.8838	0.9506	0.8035	0.6685	0.7804	0.5995	0.7605
4.6712	3.4968	3.2296	3.6304	5.6856	4.14272	0.7	0.6059	0.6239	0.5801	0.3975	0.58148
4.96315	3.71535	3.43145	3.8573	6.04095	4.40164	0.4971	0.5012	0.5883	0.3967	0.3486	0.46638
5.2551	3.9339	3.6333	4.0842	6.3963	4.66056	0.2931	0.3487	0.4492	0.2951	0.2964	0.3365
5.54705	4.15245	3.83515	4.3111	6.75165	4.91948	0.1957	0.197	0.2961	0.1575	0.09836	0.188932
5.839	4.371	4.037	4.538	7.107	5.1784	0	0	0	0	0	0



8. ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A และ B ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร , ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาที

ตารางภาคผนวก 2.6 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร,
ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที

พัดลม A ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tmean	V1	V2	V3	V4	V5	Vmean
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.2836	0.28195	0.2853	0.30365	0.2803	0.28696	0	0	0	0	0	0
0.5672	0.5639	0.5706	0.6073	0.5606	0.57392	0	0	0	0	0	0
0.8508	0.84585	0.8559	0.91095	0.8409	0.86088	0.2	0.1017	0.09674	0.2998	0.2544	0.190528
1.1344	1.1278	1.1412	1.2146	1.1212	1.14784	0.4902	0.2244	0.2547	0.8929	0.5	0.47244
1.418	1.40975	1.4265	1.51825	1.4015	1.4348	0.7914	1.092	1.09	1.484	1.01	1.09348
1.7016	1.6917	1.7118	1.8219	1.6818	1.72176	1.033	1.716	1.663	2.5	1.5	1.6824
1.9852	1.97365	1.9971	2.12555	1.9621	2.00872	1.266	2.3	2.193	2.6	1.6	1.9918
2.2688	2.2556	2.2824	2.4292	2.2424	2.29568	1.485	2.465	2.513	2.7	2.051	2.2428
2.5524	2.53755	2.5677	2.73285	2.5227	2.58264	1.601	2.6	2.797	2.666	2.202	2.3732
2.836	2.8195	2.853	3.0365	2.803	2.8696	1.7	2.519	2.851	2.633	2.353	2.4112
3.1196	3.10145	3.1383	3.34015	3.0833	3.15656	1.899	2.465	2.899	2.59	2.463	2.4632
3.4032	3.3834	3.4236	3.6438	3.3636	3.44352	2.1	2.406	2.746	2.451	2.4	2.4206
3.6868	3.66535	3.7089	3.94745	3.6439	3.73048	2.055	2.349	2.6	2.302	2.149	2.291
3.9704	3.9473	3.9942	4.2511	3.9242	4.01744	1.999	2.308	2.188	1.909	1.903	2.0614
4.254	4.22925	4.2795	4.55475	4.2045	4.3044	1.703	1.85	1.807	1.507	1.594	1.6922
4.5376	4.5112	4.5648	4.8584	4.4848	4.59136	1.393	1.416	1.407	0.6174	1.301	1.22688
4.8212	4.79315	4.8501	5.16205	4.7651	4.87832	0.6938	1.045	1.039	0.4986	0.9987	0.85502
5.1048	5.0751	5.1354	5.4657	5.0454	5.16528	0.4879	0.7313	0.7049	0.4012	0.6897	0.603
5.3884	5.35705	5.4207	5.76935	5.3257	5.45224	0.3031	0.2979	0.2965	0.1035	0.1939	0.23898
5.672	5.639	5.706	6.073	5.606	5.7392	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 2.7 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร,
ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

พัดลม A ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	V1	V2	V3	V4	V5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30695	0.30865	0.3203	0.30865	0.3103	0.31097	0	0	0	0	0	0
0.6139	0.6173	0.6406	0.6173	0.6206	0.62194	0	0.4047	0	0.2887	0.2144	0.18156
0.92085	0.92595	0.9609	0.92595	0.9309	0.93291	0.05053	0.87	0.5048	1.682	1.055	0.832466
1.2278	1.2346	1.2812	1.2346	1.2412	1.24388	0.1648	2.387	0.9003	2.35	1.904	1.54122
1.53475	1.54325	1.6015	1.54325	1.5515	1.55485	1.111	2.9	1.907	2.999	3.689	2.5212
1.8417	1.8519	1.9218	1.8519	1.8618	1.86582	1.817	3.048	2.403	3.251	3.852	2.8742
2.14865	2.16055	2.2421	2.16055	2.1721	2.17679	2.491	3.205	2.9	3.513	3.99	3.2198
2.4556	2.4692	2.5624	2.4692	2.4824	2.48776	2.91	3.52	3.2	3.976	3.949	3.511
2.76255	2.77785	2.8827	2.77785	2.7927	2.79873	3.308	3.646	3.402	4.068	3.9	3.6648
3.0695	3.0865	3.203	3.0865	3.103	3.1097	3.669	3.798	3.599	4.134	3.865	3.813
3.37645	3.39515	3.5233	3.39515	3.4133	3.42067	3.804	4.1	3.8	4.195	3.832	3.9462
3.6834	3.7038	3.8436	3.7038	3.7236	3.73164	3.89	3.943	3.45	3.993	3.79	3.8132
3.99035	4.01245	4.1639	4.01245	4.0339	4.04261	3.379	3.722	3.097	3.601	3.623	3.4844
4.2973	4.3211	4.4842	4.3211	4.3442	4.35358	3.153	3.137	2.797	2.937	3.383	3.0814
4.60425	4.62975	4.8045	4.62975	4.6545	4.66455	2.9	2.521	2.496	2.292	2.395	2.5208
4.9112	4.9384	5.1248	4.9384	4.9648	4.97552	1.216	1.404	1.496	1.305	1.406	1.3654
5.21815	5.24705	5.4451	5.24705	5.2751	5.28649	0.8916	0.4194	0.7091	0.8956	1.049	0.79294
5.5251	5.5557	5.7654	5.5557	5.5854	5.59746	0.5913	0.2993	0.5009	0.5884	0.692	0.53438
5.83205	5.86435	6.0857	5.86435	5.8957	5.90843	0.1194	0.2027	0.2945	0.1308	0.2897	0.20742
6.139	6.173	6.406	6.173	6.206	6.2194	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 2.8 ผลการจำลองผลชั่วขณะของพัลลวม A ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร,
ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

พัลลวม A ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	V1	V2	V3	V4	V5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.32535	0.32365	0.322	0.31865	0.33035	0.324	0	0	0	0	0	0
0.6507	0.6473	0.644	0.6373	0.6607	0.648	0	0	0.103	0	0	0.0206
0.97605	0.97095	0.966	0.95595	0.99105	0.972	0	0	0.409	0.121	0.3402	0.17404
1.3014	1.2946	1.288	1.2746	1.3214	1.296	1.214	0.7089	1.411	1.128	1.25	1.14238
1.62675	1.61825	1.61	1.59325	1.65175	1.62	2.114	1.495	2.401	2.8	2.2	2.202
1.9521	1.9419	1.932	1.9119	1.9821	1.944	3.007	2.336	3.403	3.318	2.8	2.9728
2.27745	2.26555	2.254	2.23055	2.31245	2.268	3.489	3.5	3.906	3.8	2.914	3.5218
2.6028	2.5892	2.576	2.5492	2.6428	2.592	4	3.752	3.998	3.849	3.515	3.8228
2.92815	2.91285	2.898	2.86785	2.97315	2.916	4.206	4.001	4.1	3.902	3.849	4.0116
3.2535	3.2365	3.22	3.1865	3.3035	3.24	4.425	4.055	4.309	4.002	4.205	4.1992
3.57885	3.56015	3.542	3.50515	3.63385	3.564	4.697	4.094	4.353	4.092	4.302	4.3076
3.9042	3.8838	3.864	3.8238	3.9642	3.888	5	3.803	4.392	3.745	4.374	4.2628
4.22955	4.20745	4.186	4.14245	4.29455	4.212	4.588	3.502	4.258	3.38	4.1	3.9656
4.5549	4.5311	4.508	4.4611	4.6249	4.536	3.893	3.052	3.853	2.3	3.517	3.323
4.88025	4.85475	4.83	4.77975	4.95525	4.86	3.181	2.595	1.9	2.296	2.9	2.5744
5.2056	5.1784	5.152	5.0984	5.2856	5.184	1.718	1.421	1.1	1.4	1.797	1.4872
5.53095	5.50205	5.474	5.41705	5.61595	5.508	1.35	0.7962	0.5629	1.105	0.7519	0.9132
5.8563	5.8257	5.796	5.7357	5.9463	5.832	0.999	0.5972	0.4577	0.8125	0.5034	0.67396
6.18165	6.14935	6.118	6.05435	6.27665	6.156	0.419	0.2044	0.09903	0.2794	0.2948	0.259326
6.507	6.473	6.44	6.373	6.607	6.48	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 2.9 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม B ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร ,
ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที

พัดลม B ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	V1	V2	V3	V4	V5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.3103	0.29195	0.312	0.2886	0.30695	0.30196	0	0	0	0	0	0
0.6206	0.5839	0.624	0.5772	0.6139	0.60392	0	0	0	0	0	0
0.9309	0.87585	0.936	0.8658	0.92085	0.90588	0.504	0.1509	0.7066	0.3055	0.5205	0.4375
1.2412	1.1678	1.248	1.1544	1.2278	1.20784	0.9167	0.3453	1.492	1.038	1.692	1.0968
1.5515	1.45975	1.56	1.443	1.53475	1.5098	1.899	1.393	2.317	1.809	2.144	1.9124
1.8618	1.7517	1.872	1.7316	1.8417	1.81176	2.463	2.008	3.4	2.402	2.606	2.5758
2.1721	2.04365	2.184	2.0202	2.14865	2.11372	3	2.606	3.8	3	2.746	3.0304
2.4824	2.3356	2.496	2.3088	2.4556	2.41568	3.3	2.8	3.6	3.153	2.885	3.1476
2.7927	2.62755	2.808	2.5974	2.76255	2.71764	3.142	2.991	3.498	3.297	2.948	3.1752
3.103	2.9195	3.12	2.886	3.0695	3.0196	3	3.093	3.399	3.096	2.997	3.117
3.4133	3.21145	3.432	3.1746	3.37645	3.32156	2.713	3.049	3.285	2.9	3.1	3.0094
3.7236	3.5034	3.744	3.4632	3.6834	3.62352	2.596	2.974	3.15	2.693	2.901	2.8628
4.0339	3.79535	4.056	3.7518	3.99035	3.92548	2.484	2.65	3	2.501	2.426	2.6122
4.3442	4.0873	4.368	4.0404	4.2973	4.22744	2.155	2.298	2.317	2.3	2.01	2.216
4.6545	4.37925	4.68	4.329	4.60425	4.5294	1.803	1.824	1.4	1.972	1.552	1.7102
4.9648	4.6712	4.992	4.6176	4.9112	4.83136	1.356	1.4	1.379	1.605	1.095	1.367
5.2751	4.96315	5.304	4.9062	5.21815	5.13332	0.9004	0.6811	1.044	1.205	0.6191	0.88992
5.5854	5.2551	5.616	5.1948	5.5251	5.43528	0.4048	0.4909	0.7013	0.8069	0.4076	0.5623
5.8957	5.54705	5.928	5.4834	5.83205	5.73724	0.1297	0.3058	0.3039	0.2875	0.2006	0.2455
6.206	5.839	6.24	5.772	6.139	6.0392	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 3.0 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม B ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร,
ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

พัดลม B ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	V1	V2	V3	V4	V5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.29865	0.33035	0.30365	0.312	0.3103	0.31099	0	0	0	0	0	0
0.5973	0.6607	0.6073	0.624	0.6206	0.62198	0.3441	0.2082	0	0	0.4214	0.19474
0.89595	0.99105	0.91095	0.936	0.9309	0.93297	0.7161	0.4	0.9235	0.8826	0.8197	0.74838
1.1946	1.3214	1.2146	1.248	1.2412	1.24396	1.456	1.253	1.776	1.393	2.614	1.6984
1.49325	1.65175	1.51825	1.56	1.5515	1.55495	2.222	2.007	2.63	2.504	2.844	2.4414
1.7919	1.9821	1.8219	1.872	1.8618	1.86594	3	3.585	3.708	3.01	3.732	3.407
2.09055	2.31245	2.12555	2.184	2.1721	2.17693	3.249	3.915	3.799	3.438	3.907	3.6616
2.3892	2.6428	2.4292	2.496	2.4824	2.48792	2.504	4.177	3.902	3.698	3.99	3.6542
2.68785	2.97315	2.73285	2.808	2.7927	2.79891	3.651	4.25	3.956	3.9	4.037	3.9588
2.9865	3.3035	3.0365	3.12	3.103	3.1099	3.797	4.292	4.009	3.678	4.068	3.9688
3.28515	3.63385	3.34015	3.432	3.4133	3.42089	3.391	4.247	4.106	3.447	4.047	3.8476
3.5838	3.9642	3.6438	3.744	3.7236	3.73188	3.203	4.108	4.162	3.241	3.889	3.7206
3.88245	4.29455	3.94745	4.056	4.0339	4.04287	2.974	3.192	3.797	3.001	3.709	3.3346
4.1811	4.6249	4.2511	4.368	4.3442	4.35386	2.599	2.525	2.6	2.122	2.498	2.4688
4.47975	4.95525	4.55475	4.68	4.6545	4.66485	2.167	1.894	2.456	1.643	1.891	2.0102
4.7784	5.2856	4.8584	4.992	4.9648	4.97584	1.224	1.071	1.366	1.204	1.292	1.2314
5.07705	5.61595	5.16205	5.304	5.2751	5.28683	0.899	0.7954	0.6135	0.5528	0.7	0.71214
5.3757	5.9463	5.4657	5.616	5.5854	5.59782	0.566	0.3749	0.5694	0.356	0.4439	0.46204
5.67435	6.27665	5.76935	5.928	5.8957	5.90881	0.2112	0.1035	0.1372	0.1739	0.1977	0.1647
5.973	6.607	6.073	6.24	6.206	6.2198	0	0	0	0	0	0



ตารางภาคผนวก 3.1 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม B ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร,
ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

พัดลม B ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที											
เวลา (วินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที) ทดสอบครั้งที่					เฉลี่ย
T1	T2	T3	T4	T5	Tm	V1	V2	V3	V4	V5	Vm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.312	0.33365	0.30865	0.30695	0.33035	0.31832	0	0	0	0	0	0
0.624	0.6673	0.6173	0.6139	0.6607	0.63664	0	0.8	0.2741	0.814	0.3815	0.45392
0.936	1.00095	0.92595	0.92085	0.99105	0.95496	1.222	0.9886	0.5861	1.346	1.011	1.03074
1.248	1.3346	1.2346	1.2278	1.3214	1.27328	2.127	2.823	1.399	2.291	2.631	2.2542
1.56	1.66825	1.54325	1.53475	1.65175	1.5916	3.044	3.477	2.24	3.117	3.025	2.9806
1.872	2.0019	1.8519	1.8417	1.9821	1.90992	3.962	4.2	3.393	3.7	3.399	3.7308
2.184	2.33555	2.16055	2.14865	2.31245	2.22824	4.204	4.387	3.451	3.904	3.81	3.9512
2.496	2.6692	2.4692	2.4556	2.6428	2.54656	4.296	4.792	3.5	4.133	3.999	4.144
2.808	3.00285	2.77785	2.76255	2.97315	2.86488	4.24	4.488	3.827	4.599	4.231	4.277
3.12	3.3365	3.0865	3.0695	3.3035	3.1832	4.177	4.219	4.026	4.8	4.6	4.3644
3.432	3.67015	3.39515	3.37645	3.63385	3.50152	4.076	4.15	4.191	4.403	4.652	4.2944
3.744	4.0038	3.7038	3.6834	3.9642	3.81984	3.95	4.1	4.254	4.35	4.7	4.2708
4.056	4.33745	4.01245	3.99035	4.29455	4.13816	3.75	3.709	4.261	4.266	4.597	4.1166
4.368	4.6711	4.3211	4.2973	4.6249	4.45648	3.359	3.278	3.794	3.596	3.346	3.4746
4.68	5.00475	4.62975	4.60425	4.95525	4.7748	2.915	1.906	3.305	2.77	2.604	2.7
4.992	5.3384	4.9384	4.9112	5.2856	5.09312	1.508	1.131	1.744	1.99	1.463	1.5672
5.304	5.67205	5.24705	5.21815	5.61595	5.41144	1.086	0.8777	1.265	1.373	1.02	1.12434
5.616	6.0057	5.5557	5.5251	5.9463	5.72976	0.7069	0.4902	0.744	0.8609	0.6862	0.69764
5.928	6.33935	5.86435	5.83205	6.27665	6.04808	0.2295	0.0975	0.3128	0.2786	0.2346	0.2306
6.24	6.673	6.173	6.139	6.607	6.3664	0	0	0		0	0



9. ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A และ B ระดับความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาทีนำมาเฉลี่ยรวมกัน เพื่อจำลองเป็นลักษณะลมสวนทาง

ตารางภาคผนวก 3.2 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A,B ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร ,
ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที

ลมสวนทาง ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที					
เวลา (s)		เวลาเฉลี่ย (s)	ความเร็วลม (m/s)		ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
TA	TB	Tmean	VA	VB	Vmean
0	0	0	0	0	0
0.28696	0.29762	0.29229	0	0	0
0.57392	0.59524	0.58458	0	0	0
0.86088	0.89286	0.87687	0.190528	0.78538	0.487954
1.14784	1.19048	1.16916	0.47244	0.90878	0.69061
1.4348	1.4881	1.46145	1.09348	1.767	1.43024
1.72176	1.78572	1.75374	1.6824	2.2796	1.981
2.00872	2.08334	2.04603	1.9918	2.7118	2.3518
2.29568	2.38096	2.33832	2.2428	2.8788	2.5608
2.58264	2.67858	2.63061	2.3732	2.937	2.6551
2.8696	2.9762	2.9229	2.4112	2.9572	2.6842
3.15656	3.27382	3.21519	2.4632	2.8928	2.678
3.44352	3.57144	3.50748	2.4206	2.7926	2.6066
3.73048	3.86906	3.79977	2.291	2.5342	2.4126
4.01744	4.16668	4.09206	2.0614	2.2332	2.1473
4.3044	4.4643	4.38435	1.6922	1.8242	1.7582
4.59136	4.76192	4.67664	1.22688	1.3886	1.30774
4.87832	5.05954	4.96893	0.85502	0.90912	0.88207
5.16528	5.35716	5.26122	0.603	0.58204	0.59252
5.45224	5.65478	5.55351	0.23898	0.23432	0.23665
5.7392	5.9524	5.8458	0	0	0



ตารางภาคผนวก 3.3 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A,B ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร,
ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

ลมสวนทาง ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที					
เวลา (s)		เวลาเฉลี่ย (s)	ความเร็วลม (m/s)		ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
TA	TB	Tmean	VA	VB	Vmean
0	0	0	0	0	0
0.31097	0.31099	0.31098	0	0	0
0.62194	0.62198	0.62196	0.18156	0.19474	0.18815
0.93291	0.93297	0.93294	0.832466	0.74838	0.790423
1.24388	1.24396	1.24392	1.54122	1.6984	1.61981
1.55485	1.55495	1.5549	2.5212	2.4414	2.4813
1.86582	1.86594	1.86588	2.8742	3.407	3.1406
2.17679	2.17693	2.17686	3.2198	3.6616	3.4407
2.48776	2.48792	2.48784	3.511	3.6542	3.5826
2.79873	2.79891	2.79882	3.6648	3.9588	3.8118
3.1097	3.1099	3.1098	3.813	3.9688	3.8909
3.42067	3.42089	3.42078	3.9462	3.8476	3.8969
3.73164	3.73188	3.73176	3.8132	3.7206	3.7669
4.04261	4.04287	4.04274	3.4844	3.3346	3.4095
4.35358	4.35386	4.35372	3.0814	2.4688	2.7751
4.66455	4.66485	4.6647	2.5208	2.0102	2.2655
4.97552	4.97584	4.97568	1.3654	1.2314	1.2984
5.28649	5.28683	5.28666	0.79294	0.71214	0.75254
5.59746	5.59782	5.59764	0.53438	0.46204	0.49821
5.90843	5.90881	5.90862	0.20742	0.1647	0.18606
6.2194	6.2198	6.2196	0	0	0

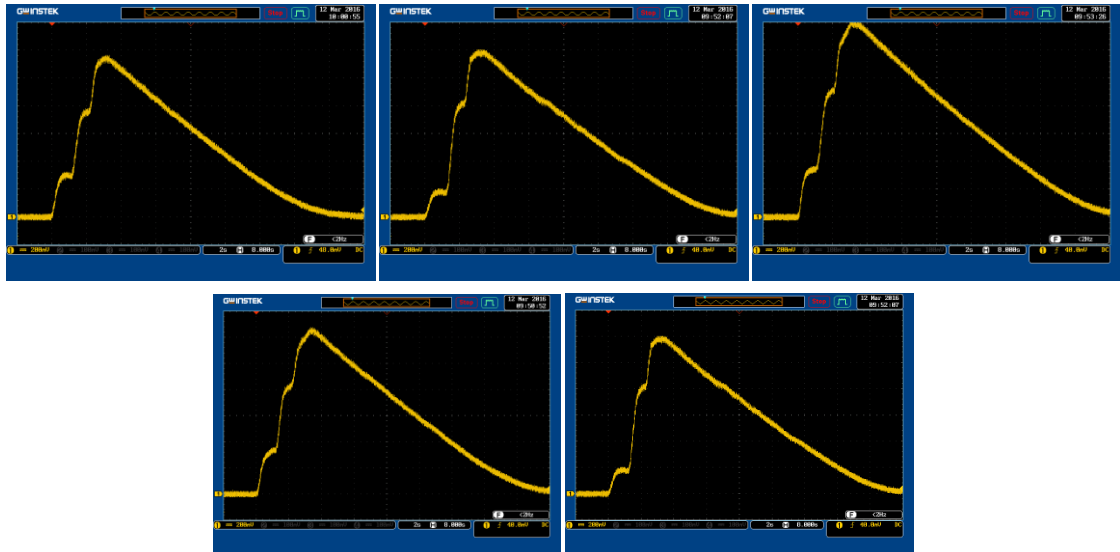


ตารางภาคผนวก 3.4 ผลการจำลองลมชั่วขณะของพัดลม A,B ที่ระยะ $l = 150$ เซนติเมตร ,
ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

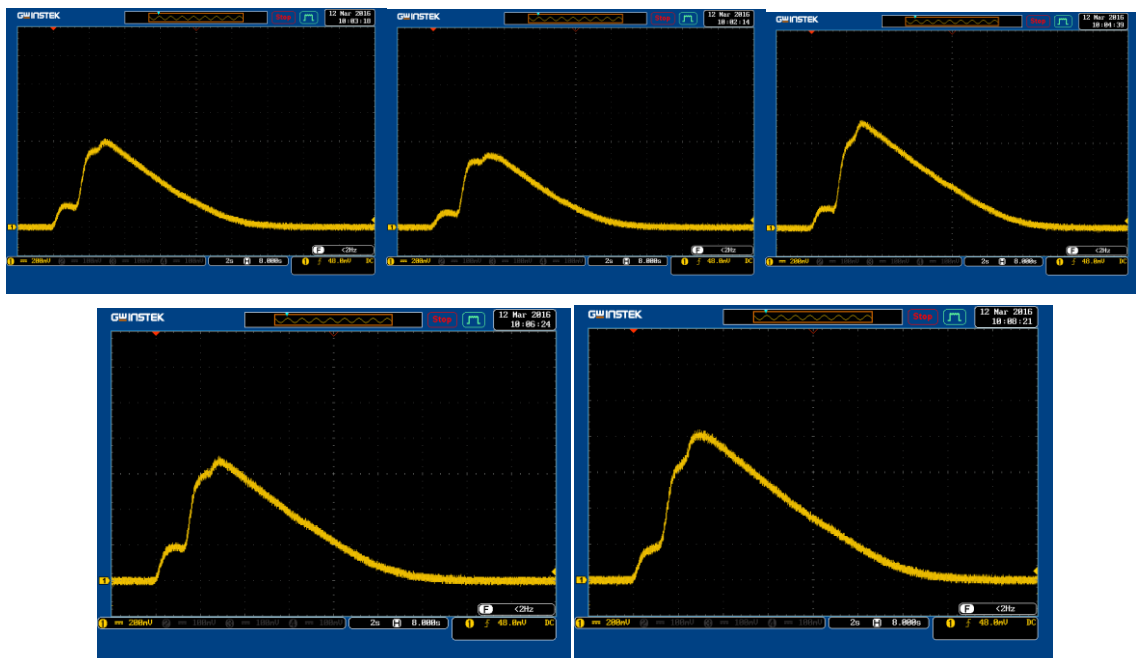
ลมสวนทาง ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที					
เวลา (s)		เวลาเฉลี่ย (s)	ความเร็วลม (m/s)		ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
TA	TB	Tmean	VA	VB	Vmean
0	0	0	0	0	0
0.324	0.31832	0.32116	0	0	0
0.648	0.63664	0.64232	0.0206	0.45392	0.23726
0.972	0.95496	0.96348	0.17404	1.03074	0.60239
1.296	1.27328	1.28464	1.14238	2.2542	1.69829
1.62	1.5916	1.6058	2.202	2.9806	2.5913
1.944	1.90992	1.92696	2.9728	3.7308	3.3518
2.268	2.22824	2.24812	3.5218	3.9512	3.7365
2.592	2.54656	2.56928	3.8228	4.144	3.9834
2.916	2.86488	2.89044	4.0116	4.277	4.1443
3.24	3.1832	3.2116	4.1992	4.3644	4.2818
3.564	3.50152	3.53276	4.3076	4.2944	4.301
3.888	3.81984	3.85392	4.2628	4.2708	4.2668
4.212	4.13816	4.17508	3.9656	4.1166	4.0411
4.536	4.45648	4.49624	3.323	3.4746	3.3988
4.86	4.7748	4.8174	2.5744	2.7	2.6372
5.184	5.09312	5.13856	1.4872	1.5672	1.5272
5.508	5.41144	5.45972	0.9132	1.12434	1.01877
5.832	5.72976	5.78088	0.67396	0.69764	0.6858
6.156	6.04808	6.10204	0.259326	0.2306	0.244963
6.48	6.3664	6.4232	0	0	0



10. ผลการศึกษาลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม

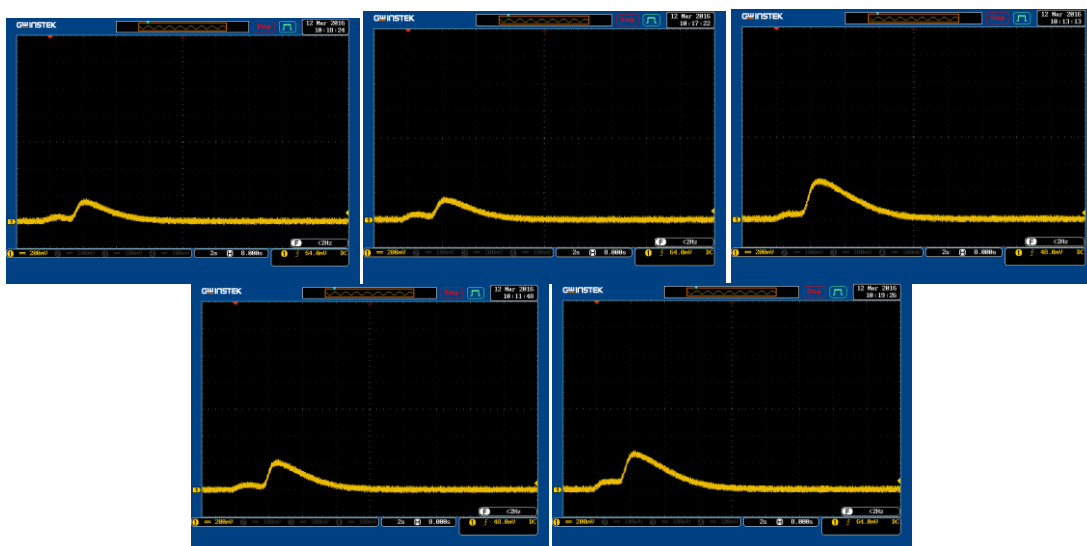


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ก) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

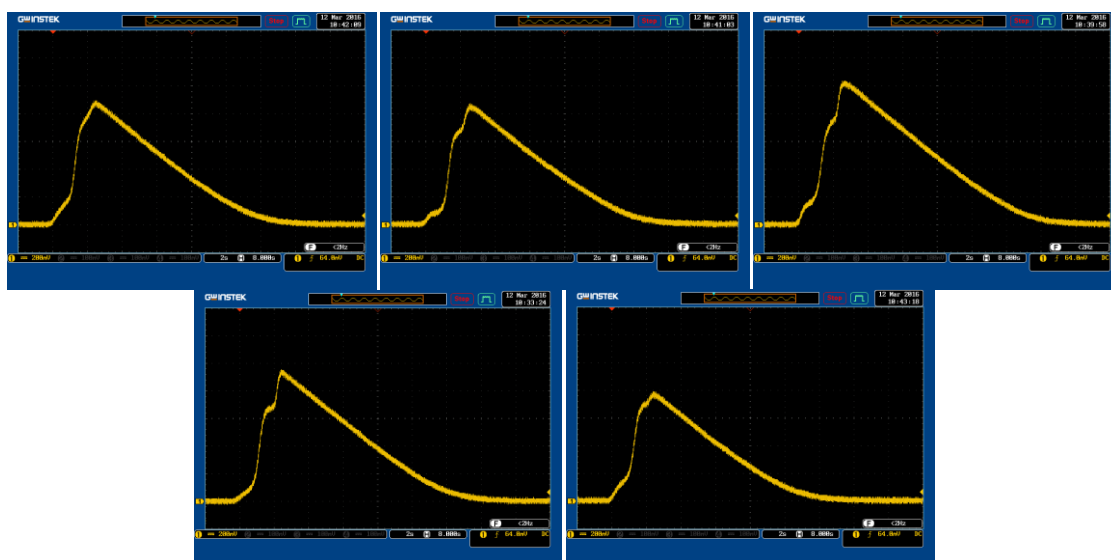


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ก) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที



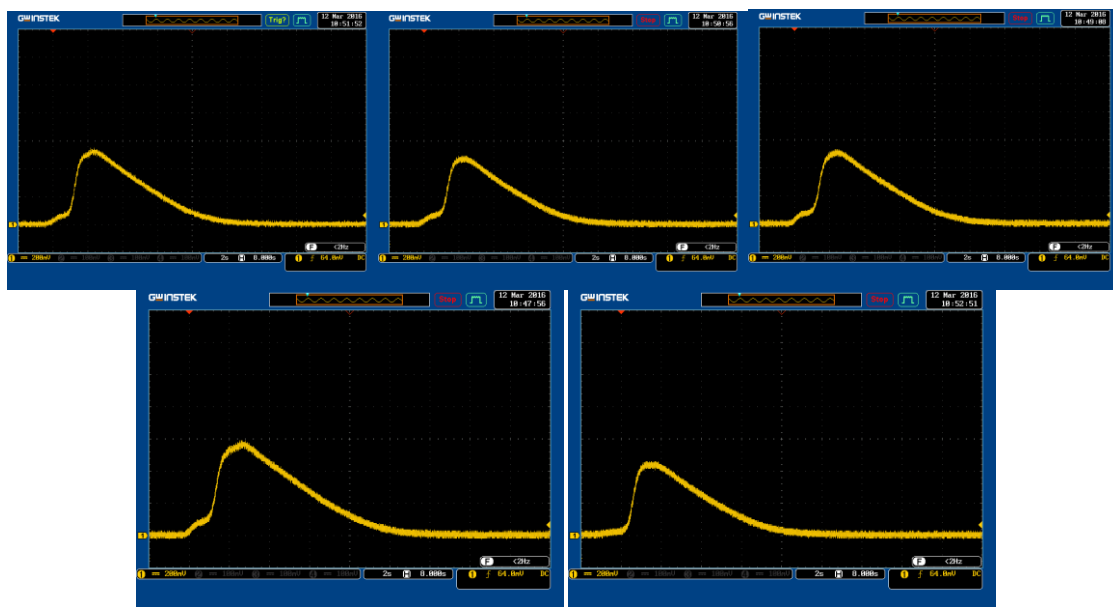


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ก) ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที

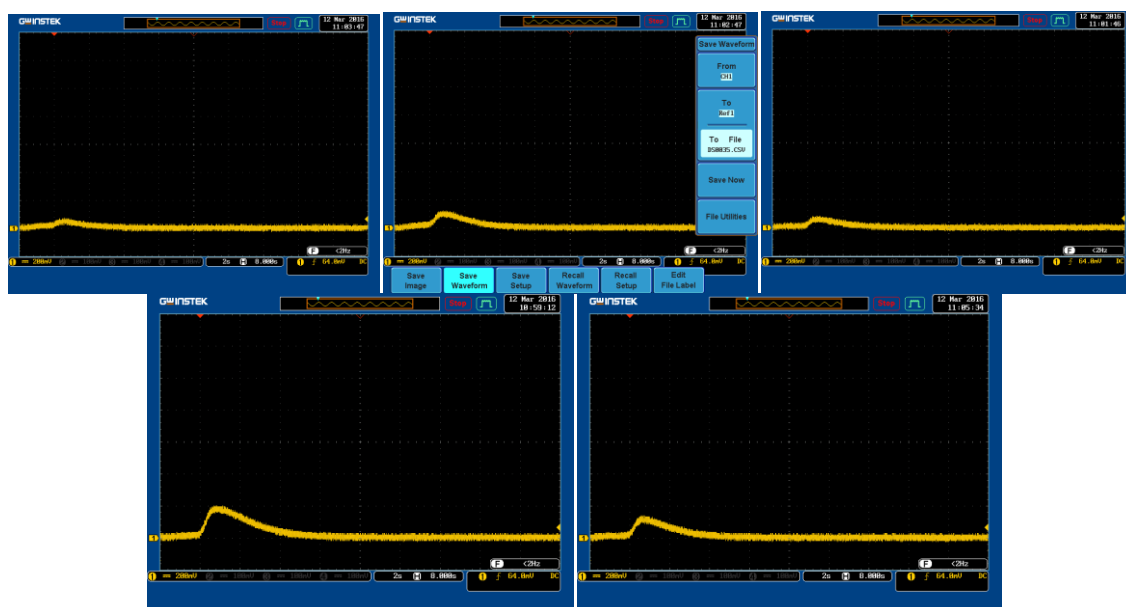


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ข) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที



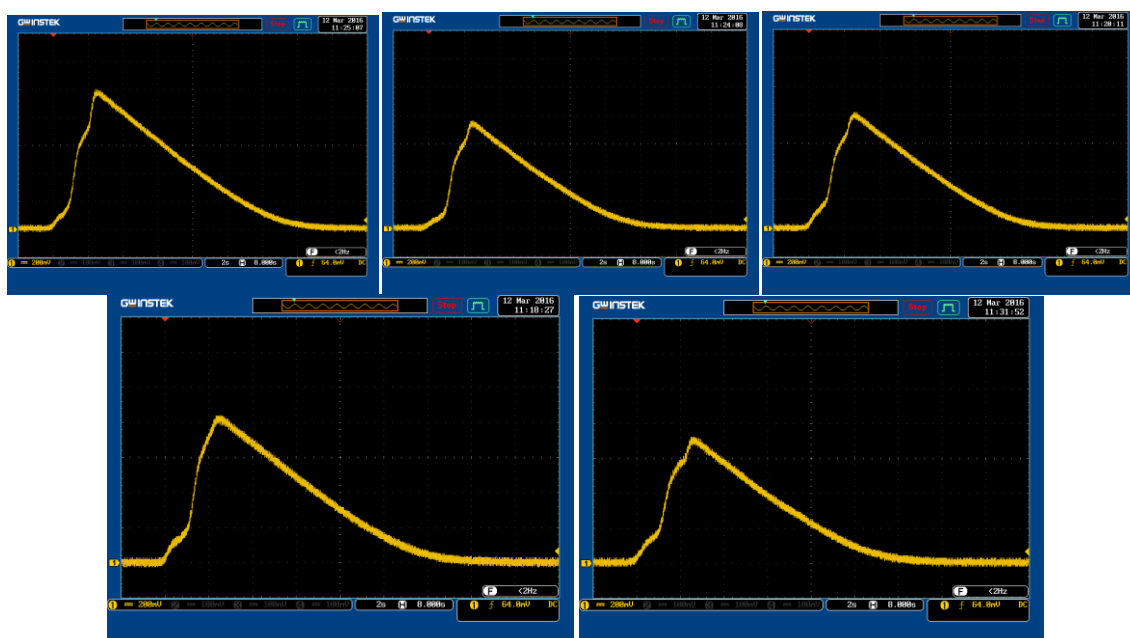


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ข) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

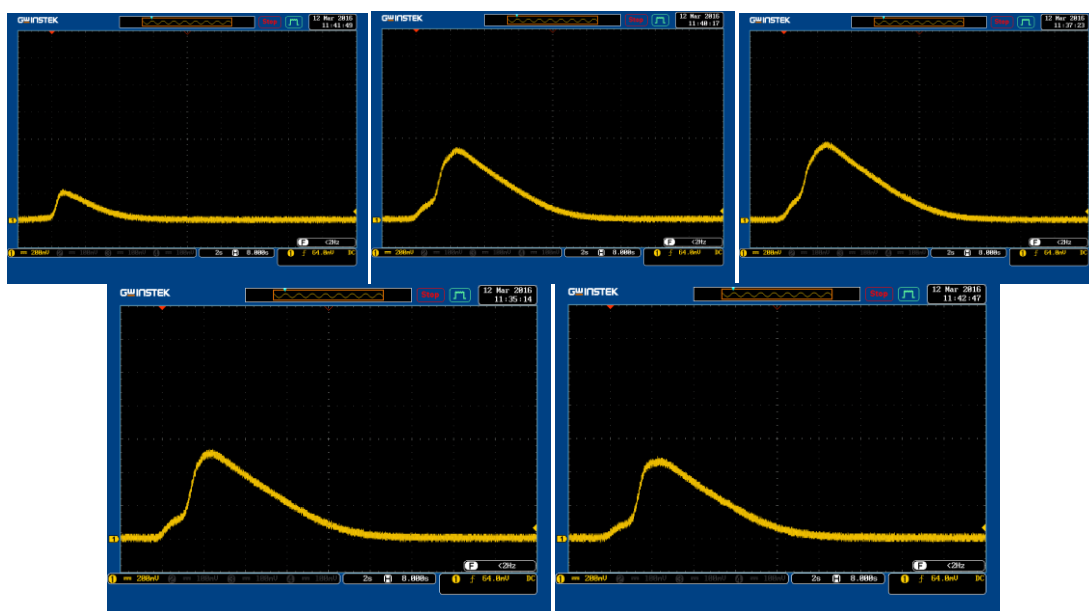


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ข) ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที



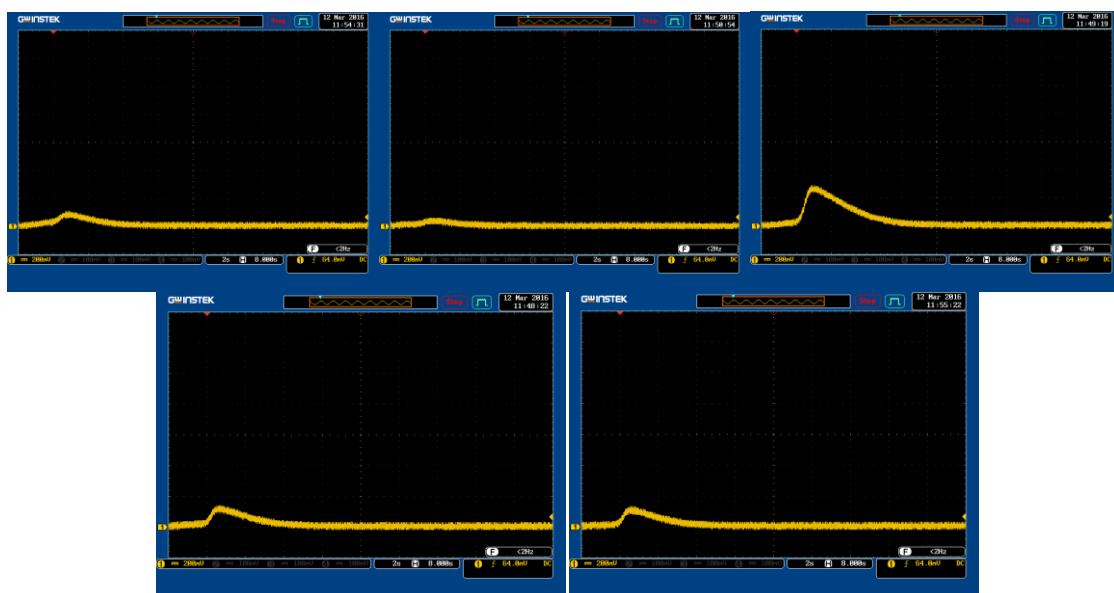


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ค) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

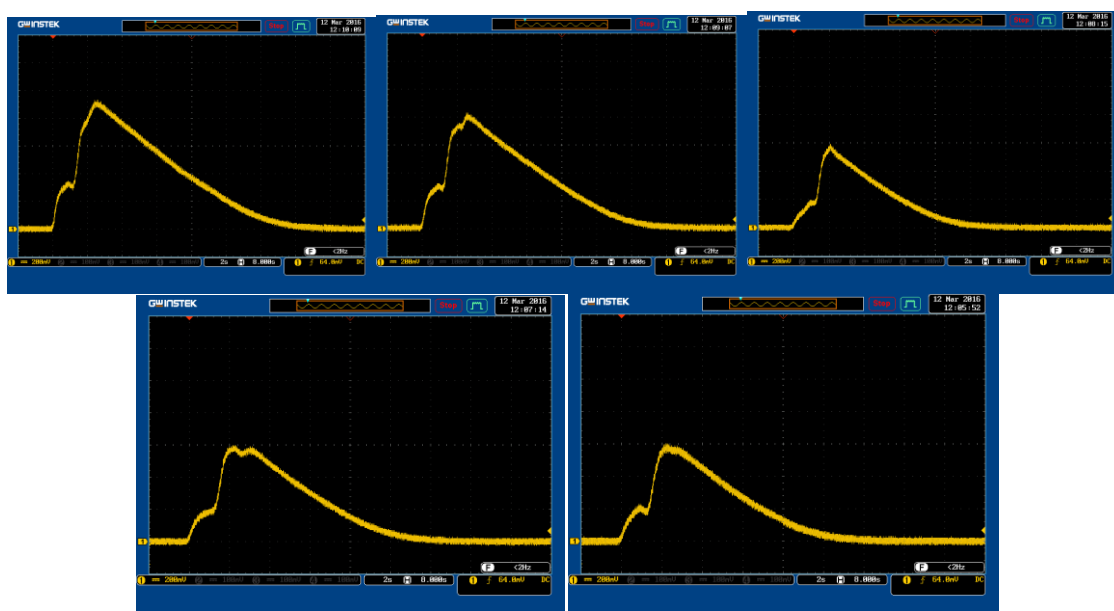


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ค) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที



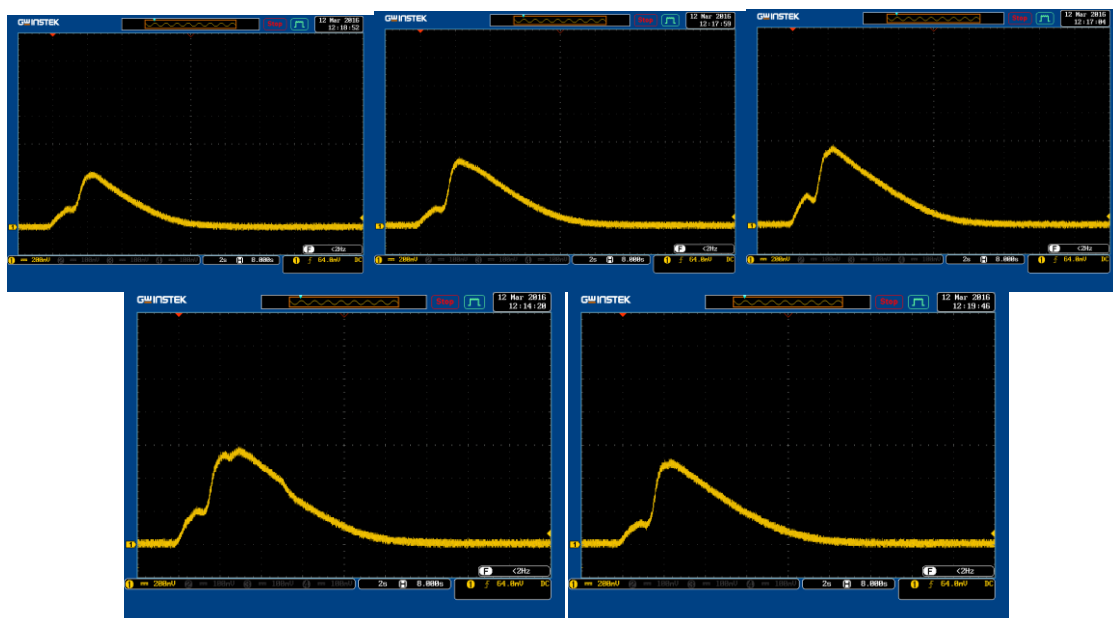


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ค) ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที

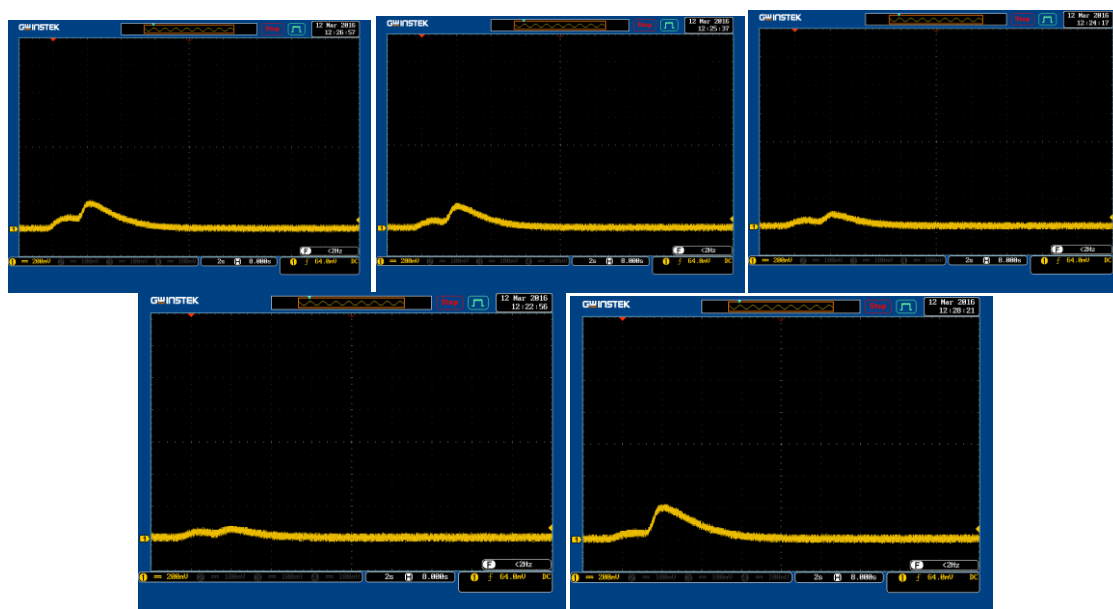


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ง) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที



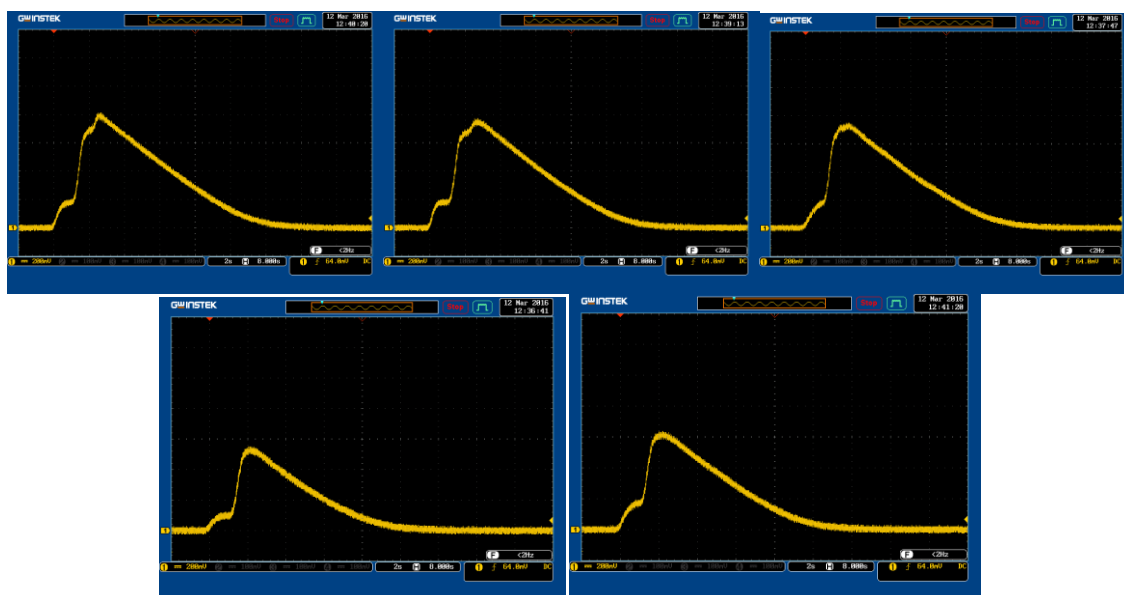


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ง) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

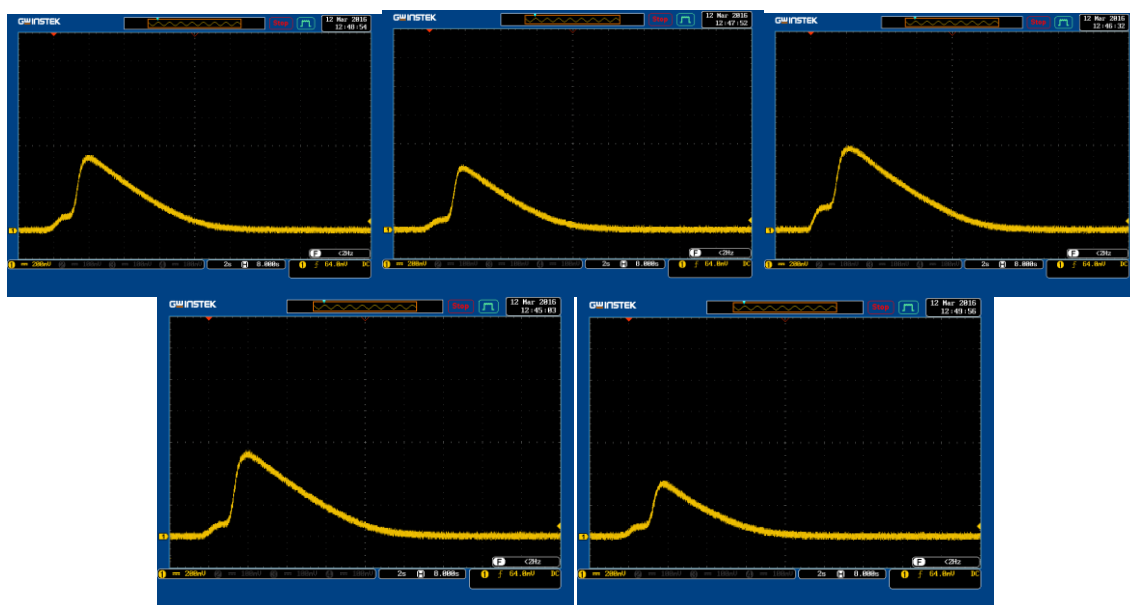


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ง) ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที



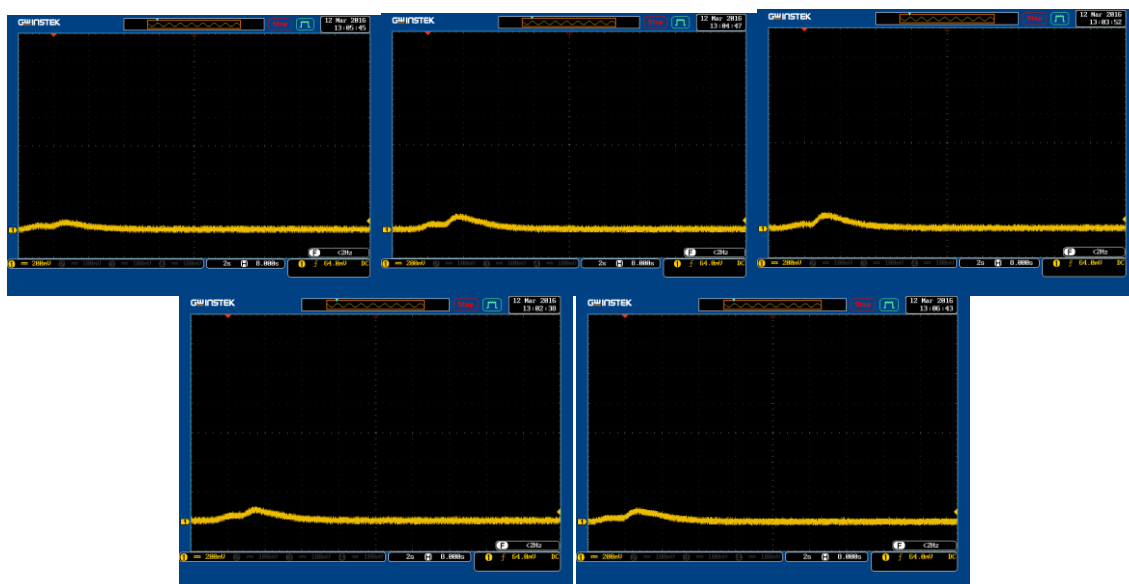


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (จ) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

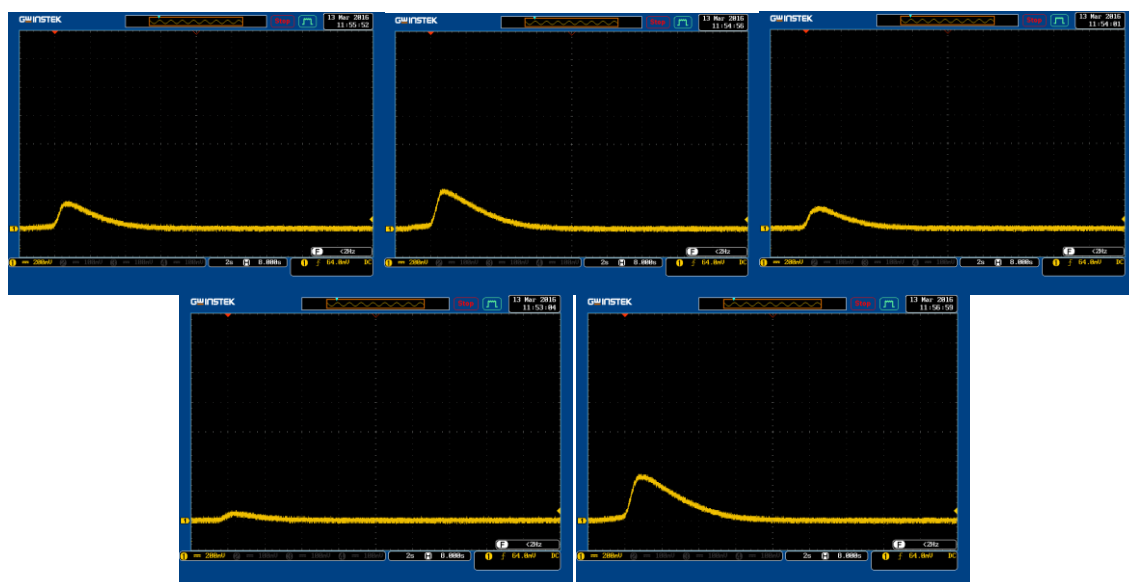


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (จ) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที



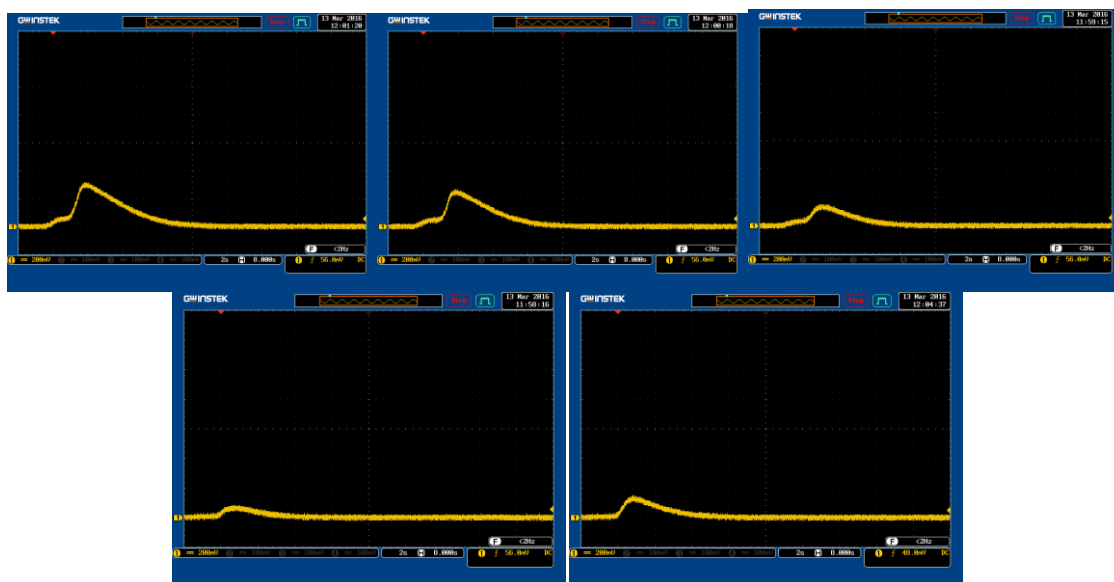


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (จ) ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที



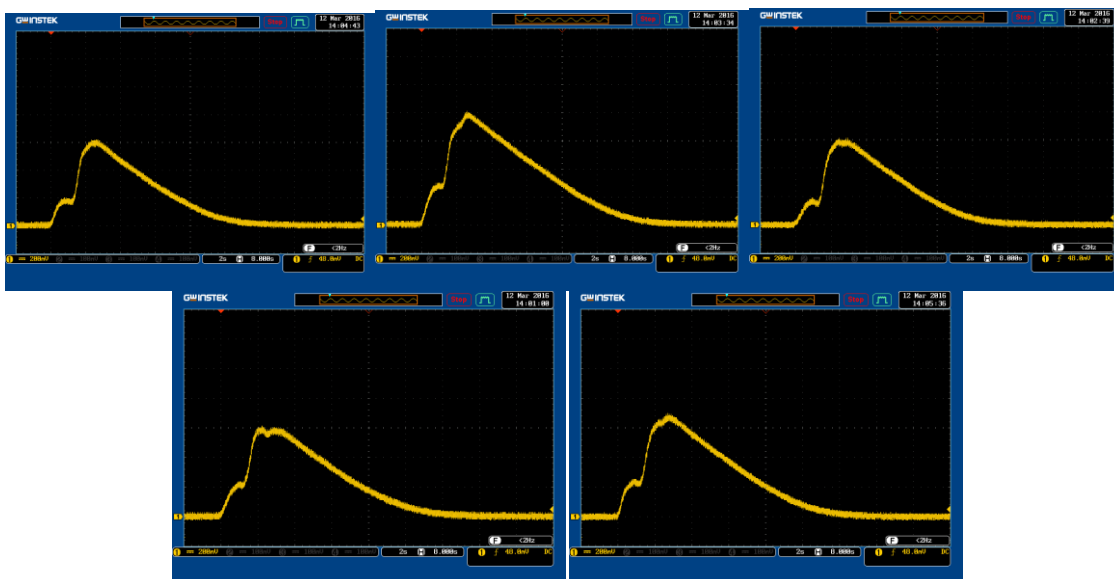
ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (น) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที





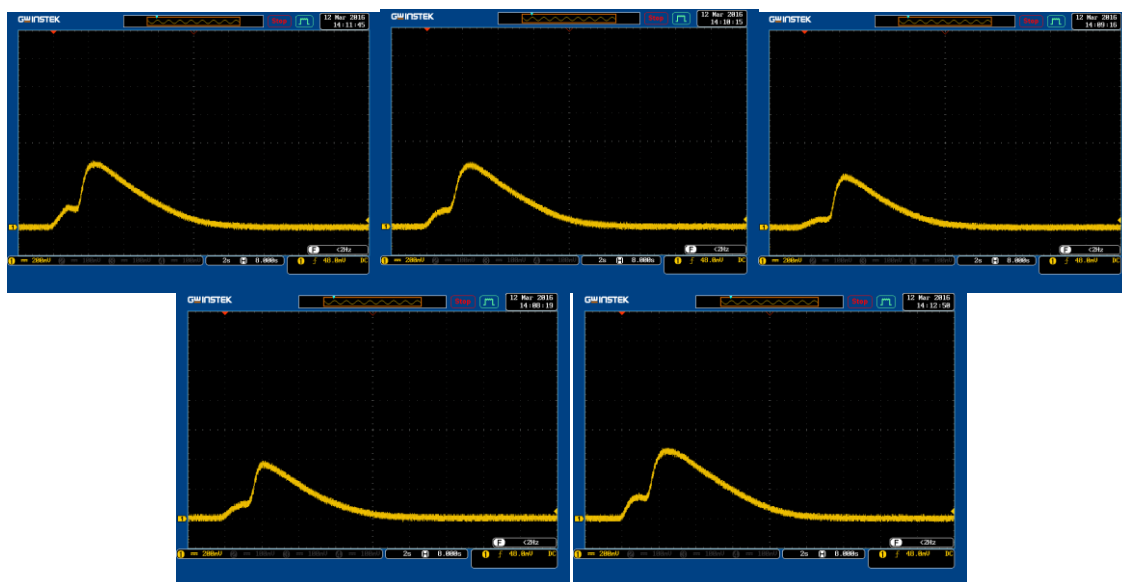
ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (น) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

กังหันลมแบบ (น) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที
กังหันลมไม่สามารถเริ่มหมุนได้

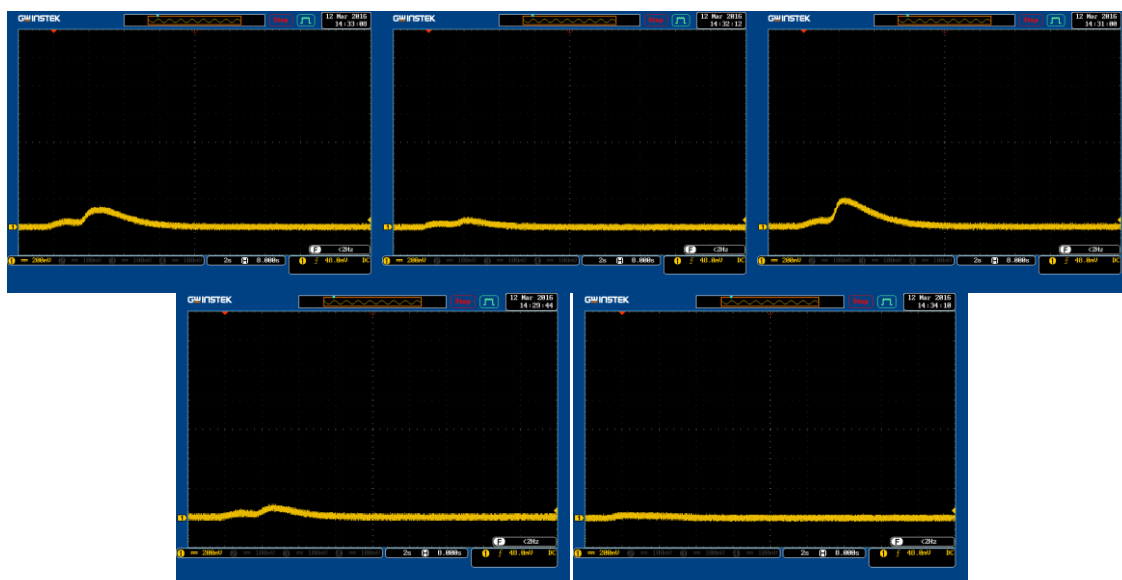


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ฉ) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที



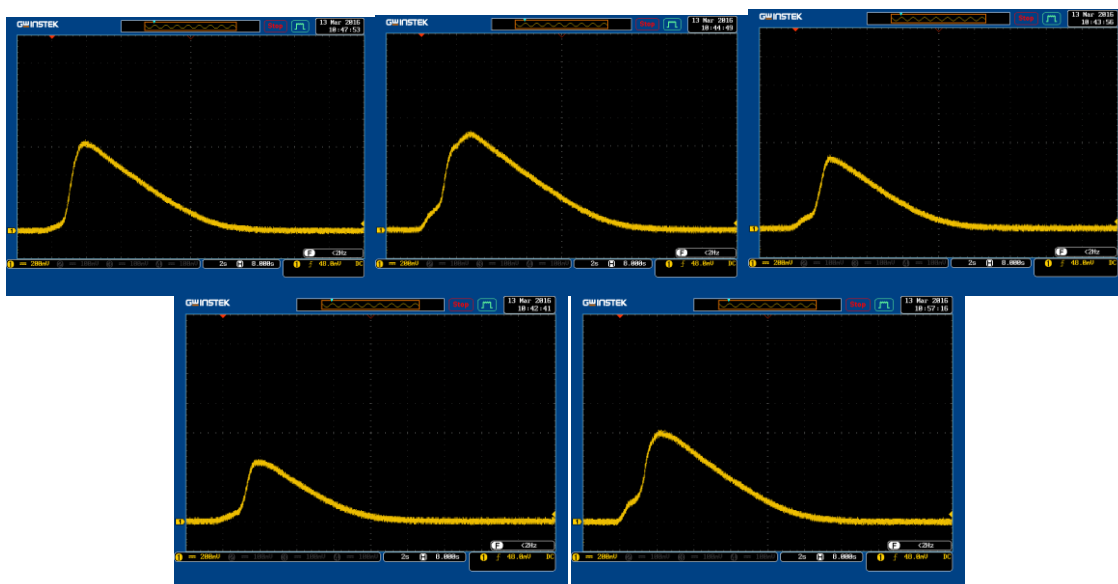


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ฉ) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

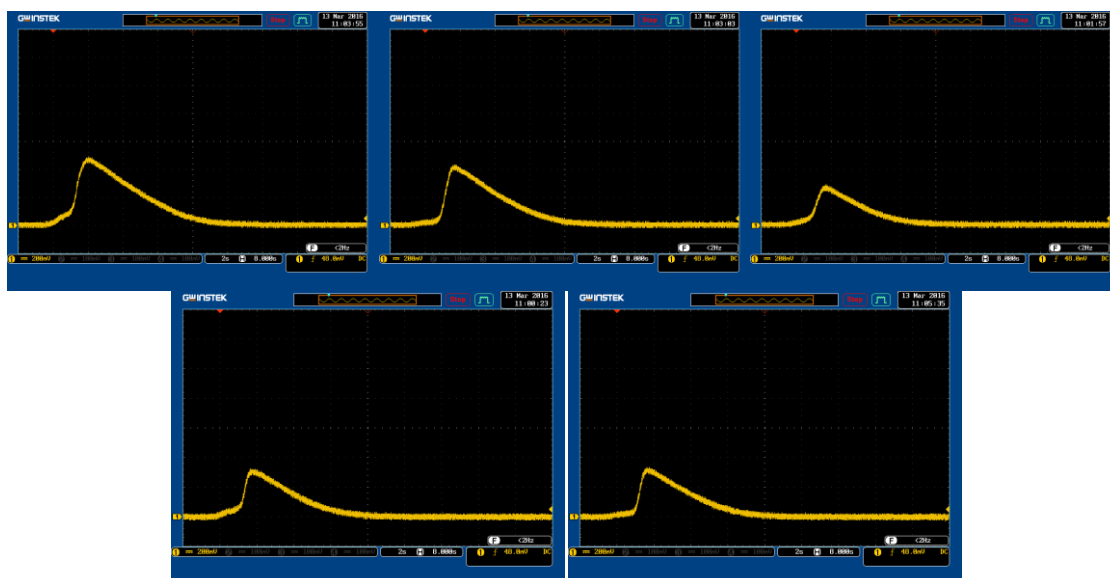


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ฉ) ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที





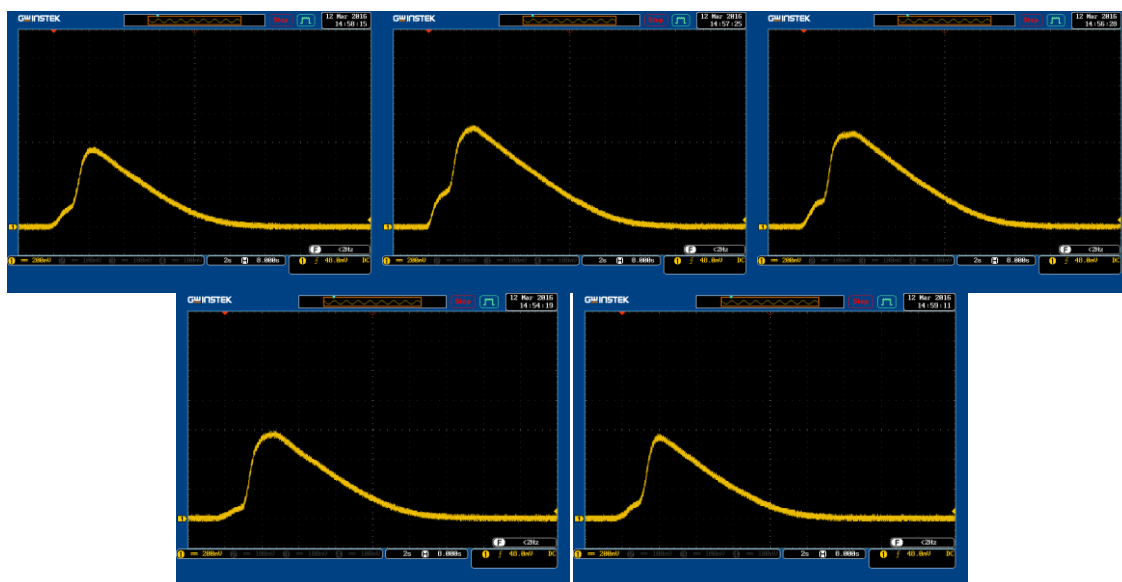
ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ซ) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

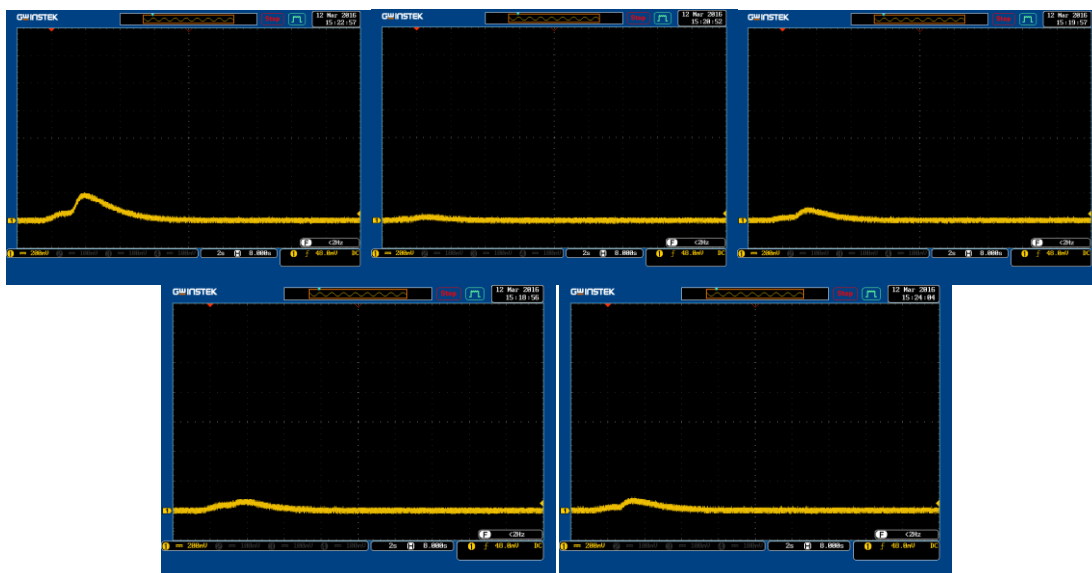


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ซ) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

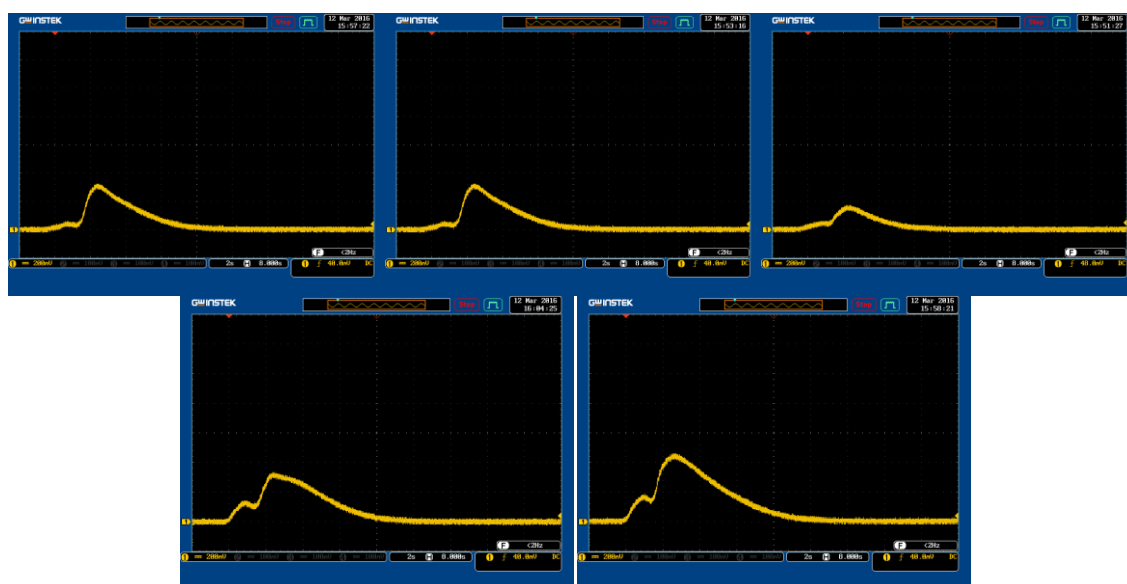
กังหันลมแบบ (ซ) ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที
 กังหันลมไม่สามารถเริ่มหมุนได้





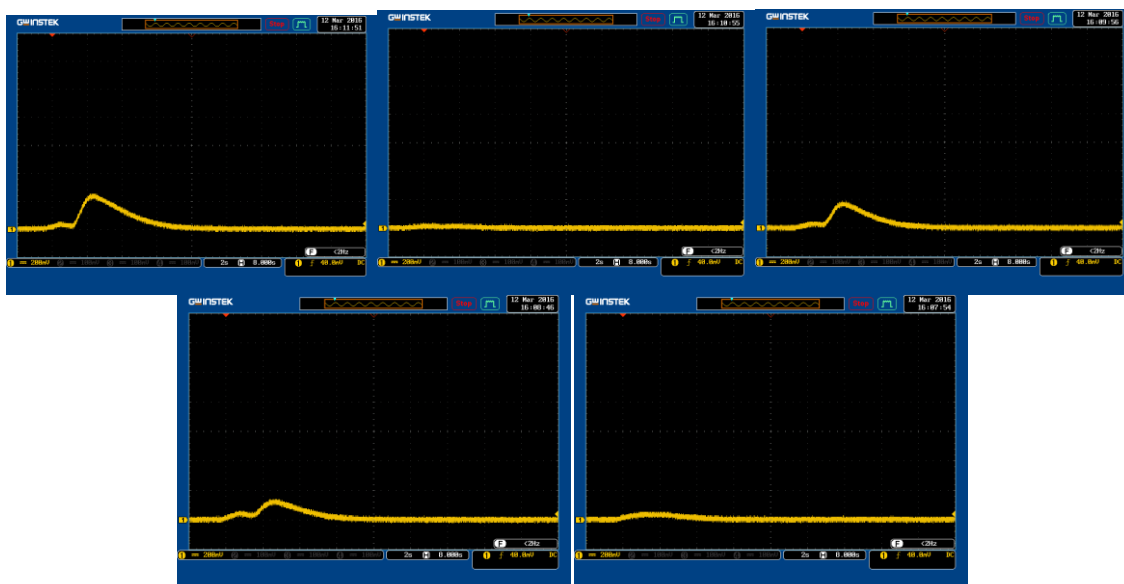


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกัณฑ์ลมแบบ (ซ) ที่ระดับความเร็วม 4.68 เมตรต่อวินาที

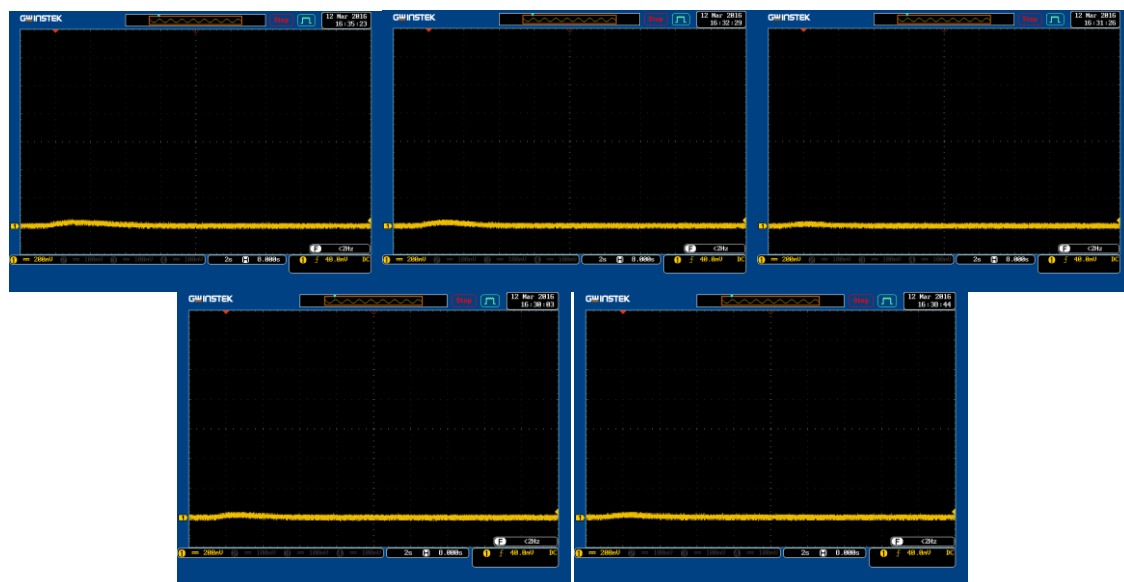


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกัณฑ์ลมแบบ (ส) ที่ระดับความเร็วม 6.41 เมตรต่อวินาที



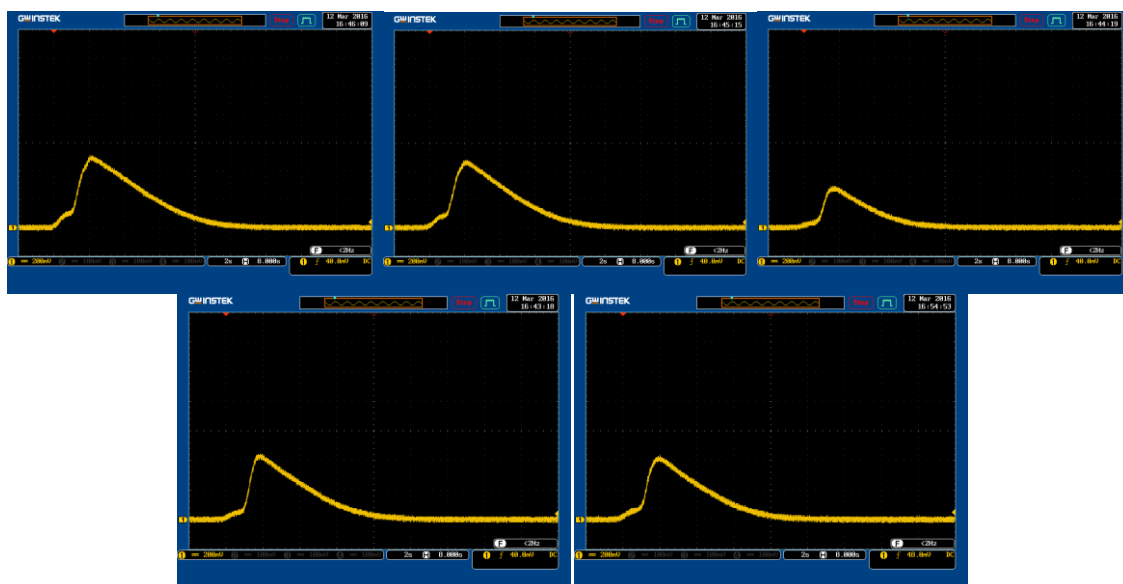


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ส) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

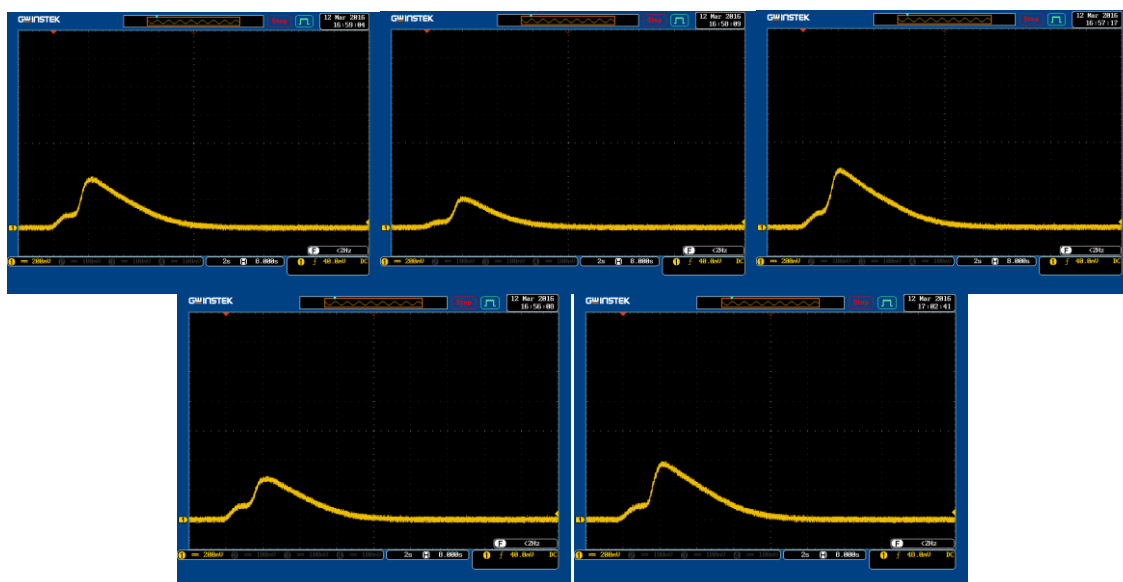


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ส) ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที

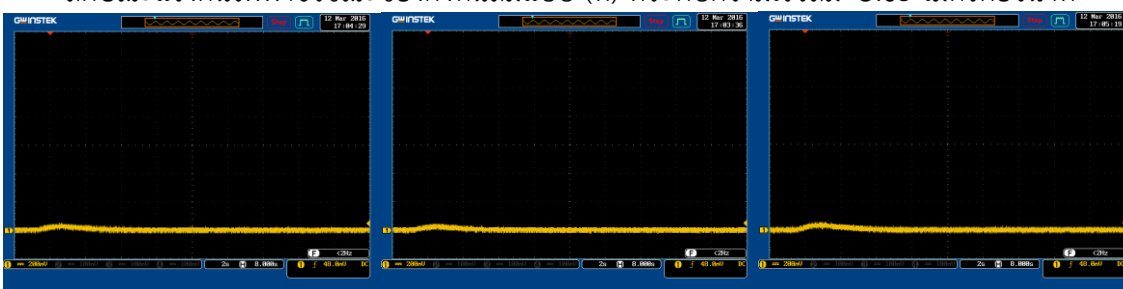




ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ห) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที

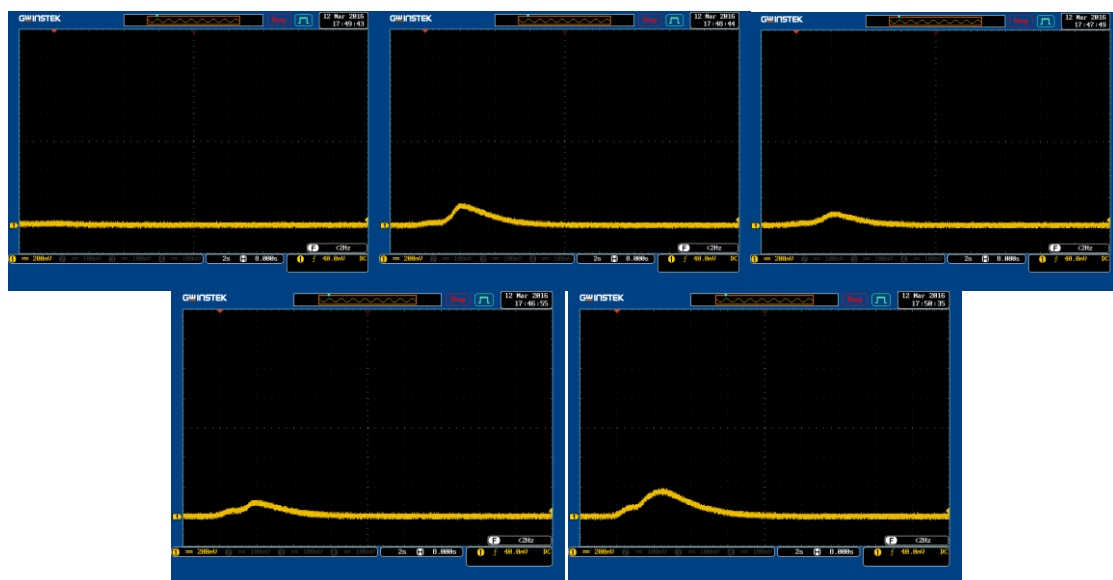


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ห) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที

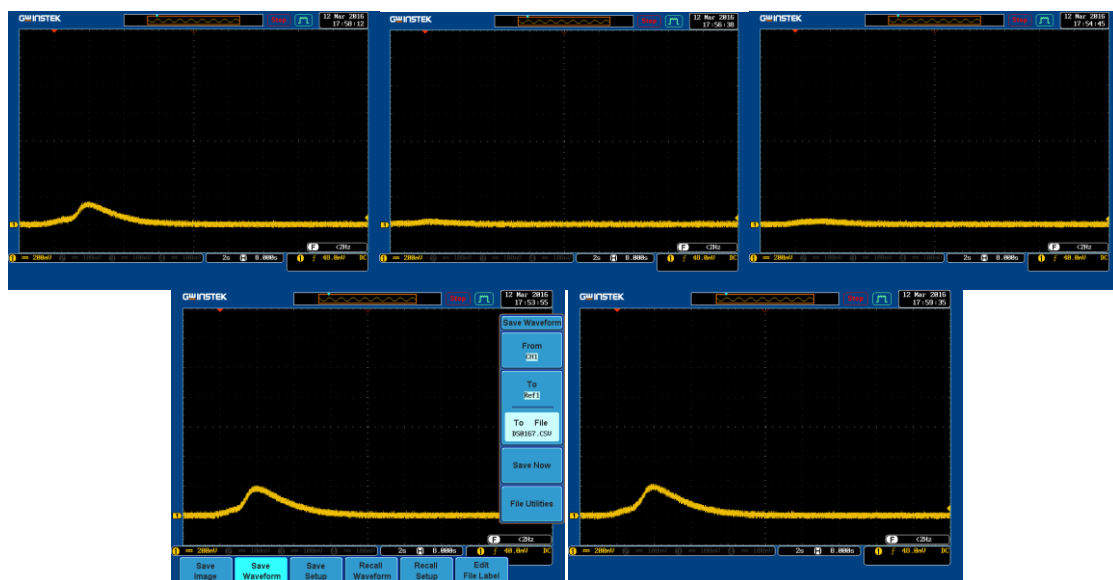


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ห) ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที



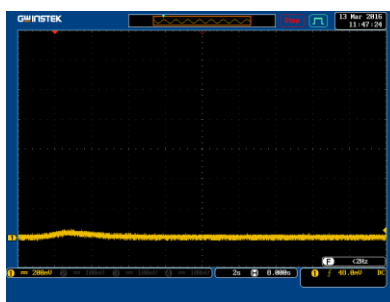


ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ม) ที่ระดับความเร็วลม 6.41 เมตรต่อวินาที



ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ม) ที่ระดับความเร็วลม 5.63 เมตรต่อวินาที





กังหันลมเริ่มหมุนได้ยากจากการทดสอบ 5 ครั้งกังหันลมสามารถเริ่มทำงานได้เพียงครั้งเดียว
ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมแบบ (ม) ที่ระดับความเร็วลม 4.68 เมตรต่อวินาที

ภาพประกอบภาคผนวก 1.3 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะของกังหันลมชาโวเนียสแบบ ก - ม
ที่ระดับ ความเร็วลม 4.68, 5.63, และ 6.41 เมตรต่อวินาที

11. ผลการทดลองผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ เมื่อมีการรับลม ชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม

ตารางภาคผนวก 3.5 ผลการทดลองผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากกังหันลมชาโวเนียส 12 แบบ
เมื่อมีการรับลมชั่วขณะที่จำลองขึ้นโดยใช้พัดลม

	R (ohm)	I (mA)					Mean (mA)	Power (mW)
ก (ช่องลมคู่รับลมสวนทาง)	0.5	10.43	8.59	9.6	8.98	8.78	9.276	43.02
	1	10.12	8.39	8.53	8.69	8.66	8.878	78.82
	2	7.84	6.95	8.72	8.6	8.74	8.17	133.50
	5	4.62	6.05	7.27	5.02	7.28	6.048	182.89
	10	6.15	3.92	3.59	4.24	5.62	4.704	221.28
ข (ช่องลมคู่รับลมฝั่งขวา)	0.5	5.18	6.22	5.41	5.96	5.14	5.582	15.58
	1	6.22	5.9	3.9	4.11	3.81	4.788	22.92
	2	4.05	2.3	2.52	4.2	4.84	3.582	25.66
	5	3.91	2.02	1.44	1.36	2.94	2.334	27.24
	10	3.38	3.05	2.06	1.21	1.64	2.268	51.44
ค (ช่องลมคู่รับลมฝั่งซ้าย)	0.5	2.32	2.58	2.87	2.55	3.18	2.7	3.65
	1	1.9	2.06	2.55	3.35	2.16	2.404	5.78
	2	1.63	2.26	3.01	2.55	1.85	2.26	10.22
	5	1.44	1.43	0.23	1.59	2.73	1.484	11.01
	10	0.98	0.77	1.65	1.66	1.21	1.254	15.73



ตารางภาคผนวก 3.5 (ต่อ)

	R (ohm)	I (mA)					Mean (mA)	Power (mW)
ง (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมสวนทาง)	0.5	5.9	5.23	4.89	4.15	3.91	4.816	11.60
	1	4.17	5.01	4.48	3.54	3.97	4.234	17.93
	2	2.53	3.44	2.84	3.3	2.9	3.002	18.02
	5	2.13	1.96	1.34	2.03	1.49	1.79	16.02
	10	1.01	1.47	1.22	2.2	2.32	1.644	27.03
จ (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งขวา)	0.5	5.82	4.48	3.68	5.24	5.13	4.87	11.86
	1	4.63	5.62	4.83	4.1	4.45	4.726	22.34
	2	2.71	3.07	3.51	2.29	2.63	2.842	16.15
	5	1.98	2.46	1.44	2.07	2.35	2.06	21.22
	10	1.43	2.05	1.93	2.01	1.85	1.854	34.37
น (ช่องลมเดี่ยวขวารับลมฝั่งซ้าย)	0.5	0.15	0.07	0.13	0.1	0.09	0.108	0.01
	1	0.01	0.04	0	0	0	0.01	0.00
	2	0	0	0	0	0	0	0.00
	5	0	0	0	0	0	0	0.00
	10	0	0	0	0	0	0	0.00
ฉ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมสวนทาง)	0.5	4.99	5.01	4.88	4.04	5.74	4.932	12.16
	1	4.44	4.33	5.52	3.43	4.24	4.392	19.29
	2	4.23	3.41	3.56	4.11	3.77	3.816	29.12
	5	2.52	3.51	3.98	2.66	3.12	3.158	49.86
	10	2.96	3.22	2.45	3.72	3	3.07	94.25
ช (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งขวา)	0.5	0.42	0.28	0.8	0.62	0.26	0.476	0.11
	1	0.42	0.58	0.51	0.5	0.2	0.442	0.20
	2	0.58	0.35	0.19	0.26	0.48	0.372	0.28
	5	0.33	0.25	0.29	0.14	0.29	0.26	0.34
	10	0.26	0.08	0.19	0.14	0.22	0.178	0.32
ซ (ช่องลมเดี่ยวซ้ายรับลมฝั่งซ้าย)	0.5	5.18	5.18	4.42	5.15	3.15	4.616	10.65
	1	2.51	4.05	3.22	3.8	3.99	3.514	12.35
	2	4	4.07	3.72	2.63	2.63	3.41	23.26
	5	2.36	2.39	2.46	2.47	1.98	2.332	27.19
	10	2.22	1.41	2.9	2.2	1.33	2.012	40.48
ส (ไม่มีช่องลมรับลมสวนทาง)	0.5	0.05	0.01	0	0.01	0	0.014	0.00
	1	0	0	0	0	0	0	0.00
	2	0	0	0	0	0	0	0.00
	5	0	0	0	0	0	0	0.00
	10	0	0	0	0	0	0	0.00



ตารางภาคผนวก 3.5 (ต่อ)

	R (ohm)	I (mA)					Mean (mA)	Power (mW)
		0.33	1.56	0.59	1.16	0.49		
ท (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งขวา)	0.5	0.33	1.56	0.59	1.16	0.49	0.826	0.34
	1	0.58	0.59	0.7	0.79	0.21	0.574	0.33
	2	0.71	0.48	0.33	0.15	0.44	0.422	0.36
	5	0.46	0.52	0.3	0.37	0.2	0.37	0.68
	10	0.48	0.47	0.28	0.3	0.2	0.346	1.20
ม (ไม่มีช่องลมรับลมฝั่งซ้าย)	0.5	0.17	0.02	0.1	0.1	0.38	0.154	0.01
	1	0.17	0.09	0.06	0.11	0.02	0.09	0.01
	2	0.13	0.07	0.04	0.05	0.09	0.076	0.01
	5	0.13	0.15	0.08	0.1	0.05	0.102	0.05
	10	0.14	0.08	0.02	0.13	0.15	0.104	0.11



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายฉัตรชัย พรหมดี
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2534
จังหวัด และประเทศเกิด	จังหวัดนครพนม ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2554	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคนครพนม
พ.ศ.2557	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ.2559	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน	พนักงาน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดบึงกาฬ บ้านเลขที่ 161 หมู่ 10 ตำบลบึงกาฬ อำเภอบึงกาฬ จังหวัดบึงกาฬ 38000
ที่อยู่ติดต่อได้	บ้านเลขที่ 48 ถนนสว่างนคร ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม 48000

