การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของใบพัดและระยะห่างของคอนเดนซิ่งยูนิตและใบพัดต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

STUDY OF HOW THE PROPELLER SIZE AND THE DISTANCE BETWEEN THE CONDENSING UNIT AND THE PROPELLERS AFFECT THE AIR CONDITIONER PERFORMANCE

นายนรพนธ์ เจริญธนโชติ
MR. NORAPON CHAROENTANACHOT
นายวีรวินย์ จันทร์ดี
MR. WEERAWIN JANDEE

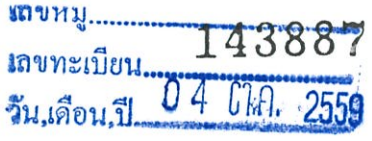
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

พิมพ์ขยายต้นฉบับย่อหลัง
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของใบพัดและระยะห่างของคอนเดนซิ่งยูนิตและใบพัดต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

STUDY OF HOW THE PROPELLER SIZE AND THE DISTANCE BETWEEN THE CONDENSING UNIT AND THE PROPELLERS AFFECT THE AIR CONDITIONER PERFORMANCE

นายนรพนธ์ เจริญธนโชติ
MR. NORAPON CHAROENTANACHOT
นายวีรวินย์ จันทร์ดี
MR. WEERAWIN JANDEE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

STUDY OF HOW THE PROPELLERS SIZE AND THE DISTANCE BETWEEN THE CONDENSING UNIT AND THE PROPELLERS AFFECT THE AIR CONDITIONER PERFORMANCE

MR. NORAPON CHAROENTANACHOT
MR. WEERAWIN JANDEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของใบพัดและระยะห่างของคอนเดนซิ่งยูนิตและใบพัดต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ STUDY OF HOW THE RELATIONSHIPS BETWEEN SIZE OF PROPELLERS AND DISTANCE BETWEEN THE CONDENSING UNIT AND PROPELLERS AFFECTING THE AIR CONDITIONER PERFORMANCE
นักศึกษา	นายนรพนธ์ เจริญธนโชติ รหัสประจำตัว 55010817 นายวีรวินย์ จันทร์ดี รหัสประจำตัว 55010818
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร.นิรันดร์ พิสุทธอานนท์)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของใบพัดและระยะห่างของคอนเดนซิ่งยูนิตและใบพัดต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
นักศึกษา	นายนรพนธ์ เจริญธนโชติ นายวีรวินย์ จันทร์ดี
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.นิรันดร์ พิสุทธอานนท์

บทคัดย่อ

โครงงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่บังลมโดยขนาดเท่ากับ 12 16 และ 20 นิ้ววางไว้หน้าคอนเดนซิ่งยูนิตของเครื่องปรับอากาศที่ระยะ 7 14 และ 21 เซนติเมตร โดยต้องการทราบขนาดของแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและระยะห่างของแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดจากคอนเดนซิ่งยูนิตที่น้อยที่สุดที่จะไม่กระทบต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ จากการศึกษาพบว่าที่ระยะตั้งแต่ 14 เซนติเมตรเป็นต้นไปจะไม่กระทบต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเมื่อทราบผลดังกล่าวแล้วจึงเริ่มต้นสร้างชุดกังหันลมมาติดตั้งให้ห่างจากหน้าคอนเดนซิ่งยูนิตที่ระยะ 7 เซนติเมตรและ 14 เซนติเมตรโดยขนาดของใบพัดเท่ากับ 12 16 และ 18 นิ้วโดยเน้นไปที่การนำพลังงานที่สูญเปล่าจากคอนเดนซิ่งยูนิตมาผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับการใช้งานต่อไป จากการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้หลัก ANOVA ทำให้เราได้ทราบว่า ระยะห่างระหว่างคอนเดนซิ่งยูนิตกับใบพัดส่งผลต่อพลังงานที่ผลิตได้มากกว่าขนาดของใบพัด ดังนั้นเราจึงเลือกระยะห่างระหว่างใบพัดกับคอนเดนซิ่งยูนิตเท่ากับ 7 เซนติเมตรและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเท่ากับ 18 นิ้ว ซึ่งจะได้ความต่างศักย์เท่ากับ 3.4 โวลต์ ซึ่งมีค่ามากที่สุดในการทดลองทั้งหมด

Thesis Title	Study How the Relationships between Size of Propellers and Distance between the Condensing Unit and Propellers Affecting the Air Conditioner Performance.
Student	Mr. Norapon Charoentanachot Mr. Weerawin Jandee
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2015
Thesis Advisor	Dr. Nirand Pisutha-arnond

ABSTRACT

This thesis aims to find the optimizing distance to place the propeller and the size of the propeller to recover the energy from the air-conditioner wasted heat. We studied the relationships between the diameter of prototype board and distance of a board to exhaust outlet. The diameter values are 12 inches, 16 inches and 20 inches and distances of a board to the outlet are 7 centimeters, 14 centimeters and 21 centimeters. From the experiment we found that the distance greater than 14 centimeters did not affect to the performance of the air conditioner and the difference in the board diameter have no effect to the air-conditioner performance. We collected the electric power by placing the propeller 7 and 14 centimeters in front of the outlet and diameter of propeller are 12 inches, 16 inches and 18 inches; the diameter of 21 centimeters was not used because the effect is similar to that from the other values. We measured the recovered electric power and compared the values to find the optimizing distance and diameter of propeller that produces the highest electric power and has the least impact to the efficiency. From the statistical analysis using ANOVA, we found that distance of a board to the outlet is more effect than size of propeller so we chose distance of a board to the outlet to be 7 centimeters and diameter of propeller to be 18 inches. We found that the highest voltage is 3.4 volt.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของใบพัดและระยะห่างของคอนเดนซิ่งยูนิตและใบพัดต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ดร.นิรันดร์ พิสุทธอานนท์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่คอยให้การดูแลเอาใจใส่ ให้คำปรึกษาและให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาการทำปริญญานิพนธ์

ดร.พลชัย โชติปรายนกุล ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนให้ยืมอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดระยะเวลาการทำการทดลอง

รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต ที่ให้คำปรึกษา ให้ความรู้ ให้ยืมใช้สถานที่ในการทำการทดลองจนการทดลองเสร็จสิ้น

รศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล ที่คอยกระตุ้นในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังช่วยให้คำแนะนำช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ

นางสาวรุ่งนภา อินทร์มีศรี นางสาวธันย์นิชา สินเกียรติวรกุล เจ้าหน้าที่ธุรการ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานหน่วยงาน และองค์กรต่างๆ

นายสิทธิชัย บุญกิจ นายกำธร สุขพิมาย ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดเวลาการทดลอง

อาจารย์พัชรา ภู่สันติสัมพันธ์ อาจารย์กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ที่คอยให้คำแนะนำการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และอาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนและให้ความช่วยเหลือต่างๆ อย่างดีมาโดยตลอดพร้อมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจเสมอมา จนทำให้ผู้จัดทำโครงงานทำได้สำเร็จมาจนถึงจุดนี้

นายนรพนธ์ เจริญธนโชติ
นายวีรวินย์ จันทร์ดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานลม 3

2.2.1 ชนิดของกังหันลม 3

2.1.2 กังหันลมกับการผลิตกระแสไฟฟ้า 4

2.1.3 กังหันลมกับการใช้งาน 5

2.1.4 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมขนาดใหญ่สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า 5

2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ 6

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การหาระยะห่างของระยะที่ติดตั้งแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและขนาดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่กระทบต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 7

3.2 การติดตั้งชุดใบพัดเพื่อหาค่าความต่างศักย์ที่ได้และวัดค่าความเร็วลมในแต่ละระยะที่มีการติดตั้งชุดใบพัด 10

สารบัญ

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ระยะห่างของระยะที่ติดตั้งแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและขนาดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่เหมาะสมที่สุด โดยไม่กระทบต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 13

4.2 ค่าจากการหาค่าความเร็วลมและค่าความต่างศักย์ที่ได้ในแต่ละระยะที่มีการติดตั้งชุดใบพัด 16

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง 17

5.2 ปัญหาและอุปสรรค 17

5.3 ข้อเสนอแนะ 18

เอกสารอ้างอิง 19

ภาคผนวกก ..... ผก 1

ภาคผนวกข ..... ผข 1

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 การออกแบบเพื่อหาระยะห่างและระยะที่ติดตั้งแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและขนาดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่กระทบต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ..... 9
ตารางที่ 3.2 การออกแบบค่าสำหรับติดตั้งชุดใบพัดเพื่อหาค่าความต่างศักย์ 11
ตารางที่ 4.1 ค่ากระแสฟ้าที่ได้จากการทดลอง และคิดค่า ภาระกำลังของไฟฟ้ารวมที่ระยะที่ติดตั้งแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและขนาดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดต่างๆ..... 13
ตารางที่ 4.2 ค่าความเร็วลมที่วัดได้จากคอนเดนซิ่งยูนิต 16
ตารางที่ 4.3 ค่าความต่างศักย์ที่ได้จากการทดลองสำหรับติดตั้งชุดใบพัดที่ระยะห่างและขนาดใบพัดต่างๆ 16

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 กังหันลมแบบแนวแกนนอน 3
รูปที่ 2.2 กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง 4
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้เวลา 10.00น. – 16.00น. 8
รูปที่ 3.2 Clam-on power meter วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยังถูกเครื่องปรับอากาศ 9
รูปที่ 3.3 ใช้ Thermo-Hygrometer วัดอุณหภูมิจากหน้ากากแอร์ 9
รูปที่ 3.4 การจัดวางฟิวเจอร์บอร์ดไว้หน้าคอนเดนซิ่งยูนิต 10
รูปที่ 3.5 มัลติมิเตอร์ 11
รูปที่ 3.6 โครงสำหรับใส่ใบพัด 11
รูปที่ 3.7 ใบพัดขนาด 12 นิ้ว 16 นิ้ว 18 นิ้ว 11
รูปที่ 3.8 มอเตอร์ 11
รูปที่ 3.9 สายพาน 11
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าภาระกำลังของไฟฟ้ารวมทั้ง 9 การทดลอง 15

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตของคนเมือง ซึ่งพลังงานไฟฟ้าร้อยละ 95 ผลิตจากพลังงานฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น โดยพลังงานดังกล่าวเมื่อเกิดการเผาไหม้จะเกิดก๊าซ คาร์บอนไดอกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนและพลังงานลมเป็นพลังงานที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย สามารถนำมาศึกษาต่อยอดได้ง่ายและเป็นพลังงานที่ไม่เสียเงินอีกด้วย

ผู้จัดทำโครงงานจึงมีแนวคิดว่า พลังงานลมที่ปล่อยออกมาจากคอนเดนซิ่งยูนิตนั้นมีมากมายหลายเครื่องมากและถ้าดูรวมๆแล้วก็เป็นพลังงานลมที่สูงพอสมควรจึงน่าจะใช้ประโยชน์จากจุดนี้เพื่อนำมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยหลักการคือ ใช้พลังงานลมซึ่งเป็นพลังงานจลน์ซึ่งสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้ โดยใช้ใบพัดลมเปลี่ยนพลังงานจลน์ที่ได้นั้นเป็นพลังงานกลแล้วนำมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งทางผู้จัดทำได้เตรียมทำการทดลองเพื่อศึกษาหาระยะห่างที่เหมาะสมในการวางใบพัดลมกับคอนเดนซิ่งยูนิตและขนาดของใบพัดลมที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศและนำไปใช้สำหรับทุกคอนเดนซิ่งยูนิตเพื่อที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมหาศาล

1.2 วัตถุประสงค์

1.) เพื่อศึกษาการทำงานคอนเดนซิ่งยูนิตสำหรับการวางใบพัดในแต่ละระยะและขนาดของใบพัด
2.) เพื่อศึกษาระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดในการวางใบพัดที่หน้าคอนเดนซิ่งยูนิตให้ได้ระยะที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศน้อยที่สุด
3.) เพื่อศึกษาขนาดของใบพัดที่เหมาะสมที่สุดที่วางตามระยะห่างต่างๆที่กำหนดไว้แล้วที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศน้อยที่สุด

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.) ศึกษาสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศว่าระยะห่างเท่าใดที่วางใบพัดลมแล้วไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยระยะห่างอยู่ในช่วง 7 เซนติเมตร,14 เซนติเมตร และ 21 เซนติเมตร
2.) ศึกษาเครื่องปรับอากาศขนาด 12,319 BTU

3.) ศึกษาการทดลองขณะที่เครื่องปรับอากาศทำความเย็นที่ 25 องศาเซลเซียส

4.) ศึกษาขนาดของใบพัดเมื่อวางไว้หน้าคอนเดนซิ่งยูนิตแล้วไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศโดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 12 นิ้ว,16 นิ้ว และ 20 นิ้ว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อที่จะนำพลังงานลมที่สูญเปล่าจากคอนเดนซิ่งยูนิตมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าหรือชาร์จแบตเตอรี่ได้ และเราจะสามารถหาระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการวางใบพัดที่จะเสียพลังงานน้อยที่สุดและได้รับพลังงานไฟฟ้าที่มากที่สุดเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ติดตั้งได้ในสำหรับทุกคอนเดนซิ่งยูนิต

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานลม

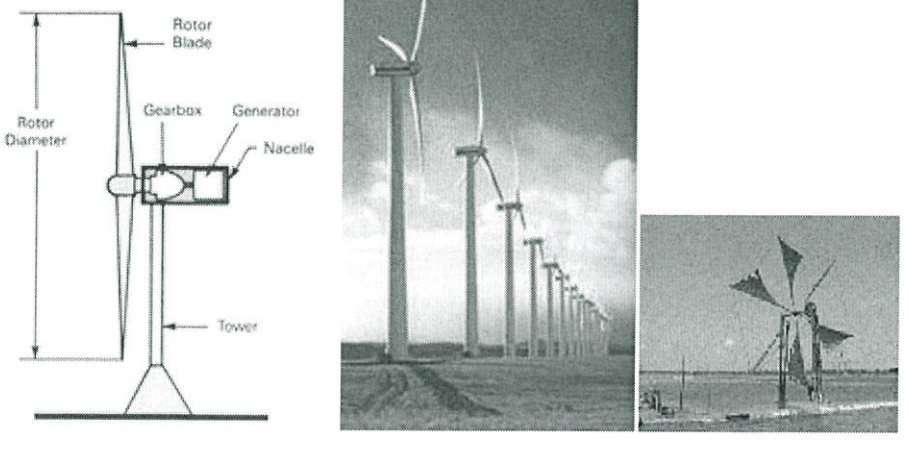
เป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ มนุษย์ได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานลมมานานหลายพันปี ในการอำนวยความสะดวกสบายแก่ชีวิต ในปัจจุบันมนุษย์ให้ความสำคัญและนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อ เป็นพลังงานที่สะอาด โดยกังหันลมเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้สกัดพลังงานจลน์ของกระแสลม และเปลี่ยนให้เป็นให้เป็นพลังงานกล จากนั้นจึงนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์ กล่าวคือ เมื่อกระแสลมพัดผ่านใบกังหัน จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานจลน์ไปสู่ใบกังหัน ทำให้กังหันหมุนรอบแกน สามารถนำพลังงานจากการหมุนนี้ไปใช้งานได้

2.1.1 ชนิดของกังหันลม

กังหันลมสามารถจำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหันจะได้ 2 แบบ คือ

2.1.1.1 <u>กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)</u>

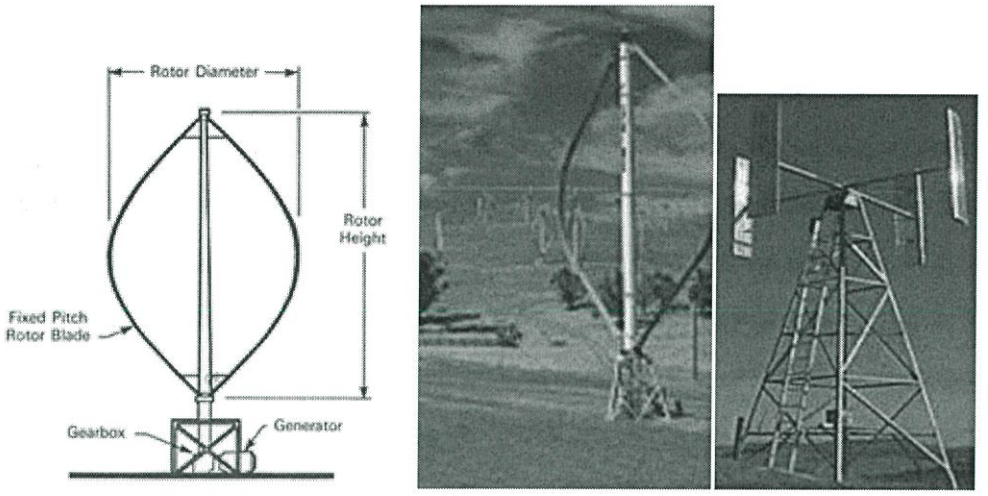
เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ



รูปที่ 2.1 กังหันลมแบบแนวแกนนอน
(Horizontal Axis Wind Turbine)

2.1.1.2 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง



รูปที่ 2.2 กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

กังหันลมแบบแนวแกนนอนถูกนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนมากออกแบบให้เป็นชนิดที่ขับใบกังหันด้วยแรงยก แต่กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง ซึ่งได้ถูกพัฒนามากในระยะหลังก็ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากข้อดีกว่าแบบแนวแกนนอนคือ ในแบบแนวแกนตั้งนั้นไม่ว่าลมจะเข้ามาทิศไหนก็ยังหมุนได้ โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมให้กังหันหันหน้าเข้าหาลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบการส่งกำลังวางไว้ใกล้พื้นดินมากกว่าแบบแกนนอน เวลาเกิดปัญหาแก้ไขง่ายกว่าแบบแกนนอนที่ติดอยู่บนหอคอยสูง

2.1.2 กังหันลมกับการผลิตกระแสไฟฟ้า

หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือเมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหันพลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุนและได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไปโดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

2.1.3 กังหันลมกับการใช้งาน

เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่แปรผันตามธรรมชาติและความต้องการพลังงานที่สม่ำเสมอ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว จะต้องมีตัวกักเก็บพลังงานและใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้เป็นแหล่งสำรอง หรือใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่นตัวกักเก็บพลังงานมีอยู่หลายชนิดส่วนมากขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้เช่น ถ้าเป็นกังหันเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมักนิยมใช้แบตเตอรี่เป็นตัวกักเก็บพลังงาน

2.1.3.1 <u>การใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เป็นตัวหมุน</u> ระบบนี้ปกติกังหันลมจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้ตลอดเวลาที่มีความเร็วลมเพียงพอ หากความเร็วลมต่ำหรือลมสงบ แหล่งพลังงานชนิดอื่นจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานทดแทน

2.1.3.2 <u>การใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น</u> อาจเป็นเครื่องจักรดีเซล หรือพลังงานน้ำจากเขื่อน ซึ่งระบบนี้ปกติจะมีแหล่งพลังงานชนิดอื่นจ่ายพลังงานอยู่ก่อนแล้ว กังหันลมจะช่วยจ่ายพลังงานเมื่อมีความเร็วลมเพียงพอ ซึ่งในขณะเดียวกันก็จะลดการจ่ายพลังงานจากแหล่งพลังงานอื่น เช่น ลดการใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์ดีเซล (http://www3.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm)

2.1.4 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมขนาดใหญ่สำหรับผลิตไฟฟ้า

ส่วนประกอบของกังหันลมทั่วไปมีส่วนประกอบดังนี้

2.1.2.1 <u>ตัวกำเนิดไฟฟ้า (Generator)</u> ตัวกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจลน์ที่ได้จากลมเป็นพลังงานไฟฟ้า ตัวกำเนิดไฟฟ้านี้สามารถสร้างขึ้นได้เองจากชุดแม่เหล็กถาวรและชุดขดลวดทองแดง แต่ถ้าจะทำกังหันลมแบบง่ายๆ ไม่ยุ่งยากก็ควรใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแม่เหล็กถาวรเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายประหยัดเวลา ราคาถูก และให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ อีกทั้งยังหาซื้อง่ายตามร้านมอเตอร์เก่า ร้านมือสอง หรือถ้าใช้ของใหม่ก็หาซื้อได้ตามร้านจำหน่ายมอเตอร์ทั่วไป

2.1.2.2 <u>ใบพัด (Blades)</u> ใบพัดสำหรับกังหันลมอาจจะทำขึ้นจากไม้ที่มีน้ำหนักเบานำมาเหลาให้มีลักษณะลู่ลมแต่สำหรับผู้ที่เริ่มทำใหม่ควรใช้ท่อพีวีซีมาทำเป็นใบพัดสำหรับทำกังหันลม

2.1.2.3 <u>ลำตัวกังหันลม (Mounting)</u> ลำตัวกังหันลมทำหน้าที่เป็นตัวยึดตัวกำเนิดไฟฟ้า และหางเสือเพื่อบังคับให้กังหันลมหันหน้าเข้าหาลม

2.1.2.4 เสา (Tower) เสาทำหน้าที่ยกกังหันลมขึ้นสูงในระดับที่มีลมพัดผ่าน ซึ่งความสูงขึ้นอยู่กับสถานที่และตำแหน่งที่จะติดตั้งกังหันลม

2.1.2.5 แบตเตอรี่และชุดควบคุม(Battery/Controller) ระบบอิเล็กทรอนิกส์ของกังหันลมประกอบด้วย ตัวกำเนิดไฟฟ้าหรือตัวผลิตไฟฟ้า แบตเตอรี่ เพื่อใช้เก็บกำลังไฟที่ผลิตจากกังหันลม ตัวไดโอดเพื่อกันไม่ให้กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลย้อนกลับไปยังตัวกำเนิดไฟฟ้า ตัวต้านทานสำรองเพื่อระบายกำลังไฟฟ้าจากกังหันลมทิ้งไปในกรณีที่แบตเตอรี่ถูกชาร์ตเต็มแล้ว และตัวควบคุมการชาร์ต
(นที ศรีทอง และคณะ)

2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทฤษฎีบทของ ANOVA คือการวิเคราะห์หาค่าแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากรโดยการวิเคราะห์ผ่านความแปรปรวน โดยการวิเคราะห์ ANOVA ได้จะต้องมีการกระจายข้อมูลแบบปกติซึ่งสามารถดูได้จากค่า R-Square และค่าความแปรผันของข้อมูลของแต่ละประชากรจะต้องไม่แตกต่างกันโดยมีการกำหนดตัวแปรตามซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถคำนวณได้และมีการตัวแปรต้นซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามเปลี่ยนไปในแบบต่างๆกัน สำหรับในการทดลองครั้งนี้การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้หลัก ANOVA โดยการใช้โปรแกรม Minitab ในการคำนวณหาเพียงค่า P-Value ออกมาเพื่อหาว่าระยะห่างหรือขนาดของใบพัดมีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศมากกว่ากัน โดยเรากำหนดความเชื่อมั่นที่ 95% โดยถ้าได้ค่าP-Value น้อยกว่า 0.05 จะมีผลต่อการทำงานของคอมเพรสเซอร์และถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งสองค่า ค่าที่น้อยกว่าจะส่งผลกับการทำงานเครื่องปรับอากาศมากกว่า และเราจะดูค่า R-square มาประกอบการตัดสินใจโดยค่า R-square คือค่าสถิติที่ใช้วัดว่าข้อมูลที่เรานำมาคิดเหมาะสมกับการนำไปใช้จริงมากน้อยอย่างไรโดยเป็นค่าความแปรผันของตัวแปรมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 % – 100 % โดยที่เปอร์เซ็นต์ที่สูงหมายถึงตัวแบบคณิตศาสตร์นี้ดีเหมาะสมกับชุดข้อมูล
(http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=3086&read=true&count=true)

บทที่ 3
การออกแบบและวิธีการดำเนินงาน

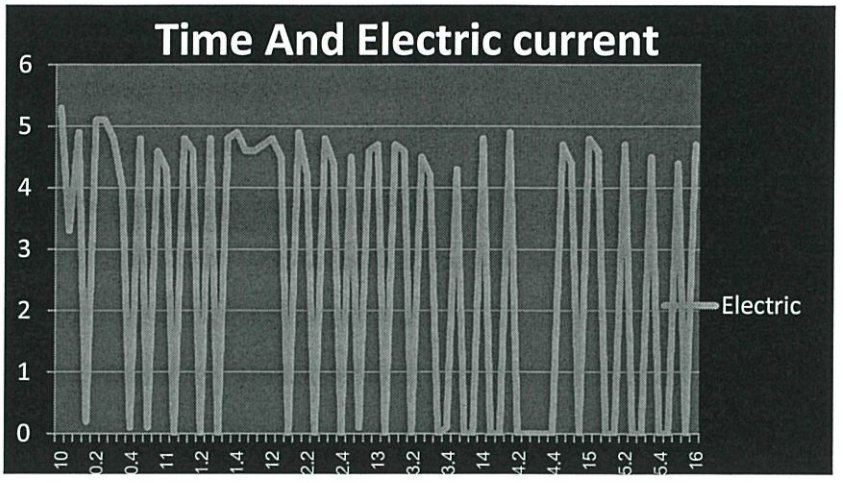
การทดลองการหาระยะห่างของระยะที่ติดตั้งแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและขนาดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่กระทบต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ การติดตั้งชุดใบพัดเพื่อหาค่าความต่างศักย์ที่ได้และวัดค่าความเร็วลมในแต่ละระยะที่มีการติดตั้งชุดใบพัด ใช้อุปกรณ์การทดลองดังต่อไปนี้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Clam-on Power Meter
2. Thermo-Hygrometer
3. Anemometer
4. แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง12, 16 และ 20 นิ้ว
5. ไม้บรรทัด หรือตลับเมตรวัดระยะ
6. โครงเหล็กสำหรับติดตั้งแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด
7. ใบพัด
8. โครงสำหรับใส่ใบพัด
9. สายพาน
10. มอเตอร์
11. มัลติมิเตอร์

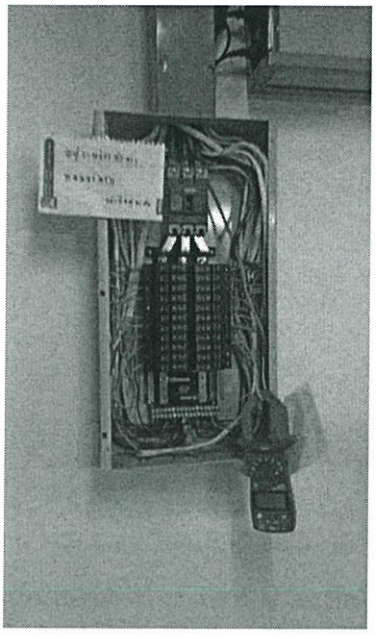
3.1 การหาระยะห่างของระยะที่ติดตั้งแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและขนาดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่กระทบต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

ในขั้นแรกของการทดลองเริ่มจากการหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองโดยใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าจากห้องที่ได้ควบคุมอุณหภูมิไว้ โดยทำการทดลองเป็นเวลา 6 ชั่วโมงโดยวัดค่ากระแสไฟฟ้าทุกๆ 5 นาทีและจากผลการทดลองได้พบว่าช่วงเวลา 11.00 – 12.00 น. เป็นช่วงที่มีอัตราการทำงานของเครื่องปรับอากาศมากที่สุด

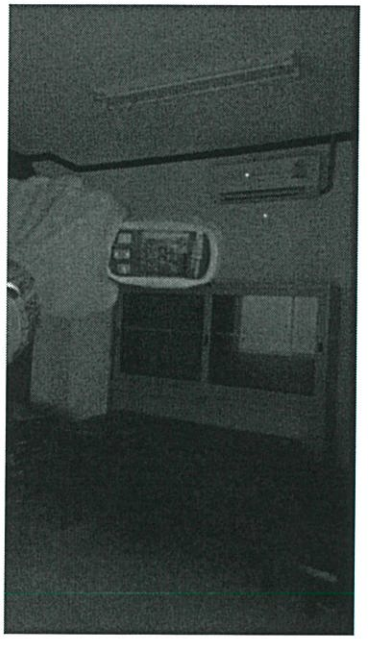


รูปที่ 3.1 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้เวลา 10.00 น. – 16.00 น.

จากรูปที่ 3.1 เป็นกราฟแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองคือช่วงเวลาประมาณ 11.00 – 12.00 น. จึงได้ทำการวางแผนการทดลอง โดยการเริ่มทำการทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากสายไฟที่จ่ายไปยังที่เครื่องปรับอากาศ โดยจะวัดค่ากระแสไฟฟ้าทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา1 ชั่วโมง ทั้งหมด 27 ครั้ง แบ่งเป็น 3 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดโดยระยะเท่ากับ 12, 16 และ 20 นิ้ว และ แบ่งระยะห่างของฟิวเจอร์บอร์ดที่ใช้บังคอนเดนซิ่งยูนิตแบ่งเป็น 3 ระยะเท่ากับ 7, 14 และ 21 เซนติเมตรและต้องวัดอุณหภูมิจากช่องส่งความเย็นทุกๆ 5 นาทีโดยก่อนทำการทดลองจะต้องเปิดเครื่องปรับอากาศไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสก่อนที่จะเริ่มทำการทดลองประมาณ 1 ชั่วโมงเพื่อให้เครื่องปรับอากาศได้ทำงานตามประสิทธิภาพทันทีตอนที่ทำการทดลอง โดยจะทำการทดลองเฉพาะเวลาดังกล่าวเท่านั้น เนื่องจากอัตราการทำงานของคอนเดนซิ่งยูนิตจะมีค่าที่แน่นอน รวมถึงสภาพอากาศภายนอกในแต่ละวันของช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันและจะหยุดพักการทดลองเมื่อเกิดฝนตกหรือความชื้นในอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าสูงหรือต่ำผิดปกติโดยจะทำการทดลองชุดละ 3 ครั้ง



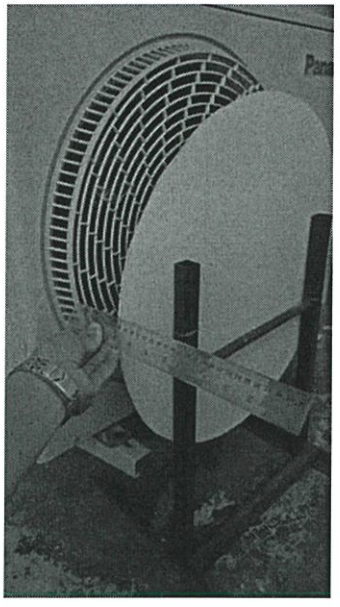
รูปที่ 3.2 ใช้ Clam-on power meter
วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยังถูกเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 3.3 ใช้ Thermo-Hygrometer
วัดอุณหภูมิจากหน้ากากแอร์

ตารางที่ 3.1 การออกแบบเพื่อหาระยะห่างและระยะที่ติดตั้งแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและขนาดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่กระทบต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

การทดลองชุดที่	เส้นผ่านศูนย์กลางแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด (นิ้ว)	ระยะห่างฟิวเจอร์บอร์ดที่ใช้บังคอนเดนซิ่งยูนิต (เซนติเมตร)	จำนวนการทดลอง (ครั้ง)
1	20	7	3
2	20	14	3
3	20	21	3
4	16	7	3
5	16	14	3
6	16	21	3
7	12	7	3
8	12	14	3
9	12	21	3



รูปที่ 3.4 วิธีการจัดวางฟิวเจอร์บอร์ดไว้หน้าคอนเดนซิ่งยูนิต

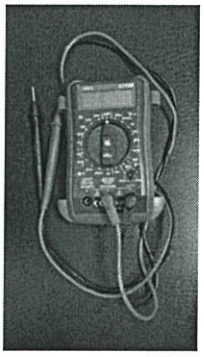
เมื่อทำการทดลองครบทั้ง 27 ครั้ง ซึ่งภาพการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ก เราจะนำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้มาคำนวณหาค่าภาระกำลังของไฟฟ้ารวมโดยวิธีการคิดคือ

$$P = I \times V$$

โดยที่ P คือภาระกำลังของไฟฟ้ารวม I คือค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย V คือค่าความต่างศักย์ = 220V จะได้ค่า ภาระกำลังไฟฟ้ารวมออกมา 9 ค่า จาก 3 ระยะห่างและ 3 ขนาดของแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด

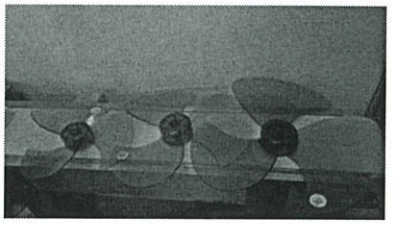
3.2 การติดตั้งชุดใบพัดเพื่อหาค่าความต่างศักย์ที่ได้และวัดค่าความเร็วลมในแต่ละระยะที่มีการติดตั้งชุดใบพัด

หลังจากการทดลองชุดแรกเสร็จสิ้นจะพบว่า ในระยะห่าง 14 และ 21 เซนติเมตร อัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นในการทดลองชุดต่อไปที่ได้ทำการทดลองกับใบพัดขนาดจริงนั้น เราจะทำการทดลองแค่ระยะ 7 และ 14 เซนติเมตรเท่านั้น ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดใบพัดคือ 12 16 และ 18 นิ้วและวัดปริมาณไฟที่ได้โดยใช้โวลต์มิเตอร์ โดยจะทำการทดลองโดยติดตั้งใบพัดไว้กับแกน และใช้การหมุนของใบพัดเพื่อไปหมุนมอเตอร์โดยใช้สายพานติดระหว่างแกนใบพัดกับมอเตอร์ โดยจะเปลี่ยนใบขนาดของใบพักและระยะห่างในทุกๆการทดลอง

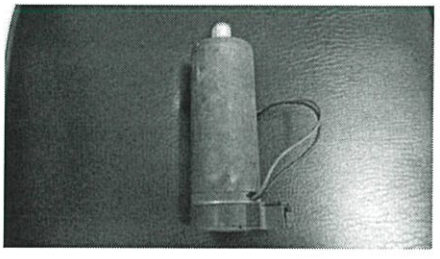


รูปที่ 3.5 มัลติมิเตอร์

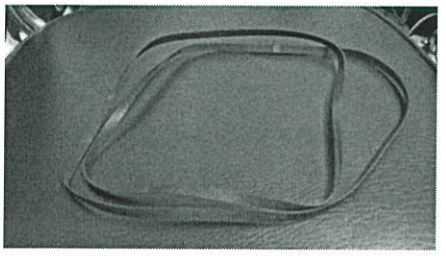
รูปที่ 3.6 โครงสำหรับใส่ใบพัด



รูปที่ 3.7 ใบพัดขนาด 12 นิ้ว16 นิ้ว 18 นิ้ว



รูปที่ 3.8 มอเตอร์



รูปที่ 3.9 สายพาน

ตารางที่ 3.2 การออกแบบค่าสำหรับติดตั้งชุดใบพัดเพื่อหาค่าความต่างศักย์

การทดลองชุดที่	ขนาดของใบพัดที่ทดลอง (นิ้ว)	ระยะห่างระหว่างใบพัดกับคอนเดนซิ่งยูนิต(เซนติเมตร)
10	18	7
11	18	14
12	16	7
13	16	14
14	12	7
15	12	14

จากการทดลองนี้ เราจะได้ค่าศักย์ไฟฟ้าออกมาเราจะใช้ ANOVA ในการตัดสินว่าระยะห่างหรือขนาดของใบพัดที่มีผลต่อความสามารถในการผลิตไฟฟ้าที่มากกว่ากันโดยใช้ความเชื่อมั่นที่ 95% และดูค่า P-value เพื่อหาว่าระยะห่างหรือขนาดของใบพัดใดที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้พลังงานน้อยและได้ศักย์ไฟฟ้ามากที่สุด เพราะการที่ได้รับศักย์ไฟฟ้ามากที่สุดก็ควรจะมีความสามารถในการผลิตผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดเช่นกัน

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่5
สรุปผลการดำเนินการ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้หลัก ANOVA โดยกำหนดความเชื่อมั่นไว้ที่ 95% เราได้ค่า P-Value ของระยะห่างเท่ากับ 0.001 และ P-Value ของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.01 โดยมีค่า R-Square = 97.73 % ซึ่งเข้าใกล้ 100 % มากหมายความว่าชุดข้อมูลนี้มีความน่าเชื่อถือค่อนข้างสูงมาก สามารถเชื่อถือได้และในส่วน P-Value ของระยะห่างมีค่าน้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง หมายถึงเส้นผ่านศูนย์มีผลกระทบต่อการทำงานน้อยกว่าระยะทางทำให้เราได้ทราบว่า ระยะห่างระหว่างคอนเดนซิ่งยูนิตกับใบพัดส่งผลต่อพลังงานที่ผลิตได้มากกว่าขนาดของใบพัด เพราะฉะนั้นเราจึงเลือกระยะห่างระหว่างใบพัดกับคอนเดนซิ่งยูนิตเท่ากับ 7 เซนติเมตรและที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเท่ากับ 18 นิ้ว ซึ่งจะได้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 3.4 โวลต์ซึ่งมีค่ามากที่สุด แต่ในกรณีนี้ไม่ได้มีการโหลดอะไรทั้งสิ้นและค่าที่ได้มีหน่วยเป็นโวลต์ดังนั้นค่าโวลต์ที่มากที่สุดก็ควรจะมีผลต่อการได้รับพลังงานที่มากที่สุดเช่นกัน

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 การทดลองหาระยะห่างจากคอมเพลสเซอร์แอร์และขนาดของแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่ไม่กระทบต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศซึ่งจะทำการทดลองที่ช่วงเวลา 11.00น. – 12.00น. เท่านั้นเนื่องจากไม่มีห้องปิด ดังนั้นถ้าได้ทำการทดลองก่อนหรือหลังช่วงเวลาดังกล่าวค่าของผลการทดลองอาจคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งจะต้องทดลองทั้งหมด27ครั้ง จึงต้องใช้เวลาทดลองทั้งสิ้น 27 วันในสภาพดินฟ้าอากาศที่ปกติเหมือนกับวันแรกที่เริ่มทำการทดลองเพื่อให้ได้ค่าออกมาตรงที่สุด

5.2.2 ปัจจัยสภาพดินฟ้าอากาศ ในระหว่างช่วงที่ทำการทดลองจะต้องดูสภาพอากาศ เพื่อให้ผลการทดลองเป็นไปอย่างถูกต้อง ซึ่งเมื่อฝนตกหรืออุณหภูมิแตกต่างจากวันแรกมากก็จะต้องหยุดทำการทดลอง และในบางครั้งเมื่อสภาพอากาศที่หนาวเย็นโดยอุณหภูมิภายนอกอาจน้อยกว่า 25 องศาและการทดลองจะต้องเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จึงผลให้เครื่องปรับอากาศไม่ทำงานหรือทำงานไม่ปกติ

5.2.3 เบรคเกอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศไม่ได้อยู่ในห้องการทดลองแต่อยู่ในตู้ไฟรวมชั้นสองของภาควิชา ซึ่งการทดลองแต่ละครั้งจะต้องเปิดตู้ไฟดังกล่าวเพื่อจะวัดกระแสไฟฟ้าที่

143887

เครื่องปรับอากาศใช้ไป และจะต้องเดินเข้าไปห้องทดลองเพื่อวัดอุณหภูมิที่ออกจากหน้ากากแอร์ ทุกๆ 5 นาที จึงทำให้อากาศภายในห้องเล็ดลอดออกมา ทำให้การทำงานของเครื่องปรับอากาศหนักขึ้นกว่าปกติ

5.2.4 ในห้องทดลองไม่มีหน้าต่างที่จะปีนออกไปติดตั้งค่าแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและการทำการทดลองต่างๆ ดังนั้นเมื่อจะทำการติดตั้งค่าแต่ละครั้งก็จะต้องขอเข้าไปห้องอาจารย์เพื่อปีนออกไปเซตค่า ทำให้เป็นการสูญเสียเวลาและโอกาสบางวันที่จะได้ทำการทดลอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการทดลองที่เป็นระบบปิดก็ควรจะมีห้องปิดเพื่อทำการทดลอง จะทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำได้มากกว่าและพื้นที่ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์ก็ควรจะหาที่ที่เหมาะสมง่ายต่อการจัดเก็บและติดตั้ง

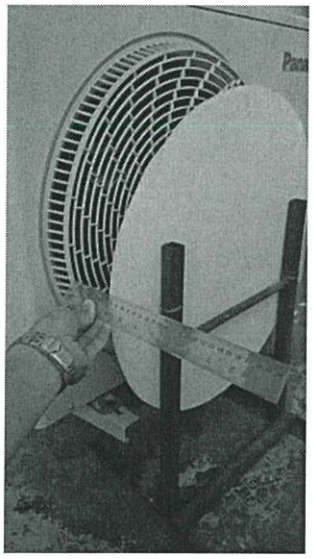
5.3.2 ในเรื่องของการทำในช่วงเวลา 11.00 น. – 12.00 น. นั้นอาจจะไม่ต้องทำตามเวลานี้ก็ได้ ถ้ามีเครื่องมือวัดอุณหุภูมิและเครื่องมือวัดความชื้นที่ได้มาตรฐานก็จะสามารถทำในช่วงเวลาอื่นได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

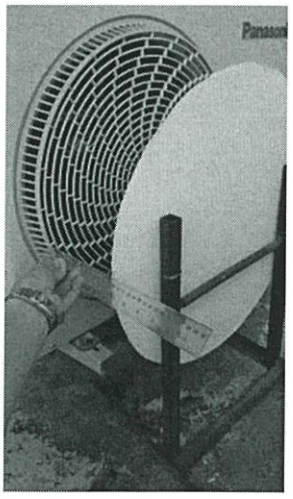
- นที ศรีทอง, คมสัน หุตะแพทย์, ณัฐภูมิ สุดแก้ว, 2554 กังหันลม กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าใช้เอง กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ
- นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์, 2554 สถิติวิศวกรรม กรุงเทพมหานคร : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน)
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 2554 “เทคโนโลยีกังหันลม” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www3.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm (2 ธันวาคม 2558)
- บริษัทโซลูชั่น เซ็นเตอร์จำกัด 2557 “การวิเคราะห์สมการถดถอย” [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=3086&read=true&count=true (2 ธันวาคม 2558)

ภาคผนวก ก

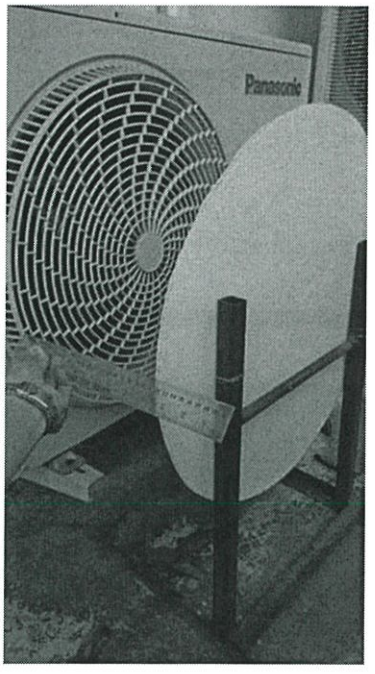
แสดงภาพการทดลองวางแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่หน้าคอนเดนซิ่งยูนิตที่ระยะต่างๆ



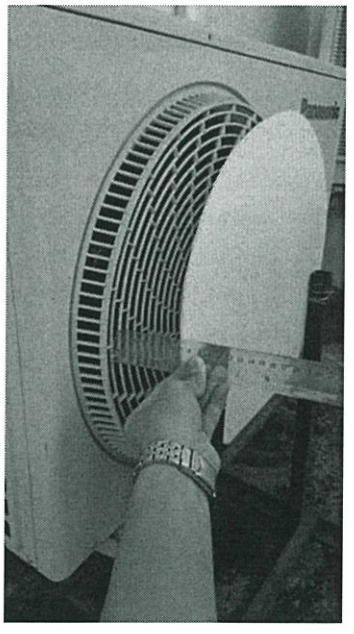
รูปที่ ผก 1 ฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 นิ้ว ระยะห่าง 7 เซนติเมตร



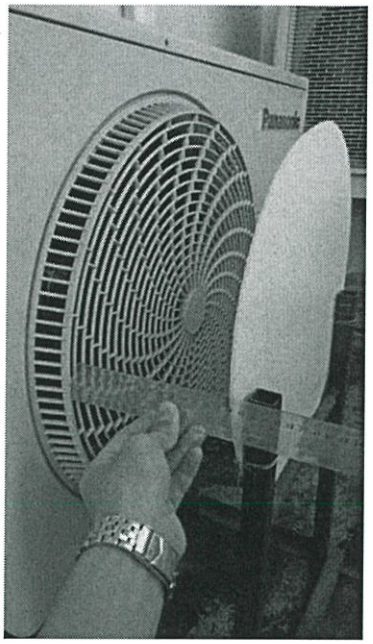
รูปที่ ผก 2 ฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 นิ้ว ระยะห่าง 14 เซนติเมตร



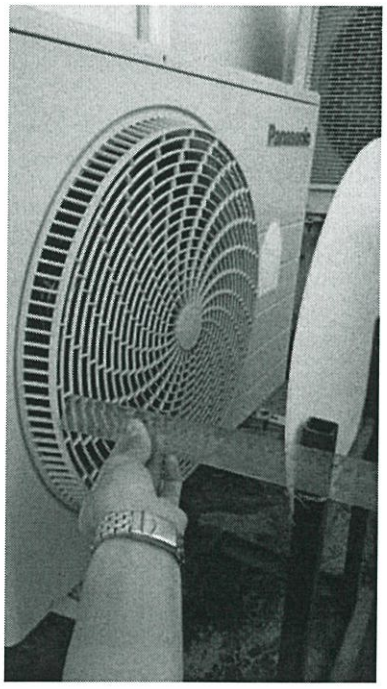
รูปที่ ผก 3 ฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 นิ้ว ระยะห่าง 21 เซนติเมตร



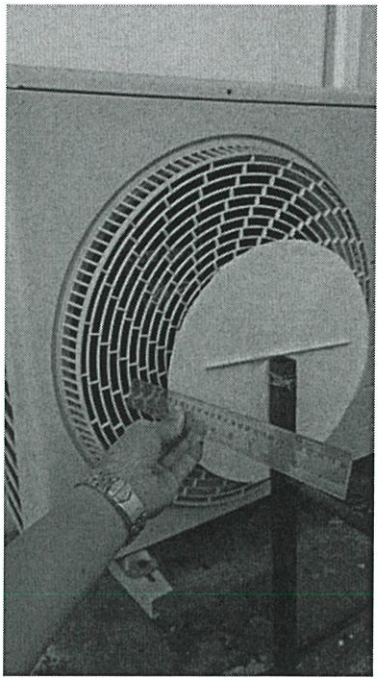
รูปที่ ผก 4 ฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว ระยะห่าง 7 เซนติเมตร



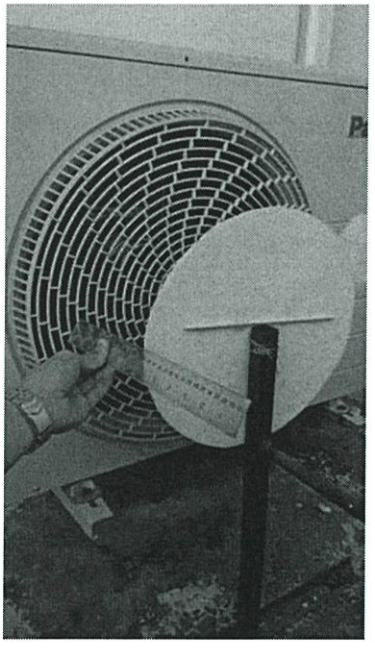
รูปที่ ผก 5 ฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว ระยะห่าง 14 เซนติเมตร



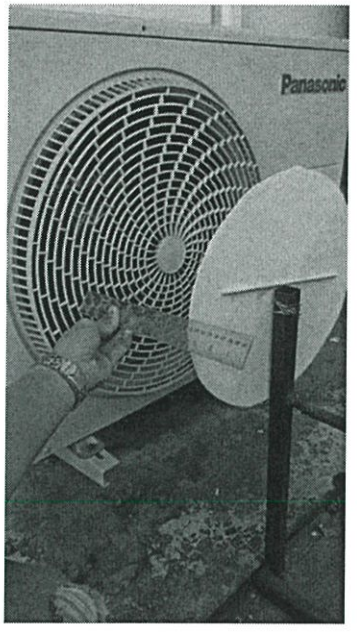
รูปที่ ผก 6 ฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว ระยะห่าง 21 เซนติเมตร



รูปที่ ผก 7 ฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ระยะห่าง 7เซนติเมตร



รูปที่ ผก 8 ฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ระยะห่าง 14 เซนติเมตร



รูปที่ ผก 9 ฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ระยะห่าง 21 เซนติเมตร

ภาคผนวก ข

แสดงผลการทดลองทั้ง 9 การทดลอง ที่ทำการทดลองละ 3 ครั้ง ซึ่งทดลองที่ขนาดฟิวเจอร์บอร์ด เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 16 12 นิ้ว ที่ระยะห่าง 7 14 21 เซนติเมตร จากคอนเดนซิ่งยูนิต

ตารางที่ ผข 1 ผลการทดลอง ขนาดฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 นิ้ว ที่ระยะห่าง 7 14 21 เซนติเมตร จากคอนเดนซิ่งยูนิต

d = 20 inches	distance = 7 cm			distance = 14 cm			distance = 21 cm		
เวลา	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0	0	0	0	0	4.8	4.4	4.2	0
2	5	0	5.3	0	0	4.8	4.5	4.8	0
3	5.1	5.2	4.8	0	0	0	4.6	4.6	0
4	5	4.9	4.8	0	4.8	0	4.8	4.5	0
5	4	4.8	4.8	0	4.8	0	0	4.6	4.3
6	0	4.9	0	4.7	4.6	0	0	4.6	4.4
7	0	4.9	0	4.5	4.5	0	0	0	4.4
8	0	0	0	4.6	0	4.9	0	0	4.5
9	0	0	0	4.7	0	4.9	0	0	4.4
10	0	0	0	0	0	4.7	0	0	4.5
11	5	0	5	0	0	4.8	4.4	0	0
12	4.9	0	4.9	0	0	0	4.3	0	0
13	5.1	4.9	4.8	0	0	0	4.5	0	0
14	5.2	4.8	5	0	4.7	0	4.4	4.3	0
15	0	5.1	5	0	4.8	0	4.4	4.4	0

16	0	0	0	4.8	4.6	4.7	0	4.7	0
17	0	0	0	4.6	4.7	4.6	0	4.8	0
18	0	0	0	4.5	0	4.7	0	4.7	0
19	0	0	0	4.5	0	4.7	0	4.7	4.9
20	5	0	0	0	0	0	0	0	4.9
21	5.1	4.8	4.9	0	0	0	0	0	4.8
22	4.9	4.8	4.8	0	0	0	4.4	0	4.5
23	4.8	5	4.9	0	4.8	0	4.3	0	4.6
24	0	5.1	4.8	0	4.8	0	4.5	0	4.5
25	0	0	4.8	0	4.7	4.8	4.6	0	0
26	0	0	0	4.6	4.8	4.9	4.5	0	0
27	0	0	0	4.4	0	4.8	4.8	4.3	0
28	0	0	0	4.8	0	4.8	0	4.4	0
29	4.8	0	0	4.6	0	0	0	4.5	0
30	4.7	5	0	0	0	0	0	4.5	0
31	4.8	4.8	5	0	0	0	0	4.5	0
32	5	5	5.2	0	4.8	0	0	4.4	4.7
33	0	5.4	4.8	0	4.7	0	0	0	4.6
34	0	0	4.8	0	4.6	0	0	0	4.5
35	0	0	0	4.8	4.8	5	4.7	0	4.6
36	0	0	0	4.6	0	4.9	4.4	0	4.4
37	0	0	0	4.5	0	4.7	4.6	0	4.6
38	4.9	0	0	4.7	0	4.7	4.6	0	0
39	4.8	4.8	0	0	0	0	4.5	0	0
40	5	4.9	0	0	0	0	4.5	4.7	0
41	5.1	5	4.9	0	4.7	0	0	4.6	0
42	0	5	4.9	0	4.7	0	0	4.5	0
43	0	0	5.3	0	4.8	0	0	4.5	0
44	0	0	5.2	0	4.8	4.8	0	4.3	0
45	0	0	5.1	4.8	0	4.9	0	4.4	4.6

46	0	0	0	4.8	0	4.8	0	0	4.7
47	4.9	0	0	4.5	0	4.7	0	0	4.7
48	5.1	5.1	0	4.7	0	0	4.5	0	4.6
49	5	4.7	0	0	0	0	4.6	0	4.5
50	5.1	4.8	0	0	0	0	4.4	0	4.6
51	0	5	5.2	0	4.9	0	4.5	0	0
52	0	0	5.1	0	4.9	0	4.4	0	0
53	0	0	5	0	4.8	4.8	4.6	4.4	0
54	0	0	5	4.9	4.9	4.6	0	4.3	0
55	0	0	5	4.9	0	4.7	0	4.4	0
56	4.9	0	0	4.5	0	4.7	0	4.4	0
57	5	4.8	0	4.8	0	4.7	0	4.5	0
58	4.8	5	0	0	0	0	0	4.6	4.7
59	5	5	0	0	0	0	0	0	4.5
60	5	4.8	0	0	4.9	0	0	0	4.4
Sum	143	138.3	139.1	111.8	118.9	128.9	121.7	135.1	123.4

ตารางที่ ผข 2 ผลการทดลอง ขนาดฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว ที่ระยะห่าง 7 14 21 เซนติเมตร จากคอนเดนซิ่งยูนิต

d = 16 inches	distance = 7 cm			distance = 14 cm			distance = 21 cm		
เวลา	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	4.8	0	0	0	0	4.6	4.2	0	4.3
2	4.5	0	0	0	0	4.5	4.3	0	4.4
3	4.7	4.6	0	0	0	4.5	4.5	0	4.4
4	4.7	4.7	4.7	0	4.6	0	4.6	0	4.3
5	4.8	4.8	4.7	4.8	4.7	0	4.8	4.3	0
6	4.8	4.9	4.7	4.7	4.8	0	0	4.4	0
7	0	4.9	4.9	4.6	4.9	0	0	4.6	0
8	0	0	4.7	4.6	4.8	0	0	4.5	0
9	0	0	4.8	4.5	0	0	0	4.7	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	4.6	0	0	0
12	0	0	0	0	0	4.5	0	0	4.8
13	5.1	0	0	0	0	4.4	4.5	0	4.7
14	5	0	0	0	0	4.4	4.8	0	4.6
15	4.9	4.7	0	0	0	4.5	4.8	0	4.7
16	4.8	5	0	0	4.6	0	4.9	0	4.6
17	4.8	4.9	4.7	4.7	4.8	0	4.9	4.7	0
18	4.8	5	4.7	4.6	4.8	0	0	4.6	0
19	0	4.7	4.9	4.6	4.7	0	0	4.7	0
20	0	0	4.9	4.6	4.6	0	0	4.7	0
21	0	0	4.8	4.5	0	0	0	4.6	0
22	0	0	4.7	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	4.8	0	0	0
24	0	0	0	0	0	4.7	0	0	4.8

25	0	0	0	0	0	4.6	4.9	0	4.8
26	4.7	4.7	0	0	0	4.5	4.8	0	4.6
27	4.8	4.8	0	0	0	4.4	4.7	0	4.6
28	4.7	4.7	0	0	4.6	0	0	0	4.5
29	4.7	5	0	4.7	4.6	0	0	4.5	0
30	4.6	4.9	0	4.6	4.7	0	0	4.4	0
31	4.8	4.8	4.6	4.6	4.8	0	0	4.4	0
32	0	0	4.7	4.5	0	0	0	4.5	0
33	0	0	4.5	4.6	0	0	0	4.6	0
34	0	0	4.7	0	0	0	0	0	0
35	0	0	4.7	0	0	4.8	4.6	0	0
36	0	0	0	0	0	4.5	4.7	0	4.9
37	0	0	0	0	0	4.5	4.5	0	4.8
38	0	4.6	0	0	4.5	4.5	4.5	0	4.8
39	4.6	4.7	0	0	4.6	4.6	4.7	0	4.6
40	4.7	4.6	0	0	4.8	0	0	0	4.5
41	4.8	5	0	4.8	4.7	0	0	4.8	0
42	4.9	4.9	0	4.6	4.6	0	0	4.7	0
43	4.9	0	4.5	4.5	0	0	0	4.6	0
44	0	0	4.7	4.4	0	0	0	4.6	0
45	0	0	4.8	4.4	0	0	0	4.5	0
46	0	0	4.9	0	0	0	0	0	0
47	0	0	4.9	0	0	4.8	4.6	0	0
48	0	0	4.8	0	0	4.7	4.6	0	4.7
49	0	0	0	0	0	4.6	4.6	0	4.7
50	0	4.9	0	0	4.6	4.6	4.7	0	4.6
51	4.6	4.9	0	0	4.7	4.6	4.3	0	4.7
52	4.7	4.7	0	0	4.6	0	0	0	4.6
53	4.7	4.9	0	4.9	4.5	0	0	4.5	0

54	4.7	5	0	4.8	4.8	0	0	4.6	0
55	4.6	5	0	4.8	0	0	0	4.5	0
56	0	0	4.7	4.5	0	0	0	4.4	0
57	0	0	5	4.6	0	0	0	4.4	0
58	0	0	4.9	0	0	0	0	0	0
59	0	0	5	0	0	4.7	4.5	0	0
60	0	0	4.7	0	0	4.7	4.6	0	4.8
Sum	133.2	130.3	133.3	115.5	112.4	114.6	115.6	113.8	115.8

ตารางที่ ผข 3 ผลการทดลอง ขนาดฟิวเจอร์บอร์ดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ที่ระยะห่าง 7 14 21 เซนติเมตร จากคอนเดนซิ่งยูนิต

d = 12 inches	distance = 7 cm			distance = 14 cm			distance = 21 cm		
เวลา	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	4.7	0	0	4.4	4.8	0	4.6	4.5	0
2	4.7	0	0	4.4	4.7	0	4.6	4.5	0
3	4.6	0	0	4.5	4.7	0	4.5	4.4	0
4	4.5	0	4.9	4.6	4.8	0	0	4.5	0
5	4.4	0	4.9	0	4.6	0	0	0	0
6	4.3	4.8	4.7	0	0	4.7	0	0	0
7	0	4.7	4.6	0	0	4.6	0	0	4.8
8	0	4.7	4.6	0	0	4.5	0	0	4.7
9	0	4.7	4.5	0	0	4.5	0	0	4.8
10	0	4.6	0	0	0	4.5	0	0	4.6
11	0	4.5	0	4.8	0	0	4.5	0	4.6
12	0	0	0	4.7	0	0	4.5	4.7	0
13	4.8	0	0	4.7	0	0	4.4	4.5	0
14	4.8	0	0	4.7	4.9	0	4.4	4.5	0
15	4.7	0	0	4.8	4.7	0	4.3	4.6	0
16	4.6	0	4.8	4.7	4.6	0	0	4.5	0
17	4.5	4.9	4.7	0	4.5	0	0	0	0
18	4.4	4.8	4.8	0	4.5	4.7	0	0	0
19	0	4.7	4.5	0	0	4.6	0	0	4.6
20	0	4.7	4.4	0	0	4.6	0	0	4.6
21	0	4.5	4.5	0	0	4.5	0	0	4.5
22	0	4.5	0	0	0	4.4	0	0	4.6
23	0	0	0	0	0	0	4.5	0	4.5
24	0	0	0	0	0	0	4.5	4.7	0

25	4.6	0	0	4.8	0	0	4.6	4.7	0
26	4.5	0	0	4.7	4.7	0	4.6	4.6	0
27	4.5	0	0	4.6	4.6	0	4.5	4.5	0
28	4.5	4.7	4.7	4.6	4.5	0	0	4.6	0
29	4.5	4.6	4.7	4.5	4.4	0	0	0	0
30	4.5	4.6	4.7	0	4.4	4.6	0	0	0
31	0	4.5	4.6	0	0	4.6	0	0	4.7
32	0	4.5	4.7	0	0	4.6	0	0	4.6
33	0	4.5	4.6	0	0	4.5	0	0	4.5
34	0	0	0	0	0	4.5	0	0	4.4
35	0	0	0	0	0	0	4.5	0	4.4
36	0	0	0	0	0	0	4.5	4.5	0
37	4.8	0	0	4.7	0	0	4.6	4.5	0
38	4.7	0	0	4.7	4.6	0	4.6	4.4	0
39	4.6	4.6	0	4.6	4.6	0	4.4	4.4	0
40	4.6	4.6	4.8	4.7	4.5	0	0	4.4	0
41	4.4	4.6	4.7	4.5	4.4	0	0	0	0
42	0	4.5	4.7	0	4.5	4.7	0	0	0
43	0	4.3	4.6	0	0	4.6	0	0	4.6
44	0	0	4.5	0	0	4.6	0	0	4.6
45	0	0	0	0	0	4.6	0	0	4.7
46	0	0	0	0	0	4.5	0	0	4.7
47	0	0	0	0	0	0	4.7	0	4.8
48	0	0	0	0	0	0	4.6	4.5	0
49	4.8	0	0	4.8	0	0	4.6	4.6	0
50	4.8	4.6	0	4.6	4.8	0	4.5	4.6	0

51	4.8	4.6	4.8	4.6	4.8	0	4.5	4.5	0
52	4.6	4.5	4.7	4.7	4.7	0	0	4.4	0
53	4.6	4.4	4.6	4.5	4.7	0	0	0	0
54	4.5	4.4	4.4	0	4.5	4.5	0	0	0
55	0	0	4.4	0	0	4.5	0	0	0
56	0	0	0	0	0	4.5	0	0	4.8
57	0	0	0	0	0	4.6	0	0	4.8
58	0	0	0	0	0	4.6	0	0	4.7
59	0	0	0	0	0	0	4.6	0	4.7
60	0	0	0	0	0	0	4.5	4.7	4.6
Sum	133.3	129	130.1	115.9	115.5	114.1	113.1	113.3	115.9