

## บทที่ 4

### เครื่องมือและผลการทดลอง

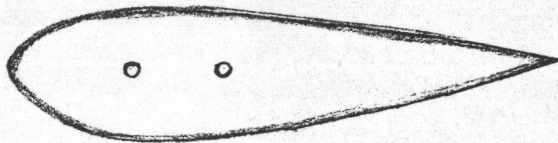
ในการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมไฮโดร ต้องสร้างอุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อต้องการทดสอบและหาข้อมูลมาวิเคราะห์ ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นรวมทั้งผลการทดลองที่ได้

#### 4.1 ส่วนประกอบของกังหันลม

ระบบของกังหันลมได้ยึดแบบเค้าโครงเดิมที่ คุณ สมยศ ชิดมงคล (สมยศ ชิดมงคล , 2530) ได้สร้างไว้ เช่น โครงยึดกังหัน ฐานรองรับกังหัน ส่วนยึดใบกังหันกับแกนโรตัมมี แกนแนวโรตัมมี และองค์ประกอบบางอย่าง ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะเป็นส่วนที่ผู้ทดลองได้สร้างขึ้นและดัดแปลงเท่านั้น

##### 1. ใบพัด (Blade)

ตัวใบของกังหันได้จำลองแบบมาจาก PROFILE - NACA - 0012 (Francis and Michale, 1807) ซึ่งมีภาคตัดขวางของใบพัดคล้ายปีกหมุนของเฮลิคอปเตอร์ ลักษณะจะเป็นดังรูป

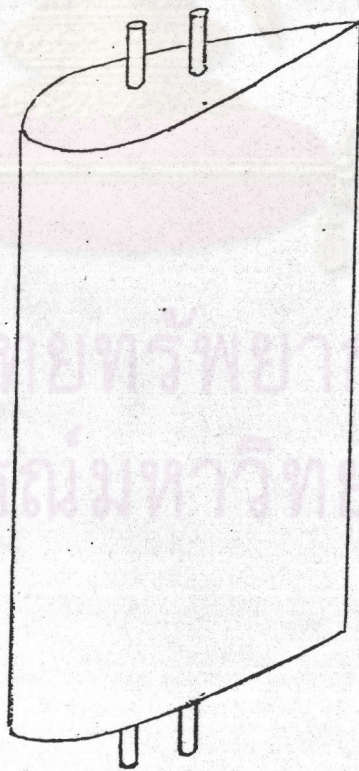


รูปที่ 4.1 แสดงภาคตัดขวางของใบพัด

โครงสร้างภายในประกอบด้วย

1. แกนกลางของตัวใบ ใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 125 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อน
2. แผ่นไม้อัด ทำให้มีภาคตัดขวางคล้ายปีกเฮลิคอปเตอร์ 1 ใบพัดใช้ 9 แผ่น แต่ละแผ่นหนา 4 มิลลิเมตร วัดตามแนวคอร์ดยาว 67.5 เซนติเมตร
3. แผ่นอลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร หน้ากว้าง 1 นิ้ว ยาวประมาณ 120 เซนติเมตร ใช้ชนากับแผ่นไม้อัด ด้านละ 2 แผ่น โดยใช้ตะปูเข็มยึด

โครงสร้างภายนอกใช้แผ่นอลูมิเนียมบางหุ้มโครงใบพัด เพื่อต้องการให้ใบพัดมีน้ำหนักเบา แล้วใช้รีเวจต์ยิงจะทำให้แน่นและเรียบในการทดลองนี้ ได้สร้างใบพัดจำนวน 3 ใบ ตัวใบพัดยาว 120 เซนติเมตร

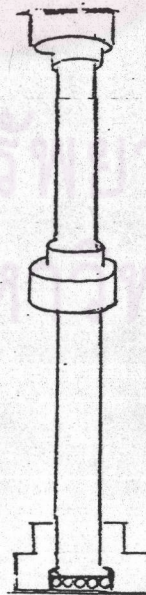


รูปที่ 4.2 แสดงรูปร่างของตัวใบพัด

## 2. เส้าแกนกลาง (Staff)

เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลางของระบบกังหัน ทำหน้าที่ในการหมุนและถ่ายทอดกำลังเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าโดยเส้าแกนกลางทางด้านล่างจะประกอบเข้ากับวงล้อในขณะที่เส้าแกนกลางหมุน วงล้อจะหมุนตาม เส้าแกนกลางที่ใช้เป็นเหล็กท่อนเดี่ยวภายในกลวง มีความยาว 2.6 เมตร หนา 3 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 3.1 เซนติเมตร

ส่วนบนของเส้าแกนกลาง ยึดติดกับโครงของกังหัน โดยใช้ลูกปืนรับน้ำหนักในแนวนอน 1 ตลับ รองรับ เพื่อทำให้เส้าแกนกลางหมุนคล่อง และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่าย ทางตอนกลางจึงใช้ลูกปืนแบบรับน้ำหนักในแนวตั้งอีก 1 ตลับ ซึ่งจะช่วยให้แกนของกังหันหมุนได้คล่องขึ้น สำหรับทางตอนล่างของเส้าแกนกลางนั้นยึดติดกับวงล้อ และได้สร้างแกนสวมผ่านล้อและเส้าแกนกลางแล้วยึดด้วยน็อต ส่วนแกนที่ยื่นออกมาทางด้านล่างถือว่าจุดนี้เป็นจุดที่น้ำหนักของระบบกังหันตก จึงใช้ลูกปืนรับน้ำหนักในแนวตั้งใส่รับไว้ กังหันจะหมุนได้คล่องขึ้นถ้ามีลมมาเล็กน้อย ดังรูป

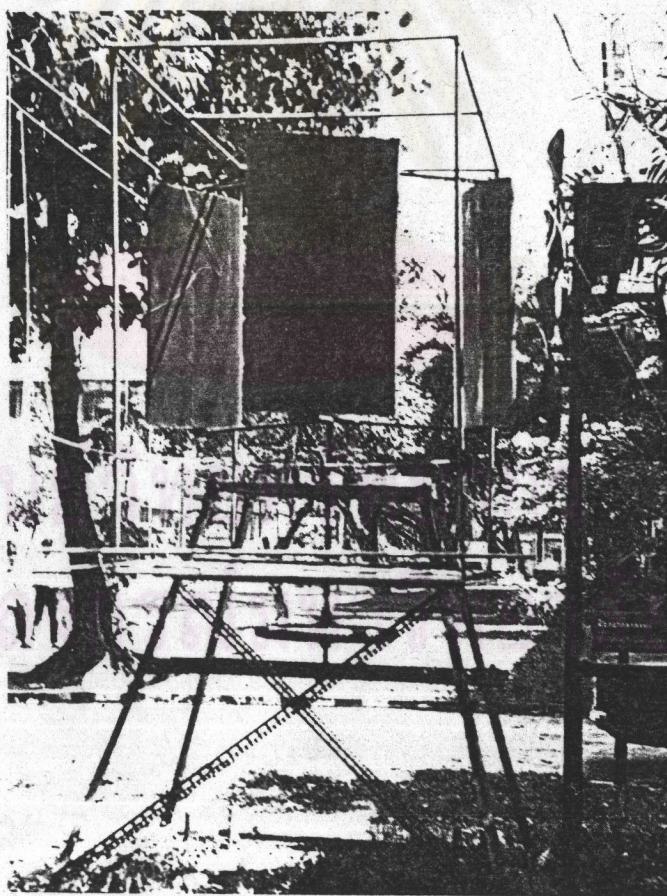


รูปที่ 4.3 แสดงเส้าแกนกลางของกังหันลม

#### 4.2 แผงพัดลมและการติดตั้งพัดลม

ในการทดลองนี้ได้สร้างโครงสำหรับติดตั้งพัดลมสูง 3 เมตร กว้าง 3 เมตร โครงสร้างดังกล่าวประกอบด้วยเหล็กฉากหน้ากว้าง 2 นิ้วหนา 1 หุน การวางพัดลมวางไว้ 2 แถว ๆ 4 ตัว ฐานของมอเตอร์พัดลมแต่ละตัวในแถวเดียวกันวางห่างกันประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งจะใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานลมแทนลมธรรมชาติ

ตัวกังหันและส่วนประกอบของกังหันลมใจโร รวมทั้งแหล่งกำเนิดลมเมื่อสร้างและติดตั้งเรียบร้อยแล้วจะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 4.4 แสดงการติดตั้งระบบกังหันลมใจโร

#### 4.3 การวัดความเร็วลม

การทดลองนี้เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลม ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ท่อพิตอท(Pitot-statictube) และมานอมิเตอร์แบบเอียง (Inclined manometer) ซึ่งประกอบเข้าด้วยกัน การวัดต้องหันท่อพิตอทเข้าสู่ทางเดินของลม พร้อมกับต่อท่อทั้งสองของท่อพิตอทเข้ากับมานอมิเตอร์แบบเอียง เมื่อลมพัดระดับน้ำมันในมานอมิเตอร์จะเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับขณะหยุดนิ่งจากการวัดความแตกต่างของความดันในมานอมิเตอร์สามารถคำนวณความเร็วลมได้ตามความสัมพันธ์

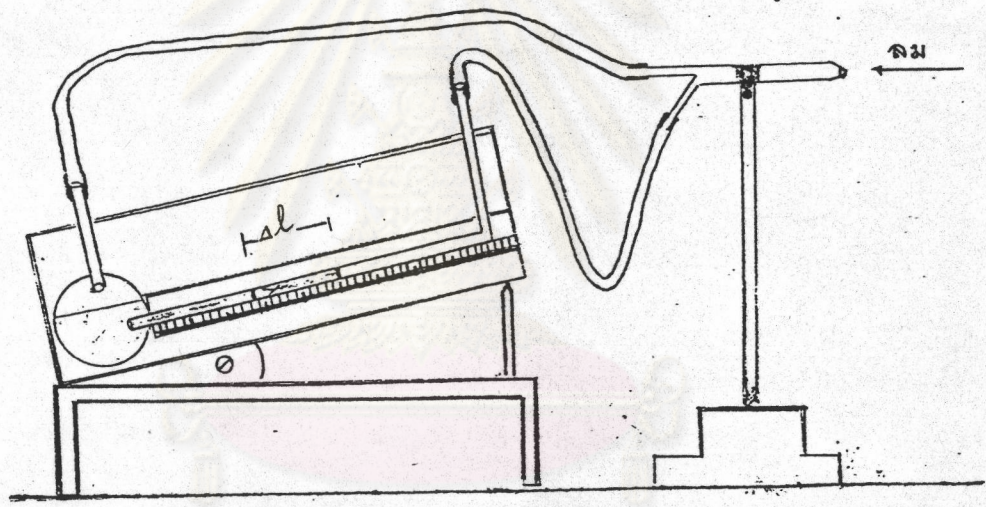
$$V^2 = 2 \Delta l (\rho_o / \rho_u) g \sin \theta \quad (4.1)$$

โดยที่

$V$  คือ ความเร็วลม

$\rho_o$  คือความหนาแน่นของของเหลวในมานอมิเตอร์ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้น้ำมันก๊าด ซึ่งมีค่า 0.8 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร

$\rho_u$  คือความหนาแน่นของอากาศมีค่า 0.00117 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.5 แสดงท่อปิด - สแตติกและมานอมิเตอร์แบบเอียง

เนื่องจากความเร็วลมในบริเวณที่ต้องการวัดมีการกระจาย  
 ดังนั้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ มีค่าไม่เท่ากันในการทดลองได้วัดความเร็วลมที่แต่ละจุด  
 เป็นแบบตะแกรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 140 เซ็นติเมตร ยาว 200 เซ็นติเมตร  
 แต่ละจุดจะห่างกัน 20 เซ็นติเมตร มีทั้งหมด 88 จุด ความเร็วเฉลี่ยที่ได้  
 ทำโดยการนำความเร็วทุก ๆ จุดมารวมกันแล้วหารด้วย 88 การวัดความเร็ว  
 ดังกล่าววัดห่างจากแผงพัดลมประมาณ 20 เซ็นติเมตร

ผลการทดลองวัดการกระจายความเร็วลมที่จุดต่าง ๆ  
 และหาค่าความเร็วเฉลี่ย เป็นดังนี้

ที่ความเร็วเฉลี่ย 6.3 เมตร/วินาที

0	2.8	2.3	1.6	2.8	1.6	1.6	0	1.6	2.8	2.8
2.8	13.9	11.9	2.8	3.7	2.8	2.8	2.8	10.7	9.4	1.6
2.8	7.9	3.7	15.2	4.4	5.5	18.5	11.7	12.0	8.2	4.4
7.5	11.3	11.0	4.4	4.4	5.5	4.9	3.7	13.5	7.5	3.7
5.9	14.8	11.3	2.8	1.6	6.4	15.3	1.6	16.7	15.7	4.0
6.8	16.2	6.6	16.4	14.0	2.8	5.9	14.0	17.6	9.7	2.3
0	19.1	14.0	3.7	2.8	2.8	3.7	3.7	4.9	11.7	2.8
0	1.6	2.8	2.8	1.6	1.6	1.6	0	5.5	2.8	0

ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 6.0 เมตร/วินาที

0	0	1.6	1.6	0	2.3	2.3	1.6	1.6	0	0
1.6	10.7	12.2	1.6	0	3.7	2.3	2.3	7.4	18	0
4.4	11.0	3.7	5.2	2.3	4.0	2.3	2.3	20.8	9	14.2
6.4	12.2	11.6	2.8	3.3	2.8	2.3	3.7	11.0	15.2	3.3
3.7	15.6	9.0	12.2	4.4	0	12.2	2.3	11.6	18.0	1.6
3.7	12.7	15.6	15.6	12.9	2.3	16.0	17.2	17.2	8.2	3.7
2.3	18.4	13.8	3.7	0	0	0	1.6	9	18.4	2.8
1.6	1.6	0	2.8	2.3	2.3	0	0	2.8	0	2.8

ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 5.2 เมตร/วินาที

0	0	3.7	0	1.6	1.6	1.6	1.6	7.5	1.6	2.8
0	11.0	6.4	0	4.4	1.6	5.9	1.6	11.2	5.7	1.6
2.8	13.9	2.8	19.5	6.8	0	12.8	12.2	16.6	10.5	3.7
0	10.4	9.4	1.6	6.4	3.7	0	8.4	4.4	10.0	3.7
3.7	15.9	14.0	2.8	0	2.8	2.3	1.6	13.3	10.5	2.8
7.9	10.5	15.6	2.8	3.7	0	1.6	2.8	20.8	10.0	1.6
0	14.9	11.0	2.8	2.8	2.8	1.6	1.6	0	18.5	1.6
0	1.6	2.8	1.6	1.6	2.3	1.6	1.6	2.8	2.8	1.6



ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 4.8 เมตร/วินาที

0	0	0	0	0	0	1.6	1.6	0	0	0
3.7	12.2	6.4	0	0	0	0	1.6	16.4	20.1	0
15.8	7.4	10.4	2.8	0	0	0	1.6	13.3	7.9	21.1
10.4	12.7	7.4	1.6	0	0	0	2.8	11.6	13.7	3.7
3.7	12.7	13.3	2.3	0	0	1.6	1.6	17.2	18.0	3.7
11.0	12.2	12.2	1.6	0	0	2.3	3.7	18.4	11.6	3.7
2.8	24.4	0	0	0	0	1.6	2.3	17.2	14.7	1.6
0	0	0	0	0	0	1.6	2.3	0	0	1.6

ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 2.8 เมตร/วินาที

0	0	1.6	0	2.8	1.6	2.8	0	1.6	1.6	0
0	0	1.6	0	3.7	1.6	8.2	1.6	1.6	1.6	0
0	0	2.8	15.9	10.3	17.4	11.6	15.4	1.6	2.8	0
0	0	2.8	1.6	6.8	2.8	4.4	1.6	1.6	1.6	0
0	0	1.6	2.8	4.4	3.7	6.4	2.3	1.6	2.3	0
0	0	0	16.4	14.8	5.5	14.2	16.7	1.6	1.6	0
0	0	0	3.7	1.6	1.6	1.6	1.6	0	1.6	0
0	0	0	2.8	1.6	1.6	1.6	0	0	1.6	0

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ย และความถี่

ความเร็วลมเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	ความถี่ (f) (รอบ/วินาที)
6.3	2.2
6.0	1.9
5.2	1.9
4.8	1.6
2.8	1.5

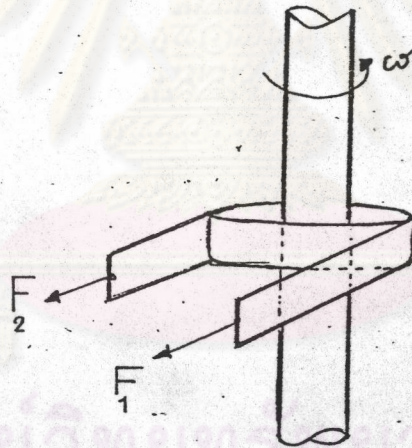
จากตารางที่ 1 พบว่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดการทดลองวัดได้ 6.3 เมตร/วินาที กังหันลมใจโรหมุนด้วยความถี่สูงสุด 2.2 รอบ/วินาที

#### 4.4 การวัดกำลัง

การวัดกำลังทำได้โดยสร้างเครื่องมือที่เรียกว่า โพรเน้เบรค (Prone Break) ส่วนประกอบของโพรเน้เบรคประกอบด้วย สายพาน 1 เส้น ทางตอนปลายทั้งสองข้างทำเป็นห่วง ใส่ทั้งสองข้าง และเครื่องชั่งสปริง 2 อัน หลักการทำงานคือ เมื่อนำสายพานไปคล้องผ่านแผ่นทรงกลมตันที่ติดอยู่กับแกนกลางของกังหัน แผ่นทรงกลมตันนี้มีขนาดเส้นรอบวงยาว 39 เซนติเมตร ขณะที่กังหันหมุนจะทำให้เกิดความผิดเป็นผลทำให้กังหันลมหมุนช้าลงกว่าปกติ ซึ่งขณะที่กังหันลมหมุนอยู่นั้นจะเกิดผลต่างของแรงดึงทั้งสองข้างของสายพาน พร้อมกับวัดความถี่ สามารถคำนวณกำลังที่กังหันรับได้จากลม ดังนี้

$$P = (F_2 - F_1) 2\pi r f \quad (4.2)$$

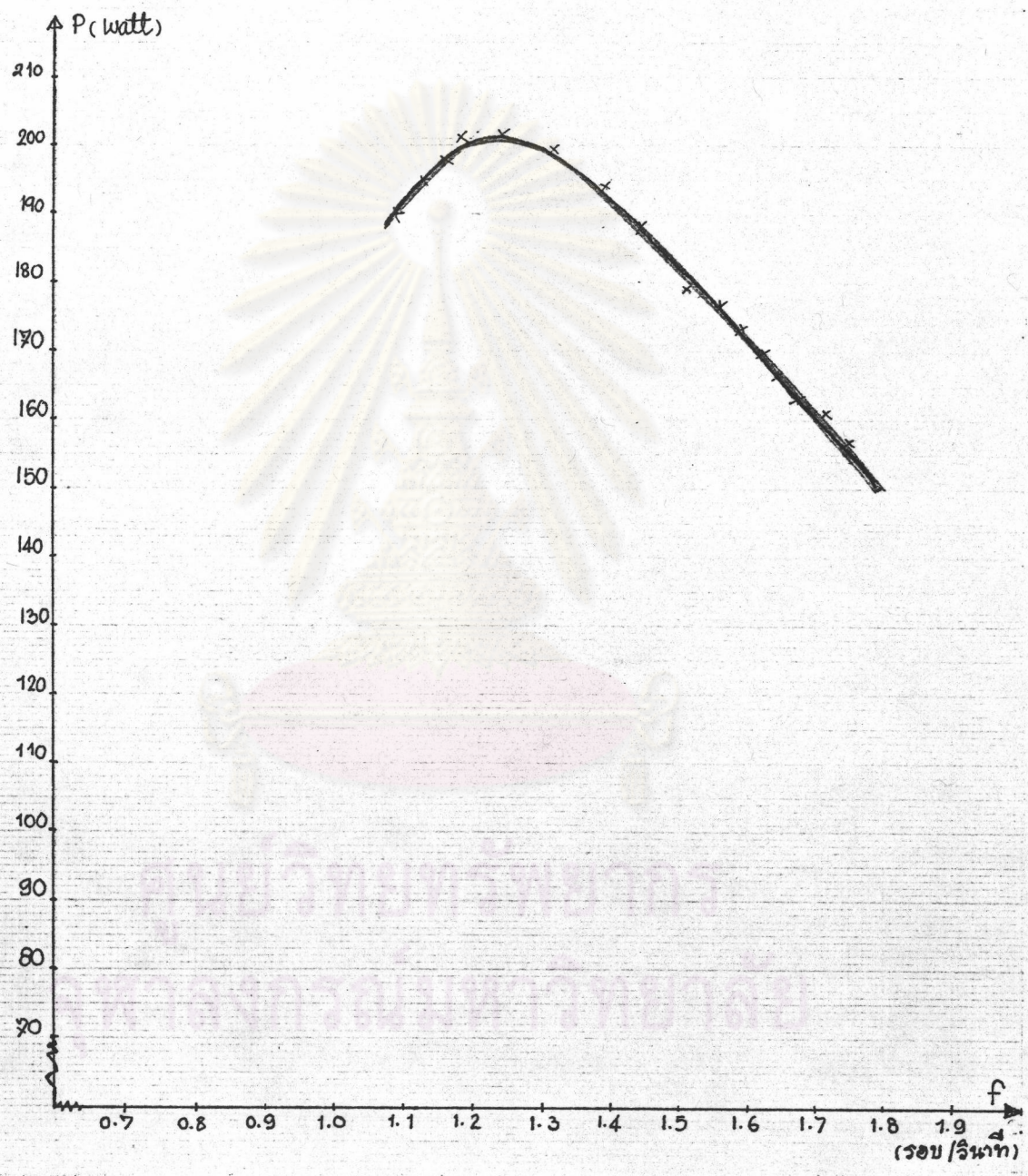
โดยที่	$P$	คือกำลังที่กัมมันตภาพได้รับ หน่วยเป็น วัตต์
	$F_2 - F_1$	คือผลต่างของแรงดึงทั้งสองข้างของสายพาน หน่วยเป็น นิวตัน
	$f$	คือความถี่ของกัมมันตภาพ หน่วยเป็น รอบ/วินาที
	$2\pi r$	คือเส้นรอบวงของแผ่นทรงกลมตันเท่ากับ 39 เซนติเมตร



รูปที่ 4.6 แสดงการวัดกำลังโดยใช้โพรบีเบรค

ผลการทดลองวัดกำลังที่ความเร็วลมต่าง ๆ เป็นดังนี้  
 ตารางที่ 2 แสดงผลต่างของแรงตึง ความถี่ และ กำลัง  
 ที่ความเร็วลม 6.3 เมตร/วินาที

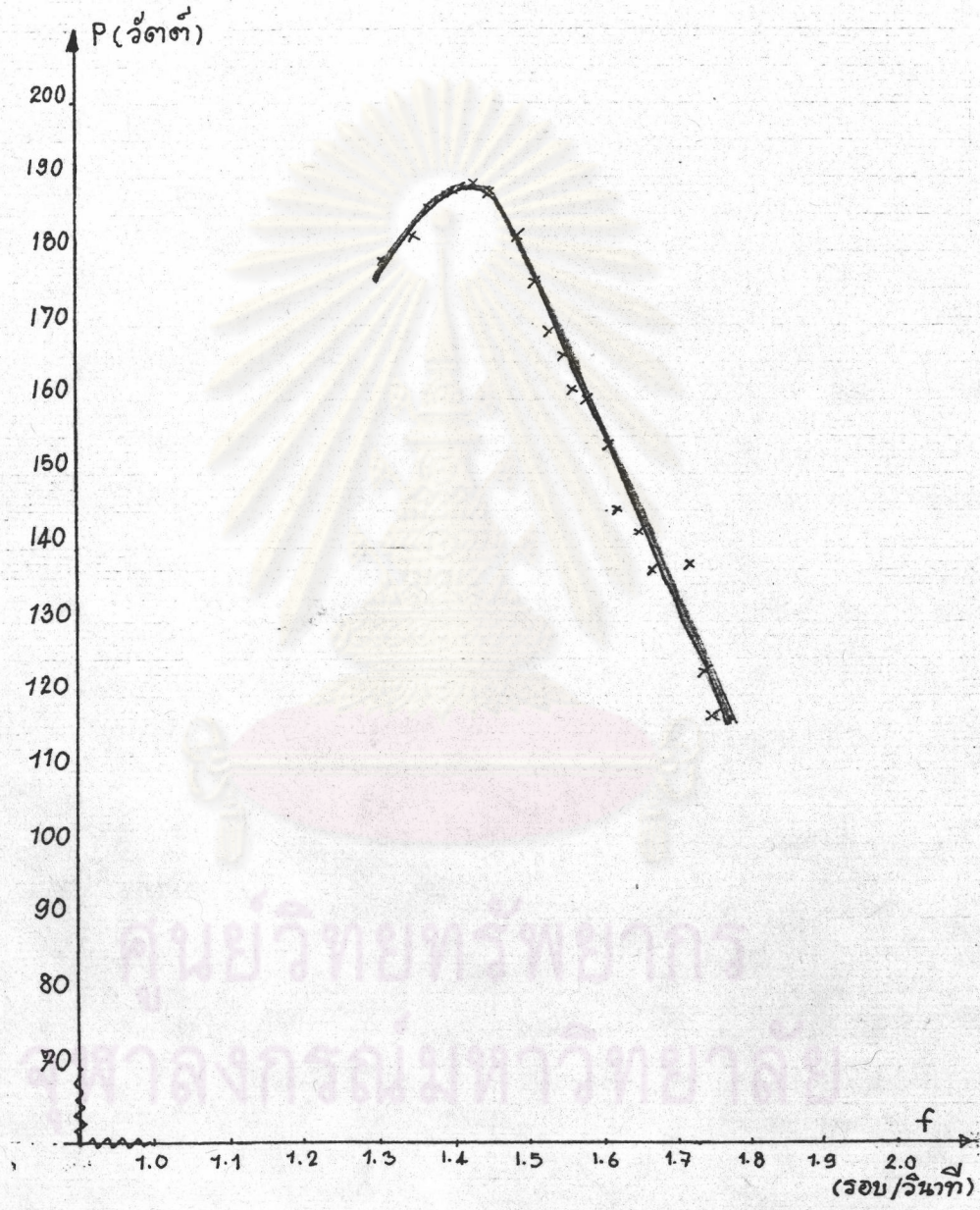
$(F_2 - F_1)$ (นิวตัน)	$f$ (รอบ/วินาที)	$P$ (วัตต์)
230.7	1.75	157.1
240.6	1.72	161.0
250.4	1.67	162.7
260.1	1.64	166.0
270.0	1.62	170.0
279.8	1.59	173.1
289.9	1.56	175.8
299.5	1.53	178.3
304.3	1.51	178.8
335.1	1.44	188.1
358.4	1.39	194.2
389.9	1.31	199.1
416.9	1.24	201.5
436.9	1.18	201.0
439.8	1.16	198.5
443.5	1.13	195.0
447.9	1.09	190.0



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความถี่  
ที่ความเร็วลม 6.3 เมตร/วินาที

ตารางที่ 3 แสดงค่าผลต่างของแรงดึง ความถี่ และกำลัง  
ที่ความเร็วลม 6.0 เมตร/วินาที

$F_2 - F_1$ (นิวตัน)	$f$ (รอบ/วินาที)	P (วัตต์)
171.8	1.75	117.0
181.7	1.74	123.0
206.2	1.72	138.0
211.2	1.67	137.2
220.9	1.65	141.8
230.7	1.62	145.4
245.5	1.61	153.8
260.1	1.58	159.9
265.2	1.56	161.0
274.9	1.55	165.8
284.7	1.53	169.5
299.4	1.51	175.9
314.1	1.49	182.1
333.8	1.45	188.3
339.8	1.43	189.1
345.3	1.40	188.1
348.9	1.37	186.0
346.8	1.35	182.2

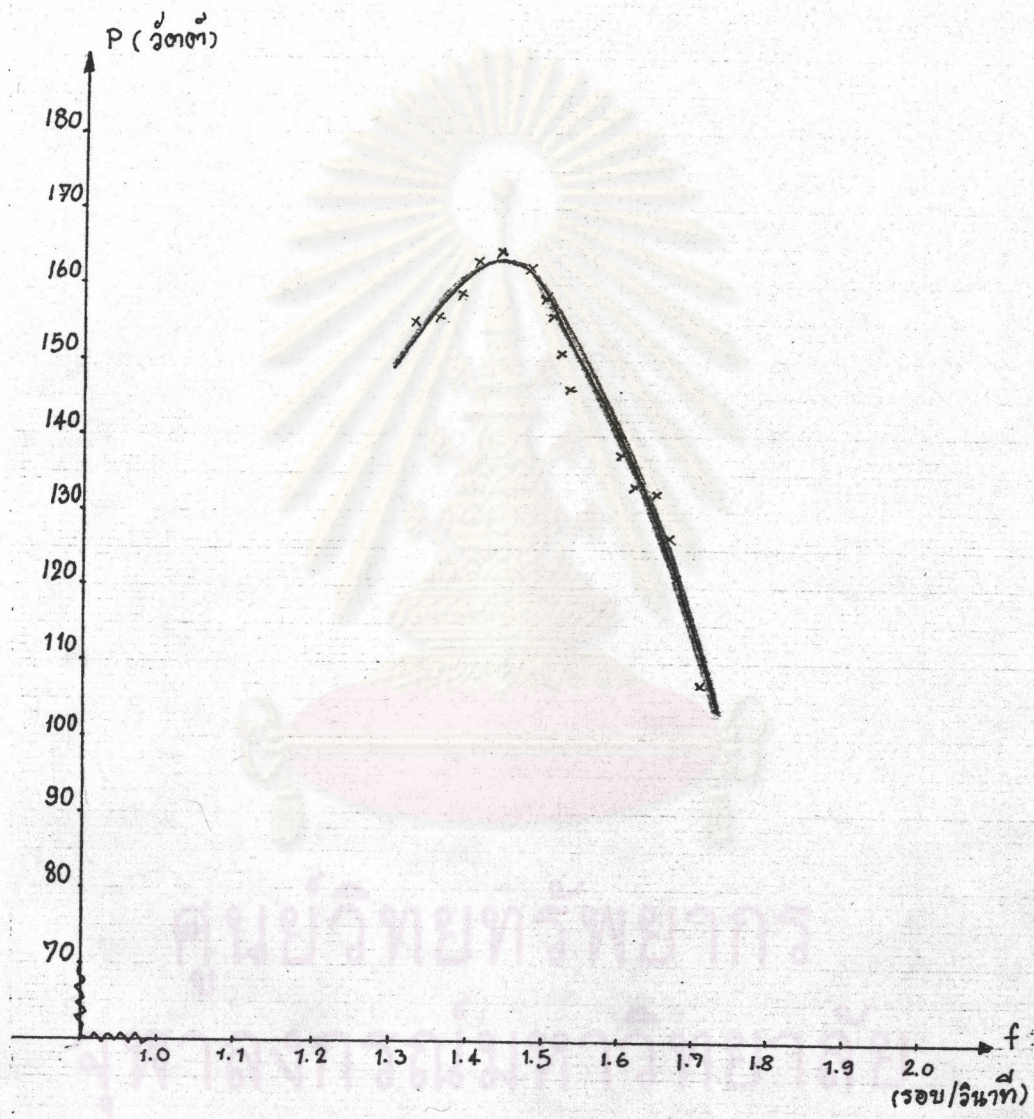


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความถี่  
ที่ความเร็วลม 6.0 เมตร/วินาที

ตารางที่ 4 แสดงผลต่างของแรงดึง ความถี่ และ กำลัง  
ที่ความเร็วลม 5.2 เมตร/วินาที

$F_2 - F_1$ (นิวตัน)	f (รอบ/วินาที)	P (วัตต์)
162.0	1.71	107.8
186.5	1.68	121.9
196.4	1.67	127.6
206.2	1.65	132.4
211.2	1.62	133.1
220.9	1.60	137.5
245.4	1.53	146.1
255.1	1.52	150.9
265.0	1.51	155.7
270.0	1.50	157.6
280.9	1.48	162.1
293.2	1.44	164.6
296.9	1.41	163.2
294.4	1.39	159.4
292.9	1.36	155.3
289.5	1.33	150.1

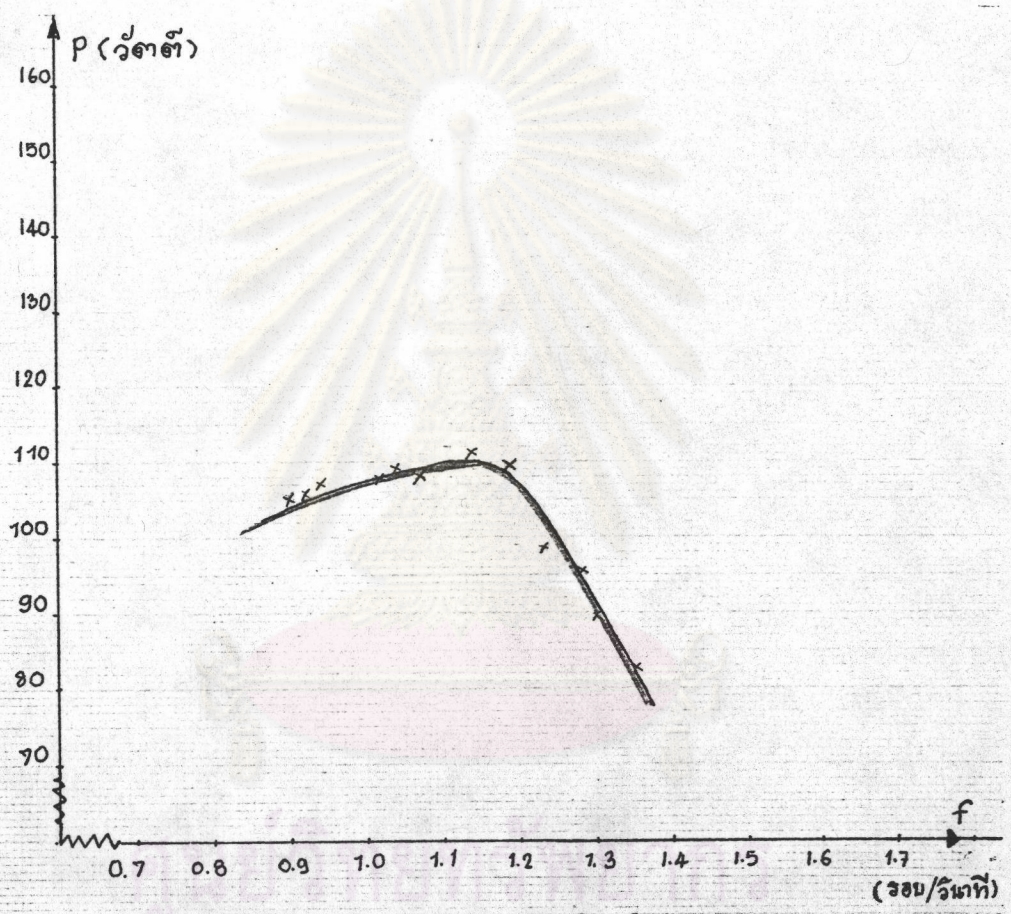




รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความถี่  
ที่ความเร็วลม 5.2 เมตร/วินาที

ตารางที่ 5 แสดงค่าผลต่างของแรงดึง ความถี่ และ กำลัง  
ที่ความเร็วลม 4.8 เมตร/วินาที

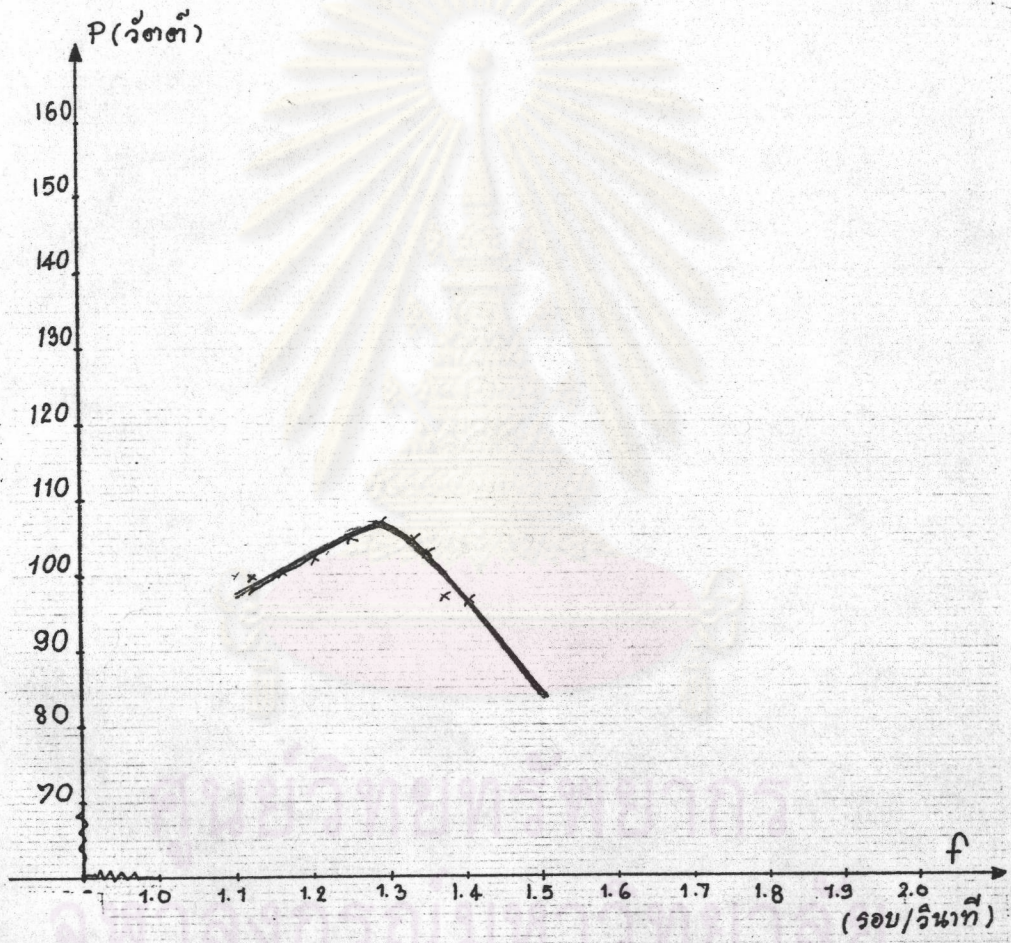
$F_2 - F_1$ (นิวตัน)	f (รอบ/วินาที)	P (วัตต์)
157.1	1.35	82.5
176.7	1.30	89.4
191.3	1.28	95.3
206.2	1.23	98.7
211.2	1.20	98.6
235.6	1.19	109.1
250.2	1.14	111.0
260.1	1.07	108.3
270.1	1.04	109.3
272.4	1.02	108.1
294.5	0.94	107.0
296.4	0.92	106.1
304.4	0.90	106.6
314.1	0.85	103.9
319.1	0.72	89.4



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความถี่  
ที่ความเร็วลม 4.8 เมตร/วินาที

ตารางที่ 6 แสดงผลต่างของแรงดึง ความถี่ และ กำลัง  
ที่ความเร็วลม 2.8 เมตร/วินาที

$F_2 - F_1$ (นิวตัน)	f (รอบ/วินาที)	P (วัตต์)
180.1	1.37	96.8
196.3	1.35	103.1
201.3	1.33	104.2
208.2	1.31	106.1
213.6	1.29	107.2
213.7	1.27	105.6
214.9	1.25	104.5
217.2	1.22	103.1
220.2	1.20	102.8
220.8	1.18	101.4
223.7	1.16	101.0
227.0	1.14	100.7
230.6	1.12	100.5
234.3	1.10	100.3
242.9	1.06	100.2

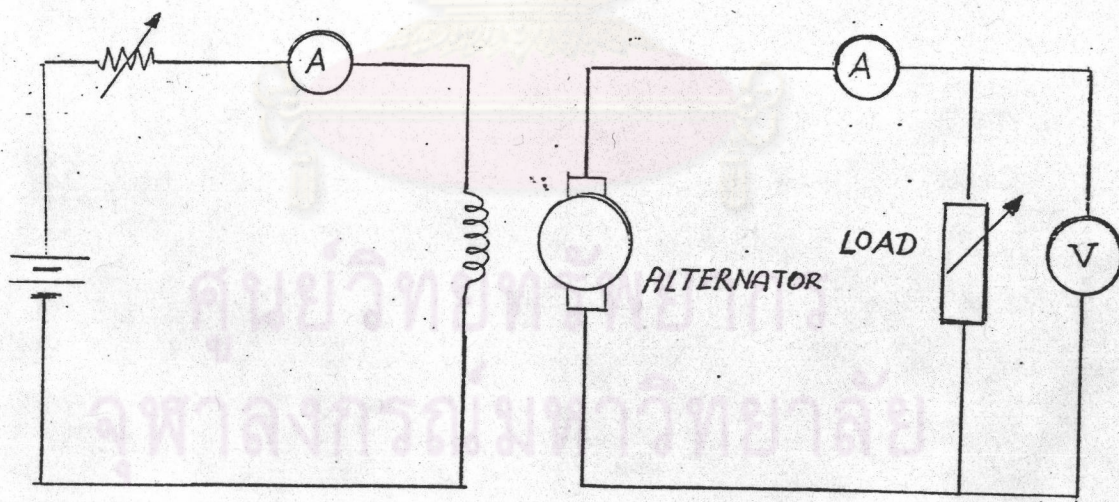


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์กำลังกับความถี่  
ที่ความเร็วลม 2.8 เมตร/วินาที

#### 4.5 การวัดกำลังไฟฟ้า

การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าโดยใช้อัลเทอร์เนเตอร์ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น AH 2035K C 1 A ของประเทศญี่ปุ่น ประกอบเข้าวงล๊อตที่ติดกับแกนกลางทางช่วงล่างของกังหัน โดยให้หัวหมุนที่ประกอบติดกับอัลเทอร์เนเตอร์ แนบติดกับล๊อตอย่าง ล๊อตที่ใช้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 73 เซ็นติเมตร สำหรับหัวหมุนมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 เซ็นติเมตร ดังนั้นถ้ากังหันหมุนครบ 1 รอบ หัวหมุนจะหมุนได้ 16.2 รอบ

จากนั้นจึงต่อวงจรไฟฟ้าเพื่อวัดกำลังไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานในช่วง 1 โอห์ม ถึง 20 โอห์ม พร้อมทั้งวัดค่า กระแสไฟฟ้า (I) ความต่างศักย์ต่อมความต้านทาน (V) และความถี่ (f)

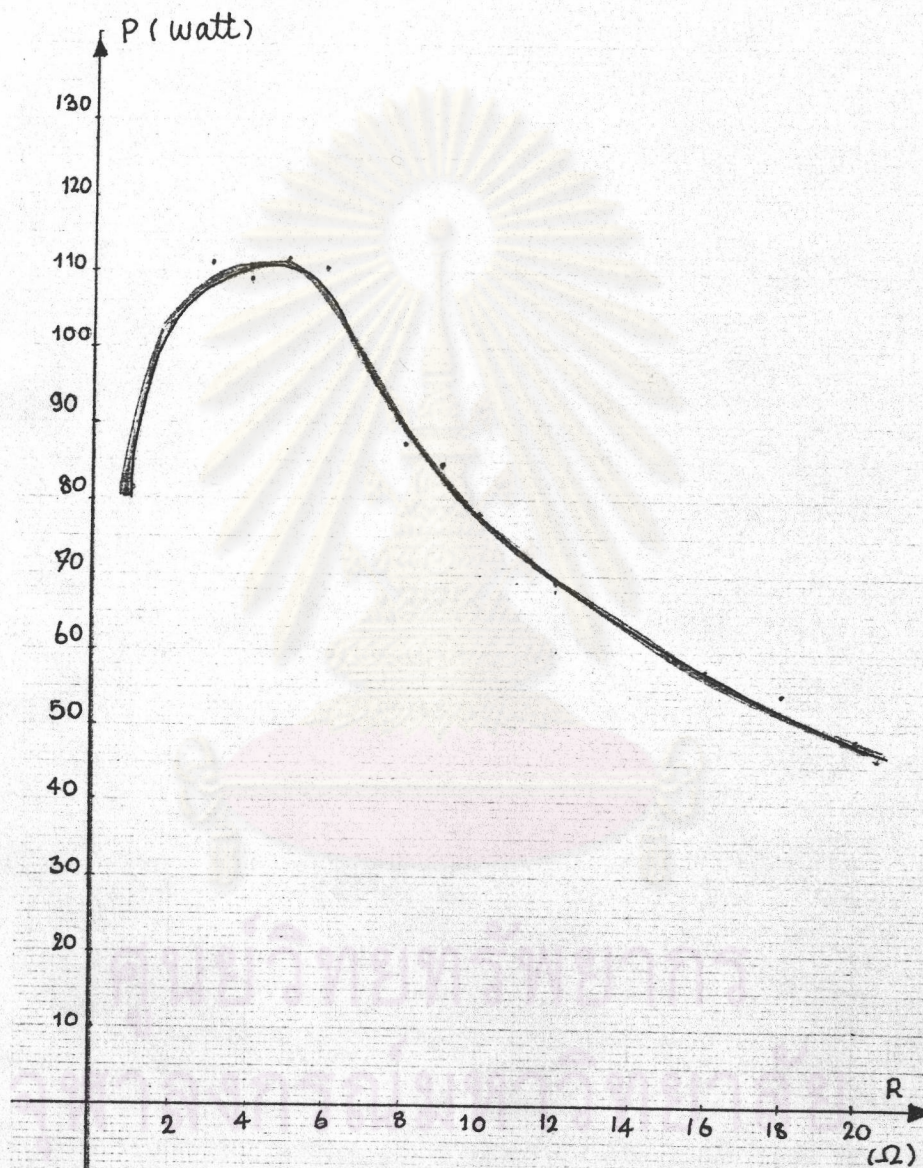


รูปที่ 4.12 แสดงการต่อวงจรเพื่อวัดกำลังไฟฟ้า



ตารางที่ 7 แสดงค่า ความต้านทาน(R) กระแสไฟฟ้า(I)กำลังไฟฟ้า (P)  
ความต่างศักย์ (V) และ ความถี่(f)  
ที่ความเร็วลม 6.3 เมตร/วินาที

R (โอห์ม)	I (แอมแปร์)	V (โวลต์)	P (วัตต์)	f (รอบ/วินาที)
1	13.50	6.0	81.0	0.93
2	10.29	10.0	102.9	1.19
3	8.55	13.0	111.2	1.20
4	7.83	14.0	109.6	1.33
5	6.96	16.0	111.4	1.60
6	6.13	18.0	110.3	1.66
7	5.30	18.5	98.1	1.70
8	4.77	19.5	87.2	1.73
9	4.23	20.0	84.6	1.75
10	3.71	21.0	77.9	1.80
12	3.22	21.5	69.2	1.82
14	2.84	22.0	62.5	1.89
16	2.56	22.5	57.6	1.92
18	2.30	23.5	54.1	1.94
20	2.01	24.0	48.2	1.96

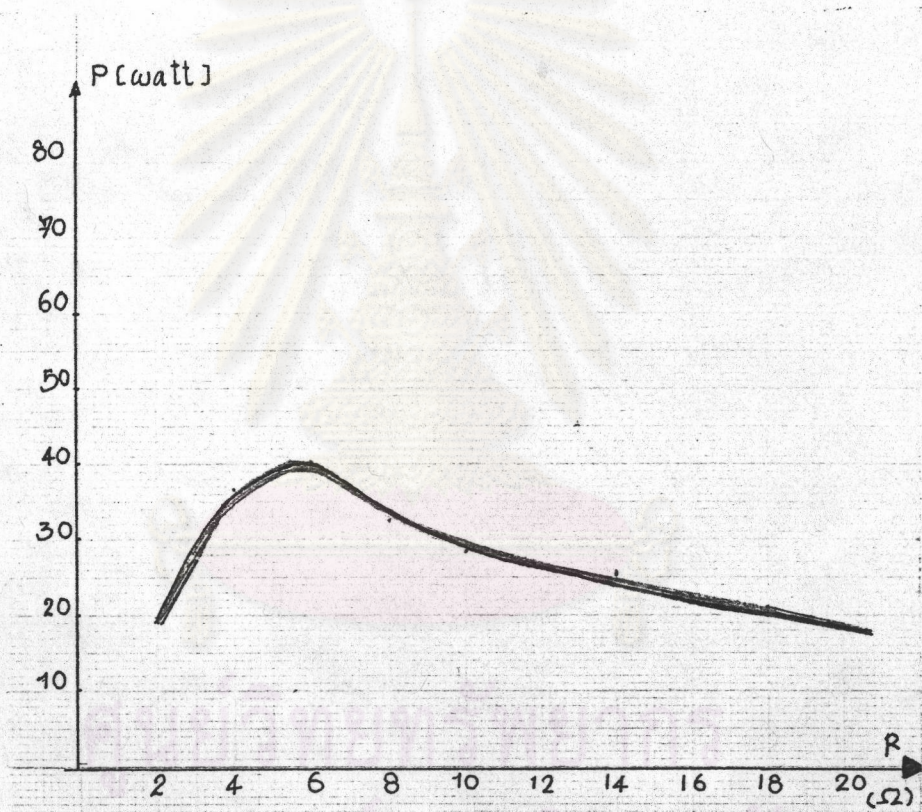


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความต้านทาน  
ที่ความเร็วลม 6.3 เมตร/วินาที



ตารางที่ 8 แสดงค่า ความต้านทาน(R) กระแสไฟฟ้า(I)กำลังไฟฟ้า(P)  
ความต่างศักย์ (V) และ ความถี่(f)  
ที่ความเร็วลม 6.0 เมตร/วินาที

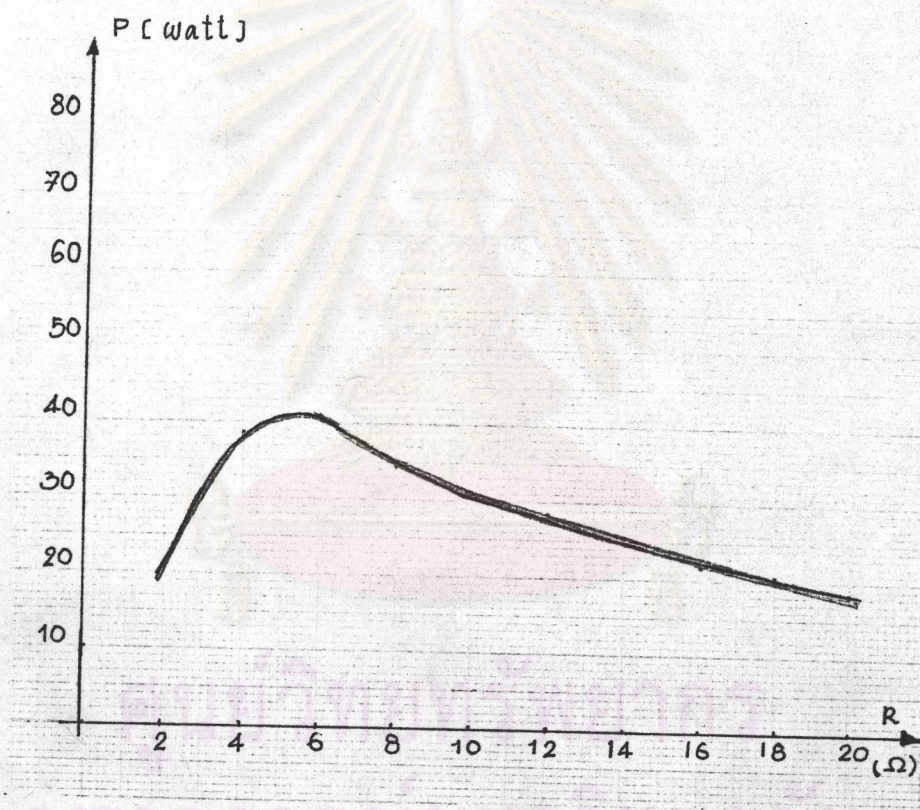
R (โอห์ม)	I (แอมแปร์)	V (โวลต์)	P (วัตต์)	f (รอบ/วินาที)
2	3.2	6.2	19.8	0.62
4	2.9	12.5	36.3	1.12
6	2.5	16.0	40.0	1.34
8	1.9	17.0	32.3	1.47
10	1.7	17.0	28.9	1.48
12	1.5	17.5	26.3	1.51
14	1.4	18.0	25.2	1.58
16	1.2	19.0	22.8	1.61
18	1.1	19.0	21.5	1.64
20	0.97	19.5	18.9	1.66



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความต้านทาน  
ที่ความเร็วลม 6.0 เมตร/วินาที

ตารางที่ 9 แสดงค่า ความต้านทาน(R) กระแสไฟฟ้า(I) กำลังไฟฟ้า(P)  
ความต่างศักย์ (V) และ ความถี่(f)  
ที่ความเร็วลม 5.2 เมตร/วินาที

R (โอห์ม)	I (แอมแปร์)	V (โวลต์)	P (วัตต์)	f (รอบ/วินาที)
2	4.5	4.5	20.3	0.40
4	3.3	11.6	38.3	0.98
6	2.9	14.0	40.6	1.26
8	2.4	14.5	34.8	1.32
10	1.8	17.0	30.6	1.43
12	1.6	18.0	28.8	1.46
14	1.4	18.5	25.9	1.47
16	1.2	19.0	22.8	1.54
18	1.1	19.0	20.9	1.56
20	0.97	19.5	18.9	1.57

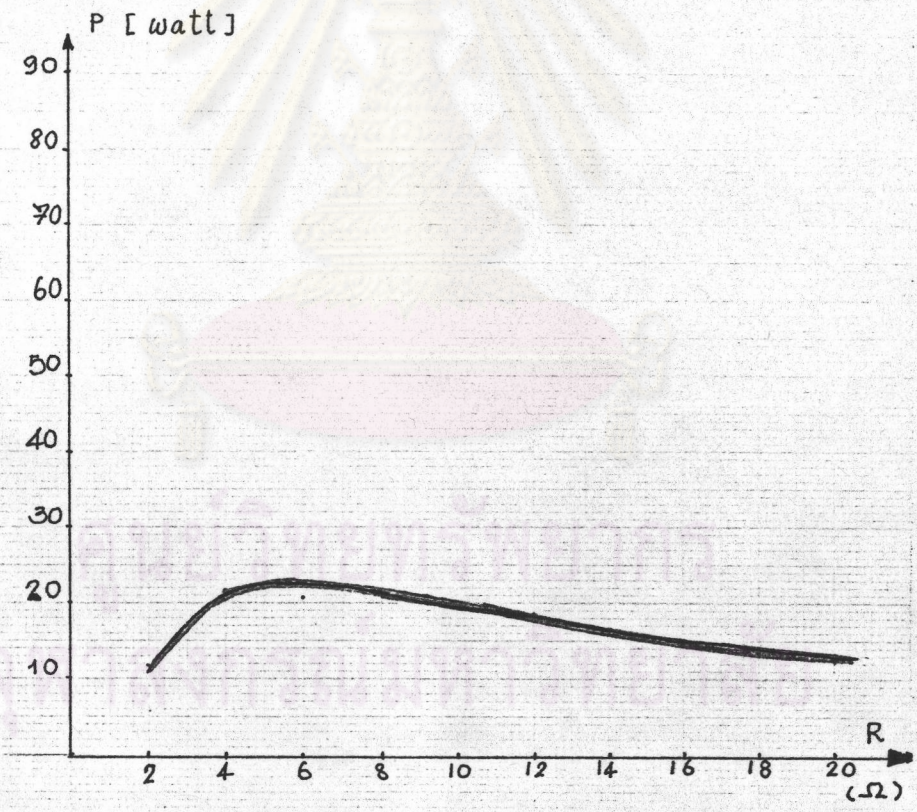


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความต้านทาน  
ที่ความเร็วลม 5.8 เมตร/วินาที

ตารางที่ 10 แสดงค่า ความต้านทาน(R) กระแสไฟฟ้า(I) กำลังไฟฟ้า(P)  
ความต่างศักย์ (V) และ ความถี่(f)  
ที่ความเร็วลม 4.8 เมตร/วินาที

R (โอห์ม)	I (แอมแปร์)	V (โวลต์)	P (วัตต์)	f (รอบ/วินาที)
1	3.06	1.8	5.5	0.34
2	2.99	4.0	11.9	0.53
3	2.98	6.0	11.8	0.65
4	2.72	7.8	21.1	0.72
5	2.55	8.5	21.7	0.76
6	2.27	9.2	20.9	0.79
7	2.17	10.0	21.7	0.86
8	2.09	10.5	21.9	0.92
9	1.92	11.0	21.1	0.95
10	1.76	11.3	19.8	0.97
11	1.60	11.5	18.4	0.98
12	1.53	12.3	18.7	0.99
13	1.38	12.5	17.5	1.01
14	1.34	12.5	16.7	1.03
15	1.21	11.5	13.9	1.04
16	1.19	12.5	14.9	1.06

17	1.12	12.5	14.0	1.07
18	1.09	12.8	13.9	1.09
19	1.03	13.0	13.4	1.12
20	0.99	13.0	12.9	1.18

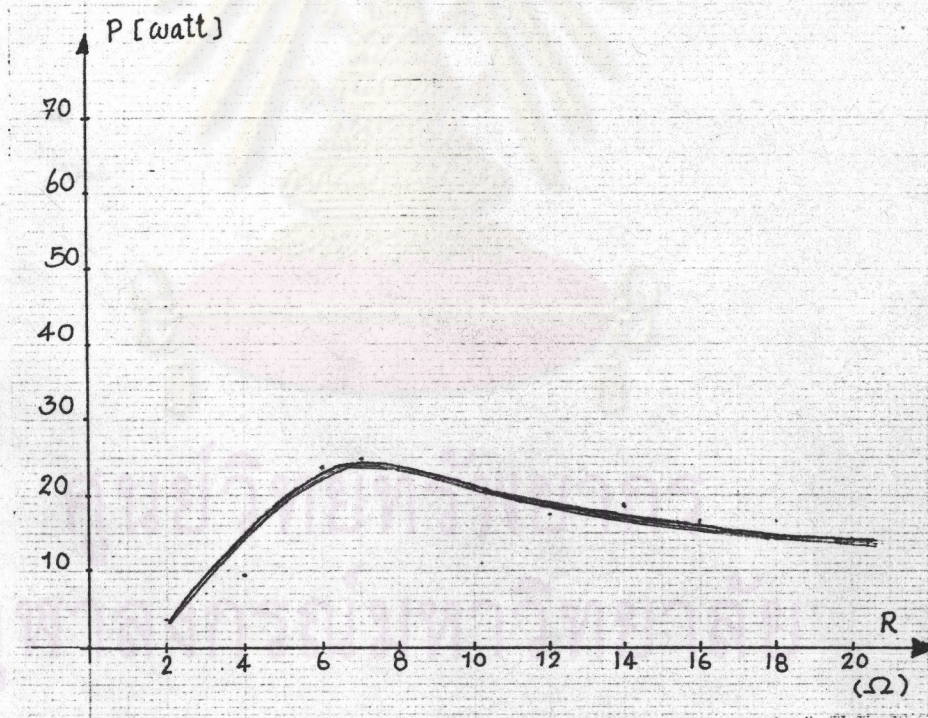


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความต้านทาน  
ที่ความเร็วลม 4.8 เมตร/วินาที

ตารางที่ 11 แสดงค่า ความต้านทาน(R) กระแสไฟฟ้า(I) กำลังไฟฟ้า(P)  
ความต่างศักย์ (V) และ ความถี่(f)  
ที่ความเร็วลม 2.8 เมตร/วินาที

R (โอห์ม)	I (แอมแปร์)	V (โวลต์)	P (วัตต์)	f (รอบ/วินาที)
1	1.89	0.9	1.7	0.18
2	1.60	1.9	3.1	0.26
3	1.49	3.0	4.5	0.37
4	1.94	4.8	9.3	0.57
5	2.71	8.0	21.7	0.85
6	2.58	9.0	23.2	0.86
7	2.45	10.0	24.5	0.87
8	2.26	10.5	23.7	1.00
9	2.02	11.3	22.7	1.03
10	1.81	11.5	20.8	1.03
11	1.66	11.5	19.1	1.06
12	1.54	11.5	17.7	1.09
13	1.48	12.0	17.8	1.12
14	1.46	12.3	18.3	1.18
15	1.41	12.5	17.6	1.21
16	1.29	12.8	16.5	1.23

17	1.25	13.9	16.7	1.26
18	1.14	12.5	14.3	1.28
19	1.14	13.3	15.1	1.33
20	1.11	13.3	14.7	1.41



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับความต้านทาน  
ที่ความเร็วลม 2.8 เมตร/วินาที



#### 4.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองวัดกำลังที่กังหันลมรับได้จากลมโดยใช้ โพรนิ์เบรค ที่ความเร็วลมต่าง ๆ พบว่า กำลังที่ได้จะมีค่าสูงสุดที่ความถี่ค่าหนึ่ง ดังนี้ ตารางที่ 12 แสดงกำลังสูงสุด(P) ความถี่(f)ที่ความเร็วลมต่าง ๆ

$V_1$ (เมตร/วินาที)	P (วัตต์)	f (รอบ/วินาที)
6.3	201.0	1.18
6.0	189.1	1.43
5.2	164.6	1.44
4.8	111.0	1.14
2.8	107.2	1.29

จากตารางที่ 12 จะเห็นว่า ที่ความเร็วลมสูงขึ้นกังหันลมจะได้รับพลังงานสูงขึ้นและในการทดลองนี้ กังหันลมใจโรได้รับกำลังสูงสุดเท่ากับ 201.0 วัตต์ ที่ความเร็วลม 6.3 เมตร/วินาที

การคำนวณประสิทธิภาพของกังหันลม ทำได้โดยเอากำลังที่วัดได้โดยใช้โพรนิ์เบรคหารด้วยกำลังลมที่ผ่านพื้นที่รับลมของกังหัน ที่ความเร็วลมค่าหนึ่ง ๆ

$$\text{กำลังลมที่ผ่านพื้นที่รับลมของกังหัน} = \rho AV^3$$

โดยพื้นที่ A เท่ากับ สองเท่าของรัศมีการหมุนคูณกับความยาวของตัวใบพัด ในการทดลอง รัศมีการหมุนเท่ากับ 92 เซนติเมตร ความยาวของตัวใบพัด เท่ากับ 120 เซนติเมตร ดังนั้นกำลังลมที่ผ่านพื้นที่รับลมของกังหันที่ ความเร็วลม 6.3 เมตร/วินาที ประมาณ 607 วัตต์ พบว่ากังหันลมไซโร มีประสิทธิภาพประมาณ 33 % ซึ่งค่านี้อาจจะคลาดเคลื่อนได้อื่นเนื่องมาจาก ความเร็วลมที่แต่ละจุดมีการกระจายมาก ดังนั้นการหาความเร็วลมเฉลี่ยโดยวิธี ที่กล่าวมาแล้วอาจจะผิดพลาดได้ และประสิทธิภาพของกังหันลมที่ความเร็วอื่น ๆ ก็ทำนองเดียวกัน

สำหรับการผลิตไฟฟ้าโดยกังหันลมไซโร ปรากฏว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ จะมีค่าสูงสุดค่าหนึ่งที่มีความต้านทานที่ใกล้เคียงกัน ดังนี้

ตารางที่ 13 แสดงค่า กำลังไฟฟ้า ความต้านทาน ที่ความเร็วลมต่าง ๆ

ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความต้านทาน (โอห์ม)
6.3	111.4	5
6.0	40.0	6
5.2	40.6	6
4.8	21.9	8
2.8	24.5	7

จากตารางที่ 13 จะเห็นว่า กำลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดในช่วง ค่าความต้านทานระหว่าง 5 โอห์ม ถึง 8 โอห์ม และกำลังไฟฟ้าสูงสุดจาก กังหันลมไซโร มีค่าเท่ากับ 111.4 วัตต์ ที่ความเร็วลม 6.3 เมตร/วินาที มีความถี่เท่ากับ 1.66 รอบ/วินาที การคำนวณหาประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ของกังหันลมไซโรทำได้โดยนำกำลังไฟฟ้าที่วัดได้สูงสุดหารด้วยกำลังที่วัดได้จาก โพรเนเบอร์ค ที่ความเร็วนั้น ๆ สำหรับกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ที่มีความเร็วต่าง ๆ นั้นต้องเอามาลบด้วยกำลังไฟฟ้าส่วนหนึ่งที่ได้ป้อนให้กับอัลเทอร์เนเตอร์ประมาณ 24 วัตต์

ดังนั้นที่ความเร็วลม 6.3 เมตร/วินาที กังหันลมมีประสิทธิภาพ ในการผลิตไฟฟ้าประมาณ 43 % และที่ความเร็ว 6.0 เมตร/วินาที มี ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าประมาณ 8.4 % ยิ่งความเร็วลมต่ำ ๆ ยิ่งมี ค่าน้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย