หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

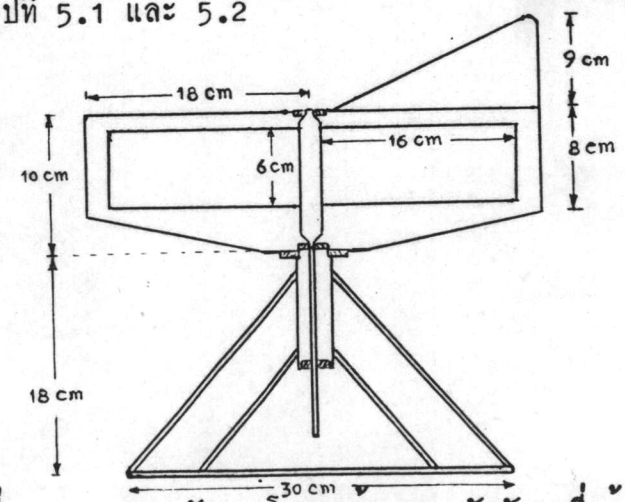
บทที่ 5

การทดลองและวิเคราะห์ผล

5.1 โครงสร้างกังหันลม

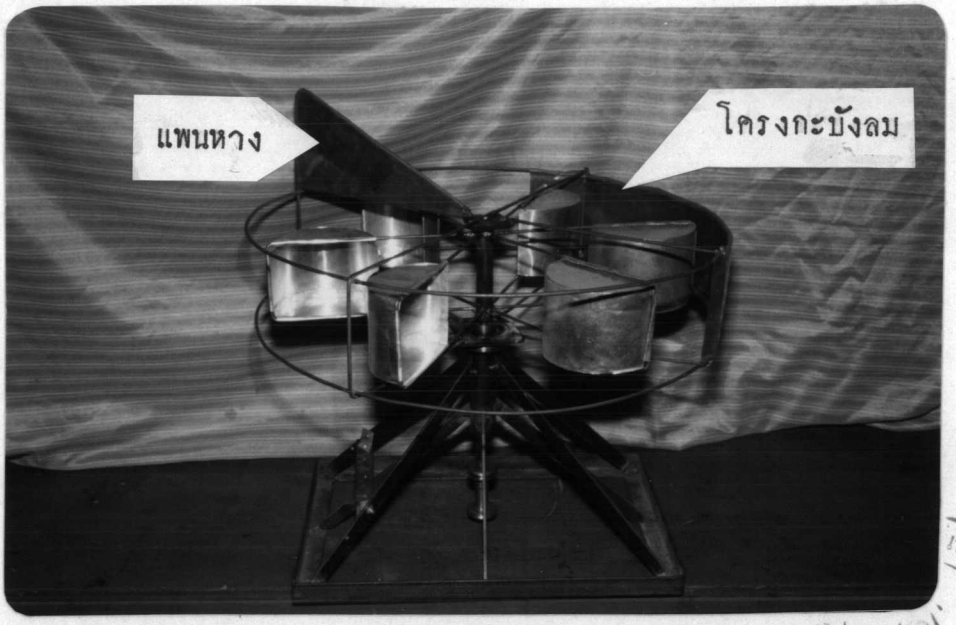
ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างกังหันลมจำลองแบบแกนดิ่ง ที่มีโครงกะบังลม (shield)และแพนหาง และใบพัดชนิดแบบต่างๆ ขนาดแบบจำลองสามารถนำเข้าทดลองในอุโมงค์ลมในห้องปฏิบัติการได้

ขนาดกังหันลมสูง 37 เซนติเมตร (รวมทั้งแพนหาง) โครงใบพัดจำนวน 6 ใบขนาด 16 x 6 เซนติเมตร^2 ติดกับเพลาหมุนยาว 25 เซนติเมตร ตั้งให้หมุนได้ในแนวดิ่งโดยใช้ตลับลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.5 เซนติเมตรจำนวน 3 ตลับ และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.7 เซนติเมตรจำนวน 1 ตลับ มีเหล็กค้ำ 8 แท่งอยู่บนฐานขนาด 20 x 30 เซนติเมตร^2 โครงกะบังลมมีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 36 เซนติเมตร สูง 8–10 เซนติเมตร บนโครงกะบังลมมีแพนหางรูปสามเหลี่ยมฐานยาว 17 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร ติดอยู่ ลักษณะโครงสร้างของกังหันลมจำลอง แสดงได้ดังรูปที่ 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะโครงสร้างของกังหันลมที่สร้างขึ้น

I 15758746

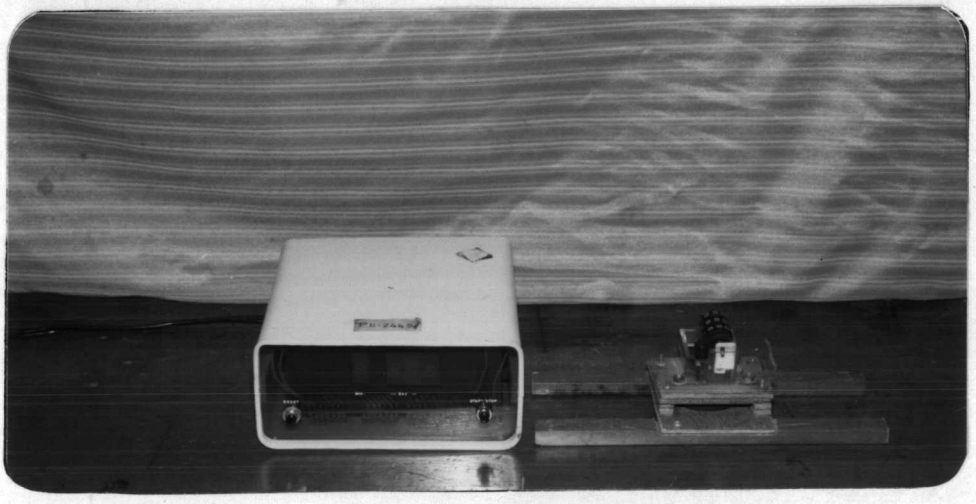


รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายกังหันลมที่สร้างขึ้น

วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 การวัดอัตราการหมุน

เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการหมุนของกังหันลม ประกอบด้วย เครื่องนับรอบ และนาฬิกาจับเวลา แสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ภาพถ่ายเครื่องนับรอบและนาฬิกาจับเวลา

เมื่อนำเครื่องนับรอบต่อเข้ากับเพลาหมุนของกังหันลม โดยใช้สายพานยางเล็กๆ คล้องผ่านรอกสายพานขนาดเล็กที่ติดอยู่กับเพลาหมุน จะสามารถนับจำนวนรอบที่ใบพัดของกังหันลมหมุนไปได้ ซึ่งเมื่อเทียบค่าจำนวนรอบของใบพัดและเครื่องนับรอบได้ว่า ใบพัดของกังหันลมหมุนไปได้ 200 รอบ เครื่องนับรอบจะอ่านค่าได้ 189 รอบ การประกอบเครื่องนับรอบเข้ากับกังหันลม แสดงได้ดังรูปที่ 5.4

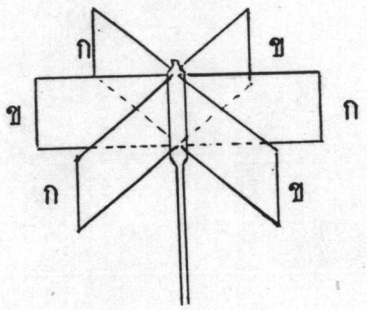
สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.4 ภาพถ่ายกังหันลมที่ประกอบกับเครื่องนับรอบ

การวัดอัตราการหมุนของกังหันลม จะหาอัตราการหมุนของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดแบนราบด้วยขนาดต่างๆเสียก่อน เมื่อได้ขนาดใบพัดที่ทำให้กังหันลมมีค่าอัตราการหมุนสูงสุดแล้ว จึงใช้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของใบพัดชนิดแบนราบนี้ไปกำหนดพื้นที่หน้าตัดที่จะรับลมได้ของใบพัดชนิดอื่นๆ คือ ชนิดรูปครึ่งทรงกลมกลวง ชนิดรูปครึ่งทรงกระบอกกลวง ชนิดรูปกล่องสี่เหลี่ยม ชนิดรูปปริซึมพาราโบลา และชนิดรูปปริซึมไฮเปอร์โบลา หลังจากนั้น จึงนำไปเปรียบเทียบค่าอัตราการหมุนกันระหว่างใบพัดแต่ละชนิด

5.2.1 <u>กังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดแบนราบ</u>

การทดลองเพื่อหาอัตราการหมุนสูงสุดของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดแบนราบขนาดต่างๆ จะทดลองในอุโมงค์ลมที่อัตราเร็วลมมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง ในที่นี้ ใช้อัตราเร็วลมเท่ากับ 4.8 เมตร/วินาที และเพื่อสดวกในการเปลี่ยนขนาดใบพัด จึงกำหนดให้ใบพัดเป็น 2 ชุด คือ ใบพัดชุด ก. และ ใบพัดชุด ข. ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของใบพัดของกังหันลม

การหาอัตราการหมุนของกังหันลม จะให้ขนาดของใบพัดชุด ก.เป็น 16×6 cm^2 แล้วลดขนาดใบพัดชุด ข.ลงเป็น $16\times 6, 15\times 6, 14\times 6, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 6\times 6$ cm^2 เปลี่ยนขนาดใบพัดชุด ก.เป็น 15×6 cm^2 แล้วลดขนาดใบพัดชุด ข.เป็น 15×6, $14\times 6, 13\times 6, \ldots\ldots\ldots\ldots, 6\times 6$ cm^2 เปลี่ยนขนาดใบพัดชุด ก.เป็น 14×6, $13\times 6, 12\times 6, \ldots\ldots, 6\times 6$ cm^2 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละค่าหนึ่งของขนาดใบพัดชุด ก. ขนาดใบพัดชุด ข.จะถูกลดค่าลงเรื่อยๆ ดังผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1.1

ขนาดใบพัด (cm)		เวลา/100รอบ (s)	rev/s
ก	ข		
16x6	16x6	51.3	1.95
	15x6	47.8	2.09
	14x6	47.7	2.10
	13x6	46.4	2.16
	12x6	45.4	2.20
	11x6	44.5	2.25
	10x6	44.2	2.26
	9x6	43.7	2.29
	8x6	43.2	2.31
	7x6	44.0	2.27
	6x6	44.6	2.24
13x6	13x6	49.1	2.04
	12x6	49.8	2.01
	11x6	48.6	2.06
	10x6	49.2	2.03
	9x6	46.9	2.13
	8x6	49.4	2.02
	7x6	49.6	2.02
	6x6	49.8	2.01

ตารางที่ 5.1.2

ขนาดใบพัด (cm)		เวลา/100รอบ (s)	rev/s
ก	ข		
15x6	15x6	46.8	2.14
	14x6	46.7	2.14
	13x6	45.4	2.20
	12x6	45.3	2.21
	11x6	45.0	2.22
	10x6	44.9	2.23
	9x6	45.1	2.22
	8x6	45.3	2.21
	7x6	45.6	2.19
	6x6	46.4	2.16
14x6	14x6	48.4	2.07
	13x6	49.1	2.04
	12x6	48.8	2.05
	11x6	47.5	2.11
	10x6	48.1	2.08
	9x6	48.6	2.06
	8x6	49.1	2.04
	7x6	49.4	2.02
	6x6	49.9	2.00

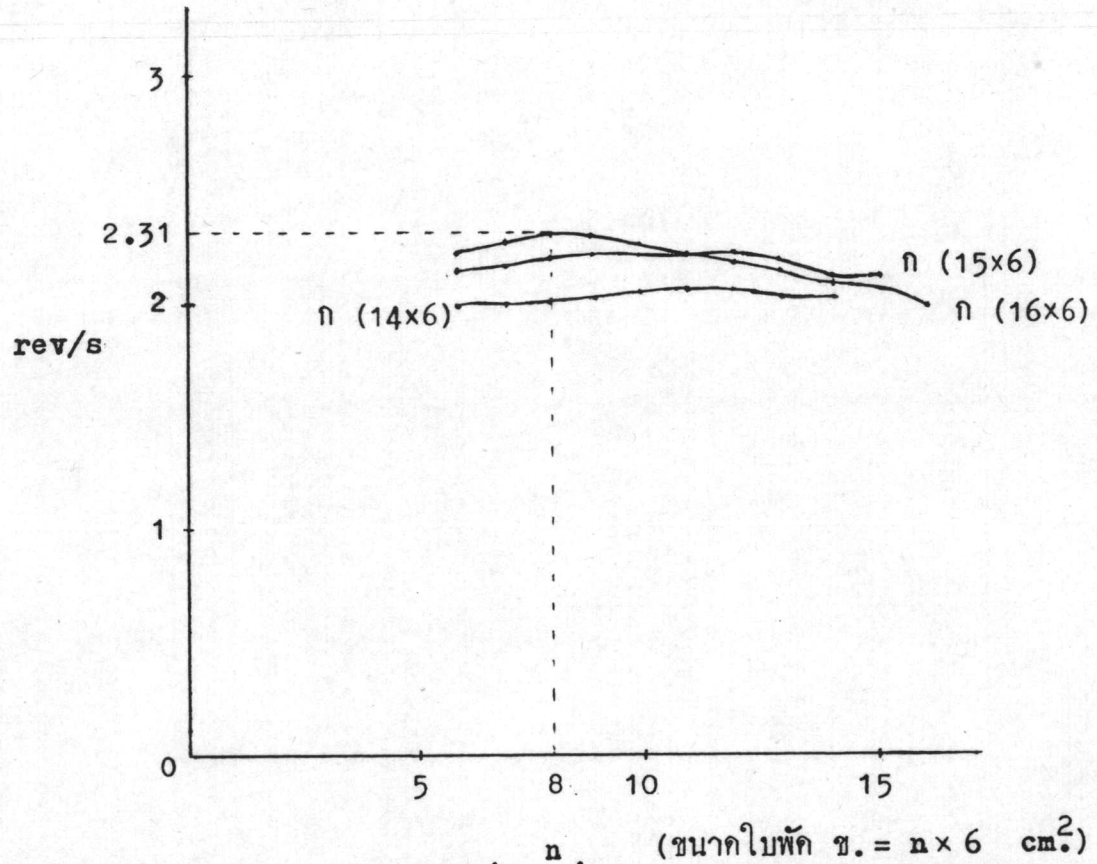
ตารางที่ 5.1.3

ขนาดใบพัด (cm)		เวลา/100รอบ (s)	rev/s
ก	ข		
12x6	12x6	52.3	1.91
	11x6	51.8	1.93
	10x6	51.6	1.94
	9x6	50.6	1.98
	8x6	51.7	1.93
	7x6	52.6	1.90
	6x6	52.2	1.92
9x6	9x6	53.8	1.86
	8x6	53.5	1.87
	7x6	54.7	1.83
	6x6	55.4	1.80
8x6	8x6	55.3	1.81
	7x6	55.4	1.80
	6x6	56.3	1.78

ตารางที่ 5.1.4

ขนาดใบพัด (cm)		เวลา/100รอบ (s)	rev/s
ก	ข		
11x6	11x6	52.1	1.92
	10x6	52.5	1.90
	9x6	52.6	1.90
	8x6	51.8	1.93
	7x6	53.9	1.86
	6x6	52.8	1.89
10x6	10x6	52.9	1.89
	9x6	53.4	1.87
	8x6	54.3	1.84
	7x6	55.5	1.80
	6x6	55.8	1.79
7x6	7x6	55.6	1.80
	6x6	55.9	1.79
6x6	6x6	56.8	1.76

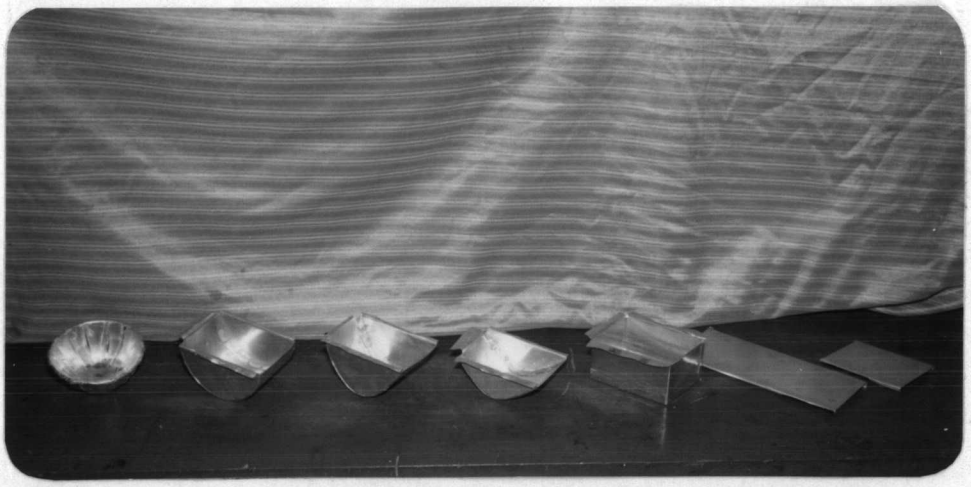
เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 5.1 มาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงกราฟเทียบค่าระหว่างขนาดของใบพัดและอัตราการหมุน

จากตารางและกราฟที่แสดงมาแล้ว สรุปได้ว่า ขนาดของใบพัดชนิดแบนราบที่ให้อัตราการหมุนสูงสุด คือ ใช้ใบพัด ก. ขนาด 16 x 6 เซนติเมตร^2 (เต็มโครงใบพัด) และใบพัด ข. ขนาด 8 x 6 เซนติเมตร^2 (ครึ่งโครงใบพัด)

ดังนั้นจึงให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่จะรับลมของใบพัดชนิดอื่นๆมีขนาด 8 x 6 เซนติเมตร^2 ด้วย ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ภาพถ่ายใบพัดชนิดต่างๆ

5.2.2 <u>กังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดต่างๆ</u>

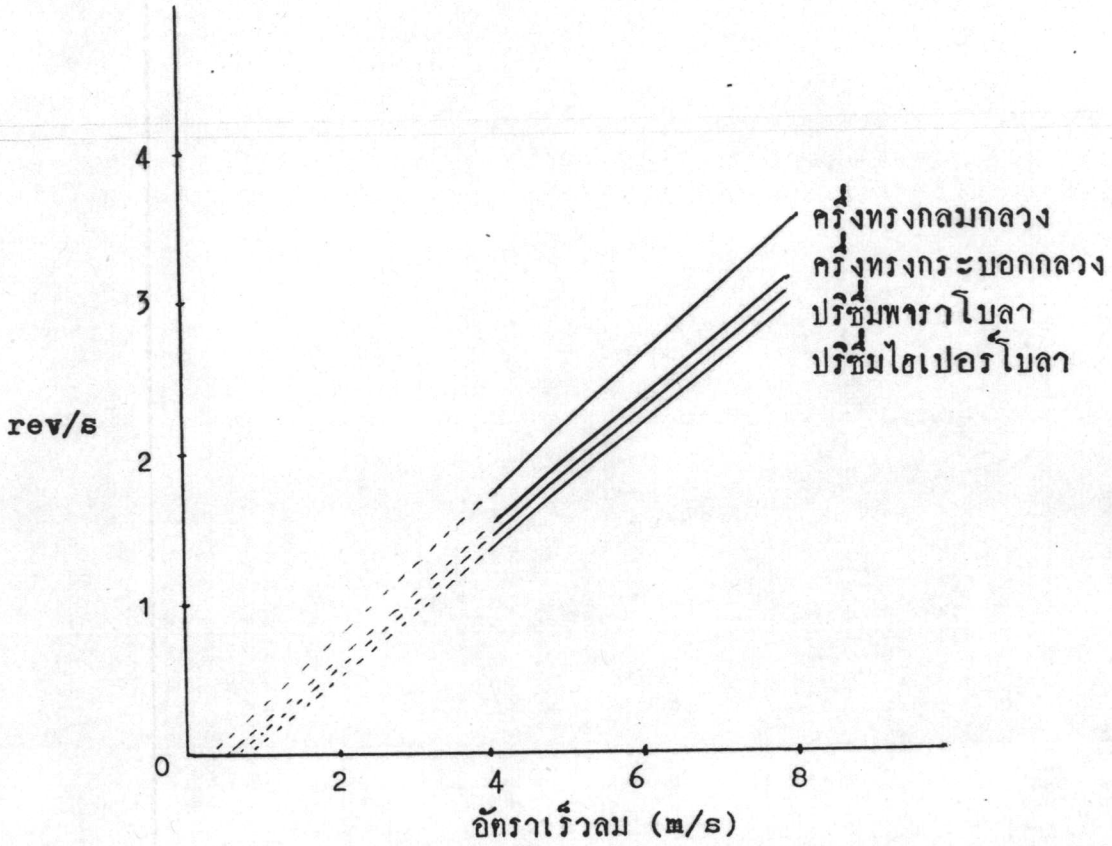
การทดลองเพื่อหาอัตราการหมุนของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดต่างๆ จะทดลองทั้งในกรณีที่มีโครงก ะบังลม และ ไม่มีโครงก ะบังลม ผลการทดลองพบว่า ในกรณีที่ไม่มีโครงก ะบังลม เมื่อใช้ใบพัดชนิดแบนราบ และชนิดรูปกล่องสี่เหลี่ยม กังหันลมจะหมุนไม่แน่นอน จึงไม่สามารถบันทึกค่าเพื่อนำมาเปรียบเทียบได้

ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

อัตราเร็วลม (m/s)	อัตราการหมุนของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดต่างๆ (rev/s)			
	ครึ่งทรงกลมกลวง	ครึ่งทรงกระบอกกลวง	ปริซึมพาราโบลา	ปริซึมไฮเปอร์โบลา
4.0	1.70	1.48	1.43	1.39
4.5	1.90	1.66	1.60	1.55
4.8	2.05	1.81	1.79	1.72
5.2	2.24	1.95	1.93	1.86
5.6	2.40	2.13	2.07	2.02
6.0	2.59	2.30	2.24	2.15
6.3	2.70	2.42	2.36	2.30
6.9	3.06	2.68	2.60	2.58
7.4	3.25	2.90	2.85	2.77
7.9	3.46	3.10	3.04	2.95

ตารางที่ 5.2 แสดงอัตราการหมุนของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดต่างๆและไม่มีโครงกะบังลม

จากตารางที่ 5.2 เมื่อนำไปเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แสดงกราฟเทียบค่าระหว่างอัตราเร็วลมและอัตราการหมุนของกังหันลมเมื่อไม่มีโครงก ะบังลม

กรณีที่กังหันลมมีโครงก ะบังลมติดอยู่ด้วย ใบพัดทุกชนิดของกังหันลมจะหมุนไปทางเดียวกันตลอดเวลา และสามารถบันทึกค่าได้ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.3

กำหนดให้

ใบพัด ก. แทน ใบพัดชนิดรูปครึ่งทรงกลมกลวง

ใบพัด ข. แทน ใบพัดชนิดรูปครึ่งทรงกระบอกกลวง

ใบพัด ค. แทน ใบพัดชนิดรูปปริซึมพาราโบลา

ใบพัด ง. แทน ใบพัดชนิดรูปปริซึมไฮเปอร์โบลา

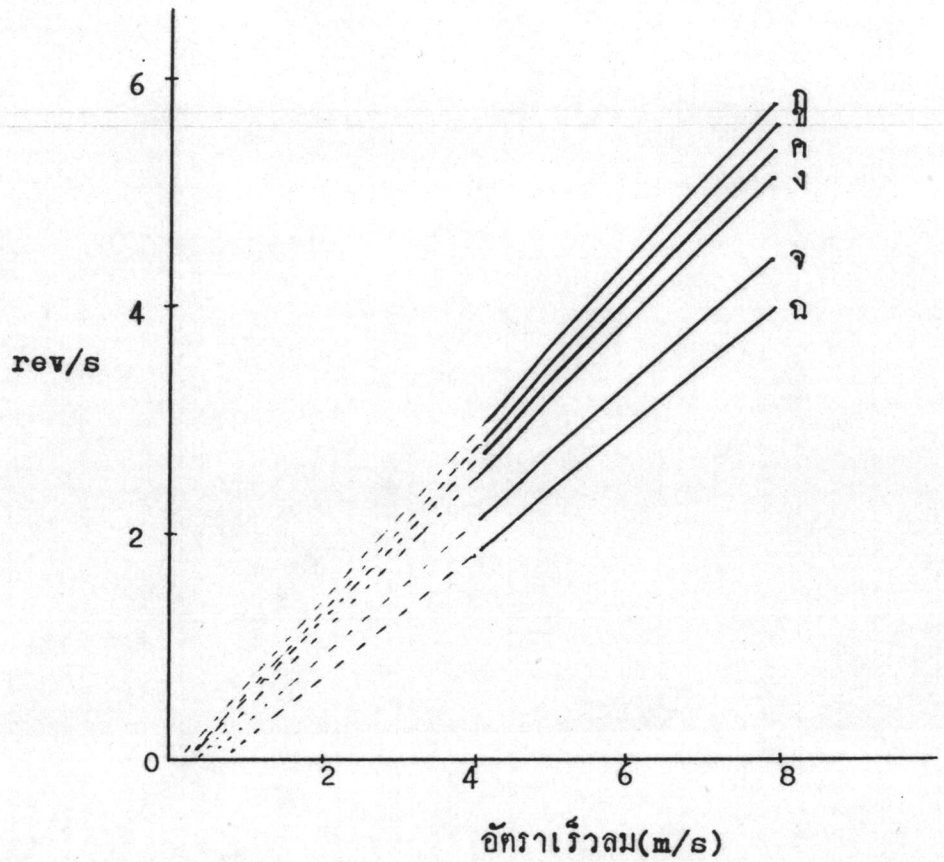
ใบพัด จ. แทน ใบพัดชนิดรูปกล่องสี่เหลี่ยม

ใบพัด ฉ. แทน ใบพัดชนิดรูปแบนราบ

อัตราเร็วลม (m/s)	อัตราการหมุนของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดต่างๆ (rev/s)					
	ใบพัด ก.	ใบพัด ข.	ใบพัด ค.	ใบพัด ง.	ใบพัด จ.	ใบพัด ฉ.
4.0	2.90	2.82	2.70	2.55	2.20	1.86
4.4	3.18	3.11	2.95	2.81	2.40	2.08
4.8	3.50	3.40	3.23	3.10	2.61	2.31
5.2	3.73	3.62	3.50	3.30	2.82	2.50
5.6	4.06	3.97	3.74	3.60	3.07	2.70
6.2	4.54	4.40	4.20	4.00	3.41	3.07
6.7	4.85	4.81	4.57	4.37	3.70	3.34
7.3	5.35	5.21	4.95	4.74	4.03	3.66
7.4	5.40	5.35	5.05	4.83	4.10	3.74
7.9	5.78	5.65	5.40	5.15	4.40	3.98

ตารางที่ 5.3 แสดงอัตราการหมุนของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดต่างๆและมีโครงกะบังลม

จากตารางที่ 5.3 เมื่อนำไปเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 5.9



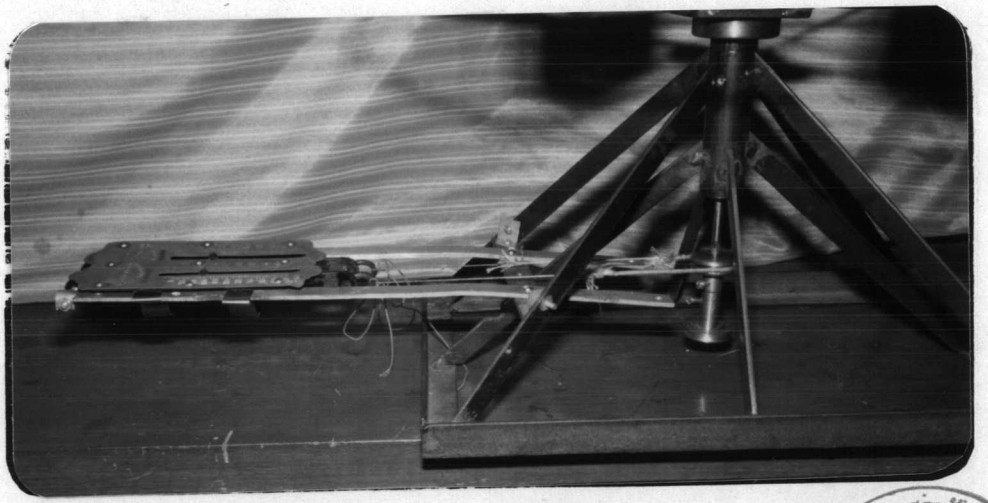
รูปที่ 5.9 แสดงกราฟเทียบค่าระหว่างอัตราเร็วลมและ
อัตราการหมุนของกังหันลมเมื่อมีโครงก ะบังลม

จากตารางและกราฟดังกล่าวมาแล้ว จึงสรุปได้ว่า ไม่ว่าจะมีโครงก ะบังลม หรือไม่ก็ตาม กังหันลมที่ใช้ใบพัดชนิดรูปครึ่งทรงกลมกลวง ให้อัตราการหมุนสูงสุด รองลงมาคือ ใบพัดชนิดรูปครึ่งทรงกระบอกกลวง

5.3 การวัดกำลังงาน

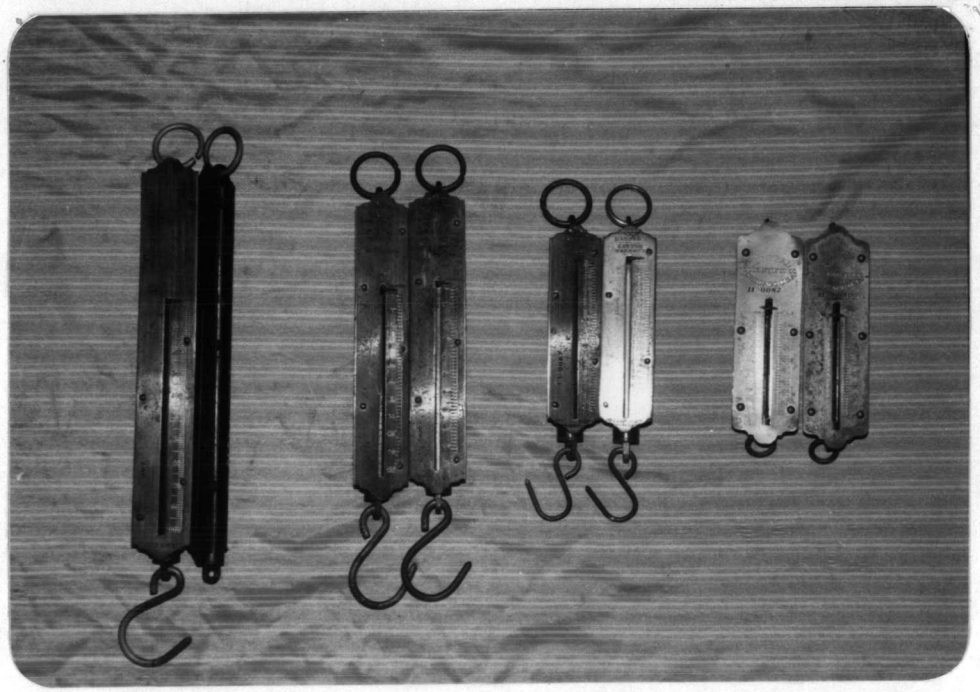
อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่ากำลังงานที่ได้จากกังหันลมที่อัตราเร็วลมต่างๆ คือ โพรนี เบรค ซึ่งประกอบด้วยเครื่องชั่งสปริง และรอกสายพานขนาดเล็กติดกับเพลาหมุนของใบพัด เพื่อให้เส้นเชือกคล้องผ่าน รอกสายพานที่ใช้นี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.20 เซนติเมตร และเครื่องชั่งสปริงที่ใช้มี 4 ขนาด คือ 0–2.50,0–5.00,0–10.00 และ 0–20.00 นิวตัน

ลักษณะของโพรนี เบรค และเครื่องชั่งสปริง แสดงได้ดังรูปที่ 5.10 และ 5.11



รูปที่ 5.10 ภาพถ่ายโพรนี เบรค

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลัย



รูปที่ 5.11 ภาพถ่ายเครื่องชั่งสปริงขนาดต่างๆ

เมื่อนำโพรนี เบรค และเครื่องมือวัดอัตราการหมุน ประกอบเข้ากับกังหันลมดังแสดงในรูป 5.12 แล้ว ก็สามารถนำเข้าอุโมงค์ลมเพื่อวัดค่ากำลังงานที่ได้จากกังหันลม ณ อัตราเร็วลมต่างๆได้

รูปที่ 5.12 ภาพถ่ายของกังหันลมพร้อมด้วยเครื่องมือที่ใช้วัดค่า

การวิจัยครั้งนี้จะวัดกำลังงานของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดแบนราบ ชนิดรูปครึ่งทรงกระบอกกลวง และชนิดรูปครึ่งทรงกลมกลวง เมื่อมีโครงก ะบังลม และใบพัดชนิดรูปครึ่งทรงกระบอกกลวง เมื่อไม่มีโครงก ะบังลม ผลการทดลองเป็นดังนี้

5.3.1 <u>กังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดแบนราบและมีโครงก ะบังลม</u>

ผลการทดลอง กังหันลมให้ค่ากำลังงานสูงสุดของแต่ละอัตราเร็วลม ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4.1

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-2}$ (W)
4.4	0.80	1.33	7.35
	0.82	1.32	7.48
	0.86	1.27	7.55
	0.90	1.24	7.71
	0.92	1.19	7.56
	0.94	1.12	7.27
	0.98	1.07	7.25

ตารางที่ 5.4.2

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
4.8	1.04	1.56	1.12
	1.08	1.50	1.12
	1.14	1.47	1.16
	1.16	1.45	1.16
	1.18	1.42	1.16
	1.20	1.39	1.15
	1.24	1.25	1.07

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.4.3

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
5.1	1.26	1.49	1.30
	1.32	1.42	1.30
	1.36	1.39	1.31
	1.40	1.37	1.32
	1.48	1.24	1.27
	1.54	1.15	1.22
	1.58	1.05	1.15

ตารางที่ 5.4.4

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
5.6	1.44	1.66	1.65
	1.48	1.62	1.66
	1.54	1.57	1.67
	1.64	1.52	1.72
	1.70	1.40	1.65
	1.74	1.37	1.65
	1.80	1.32	1.64

ตารางที่ 5.4.5

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
6.0	1.70	1.89	2.22
	1.74	1.87	2.25
	1.80	1.82	2.26
	1.88	1.77	2.30
	1.92	1.73	2.30
	1.96	1.68	2.28
	2.02	1.63	2.28

ตารางที่ 5.4.6

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
6.8	2.14	2.42	3.31
	2.18	2.20	3.31
	2.22	2.17	3.33
	2.28	2.12	3.34
	2.30	2.07	3.29
	2.34	2.02	3.27
	2.40	1.95	3.23

ตารางที่ 5.4.7

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
7.3	2.50	2.29	3.96
	2.60	2.23	4.01
	2.70	2.22	4.14
	2.80	2.16	4.18
	2.80	2.15	4.16
	2.90	2.07	4.15
	3.00	1.99	4.12

ตารางที่ 5.4.8

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
7.8	3.20	2.21	4.89
	3.40	2.09	4.91
	3.50	2.05	4.96
	3.60	2.04	5.07
	3.60	2.00	4.98
	3.60	1.97	4.90
	3.80	1.84	4.83

ตารางที่ 5.4.9

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times 10^{-1}$ (W)
8.4	3.60	2.50	6.22
	3.80	2.42	6.35
	3.90	2.37	6.39
	4.00	2.33	6.44
	4.00	2.30	6.36
	4.10	2.23	6.32
	4.20	2.14	6.21

ตารางที่ 5.4.10

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times 10^{-1}$ (W)
8.9	3.90	2.72	7.33
	4.10	2.59	7.34
	4.20	2.54	7.37
	4.30	2.49	7.40
	4.40	2.38	7.24
	4.50	2.29	7.12
	4.60	2.23	7.09

จากข้อมูลตามตารางที่ 5.4 สามารถนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กันระ - หว่างกำลังงานที่ได้จากกังหันลม และ อัตราเร็วของลม ได้ดังนี้

ให้ P เป็น กำลังงานของกังหันลม หน่วยเป็น W

v เป็น อัตราเร็วของลม หน่วยเป็น m/s

m เป็น เลขจำนวนใดๆ

ให้ $P \propto v^m$

หรือ $P = kv^m$ (5.1)

เมื่อ k เป็น ค่าคงที่

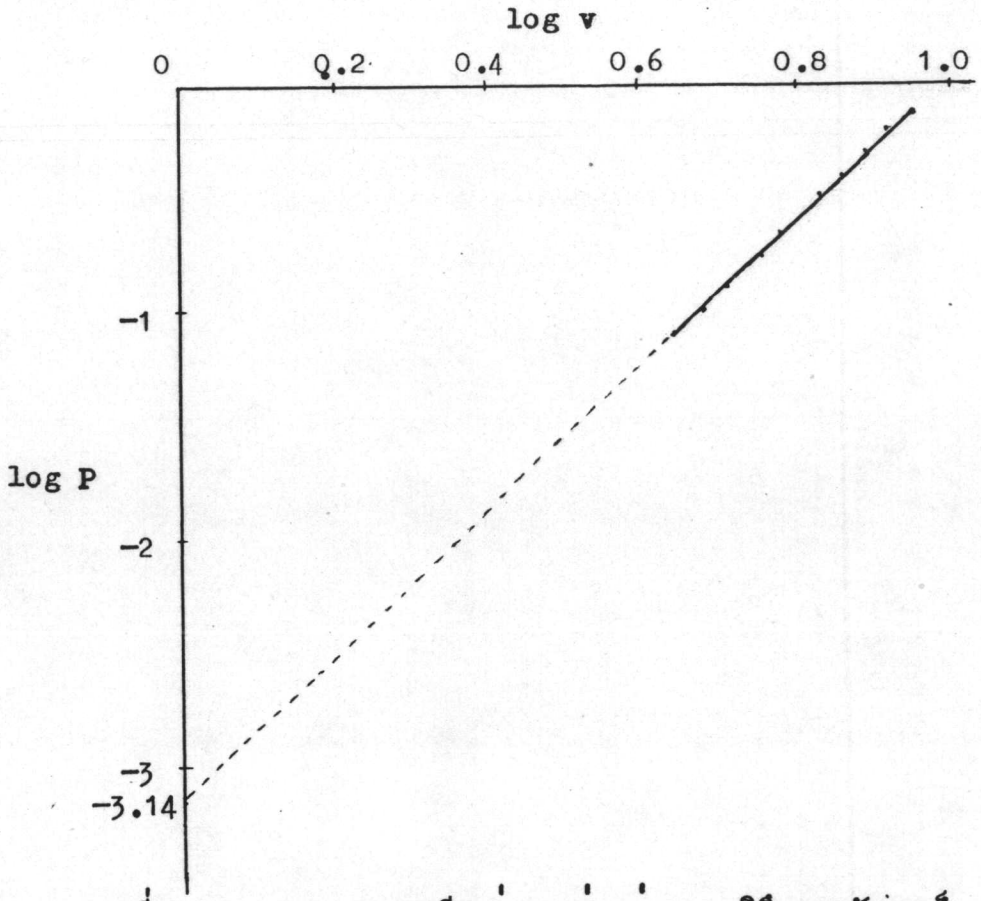
ดังนั้น $\log P = \log k + m \log v$ (5.2)

จากข้อมูลที่ได้นำไปหาค่า log v และ log P ได้ดังตารางที่ 5.5

v (m/s)	P (W)	log v	log P
4.4	0.0771	0.64	−1.11
4.8	0.116	0.68	−0.94
5.1	0.132	0.71	−0.88
5.6	0.172	0.75	−0.76
6.0	0.230	0.78	−0.64
6.8	0.334	0.83	−0.48
7.3	0.418	0.86	−0.38
7.8	0.507	0.89	−0.30
8.4	0.644	0.92	−0.19
8.9	0.740	0.95	−0.13

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าลอการิทึมของอัตราเร็วลมและกำลังงานของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดแบนราบ

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 5.5 มาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 แสดงกราฟเทียบค่าระหว่างค่าลอการิทึมของอัตราเร็วลมและกำลังงานของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดแบนราบ

<u>วิธีกำลังสองน้อยที่สุด</u> (Method of least squares)(10)

อาศัยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามารถหาเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลจากการทดลองได้ ซึ่งมีหลักดังนี้

สำหรับฟังชั่นเชิงเส้น (linear function) ซึ่งมีตัวแปร 2 ตัว สมการเส้นตรงที่เหมาะสม คือ

$$y = ax + b \qquad (5.3)$$

เมื่อ a เป็นความชัน (slope) ของเส้นตรง

b เป็น ระยะตัดบนแกน y (y-intercept)

ความบ่ายเบน (deviations or residuals) เป็นค่าผลต่างของค่า y ที่ได้จากการทดลอง และค่า y ที่ได้จากผลของค่า x ตามสมการที่ 5.3

ดังนั้น $dev = y - (ax + b)$ (5.4)

เส้นตรงที่เหมาะสมกับจุดที่มีอยู่โดยสมบูรณ์ ก็ต่อเมื่อ ค่าความบ่ายเบนทุกจุดมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งโดยทั่วๆไปแล้วเป็นไปไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้ค่าความบ่ายเบนมีค่าน้อยที่สุด โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยปกติค่าความบ่ายเบนมีทั้งค่าบวกและค่าลบ จึงยกกำลังสองค่าความบ่ายเบน ซึ่งจะได้ค่าเป็นบวกเสมอ และสามารถแสดงได้ดังนี้

$$f(a,b) = dev_1^2 + dev_2^2 + dev_3^2 + \ldots + dev_n^2$$

$$= \sum_{i=1}^{n} (dev)_i^2$$

$$f(a,b) = \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - (ax_i + b) \right]^2 \qquad (5.5)$$

เมื่อ n เป็น จำนวนจุดที่ได้จากการทดลอง

f(a,b) จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อ

$$\frac{\partial f(a,b)}{\partial a} = 0 \quad , \quad \frac{\partial f(a,b)}{\partial b} = 0 \qquad (5.6)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (5.5) ลงในสมการที่ (5.6) จะได้

$$nb + a \sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} y_i \qquad (5.7)$$

$$b \sum_{i=1}^{n} x_i + a \sum_{i=1}^{n} x_i^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \qquad (5.8)$$

อาศัยหลักของดีเทอร์มิแนนท์ (Determinants) สมการที่ (5.7) และสมการที่ (5.8) เขียนได้เป็น

$$a = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2} \qquad (5.9)$$

$$b = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i y_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2} \qquad (5.10)$$

จากข้อมูลตารางที่ 5.5 จะได้

$$m = 3.2$$

และ $$\log k = -3.14$$

ดังนั้น $$k = 7.31 \times 10^{-4}$$

ความสัมพันธ์ของกำลังงานของกังหันลม และ อัตราเร็วลม จึงเป็น

$$P = (7.31 \times 10^{-4})\, v^{3.2} \qquad (5.11)$$

5.3.2 <u>กังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดรูปครึ่งทรงกระบอกกลวงและมีโครงก ะบังลม</u>

ผลการทดลอง กังหันลมให้ค่ากำลังงานสูงสุด ในแต่ละอัตราเร็วลม ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6.1

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
4.0	0.86	2.38	1.41
	0.94	2.28	1.48
	1.00	2.22	1.53
	1.08	2.17	1.62
	1.10	2.12	1.61
	1.10	2.07	1.57
	1.12	2.02	1.56

ตารางที่ 5.6.2

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
4.4	1.80	1.74	2.16
	1.90	1.64	2.15
	1.98	1.61	2.20
	2.06	1.55	2.21
	2.10	1.49	2.16
	2.16	1.42	2.12
	2.20	1.38	2.10

ตารางที่ 5.6.3

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
4.8	2.16	1.98	2.96
	2.22	1.94	2.98
	2.30	1.89	3.00
	2.40	1.83	3.03
	2.46	1.77	3.01
	2.54	1.71	3.00
	2.64	1.64	2.99

ตารางที่ 5.6.4

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
5.1	2.30	2.04	3.24
	2.40	2.03	3.37
	2.50	1.99	3.44
	2.60	1.96	3.52
	2.70	1.89	3.53
	2.80	1.81	3.50
	2.90	1.73	3.47

ตารางที่ 5.6.5

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
5.6	2.90	2.33	4.67
	3.00	2.30	4.77
	3.10	2.26	4.84
	3.20	2.19	4.84
	3.30	2.12	4.83
	3.30	2.09	4.77
	3.30	2.07	4.72

ตารางที่ 5.6.6

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
6.2	3.60	2.47	6.14
	3.80	2.40	6.30
	4.00	2.35	6.50
	4.20	2.27	6.59
	4.30	2.16	6.42
	4.40	2.04	6.20
	4.50	1.92	5.97

ตารางที่ 5.6.7

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
6.9	4.30	3.11	9.24
	4.40	3.04	9.24
	4.50	2.98	9.27
	4.60	2.94	9.34
	4.70	2.87	9.32
	4.80	2.80	9.29
	4.90	2.73	9.24

ตารางที่ 5.6.8

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power (W)
7.3	5.00	3.30	1.14
	5.10	3.26	1.15
	5.20	3.22	1.16
	5.30	3.16	1.16
	5.40	3.06	1.14
	5.50	2.97	1.13
	5.60	2.89	1.12

ตารางที่ 5.6.9

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power (W)
7.8	6.00	3.05	1.26
	6.20	2.96	1.27
	6.50	2.84	1.28
	7.00	2.74	1.32
	7.50	2.65	1.37
	7.50	2.51	1.30
	7.80	2.25	1.21

ตารางที่ 5.6.10

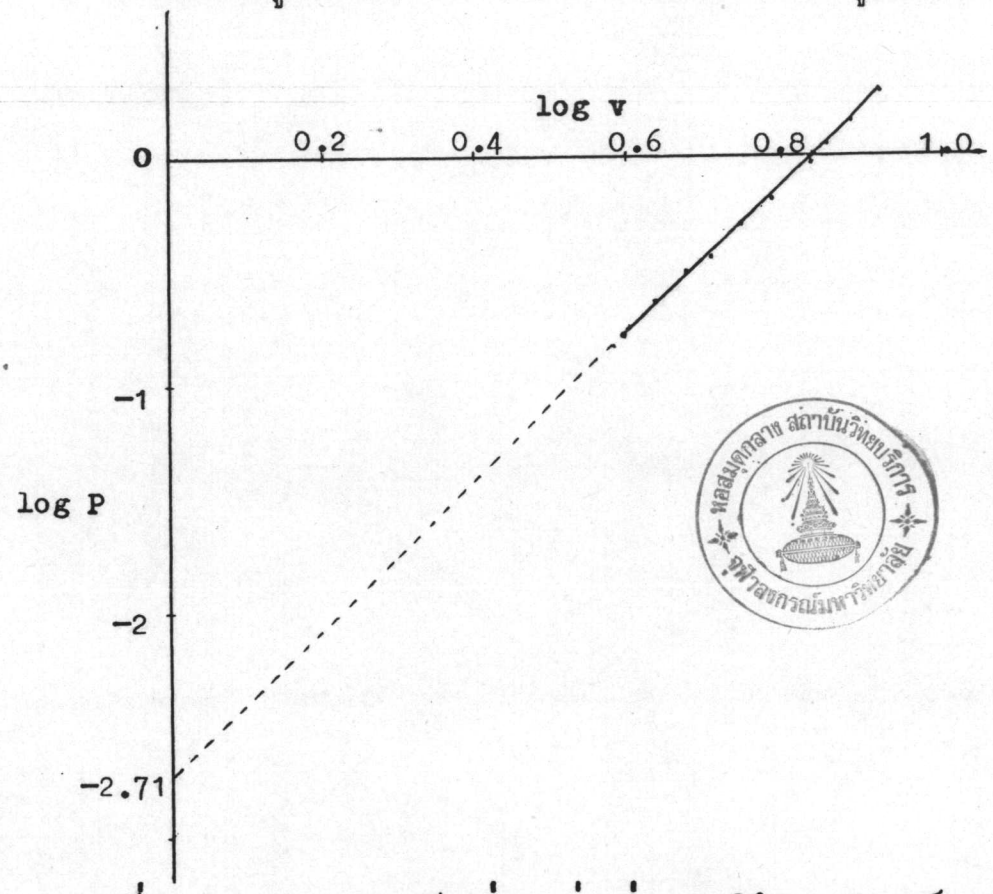
v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power (W)
8.5	7.00	3.56	1.72
	7.20	3.46	1.72
	7.50	3.38	1.75
	8.00	3.26	1.80
	8.20	3.15	1.78
	8.50	3.03	1.78
	8.50	2.82	1.66

จากข้อมูลที่ได้ นำไปหาค่า log v และ log P ได้ดังตารางที่ 5.7

v (m/s)	P (W)	log v	log P
4.0	0.162	0.60	−0.79
4.4	0.221	0.64	−0.66
4.8	0.303	0.68	−0.52
5.1	0.353	0.71	−0.45
5.6	0.484	0.75	−0.32
6.2	0.659	0.79	−0.18
6.9	0.934	0.84	−0.04
7.3	1.16	0.86	0.06
7.8	1.37	0.89	0.14
8.5	1.80	0.93	0.26

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าลอการิทึมของอัตราเร็วลมและกำลังงาน
ของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดครึ่งทรงกระบอกกลวง

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 5.7 มาเขียนกราฟ ได้ดังรูปที่ 5.14



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.14 แสดงกราฟเทียบค่าระหว่างค่าลอการิทึมของอัตราเร็วลมและกำลังงานของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดครึ่งทรงกระบอกกลวง

เมื่อปรับเส้นกราฟโดยอาศัยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จะได้

$$m = 3.2$$

และ $$\log k = -2.71$$

ดังนั้น $$k = 1.94 \times 10^{-3}$$

ความสัมพันธ์ของกำลังงานของกังหันลม และ อัตราเร็วลม จึงเป็น

$$P = (1.94 \times 10^{-3})\, v^{3.2} \qquad (5.12)$$

5.3.3 <u>กังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดรูปครึ่งทรงกลมกลวงและมีโครงก ะบังลม</u>

ผลการทดลอง กังหันลมให้ค่ากำลังงานสูงสุด ในแต่ละอัตราเร็วลม ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8.1

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
4.4	1.40	1.71	1.65
	1.44	1.66	1.65
	1.52	1.60	1.68
	1.62	1.56	1.75
	1.70	1.47	1.73
	1.80	1.38	1.72
	1.90	1.31	1.72

ตารางที่ 5.8.2

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
4.5	1.80	1.71	2.13
	1.84	1.68	2.14
	1.90	1.63	2.14
	1.96	1.59	2.15
	2.00	1.55	2.14
	2.04	1.52	2.14
	2.04	1.46	2.06

ตารางที่ 5.8.3

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
5.1	2.30	1.82	2.89
	2.40	1.75	2.90
	2.50	1.69	2.92
	2.60	1.64	2.95
	2.70	1.56	2.91
	2.80	1.47	2.84
	2.90	1.38	2.76

ตารางที่ 5.8.4

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
5.3	2.44	1.89	3.19
	2.50	1.85	3.20
	2.60	1.81	3.25
	2.70	1.75	3.26
	2.80	1.68	3.25
	2.84	1.64	3.22
	2.90	1.58	3.17

ตารางที่ 5.8.5

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
5.8	2.90	2.07	4.15
	2.96	2.03	4.15
	3.00	2.00	4.15
	3.10	1.97	4.22
	3.10	1.92	4.11
	3.14	1.87	4.06
	3.20	1.83	4.05

ตารางที่ 5.8.6

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
6.3	3.40	2.41	5.66
	3.60	2.32	5.77
	3.80	2.21	5.80
	4.00	2.11	5.83
	4.10	2.04	5.78
	4.20	1.97	5.72
	4.40	1.86	5.66

ตารางที่ 5.8.7

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
6.7	4.04	2.60	7.26
	4.14	2.55	7.29
	4.30	2.49	7.40
	4.54	2.38	7.47
	4.70	2.28	7.40
	4.86	2.18	7.32
	4.96	2.10	7.20

ตารางที่ 5.8.8

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power (W)
7.5	5.30	2.85	1.04
	5.50	2.75	1.04
	5.70	2.67	1.04
	6.00	2.58	1.07
	6.00	2.49	1.03
	6.20	2.40	1.03
	6.50	2.28	1.02

ตารางที่ 5.8.9

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power (W)
7.9	5.80	3.12	1.25
	6.20	2.94	1.26
	6.50	2.82	1.27
	6.80	2.70	1.27
	7.20	2.51	1.25
	7.80	2.26	1.22
	8.00	2.05	1.13

ตารางที่ 5.8.10

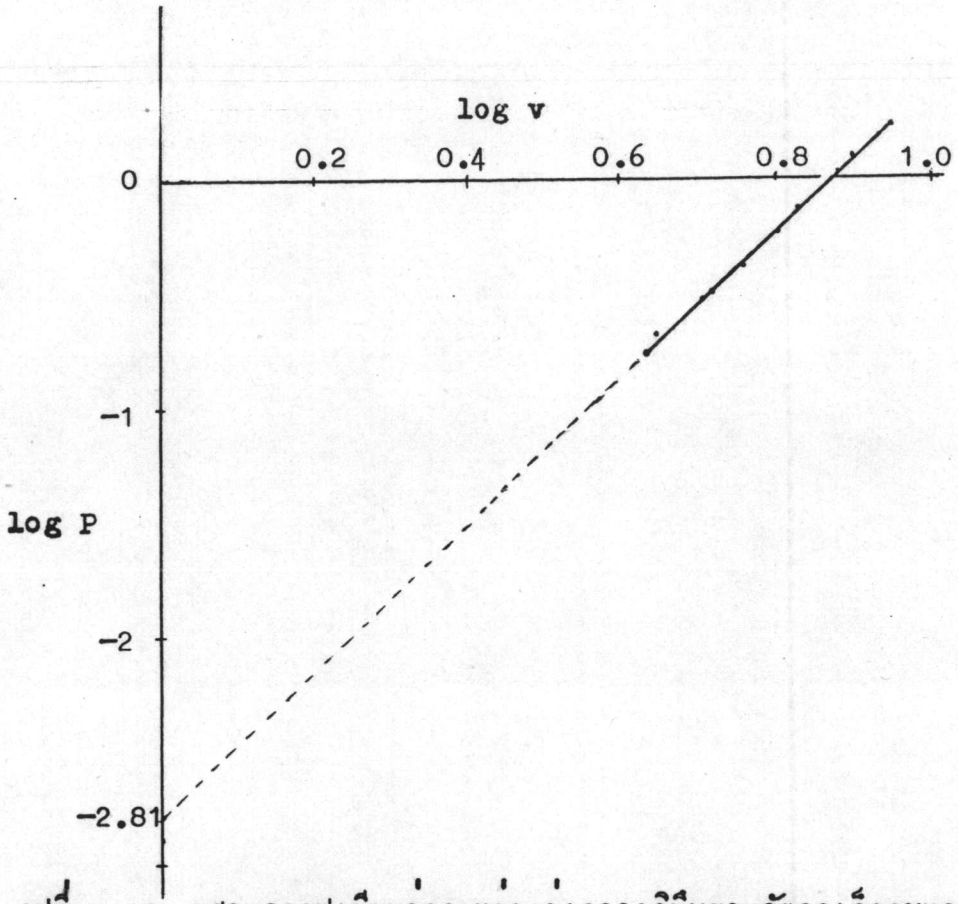
v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power (W)
8.9	7.20	3.38	1.68
	7.50	3.26	1.69
	7.80	3.13	1.69
	8.20	3.00	1.70
	8.50	2.85	1.67
	9.00	2.51	1.56
	9.50	2.21	1.45

จากข้อมูลที่ได้ นำไปหาค่า log v และ log P ได้ดังตารางที่ 5.9

v (m/s)	P (W)	log v	log P
4.4	0.175	0.64	−0.76
4.5	0.215	0.65	−0.67
5.1	0.295	0.71	−0.53
5.3	0.326	0.72	−0.49
5.8	0.422	0.76	−0.37
6.3	0.583	0.80	−0.23
6.7	0.747	0.83	−0.13
7.5	1.07	0.88	0.03
7.9	1.27	0.90	0.10
8.9	1.70	0.95	0.23

ตารางที่ 5.9 แสดงค่าลอการิทึมของอัตราเร็วลมและกำลังงาน
ของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดครึ่งทรงกลมกลวง

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 5.9 มาเขียนกราฟ ได้ดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 แสดงกราฟเทียบค่าระหว่างค่าลอการิทึมของอัตราเร็วลมและกำลังงานของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดครึ่งทรงกลมกลวง

เมื่อปรับเส้นกราฟโดยอาศัยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จะได้

$$m = 3.2$$

และ $$\log k = -2.81$$

ดังนั้น $$k = 1.56 \times 10^{-3}$$

ความสัมพันธ์ของกำลังงานของกังหันลม และ อัตราเร็วลม จึงเป็น

$$P = (1.56 \times 10^{-3})\ v^{3.2} \qquad (5.13)$$

5.3.4 <u>กังหันลมเมื่อใช้ใบพัดรูปครึ่งทรงกระบอกกลวงและไม่มีโครงกะบังลม</u>

ผลการทดลอง กังหันลมให้ค่ากำลังงานสูงสุด ในแต่ละอัตราเร็วลม ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10.1

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-2}$(W)
4.5	0.90	1.09	6.78
	0.92	1.07	6.80
	0.96	1.05	6.96
	1.02	1.00	7.05
	1.02	0.99	6.98
	1.04	0.93	6.68
	1.10	0.87	6.61

ตารางที่ 5.10.2

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-2}$(W)
4.8	1.20	1.08	8.96
	1.26	1.03	8.97
	1.30	1.01	9.07
	1.34	0.98	9.07
	1.36	0.97	9.12
	1.40	0.93	9.00
	1.48	0.84	8.59

ตารางที่ 5.10.3

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$(W)
5.2	1.30	1.13	1.02
	1.40	1.08	1.04
	1.52	1.03	1.08
	1.56	1.01	1.09
	1.60	0.97	1.07
	1.62	0.95	1.06
	1.66	0.89	1.02

ตารางที่ 5.10.4

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$(W)
5.6	1.60	1.21	1.34
	1.66	1.18	1.35
	1.70	1.18	1.39
	1.76	1.16	1.41
	1.80	1.11	1.38
	1.84	1.07	1.36
	1.90	1.03	1.35

ตารางที่ 5.10.5

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
6.0	1.96	1.31	1.77
	2.04	1.27	1.79
	2.10	1.24	1.80
	2.20	1.22	1.85
	2.22	1.20	1.84
	2.24	1.18	1.83
	2.30	1.15	1.83

ตารางที่ 5.10.6

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
6.3	2.04	1.38	1.94
	2.10	1.35	1.96
	2.18	1.32	1.99
	2.26	1.28	2.00
	2.28	1.25	1.97
	2.32	1.22	1.96
	2.40	1.16	1.92

ตารางที่ 5.10.7

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
6.9	2.60	1.47	2.64
	2.70	1.46	2.72
	2.80	1.41	2.73
	2.90	1.39	2.79
	2.90	1.35	2.71
	3.00	1.27	2.63
	3.00	1.24	2.57

ตารางที่ 5.10.8

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times10^{-1}$ (W)
7.5	3.00	1.61	3.34
	3.10	1.56	3.34
	3.20	1.54	3.40
	3.30	1.52	3.47
	3.30	1.49	3.40
	3.40	1.43	3.36
	3.40	1.40	3.29

ตารางที่ 5.10.9

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times 10^{-1}$ (W)
7.9	3.30	1.75	3.99
	3.40	1.71	4.02
	3.50	1.67	4.04
	3.60	1.65	4.10
	3.70	1.59	4.06
	3.80	1.52	3.99
	3.90	1.48	3.99

ตารางที่ 5.10.10

v (m/s)	F_1-F_2 (N)	rev/s	Power $\times 10^{-1}$ (W)
8.6	4.20	1.89	5.48
	4.30	1.86	5.53
	4.40	1.82	5.53
	4.50	1.80	5.60
	4.60	1.75	5.56
	4.70	1.70	5.52
	4.80	1.65	5.47

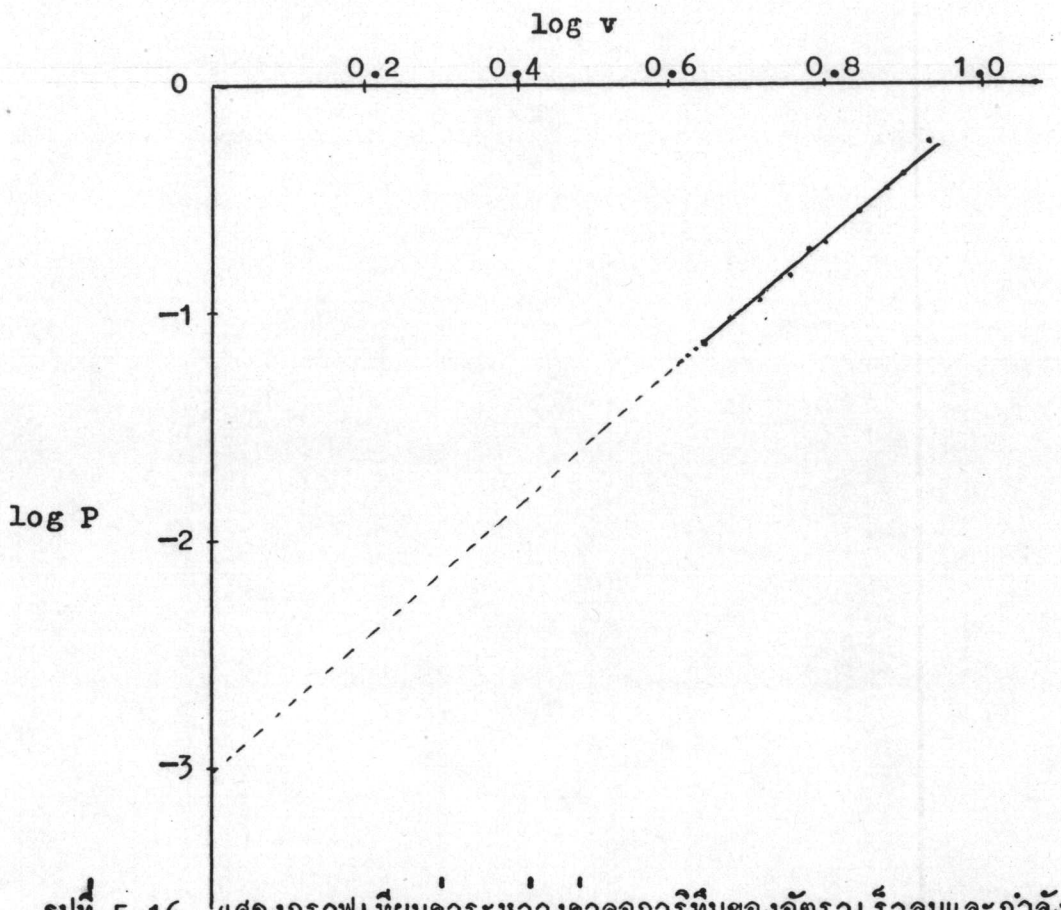
จากข้อมูลที่ได้ นำไปหาค่า log v และ log P ได้ดังตารางที่ 5.11

v (m/s)	P (W)	log v	log P
4.5	0.0705	0.65	−1.15
4.8	0.0912	0.68	−1.04
5.2	0.109	0.72	−0.96
5.6	0.141	0.75	−0.85
6.0	0.185	0.78	−0.73
6.3	0.200	0.80	−0.70
6.9	0.279	0.84	−0.55
7.5	0.347	0.88	−0.46
7.9	0.410	0.90	−0.39
8.6	0.560	0.93	−0.25

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.11 แสดงค่าลอการิทึมของอัตราเร็วลมและกำลังงานของกังหันลม เมื่อใช้ใบพัดชนิดครึ่งทรงกระบอกกลวงไม่มีโครงก ะบังลม

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 5.11 มาเขียนกราฟ ได้ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 แสดงกราฟเทียบค่าระหว่างค่าลอการิทึมของอัตราเร็วลมและกำลังงานของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดครึ่งทรงกระบอกกลวงไม่มีโครงกะบังลม

เมื่อปรับเส้นกราฟโดยอาศัยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จะได้

$$m = 2.9$$

และ $$\log k = -3.02$$

ดังนั้น $$k = 9.50 \times 10^{-4}$$

ความสัมพันธ์ของกำลังงานของกังหันลม และ อัตราเร็วลม จึงเป็น

$$P = (9.50 \times 10^{-4})\, v^{2.9} \qquad (5.14)$$

จากสมการที่(2.2) ได้ว่า

กำลังงานของลม= $P_w = \frac{1}{2}\rho A v^3$

และ $\rho = 1.165 \quad kg/m^3$

$A = 19.8 \times 10^{-3} \quad m^2$

ดังนั้น $P_w = (11.5 \times 10^{-3})\, v^3$ (5.15)

นำข้อมูลที่ได้ในตารางที่ 5.4 , 5.6 , 5.8 และ 5.10 ไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงาน และ อัตราส่วนของอัตราเร็ว ของกังหันลม ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 5.12, 5.13, 5.14 และ 5.15

v (m/s)	P_w (W)	P (W)	C_p	speed ratio $\times 10^{-1}$
4.4	0.980	0.0771	0.08	2.7
4.8	1.27	0.116	0.09	2.9
5.1	1.52	0.132	0.09	2.7
5.6	2.02	0.172	0.09	2.7
6.0	2.48	0.230	0.09	3.0
6.8	3.62	0.334	0.09	3.1
7.3	4.47	0.418	0.09	3.0
7.8	5.46	0.507	0.09	2.6
8.4	6.82	0.644	0.09	2.7
8.9	8.11	0.740	0.09	2.8

ตารางที่ 5.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานและอัตราส่วนของอัตราเร็วของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดรูปแบนราบและมีโครงกะบังลม

v (m/s)	P_w (W)	P (W)	C_p	speed ratio $\times 10^{-1}$
4.0	0.736	0.162	0.22	5.5
4.4	0.980	0.221	0.23	3.4
4.8	1.27	0.303	0.24	3.8
5.1	1.52	0.353	0.23	3.7
5.6	2.02	0.484	0.24	3.9
6.2	2.74	0.659	0.24	3.7
6.9	3.78	0.934	0.25	4.2
7.3	4.47	1.16	0.26	4.4
7.8	5.46	1.37	0.25	3.5
8.5	7.06	1.80	0.25	3.9

ตารางที่ 5.13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานและอัตราส่วนของอัตราเร็วของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดรูปครึ่งทรงกระบอกกลวงและมีโครงก ะบังลม

v (m/s)	P_w (W)	P (W)	C_p	speed ratio $\times 10^{-1}$
4.4	0.980	0.175	0.18	3.6
4.5	1.05	0.215	0.20	3.5
5.1	1.52	0.295	0.19	3.2
5.3	1.71	0.326	0.19	3.4
5.8	2.24	0.422	0.19	3.4
6.3	2.88	0.583	0.20	3.3
6.7	3.46	0.747	0.22	3.6
7.5	4.85	1.07	0.22	3.5
7.9	5.67	1.27	0.22	3.4
8.9	8.11	1.70	0.21	3.4

ตารางที่ 5.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานและอัตราส่วนของอัตราเร็วของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดรูปครึ่งทรงกลมกลวงและมีโครงกะบังลม

v (m/s)	P_w (W)	P (W)	C_p	speed ratio $\times 10^{-1}$
4.5	1.05	0.0705	0.07	2.2
4.8	1.27	0.0912	0.07	2.1
5.2	1.62	0.109	0.07	1.9
5.6	2.02	0.141	0.07	2.1
6.0	2.48	0.185	0.07	2.0
6.3	2.88	0.200	0.07	2.1
6.9	3.78	0.279	0.07	2.0
7.5	4.85	0.347	0.07	2.0
7.9	5.67	0.410	0.07	2.0
8.6	7.32	0.560	0.08	2.1

ตารางที่ 5.15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานและอัตราส่วนของอัตราเร็วของกังหันลมเมื่อใช้ใบพัดชนิดรูปครึ่งทรงกระบอกกลวง ไม่มีโครงก ะบังลม