บทที่ 5

ผลการทดลองและอภิปราย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองหาค่าสมรรถนะการทำงานของกังหันลมใบอ่อนขณะไร้ภาระเพื่อศึกษาพฤติกรรมของใบอ่อนขณะหมุนและการหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบและเครื่องสูบน้ำแบบใบพาที่มาต่อกับกังหันลมทั้ง 2 ชุด ซึ่งใช้วัสดุทำแยนกังหันต่างกัน การทดสอบการต่อคู่ควบเพื่อขับเครื่องสูบน้ำด้วยความเร็วลมธรรมชาติ การอภิปราย การเปรียบเทียบผลการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

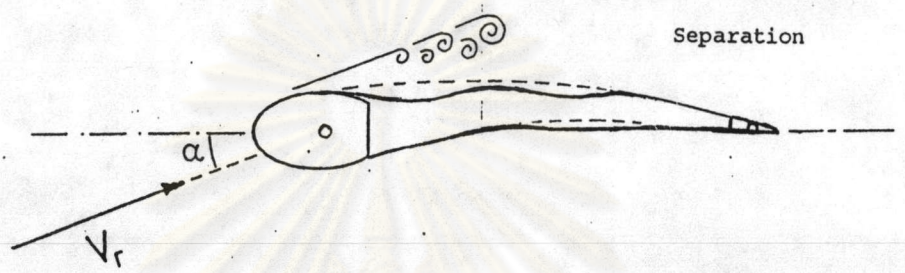
5.1 ผลการทดลอง

ผลการทดลองด้วยสภาพความเร็วลมธรรมชาติ เนื่องจากขนาดกังหันใหญ่เกินกว่าจะใส่ในอุโมงค์ลมได้และสถานที่ทดสอบจริงซึ่งเตรียมไว้ทดสอบในครั้งแรกคือ บริเวณนาเกลือ จังหวัดสมุทรสงคราม แต่เนื่องจากมีเหตุขัดข้องบางประการ จึงต้องทดสอบบนดาดฟ้า ชั้น 4 อาคาร 81 ในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือแทนในช่วงกำลังจัดสร้างกังหันลม ได้ใช้เครื่องวัดลมบันทึกความเร็วลมในแต่ละช่วงเวลาตลอดปี 2528 ซึ่งข้อมูลที่พิมพ์ความเร็วลมเฉลี่ยทุกๆ ครึ่งชั่วโมงตลอดเวลาประมาณ 20 วัน ของแต่ละเดือนแสดงให้เห็นว่าความเร็วลมเฉลี่ยค่อนข้างสูง และสม่ำเสมอจะอยู่ในช่วงเวลา 17.00-23.00 น. ระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน นอกนั้นจะมีลมแรงเป็นครั้งคราว แต่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้พอ จึงเตรียมการทดลองเป็น 2 ช่วงเวลาคือ เวลากลางวันจะเน้นศึกษาพฤติกรรมการสูญใบเมื่อใบกังหันลมเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งต่างๆ ของเส้นรอบวง และคอยศึกษาการเริ่มหมุนด้วยตัวเองของกังหันลมใบอ่อนขณะไร้ภาระ ส่วนช่วงเวลาเย็นจะเก็บข้อมูลการหมุนรอบของกังหันลมทั้งสองชุดที่ความเร็วลมเฉลี่ยต่างๆ กัน นอกเหนือเวลาที่ความเร็วลมไม่พอทดสอบจะทำการทดสอบเครื่องสูบน้ำลูกสูบแบบมือโยก และเครื่องสูบน้ำโรตารีแบบใบพา

ในการทดสอบกังหันลมขณะไร้ภาระได้เก็บข้อมูลของความเร็วลมกับความเร็วรอบของกังหันลม แสดงไว้ในรูปที่ 4-7 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าความเร็วรอบค่อนข้างต่ำ จึง

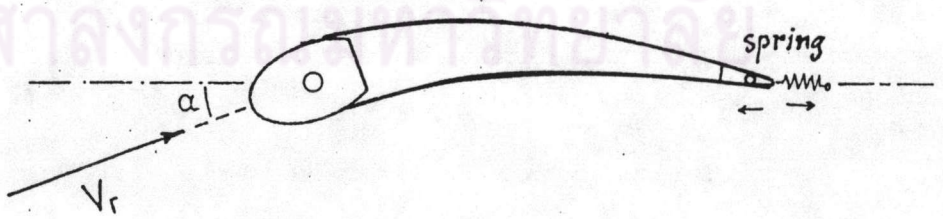
ได้มีการเฝ้าดูพฤติกรรมการลู่ของใบอ่อนเมื่อปะทะลมในตำแหน่งต่างๆ ของเส้นรอบวงว่าจะลู่เป็น camber ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

ปรากฏว่าใบกังหันมิได้ลู่ตามที่ต้องการ แต่ปีกใบอ่อนซึ่งทำด้วยผ้าใบเกิดการกระพือย่นไปมาดังแสดงในรูปที่ 5-1



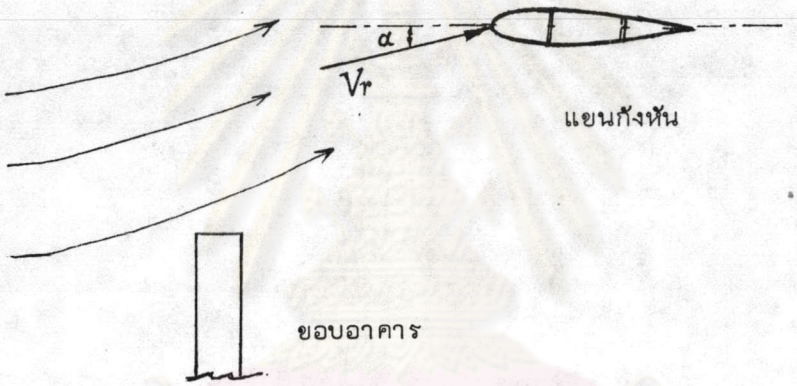
รูปที่ 5-1 การเกิด Seperation เนื่องจากการย่นไปมาของปีกใบอ่อน

ทำให้อาจเกิด seperation ขึ้นด้านหลังใบซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์ลดลงมาก ดังนั้น จึงได้มีการปรับปรุงให้ใบกังหันตึงขึ้นให้เป็นลักษณะแผ่นอากาศมากที่สุด โดยติดสปริงยึดไว้ด้านท้าย เมื่อมีการปรับปรุงการยึดใบกังหันใหม่ของกังหันลมทั้งสองชุดแล้วจึงทำการทดสอบใหม่ ปรากฏว่าได้ความเร็วรอบสูงขึ้นดังแสดงเป็นเส้นเต็มตามรูปที่



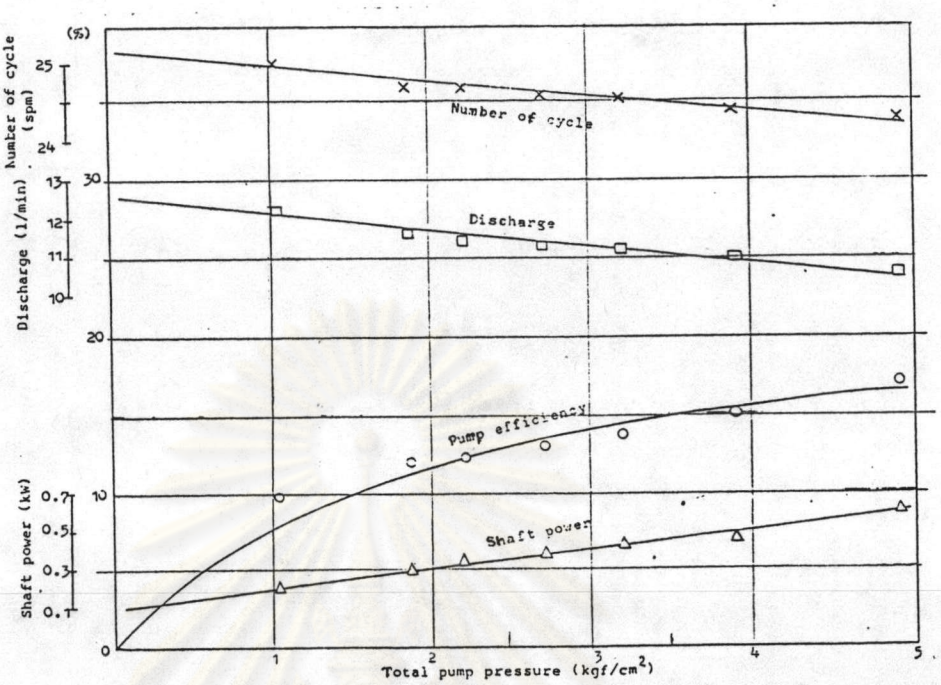
รูปที่ 5-2 การใช้สปริงดึงส่วนท้ายของปีกใบอ่อนให้เกิดเป็น Camber ตลอดเวลาทำงาน

การใช้แขนกังหันมีลักษณะ เป็นรูปแพนอากาศ เพื่อช่วยลดแรง เสียดทานในขณะหมุน อีกทั้งการติดตั้งกังหันลม เพื่อทำการทดลองนี้กระทำอยู่บนยอดตึก เมื่อลมพัดผ่านขอบตึกจะ เกิดการ เบี่ยง เบนพัดเชิดขึ้น เนื่องจากการ เกิด Seperation ที่ขอบตึก ทำให้ลมเมื่อปะทะแขนกังหัน ซึ่งติดตั้งในแนวระนาบ เกิดมุมปะทะ α ขึ้น และ เกิดแรงยกที่แขนกังหัน ซึ่งส่วนของแรงยกนี้สามารถแตกลงมาในทิศทางการหมุน เสริมให้กังหันลมหมุน เร็วขึ้น แต่ต้องระวังส่วนของแรงยกในทิศทางที่ยกแขนกังหันขึ้น ซึ่งจะ เพิ่มภาระทางโครงสร้าง จะต้องมีการออกแบบทางโครงสร้าง เผื่อไว้ มิฉะนั้นส่วนแขนกังหันลมอาจหักงอได้



รูปที่ 5-3 ภาพวาดแสดงมุมปะทะของความเร็วลมกับขอบอาคารสูง เกิดเป็นมุม α ที่แขนกังหัน

ในการทดลองเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบได้ใช้เครื่องสูบน้ำที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ 3 นิ้ว ระยะชัก 5 นิ้ว โดยเลือกแบบที่นิยมใช้ในชนบทนำมาต่อเข้ากับมอเตอร์โดยที่มีผลการทดลองจากมอเตอร์ได้แสดงไว้ ในรูปที่ 5-4

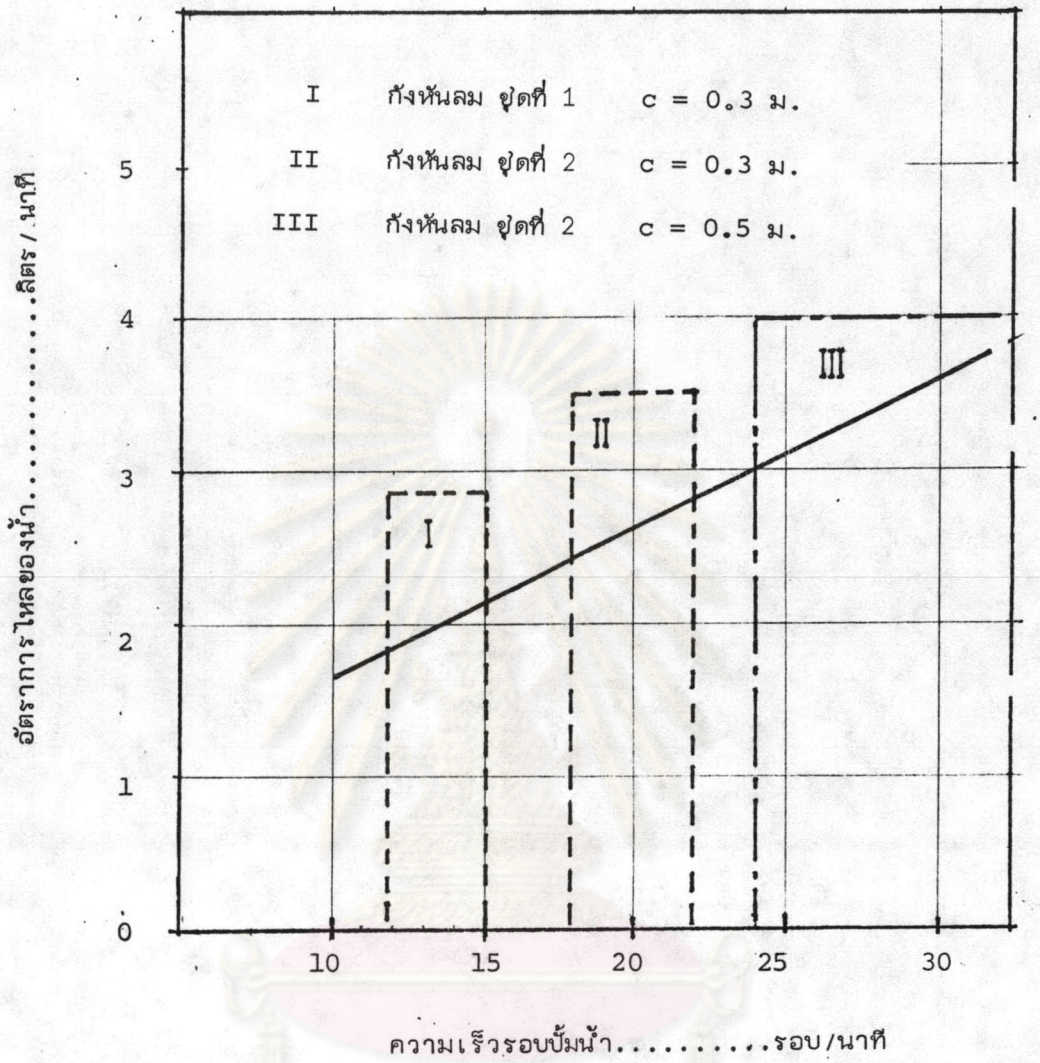


รูปที่ 5-4 สมรรถนะการทำงานของเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบที่ระยะชัก 115 มิลลิเมตร

ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณน้ำที่ไหลออกแปรตามความดันที่เครื่องสูบน้ำต้องเอาชนะ (หัวน้ำ)

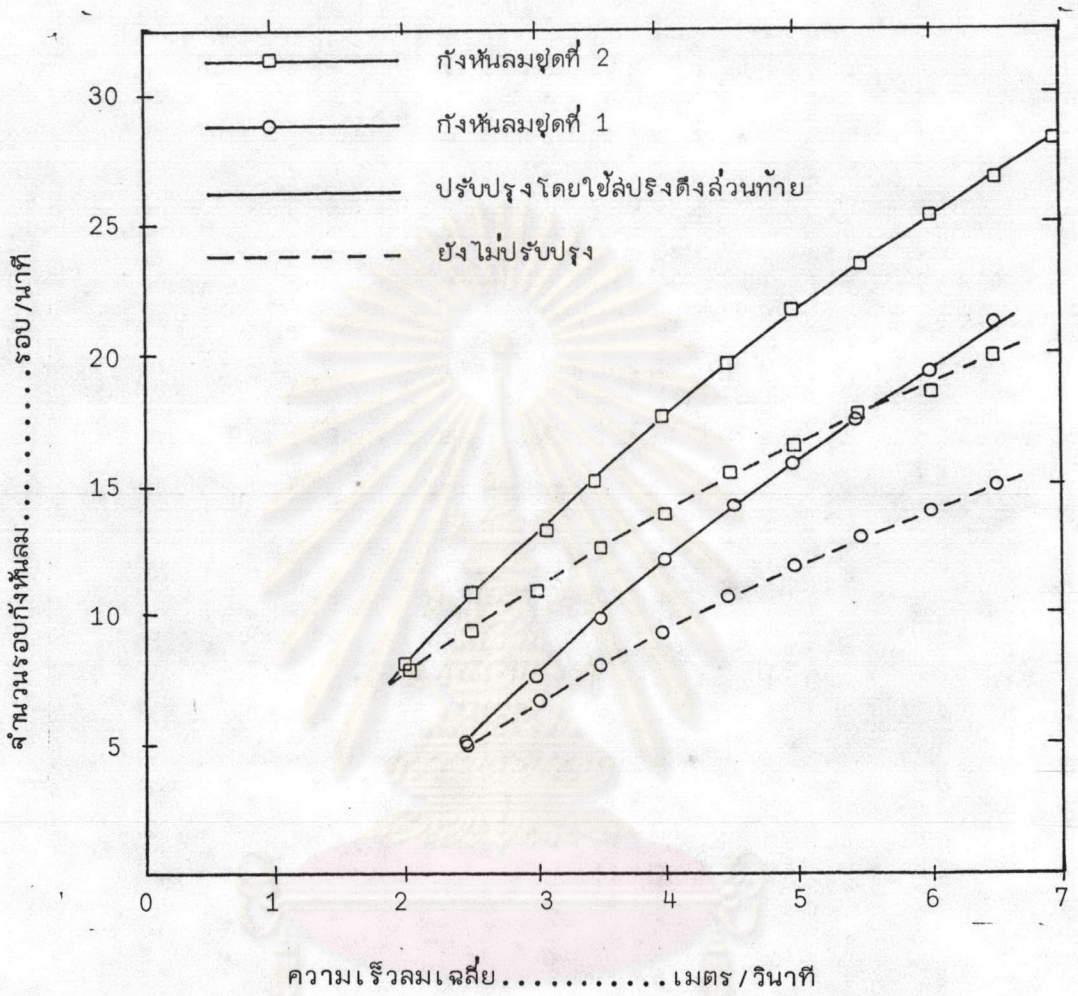
เมื่อนำเครื่องสูบน้ำชนิดนี้ไปต่อเข้ากับกังหันลมที่หมุนขณะไร้ภาระอยู่ที่ความเร็วลม 5.5 เมตรต่อวินาที และลดระยะช่วงชักเหลือ 1 นิ้ว ระยะหัวน้ำ 0.5 เมตร ปรากฏว่ากังหันลมไม่มีแรงบิดพอจะหมุนขับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วลมนี้ กังหันลมไม่สามารถสร้างแรงบิดพอเพียงให้ชนะแรงบิดเสียดทานในระบบของเครื่องสูบน้ำได้ ซึ่งก็ส่งผลให้กังหันลมและเครื่องสูบน้ำไม่ทำงาน

จึงพอสรุปได้ว่ากังหันลมใบอ่อนแกนดิ่งที่ออกแบบนี้ไม่เหมาะสมกับเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบที่เลือกมา ทางแก้ไขก็คือต้องเลือกเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบตัวใหม่ให้เล็กลง หรือเลือกกังหันลมตัวใหม่ให้ใหญ่ขึ้น และต้องทำการหาค่าสมรรถนะของทั้งกังหันลม และเครื่องสูบน้ำมาก่อนแล้วจึงเลือกให้สมนัยกัน จะเห็นได้ว่าความเร็วรอบของกังหันลมลดลงเมื่อต่อเข้ากับภาระ (เครื่องสูบน้ำ) เพราะกังหันลมต้องออกแรงบิดส่วนหนึ่งไปเอาชนะแรงเสียดทานของระบบเมื่อต่อภาระเข้าด้วยกัน



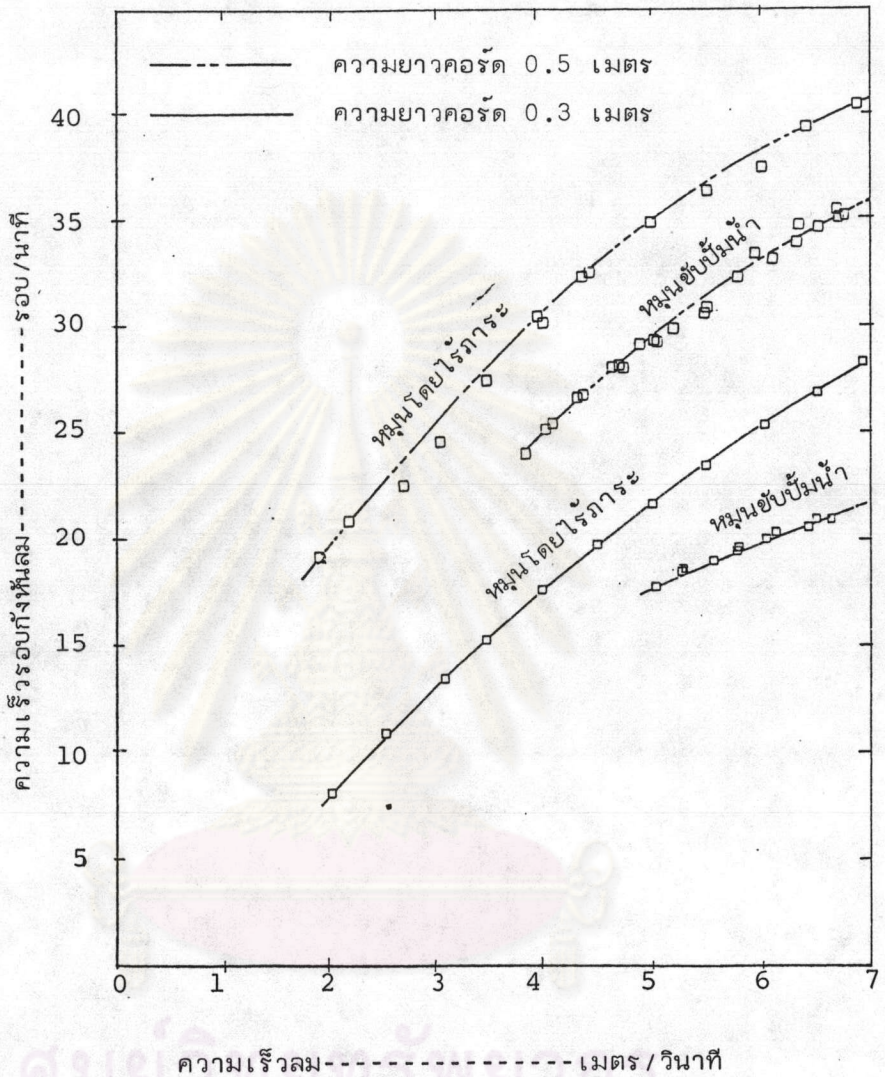
รูปที่ 5-5 อัตราการไหลของปั๊มโรตารีที่ความเร็วรอบต่างๆ

จากรูปที่ 5-5 จะเห็นได้ว่าหากมองสมรรถนะของกังหันลมในแง่ของความเร็วรอบที่สามารถขับเครื่องสูบน้ำได้นั้น กังหันลมชุดที่ 2 ซึ่งมีแขนเป็นแพนอากาศ NACA 0018 จะให้ค่าสมรรถนะสูงกว่า (ความเร็วรอบของกังหันลมซึ่งต่อตรงกับเครื่องสูบน้ำเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นด้วย) และสมรรถนะของกังหันลมก็จะดียิ่งขึ้นเมื่อเพิ่มความยาวของความกว้างของใบกังหันลมจาก 0.3 เมตรถึง 0.5 เมตร



รูปที่ 5-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความเร็วรอบของกังหันลมขณะหมุนโดยไร้ภาระ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-7 ความเร็วรอบกังหันชุดที่ 2 เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความยาวคอรัดจาก c = 0.3 เมตร เป็น c = 0.5 เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำกังหันลมมาต่อเข้ากับเครื่องสูบน้ำโรตารี่แบบใบพาแล้วนำมาทดสอบโดยให้ตัวเครื่องสูบน้ำอยู่ที่ระดับผิวน้ำ และท่อส่งสูงจากระดับน้ำ 0.5 เมตร จะได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 5-1 สำหรับกังหันลมชุดที่ 1 และทำการทดสอบอีกครั้ง โดยใช้กังหันลมชุดที่ 2 ที่ได้ปรับปรุงแขนกังหันแสดงในตารางที่ 5-2 และอีกครั้งเมื่อเปลี่ยนความกว้างใบกังหันเป็นตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-1 ผลการทดสอบกังหันลมชุดที่ 1 c = 0.3 m.

V_∞ (m/s)	N (rpm)	Q (l/min)
5	12	1.89
5.5	13.1	2.02
6.0	14.3	2.1
6.5	15.2	2.4
7.0	16.8	2.7

ตารางที่ 5-2 ผลการทดสอบกังหันลมชุดที่ 2 c = 0.3 m.

V_∞ (m/s)	N (rpm)	Q (l/min)
5	17.8	2.41
5.5	18.9	2.56
6.0	20.0	2.62
6.5	21.1	2.71
7.0	22.2	2.80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-3 ผลการทดสอบกังหันลมชุดที่ 2 c = 0.5 m.

V_∞ (m/s)	N (rpm)	Q (l/min)
4.5	25.5	3.14
5.0	26.8	3.28
5.5	28.0	3.39
6.0	29.1	3.48
6.5	30.1	3.51
7.0	31.4	3.70

กำลังงานของระบบหาได้จากกำลังงานที่เครื่องสูบน้ำทำได้

$$P_p = \gamma.H.Q.$$

โดย P_p = กำลังงานที่เครื่องสูบน้ำทำได้

γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ

H = หัวน้ำ

Q = อัตราการไหล

และเมื่อทำการปรับค่ากำลังงานของระบบออกมาเป็นเทอมไร้มิติของสัมประสิทธิ์กำลังโดยหารด้วย $\frac{1}{2}\rho AV_\infty^3$ จะได้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของทั้งระบบ $\eta.C_p$ และจากการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำที่สภาพทำงานเดียวกับตอนขับด้วยกังหันลม โดยการนำเครื่องสูบน้ำต่อเข้ากับมอเตอร์และเกียร์ทดแล้ววัดหาค่ากำลังงานขาเข้าของเครื่องสูบน้ำจากมอเตอร์ ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 5-7

ตารางที่ 5-4 สัมประสิทธิ์กำลังของระบบกังหันชุดที่ 1 c = 0.3 m.

V_∞ (m/s)	N (rpm)	$\frac{\Omega R}{V_\infty}$	$\eta . C_p$
5.0	12	0.465	3.819×10^{-4}
5.5	13.1	0.461	3.312×10^{-4}
6.0	14.3	0.462	2.453×10^{-4}
6.5	15.2	0.453	2.198×10^{-4}
7.0	16.8	0.465	1.984×10^{-4}

ตารางที่ 5-5 สัมประสิทธิ์กำลังของระบบกังหันชุดที่ 2 c = 0.3 m.

V_∞ (m/s)	N (rpm)	$\frac{\Omega R}{V_\infty}$	$\eta . C_p$
5.0	17.8	0.690	4.829×10^{-4}
5.5	18.9	0.666	4.185×10^{-4}
6.0	20.0	0.646	3.080×10^{-4}
6.5	21.1	0.629	2.479×10^{-4}
7.0	22.2	0.614	2.074×10^{-4}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-6 สัมประสิทธิ์กำลังของระบบกังหันชุดที่ 2 c = 0.5 m.

V_∞ (m/s)	N (rpm)	$\frac{\Omega R}{V_\infty}$	$\eta . C_p$
4.0	24.2	1.172	11.791×10^{-4}
4.5	25.5	1.098	8.619×10^{-4}
5.0	26.8	1.038	6.653×10^{-4}
5.5	28.0	0.986	5.554×10^{-4}
6.0	29.1	0.939	4.050×10^{-4}
6.5	30.1	0.897	3.241×10^{-4}
7.0	31.4	0.869	2.730×10^{-4}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-7 ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำที่ขับด้วยมอเตอร์

N_{rpm} (rpm)	$Q_{l/min}$ (l/min)	$\gamma.H.Q.$ (watt)	P_{input} (watt)	η_P %
12	1.89	0.155	36.19	0.43
14	2.21	0.181	42.22	0.43
16	2.35	0.992	48.25	0.40
18	2.53	0.207	54.29	0.38
20	2.47	0.202	60.32	0.33
22	2.77	0.226	66.35	0.34
24	2.86	0.233	72.38	0.32
26	3.01	0.246	78.12	0.31
28	3.21	0.262	84.13	0.31
30	3.28	0.268	88.04	0.30
32	3.51	0.287	91.56	0.31

ดังนั้นจึงสามารถหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบต่างๆ กัน แล้วจึงนำประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ η ไปหารกับ $\eta.C_p$ ของระบบได้เป็น C_p ของกังหันที่ได้จากลม

ตารางที่ 5-8 สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมชุดที่ 1 c = 0.3 m.

V_∞ (m/s)	N (rpm)	$\frac{\Omega R}{V_\infty}$	C_p
5.0	12.0	0.465	0.089
5.5	13.1	0.461	0.079
6.0	14.3	0.462	0.061
6.5	15.2	0.453	0.052
7.0	16.8	0.465	0.045

ตารางที่ 5-9 สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม ชุดที่ 2 c = 0.3 m.

V_∞ (m/s)	N (rpm)	$\frac{\Omega R}{V_\infty}$	C_p
5.0	17.8	0.690	0.132
5.5	18.9	0.666	0.119
6.0	20.0	0.646	0.086
6.5	21.1	0.625	0.071
7.0	22.2	0.614	0.060

ตารางที่ 5-10 สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม ชุดที่ 2 c = 0.5 m.

V_∞ (m/s)	N (rpm)	$\frac{\Omega R}{V_\infty}$	C_p
4.5	25.5	1.098	0.259
5.0	26.8	1.038	0.197
5.5	28.0	0.986	0.165
6.0	29.1	0.939	0.123
6.5	30.1	0.897	0.099
7.0	31.4	0.869	0.081

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย