บทที่ 3

การออกแบบใบกังหัน

รูปร่างของใบกังหันลมที่ให้ประสิทธิภาพเชิงอากาศพลศาสตร์สูงสุดนั้นสามารถหาได้โดยการหาผลเฉลย จากทฤษฎีวิเคราะห์ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2 ในบทที่ 2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการหารูปร่างของใบกังหันนี้ถูกเขียนขึ้นเพื่อหาผลเฉลยดังกล่าว รายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ถูกจัดไว้อยู่ในส่วนของภาพผนวก ก

3.1 ใบกังหันที่มีประสิทธิภาพเชิงอากาศพลศาสตร์สูงสุด

เนื่องจากกังหันลมแนวนอนชนิด 3 ใบ จะมีคุณลักษณะที่ให้สัมประสิทธิ์ของกำลังงานสูงสุด ในย่านของค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบค่อนข้างสูง ในการวิจัยนี้จึงเลือกค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบที่ใช้ในการออกแบบ เท่ากับ 6 ดังนั้นเพื่อที่จะมีความเร็วลมประมาณ 7 เมตร/วินาที จะสามารถทำให้กังหันลมหมุนด้วยความเร็วรอบประมาณ 670 รอบ/นาที ซึ่งเมื่อนำไปทดรอบ 1 : 3 ก็จะได้ความเร็วรอบประมาณ 2000 รอบ/นาที ซึ่งจะสามารถนำไปต่อเพื่อใช้ในการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้

จากการกำหนดค่าออกแบบดังกล่าว จะสามารถหาผลเฉลย ของค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดรูปร่างของใบกังหัน $(cC_L/R, \phi)$ ในแต่ละตำแหน่งที่พิจารณาบนใบกังหันได้โดยใช้คอมพิวเตอร์ ค่าดังกล่าวได้ถูกเขียนไว้ในตารางที่ 3.1

$\frac{r}{R}$	$\frac{cC_L}{R}$	ϕ (องศา)
1.0	0.000	0.00
0.95	0.039	6.18
0.90	0.050	6.66
0.85	0.056	7.17
0.80	0.061	7.69
0.75	0.066	8.26
0.70	0.071	8.88
0.65	0.076	9.56
0.60	0.082	10.32
0.55	0.088	11.22
0.50	0.096	12.28
0.45	0.105	13.55
0.40	0.115	15.07
0.35	0.128	16.98
0.30	0.142	19.37
0.25	0.159	22.71
0.20	0.177	26.53
0.15	0.191	32.00
0.10	0.190	39.34
0.05	0.143	48.87

ตารางที่ 3.1 ค่า cC_L/R, ϕ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของใบกังหันที่มีประสิทธิภาพเชิงอากาศพลศาสตร์สูงสุด ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ = 6 และสัมประสิทธิ์กำลังงาน = 0.512

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อได้ค่า cC_L/R และ ϕ ในแต่ละตำแหน่งที่พิจารณาบนใบกังหันตลอดความยาวใบแล้ว จึงกำหนดรูปภาคตัดขวาง เป็นรูปแผนอากาศลักษณะใดลักษณะหนึ่งขึ้น เพื่อจะได้ไปใช้หาข้อมูลของสัมประสิทธิ์แรงยกและมุมปะทะ เพื่อนำมากำหนดค่าความยาวคอร์ด และค่ามุมบิดของใบต่อไป

ในการวิจัยนี้ ได้เลือกใบกังหันให้มีรูปภาคตัดขวางเป็นแผนอากาศชนิด NACA 4415 รูปร่างและข้อมูลเกี่ยวกับสมรรถนะของแผนอากาศชนิดนี้ได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และ 3.2 เนื่องจากกังหันลมนี้ถูกออกแบบเพื่อทดสอบในอุโมงลมที่มีความเร็วค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงเลือกค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงหน่วง ที่ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ที่ต่ำ กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 4.2×10^4 และเลือกค่าสัมประสิทธิแรงยกเท่ากับ 1.04 และมุมปะทะ (α) เท่ากับ 8 องศา ซึ่งเป็นค่าที่ให้ค่าอัตราส่วนของสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงหน่วงสูงสุด $(C_L/C_D)_{max}$ จากการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและมุมปะทะที่ได้นี้ก็จะสามารถหาค่าอัตราส่วนความกว้างของใบ c/R และมุมบิดของใบกังหันได้ ($\phi = \beta + \alpha$) ในการออกแบบนี้ได้เลือกความยาวของใบกังหันให้สอดคล้องกับอุโมงลมที่ใช้ทดลอง ดังนั้น จึงเลือกใช้ใบกังหันที่มีความยาววัดจากดุมกลางถึงปลายใบเท่ากับ 60 เซนติเมตร จากค่าดังกล่าวจะสามารถกำหนดค่าความกว้างของใบกังหัน ค่าดังกล่าวถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

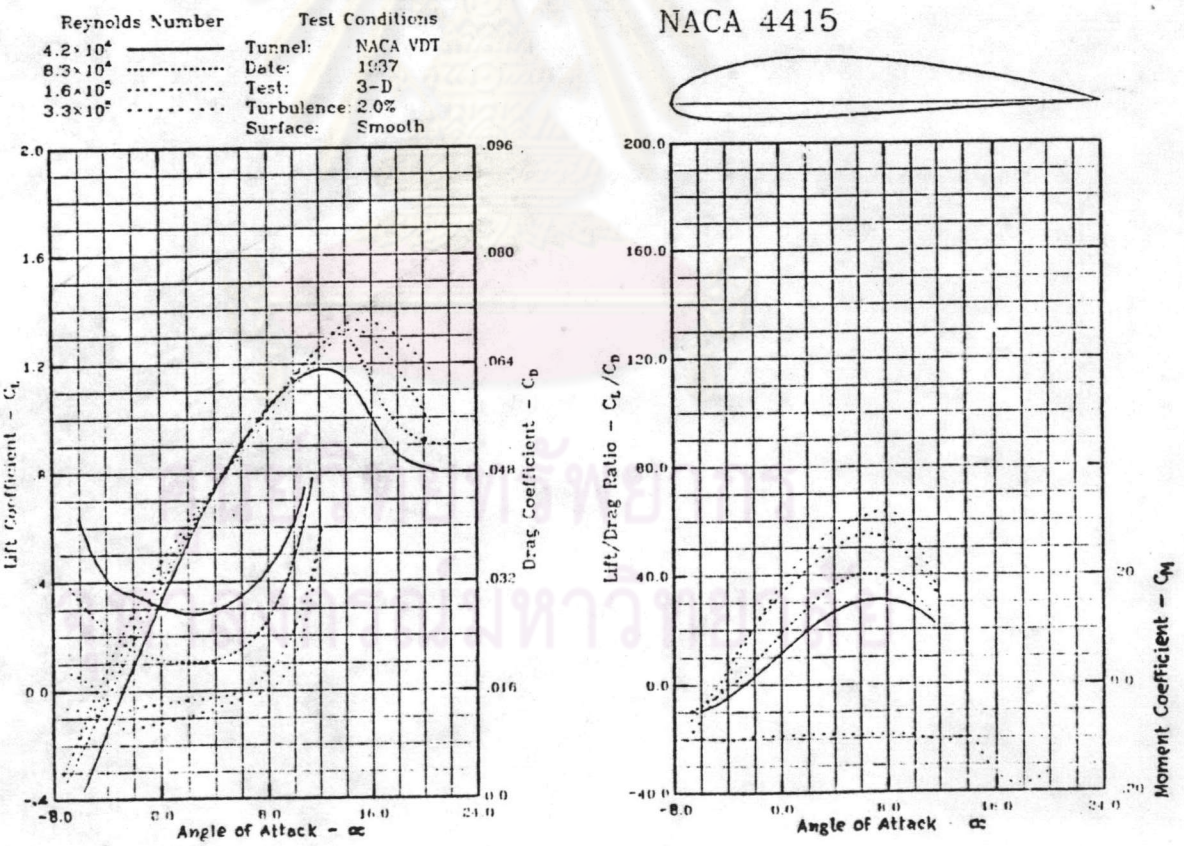
NACA 4415
Reference: (A2)
Wind Tunnel: NACA VDT
Date: 1937
Type of Test: Three-Dimensional
Wind Tunnel Turbulence: 2.0%
Airfoil Surface: Smooth
Reynolds Number: 4.2×10^{6} - 3.0×10^{6}

Reference: (A3)
Wind Tunnel: NACA LTT
Date: 1945
Type of Test: Two-Dimensional
Wind Tunnel Turbulence: 0.03%
Airfoil Surface: Smooth
Reynolds Number: 7.0×10^{5} - 3.0×10^{6}

Airfoil Surface: Rough
Reynolds Number: 7.0×10^{5} - 2.0×10^{6}

Reference: (A4)
Wind Tunnel: IAF Stuttgart #1
Date: 1962-1972
Type of Test: Two-Dimensional
Wind Tunnel Turbulence: 0.02%
Airfoil Surface: Smooth
Reynolds Number: 7.0×10^{5} - 3.0×10^{6}

รูปที่ 3.1 รูปภาคตัดขวางของใบกังหัน NACA 4415



รูปที่ 3.2 สัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงหน่วง ที่มุมปะทะต่าง ๆ สำหรับผิวของแผนอากาศเรียบ

r/R	c/R R	β (องศา)	c (เซนติเมตร)
1.0	0.000	0.00	0.00
0.95	0.037	-1.82	2.22
0.90	0.048	-1.34	2.88
0.85	0.054	-0.83	3.24
0.80	0.059	-0.31	3.54
0.75	0.064	0.26	3.84
0.70	0.068	0.88	4.08
0.65	0.073	1.56	4.38
0.60	0.079	2.32	4.74
0.55	0.085	3.22	5.10
0.50	0.092	4.28	5.52
0.45	0.101	5.55	6.06
0.40	0.111	7.07	6.66
0.35	0.123	8.98	7.38
0.30	0.137	11.37	8.22
0.25	0.153	14.71	9.18
0.20	0.170	18.53	10.20
0.15	0.184	24.00	11.04
0.10	0.183	31.34	10.98
0.05	0.138	40.87	8.28

ตารางที่ 3.2 ค่า c/R, β และค่า c ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของใบกังหันที่มีประสิทธิภาพเชิงอากาศพลศาสตร์สูงสุด ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ = 6 และสัมประสิทธิกำลังงาน = 0.512

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การสร้างแบบจำลองของใบกังหันเพื่อใช้ในการทดลอง

รูปร่างของใบกังหันและมุมบิดของใบกังหันที่ได้จากการออกแบบนี้จะเป็นใบกังหันลมในเชิงอุดมคติ โดยพิจารณาจากแง่ของอากาศพลศาสตร์อย่างเดียว แต่ในทางปฏิบัติแล้วใบกังหันที่ได้จากการวิเคราะห์นี้อาจไม่มีโครงสร้างที่แข็งแรงพอ คือ ทางโคนใบอาจจะเรียวเล็กจนไม่สามารถทนแรงหรือภาระที่เกิดขึ้นบนใบกังหันได้ ดังแสดงในไว้ในตารางที่ 3.2 ดังนั้น ในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้วอาจจะต้องยอมสูญเสียประสิทธิภาพในบางส่วน เพื่อให้ใบกังหันมีโครงสร้างที่แข็งแรงเพียงพอและในบางครั้งการที่จะสร้างใบกังหันให้ได้รูปร่างซึ่งมีมุมบิดสูงตามที่คำนวณได้นั้นอาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงจนไม่คุ้มกับประสิทธิภาพที่ได้เพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงได้ใช้วิธีการหาขนาดความกว้างของใบกังหัน และมุมบิดในแต่ละตำแหน่งตลอดความยาวใบโดยใช้วิธีประมาณเป็นเส้นตรง การประมาณค่าความกว้างของใบกังหัน และมุมบิดที่แปรผันในเชิงเส้นตรงนั้น ทำการประมาณโดยเลือกค่าที่ใช้จากตำแหน่งกึ่งกลางใบ และตำแหน่ง 90 % ของความยาวของใบที่ได้จากการออกแบบเป็นเกณฑ์

ที่ r = 0.5 R c = 5.52 ซม. β = 4.28 องศา

ที่ r = 0.9 R c = 2.88 ซม. β =-1.34 องศา

จากค่าที่กำหนดนี้ จะได้ค่าความกว้างของใบ และมุมบิดเป็นฟังก์ชั่นความยาวของใบวัดจากดุมกลาง ดังนี้

$$c = -0.11r + 0.088 \quad \text{เมตร} \qquad (3.1)$$

$$\beta = -0.234r + 11.3 \quad \text{องศา} \qquad (3.2)$$

ดังนั้น รูปร่างใบกังหันที่ได้รับการดัดแปลงโดยให้ความกว้างของใบกังหันและมุมบิดเป็นเชิงเส้น จะมีลักษณะตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

$\frac{r}{R}$	c (เซนติเมตร)	β (องศา)
1.00	2.2	-2.75
0.95	2.6	-2.05
0.90	2.9	-1.35
0.85	3.2	-0.64
0.80	3.5	0.06
0.75	3.9	0.76
0.70	4.2	1.47
0.65	4.5	2.17
0.60	4.9	2.87
0.55	5.2	3.57
0.50	5.5	4.28
0.45	5.9	4.98
0.40	6.2	5.68
0.35	6.5	6.38
0.30	6.8	7.09
0.25	7.2	7.79
0.20	7.5	8.49
0.15	7.8	9.19
0.10	8.2	9.90
0.05	8.5	10.60

ตารางที่ 3.3 ค่าความกว้างของใบกังหัน
และมุมบิดที่ดัดแปลงให้แปรผันเป็นเส้นตรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ใบกังหันที่ใช้ในการทดลอง

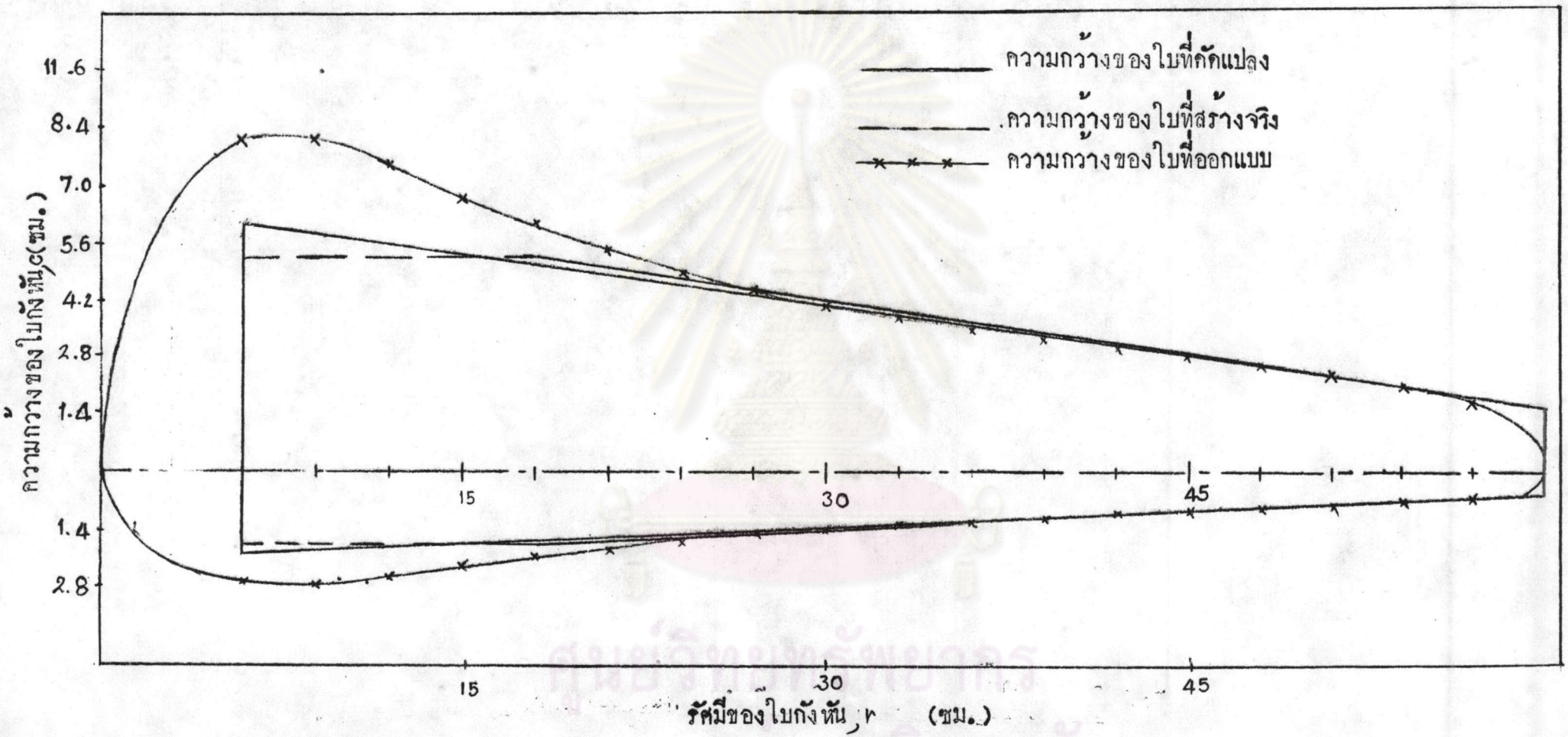
เมื่อได้ขนาดความกว้างของใบกังหัน มุมบิดของใบกังหันที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนใบกังหันตลอดความยาวใบ และขนาดความยาวของใบกังหันแล้ว จึงได้ให้ผู้ชำนาญการทางด้านสร้างใบกังหัน เป็นผู้สร้างใบกังหันตามแบบที่กำหนด โดยปกติแล้วกรรมวิธีในการสร้างใบกังหันที่มีมุมบิด และมีรูปภาคตัดขวางเช่นนี้ จะต้องใช้วิธีตัดเนื้อไม้เป็นแผ่น ๆ แล้วนำมาอัดด้วยกาว เพื่อหลาวขึ้นรูปตามแบบ ซึ่งจะให้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำแต่ค่าใช้จ่ายก็จะสูงด้วย ในการวิจัยนี้เนื่องจากใบกังหันเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง จึงหลาวตามวิธีทั่ว ๆ ไป คือ นำไม้ตะเคียนทองซึ่งได้ใช้งานมาเป็นเวลาประมาณไม่น้อยกว่า 10 ปี ซึ่งถือว่าแห้งดีแล้วมาวาดรูปภาคตัดขวางของส่วนโคนใบ และส่วนปลายใบลงบนปลายไม้ทั้งสองด้านแล้วจึงหลาวตามนั้น จึงทำให้ผลที่ได้จากการหลาวของใบกังหัน มีรูปร่างของใบกังหันผิดไปจากแบบที่กำหนดไว้อยู่บ้างเล็กน้อย โดยมีขนาดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4 และรูปร่างขนาดความกว้างและมุมบิดของใบกังหันได้แสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ ซึ่งเป็นใบกังหันแนวนอนชนิด 3 ใบ ที่นำไปใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\frac{r}{R}$	c (เซนติเมตร)	β (องศา)
1.00	2.1	0.00
0.95	2.6	0.75
0.90	2.9	1.53
0.85	3.3	2.50
0.80	3.5	2.90
0.75	3.9	3.60
0.70	4.1	4.30
0.65	4.5	4.90
0.60	5.1	5.70
0.55	5.3	6.50
0.50	5.6	7.20
0.45	6.0	7.90
0.40	6.4	8.60
0.35	6.7	9.40
0.30	7.1	10.00
0.25	7.1	10.80
0.20	7.1	11.50
0.15	7.1	11.50
0.10	7.1	11.50

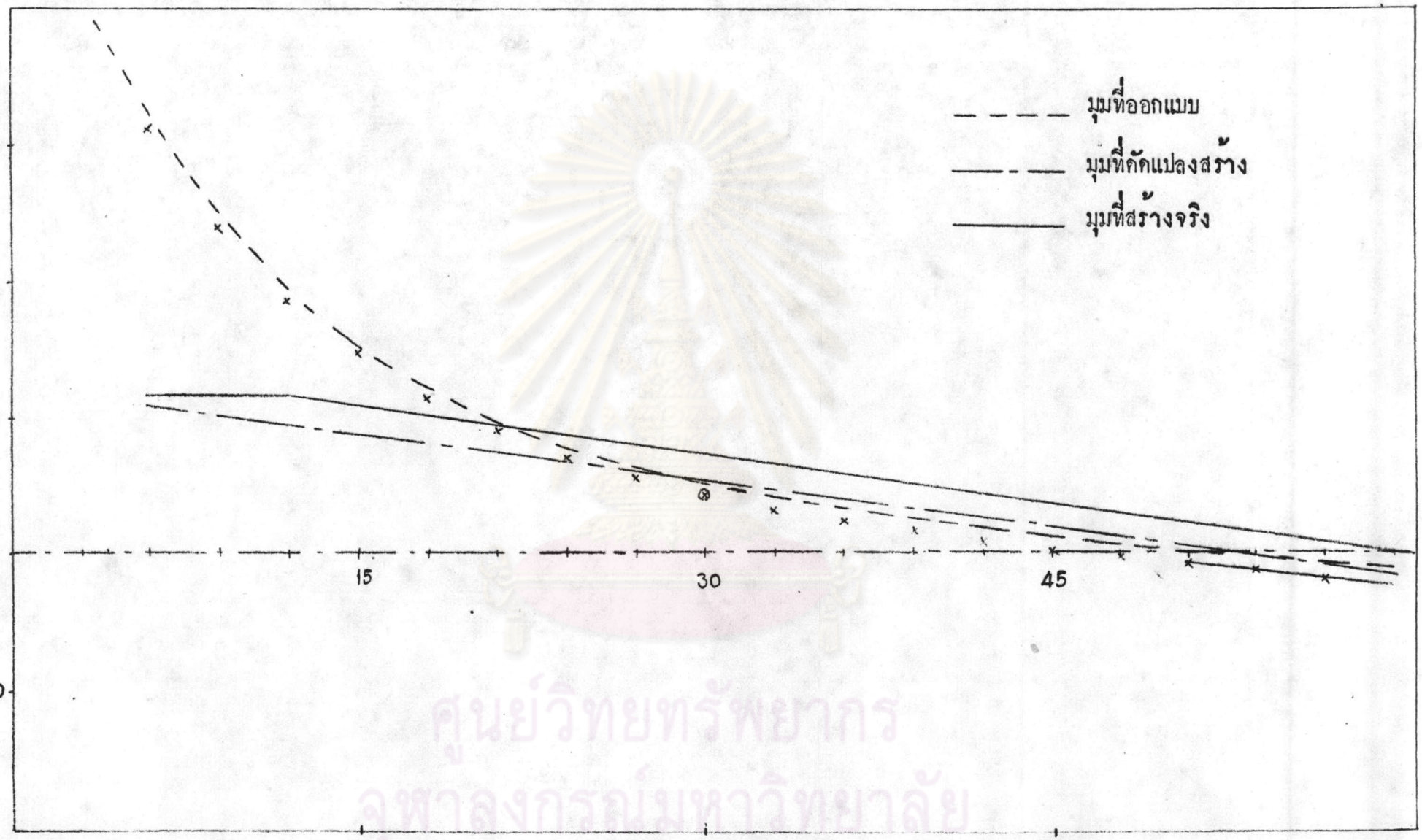
ตารางที่ 3.4 ค่าความกว้างของใบกังหัน
และมุมบิดที่ได้จากการสร้างและใช้ในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของใบกังหันกับความกว้างของใบกังหัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของใบกังหันกับมุมของใบกังหัน

I10838482