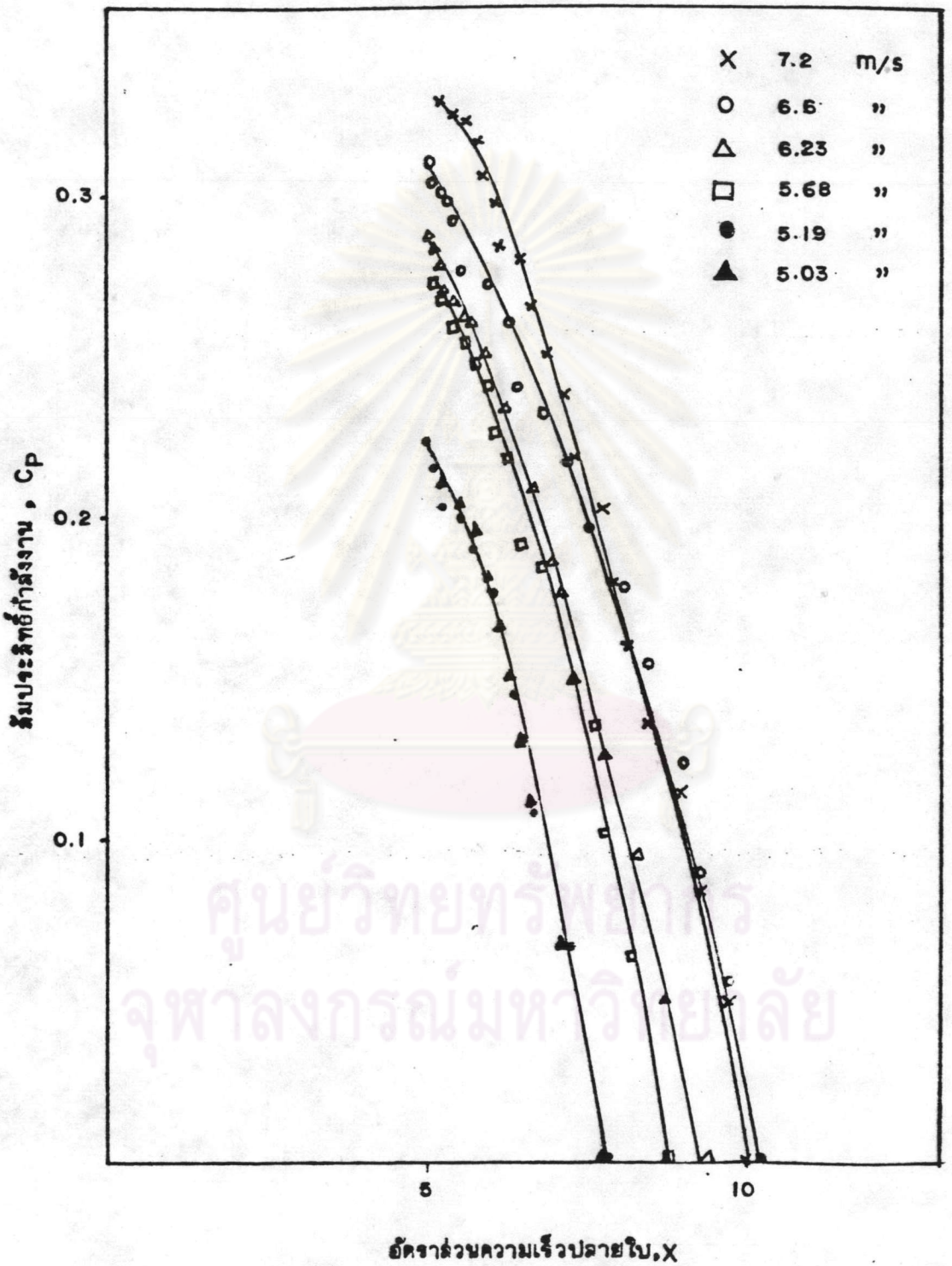
บทที่ 5

ผลการทดลอง

ผลการทดลองสมรรถนะของกังหันลมแกนนอนชนิด 3 ใบ ที่ออกแบบโดยใช้อุโมงลม และโดยใช้รถปิคอัพวิ่งทดลองบนถนน ได้แสดงในหัวข้อ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ สำหรับผลการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้แสดงในหัวข้อ 5.3 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 ผลการทดลองสมรรถนะของกังหันลมที่ออกแบบโดยใช้อุโมงลม

5.1.1 สัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power Coefficient), C_p จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (tip speed ratio), x เท่ากับ 5.201 จะมีค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุดเท่ากับ 0.33 โดยเป็นการทดลองที่ความเร็วลม 7.2 เมตรต่อวินาที และสำหรับการทดลองที่ความเร็วลมอื่น ๆ 5.03, 5.19, 5.68, 6.23 และ 6.6 เมตรต่อวินาที พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานมีค่าสูงสุดที่ค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบใกล้เคียงกัน คือประมาณ 5 เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 5.1.1



รูปที่ 5.1.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเร็วปลายใบกับสัมประสิทธิ์กำลังงานของกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลม -ฌ. ที่ความเร็วลมต่างๆ

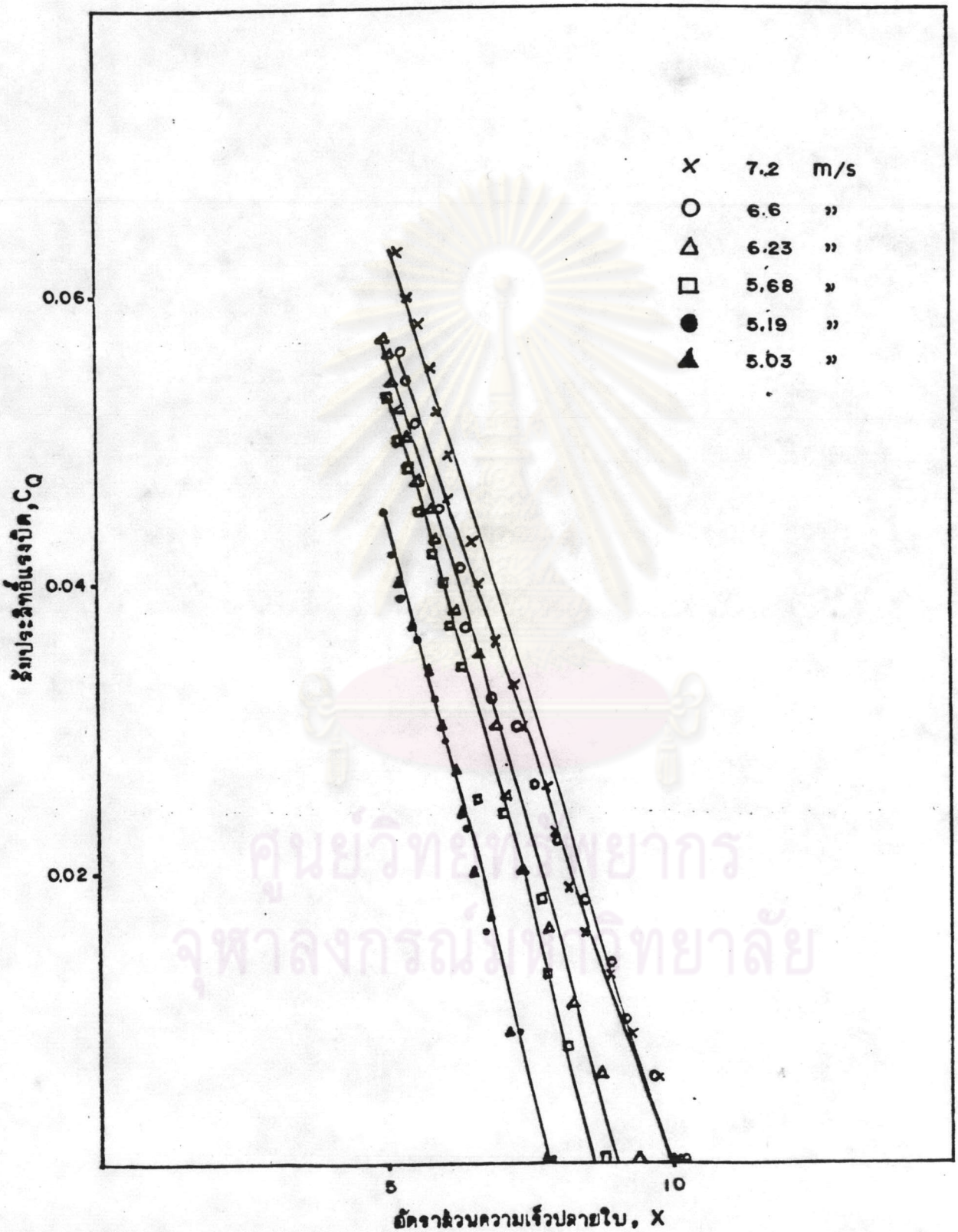
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.2 สัมประสิทธิ์แรงบิด (Torque Coefficient), C_Q จากการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 5.201 มีค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงสุด 0.063 โดยเป็นการทดลองที่ความเร็วลม 7.2 เมตร/วินาที และที่ความเร็วลมอื่น ๆ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดจะมีค่าสูงสุดที่ค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.1.2

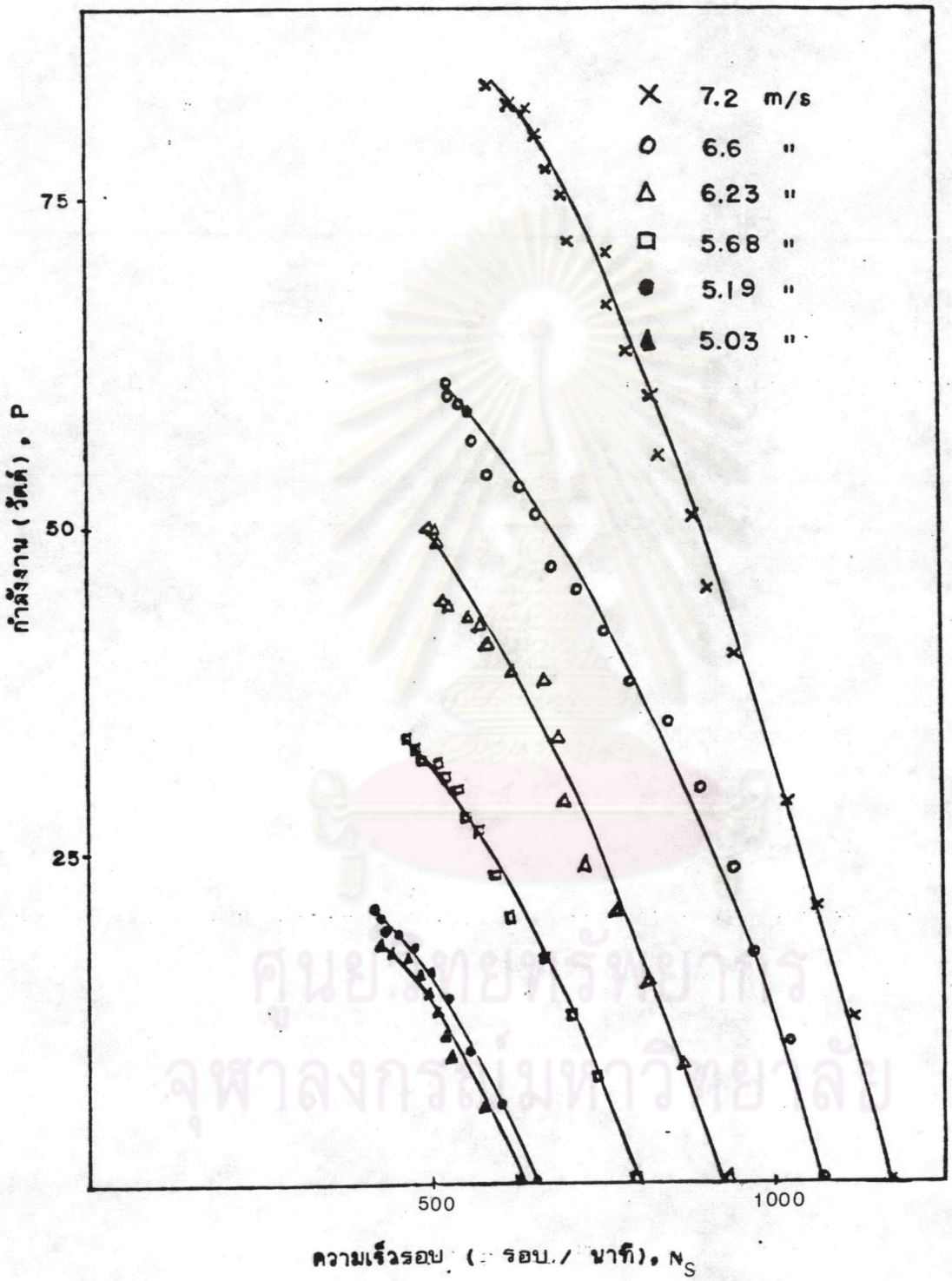
5.1.3 กำลังงาน (Power) กำลังงาน, P ที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงขึ้นตามความเร็วลม และจากการทดลองพบว่า ถ้ากังหันลมหมุนด้วยความเร็วรอบ 596 รอบต่อนาที จะได้กำลังงานสูงสุด 83.751 วัตต์ เมื่อทดลองที่ความเร็วลม 7.2 เมตรต่อวินาที และในแต่ละความเร็วลมพบว่าค่ากำลังงานจะสูงสุดที่ความเร็วรอบค่าหนึ่ง และค่ากำลังงานที่ได้จะลดลงเมื่อความเร็วรอบมีค่าสูงขึ้น ดังแสดงใน รูปที่ 5.1.3

5.1.4 แรงบิด (Torque) แรงบิด, Q ที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.339 นิวตัน-เมตร ที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที เมื่อทดลองที่ความเร็ว 7.2 เมตรต่อวินาที และแรงบิดที่ได้จะมีค่าลดลงเมื่อค่าความเร็วรอบเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วลมลดลงจะมีผลทำให้แรงบิดมีค่าลดลงด้วย และแต่ละความเร็วลมที่ทดลองจะให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ค่าความเร็วรอบค่าหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.1.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

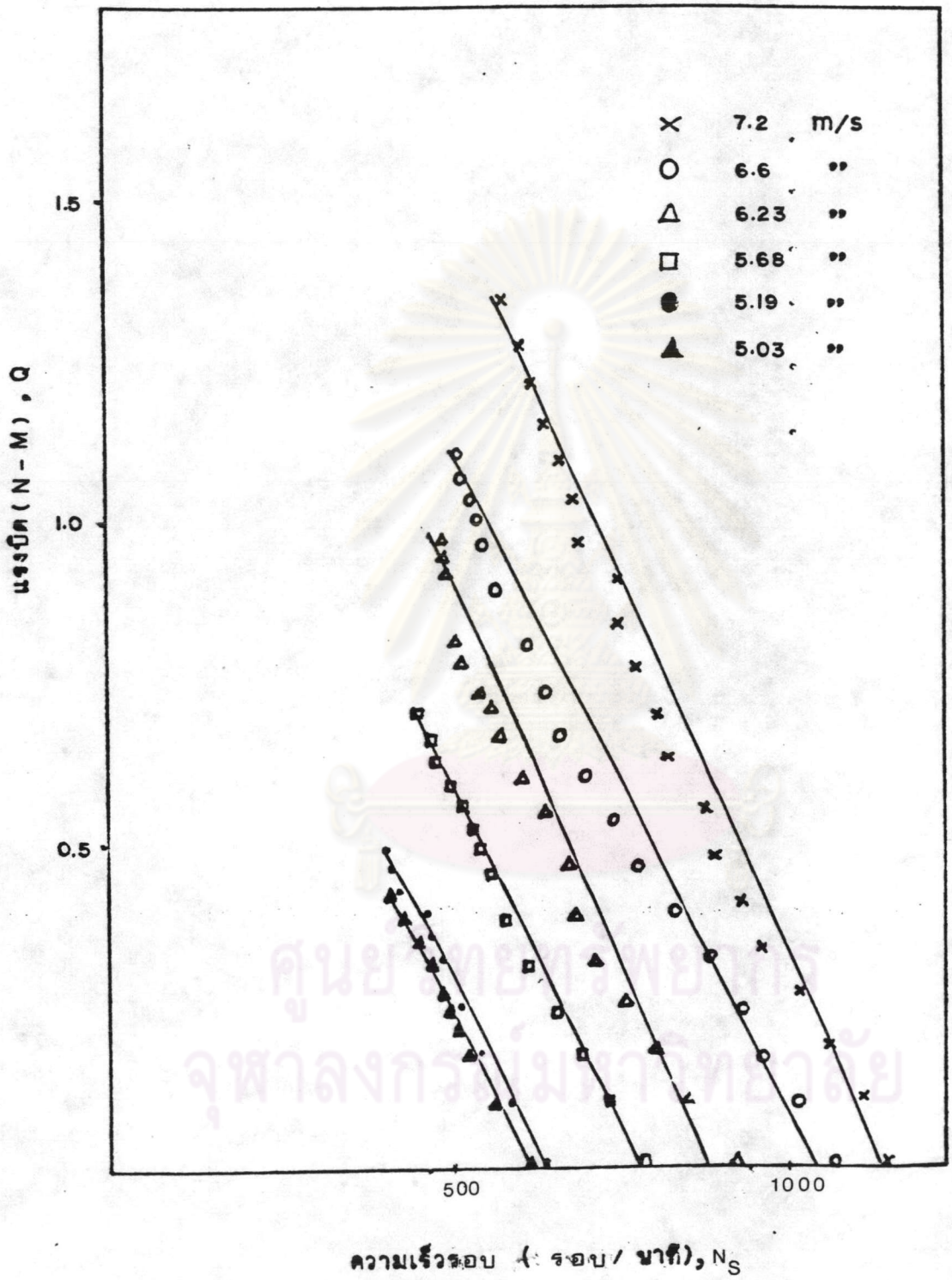


รูปที่ 5.1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเร็วปลายใบกับสัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้ดูโมงลม ณ. ที่ความเร็วลมต่าง ๆ



รูปที่ 5.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กับกำลังงานของกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลม ณ. ที่ความเร็วลมต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กับแรงบิดของกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลม ณ. ที่ความเร็วลมต่าง ๆ

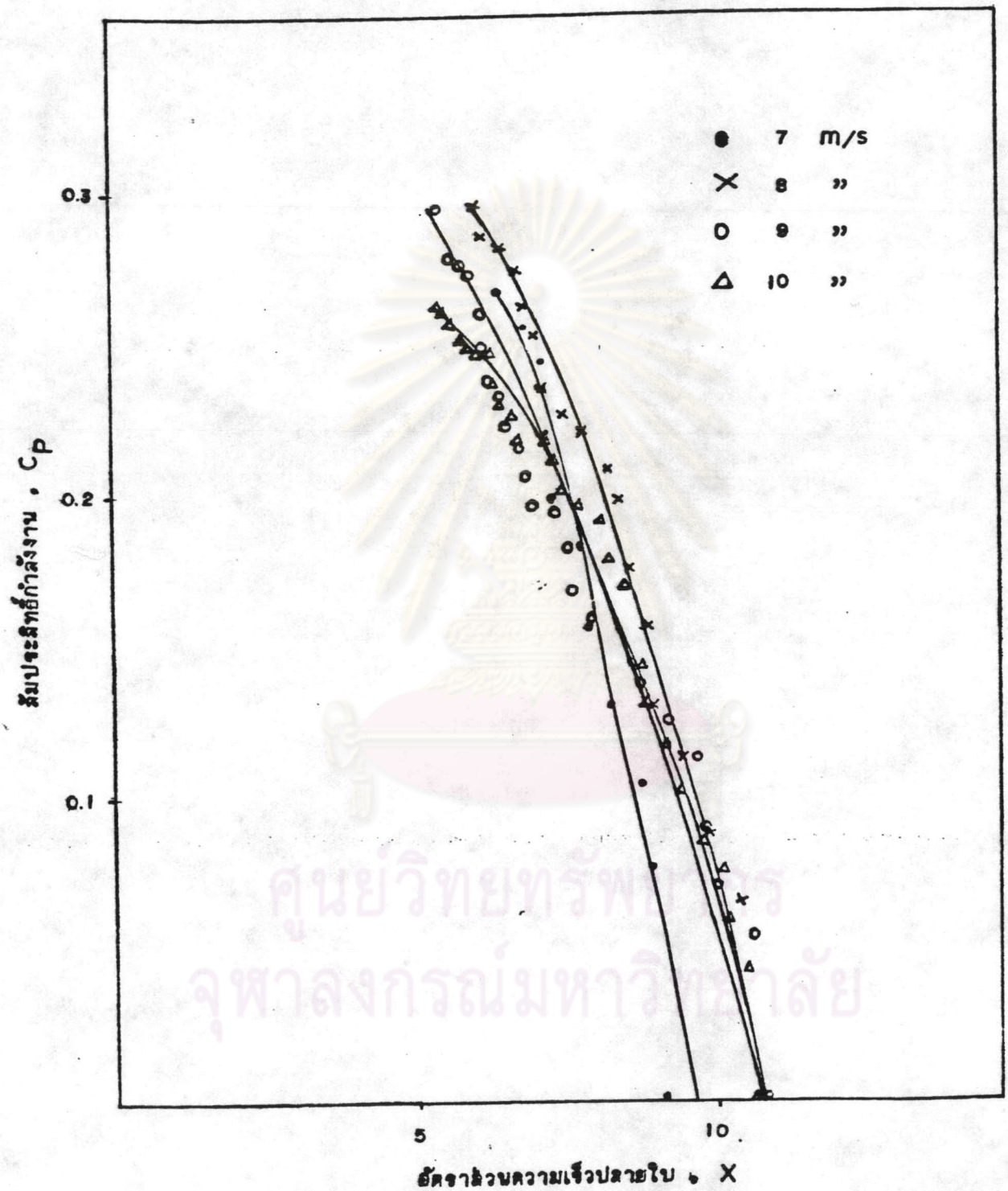
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ผลการทดลองสมรรถนะกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้รถยนต์วิ่งทดลองบนถนนด้วยความเร็วรถที่สามารถทำให้ได้ความเร็วลมต่าง ๆ

5.2.1 สัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power Coefficient), C_p จากการทดลองพบว่าที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที และที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบเท่ากับ 6.Ø16 จะมีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุดเท่ากับ Ø.296 และค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนความเร็วปลายใบเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วอื่น ๆ คือ 7, 9 และ 1Ø เมตรต่อวินาที จะได้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุดใกล้เคียงกัน คือ มีค่าอยู่ระหว่าง Ø.262 ถึง Ø.275 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบระหว่าง 5.4 ถึง 6.4 และค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานจะลดลงเมื่อค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.2.1

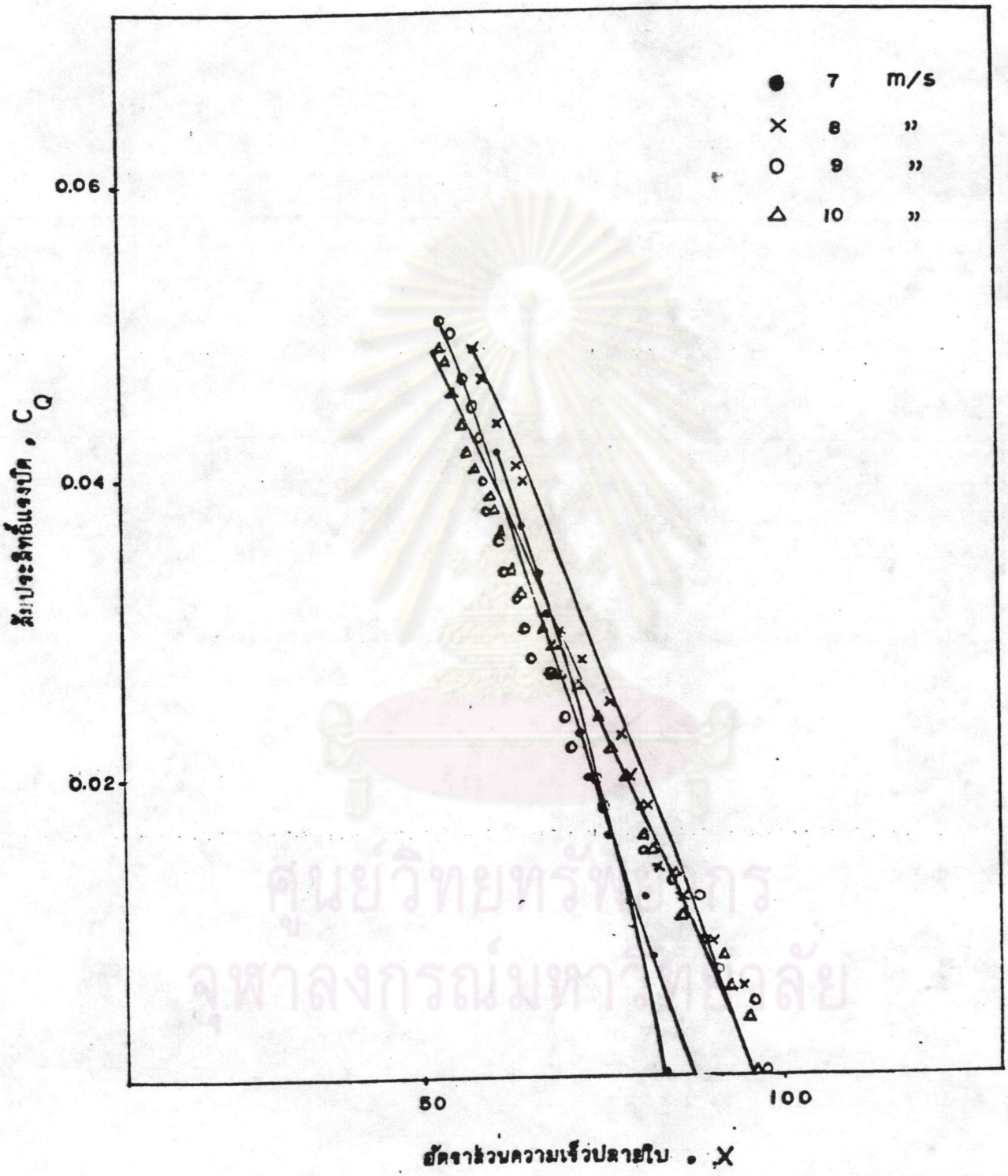
5.2.2 สัมประสิทธิ์แรงบิด (Torque Coefficient), C_Q จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดสูงสุด Ø.Ø51 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 5.4 และจะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดลดลงเมื่อค่าอัตราความเร็วปลายใบเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.2.2

5.2.3 กำลังงาน (Power), P จากการทดลองพบว่ากำลังงานของกังหันลมแปรตามค่าความเร็วรอบของกังหันลม กล่าวคือ ค่ากำลังงานของกังหันลมจะลดลงเมื่อค่าความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และจะได้กำลังงานสูงสุดเท่ากับ 178 วัตต์ ที่ค่าความเร็วรอบเท่ากับ 86Ø รอบต่อนาที เมื่อความเร็วลมที่ทดลองเท่ากับ 1Ø เมตรต่อวินาที ค่ากำลังงานสูงสุดของกังหันลมในแต่ละความเร็วลมที่ทดลองจะลดลงเมื่อความเร็วลมลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.2.3



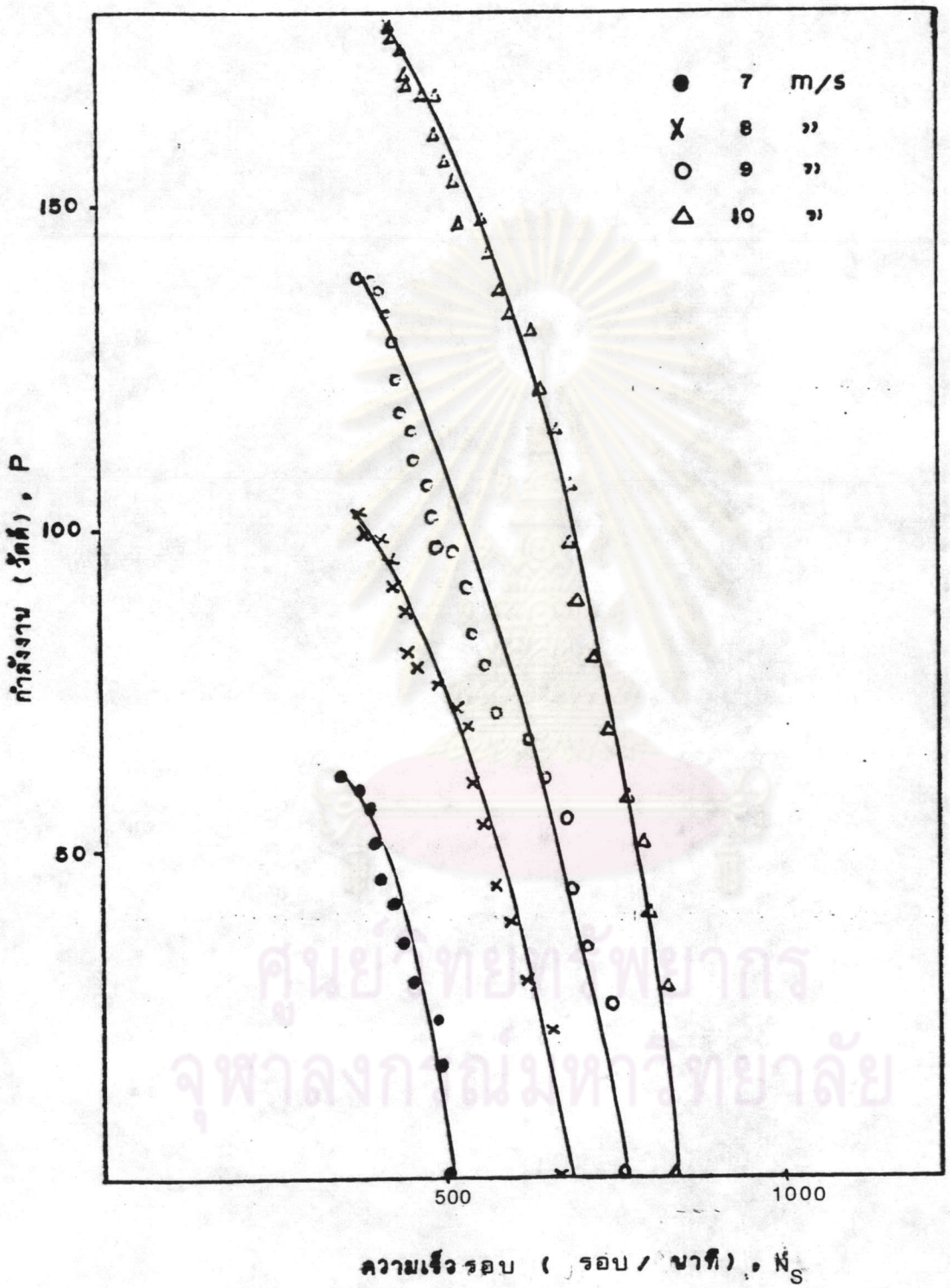
รูปที่ 5.2.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเร็วปลายใบกับสัมประสิทธิ์กำลังงานของกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้รถบิดอัพ ณ ที่ความเร็วลมต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



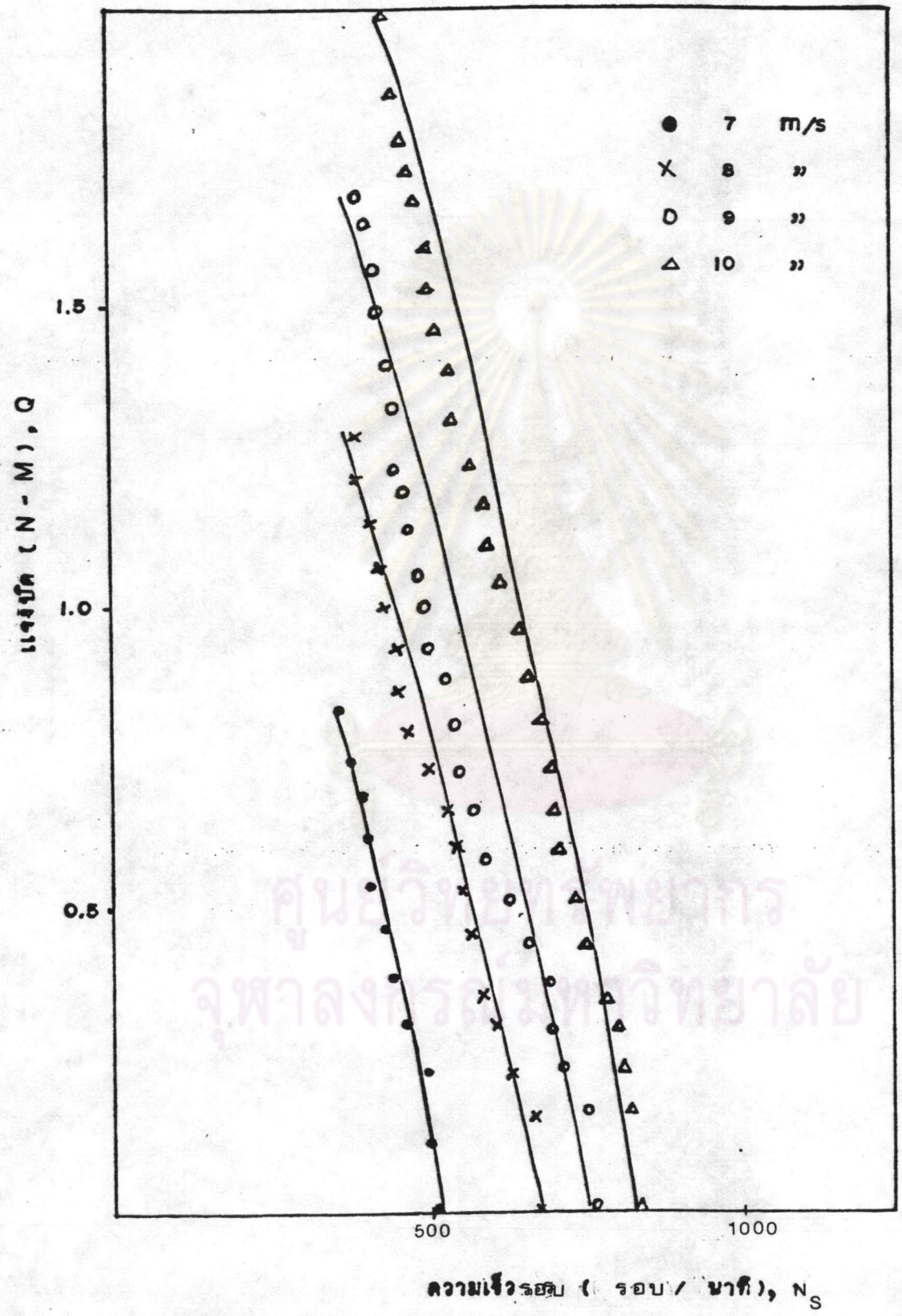
รูปที่ 5.2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเร็วปลายใบกับสัมประสิทธิ์กำลังงาน ของกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้ธอบิดอัพ ณ ที่ความเร็วลมต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กับกำลังงานของกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้จุดปิดอัด ณ ที่ความเร็วลมต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง.2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กับแรงบิดของกังหันลม ที่ออกแบบ โดยใช้รอบบิดอัพ ณ ที่ความเร็วลมต่าง ๆ

5.2.4 แรงบิด (Torque) Q, จากการทดลองพบว่าค่าแรงบิดจะแปรตามค่าความเร็วรอบ และในแต่ละความเร็วลมที่ใช้การทดลองค่าแรงบิดของกังหันลมจะลดลงเมื่อค่าความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ในการทดลองพบว่าที่ค่าความเร็วรอบ 860 รอบต่อนาที จะได้แรงบิดของกังหันลมสูงสุด 1.9 นิวตัน-เมตร เมื่อทดลองที่ความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที และค่าแรงบิดจะลดลงเมื่อความเร็วลมลดลง และค่าแรงบิดสูงสุดในแต่ละความเร็วลมของการทดลองจะอยู่ที่ค่าความเร็วรอบระหว่าง 670 ถึง 860 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 5.2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมรรถนะของกังหันลมแนวนอนนั้น สามารถคำนวณหาได้โดยใช้ทฤษฎีอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมแนวนอน ตามที่ได้บรรยายไว้ใน บทที่ 2 จะเห็นได้ว่าในการหาค่าสมรรถนะของกังหันลมแนวนอนนั้น จะต้องผ่านขบวนการการ iterate และต้องหาค่าสมรรถนะทีละตำแหน่งบนใบกังหัน จากนั้นจึงรวมกันตลอดความยาวของใบกังหัน เป็นสมรรถนะรวม

สมรรถนะของกังหันลมแนวนอนที่สนใจคือ ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังงานและสัมประสิทธิ์ของแรงบิด ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดนั้นหาได้จากการอินทิเกรดค่าแรงบิด จากสมการ (2.18) แล้วทำเป็นเทอมไร้มิติ

$$C_Q = \frac{1}{X^2} \int_{X_h}^{X} (Bc/\pi R)\,(W/V_\infty)^2\, C_t\, x\,dx \qquad (5.1)$$

$$X_h = \frac{r_h}{V_\infty}$$

r_h = ความยาวรัศมีของดุมกังหัน

ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานจะเท่ากับผลคูณของอัตราส่วนความเร็วปลายใบกับสัมประสิทธิ์แรงบิด

$$C_P = XC_Q \qquad (5.2)$$

ซึ่งในการแก้สมการ (5.1) และ (5.2) นั้น จะต้องใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการหาผลเฉลย ในการวิจัยนี้จึงเลือกเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาโดย Wilson [4] เพื่อคำนวณค่าสมรรถนะของกังหันลมแนวนอน มาใช้กับกังหันลมที่ได้ออกแบบไว้ โดยดัดแปลงให้โปรแกรมดังกล่าวสามารถใช้กับ Personal Computer รายละเอียดของโปรแกรมและการป้อนข้อมูลขาเข้าและผลเฉลยต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

โปรแกรมที่เขียนโดย Wilson นี้ จะสมมุติให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงยก และสัมประสิทธิ์แรงหน่วงที่ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ค่าเดียวตลอดความยาวของใบกังหัน หรืออีกความหมายหนึ่งก็คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกังหันลมแนวนอนนี้ สมรรถนะจะไม่ขึ้นกับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ และจะละเลยค่าแฟคเตอร์เหนี่ยวนำเชิงมุม จากการคำนวณ ($a' = 0$)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกังหันลมแนวนอน จำนวน 5 แบบ ถูกป้อนเข้าไปในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาสมรรถนะ

แบบจำลองทั้ง 5 แบบ จะมีรูปร่างใบกังหัน ดังต่อไปนี้

แบบที่ 1 ใบกังหันที่ออกแบบไว้

แบบที่ 2 ใบกังหันมีค่าความกว้างของใบกังหันเหมือนที่ออกแบบไว้ แต่มุมบิดมีค่าเท่ากับ 11.5 องศา คงที่ตลอดความยาวของใบกังหัน

แบบที่ 3 ใบกังหันมีค่าความกว้างของใบกังหันมีค่าเท่ากับ 7.1 ซม. และมุมบิดมีค่าเท่ากับ 11.5 องศาคงที่ตลอดความยาวของใบกังหัน

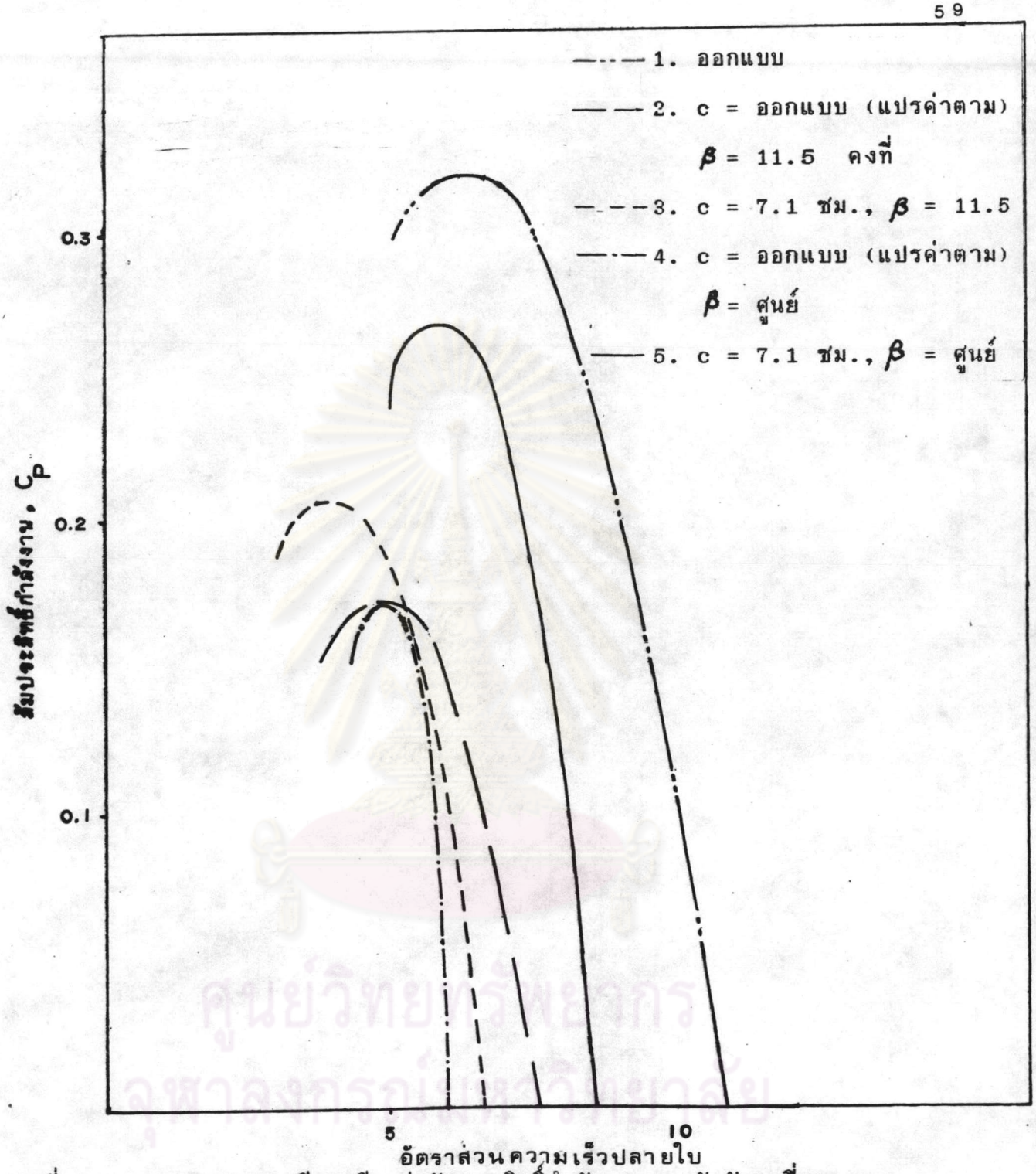
แบบที่ 4 ใบกังหันมีค่าความกว้างของใบกังหันเหมือนกับที่ได้ออกแบบไว้ แต่มุมบิดเท่ากับศูนย์องศาตลอดความยาวของใบกังกัน

แบบที่ 5 ใบกังหันมีค่าความกว้างของใบกังหันเท่ากับ 7.1 ซม. และมีมุมบิดเท่ากับศูนย์องศาตลอดความยาวของใบกังหัน

ผลของสมรรถนะทั้ง 5 แบบ ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5.3.1 และ 5.3.2

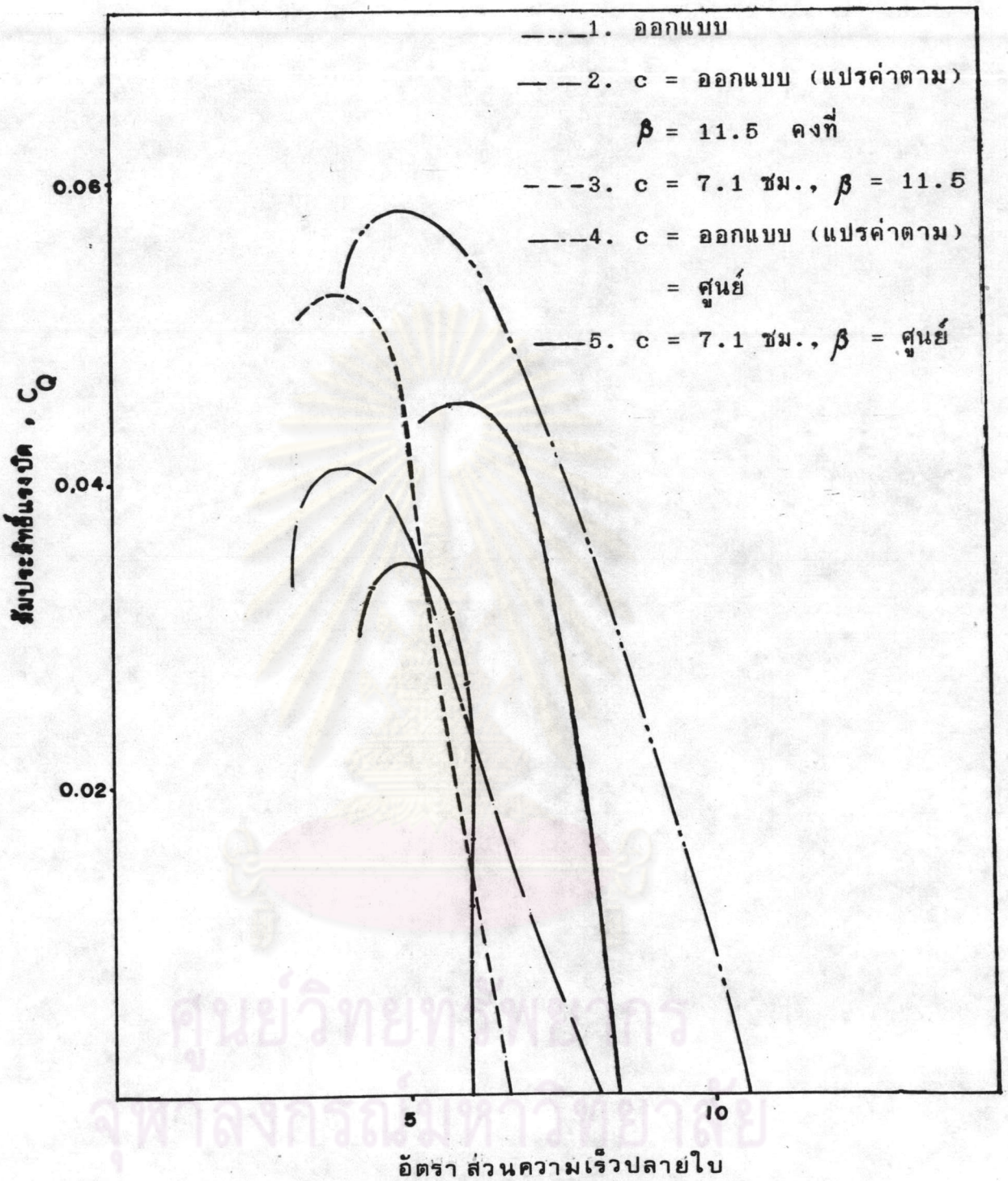
จะเห็นได้ว่า ใบกังหันที่มีรูปร่างตามที่ออกแบบไว้นั้น ให้สัมประสิทธิ์กำลังงานได้สูงสุดมากกว่าแบบอื่น ๆ ซึ่งเป็นการยืนยันทฤษฎีวิเคราะห์ของรูปใบกังหันที่มีรูปร่างซึ่งให้ประสิทธิภาพเชิงอากาศพลศาสตร์สูงสุด

และข้อสังเกตอันหนึ่งก็คือ เนื่องจากสมมติฐานของสมรรถนะที่ไม่ขึ้นกับเรโนลด์นัมเบอร์นั้น จะได้ ผลเฉลยซึ่งไม่ขึ้นกับค่าความเร็วลม



รูปที่ 5.3.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานของกังหันลมที่ออกแบบกับแบบที่ใบกังหันมีรูปร่างเปลี่ยนไปโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลม ที่ออกแบบกับแบบที่ใบกังหันมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย