บทที่ 4
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

การดำเนินวิจัยกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำ ได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังบทที่ 3 แล้วนั้น ได้ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ในหัวข้อต่าง ๆ คือ ผลการทดสอบกังหันลมแบบจำลองแบบใบผ้ากระสอบภายในอุโมงค์ลม ผลการทดสอบกังหันลมแบบจำลองแบบใบผ้าฝ้ายภายในอุโมงค์ลม ผลการสร้างและทดสอบแบบจำลองกังหันลมเพื่อนำไปสร้างเป็นกังหันลมแบบเต็มขนาด ผลการเก็บข้อมูลส่วนประกอบของกังหันลมแบบเต็มขนาด และผลการสร้างและทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบกังหันลมแบบจำลองแบบใบผ้ากระสอบภายในอุโมงค์ลม

สมรรถนะของกังหันลมสามารถวิเคราะห์ได้จาก ทฤษฎีโมเมนตัมวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมบนตัวกังหันลม และทฤษฎีอีลีเม้นท์ของใบ กล่าวถึงแรงกระทำที่เกิดบนใบกังหันแต่ละใบ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศและใบกังหัน ผลของการทดสอบใบกังหันทั้ง 3 แบบ แสดงในดังภาพที่ 34 ถึง 41 และผลการทดสอบ แสดงในภาคผนวก ข. รายละเอียดผลการวิจัยมีดังนี้

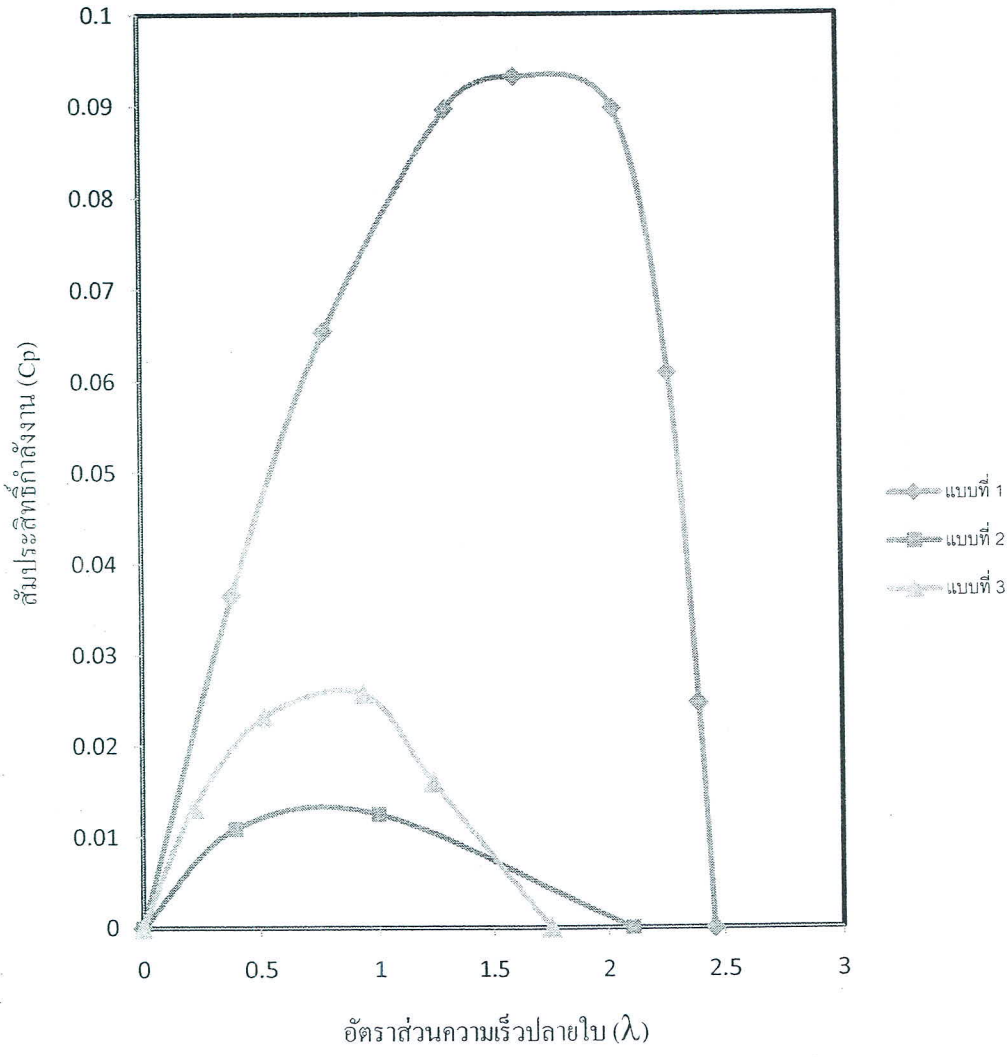
1.1 ผลการทดสอบใบผ้ากระสอบ แบบที่ 1 ทดสอบกังหันลมจำนวน 6 ใบ มุมตั้งใบคงที่ 20 องศา แต่เปลี่ยนความเร็วลมในการทดสอบต่าง ๆ พบว่า เมื่อความเร็วลมเพิ่มสูงขึ้น สัมประสิทธิ์กำลังงานมีค่าสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 34 ถึง 37 จากรูปดังกล่าวพบว่าที่ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.0932 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 1.6192 ความเร็ว 3 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.0537 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.8352 ความเร็ว 3.5 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.1532 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 1.2288 ความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.1747 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.9836 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ทอร์คกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบ ดังแสดงในภาพที่ 38 ถึง 41 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ทอร์ค ของกังหันลมชนิดนี้ให้ค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนความเร็วปลายใบเข้าใกล้ศูนย์ ผลจากการทดสอบความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.0949 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.3847 สัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้นมีค่า 0.0103 ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาทีให้สัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.1045 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.1954 มีสัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้น 0.0329 ความเร็วลม 3.5 เมตรต่อวินาทีให้สัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.1938 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.1047 มีสัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้น 0.0361 ความเร็วลม 4 เมตรต่อ

วินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.2622 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.185 สัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้น 0.0714

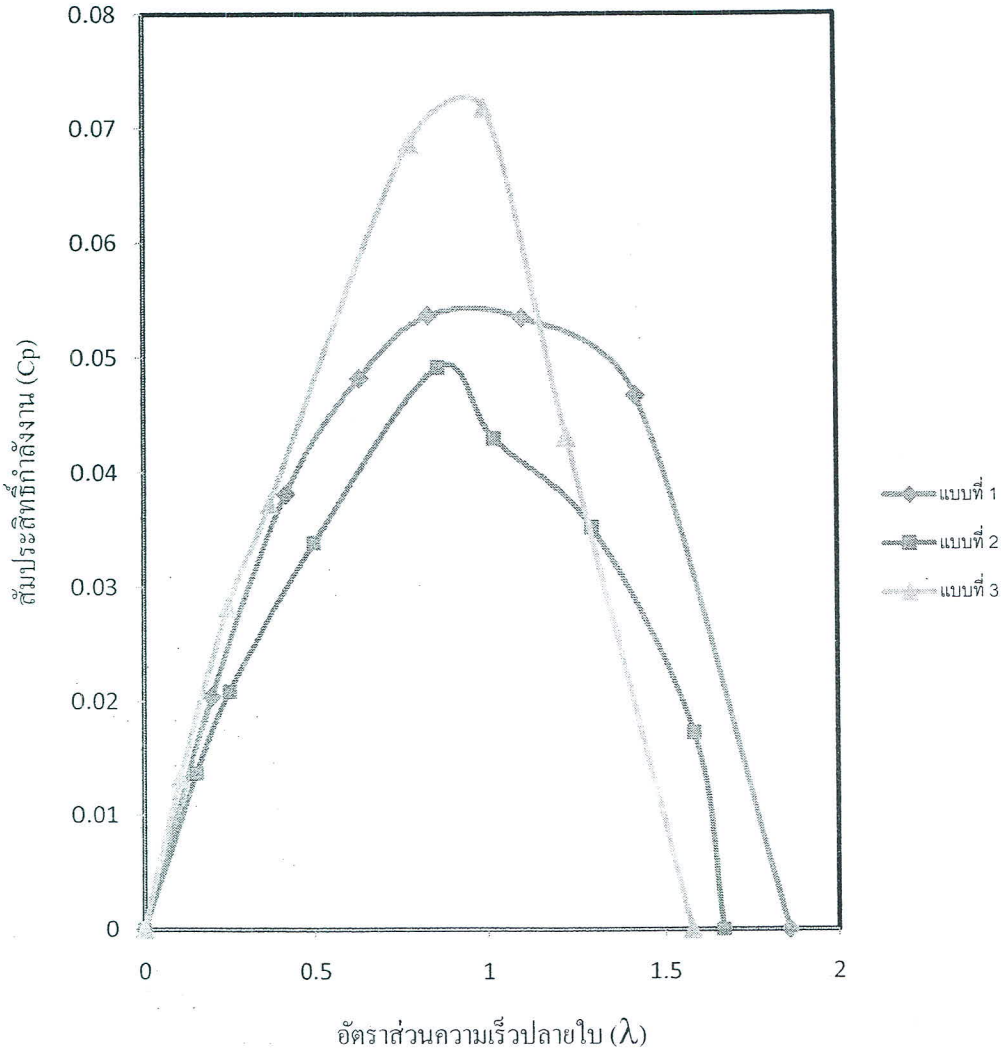
1.2 ผลการทดสอบใบผ้ากระสอบ แบบที่ 2 ทดสอบกังหันลมจำนวน 6 ใบ มุมตั้งใบคงที่ 20 องศา แต่เปลี่ยนความเร็วลมในการทดสอบต่างๆ พบว่า เมื่อความเร็วลมเพิ่มสูงขึ้น สัมประสิทธิ์กำลังงานมีค่าสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 34 ถึง 37 จากรูปดังกล่าวพบว่าที่ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.0125 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.9964 ความเร็ว 3 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.0492 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.8621 ความเร็ว 3.5 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.1217 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 1.1304 ความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.2535 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 1.1924 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ทอร์คกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบ ดังแสดงในภาพที่ 38 ถึง 41 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ทอร์ค ของกังหันลมชนิดนี้ให้ค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนความเร็วปลายใบเข้าใกล้ศูนย์ ผลจากการทดสอบความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.0276 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.3956 สัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้นมีค่า 0.0125 ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาทีให้สัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.0905 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.1514 มีสัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้น 0.0109 ความเร็วลม 3.5 เมตรต่อวินาทีให้สัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.2075 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.1214 มีสัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้น 0.0365 ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.3583 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.1136 สัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้น 0.0703

1.3 ผลการทดสอบใบผ้ากระสอบ แบบที่ 3 ผลการทดสอบกังหันลมจำนวน 6 ใบ มุมตั้งใบคงที่ 20 องศา แต่เปลี่ยนความเร็วลมในการทดสอบต่างๆ พบว่า เมื่อความเร็วลมเพิ่มสูงขึ้น สัมประสิทธิ์กำลังงานมีค่าสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 34 ถึง 37 จากรูปดังกล่าวพบว่าที่ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.0257 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.9342 ความเร็ว 3 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.0718 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.9964 ความเร็ว 3.5 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.159 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 1.0404 ความเร็ว 4 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงาน 0.1795 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.8426 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ทอร์คกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบ ดังแสดงในภาพที่ 38 ถึง 41 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ทอร์ค ของกังหันลมชนิดนี้ให้ค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนความเร็วปลายใบเข้าใกล้ศูนย์ ผลจากการทดสอบความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.0601 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.2198 สัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้นมีค่า 0.013 ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาทีให้สัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.1301 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.1026 มีสัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้น 0.0351 ความเร็วลม 3.5 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด

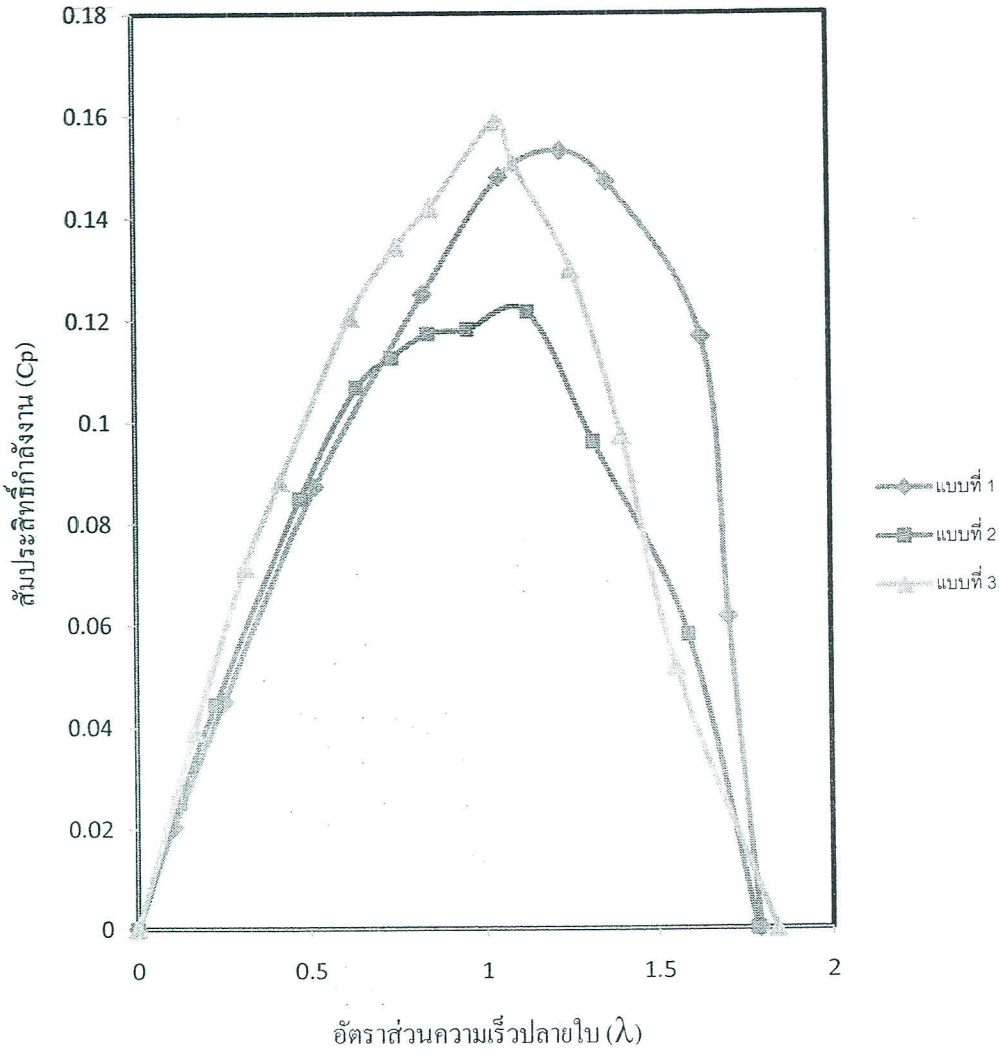
0.2345 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.1675 สัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้น 0.0333 ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที ให้ค่าสัมประสิทธิ์ทอร์คสูงสุด 0.2889 ที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบ 0.152 สัมประสิทธิ์ทอร์คเริ่มต้น 0.0703



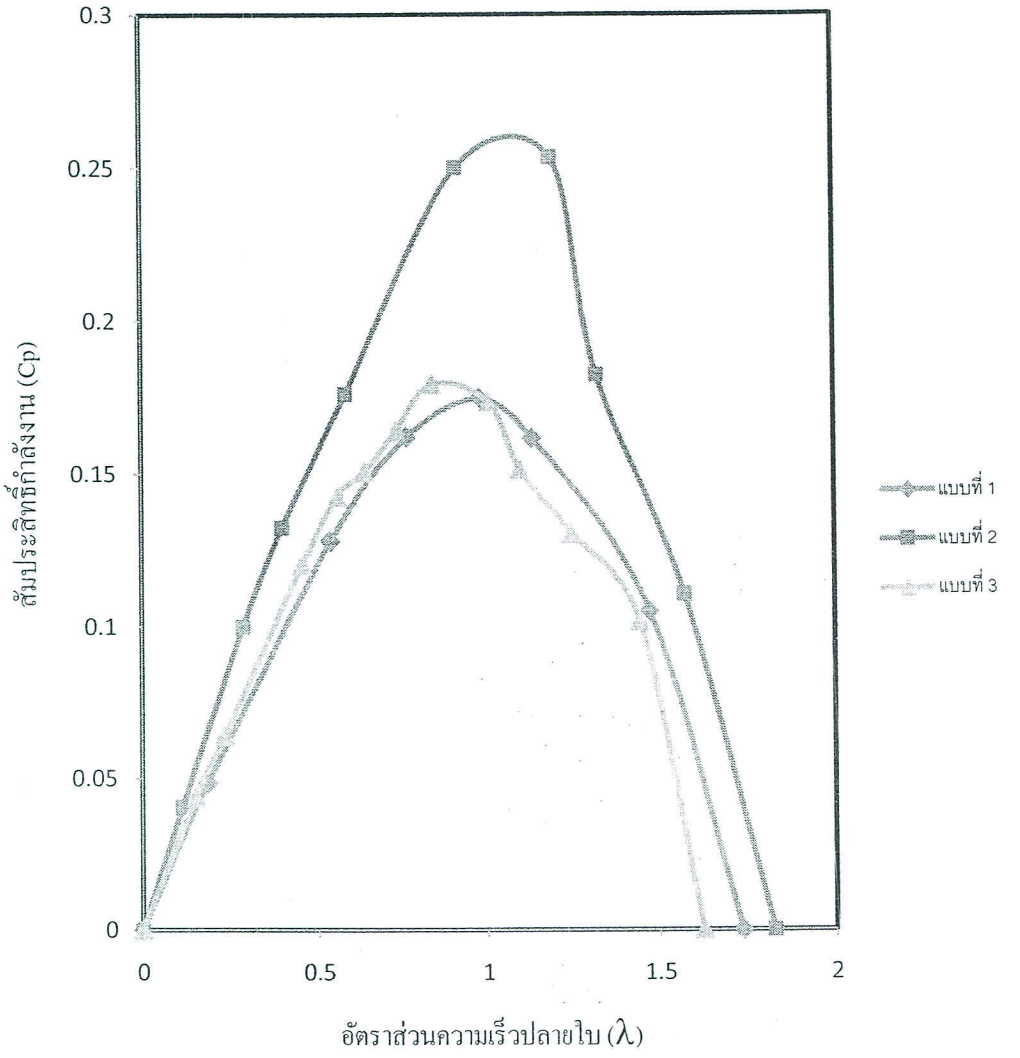
ภาพที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังงานกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบของใบกังหันลมแบบต่าง ๆ มุมตั้งใบ 20 องศา ที่ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที



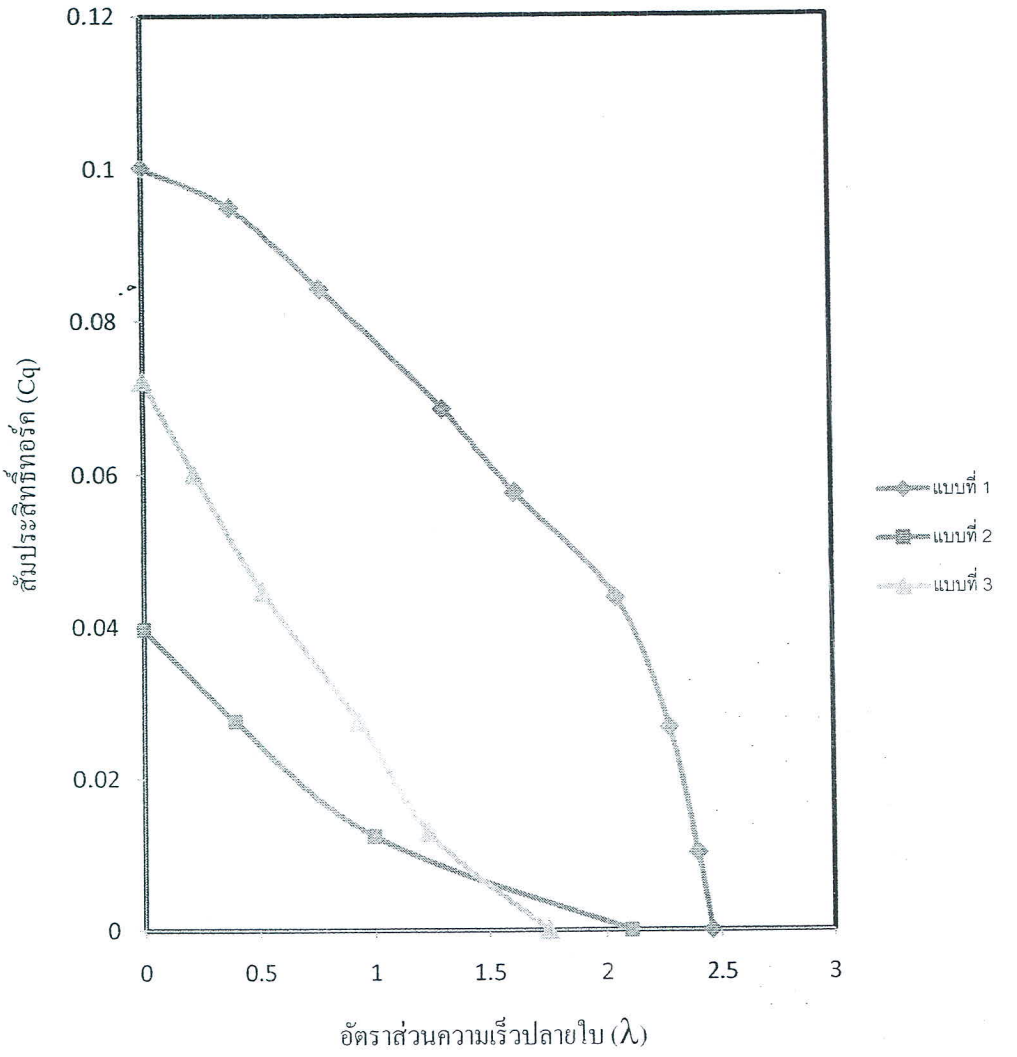
ภาพที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังงานกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบของใบกังหันลมแบบต่าง ๆ มุมตั้งใบ 20 องศา ที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที



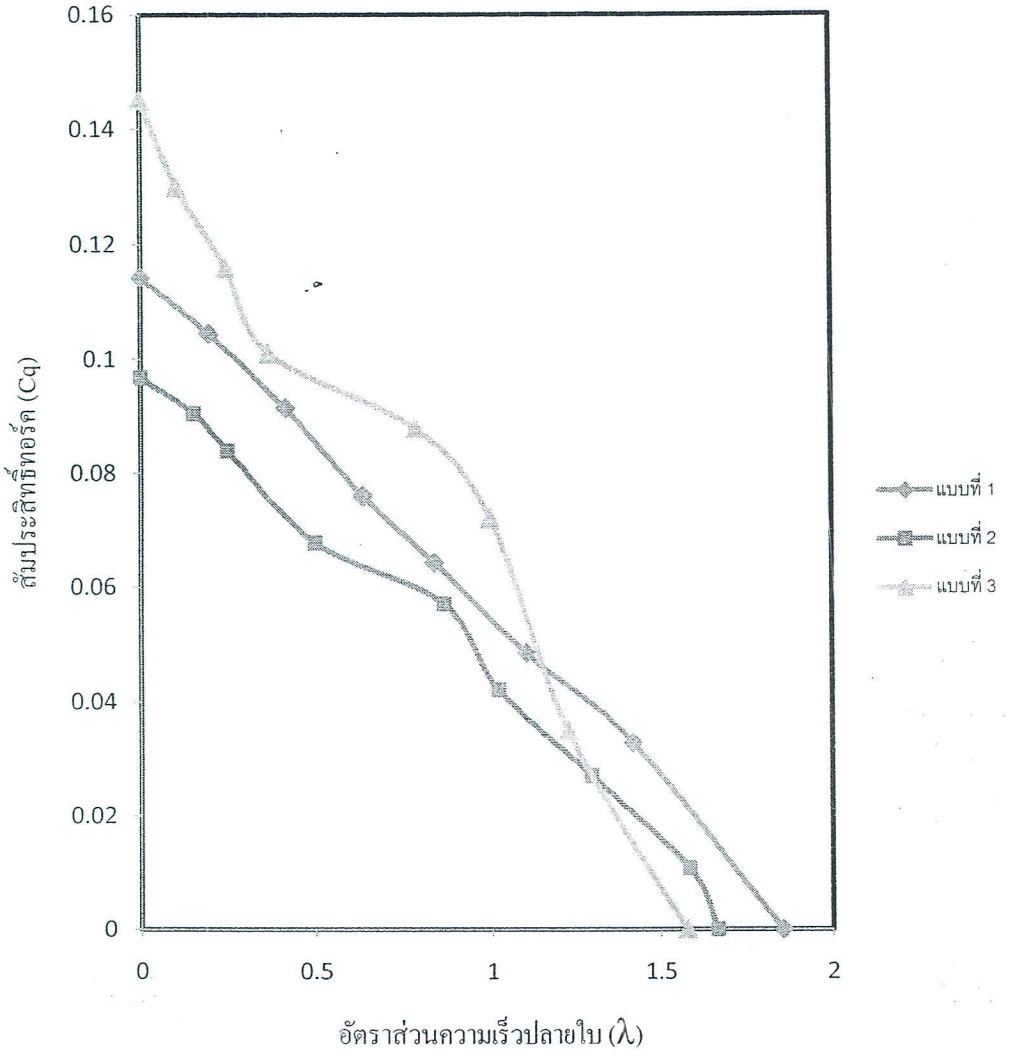
ภาพที่ 36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังงานกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบของใบกังหันลมแบบต่าง ๆ มุมตั้งใบ 20 องศา ที่ความเร็วลม 3.5 เมตรต่อวินาที



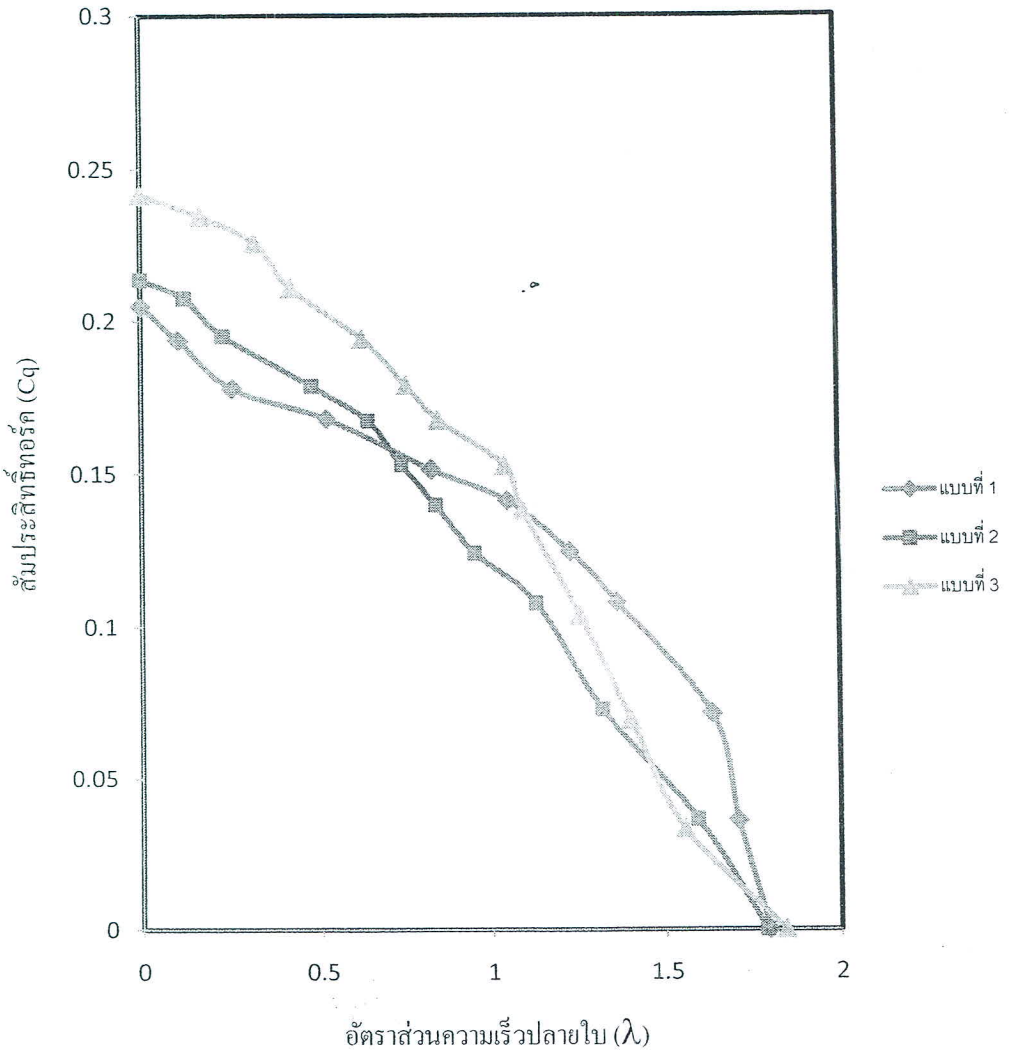
ภาพที่ 37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลังงานกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบของใบกังหันลมแบบต่าง ๆ มุมตั้งใบ 20 องศา ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที



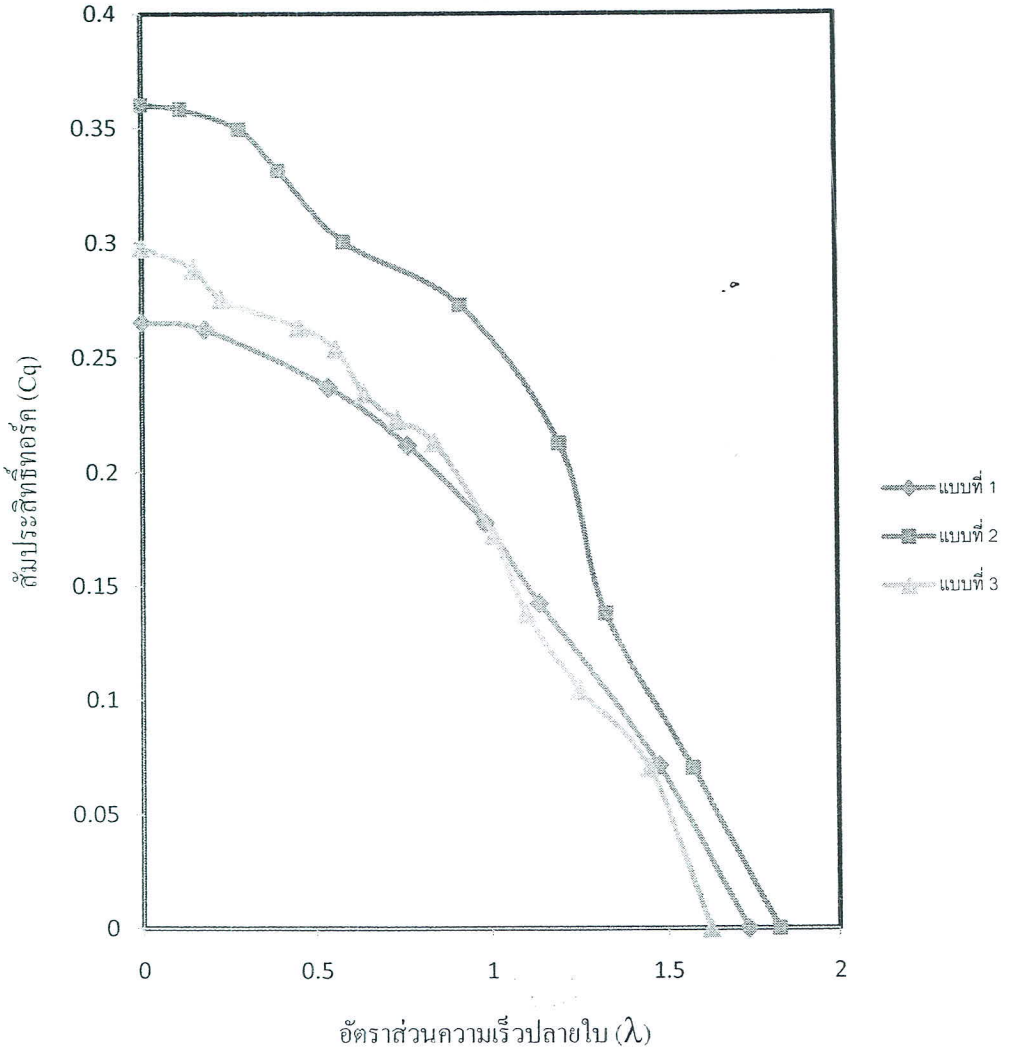
ภาพที่ 38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ทอร์คกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบของใบกังหันลมแบบต่าง ๆ มุมตั้งใบ 20 องศา ที่ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ทอร์คกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบของใบกังหันลมแบบต่าง ๆ มุมตั้งใบ 20 องศา ที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที



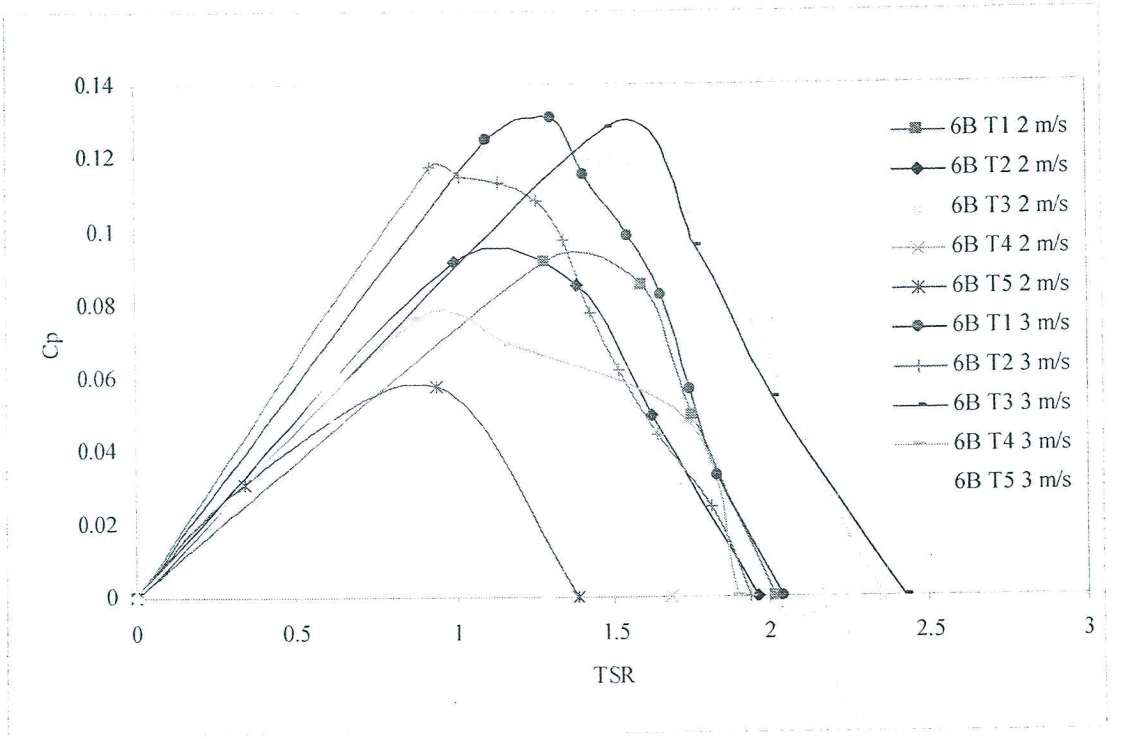
ภาพที่ 40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ทอร์คกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบของใบกังหันลมแบบต่าง ๆ มุมตั้งใบ 20 องศา ที่ความเร็วลม 3.5 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ทอร์คกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบของใบกังหันลมแบบต่าง ๆ มุมตั้งใบ 20 องศา ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที

2. ผลการทดสอบกังหันลมแบบจำลองแบบใบผ้าฝ้ายภายในอุโมงค์ลม

จากการสร้างแบบจำลองกังหันลมและทดสอบแบบจำลองกับอุโมงค์ลมที่มีความเร็วลม 1–5 เมตร/วินาที แบบจำลองกังหันลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร แบบ 6 ใบ จำนวน 5 แบบ คือ 6B-T1, 6B-T2, 6B-T3, 6B-T4 และ 6B-T5 หาประสิทธิภาพของแบบจำลองกังหันลมโดยใช้เครื่องมือวัดแรงบิดใบกังหันลม ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์พลังงาน (Cp) กับความเร็วปลายใบ (TSR) ของ TSRM 6B-T1-T5 ที่ความเร็วลมต่ำ 2-3 เมตร/วินาที



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์พลังงาน (Cp) กับความเร็วปลายใบ (TSR) ของ TSRM 6B-T1-T5 ที่ความเร็วลมต่ำ 2-3 เมตร/วินาที

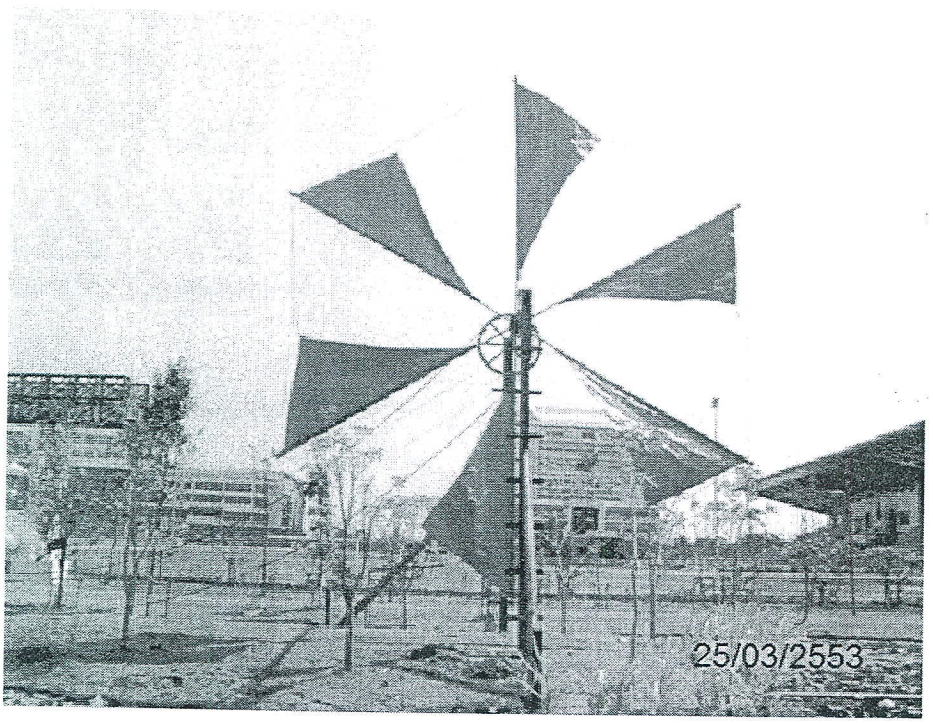
3. ผลการสร้างและทดสอบแบบจำลองกังหันลม

จากผลการทดสอบกังหันลมแบบจำลองแบบใบผ้ากระสอบภายในอุโมงค์ลมและผลการทดสอบกังหันลมแบบจำลองแบบใบผ้าฝ้ายภายในอุโมงค์ลมนั้น พบว่าใบกังหันที่ทำจากใบผ้าฝ้ายจะให้ผลการทดลองดีกว่าใบผ้ากระสอบ จึงเลือกพิจารณาผลจากการสร้างแบบจำลองกังหันลมจากใบผ้าฝ้ายเพื่อใช้เป็นต้นแบบกังหันขนาดใหญ่ต่อไป กังหันจำลองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร แบบ 6 ใบ จำนวน 5 แบบ คือ 6B-T1, 6B-T2, 6B-T3, 6B-T4 และ 6B-T5 และทดสอบแบบจำลองกังหันลมกับอุโมงค์ลม ที่มีความเร็วลม 1–5 เมตร/วินาที เพื่อหาประสิทธิภาพของกังหันจำลอง พบว่า

แบบจำลองที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้งานได้ มี 3 แบบ คือ 6B-T1, 6B-T2 และ 6B-T3 ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์พลังงาน (Cp) 0.12 ที่ความเร็วปลายใบ (TSR) 1.0 ที่ความเร็วลม 3 เมตร/วินาที จึงได้เลือกใบกังหันแบบ 6B-T2 นำมาใช้สร้างกังหันผ้าใบต้นแบบ สร้างโดยใช้มาตราส่วน 1 ต่อ 8 มีขนาด A = 1.96 เมตร B = 2.60 เมตร และ C = 3.00 เมตร

4. ผลการเก็บข้อมูลส่วนประกอบของกังหันลมแบบเต็มขนาด

4.1 ใบกังหัน มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมมุมฉาก ขนาดความยาวของใบ 3 เมตร กว้าง 1.96 เมตร และ 2.60 เมตร ทั้งหมดมีจำนวน 6 ใบ ทำด้วยผ้าใบมีเชือกไนลอนเส้นร้อยเป็นแถวอยู่ตรงกลางผ้าใบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้เข้ากับใบ เมื่อมีลมพัดมาปะทะและจะถูกม้วนเก็บเมื่อไม่ได้ใช้งาน เพื่อเป็นการป้องกันรักษาใบกังหันไม่ให้ชำรุดเสียหาย ดังแสดงในภาพที่ 43



ภาพที่ 43 ลักษณะใบกังหันลมเวลากางใบ

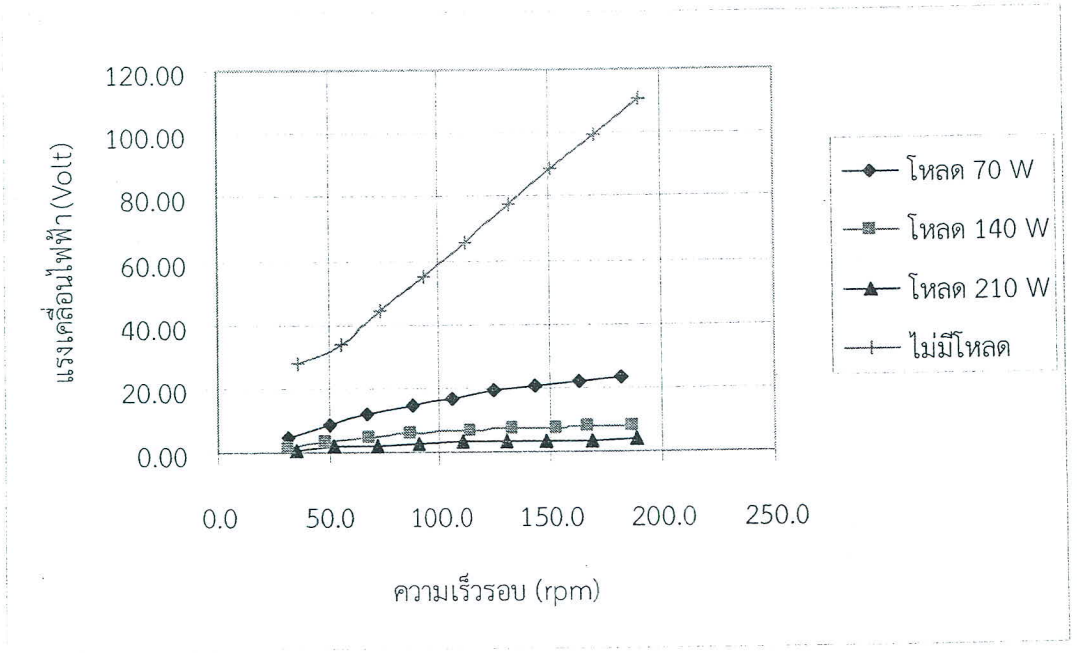
4.2 ก้านใบกังหัน ทำจากไม้ไผ่ (ไม้ลวก) ประกบคู่กับไม้ฉำฉาที่ติดกับตัวใบกังหัน ยาวประมาณ 4 เมตร ยึดรวมกันอยู่ที่มู่เล่แกนกลางกังหัน ดังแสดงในภาพที่ 44

5. ผลการสร้างและทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าและสูบน้ำความเร็วรอบต่ำ

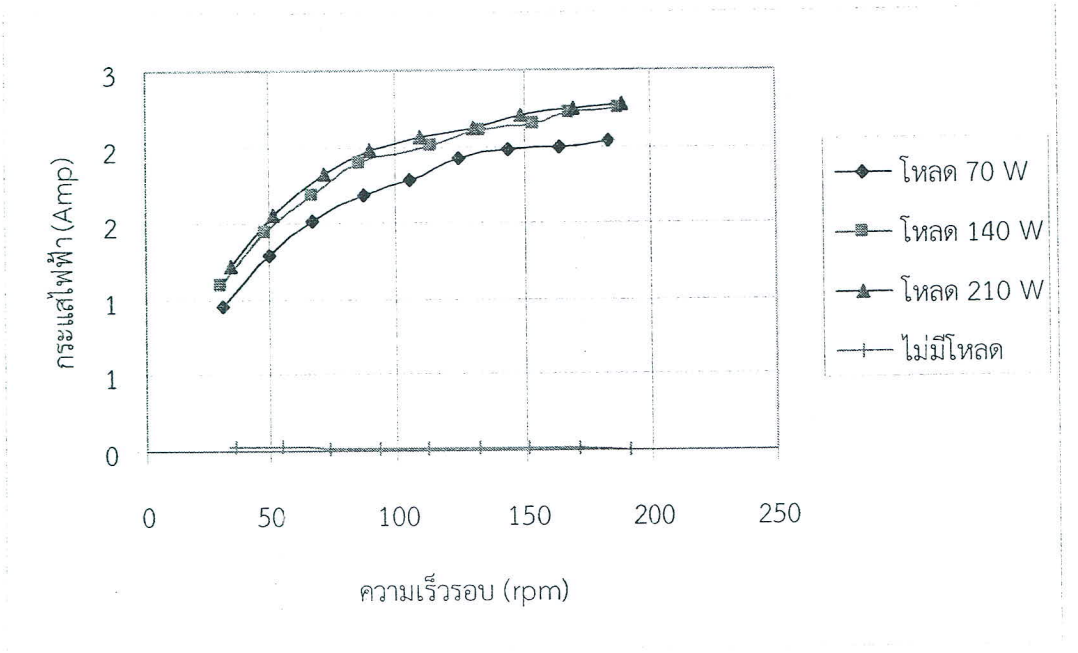
จากการสร้างและทดสอบกังหันลมแบบเต็มขนาดเพื่อการสูบน้ำและผลิตไฟฟ้า โดยสร้างกังหันลมใบผ้าแบบกังหันนาเกลือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8 เมตร มีจำนวน 6 ใบ ทดรอบให้มีความเร็วรอบมากขึ้นให้เหมาะกับการทำงานของกังหันลม **ได้ผลดังนี้**

5.1 ผลการทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้าจากเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบมอเตอร์เครื่องซักผ้า โดยใช้หลอดไฟฟ้า DC ขนาด 24 V @70 W เป็นโหลด **ได้ผลการทดสอบดังภาพที่** 47 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt) ภาพที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับกระแสไฟฟ้า (Amp) และภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับกำลังไฟฟ้า (Watt)

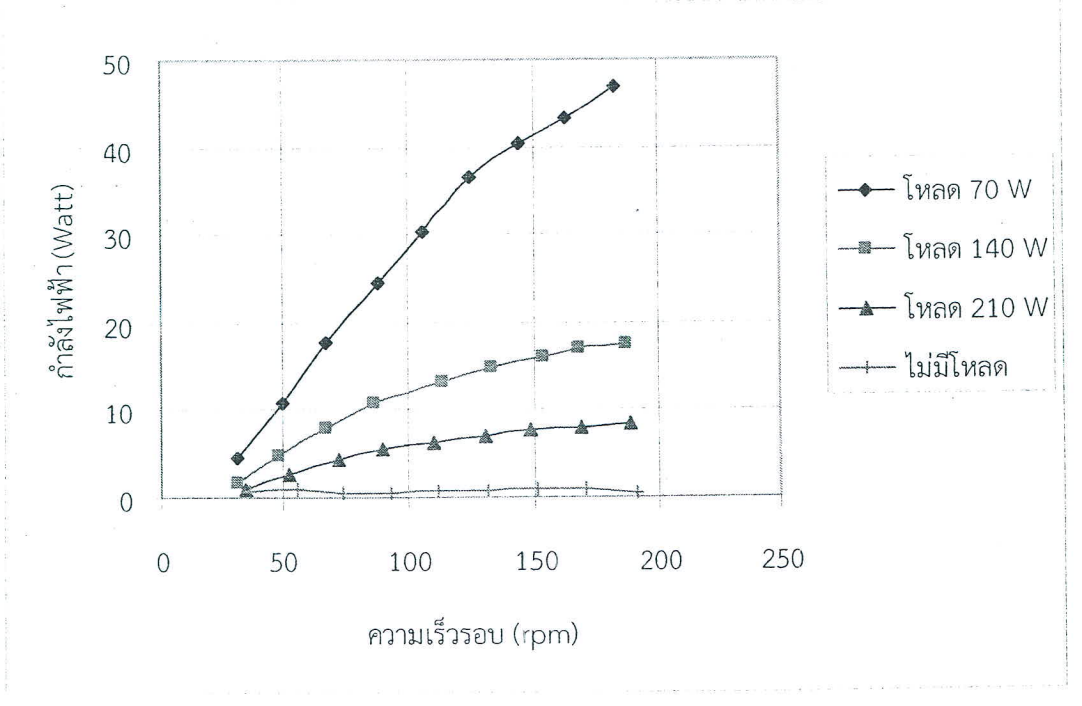
5.2 ผลการทดสอบกังหันลมสูบน้ำกับเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชัก ขนาด 2 นิ้ว แสดงดังภาพที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเพลาเครื่องสูบน้ำ (rpm) กับอัตราการไหล (lps) ทดสอบการสูบน้ำที่เฮด 6 เมตร 10 เมตร และ 15 เมตร โดยต่อเครื่องสูบน้ำกับมอเตอร์ปรับรอบแทนการฉุดด้วยกังหันลม เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำที่ความเร็วรอบเพลาเครื่องสูบน้ำต่าง ๆ และภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม (m/s) กับความเร็วรอบ (rpm) ของกังหันลมขนาด 8 เมตร



ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Volt)



ภาพที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับกระแสไฟฟ้า (Amp)



ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (rpm) กับกำลังไฟฟ้า (Watt)