บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้การวิจัย

3.1.1 ชุดทดลอง

ชุดการทดลองประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

3.1.1.1 กังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าชนิดแกนนอนขนาดพิกัดติดตั้ง 800 วัตต์ กังหันหมุนหาลมได้รอบตัวและตัดการทำงานที่ความเร็วลมเกิน 12 เมตรต่อวินาที

3.1.1.2 กังหันลมทดสอบติดตั้ง ณ โรงเรียนวังกระแสวิทยา อำเภอปลาปาก จังหวัดนครพนม ที่ระดับความสูง 14 เมตร

3.1.1.3 ชุดควบคุมการชาร์จ DC ขนาด 24 โวลต์

3.1.1.4 ชุดเก็บสะสมพลังงาน DC ขนาด 12 โวลต์ 75 Ah จำนวน 2 ลูก

3.1.1.5 หลอดไฟฟ้า DC ขนาด 60 วัตต์ 24 โวลต์ จำนวน 13 หลอด

3.1.2 เครื่องมือวัด

3.1.2.1 เครื่องมือวัดความเร็วลมและเครื่องวัดทิศทางลม Wind data acquisition system (version 070730)

3.1.2.2 เครื่องมือวัดความเร็วลมและทิศทางลม AWS Manager (version 1.1.0.358)

3.1.2.3 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) GRADHTEC รุ่น GL800

3.1.2.4 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแบบดิจิตอล ยี่ห้อ METEX รุ่น M-3650B

3.1.2.5 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล ยี่ห้อ METEX รุ่น M-3650B

3.1.2.6 เครื่องวัดความเร็วรอบ DIGICON DT-235T

3.1.2.7 เครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์ HITACHI L100

3.2 วิธีการดำเนินงาน

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยการออกแบบ สร้าง และทดสอบกังหันลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า พร้อมทั้งประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จึงมีรายละเอียดของการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.2.1 การออกแบบกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

กังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาออกแบบสร้าง และทดสอบการใช้งานจริง รวมทั้งประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยทำการติดตั้งชุดทดสอบในสถานที่จริง การออกแบบกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า สร้างขึ้นเพื่อให้มีความเหมาะสม และสามารถใช้ได้กับภูมิประเทศของจังหวัดนครพนมที่มีศักยภาพลมค่อนข้างต่ำ โดยออกแบบให้กังหันลมเริ่มหมุนที่ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที เป็นต้นไป ให้ตัดทำงานเมื่อมีความเร็วลม 12 เมตร/วินาที กังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 กังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

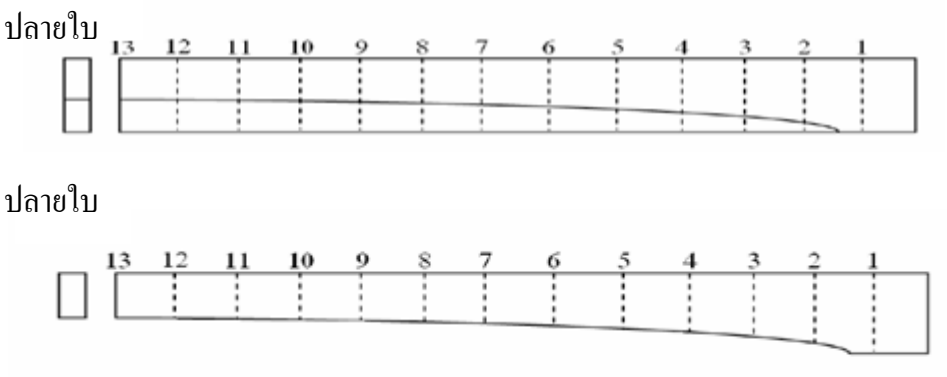
การออกแบบกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2ส่วน ได้แก่ ชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า และชุดติดตั้งเสากังหันลมประกอบด้วยฐานเสา เสา สายสลิงยึดเสา และฐานยึดสายสลิง (Hugh, Piggott, 2000)

3.2.1.1 ชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าประกอบด้วย

1) ใบพัดของกังหันลมเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุด เพราะใบกังหันลมถือเป็นส่วนที่รับพลังงานจากลม ดังนั้นในการออกแบบใบกังหันลมให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นย่อมมีความสำคัญ การเลือกใบกังหัน การเลือกมุมบิด การเลือกขนาดความกว้างของใบกังหัน เพื่อที่จะให้ได้สมรรถนะสูงสุดในการรับพลังงานจากลม รูปร่างของใบกังหันลมที่มีประสิทธิภาพเชิงอากาศพลศาสตร์สูงสุดสามารถหาได้โดยผลเฉลย จากทฤษฎีวิเคราะห์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 เนื่องจากว่ากังหันลม 3 ใบ มีคุณลักษณะที่ให้สัมประสิทธิ์ของกำลังงานสูงในย่านของอัตราส่วนความเร็วปลายใบค่อนข้างสูงในการวิจัยนี้เลือกอัตราส่วนความเร็วปลายใบเท่ากับ 6 เพราะรูปร่างหน้าตัดของใบกังหันมีลักษณะเป็น airfoil ซึ่งมีประสิทธิภาพของแรงขับที่ดีมี

จำนวน 3ใบ ลักษณะรูปร่างเป็นแบบ airfoil พิจารณาความเร็วลมเฉลี่ย 2-5 เมตร/วินาที จากนั้นนำความเร็วลมที่ได้มาคำนวณหาค่า Reynolds's Number ซึ่งจะนำไปเลือกแบบของAirfoil NACA 4415 โดยที่ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิที่ 27°C

การคำนวณหาขนาดความกว้างและมุมบิดที่รัศมีต่างๆของใบกังหันดังภาพที่ 3.2 เมื่อความยาวของใบกังหัน 140 เซนติเมตร ที่ α=6 คิดที่รัศมี 70 เซนติเมตร จากจุดศูนย์กลาง รูปร่างของใบกังหันและมุมบิดที่ออกแบบใบกังหันในอุดมคติ โดยพิจารณาในลักษณะอากาศพลศาสตร์ ทำการคำนวณในรัศมีต่างๆ ตลอดความยาวของใบกังหันดังในตารางที่3.1(รายละเอียดการคำนวณแสดงในหัวข้อที่ 5 ภาคผนวก ก)



ภาพที่ 3.2 การแบ่งส่วนของกังหันลม

เมื่อได้ค่าต่างๆแล้วจึงกำหนดรูปภาคตัดขวางเป็นรูปแพนอากาศขึ้นเพื่อจะไปหาข้อมูลของสัมประสิทธิ์แรงยก และมุมปะทะ เพื่อนำค่ามากำหนดค่าความยาว และมุมบิดของใบต่อไป ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกใบกังหันเป็นรูปแพนอากาศชนิด NACA 4415 นำค่าที่ได้ไปจัดทำใบกังหัน โดยเลือกใช้ไม้ป๊อบทำใบกังหัน เพราะมีน้ำหนักเบา แข็งแรง มีความหนาแผ่นละ 4 มิลลิเมตร จำนวน 6 แผ่น อัดซ้อนกันด้วยกาวพิเศษ มีขนาดความยาว 140 เซนติเมตร กว้าง 15 เซนติเมตรขัดละเอียดทาด้วยสียูรีเทนภายนอกมีจำนวนทั้งหมด 3 ใบ ดังภาพที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 ค่าที่ได้จากการออกแบบใบกังหัน

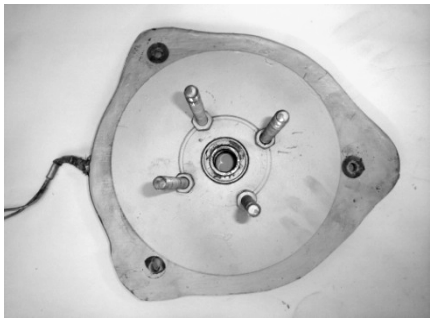
Position	R (cm)	$\alpha°$	Ø	$\beta°$	C(m)
1	20	6	37.88	31.88	0.555
2	30	6	27.42	21.42	0.370
3	40	6	21.25	15.25	0.277
4	50	6	17.27	11.27	0.222
5	60	6	14.52	8.52	0.185
6	70	6	12.52	6.52	0.158
7	80	6	10.97	4.97	0.138
8	90	6	9.81	3.81	0.123
9	100	6	8.86	2.86	0.111
10	110	6	8.02	2.02	0.100
11	120	6	7.40	1.40	0.092
12	130	6	6.84	0.84	0.085
13	140	6	6.33	0.33	0.079

ภาพที่ 3.3 ใบพัด

2) ชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย

- ชุดขดลวด ใช้เบอร์ 18 พันจำนวน 120 รอบ จำนวน 6 ขด นำมาต่อแบบ Single phase เทอัดด้วยน้ำยาเรซิ่นมีความหนา 1.5 เซนติเมตร

- ชุดแม่เหล็ก ใช้แม่เหล็กชนิด Neodrimime ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก 4000 เการ์ขนาด 27x25x10 มิลลิเมตรเมื่อนำแม่เหล็กวางบนแผ่นเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 255 มิลลิเมตร ความหนาเท่ากับ 6 มิลลิเมตร จะได้ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กเท่ากับ 8,000 เการ์เทยึดด้วยน้ำยาเรซิ่น โดยขดลวดจะอยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นแม่เหล็ก 2แผ่น ซึ่งอาศัยหลักการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ดังภาพที่ 3.4

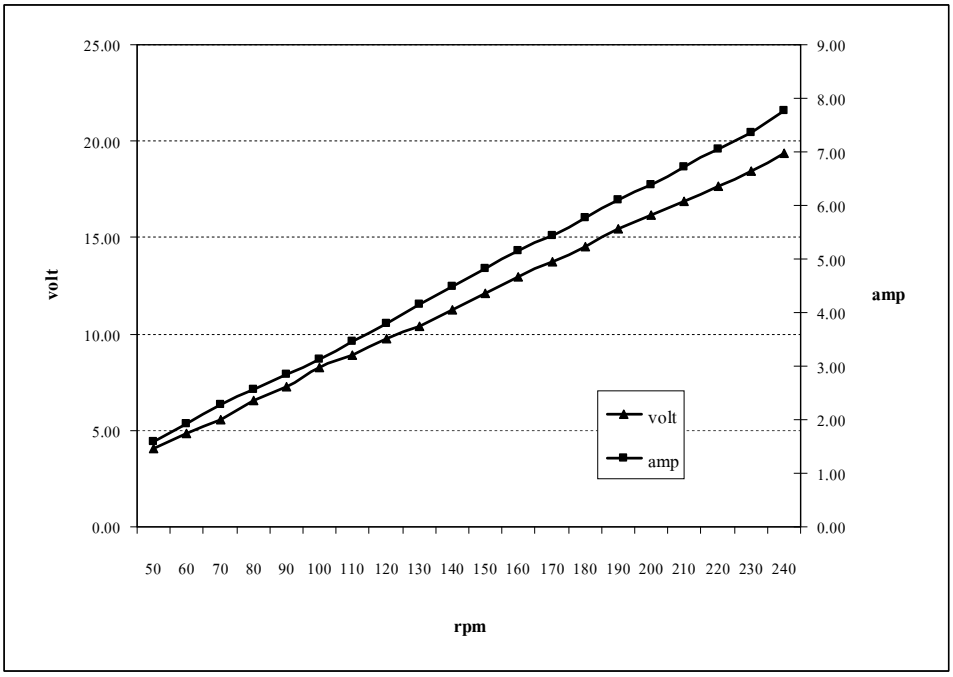


ภาพที่ 3.4 ชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า

ในการออกแบบและสร้างชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า ผู้ศึกษาได้ดำเนินการทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า โดยได้จัดสร้างชุดทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า ก่อนนำไปติดตั้งโดยนำชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าหมุนด้วยความเร็วรอบเริ่มตั้งแต่ 50 รอบต่อนาที และเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 รอบต่อนาที จนถึง 240 รอบต่อนาที ทำการวัดการเกิดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ดังภาพที่ 3.5

ภาพที่ 3.5 การทดสอบชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า

การทดสอบชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า ทำการทดสอบโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าส่งกำลังให้กับ Generator โดยควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วย Inverter (ยี่ห้อ Hitashi รุ่น J100) ทำการทดสอบเริ่มหมุนที่ความเร็ว 50 รอบ/นาที โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 รอบ ไปจนถึง 240 รอบ/นาที โดยทำการวัดกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ใช้ Load 24 โวลต์ 10 วัตต์ และทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จากการทดสอบพบว่าชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จริง โดยเมื่อนำข้อมูลมาจัดทำกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วของ Generator เพิ่มขึ้นกระแสไฟฟ้าและแรงดันก็เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กันตามที่ออกแบบไว้ ดังภาพที่ 3.6

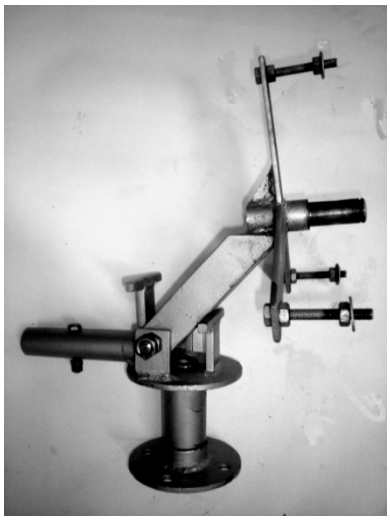


ภาพที่ 3.6 การทดสอบชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้า

3) ชุดโครงกังหัน มีหน้าที่ยึดชุดขดลวด และยึดชุดแม่เหล็กทำจากเหล็กหนา 9 มิลลิเมตร ออกแบบให้มีน้ำหนักเบา แข็งแรง และบำรุงรักษาง่าย หมุนได้ 360 องศาแสดงดังภาพที่ 3.7

4) ชุดหางเสือ (Tail Vane) ใช้ท่อปี๊ปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 มิลลิเมตร ยาว 137 เซนติเมตร ยึดกับแผ่นเหล็กไร้สนิม หนา 1มิลลิเมตร ขนาดพื้นที่รับลมเท่ากับ

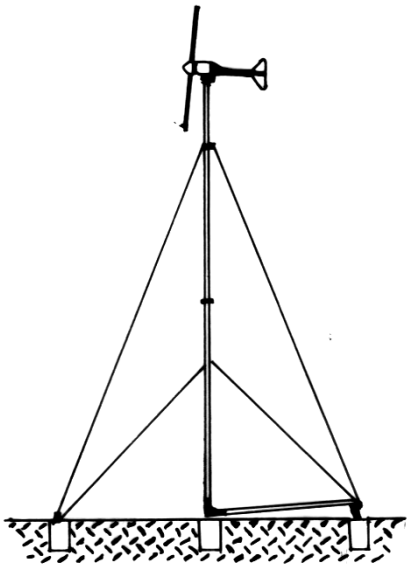
340 ตารางเซนติเมตร ซึ่งชุดหางเสือมีหน้าที่รับลมเพื่อเบี่ยงเบนกังหันให้หันหน้ากังหันรับลมในทิศทางลมที่พัดมาชุดหางเสือแสดงดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.6 โครงกังหันลม

ภาพที่ 3.7 ชุดหางเสือ

3.2.1.2 เสา (Tower)ใช้เสาแบบเสาธง มีข้อดีคือสร้างง่าย ไม่ซับซ้อนติดตั้งง่าย เหมาะกับกังหันลมขนาดเล็ก กำลังผลิตต่ำ ใช้ท่อเหล็กไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 และ 3 นิ้ว จำนวน 2 ท่อนยึดด้วยหน้าแปลน ฐานเสากังหันลมเทด้วยคอนกรีตขนาด 0.5x0.5x1 เมตร เสากังหันยึดด้วยลวดสลิง 2 จุด จำนวน 8 เส้นดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 เสากังหันลมแบบเสาธง

3.2.1.3 ชุดควบคุมการประจุและชุดเก็บประจุ ชุดควบคุมประจุทำหน้าที่ควบคุมให้กระแสไฟฟ้าที่ประจุในชุดเก็บสะสมพลังงาน เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเต็มแล้วจะทำการตัดประจุ และเมื่อแรงดันลดลงชุดควบคุมจะทำการต่อการทำงานอีกครั้งหนึ่ง และใช้ชุดเก็บสะสมพลังงาน จำนวน 2 ลูกๆ ละ 12 โวลต์ 75 แอมแปร์ ต่ออนุกรมจะได้ 24 โวลต์ 75 แอมแปร์ ชุดควบคุมการประจุ แสดงดังรูปที่ 3.10

ภาพที่ 3.10 ชุดควบคุมการประจุ

3.2.1.4 ชุดแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 2000 วัตต์ แปลงไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 โวลต์ เป็น ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ จำนวน 1 ชุด ชุดแปลงกระแสไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 3.11

ภาพที่ 3.10 ชุดแปลงกระแสไฟฟ้า

ทำการติดตั้งเพื่อทดสอบการใช้งานที่ระดับความสูงระดับน้ำทะเล 147.56 เมตร เพื่อหาความหนาแน่นของอากาศและความสูงของตัวกังหันซึ่งสูงจากพื้นดิน 14 เมตร บริเวณการติดตั้งมีต้นไม้ขนาดเล็ก และมีอาคารเรียนความสูง 4 เมตร ไม่บังทิศทางลม เมื่อพิจารณาพลังงานที่สะสมในลมตลอดช่วงความเร็วลม 2-12 เมตร/วินาที สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 3.2 (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงในข้อที่ 1 ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 3.2 สรุปค่าพลังงานที่มีอยู่ในลม

ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	กำลังลมที่ได้ (วัตต์)
2.0	21.15
2.5	41.32
3.0	71.39
3.5	113.37
4.0	169.23
4.5	240.95
5.0	330.53
5.5	439.93
6.0	571.15

ตารางที่ 3.2 สรุปค่าพลังงานที่มีอยู่ในลม(ต่อ)

ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	กำลังลมที่ได้ (วัตต์)
6.5	726.16
7.0	906.96
7.5	1,115.52
8.0	1,353.83
8.5	1,623.87
9.0	1,927.62
9.5	2,267.07
10.0	2,644.20
10.5	3,060.99
11.0	3,519.43
11.5	4,021.50
12.0	4,569.18

3.2.2 การประเมินความเร็วลม

เนื่องจากกังหันลมเริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2 เมตร/วินาที ดังนั้นจึงได้กำหนดช่วงลมสงบคือช่วงลมที่มีความเร็วลมต่ำกว่า 2 เมตร/วินาที การประเมินความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆในโครงงานนี้ประเมินโดยใช้สมการของ Lysen (Lysen,1982:21) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{V_Z}{V_{Z1}} = \frac{ln\left(\frac{z}{z0}\right)}{ln\left(\frac{zr}{z0}\right)} \qquad (3.1)$$

เมื่อ V_Z คือความเร็ว ณ จุดตำแหน่งที่ต้องการหา

V_{Z1} คือคือความเร็ว ณ ตำแหน่งอ้างอิง

Z คือความสูง ณ ตำแหน่งที่ต้องการหาความเร็ว

Zo คือระดับความสูงที่ความเร็วลมเป็นศูนย์

Zr คือระดับความสูง ณ ตำแหน่งอ้างอิง

จากข้อมูลความเร็วลมของกรมอุตุนิยมวิทยานครพนม ซึ่งวัดที่ความสูง 10 เมตร โดยใช้เครื่องมือวัดของ AWS Manager Version 1.1.0.358 เก็บข้อมูลทุก 1 นาที เมื่อนำข้อมูลมาใช้เป็นฐานในการประเมินที่ระดับความสูง 14 เมตร ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3.3 (รายละเอียดการคำนวณแสดงไว้ในหัวข้อที่ 2 ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 3.3 ความเร็วลมเฉลี่ยในระดับความสูง 14 เมตร

ลำดับที่	เดือน	ความเร็วที่ระดับความสูง (เมตร/วินาที)	
		10 เมตร	**14 เมตร**
1	พฤศจิกายน 2551	3.41	3.91
2	ธันวาคม 2551	3.07	3.52
3	มกราคม 2552	3.21	3.68
4	กุมภาพันธ์ 2552	2.15	2.47
5	มีนาคม 2552	1.80	2.04
6	เมษายน 2552	1.75	2.01
7	พฤษภาคม 2552	1.73	2.04
8	มิถุนายน 2552	1.66	1.91
9	กรกฎาคม 2552	2.61	3.00
10	สิงหาคม 2552	2.58	2.96
11	กันยายน 2552	2.32	2.66
12	ตุลาคม 2552	3.05	3.50
ความเร็วลมเฉลี่ย		2.45	2.81

3.3 วิธีการเก็บและบันทึกข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลความเร็วลม ณ สถานที่ตัวอย่าง ดำเนินการโดยใช้มือเครื่องวัดความเร็วลม WIND DATA ACQUISITION SYSTEM (Version 070730) สามารถบันทึกข้อมูลความเร็วลม 24 ชั่วโมง ค่าความแม่นยำในการวัดความเร็วลมเท่ากับ ±0.3 เมตร/วินาที และค่าความแม่นยำในการวัดทิศทางลมเท่ากับ ±3° โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลมและทิศทางลมที่ความสูง 10 เมตร

3.2.2 เก็บข้อมูลความเร็วลมทุกๆ 1 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 1-2 เดือน ณ โรงเรียนวังกระแสวิทยา อำเภอปลาปาก จังหวัดนครพนม

3.2.3 วัดความเร็วรอบของชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ

3.2.4 ใช้เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแบบดิจิตอลยี่ห้อ METEX รุ่น M-3650B

3.2.5 ใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าดิจิตอลยี่ห้อ METEX รุ่น M-3650B

3.2.6 ทำการเก็บรวมรวมข้อมูลขณะกังหันลมทำงานจริง เมื่อความเร็วลมในขณะกังหันลมทำงาน ณ ความเร็วรอบต่างๆ

3.4 การประเมินศักยภาพลมโดยใช้การแจกแจงแบบไวบูลล์

ได้ทำการตรวจวัดความเร็วลมที่ระดับความสูง 10 เมตร ในพื้นที่โรงเรียนวังกระแสวิทยา อำเภอปลาปาก จังหวัดนครพนม และทำการเปรียบเทียบความเร็วลมในเดือนเดียวกันกับข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยานครพนม จากข้อมูลที่ทำการวัดในเดือนมิถุนายน 2552 มีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 1.78 เมตร/วินาที เดือนกรกฎาคม 2552 มีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 เมตร/วินาที สิงหาคม2552มีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 2.76 เมตร/วินาที และเดือนกันยายน 2552 มีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 2.48 เมตร/วินาที เมื่อนำข้อมูลทั้งสองแหล่งมาเปรียบเทียบกับ ปรากฏว่า ข้อมูลความเร็วลมที่ทำการตรวจวัดจากสถานที่ตัวอย่าง มีความใกล้เคียงกับข้อมูลความเร็วลมของกรมอุตุนิยมวิทยานครพนม จึงได้เลือกข้อมูลจากลมกรมอุตุนิยมวิทยานครพนมมาพิจารณา เพื่อประเมินศักยภาพลม โดยใช้สมการการแจกแจงแบบไวบูลล์ที่ความสูง 14 เมตร โดยหาค่าความเร็วลมเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) พารามิเตอร์รูปร่าง (k) Grammar Function $\Gamma(x)$ และค่าพารามิเตอร์ระดับ (C) ได้ค่าไวบูลล์พารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.4 (วิธีการคำนวณแสดงไว้ในข้อ 3 ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 3.4 ค่าไวบูลล์พารามิเตอร์

ความสูง (m)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	S.D. (m/s)	k	C (m/s)	$\Gamma(x)$
14	2.81	1.51	1.96	3.17	0.89

จากค่าพารามิเตอร์ไวบูลล์ สามารถจำลองหาค่าความน่าจะเป็นความเร็วลมของแต่ละความเร็วลมได้ โดยใช้การกระจายสถิติแบบไวบูลล์ โดยแทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (2.15) ซึ่งรายละเอียดการคำนวณหาค่าพลังงานสุทธิที่ได้ในหนึ่งปี แสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ก

3.5 การคำนวณหาค่าพลังงานสุทธิที่ได้ในหนึ่งปี

การคำนวณหาค่าพลังงานสุทธิที่ได้ในหนึ่งปี ในพื้นที่ที่ทำการติดตั้งกังหันลมที่ระดับความสูง 14 เมตร มีดังนี้

3.5.1 ความน่าจะเป็นของช่วงความเร็ว สามารถคำนวณได้โดยการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นในช่วงความเร็วลมนั้นๆ จากความน่าจะเป็นความเร็วลม x_1 ถึง x_2 เมตร/วินาทีเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟ PDF ระหว่าง x_1 ถึง x_2 เมตร/วินาที โดยตัวอย่างการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.5.2 จำนวนชั่วโมงที่ลมพัดที่ความเร็วลมต่างๆ สามารถหาได้โดยการนำจำนวนชั่วโมงที่มีความเร็วลม x_1 ถึง x_2 เมตร/วินาที เท่ากับความน่าจะเป็นของความเร็วลม x_1 ถึง x_2 เมตร/วินาที คูณกับ 8,760 ชั่วโมง/ปี โดยตัวอย่างการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.6 การติดตั้งชุดทดลองและการทดสอบ

ขั้นตอนการติดตั้งชุดทดลอง และทดสอบประสิทธิภาพกังหันลม ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก โดยเมื่อทำการติดตั้งชุดทดลองเรียบร้อยแล้ว จึงทำการตรวจสอบว่ากังหันลมทำงานปกติหรือไม่ ซึ่งโดยปกติ กังหันลมจะเริ่มหมุนที่ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ที่ความเร็วลม 2.00 เมตร/วินาที และผลิตกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ความเร็วลม 11.5 เมตร/วินาที เมื่อความเร็วลมเกิน 12 เมตร/วินาที กังหันลมจะตัดการทำงาน เมื่อกระแสลมเปลี่ยนทิศทางแล้ว กังหันลมสามารถหมุนเปลี่ยนทิศเพื่อรับลมได้ตามปกติ

เมื่อแน่ใจว่าชุดทดลองทำงานตามปกติแล้ว จึงตรวจสอบเครื่องมือวัดทุกอุปกรณ์ และทำการทดสอบเก็บข้อมูลต่อไป

3.7 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า แบ่งการวิเคราะห์ได้ดังนี้

3.7.1 ค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้แก่

3.7.1.1 ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นได้แก่ค่าจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์โดยรายการวัสดุอุปกรณ์แสดงดังตารางที่ 3.5

3.7.1.2 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา จะทำการคิดค่าใช้จ่ายเมื่อเริ่มต้นทำการติดตั้งกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าเรียบร้อยแล้วต่อปีประมาณ 1,975 บาทต่อปี โดยคิดที่ 5%ของต้นทุนทั้งหมด

3.7.1.3 มูลค่าซากของกังหันลม คิดเป็นมูลค่าซากรายปีตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี โดยคิดที่ 10 % ของเงินลงทุนเริ่มต้นเท่ากับ 279.21 บาท

3.7.1.4 อัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 6.45 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3.5 รายการวัสดุอุปกรณ์

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	จำนวนเงิน (บาท)
1	แม่เหล็กแรงสูง(Neodymium)	16 อัน	3,200
2	Bearing Hub	2 ตลับ	500
3	ลวดทองแดงอาบน้ำยาวานิช	9 ขด	1,800
4	เรซิ่น(Polyester Resin)	1 ชุด	600
5	แผ่นเหล็กกลมหนา 9 มิลลิเมตร Ø 9.5 นิ้ว	2 แผ่น	350
6	เหล็กแป๊ป Ø 2.5 นิ้ว ยาว 70 เซนติเมตร	1 ท่อน	136
7	เหล็กแบนหนา 7 มิลลิเมตร 100 เซนติเมตร	1 ท่อน	180
8	เหล็กแบนหนา 9 มิลลิเมตร 100 เซนติเมตร	1 ท่อน	230
9	เหล็กตัว C 7.5 x 3.8 ยาว 40 เซนติเมตร	1 ท่อน	150
10	เหล็กกลมตัน Ø 1.5 นิ้ว ยาว 20 เซนติเมตร	1 ท่อน	176
11	เหล็กกลมหนา 6 มิลลิเมตร Ø 3.5 นิ้ว	2 แผ่น	153
12	แผ่นเหล็กหนา 9 มิลลิเมตร 25 x 25 เซนติเมตร	1 แผ่น	80
13	แผ่นเหล็กไร้สนิมหนา 2 มิลลิเมตร	1 แผ่น	360
14	แป๊ปประปา Ø 4 นิ้ว	1 ท่อน	1,850
15	แป๊ปประปา Ø 3 นิ้ว	1 ท่อน	1,550
16	แป๊ปประปา Ø 2.5 นิ้ว	1 ท่อน	138
17	แป๊ปดำ Ø 3 นิ้ว	1ท่อน	615
18	แป๊ปประปา Ø 3 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร	1 ท่อน	162
19	น็อตเกลียวยาว	2 เส้น	360
20	น็อตตัวผู้+ตัวเมีย เบอร์ 21	20 ตัว	320
21	แหวนรอง	40 ตัว	40

ตารางที่ 3.5 รายการวัสดุอุปกรณ์ (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	จำนวนเงิน (บาท)
22	ไม้กว้าง 6 นิ้ว ยาว48 นิ้ว หนา2 เซนติเมตร	18 อัน	3,200
23	สายไฟ 2.5 มิลลิเมตร	1ม้วน	2,300
24	ชุดเก็บประจุ 12 V. 70 Ah.	2 หม้อ	5,400
25	ชุดชาร์จและชุดแปลงกระแสไฟฟ้า(inverter)	1 ชุด	3,900
26	เหล็กเส้น 3 มิลลิเมตร	10 เส้น	250
27	สายสลิง+สเก็น+เกลียวปรับ+เหล็กรัด	1 ชุด	3,000
28	ชุดควบคุมการชาร์จ	1 ชุด	3,500
29	อุปกรณ์เชื่อม ตัด เจียร กระดาษทราย	1 ชุด	1,500
30	ปูน หิน ทราย	1 ชุด	1,500
31	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน(ค่าจ้างแรงงาน)		2,000
รวมทั้งสิ้น			39,500

หมายเหตุ:ราคาค่าวัสดุอุปกรณ์อาจเปลี่ยนแปลงตามราคาท้องตลาด

3.7.2 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย

พิจารณาจากค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

3.7.3 ระยะเวลาคืนทุน

พิจารณาจากเงินลงทุนเริ่มต้นสร้างระบบกังหันลมต่อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี