สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ญ
รายการสัญลักษณ์	ฐ
1. บทนำ	**1**
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 ลม	4
2.2 พลังงานลม	6
2.3 กังหันลม	7
2.4 ทฤษฎีกังหัน	9
2.5 ทฤษฎีสามเหลี่ยมความเร็ว	11
2.6 ทฤษฎีกังหันไอน้ำ	14
2.7 ปล่อง	18
2.8 ทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	20
2.9 การประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์	23
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. วิธีดำเนินงานวิจัย **30**
3.1 ขั้นตอนการวางแผนการดำเนินงาน 30
3.2 การออกแบบและดำเนินการสร้าง 31
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 44
3.4 วิธีเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง 45

4. ผลการวิจัย **50**
4.1 ผลการสำรวจความเร็วลม 50
4.2 ผลการทดลองปล่องทรงกระบอก 51
4.3 ผลการทดลองปล่องทรงกรวย 56
4.4 ผลการเปรียบเทียบปล่องทรงกระบอกและปล่องทรงกรวย 61
4.5 ผลการทดลองปล่องกังหันลมผลิตไฟฟ้า 62
4.6 ผลการจำลองปล่องทรงกระบอกกรณีทำการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง 68
4.7 ผลการประเมินค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ 71

5. สรุปผลการวิจัย **73**
5.1 สรุปผลการวิจัย 73
5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย 74

เอกสารอ้างอิง **75**

ภาคผนวก
ก. ตารางบันทึกข้อมูลผลการทดลอง 77
ข. แบบแปลนการศึกษาสมรรถนะปล่องกังหันลมสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า 104

ประวัติผู้วิจัย **114**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

ก.1 การสำรวจความเร็วลม 78

ก.2 การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 79

ก.3 การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 20 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 79

ก.4 การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 79

ก.5 การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 40 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 80

ก.6 การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 50 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 80

ก.7 การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 60 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 80

ก.8 การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 70 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 81

ก.9 การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 80 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 81

ก.10 การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 90 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 81

ก.11 การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 100 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 82

ก.12 การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 10 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 82

ก.13 การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 20 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 82

ก.14 การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 30 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง 83

รายการตาราง(ต่อ)

ตาราง		หน้า
ก.15	การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 40 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง	83
ก.16	การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 50 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง	83
ก.17	การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 60 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง	84
ก.18	การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 70 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง	84
ก.19	การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 80 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง	84
ก.20	การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 90 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง	85
ก.21	การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 100 เปอร์เซ็นต์ของความสูงปล่อง	85
ก.22	การทดลองปล่องทรงกระบอกที่ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 60 เปอร์เซ็นต์	86
ก.23	การทดลองปล่องทรงกระบอกที่ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 70 เปอร์เซ็นต์	87
ก.24	การทดลองปล่องทรงกระบอกที่ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 80 เปอร์เซ็นต์	88
ก.25	การทดลองปล่องทรงกรวยที่ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 30 เปอร์เซ็นต์	89
ก.26	การทดลองปล่องทรงกรวยที่ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 40 เปอร์เซ็นต์	90
ก.27	การทดลองปล่องทรงกรวยที่ระดับความสูงช่องรับลมเข้า 50 เปอร์เซ็นต์	91
ก.28	การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการใช้โปรแกรมการจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลองปล่องทรงกระบอกในสถานที่จริง	92
ก.29	การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการใช้โปรแกรมการจำลองทางคณิตศาสตร์กับการทดลองปล่องทรงกรวยในสถานที่จริง	93
ก.30	การเปรียบเทียบปล่องทรงกระบอกและปล่องทรงกรวย	94
ก.31	การทดลองปล่องกังหันลมผลิตไฟฟ้าในกรณีไม่ทำการต่อโหลดทางไฟฟ้า	95

รายการตาราง(ต่อ)

ตาราง **หน้า**

ก.32 การทดลองปล่องกังหันลมผลิตไฟฟ้าในกรณีทำการต่อโหลดทางไฟฟ้า 20W 96

ก.33 การทดลองปล่องกังหันลมผลิตไฟฟ้าในกรณีทำการต่อโหลดทางไฟฟ้า 50W 97

ก.34 การทดลองปล่องกังหันลมผลิตไฟฟ้าในกรณีทำการต่อโหลดทางไฟฟ้า 80W 98

ก.35 การทดลองสมรรถนะปล่องกังหันลมแบบมีใบพัดปรับทิศทางลม (Fixed Blade) 99

ก.36 การทดลองสมรรถนะใบพัดกังหันลมในกรณีไม่มีปล่อง 100

ก.37 การทดสอบหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า 101

ก.38 การทดสอบค่ากระแสไฟฟ้า แบบมีโหลด 50W 101

ก.39 การทดสอบค่ากระแสไฟฟ้า แบบมีโหลด 100W 102

ก.40 การทดสอบค่ากระแสไฟฟ้า แบบมีโหลด 150W 102

ก.41 การทดสอบค่ากระแสไฟฟ้า แบบมีโหลด 200W 103

ก.42 การทดสอบค่ากระแสไฟฟ้า แบบมีโหลด 250W 103

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ความเร็วลมV เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A	6
2.2	ลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงฉุด	7
2.3	ลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงยก	8
2.4	ลักษณะกังหันลมแกนหมุนแนวตั้งชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงผสม	8
2.5	กังหันลมแกนหมุนแนวนอน	9
2.6	แบบจำลองของวงล้อใบพัดที่หมุน (Rotor)	9
2.7	สามเหลี่ยมความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆในสเตจ	12
2.8	สามเหลี่ยมความเร็วที่แถวใบพัดเคลื่อนที่	13
2.9	แรงย่อยที่กระทำกับใบกังหันไอน้ำ	15
2.10	แรงดลของไหลที่กระทำต่อใบพัด	15
2.11	การกระทบของลำของไหลบนใบพัดโค้ง 180 องศา	16
2.12	แถวของใบพัดอิมพัลซ์บนวงล้อ	17
2.13	ไดอะแกรมความเร็วของใบกังหันและสามเหลี่ยวความเร็วของกังหัน	17
2.14	ปล่องรูปทรงกระบอก	18
2.15	ปล่องรูปทรงกรวย	19
2.16	หลักการทำงานของฟาราเดย์	20
2.17	หลักการเบื้องต้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด	20
2.18	หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระสตรง	21
2.19	หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	21
3.1	ขั้นตอนการวางแผนการดำเนินงาน	30
3.2	ปล่องรูปทรงกระบอก	31
3.3	ปล่องรูปทรงกรวย	32
3.4	การจำลองปล่องทรงกระบอกด้วยโปรแกรม Solid works Flow Simulation	33
3.5	การจำลองปล่องทรงกรวยด้วยโปรแกรม Solid works Flow Simulation	33
3.6	ใบพัดปรับทิศทางลมทำมุม 20°	34
3.7	ใบพัดปรับทิศทางลมจำนวน 24 ใบ	34
3.8	ใบพัดที่เคลื่อนที่ทำมุม 20°	35
3.9	ใบพัดที่เคลื่อนที่จำนวน 12 ใบ	35

รายการรูปประกอบ(ต่อ)

รูป **หน้า**

3.10 ชุดโรเตอร์ 36
3.11 การต่อวงจรชุดขดลวดชุดสเตเตอร์ 38
3.12 หล่อเรซิ่นขดลวดชุดสเตเตอร์ 38
3.13 โครงสร้างที่ใช้ยึดชุดโรเตอร์กับชุดสเตเตอร์เข้าด้วยกัน 39
3.14 การทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยไม่ต่อโหลด 40
3.15 การทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยต่อโหลด 41
3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้า 42
3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า 43
3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า 44
3.19 เครื่องวัดอุณหภูมิและความเร็วลม 44
3.20 เครื่องวัดความเร็วลม Anemometer 45
3.21 เครื่องมัลติมิเตอร์ 45
3.22 เครื่องวัดความเร็วรอบ 46
3.23 ปล่องทรงกระบอก 46
3.24 ปล่องทรงกรวย 47
3.25 ทำการประกอบชุดใบพัดเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 47
3.26 ทำการประกอบชุดใบพัดเข้ากับปล่อง 48
3.27 บริเวณภายในปล่องกังหันลม 48
3.28 วิธีการเก็บผลการทดลอง 49
3.29 การศึกษาสมรรถนะปล่องกังหันลมสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า 49
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับเวลา 50
4.2 การจำลองปล่องทรงกระบอกที่ระดับความสูงช่องเปิดรับลม 10-100% ของความสูงปล่อง 51
4.3 การทดลองปล่องทรงกระบอกในสถานที่จริงระดับความสูงช่องรับลมเข้า 60 เปอร์เซ็นต์ 52
4.4 การทดลองปล่องทรงกระบอกในสถานที่จริงระดับความสูงช่องรับลมเข้า 70 เปอร์เซ็นต์ 53
4.5 การทดลองปล่องทรงกระบอกในสถานที่จริงระดับความสูงช่องรับลมเข้า 80 เปอร์เซ็นต์ 54
4.6 การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการใช้โปรแกรมการจำลองทางคณิตศาสตร์ กับการทดลองปล่องทรงกระบอกในสถานที่จริง 55

รายการรูปประกอบ(ต่อ)

รูป		หน้า
4.7	การจำลองปล่องทรงกรวยที่ระดับความสูงช่องเปิดรับลม 10-100% ของความสูงปล่อง	56
4.8	การทดลองปล่องทรงกรวยในสถานที่จริงระดับความสูงช่องรับลมเข้า 30 เปอร์เซ็นต์	57
4.9	การทดลองปล่องทรงกรวยในสถานที่จริงระดับความสูงช่องรับลมเข้า 40 เปอร์เซ็นต์	58
4.10	การทดลองปล่องทรงกรวยในสถานที่จริงระดับความสูงช่องรับลมเข้า 50 เปอร์เซ็นต์	59
4.11	การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการใช้โปรแกรมการจำลองทางคณิตศาสตร์ กับการทดลองปล่องทรงกรวยในสถานที่จริง	60
4.12	การเปรียบเทียบระหว่างปล่องทรงกระบอกและปล่องทรงกรวย	61
4.13	การทดลองปล่องกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าโดยไม่ทำการต่อโหลดทางไฟฟ้า	62
4.14	การทดลองปล่องกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าโดยทำการต่อโหลดทางไฟฟ้า 20 W	63
4.15	การทดลองปล่องกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าโดยทำการต่อโหลดทางไฟฟ้า 50 W	64
4.16	การทดลองปล่องกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าโดยทำการต่อโหลดทางไฟฟ้า 80 W	65
4.17	การทดลองสมรรถนะปล่องกังหันลมแบบมีใบพัดปรับทิศทางลม (Fixed Blade)	66
4.18	การทดลองสมรรถนะใบพัดกังหันลมในกรณีไม่มีปล่อง	67
4.19	การจำลองปล่องทรงกระบอกที่ระดับความสูงช่องเปิดรับลม 10-100% ของความสูงปล่อง	68
4.20	การจำลองปล่องทรงกระบอกที่ระดับความสูงช่องเปิดรับลม 10-100% ของความสูงปล่อง	69
4.21	การจำลองปล่องทรงกระบอกที่ระดับความสูงช่องเปิดรับลม 10-100% ของความสูงปล่อง	70
ข.1	ปล่องทรงกระบอก	105
ข.2	ปล่องทรงกรวย	106
ข.3	ใบพัด (Fixed Blades)	107
ข.4	ใบพัด (Moving Blades)	108
ข.5	ชุดขดลวด (Stator)	109
ข.6	ชุดแม่เหล็ก (Rotor)	110
ข.7	โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	111
ข.8	การประกอบใบพัดกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	112
ข.9	ฐานยึดปล่อง	113

รายการสัญลักษณ์

P_w	=	กำลังงานของลม	W
ρ	=	ค่าความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^2
A	=	พื้นที่หน้าตัดของกังหัน m^2	
V	=	ความเร็วลม	m /s
F_a	=	แรงที่กระทำต่อวงล้อในแนวแกนเพลา	N
$\dot{m}$	=	อัตราการไหล	kg/s
C_{1a}, C_{2a}	=	องค์ประกอบของความเร็วของกระแสการไหลในแนวแกนm/s ที่ทางเข้าและออก	
F	=	แรงดล	N
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของลำของไหล	kg/s
V_S	=	ความเร็วในแนวแรง	m/s
V_B	=	ความเร็วในแนวเรียบ	m/s
V_B	=	ความเร็วของใบพัด	m/s
V_{S1}	=	ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลที่ออกจากหัวฉีด	m/s
V_{S2}	=	ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลออกจากใบกังหัน	m/s
V_{r1}	=	ความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลขาเข้าใบพัด	m/s
V_{r2}	=	ความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลออกจากใบพัด	m/s
θ	=	มุมหัวฉีด	องศา
ϕ	=	มุมทางเข้าใบกังหัน	องศา
γ	=	มุมทางออกใบกังหัน	องศา
δ	=	มุมทางออกของไหล	องศา
r	=	รัศมี	m
h	=	ความสูง	m
r_1	=	รัศมีด้านบน	m
r_2	=	รัศมีด้านล่าง	m

รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

E_{av}	=	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย	V
B_i	=	ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก	wb/m^2
l	=	ความยาวตัวนำ	m
V_i	=	อัตราความเร็วในการเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก	m/s
V_i	=	อัตราความเร็วในการเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก	m/s
R_i	=	รัศมีขอขดลวดตัวนำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	m
S	=	ความเร็วรอบของเพลา	rpm
E_{av}	=	อัตราความเร็วในการเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก	m/s
B_i	=	ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก	wb/m^2
n	=	ความเร็วรอบของเพลา	rpm
A	=	พื้นที่ทั้งหมดของสนามแม่เหล็ก	m^2
E_{peak}	=	แรงดันสูงสุด	V
I	=	กระแสไฟฟ้า	A
V	=	ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก	V
R	=	ค่าความต้านทาน	Ω
P	=	กำลังไฟฟ้า	W
V	=	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	V
I	=	กระแสไฟฟ้า	A
E	=	พลังงานไฟฟ้า	W
P	=	กำลังไฟฟ้า	W
T	=	เวลา	h
R	=	มูลค่าเงินในอนาคต	
P	=	มูลค่าเงินปัจจุบัน	
I	=	อัตราดอกเบี้ยรายปี	
C	=	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด	

รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

Cc	=	ค่าใช้จ่ายในด้านการลงทุน
Cf	=	ค่าใช้จ่ายในด้านเชื้อเพลิง
Com	=	ค่าใช้จ่ายในด้านการบำรุงรักษา
T	=	ค่าเสื่อมราคารายปี
P	=	ค่าลงทุนเบื้องต้น
S	=	มูลค่าซาก
N	=	จำนวนปีที่ทำงาน
t	=	ปีที่ต้องการ
N	=	ปีที่พิจารณา
P	=	ค่าลงทุนเบื้องต้น
S	=	มูลค่าซาก
ROI	=	อัตราการคืนทุน
ANB	=	ผลตอบแทนรายปี
C	=	ค่าใช้จ่ายรายปี
P	=	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน