สารบัญ

บทที่	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่ ๑ บทนำ	๑
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	๑
1.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	๓
1.3 วัตถุประสงค์โครงงาน	๘
1.4 ขอบเขตและข้อจำกัดของโครงงาน	๘
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	๙
1.6 แนวคิดหลักการเบื้องต้น	๑๐
1.7 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	๑๒
1.7.1 วัฏจักรแรงดินเบื้องต้น	๑๒
1.7.2 Organic Rankine cycle	๑๓
1.7.3 เครื่องจักรกังหัน (Turbomachinery)	๒๐
1.7.4 กังหันอิมพัลซ์ (Impulse Turbines)	๒๓
1.7.5 หลักการอิมพัลซ์	๓๐
1.7.6 Velocity Diagram	๓๓
1.7.7 แรงบิด (Torque)	๓๖
1.7.8 Rope Brake	๓๗

1.7.9 การคำนวณหาขนาดของเพลา ๓๘

บทที่ ๒ เนื้อเรื่อง ๓๙

๒.๑ วิธีดำเนินงาน ๓๙

๒.๑.๑ ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย ๓๙

๒.๒ วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ ๔๐

๒.๒.๑ ชุดทดสอบวัดแรงบิด ๔๐

๒.๒.๒ ตราชั่งดิจิตอล ๔๐

๒.๒.๓ หัววัดอุณหภูมิจุดต่างๆของระบบ ๔๑

๒.๒.๔ อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิก๊าซร้อน Data Logger ๔๒

๒.๒.๕ เครื่องมือวัดรอบการหมุน ๔๓

๒.๒.๖ เกจวัดความดัน ๔๓

๒.๒.๗ ปั๊มสุญญากาศ ๔๔

๒.๒.๘ เกจแมนิโฟลด์ ๔๕

๒.๓ ขั้นตอนการทดสอบ ๔๕

๒.๓.๑ การตรวจหารอยรั่วของระบบ ๔๖

๒.๓.๒ การทำสุญญากาศของระบบ ๔๗

๒.๓.๓ การชาร์จสารทำงานเข้าในระบบ ๔๗

๒.๓.๔ ขั้นตอนการทดสอบและเก็บข้อมูลระบบ ๔๘

๒.๔ ผลการทดสอบ ๔๙

๒.๔.๑ ผลของอุณหภูมิก่อนเข้าและหลังเข้ากังหัน ๔๙

๒.๔.๒ ผลของความดันก่อนเข้าและหลังเข้ากังหัน ๕๐

๒.๔.๓ ผลของความเร็วการไหลขาเข้าและขาออกกังหัน ๕๐

๒.๔.๔ ผลของกำลังทางทฤษฎีและกำลังจากการวัดค่า ๕๑

๒.๔.๕ ผลของการประเมินประสิทธิภาพของกังหัน ๕๓

บทที่ ๓ อภิปรายผลการวิจัย ๕๔

๓.๑ การวิเคราะห์สมบัติของสารทำงาน ๕๔

๓.๒ การทดสอบชุดกังหัน ๕๕

๓.๓ การวิเคราะห์การสูญเสียของระบบ ๕๕

๓.๔ ผลของการทดสอบประสิทธิภาพ ๕๖

บทที่ ๔ สรุปและเสนอแนะ ๕๗

๔.๑ สรุปผลการวิจัย ๕๗

๔.๒ ข้อเสนอแนะโครงงานวิจัย ๕๗

เอกสารอ้างอิง ๕๙

ภาคผนวก ๖๒

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
๑.๑ อุณหภูมิที่ปล่องไอเสียของเตาเผาประเภทต่าง ๆ	๒
ก.๑ ตารางบันทึกความเร็วรอบและการวัดแรงบิด	๖๒
ก.๒ ตารางบันทึกความเร็วลมขาเข้า	๖๓
ก.๓ ตารางบันทึกความเร็วลมขาออก	๖๔

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ ๑.๑ หม้อไอน้ำและค่าการตรวจวัดอุณหภูมิก๊าซไอเสีย (Flue gas temperature)	๒
รูปที่ ๑.๒ หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ	๑๐
รูปที่ ๑.๓ องค์ประกอบเบื้องต้นของระบบ	๑๑
รูปที่ ๑.๔ แผนภาพการทำงานของวัฏจักรแรงคินอย่างง่าย	๑๓
รูปที่ ๑.๕ แผนภาพการทำงานของวัฏจักรแรงคินที่ใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นสารทำงาน	๑๔
รูปที่ ๑.๖ ลักษณะการทำงานพื้นฐานของระบบ ORC เปลี่ยนรูปเป็นไฟฟ้าอย่างง่าย	๑๕
รูปที่ ๑.๗ แผนผังแนวทางการวิเคราะห์ใบพัดกังหันแบบ Impulse และ Reaction	๒๒
รูปที่ ๑.๘ อิมพัลซ์เสตจเดี่ยวอุดมคติ กังหัน de Laval	๒๓
รูปที่ ๑.๙ กังหันอิมพัลซ์ แบบประกอบความเร็ว อุดมคติ (Curtis)	๒๕
รูปที่ ๑.๑๐ ผังความเร็วของ กังหัน Curtis	๒๗
รูปที่ ๑.๑๑ ผังความเร็วของ กังหันอิมพัลซ์ แบบประกอบความเร็ว ที่มีใบพัดหมุน ๓ แถว	๒๗
รูปที่ ๑.๑๒ กังหันอิมพัลซ์ แบบประกอบความดัน สองสเตจ (Rateau)	๒๘
รูปที่ ๑.๑๓ ผังความเร็วของ กังหันอิมพัลซ์ แบบประกอบความดัน สามสเตจ (Rateau)	๒๙
รูปที่ ๑.๑๔ การกระทบของลำของไหล	๓๐
รูปที่ ๑.๑๕ การกระทบของลำของไหลบนใบพัดโค้ง ๑๘๐°	๓๑
รูปที่ ๑.๑๖ ภาพด้านบนของแถวใบพัดอิมพัลซ์บนกงล้อ	๓๒
รูปที่ ๑.๑๗ ผังความเร็วของใบพัดอิมพัลซ์สเตจเดี่ยว	๓๓
รูปที่ ๑.๑๘ การวัดแรงบิดด้วยวิธี Rope Brake	๓๗
รูปที่ ๒.๑ แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานของโครงงานวิจัย	๓๙
รูปที่ ๒.๒ ชุดทดสอบแรงบิด Rope Brake	๔๐
รูปที่ ๒.๓ ตราชั่งดิจิตอล ZEPPER SE 1005	๔๑
รูปที่ ๒.๔ หัววัดและสายเทอร์โมคัปเปิ้ล	๔๑
รูปที่ ๒.๕ อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิก๊าซร้อน Data Logger	๔๒
รูปที่ ๒.๖ อุปกรณ์วัดความเร็วรอบการหมุน	๔๓

รูปที่ ๒.๗ เกจวัดความดัน WEGA ๔๔
รูปที่ ๒.๘ ปั๊มสุญญากาศ ๔๔
รูปที่ ๒.๙ เกจแมนิโฟลด์ ๔๕
รูปที่ ๒.๑๐ การตรวจรั่วโดยใช้ฟองสบู่ ๔๖
รูปที่ ๒.๑๑ อุณหภูมิขาเข้าและขาออกกังหัน ๔๙
รูปที่ ๒.๑๒ ความดันขาเข้าและขาออกกังหัน ๕๐
รูปที่ ๒.๑๓ ความเร็วการไหลขาเข้าและขาออกกังหัน ๕๑
รูปที่ ๒.๑๔ กำลังทางทฤษฎี ๕๒
รูปที่ ๒.๑๕ กำลังจากการวัดค่า ๕๒
รูปที่ ๒.๑๖ ประสิทธิภาพกังหัน ๕๓
รูปที่ ๓.๑ แผนภูมิอุณหภูมิ – ปริมาตรจำเพาะของสารทำงาน R-22 ๕๔
รูปที่ ๓.๒ การเปรียบเทียบกำลังทางทฤษฎีและกำลังจากการวัด ๕๖

สัญลักษณ์และคำย่อ

d	=	เส้นผ่านศูนย์กลางเชือก (m)
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของFlywheel (m)
F	=	ค่าของแรงกระทำ (N)
K_v	=	สัมประสิทธิ์ความเร็ว (Velocity coefficient)
K_f	=	ตัวประกอบการล้าเนื่องจากการดัด
K_{fs}	=	ตัวประกอบการล้าเนื่องจากการบิด
M	=	โมเมนต์ (N.m)
$\dot{m}$	=	อัตราการไหล (kg/s)
n	=	Safety Factor
N	=	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rev/sec)
P	=	กำลังงาน (Watt)
r	=	รัศมีของรอบการหมุนเนื่องจากแรงกระทำ (m)
S	=	ค่าที่อ่านได้จากสปริง (N)
S_{ut}	=	Ultimate strength (Pa)
T	=	แรงบิดของเครื่องยนต์ (N.m)
V_B	=	ความเร็วของใบพัด (m/s)
V_{r1}	=	ความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลขาเข้าใบพัด (m/s)
V_{r2}	=	ความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลออกจากใบพัด (m/s)
V_{s1}	=	ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลออกจากหัวฉีด, Outlet Nozzle (m/s)
V_{s2}	=	ความเร็วสัมบูรณ์ของของไหลออกจากใบพัด (m/s)
$\dot{w}$	=	กำลังงาน (Watt)
θ	=	มุมหัวฉีด
$\emptyset$	=	มุมใบพัดขาเข้า
γ	=	มุมใบพัดขาออก

δ = มุมของไหลขาออก

คำย่อ

ORC = (Organic Rankine Cycle) วัฏจักรแรงคินที่ใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นสารทำงาน