การศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์จากเครื่องยนต์ตัวแบบ ที่มีขนาดกำลังไม่เกิน 1 กิโลวัตต์

นางสาว ธราจันทร์ จันทนา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-043-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T17424197

A STUDY OF THE STIRLING ENGINE FROM ITS MODEL BELOW 1 KILOWATT

Midd Tarachan Chantana

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-635-043-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์จากเครื่องยนต์ตัวแบบที่มีขนาดกำลังไม่เกิน 1 กิโลวัตต์
โดย	นางสาว ธราจันทร์ จันทนา
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชาญชัย ลิมปิยากร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญชัย ลิมปิยากร)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศรี จงรุ่งเรือง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ธราจันทร์ จันทนา : การศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์จากเครื่องยนต์ตัวแบบที่มีขนาดกำลังไม่เกิน 1 กิโลวัตต์ (A STUDY OF THE STIRLING ENGINE FROM ITS MODEL BELOW 1 KILOWATT) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ชาญชัย ลิมปิยากร, 94 หน้า. ISBN 974-635-043-9

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์แบบคิเนมาติก โดยการจัดสร้างเครื่องยนต์สเตอลิงค์ต้นแบบขนาดเล็กชนิด แกมมา ที่มีขนาดกำลังวัดได้ที่เพลาไม่เกิน 1 กิโลวัตต์

ผลจากการวิจัยได้เครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจ่ายผ่านขดลวดความร้อนเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับอากาศที่ใช้เป็นสารทำงานในเครื่องยนต์ การถ่ายทอดกำลังจากลูกสูบไปยังเพลาใช้ระบบกลไกลูกเบี้ยว เพื่อลดแรงกระทำด้านข้างที่กระทำต่อกระบอกสูบ

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ คือ การรั่วซึมของอากาศ, แรงเสียดทานภายในเครื่องยนต์ และระบบถ่ายทอดกำลัง, แรงเฉื่อยเนื่องจากน้ำหนักของชิ้นส่วนเคลื่อนที่ และการสมดุลของน้ำหนักถ่วงบนเพลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต ธราจันทร์ จันทนา

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ชาญชัย ลิมปิยากร

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

บทคัดย่อฉบับสมบูรณ์ต้องมีความยาวไม่เกินกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C518575 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: STIRLING / HOT AIR ENGINE / KINEMATIC ENGINE

TARACHAN CHANTANA : A STUDY OF THE STIRLING ENGINE FROM ITS MODEL BELOW 1 KILOWATT. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. CHANCHAI LIMPIYAKORN. 94 PP. ISBN 974-635-043-9

This research has the objective to study the various factors affecting the operating of kinematic Stirling engine by construction a gamma type small model Stirling engine that has maximum brake power output not more than 1 kilowatt.

The result from the research is a Stirling engine operates by thermal from heating coil supply by electricity to the air which is a working fluid in the engine. Transmission system from piston to shaft is an eccentric mechanism that can reduce the side forces acting on the cylinder.

The factors which influence the operating of engine consist of air leak, friction in engine and transmission system, inertia forces result from weight of moving elements and unbalancing.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญชัย ลิมปิยากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการทำงานวิจัยมาด้วยดีตลอด และ เนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา ซึ่งสนับสนุนกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... ฌ

คำอธิบายสัญลักษณ์ ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ 1
   - ความสำคัญและที่มาของโครงการวิทยานิพนธ์ 1
   - วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการวิทยานิพนธ์ 2
   - วิธีดำเนินการวิจัยโดยย่อ 2
   - ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
2. ทบทวนเอกสาร 4
   - ประวัติความเป็นมา 4
   - หลักการทำงาน 5
   - อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องยนต์สเตอลิงค์ 16
   - ประเภทต่าง ๆ ของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ 24
   - คุณสมบัติที่สำคัญของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ 31
   - การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอลิงค์เพื่อนำไปใช้งานในปัจจุบัน 34
3. ทฤษฎี 47
   - วิธีการวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอลิงค์ 47
   - การคำนวณกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ในเบื้องต้น 50
   - ระบบขับเคลื่อน 54

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4.	การดำเนินการวิจัย	61
	ข้อจำกัดในการใช้แผนภาพที่ใช้ในการช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์	61
	การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับเครื่องยนต์ชุดที่ใช้ในการจัดทำงานวิจัย	61
	รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ทำการจัดสร้าง	62
	การคำนวณค่ากำลังที่ได้จากเครื่องยนต์	64
	ขั้นตอนการทดสอบเครื่องยนต์สเตอลิงค์	66
5	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	77
	ผลการทดลอง	77
	วิจารณ์ผลการทดลอง	78
	ข้อเสนอแนะ	79
รายการอ้างอิง		88
ประวัติผู้เขียน		89

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กผลิตโดยบริษัท Philips ในปีค.ศ. 1950.....	6
2.2	การทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ชนิด piston - piston	10
2.3	การทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ชนิด piston - displacer	12
2.4	แผนภาพ P-V และ T-S diagram ของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ชนิดต้นกำลัง.....	14
2.5	แผนภาพ P-V และ T-S diagram ของการทำความเย็นและปั๊มความร้อน.....	15
2.6	เครื่องทำความเย็นและปั๊มความร้อนในเครื่องยนต์สเตอลิงค์ชุดเดียวกัน.....	17
2.7	Regenerative displacer	19
2.8	regenerator ชนิดแผ่นตะแกรงในเครื่องยนต์ GPU 3-2	20
2.9	ประเภทของ heater.....	21
2.10	แผนภาพเปรียบเทียบการสมดุลทางความร้อนของเครื่องยนต์สเตอลิงค์และเครื่องยนต์ดีเซล.....	23
2.11	การทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	25
2.12	เครื่องยนต์สเตอลิงค์ชนิด kinematic engine	26
2.13	การทำงานของ free piston stirling engine.....	29
2.14	Free cylinder engine	30
2.15	Schematic Vuillemier heat pump	32
2.16	Hamara engine.....	36
2.17	การพัฒนา free piston stirling engine โดยองค์การ NASA.....	37
2.18	เครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ (cryocooler)	41
2.19	ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนจากเครื่องยนต์ Mod Π	42
2.20	ลักษณะทอร์คของเครื่องยนต์สเตอลิงค์	44
2.21	เครื่องยนต์สเตอลิงค์ขนาดเล็ก (micro stirling engine)	46
3.1	ผลของอุณหภูมิในพื้นที่ทำงานขยายตัวที่มีต่อค่ากำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิ ในพื้นที่ทำงานอัดตัว 300 K $^{\circ}$ ค่ามุม ALPH = 90 $^{\circ}$ อัตราส่วนปริมาตร (K) =0.8และ χ = 1.0.....	55
3.2	ผลของค่าอัตราส่วนปริมาตรที่มีต่อค่ากำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ค่า TAU = 0.25 และ0.5 ค่ามุม ALPH = 90 $^{\circ}$ และ χ = 1.0.....	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.3	ผลของค่าพารามิเตอร์ χ ที่มีต่อค่ากำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ค่า TAU = 0.25 และ0.5	57
3.4	ผลของค่ามุม ALPH ที่มีต่อค่ากำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ค่า TAU = 0.25 และ0.5	58
3.5	แผนภาพที่ช่วยในการออกแบบเครื่องยนต์สเตอลิงค์เมื่อใช้เป็นต้นกำลัง	59
3.6	ชนิดของระบบขับเคลื่อน	60
4.1	ลักษณะทั่วไปของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ทำการจัดสร้าง	68
4.2	สัญลักษณ์แสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์	69
4.3	รายละเอียดของ CASING (1)	70
4.4	รายละเอียดของ SHAFT (2) , DISK FLYWHEEL (3) , DISPLACER CYLINDER (4) , PISTON CYLINDER (5)	71
4.5	รายละเอียดของ DISPLACER CYLINDER PLATE (6) , PISTON CYLINDER PLATE (7) และ MASTER PLATE (8)	72
4.6	รายละเอียดของ PISTON และชุดขับเคลื่อน (9)	73
4.7	รายละเอียดของ DISPLACER (10)	74
4.8	ECCENTRIC MECHANISM ของ DISPLACER. (11)	75
4.9	แสดงการต่อวงจรไฟฟ้า	76
5.1	แสดงเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ทำการจัดสร้าง (1)	81
5.2	แสดงเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ทำการจัดสร้าง (2)	82
5.3	แสดงเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ทำการจัดสร้าง (3)	83
5.4	แสดงเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ทำการจัดสร้าง (4)	84
5.5	แสดงเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ทำการจัดสร้าง (5)	85
5.6	แสดง seal ที่จัดทำเพิ่มบริเวณหัวของทรงกระบอกร้อน	86
5.7	แสดง seal ที่จัดทำเพิ่มบริเวณส่วนท้ายของทรงกระบอกร้อน	87

รายการสัญญลักษณ์

ALPH = มุมที่การเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายในพื้นที่ทำงานขยายตัว หรือ expansion space นำการเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายในพื้นที่ทำงานอัดตัว หรือ compression space , องศา หรือ เรเดียน

BP = กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อยังไม่คิดค่าการสูญเสียใด ๆ , วัตต์ (Watt)

COP = coefficient of performance

DD = เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอกที่บรรจุ displacer , เซนติเมตร (cm)

DEL = X / Z

DP = เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกที่บรรจุ piston , เซนติเมตร (cm)

$\dot{M}_E$ = อัตราการไหลของสารทำงานในพื้นที่ทำงานขยายตัว , กรัมต่อวินาที (g/sec)

$\dot{M}_C$ = อัตราการไหลของสารทำงานในพื้นที่ทำงานอัดตัว , กรัมต่อวินาที (g/sec)

NU = ความถี่ของเครื่องยนต์ , รอบต่อวินาที (Hz)

P = ความดันในเครื่องยนต์ขณะใด ๆ , เมกกะปาสคาล (Mpa)

PMAX = ความดันสูงสุดภายในเครื่องยนต์ , เมกกะปาสคาล (Mpa)

PMEAN = ความดันเฉลี่ยภายในเครื่องยนต์ , เมกกะปาสคาล (Mpa)

PMIN = ความดันต่ำสุดภายในเครื่องยนต์ , เมกกะปาสคาล (Mpa)

R = ค่าคงที่ของแก๊ส , จูล / (กรัม . เคลวิน) (J / (g . K))

SD = ระยะ stroke ของ displacer , เซนติเมตร (cm)

SP = ระยะ stroke ของ piston , เซนติเมตร (cm)

Tmax = อุณหภูมิใน expansion space , องศาเคลวิน (K)

Tmin = อุณหภูมิใน compression space ,องศาเคลวิน (K)

TAU = Tmin / Tmax

TR = อุณหภูมิของ regenerator

= (TH - TC) / ln (TH - TC) , องศาเคลวิน (K)

VCD = ปริมาตรที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อระบบ หรือ dead space ใน compression space , ลูกบาศกเซนติเมตร (cm^3)

VD = ปริมาตรทั้งหมดที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อระบบ , ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

= VHD + VRD + VCD

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญญลักษณ์ (ต่อ)

VHL = ปริมาตรสูงสุดที่สามารถกวาดได้ในพื้นที่ทำงานขยายตัว , ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

VHD = ปริมาตรที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อระบบในพื้นที่ทำงานขยายตัว , ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

VCL = ปริมาตรสูงสุดที่สามารถกวาดได้ในพื้นที่ทำงานอัดตัว , ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

VRD = ปริมาตรที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อระบบใน regenerator , ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

VT = VCL + VHL

X = $[(TAU -1)^2 + 2 (TAU -1) (K) \cos (ALPH) + K^2]^{1/2}$

Z = $4 (VD / VHL) [TAU / (1 + TAU)] +1 + TAU + K$

ϕ = มุมในการเคลื่อนที่ของเพลาข้อเหวี่ยง , องศา หรือ เรเดียน

ω = อัตราเร็วเชิงมุม , เรเดียนต่อวินาที

κ = VCL / VHL

χ = VD / VHL

η = ประสิทธิภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย