

รายงานการวิจัย
(ฉบับสมบูรณ์)

ชื่อโครงการวิจัย

การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบกำลังทำงานสองด้าน

Development of a prototype double-acting Stirling engine



ผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญชา คังตระกุล

นายกฤตพงศ์ สุขแสน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมาที่ใช้ลูกสูบกำลังทำงานสองด้านที่ใช้งานได้ซึ่งมีขนาดอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 1 เครื่องได้สำเร็จ และได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาในเชิงการทดลองโดยใช้หัวเผาก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลการทดสอบเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สร้างขึ้นมานี้สามารถผลิตแรงบิดสูงสุดได้ประมาณ 1.74 Nm ที่ 41 rpm, ผลิตกำลังสูงสุดได้ประมาณ 18.75 W ที่ 127 rpm, และมีประสิทธิภาพความร้อนเพลาสุงสุดประมาณ 0.5% ที่ 127 rpm โดยใช้พลังงานความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 3576 J/s ทำให้อุณหภูมิของสารทำงานในช่องร้อนเป็น 398°C และอุณหภูมิของสารทำงานในช่องเย็นโดยเฉลี่ยเป็น 104°C โดยประมาณ

คำสำคัญของงานวิจัย

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง, เครื่องยนต์อากาศร้อน, เครื่องยนต์สันดาปภายนอก

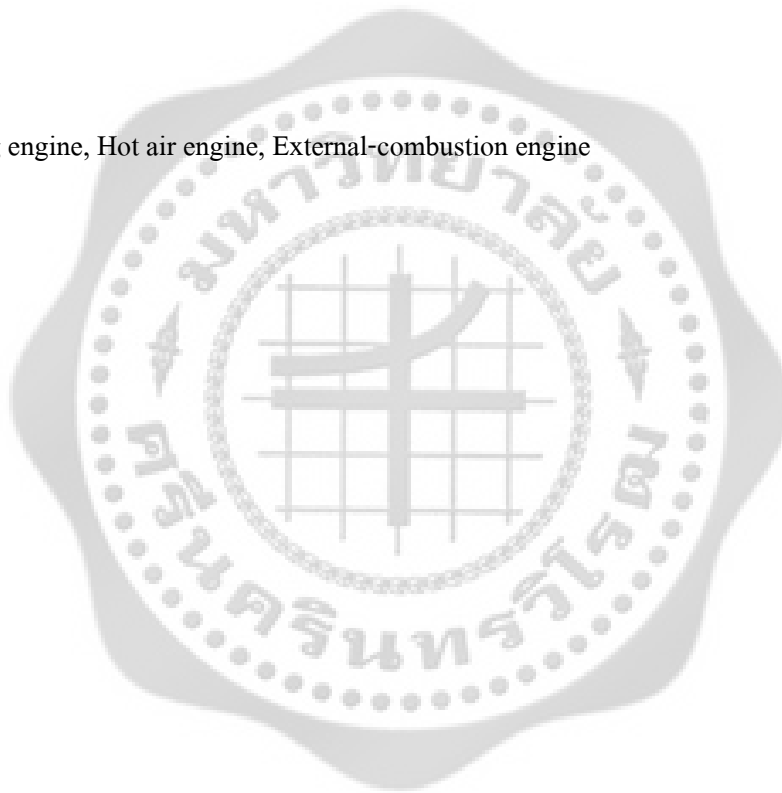


Abstract

In this research, a laboratory-scaled, double-acting, gamma-configuration Stirling engine was designed and constructed. Experimental investigation on this engine was carried-out by using the performance testing with the LPG burners. Results from the performance testing showed that the engine produced the maximum torque of 1.74 N m at 41 rpm, the maximum shaft power of 28.75 W at 127 rpm, and the maximum brake thermal efficiency of 0.5% at 127 rpm, approximately. The heat input to the engine was 3576 J/s and the working fluid temperature in the hot space and cold space was approximately 398°C and 104°C, respectively.

Keywords:

Stirling engine, Hot air engine, External-combustion engine



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ และ ฝ่ายวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้สัญญาเลขที่ 210/2554 รวมทั้ง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ สำหรับการ เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัย

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณนายเชิดศักดิ์ อ่อนจิระ และนิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ หลายคนที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ซึ่งมีส่วน ช่วยเหลือในการสร้างและทดสอบเครื่องยนต์ งานวิจัยนี้เป็นผลสำเร็จ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iv
รายการอักษรย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้	viii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 3 เครื่องทดลอง วิธีทดลอง และข้อมูลจากการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลลัพธ์และการอภิปรายผล	36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	53
แบบ (Drawing) ของเครื่องยนต์	54
ประวัติของกลุ่มวิจัย	80



บัญชีตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ในการออกแบบที่สำคัญ	22
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจากการทดสอบหาความร้อนเข้าสู่เครื่องยนต์	31
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	35
ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบหาความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์	37
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	42
ตารางที่ 4.3 สรุปลักษณ์จากการทดสอบเครื่องยนต์	43



บัญชีภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนผังการไหลแสดงวิธีดำเนินงานของโครงการวิจัย	3
รูปที่ 2.1 รูปแบบลักษณะทางกลของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	7
รูปที่ 2.2 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา	9
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	23
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายแสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สร้างขึ้น	23
รูปที่ 3.3 Rope brake dynamometer สำหรับวัดแรงบิดของเครื่องยนต์	25
รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์	25
รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดความดันของสารทำงานในเครื่องยนต์	26
รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายแสดงระบบให้ความร้อนด้วยก๊าซปิโตรเลียมเหลวและเครื่องมือวัด	26
รูปที่ 3.7 ตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์และนาฬิกาจับเวลา	27
รูปที่ 3.8 ระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องยนต์	27
รูปที่ 3.9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิของเครื่องยนต์และน้ำระบายความร้อน, แผงเครื่องมือวัด และควบคุมทางไฟฟ้า	28
รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายแสดงการทดสอบหาความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์	29
รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายแสดงการติดตั้งหัวเผาก๊าซ	29
รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายแสดงการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	33
รูปที่ 4.1 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อค่าความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 1 bar	38
รูปที่ 4.2 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อค่าความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 0.8 bar	38
รูปที่ 4.3 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อค่าความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 0.6 bar	39
รูปที่ 4.4 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อค่าความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 0.4 bar	39
รูปที่ 4.5 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อค่าความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 0.2 bar	40
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดันในสายจ่ายก๊าซ	40
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์กับความดันในสายจ่ายก๊าซ	41
รูปที่ 4.8 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความเร็วรอบที่ความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 3576 J/s	44
รูปที่ 4.9 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 3576 J/s	44

รายการอักษรย่อและสัญลักษณ์ที่ใช้

- c_p = ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (J/kg K)
 c_v = ค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (J/kg K)
 E_{BT} = ประสิทธิภาพความร้อนเพลลา
 E_H = ประสิทธิภาพของแหล่งให้ความร้อน
 E_S = ประสิทธิภาพความร้อนของวัฏจักรสเตอร์ลิง
 LHV_{LPG} = ค่าความร้อนค่าต่ำของก๊าซปิโตรเลียมเหลว (46 MJ/kg)
 M_t = แรงบิด (Nm)
 m = มวล (kg)
 n = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rps, rpm)
 p = ความดัน (bar, N/m²)
 P = กำลัง (W)
 Q = ปริมาณความร้อน (J)
 q_f = ปริมาณความร้อนที่ได้จากหัวเผาก๊าซ (J/s)
 q_{in} = ปริมาณความร้อนที่เครื่องยนต์ได้รับจริง (J/s)
 R = ค่าคงที่ของก๊าซสำหรับอากาศ (287 J/kg K)
 R = รัศมีของเบรคครัม (= 0.15 m)
 r_v = อัตราส่วนของปริมาตร
 S = ค่าแรงดึงที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง (N)
 T = อุณหภูมิ (°C, K)
 t = เวลา (s, min)
 V = ปริมาตร (m³)
 v = ปริมาตรจำเพาะ (m³/kg)
 W = งาน (Nm)
 W = ปริมาณของน้ำหนักถ่วง (N)

อักษรกรีก

Δ = สัญลักษณ์แทนความแตกต่าง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าทรัพยากรพลังงานบรรพชีวินมีปริมาณจำกัดและในปัจจุบันมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องจนเป็นสิ่งที่ขาดแคลนและจะหมดสิ้นไปในอนาคต การหาแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานบรรพชีวินจึงเป็นสิ่งที่ควรจะต้องให้ความสนใจ นอกจากนี้การใช้พลังงานบรรพชีวินโดยมีการเผาไหม้นั้นยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้กับยานยนต์และเครื่องต้นกำลังของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

เครื่องยนต์สันดาปภายในนอกจากจะสามารถใช้พลังงานความร้อนได้หลากหลายชนิดแล้วยังสามารถควบคุมให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ง่ายกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในอีกด้วย ดังนั้นการพัฒนาเครื่องยนต์ความร้อนที่เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งสามารถใช้พลังงานหมุนเวียนจึงเป็นประโยชน์ต่อการแก้วิกฤตพลังงานและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

การวิจัยนี้เกิดขึ้นจากแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายในที่สามารถนำไปใช้ได้ในการผลิตกำลังกล โดยเครื่องยนต์ความร้อนที่จะพัฒนาขึ้นนี้ต้องไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานป้อนเข้า ผลลัพธ์ที่ได้นอกจากจะมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นปัญหาหลักของโลกในปัจจุบันแล้วยังเป็นแนวทางในการพัฒนาทางด้านพลังงานทางเลือกอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงมุ่งความสนใจไปที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling engine)

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดหนึ่ง เครื่องยนต์ชนิดนี้สามารถใช้เชื้อเพลิงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้แทบทุกชนิดรวมทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงสามารถทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ง่ายกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในทั่วไป โดยเฉพาะเมื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นเชื้อเพลิงจะไม่ก่อให้เกิดมลพิษใดๆ ออกมาเลย

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเครื่องแรกถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ.1816 และได้มีการศึกษาวิจัยตลอดจนมาถึงปัจจุบัน ในต่างประเทศได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างจริงจังจนได้มีการนำไปใช้เป็นเครื่องต้นกำลังในสถานีอวกาศทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับในประเทศไทยการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้มีน้อยมาก อาจเป็นเพราะว่าในประเทศไทยยังไม่คุ้นเคยกับเครื่องยนต์ชนิดนี้ในขณะที่การศึกษาวิจัยในต่างประเทศได้กระทำกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลของมหาวิทยาลัยต่างๆ การขาดการศึกษาวิจัยและเทคโนโลยีทางด้านนี้จะทำให้เกิดผลเสียในอนาคต ซึ่งจะมีผลอย่างมากจากการขาดแคลนเชื้อเพลิงบรรพชีวินและความเข้มงวดในเรื่องของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะเป็นเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพความร้อนสูงได้ก็ต่ออาศัยอุปกรณ์ในการเก็บสะสมพลังงานความร้อนไว้ภายในซึ่งเรียกว่ารีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator) ถ้ารีเจนเนอเรเตอร์มีประสิทธิภาพ 100% ประสิทธิภาพของวัฏจักรสเตอร์ลิงจะเท่ากับวัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot cycle) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ความร้อนที่มีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุดทางทฤษฎี แต่ในความเป็นจริงแล้วปรากฏว่าไม่มีใครสามารถสร้างเครื่องยนต์คาร์โนต์ขึ้นมาใช้งานจริงๆ ได้ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงเป็นหนทางนำไปสู่การสร้างเครื่องยนต์ความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่เป็นไปได้

การเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นงานกลโดยใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงนั้นจะมีขั้นตอนในการเปลี่ยนรูปพลังงานน้อยขั้นตอนกว่าการใช้วัฏจักรแรงกิน (Rankine cycle) ที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทั่วไป เมื่อนำหัวเผาก๊าซ (Gas burner) มาใช้ร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยตรงจะทำให้ได้เครื่องยนต์พลังงานทดแทนที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าด้วย

จากลักษณะเด่นต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วนี้เป็นเหตุผลที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสมควรจะถูกศึกษาในรายละเอียดต่างๆ เมื่อทำงานโดยใช้หัวเผาก๊าซเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน เพื่อพัฒนาไปสู่การผลิตพลังงานอย่างยั่งยืนจากแหล่งพลังงานทดแทนและถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่ภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในขั้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

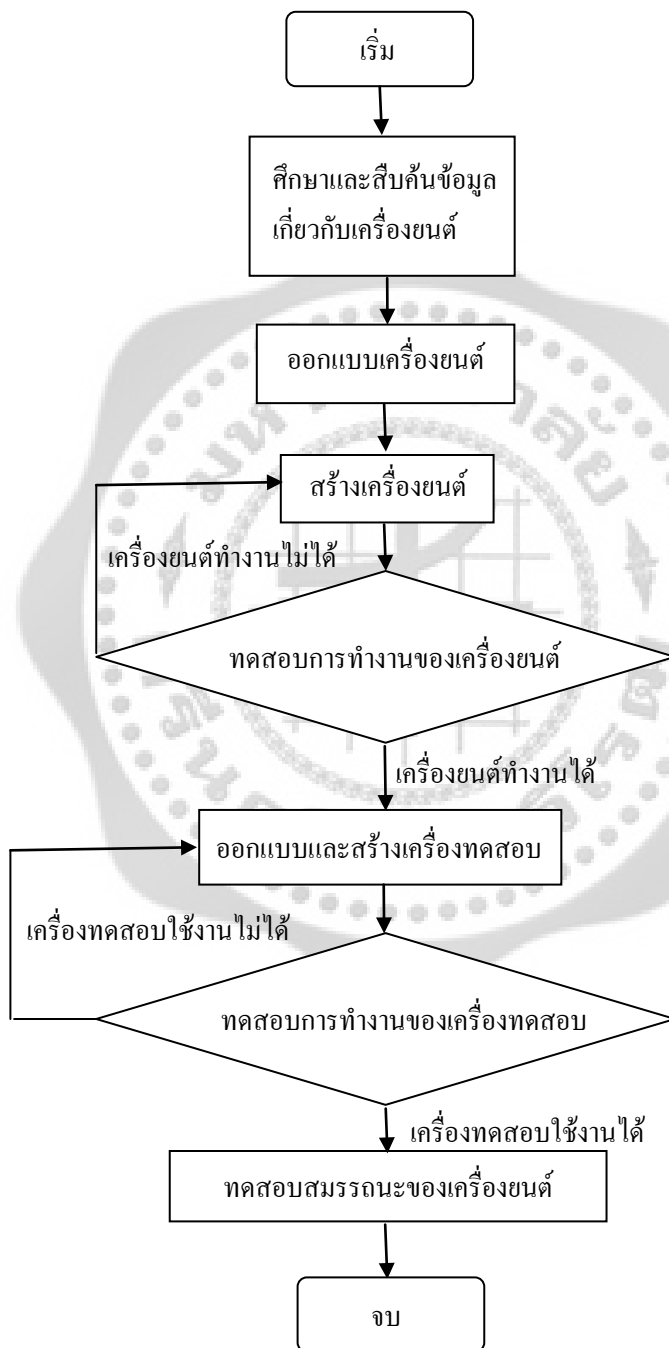
เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบกำลังทำงานสองด้านที่มีขนาดอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory scale)

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) เป็นการศึกษาทางด้านการทดลอง โดยออกแบบสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในรูปแบบลักษณะแกมมา (Gamma-configuration) แบบลูกสูบกำลังทำงานสองด้าน (Double acting) ที่มีขนาดอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 1 เครื่อง
- 2) ใช้อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์เป็น 1.5:1 โดยประมาณ
- 3) ใช้อากาศเป็นสารทำงานในเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
- 4) ใช้น้ำเป็นสารระบายความร้อนออกจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
- 5) ใช้หัวเผาก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นแหล่งความร้อนภายนอก เพื่อความสะดวกในการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในห้องปฏิบัติการ

6) ใช้วัตถุดิบและชิ้นส่วนมาตรฐานที่หาได้ง่ายทั่วไปในการสร้างเครื่องยนต์ให้มากที่สุด เพื่อให้สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่ภาคเกษตรกรรมและชนบทได้ง่าย

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย แนวทางในการวิจัยเป็นไปตามแผนผังการไหลในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังการไหลของโครงการวิจัย

1.5 สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, อ.
องครักษ์ จ. นครนายก



บทที่ 2

หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ข้อดีที่สำคัญโดยหลักการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็คือเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้แหล่งความร้อนจากภายนอกและมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นแบบต่อเนื่อง จึงสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อย่างสมบูรณ์กว่าและสามารถใช้เชื้อเพลิงทุกคุณภาพได้ทุกชนิด เพราะว่าโครงสร้างและกรรมวิธีการผลิตของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเหมือนกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ดังนั้นเมื่อทำการผลิตเป็นจำนวนมากก็จะสามารถผลิตเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ในราคาถูกสำหรับประเทศที่กำลังพัฒนา

การศึกษาวิจัยพบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีต้นทุนที่ถูกที่สุดในการผลิตกำลังไฟฟ้าในช่วง 1 kW ถึง 100 kW [1] แม้ว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงอาจจะมีประสิทธิภาพไม่สูงมากนัก แต่ก็มีความไว้วางใจได้สูงและมีราคาถูก ยิ่งไปกว่านั้น ความไม่ซับซ้อนของโครงสร้างและความไว้วางใจได้ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นกุญแจสำคัญสู่ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการเป็นเครื่องต้นกำลังสำหรับการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะทำงานตามวัฏจักรสเตอร์ลิงหรือวัฏจักรที่ดัดแปลงปรับปรุงจากวัฏจักรสเตอร์ลิง ซึ่งใช้ของไหลที่อัดตัวได้ เช่น อากาศ ไฮโดรเจน ฮีเลียม ไนโตรเจนหรือไอน้ำเป็นสารทำงาน (Working fluid) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงให้ความเป็นไปได้สำหรับเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยมีลพิษน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในสมัยก่อนไม่มีประสิทธิภาพสูงมากนัก แต่ได้มีการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจำนวนมากในช่วงเวลาต่อมาจนได้เครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสมัยใหม่มีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องยนต์สมัยเก่าและสามารถใช้แหล่งอุณหภูมิสูงใดๆ ก็ได้ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอก เพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้แหล่งความร้อนต่างๆ ได้เป็นส่วนใหญ่ รวมไปถึงความร้อนจากการเผาไหม้ของวัสดุซึ่งเผาไหม้ได้ใดๆ ก็ตาม เช่น เปลือกข้าวหรือวัสดุอย่างอื่นที่มีลักษณะเช่นเดียวกัน แก๊ซมีเทน ชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์ โดยหลักการแล้วเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีการออกแบบและการสร้างที่ง่าย สามารถคิดเครื่อง

ให้ทำงานได้โดยง่าย เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมาย เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเหมาะสมที่จะใช้กับงานในลักษณะต่อไปนี้ [2]

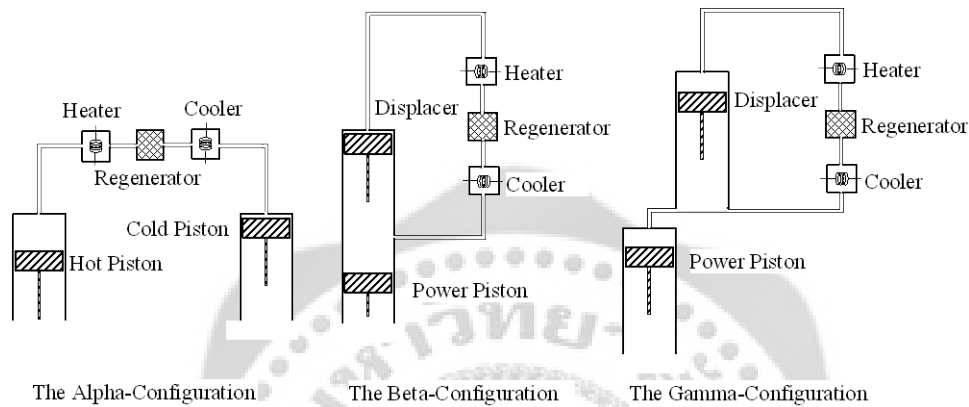
1. มีความต้องการให้สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด
2. สามารถหาแหล่งระบายความร้อนได้ง่าย
3. ต้องการการทำงานที่เงียบ
4. ขอมรับการการทำงานที่ความเร็วรอบค่อนข้างต่ำ
5. ขอมรับการได้รับกำลังจากความเร็วรอบคงที่
6. ขอมรับการปรับเปลี่ยนกำลังที่ได้ช้า
7. ขอมรับการอุ่นเครื่องที่ใช้เวลานาน

2.3 รูปแบบลักษณะทางกลของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ ถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อทำให้เกิดวัฏจักรสเตอร์ลิง วัฏจักรสเตอร์ลิงจะทำให้เกิดกระบวนการปริมาตรคงที่ระหว่างการถ่ายสารทำงานระหว่างช่องร้อน (Hot space) และช่องเย็น (Cold space) ของกระบอกสูบ และทำให้เกิดกระบวนการให้ความร้อนและระบายความร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ ในขณะที่เกิดการขยายตัวและการอัดตัว กระบวนการอัดและกระบวนการขยายตัวของวัฏจักรโดยทั่วไปเกิดขึ้นในกระบอกสูบเคลื่อนย้าย (Displacer cylinder) โดยลูกสูบเคลื่อนย้าย (Displacer) ผลักดันสารทำงานกลับไปกลับมาผ่านแหล่งให้ความร้อน (Heater), รีเจนเนอเรเตอร์และแหล่งระบายความร้อน (Cooler) โดยปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ลูกสูบเคลื่อนย้ายซึ่งเคลื่อนที่สู่ช่องเย็นทำให้เกิดการผลักดันสารทำงานออกจากช่องเย็นไหลไปสู่ช่องร้อนและทำงานในทำนองกลับกัน ตามปกติจะมีรูปแบบลักษณะทางกลที่แตกต่างกันสามลักษณะ คือ รูปแบบลักษณะอัลฟา (Alpha), เบต้า (Beta) และแกมมา (Gamma) แต่ละรูปแบบลักษณะจะมีวัฏจักรทางอุณหพลศาสตร์ที่เหมือนกันแต่มีคุณสมบัติในการออกแบบทางกลที่แตกต่างกัน [1]

รูปแบบลักษณะอัลฟาไม่ใช้ลูกสูบเคลื่อนย้ายแต่ใช้ลูกสูบกำลังสองลูกเรียกว่าลูกสูบร้อน (Hot piston) และลูกสูบเย็น (Cold piston) อยู่ในแต่ละข้างของแหล่งให้ความร้อน, รีเจนเนอเรเตอร์ และแหล่งระบายความร้อน ลูกสูบทั้งสองนี้จะเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในทิศทางเดียวกันเพื่อทำให้เกิดการให้ความร้อนหรือการระบายความร้อนของสารทำงานที่ปริมาตรคงที่ เมื่อสารทำงานทั้งหมดถูกถ่ายเทเข้าไปอยู่ในกระบอกสูบใดกระบอกสูบหนึ่งทั้งหมดแล้ว ลูกสูบลูกหนึ่งจะอยู่กับที่ ลูกสูบอีกลูกหนึ่งจะเคลื่อนที่เพื่อทำให้เกิดการขยายตัวหรือการอัดของสารทำงาน งานจากการขยายตัวจะเกิดขึ้นโดยลูกสูบร้อนและงานในการอัดตัวจะกระทำโดยลูกเย็น

ในรูปแบบลักษณะเบต้า ลูกสูบเคลื่อนย้ายและลูกสูบกำลังติดตั้งร่วมกันอยู่ในกระบอกสูบเดียวกัน ลูกสูบเคลื่อนย้ายผลักดันสารทำงานให้เคลื่อนที่ระหว่างช่องร้อนและช่องเย็นของกระบอกสูบผ่านแหล่งให้ความร้อน, รีเจนเนอเรเตอร์ และแหล่งระบายความร้อน ลูกสูบกำลังซึ่งติดตั้งอยู่ที่ช่องเย็นของกระบอกสูบทำหน้าที่อัดสารทำงานเมื่อสารทำงานอยู่ในช่องเย็นและทำให้สารทำงานเกิดการขยายตัวเมื่อสารทำงานอยู่ในช่องร้อน



รูปที่ 2.1 รูปแบบลักษณะทางกลของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

รูปแบบลักษณะแกมมาใช้กระบอกแยกสำหรับลูกสูบเคลื่อนย้ายและลูกสูบกำลัง โดยมีช่องเชื่อมต่อกันระหว่างกระบอกสูบทั้งสอง ลูกสูบเคลื่อนย้ายผลักดันสารทำงานให้ถ่ายเทระหว่างช่องร้อนและช่องเย็นของกระบอกสูบเคลื่อนย้าย ผ่านแหล่งให้ความร้อน, รีเจนเนอเรเตอร์ และแหล่งระบายความร้อน ในรูปแบบลักษณะแบบนี้ ลูกสูบกำลังทำหน้าที่ทั้งอัดสารทำงานและรับการขยายตัวของสารทำงาน รูปแบบแกมมาโดยลูกสูบกำลังทำงานสองด้านในทางทฤษฎีมีประสิทธิภาพสูงสุดที่เป็นไปได้ และมีคุณลักษณะที่ดีในการอัดเพิ่มความดันด้วยตัวเอง (Self-pressurization) [3] อย่างไรก็ตาม ควรออกแบบเครื่องยนต์ให้กระบอกสูบอยู่ในแนวตั้งเพื่อลดแรงเสียดทาน [4]

2.4 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา

กระบวนการอัดแบบอนุกรมที่ 1-2: หลังจากที่ลูกสูบเคลื่อนย้ายได้ผลักดันสารทำงานสู่ช่องเย็นของกระบอกสูบ ซึ่งสารทำงานจะเย็นตัวลง จากนั้นลูกสูบเคลื่อนย้ายจะหยุดนิ่งที่ศูนย์กลางบน (Top dead center, TDC) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นสถานะ 1 และความดันในสถานะนี้คือ p_1 จากนั้นลูกสูบกำลังจะเริ่มถูกผลักดันจากศูนย์กลางล่าง (Bottom dead center, BDC) สู่ศูนย์กลางบนด้วยโมเมนต์ของล้อตุ้มน้ำหนัก โดยมีความเป็นสุญญากาศบางส่วนซึ่งเกิดจากการเย็นตัวของสารทำงานช่วย สารทำงานใน

ขณะนี้จะถูกระบายความร้อนออกและอยู่ภายใต้ความกดดันของลูกสูบกำลัง ซึ่งเมื่อถึงศูนย์ตายบนก็จะเป็นการอัดสารทำงานจากสถานะ 1 ถึงสถานะ 2 โดยอุณหภูมิคงที่ งานที่กระทำกับสารทำงานแสดงโดยพื้นที่ภายใต้กระบวนการ 1-2 สรุปได้ว่าในกระบวนการนี้ ความร้อนถ่ายเทจากสารทำงานอุณหภูมิต่ำสู่แหล่งระบายความร้อนภายนอก

ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากกระบวนการอัดแบบอุณหภูมิคงที่ 1-2 หาได้จาก

$$Q_{1-2} = W_{1-2} = m \int_1^2 p \, dv = m \int_1^2 \frac{R T_1}{v} \, dv = m R T_1 \ln v_2/v_1 = -m R T_1 \ln r_v \quad (1)$$

เมื่อ m คือมวลของของสารทำงาน มีหน่วยเป็น kg, $r_v = v_1/v_2$ คืออัตราส่วนของปริมาตรในการอัด และ R คือค่าคงที่ของก๊าซ มีหน่วยเป็น J/kg K

กระบวนการให้ความร้อนแบบปริมาตรคงที่ 2-3: เมื่อลูกสูบเคลื่อนย้ายเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนสู่ศูนย์และผลัดดันสารทำงานจากช่องเย็นสู่ช่องร้อนแล้ว ในขณะที่ลูกสูบกำลังหยุดนิ่งอยู่ที่ศูนย์ตายบน รอคอยการเพิ่มขึ้นของความดันซึ่งจะมีผลให้สารทำงานเกิดการขยายตัว เมื่อลูกสูบเคลื่อนย้ายผลัดดันสารทำงานให้ไหลผ่านรีเจนเนอเรเตอร์ซึ่งเก็บสะสมความร้อนไว้ภายในไปสู่ช่องร้อน ความร้อนจำนวนหนึ่งจะถ่ายเทให้กับสารทำงาน ความร้อนที่รีเจนเนอเรเตอร์ให้กับสารทำงานจะทำให้อุณหภูมิและความดันของสารทำงานสูงขึ้นจากสถานะ 2 ไปยังสถานะ 3 โดยปริมาตรคงที่ สรุปได้ว่าในกระบวนการนี้ความร้อนที่เก็บสะสมไว้ในรีเจนเนอเรเตอร์ถูกถ่ายเทให้กับสารทำงาน

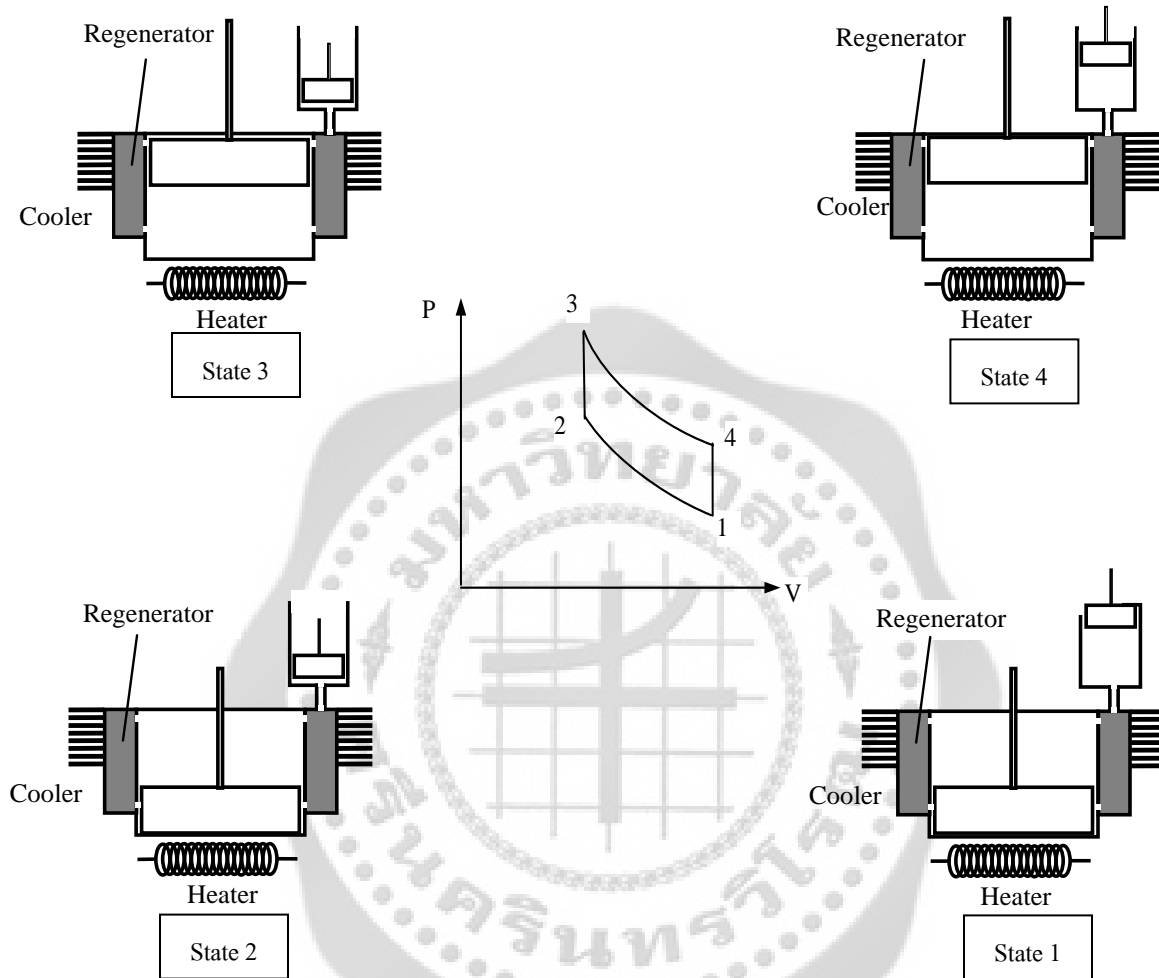
โดยหลักการแล้วปริมาณความร้อนเข้าสู่วัฏจักรระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบปริมาตรคงที่ 2-3 คำนวณได้จาก

$$Q_{2-3} = m c_v (T_3 - T_2) \quad (2)$$

เมื่อ c_v คือค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ของสารทำงาน มีหน่วยเป็น J/Kg K และสมมุติให้มีค่าคงที่ ถ้าไม่มีการ Regeneration ปริมาณความร้อนจำนวนนี้จะได้จากแหล่งความร้อนภายนอก และถ้ามีการ Regeneration อย่างสมบูรณ์ สารทำงานจะได้รับปริมาณความร้อนจำนวนนี้จากรีเจนเนอเรเตอร์

กระบวนการระบายความร้อนแบบปริมาตรคงที่ 4-1: หลังจากลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ไปยังศูนย์ตายล่างและถ่ายเทอดกำลังไปยังล้อตุ่นกำลัง ลูกสูบกำลังจะหยุดนิ่งและพร้อมที่จะเคลื่อนที่กลับไปยังศูนย์ตายบนภายใต้โมเมนตัมของล้อช่วยแรงและการดูดของสูญญากาศที่เกิดขึ้นเป็นบางส่วน โดยความดันที่ลดลงของสารทำงาน ลูกสูบเคลื่อนย้ายจะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่างสู่ศูนย์ตายบนและผลัดดันสารทำงานไปยังช่องเย็น ซึ่งในช่องเย็นนี้ความดันจะลดลงและเกิดสูญญากาศเป็นบางส่วนขึ้น สารทำงานจะถูกผลัดดันผ่านรีเจนเนอเรเตอร์เป็นสาเหตุให้อุณหภูมิและความดันของสารทำงานลดลงจากสถานะ 4

เป็นสถานะ 1 โดยปริมาตรคงที่ สรุปได้ว่าในกระบวนการนี้ ความร้อนถูกระบายออกจากสารทำงานไป เก็บสะสมไว้ในรีเจนเนอเรเตอร์



รูปที่ 2.2 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา

กระบวนการขยายตัวแบบอุณหภูมิคงที่ 3-4: หลังจากที่ลูกสูบเคลื่อนย้ายผลักดันสารทำงานเข้าไปในช่องร้อนหมดแล้ว ความดันจะเพิ่มขึ้นจนสูงสุด จากนั้นมันจะหยุดอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง สารทำงานจะอยู่ในช่องร้อนและเกิดการขยายตัวไปสู่ความดัน p_4 ในขณะที่เกิดกระบวนการให้ความร้อนโดยอุณหภูมิคงที่ 3-4 ในช่องร้อน ลูกสูบกำลังจะเริ่มถูกผลักดันจากศูนย์ตายบนไปยังศูนย์ตายล่างโดยความดันที่เพิ่มขึ้นและถ่ายเทกำลังไปยังล้อตุ่นกำลัง ดังนั้นจึงเป็นการสร้างพลังงานกลให้เกิดขึ้น และพลังงานกลนี้จะถูกใช้ประโยชน์โดยตลอดในกระบวนการที่เหลืออยู่ของวัฏจักร งานที่กระทำโดยสารทำงานนี้

คือพื้นที่ภายใต้กระบวนการ 3-4 สรุปได้ว่าในกระบวนการนี้ความร้อนถ่ายเทจากแหล่งความร้อนภายนอกสู่สารทำงานที่อุณหภูมิสูงคงที่

ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่วัฏจักรระหว่างกระบวนการขยายตัวแบบอุณหภูมิคงที่ 3-4 หาได้จาก

$$Q_{3-4} = W_{3-4} = m \int_3^4 p \, dv = m \int_3^4 \frac{R T_1}{v} \, dv = m R T_3 \ln v_4/v_3 = m R T_3 \ln r_v \quad (3)$$

พลังงานส่วนเกินของกระบวนการ 1-2 และ 3-4 จะถูกเปลี่ยนเป็นงานกลที่นำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากวัฏจักรระหว่างกระบวนการ 4-1 คือ

$$Q_{4-1} = m c_v (T_1 - T_4) \quad (4)$$

เมื่อ $Q_{4-1} = Q_{2-3}$ เมื่อไม่มีการ Regeneration ปริมาณความร้อนจำนวนนี้จะถ่ายเทออกสู่แหล่งอุณหภูมิต่ำภายนอก ถ้าเป็นการ Regeneration อย่างสมบูรณ์รีเจนเนอเรเตอร์จะดูดซับปริมาณความร้อนจำนวนนี้ไว้ทั้งหมด

งานสุทธิของวัฏจักร งานสุทธิ (Net work) ของวัฏจักรสเตอร์ลิงสามารถหาได้จาก

$$W_{\text{net}} = \sum Q = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} = Q_{3-3'} + Q_{3-4} + Q_{1-1'} + Q_{1-2} \quad (5)$$

ประสิทธิภาพของวัฏจักร ประสิทธิภาพความร้อน (Thermal efficiency) ของวัฏจักรสเตอร์ลิงสามารถคำนวณได้จาก

$$E_s = W_{\text{net}}/Q_{\text{in}} = W_{\text{net}}/(Q_{2-3} + Q_{3-4}) \quad (6)$$

สำหรับการ Regeneration อย่างสมบูรณ์ ประสิทธิภาพของวัฏจักรสเตอร์ลิงจะเป็น

$$E_s = W/(Q_{3-4}) = (T_3 - T_1)/T_3 \quad (7)$$

ซึ่งเป็นประสิทธิภาพของวัฏจักรคาร์โนต์นั่นเอง

จะเห็นได้ว่าในทางทฤษฎีเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถที่จะเป็นเครื่องยนต์ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนความร้อนให้เป็นงานกลโดยมีประสิทธิภาพสูงที่อุณหภูมิสูง ประสิทธิภาพของวัฏจักรสเตอร์ลิงอุดมคติที่มีการ Regeneration อย่างสมบูรณ์จะเท่ากับวัฏจักรคาร์โนต์ ซึ่งเป็นวัฏจักรที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในบรรดาวัฏจักรอุดมคติทางอุณหพลศาสตร์ทั้งหลาย

2.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 ยุคแรกของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนชนิดแรกที่สูงขึ้นเป็นเครื่องยนต์ความร้อนแบบนำความร้อนที่สะสมไว้กลับมาใช้ใหม่ (Regenerative cycle heat engine) ในปี ค.ศ 1816 Robert Stirling ได้จดสิทธิบัตรเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Patent no. 4081) [5] เครื่องยนต์ที่สูงขึ้นบนพื้นฐานของการประดิษฐ์ของสเตอร์ลิงถูกสร้างขึ้นหลายรูปแบบและหลายขนาดจนกระทั่งสิ้นสุดศตวรรษ

เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน สามารถเดินเครื่องอย่างเงียบกริบโดยใช้เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ได้ทุกชนิด สะอาดกว่าและมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรไอน้ำ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงได้รับความนิยมมากกว่า [3] เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในยุคนี้มีขนาดเล็กและผลิตกำลังได้ต่ำ (100 W ถึง 4 kW)

ในปี ค.ศ 1853 John Ericsson ได้สร้างเครื่องยนต์อากาศร้อน (Hot air engine) ขนาดใหญ่ สำหรับเรือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ 4.2 m มีช่วงชัก 1.5 m สามารถผลิตกำลังได้ 220 KW ที่ 9 rpm [6] ยุคแรกของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสิ้นสุดลงเนื่องจากพัฒนาการอย่างรวดเร็วของเครื่องยนต์สันดาปภายในและมอเตอร์ไฟฟ้า

2.5.2 ยุคที่สองของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

พัฒนาการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในยุคสมัยต่อมาได้เริ่มต้นประมาณปี 1937 [3] เมื่อเครื่องยนต์สเตอร์ลิงถูกพัฒนาให้ก้าวสู่ระดับเทคโนโลยีสูงโดยการค้นคว้าวิจัยของ Philips Research Laboratory ที่ Eindhoven, Holland และมีความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่บัดนั้นเป็นต้นมา งานวิจัยในตอนแรกเป็นการพัฒนาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนขนาดเล็กสำหรับวิทยุและอุปกรณ์ประเภทเดียวกันเพื่อใช้ในพื้นที่ที่ห่างไกลซึ่งไม่มีไฟฟ้าใช้ [3, 4]

วัสดุชนิดใหม่เป็นกุญแจที่สำคัญในความสำเร็จของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ทีมงานวิจัยของ Philips ใช้วัสดุชนิดใหม่ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) กุญแจของความสำเร็จที่สำคัญอย่างอื่นก็คือ การมีความรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์กายภาพด้านความร้อนและของไหลที่คิดว่าในยุคแรก ในปี 1952 เครื่องยนต์รุ่น 102C มีกำลังจำเพาะ (Specific power) มากเป็น 30 เท่าตัวของเครื่องยนต์รุ่นเก่า [7]

ความก้าวหน้าในการพัฒนาต่อมาโดยห้องปฏิบัติการของ Philips และวงการอุตสาหกรรมอื่นๆ ร่วมกับความต้องการแหล่งพลังงานเพิ่มเติมทำให้พัฒนาการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในยุคที่สองยั่งยืนมาถึงปัจจุบัน [3]

2.5.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสำหรับงานอุตสาหกรรม

การวิจัยอย่างหนักในการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงของ Philips และวงการอุตสาหกรรมอื่นๆ ทำให้สามารถผลิตเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 30% และสูงกว่า ในปี ค.ศ. 1952 Philips สร้างเครื่องยนต์เครื่องหนึ่งใช้ไฮโดรเจนเป็นสารทำงาน เครื่องยนต์เครื่องนี้สามารถผลิตกำลังได้สูงสุด 30 KW ที่อุณหภูมิสูงสุดของวัฏจักร 977 K โดยมีประสิทธิภาพความร้อน 36 % ต่อมาได้

มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้สูงขึ้นจนได้ 38% ได้มีการศึกษาเชิงทดลองกับเครื่องยนต์ขนาดต่างๆ สูงถึง 336 kW [4]

ได้มีความพยายามในการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต่อมาโดยผู้อื่นซึ่งกระทำขึ้นภายใต้ลิขสิทธิ์ของ Philips ในระหว่างปี 1958 ถึง 1970 โดยบริษัท General Motor ผู้พัฒนาภายใต้ลิขสิทธิ์ของ Philips รายอื่นคือบริษัทร่วมค้าของเยอรมันตะวันตกซึ่งประกอบด้วย MAN กับ MWM ในปี ค.ศ. 1967 และ United Stirling AB แห่ง Malmo, Sweden ในปี ค.ศ. 1968 ในปี 1973 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสำหรับทดลองใช้กับรถยนต์รุ่น Philips/Ford 4-125 สร้างขึ้นสำเร็จโดยมีกำลังจำเพาะสูงมากกว่า 300 เท่าตัวของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในยุคเก่า [3]

2.5.4 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสำหรับชนบทและพื้นที่ห่างไกล

ในปี 1967 Trayser และ Eibling [8] ได้ศึกษาเชิงการออกแบบเพื่อหาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสำหรับขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 50 W แบบเคลื่อนย้ายได้ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานเพื่อใช้ในพื้นที่ห่างไกล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายได้ที่มีความไว้วางใจได้ในราคาที่สมเหตุสมผล

ในปี 1978 Gupta และคณะ [9] ได้สร้างเครื่องยนต์ชนิดลูกสูบชักขนาด 1 kW และ 1.9 kW สำหรับใช้งานในชนบท ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์อยู่ระหว่าง 5.5 - 5.7% และมีประสิทธิภาพรวม 2.02% [10]

ในปี 1992 Dixit และ Ghodke [11] ได้ออกแบบระบบผลิตกำลังขนาดกะทัดรัดซึ่งสามารถใช้เชื้อเพลิงแข็งมากมายหลายอย่างเป็นแหล่งกำลังในท้องถิ่น เป็นระบบที่ใช้ท่อความร้อน (Heat pipe) พลังชีวมวลเป็นพลังงานขับเคลื่อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เขาได้รายงานเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องยนต์ในเชิงความร้อนในระดับมหัพภาคและการคำนวณเกี่ยวกับการสูญเสียพลังงานต่างไว้ด้วย

ในปี 1996 Pearch และคณะ [12] ได้เสนอการวิเคราะห์ระบบกำลังร่วมกับความร้อนในครัวเรือน (Domestic Combined Heat and Power, DCHP) ขนาด 1 kW ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถตอบสนองความต้องการกระแสไฟฟ้าภายในบ้านได้ถึง 30% และจะสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ถึง 25%

ในปี 1999 Podesser [13] ได้ออกแบบ สร้าง และ เดินเครื่องเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้พลังงานความร้อนของก๊าซจากการเผาไหม้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในชนบท เครื่องยนต์สามารถผลิตกำลังเพลาได้ 32 kW ที่ความดัน 33 bar และความเร็รรอบ 600 rpm ได้ประสิทธิภาพรวม 25% เขาคาดหมายว่าจะเพิ่มกำลังเพลาขึ้นเป็น 30 kW ในขั้นต่อไป

2.5.5 การศึกษาวิจัยของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ในประเทศไทย

ในปี พ.ศ. 2526 Walpita [4] นักศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ได้ทำโครงการศึกษาพิเศษเฉพาะด้าน โดยมีปรีดา วัฒนสวัสดิ์เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา เขาได้ศึกษาการออกแบบตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar receiver) สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ โดยเสนอการออกแบบเป็นท่อเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.175 mm ขดเป็นรูปก้นหอย (Spiral) ในรายงานได้แสดงการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์สู่สารทำงานและการคำนวณหาพื้นที่การถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบว่าได้มีการสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ในเวลาต่อมา

ในปี พ.ศ. 2539 ดนัย อร่ามธรรมมาพร [14] นักศึกษาคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำวิทยานิพนธ์โดยมีรัตนชัย ไพรินทร์ร่วมกับอุทัย แก้วช่วงเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา เขาได้ทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงวัฏจักรเปิดโดยใช้ไอน้ำที่ถูกให้ความร้อนด้วย Producer gas เป็นสารทำงาน เครื่องยนต์เครื่องแรกสามารถผลิตกำลังหัวสูบ (Indicated power) ได้ประมาณ 1.36 kW ที่ความเร็วรอบสูงสุด 950 rpm ในขณะที่เครื่องยนต์เครื่องที่สองซึ่งปรับปรุงขึ้นจากเครื่องยนต์เครื่องแรกสามารถผลิตกำลังหัวสูบได้ประมาณ 2.92 kW ที่ความเร็วรอบสูงสุด 2200 rpm

ในปี พ.ศ 2539 สมยศ แยมศรีและเอกพงษ์ ฐานะกาญจน์ [15] นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ได้ทำโครงการวิศวกรรม โดยมีพิชัย อัยฉมุงคลร่วมกับสมไทย สิวาแสงเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โครงการวิศวกรรมนี้เป็นการสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็กเพื่อใช้ในการสาธิตหลักการการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ผลจากการทดสอบสมรรถนะพบว่าเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพสูงสุด 0.474 % ให้กำลังเพลาสูงสุด 1.138 W ที่ 483 rpm โดยใช้ความร้อนจากขดลวดให้ความร้อนไฟฟ้า (Heater) ขนาด 240 W โดยมีความเร็วรอบสูงสุดในขณะไม่มีภาระ 674 rpm

ในปี พ.ศ 2543 จักรวาล ลีกระจ่าง, วิรุพห์ โคมแก้วและอภิชาติ รุ่งเรือง [16] นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ได้ทำโครงการวิศวกรรม โดยมีบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ในโครงการวิศวกรรมนี้ได้ออกแบบสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาทำงานสองด้าน โดยมีลูกสูบกำลังขนาด 600 cc และลูกสูบเคลื่อนย้ายขนาด 900 cc มีอัตราส่วนการอัดระหว่างลูกสูบเคลื่อนย้ายกับลูกสูบกำลังเป็น 1.5:1 การทดสอบใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแบบคงที่แล้ววัดแรงบิดและความเร็วรอบมาใช้ในการคำนวณหากำลัง การทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ไร้ภาระมีความเร็วสูง 130 รอบ/นาที เมื่อรับภาระมีแรงบิดสูงสุด 1.0 Nm ที่ความเร็วรอบ 60 rpm และ กำลังสูงสุด 6.5 W ที่ความเร็ว 70 rpm ต่อมาในปี พ.ศ. 2544 บัญชา คัง

ตระกูล ได้ปรับปรุงและทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเครื่องนี้ใหม่ พบว่าในสภาวะไร้ภาระมีความเร็วรอบสูงสุด 130 rpm เมื่อรับภาระมีแรงบิดสูงสุด 1.0 Nm ที่ความเร็วรอบ 58 rpm และให้กำลังสูงสุด 6.5 W ที่ความเร็วรอบ 76 rpm และได้นำเสนอผลการทดสอบใหม่นี้ต่อที่ประชุมเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประจำปี 2544 [17] และได้ร่วมกับไพศาล นาคผล เสนอผลงานวิจัยนี้ในที่ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15 [18]

ในปี พ.ศ. 2543 เฉลิมศักดิ์ ชื้อสัดย์, ธนภูมิ จันทเขตแลวัชระ ไยผุย [19] นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ได้ทำโครงการวิศวกรรมโดยมีบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โครงการวิศวกรรมนี้เป็นการศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ โดยได้ออกแบบสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีลูกสูบกำลังขนาด 9.7 cc และลูกสูบเคลื่อนย้ายขนาด 387.9 cc มีอัตราส่วนการอัดระหว่างลูกสูบเคลื่อนย้ายกับลูกสูบกำลังเป็น 40:1 ใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์เป็นแหล่งให้ความร้อน การทดสอบพบว่าในขณะที่เครื่องยนต์ไร้ภาระมีความเร็วรอบสูงสุด 97.8 rpm โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิ 58°C จากการคำนวณได้กำลังสูงสุด 0.308 W และประสิทธิภาพทางความร้อน 15.549% ต่อมาในปี พ.ศ. 2544 บัญชา คังตระกูลและไพศาล นาคผลได้นำเสนอผลงานวิจัยนี้เผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15 [20]

ในปี พ.ศ. 2543 ทวีทรัพย์ เกิดศรีเสริมและปิยะยศ สุวรรณโชติ [21] นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ได้ทำโครงการวิศวกรรมโดยมีบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ในโครงการวิศวกรรมนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงลูกสูบของเหลวหรือเครื่องยนต์สูบน้ำฟลูอิดไนน์ โดยใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 in เพื่อศึกษาหลักการทำงานและสมรรถนะ การทดสอบใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง โดยวัดอัตราการไหลของน้ำ ความร้อนที่ใช้ในการเผาไหม้และคำนวณหาประสิทธิภาพทุกช่วงระดับน้ำในกระบอกสูบเคลื่อนย้าย การศึกษาพบว่าที่ระดับน้ำในกระบอกสูบเคลื่อนย้ายสูง 11.5 cm จะได้อัตราการไหลสูงสุด $56.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ โดยมีประสิทธิภาพ $4.75 \times 10^{-3} \%$ ต่อมาบัญชา คังตระกูลได้นำเสนอผลงานวิจัยนี้ในที่ประชุมวิชาการเพื่อการนำเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปี พ.ศ. 2544 [22] และได้ร่วมกับ ไพศาล นาคผล นำเสนอผลงานวิจัยนี้เผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15 [23]

ในปี พ.ศ. 2544 สมยศ ชาวนา และ อภิลักษณ์ โพธิ์รัชต์ [24] นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ได้ทำโครงการวิศวกรรมโดยมีบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ในโครงการวิศวกรรมนี้ได้ออกแบบสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของ

อุณหภูมิทำงานสองด้านขนาดใหญ่ขึ้น โดยขยายขนาดจากเครื่องยนต์ของเฉลิมศักดิ์ ชื่อสัตย์และคณะ [19] ลูกสูบเคลื่อนย้ายมีขนาด 8482.3 cc และลูกสูบกำลังมีขนาด 212.1 cc อัตราส่วนการอัดระหว่างลูกสูบเคลื่อนย้าย กับลูกสูบกำลังเป็น 40:1 ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นสามารถหมุนได้รอบมากที่สุด 8 รอบต่อการสตาร์ทหนึ่งครั้ง ไม่สามารถเดินเครื่องอย่างต่อเนื่องได้เนื่องจากเครื่องยนต์ที่สร้างมีความฝืดมากและชิ้นส่วนมีน้ำหนักมากเกินไป

ในปี พ.ศ. 2545 การุญ พิงสุวรรณรักษ์ [25] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ได้ศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องสูบน้ำฟลูอิดไดน์เป็นกรณีศึกษาการต่อท่อปรับแบบรวมและท่อปรับแยก และนำเสนอผลงานวิจัยในที่ประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16 ผลจากการวิจัยพบว่าการต่อท่อปรับแบบแยกใช้พลังงานขาเข้าน้อยกว่าท่อปรับแบบรวมประมาณ 3 เท่า แต่สูบน้ำได้น้อยกว่าประมาณ 8 เท่า

ในปี พ.ศ. 2545 บัญชา คังตระกูล [26] ได้ตีพิมพ์บทความเกี่ยวกับการศึกษาการออกแบบอุปกรณ์รวมแสงอาทิตย์ขึ้นต้นสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ ผลจากการศึกษาพบว่าอุปกรณ์รวมแสงอาทิตย์ควรจะเป็นแบบกรวยสะท้อนที่มีมุมกรวย 30° โดยแผ่นปิดหัวกระบอกสูบเคลื่อนย้ายเป็นแผ่นโปร่งใส ลูกสูบเคลื่อนย้ายควรจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวรับแสงอาทิตย์และรีเจนเนอเรเตอร์

ในปี พ.ศ. 2546 บัญชา คังตระกูลและสมชาย วงศ์วิเศษ [27] ได้ศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต่ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะสามารถทำงานได้ โดยได้ตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยเชิงทบทวนวรรณกรรมออกมา ผลของการศึกษาในขั้นต้นแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิต่ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเครื่องยนต์ที่เหมาะสมที่สุดควรจะเป็นเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำแบบแกมมาสูบล้าง

ในปี พ.ศ. 2546 บัญชา คังตระกูลและสมชาย วงศ์วิเศษ [28] ได้ศึกษาค้นคว้าทางทฤษฎี เพื่อหาค่าตัวเลขของ Beale (Beale number) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังเพลลาที่จะได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำในช่วงการออกแบบขั้นต้น ตัวเลขของ Beale ที่มีอยู่แล้วและที่คำนวณได้จากรายละเอียดจำเพาะของเครื่องยนต์จากแหล่งต่างๆ ถูกเก็บรวบรวม ผลจากการศึกษาพบว่ากำลังเพลลาของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำจะสามารถคำนวณได้จากตัวเลขของ Beale ที่ตัดแปลงมาจากสูตรกำลังจากความดันเฉลี่ย

ในปี พ.ศ. 2546 บัญชา คังตระกูลและไพศาล นาคผล [29] ได้นำเสนอผลการศึกษาทบทวนเพื่อหารูปแบบของเทคโนโลยีเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่เหมาะสมกับชนบทและพื้นที่ห่างไกลของประเทศไทย

ผลจากการศึกษาพบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่เหมาะสมควรเป็นแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต่ำที่ใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด คือ ใช้ได้ทั้งความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และความร้อนจากการเผาไหม้ของวัสดุเหลือใช้จากเกษตรกรรม

ในปี พ.ศ. 2546 บัญชา คังตระกูลและไพศาล นาผล [30] ได้นำเสนอผลการศึกษาเพื่อวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบอัลฟาด้วยวิธีเชิงตัวเลข และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการวิเคราะห์ของซมิดท์ ผลจากการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์เชิงตัวเลขจะให้ผลลัพธ์ที่ละเอียดกว่าการวิเคราะห์ของซมิดท์เมื่อการเพิ่มมุมหมุนของเพลาค้อเหวี่ยงแต่ละครั้งมีค่าน้อยกว่า 2° ผลลัพธ์ที่ได้จากการเพิ่มมุมหมุนครั้งละ 15° จะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 1.12%

ในปี พ.ศ. 2546 ไพบุลย์ ศรีภักการ [31] ได้นำเสนอบทความเกี่ยวกับการออกแบบเชิงวิเคราะห์สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต่ำ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวัฏจักรสเตอร์ลิงกับวัฏจักรกึ่งสเตอร์ลิง ผลจากการศึกษาพบว่าวัฏจักรกึ่งสเตอร์ลิงที่ใช้แบบจำลองการอัดตัวของก๊าซแบบ Adiabatic สะท้อนพฤติกรรมของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ดีกว่าและในการทำงานที่ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต่ำ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงควรมีอัตราส่วนการอัดที่สูง ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซควรมีค่าต่ำ รวมทั้งผู้ออกแบบสามารถกำหนดขนาดเบื้องต้นพร้อมทั้งปรับแก้ขนาดได้ด้วยข้อพิจารณาทางอุณหพลศาสตร์

ในปี พ.ศ. 2547 บัญชา คังตระกูลและไพศาล นาผล [32] ได้นำเสนอผลการศึกษาเพื่อวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้าด้วยวิธีเชิงตัวเลข และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการวิเคราะห์ของซมิดท์ ผลจากการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์เชิงตัวเลขจะให้ผลลัพธ์ที่ละเอียดกว่าการวิเคราะห์ของซมิดท์เมื่อการเพิ่มมุมหมุนของเพลาค้อเหวี่ยงแต่ละครั้งมีค่าน้อยกว่า 2° ผลลัพธ์ที่ได้จากการเพิ่มมุมหมุนครั้งละ 15° จะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 1.12%

ในปี พ.ศ. 2547 บัญชา คังตระกูลและไพศาล นาผล [33] ได้นำเสนอผลการศึกษาเพื่อวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาด้วยวิธีเชิงตัวเลข และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการสหสัมพันธ์ของนักวิจัยอื่นๆ ผลจากการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์เชิงตัวเลขควรจะให้ผลลัพธ์ที่ละเอียดสูงที่สุด การจำลองเชิงตัวเลขพบว่าที่การเพิ่มมุมหมุนของเพลาค้อเหวี่ยงแต่ละครั้งมีค่าเป็น 1° ผลลัพธ์ที่ได้จะใกล้เคียงกับสหสัมพันธ์ของ West มากที่สุด เพื่อให้ได้ความละเอียดสูง การวิเคราะห์เชิงตัวเลขควรจะใช้การเพิ่มมุมหมุนของเพลาค้อเหวี่ยงครั้งละไม่เกิน 2°

ในปี พ.ศ. 2547 วรณูช แจงสว่าง, บัญชา คังตระกูลและพิสิษฐ์ ยงยิ่งศักดิ์ถาวร [34] ได้ศึกษาเครื่องยนต์ที่ใช้ Regenerative-cycle ในเชิงทฤษฎี ในการศึกษาเรื่องนี้ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงและเครื่องยนต์อีริกสัน (Ericsson engine) ถูกมคติดูวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างกันและเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์คาร์

โนต์ (Carnot engine) ผลจากการวิเคราะห์เครื่องยนต์ที่มีปริมาตรกวาด 119 928 cc โดยใช้แหล่งอุณหภูมิสูง 923 K และแหล่งอุณหภูมิต่ำ 338 K พบว่าประสิทธิภาพความร้อนของทั้งเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและเครื่องยนต์อีริกสันต่างก็เท่ากับประสิทธิภาพคาร์โนต์ งานสุทธิที่ได้จากเครื่องยนต์อีริกสันและเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีค่าเป็น 3.2 และ 4.6 เท่าของเครื่องยนต์คาร์โนต์ ตามลำดับ

ในปี พ.ศ. 2547 ชัยวัฒน์ อิ่มแถม, ประมวล หงสนันท์และอศวิน ลิมาลัย [35] นักศึกษาศาखाวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีธนบุรี ได้ทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา พวกเขาได้ออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาใช้ลูกสูบกำลัง 2 ลูกสูบ มีขนาดความจุกระบอกสูบกำลังรวม 885.2 cc ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 11.86 W ที่ 122.7 rpm

ในปี พ.ศ. 2547 รัตพล ศรีจันทร์ โนม, สมพงษ์ รอชัยกุล, นคร ชัดเป็งและอภิรัตน์ ใจเฟื้อย [36] นักศึกษาศาखाวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีธนบุรี ได้ทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา พวกเขาได้ออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา ขนาดความจุกระบอกสูบกำลัง 650 cc ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 3.2748 W ที่ 72 rpm

ในปี พ.ศ. 2548 บัญชา คังตระกูลและสมชาย วงศ์วิเศษ [37] ได้ศึกษาค้นคว้าทางทฤษฎีเกี่ยวกับการคำนวณกำลังเพลาที่จะได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิตำรวจแบบแกมมา สูตรการคำนวณต่างๆ ที่มีอยู่แล้วถูกเก็บรวบรวมนำมาศึกษาและวิจารณ์ ผลจากการศึกษาพบว่ากำลังเพลาของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิตำรวจจะสามารถคำนวณได้จากสูตรกำลังจากความดันเฉลี่ยโดยตรง

ในปี พ.ศ. 2548 บัญชา คังตระกูลและไพศาล นามผล [38] ได้นำเสนอผลการศึกษาลักษณะทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดกลไกในรูปแบบทางกลต่างๆ ในบทความได้นำเสนอการวิจารณ์และการเปรียบเทียบเครื่องยนต์รูปแบบต่างๆ ซึ่งกันและกัน ผลการศึกษาพบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดกลไกที่เหมาะสมควรเป็นเครื่องยนต์รูปแบบแกมมา โดยควรจะทำให้ออกแบบให้เป็นแบบสูบตั้งใช้ลูกสูบกำลังแบบทำงานสองด้าน

ในปี พ.ศ. 2548 บัญชา คังตระกูลและไพศาล นามผล [39] ได้นำเสนอการวิเคราะห์ทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงซึ่งไม่มีปริมาตรตายที่มีการให้ความร้อนจากรีเจนเนอเรเตอร์ที่ไม่สมบูรณ์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบอุณหภูมิกึ่งที่ ผลจากการศึกษาพบว่าสามารถใช้การวิเคราะห์ทางอุณหพลศาสตร์อย่างง่ายกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีการให้ความร้อนจากรีเจนเนอเรเตอร์ที่ไม่สมบูรณ์ ความไม่สมบูรณ์ของรีเจนเนอเรเตอร์จะไม่มีผลต่องานสุทธิของเครื่องยนต์ แต่เครื่องยนต์ที่

มีรีเจนเนอเรเตอร์ที่ไม่สมบูรณ์ต้องการการให้ความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงภายนอกและการระบายความร้อนสู่แหล่งอุณหภูมิต่ำภายนอกมากกว่าเครื่องยนต์ที่มีรีเจนเนอเรเตอร์ที่สมบูรณ์

ในปี พ.ศ. 2548 บัญชา คังตระกูลและสมชาย วงศ์วิเศษ [40] ได้ศึกษาค้นคว้าทางทฤษฎีเกี่ยวกับการคำนวณหาอุณหภูมิของตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้ได้กำลังเพลาสุงสุดจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์แบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ ได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประสิทธิภาพรวมของเครื่องยนต์พลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นมา แล้วหาอุณหภูมิของตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองสถานะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดและกำลังสูงสุด ผลจากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของทั้งสองสถานะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ประสิทธิภาพรวมสูงสุดในสถานะที่ให้กำลังสูงสุดจะใกล้เคียงกับเครื่องยนต์จริงที่มีประสิทธิภาพเป็น 55% ของประสิทธิภาพคาร์โนต์มากที่สุด

ในปี พ.ศ. 2548 พงศกร เกิดช้างและคณะ [41] ได้เสนอการศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อที่จะหาค่ากำลังและการถ่ายเทความร้อนที่แท้จริงที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์รูปแบบเต้า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีพื้นฐานอยู่บนกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ ผลจากการศึกษาพบว่าจะต้องเลือกปริมาตรของรีเจนเนอเรเตอร์และมุมล่งหน้าระหว่างลูกสูบเคลื่อนย้ายกับลูกสูบกำลังด้วยความระมัดระวังเพื่อให้ได้กำลังสูงสุดในการทำงานตลอดทั้งวัน

ในปี พ.ศ. 2548 บัญชา คังตระกูล [42] ได้นำเสนอบทความสรุปผลการศึกษาคาร์วิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงทั้งสามรูปแบบลักษณะด้วยวิธีเชิงตัวเลขและเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการสหสัมพันธ์ของนักวิจัยอื่นๆ ผลจากการศึกษานี้เป็นผลสรุปที่รวบรวมจากจากงานวิจัยสามชิ้นที่ทำมาก่อนหน้านี้ [30, 32, 33]

ในปี พ.ศ. 2548 บัญชา คังตระกูล [43] ได้เสนอบทความสรุปผลการศึกษาคาร์วิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงทั้งสามรูปแบบลักษณะด้วยเทคนิคของซมิตท์และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการวิธีเชิงตัวเลข ผลจากการศึกษานี้เป็นผลสรุปที่รวบรวมจากจากงานวิจัยสามชิ้นที่ทำมาก่อนหน้านี้ [30, 31, 32] เช่นกัน

ในปี พ.ศ. 2548 คำรณ มาหะมะและปรีชา ศรีใส [44] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ทำโครงการนิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ โดยมี สมจิตร สุขสวัสดิ์และบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา พวกเขาได้ปรับปรุงและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาแบบลูกสูบกำลังทำงานสองด้านที่มีขนาดความจุกระบอกสูบกำลัง 60 cc ซึ่งสร้างขึ้นโดยจักรวาล ลีกระจ่างและคณะ [16] โดยใช้ลูกสูบเคลื่อนย้ายสามแบบคือ แบบใช้ฝอยเหล็กกล้าไร้สนิมเต็มทั้งลูก, แบบใช้ฝอยเหล็กกล้าไร้สนิมเพียงครึ่งเดียว และแบบไม่มีฝอยเหล็กกล้าไร้

สนิม ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 8.746 W ที่ 73.3 rpm โดยใช้ลูกสูบเคลื่อนย้ายแบบไม่มีฝอยเหล็กกล้าไร้สนิม

ในปี พ.ศ. 2548 เกียรติยศ ผูกเพชรและเกษนทร์ ธรรมสิทธิ์ [45] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพได้ทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์โดยมีมณฑล ชูโซนาและบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา พวกเขาได้ออกแบบ, สร้างและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาแบบลูกสูบกำลังทำงานด้านเดียวที่มีขนาดความจุกระบอกสูบกำลัง 2145 cc โดยใช้หลอดไฟฟ้าฮาโลเจนขนาด 1000 W จำนวนหนึ่งหลอดเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 3.087 W ที่ 24.4 rpm

ในปี พ.ศ. 2548 คมศักดิ์ น้อยบุตรและอานนท์ ทวีสัตย์ [46] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีมณฑล ชูโซนาและบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา พวกเขาได้ออกแบบ, สร้างและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบของเหลวที่มีขนาดความจุกระบอกสูบกำลัง 6.872 cc โดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 11.367 mW ที่ 58.6 rpm

ในปี พ.ศ. 2548 สมพร ต้นดวงศ์ไพศาล [47] ได้นำเสนองานวิจัยเรื่องเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบของเหลว โดยใช้ขดลวดความร้อนขนาด 100 วัตต์ เป็นแหล่งกำเนิด ต่อเข้ากับปั้มน้ำซึ่งทั้งหมดทำด้วยแก้ว ให้ความร้อนแก่อากาศเหนือผิวน้ำในหลอดด้วยด้านร้อน (Heater) อีกด้านหนึ่งของตัวยูเป็นส่วนระบายความร้อน (Cooler) ผลการทำงานวิจัยนี้พบว่าสามารถปั้มน้ำได้ดีและเป็นไปอย่างต่อเนื่องโดยสามารถดูดและส่งน้ำได้สูงสุด 50 cm อัตราการไหลของน้ำสูงสุด 300 ml/min

ในปี พ.ศ. 2548 โสภนิศ พิฑูรมานิต, วัลยา วงษาหาร และเรืองฤทธิ์ จิตรโท [48] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ทำโครงการวิศวกรรม การนำหลักการพื้นฐานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาใช้เป็นทางเลือกในการทดแทนพลังงาน โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ การทดสอบพบว่ายิ่งด้านร้อนของเครื่องยนต์ได้รับความร้อนมากขึ้นเท่าไรจะยิ่งทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้นเท่านั้นและจะทำให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยกำลังที่ได้อยู่ระหว่าง 0.09-1.50 W ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ 17-70°C และความเร็วรอบอยู่ระหว่าง 98-352 rpm

ในปี พ.ศ. 2549 บัญชา คังตระกูลและสมชาย วงศ์วิเศษ [49] ได้ศึกษาค้นคว้าทางทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์ทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีปริมาตรตายในช่องร้อน รีเจนเนอเรเตอร์ และช่องเย็น ที่มีการให้ความร้อนจากรีเจนเนอเรเตอร์ที่ไม่สมบูรณ์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบอุณหภูมิกึ่งที่ ผลจากการศึกษาพบว่าเฉพาะปริมาณตายเท่านั้นที่ส่งผลต่องานสุทธิของเครื่องยนต์ งานสุทธิจะลดลงเมื่อปริมาณตายเพิ่มขึ้น ความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณตายเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของรีเจนเนอเรเตอร์ลดลง ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะลดลงเมื่อปริมาณตายเพิ่มมากขึ้นและประสิทธิภาพของรีเจนเนอเรเตอร์ลดลง

ในปี พ.ศ. 2549 บัณฑิต ลิมมีโชคชัย, เษชัญ จันทรสา และ จ่านง สรพิพัฒน์ [50] ได้เสนอผลการศึกษาศักยภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงผลิตไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยศึกษาถึงความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ Kockums 4-95 ของ McDonnell Douglas และ เครื่องยนต์ SOLO 161 สามารถผลิตพลังแสงอาทิตย์ขนาด 25 kW และขนาด 10 kW ให้ประสิทธิภาพรวมเฉลี่ย 17.7% ต่อปี และ 13.6% ต่อปี ผลิตไฟฟ้าได้ 23,739 kWh ต่อปีที่ Plant Capacity Factor (PCF) 8.8% และ 8715 kWh ต่อปีที่ PCF 8.0% ตามลำดับ และระบบทั้งสองจะให้ประสิทธิภาพสูงตั้งแต่เดือน พ.ย. ถึง พ.ค. ในทุกภูมิภาค (ยกเว้นภาคใต้) ประสิทธิภาพจะต่ำเดือน มิ.ย. ถึง ต.ค. ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน

ในปี พ.ศ. 2550 บัญชา คังตระกูลและสมชาย วงศ์วิเศษ [51] ได้เสนอผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิค่าโดยใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง จำนวนสองเครื่อง เครื่องยนต์เครื่องแรกเป็นเครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังคู่ (Twin-power piston) ส่วนเครื่องยนต์เครื่องที่สองเป็นเครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังสี่ลูก ลูกสูบกำลังของเครื่องยนต์ทั้งสองเครื่องเป็นลูกสูบแบบทำงานด้านเดียว

ในปี พ.ศ. 2550 บัญชา คังตระกูลและสมชาย วงศ์วิเศษ [52] ได้เสนอผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิค่า โดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน เครื่องยนต์ที่ทดสอบเป็นเครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังคู่

ในปี พ.ศ. 2550 ธวัชชัย ประชุม, ผาบุญ ไพศาลธนากรและสิทธิชัย ช่วงบุญศรี [53] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ทำโครงการวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีสมจิตร สุขสวัสดิ์และบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา พวกเขาได้ออกแบบ, สร้าง และทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาที่มีขนาดความจุระบอบลูกสูบกำลังรวม 64 cc โดยใช้ฝาสูบทำจากวัสดุสามชนิดคือ เหล็กกล้าไร้สนิม, อลูมิเนียมและทองแดง โดยใช้หลอดไฟฟ้าฮาโลเจนขนาด 500 W จำนวนหนึ่งหลอดเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 1.1926 W ที่ 156.4 rpm โดยใช้ฝาสูบเหล็กกล้าไร้สนิม

ในปี พ.ศ. 2550 กวิน ศรีสุวรรณ, ทวีศักดิ์ จันทรินาคา และอนุชน ชันเมธารัตน์ [54] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ได้ทำ

โครงการวิศวกรรมศาสตร์โดยมีฉนวน ชูโชนาคและบัญชา คังตระกูลเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา พวกเขาได้ออกแบบ, สร้าง และทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาชนิดลูกสูบกำลังทำงานสองด้านที่มีขนาดความจุกระบอกสูบกำลัง 1271 cc โดยใช้หลอดไฟฟ้าฮาโลเจนขนาด 1000 W จำนวนสองหลอดเป็นแหล่งให้ความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้กำลังเพลาสูงสุด 1.3737 W ที่ 40.46 rpm

ในปี พ.ศ. 2551 บัญชา คังตระกูลและสมชาย วงศ์วิเศษ [55] ได้เสนอผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิตัว โดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน เครื่องยนต์ที่ทดสอบเป็นเครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังสี่ลูก

ในปี พ.ศ. 2551 บัญชา คังตระกูล [56] ได้เสนอหลักการวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในรูปแบบทั่วไปโดยแบบจำลองแบบอุณหภูมิคงที่ โดยอุณหภูมิประสิทธิผลของรีเจนเนอเรเตอร์เป็นมัชฌิมเลขคณิตของอุณหภูมิสารทำงานด้านร้อนกับด้านเย็น การศึกษาผลกระทบจากประสิทธิผลของรีเจนเนอเรเตอร์และปริมาตรตายพบว่า งานสุทธิของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะขึ้นอยู่กับปริมาตรตายเพียงอย่างเดียว โดยประสิทธิภาพความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับทั้งปริมาตรตายและประสิทธิผลของรีเจนเนอเรเตอร์

ในปี พ.ศ. 2551 บัญชา คังตระกูล [57] ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับความถี่ของลำนำในกระบอกสูบเคลื่อนย้ายและความยาวของท่อปรับในรูปแบบทั่วไปสำหรับเครื่องยนต์ฟลูอิดไนต์ ผลจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบทั่วไปที่เสนอนี้สามารถประยุกต์กับกรณีจำเพาะต่างๆ ทุกกรณี และได้ผลลัพธ์เท่ากับแบบจำลองแบบจำเพาะต่างๆ ที่เสนอโดยผู้อื่น

ในปี พ.ศ. 2551 บัญชา คังตระกูล [58] ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวรวมรังสีแบบจานพาราโบลา และทำการจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยการกำหนดตัวแปรของการสะท้อนรังสีอาทิตย์และค่าความเข้มของรังสีตรงให้มีค่าคงที่ โดยค่าตัวประกอบของเตาสूरียะแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 0.3-0.7 และอัตราส่วนระหว่างระยะโฟกัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลาแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 0-1 ผลจากการจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าสมรรถนะจะดีที่สุดเมื่ออัตราส่วนระหว่างระยะโฟกัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลาเป็น 0.25

บทที่ 3

เครื่องทดลอง วิธีทดลอง และข้อมูลจากการทดลอง

3.1 เครื่องทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

รายละเอียดของเครื่องทดลอง, อุปกรณ์และเครื่องมือที่สำคัญต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยมีดังต่อไปนี้

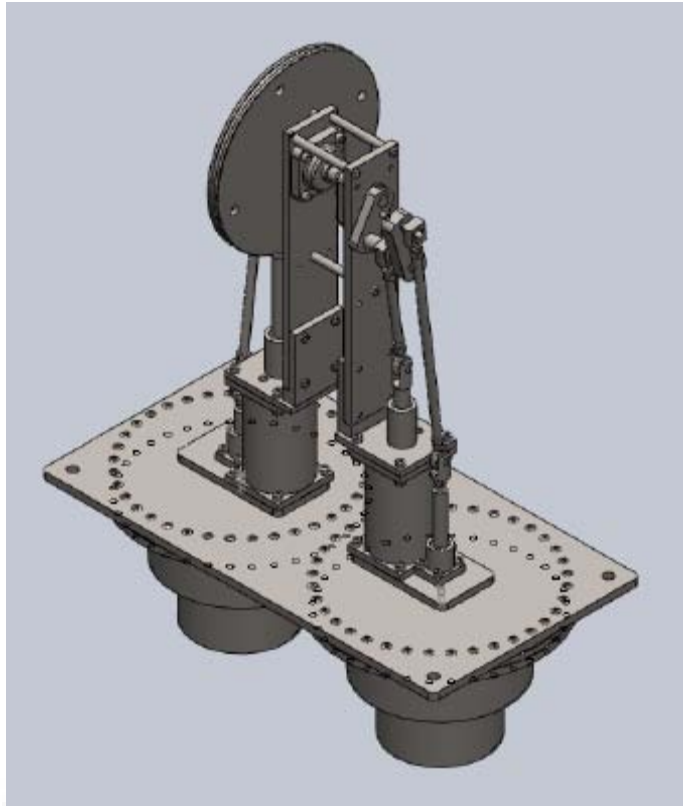
3.1.1 เครื่องยนต์

เป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมาแบบลูกสูบคู่กำลังทำงานสองด้าน (Twin double-acting power piston) ซึ่งออกแบบโดยใช้วัสดุคืบและชิ้นส่วนมาตรฐานที่ทำให้ง่ายทั่วไปในการสร้างชิ้นส่วนเครื่องยนต์มากที่สุด เพื่อให้สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีไปสู่ภาคเกษตรกรรมและชนบทได้ง่าย

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ในการออกแบบที่สำคัญ

ความโตของลูกสูบเคลื่อนย้าย	150	mm
ช่วงชักของลูกสูบเคลื่อนย้าย	110	mm
ปริมาตรกวาดของลูกสูบเคลื่อนย้าย	1944	cc
ความโตของลูกสูบกำลัง	85.2	mm
ช่วงชักของลูกสูบกำลัง	110	mm
ปริมาตรกวาดของลูกสูบกำลังคู่	1254.3	cc
อัตราส่วนการอัด	1.55	
มุมล่วงหน้าระหว่างลูกสูบเคลื่อนย้ายกับลูกสูบกำลัง	90°	

พารามิเตอร์ในการออกแบบที่สำคัญของเครื่องยนต์แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 แผนภาพแสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องยนต์ที่ออกแบบสามารถดูได้จากรูปที่ 3.1 ส่วนรูปที่ 3.2 นั้นเป็นภาพถ่ายแสดงเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นเสร็จแล้ว



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิง



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายแสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สร้างขึ้น

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่สำคัญ ประกอบด้วย

1) Rope brake dynamometer สำหรับวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ประกอบด้วยตาชั่งสปริง, น้ำหนักถ่วง, สายรัด, และโครงสร้างรองรับอุปกรณ์ (ดูรูปที่ 3.3)

2) ชุดวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประกอบด้วย Proximity sensor และ Digital indicator และโครงสร้างรองรับอุปกรณ์ (ดูรูปที่ 3.4)

3) ชุดวัดความดันของสารทำงานในเครื่องยนต์ประกอบด้วย Pressure transmitter และ Compound gauge ซึ่งวัดได้ทั้งความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศและสุญญากาศ (ดูรูปที่ 3.5)

4) ระบบให้ความร้อนด้วยก๊าซปิโตรเลียมเหลวประกอบด้วยหัวเผาก๊าซ (รุ่น KB5), ถังเก็บก๊าซ, เครื่องปรับความดันก๊าซ และท่อก๊าซ (ดูรูปที่ 3.6 และ 3.7)

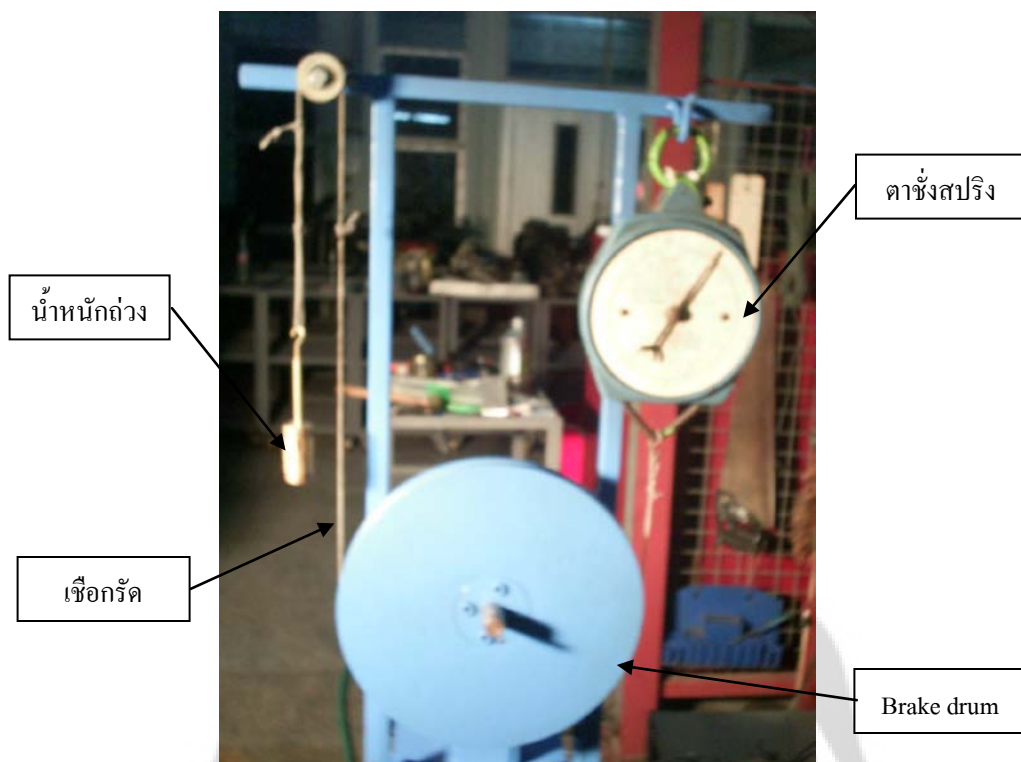
5) ชุดวัดความร้อนที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์ประกอบด้วยกระบอกสูบเคลื่อนย้ายทำหน้าที่เป็น แคลอริมิเตอร์อย่างง่าย (Simple calorimeter), ตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์, และนาฬิกาจับเวลา (ดูรูปที่ 3.10)

6) ระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องยนต์ประกอบด้วยถังเก็บน้ำเย็น, ถังพักน้ำร้อน, อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ, เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ, เครื่องสูบน้ำ, ระบบท่อและวาล์ว, และโครงสร้างรองรับอุปกรณ์ทั้งหลาย (ดูรูปที่ 3.8)

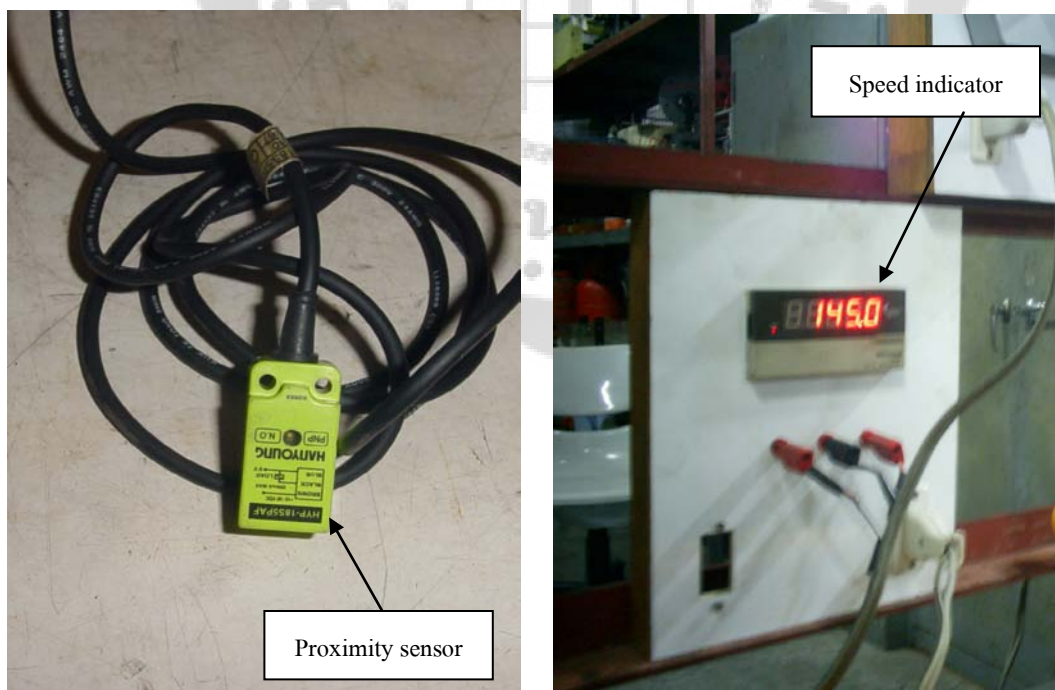
7) ชุดวัดอุณหภูมิของเครื่องยนต์และน้ำระบายความร้อนประกอบด้วย Infrared thermometer สำหรับวัดอุณหภูมิของฝาสูบด้านร้อน, K-type thermocouple และ Digital indicator สำหรับวัดอุณหภูมิของฝาสูบด้านเย็นและอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อน, Selector switches สำหรับการเลือกอ่านจุดที่วัดอุณหภูมิ (ดูรูปที่ 3.9)

8) แผงเครื่องมือวัดและควบคุมทางไฟฟ้าประกอบด้วยแผงควบคุม, โครงสร้างรองรับ, อุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า, ระบบสายไฟฟ้า, สวิตช์, และ Breakers (ดูรูปที่ 3.9)

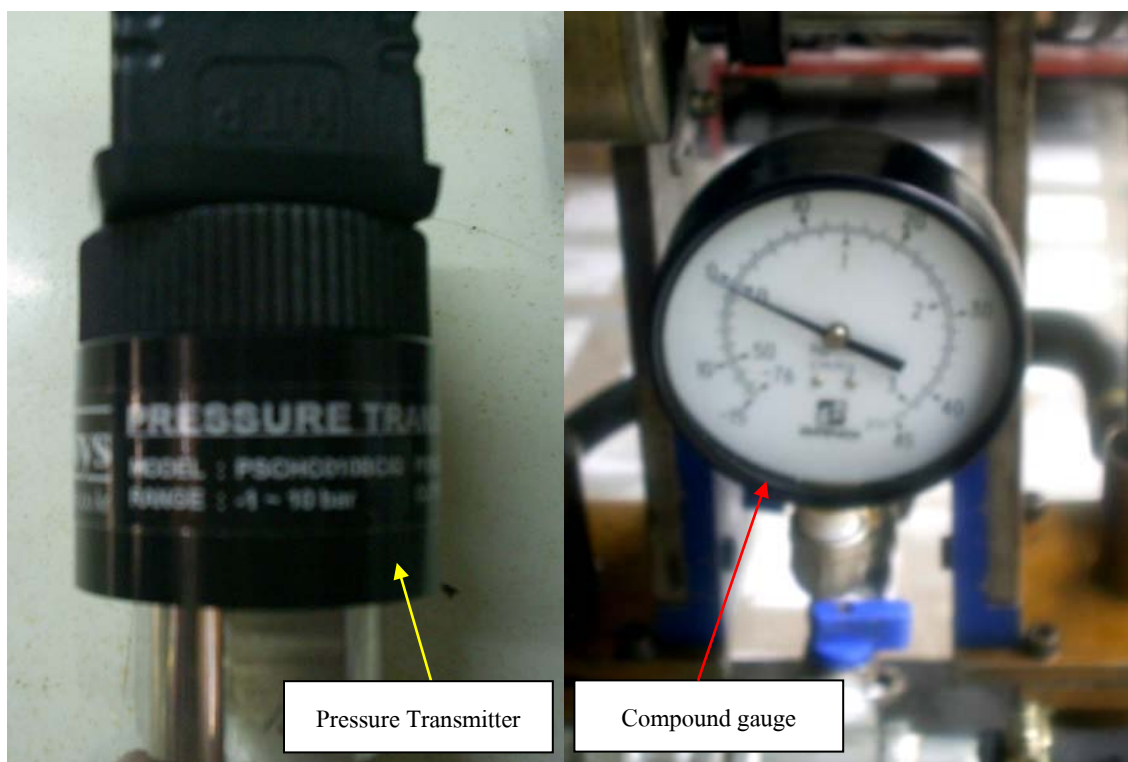
9) เครื่องมือวัดทางกลและอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อการสอบเทียบเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ เช่น Beaker, Thermometer, manometer, เป็นต้น



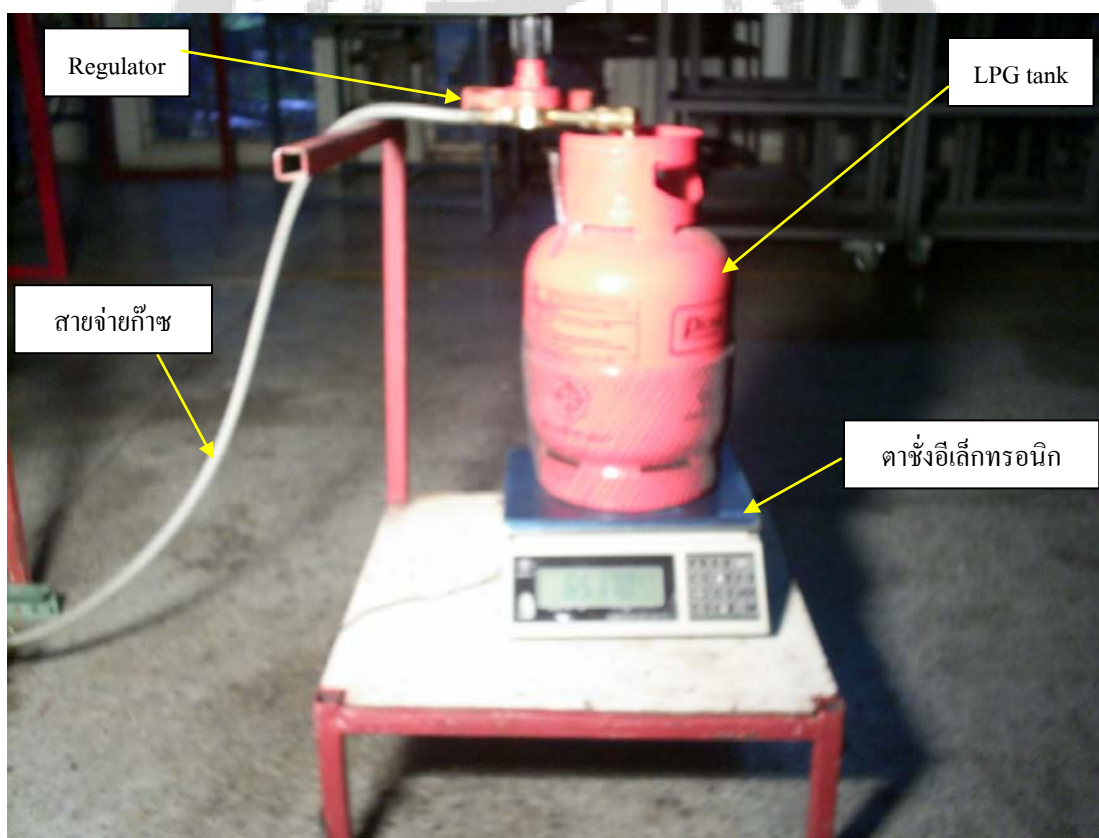
รูปที่ 3.3 Rope brake dynamometer สำหรับวัดแรงบิดของเครื่องยนต์



รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์



รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดความดันของสารทำงานในเครื่องยนต์



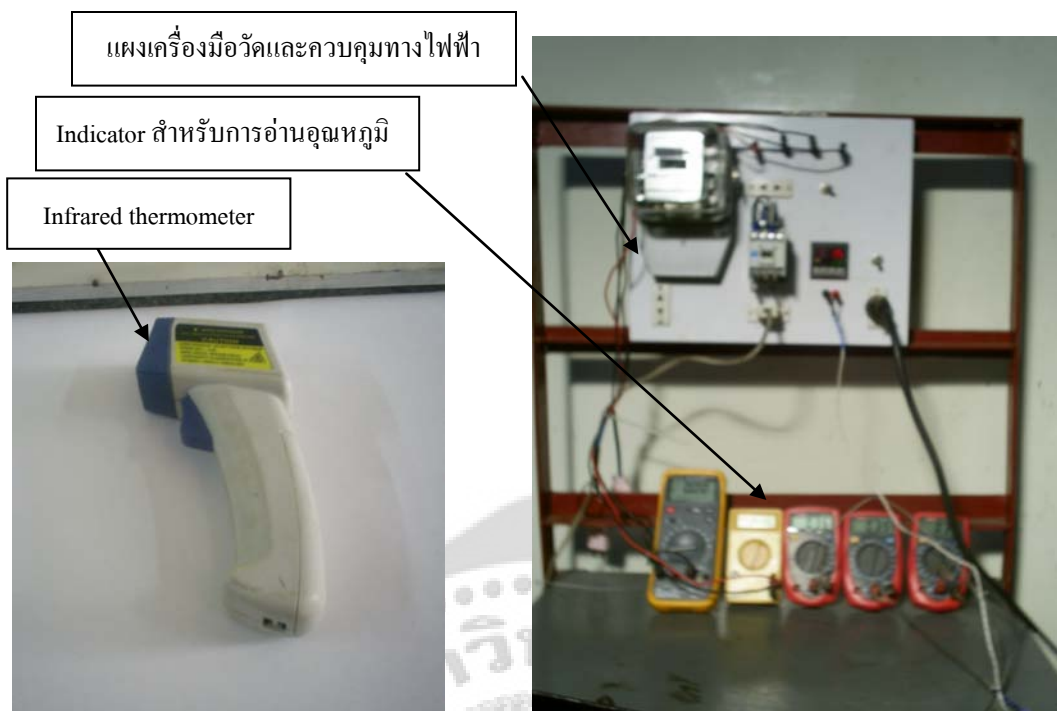
รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายแสดงระบบให้ความร้อนด้วยก๊าซปิโตรเลียมเหลวและเครื่องมือวัด



รูปที่ 3.7 ตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์และนาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 3.8 ระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องชนิด



รูปที่ 3.9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิของเครื่องยนต์และน้ำระบายความร้อน, แผงเครื่องมือวัดและควบคุมทางไฟฟ้า

3.2 การทดสอบเครื่องยนต์

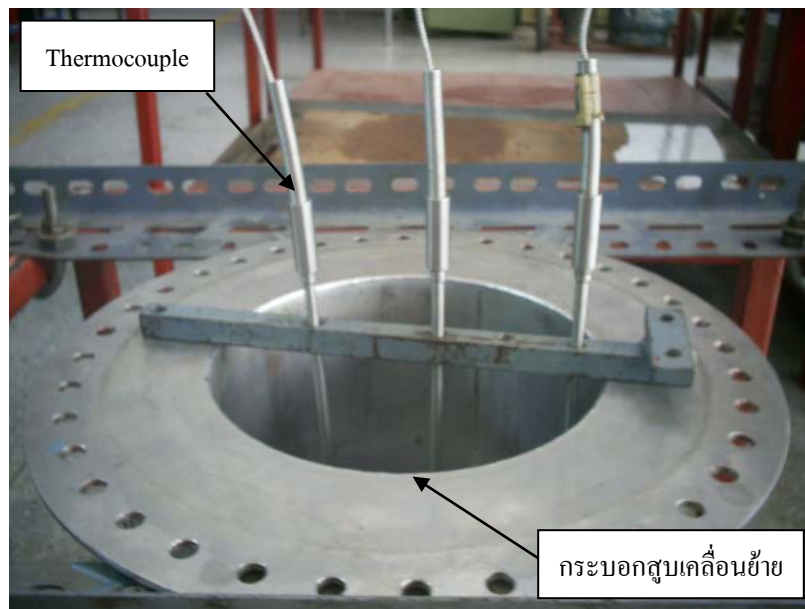
การทดสอบเครื่องยนต์แบ่งออกเป็น 2 การทดสอบคือ

1. การทดสอบหาความร้อนที่ป้อนให้แก่สารทำงาน เนื่องจากค่าความร้อนที่ป้อนให้แก่เครื่องยนต์ไม่สามารถวัดได้ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน จึงต้องทดสอบก่อนที่จะทดสอบสมรรถนะ เพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่ป้อนให้แก่เครื่องยนต์จริงในระหว่างการทดสอบสมรรถนะ และนำไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์

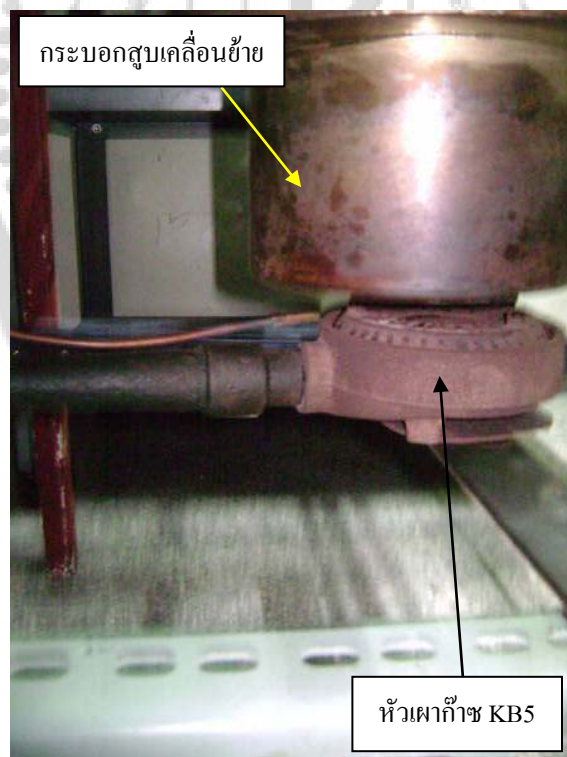
2. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ การทดสอบนี้จะทำหลังจากที่ทราบค่าความร้อนป้อนเข้าที่แท้จริงแล้ว การทดสอบสมรรถนะจะทำเฉพาะการหาค่ากำลังเพลลาและประสิทธิภาพความร้อนเพลลาเท่านั้น

3.2.1 การทดสอบหาความร้อนที่ป้อนให้แก่สารทำงาน

การทดสอบหาความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 3.10 และ 3.11)



รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายแสดงการทดสอบหาความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์



รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายแสดงการติดตั้งหัวเผาก๊าซ

1. ถอดกระบอกสูบเคลื่อนย้ายลูกที่ 1 ออกจากเครื่องยนต์
 2. นำกระบอกสูบเคลื่อนย้ายมาวางบนโครงทดสอบ (ดูรูปที่ 3.10) โดยยึดกระบอกสูบไม่ให้เคลื่อนที่ได้ โดยให้กระบอกสูบเคลื่อนย้ายอยู่ห่างจากหัวเผาก๊าซเท่ากับระยะที่จะใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ (ดูรูปที่ 3.11)
 3. นำเทอร์โมคัปเปิ้ลมาใส่ไว้ในกระบอกสูบเคลื่อนย้าย (ดูรูปที่ 3.10) โดยให้ปลายของเทอร์โมคัปเปิ้ลอยู่ที่กึ่งกลางของความลึกของช่องร้อน จัดให้เทอร์โมคัปเปิ้ลแต่ละตัวอยู่ห่างจากผนังของช่องร้อน เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่แท้จริงโดยการเฉลี่ย
 4. ต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับอินดิเคเตอร์ และเตรียมถังก๊าซที่จะใช้ในการทดสอบโดยมีตัวปรับก๊าซติดอยู่กับถังด้วย
 5. เตรียมน้ำสะอาดจำนวน 2.142 kg เพื่อใส่ลงในกระบอกสูบเคลื่อนย้าย
 6. วางถังก๊าซลงบนตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์ เปิดลิ้นจ่ายก๊าซที่ถัง ปรับความดันของก๊าซในสายจ่ายให้อยู่ที่ 1 bar (ดูรูปที่ 3.10)
 7. จุดไฟที่หัวเผาก๊าซ
 8. อุณหภูมิของกระบอกสูบเคลื่อนย้ายให้ได้ 50°C แล้วจึงใส่น้ำที่เตรียมไว้จากข้อ 5 ลงไปในกระบอกสูบเคลื่อนย้าย
 9. อ่านน้ำหนักก๊าซจากตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์ เริ่มต้นการจับเวลา จดบันทึกอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ
 10. จดบันทึกอุณหภูมิของน้ำทุก 1 นาที จนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 80°C จึงหยุดการทดสอบ
 11. จดบันทึกน้ำหนักสุดท้ายของก๊าซจากตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์ หยุดการจับเวลาและจดบันทึกเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ปิดลิ้นจ่ายก๊าซที่ถัง
 12. นำเทอร์โมคัปเปิ้ลออกจากกระบอกสูบเคลื่อนย้าย เทน้ำออกจากกระบอกสูบเคลื่อนย้าย รอให้กระบอกสูบเคลื่อนย้ายเย็น แล้วจึงทดสอบครั้งต่อไปที่ความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 0.8, 0.6, 0.4, และ 0.2 bar ตามลำดับ
 13. เมื่อทดสอบครบทุกความดันแล้ว ถ่าน้ำออก รอให้เย็นก่อนที่จะทำการทดสอบกระบอกสูบเคลื่อนย้ายลูกที่ 2
- เนื่องจากกระบอกสูบเคลื่อนย้ายทั้ง 2 ลูกมีขนาดเท่ากันและสร้างจากวัสดุชนิดเดียวกัน ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจึงไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหาความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์นี้ที่เป็นค่าเฉลี่ยของลูกสูบทั้ง 2 ลูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจากการทดสอบหาความร้อนเข้าสู่เครื่องยนต์

ลำดับที่	เวลา (นาที)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	หมายเหตุ
1	0	35.55	ความดันในสายจ่ายก๊าซ 1.0 bar
2	1	48.01	
3	2	58.58	
4	3	71.41	
5	4	84.25	
มวลเริ่มต้นของก๊าซ = 12,991.5 กรัม		เวลาเริ่มต้นเปิดก๊าซ = 0 วินาที	
มวลสุดท้ายของก๊าซ = 12,939.5 กรัม		เวลาที่ปิดก๊าซ = 307.31 วินาที	

ลำดับที่	เวลา (นาที)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	หมายเหตุ
1	0	33.00	ความดันในสายจ่ายก๊าซ 0.8 bar
2	1	41.98	
3	2	58.58	
4	3	71.04	
5	4	83.12	
มวลเริ่มต้นของก๊าซ = 12,917.5 กรัม		เวลาเริ่มต้นเปิดก๊าซ = 0 วินาที	
มวลสุดท้ายของก๊าซ = 12,870.5 กรัม		เวลาที่ปิดก๊าซ = 306.33 วินาที	

ลำดับที่	เวลา (นาที)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	หมายเหตุ
1	0	32.00	ความดันในสายจ่ายก๊าซ 0.6 bar
2	1	43.00	
3	2	52.16	
4	3	64.62	
5	4	75.95	
6	5	85.76	

มวลเริ่มต้นของก๊าซ = 12,824.5 กรัม	เวลาเริ่มต้นเปิดก๊าซ = 0 วินาที
มวลสุดท้ายของก๊าซ = 12,777.0 กรัม	เวลาที่ปิดก๊าซ = 366.21 วินาที

ลำดับที่	เวลา (นาที)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	หมายเหตุ
1	0	32.00	ความดันในสายจ่ายก๊าซ 0.4 bar
2	1	43.00	
3	2	52.54	
4	3	64.62	
5	4	75.57	
6	5	85.38	
มวลเริ่มต้นของก๊าซ = 12,778.5 กรัม	เวลาเริ่มต้นเปิดก๊าซ = 0 วินาที		
มวลสุดท้ายของก๊าซ = 12,739.0 กรัม	เวลาที่ปิดก๊าซ = 366.13 วินาที		

ลำดับที่	เวลา (นาที)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	หมายเหตุ
1	0	31.77	ความดันในสายจ่ายก๊าซ 0.2 bar
2	1	39.32	
3	2	59.33	
4	3	69.15	
5	4	78.59	
6	5	87.65	
มวลเริ่มต้นของก๊าซ = 12,745.5 กรัม	เวลาเริ่มต้นเปิดก๊าซ = 0 วินาที		
มวลสุดท้ายของก๊าซ = 12,713.3 กรัม	เวลาที่ปิดก๊าซ = 425.52 วินาที		

3.2.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

ผลจากการทดสอบหาความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่าได้ความร้อนป้อนเข้าสูงสุดที่ความดันในสายจ่ายก๊าซ 0.8 bar หลังจากทราบค่าของความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์แล้ว จึงทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้ (รูปที่ 3.12)

1. จัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดดังนี้ เซอร์โมคัปเปิ้ล, ตาชั่งสปริง, น้ำหนักถ่วง, เชือก, นาฬิกาจับเวลา, ชุดเครื่องวัดความเร็วรอบ, เครื่องอ่านอุณหภูมิ แล้วติดตั้งเข้ากับเครื่องยนต์ ต่อ น้ำระบายความร้อนเข้าให้หมุนเวียนเข้าไปในช่องน้ำระบายความร้อนของเครื่องยนต์



รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายแสดงการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

2. ติดตั้งหัวเผาก๊าซ วางถังก๊าซลงบนตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์ เปิดลิ้นจ่ายก๊าซที่ถัง ปรับความดันของก๊าซในสายจ่ายให้อยู่ที่ 0.8 bar แล้วจุดไฟที่หัวเผาก๊าซ แล้วปรับอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนให้คงที่

3. จดบันทึกค่าของอุณหภูมิเริ่มต้นทั้งหมด เริ่มต้นการจับเวลา จากนั้นจึงจดบันทึกค่าอุณหภูมิของสารทำงานในช่องร้อน (T_H) และช่องเย็น (T_C) ทุก 1 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิของสารทำงานในช่องร้อนสูงประมาณ 400°C

4. เมื่ออุณหภูมิของสารทำงานในช่องร้อนสูงประมาณ 400°C แล้วจึงสตาร์ทเครื่องยนต์ โดยยังคงจับบันทึกค่าของอุณหภูมิอย่างต่อเนื่องและเพิ่มการจับบันทึกค่าของความเร็รรอบ (N) ทุก 1 นาที พร้อมกันด้วย

5. เมื่อสังเกตเห็นว่าค่าของอุณหภูมิและความเร็รรอบเริ่มจะคงที่ ก็แสดงว่าการทำงานของเครื่องยนต์เริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว นำตาชั่งสปริงมาแขวน แล้วนำเชือกมาคล้องกับล้อตุ่นกำลัง

6. เริ่มแขวนน้ำหนักถ่วง (W) ที่ละ 1 N แล้วจับบันทึกค่าแรงดึงจากตาชั่งสปริง (S) และค่าความเร็รรอบทุกครั้งที่ถ่วงน้ำหนัก จนกระทั่งเครื่องยนต์หยุด

7. ปิดลิ้นจ่ายก๊าซที่ถัง

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นี้อยู่ในตารางที่ 3.3 (อยู่ในหน้าที่ 35)



ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

ลำดับที่	เวลา (min)	T _c (°C)	T _H (°C)	N (rpm)	W (N)	S (N)	หมายเหตุ
1	0	45	45				Heat-up
2	1	47	81				
3	2	48	156				
4	3	50	230				
5	4	53	288				
6	5	55	348				
7	6	58	381				
8	7	60	406	0			Start-up
9	8	81	387	197.7			
10	9	90	385	190.3			
11	10	96	388	186.2			
12	11	100	391	185.0			
13	12	102	395	186.0			
14	13	102	398	186.0			
15	14	103	398	186.2			
16	15	104	398	186.0	0	0	Loading
17		104	398	177.0	1	3.8	
18		104	398	153.0	2	8.1	
19		104	398	127.0	3	12.4	
20		104	398	110.0	4	14.5	
21		104	398	81.2	5	16.8	
22		104	398	66.0	6	17.9	
23		104	398	41.0	7	18.6	

บทที่ 4

ผลลัพธ์และการอภิปรายผล

4.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบหาความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์

ข้อมูลจากการทดสอบหาความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ในชั้นแรกจะถูกลำมาเขียนเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ดูดซับความร้อนจากหัวเผาก๊าซกับเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิ การทดสอบนี้ทำ 5 ครั้งโดยค่าความดันในท่อจ่ายก๊าซเป็น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1 bar โดยได้กราฟดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1-4.5

สิ่งที่ต้องการจากกราฟนี้คืออัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งแสดงด้วยความชันของเส้นกราฟนั่นเอง นำอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไปคำนวณหาความร้อนที่น้ำดูดซับไว้ได้จากสมการ

$$q_{in} = m_w c_{p,w} \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (4.1)$$

เมื่อ m_w = มวลของน้ำที่ใช้ในการดูดซับความร้อน (2.142 kg)

$c_{p,w}$ = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (4187 J/kg K)

$\frac{\Delta T}{\Delta t}$ = อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C/s}$)

ปริมาณความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะคำนวณได้จาก

$$q_f = m_f LHV_{LPG} \quad (4.2)$$

เมื่อ m_f = อัตราการไหลของก๊าซ, (kg/s)

LHV_{LPG} = ค่าความร้อนค่าต่ำของก๊าซปิโตรเลียมเหลว (46 MJ/kg)

ประสิทธิภาพของแหล่งให้ความร้อน ซึ่งในการทดลองนี้เป็นหัวเผาก๊าซ จะหาได้จาก

$$E_H = \frac{q_{in}}{q_f} \quad (4.3)$$

ผลลัพธ์จากการทดสอบหาค่าของความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์เมื่อค่าความดันในท่อจ่ายก๊าซเป็น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1 bar ถูกนำมาสรุปไว้ในตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์จากตารางที่ 4.1 ถูกนำไปแสดงเป็นกราฟตามรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

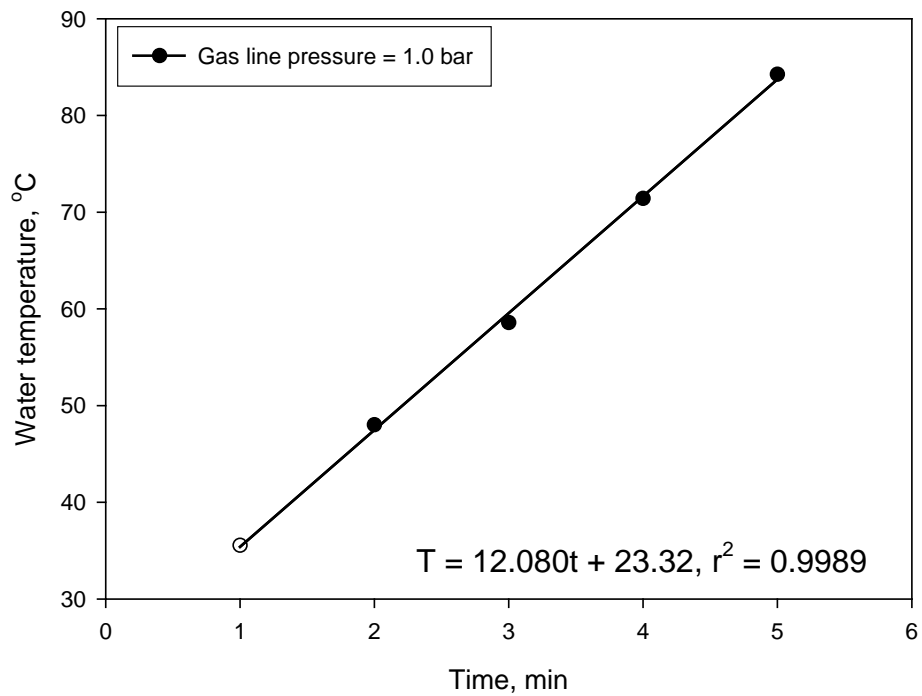
รูปที่ 4.6 เป็นกราฟที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะขั้นต้นของหัวเผาก๊าซ ซึ่งมีเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในสายจ่ายก๊าซกับอัตราการไหลของก๊าซ ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราการไหลของก๊าซจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความดันในสายจ่ายก๊าซสูงเพิ่มมากขึ้น เส้นกราฟเส้นที่สองในรูปนี้แสดงถึงความร้อนที่ได้จากหัวเผาก๊าซ ซึ่งมีคุณลักษณะเช่นเดียวกันกับอัตราการไหลของก๊าซ นั่นคือ เมื่อเพิ่มความดันในสายจ่ายก๊าซก็จะได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการไหลของก๊าซ

รูปที่ 4.7 เป็นผลที่จะได้ภายในกระบอกสูบเคลื่อนย้าย เส้นกราฟที่สำคัญในรูปนี้คือเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในสายจ่ายก๊าซกับอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำ จะเห็นได้ว่า เมื่อความดันในสายจ่ายก๊าซเพิ่มมากขึ้นอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลให้ความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้นตามความดันในสายจ่ายก๊าซ จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ (นำมาไว้ในรูปนี้ด้วยเพื่อการเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจน) ความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์จะมีค่าน้อยกว่ามาก แสดงว่าหัวเผาแก๊สนี้มีประสิทธิภาพต่ำ โดยจะพิจารณาได้จากเส้นกราฟของประสิทธิภาพของแหล่งให้ความร้อนที่ได้แสดงไว้ในรูปนี้ด้วย

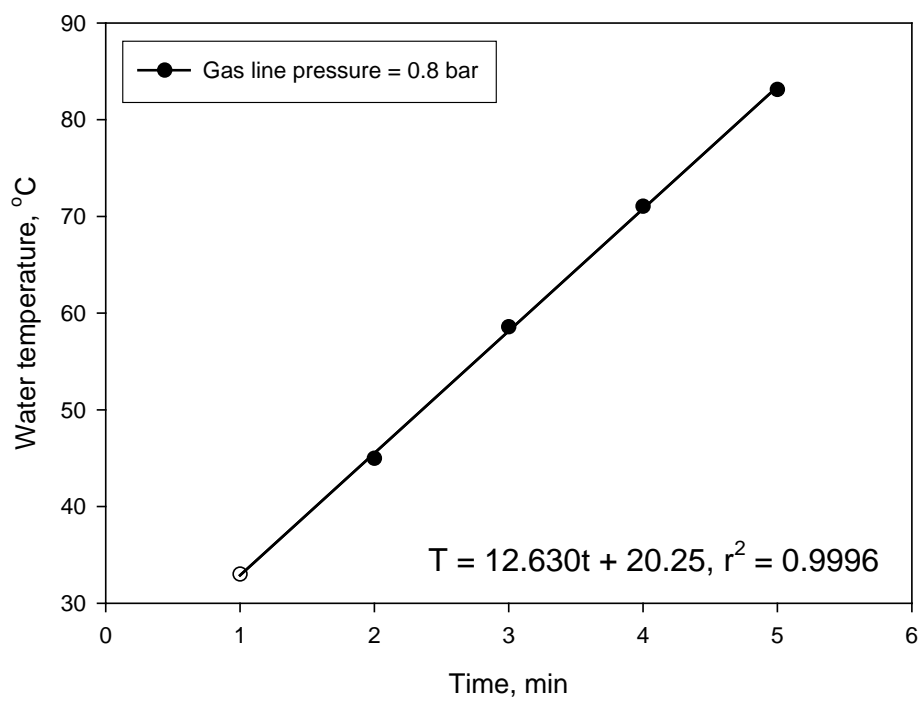
เนื่องจากค่าความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์จะมีค่าสูงสุด 1888 J/s ที่ค่าความดันก๊าซในสายจ่าย 0.8 bar ดังนั้นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์จึงใช้ค่าความร้อนป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์สูงสุดเป็น $2 \times 1888 = 3776$ J/s หรือที่ค่าความดันในท่อจ่ายก๊าซเป็น 0.8 bar โดยหัวเผาแก๊สมีประสิทธิภาพประมาณ 26.76%

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์จากการทดสอบหาความร้อนป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์

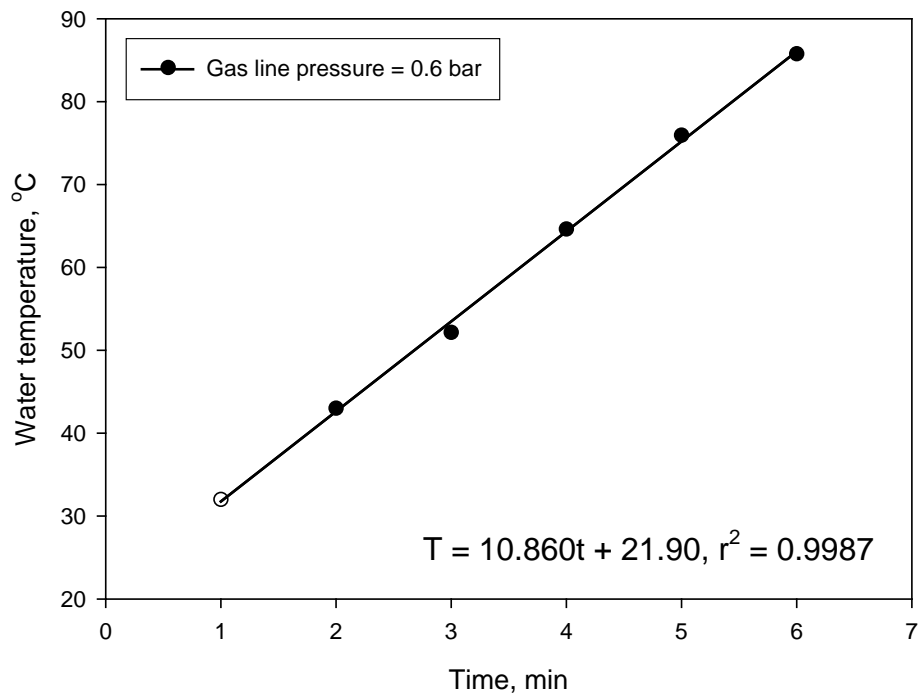
p (bar)	m_f (g/s)	$\Delta T/\Delta t$ ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	q_f (J/s)	q_{in} (J/s)	E_H (%)
1.0	0.1692	12.080	7783	1806	23.20
0.8	0.1534	12.630	7056	1888	26.76
0.6	0.1297	10.860	5966	1623	27.20
0.4	0.1079	10.763	4963	1609	32.42
0.2	0.07567	9.4932	3481	1419	40.76



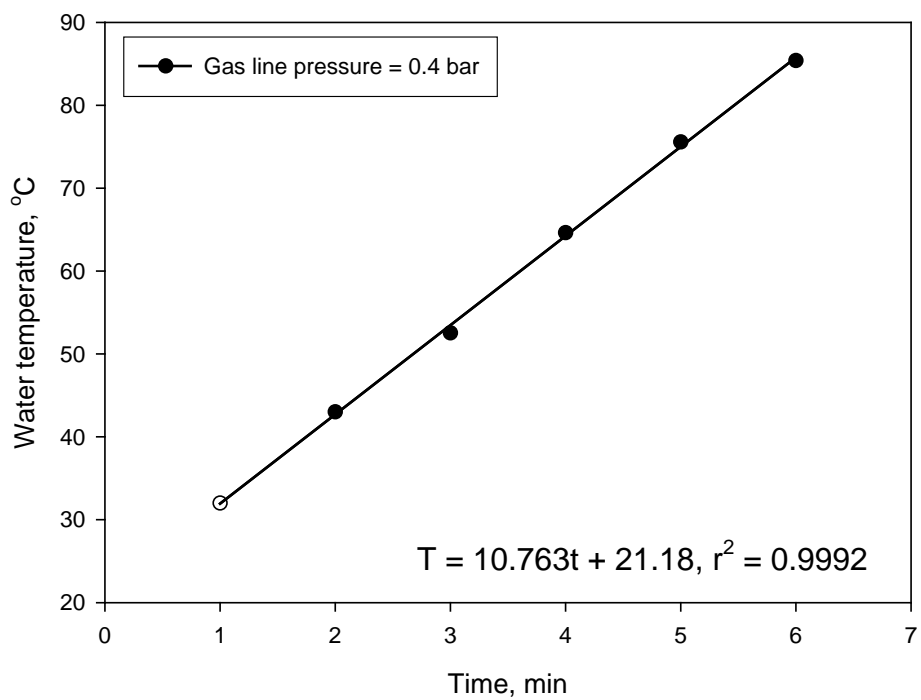
รูปที่ 4.1 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อค่าความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 1 bar



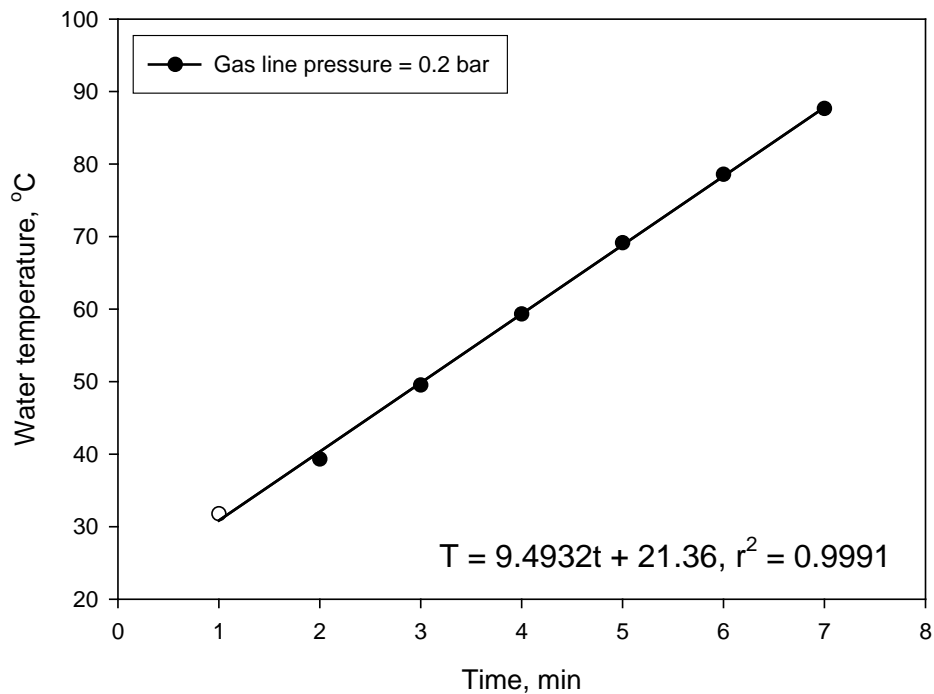
รูปที่ 4.2 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อค่าความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 0.8 bar



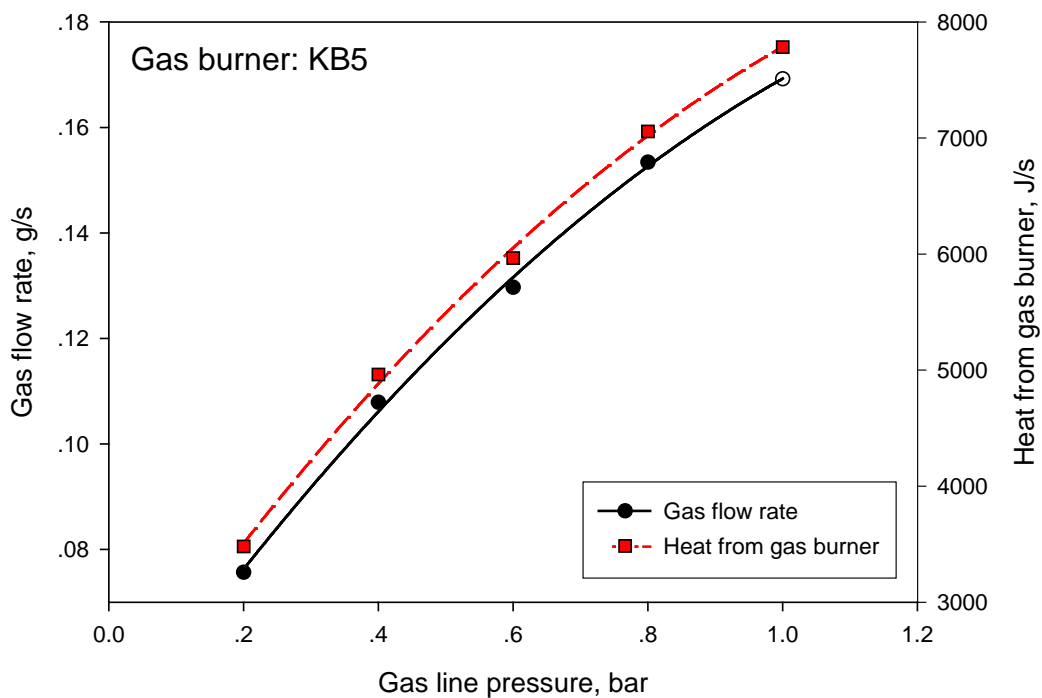
รูปที่ 4.3 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อค่าความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 0.6 bar



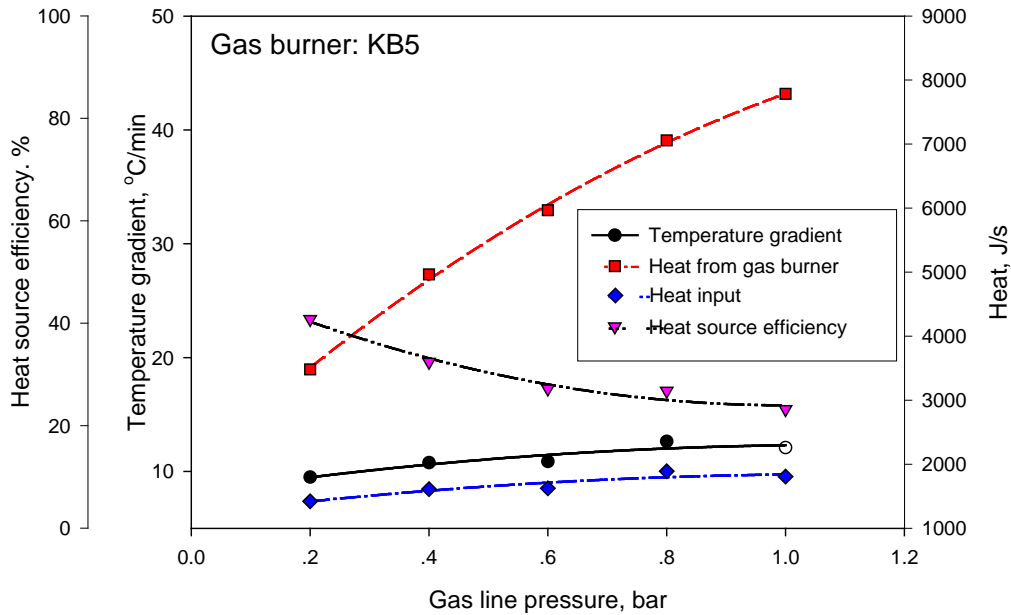
รูปที่ 4.4 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อค่าความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 0.4 bar



รูปที่ 4.5 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมื่อค่าความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 0.2 bar



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดันในสายจ่ายก๊าซ



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์กับความดันในสายจ่ายก๊าซ

4.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบสมรรถนะ

ผลลัพธ์จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8 กับรูปที่ 4.9

ผลลัพธ์จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อให้ภาระกับเครื่องยนต์ต้องการคำนวณดังนี้

แรงบิดของเครื่องยนต์จะคำนวณได้จากสมการ

$$M_t = (S - W)R \quad (4.4)$$

เมื่อ S = แรงดึงที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง (N)

W = น้ำหนักถ่วง (N)

R = รัศมีของเบรกดรัม (= 0.15 m)

กำลังเพลลาของเครื่องยนต์จะคำนวณได้จากสมการ

$$P = 2\pi M_t n \quad (4.5)$$

เมื่อ n = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rps)

ประสิทธิภาพความร้อนเพลลาของเครื่องยนต์จะคำนวณได้จากสมการ

$$E_{BT} = \frac{P}{Q_{in}} \quad (4.6)$$

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

ลำดับ ที่	เวลา (min)	T _C (°C)	T _H (°C)	N (rpm)	W (N)	S (N)	T (Nm)	P (W)	E _{BT} (%)	หมายเหตุ
1	0	45	45							Heatup
2	1	47	81							
3	2	48	156							
4	3	50	230							
5	4	53	288							
6	5	55	348							
7	6	58	381							
8	7	60	406	0						Startup
9	8	81	387	197.7						
10	9	90	385	190.3						
11	10	96	388	186.2						
12	11	100	391	185.0						
13	12	102	395	186.0						
14	13	102	398	186.0						
15	14	103	398	186.2						
16	15	104	398	186.0	0	0	0	0	0	Loading
17				177.0	1	3.8	0.420	7.78	0.2060	
18				153.0	2	8.1	0.915	14.66	0.3882	
19				127.0	3	12.4	1.410	18.75	0.4966	
20				110.0	4	14.5	1.575	18.14	0.4804	
21				81.2	5	16.8	1.770	15.05	0.3986	
22				66.0	6	17.9	1.785	12.34	0.3268	
23		104	398	41.0	7	18.6	1.740	7.47	0.1978	

รูปที่ 4.8 แสดงกราฟในช่วงก่อนการให้ภาระแก่เครื่องยนต์ เป็นเส้นกราฟในการเพิ่มอุณหภูมิ (Heat-up curve) และเส้นกราฟในการเพิ่มความเร็วรอบ (Start-up curve) จากรูปนี้จะเห็นได้ว่าในระหว่างการเริ่มให้ความร้อน ช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในอัตราสูงจากนั้นก็เข้าสู่สถานะคงตัว คือ อุณหภูมิค่อนข้างจะคงที่ และเส้นกราฟในการเพิ่มความเร็วรอบก็มีคุณลักษณะในทำนองเดียวกัน

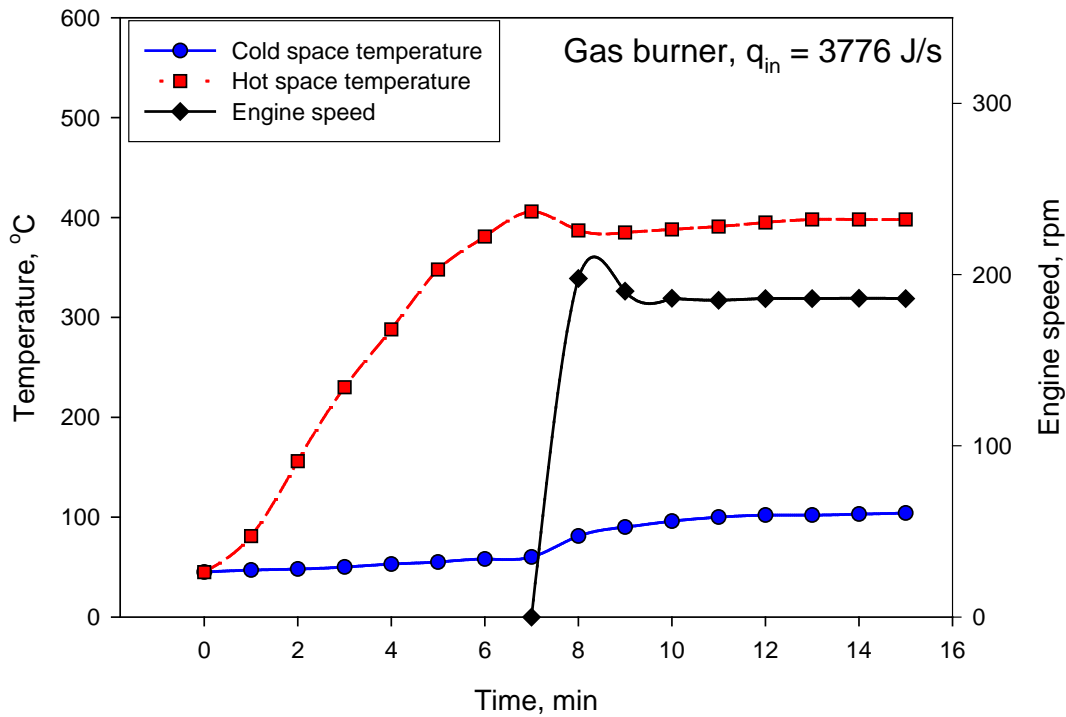
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าแรงบิดของเครื่องยนต์นั้นแปรผกผันแทบจะเป็นเส้นตรงกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ส่วนกำลังเพลลาของเครื่องยนต์นั้นจะเพิ่มมากขึ้นในช่วงแรกที่ความเร็วรอบต่ำจนมีค่าสูงสุดจากนั้นก็ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความเร็วรอบเพิ่มมากขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ความฝืดนั้นจะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเร็วสูงมากขึ้น และที่ความเร็วตัวเปล่า (ซึ่งเป็นค่าความเร็วสูงสุด) นั้นกำลังของเครื่องยนต์เท่ากับกำลังที่สูญเสียไปกับความฝืดพอดี

เนื่องจากประสิทธิภาพความร้อนเพราะคำนวณได้จากกำลังเพลลาหารด้วยความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ซึ่งมีค่าคงที่ ดังนั้นเส้นกราฟของประสิทธิภาพความร้อนจึงมีคุณลักษณะเช่นเดียวกับเส้นกราฟของกำลังเพลลา

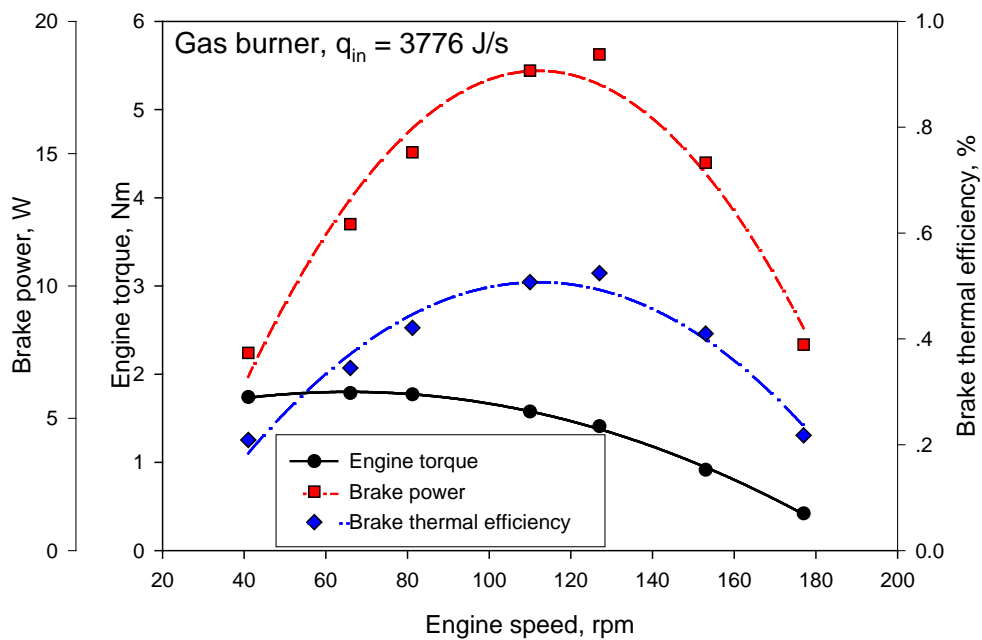
รูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อใช้หัวเผาก๊าซปิโตรเลียมเหลวโดยมีความดันในสายจ่ายก๊าซเป็น 0.8 bar ซึ่งจะมีความร้อนป้อนเข้าสู่สารทำงาน 3776 J/s เครื่องยนต์สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลโดยเครื่องยนต์ผลิตแรงบิดสูงสุดประมาณ 1.74 Nm ที่ 41 rpm, ผลิตกำลังสูงสุดประมาณ 18.75 W ที่ 127 rpm, และมีประสิทธิภาพความร้อนเพลลาสูงสุดประมาณ 0.5% ที่ 127 rpm เช่นกัน โดยอุณหภูมิของสารทำงานในช่องร้อนกับช่องเย็นเป็น 398°C และ 104°C โดยประมาณตามลำดับ ผลลัพธ์จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้นำมาสรุปไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สรุปผลลัพธ์จากการทดสอบเครื่องยนต์

เชื้อเพลิง	q_{in} (J/s)	E_H (%)	T_H (°C)	T_C (°C)	T (Nm@rpm)	P_B (W@rpm)	E_{BT} (%@rpm)
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	3776	26.76	398	104	1.740@41	18.75@127	0.5@127



รูปที่ 4.8 อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความเร็วรอบที่ความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 3776 J/s



รูปที่ 4.9 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 3776 J/s

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบแกมมาที่ใช้ลูกสูบกำลังคู่ทำงานสองด้านในขนาดระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 1 เครื่องได้สำเร็จ และได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาในเชิงการทดลอง โดยหัวเผาก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นแหล่งให้ความร้อนในการทดสอบเครื่องยนต์

ผลการทดสอบเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่สร้างขึ้นมานี้สามารถผลิตแรงบิดสูงสุดได้ประมาณ 1.74 Nm ที่ 41 rpm, ผลิตกำลังเพลาสูงสุดได้ประมาณ 18.75 W ที่ 127 rpm, และมีประสิทธิภาพความร้อนเพลาประมาณ 0.5% ที่ 127 rpm โดยใช้พลังงานความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 3776 J/s ทำให้อุณหภูมิของสารทำงานในช่องร้อนโดยเฉลี่ยเป็น 398°C และอุณหภูมิของสารทำงานในช่องเย็นโดยเฉลี่ยเป็น 104°C โดยประมาณ

ประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ซึ่งความถี่จะส่งผลกระทบต่อในอัตราที่สูงกว่าเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ และความหนาของผนังกระบอกสูบจะกลายเป็นหนามากเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ ทำให้เกิดความต้านทานการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ขนาดใหญ่กว่าอีกด้วย

แม้ว่าตัวเลขของสมรรถนะที่ได้รับของเครื่องยนต์นี้จะต่ำ แต่เมื่อคิดว่างานวิจัยนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายนอกที่จะสามารถใช้พลังงานทดแทนได้ในอนาคต งานวิจัยนี้ก็จะมีความสำคัญตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปัญหาใหญ่ที่ประสบในระหว่างที่ดำเนินการวิจัยก็คือ ความเที่ยงตรงในการสร้างชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และความได้ศูนย์ของเครื่องยนต์ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเกี่ยวกับความถี่และการสูญเสียความร้อน งานวิจัยขั้นต่อไปจึงควรสร้างเครื่องยนต์ในขนาดที่ใหญ่ขึ้น และทดสอบเครื่องยนต์โดยการเพิ่มความดันให้กับสารทำงาน (Pressurization)

เครื่องยนต์ที่ใหญ่ขึ้นในขนาดที่ปริมาตรตายที่เพิ่มมากขึ้นในการติดตั้งเครื่องมือวัดความดันไม่ส่งผลกระทบต่อมากนัก จะทำให้สามารถวัดกำลังหัวสูบได้ ผลที่ตามมาคือจะสามารถหาความสูญเสียเชิงกลได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตาม การศึกษาสมรรถนะอย่างสมบูรณ์จำเป็นที่จะต้องทำการสมมูลความร้อนของ เครื่องยนต์ เพื่อที่จะได้ทราบว่ามีความสูญเสียต่างๆ เท่าใด เพื่อที่จะปรับปรุงสมรรถนะโดยลดความ สูญเสียนั้นๆ ได้ตรงจุด



เอกสารอ้างอิง

- [1] Stine W.B., Stirling Engines. In: Kreith F editor. *The CRC Handbook of Mechanical Engineers*, Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 8-67 – 8-76.
- [2] Van Arsdell BH. Stirling Engines. In: Zumerchik J editor. *Macmillan Encyclopedia of Energy*, vol. 3. Macmillan Reference USA, pp. 1090-1095, 2001.
- [3] Senft J.R., *Ringbom Stirling engines*, New York: Oxford University Press, 1993
- [4] Walpita S.H., *Development of the solar receiver for a small Stirling engine*, Special Study Project Report no. ET-83-1, Bangkok: Asian Institute of Technology, 1983.
- [5] Rizzo, J.G. (1997). *The Stirling engine manual*. Somerset:Camden miniature steam services, pp. 1, 6, 13, 42, 43, 153, 155, 160.
- [6] Walker G. *Stirling Engines*, Oxford: Clarendon Press, 1980
- [7] West C.D., A historical perspective on Stirling engine performance, *Proceedings of the 23rd Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, Paper 889004, American Society of Mechanical Engineers, Denver, 1988.
- [8] Trayser D.A, Eibling J.A., A 50-Watts portable generator employing a solar-powered Stirling engine, *Solar Energy*, Vol. 11, pp. 153-159, 1967.
- [9] Gupta R.K, Deshpande A.M, Brave K.M., Development of 1 kW solar powered reciprocating engine for rural applications, *International Solar Energy Congress*, New Delhi, 1978. p. 2016-2020.
- [10] Spencer L.C., A comprehensive review of small solar-powered heat engines: Part II. Research since 1950- “Conventional” engines up to 100 kW, *Solar Energy*, Vol. 43, pp. 197-210, 1989.
- [11] Dixit DK, Ghodke SV. Renewable energy powered Stirling engines- A Viable Energy Alternative. In: Sayigh AAM editor. *Renewable Energy Technology and the environment, Proceeding of the 2nd World Renewable Energy Congress*, Vol. 2, pp. 934-938, 1992.
- [12] Pearce JM, Al Zahawi BA, Auckland DW, Starr F. Electricity generation in the home: evaluation of single-house domestic combined heat and power. *IEE Proceedings: Science, Measurement and Technology*, Vol. 143, pp. 345-350, 1996.

- [13] Prodesser E. Electricity production in rural villages with biomass Stirling engine. *Renewable Energy*, Vol. 16, pp. 1049-1052, 1999.
- [14] ดนัย อร่ามธรรมาพร การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาความร้อนจากโปรคิวเซอร์แก๊สมาเดินเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้ไอน้ำเป็นสารทำงาน, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอุณหภาพ, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ.2539.
- [15] สมยศ แยมศรี และ เอกพงษ์ ฐานะกาญจน์ ชุดสาธิตเครื่องยนต์สเตอร์ลิง, โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ พ.ศ 2539.
- [16] จักรวาท ลีกระจ่าง, วิรุพห์ โคมแก้ว และ อภิชาติ รุ่งเรือง การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบดับเบิลแอกติง, โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ พ.ศ 2543.
- [17] บัญชา คังตระกูล การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบขนานทำงานสองด้าน, การประชุมเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยประจำปี พ.ศ. 2544, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ หน้า 1-10 พ.ศ. 2544.
- [18] บัญชา คังตระกูล และ ไพศาล นามผล การศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบขนานทำงานสองด้าน, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, หน้า TF-99 – TF-103 พ.ศ. 2544.
- [19] เฉลิมศักดิ์ ชื้อสัตย์, ธนภูมิ จันทเขต และ วัชร ใยผุย การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิเต้า, โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ พ.ศ. 2543.
- [20] บัญชา คังตระกูล และ ไพศาล นามผล สมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบความแตกต่างของอุณหภูมิเต้า, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, หน้า TF-87 – TF-90 พ.ศ. 2544.
- [21] ทวีทรัพย์ เกิดศรีเสริม และ ปิยะศ สุวรรณโชติ การศึกษาการทำงานของเครื่องฟลูอิดไดน์-เอนจินปั๊ม, โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ พ.ศ 2543.
- [22] บัญชา คังตระกูล การศึกษาเชิงการทดลองการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงลูกสูบของเหลว, การประชุมเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยประจำปี พ.ศ. 2544, มหาวิทยาลัยบูรพา พ.ศ. 2544.

- [23] บัญชา คังตระกูล และ ไพศาล นาผล การศึกษาเชิงการทดลองเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำฟลูอิดไดน์, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, หน้า TF-91 – TF-94พ.ศ. 2544.
- [24] สมยศ ชาวนา และ อภิลักษณ์ โพธิ์รัตน์ การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิทำงานสองด้าน, โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ พ.ศ. 2544.
- [25] การุณย พิงสุวรรณรักษ์ เครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ กรณีศึกษาการต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวมและกระบอกสูบแยก, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, หน้า 602-607 พ.ศ. 2545.
- [26] Kongtragool B. (2002) Preliminary design of solar concentrator for a low temperature differential Stirling engine, *Journal of Thonburi College of Technology*, Vol. 1, No. 2, pp. 41-48.
- [27] Kongtragool, B. and Wongwises, S. A review of solar-powered Stirling engines and low temperature differential Stirling engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 7, pp. 131-154, 2003.
- [28] Kongtragool, B, Wongwises S. (2003) Theoretical investigation on Beale number for low temperature differential Stirling engines, *Proceedings of The 2nd International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics*, Paper no. KB2, Victoria Falls, Zambia.
- [29] Kongtragool B, Naphon P. (2003) A review of Stirling engines for rural and remote area of Thailand, *Journal of Thonburi College of Technology*, Vol. 2, No. 2, pp. 34-41.
- [30] Kongtragool B, Naphon P. (2004) Numerical analysis of a alpha-configuration Stirling engines, *Journal of Thonburi College of Technology*, Vol. 3, No. 1, pp. 83-90.
- [31] ไพบุณย์ ศรีภคการ การออกแบบเชิงวิเคราะห์สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17 พ.ศ. 2546.
- [32] Kongtragool B, Naphon P. (2004) Numerical analysis of a beta-configuration Stirling engines, *Journal of Thonburi College of Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 65-74.
- [33] Kongtragool B, Naphon P. (2004) Numerical analysis of a gamma-configuration Stirling engines, *Journal of Thonburi College of Technology*, Vol. 3, No. 2, pp. 82-91.

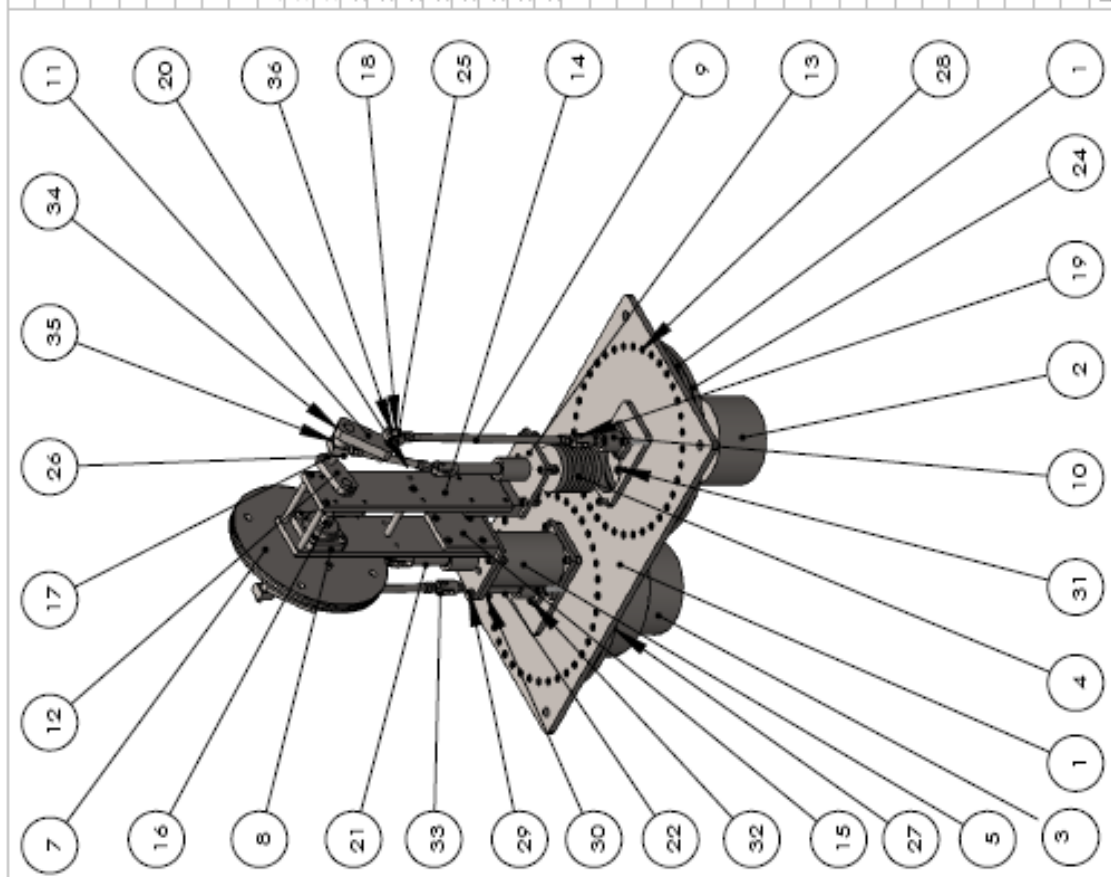
- [34] Jangsawang W, Bongtragool B, Yongyingsakthavorn P. (2004) Theoretical Investigation on Regenerative-Cycle Heat Engines, *Journal of Technology Thonburi*, Vol. 3, No. 2, pp. 33-38.
- [35] ชัยวัฒน์ อิ่มเข้ม, ประมวล หงสนันท์, อัสวิน ลิมาลัย การออกแบบ สร้าง และทดสอบ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาขนาดความจุกระบอกสูบกำลัง 885.2 ลบ. ซม. ปรินูญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีธนบุรี 2547.
- [36] รัตพล ศรีจันทร์โถม, สมพงษ์ รอชัยกุล, นคร ชัดเป็ง, อภินันต์ ใจเฟื้อย การออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาขนาด 650 ลบ. ซม. ปรินูญานิพนธ์ สาขา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีธนบุรี 2547.
- [37] Kongtragool B, Wongwises S (2005) Investigation on power output of the gamma-configuration low temperature differential Stirling engines, *Renewable Energy*, Vol. 30, pp. 465-476.
- [38] Kongtragool B, Naphon P (2005) Investigation on principle of operation of the kinematic Stirling engines, *Journal of Technology Thonburi*, Vol. 4, pp. 19-25.
- [39] Kongtragool B, Naphon P (2005) Thermodynamic analysis of an imperfect regeneration Stirling engine with zero dead volume, *Journal of Technology Thonburi*, Vol. 4, pp. 75-83.
- [40] Kongtragool, B., Wongwises, S. (2005) Optimum Absorber Temperature of a Once-Reflecting Full Conical Concentrator of a Low Temperature Differential Stirling Engine, *Renewable Energy*, Vol. 30, pp. 1671-1687.
- [41] Kerdchang P, Maung Maung Win, Teekasap S, Hirunlabh J, Khedari J, Zeghmami B (2005) Development of a new solar thermal engine system for circulating water for aeration, *Solar Energy*, Vol. 78 (4), pp. 518-527.
- [42] บัญชา คังตระกูล (2548) การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้วยวิธีเชิงตัวเลข, *วารสารวิชาการวิศวกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, หน้า 12-21.
- [43] บัญชา คังตระกูล (2548) การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้วยเทคนิคของซิมดัท, *วารสารวิชาการวิศวกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, หน้า 22-33.
- [44] คำธณ มาหะมะ และ ปรีชา ศรีไสถ การปรับปรุงเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาดับเบิลแอกติง ขนาด 600 ลบ. ซม. ปรินูญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2548.

- [45] เกียรติยศ ผูกเกษร และ คเชนทร์ ธรรมสิทธิ์ การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา-ซิงเกิลแอกติงขนาด 2145 ลบ.ซม. ปรึญญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2548.
- [46] คมศักดิ์ น้อยบุตร และ อานนท์ ทวีศักดิ์ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบของเหลว. ปรึญญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2548.
- [47] สมพร ดันติวงศ์ไพศาล เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเหลว, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19, พ.ศ. 2548.
- [48] โสภณิศ พิฑูรมานิต, วัลยา วงษาหาร และเรืองฤทธิ์ จิตรโท การนำหลักการพื้นฐานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาใช้เพื่อเป็นทางเลือกในการทดแทนพลังงาน, โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2548.
- [49] Kongtragool B, Wongwises S (2006) Thermodynamic analysis of a Stirling engine including dead volumes of hot space, cold space and regenerator, *Renewable Energy*, Vol. 31, pp. 345-359.
- [50] บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย, เเพชญ์ จันท์สา และ จ่านง สรพิพัฒน์ ศักยภาพของเครื่องยนต์ STIRLING ผลิตไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ในประเทศไทย, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2, พ.ศ. 2549.
- [51] Kongtragool B, Wongwises S (2007) Performance of low-temperature differential Stirling engines, *Renewable Energy*, 32, pp. 547-566.
- [52] Kongtragool B, Wongwises S (2007) Performance of a twin power piston low temperature differential Stirling engine powered by solar simulator, *Solar Energy*, 81, 884-895.
- [53] ธวัชชัย ประชุม, ผาบุญ ไพศาลธนากร และ สิทธิชัย ช่วงบุญศรี การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา. ปรึญญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2550.
- [54] กวิน ศรีสุวรรณ, ทวีศักดิ์ จันท์นาคา และ อนุชน ชัยเมธารัตน์ การสร้างและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาดับเบิลแอกติงขนาด 1271 ลบ.ซม. ปรึญญานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2550.

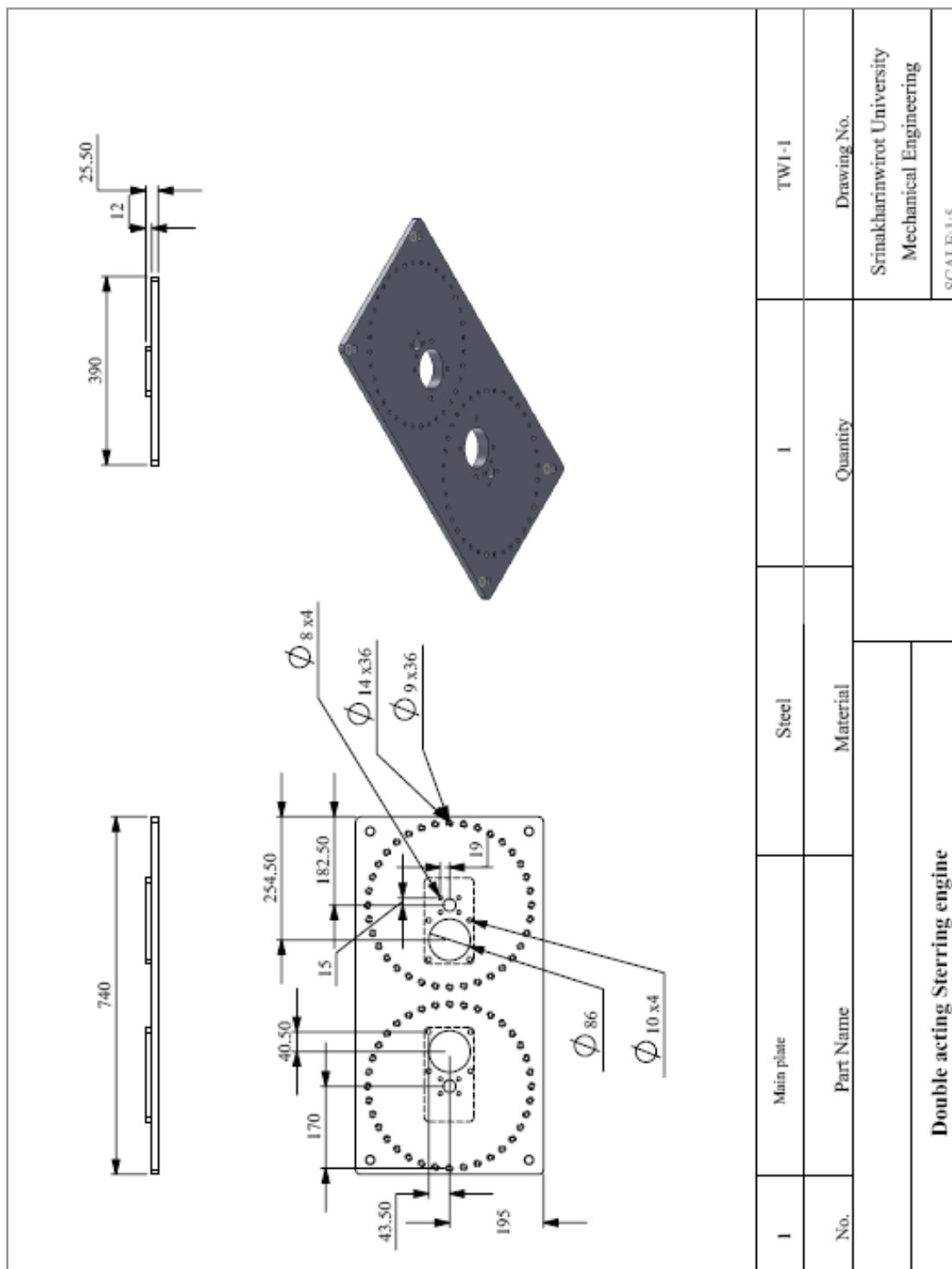
- [55] Kongtragool B, Wongwises S (2008) A four power-piston low temperature differential Stirling engine using simulated solar energy as a heat source, *Solar Energy*, 81, 884-895 doi: 10.1016/j.solener. 2007.12.005.
- [56] Kongtragool B, (2008), Generalized classical thermodynamic analysis of a Stirling engine, *SWU Engineenig Journal*, Inpress.
- [57] Kongtragool B, (2008), Generalized mathematical model for Displacer frequency and tuning column length of a Fluidyne engine, *SWU Engineenig Journal*, Inpress.
- [58] บัญชา คิ่งตระกูล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4, พ.ศ. 2551





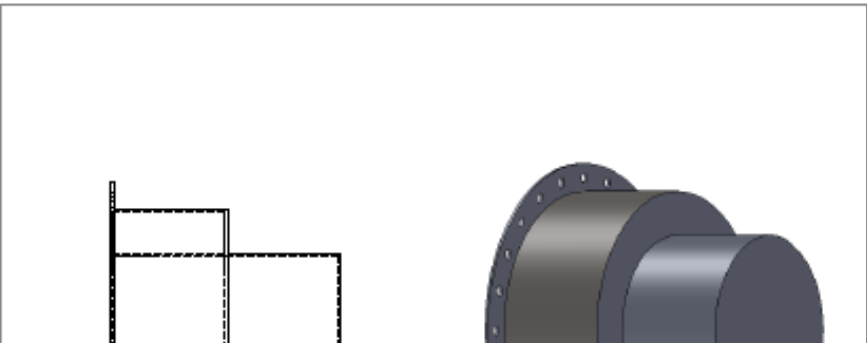


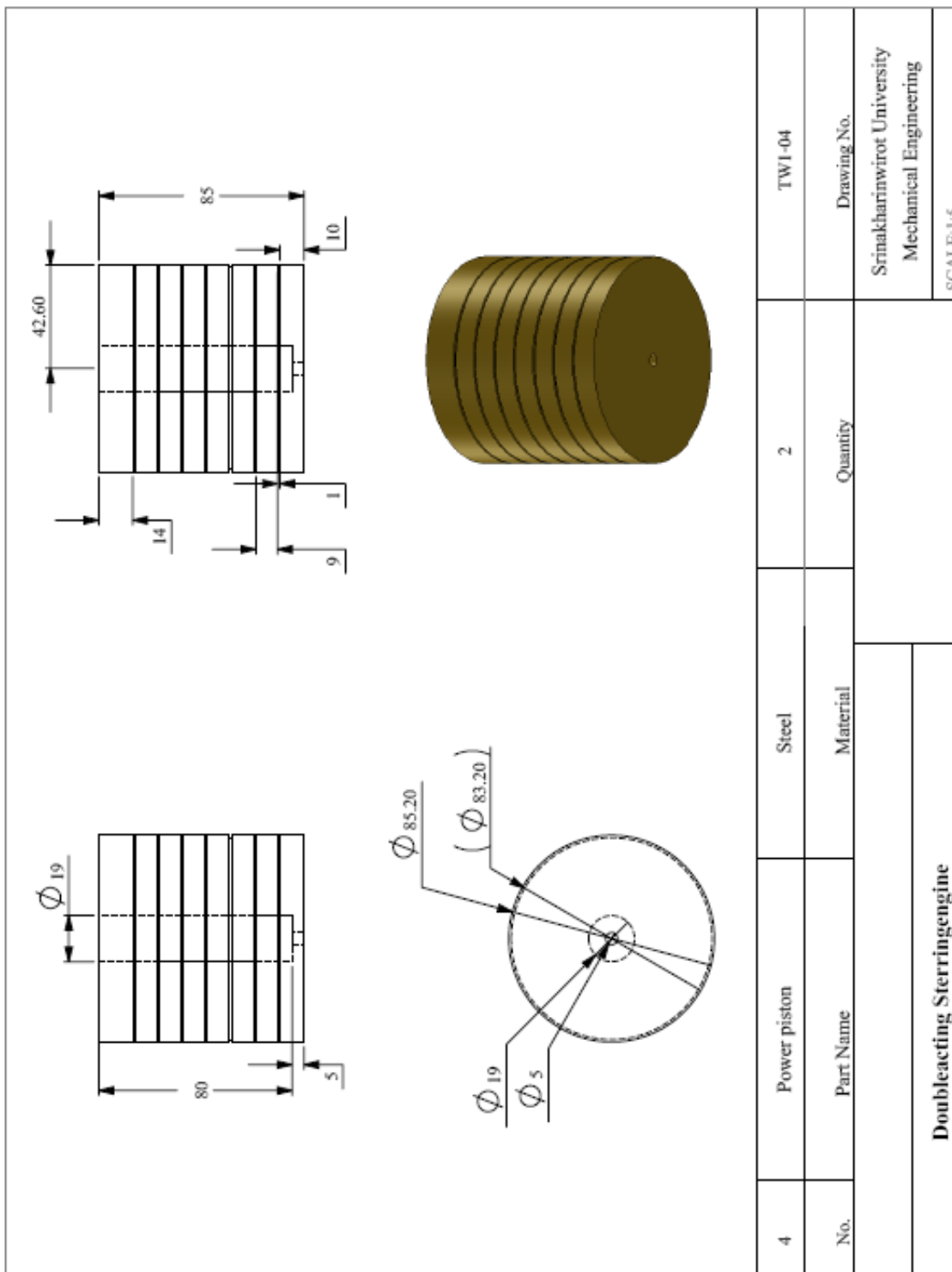
No.	Part name	DWG. No	Material	Quantity
36	Bearing SKF 6900		Std part	2
35	Bearing SKF 6704		Std part	2
34	Set screw M6x1.0 - 10mm		Std part	6
33	Rod end 10 mm		Std part	4
32	Displacer guide bolt M8x1.25		Std part	8
31	Power cylinder bolt M8x1.25		Std part	8
30	Cylinder head nut M8x1.25		Std part	8
29	Cylinder head bolt M8x1.25		Std part	8
28	Flange bolt M8x1.25		Std part	72
27	Displacer cylinder bolt M8x1.25		Std part	60
26	Rod end 26 mm	TW1-26	Steel	2
25	Rod end 22 mm	TW1-25	Steel	2
24	Flange 12 mm	TW1-24	Steel	1
23	Flange 10 mm	TW1-23	Steel	1
22	Displacer rod	TW1-22	Stainless steel	2
21	Power piston rod	TW1-21	Stainless steel	2
20	Connecting rod power piston	TW1-20	Stainless steel	2
19	Displacer and power piston pin	TW1-19	Steel	2
18	Small end pin	TW1-18	Steel	2
17	Big end pin	TW1-17	Steel	2
16	Main shaft	TW1-16	Steel	1
15	Cylinder head plate supporting	TW1-15	Steel	2
14	Housing plate supporting	TW1-14	Steel	2
13	Cylinder head	TW1-13	Steel	2
12	Power piston crank	TW1-12	Steel	1
11	Displacer crank	TW1-11	Steel	2
10	Displacer guide	TW1-10	Steel	2
9	Connecting rod displacer	TW1-09	Steel	2
8	Housing bearing	TW1-08	Steel	2
7	Flywheel	TW1-07	Steel	1
6	Supporting leg	TW1-06	Steel	4
5	Power cylinder	TW1-05	Steel	2
4	Power piston	TW1-04	Steel	2
3	Displacer cylinder	TW1-03	Stainless steel	2
2	Displacer	TW1-02	Stainless steel	2
1	Main plate	TW1-01	Steel	1



Srinakharinwirot University
Mechanical Engineering

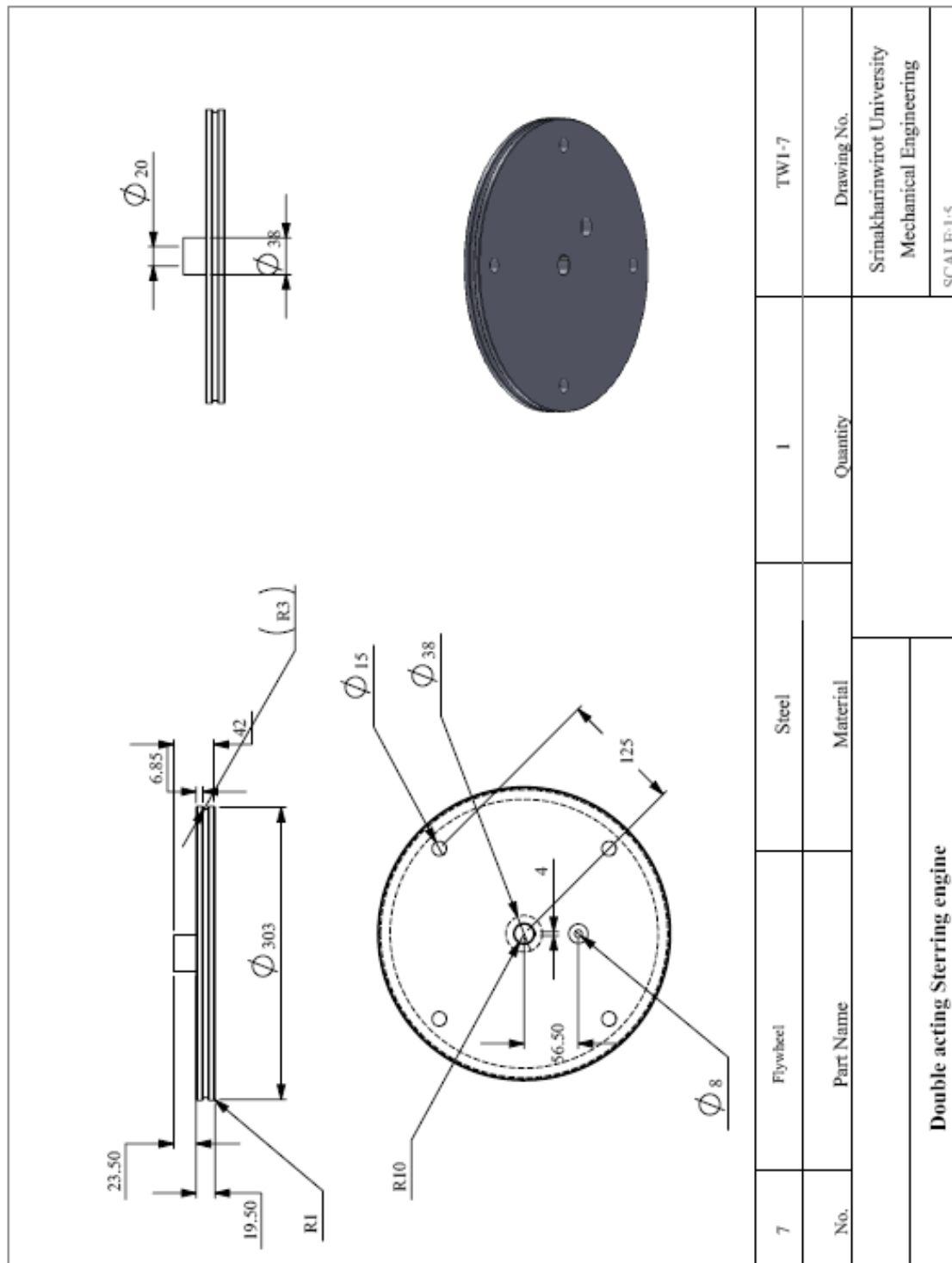
	2	Stainless steel	2	Quantity	Drawing No.
	2	Stainless steel	2	Quantity	Drawing No.
No.	Displacer	Material	Srinakharinwirot University Mechanical Engineering		
Double acting Sterring engine					
SCALE:1:5					

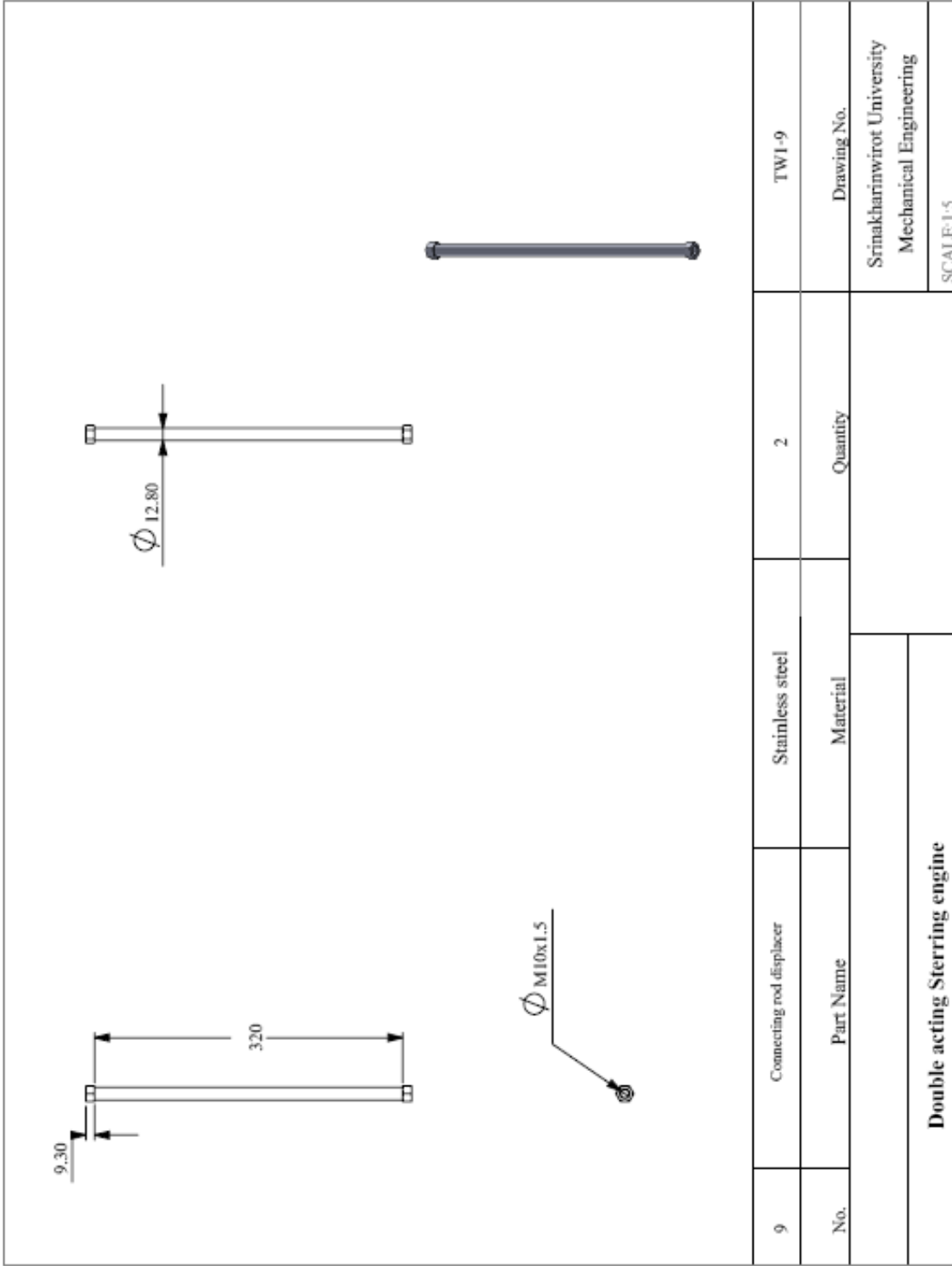
 <p>Technical drawing of a displacer cylinder. The side view shows a cylindrical component with an outer diameter of $\Phi 300.02$ and an inner diameter of $\Phi 171.02$. The total height is 250.02. The top flange has a diameter of $\Phi 167$. The distance from the top surface to the start of the inner cylinder is 102. The distance from the top surface to the start of the outer cylinder is 204. The distance from the top surface to the end of the inner cylinder is 207.02. The end view shows a diameter of $\Phi 300.02$ and a distance of 137 from the center to the edge of the flange. The flange has a diameter of $\Phi 171.02$. A detail view of the top edge shows a chamfered edge with a width of 3.02 and a chamfer angle of 2.</p>	2	Stainless steel	TW1-03
3	Displacer cylinder	Material	Drawing No.
No.	Part Name	Quantity	Srinakharinwirot University Mechanical Engineering
Double acting Sterring engine			
SCALE:1:5			



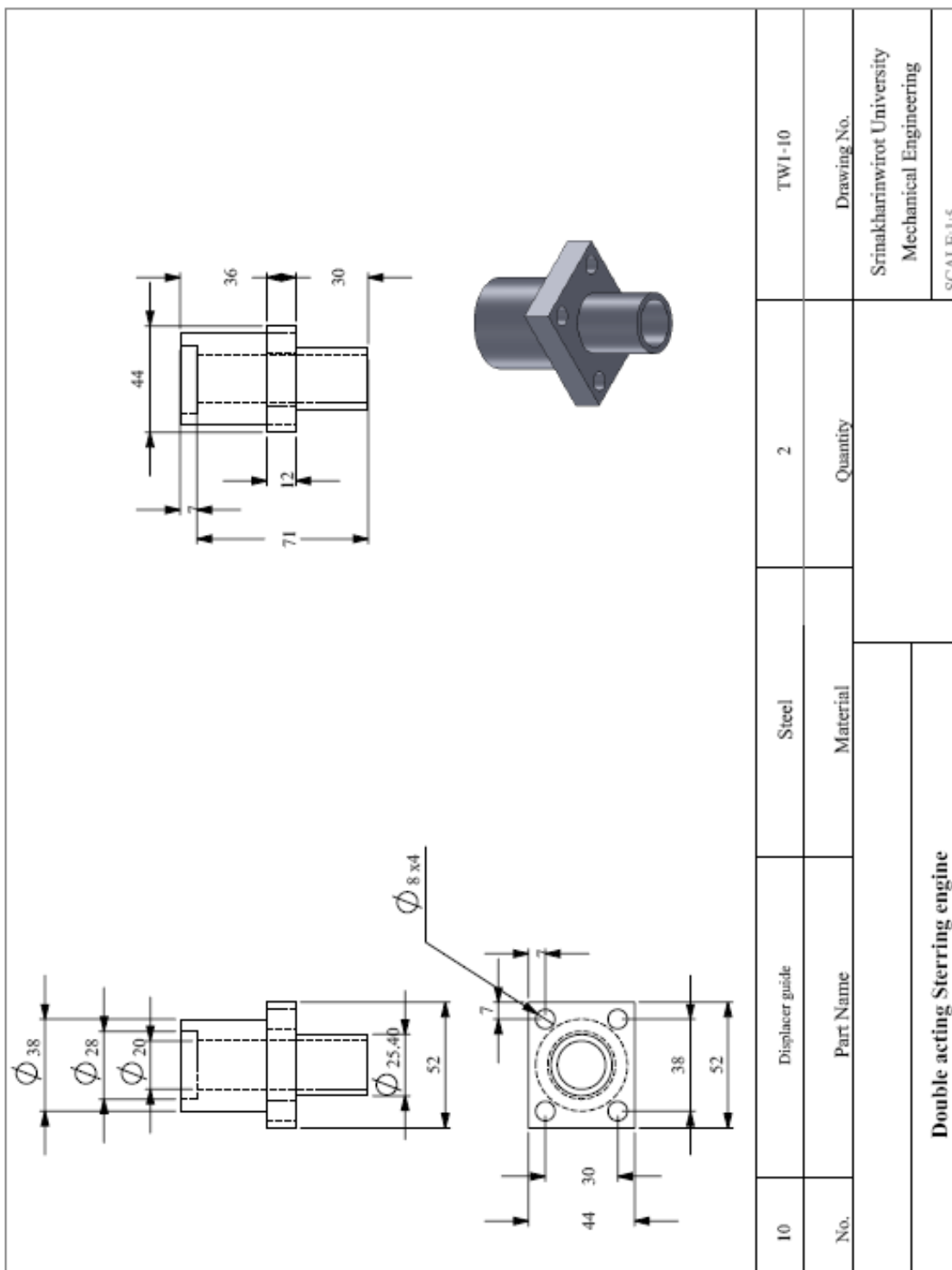
5	Power cylinder	Steel	2	TWI-05	
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.	
Doubleacting Sterring engine					Srinakharinwirot University Mechanical Engineering
					SCALE:1:5

	<p>Supporting leg</p>	<p>Steel</p>	<p>4</p>	<p>TWI-6</p>
<p>No.</p>	<p>Part Name</p>	<p>Material</p>	<p>Quantity</p>	<p>Drawing No.</p>
<p>Double acting Sterring engine</p>				
<p>Srinakharinwirot University Mechanical Engineering</p>				
<p>SCALE:1:5</p>				

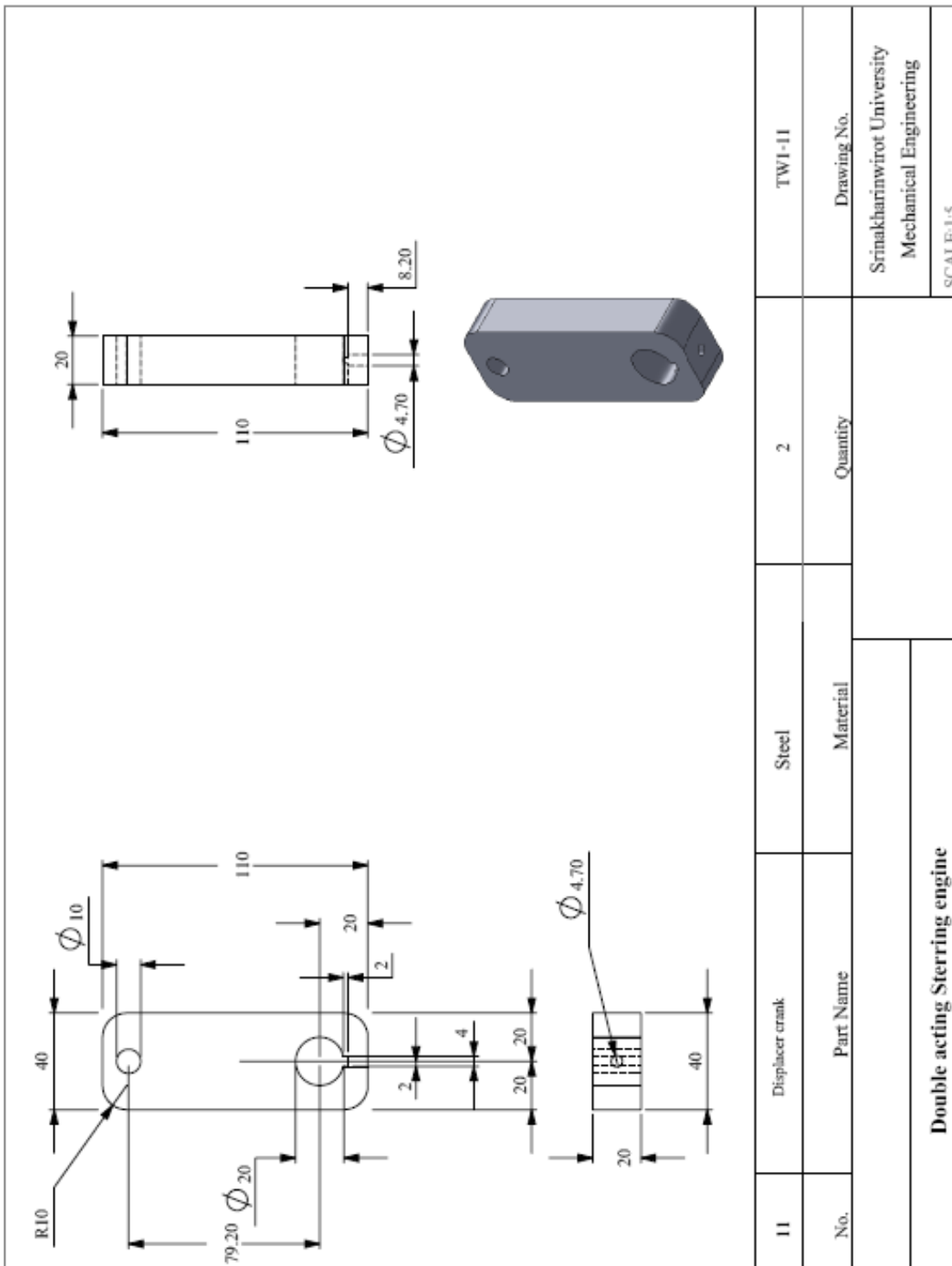




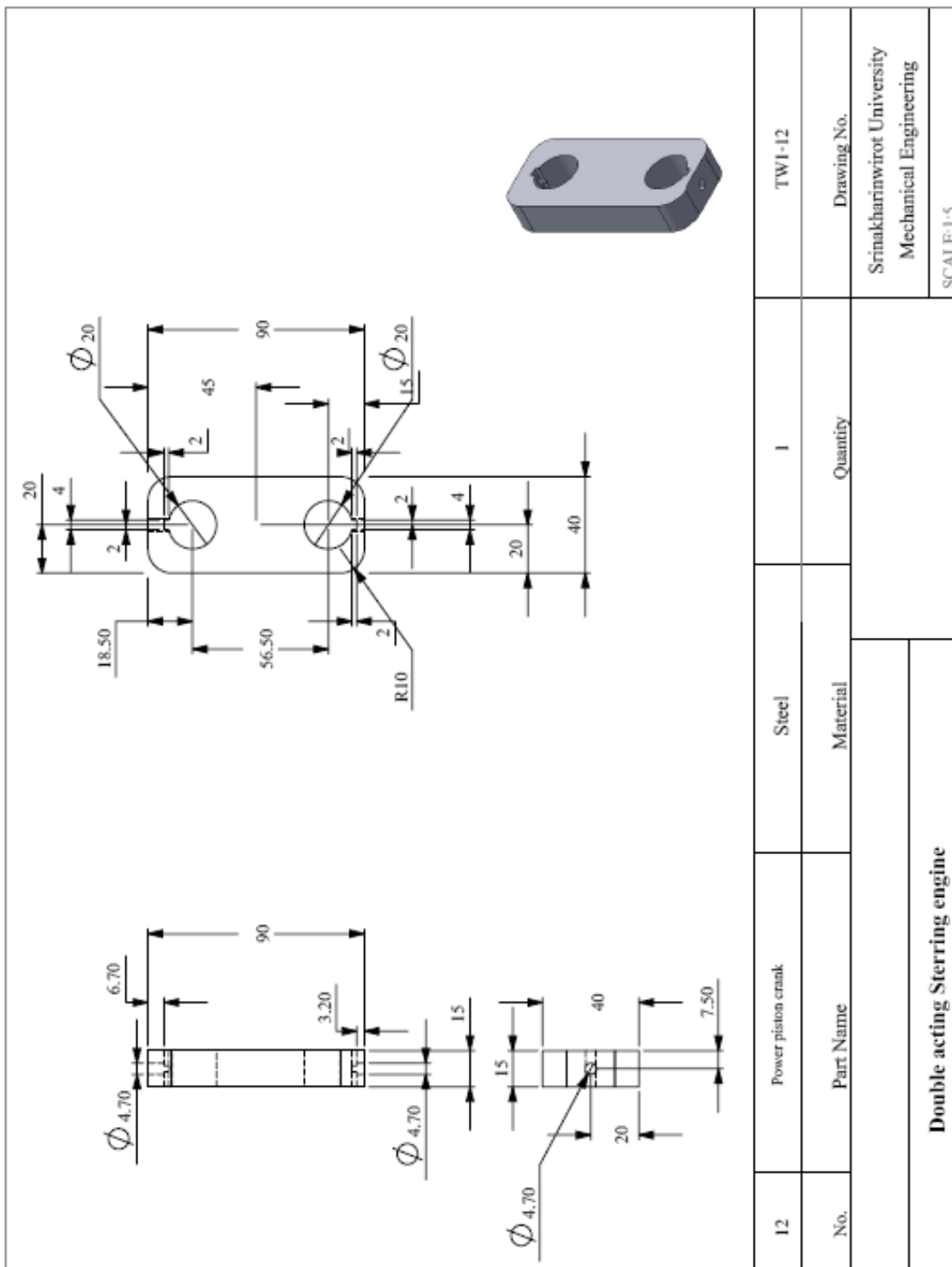
9	Connecting rod displacer	Stainless steel	2	TW1-9
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Sterring engine		Srinakharinwirot University Mechanical Engineering		
		SCALE:1:5		



10	Displacer guide	Steel	2	TW1-10
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Sterring engine				Srinakharinwirot University Mechanical Engineering
SCALE:1:5				

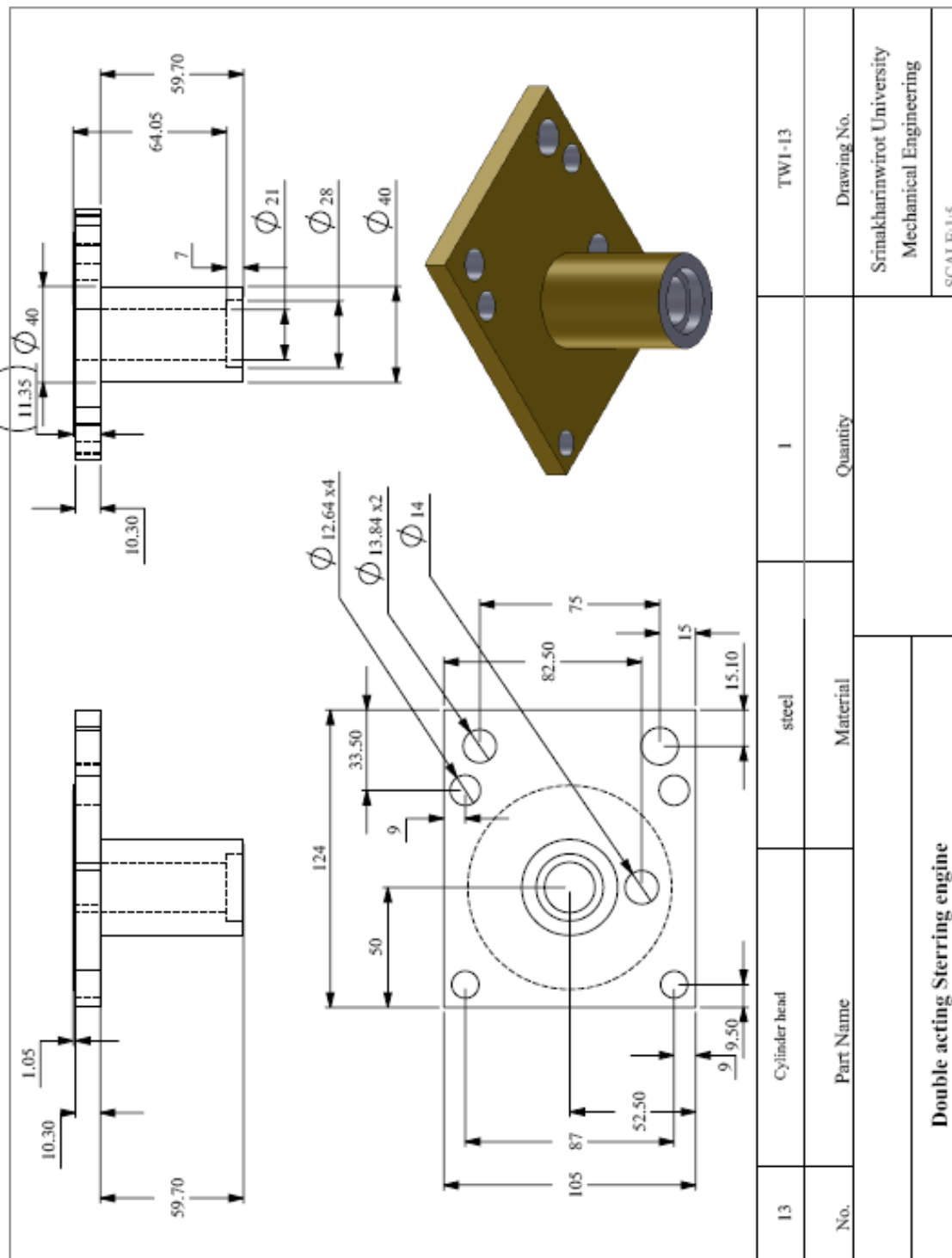


11	Displacer crank	Steel	2	TW1-11
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Sterring engine		Srinakharinwirot University Mechanical Engineering		
		SCALE:1:5		

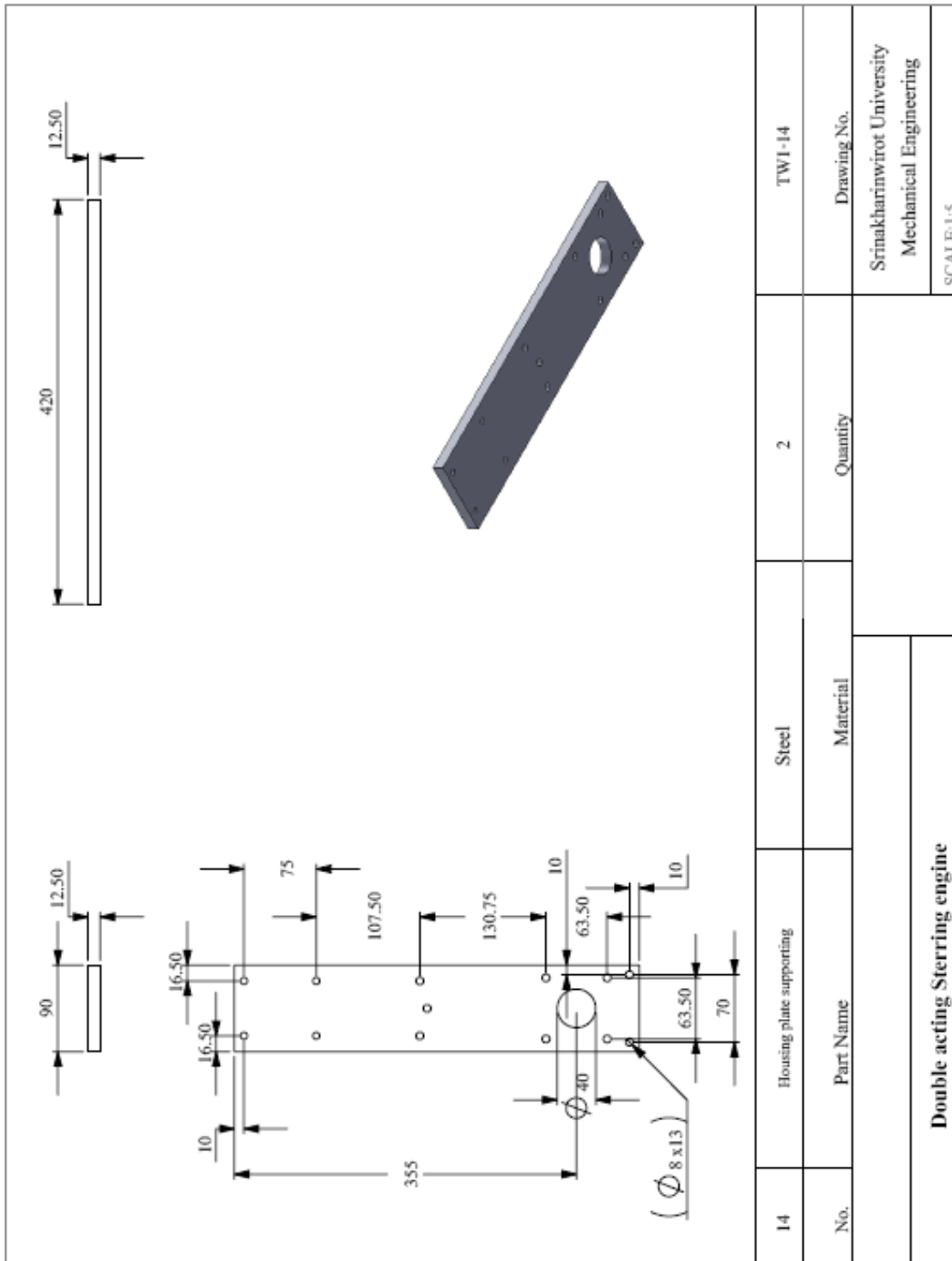


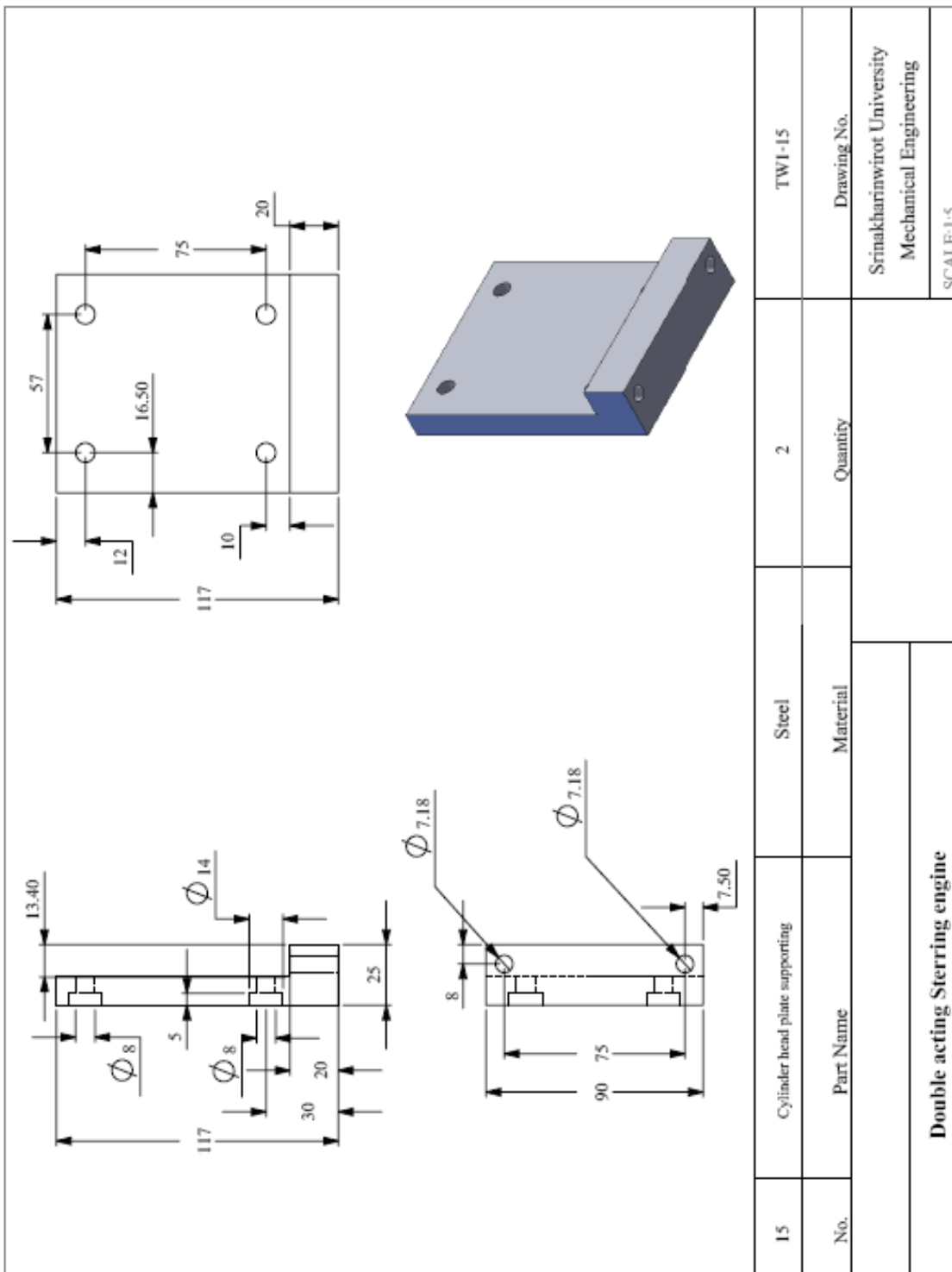
12	Power piston crank	Steel	1	TW1-12
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Steering engine		Srinakharinwirot University Mechanical Engineering		
		SCALE:1:5		

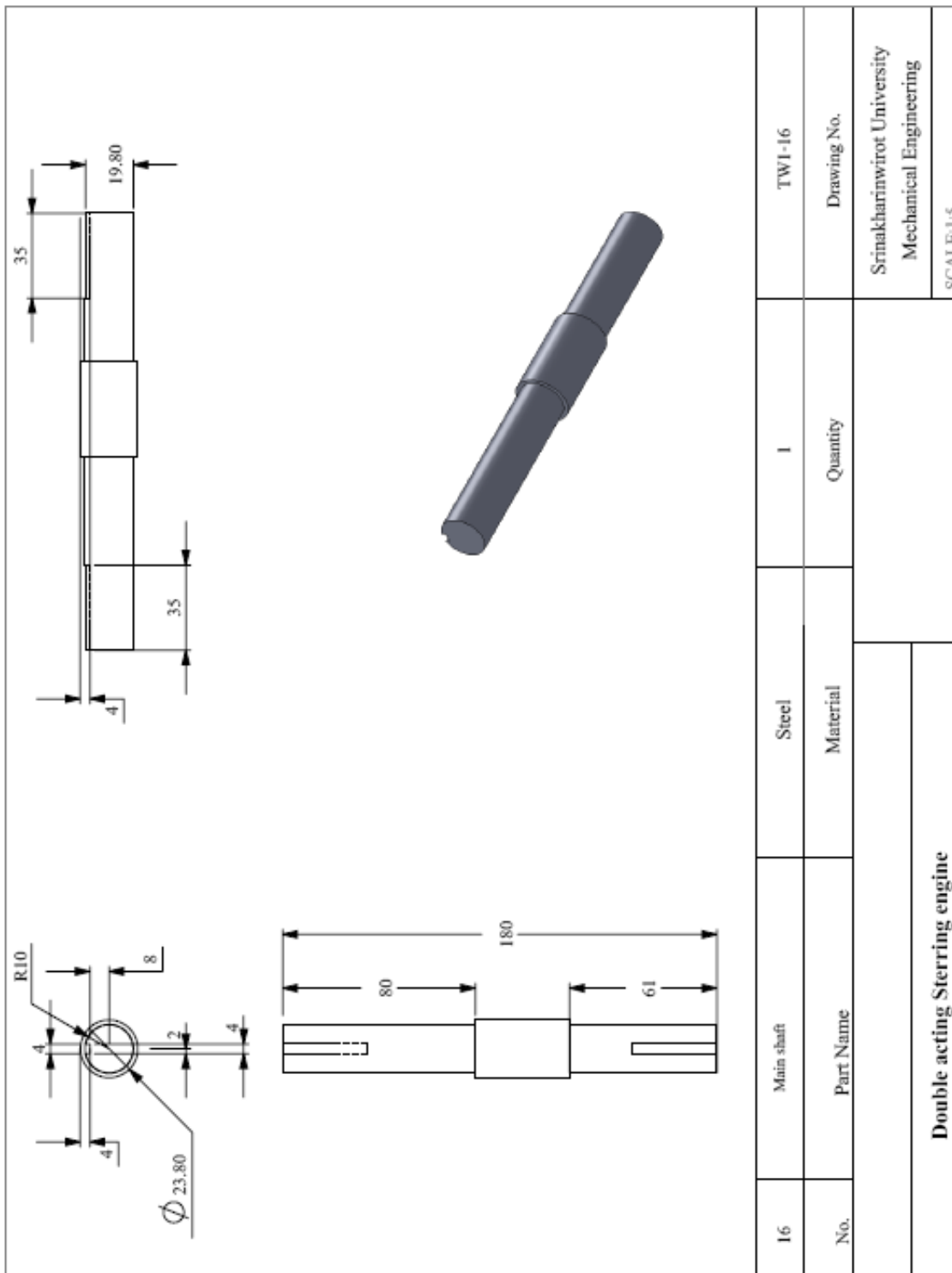
12	Power piston and displacer gudgeon	Steel	1	TW1-12
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Sterring engine		Srinakharinwirot University Mechanical Engineering		
SCALE:1:5				



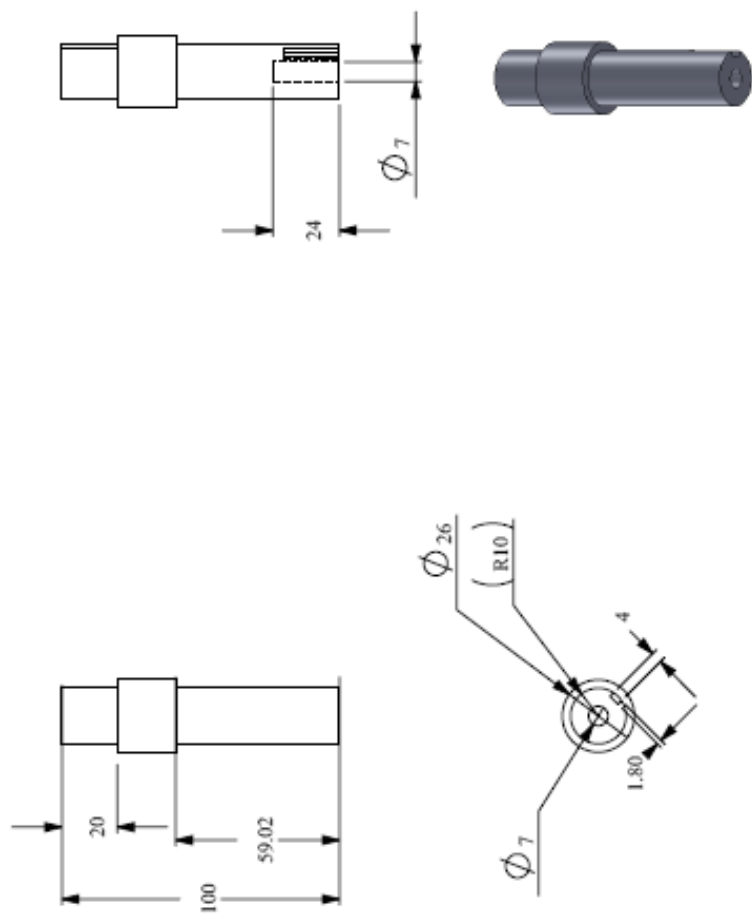
13	Cylinder head	steel	1	TW1-13
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Steering engine				Srinakharinwirot University Mechanical Engineering
SCALE:1:5				







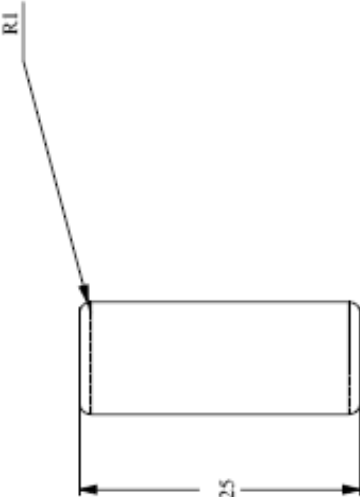
16	Main shaft	Steel	1	TW1-16
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Steering engine		Srinakharinwirot University Mechanical Engineering		
		SCALE:1:5		



17	Big end pin	Steel	2	TW1-17
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Sterring engine		Srinakharinwirot University Mechanical Engineering		
SCALE:1:5				

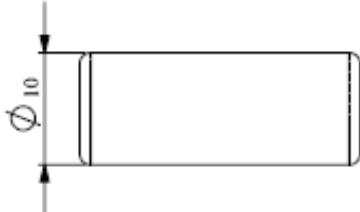
18	Small end pin	Steel	2	TW1-18
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Sterring engine		Srimaharivrot University Mechanical Engineering		
		SCALE:1:5		

19	Displacer and power piston pin	Steel	4	TW1-19
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Sterring engine		Srinakharinwirot University Mechanical Engineering		
		SCALE:1:5		




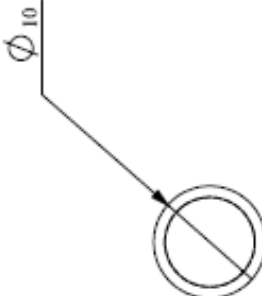
25

R1

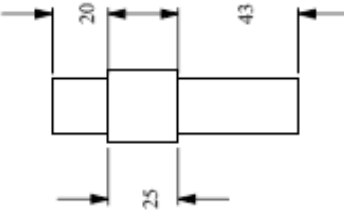

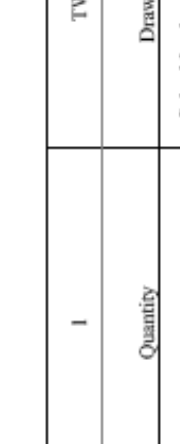
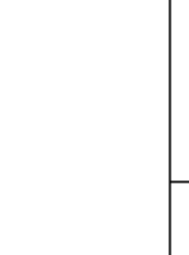



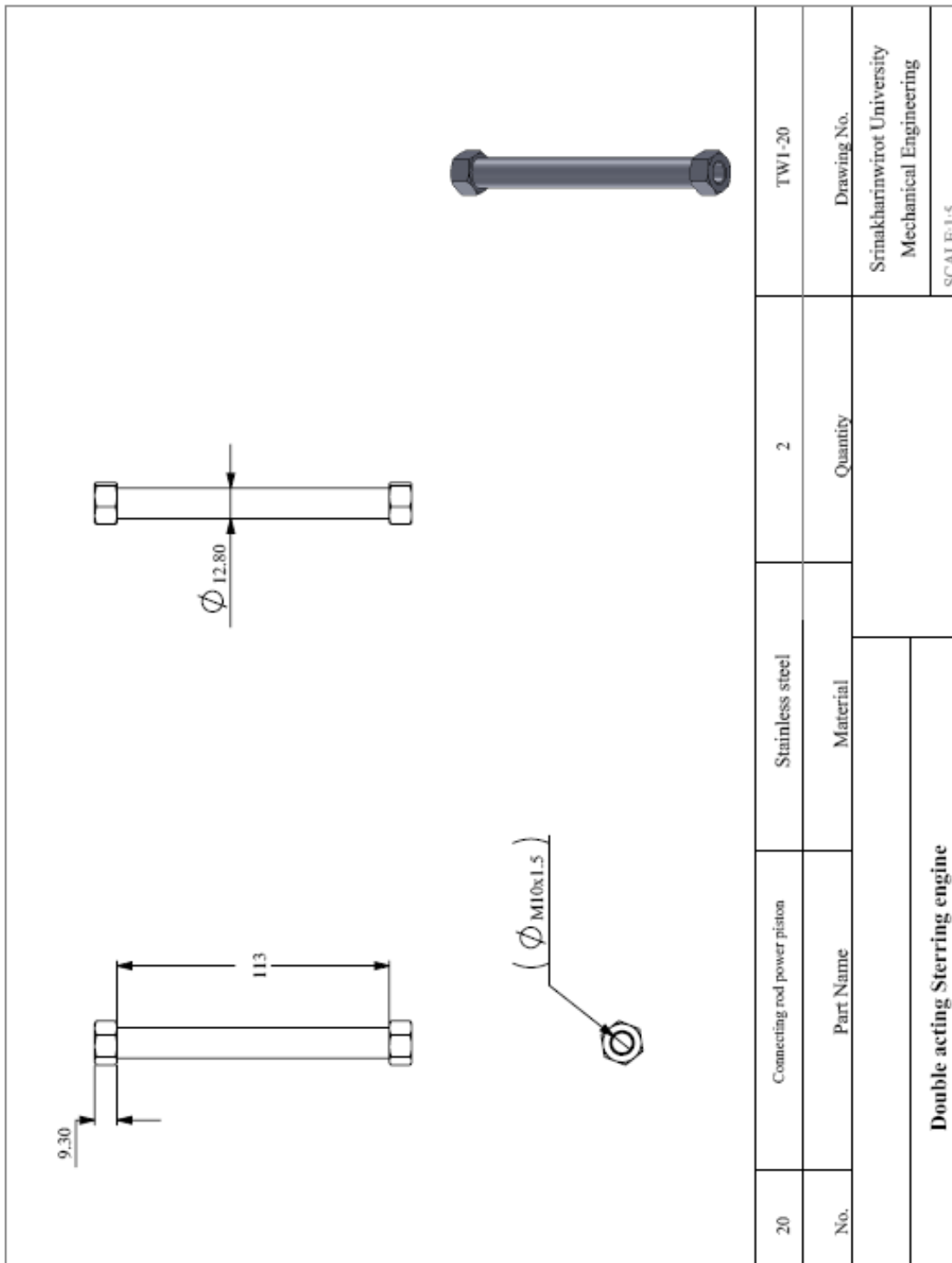
Φ 10



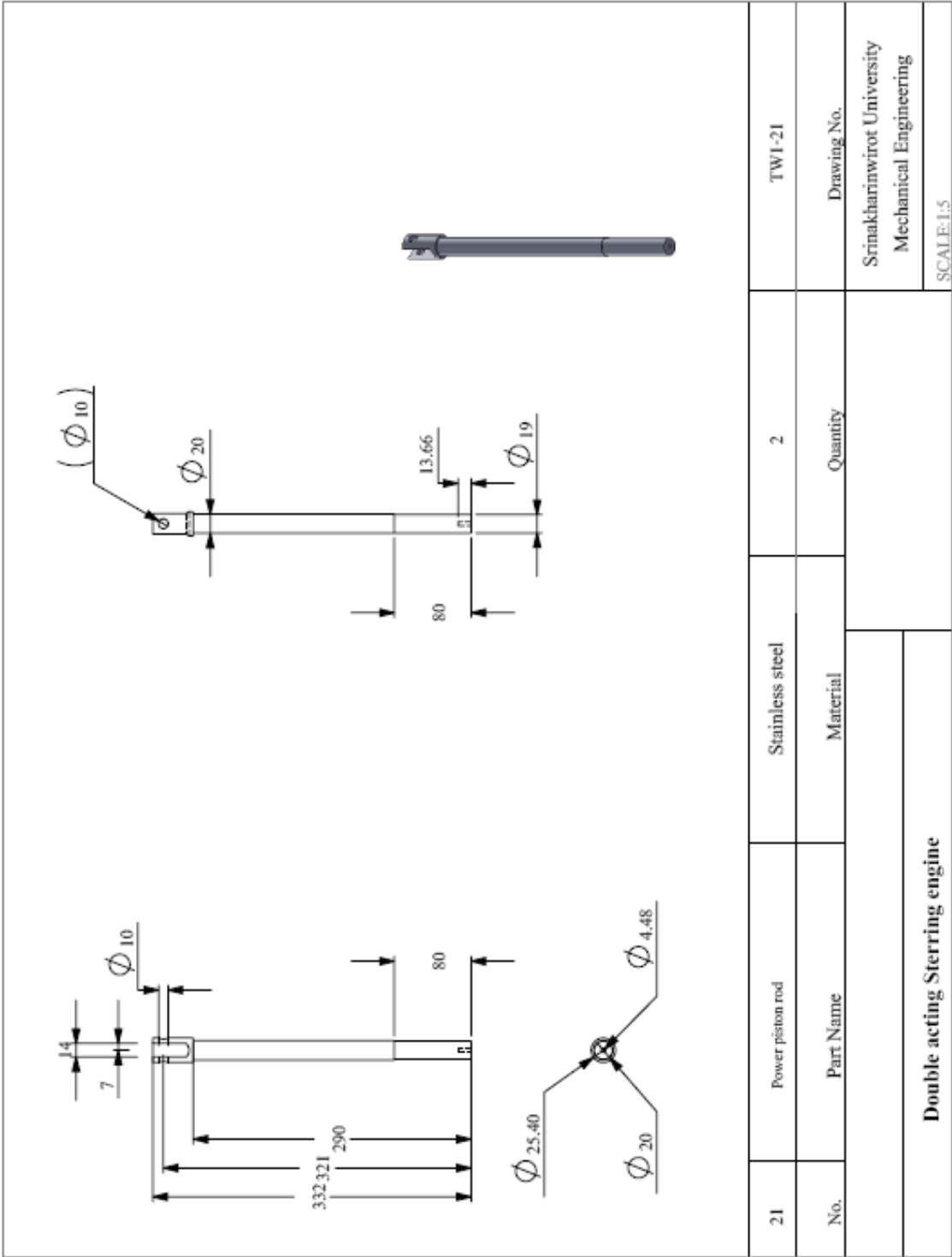


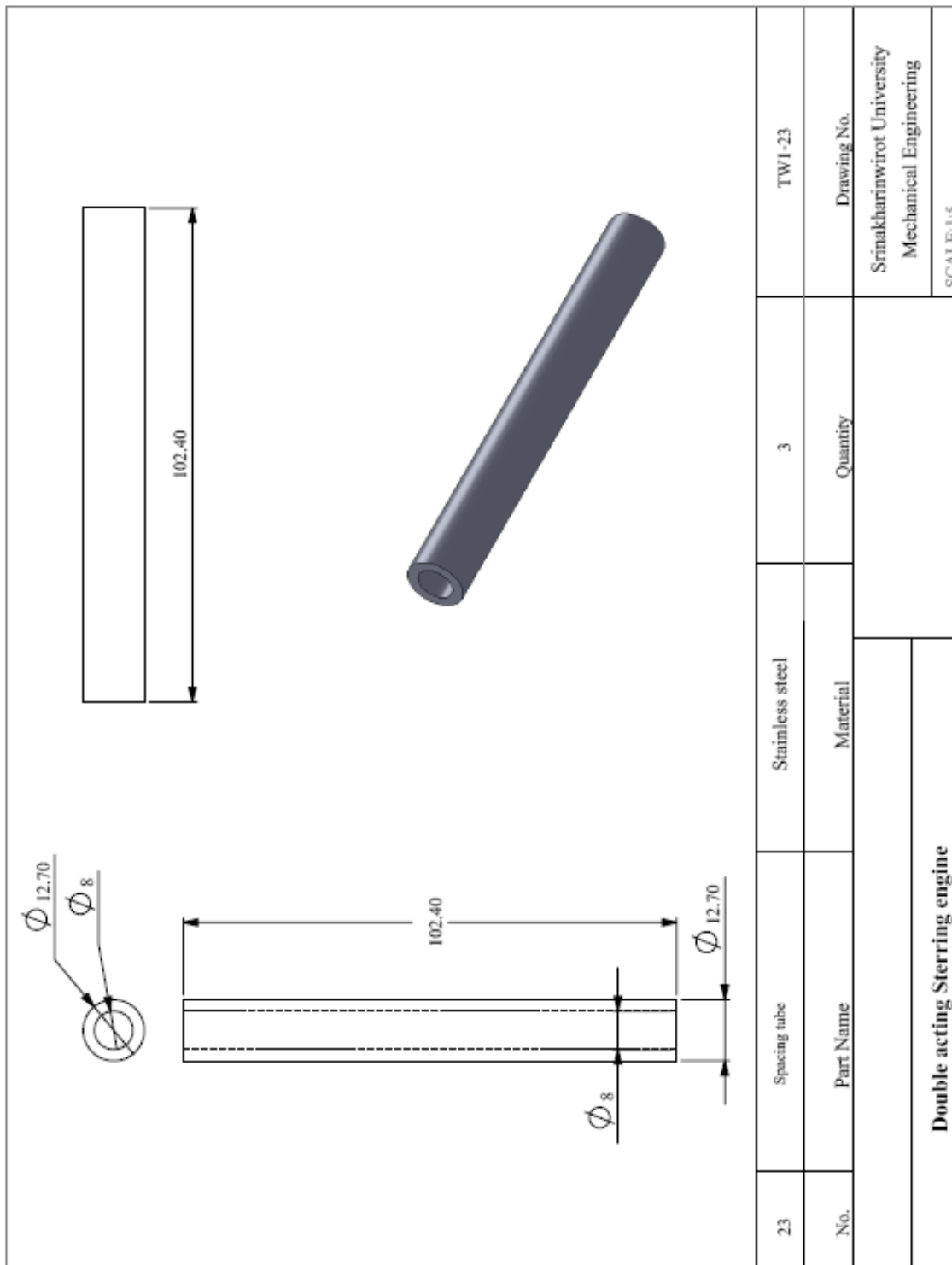
Φ 10

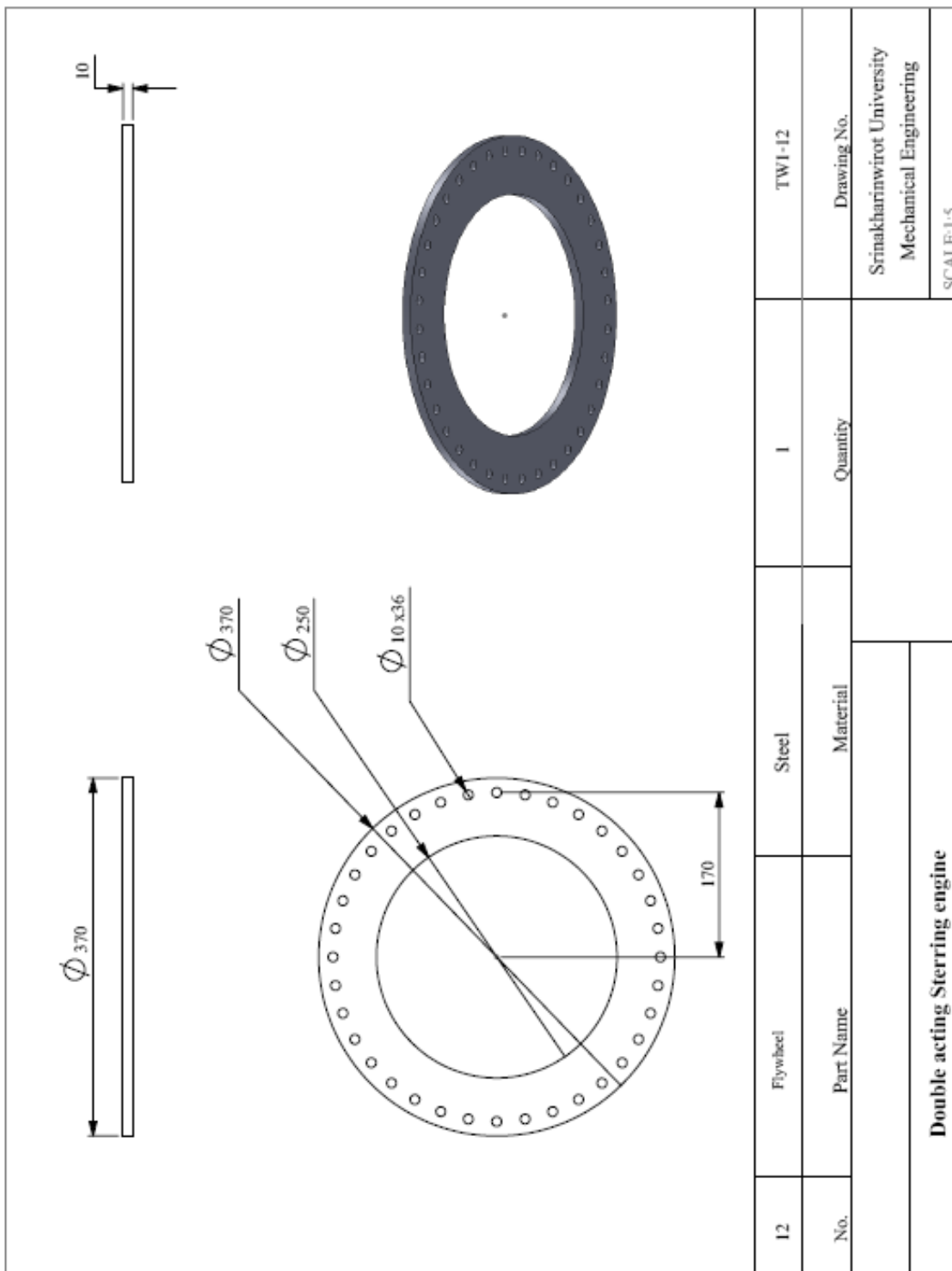
				
19	Power piston big end pin	Steel	1	TW1-19
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Sterring engine				Srinakharinwirot University Mechanical Engineering
				SCALE:1:5

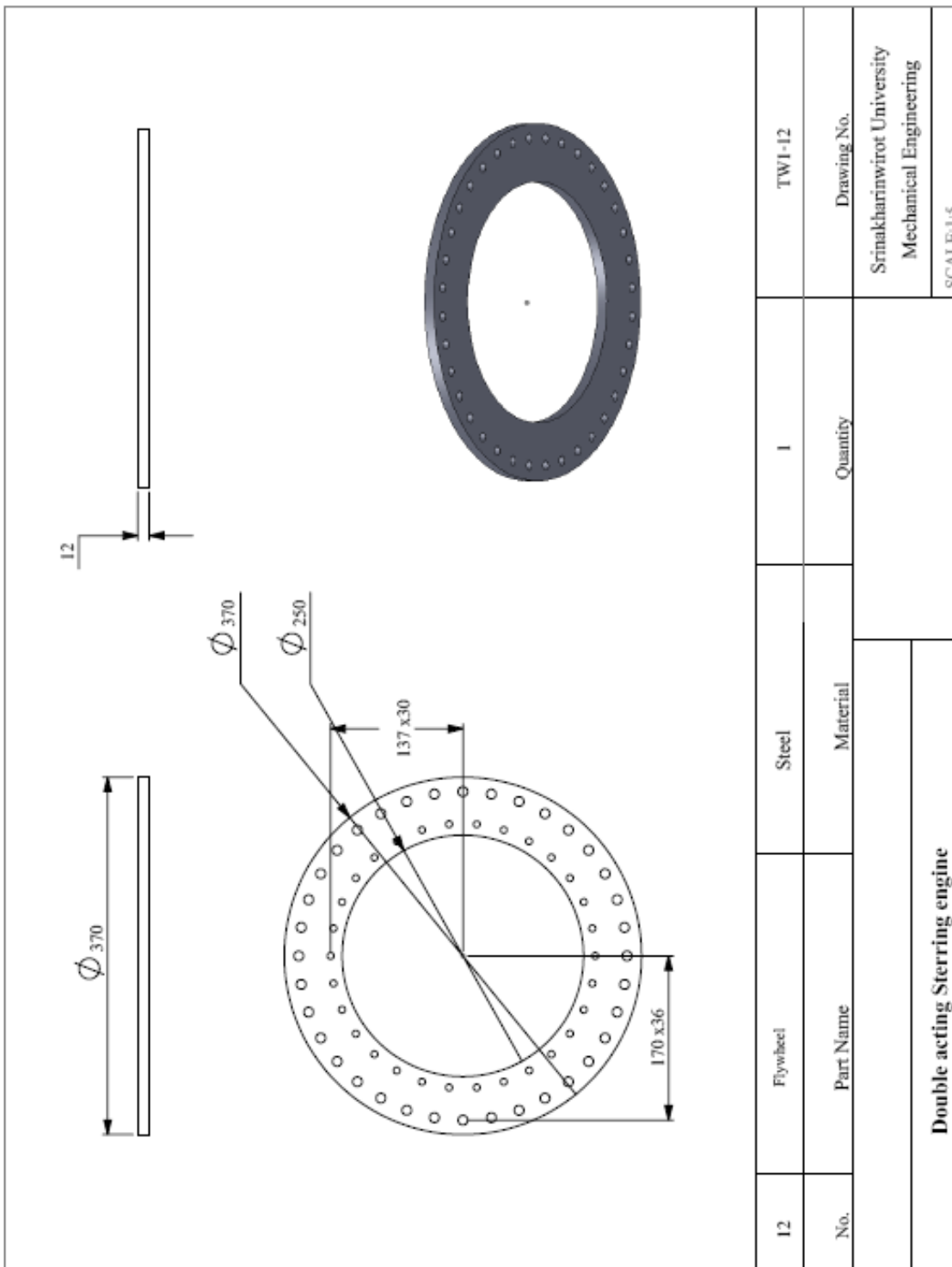


20	Connecting rod power piston	Stainless steel	2	TW1-20
No.	Part Name	Material	Quantity	Drawing No.
Double acting Steering engine		Srinakharinwirot University Mechanical Engineering		
		SCALE:1:1.5		









ประวัติย่อกลุ่มวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายบัญชา คังตระกูล
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Bancha Kongtragool

- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1006-00828-82-8

รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ -

- ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

- หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถ. รังสิต-นครนายก อ. องค์กรักษ์
จ. นครนายก 26120
โทรศัพท์ 037-322625-35 ext. 2055, โทรสาร 037-322609
E-mail address: bancha_kong@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับ	ชื่อผู้สมัคร	สาขา	มหาวิทยาลัย	ประเทศ	ปี
ป.ตรี	วศ.บ.	เครื่องกล	วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา	ไทย	2520
ป.โท	วศ.ม.	เครื่องกล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย	2526
ป.เอก	Ph. D.	Energy Technology	JGSEE, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย	2551

6. ประวัติการรับทุนวิจัย

- การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ในระดับห้องปฏิบัติการ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว ประจำปีงบประมาณ 2550 สัญญาเลขที่ 171/2550)
- การพัฒนาเครื่องยนต์แมนสันในระดับห้องปฏิบัติการ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว ประจำปีงบประมาณ 2550 สัญญาเลขที่ 193/2550)

3. การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบทำงานด้านเดียว (เงินรายได้ มศว ประจำปีงบประมาณ 2550 สัญญาเลขที่ 269/2550)
4. การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบทำงานสองด้าน (เงินรายได้ มศว ประจำปีงบประมาณ 2550 สัญญาเลขที่ 270/2550)
5. การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเคลื่อนย้ายหมุน (โครงการความร่วมมือระหว่าง สกอ กับ สกว ปี 2551 สัญญาเลขที่ MRG5180232)
6. การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังชีวมวล (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว ประจำปีงบประมาณ 2551 สัญญาเลขที่ 087/2551)
7. การศึกษาความถี่ของลำน้ำในกระบอกสูบเคลื่อนย้ายและความยาวของท่อปรับ (เงินรายได้ มศว ประจำปีงบประมาณ 2551 สัญญาเลขที่ 310/2551)
8. การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์แบบลูกสูบกำลังทำงานสองด้านที่ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิค่า (เงินรายได้ มศว ประจำปีงบประมาณ 2551 สัญญาเลขที่ 311/2551)
9. การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ (เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2552 สัญญาเลขที่ 040/2552)
10. การพัฒนาเครื่องยนต์ฟลูอิดไนต์พลังก๊าซชีวมวล (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปี 2552 สัญญาเลขที่ 146/2552)
11. การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบต้าในขนาดระดับห้องปฏิบัติการ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปี 2552 สัญญาเลขที่ 148/2552)

7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง, การแปลงรูปพลังงาน และการผลิตกำลังกลด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายนอก

8. ประสพการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

8.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย:

-

8.2 หัวหน้าโครงการวิจัย:

1. การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังชีวมวล (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว ประจำปีงบประมาณ 2551 สัญญาเลขที่ 087/2551)

2. การพัฒนาเครื่องยนต์ฟลูอิดได้น้ำมันพืชชีวมวล (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปี 2552 สัญญาเลขที่ 146/2552)

8.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว:

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1. การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ในระดับห้องปฏิบัติการ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว ประจำปีงบประมาณ 2550 สัญญาเลขที่ 171/2550)
2. การพัฒนาเครื่องยนต์แมนสันในระดับห้องปฏิบัติการ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว ประจำปีงบประมาณ 2550 สัญญาเลขที่ 193/2550)
3. การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบทำงานด้านเดียว (เงินรายได้ มศว ประจำปีงบประมาณ 2550 สัญญาเลขที่ 269/2550)
4. การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบทำงานสองด้าน (เงินรายได้ มศว ประจำปีงบประมาณ 2550 สัญญาเลขที่ 270/2550)
5. การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบเคลื่อนย้ายหมุน (โครงการความร่วมมือระหว่าง สกอ กับ สกว ปี 2551 สัญญาเลขที่ MRG5180232)
6. การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังชีวมวล (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว ประจำปีงบประมาณ 2551 สัญญาเลขที่ 087/2551)
7. การศึกษาความถี่ของลำน้ำในกระบอกสูบเคลื่อนย้ายและความยาวของท่อปรับ (เงินรายได้ มศว ประจำปีงบประมาณ 2551 สัญญาเลขที่ 310/2551)
8. การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์แบบลูกสูบกำลังทำงานสองด้านที่ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิค่า (เงินรายได้ มศว ประจำปีงบประมาณ 2551 สัญญาเลขที่ 311/2551)
9. การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ (เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2552 สัญญาเลขที่ 040/2552)
10. การพัฒนาเครื่องยนต์ฟลูอิดได้น้ำมันพืชชีวมวล (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปี 2552 สัญญาเลขที่ 146/2552)
11. การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบเบต้าในขนาดระดับห้องปฏิบัติการ (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปี 2552 สัญญาเลขที่ 148/2552)

International Journals:

1. **Kongtragool B**, Wongwises S (2003) A review of solar powered Stirling engines and low temperature differential Stirling engines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 7, pp. 131-154.
2. Naphon P, **Kongtragool B** (2003) Theoretical Study on Heat Transfer Characteristics and Performance of the Flate-Plate Solar Air Heaters, *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Vol. 30, No. 8, pp. 1125-1136.
3. **Kongtragool B**, Wongwises S (2005) Investigation on power output of the gamma-configuration low temperature differential Stirling engines, *Renewable Energy*, 30, pp. 465-476.
4. **Kongtragool B**, Wongwises S (2005) Optimum absorber temperature of a once-reflecting full conical reflector of a low temperature differential Stirling engine, *Renewable Energy*, 30, pp. 1671-1687.
5. **Kongtragool B**, Wongwises S (2006) Thermodynamic analysis of a Stirling engine including dead volumes of hot space, cold space and regenerator, *Renewable Energy*, 31, pp. 345-359.
6. **Kongtragool B**, Wongwises S (2007) Performance of low-temperature differential Stirling engines, *Renewable Energy*, 32, pp. 547-566.
7. **Kongtragool B**, Wongwises S (2007) Performance of a twin power piston low temperature differential Stirling engine powered by solar simulator, *Solar Energy*, 81, pp. 884-895.
8. **Kongtragool B**, Wongwises S (2008) A four power-piston low temperature differential Stirling engine using simulated solar energy as a heat source, *Solar Energy*, 82, pp. 493-500.
9. **Kongtragool B**, Wongwises S (2008). Testing of a low-temperature differential Stirling engine by using actual solar energy, *International Journal of Green Energy*, Vol. 5, pp. 491-507.

Local Journals:

1. Kongtragool B (2002) Preliminary Design of Solar Collector for a Low Temperature Differential Stirling Engine, *Journal of Technology Thonburi*, Vol. 1, No. 2, pp. 41-47.
2. **Kongtragool B**, Naphon P (2003) A Review of Stirling Engines for Rural and Remote areas of Thailand, *Journal of Technology Thonburi*, Vol. 2, No. 2, pp. 34-41.

3. Naphon P, **Kongtragool B** (2004) Heat Transfer Characteristics and Performance of the Flat-Plate Solar Air Heaters, *Journal of Technology Thonburi*, Vol. 3, No. 1, pp. 60-68.
4. บัญชา คังตระกูล, ไพศาล นาผล (2547) การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบอัลฟาด้วยวิธีเชิงตัวเลข, *วารสารเทคโนโลยีชนบุรี*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 83-90.
5. บัญชา คังตระกูล, ไพศาล นาผล (2547) การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้าด้วยวิธีเชิงตัวเลข, *วารสารเทคโนโลยีชนบุรี*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, หน้า 65-74.
6. บัญชา คังตระกูล, ไพศาล นาผล (2547) การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาด้วยวิธีเชิงตัวเลข, *วารสารเทคโนโลยีชนบุรี*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 2, หน้า 82-91.
7. Jangsawang W, **Kongtragool B**, Yongyingsakthavorn P (2004) Theoretical Investigation on Regenerative-Cycle Heat Engines, *Journal of Technology Thonburi*, Vol. 3, No. 2, pp. 33-38.
8. **Kongtragool B**, Naphon P (2005) Thermodynamic analysis of an imperfect regeneration Stirling Engine with zero dead volume, *Journal of Technology Thonburi*, Vol. 4, No. 1, pp. 19-25.
9. Naphon P, Tangnikorn S, **Kongtragool B**. (2005) Study on the heat transfer characteristics of the annular fin under sensible cooling conditions, *Journal of Technology Thonburi*, Vol. 4, No. 1, pp. 39-44.
10. Naphon P, Sriromroln P, **Kongtragool B** (2005) Thermal performance of the double pass flat-plate solar air heater with fins, *Journal of Technology Thonburi*, Vol. 4, No. 1, pp. 52-59.
11. บัญชา คังตระกูล, ไพศาล นาผล (2548) การศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบกลไก, *วารสารเทคโนโลยีชนบุรี*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, หน้า 75-83.
12. บัญชา คังตระกูล (2548) การศึกษาหลักการของเครื่องจักรเทอร์โมอะคูสติกในเชิงทฤษฎี, *วารสารเทคโนโลยีชนบุรี*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, หน้า 56-64.
13. บัญชา คังตระกูล (2548) การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้วยวิธีเชิงตัวเลข, *วารสารวิชาการวิศวกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, หน้า 12-21.
14. บัญชา คังตระกูล (2548) การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้วยเทคนิคของซิมิดท์, *วารสารวิชาการวิศวกรรม พลังงานและสิ่งแวดล้อม*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, หน้า 22-33.
15. Kongtragool B, (2008), Generalized classical thermodynamic analysis of a Stirling engine, *SWU Engineenig Journal*, Vol. 2 (2), pp. 29-44.
16. Kongtragool B, (2008), Generalized mathematical model for Displacer frequency and tuning column length of a Fluidyne engine, *SWU Engineenig Journal*, ปีที่ 2 ฉบับที่ 2, หน้า 86-97.

International Conference:

1. **Kongtragool B**, Wongwiset S (2003) Theoretical investigation on Beale number for low temperature differential Stirling engines, *Proceedings of The 2nd International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics*, Paper no. KB2, Victoria Falls, Zambia.

Local Conferences:

1. **บัญชา คังตระกูล** (2543) การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบขนานทำงานสองด้าน, การประชุมเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2544, 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2543.

2. **บัญชา คังตระกูล** (2544) การศึกษาเชิงการทดลองการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงลูกสูบของเหลว, การประชุมวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา พ.ศ. 2544, 17 พฤษภาคม 2544

3. **บัญชา คังตระกูล** และ ไพศาล นาคผล (2544) สมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, หน้าที่ TF-87 ถึง TF-90

4. **บัญชา คังตระกูล** และ ไพศาล นาคผล (2544) การศึกษาเชิงการทดลองเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำฟลูอิดไดน์, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, หน้าที่ TF-91 ถึง TF-94

5. **บัญชา คังตระกูล** และ ไพศาล นาคผล (2544) การศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบขนานทำงานสองด้าน, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, หน้าที่ TF-99 ถึง TF-103

6. **บัญชา คังตระกูล** แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4, พ.ศ. 2551

สิทธิบัตรที่ยื่นจดกับกรมทรัพย์สินทางปัญญา

1. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบสองลูกสูบ หมายเลขขอรับสิทธิบัตรเลขที่ 0601003084
2. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบกำลังคู่ หมายเลขขอรับสิทธิบัตรเลขที่ 0601003085
3. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบกำลังสี่ลูกสูบ หมายเลขขอรับสิทธิบัตรเลขที่ 0601003086

4. ระบบการผลิตกำลังด้วยเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ หมายเลขขอรับสิทธิบัตรเลขที่ 0601003087

5. คาอริมิเตอร์แบบน้ำไหลผ่านสำหรับวัดความเข้มของรังสีอาทิตย์จากตัวรวมรังสีอาทิตย์ หมายเลขขอรับสิทธิบัตรเลขที่ 0601003089

8.4 งานวิจัยที่กำลังทำ:

1. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงกำเนิดไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล ภายใต้โครงการสนับสนุนผู้ประกอบการไทยเพื่อการพัฒนาสร้างเครื่องจักรและอุปกรณ์ด้วยกระบวนการศึกษาและถ่ายทอดเทคโนโลยีทางวิศวกรรม สนับสนุนทุนวิจัยโดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ปี 2554

2. การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบกำลังทำงานสองด้าน (เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปี 2554 สัญญาเลขที่ 210/2554)



ผู้ช่วยนักวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายกฤตพงศ์ สุขแสน

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Kitapong Suksan

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1341500047011

รหัสประจำตัวนักวิจัยแห่งชาติ -

3. ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกรเครื่องกล

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ถ. รังสิต-นครนายก อ. องค์กรักษ์

จ. นครนายก 26120

โทรศัพท์ 037-322625-35 ext. 2055, โทรสาร 037-322609

E-mail address: kitapong@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับ	ชื่อผู้สมัคร	สาขา	มหาวิทยาลัย	ประเทศ	ปี
ป.ตรี	วศ.บ.	เครื่องกล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	ไทย	2552

6. ประวัติการรับทุนวิจัย

-

7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง, เครื่องยนต์สันดาปภายใน, ยานยนต์

8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

8.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย:

-

8.2 หัวหน้าโครงการวิจัย:

-

8.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว:

การสร้างและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้า (ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มศว องค์กรฯ)

8.4 งานวิจัยที่กำลังทำ:

การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบลูกสูบกำลังทำงานสองด้าน (เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปี 2554 สัญญาเลขที่ 210/2554)

