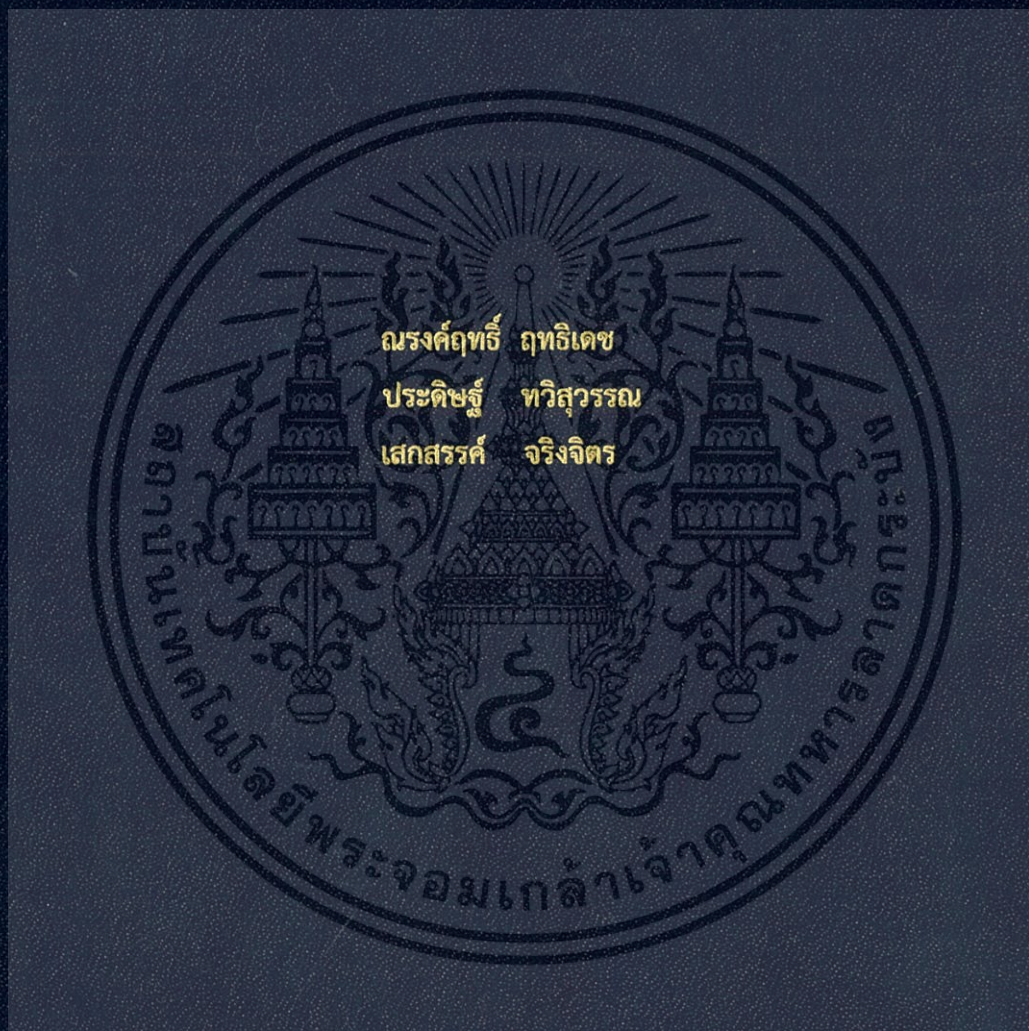


การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลโดยวิธีการเคลือบผิวลูกสูบ

INCREASING EFFICIENCY OF DIESEL ENGINE WITH COATING PISTON CROWN



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลโดยวิธีการเคลือบผิวลูกสูบ

INCREASING EFFICIENCY OF DIESEL ENGINE WITH COATING PISTON CROWN



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INCREASING EFFICIENCY OF DIESEL ENGINE WITH COATING PISTON CROWN



NARONGRIT RITTHIDEJ
PRADIT THAVISUVAN
SEKSAN JINGJIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2561

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลโดยวิธีการเคลือบผิวลูกสูบ

INCREASING EFFICIENCY OF DIESEL ENGINE WITH COATING PISTON CROWN

ผู้จัดทำ

1. นาย ณรงค์ฤทธิ์ ฤทธิเดช รหัสประจำตัว 58010344
2. นาย ประดิษฐ์ ทวีสุวรรณ รหัสประจำตัว 58010733
3. นาย เสกสรรค์ จริงจิตร รหัสประจำตัว 58011374



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลโดยวิธีการเคลือบผิวลูกสูบ

นาย ณรงค์ฤทธิ์ ฤทธิเดช 58010344

นาย ประดิษฐ์ ทวีสุวรรณ 58010733

นาย เสกสรรค์ จริงจิตร 58011374

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบจุดระเบิดด้วยการอัดนั้น ได้รับพลังงานความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงระหว่างกระบวนการสันดาปของเครื่องยนต์ ซึ่งจะมีความร้อนส่วนหนึ่งจะสูญเสียผ่านฝาสูบ ผนังกระบอกสูบ และผ่านลูกสูบ โดยความร้อนที่สูญเสียไปนั้น จะไปลดกำลังของเครื่องยนต์ ลดแรงบิด ลดค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน และจะไปเพิ่มอัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง โครงการนี้เป็น การนำเสน่วิธีการลดการสูญเสียทางความร้อน ภายในห้องเผาไหม้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน ด้วยวิธีการเคลือบผิวบริเวณหัวของลูกสูบ ด้วยสารที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ ทำให้การสูญเสียความร้อนผ่านลูกสูบลดลง ส่งผลให้เครื่องยนต์มีกำลัง แรงบิด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น และลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน การศึกษาครั้งนี้ จะใช้สาร Yttria stabilized Zirconium (YSZ) , Magnesium Zirconate ($MgO-ZrO_2$) และ Aluminum Titanium Oxide ($Al_2O_3-TiO_2$ 87-13) ในอัตราส่วน 25%wt. YSZ , 25%wt. $MgO-ZrO_2$ และ 50%wt. $Al_2O_3-TiO_2$ 87-13 ในการเคลือบผิวความหนา 500 μm โดยความหนาดังกล่าวได้จากการ simulation เพื่อเลือกความหนาที่เหมาะสม แล้วนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์เปรียบเทียบกับลูกสูบที่ไม่ได้เคลือบผิว ที่รอบเครื่องยนต์ 1,300, 1,400, 1,500, 1,600, 1,700, 1,800, 1,900, 2,000, 2,100, 2,200, 2,300, 2,400, และ 2,500 รอบต่อนาที โดยเมื่อเปรียบเทียบ กำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น 4.65% โดยเฉลี่ย ทุกรอบเครื่องยนต์ที่ทดสอบ แรงบิดเพิ่มขึ้น 4.38% โดยเฉลี่ย ทุกรอบเครื่องยนต์ที่ทดสอบ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 1.18% โดยเฉลี่ย ทุกรอบเครื่องยนต์ที่ทดสอบ และ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง 3.68% โดยเฉลี่ย ทุกรอบเครื่องยนต์ที่ทดสอบ เนื่องจากการเคลือบผิวหัวลูกสูบด้วยสารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำทำหน้าที่เป็นฉนวน ทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นส่งผลให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงได้สมบูรณ์ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INCREASING EFFICIENCY OF DIESEL ENGINE WITH COATING

PISTON CROWN

Mr.Narongrit Ritthidej 58010344

Mr.Pradit Thavisuvan 58010733

Mr.Seksan Jingjit 58011374

Advisor: Asst.prof.Dr.Chinda Chareonphonphanich

Year 2018

ABSTRACT

Internal Combustion engine ignition with compression. Get heat from the combustion of fuel during the combustion process of the engine. There will be some heat loss through cylinder head, cylinder wall and through the piston. The heat lost will reduce the power of the engine, reduce the torque, reduce the thermal efficient. And to increase the fuel consumption. This project presents a way to reduce heat loss inside the combustion chamber by the way. Coating the piston head with low thermal conductivity. The heat loss through the piston decreases. As a result, the engine has a increase power, torque, thermal coefficient. And reduce the fuel consumption. In this study, the substance used Yttria stabilized Zirconium (YSZ), Magnesium Zirconate ($MgO-ZrO_2$) and Aluminum Titanium Oxide ($Al_2O_3-TiO_2$ 87-13) in ratio 25% wt. of YSZ, 25% wt. of $MgO-ZrO_2$ and 50% wt. of $Al_2O_3-TiO_2$ 87-13 in the coatings. 500 μ m by the thickness obtained from the simulation to determine the appropriate thickness. Then tested to compare with the piston uncoated at 1,300, 1,400, 1,500, 1,600, 1,700, 1,800, 1,900, 2,000, 2,100, 2,200, 2,300, 2,400, and 2,500 RPM. It compares the power of the engine increased by an average of 4.65%, the torque increased by an average of 4.68%, the brake specific fuel consumption decreased by an average of 3.97%. And the thermal efficiency increases from the original value by an average of 1.18% while using coated piston was due to the increase in in-cylinder temperature by the low thermal conductivity of coating material. The higher in-cylinder temperature enhances the complete combustion inside the engine cylinder.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ขนรณยานยนต์ที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ MTAC ที่ให้ความรู้และอนุเคราะห์การเคลือบผิว และขอบคุณพี่ต้น พี่เบิร์ด ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ในการทำโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



ณรงค์ฤทธิ์

ฤทธิเดช

ประดิษฐ์

ทวิสุวรรณ

เสกสรรค์

จรรย์จิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
สารบัญกราฟ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 Internal combustion engine.....	3
2.2.1 เครื่องยนต์สี่จังหวะ (แบบจุดระเบิดด้วยการอัด).....	4
2.2.2 กระบวนการเผาไหม้ (เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด).....	5
2.2.3 Compression and A/F Ratio.....	8
2.2.4 อุณหพลศาสตร์วัฏจักรดีเซล.....	9
2.3 การถ่ายเทความร้อน.....	10
2.3.1 การนำความร้อน (Conduction).....	11
2.3.2 การพาความร้อน (Convection).....	12
2.3.3 การแผ่ความร้อน (Radiation).....	13
2.3.4 Heat loss.....	14
2.3.5 Heat transfer-Combustion Chamber wall.....	15
2.4 Thermal Barrier Coating (TBC)	15
2.5 คุณสมบัติของสารเคลือบผิว.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 Yttria stabilized Zirconium (YSZ).....	16
2.5.2 Aluminum Titanium Oxide (Al ₂ O ₃ -TiO ₂ 87-13).....	16
2.5.3 Magnesium Zirconate (MgO – ZrO ₂).....	17
2.6 เทคนิคการเคลือบ.....	17
2.6.1 การเคลือบด้วยไอทางกายภาพ (PVD).....	17
2.6.2 การตกเคลือบด้วยไอเคมี (CVD).....	19
2.6.3 การพ่นเคลือบด้วยความร้อน.....	20
2.6.3.1 กระบวนการพ่นเคลือบพลาสมา.....	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....	22
3.1 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของตัวแปรที่ใช้ในการ Simulation	22
3.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนฝั่งห้องเผาไหม้	22
3.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	
ระหว่างผิวข้างของลูกสูบกับกระบอกสูบ.....	23
3.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในแหวนลูกสูบ.....	23
3.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนใต้ลูกสูบ.....	25
3.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในกระโปรงลูกสูบ	25
3.1.6 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอกกระโปรงลูกสูบ.....	26
3.2 Simulation และวิเคราะห์ผล	26
3.3 วิธีการทดลอง	29
บทที่ 4 การทดสอบ.....	31
4.1 วัตถุประสงค์.....	31
4.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	31
4.2.1 เครื่องยนต์ทดสอบ.....	31
4.2.2 ชุดไดนาโมมิเตอร์.....	31
4.2.2.1 ชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์.....	31
4.2.2.2 ไดนาโมมิเตอร์.....	32
4.2.3 เทอร์โมคัปเปิล.....	33
4.2.4 ซอฟต์แวร์.....	33
4.2.5 ลูกสูบ.....	34
4.2.5.1 ลูกสูบที่เคลือบผิว.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6	ตาชั่ง.....	35
4.2.7	ท่อดูด.....	36
4.3	วิธีการทดสอบ.....	36
4.3.1	การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	36
4.3.1.1	การทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ลูกสูบที่ไม่ได้เคลือบผิว.....	36
4.3.1.2	การทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ลูกสูบที่เคลือบผิว.....	37
4.3.2	วัดค่าอุณหภูมิ.....	38
4.3.2.1	วัดอุณหภูมิไอเสีย.....	38
4.3.2.2	วัดอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง.....	38
บทที่ 5	ผลการทดลอง.....	39
5.1	วัตถุประสงค์.....	39
5.2	ผลการทดลอง.....	39
5.2.1	แรงบิด.....	39
5.2.2	กำลัง.....	41
5.2.3	อัตราการสิ้นเปลือง.....	42
5.2.4	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....	44
5.2.5	อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย.....	45
บทที่ 6	บทสรุปและวิจารณ์ผล.....	46
6.1	สรุปผลการทดลอง.....	46
6.2	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	46
บรรณานุกรม.....		47

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 แสดงข้อมูลของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการคำนวณ.....	24
3-2 แสดงอุณหภูมิและ Heat transfer coefficient บริเวณต่าง ๆ ของลูกสูบ.....	28



สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่

หน้า

2-1	วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ จุกระเปิดด้วยการอัด (A) จังหวะดูด อากาศ ถูกดูดในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนไปยังศูนย์ตายล่าง (B) จังหวะอัด จังหวะลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่างไปยังศูนย์ตายบน (C) การเผาไหม้ และ จังหวะกำลัง (D) จังหวะคายไอเสีย.....	5
2-2	ภาพวาดแสดงย่านต่าง ๆ ของไอเชื้อเพลิง รอบลำเชื้อเพลิงเหลวซึ่งอยู่ส่วนในสุด (a) เข้มจนไม่สามารถ ลูกไหม้ได้ (b) เข้มลูกไหม้ได้ (c) stoichiometric (d) จางลูกไหม้ได้ และ (e) จางจนไม่สามารถ ลูกไหม้ได้ การลูกไหม้เริ่มต้นในโซน B ส่วนผงเขม่าจากคาร์บอน เกิดในโซน A และ B.....	6
2-3	กราฟความดันในกระบอกสูบ บนมุมเพลาคือห้วงของเครื่องยนต์จุกระเปิดด้วยการอัด จุด A คือจุดเริ่มฉีดเชื้อเพลิง จาก A ถึง B คือช่วง ignition delay จุด C คือ จุดสิ้นสุด การฉีดเชื้อเพลิง หากเชื้อเพลิงมีค่าซีเทนต่ำจุด B จะเลื่อนไปทางขวา เชื้อเพลิง- จำนวนมาก เกินไปจะลูกไหม้พร้อมกัน ความดันหลังจุด B จะเพิ่มขึ้นในอัตราสูงมาก ทำให้เครื่องยนต์ ทำงานอย่างหยาบ และเสียงดังขึ้น.....	7
2-4	ตำแหน่งของลูกสูบระหว่างการเคลื่อนที่ TDC และ BDC.....	8
2-5	กราฟ P-V ของเครื่องยนต์จุกระเปิดด้วยการอัด 4 จังหวะ ยุคเก่า.....	9
2-6	กราฟวัฏจักรดีเซลอากาศมาตรฐาน.....	10
2-7	แสดงการนำความร้อนผ่าน ผนังกว้างที่มีความหนา Δx และ พื้นที่ A.....	11
2-8	แสดงการลดความร้อนของไอโดยมีแรงภายนอกและแบบธรรมชาติ.....	13
2-9	แสดงค่า k ของของแข็ง ของเหลว และก๊าซที่ขึ้นกับอุณหภูมิ.....	13
2-10	แสดงการแผ่ความร้อนระหว่างผิวและพื้นที่รอบ ๆ.....	14
2-11	แสดงการไหลของพลังงานที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซล.....	15
2-12	Structure of the TBC.....	16
2-13	แผนภาพกระบวนการสร้างฟิล์มบางด้วยไอทางกายภาพ.....	17
2-14	กระบวนการเคลือบฟิล์มบางแบบ PVD Magnetic Sputtering.....	18
2-15	กระบวนการเคลือบฟิล์มบางแบบ PVD E-beam evaporation.....	19
2-16	แผนผังอย่างง่ายของระบบ CVD โดยอาศัยความร้อน.....	20
2-17	แสดงกระบวนการพ่นเคลือบพลาสมา.....	21

3-1 แสดงวงจรความต้านทานทางความร้อนของแหวนลูกสูบ.....	23
3-2 แสดงการถ่ายเทความร้อนของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว.....	27
3-3 แสดงการถ่ายเทความร้อนของลูกสูบที่มีการเคลือบผิวหนา 500µm.....	27
3-4 แสดง Heat flux ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว.....	28
3-5 แสดง Heat flux ของลูกสูบที่มีการเคลือบผิวหนา 500µm.....	28
3-6 แสดงองค์ประกอบของ Dyno test engine ทัวไปที่ใช้ในการทดสอบ.....	29
4-1 เครื่องยนต์ Kubota zt125 pro.....	31
4-2 ชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์.....	32
4-3 แสดงการวางเครื่องยนต์เพื่อต่อกับ Eddy current dynamometer.....	32
4-4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ.....	33
4-5 แสดงซอฟต์แวร์ที่ใช้แสดงค่าที่อ่านค่าไดนาโมมิเตอร์โดยใช้ LabVIEW 8.5.....	33
4-6 ก และ ข แสดงตารางซอฟต์แวร์ LabVIEW 8.5 ของไบนารีไดนาโมมิเตอร์ 60 กิโลวัตต์.....	34
4-7 แสดงลูกสูบที่เคลือบผิวแล้ว.....	35
4-8 ตาขัง.....	35
4-9 ท่อดูด.....	36
4-10 แสดงการถอดฝาสูบเพื่อเปลี่ยนลูกสูบ.....	37
4-11 แสดงการสวมแหวนลูกสูบที่เคลือบผิวแล้ว.....	37
4-12 แสดงการใส่เทอร์มคัปเปิลวัดอุณหภูมิไอเสีย.....	38
4-13 แสดงการใส่เทอร์มคัปเปิลวัดอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง.....	38

สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
3-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นเคลือบผิวและค่าเฉลี่ย Heat Flux.....	29
5-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว.....	39
5-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่มีการเคลือบผิว.....	40
5-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว เปรียบเทียบกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว.....	40
5-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบต่างๆของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว.....	41
5-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบต่างๆของลูกสูบที่มีการเคลือบผิว.....	42
5-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบต่างๆของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว เปรียบเทียบกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว.....	42
5-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบ ที่ไม่มีการเคลือบผิว.....	43
5-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบ ที่มีการเคลือบผิว.....	44
5-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบ ที่ไม่มีการเคลือบผิวเปรียบเทียบกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว.....	44
5-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว.....	45
5-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่มีการเคลือบผิว.....	46
5-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิวเปรียบเทียบกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว.....	46
5-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของก๊าซไอเสียกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิวเปรียบเทียบกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว.....	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ศึกษา

ในปัจจุบันนี้ เครื่องยนต์สันดาบภายใน แบบจุดระเบิดด้วยการอัดนั้น มีความจำเป็นในการใช้ชีวิตประจำวันมาก ไม่ว่าจะเป็น ด้านการเกษตร ด้านการขนส่ง หรือแม้กระทั่งการใช้เป็นยานพาหนะในการไปทำกิจกรรมประจำวัน เช่น การซื้อของ การไปเรียน หรือการไปทำงาน เป็นต้น แต่ในปัจจุบันนี้ เครื่องยนต์สันดาบภายใน แบบจุดระเบิดด้วยการอัดนั้น สามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการระเบิดมาใช้ได้ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานความร้อนทั้งหมด และที่หายไปประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์นั้น[1] ได้สูญเสียไปกับไอเสียของเครื่องยนต์ที่ปล่อยออกมา และอีกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานความร้อนทั้งหมด ได้สูญเสียผ่านทางผนังของกระบอกสูบ ผ่านทางบริเวณฝาสูบ และผ่านทางหัวของลูกสูบ ซึ่งในปัจจุบัน ราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงก็ได้ปรับตัวสูงขึ้นมาก ดังนั้นการที่จะนำพลังงานความร้อนมาใช้ให้ได้มากกว่าเดิมนั้น จะช่วยให้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งการที่จะนำพลังงานความร้อนมาใช้ให้ได้มากขึ้นนั้น สามารถทำได้โดยการลดการสูญเสียทางความร้อนให้น้อยลงนั่นเอง โดยวิธีที่สามารถลดการสูญเสียทางความร้อนได้นั้น นั่นก็คือการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านทางลูกสูบ ด้วยวิธีการเคลือบสารประเภทเซรามิก ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายขนนกกันความร้อน บริเวณหัวลูกสูบ สารประเภทเซรามิกนี้จะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหัวของลูกสูบได้ การเคลือบสารประเภทเซรามิกนี้จะช่วยให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ทำให้การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้มีประสิทธิภาพได้ดีขึ้น[2]

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซล
- 1.2.2 เพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อนภายในห้องเผาไหม้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น
- 1.3.2 เครื่องยนต์มีกำลังและแรงบิดเพิ่มขึ้น
- 1.3.3 อัตราการบริโภคน้ำมันลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 การเคลือบผิวบริเวณหัวลูกสูบด้วยสารที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ สารที่ใช้คือ $YSZ + MgO - ZrO_2 + Al_2O_3 - TiO_2$ 87-13 โดย YSZ และ $MgO - ZrO_2$ ใช้ในปริมาณเท่ากันคือ 25%WT ส่วน $Al_2O_3 - TiO_2$ 87-13 ใช้ในปริมาณ และ 50%WT

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อน จุดหลอมเหลว มวลโมเลกุล และคุณสมบัติบางประการ เช่น การทนแรงอัด การทำตัวเป็นสารสอดแทรก ของสาร YSZ , $MgO - ZrO_2$ และ $Al_2O_3 - TiO_2$ 87-13 เพื่อกำหนดปริมาณในการผสมของสารทั้ง 3 ชนิด

1.5.2 ศึกษาข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลที่นำมาวิจัย ว่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบเท่าไร มีระยะชักเท่าไร มีการระบายความร้อนแบบใด และมีกำลังอัดเท่าไร เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณตามทฤษฎี

1.5.3 ศึกษาวิธีการเคลือบผิวโลหะแบบต่างๆ เพื่อเลือกวิธีเคลือบผิวที่เหมาะสมกับคุณสมบัติของสารตั้งต้นทั้ง 3 ชนิด และเหมาะกับคุณสมบัติของลูกสูบที่นำไปเคลือบ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซล

1.6.2 ลดการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

1.6.3 เครื่องยนต์มีแรงม้าและแรงบิดเพิ่มขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Experimental Investigation on Effect of the Zirconium + Magnesium Coating of the Piston and Valve of the Single-Cylinder Diesel Engine to the Engine Performance and Emission

จากผลงานวิจัยของ Erdinç Vural, Bülent Özdalyan, Serkan Özel เรื่อง Experimental Investigation on Effect of the Zirconium + Magnesium Coating of the Piston and Valve of the Single-Cylinder Diesel Engine to the Engine Performance and Emission เมื่อปี 2016 ทำให้ได้ทราบว่า การ coating นอกจากใช้ Zirconium + Magnesium แล้วถ้านำสาร Al_2O_3 ซึ่งเป็นสารที่มี expansion coefficient สูงกว่า Zirconium + Magnesium มาผสมเข้าด้วยในอัตราส่วนโดยมวลต่างๆ 5 แบบ ดังนี้ A1 ($ZrO_2 + MgO$), A2 ($ZrO_2 + MgO + 25\% Al_2O_3$), A3 ($ZrO_2 + MgO + 50\% Al_2O_3$), A4 ($ZrO_2 + MgO + 75\% Al_2O_3$), A5 (Al_2O_3) แล้วจะทำให้ได้ engine torque และ engine power เพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ A3 ถึง 1.7% และ 1.4% ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 ก และ ข เนื่องจากความดันและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของ gas หลังจากการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นนี้กับการถ่ายเทความร้อนออกจากห้องเผาไหม้ที่ต่ำ ทำให้ได้งานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น และเหตุผลนี้เองการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นเมื่อเทียบ A3 กับ กรณีอื่น ทำให้มี emission ที่ลดลงไปด้วย [3]

2.2 Internal combustion engine

เครื่องยนต์สันดาปภายใน (IE) เป็นเครื่องยนต์ความร้อนที่แปลงพลังงานเคมีในเชื้อเพลิงเป็นพลังงานกล โดยปกติจะใช้เพลาชักแบบหมุนได้ พลังงานเคมีของเชื้อเพลิงถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อนครั้งแรกโดยใช้การเผาไหม้หรือการออกซิเดชันกับอากาศภายในเครื่องยนต์ พลังงานความร้อนนี้จะเพิ่มอุณหภูมิและความดันของก๊าซภายในเครื่องยนต์ และก๊าซแรงดันสูงจะขยายตัวผลักดันลูกสูบของเครื่องยนต์ การขยายตัวนี้จะถูกแปลงเป็นพลังงานกลแบบการหมุน โดยการเชื่อมโยงทางกลของเครื่องยนต์กับเพลาชักเหวี่ยง ซึ่งเป็นเอาต์พุตของเครื่องยนต์ เพลาชักเหวี่ยงจะถูกเชื่อมต่อกับชุดเกียร์ หรือเพาเวอร์เพื่อส่งพลังงานกลรูปแบบการหมุนไปยังการใช้งานขั้นสุดท้ายที่ต้องการ สำหรับเครื่องยนต์นี้มักเป็นต้นกำลังของยานพาหนะ (เช่น รถยนต์, รถบรรทุก, หัวรถจักร, เรือเดินทะเล, หรือเครื่องบิน) การใช้งานอื่น ๆ ได้แก่ เครื่องยนต์ต้นกำลังใช้เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือปั๊มและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือแบบพกพาสำหรับสิ่งต่าง ๆ เช่น เลื่อยโซ่และเครื่องตัดหญ้า เครื่องยนต์สันดาปภายในส่วนใหญ่เป็นเครื่องยนต์ลูกสูบที่มีลูกสูบเคลื่อนที่ไปมาภายในกระบอกสูบที่อยู่ภายในเครื่องยนต์

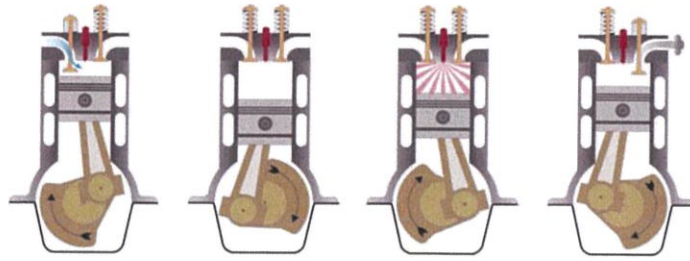
2.2.1 เครื่องยนต์สี่จังหวะ (แบบจุดระเบิดด้วยการอัด)

เครื่องยนต์สันดาปภายในเกือบทั้งหมด ทั้งแบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟ และแบบจุดระเบิดด้วยการอัดล้วนทำงานด้วยวัฏจักรอย่างใดอย่างหนึ่ง คือวัฏจักรสี่จังหวะ หรือ วัฏจักรสองจังหวะ ยกเว้นเฉพาะบางแบบที่มีการออกแบบเป็นพิเศษ เฉพาะตัวเท่านั้น

วัฏจักรเครื่องยนต์สี่จังหวะจุดระเบิดด้วยการอัด (เครื่องยนต์ดีเซล) [12]

1. จังหวะแรก : จังหวะดูด เช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ยกเว้นตรงที่เป็นการดูดแต่อากาศเท่านั้น ไม่มีการผสมเชื้อเพลิง
2. จังหวะที่สอง : จังหวะอัดเช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่เป็นการอัดที่ความดัน และอุณหภูมิสูงกว่า ในช่วงสุดท้ายของจังหวะนี้ เชื้อเพลิงจะถูกฉีด เป็นฝอยตรงเข้าห้องเผาไหม้ และผสมกับอากาศร้อนจัด เชื้อเพลิงจะระเหยอย่างรวดเร็ว และลุกไหม้ขึ้นเอง เป็นการเริ่มต้นการเผาไหม้
3. การเผาไหม้ : การเผาไหม้เกิดขึ้นเต็มที่ที่ศูนย์ตายบน เป็นการเผาไหม้ที่ความดันคงที่อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดการฉีดเชื้อเพลิง และลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ลงสู่ศูนย์ตายล่าง
4. จังหวะที่สาม : จังหวะกำลัง เริ่มเมื่อการเผาไหม้สิ้นสุด และลูกสูบเคลื่อนที่ไปยังศูนย์ตายล่าง
5. การระบายไอเสีย เมื่อสิ้นสุดจังหวะกำลังวาล์วไอเสียจะเปิด ทำให้ไอเสียในกระบอกสูบที่มีความดันสูง ไหลออกจากกระบอกสูบอย่างรวดเร็ว
6. จังหวะที่สี่ : จังหวะคายไอเสีย ลูกสูบจะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่างไปยังศูนย์ตายบน ขณะวาล์วไอเสียเปิดอยู่ ทำให้ไอเสียโดนผลักให้ออกจากกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ จุดระเบิดด้วยการอัด (A) จังหวะดูด อากาศ ถูกดูดในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนไปยังศูนย์ตายล่าง (B) จังหวะอัด จังหวะลูกสูบ เคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่างไปยังศูนย์ตายบน (C) การเผาไหม้ และ จังหวะกำลัง (D) จังหวะคายไอ เสีย[2]

2.2.2 กระบวนการเผาไหม้ (เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด)

เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบในช่วงปลายของจังหวะอัดจากหัวฉีดหนึ่ง หรือหัว ฉีด มากกว่า 1 หัวต่อห้องเผาไหม้ของแต่ละสูบ ระยะเวลาของการฉีดเชื้อเพลิงประมาณ 20 องศาของการ หมุนของเพลาคือเหวี่ยง โดยเริ่มตั้งแต่ 15 องศา ก่อนศูนย์ตายบนและสิ้นสุด ประมาณ 5 องศา หลัง ศูนย์ตายบน เนื่องจากระยะเวลาจริงของการล่าของการเผาไหม้ ค่อนข้างคงที่ จึงต้องฉีดเชื้อเพลิง ล่วงหน้าขึ้นเล็กน้อย เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วสูง [12]

นอกจากอากาศจะต้องหมุนควงและไหลอย่างปั่นป่วนแล้ว ความเร็วของเชื้อเพลิงที่ ถูกฉีด ต้องสูงด้วย เพื่อให้เชื้อเพลิงแผ่กระจายผสมกับอากาศอย่างทั่วถึงหลังจากเชื้อเพลิงถูก ฉีดแล้วจะต้อง ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ จำนวนมากเพื่อให้กระบวนการสันดาปเป็นไปอย่าง ราบรื่น

1. การกระจายเป็นฝอย (Atomization) หยดเชื้อเพลิงจะถูกทำให้กระจายเป็นฝอยเล็ก ๆ ยิ่ง หัวฉีดฉีดเชื้อเพลิงออกมาเป็นหยดเล็กเพียงใด การกระจายเป็นฝอยก็จะยิ่งรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ มากขึ้นเพียงนั้น

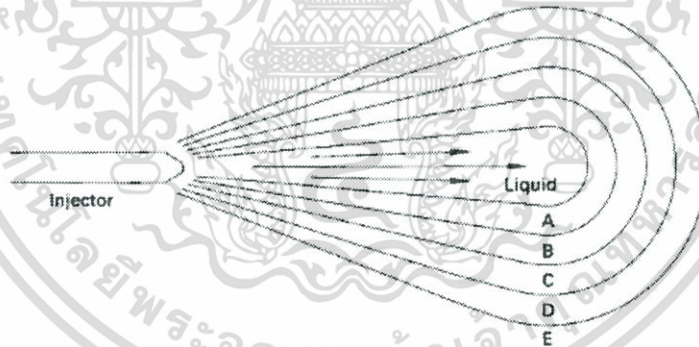
2. การระเหยเป็นไอ (Vaporization) ละอองเล็ก ๆ ของเชื้อเพลิงระเหยเป็นไอ ซึ่งเกิดขึ้น รวดเร็วมากในอากาศความร้อนสูง จากการถูกอัดด้วยความร้อนสูงของเครื่องยนต์ จุดระเบิดด้วยการ อัด กระบวนการระเหยนี้อาจเกิดขึ้นได้โดยความร้อนของอากาศที่ถูก อัดด้วยอัตราส่วนการอัดไม่ต่ำกว่า 12 : 1 ร้อยละ 90 ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าสู่ กระบอกสูบจะระเหยภายในเวลา 0.001 วินาทีหลังจาก ถูกฉีด เมื่อเชื้อเพลิงส่วนแรก ระเหยบริเวณรอบข้างจะเย็นลงจากความร้อนแฝงของการระเหยและมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบต่อ การระเหยในช่วงต่อไป บริเวณใกล้หัวฉีดซึ่งมีเชื้อเพลิงเข้มข้นอยู่และถูกลดอุณหภูมิจากการระเหยของเชื้อเพลิงส่วนแรกทำให้ละอองเชื้อเพลิงเกิดการอิมัลชันแบบอะติอาแบติก การระเหยของเชื้อเพลิงในย่านนี้จะหยุดชะงักจนกระทั่งถูกคลุกเคล้าและได้รับความ ร้อนเพิ่มขึ้น การระเหยของเชื้อเพลิงจึงจะดำเนินต่อไป

3. การผสม (Mixing) ภายหลังจากการระเหย ไอของเชื้อเพลิงจะต้องถูกผสมกับอากาศก่อนเพื่อให้ได้ไอดีที่มีความเข้มข้นในระดับที่เกิดการสันดาปได้ การผสมนี้เกิดขึ้นได้จากความเร็วของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีด รวมทั้งการหมุนควงและการไหลอย่างปั่นป่วนของ อากาศภายในกระบอกสูบ ภาพประกอบ 2-2 แสดงการแผ่กระจายของไอดีความ เข้มต่าง ๆ กัน รอบลำเชื้อเพลิงเหลวที่ออกจากหัวฉีด การสันดาปจะเกิดขึ้นได้ในย่านความเข้มข้นของไอดีระหว่าง $\phi = 1.8$ (เข้ม) และ $\phi = 0.8$ (จาง)

4. การลุกไหม้ (Self-ignition) ประมาณ 8 องศา ก่อนศูนย์ตายบน หรือ 6-8 องศาหลังจากการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง ส่วนผสมของอากาศ-เชื้อเพลิงจะเริ่มลุกไหม้ขึ้นการสันดาปที่แท้ จริงจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาขั้นที่สอง ซึ่งรวมไปถึงการแตกตัวของโมเลกุลขนาดใหญ่ ของไฮโดรคาร์บอนกลายเป็นโมเลกุลขนาดเล็กและโดยการออกซิเดชันบางส่วนด้วย ปฏิกิริยานี้ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น และกระจายความร้อนออกโดยรอบทำให้ อากาศบริเวณใกล้เคียงมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และทำให้กระบวนการสันดาปเกิดขึ้น อย่างต่อเนื่องในที่สุด

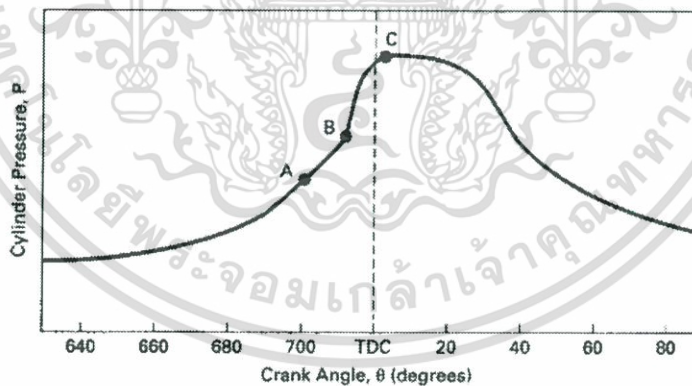


รูปที่ 2-2 ภาพวาดแสดงย่านต่าง ๆ ของไอเชื้อเพลิง รอบลำเชื้อเพลิงเหลวซึ่งอยู่ส่วนในสุด (A) เข้มจนไม่สามารถ ลุกไหม้ได้ (B) เข้มลุกไหม้ได้ (C) stoichiometric (D) จางลุกไหม้ได้ และ (E) จางจนไม่สามารถ ลุกไหม้ได้ การลุกไหม้เริ่มต้นในโซนBส่วนผงเขม่าจากคาร์บอน เกิดในโซน A และ B [2]

5. การสันดาป (Combustion) การสันดาปเกิดขึ้นจากการลุกไหม้พร้อม ๆ กันหลายตำแหน่ง ในบริเวณที่ไอดีค่อนข้างเข้ม คือช่วงที่มีความเข้มข้น $\phi = 1-1.5$ (โซน B ในภาพประกอบ 2-2) ในช่วงเวลานี้ เชื้อเพลิงประมาณ 70% ถึง 95% ในห้องเผาไหม้อยู่ในสภาพที่ เป็นไอ เมื่อการสันดาปเริ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลวไฟจากหลายจุดที่เกิดการลุกไหม้จะแผ่กระจายไป อย่างรวดเร็ว และเผาไหม้ไอดีที่มีความเข้มข้นเหมาะสมแก่การเกิดการสันดาปโดยไม่ต้องอาศัยให้เกิดการลุกไหม้ขึ้นเองอุณหภูมิและความดันในกระบอกสูบในช่วงนี้จึงสูงขึ้นมาก ดังรูปที่ 2-3 อุณหภูมิและความดันที่สูงขึ้นนี้จะลดช่วงเวลาของการระเหยลง รวมทั้งช่วงล่าของการลุกไหม้ของละอองเชื้อเพลิงส่วนที่เหลือทำให้เกิดตำแหน่งที่ เชื้อเพลิงลุกไหม้เพิ่มขึ้นอีกและช่วยเร่งกระบวนการสันดาปขึ้น เชื้อเพลิงเหลวยังคง ถูกฉีดออกจากหัวฉีดในช่วงที่เชื้อเพลิงส่วนแรกลุกไหม้แล้ว หลังจากช่วงแรกของการ สันดาปซึ่งไอดีในส่วนผสมที่เหมาะสมแก่การสันดาปลุกไหม้หมดแล้วส่วนที่เหลือของกระบวนการสันดาปจะขึ้นอยู่กับอัตราที่เชื้อเพลิงถูกฉีดกระจายเป็นฝอยระเหยและผสม กับอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม อัตราการสันดาปซึ่งควบคุมโดยอัตราการฉีด เชื้อเพลิง ทำให้ความดันเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ต่อจากช่วงเริ่มต้นที่ความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดัง แสดงในรูปที่ 2-3 การสันดาปเกิดขึ้นในระยะการหมุนของเพลาคือเหวี่ยง ประมาณ 40 องศา ถึง 50 องศา ซึ่งนับว่านานกว่าช่วงฉีดเชื้อเพลิงซึ่งเป็นเวลาเพียง 20 องศาเท่านั้น ทั้งนี้เพราะเชื้อเพลิงบางส่วนต้องใช้เวลานานในการผสมกับอากาศเพื่อให้ได้ไอดีที่เหมาะสมแก่การสันดาป การสันดาปจึงกินเวลามาถึงจังหวะกำลัง ดังจะเห็น ได้ในรูปที่ 2-3 ซึ่งความดันสูงมาก จนกระทั่งลูกสูบอยู่ที่ 30 องศา ถึง 40 องศา หลังศูนย์ตายบน ประมาณ 60% ของเชื้อเพลิง จะถูกเผาไหม้ในช่วง 1 ใน 3 แรกของช่วงเวลาที่เกิดการสันดาปทั้งหมด อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นตามความเร็วของเครื่องยนต์ ดังนั้นมุมของเพลาคือเหวี่ยงในช่วงที่เกิดการเผาไหม้จึงค่อนข้างคงที่ 4 ช่วงหลังของกระบวนการสันดาป ประมาณ 10% ถึง 35% ของไอเชื้อเพลิง จะ ความเข้มข้นเหมาะสมแก่การสันดาป



รูปที่ 2-3 กราฟความดันในกระบอกสูบ บนมุมเพลาคือเหวี่ยง ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดจุด A คือจุดเริ่มฉีดเชื้อเพลิง จาก A ถึง B คือช่วง ignition delay จุด C คือ จุดสิ้นสุด การฉีดเชื้อเพลิง หากเชื้อเพลิงมีค่าซีเทนต่ำจุด B จะเลื่อนไปทางขวา เชื้อเพลิงจำนวนมาก เกินไปจะลุกไหม้พร้อมกัน ความดันหลังจุด B จะเพิ่มขึ้นในอัตราสูงมาก ทำให้เครื่องยนต์ ทำงานอย่างหยาบ และเสียงดังขึ้น [2]

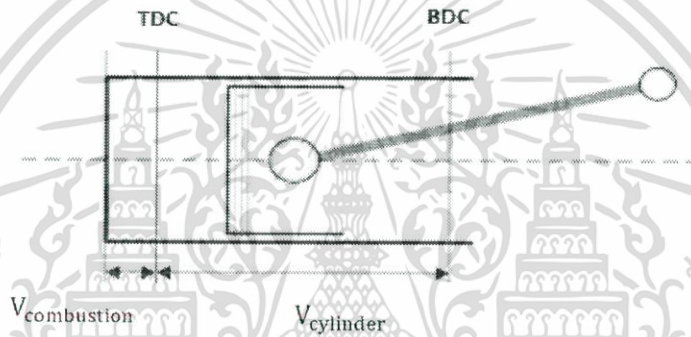
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 Compression and A/F Ratio

อัตราส่วนกำลังอัด (Compression Ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรความจุของกระบอกสูบกับปริมาตรในกระบอกสูบในขณะที่ลูกสูบอยู่ศูนย์ตายบนเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนกำลังอัดเท่ากับ 10 ก็คือเครื่องยนต์ที่ลูกสูบสามารถบีบส่วนผสมในห้องเผาไหม้ให้เหลือเพียง 1 ใน 10 ของปริมาตรความจุนั้นเอง สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.1

$$r_c = \frac{V_{\text{combustion}} + V_{\text{cylinder}}}{V_{\text{combustion}}}$$

(2.1)



รูปที่ 2-4 ตำแหน่งของลูกสูบระหว่างการเคลื่อนที่ TDC และ BDC อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AF-Ratio) เป็นตัวแปรในการกำหนดสัดส่วนหรือความเข้มของไอดี สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.2[2]

$$AF = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$$

(2.2)

โดย : \dot{m}_a = มวลของอากาศ

\dot{m}_a = อัตราไหลของมวลอากาศ

\dot{m}_f = มวลของเชื้อเพลิง

\dot{m}_f = อัตราไหลของมวลเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในอุดมคติ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล จะมีค่า AF Ratio ในช่วง 18 ถึง 70 ซึ่งดูเหมือนจะจางจนไม่น่าจะ เกิดการลุกไหม้ได้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะไอติของเครื่องยนต์ดีเซลมิได้มีความเข้มข้นกระจายสม่ำเสมอ (homogeneous) เช่น ของเครื่องยนต์เบนซิน จึงอาศัยการลุกไหม้เริ่มต้นในบริเวณที่ ความเข้มข้นเหมาะสม จากนั้นจึงลามไปเผาไหม้ส่วนอื่นทั้งห้องเผาไหม้

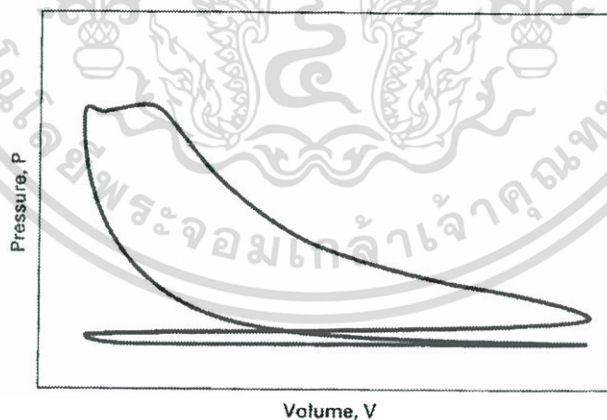
เราใช้อัตราส่วนสมมูลย์ (equivalence ratio, ϕ) ในการเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศของเครื่องยนต์ (actual) กับอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศสมมูลย์ (stoichiometric) ดังสมการ 2.3

$$\phi = \frac{(AF)_{act}}{(AF)_{stoich}}$$

(2.3)

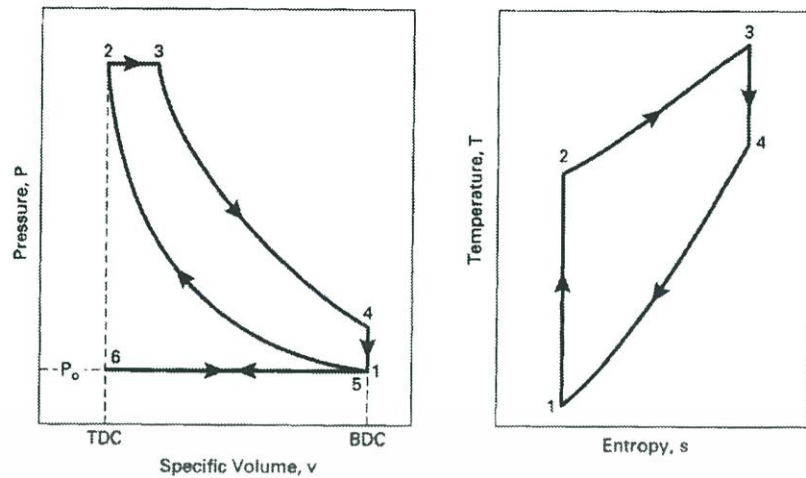
2.2.4 อุณหพลศาสตร์วัฏจักรดีเซล

ในเครื่องยนต์ดีเซลยุคเก่า เชื้อเพลิงจะถูกฉีดล่าช้ามาก คือในช่วงสุดท้ายของจังหวะอัด ดังจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 2-5 จากการที่ต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการฉีดเชื้อเพลิงและการลุกไหม้ที่เกิดขึ้นค่อนข้างล่าช้า ทำให้การเผาไหม้ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นในจังหวะทำงาน และตำแหน่งความดันสูงสุดอยู่เลยศูนย์ตายบนไปเล็กน้อย จึงเหมาะที่จะอนุโลมให้การสันดาปของเครื่องยนต์แบบนี้ เป็นการรับพลังงานความร้อนแบบความดันคงที่ในวัฏจักรอากาศมาตรฐานตามวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซลในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-5 กราฟ P-V ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 4 จังหวะ ยุคเก่า[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-6 กราฟวัฏจักรดีเซลอากาศมาตรฐาน[2]

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.4

$$(\eta_t)_{\text{DIESEL}} = 1 - [(T_4 - T_1) / k(T_3 - T_2)] \quad (2.4)$$

2.3 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนในเครื่องยนต์ดีเซลมีความสำคัญมากเพราะก๊าซในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดที่สูงและยังมีความแตกต่างในการถ่ายเทความร้อน หากความร้อนที่เกิดขึ้นแล้วปราศจากการระบายความร้อนอาจทำให้เกิดการหลอมละลายของ cast iron, steel และ aluminum alloys ซึ่งเปลวไฟในเครื่องยนต์แบบอัดที่อุณหภูมิสูงถึง 2500 K จึงให้ความสำคัญกับการระบายความร้อนที่ หัวลูกสูบ ลูกสูบ กระบอกสูบ และ วาล์ว [7]

ค่าการถ่ายเทความร้อนที่หัวลูกสูบในขณะการเผาไหม้วัดได้ประมาณ 10 MW/m² แต่ค่าการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลูกสูบ ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนสามารถนำไปสู่การศึกษาความเค้นที่เกิดจากความร้อนสูงและในที่สุดคือการเสียหายจากความร้อน กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์จะลดลงถ้าการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นด้วย เพราะ อุณหภูมิและความดันของก๊าซจะลดลงแล้วจะทำให้งานที่ได้ลดลงไปด้วย(Heywood, 1988).

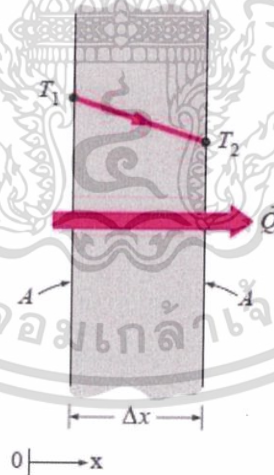
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทพลังงานจากอนุภาคของสสารหนึ่งที่มีพลังงานสูงกว่าสู่อุณหภูมิที่มีพลังงานน้อยกว่าซึ่งเป็นผลลัพธ์ของปฏิกิริยาระหว่างอนุภาค การนำความร้อนสามารถผ่านของแข็ง ของเหลวและก๊าซได้ โดยในก๊าซและของเหลว นำความร้อนด้วยการชนและการแพร่ของโมเลกุล ที่จะเคลื่อนที่แบบสุ่ม (random motion) ส่วนในของแข็งใช้การสั่นสะเทือน (Vibration) ของโมเลกุลจากการชนกันและถ่ายเทพลังงานโดย free electron อัตราการนำความร้อนผ่านตัวกลาง ขึ้นอยู่กับสมบัติทางเรขาคณิตของตัวกลาง คือ ความหนา(L) ชนิดของวัสดุตัวกลางเพื่อบ่งบอกค่า thermal conductivity(K) และความต่างของอุณหภูมิ(T_1-T_2) ซึ่ง ดังรูปที่ 2-7 แสดงการนำความร้อนผ่าน ผนังกว้างที่มีความหนา Δx และ พื้นที่ A และสามารถเขียนในรูปแบบสมการ คือ

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{kA(T_1 - T_2)}{\Delta x} = \frac{-kA\Delta T}{\Delta x} \quad (W) \quad (2.5)$$

เมื่อ k คือ thermal conductivity



รูปที่ 2-7 แสดงการนำความร้อนผ่าน ผนังกว้างที่มีความหนา Δx และ พื้นที่ A [7]

และเมื่อให้ $\Delta x \rightarrow 0$ จะได้สมการ Fourier's law of heat conduction คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{-kA\Delta T}{dx} \quad (W) \quad (2.6)$$

Thermal conductivity คือ ค่าความสามารถของวัสดุที่วัสดุยอมให้ความร้อนไหลผ่าน ซึ่งหากวัสดุมีค่า Thermal conductivity สูง จะเรียกว่า ตัวนำความร้อน (a good heat conductor) แต่ถ้าวัดมีค่า Thermal conductivity น้อยหรือต่ำ จะเรียกว่า ฉนวน(insulator) โดย Thermal conductivity ดังภาพที่ 2-7 แสดงค่า k ของของแข็ง ของเหลว และก๊าซที่ขึ้นกับอุณหภูมิ และสามารถหาได้จากสมการ [7]

$$k = \frac{\dot{Q}_{cond}\Delta x}{A\Delta T} \quad (W/m\cdot K) \quad (2.7)$$

Thermal Diffusivity (α) คือค่าการแพร่ความร้อน เป็นค่าที่แสดงถึงการนำความร้อนชั่วขณะหนึ่ง (Transient heat conduction) ว่าสามารถแพร่ได้เร็วและสามารถหาได้จากสมการ [7]

$$\alpha = \frac{\text{Heat conduction}}{\text{Heat storage}} = \frac{k}{\rho c_p} \quad (m^2/s) \quad (2.8)$$

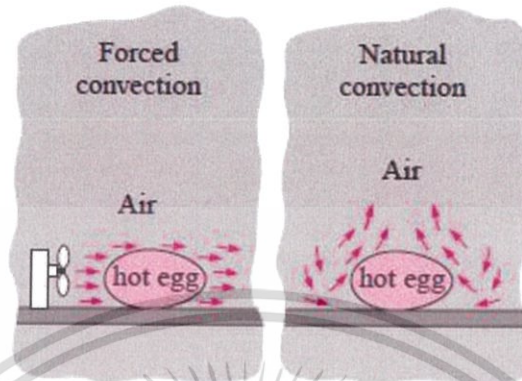
โดย ρc_p คือ Heat capacity ($J/m^3 \cdot K$)

2.3.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อน คือการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของของแข็งกับของไหลที่เคลื่อนที่ โดยการพาความร้อนมี 2 แบบ คือการพาแบบมีแรงภายนอก เช่น พัดลม บัม หรือลมช่วยทำให้ของไหลไหล กับ การพาความร้อนแบบธรรมชาติ คือการไหลของของไหลเกิดขึ้นจากตัวเองหรือธรรมชาติ ในเครื่องยนต์มีการพาความร้อนในขณะมีการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ การเคลื่อนที่ของเชื้อเพลิงและในห้องเผาไหม้ โดยก๊าซจะถ่ายเทความร้อนสู่หัวลูกสูบ ผนัง วาล์ว และกระบอกสูบ การถ่ายเทความร้อนของของไหลที่กำลังเคลื่อนที่และผิวของของแข็งขึ้นอยู่กับความต่างของอุณหภูมิ ($T-T_s$) และ heat transfer coefficient (h_c) ในการไหลแบบคงที่โดยแรงภายนอก เขียนในสมการ Newton's law of cooling [7] และภาพที่ 2-8 แสดงการลดความร้อนของไซโดยมีแรงภายนอกและแบบธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{Q}_{conv} = -hA_s(T - T_s) \quad (W) \quad (2.9)$$



รูปที่ 2-8 แสดงการลดความร้อนของไข่โดยมีแรงภายนอกและแบบธรรมชาติ [7]



รูปที่ 2-9 แสดงค่า k ของของแข็ง ของเหลว และก๊าซที่ขึ้นกับอุณหภูมิ [7]

2.3.3 การแผ่ความร้อน (Radiation)

การแผ่ความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลาง โดยที่ได้อุณหภูมิที่แตกต่างกันย่อมมีการแผ่ความร้อนเสมอ เรียกว่า Thermal radiation มี 2 แบบ absorbs และ emits Thermal radiation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น อากาศและvacuum เป็นแบบ absorbs แต่ ของเสียเช่น CO เป็นทั้ง absorbs และ emits Thermal radiation โดย อัตราการแผ่ความร้อนสูงสุดที่แผ่ออกมาจากผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิ(T_s)สูงกว่าภายนอก(T_{surr}) ของ black body โดยสมการของ Stefan-Boltzmann law [7]

$$\dot{Q}_{emit,max} = -\sigma A_s T_s^4 \quad (W) \quad (2.10)$$

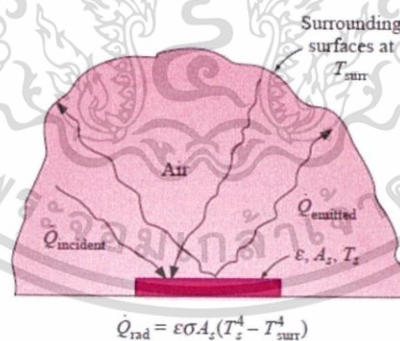
โดย σ คือ Stefan-Boltzmann constant

โดยอัตราการแผ่ความร้อนของวัตถุต่าง ๆ เมื่อเทียบกับ black body

$$\dot{Q}_{emit} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (W) \quad (2.11)$$

และการแผ่ความร้อนสู่บริเวณรอบ ๆ ที่มีขอบเขต ดังภาพที่ แสดงการแผ่ความร้อนระหว่างผิวและพื้นที่รอบ ๆ และ ใช้สมการ [7]

$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{surr}^4) \quad (W) \quad (2.12)$$

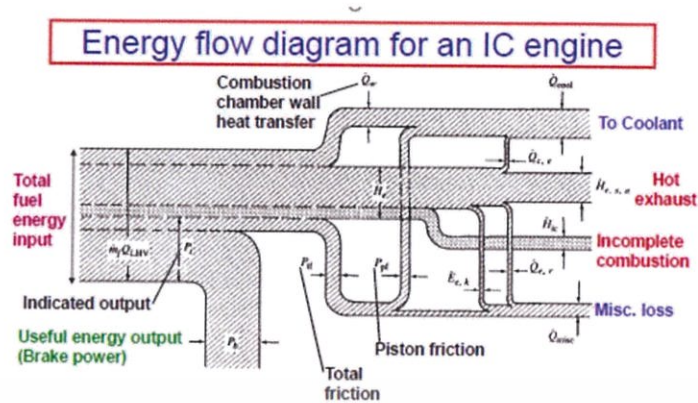


รูปที่ 2-10 แสดงการแผ่ความร้อนระหว่างผิวและพื้นที่รอบ ๆ [7]

2.3.4 Heat loss

โดยทั่วไปแล้วความร้อนที่สูญเสียไปมีมากถึง 50-70% ของพลังงานที่ได้จากการสันดาป ดังนั้นการลดการสูญเสียได้ จะทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังรูปที่ 2-11 แสดงการไหลของพลังงานที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซล ว่าส่วนใหญ่เสียไปกับความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-11 แสดงการไหลของพลังงานที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซล [7]

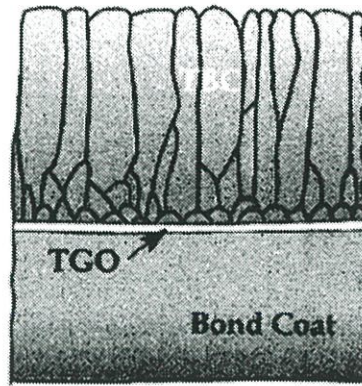
2.3.5 Heat transfer-Combustion Chamber wall

มีหลากหลายทฤษฎีที่ศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของห้องเผาไหม้ เพื่อให้ง่ายแก่การมองขอใช้รูปแบบจำลองของการถ่ายเทความร้อนของ Wang & Berry (1985) ที่ได้สร้างแบบจำลองพื้นฐานของ heat flux ที่สภาวะการถ่ายเทความร้อนคงที่ผ่าน ลูกสูบ ผนัง และ ระบบทำความเย็น โดยภาพที่ จะอธิบายการการถ่ายเทในเครื่องยนต์ดีเซลกับความต่างของวัสดุและในกระบอกสูบ

2.4 Thermal Barrier Coating (TBC)

ในวิจัยนี้จะทดสอบการสร้างชั้นกันความร้อนพิเศษ (special insulation system) หรือเรียกอีกชื่อว่า Thermal Barrier Coating (TBC) เป็นวิธีการลดการถ่ายเทความร้อนออกจากห้องเผาไหม้ TBC เป็นกระบวนการทางวัสดุ ส่วนใหญ่จะใช้กับวัสดุจำพวกโลหะ เพื่อให้โลหะสามารถใช้งานในสภาวะที่มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นได้ โดยวิธีนี้ถูกใช้มากมาย ทั้งใน gas turbine หรือ ในอุตสาหกรรมยานยนต์ TBC ไม่เพียงถูกใช้เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนแต่ยังสามารถป้องกันวัสดุจากความเค้นทางความร้อนได้อีกด้วย จากรูปที่ 2-12 จะเห็นได้ว่า TBC มีองค์ประกอบด้วยกัน 3 ชั้น ชั้นนอกสุด (TBC) คือชั้นที่ต้องเผชิญกับที่อุณหภูมิสูงจากการเผาไหม้ทำให้ชั้นนี้มีหน้าที่ป้องกันการถ่ายความร้อน โดยหากมีค่า thermal conductivity ต่ำก็สามารถป้องกันการถ่ายเทได้ดี โดยในวิจัยนี้จะใช้สาร Yttrium oxide เป็นสารตั้งต้นเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนนี้ ชั้นในสุด (bond coat) คือชั้นที่เคลือบวัสดุไว้มีหน้าที่ลดการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูง และระหว่าง TBC และ bond coat จะมีชั้นที่เรียกว่า Thermal grow oxide (TGO) TGO คือชั้นที่เกิดจากการเกิดออกซิเดชันอย่างช้าๆของ bond coat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-12 Structure of the TBC[5]

มีการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของห้องเผาไหม้ที่มีการ coating โดยสังเกตจากอุณหภูมิของผนังภายในห้องเผาไหม้ เปรียบเทียบกัน 3 กรณี 1.ไม่มีการ coating 2.coating ผนังด้วยวัสดุที่มีค่า thermal conductivity ต่ำแต่มีค่าheat capacity ใกล้เคียงกับวัสดุเดิม 3.coating ผนังด้วยวัสดุที่มีทั้งค่า thermal conductivityและ heat capacity ต่ำ ผลคือผนังมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่างจากอุณหภูมิของ gas มากที่สุดนั่นคิดได้ว่ามี heat loss มากที่สุด ในกรณีที่2 coating ผนังด้วยวัสดุที่มีค่า thermal conductivity ต่ำแต่มีค่า heat capacity ใกล้เคียงกับวัสดุเดิม มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าแบบไม่ coating แต่เมื่ออุณหภูมิของผนังห้องเผาไหม้สูงขึ้นทำให้ปริมาตรของอากาศในห้องเผาไหม้จะลดลง และในกรณีที่ 3 coating ผนังด้วยวัสดุที่มีทั้งค่า thermal conductivityและ heat capacity เมื่อดูผลของอุณหภูมิของผนังของห้องเผาไหม้ จะได้กราฟใกล้เคียงกับ gas ในห้องเผาไหม้ เรียกทฤษฎีที่coating นี้ว่า Swing Temperature และอุณหภูมิของผนังนั้นสามารถระบายได้ด้วยการคายไอเสีย จึงไม่มีผลต่อ volumetric efficiency

2.5 คุณสมบัติของสารเคลือบผิว

2.5.1 Yttrium oxide – stabilized Zirconium (YSZ) [8]

ในกระบวนการ TBCs เพื่อให้ความเป็นฉนวนแก๊สโลหะในเครื่องยนต์ มีผลโดยตรงทำให้ gas ให้ห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งสาร Yttrium oxide – stabilized ZrO_2 เป็นโลหะประเภท ceramic ซึ่งมีคุณสมบัติ low thermal conductivity มีจุดหลอมเหลวสูง ต้านทานการถูกเผาได้ดี และมีอายุการใช้งานยาวนานจากการทดลอง จึงเหมาะแก่การนำมาเป็นฉนวนกันความร้อน

2.5.2 Aluminium Titanium oxide ($Al_2O_3 - TiO_2$) [10]

จากความร้อนของ gas ที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการ oxidation ของชั้น bond coat ซึ่งเป็นสาเหตุTGO แล้วทำให้อาจเกิดอันตรายของเครื่องยนต์จากความเสียหายของ TBCs จึงมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องคำนึงถึงความซับซ้อน ความสัมพันธ์กันระหว่างวัสดุด้วย จึงได้มีการใช้ Al_2O_3 ซึ่งมีคุณสมบัติ Oxidation resistant ผสมลงไปใน TBCs หรือ bond coat เพื่อลดการเกิด Oxidation[4] ทำให้อายุการใช้งานของ TBCs ดีขึ้น นอกจากนี้ปัญหาข้างต้นแล้วการสึกหรอหรืออายุการใช้งานของชั้นผิวเคลือบก็เป็นสิ่งสำคัญ TiO_2 เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่สามารถยึดเกาะ และเคลือบติดผิวได้ง่าย มีความทนทานต่อการกัดกร่อน จึงเป็นส่วนผสมที่สำคัญอย่างหนึ่ง

2.5.3 Magnesium Zirconate ($MgO-ZrO_2$) [3]

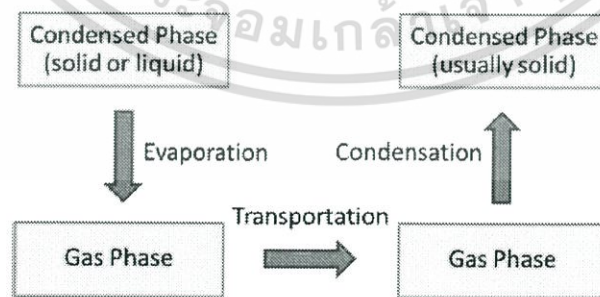
เป็นที่นิยมใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำฉนวนกันความร้อนของโครงสร้างของวัสดุ มีคุณสมบัติหลากหลาย ทั้งกันไฟ กันความชื้น มีความแข็งแรง และที่สำคัญกับงานวิจัยนี้คือ MgO ได้แสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของขอบเกรนในเซรามิกและสามารถปรับปรุงความเหนียวที่มีผลต่อการแตกหักของเซรามิกได้ดีโดยการเปลี่ยนกลไกการเติบโตของรอยแตกที่ระดับนาโน

2.6 เทคนิคการเคลือบ

2.6.1 การตกเคลือบด้วยไอทางกายภาพ (Physical Vapor Deposition, PVD)

PVD เป็นเทคนิคการสร้างฟิล์มบางที่ใช้กลไกทางกายภาพ เช่น สเปตเตอริง (sputtering) และการระเหย (evaporation) เพื่อให้สารตั้งต้นกลายเป็นไอ จากนั้นไอ (ซึ่งเป็นได้ทั้งอะตอมหรือไอออน) ที่เกิดขึ้นจะตกเคลือบบนสับสเตรทหรือชิ้นงาน

ปัจจุบันมีการใช้เทคนิค PVD อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมการเคลือบกระจกอุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพราะมีจุดเด่นที่กระบวนการเคลือบใช้ความร้อนต่ำ ใช้แก๊สที่ไม่เป็นพิษ และไม่ซับซ้อน



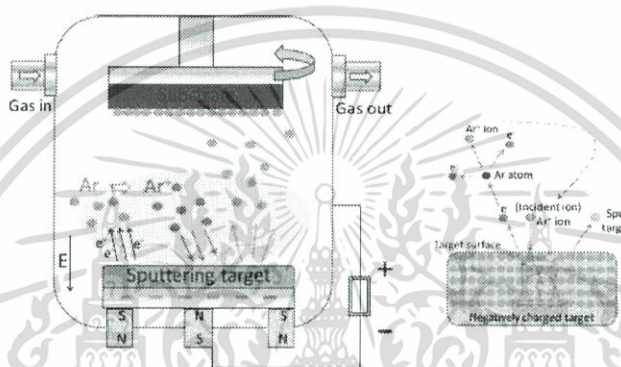
รูปที่ 2-13 แผนภาพกระบวนการสร้างฟิล์มบางด้วยไอทางกายภาพ[13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ทำให้เกิดไอทางกายภาพแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. วิธีการสปัตเตอริง (Sputtering PVD)

เป็นกระบวนการที่ทำให้อะตอมของสารตั้งต้น (sputtering target) หลุดออก โดยทำให้ก๊าซเฉื่อยที่ป้อนเข้ามาบริเวณผิวหน้าของสารตั้งต้นเกิดสภาวะพลาสมาและไอออนของก๊าซเฉื่อยที่เกิดขึ้นจะเข้าชนผิวของสารตั้งต้นให้หลุดออกอย่างต่อเนื่องเกิดเป็นไอของสารตั้งต้น และเคลื่อนที่ไปเรียงตัวที่ผิวของสับสเตรท

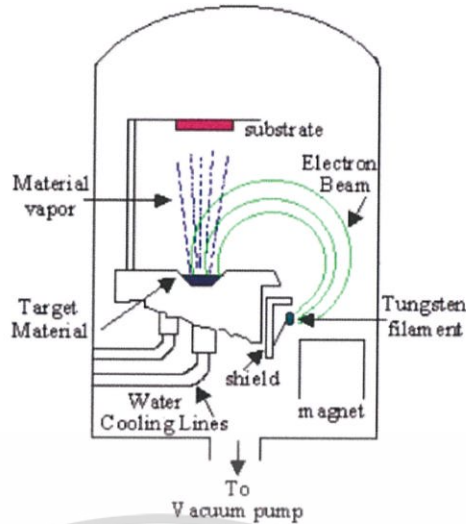


รูปที่ 2-14 กระบวนการเคลือบฟิล์มบางแบบ PVD Magnetic Sputtering[13]

2. วิธีการระเหยสาร (Evaporative PVD)

เป็นกระบวนการที่ทำให้สารตั้งต้นระเหยกลายเป็นไอ โดยให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น ใช้ไฟฟ้า ใช้ลำอิเล็กตรอน (E-Beam) และแคโทดิกอาร์ค (cathodic arc) เป็นต้น ไอของสารตั้งต้นจะพุ่งกระจายไปกระทบสับสเตรทแล้วเกิดการควบแน่น เกาะพอกเป็นชั้นเคลือบ ลักษณะคล้ายกับวิธีการสปัตเตอริง

ไอของสารตั้งต้นที่ได้จากกระบวนการสปัตเตอริงจะมีพลังงานสูงกว่าการระเหยสารมากจึงสามารถฝังในเนื้อสับสเตรทได้ดี ทำให้การยึดติดของฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอริงดีกว่าวิธีการระเหยสารมาก หากแรงยึดติดของฟิล์มบางกับสับสเตรทต่ำจะทำให้ฟิล์มบางหลุดออกง่าย



รูปที่ 2-15 กระบวนการเคลือบฟิล์มบางแบบ PVD E-beam evaporation[13]

2.6.2 การตกเคลือบด้วยไอเคมี (Chemical Vapor Deposition, CVD)

CVD เป็นเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางประเภทหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ สารกึ่งตัวนำ และอุปกรณ์ระบบเครื่องกลและไฟฟ้าจุลภาค (Microelectromechanical system, MEMS) ในชั้นส่วนขนาดจุลภาคเหล่านี้จะประกอบด้วยชั้นฟิล์มบางของโลหะ สารกึ่งตัวนำ และฉนวนไฟฟ้าซ้อนเรียงกันเพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการรูปที่ 2-16 แสดงตัวอย่างองค์ประกอบของชิปวงจรรวม (Integrated Circuit: IC) ที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชั้นและแต่ละชั้นมีความหนาในระดับไมโครเมตร นอกจากจะมีการใช้เทคนิค CVD ในงานอิเล็กทรอนิกส์แล้ว ยังนำมาใช้สร้างผิวเคลือบแข็งบนชิ้นส่วนจักรกลและแม่พิมพ์เพื่อลดการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานชิ้นส่วนเหล่านั้นอีกด้วย

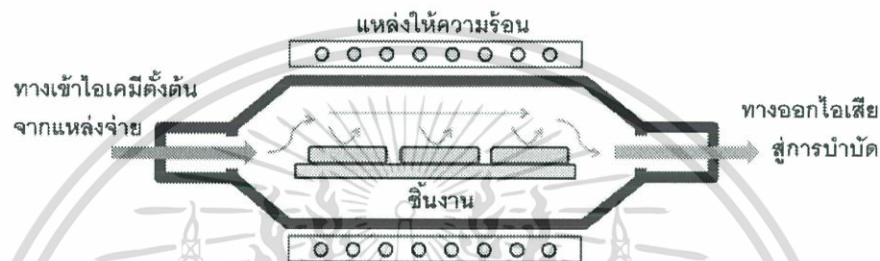
สาเหตุที่เทคนิคนี้มีชื่อว่า การตกเคลือบด้วยไอเคมี (CVD) มาจากหลักการพื้นฐานของเทคนิคการเคลือบซึ่งต้องอาศัยปฏิกิริยาเคมีในการสังเคราะห์สารเคลือบที่อยู่ในสถานะของแข็งจากสารตั้งต้นที่อยู่ในสถานะไอ ทั้งนี้สารเคลือบที่ได้เป็นผลลัพธ์จากการทำปฏิกิริยากันระหว่างไอเคมีตั้งต้นกับพื้นผิวที่ต้องการเคลือบโดยตรง หรืออาจเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไอเคมีมากกว่าหนึ่งชนิดที่อยู่เหนือพื้นผิวแล้วเกิดเป็นสารเคลือบบนพื้นผิวที่ต้องการก็ได้ การได้สารเคลือบที่ต้องการต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในการออกแบบปฏิกิริยาเคมีเป็นอย่างดี

โดยทั่วไปกระบวนการเคลือบ CVD เริ่มต้นจากการนำชิ้นงานที่ต้องการเคลือบใส่เข้าไปในตู้เคลือบที่เป็นระบบปิดเพื่อป้องกันการรั่วไหลของไอเคมี และลดการปนเปื้อนจากอากาศภายนอก จากนั้นจึงปั๊มอากาศภายในตู้ ออก แล้วจ่ายไอเคมีเข้าสู่ตู้เคลือบจนถึงความดันที่ต้องการ ไขว่กันก็ให้ความร้อนภายในตู้เคลือบในระดับที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีการสังเคราะห์สารเคลือบ ไอเสียที่เกิดจากกระบวนการจะถูกดูดออก รูปที่ 2-16 แสดงแผนผังอย่างง่ายของระบบ CVD ซึ่งอาศัยความร้อน เนื่องจากไอเคมีตั้งต้นที่ใช้จะแพร่กระจายและเติมเต็มช่องว่างที่อยู่ในตู้เคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมถึงขอกหลีบต่าง ๆ บนผิวชิ้นงาน ส่งผลให้การเคลือบบนผิวเกิดได้อย่างทั่วถึงและมีความสม่ำเสมอสูง ถือว่าเป็นจุดเด่นของการเคลือบ CVD และส่งผลให้เทคนิคนี้เป็นตัวเลือกหลักในการเคลือบฟิล์มบางบนชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน

อย่างไรก็ดีการเคลือบ CVD มีข้อด้อยที่ไอเคมีที่เข้มข้นมีความอันตรายและเป็นพิษ สารเคลือบที่ได้อาจมีสารตั้งต้นเจือปนอยู่ และปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่ต้องใช้ความร้อนค่อนข้างสูง (700-1100 °C) ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเทคนิคการเคลือบ CVD ให้สามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำลงเพื่อป้องกันความเสียหายของชิ้นงานจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการ และมีการทดลองใช้สารเคมีตั้งต้นใหม่ๆ เพื่อให้ได้สารเคลือบที่มีสมบัติตามต้องการมากขึ้น



รูปที่ 2-16 แผนผังอย่างง่ายของระบบ CVD โดยอาศัยความร้อน [13]

2.6.3 การพ่นเคลือบด้วยความร้อน (Thermal spraying techniques)

คือ กระบวนการพ่นเพื่อเคลือบพื้นผิวของวัสดุใด ๆ ด้วยวัสดุร้อน หรือวัสดุหลอมเหลว หรือวัสดุกึ่งหลอมเหลว วัสดุที่เป็นวัตถุดิบของผิวเคลือบได้รับความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (ในรูปของ plasma หรือ arc) หรือการเผาไหม้ทางเคมี (combustion flame) เมื่อวัสดุดังกล่าวถูกพ่นตกกระทบลงบนพื้นผิวจะเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วเกิดเป็นผิวเคลือบ มีลักษณะเป็นแผ่นๆ ซ้อนทับกันเรียกว่า Lamellar Structure

การพ่นเคลือบด้วยความร้อนสามารถให้ความหนาของผิวเคลือบได้ตั้งแต่ประมาณ 20 ไมโครเมตร จนถึง หลายมิลลิเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการพ่นและคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้เป็นผิวเคลือบ การพ่นเคลือบด้วยความร้อนนี้สามารถเคลือบผิวที่มีขนาดใหญ่ได้ด้วยอัตราการเคลือบที่เร็วเมื่อเทียบกับวิธีการเคลือบผิวอื่น ๆ เช่น electroplating, physical and chemical vapor deposition เป็นต้น

สิ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นผิวเคลือบมีทั้ง โลหะ, โลหะผสม (alloy), เซรามิก, พลาสติก, และวัสดุผสม (composites) ซึ่งวัสดุเหล่านี้ผลิตมาในรูปของผงหรือเส้นลวด ในการพ่นเคลือบวัสดุเหล่านี้จะได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ทางเคมี หรือการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า ทำให้วัสดุอยู่ในสภาวะหลอมเหลว หรือกึ่งหลอมเหลว แล้วถูกพ่นออกไปเป็นละอองอนุภาคระดับไมโครเมตร

การวัดคุณภาพของผิวเคลือบทำได้โดยการตรวจวัดความพรุนหรือปริมาณของรูพรุนของผิวเคลือบ, ตรวจวัดปริมาณออกไซด์, ตรวจวัดความแข็งมหภาค และความแข็งจุลภาค (macro and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

micro-hardness), ตรวจวัดความแข็งแรงของการยึดเกาะ (bond strength), ตรวจวัดความหยาบของพื้นผิว เป็นต้น

ในบางครั้งกระบวนการพ่นเคลือบต้องอาศัยแขนกลเข้ามาช่วยในการยึดจับหัวพ่นพ่น เนื่องจากกระบวนการสร้างเสียงดัง และความร้อนสูง ทำให้ใช้คนถือหัวพ่นได้ไม่สะดวก อีกทั้งการใช้แขนกลยังช่วยให้การกระจายของผิวเคลือบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอกว่า

2.6.3.1 กระบวนการพ่นเคลือบพลาสมา (Plasma spray process)

ในกระบวนการพ่นเคลือบพลาสมานี้ วัสดุผิวเคลือบโดยทั่วไปอยู่ในรูปแบบผง แต่ก็จะมีบางประเภทอยู่ในรูปของเหลว หรือขดลวด ซึ่งวัสดุผิวเคลือบเหล่านี้จะถูกป้อนเข้าสู่ลำพลาสมา ที่ออกมาจากหัวพ่นพลาสมา เปลวพลาสมานี้มีอุณหภูมิสูงได้ถึง 10,000 K [9] ทำให้วัสดุผิวเคลือบหลอมละลายแล้วถูกพ่นไปยังชิ้นงานที่ต้องการให้ถูกพ่นเคลือบ หยอดของผิวเคลือบเหลวที่ตกกระทบลงบนผิววัสดุจะเกิดการยึดเกาะและแข็งตัวอย่างรวดเร็วกลายเป็นผิวเคลือบ คุณสมบัติของผิวเคลือบที่ได้เป็นผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ หลายปัจจัยที่เกิดขึ้นในกระบวนการ เช่น ชนิดของวัสดุผิวเคลือบ อัตราการไหลของแก๊สพลาสมา ปริมาณพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ระยะห่างระหว่างหัวพ่นและชิ้นงาน และอัตราการเย็นตัวของผิวเคลือบ เป็นต้น

สำหรับแก๊สที่ใช้เพื่อสร้างพลาสมานี้มีหลายชนิด เช่น อาร์กอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน หรือฮีเลียม เป็นต้น ซึ่งแก๊สแต่ละชนิดจะให้พลาสมาที่มีความสามารถในการสร้างความร้อนแตกต่างกัน



รูปที่ 2-17 แสดงกระบวนการพ่นเคลือบพลาสมา [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

3.1 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของตัวแปรที่ใช้ในการ Simulation

โดยปกติลูกสูบจะรับพลังงานความร้อนจากแก๊สร้อนในห้องเผาไหม้ ซึ่งเกิดจากส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิง โดยเงื่อนไขขอบเขตรอบ ๆ ลูกสูบจะแตกต่างกันตามส่วนต่าง ๆ ของลูกสูบ ในการคำนวณนี้ จะเป็นการคำนวณ โดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน (Convection Heat transfer) เพื่อไปใช้ในเงื่อนไขขอบเขตในการ Simulation ตารางที่ 3-1 แสดงประเภทและข้อมูลของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 3-1 แสดงข้อมูลของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการคำนวณ

Engine	KUBOTA ZT125 Pro
Type	Single cylinder, vertical four stroke cycles, water cooled diesel engine
Bore in mm	94
Stroke in mm	96
Compression ratio	18:1
Power in kW	8.09 @ 2400 rpm
Torque in Nm	46.1 @ 1600 rpm

3.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนฝั่งห้องเผาไหม้

จะใช้สมการของ Gunter F.Hohenberg ซึ่งได้พัฒนาความสัมพันธ์ของสมการสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยใช้ความเร็วของลูกสูบ มาเกี่ยวข้อง

$$h_c = 226.8P^{0.8}T^{0.4}(V_p + 1.4)0.8 \quad (3.1)$$

โดย

h_c = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

P = ความดันที่กระทำต่อลูกสูบ ในหน่วยบาร์ = 7.67 บาร์

T = อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ = 656 °C (อุณหภูมิอ้างอิง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_p = \text{ความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ} = 2 \cdot S \cdot N = 2 \cdot 0.11 \cdot 1500 / 60 = 5.5 \text{ m/s}$$

$$h_c = 356.36 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

3.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวข้างของลูกสูบกับกระบอกสูบ

รูปแบบการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวข้างของลูกสูบและกระบอกสูบจะขึ้นอยู่กับ การไหลของของไหลระหว่างผิวข้างของลูกสูบกับกระบอกสูบ ซึ่งเปรียบได้เหมือนเป็นการไหลระหว่างแผ่นขนาน 2 แผ่น ซึ่ง Reynold number จะน้อยกว่า 2000 ซึ่งก็คือเป็นการไหลแบบ Laminar การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน จึงควรใช้ Nusselt number สำหรับการไหลแบบ laminar ระหว่างแผ่นขนาน 2 แผ่น ซึ่งมีค่า เท่ากับ 8.235

$$(3.2) \quad Nu = \frac{hD_h}{k} = 8.235$$

โดย

$$D_h = \text{hydraulic diameter} = 4 \cdot b$$

$$b = \text{ช่องว่างระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ} = 0.25 \text{ mm}$$

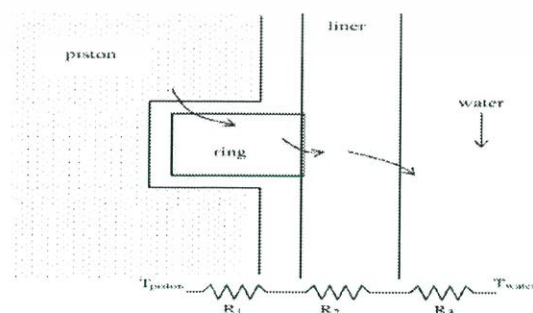
$$k = \text{ค่าการนำความร้อนของแก๊ส} = 0.184 \text{ W/mK}$$

$$h = 1515.24 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$T = \text{อุณหภูมิอ่าง} = 315 \text{ }^\circ\text{C}$$

3.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในแหวนของลูกสูบ

ใช้วิธีวงจรความต้านทานทางความร้อนในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 3-1 แสดงวงจรความต้านทานทางความร้อนของแหวนลูกสูบ[10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$$R_1 = \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) / (2\pi * L_1 * k_{ring}) \quad \text{คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของแหวนลูกสูบ}$$

(3.3)

$$R_2 = \ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right) / (2\pi * L_2 * k_{ring}) \quad \text{คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของปลอกเครื่องยนต์}$$

(3.4)

$$R_3 = 1/h_{water} A_s \quad \text{คือ ความต้านทานเชิงความร้อนของน้ำหล่อเย็น}$$

(3.5)

$$r_1 = \text{รัศมีภายในของแหวนลูกสูบ} = 47.08 \text{ mm}$$

$$r_2 = \text{รัศมีภายนอกของแหวนลูกสูบ} = 49.45 \text{ mm}$$

$$r_3 = \text{รัศมีของลูกสูบ} = 47 \text{ mm}$$

$$r_4 = \text{รัศมีภายในของเสื่อน้ำหล่อเย็น} = 50 \text{ mm}$$

$$k_{ring} = 51.97 \text{ W/mK}$$

$$L_1 \text{ และ } L_2 \text{ ความกว้างของเส้นทางการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเท่ากับ } 2.36 \text{ mm และ } 6 \text{ mm}$$

ตามลำดับ

$$h_{water} = 1283.39 \text{ W/m}^2\text{K}$$

A_s คือ พื้นที่ที่สัมผัสกับน้ำหล่อเย็น

$$A_s = 2 * \pi * \text{รัศมีกระบอกสูบ} * \text{ความสูงของกระบอกสูบ}$$

$$= 2 * \pi * 47 * 96 * 10^{-6} = 0.0314 \text{ m}^2$$

แทนค่าตัวแปรลงในสมการทั้งหมด จะได้

$$R_1 = 0.1023 \text{ W/mK}$$

$$R_2 = 0.034811 \text{ W/mK}$$

$$R_3 = 0.02285 \text{ W/mK}$$

$$\text{ดังนั้น} \quad = 0.1023 + 0.034811 + 0.02285 = 0.159961 \text{ W/mK}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสามารถหาได้ ด้วยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_{\text{eff}} = 1 / (R_{\text{total}} * A_{\text{eff}})$$

(3.6)

โดย

A_{eff} คือ ผิวของลูกสูบที่สัมผัสกับแหวนของลูกสูบ

$$\begin{aligned} A_{\text{eff}} &= 2\pi * r * (r_2 - r_1) \\ &= 2 * \pi * 8 * 10^{-3} * (49.45 - 47.08) * 10^{-3} \\ &= 6.77 * 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$h_{\text{eff}} = 1 / (R_{\text{total}} * A_{\text{eff}}) = 9046.56 \text{ W / m}^2\text{K}$$

$$T = \text{อุณหภูมิอ้างอิง} = 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนใต้ลูกสูบ

สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h = 900 * (N / 4600)^{0.35}$$

(3.7)

โดย

$$N = \text{ความเร็วรอบของเครื่องยนต์} = 1500 \text{ รอบต่อนาที}$$

$$h = 608 \text{ W / m}^2\text{K}$$

$$T = \text{อุณหภูมิอ้างอิง} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3.1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในกระโปรงลูกสูบ

สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h = 240 * (N / 4600)^{0.35}$$

(3.8)

โดย

$$N = \text{ความเร็วรอบของเครื่องยนต์} = 1500 \text{ รอบต่อนาที}$$

$$h = 162.135 \text{ W / m}^2\text{K}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = \text{อุณหภูมิอ้างอิง} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3.1.6 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอกกระโปรงลูกสูบ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$h = 90 * (N/4600)^{0.35}$$

(3.9)

โดย

$$N = \text{ความเร็วรอบของเครื่องยนต์} = 1500 \text{ รอบต่อนาที}$$

$$h = 60 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$T = \text{อุณหภูมิอ้างอิง} = 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

3.2 Simulation และวิเคราะห์ผล

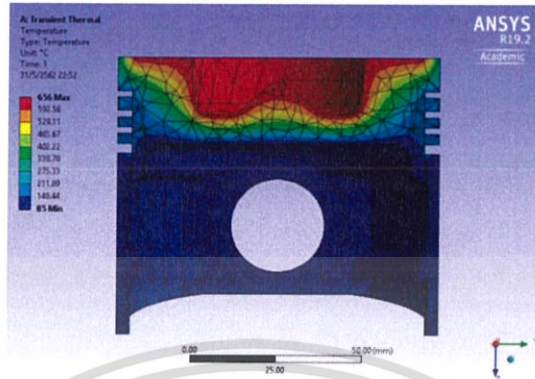
จากการคำนวณและวิเคราะห์ข้างต้นจะได้อุณหภูมิ และ Heat transfer coefficient บริเวณต่าง ๆ ของลูกสูบดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3-2 แสดงอุณหภูมิและ Heat transfer coefficient บริเวณต่าง ๆ ของลูกสูบ[10]

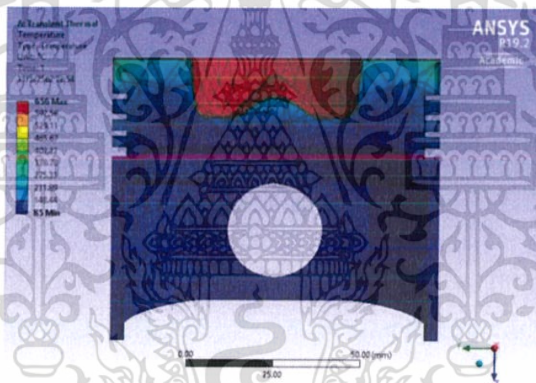
Region	Temperature (C)	Heat transfer coefficient (kW/m ² K)
Combustion chamber	656	356.36
Between piston crown and liner	315	1515.24
Rings	160	9046.56
Crown underside	100	608
Skirt underside	100	162.35
Skirt outside	85	60

จากตารางที่ 3-2 จึงนำค่าต่าง ๆ ในตารางใช้เป็นข้อมูลในการ simulation เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของการถ่ายเทอุณหภูมิภายในลูกสูบระหว่างลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิวและลูกสูบที่มีการเคลือบผิว และเปรียบเทียบความแตกต่างของ Heat Flux ของลูกสูบระหว่างลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิวและลูกสูบที่มีการเคลือบผิว ได้ผลดังนี้

รูปแสดงผลการ Simulation



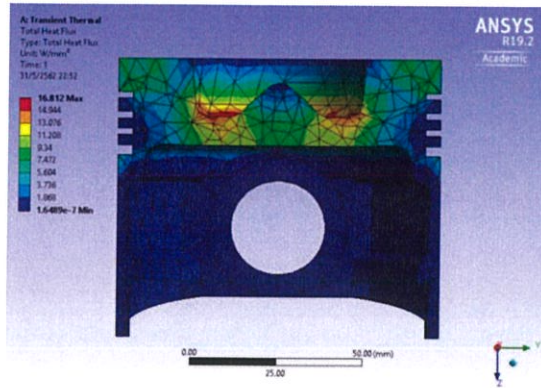
รูปที่ 3-2 แสดงการถ่ายเทความร้อนของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว



รูปที่ 3-3 แสดงการถ่ายเทความร้อนของลูกสูบที่มีการเคลือบผิวหนา 500µm

จากรูปที่ 3-2 และ รูปที่ 3-3 พื้นที่สีแดงคือ อุณหภูมิสูงสุด และพื้นที่สีน้ำเงิน คือ อุณหภูมิต่ำสุดจะสังเกตเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนว่าลูกสูบที่มีการเคลือบผิวพื้นที่สีแดงจะอยู่เฉพาะบริเวณหัวลูกสูบ แสดงให้เห็นว่าการเคลือบผิวสามารถลดการถ่ายเทอุณหภูมิได้เป็นอย่างดี และพบว่าความร้อนที่สูงที่สุดของลูกสูบที่มีการเคลือบผิวจะอยู่บริเวณหัวลูกสูบเป็นส่วนใหญ่ทำให้ส่งผลต่ออุณหภูมิในห้องเผาไหม้ และการระเหยเป็นไอของน้ำมันจะดีขึ้นขณะกระทบผิวหัวลูกสูบทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้สมบูรณ์ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

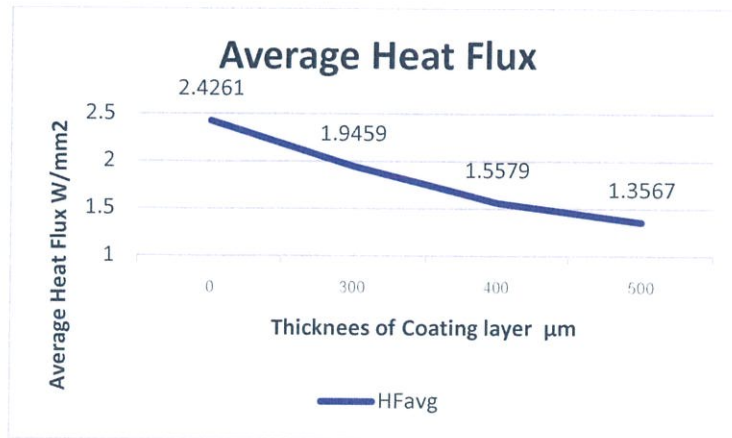


รูปที่ 3-4 แสดง Heat flux ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว



รูปที่ 3-5 แสดง Heat flux ของลูกสูบที่มีการเคลือบผิวหนา 500µm

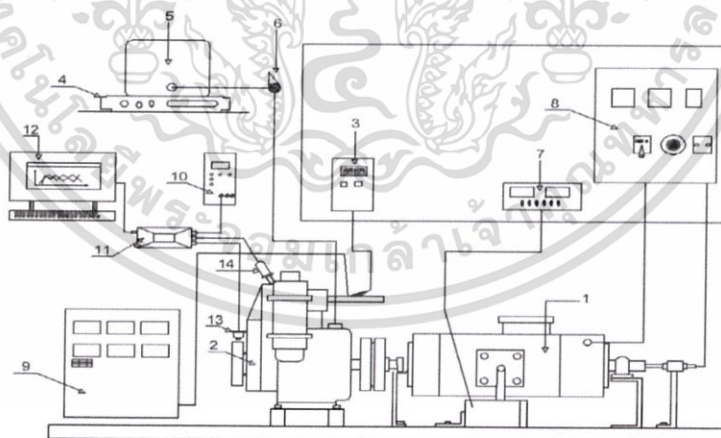
จากรูปที่ 3-4 และ รูปที่ 3-5 แสดงให้เห็นความแตกต่างของ Heat flux ระหว่างลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิวกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว Heat flux เป็นตัวที่แสดงการสูญเสียความร้อน หากลดการสูญเสียความร้อนในส่วนนี้ได้เราจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้ ซึ่งค่า Heat flux ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $2.43 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ ส่วนลูกสูบที่มีการเคลือบผิวหนา 500µm มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1.36 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ เห็นได้ชัดว่าลูกสูบที่มีการเคลือบผิวค่า Heat flux เฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว แสดงให้เห็นว่าลูกสูบที่มีการเคลือบผิวสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้เป็นอย่างดี และในส่วนนี้ได้มีค่าก่กลางถึงความหนาของชั้นผิวเคลือบในบทความย่อ จากการ simulation แสดงให้เห็นความหนาที่เหมาะสมในการเคลือบผิวคือ 500µm เนื่องจากการเคลือบผิวยิ่งมีความหนามากยิ่งมีราคามากขึ้นเช่นเดียวกัน และการลดลงของ Heat flux ต่างกันในทศนิยม หรือพูดว่าแทบจะไม่แตกต่างกันดังแสดงในกราฟที่ 3-1 ซึ่งการลดการสูญเสียความร้อนข้างต้นคาดว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ประมาณ 1.7% [3] หรือมากกว่า



กราฟที่ 3-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นเคลือบผิวและค่าเฉลี่ย Heat Flux

3.3 วิธีทดลอง

จากข้อมูล simulation และการคำนวณต่าง ๆ เราสามารถเลือกประเภทของสารเคมีและความหนาของการเคลือบผิวบริเวณหัวลูกสูบได้แล้ว จึงทำการทดสอบเครื่องยนต์แบบลูกสูบไม่มีการเคลือบผิวและแบบที่มีการเคลือบผิวเพื่อเก็บค่า กำลังของเครื่องยนต์ แรงบิด อัตราการสิ้นเปลือง น้ำมันเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ เพื่อเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ข้างต้นแล้ว วิเคราะห์ผลจากนั้นจึงสรุป โดยค่าต่าง ๆ ข้างต้นจะทำการ Dyno test engine ในการทดสอบ โดยมี ผัง Dyno test engine ดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 แสดงองค์ประกอบของ Dyno test engine ทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ 1- Dynamometer, 2- Diesel Engine, 3- Digital Thermometer, 4- Fuel Measuring Container, 5- Fuel Tank, 6- Fuel Flow Control Valve, 7- Load Cell Indicator, 8- Control Panel, 9- Exhaust Gas Analyzer, 10- Amplifier, 11- Oscilloscope, 12- Computer, 13- Position Sensor, 14- In-cylinder Pressure Sensor [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบจะทดสอบที่รอบเครื่องยนต์ดังนี้ 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400 และ 2500 rpm และทำการเก็บค่า กำลังของเครื่องยนต์, แรงบิด, อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และนำค่าต่าง ๆ มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของเครื่องยนต์ที่ไม่มีการเคลือบผิวหัวลูกสูบและเครื่องยนต์ที่มีการเคลือบผิวหัวลูกสูบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการทดสอบ

4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ
2. เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และพัฒนาต่อไปในอนาคต

4.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.1. เครื่องยนต์ทดสอบ



รูปที่ 4-1 เครื่องยนต์ Kubota zt125 pro

4.2.2. ชุดไดนาโมมิเตอร์

4.2.2.1 ชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์

เพื่อนำค่าจากไดนาโมมิเตอร์แปลงค่าเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อส่งเหตุการณ์และบันทึกผล กำลัง แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-2 ชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์

4.2.2.2 ไดนาโมมิเตอร์

อุปกรณ์ที่รับแรงจากเครื่องยนต์โดยส่งกำลังผ่านเพลาและส่งต่อไปยังชุดควบคุม ไดนาโมมิเตอร์

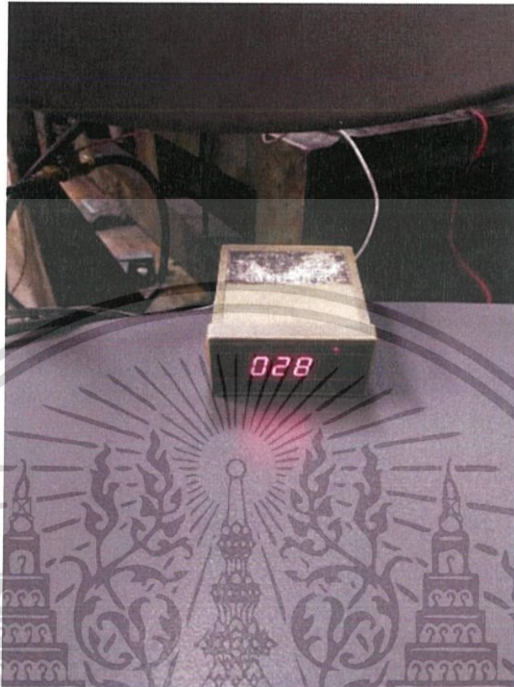


รูปที่ 4-3 แสดงการวางเครื่องยนต์เพื่อต่อกับ Eddy current dynamometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

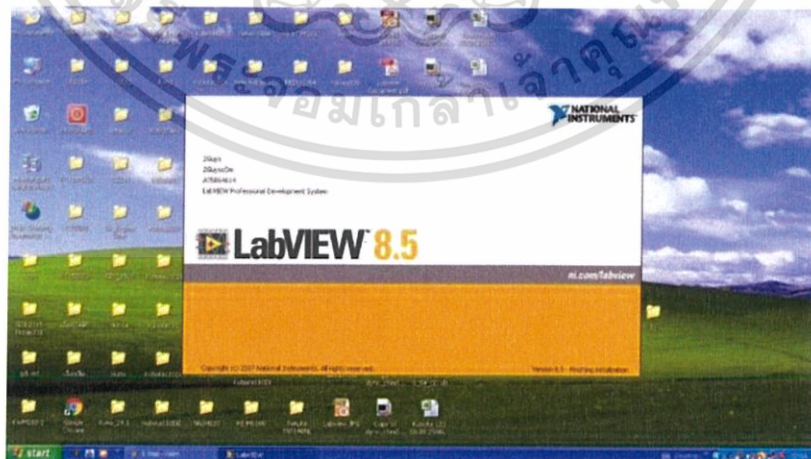
4.2.3 เทอร์โมคัปเปิล

เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่นำมาวัดอุณหภูมิของไอเสียและน้ำมันเครื่อง เพื่อสังเกตว่าเครื่องยนต์อยู่จุดสมดุลก่อนที่จะเริ่มทดสอบ



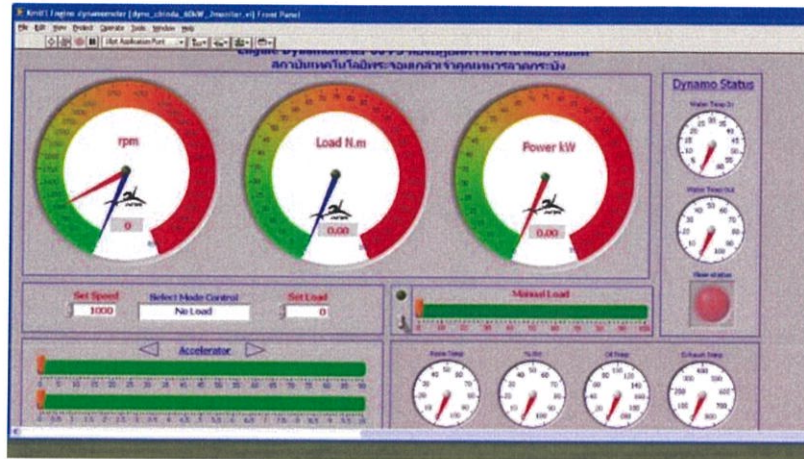
รูปที่ 4-4 อุปกรณ์อ่านค่าอุณหภูมิ

4.2.4. ซอฟต์แวร์

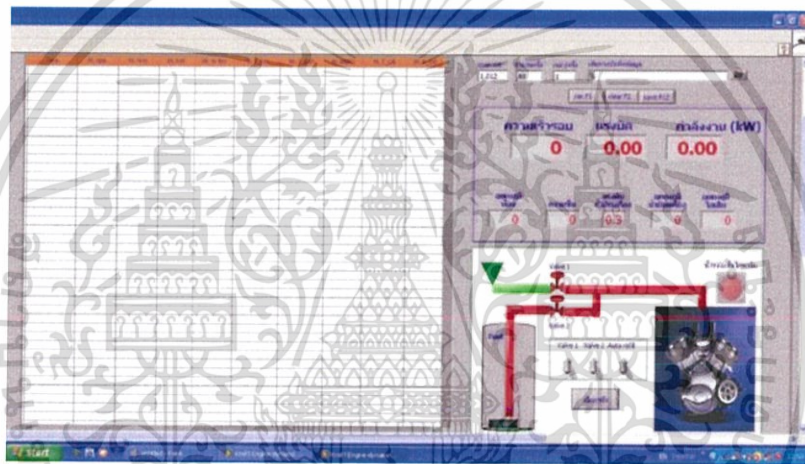


รูปที่ 4-5 แสดงซอฟต์แวร์ที่ใช้แสดงค่าที่อ่านค่าไดนาโมมิเตอร์โดยใช้ LabVIEW 8.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4-6 ก)



4-6 ข)

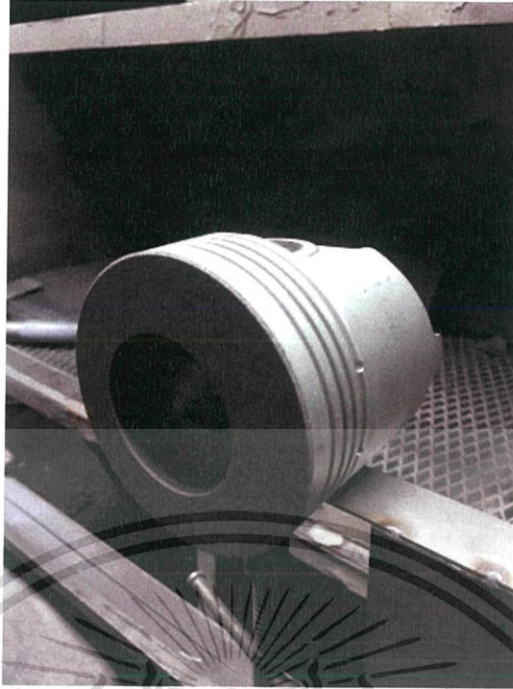
รูปที่ 4-6 ก และ ข แสดงตารางซอฟต์แวร์ LabVIEW 8.5 ของไดนาโมมิเตอร์ 60 กิโลวัตต์

4.2.5 ลูกสูบ

4.2.5.1 ลูกสูบที่เคลือบผิว

ด้วย Yttria stabilized Zirconium(YSZ) , Magnesium Zirconate ($MgO-ZrO_2$) และ Aluminum Titanium Oxide ($Al_2O_3-TiO_2$ 87-13) ด้วยวิธีพ่นพลาสมา

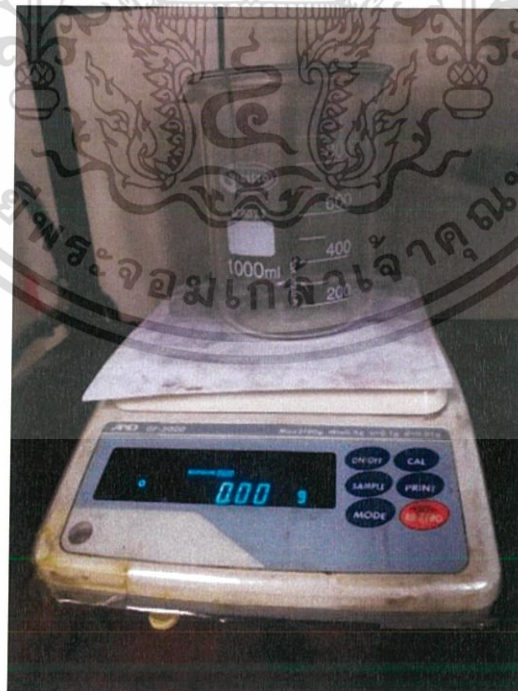
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-7 แสดงลูกสูบที่เคลือบผิวแล้ว

4.2.6 ตาชั่ง

ตาชั่งสำหรับชั่งน้ำมันเพื่อนำไปคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน



รูปที่ 4-8 ตาชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ท่อดูด

ใช้สำหรับดูดไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์ออกไปภายนอกห้อง



รูปที่ 4-9 ท่อดูด

4.3 วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบเครื่องยนต์เป็นการทดสอบเครื่องยนต์สันดาปภายในมาทดสอบสมรรถนะการทำงานระหว่างลูกสูบที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบผิว เพื่อหาค่ากำลังที่เครื่องยนต์ให้ออกมา ในความเร็วรอบต่างๆ และหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน โดยการทดสอบนี้ใช้เครื่องทดสอบ Eddy current dynamometer โดยแบ่งเป็นเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

4.3.1 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

4.3.1.1 การทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ลูกสูบที่ไม่ได้เคลือบผิว

เป็นการทดสอบเครื่องยนต์โดยที่ใช้ลูกสูบที่ไม่ได้เคลือบผิวเพื่อบันทึกค่ากำลัง แรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน จาก Eddy current dynamometer และนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยเก็บค่าที่ความเร็วคงที่ที่ 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400 และ 2500 รอบต่อนาทีของเครื่องยนต์

4.3.1.2 การทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ลูกสูบที่เคลือบผิว

เป็นการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้ลูกสูบที่เคลือบผิวเพื่อบันทึกค่ากำลังแรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน จาก Eddy current dynamometer และนำไปคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยเก็บค่าที่ความเร็วคงที่ที่ 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400 และ 2500 รอบต่อนาทีของเครื่องยนต์

จากนั้นนำเสนอกราฟประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ลูกสูบไม่ได้เคลือบผิวกับเคลือบผิวลูกสูบ



รูปที่ 4-10 แสดงการถอดฝาสูบเพื่อเปลี่ยนลูกสูบ



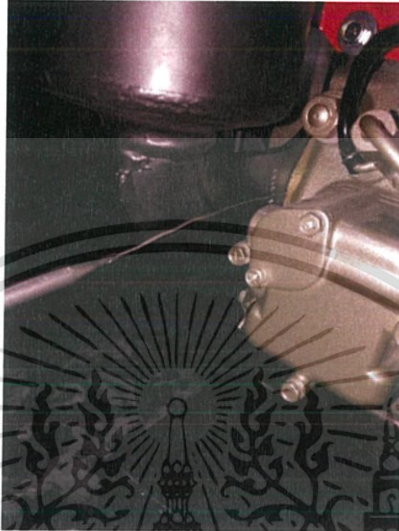
รูปที่ 4-11 แสดงการสวมแหวนลูกสูบที่เคลือบผิวแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 วัดค่าอุณหภูมิ

4.3.2.1 วัดอุณหภูมิไอเสีย

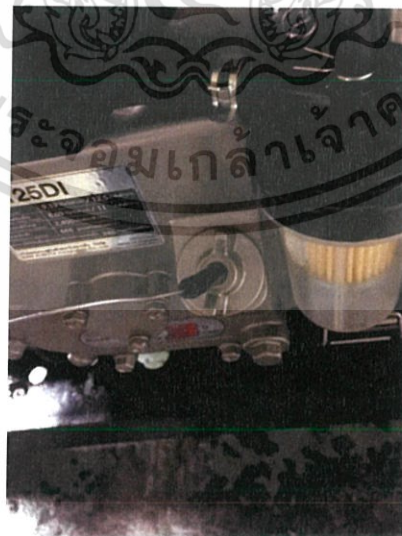
วัดอุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆตามการทดลองสมรรถนะ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลแสดงค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 4-12 แสดงการใส่เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิไอเสีย

4.3.2.2 วัดอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง

ที่ความเร็วรอบต่างๆตามการทดลองสมรรถนะ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 4-13 แสดงการใส่เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

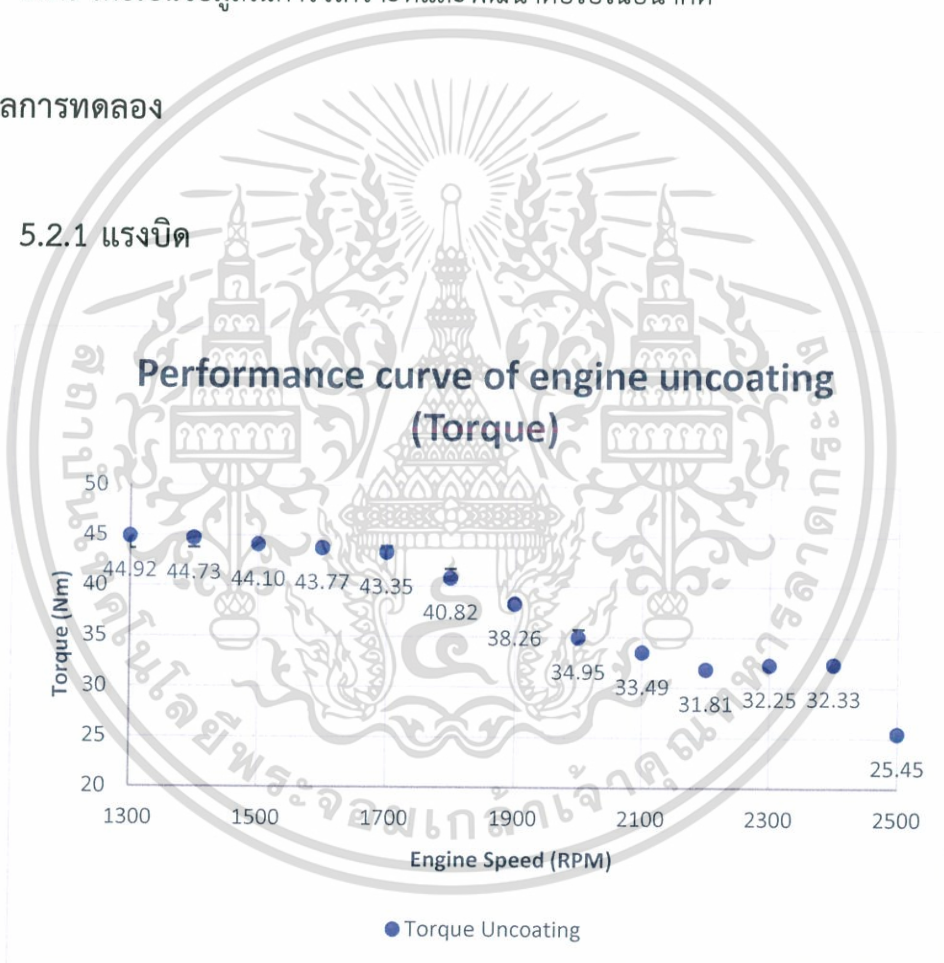
ผลการทดลอง

5.1 วัตถุประสงค์

- 5.1.1 เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์
- 5.1.2 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้ลูกสูบที่ไม่ได้ เคลือบผิวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ลูกสูบที่เคลือบผิว
- 5.1.3 เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และพัฒนาต่อไปในอนาคต

5.2 ผลการทดลอง

5.2.1 แรงบิด

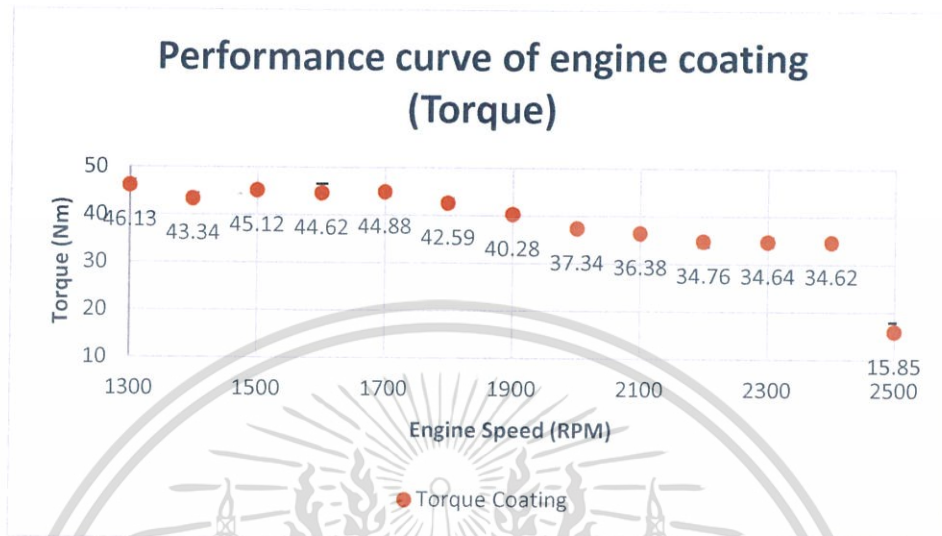


กราฟที่ 5-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว

จากกราฟที่ 5-1 แรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ไม่มีการเคลือบผิวลูกสูบมีค่าแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 44.92 Nm ที่รอบเครื่องยนต์ 1300 รอบ/นาทีซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อวัดค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ไม่มีการเคลือบผิวเพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่มีการเคลือบผิวลูกสูบและเพื่อ

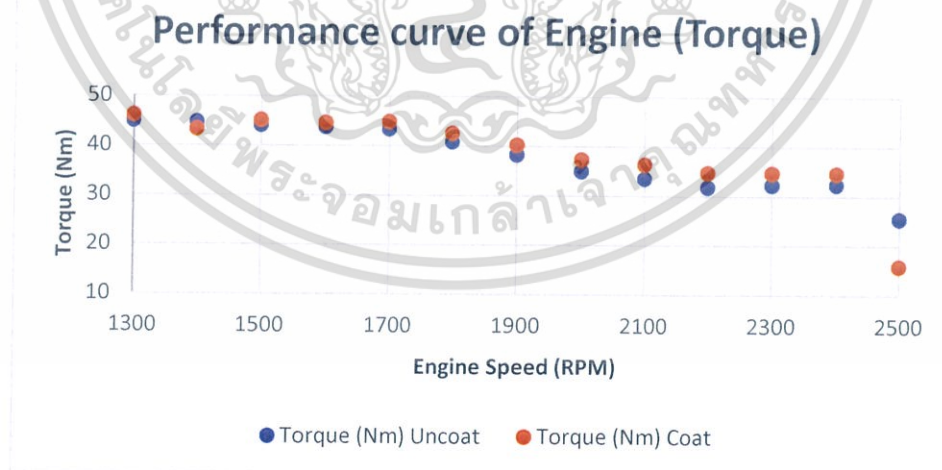
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของเครื่องยนต์ว่าตรงตามที่ระบุไว้ในคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องยนต์หรือไม่ จากกราฟที่ 5-1 แรงบิดของเครื่องยนต์ที่วัดได้คือ 43.77 Nm ที่ 1600 รอบ/นาที ซึ่งน้อยกว่าคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องยนต์ 2.33 Nm



กราฟที่ 5-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่มีการเคลือบผิว

จากกราฟที่ 5-2 แรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ที่มีการเคลือบผิวลูกสูบมีค่าแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 46.13 Nm ที่รอบเครื่องยนต์ 1300 รอบ/นาที



กราฟที่ 5-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว เปรียบเทียบกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว

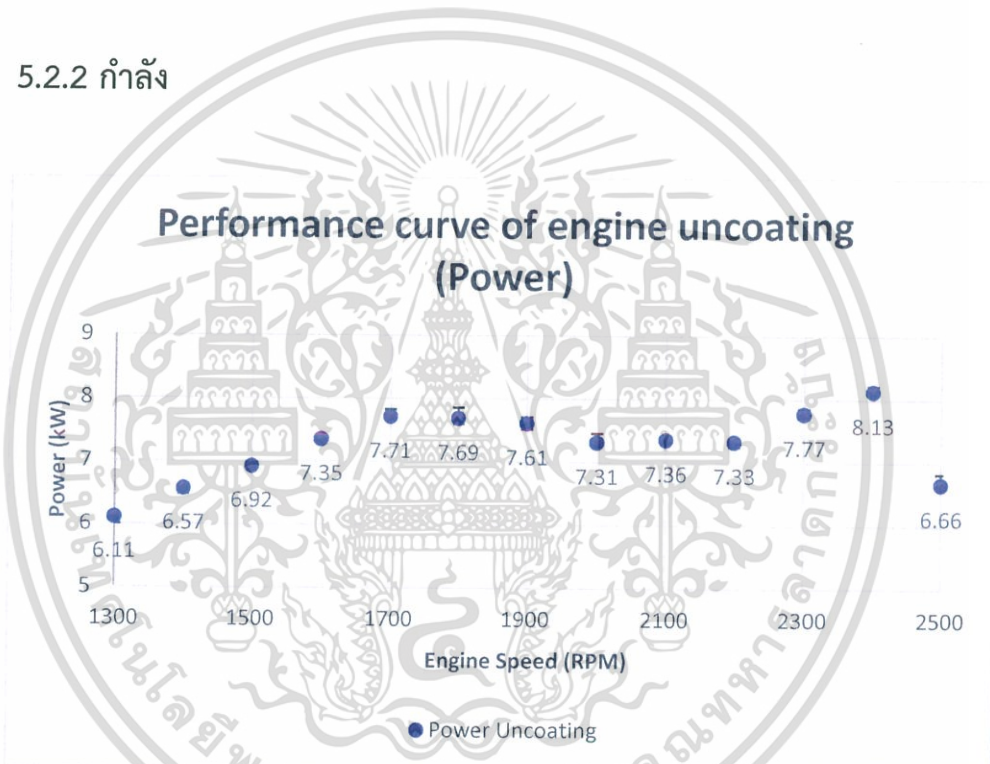
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ 5-3 จะเห็นว่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งลูกสูบที่มีการเคลือบผิว้นสูงกว่าลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว โดยจะมีแรงบิดที่เพิ่มขึ้นจากเดิมสูงสุด เท่ากับ 2.95 Nm หรือประมาณ 9.28% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2200 รอบ/นาที และเพิ่มขึ้นทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณ 4.68% หรือสามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มขึ้นของแรงบิดแปรผันตรงกับกำลังของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นเป็นไปตามสมการที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ที่มีการเคลือบผิวลูกสูบมีกำลังเพิ่มขึ้น

$$\tau = \frac{\dot{W}_b}{2\pi N}$$

(5.1)

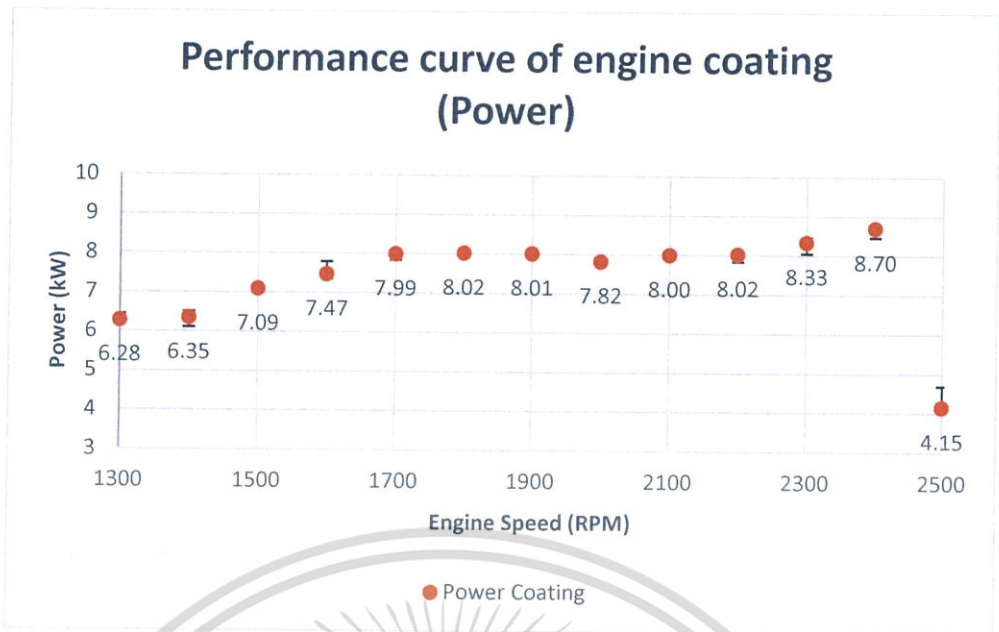
5.2.2 กำลัง



กราฟที่ 5-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วรอบต่างๆของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว

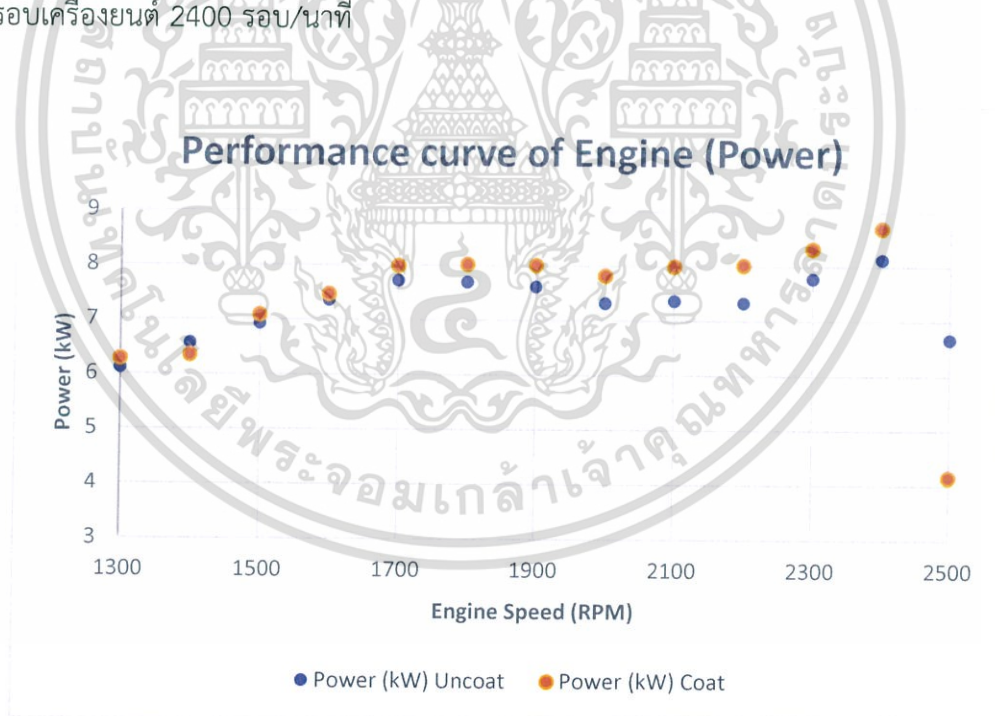
จากกราฟที่ 5-4 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ไม่มีการเคลือบผิวมีค่าแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 8.13 kW ที่รอบเครื่องยนต์ 2400 รอบ/นาที ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อวัดค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ไม่มีการเคลือบผิวเพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่มีการเคลือบผิวลูกสูบและเพื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของเครื่องยนต์ว่าตรงตามที่ระบุไว้ในคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องยนต์หรือไม่ จากกราฟที่ 5-4 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่วัดได้คือ 8.13 kW ที่ 2400 รอบ/นาที ซึ่งมากกว่าคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องยนต์ 0.03 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วยกต่าง ๆ ของลูกสูบที่มีการเคลือบผิว

จากกราฟที่ 5-5 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ไม่มีการเคลือบผิวมีค่าแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 8.70 kW ที่รอบเครื่องยนต์ 2400 รอบ/นาที



กราฟที่ 5-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับความเร็วยกต่าง ๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิวเปรียบเทียบกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว

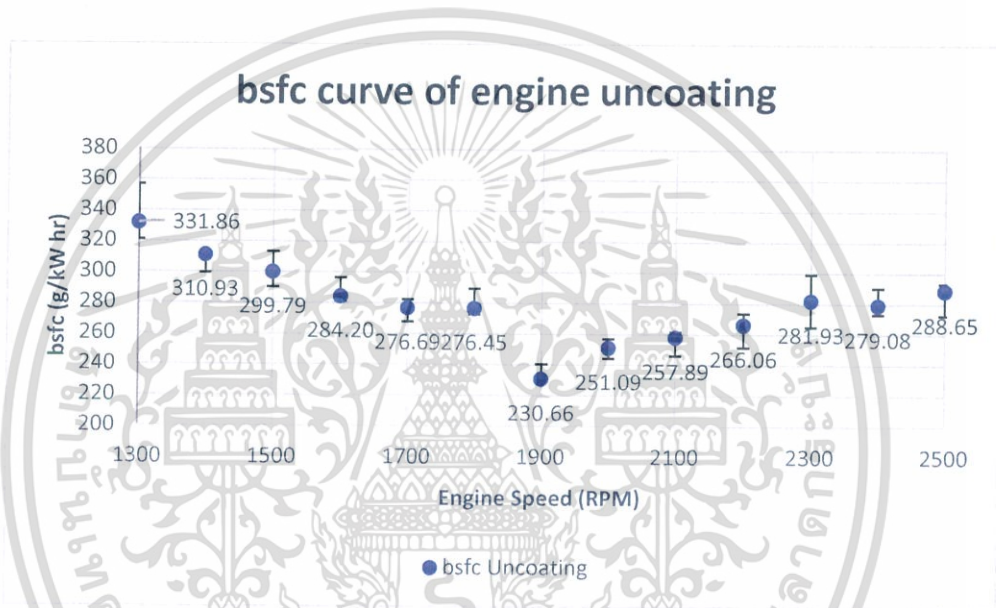
จากกราฟที่ 5-6 จะเห็นได้ว่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งลูกสูบที่มีการเคลือบผิวนั้นสูงกว่าลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว โดยมีกำลังที่เพิ่มขึ้นจากเดิมสูงสุด เท่ากับ 0.57 kW หรือประมาณ 9.44% ที่ความเร็วรอบ 2200 รอบ/นาที และเพิ่มขึ้นทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณ 4.65% หรือสามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อธิบายจากสมการที่ 5.2 ว่าการเคลือบผิวของลูกสูบทำให้ลดการถ่ายเทความร้อนซึ่งค่าอุณหภูมิจะแปรผันตรงกับความดัน ดังนั้นในช่วง Cutoff ของวัฏจักรดีเซลนั้นมีความมากขึ้นเนื่องจากปริมาตรหลังการเผาไหม้ที่มีความดันคงที่หรือจุดที่ 3 (v_3) ในรูปที่ 2-6 มีความมากขึ้นทำให้กำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นตามด้วย

$$w_{2-3} = P_2(v_3 - v_2)$$

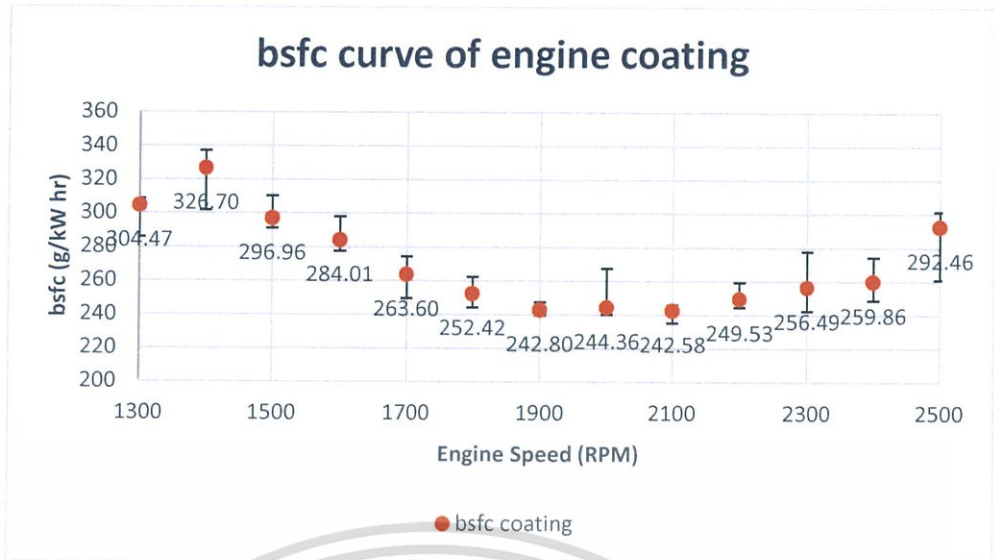
(5.2)

5.2.3 อัตราการสิ้นเปลือง



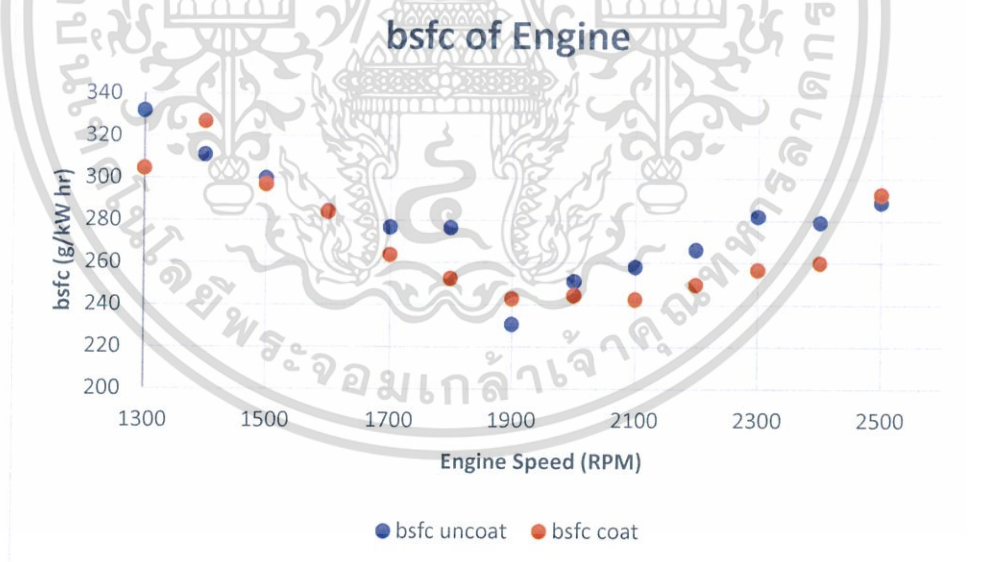
กราฟที่ 5-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว

จากกราฟที่ 5-7 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุดของเครื่องยนต์ที่ไม่มีการเคลือบผิวลูกสูบอยู่ที่ 230.66 g/kW hr ที่รอบเครื่องยนต์ 1900 รอบ/นาที การเก็บข้อมูลในส่วนนี้เพื่อใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้



กราฟที่ 5-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองกับความเร็รรอบต่างๆ ของลูกสูบที่มีการเคลือบผิว

จากกราฟที่ 5-8 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุดของเครื่องยนต์ที่มีการเคลือบผิว ลูกสูบอยู่ที่ 242.58 g/kW hr ที่รอบเครื่องยนต์ 2100 รอบ/นาที



กราฟที่ 5-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองกับความเร็รรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิวเปรียบเทียบกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว

จากกราฟที่ 5-9 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่มีการเคลือบผิวลดลงสูงสุด 9.91% หรือประมาณ 25.44 g/kW hr ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2300 รอบ/นาที และลดลงโดยเฉลี่ย 3.97% หรือสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ 5.3 ซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจะแปรผกผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับกำลังของเครื่องยนต์หากเครื่องยนต์มีกำลังเพิ่มขึ้นและอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเครื่องยนต์มีค่าเท่าเดิมทำให้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (bsfc) มีค่าลดลง

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}_b}$$

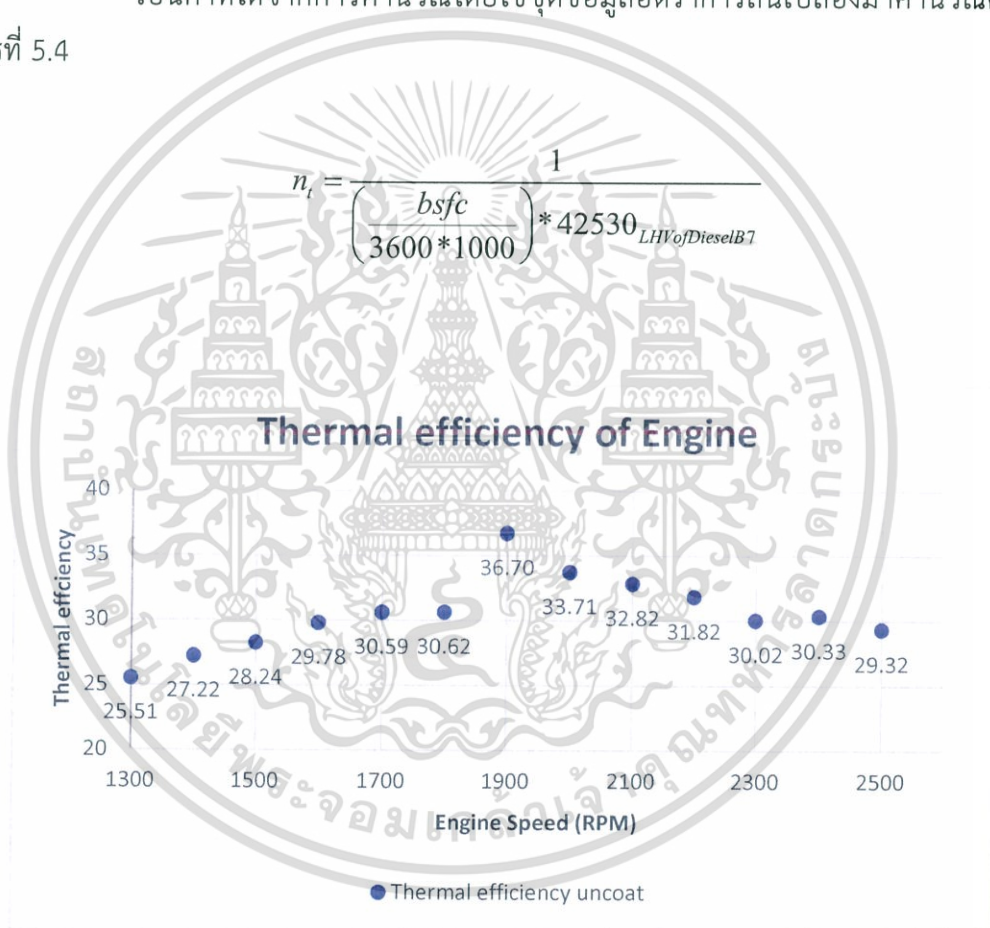
(5.3)

5.2.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ชุดข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองมาคำนวณตามสมการที่ 5.4

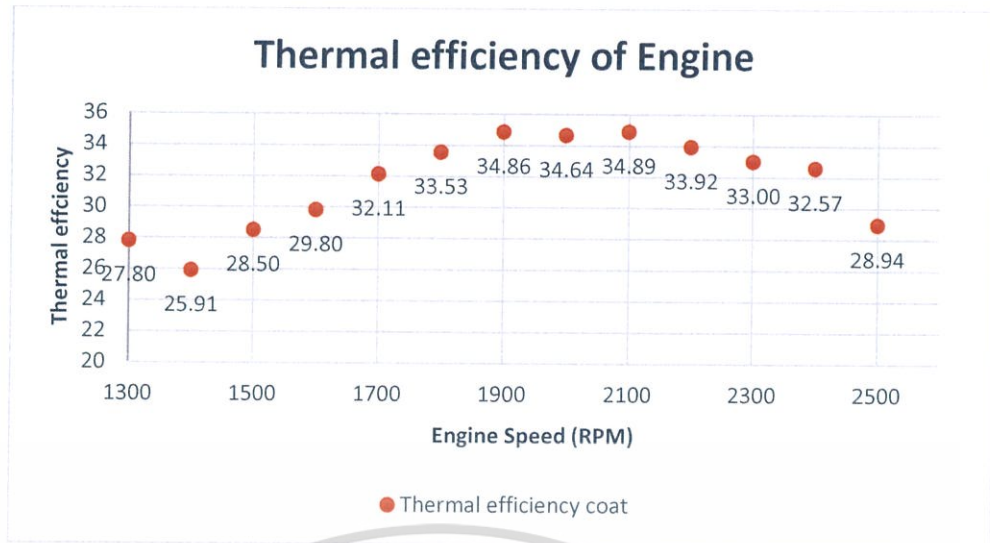
$$\eta_t = \frac{1}{\left(\frac{bsfc}{3600 * 1000} \right) * 42530 \text{ LHV of Diesel B7}}$$

(5.4)

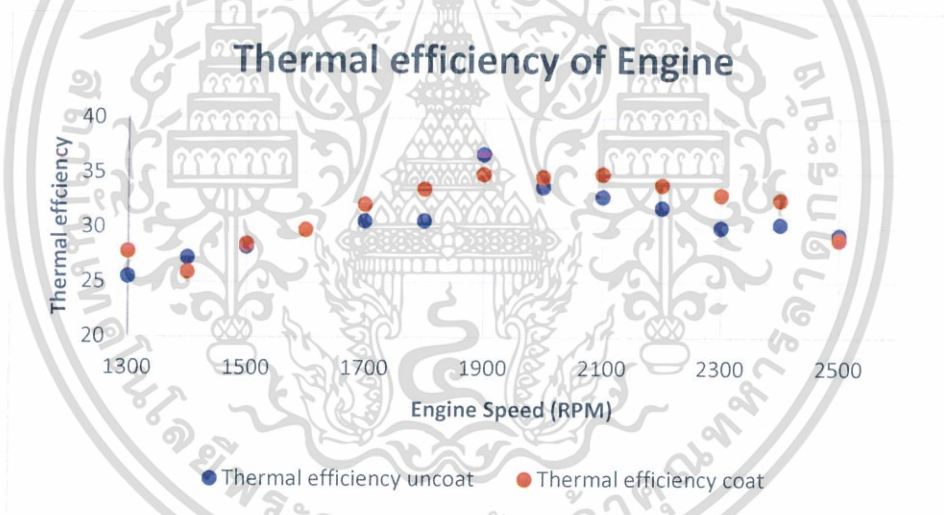


กราฟที่ 5-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่มีการเคลือบผิว

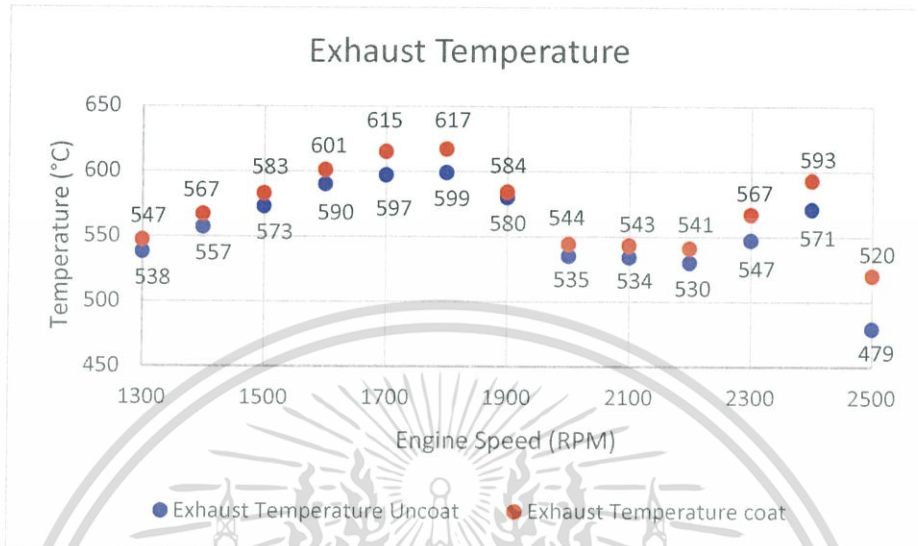


กราฟที่ 5-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิวเปรียบเทียบกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว

จากกราฟที่ 5-12 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่มีการเคลือบผิวเพิ่มขึ้นจากเดิมสูงสุด 2.98% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1800 รอบ/นาที และเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 1.18% หรืออธิบายได้จากสมการที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าค่า bsfc แปรผกผันกับค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ เมื่อค่า bsfc ต่ำลงจะทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.5 อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย



กราฟที่ 5-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของก๊าซไอเสียกับความเร็รรอบต่างๆ ของลูกสูบที่ไม่มีการเคลือบผิวเปรียบเทียบกับลูกสูบที่มีการเคลือบผิว

จากกราฟที่ 5-13 อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่มีการเคลือบผิวเพิ่มขึ้นจากเดิมสูงสุด 8.55% หรือเพิ่มขึ้น 41 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2500 รอบ/นาที และเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 2.71% อุณหภูมิไอเสียเป็นข้อมูลหนึ่งที่สามารถยืนยันได้ว่าอุณหภูมิในห้องเผาไหม้และในกระบอกสูบนั้นสูงขึ้น

บทที่ 6

บทสรุปและวิจารณ์ผล

6.1 สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่มีการเคลือบผิวบริเวณหัวลูกสูบด้วยสารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ คือ Ytria stabilized Zirconium (YSZ), Magnesium Zirconate ($MgO-ZrO_2$) และ Aluminum Titanium Oxide ($Al_2O_3-TiO_2$ 87-13) จะแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจากเดิมโดยไปในทางที่ดีดังนี้

- กำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 4.64% และเพิ่มขึ้นสูงสุด 8.62%
- แรงบิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 4.68% และเพิ่มขึ้นสูงสุด 8.48%
- อัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงโดยเฉลี่ย 3.97% และลดลงสูงสุด 9.91%
- ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจากค่าเดิมโดยเฉลี่ย 1.18% และสูงสุด 2.98%

6.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองแสดงการลดลงของอัตราการสิ้นเปลืองเมื่อใช้ลูกสูบที่เคลือบผิวนั้นเกิดจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ โดยการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำหรือมีความเป็นฉนวน ซึ่งการที่อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้สูงขึ้นนั้นทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น ส่งผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยลง

จากผลการทดลองแสดงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อใช้ลูกสูบที่เคลือบผิวแล้วนั้นเกิดจากการลดการถ่ายเทความร้อนสู่ภายนอกได้ ซึ่งการเคลือบผิวด้วยฉนวนนั้นส่งผลต่ออุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น ทำให้เวลาของการจุดระเบิดลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากกราฟข้างต้นในผลการทดลองทั้ง 4 จะเห็นว่าบางรอบเครื่องยนต์ กำลัง แรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง และ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ มีค่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นไปในทางที่ไม่ดีจากของเดิม อันเนื่องจากเครื่องยนต์มีการออกแบบให้มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละรอบไม่เหมือนกัน ไม่เหมือนเครื่องยนต์ที่มีการแปรผันของแคมชาร์ฟ และระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบใช้กล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ในการควบคุม ทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ไม่คงที่ และการจ่ายน้ำมันไม่เหมาะสมกับปริมาณอากาศจึงทำให้เกิดเหตุการณ์ข้างต้น

บรรณานุกรม

- [1] Borman G., Nishiwaki K. 1987. Internal – combustion engine heat transfer. Progress in Energy and Combustion Science.
- [2] C. Vogelgsang. Influence of Piston Cooling on BTE and Emissions. Master thesis. Clausthal University of Technology (2013)
- [3] Erdinç Vural, Bülent Özdalyan, Serkan Özel. Experimental Investigation on Effect of the Zirconium + Magnesium Coating of the Piston and Valve of the Single-Cylinder Diesel Engine to the Engine Performance and Emission, (2016)
- [4] Frank J. Hermanek. (2018). THERMAL SPARYING. Nov 29, 2018, from http://thermalspray.org/what-it-is/?fbclid=IwAR3kZeyCtqvqbPYXbhH_zHw_8e_NksPXR2i8wYv60bBIBUa9Gf6fSYCLws
- [5] “Internal Combustion Engines “by V.Ganasan, 1998, Tata McGraw-hill Publishing Co, Ltd.
- [6] International Journal for Research in Applied Science Engineering Technology (IJRASET) ©IJRASET: All Rights are Reserved 585 Thermal Effects on Mullite Coated Diesel Engine Piston for Various Coating Thickness. 4Assistant Professor in Mechatronics Department Er.Perumal Manimegalai College of Engineering, Hosur, Tamil nadu-635117. (2016)
- [7] Heat and Mass Transfer “by Yonus A. Cengel”(2015), Tata McGraw-hill Publishing Co, Ltd.
- [8] KOBAYASHI AKIRA.The Effect of an Addition Alumina Layer in Improvement of Plasma Sprayed TBCs during High Temperature Application. (2016)

- [9] R.S. Lima, D.Zhu, and L. Li, Thermal and Environmental Barrier Coatings (TBCs/EBCs) for Turbine Engines, Thermal Spray Technology. Vol 5A, ASM Handbook, ASM International, 2013, p 270–279
- [10] Siamchemi. (2018). โททาเนียมไดออกไซด์/TiO₂ และประโยชน์โททาเนียมไดออกไซด์. Nov29, 2018, from <https://www.siamchemi.com/%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A1%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B9%84%E0%B8%8B%E0%B8%94%E0%B9%8C/>
- [11] Yonushonis TM. Overview of thermal barrier coatings in diesel engines. Journal of Thermal Spray Technology 1997;6(1):50-56.
- [12] Willard W. Pulkrabek. 2014. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. 2nd ed. United States of America. Pearson Education Limited.
- [13] อรุณีหลักคำ วิทวัช วงศ์พิศาล และ ดร.สินธุ์ จันทพันธ์. (2557). วิศวกรรมพื้นผิว ตอนที่ 3 กระบวนการสร้างฟิล์มบางด้วยไอเคมีและไอทางกายภาพภายใต้สภาวะสุญญากาศ. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ความเสียหายของวัสดุและเทคโนโลยีพื้นผิวหน่วยวิจัยด้านประสิทธิภาพการใช้งานวัสดุศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.