

การประยุกต์ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำเพื่อเพิ่มสมรรถนะ  
การทำงานของเครื่องยนต์



นายศักรินทร์ ปาปะเก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2560

**APPLICATION OF EVAPORATIVE INTAKE AIR  
COOLING SYSTEM FOR IMPROVING ENGINE  
PERFORMANCE**




**Sakkarin Papake**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Mechanical and  
Process System Engineering  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2017**

การประยุกต์ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำเพื่อเพิ่มสมรรถนะ  
การทำงานของเครื่องยนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



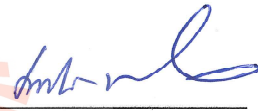
(ผศ. ดร.พรรษา ลิปลับ)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนรรค)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค)

กรรมการ



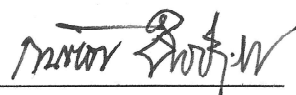
(ผศ. ดร.ปรีดา ปรากฏมาก)

กรรมการ



(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)

กรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

ศักรินทร์ ปาปะเก : การประยุกต์ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำเพื่อเพิ่มสมรรถนะ  
การทำงานของเครื่องยนต์ (APPLICATION OF EVAPORATIVE INTAKE AIR  
COOLING SYSTEM FOR IMPROVING ENGINE PERFORMANCE)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กระจวี ตรีอานรรค, 188 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากอากาศที่ถูกลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหย  
น้ำก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนแบบ  
อเนกประสงค์ขนาดเล็ก ทดสอบกับเครื่องยนต์ 4 จังหวะสูบเดียว ขนาด 208 cc ที่ความเร็วรอบ  
1,500 - 4,000 RPM ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำใช้แผ่นระเหยแบบผิวเปียก (Evaporative  
Cooling Pad, ECP) รุ่น 7090 ขนาด ก x ย เท่ากับ 30 x 27 cm<sup>2</sup> ทดสอบที่ความหนาแผ่น ECP เท่ากับ  
100 150 และ 200 mm โดยใช้น้ำอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25°C) ผลิตอากาศเย็น และใช้น้ำเย็นจาก  
การละลายของน้ำแข็ง (ประมาณ 2°C) ผลิตอากาศเย็นจัด เปรียบเทียบผลการทดสอบกับเครื่องยนต์  
ที่ไม่ได้ติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศด้วย ECP ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้ไคนาโม  
มิเตอร์แบบไฮดรอลิก วัดค่าโมเมนต์บิด ความเร็วรอบ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และปริมาณ  
อากาศป้อนเข้าของเครื่องยนต์ จากการทดสอบพบว่า การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วย  
วิธีการระเหยน้ำ จะทำให้อากาศป้อนเข้ามีความหนาแน่นและอัตราไหลเชิงมวลมากขึ้น ปริมาณ  
ความชื้นและความร้อนจำเพาะของอากาศมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้โมเมนต์บิดและกำลังของ  
เครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากัน การใช้อากาศเย็นจัดจะส่งผลให้โมเมนต์  
บิดและกำลังมีค่าสูงสุด การลดอุณหภูมิอากาศด้วยแผ่น ECP ทำให้โมเมนต์บิดและกำลังของ  
เครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุดที่การทดสอบแบบอากาศเย็นจัดด้วยความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ  
100 mm โดยโมเมนต์บิดและกำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 3.36% ที่ความเร็วรอบของ  
เครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM และสามารถลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะได้สูงสุด 2.67% ที่  
ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 4,000 RPM เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP  
ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา ศักรินทร์ ปาปะเก

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กระจวี ตรีอานรรค

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. น.ก.

**SAKKARIN PAPAKE : APPLICATION OF EVAPORATIVE INTAKE AIR  
COOLING SYSTEM FOR IMPROVING ENGINE PERFORMANCE.**

**THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KRAWEE TREEAMNUK, D.Eng.,  
188 PP.**

**EVAPORATIVE COOLING/ENGINE PERFORMANCE/GASOLINE ENGINE**

This research was to study the influence of water evaporative air intake cooling on the performance of a small multi propose gasoline engine. The single-cylinder 208 cc four-strokes gasoline engine were tested at speed 1,500-4,000 RPM. The Evaporative Cooling Pad (ECP) model 7090 with 30 x 27 cm<sup>2</sup> in W x L was used in air cooling system. The system was tested with ECP thickness of 100, 150 and 200 mm by using 25°C (room temperature) and 2°C (cool water from melted ice in water) of water to produce the low and very low of intake air temperature, respectively. The engine performance was tested by the hydraulics dynamometer to determine torque, speed, fuel consumption and air induction rate. Comparison the performance results with non ECP in air induction system. The result shown that the reducing of air temperature before taking into the engine by ECP system influences on the increasing of density, and mass flow rate of the intake air. Humidity and specific heat of intake air are changed. The low temperature of intake air provides the increasing of engine torque and power. At the same ECP thickness, torque and engine power is highest when very low air temperature was taken into the engine. The air temperature reduction by using cool water with 100 mm thickness of ECP in air cooling system provides the highest torque and engine power. The power increases 3.36% at

2,500 RPM and the specific fuel consumption reduces 2.67% at 4,000 RPM when compare to the non ECP cooling system.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature Sakkarin Papake

Advisor's Signature Kerwee Treemukul

Co-Advisor's Signature T. Treemukul

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เมตตาให้การอบรม สั่งสอน ช่วยเหลือในการทำการศึกษาวิจัย ให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัย ไปตีพิมพ์วารสารวิชาการทั้งในระดับชาติ และนานาชาติ รวมทั้งชี้แนะแนวทางที่สามารถทำงานได้สำเร็จลุล่วงได้ทันตามระยะเวลาที่กำหนด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำในการทำปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัย ไปตีพิมพ์วารสารวิชาการทั้งในระดับชาติและนานาชาติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรษา ลิบลับ ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยชี้แนะส่วนที่ผิดพลาดในเนื้อหาวิทยานิพนธ์ เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

อาจารย์ ดร.สามารถ บุญอาจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และชี้แนะส่วนที่ผิดพลาดในเนื้อหาวิทยานิพนธ์ เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา ปราบกุ่มมาก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และชี้แนะส่วนที่ผิดพลาดในเนื้อหาวิทยานิพนธ์ เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาระดับมหาบัณฑิต และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่สำหรับงานวิจัย รวมถึงบุคลากรสำนักวิศวกรรมศาสตร์และบุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้คำแนะนำ เรื่องเอกสารต่าง ๆ

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างดี และให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา อีกทั้งขอขอบคุณนายทิวพรพรหม ศรีอ่อน ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ นายกฤษดา สายแสง และ เพื่อน ๆ ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจให้ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ศักรินทร์ ปาปะเก

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ป
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 กรอบแนวคิด.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>2 ปรีक्षणวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์.....	4
2.1.1 วัฏจักรออตโต (Otto cycle).....	4
2.1.2 ประสิทธิภาพปริมาตร (Volumetric efficiency).....	6
2.1.3 อัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio).....	7
2.1.4 กำลังเบรก (Brake power).....	8
2.1.5 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพาะ (Specific fuel consumption).....	9
2.2 ไดนาโมมิเตอร์แบบไฮดรอลิก.....	10
2.3 ไอดีของเครื่องยนต์.....	11
2.4 Evaporative cooling pad.....	22



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1	หลักการทํางานระบบปรับอากาศแบบวิธีการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling).....	22
2.4.2	คุณสมบัติของแผ่นระเหยน้ำแบบเปียกหรือคูลดิ่งแพด (Evaporative cooling pad, ECP) .....	23
2.5	ไอเสียของเครื่องยนต์.....	30
2.6	คุณสมบัติของอากาศ.....	31
2.6.1	ความดันอากาศ.....	31
2.6.2	ความร้อนจำเพาะ.....	32
2.6.3	อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ.....	32
2.6.4	ไซโครเมตริก.....	33
3	วิธีการดําเนินการวิจัย.....	34
3.1	วัสดุและอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัย.....	34
3.2	ขั้นตอนการดําเนินงานวิจัย.....	35
3.2.1	รวบรวมและศึกษาทฤษฎี ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	35
3.2.2	ออกแบบระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำที่เหมาะสมกับ การติดตั้งในเครื่องยนต์ .....	35
3.2.3	ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่อเนกประสงค์ที่ติดตั้งระบบลด อุณหภูมิอากาศแล้วพร้อมทั้งตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพไอเสีย ของเครื่องยนต์.....	39
3.2.4	วัดค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อประเมินสมรรถนะและคุณภาพไอเสียของ เครื่องยนต์ของเครื่องยนต์.....	40
3.2.4.1	อุณหภูมิกระเปาะแห้งและเปียกของอากาศก่อนและ หลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ .....	40
3.2.4.2	อัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์.....	41
3.2.4.3	อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์.....	41
3.2.4.4	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์.....	42

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.4.5	โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์ .....	42
3.2.4.6	อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ .....	43
3.2.4.7	คุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์ .....	43
3.2.5	สรุปผลการดำเนินโครงการ .....	44
3.3	สถานที่ทำการศึกษาวิจัย .....	45
<b>4</b>	<b>ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ข้อมูล .....</b>	<b>46</b>
4.1	ค่าคุณสมบัติอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ .....	46
4.2	ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ .....	57
4.2.1	ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm .....	57
4.2.2	ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm .....	66
4.2.3	ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....	75
4.2.4	ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP .....	84
4.2.5	ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบแบบใช้น้ำ อุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	93
4.2.6	ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบแบบใช้น้ำจากการ ละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	102

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.7	ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบแบบใช้น้ำ อุณหภูมิห้องและน้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบ ลดอุณหภูมิอากาศ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่นECP.....	111
<b>5</b>	<b>บทสรุป</b> .....	<b>122</b>
5.1	สรุปผลงานวิจัย.....	122
5.1.1	การทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100, 150 และ 200 mm ...	122
5.1.2	การทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือ แบบอากาศอุ่น (Warm temp.) .....	123
5.1.3	การทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ หรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.).....	123
5.1.4	การทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บ เข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.).....	124
5.1.5	เปรียบเทียบผลสมรรถนะจากการลดอุณหภูมิอากาศโดยใช้น้ำ อุณหภูมิห้องและน้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บ เข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เทียบกับ การทดสอบแบบ ไม่ติดตั้งแผ่น ECP.....	124
5.2	ข้อเสนอแนะ .....	125
	รายการอ้างอิง .....	126
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก ตารางผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	128
	ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ .....	147
	ภาคผนวก ค บทความที่ตีพิมพ์.....	151
	ประวัติผู้เขียน .....	188

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ขนาดของแผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad) .....24
2.2	ข้อมูลทางเทคนิคของแผ่น Evaporative cooling pad .....24
2.3	ส่วนประกอบของไอเสียเมื่อมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดี .....31
3.1	รูปแบบการทดลองการประยุกต์ระบบลดอุณหภูมิอากาศที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....39
3.2	การวัดปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่าง ๆ .....42
3.3	ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ .....44
4.1	อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิอากาศที่การทดสอบแบบต่าง ๆ .....46
4.2	ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm .....47
4.3	ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm .....49
4.4	ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....51
4.5	ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ หรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....53
4.6	ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ หรือแบบอากาศเย็น (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....54
4.7	ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP .....55
ก 1	คุณสมบัติของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm .....129
ก 2	ความร้อนจำเพาะของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm ..130

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก 3 อัตราไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm .....	131
ก 4 สมรรถนะของเครื่องย่นของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	132
ก 5 คุณภาพไอเสียของเครื่องย่นของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm .....	133
ก 6 คุณสมบัติของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm.....	134
ก 7 ความร้อนจำเพาะของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm..	135
ก 8 อัตราไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm .....	136
ก 9 สมรรถนะของเครื่องย่นของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm.....	137
ก 10 คุณภาพไอเสียของเครื่องย่นของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm .....	138
ก 11 คุณสมบัติของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm.....	139
ก 12 ความร้อนจำเพาะของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm..	140
ก 13 อัตราไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....	141
ก 14 สมรรถนะของเครื่องย่นของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm.....	142
ก 15 คุณภาพไอเสียของเครื่องย่นของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....	143
ก 16 คุณสมบัติของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 0 mm หรือไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP.....	144
ก 17 ความร้อนจำเพาะของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 0 mm หรือไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP.....	144
ก 18 อัตราไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 0 mm หรือไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP.....	145
ก 19 สมรรถนะของเครื่องย่นของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 0 mm หรือไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP.....	145

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

ก 20 คุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP  
 เท่ากับ 0 mm หรือไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP.....146



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การลดอุณหภูมิอากาศโดยใช้แผ่น Evaporative cooling pad.....3
2.1	P-V and T-S diagrams of Ideal Otto .....4
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ เทียบกับอัตราส่วนสมมูลย์ .....7
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์เทียบกับ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ .....8
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ .....9
2.5	ไดนาโมมิเตอร์แบบไฮดรอลิก .....10
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ.....12
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ เทียบกับความเร็วรอบทั้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ....13
2.8	การติดตั้งระบบจ่ายน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์ โดยใช้หลักการการไหลผ่าน venture.....14
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่าง Smoke index K เทียบกับ ปริมาณน้ำ ที่ฉีดเข้าสู่เครื่องยนต์.....15
2.10	การติดตั้งระบบจ่าย $H_2$ , $O_2$ และน้ำ เข้าสู่เครื่องยนต์.....16
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเบรกเทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ที่มีการเพิ่มปริมาณ $H_2$ , $O_2$ และน้ำ เข้าสู่เครื่องยนต์.....17
2.12	การติดตั้งระบบการจ่ายน้ำและไฮโดรเจนเข้าสู่เครื่องยนต์.....18
2.13	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์ เทียบกับปริมาณไฮโดรเจนและน้ำที่เพิ่มเข้าสู่เครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1,500 RPM.....19
2.14	ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ที่มีการฉีดไอน้ำที่ปริมาณแตกต่างกัน.....20

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC เทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ที่มีการฉีดไอน้ำและเครื่องยนต์เดิม .....	20
2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งกรองอากาศ .....	21
2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ NO <sub>x</sub> เทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งกรองอากาศ .....	22
2.18 แผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad) .....	23
2.19 รายละเอียดของแผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad) .....	23
2.20 การติดตั้งระบบการลดอุณหภูมิด้วยการระเหยน้ำกับ ระบบทำความเย็นแบบ Split type .....	25
2.21 ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศก่อนเข้า ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำและหลังผ่าน Condenser ของ ระบบทำความเย็นแบบ Split type .....	25
2.22 การติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยน้ำในระบบทำความเย็น แบบ Vapor compression ขนาด 1.5 ตัน .....	26
2.23 P-h Diagram ของระบบทำความเย็นก่อนและหลังที่มีการติดตั้ง ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ .....	27
2.24 การติดตั้งเครื่องมือการทดลองการเปรียบเทียบการใช้ Evaporative cooling pad ที่แตกต่างกัน .....	28
2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียกับความเร็วมของ Evaporative cooling pad ชนิด 5090 .....	28
2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียกับความเร็วมของ Evaporative cooling pad ชนิด 7090 .....	29
2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับความเร็วมของ Evaporative cooling pad ชนิด 5090 .....	29



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเร็วลมของ Evaporative cooling pad ชนิด 7090 .....	30
2.29 Psychrometric chart .....	33
3.1 การออกแบบช่องลมสำหรับลดอุณหภูมิอากาศ .....	35
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ.....	36
3.3 แบบระบบลดอุณหภูมิอากาศ.....	37
3.4 การติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ .....	37
3.5 การติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์กับ ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์.....	38
3.6 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของอากาศ.....	40
3.7 โปรแกรมการคำนวณคุณสมบัติของอากาศ .....	40
3.8 Load cell S type .....	42
3.9 จอผลของเครื่องทดสอบสมรรถนะ .....	43
3.10 การวัดคุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์.....	43
3.11 เครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ .....	44
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	57
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (ซ้าย) และ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (ขวา) เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	58
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm .....	58
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm .....	59
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	60

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	61
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	62
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	63
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	63
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	64
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO <sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	65
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm.....	66
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (ซ้าย) และ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (ขวา) เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm.....	67
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm.....	67
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm.....	68
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm.....	69
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm.....	70

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm .....	71
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm .....	72
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm .....	72
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm .....	73
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO <sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm .....	74
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....	75
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (ซ้าย) และอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (ขวา) เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....	76
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....	76
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....	77
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....	78
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....	79
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm .....	80

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm.....	81
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm.....	81
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm.....	82
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO <sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm.....	83
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของ แผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	84
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของ แผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	85
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของ แผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	86
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของ การทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	87
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของ การทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	88
4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	89

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) .....	90
4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) .....	91
4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) .....	92
4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO <sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) .....	92
4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	93
4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของ แผ่น ECP ต่าง ๆ .....	94
4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของ แผ่น ECP ต่าง ๆ .....	95
4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	96
4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของ การทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	97

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.49	ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	98
4.50	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	99
4.51	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	99
4.52	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	100
4.53	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO <sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	101
4.54	ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	102
4.55	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	103
4.56	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	104
4.57	ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	105
4.58	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	106

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ .....	107
4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ ...	108
4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ ...	108
4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ ...	109
4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO <sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ ...	110
4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบ ของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm ,การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของ แผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	111
4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะของอากาศเทียบกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm ,การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของ แผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	112
4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศเทียบกับ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนา ของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm ,การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) .....	112
4.67 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของ แผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	113

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.68 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	114
4.69 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) .....	115
4.70 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) .....	116
4.71 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP).....	117
4.72 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) .....	118
4.73 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) .....	119



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.74	ความสัมพัทธ์ระหว่างปริมาณ CO เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของ การทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) ..... 120
4.75	ความสัมพัทธ์ระหว่างปริมาณ CO <sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของ เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของ แผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) ..... 120



## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$A$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)
$BSFC$	=	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/kW-hr)
$C_v$	=	ค่าความร้อนจำเพาะแบบปริมาตรคงที่ (kJ/kg-K)
$C_p$	=	ค่าความร้อนจำเพาะแบบความดันคงที่ (kJ/kg-K)
$C_d$	=	ค่าสัมประสิทธิ์การขวางการไหลของแผ่น Orifice มีค่าเท่ากับ 0.6
$d$	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแผ่น Orifice มีค่าเท่ากับ 18.51 mm
ECP	=	แผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad)
$F$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (kg/s)
$H$	=	ปริมาณความชื้นในอากาศ หรือ อัตราส่วนความชื้น หรือ ความชื้นสัมบูรณ์ (kg/kg <sub>dryair</sub> )
$k$	=	อัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศ
$m_m$	=	มวลเชื้อเพลิงรวมกับอากาศ (kg)
$\dot{m}_a$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)
$m_f$	=	มวลเชื้อเพลิง (kg)
$\dot{m}_f$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/s)
$N$	=	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (RPM)
$n$	=	ค่าคงที่ เท่ากับ 1 กรณีเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และเท่ากับ 2 กรณีเครื่องยนต์ 4 จังหวะ
$P$	=	ความดัน (kPa)
$\Delta P$	=	ผลต่างความดันอากาศก่อนและหลังแผ่น Orifice (Pa)
$P_b$	=	กำลังงานเบรก (Watt)
$Q_{in}$	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ)
$Q_H$	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ)
$Q_{out}$	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ)
$Q_{HV}$	=	ค่าพลังงานของเชื้อเพลิง (kJ/kg)
RPM	=	รอบต่อนาที (Rev per minute)
$R$	=	ค่าคงที่ของแก๊ส มีค่าเท่ากับ 0.287 kJ/kg-K
$r$	=	ความยาวคานจากกึ่งกลางของไดนาโมมิเตอร์ถึงมวลแขวน (m)
$r_c$	=	อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์

Temp.	=	อุณหภูมิ (K, °C)
T	=	อุณหภูมิ (K, °C)
T	=	โมเมนต์บิด (Torque) ของเครื่องยนต์ (N-m)
t	=	เวลาที่เครื่องยนต์ใช้สำหรับการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง (s)
$V_d$	=	ปริมาตรระยะชัก ( $m^3$ )
V	=	ปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ใช้ (ml)
$\dot{w}_b$	=	กำลังเบรคของเครื่องยนต์ (Watt)
W	=	น้ำหนักของมวลที่แขวนไว้ปลายคาน (N)
$\eta_c$	=	ประสิทธิภาพการเผาไหม้
$\eta_v$	=	ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร
$\rho_a$	=	ความหนาแน่นของอากาศ ( $kg/m^3$ )
$\rho$	=	ความหนาแน่น ( $kg/m^3$ )
$\phi$	=	อัตราส่วนสมมูล

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทย เป็นประเทศที่มีการประกอบอาชีพทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ เช่น ข้าว ยางพารา มันสำปะหลัง เป็นต้น ในปี 2558 มีการผลิตข้าวรวมในประเทศไทยมากถึง 28 ล้านตัน และ ส่งออกมากถึง 9.8 ล้านตัน มูลค่าการส่งออกมากกว่า 1.5 แสนล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ซึ่งยังไม่นับรวมมูลค่าสินค้าทางการเกษตรอื่น ๆ การผลิตสินค้าทางการเกษตร จำเป็นต้องพึ่งเทคโนโลยีในการผลิต เพื่อเพิ่มความสามารถการผลิตต่อวันและลดต้นทุนจากการใช้แรงงานคนและสัตว์ ในปัจจุบันพบว่าการประยุกต์ใช้เครื่องจักรกลในการผลิตสินค้าทางการเกษตร เป็นที่นิยมมากขึ้น จากรายงานยอดขายเครื่องยนต์ต้นกำลังของเครื่องจักรกลการเกษตรในประเทศไทยปี 2558 ของบริษัท สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด อยู่ที่ 4.5 หมื่นล้านบาท (ประชาชาติธุรกิจ, 2558) ยังไม่นับรวมผู้ผลิตเครื่องยนต์ทางการเกษตรรายอื่น ๆ ในประเทศไทยนิยมใช้เครื่องยนต์ในงานสูบน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องตัดหญ้า เครื่องพ่นสารเคมี เป็นต้น รวมถึงรถไถนาและรถเก็บเกี่ยวผลผลิตขนาดใหญ่

แม้เครื่องจักรกลทางการเกษตรจะเป็นที่นิยมสูงก็ตาม แต่ยังพบปัญหาในการใช้งานเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งเป็นต้นกำลัง เนื่องจากในการใช้งานจริงไม่สามารถให้ประสิทธิภาพและสมรรถนะที่สูงและเป็นไปตามทฤษฎีได้ โดยเฉพาะเครื่องยนต์อเนกประสงค์ที่มีขนาดเล็กและใช้งานอยู่กับที่ เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น เนื่องจากการออกแบบเครื่องยนต์เหล่านี้ต้องการความกะทัดรัด อากาศที่อยู่รอบตัวเครื่องยนต์จะเกิดการสะสมความร้อนจากการระบายความร้อนของเครื่องยนต์เองและความร้อนจากการใช้งานกลางแจ้งเมื่อสถานะแดดจัด ทำให้อากาศที่ถูกประจุเข้าสู่เครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นต่ำลง ส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพของวัฏจักรอากาศต่ำลงไปด้วย

เทคนิคการลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยน้ำแบบผิวเปียกได้รับความนิยมสูง ในปัจจุบันเราพบอุปกรณ์ชนิดนี้ให้รูปเครื่องปรับอากาศแบบไอระเหยน้ำที่นิยมใช้ในครัวเรือน เนื่องจากเป็นระบบอย่างง่าย ไม่มีอุปกรณ์ที่ซับซ้อนและต้องการการดูแลรักษาเป็นพิเศษ สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กได้ และมีความสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากถึง  $15^{\circ}\text{C}$  (บริษัทมาสเตอร์คูล, 2559)

วิทยานิพนธ์นี้จึงสนใจที่จะประยุกต์ใช้การลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยน้ำแบบผิวเปียกนี้ พัฒนาเป็นระบบช่วยลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์อเนกประสงค์ขนาดเล็กทั้งนี้เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป ตลอดจนถึงค่ามลภาวะของไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว โดยหวังว่าระบบดังกล่าวจะสามารถช่วยให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะการทำงานที่สูงขึ้น ช่วยลดการใช้เชื้อเพลิง และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะมากกว่าเครื่องยนต์เดิมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยการระเหยน้ำ
- 2) เพื่อประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์อเนกประสงค์ขนาดเล็กรอบต่ำที่ติดตั้งระบบที่พัฒนาขึ้น

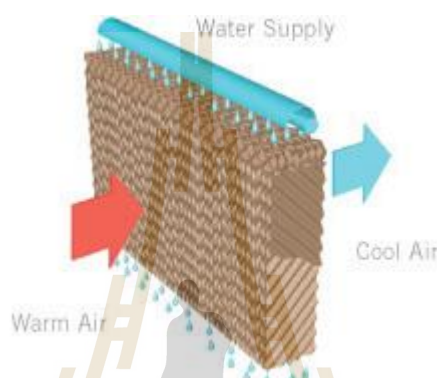
## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ระบบลดอุณหภูมิอากาศเป็นแบบแผ่นผิวเปียกน้ำ (Evaporative Cooling Pad) น้ำสัมผัสกับอากาศโดยตรง
- 2) ใช้เครื่องยนต์อเนกประสงค์รอบต่ำ 4 จังหวะ สูบเดี่ยว เป็นเครื่องยนต์ทดสอบ
- 3) ทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการ

## 1.4 กรอบแนวคิด

การใช้งานเครื่องยนต์อเนกประสงค์ขนาดเล็กแบบติดตั้งอยู่กับที่ พบว่าอากาศที่ระบบดูดอากาศนำเข้าสู่เครื่องยนต์เป็นอากาศร้อนที่เครื่องยนต์เองระบายออกมา ทั้งจากการแผ่รังสีความร้อนและการระบายผ่านครีบอลังอากาศหรือระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ตัวเครื่องไม่สามารถรับอากาศที่สถานะแวดล้อมได้ตามทฤษฎี การประยุกต์ระบบลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยน้ำแบบผิวเปียก (รูปที่ 1.1) ที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้ดี มีต้นทุนการพัฒนาต่ำจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ แนวคิดนี้ได้ถูกนำเสนอโดย วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย, กิตติพงษ์ บุญเงิน และรวีวรรณ สิริวัชรชัยกุล (2557) ซึ่งได้ทดลองระบบดังกล่าวเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการกับเครื่องยนต์อเนกประสงค์ 4 จังหวะ สูบเดี่ยว ขนาดความจุกระบอกสูบ 163 cc ติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำเพื่อทำให้อากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำลง ความหนาแน่นมากขึ้น การทดสอบพบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพปริมาตรขึ้น 1.06% ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลงได้มากกว่า 30% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ตัวเดียวกันที่ไม่ได้ติดระบบลดอุณหภูมิอากาศ ในระยะเวลาเดิน

เครื่องยนต์ 4 ชั่วโมงที่รับภาระเท่ากัน และการทดสอบภาคสนามเบื้องต้นของ ชิชณพงค์ ประจักษ์เมธีเลิศ, พิณนรี แสงงนวล, อรอนงค์ พรรณนา และกระวี ตรีอำนาจ (2558) ที่ได้ติดตั้งเครื่องยนต์ขนาดเดียวกันกับเครื่องสูบน้ำและใช้ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ โดยใช้น้ำเย็นอุณหภูมิ 5°C พบว่า อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถลดอุณหภูมิอากาศลงได้เฉลี่ย 16°C เพิ่มประสิทธิภาพปริมาตรได้สูงสุด 8% ที่ความเร็วรอบ 3,500 RPM มีผลประหยัดเชื้อเพลิงได้ 0.24 ลิตร/ชม.



รูปที่ 1.1 การลดอุณหภูมิอากาศโดยใช้แผ่น Evaporative cooling pad (Nature cool, 2016)

วิทยานิพนธ์นี้จึงเป็นการประยุกต์ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำในการเพิ่มสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยมีกรอบแนวคิดที่จะพัฒนาระบบลดอุณหภูมิตามแนวทางที่มีการรายงานผลแล้ว และจะทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งระบบดังกล่าวในห้องปฏิบัติการมาตรฐาน และตรวจวิเคราะห์คุณภาพของไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ติดตั้งระบบแล้ว โดยต้องการพัฒนาให้เป็นอุปกรณ์ขนาดกะทัดรัด เหมาะสมในการติดตั้งใช้งานได้จริงต่อไป

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ต้นแบบระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยการระเหยน้ำ
- 2) สมรรถนะเครื่องยนต์สูงขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง เมื่อติดตั้งต้นแบบระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยการระเหยน้ำ โดยเทียบกับก่อนการติดตั้งระบบดังกล่าว

## บทที่ 2

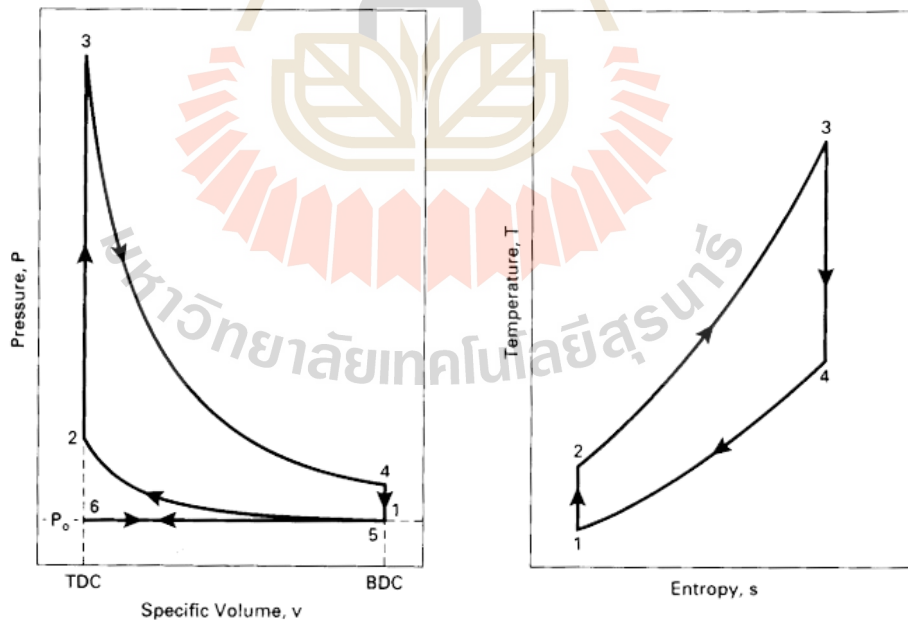
### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ จำเป็นจะต้องทราบถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ดังนั้นผู้ทำวิจัยได้ทำการรวบรวมตัวแปรทางทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดังนี้

#### 2.1 สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

##### 2.1.1 วัฏจักรออตโต (Otto cycle)

การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน จะใช้วัฏจักรออตโต (พูลคาเบ็ก วิลลาร์ด คับบิวส์, 2546) สำหรับการวิเคราะห์ ซึ่งแบ่งได้ทั้งหมด 6 กระบวนการ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 P-V and T-S diagrams of ideal otto cycle (พูลคาเบ็ก วิลลาร์ด คับบิวส์, 2546)

กระบวนการ 1-2 จังหวะอัดแบบไอเซนโทรปิก

$$P_2 = P_1 (r_c)^k \quad (2.1)$$

$$T_1 = T_2 (r_c)^{k-1} \quad (2.2)$$

กระบวนการ 2-3 ป้อนความร้อนเข้าระบบแบบปริมาตรคงที่

$$Q_{in} = Q_H = m_f Q_{HV} \eta_C = m_m C_v (T_3 - T_2) \quad (2.3)$$

$$P_3 = P_2 (T_3 / T_2) \quad (2.4)$$

กระบวนการ 3-4 จังหวะขยายตัวหรือจังหวะทำงานแบบไอเซนโทรปิก

$$P_4 = P_3 (1/r_c)^k \quad (2.5)$$

$$T_4 = T_3 (1/r_c)^{k-1} \quad (2.6)$$

กระบวนการ 4-5 การคายความร้อนแบบปริมาตรคงที่

$$Q_{out} = m_m C_v (T_5 - T_4) \quad (2.7)$$

กระบวนการ 5-6 จังหวะคายไอเสียแบบความดันคงที่

$$P_5 = P_6 = P_0 \quad (2.8)$$



- เมื่อ  $P$  คือ ความดันภายในกระบอกสูบ (kPa)  
 $T$  คือ อุณหภูมิภายในกระบอกสูบ (K)  
 $r_c$  คือ อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์  
 $k$  คือ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศ  
 $Q_{in}$  หรือ  $Q_H$  หรือ  $Q_{out}$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ)  
 $m_f$  คือ มวลเชื้อเพลิง (kg)  
 $Q_{HV}$  คือ ค่าพลังงานของเชื้อเพลิง (kJ/kg)  
 $\eta_c$  คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้  
 $m_m$  คือ มวลเชื้อเพลิงรวมกับอากาศ (kg)  
 $C_v$  คือ ค่าความร้อนจำเพาะแบบปริมาตรคงที่ (kJ/kg-K)

### 2.1.2 ประสิทธิภาพปริมาตร (Volumetric efficiency) (Pulkrabek, 2004)

ในความเป็นจริงเครื่องยนต์ไม่สามารถดูดอากาศที่ความดันบรรยากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้ 100% จึงใช้ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเพื่อแสดงถึงความสามารถในการดูดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ดังสมการที่ 2.9

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a V_d N} \quad (2.9)$$

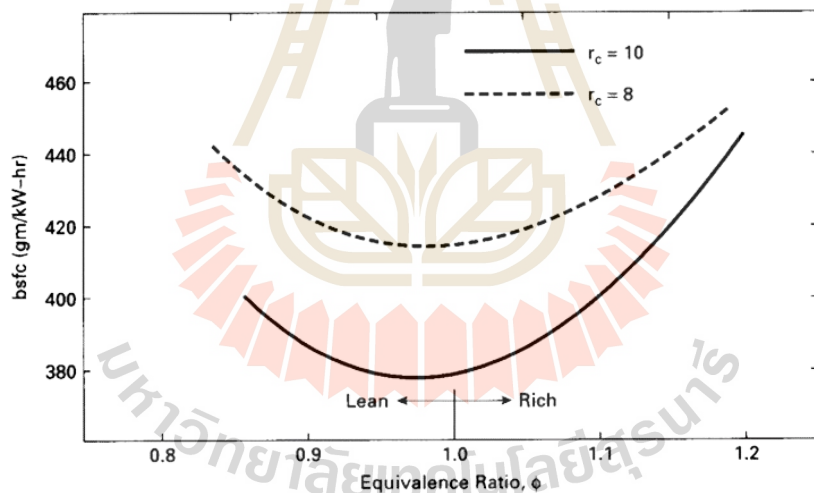
- เมื่อ  $\eta_v$  คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร  
 $\dot{m}_a$  คือ อัตราการไหลเข้าจริงของอากาศ (kg/s)  
 $V_d$  คือ ปริมาตรระยะชัก ( $m^3$ )  
 $n = 1$  กรณีเครื่องยนต์ 2 จังหวะ ,  $n = 2$  กรณีเครื่องยนต์ 4 จังหวะ  
 $N$  คือ ความเร็วรอบ (rev/s)  
 $\rho_a$  คือ ความหนาแน่นอากาศ ( $kg/m^3$ )

### 2.1.3 อัตราส่วนสมมูล (Equivalent ratio) (Pulkrabek, 2004)

ค่าอัตราส่วนสมมูลจะแสดงถึงค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางทฤษฎีซึ่งคิดจากคุณสมบัติทางเคมีของอากาศและเชื้อเพลิงเทียบกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เข้าสู่เครื่องยนต์จริง ดังนั้นอัตราสมมูลเท่ากับ 1 คืออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้จริงเท่ากับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี ดังสมการที่ 2.10

$$\phi = \frac{\text{Actual fuel air ratio}}{\text{Stoichmetric fuel air ratio}} = \frac{F/A_{\text{act}}}{F/A_{\text{stoich}}} = \frac{A/F_{\text{stoich}}}{A/F_{\text{act}}} \quad (2.10)$$

- เมื่อ  $\phi$  คือ อัตราส่วนสมมูล  
 F คือ อัตราการไหลเข้าของเชื้อเพลิง (kg/s)  
 A คือ อัตราการไหลเข้าของอากาศ (kg/s)



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์เทียบกับอัตราส่วนสมมูล (Pulkrabek, 2004)

จากรูปที่ 2.2 แสดงค่าอัตราส่วนสมมูล จะเห็นว่า ที่อัตราส่วนสมมูลน้อยกว่า 1 เล็กน้อย อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้จริงมีค่ามากกว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางทฤษฎีจะมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะน้อยที่สุด และเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูง ๆ จะมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดที่น้อยกว่า

### 2.1.4 กำลังเบรก (Brake power) (Pulkrabek, 2004)

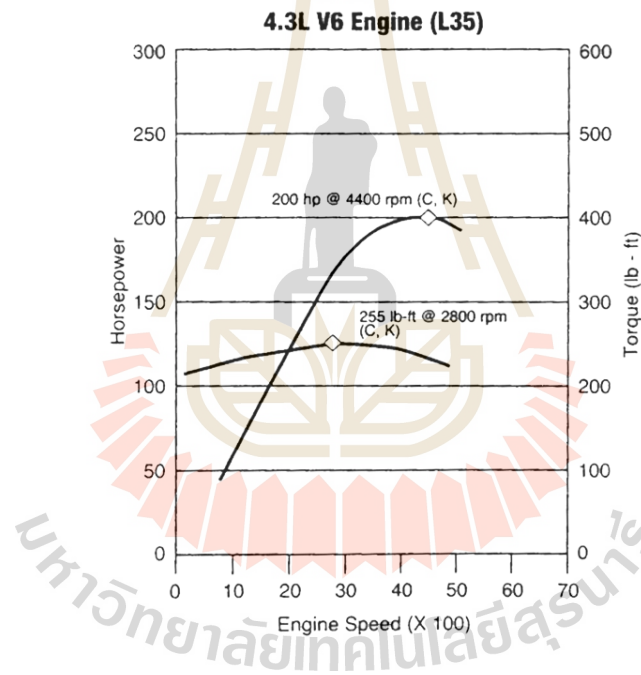
กำลังเบรก คือ อัตราการให้งานต่อหน่วยเวลาของเครื่องยนต์

$$P_b = \dot{w}_b = \frac{2\pi NT}{60} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $P_b, \dot{w}_b$  คือ กำลังงานเบรก (Watt)

T คือ โมเมนต์บิด (Torque) ของเครื่องยนต์ (N-m)

N คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (RPM)



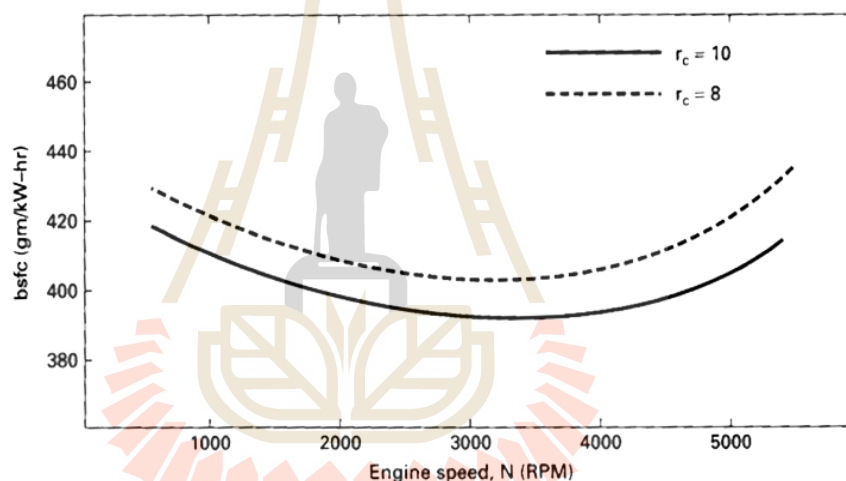
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Pulkrabek, 2004)

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น โมเมนต์บิดและกำลังของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โมเมนต์บิดและกำลังของเครื่องยนต์จะสูงสุดที่ความเร็วรอบค่าหนึ่ง แล้วลดลง เนื่องจากแรงเสียดทานภายในเครื่องยนต์ การสูญเสียความร้อน และความสามารถในการดูดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้

### 2.1.5 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉพาะ (Specific fuel consumption) (Pulkrabek, 2004)

$$\text{BSFC} = \frac{\dot{m}_f}{\dot{w}_b} \quad (2.12)$$

เมื่อ BSFC คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/W-s)  
 $\dot{m}_f$  คือ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง (kg/s)  
 $\dot{w}_b$  คือ กำลังเบรคของเครื่องยนต์ (W)



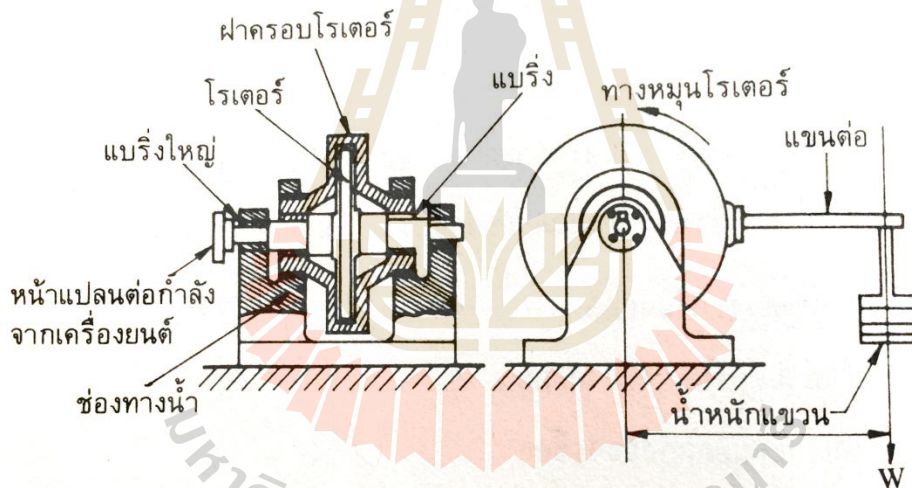
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Pulkrabek, 2004)

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.12 มีค่าลดลงเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และลดลงต่ำสุดที่ความเร็วรอบค่าหนึ่ง เครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูงจะมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดน้อยกว่า

## 2.2 ไคนาโมมิเตอร์แบบไฮดรอลิก

ไคนาโมมิเตอร์ คือ อุปกรณ์วัดแรงม้าหรือ โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์ การวัดแรงม้าเบรกของเครื่องยนต์จะใช้หลักการให้ภาระโหลดแก่เครื่องยนต์ ซึ่งชนิดของภาระโหลดจะแตกต่างกันไปตามชนิดของไคนาโมมิเตอร์ ค่าที่อ่านได้จากไคนาโมมิเตอร์จะเป็นค่าโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์

ไคนาโมมิเตอร์แบบไฮดรอลิก (อุตสาหกรรม จีรากร และเชื้อ ชูขำ, 2539) จะใช้น้ำในการให้ภาระโหลดแก่เครื่องยนต์ ซึ่งอุปกรณ์พื้นฐานโดยทั่วไปจะประกอบด้วย โรเตอร์ ยึดติดกับเพลลาของเครื่องยนต์ ฝาครอบโรเตอร์ ภายในจะมีน้ำซึ่งเป็นตัวกลางในการส่งกำลังจากโรเตอร์ และมีคานยาวไว้สำหรับแขวนมวล เมื่อเพลลาของเครื่องยนต์หมุน จะทำให้โรเตอร์หมุนตามไปด้วย น้ำที่อยู่ภายในจะทำให้ฝาครอบโรเตอร์เคลื่อนที่ ที่ปลายคานของฝาครอบจะต้องมีการแขวนมวลเพื่อไม่ให้ฝาครอบโรเตอร์หมุนตาม จึงจะสามารถคำนวณหาโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์ได้ดังสมการที่ 13 และแปลงค่ากลับเป็นค่าแรงม้าของเครื่องยนต์ได้ดังสมการที่ 2.11



รูปที่ 2.5 ไคนาโมมิเตอร์แบบไฮดรอลิก (อุตสาหกรรม จีรากร และเชื้อ ชูขำ, 2539)

$$T = Wr \quad (2.13)$$

- เมื่อ
- T คือ โมเมนต์บิดที่เกิดจากเครื่องยนต์ (N-m)
  - W คือ น้ำหนักของมวลที่แขวนไว้ปลายคาน (N)
  - R คือ ความยาวคานจากกึ่งกลางของไคนาโมมิเตอร์ถึงมวลแขวน (m)

### 2.3 ไอดีของเครื่องยนต์

อากาศที่ไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ อาจมีค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น หากเกิดการถ่ายเทความร้อนจากห้องเผาไหม้สู่ท่อไอดีของเครื่องยนต์ รวมทั้งความร้อนที่เกิดขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนของเครื่องยนต์สู่บรรยากาศรอบข้าง การถ่ายเทความร้อนจากไอเสีย โดยเฉพาะเครื่องยนต์ที่มีการใช้งานอยู่กับที่ ดังนั้นอากาศที่มีอุณหภูมิสูง จะมีค่าความหนาแน่นลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการดูดอากาศเข้าสู่เครื่องยนต์และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ลดลงด้วย การแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ มีการทดลองฉีดน้ำเข้าสู่ท่อไอดี เพื่ออาศัยความร้อนแฝงจากการระเหยของน้ำทำให้อากาศเย็นลง ซึ่งทดลองกับเครื่องบินรบในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 พบว่า การฉีดน้ำเข้าสู่ท่อไอดีทำให้กำลังและประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น อีกทั้งโรงงานผลิตเครื่องยนต์ SAAB ได้ทดลองระบบฉีดน้ำดังกล่าว โดยใช้น้ำจากถังเก็บน้ำล้างกระจก พบว่าช่วยลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 20-30% ที่ความเร็วสูง (Pulkrabek, 2004)

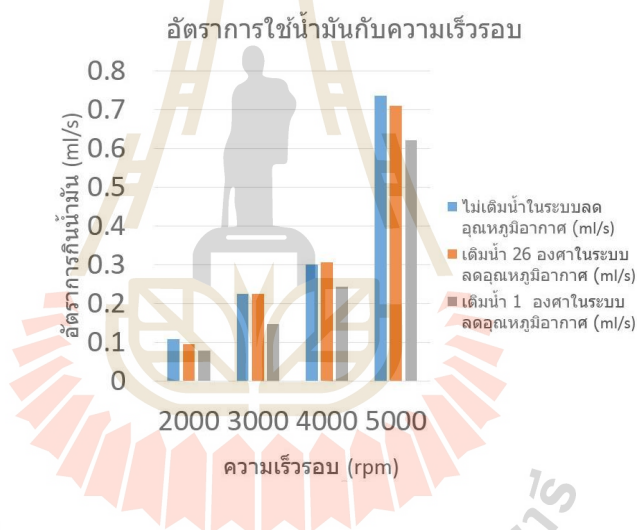
การประยุกต์ใช้ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ (Evaporative Cooling) มีอิทธิพลต่ออากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ คือ อากาศมีอุณหภูมิลดลงจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ และอากาศมีความชื้นหรือไอน้ำในอากาศเพิ่มมากขึ้นจากการระเหยของน้ำ ดังนั้นผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้ทำการศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ การฉีดน้ำเข้าสู่ห้องเผาไหม้ รวมถึงการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และออกซิเจน ( $O_2$ ) ให้กับอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ ดังนี้

ศักรินทร์ ปาปะเก, วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย, กิตติพงษ์ บุญเงิน, รวีวรรณ สิริวัชรชัยกุล, กระจวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค (2560) ได้ศึกษาวิเคราะห์เชิงตัวเลขค่าสมรรถนะทางอุณหพล-ศาสตร์ที่เปลี่ยนแปลงจากผลของการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนี่หือ ฮอนด้า รุ่น GX160 4 จังหวะ 1 สูบ ขนาดความจุ 163 cc โดยกำหนดอุณหภูมิปกติ  $50^{\circ}C$  ความชื้นสัมพัทธ์ 57% และอุณหภูมิภายหลังผ่านกระบวนการระเหยน้ำอุณหภูมิ  $40^{\circ}C$  ความชื้นสัมพัทธ์ 100% พบว่าการลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยน้ำทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง ความหนาแน่นและความชื้นสูงขึ้น ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศลดลงเป็นผลให้เครื่องยนต์ที่ใช้อากาศที่อุณหภูมิต่ำมีกำลังเบรกและโมเมนต์บิดเพิ่มขึ้น 3.846% และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ลดลง 0.712% เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า

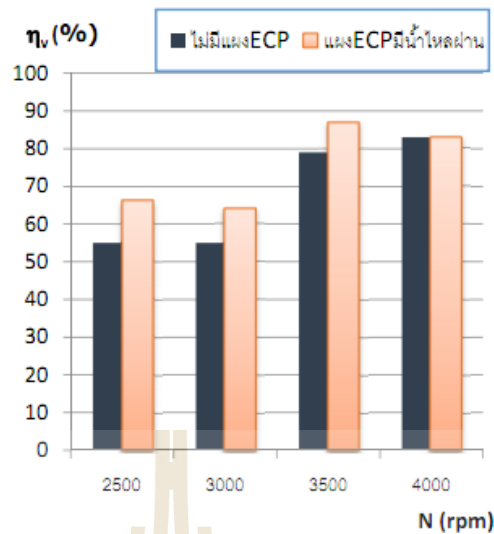
วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย และคณะ (2557) ได้ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เบนซิน 1 สูบ 4 จังหวะขนาด 163 cc โดยติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำขนาดกว้าง 45 cm ยาว 30 cm สูง 30 cm แบ่งเป็น 3 การทดลองย่อย คือ 1. ติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแต่ไม่เปิดระบบน้ำวน 2. เปิดระบบน้ำวนที่อุณหภูมิ  $26^{\circ}C$  3. เปิดระบบน้ำวนที่อุณหภูมิ  $1^{\circ}C$

ทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,000-5,000 RPM พบว่าอากาศที่ไหลผ่านระบบลดอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าอุณหภูมิต่ำลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น 1.06% และมีผลประหยัดเชื้อเพลิง 0.22 ลิตรต่อชั่วโมง (รูปที่ 2.6)

ชิษณุพงศ์ ประจักษ์เมธิเลิศ และคณะ (2558) ได้ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 1 สูบ 163 cc โดยติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ ขนาดกว้าง 20 cm ยาว 20 cm สูง 10 cm ใช้ระบบน้ำวนที่อุณหภูมิ 5°C ทดสอบภาคสนามให้ภาระโหลดกับเครื่องยนต์ดังกล่าวโดยการปั้มน้ำที่ความเร็วรอบ 2,500-4,000 RPM พบว่า ระบบลดอุณหภูมิดังกล่าวสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้สูงสุด 16°C ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 8% ที่ 3,600 RPM และอากาศที่ไหลผ่านระบบลดอุณหภูมิดังกล่าวจะมีความหนาแน่นและความชื้นสูงขึ้น



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วยนต์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ (วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย และคณะ, 2557)



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบทั้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ (ชัยณพงศ์ ประจักษ์เมธิเลิศ และคณะ, 2559)

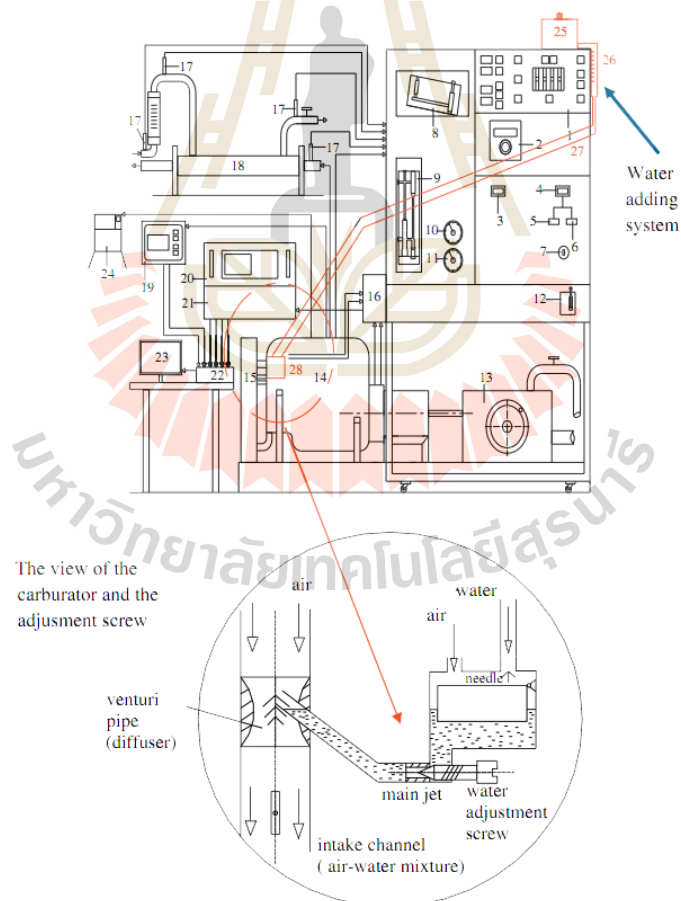
Pan, Yao, Han, Wei and Wang (2015) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงคู่ 6 สูบ ขนาดความจุกระบอกสูบ 9.726 ลิตร ให้ภาระกับเครื่องยนต์อย่างต่อเนื่องที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 RPM พบว่า เมื่ออุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่กระบวนการสันดาปลดลง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูงขึ้น และอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ลดลง (กรณีใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซลอย่างเดียว) การลดอุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลานาน จะทำให้การจุดระเบิดเกิดขึ้นช้าลงกว่าปกติและความดันในกระบอกสูบต่ำลง การใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิงคู่ส่งผลให้เครื่องยนต์ปล่อยมลพิษมากขึ้น เห็นได้ชัดจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ก๊าซ  $\text{NO}$   $\text{NO}_x$   $\text{CO}$  Total Hydro Carbon (THC) และฟอร์มาลดีไฮด์ แต่การลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าสู่กระบวนการสันดาปทำให้การปล่อยมลพิษดังกล่าวลดลง

Sajovaara, Larimi and Vuorinen (2015) ได้ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าเครื่องยนต์ ในเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงคู่ 6 สูบ ขนาด 7.41 ลิตร โดยใช้เชื้อเพลิง E85 เป็นเชื้อเพลิงคู่ ทดสอบที่โมเมนต์บิด 400 N-m และ 700 N-m ที่ความเร็วรอบ 1,500 RPM พบว่า การลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าพร้อมกับการใช้เชื้อเพลิง E85 ที่ 68% โดยพลังงาน ทำให้อุณหภูมิของไอเสียและปริมาณของ  $\text{NO}_x$  ลดลง การลดอุณหภูมิดังกล่าวทำให้ปริมาณ  $\text{CO}$  และ THC เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ลดลงประมาณ 8% การใช้เชื้อเพลิง E85 สามารถใช้ผสมกับเชื้อเพลิง



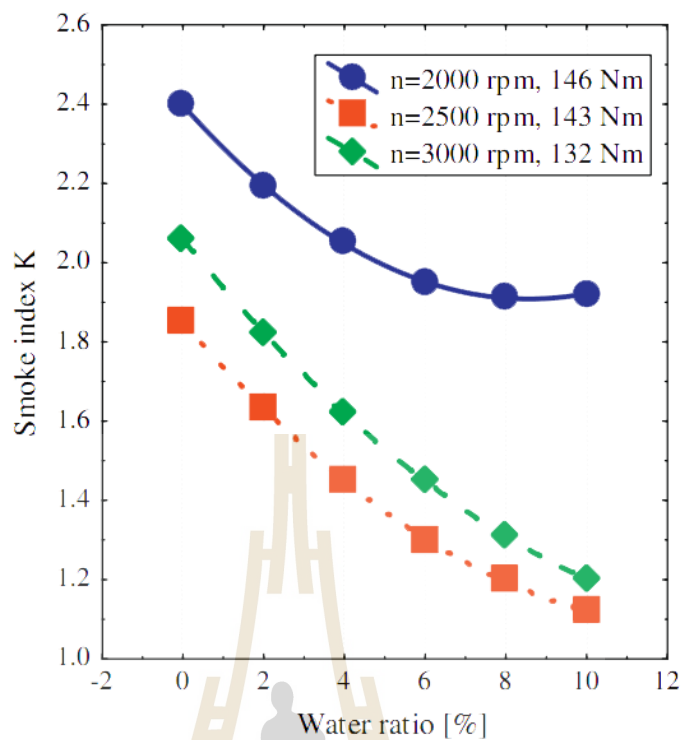
ดีเซลได้สูงสุดถึง 75% โดยพลังงาน หากลดอุณหภูมิอากาศเข้าเท่ากับ  $44^{\circ}\text{C}$  ที่ 400 N-m และ  $39^{\circ}\text{C}$  ที่ 700 N-m การลดอุณหภูมิอากาศเข้าจะส่งผลต่อการจุดระเบิดล่า

Sahin, Tuti and Durgun (2014) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการฉีดน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์ของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบ ขนาด 1.461 ลิตร โดยการทดลองให้ภาระแตกต่างกัน มีการใช้คาร์บิวเรเตอร์และคอคอดเพื่อปรับปริมาณของน้ำที่ฉีดเข้าสู่เครื่องยนต์ดังรูปที่ 2.8 จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของน้ำที่ฉีดเข้าสู่เครื่องยนต์ จะทำให้ smoke index k ลดลง และลดลงต่ำสุดที่ 41.75% ที่การฉีดน้ำ 11.71% ที่ความเร็วรอบ 3,000 RPM เมื่อเทียบกับปริมาณ smoke index k ที่ไม่ได้มีการฉีดน้ำ ปริมาณ  $\text{NO}_x$  ลดลงหลังจากการฉีดน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์มากกว่า 6% ขึ้นไป และลดลงสูงสุด 12.489% ที่การฉีดน้ำ 9.4% ที่ความเร็วรอบ 2,500 RPM การเพิ่มปริมาณของน้ำที่ฉีดเข้าสู่เครื่องยนต์ไม่มีนัยสำคัญกับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ แต่อย่างไรก็ตามความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงประมาณ 4% ที่ความเร็วรอบ 3,500 RPM เมื่อมีการฉีดน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์



รูปที่ 2.8 การติดตั้งระบบจ่ายน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์ โดยใช้หลักการการไหลผ่าน Venturi

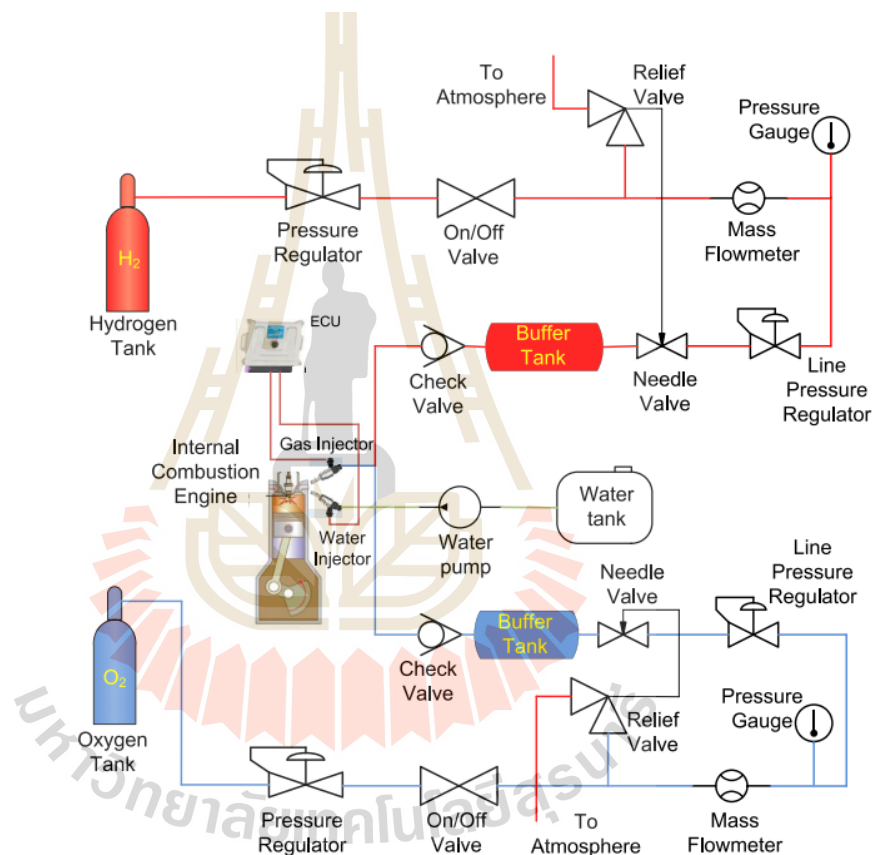
(Sahin et al., 2014)



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Smoke index K เทียบกับ ปริมาณน้ำที่ฉีดเข้าสู่เครื่องยนต์  
(Sahin et al., 2012)

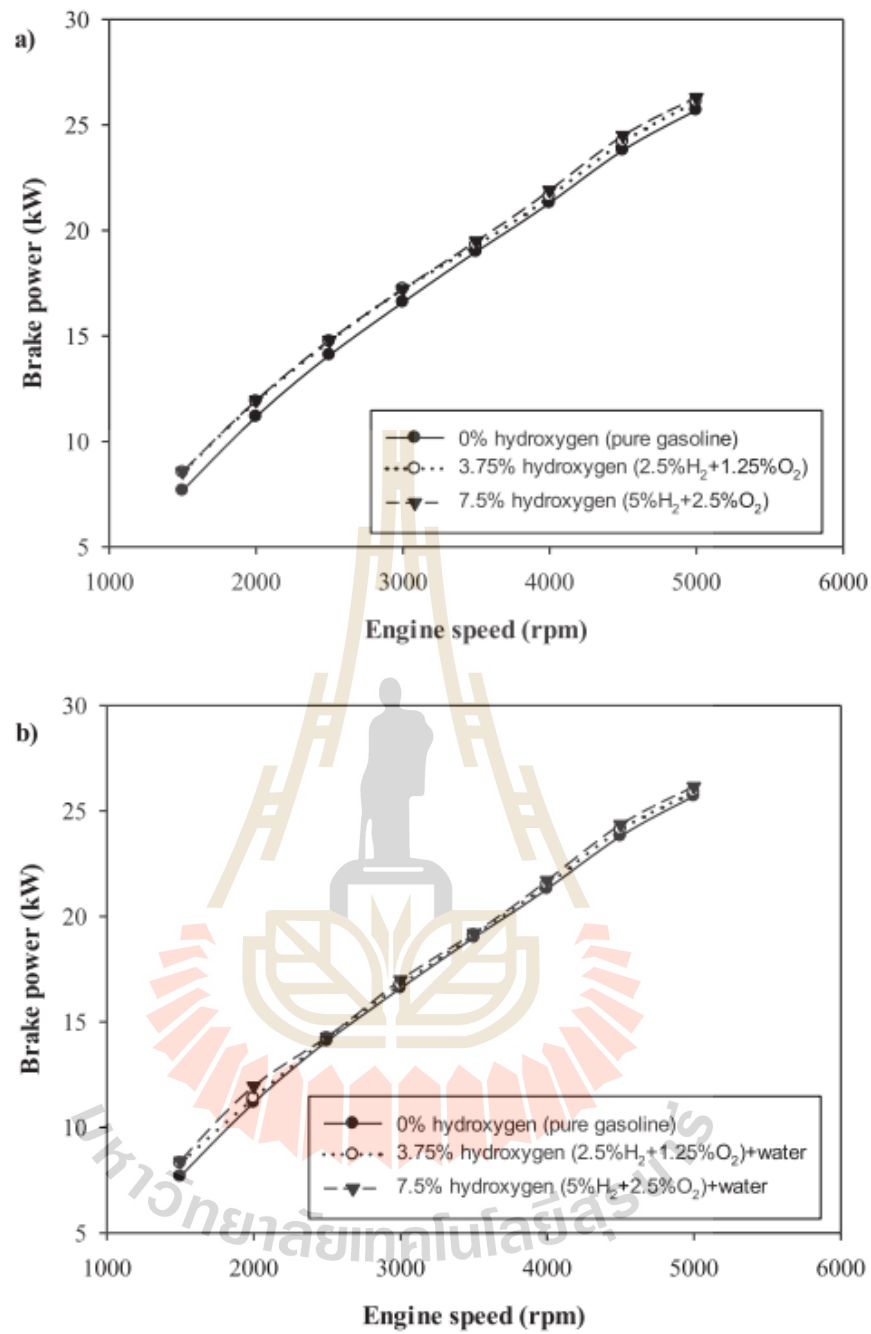
จากรูปที่ 2.9 เมื่อปริมาณน้ำที่ฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณควันที่ได้จากการเผาไหม้ลดลง โดยให้ผลดีที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM ที่ภาระโหลด 143 N-m

Karagoz, Sandalci, Yuksek and Dalkilic (2015) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลลัพท์ของการเพิ่มปริมาณ  $H_2$   $O_2$  และน้ำ โดยใช้หัวฉีดที่มีการปรับแต่ง ECU และติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.10 ทดสอบกับเครื่องยนต์ จาร์กัว 4 สูบ ขนาด 1.124 L จากการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณ  $H_2$  และ  $O_2$  จะทำให้กำลังม้าเบรคเพิ่มขึ้น 11.7% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 5.9% ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง 5.6% ปริมาณ Total Hydrocarbon ลดลง 74.5% และ ปริมาณ CO ลดลง 59.5% หากมีการฉีดน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์พร้อมกับการเพิ่มปริมาณ  $H_2$  และ  $O_2$  จะทำให้ผลลัพท์ทุกค่าดังกล่าวลดลงดังรูปที่ 2.11



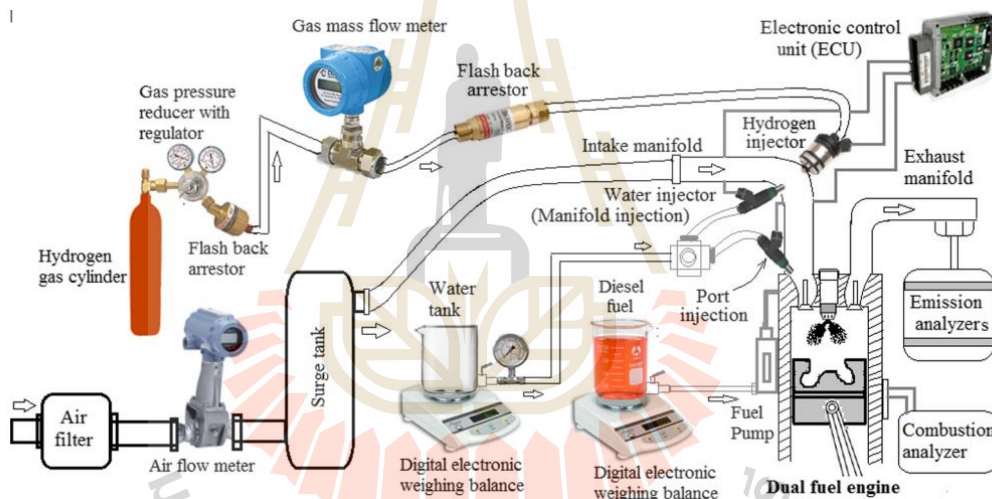
รูปที่ 2.10 การติดตั้งระบบจ่าย  $H_2$   $O_2$  และน้ำ เข้าสู่เครื่องยนต์

(Karagoz et al., 2015)

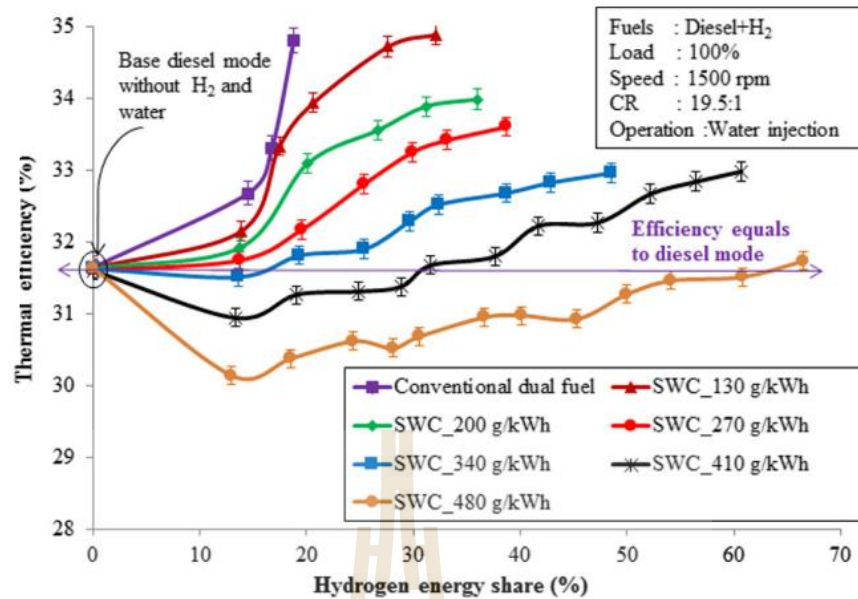


รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเบรกเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่มีการเพิ่มปริมาณ H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> และน้ำ เข้าสู่เครื่องยนต์ (Karagoz et al., 2015)

Chintala and Subramanian (2016) ได้ศึกษาผลของการฉีดน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์และลดอัตราส่วนการอัด ในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมกับแก๊สไฮโดรเจน ( $H_2$ ) โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ ขนาด 947.4 cc ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 RPM พบว่าสามารถใช้แก๊สไฮโดรเจนร่วมกับน้ำมันดีเซลได้ถึง 18.8 % โดยพลังงาน หากมีการฉีดน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์และลดอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์จะสามารถเพิ่มปริมาณการใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงได้ถึง 79% โดยพลังงาน ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับแก๊สไฮโดรเจนจะมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่มีการฉีดน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์และการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเพียงอย่างเดียว ปริมาณ HC, CO, smoke, NO และประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะลดลงอย่างมากเมื่อฉีดน้ำที่ 340 g/kW-hr และลดอัตราส่วนการอัดเหลือเพียง 16.5:1 ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบแสดงดังรูปที่ 2.12 และผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 2.13

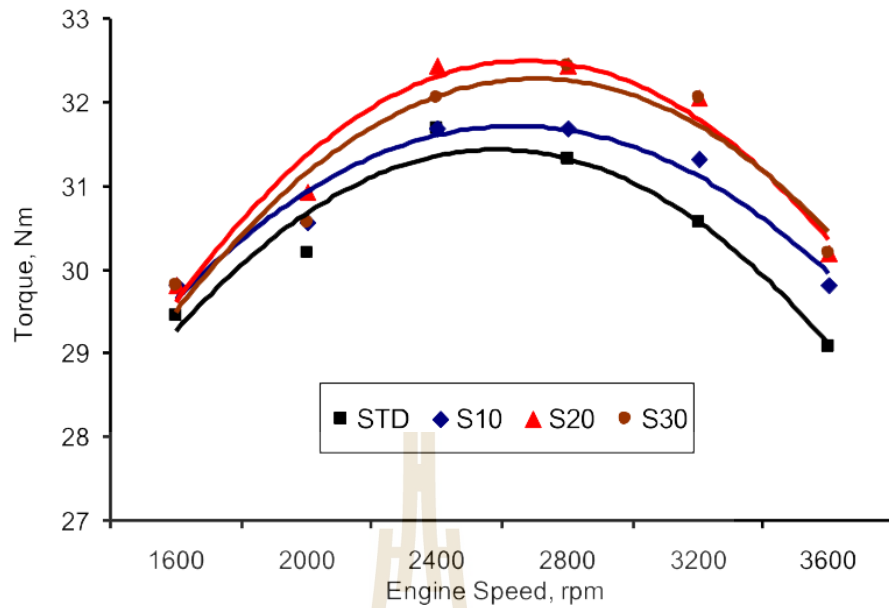


รูปที่ 2.12 การติดตั้งระบบการจ่ายน้ำและไฮโดรเจนเข้าสู่เครื่องยนต์ (Chintala et al., 2016)

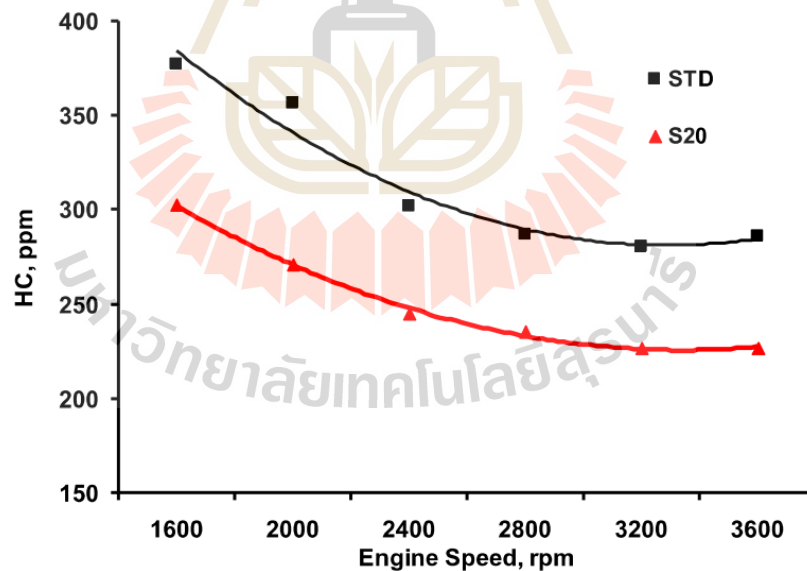


รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์เทียบกับปริมาณไฮโดรเจนและน้ำที่เพิ่มเข้าสู่เครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1500 RPM (Chintala et al., 2016)

Cesur, Parlak, Ayhan, Boru and Gonca (2013) ได้ศึกษาผลของการฉีดไอน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์เบนซินหัวฉีด 4 จังหวะ 2 สูบ ขนาด 505 cc ทดสอบที่ภาระสูงสุดที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 1,600-3,600 RPM โดยใช้ไอน้ำแรงดัน 3 bar อุณหภูมิ 133.5 °C พบว่า ปริมาณการฉีดไอน้ำที่เหมาะสมที่สุดคือ 20% โดยมวลเชื้อเพลิง สามารถเพิ่มกำลังและโมเมนต์บิด 4.65% ที่ความเร็วรอบ 3,200 RPM ดังรูปที่ 2.14 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลง 6.44% ที่ความเร็วรอบ 2,800 RPM ปริมาณ NO ลดลงเฉลี่ย 40% ที่ความเร็วรอบ 2,800 RPM และปริมาณ HC ลดลง 31.5% ที่ความเร็วรอบ 2,000 RPM ดังรูปที่ 2.15



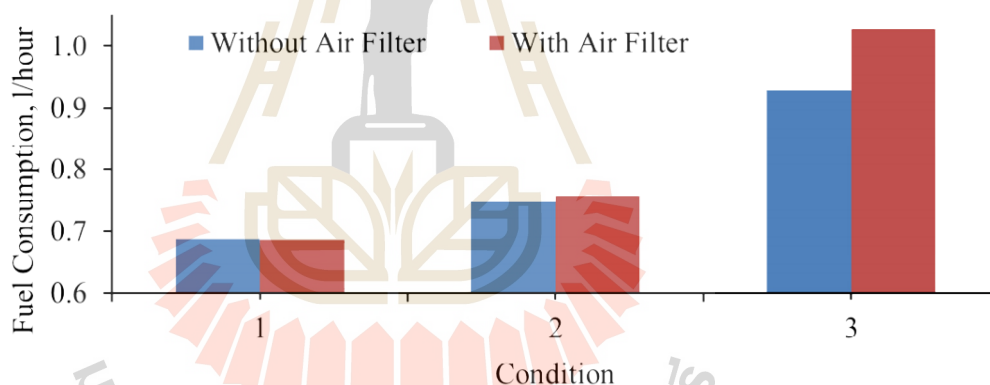
รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่มีการฉีดไอน้ำที่ ปริมาณแตกต่างกัน (Cesur et al., 2013)



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่มีการฉีดไอน้ำ และเครื่องยนต์เดิม (Cesur et al., 2013)

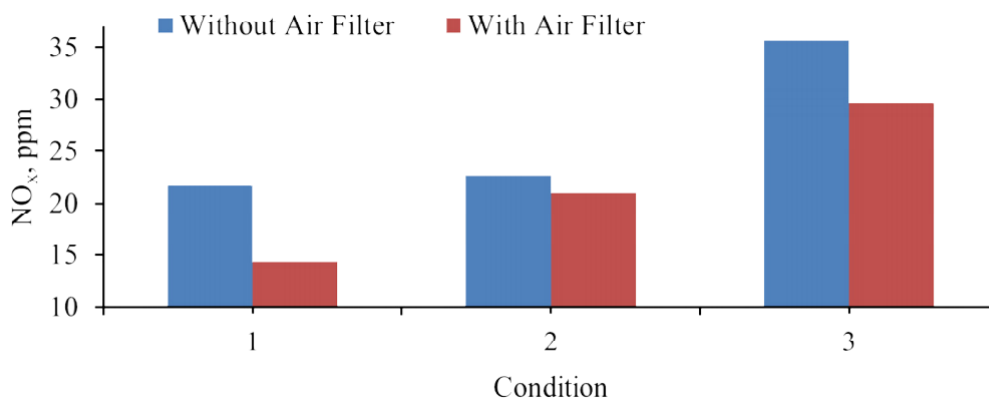
Kassaby, Eldrainy, Khidr and Khidr (2016) ได้ศึกษาผลของการใช้ Hydroxy (HHO) gas ในเครื่องยนต์เบนซิน 4 สูบ ขนาด 1.3 L โดยให้ภาระโหลดแตกต่างกันที่ความเร็วรอบ 1500-2500 RPM พบว่า สามารถผลิตแก๊ส HHO ได้สูงสุด 18 L/hr โดยการใช้ Sodium Hydroxide (KOH) 6 g/L การใช้แก๊ส HHO ร่วมกับน้ำมันเบนซินจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น 10% ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลง 34% ปริมาณ CO ลดลง 18% ปริมาณ HC ลดลง 14% และปริมาณ  $\text{NO}_x$  ลดลง 15%

Rosli, Shahrudin, Mohd, Mamat, Kasolang, Zulkifli and Mamat (2013) ได้ศึกษาผลของการติดตั้งระบบกรองอากาศของเครื่องยนต์เบนซิน 1 สูบ ขนาด 169 cc โดยทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ที่ 1,500, 2,000 และ 2,500 RPM พบว่า ภายหลังจากติดตั้งระบบกรองอากาศจะทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเพิ่มขึ้น แต่ความดันอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ ปริมาณ  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  และ อุณหภูมิไอเสียจะลดลงดังรูปที่ 2.16 และ 2.17 การติดตั้งกรองอากาศทำให้ได้อากาศที่สะอาด ไม่มีสิ่งเจือปนไปกับอากาศ ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งกรองอากาศ (Rosli et al., 2013)





รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ NO<sub>x</sub> เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งกรองอากาศ (Rosli et al., 2013)

## 2.4 Evaporative cooling pad

Tag technology agreement group (2559) กล่าวว่า การใช้หลักการทางธรรมชาติในการปรับอากาศ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยทำให้รู้สึกสบายและมีการใช้พลังงานน้อย คือ การใช้หลักการวิธีการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) วิธีการทำความเย็นแบบนี้สามารถให้ประสิทธิภาพได้ดีระดับหนึ่ง ในการแก้ปัญหาสภาวะอากาศร้อนทำให้เกิดความรู้สึกที่สบายเช่น การอยู่ใกล้แม่น้ำอยู่ใกล้น้ำตก ซึ่งเมื่ออยู่ในบริเวณแหล่งน้ำจะรู้สึกสดชื่นและมีอุณหภูมิต่ำ บรรยากาศในบริเวณดังกล่าวเหมาะกับการพักผ่อนและรู้สึกสบาย

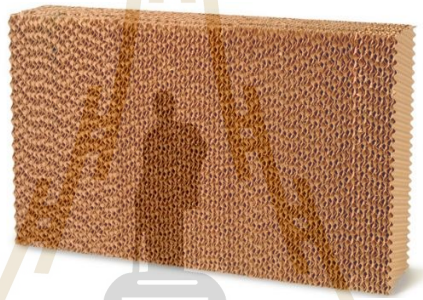
ประโยชน์ในการใช้งานระบบปรับอากาศแบบวิธีการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากใช้พลังงานน้อย มีความสามารถในการใช้งานให้เกิดประโยชน์มากมาย เช่น ใช้ในการปรับอากาศ หรือลดอุณหภูมิภายนอกอาคาร ช่วยระบายความร้อนกับเครื่องจักรต่าง ๆ และใช้ในโรงเรือนเกษตรกรรม เป็นต้น

### 2.4.1 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบวิธีการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling)

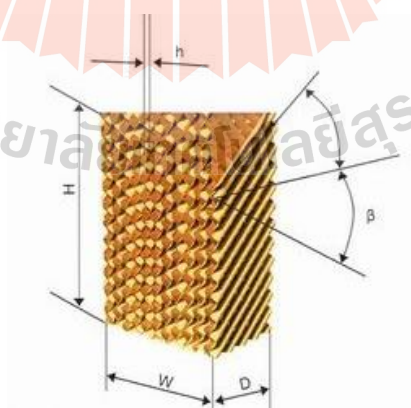
ข้อมูลจาก Tag technology agreement group (2559) ได้นำเสนอว่า ระบบปรับอากาศแบบวิธีการระเหยของน้ำเป็นหลักการวิธีทางธรรมชาติที่ใช้น้ำในการลดอุณหภูมิของอากาศร้อน หลักการคือ การแบ่งอนุภาคของน้ำให้มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวมาก เมื่ออากาศร้อนผ่านพื้นผิวน้ำ อากาศร้อนส่วนหนึ่งจะถูกน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าดูดความร้อนแฝง (Latent heat) และน้ำบางส่วนที่ได้รับความร้อนจะกลายเป็นไอน้ำ ผลที่ได้คือ อากาศร้อนอุณหภูมิจะลดลงแต่มีปริมาณไอน้ำในอากาศเพิ่มมากขึ้น

#### 2.4.2 คุณสมบัติของแผ่นระเหยน้ำแบบเปียกหรือ쿨ลิ่งแพด (Evaporative cooling pad, ECP)

ข้อมูลของบริษัท สยามวิน (2559) ได้นำเสนอว่า แผ่นระเหยน้ำแบบเปียกนี้มีโครงสร้างพิเศษที่ทำด้วยเยื่อ โพลีเมอร์ที่มีสมบัติดูดซึมน้ำได้ดี จัดเรียงเป็นแบบรังผึ้ง มีความหนา ชั้นลอนลูกฟูก 5 mm และ 7 mm มุมทะแวนแนวลอนลูกฟูก  $45^{\circ}$  สามารถป้องกันเชื้อราและมีอายุการใช้งาน ได้ยาวนาน มาตรฐานการใช้งาน쿨ลิ่งแพดกำหนดให้ความสูงของน้ำที่ซึมซับ 60-70 mm/5 min และ 200 mm/1.5 hr และต้องไม่มีสาร Phenol หรือสารเคมีอื่นใดที่ทำให้เกิดการแพ้ต่อผิวหนัง ไม่มีสารพิษ ไม่มีอันตรายใด ๆ ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม (สยามวิน, 2559) รายละเอียดของแผ่นระเหยน้ำแสดงในรูปที่ 2.18 และ 2.19 และตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.18 แผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad) (PPS PACKAGING, 2016)



รูปที่ 2.19 รายละเอียดของแผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad) (สยามวิน, 2559)

ตารางที่ 2.1 ขนาดของแผ่นระเหยน้ำ (Evaporative cooling pad) (สยามวิน, 2559)

Parameter	7090	7060
H (mm)	1,000/1,200/1,500/1,800 and so on	1,000/1,200/1,500/1,800 and so on
W (mm)	600	600
D (mm)	100/150	100/150
H (mm)	7	7
$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	45	45
$\beta$ ( $^{\circ}$ )	45	45

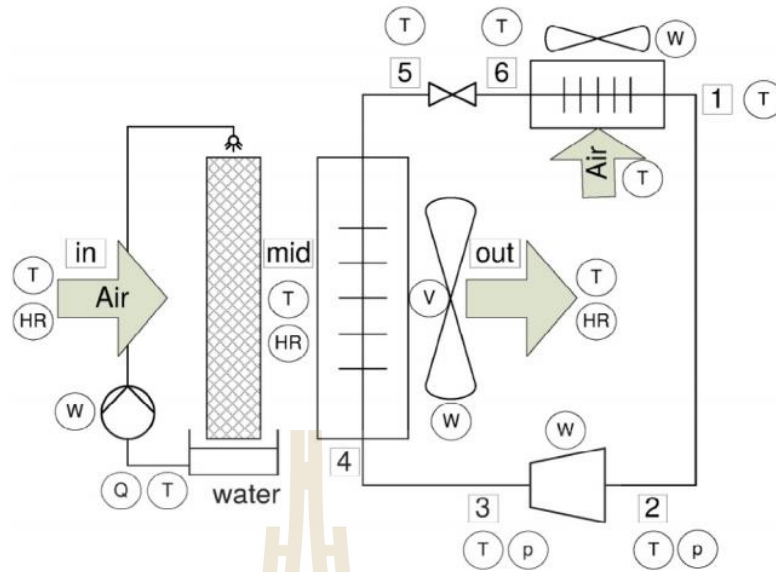
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงข้อมูลทางเทคนิคของแผ่น Evaporative cooling pad (สยามวิน, 2559)

Paper Pad										
Thickness	Wind Speed	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	
100 mm	(Pressure drop)	7	8	11	16	20	24	28	35	
	Efficiency	82	80	78.3	77	75	73	72	71	
150 mm	(Pressure drop)	10	13	18	23	30	38	45	54	
	Efficiency	93	91	90	89	88	87	85	85	

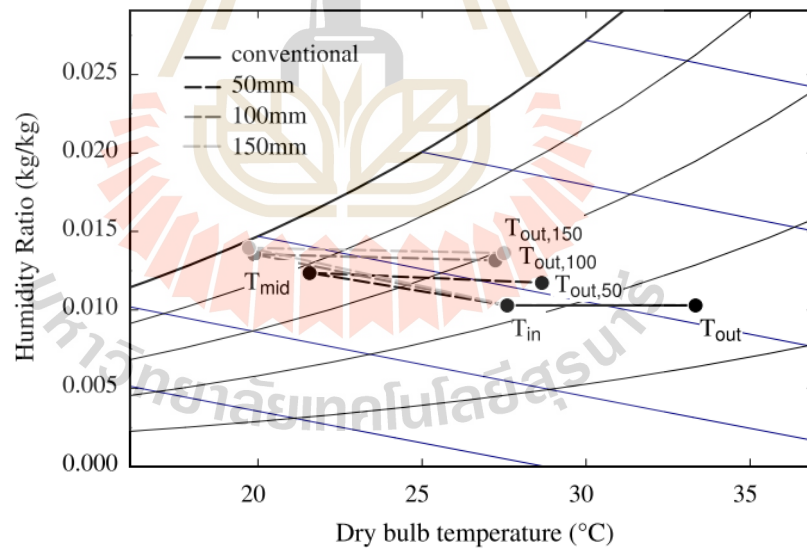
เมื่อ H:high W:width D:depth H:wave height  $\alpha$ :wave angle  $\beta$ :wave angle

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้ทำการศึกษาบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ระบบ Evaporative Cooling โดยใช้แผ่น ECP ในการลดอุณหภูมิเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ดังนี้

P. Martínez, Ruiz, Cutillas, P.J. Martínez, Kaiser and Lucas (2016) ได้ศึกษาการใช้ Evaporative cooling pad, ECP เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้า Condenser ของระบบทำความเย็น Model KFR-25W/EXC ขนาด 2,500W (รูปที่ 2.20) โดยมีการใช้ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 50, 100 และ 150 mm ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า การใช้แผ่น ECP สามารถลดอุณหภูมิอากาศได้สูงสุด 7.4 $^{\circ}$ C ที่ความหนาของแผ่นเท่ากับ 150 mm ค่า COP โดยรวมของระบบทำความเย็นมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานของ Compressor 11.4% Cooling capacity เพิ่มขึ้น 1.8% และค่า COP โดยรวมของระบบทำความเย็นเพิ่มขึ้น 10.6% เมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ไม่มีการใช้แผ่น ECP



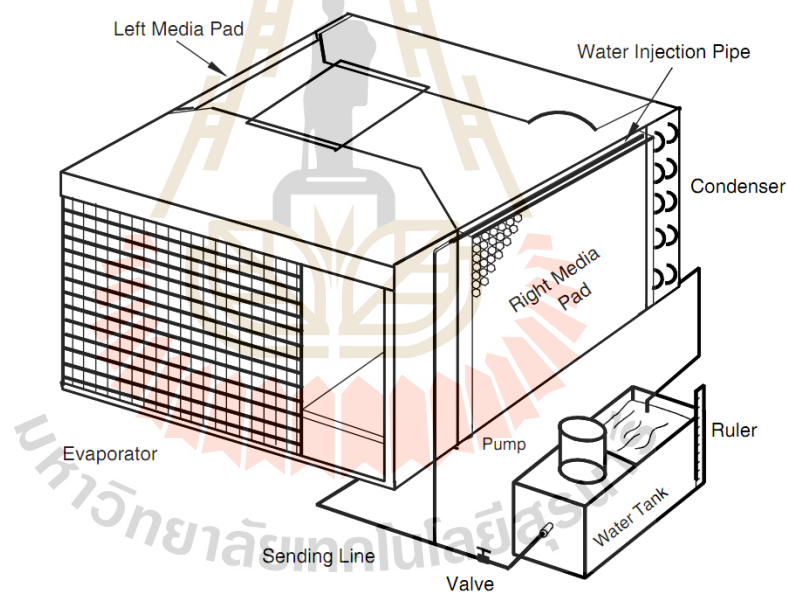
รูปที่ 2.20 การติดตั้งระบบการลดอุณหภูมิด้วยการระเหยน้ำกับระบบทำความเย็นแบบ Split type (Martinez et al., 2016)



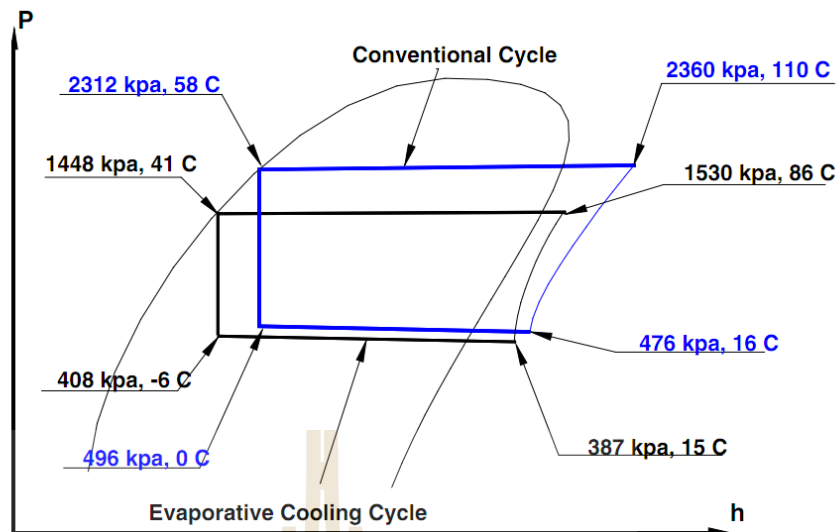
รูปที่ 2.21 ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศก่อนเข้าระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำและหลังผ่าน Condenser ของระบบทำความเย็นแบบ Split type (Martinez et al., 2016)

จากรูปที่ 2.21 แสดงถึงทิศทางการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมื่ออากาศไหลผ่านระบบลดอุณหภูมิแบบระเหยน้ำและ Condenser เมื่ออากาศไหลผ่านระบบลดอุณหภูมิดังกล่าว อากาศจะมีอุณหภูมิลดลงแต่ความชื้นจะสูงขึ้น เนื่องจากระบบดังกล่าวเกิดการดูดซับความร้อนแฝงจากอากาศและระเหยกลายเป็นไอ ความหนาของแผ่นระเหยน้ำ ECP มีผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศ ยิ่งความหนามากขึ้น อุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านจะยิ่งต่ำลง

Hajidavalloo (2007) ทำการประยุกต์ใช้ระบบ Evaporative Cooling ในการลดอุณหภูมิของอุปกรณ์ของระบบทำความเย็นแบบ Vapor compression ขนาด 1.5 ตัน ดังรูปที่ 2.22 พบว่า การใช้แผ่น ECP หนา 3 cm ในสภาวะอากาศที่มีอุณหภูมิกระเปาะเปียกและแห้งเท่ากับ  $24^{\circ}\text{C}$  และ  $45^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ สามารถลดอุณหภูมิของ Compressor ได้ถึง  $24^{\circ}\text{C}$  ลดอุณหภูมิ Condenser ได้ถึง  $17^{\circ}\text{C}$  ลดการสิ้นเปลืองพลังงานของระบบ 15% เพิ่มอัตราการทำงานเย็นของระบบ 33% และเพิ่มค่า COP ของระบบทำความเย็นได้ถึง 55% ซึ่งมีอัตราการสูญเสียน้ำจากการระเหยเท่ากับ 7.5 ลิตรต่อชั่วโมง



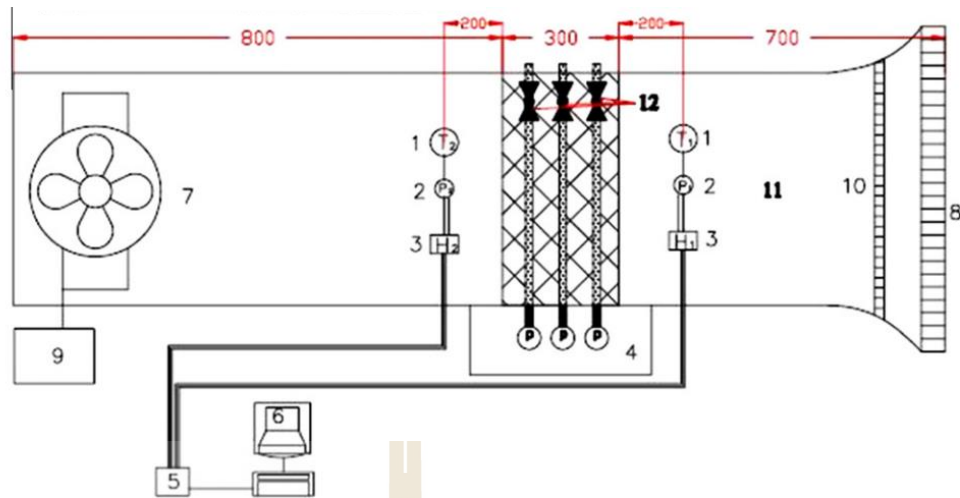
รูปที่ 2.22 การติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยน้ำในระบบทำความเย็นแบบ Vapor compression ขนาด 1.5 ตัน (Hajidavalloo, 2007)



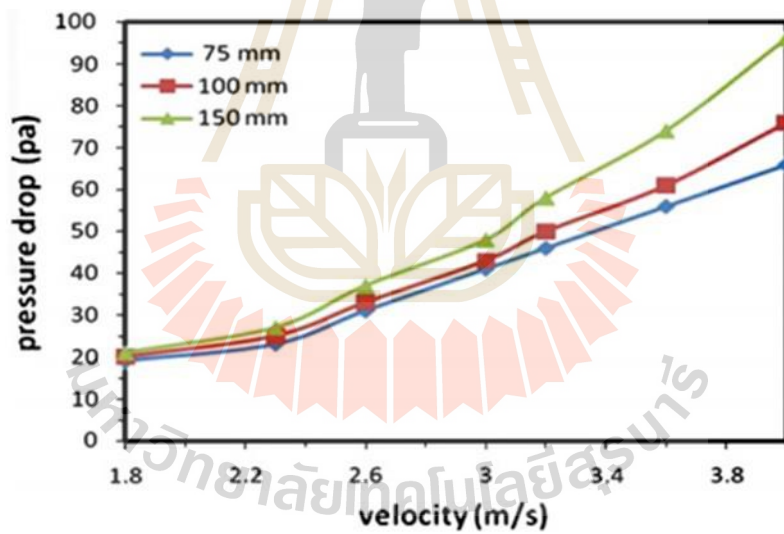
รูปที่ 2.23 P-h Diagram ของระบบทำความเย็นก่อนและหลังที่มีการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ (Hajidavalloo, 2007)

จากรูปที่ 2.23 จะเห็นว่า การใช้ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำในห้องที่ติดตั้งระบบทำความเย็นจะส่งผลถึงอุณหภูมิของ Condenser ที่ต่ำลง ทำให้วัฏจักรการทำความเย็นของระบบที่มีการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิตั้งกล่าว (เส้นสีดำ) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมก่อนการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิ (เส้นสีน้ำเงิน)

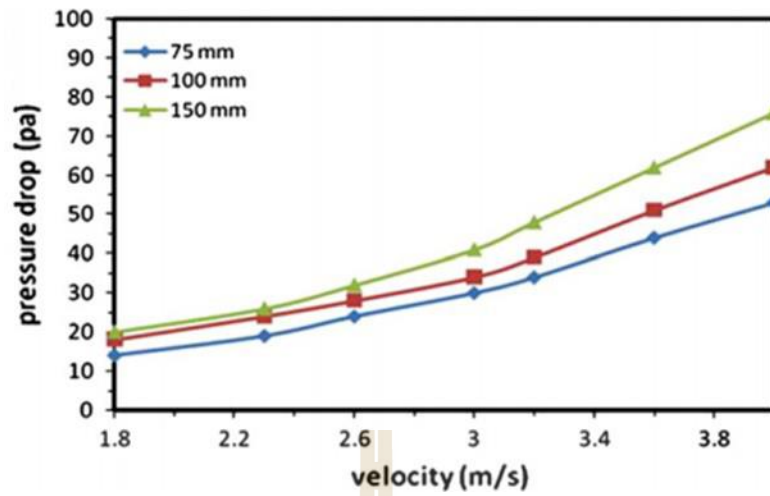
Malli, Seyf, Layeghi, Sharifian and Behraves (2011) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้แผ่น ECP ที่ทำจาก Cellulosic 2 ชนิด รุ่น 5090 และ รุ่น 7090 ขนาด  $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$  โดยออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์การวัดผลการทดลองดังรูปที่ 2.24 พบว่า การใช้แผ่น ECP มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเร็วลมเท่ากับ  $1.8 \text{ m/s}$  โดยใช้แผ่น ECP รุ่น 5090 หนา  $150 \text{ mm}$  การใช้แผ่น ECP รุ่น 7090 หนา  $75 \text{ mm}$  ที่ความเร็วลมเท่ากับ  $1.8 \text{ m/s}$  จะทำให้ความดันสูญเสียและน้ำที่สูญเสียไปกับการระเหยน้อยที่สุด ( $0.06 \text{ L/min}$ ) ดังรูปที่ 2.25-2.28 อีกทั้งสามารถหาจุดที่เหมาะสมได้จากการลดความเร็วลมและเพิ่มความหนาของแผ่น ECP



รูปที่ 2.24 การติดตั้งเครื่องมือการทดลองการเปรียบเทียบการใช้ Evaporative cooling pad ที่แตกต่างกัน (Malli et al., 2011)

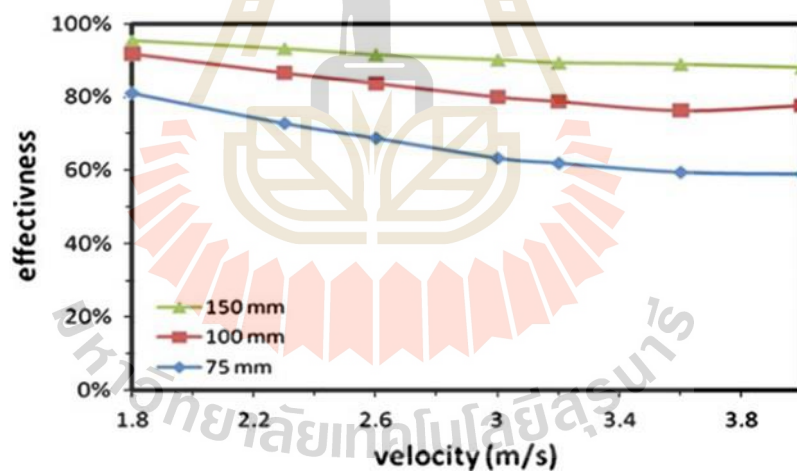


รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียกับความเร็วลมของ Evaporative cooling pad ชนิด 5090 (Malli et al., 2011)



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียเทียบกับความเร็วลมของ Evaporative cooling pad

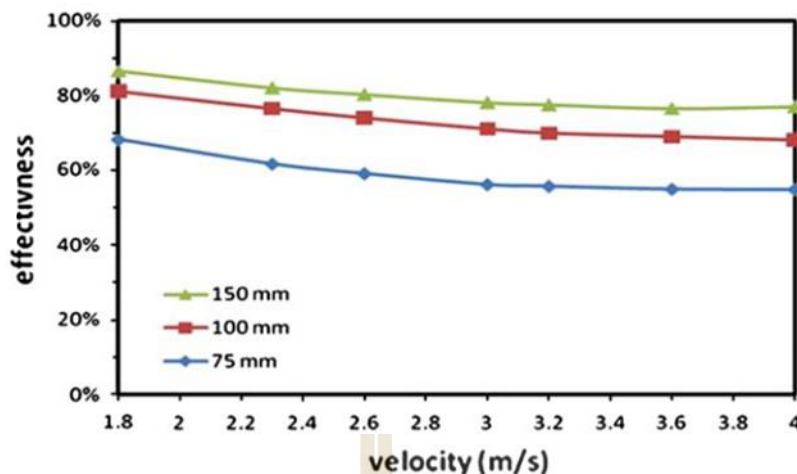
ชนิด 7090 (Malli et al., 2011)



รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเร็วลมของ Evaporative cooling pad

ชนิด 5090 (Malli et al., 2011)





รูปที่ 2.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเร็วลมของ Evaporative cooling pad ชนิด 7090 (Malli et al., 2011)

Hourani, Ghali and Ghaddar (2014) ได้ทำการประยุกต์ใช้ระบบ Evaporative cooling กับห้องทำงาน โดยใช้แผ่น ECP ซึ่งสามารถรักษาอุณหภูมิห้องได้ประมาณ  $26.05^{\circ}\text{C}$  และรักษาปริมาณความชื้นให้เหมาะสมกับสภาวะอากาศที่เหมาะสมของมนุษย์ได้ เขาได้พัฒนาระบบการทำความเย็นเป็นแบบสองชั้น ซึ่งทำให้ลดการใช้พลังงานได้ถึง 16.15% และลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยได้ถึง 26.93% เมื่อเทียบระบบการทำความเย็นแบบเดิม

## 2.5 ไอเสียของเครื่องยนต์

พูลพร แสงบางปลา (2537) กล่าวว่า ไอเสียของเครื่องยนต์เบนซินโดยทั่วไป เมื่อเกิดการเผาไหม้จะต้องเกิด  $\text{CO}_2$  และ น้ำ แต่เนื่องจากในอากาศมีปริมาณ  $\text{N}_2$  สูง ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงอาจทำให้เกิด  $\text{NO}_x$  ได้ (ส่วนใหญ่จะเป็น  $\text{NO}$  และ  $\text{NO}_2$ ) หากเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์อาจทำให้เกิด HC ในจังหวะคายไอเสีย หรือ CO แต่ถ้ามีปริมาณ  $\text{O}_2$  เพิ่ม ก็อาจจะเปลี่ยนเป็น  $\text{CO}_2$  ต่อไป จะเห็นว่ามลพิษที่เกิดขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการเผาไหม้ ส่วนประกอบของไอเสียในขณะที่มีอัตราส่วนต่อเชื้อเพลิงพอดี และเผาไหม้ตามปกตินั้นอาจเป็นไปตามตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของไอเสียเมื่อมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดี  
(พูลพร แสงบางปลา, 2537)

Gas type	Volume (%)
N <sub>2</sub>	83.5
O <sub>2</sub> (and Argon)	2.22
CO <sub>2</sub>	13.0
H <sub>2</sub>	0.23
CO	0.97
HC	205 *ppm
NO	29000 *ppm
NO <sub>2</sub>	18 *ppm

หมายเหตุ 1.เชื้อเพลิงเบนซินมีอัตราส่วนต่อเชื้อเพลิง 14.7  
2.ค่าต่าง ๆ ไม่รวมความชื้นและน้ำ  
3.ปริมาตร 1% เท่ากับ 10,000 ppm

## 2.6 คุณสมบัติของอากาศ

### 2.6.1 ความดันอากาศ (Cengel, 2004)

เราสามารถคำนวณค่าความดันของอากาศ โดยใช้กฎของแก๊สในอุดมคติดังสมการ

ที่ 2.14

$$P = \rho RT$$

(2.14)

เมื่อ P คือ ความดันอากาศ (kPa)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m<sup>3</sup>)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส มีค่าเท่ากับ 0.287 kJ/kg-K

T คือ อุณหภูมิของอากาศ (K)

### 2.6.2 ความร้อนจำเพาะ (Singh, 2001)

ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ จะมีความสัมพันธ์ในรูปของปริมาณความชื้นดัง  
สมการที่ 2.15

$$C_p = 0.25 + 0.45 H \quad (2.15)$$

เมื่อ  $C_p$  คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแบบความดันคงที่ (kcal/kg-K)  
 $H$  คือ ปริมาณความชื้นในอากาศ หรือ อัตราส่วนความชื้น หรือ  
 ความชื้นสัมบูรณ์ (kg/kg<sub>air</sub>)

### 2.6.3 อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (Cengel, 2004)

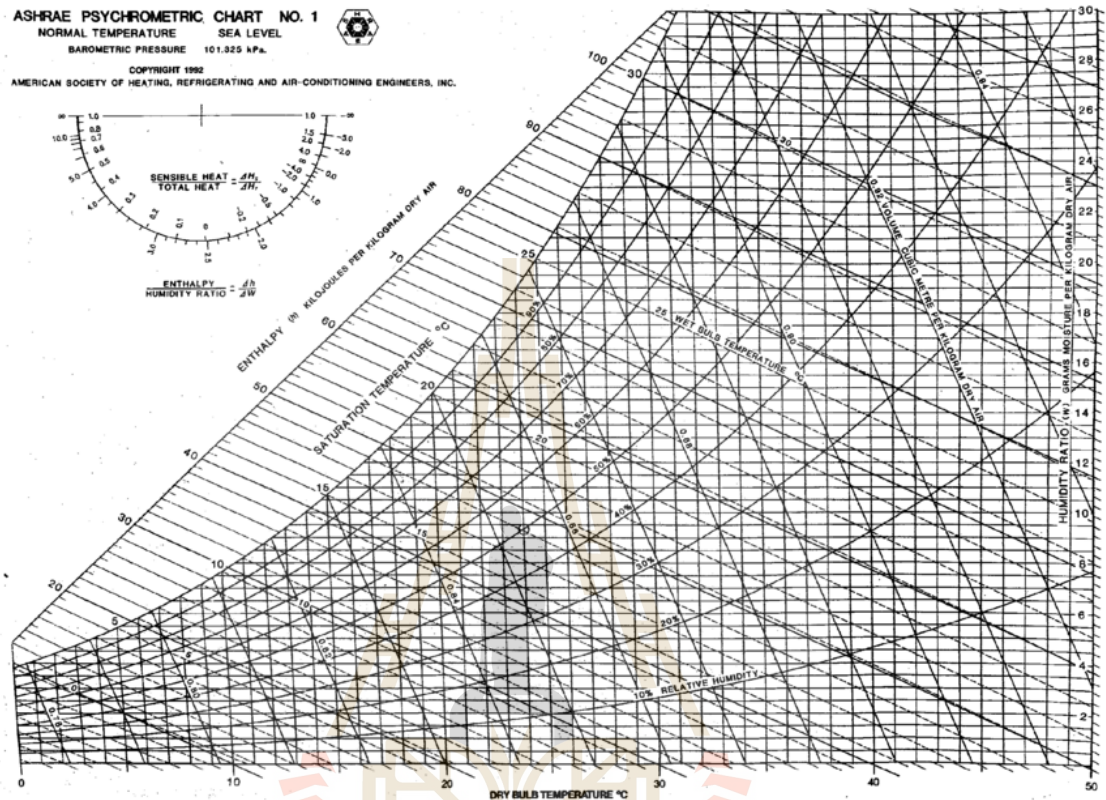
$$k = \frac{C_p}{C_v} \quad (2.16)$$

$$R = C_p - C_v \quad (2.17)$$

เมื่อ  $k$  คือ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศ  
 $C_v$  คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแบบปริมาตรคงที่ (kJ/kg-K)  
 $R$  คือ ค่าคงที่ของแก๊ส มีค่าเท่ากับ 0.287 kJ/kg-K

## 2.6.4 ไซโครเมตริก

เราสามารถหาค่าคุณสมบัติของอากาศได้จากกราฟไซโครเมตริก ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 Psychrometric chart (Ashrae, 1992)

จากรูปที่ 2.29 การหาค่าคุณสมบัติของอากาศจริง สามารถทำได้โดยการทราบค่าคุณสมบัติในสภาวะนั้น ๆ อย่างน้อย 2 อย่าง และนำค่าดังกล่าวไปพล็อตบนกราฟไซโครเมตริก จะได้ค่าของคุณสมบัติของอากาศที่เคลื่อนตามลักษณะของเส้นกราฟ โดยคุณสมบัติของอากาศที่สามารถหาได้จากกราฟนี้มีทั้งหมด 6 อย่าง ดังนี้ 1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) 2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) 3. ความชื้นสัมบูรณ์ หรือ อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) 4. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) 5. ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) 6. เอนทัลปี (Enthalpy) ในปัจจุบันการหาค่าคุณสมบัติอากาศจากกราฟไซโครเมตริกสามารถหาได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น จากการคำนวณค่าคุณสมบัติของอากาศในโปรแกรมหรือแอปพลิเคชันต่าง ๆ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์แบบระเหยน้ำของเครื่องยนต์อเนกประสงค์ขนาดเล็ก โดยใช้แผ่นระเหยน้ำ (ECP) สำหรับการออกแบบระบบลดอุณหภูมิ จากนั้นทดสอบสมรรถนะและคุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิดังกล่าว และนำผลการทดสอบที่ได้มาเป็นแนวทางในการสร้างระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัย

- 3.1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- 3.1.2 เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับตรวจวัดค่า ได้แก่
  - 3.1.2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermocouple type K รุ่น TM-902C)
  - 3.1.2.2 อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาตรของเชื้อเพลิง บีวเรต ขนาด 50 ml
  - 3.1.2.3 นาฬิกาจับเวลา
  - 3.1.2.4 ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ (TecQuipment TD200)
    - 3.1.2.4.1 อุปกรณ์วัดโมเมนต์บิด
    - 3.1.2.4.2 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์
    - 3.1.2.4.3 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์
    - 3.1.2.4.4 ไดนาโมมิเตอร์ชนิดน้ำ
  - 3.1.2.5 อุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพไอเสีย (HORIBA MEXA-584L)
- 3.1.3 แผ่นระเหยน้ำ (ECP) AGB รุ่น 7090
- 3.1.4 ระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์
- 3.1.5 เครื่องทำความร้อน
- 3.1.6 น้ำมันเชื้อเพลิง (Gasoline)
- 3.1.7 น้ำและถังเก็บสำหรับไหลเวียนในระบบลดอุณหภูมิอากาศ

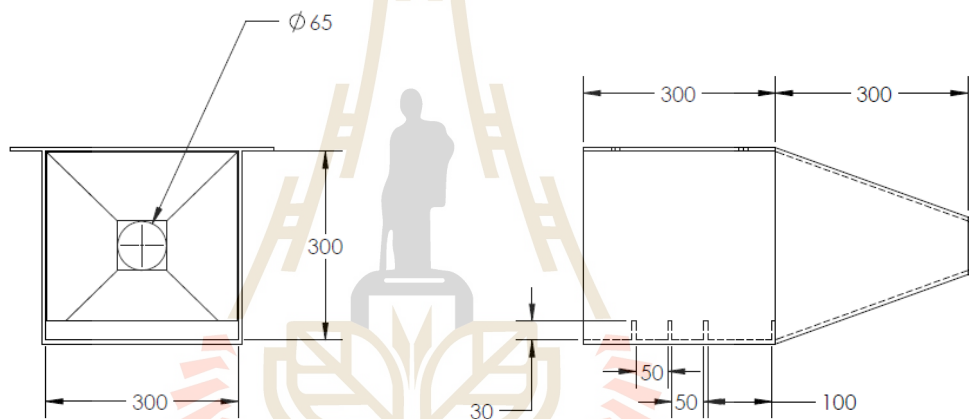
### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 3.2.1 รวบรวมและศึกษาทฤษฎี ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

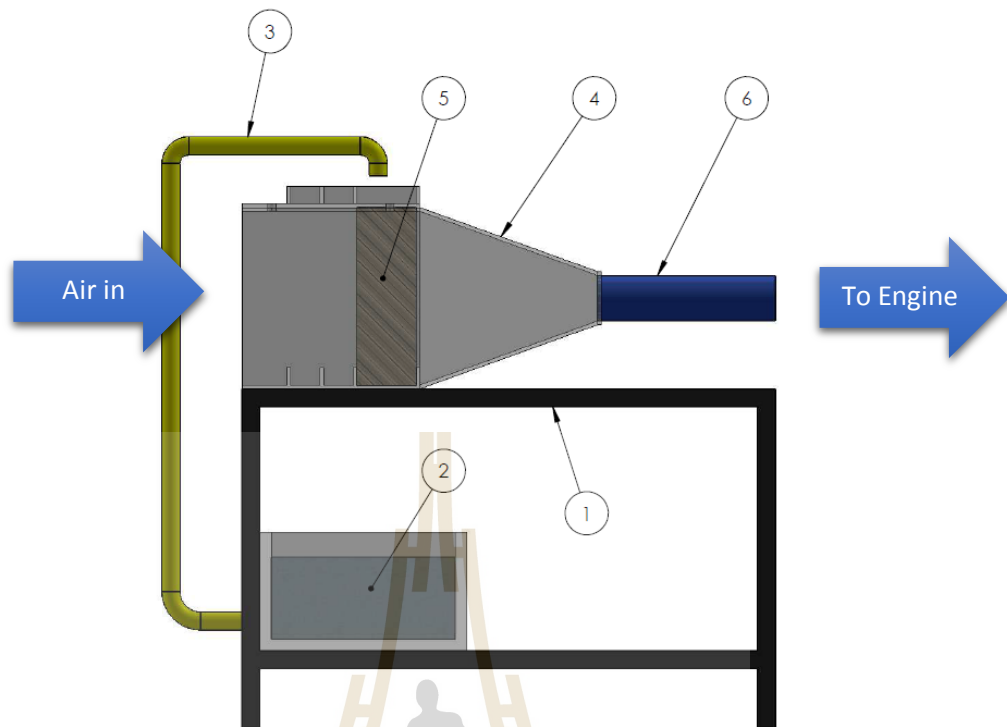
- สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.2.2 ออกแบบระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำที่เหมาะสมกับการติดตั้งในเครื่องยนต์

การออกแบบระบบลดอุณหภูมิดังกล่าวจะใช้แผ่น ECP ของ AGB Evaporative Cooling pad รุ่น 7090 ขนาด  $0.3 \times 0.3 \text{ mm}^2$  โดยแบ่งความหนาที่ใช้ในการทดลองเป็น 100, 150 และ 200 mm และออกแบบช่องลมสำหรับติดตั้งแผ่น ECP โดยใช้แผ่นอะคลิลิคดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การออกแบบช่องลมสำหรับลดอุณหภูมิอากาศ (หน่วย mm)



รูปที่ 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ

จากรูปที่ 3.2

หมายเลข 1 คือ แฟนวาง

หมายเลข 2 คือ ถังเก็บน้ำสำหรับไหลเวียนในระบบลดอุณหภูมิ

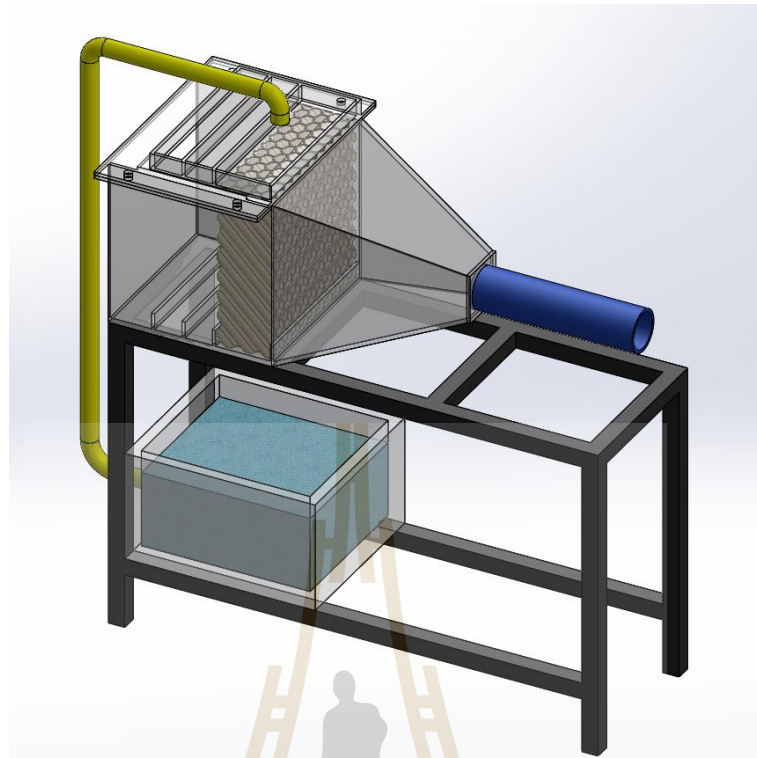
หมายเลข 3 คือ ท่อน้ำไหลเวียนในระบบลดอุณหภูมิ

หมายเลข 4 คือ ช่องลมอะคิลติก (Evaporator)

หมายเลข 5 คือ แผ่นระเหยน้ำ (ECP)

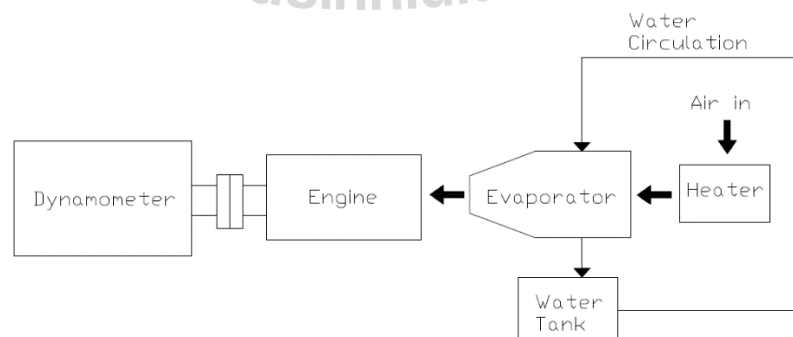
หมายเลข 6 คือ ท่อทางเดินอากาศเข้าสู่เครื่องยนต์

หมายเหตุ อากาศไหลจากฝั่งซ้าย (หมายเลข 5) ไปยังฝั่งขวา (หมายเลข 6) ก่อนเข้าสู่เครื่องยนต์



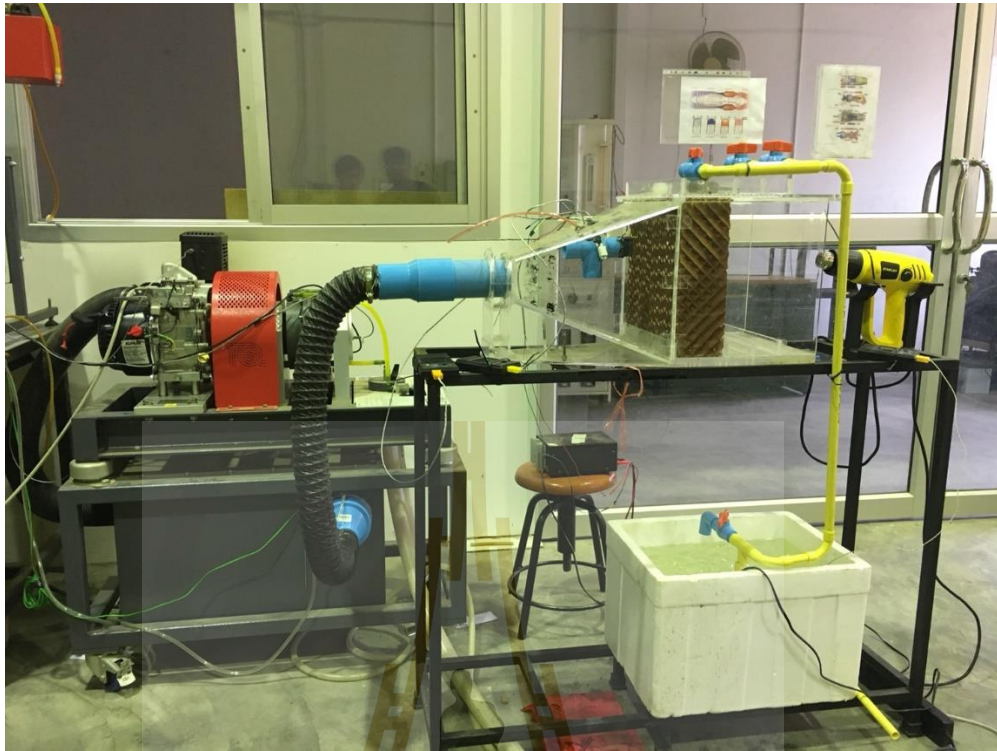
รูปที่ 3.3 แบบระบบลดอุณหภูมิอากาศ

จากรูปที่ 3.3 ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้ทำการออกแบบช่องลมขนาด  $0.3 \times 0.3 \text{ m}^2$  เมื่ออากาศผ่านเข้าสู่แผ่น ECP จะเหลือพื้นที่หน้าตัดของการไหลเท่ากับ  $0.27 \times 0.3 \text{ m}^2$  เนื่องจากมีการติดตั้งแผ่นอะคริลิกสูง 3 cm เพื่อแบ่งความหนาของแผ่น ECP และเมื่ออากาศไหลเข้าสู่ท่อหน้าตัดกลม จะมีหน้าตัดการไหลเท่ากับท่อ PVC ขนาด 2.5 นิ้ว (เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 65 mm)



รูปที่ 3.4 การติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์





รูปที่ 3.5 การติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์กับชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศด้วยวิธีการระเหยน้ำ ทำให้ชุดทดสอบมีท่อ ไอดีหรือท่ออากาศทางเข้าเครื่องยนต์ที่ยาวมาก ดังรูปที่ 3.5 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อสมมติฐานที่ว่าการใช้งานเครื่องยนต์อเนกประสงค์บริเวณกลางแจ้ง แดดจัด และอยู่ร่วมกับที่มีอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สูงกว่าปกติ จากการระบายความร้อนของเครื่องยนต์ที่มีขนาดกะทัดรัดและไอเสียของเครื่องยนต์ และเพื่อให้เกิดความชัดเจนของผลลัพธ์ที่แตกต่างกันมากยิ่งขึ้น จากรูปที่ 3.4-3.5 จะเห็นว่ามีติดตั้งเครื่องทำความร้อน (Heater) ที่บริเวณทางเข้า เนื่องจากต้องการอุ่นอากาศทางเข้าให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิขณะทำงานกลางแจ้งของเครื่องยนต์เมื่อใช้งานจริง

### 3.2.3 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นอกประสงค์ที่ติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศ แล้วพร้อมทั้งตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในห้องปฏิบัติการ จะทดสอบโดยเปิดปีกผีเสื้อกว้างสุดหรือเปิดคันเร่งสูงสุดค้างไว้ เพื่อให้อากาศไหลเข้าสู่เครื่องยนต์ได้สูงสุด จากนั้นค่อย ๆ เพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์จนค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดต่ำลงจนเท่ากับความเร็วรอบที่ต้องการทดสอบ จากนั้นอ่านค่าโมเมนต์บิด วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์อื่น ซึ่งค่าที่อ่านได้ ณ ความเร็วรอบนั้นคือค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ นั้น ๆ โดยจะเพิ่มภาระเพื่อลดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลงครั้งละ 500 RPM และทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตั้งแต่ 1,500-4,000 RPM ซึ่งการทดลองจะทำได้โดยการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิแบบระเหยน้ำแบบใช้และไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ น้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิอากาศคือ น้ำอุณหภูมิห้องปกติและน้ำอุณหภูมิที่น้ำแข็งละลายในถังเก็บน้ำอุณหภูมิห้องปกติ สามารถแบ่งการทดลองได้เป็น 10 การทดลองย่อยดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการทดลองการประยุกต์ระบบลดอุณหภูมิอากาศที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

ECP Thickness (mm)	Warm temp.	Cool temp.	Very low temp.
100	1	2	3
150	4	5	6
200	7	8	9
No ECP (0 mm)	10	-	-

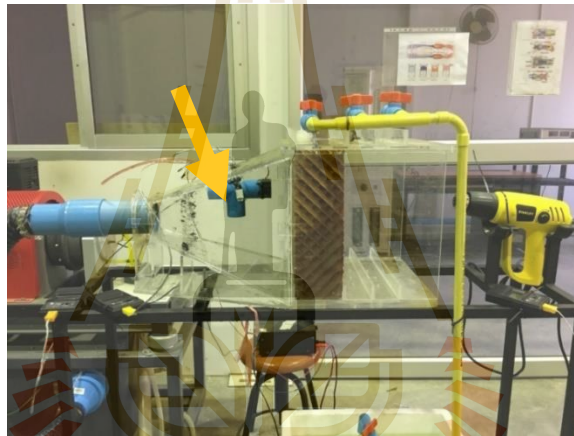
จากตารางที่ 3.1 แสดงถึงจำนวนการทดลองย่อย ซึ่งมีถึง 10 การทดลอง แต่ละการทดลองจะต้องทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง และทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ทุกค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ดังกล่าวในหัวข้อที่ 3.2.3 โดยการทดสอบจะใช้น้ำสำหรับการลดอุณหภูมิทั้งหมดสามแบบ 1. แบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) 2. แบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) 3. แบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บน้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) โดยควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศแบบการทดสอบแบบอากาศอุ่นให้มีค่าอยู่ระหว่าง 50-56°C

### 3.2.4 วัดค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อประเมินสมรรถนะและคุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์ของเครื่องยนต์

การทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะและคุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์ จำเป็นต้องวัดค่าตัวแปรเพื่อนำไปคำนวณตามสมการที่ 2.9-2.17 ซึ่งตัวแปรที่จะต้องวัดค่ามีดังนี้

#### 3.2.4.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้งและเปียกของอากาศก่อนและหลังผ่านแผ่นระเหยน้ำ

ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอยู่ห่างจากแผ่น ECP แผ่นที่ใกล้ตัววัดอุณหภูมิที่สุดประมาณ 150 mm ดังรูปที่ 3.6 และนำค่าอุณหภูมิที่ได้ไปคำนวณหาคุณสมบัติของอากาศจากโปรแกรม The Sugar Engineers (Sugar tech, 2018) ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของอากาศ

**The Sugar Engineers**  
[Home](#) | [About us](#) | [News](#) | [Prices](#) | [Engineering Guides](#) | [Rapid Design](#) | [Material Properties](#) | [Whats New](#) | [Factories](#) | [Links](#) | [Contact](#)

### Psychrometric Calculations

The formulations used here to calculate moist air properties are based on perfect gas relations published in 1989 ASHRAE Fundamentals Handbook, which should be accurate. Nevertheless, It is strongly recommend that you to compare the results calculated by this worksheet with a psychrometric chart. There is **no error checking** so you should use reasonable input values.

Inputs			Outputs	
Unit Chosen:	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> IP	Atmospheric Press	1.013238759799 bar
Parameter Name	Value	Unit	Sat. Vapor Press.	31.69208398231 mbar
Dry Bulb Temp.:	25	C	Partial Vapor Press.	20.12049738508 mbar
Wet Bulb Temp.:	20	C	Humidity Ratio	0.012601670764 kg/kg
Relat. Humidity:	63.48745445807	%	Enthalpy	57.22191802962 kJ/kg
Dew Point Temp	17.61818340410	C	Specific Volume	0.860890156160 m <sup>3</sup> /kg
Altitude	0.0	m		

Calculate

รูปที่ 3.7 โปรแกรมการคำนวณคุณสมบัติของอากาศ (Sugar tech, 2018)

### 3.2.4.2 อัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์

อ่านค่าจากเครื่องมือวัดผลต่างความดันของอากาศโดยใช้แผ่น Orifice ที่ติดตั้งอยู่บนชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ TD200 และนำไปคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศดังสมการที่ 3.1 (TecQuipment, 2014)

$$\dot{m}_a = C_d \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho\Delta P} \quad (3.1)$$

โดยที่

$\dot{m}_a$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

$C_d$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขวางการไหลของแผ่น Orifice มีค่าเท่ากับ 0.6

$d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่น Orifice มีค่าเท่ากับ 18.51 mm

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m<sup>3</sup>)

$\Delta P$  คือ ผลต่างความดันอากาศก่อนและหลังแผ่น Orifice (Pa)

### 3.2.4.3 อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

จับเวลาที่เครื่องยนต์บริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง โดยกำหนดให้ปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงที่วัดสำหรับความเร็วเครื่องยนต์ต่าง ๆ มีค่าดังตารางที่ 3.2 กำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง Gasoline เท่ากับ 740 kg/m<sup>3</sup> (TecQuipment, 2014) และคำนวณอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงดังสมการที่ 3.2

$$\dot{m}_f = \frac{\rho V}{t} \quad (3.2)$$

โดยที่

$\dot{m}_f$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/s)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/m<sup>3</sup>)

$V$  คือ ปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ใช้ (m<sup>3</sup>)

$t$  คือ เวลาที่เครื่องยนต์ใช้สำหรับการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง (s)

ตารางที่ 3.2 การวัดปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่าง ๆ

Engine speed (RPM)	Volume of fuel (ml)
1,500	8
2,000	16
2,500	16
3,000	24
3,500	24
4,000	24

#### 3.2.4.4 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

อ่านค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์จากจอแสดงผล ดังรูปที่ 3.9

#### 3.2.4.5 โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์

ใช้โหลดเซลล์ของบริษัท Applied weighing (รูปที่ 3.8) ในการอ่านค่าแรงกด และแสดงผลบนจอ ตามรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 Load cell S type

### 3.2.4.6 อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์

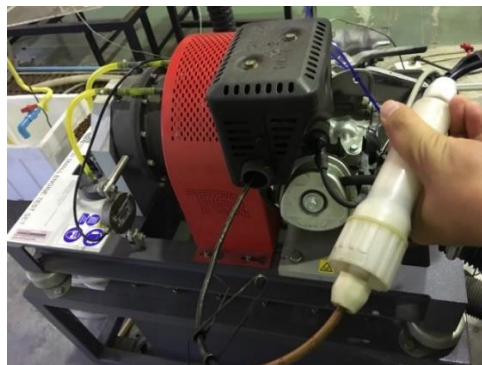
ความเร็วรอบ โมเมนต์บิด และอุณหภูมิไอเสีย สามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากเครื่องทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์



รูปที่ 3.9 จอแสดงผลของเครื่องทดสอบสมรรถนะ

### 3.2.4.7 คุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์

การวัดคุณภาพไอเสีย สามารถทำได้โดยใช้ปลายของท่อวัดไปวางไว้ที่ตำแหน่งปลายท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดังรูปที่ 3.10 และอ่านค่าจากการวัดคุณภาพไอเสียจากจอแสดงผลของเครื่องวัดคุณภาพไอเสีย HORIBA MEXA-584L



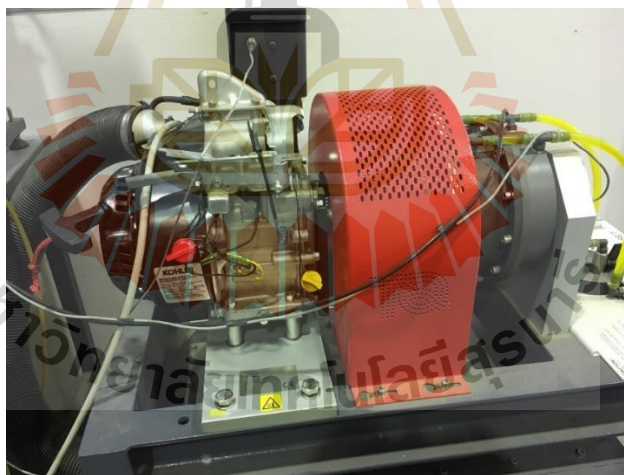
รูปที่ 3.10 การวัดคุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์

### 3.2.5 สรุปผลการดำเนินโครงการ

รวบรวมข้อมูลจากการทดสอบ เปรียบเทียบ และประเมินสมรรถนะของ เครื่องยนต์ก่อนและหลังติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์แบบระเหยน้ำ

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

Engine type	TD201 (KOHLER)
Ignition system	Electric
Cylinder number	1
Bore (mm)	70
Stroke / Crank radius (mm)	54 / 27
Engine capacity (cc)	208
Compression ratio	8.5:1
Power (kW)	5.2 @ 3,600 RPM



รูปที่ 3.11 เครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

ทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 208 cc ยี่ห้อ KOHLER ซึ่งมีข้อมูลทางเทคนิคดัง ตารางที่ 3.3 ชุดทดสอบทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.11

### 3.3 สถานที่การศึกษาวิจัย

ศึกษาวิจัย เก็บข้อมูล สร้างต้นแบบและทดสอบที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารเครื่องจักรกลการเกษตร ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
จ. นครราชสีมา





## บทที่ 4

### ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ค่าคุณสมบัติอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์

การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ ได้ทำการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100, 150 และ 200 mm ตามลำดับ และแบ่งการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกันทั้งหมดสี่แบบ ได้แก่ ไม่ติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ ไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิ ใช้น้ำอุณหภูมิห้องปกติเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิ และ ใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บน้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ซึ่งได้ผลการทดสอบ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิอากาศที่การทดสอบแบบต่าง ๆ

System/ECP Thickness	100 mm	150 mm	200 mm
Cool temp. (°C)	24.3	25.9	26.0
Very low temp. (°C)	1.6	2.9	1.9

จากตารางที่ 4.1 เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิอากาศของการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องอยู่ที่ประมาณ 24-26°C และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิอากาศของการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บอยู่ที่ประมาณ 1-3°C

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

System	Engine speed (RPM)	Intake air temperature (°C)		Humidity ratio (kg/kg <sub>dryair</sub> )	Humidity mass flow rate (kg/s)	RH (%)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Air mass flow rate (kg/s)
		Dry	Wet					
Warm temp.	1,500	53.58	31.72	0.02094	0.0000402	22.62	1.043	0.00191
	2,000	53.68	31.82	0.02110	0.0000513	22.70	1.042	0.00243
	2,500	53.35	31.78	0.02103	0.0000671	22.64	1.042	0.00318
	3,000	51.85	31.18	0.02065	0.0000771	23.76	1.049	0.00375
	3,500	53.58	31.28	0.02012	0.0000877	23.48	1.044	0.00437
	4,000	53.25	31.22	0.02013	0.0000953	22.05	1.045	0.00475
Cool Temp.	1,500	32.40	27.97	0.02219	0.0000450	71.63	1.117	0.00203
	2,000	32.13	27.87	0.02211	0.0000565	72.48	1.118	0.00255
	2,500	32.13	27.90	0.02219	0.0000722	72.67	1.118	0.00326
	3,000	31.97	28.23	0.02290	0.0000873	75.60	1.117	0.00381
	3,500	31.80	28.17	0.02284	0.0001027	76.15	1.118	0.00450
	4,000	31.90	28.23	0.02292	0.0001115	75.99	1.117	0.00486
Very low temp.	1,500	23.33	18.83	0.01179	0.0000239	65.59	1.170	0.00203
	2,000	22.83	18.73	0.01187	0.0000305	68.03	1.171	0.00257
	2,500	22.70	18.27	0.01134	0.0000366	65.53	1.173	0.00324
	3,000	22.60	18.47	0.01162	0.0000453	67.62	1.173	0.00390
	3,500	22.37	18.20	0.01139	0.0000522	67.19	1.174	0.00459
	4,000	22.60	18.40	0.01155	0.0000576	67.13	1.173	0.00499

\*หมายเหตุ กำหนดให้สภาวะอากาศก่อนเข้าระบบลดอุณหภูมิอากาศของแบบอากาศเย็นและเย็นจัด มีค่าเท่ากับสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์แบบอากาศอุ่น

จากตารางที่ 4.2 ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm พบว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) อยู่ระหว่าง 51-53°C เมื่อใช้น้ำอุณหภูมิห้องป้อนเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) จะทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงเป็น 31-32°C และหากใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) จะทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 22-23°C การลดลงของอุณหภูมิมีผลทำให้ความหนาแน่นของอากาศเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย และคณะ (2557) และ ชัยณพพงศ์ ประจักษ์เมธิเลิศ และคณะ (2559) ส่งผลถึงอัตราการไหลอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ที่มีค่ามากขึ้น ไปด้วย หากพิจารณาถึงปริมาณความชื้น พบว่า การใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก อากาศถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิ น้ำบางส่วนได้รับความร้อนและระเหยกลายเป็นไอน้ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัยณพพงศ์ ประจักษ์เมธิเลิศ และคณะ (2559) และ Martinez et al. (2016) ส่วนการใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง เนื่องจาก อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ มีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิหยาดน้ำค้างของอากาศมาก ทำให้ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวไปกับน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิมากกว่าการระเหยของน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิเข้าสู่อากาศ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

System	Engine speed (RPM)	Intake air temperature (°C)		Humidity ratio	Humidity mass flow rate	RH (%)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Air mass flow rate (kg/s)
		Dry	Wet	(kg/kg <sub>dryair</sub> )	(kg/s)			
Warm temp.	1,500	52.43	32.17	0.02221	0.0000414	25.15	1.048	0.00187
	2,000	51.60	32.67	0.02376	0.0000576	28.09	1.048	0.00241
	2,500	51.17	32.13	0.02268	0.0000705	27.33	1.051	0.00311
	3,000	51.57	32.20	0.02266	0.0000829	26.93	1.050	0.00366
	3,500	51.93	31.67	0.02133	0.0000931	24.77	1.051	0.00437
	4,000	52.30	32.07	0.02206	0.0001034	25.12	1.049	0.00469
Cool Temp.	1,500	29.97	28.83	0.02492	0.0000485	91.97	1.121	0.00194
	2,000	29.83	28.80	0.02493	0.0000619	92.63	1.121	0.00249
	2,500	29.63	28.80	0.02501	0.0000801	94.00	1.122	0.00320
	3,000	29.80	29.07	0.02544	0.0000966	94.72	1.121	0.00380
	3,500	30.17	29.10	0.02549	0.0001136	94.71	1.120	0.00446
	4,000	30.53	29.10	0.02518	0.0001208	90.06	1.118	0.00480
Very low temp.	1,500	18.83	15.57	0.00972	0.0000187	71.52	1.192	0.00193
	2,000	18.23	15.23	0.00959	0.0000246	73.28	1.194	0.00257
	2,500	17.83	14.83	0.00932	0.0000308	73.10	1.196	0.00332
	3,000	17.87	15.23	0.00974	0.0000376	76.12	1.195	0.00387
	3,500	17.93	15.50	0.01002	0.0000433	77.95	1.195	0.00435
	4,000	17.93	15.40	0.00991	0.0000474	77.13	1.195	0.00480

\*หมายเหตุ กำหนดให้สภาวะอากาศก่อนเข้าระบบลดอุณหภูมิอากาศของแบบอากาศเย็นและเย็นจัด มีค่าเท่ากับสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์แบบอากาศอุ่น

จากตารางที่ 4.3 ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm พบว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) จะอยู่ระหว่าง 51-52°C เมื่อใช้น้ำอุณหภูมิห้องป้อนเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) จะทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงเป็น 29-30°C และหากใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) จะทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 17-18°C การลดลงของอุณหภูมิมีผลทำให้ความหนาแน่นของอากาศเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย และคณะ (2557) และ ชัยณพพงศ์ ประจักษ์เมธิเลิศ และคณะ (2559) ส่งผลถึงอัตราการไหลอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ที่มีค่ามากขึ้น ไปด้วย หากพิจารณาถึงปริมาณความชื้น พบว่า การใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก อากาศถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิ น้ำบางส่วนได้รับความร้อนและระเหยกลายเป็นไอน้ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัยณพพงศ์ ประจักษ์เมธิเลิศ และคณะ (2559) และ Martinez et al. (2016) ส่วนการใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง เนื่องจาก อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ มีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิหยาดน้ำค้างของอากาศมาก ทำให้ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวไปกับน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิมากกว่าการระเหยของน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิเข้าสู่อากาศ เช่นเดียวกับผลลัพธ์ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ

200 mm

System	Engine	Intake air		Humidity	Humidity mass	RH	Density	Air mass
	speed	temperature (°C)		ratio	flow rate			
	(RPM)	Dry	Wet	(kg/kg <sub>dryair</sub> )	(kg/s)			
Warm temp.	1,500	53.03	35.00	0.02877	0.0000508	31.39	1.035	0.00176
	2,000	52.43	33.07	0.02442	0.0000576	27.49	1.044	0.00236
	2,500	51.87	32.57	0.02351	0.0000707	27.19	1.048	0.00300
	3,000	51.83	33.17	0.02488	0.0000895	28.73	1.046	0.00359
	3,500	52.70	33.30	0.02484	0.0001072	27.45	1.043	0.00432
	4,000	53.33	33.23	0.02439	0.0001138	26.15	1.042	0.00467
Cool Temp.	1,500	31.90	29.90	0.02653	0.0000492	88.00	1.112	0.00186
	2,000	31.00	29.80	0.02655	0.0000675	91.56	1.114	0.00254
	2,500	30.60	29.80	0.02674	0.0000802	94.27	1.116	0.00301
	3,000	30.23	29.63	0.02656	0.0001002	95.63	1.117	0.00377
	3,500	30.03	29.57	0.02650	0.0001158	96.56	1.118	0.00437
	4,000	29.97	29.50	0.02639	0.0001269	96.56	1.118	0.00481
Very low temp.	1,500	15.37	10.97	0.00635	0.0000124	58.73	1.212	0.00196
	2,000	14.10	10.47	0.00639	0.0000157	64.24	1.218	0.00246
	2,500	12.93	10.30	0.00672	0.0000216	72.72	1.222	0.00322
	3,000	12.17	10.27	0.00700	0.0000270	79.45	1.225	0.00384
	3,500	11.30	10.43	0.00752	0.0000341	90.08	1.227	0.00454
	4,000	11.13	10.60	0.00775	0.0000385	93.78	1.228	0.00497

\*หมายเหตุ กำหนดให้สภาวะอากาศก่อนเข้าระบบลดอุณหภูมิอากาศของแบบอากาศเย็นและเย็นจัด  
มีค่าเท่ากับสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์แบบอากาศอุ่น

จากตารางที่ 4.4 ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm พบว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) จะอยู่ระหว่าง 51-53°C เมื่อใช้น้ำอุณหภูมิห้องป้อนเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) จะทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงเป็น 29-31°C และหากใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) จะทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 11-15°C การลดลงของอุณหภูมิมีผลทำให้ความหนาแน่นของอากาศเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย และคณะ (2557) และ ชัยณุพงศ์ ประจักษ์เมธิเลิศ และคณะ (2559) ส่งผลถึงอัตราการไหลอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ที่มีค่ามากขึ้นไปด้วย หากพิจารณาถึงปริมาณความชื้น พบว่า การใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจาก อากาศถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิ น้ำบางส่วนได้รับความร้อนและระเหยกลายเป็นไอน้ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัยณุพงศ์ ประจักษ์เมธิเลิศ และคณะ (2559) และ Martinez et al. (2016) ส่วนการใช้น้ำเย็นเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง เนื่องจาก อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ มีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิหยาดน้ำค้างของอากาศมาก ทำให้อิอน้ำในอากาศกลั่นตัวไปกับน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิมากกว่าการระเหยของน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิเข้าสู่อากาศ เช่นเดียวกันกับผลลัพธ์ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และ 150 mm

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบใช้น้ำ  
อุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ หรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.)  
ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

System	Engine	Intake air		Humidity	Humidity mass	RH	Density	Air mass
	speed	temperature (°C)		ratio	flow rate			
	(RPM)	Dry	Wet	(kg/kg <sub>dryair</sub> )	(kg/s)	(%)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/s)
100 mm	1,500	32.40	27.97	0.02219	0.0000450	71.63	1.117	0.00203
	2,000	32.13	27.87	0.02211	0.0000565	72.48	1.118	0.00255
	2,500	32.13	27.90	0.02219	0.0000722	72.67	1.118	0.00326
	3,000	31.97	28.23	0.02290	0.0000873	75.60	1.117	0.00381
	3,500	31.80	28.17	0.02284	0.0001027	76.15	1.118	0.00450
	4,000	31.90	28.23	0.02292	0.0001115	75.99	1.117	0.00486
150 mm	1,500	29.97	28.83	0.02492	0.0000485	91.97	1.121	0.00194
	2,000	29.83	28.80	0.02493	0.0000619	92.63	1.121	0.00249
	2,500	29.63	28.80	0.02501	0.0000801	94.00	1.122	0.00320
	3,000	29.80	29.07	0.02544	0.0000966	94.72	1.121	0.00380
	3,500	30.17	29.10	0.02549	0.0001136	94.71	1.120	0.00446
	4,000	30.53	29.10	0.02518	0.0001208	90.06	1.118	0.00480
200 mm	1,500	31.90	29.90	0.02653	0.0000492	88.00	1.112	0.00186
	2,000	31.00	29.80	0.02655	0.0000675	91.56	1.114	0.00254
	2,500	30.60	29.80	0.02674	0.0000802	94.27	1.116	0.00301
	3,000	30.23	29.63	0.02656	0.0001002	95.63	1.117	0.00377
	3,500	30.03	29.57	0.02650	0.0001158	96.56	1.118	0.00437
	4,000	29.97	29.50	0.02639	0.0001269	96.56	1.118	0.00481

\*หมายเหตุ กำหนดให้สภาวะอากาศก่อนเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศของแบบอากาศเย็นและเย็นจัด  
มีค่าเท่ากับสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์แบบอากาศอุ่น



ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ หรือแบบอากาศเย็น (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

System	Engine speed (RPM)	Intake air temperature (°C)		Humidity ratio (kg/kg <sub>dryair</sub> )	Humidity mass flow rate (kg/s)	RH (%)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Air mass flow rate (kg/s)
		Dry	Wet					
100 mm	1,500	23.33	18.83	0.01179	0.0000239	65.59	1.170	0.00203
	2,000	22.83	18.73	0.01187	0.0000305	68.03	1.171	0.00257
	2,500	22.70	18.27	0.01134	0.0000366	65.53	1.173	0.00324
	3,000	22.60	18.47	0.01162	0.0000453	67.62	1.173	0.00390
	3,500	22.37	18.20	0.01139	0.0000522	67.19	1.174	0.00459
	4,000	22.60	18.40	0.01155	0.0000576	67.13	1.173	0.00499
150 mm	1,500	18.83	15.57	0.00972	0.0000187	71.52	1.192	0.00193
	2,000	18.23	15.23	0.00959	0.0000246	73.28	1.194	0.00257
	2,500	17.83	14.83	0.00932	0.0000308	73.10	1.196	0.00332
	3,000	17.87	15.23	0.00974	0.0000376	76.12	1.195	0.00387
	3,500	17.93	15.50	0.01002	0.0000433	77.95	1.195	0.00435
	4,000	17.93	15.40	0.00991	0.0000474	77.13	1.195	0.00480
200 mm	1,500	15.37	10.97	0.00635	0.0000124	58.73	1.212	0.00196
	2,000	14.10	10.47	0.00639	0.0000157	64.24	1.218	0.00246
	2,500	12.93	10.30	0.00672	0.0000216	72.72	1.222	0.00322
	3,000	12.17	10.27	0.00700	0.0000270	79.45	1.225	0.00384
	3,500	11.30	10.43	0.00752	0.0000341	90.08	1.227	0.00454
	4,000	11.13	10.60	0.00775	0.0000385	93.78	1.228	0.00497

\*หมายเหตุ กำหนดให้สภาวะอากาศก่อนเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศของแบบอากาศเย็นและเย็นจัด มีค่าเท่ากับสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์แบบอากาศอุ่น

จากตารางที่ 4.5 พบว่า การใช้น้ำอุณหภูมิห้องในระบบอุณหภูมิอากาศที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ ทำให้อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำลงอยู่ที่ประมาณ 29-32°C เมื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศทั้งสาม การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP จะทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง และหากพิจารณาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ พบว่า ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm ทำให้อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศสูงสุด แม้ว่าความหนาแน่นของอากาศไม่ได้มีค่าสูงที่สุดก็ตาม เนื่องจาก ความหนาของแผ่น ECP ที่ใช้ ทำให้เกิดความต้านทานการไหลของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ ซึ่งยังมีความหนามาก แม้จะทำให้ลดอุณหภูมิได้มาก แต่ก็ทำให้อากาศไหลไม่สะดวกไปด้วยเช่นกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Malli et al. (2011)

จากตารางที่ 4.6 พบว่า การใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บกับระบบอุณหภูมิอากาศที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ ทำให้อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำลงอยู่ที่ประมาณ 11-23°C เมื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศทั้งสาม การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP จะทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง ยังมีความหนาของแผ่น ECP มากเท่าไร อุณหภูมิลดลงมากเท่านั้น และหากพิจารณาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ พบว่า ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm ทำให้อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศสูงสุด แม้ว่าความหนาแน่นของอากาศไม่ได้มีค่าสูงที่สุดก็ตาม เนื่องจาก ความหนาของแผ่น ECP ที่ใช้ ทำให้เกิดความต้านทานการไหลของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Malli et al. (2011) เช่นเดียวกันกับผลจากตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ของการทดสอบแบบไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP

System	Engine		Intake air		Humidity	Humidity mass	RH	Density	Air mass
	speed	(RPM)	temperature (°C)		ratio	flow rate			
			Dry	Wet					
No ECP			56.13	30.13	0.01640	0.0000298	15.68	1.046	0.00182
			56.17	29.77	0.01569	0.0000379	14.96	1.047	0.00243
			55.77	30.10	0.01653	0.0000497	16.01	1.047	0.00301
			55.57	30.23	0.01688	0.0000625	16.51	1.047	0.00371
			54.07	29.37	0.01575	0.0000677	16.72	1.053	0.00431
			54.63	29.30	0.01543	0.0000725	15.84	1.052	0.00471

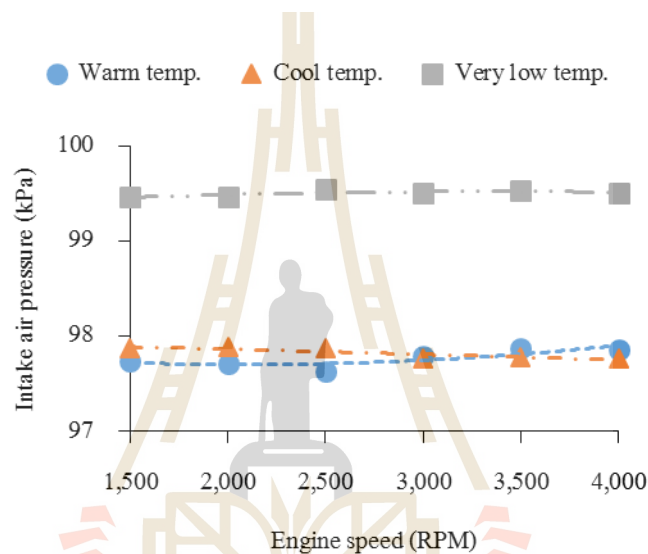
การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ จะทำให้อากาศมีอุณหภูมิ ลดลง ความหนาแน่นและอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นทุกชั้นทุกความหนาของแผ่น ECP เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP (ตารางที่ 4.7) สอดคล้องกับงานวิจัยของ วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย และคณะ (2557), ชินณพงศ์ ประจักษ์เมธิเลิศ และคณะ (2559) และ Martinez et al. (2016) การใช้น้ำอุณหภูมิห้องไหลเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศที่ความหนาของ แผ่น ECP เท่ากับ 100 mm จะทำให้อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับการ ทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP อื่น ๆ เนื่องจากการติดตั้งแผ่น ECP ที่มีความหนาน้อยที่สุด จะเกิดความต้านทานการไหลน้อยที่สุด ทำให้อากาศไหลได้สะดวกที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Malli et al. (2011) การใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศที่ ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm จะทำให้อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่าสูงที่สุด เมื่อ เทียบกับผลการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP อื่น ๆ เนื่องจากการติดตั้งแผ่น ECP ที่มีความ หนาน้อยที่สุด จะเกิดความต้านทานการไหลน้อยที่สุด ทำให้อากาศไหลได้สะดวก สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Malli et al. (2011) เช่นเดียวกันกับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้อง

การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำมีค่าอุณหภูมิอากาศก่อนเข้า เครื่องยนต์ต่ำที่สุดประมาณ  $11-15^{\circ}\text{C}$  จากการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถัง เก็บที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm แต่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่เข้าสู่ เครื่องยนต์มีค่าสูงที่สุดที่การทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บที่ความหนา ของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ เนื่องจากการติดตั้งแผ่น ECP ที่ มีความหนาเพิ่มขึ้นจะทำให้ความต้านทานการไหลของการเพิ่มขึ้นด้วย แม้อุณหภูมิอากาศจะมีค่า ลดลง โดยอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของ น้ำแข็งในถังเก็บมีค่าอยู่ที่ประมาณ  $22-23^{\circ}\text{C}$

## 4.2 ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์

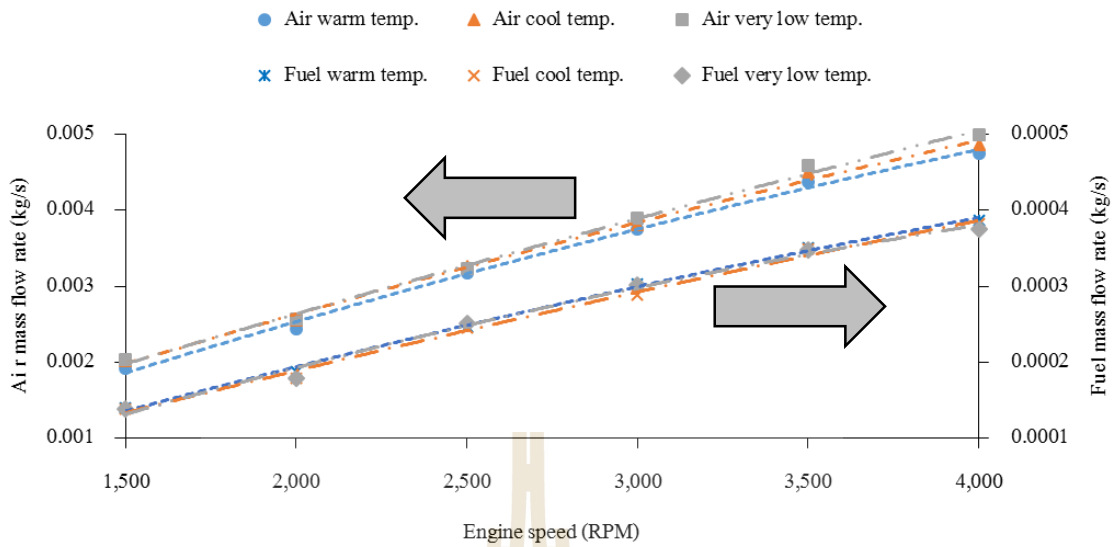
จากการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ จะได้สภาวะและคุณสมบัติของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ดังกล่าวในผลการทดสอบข้างต้น หากพิจารณาถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อใช้อากาศที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยการระเหยน้ำ ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

### 4.2.1 ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

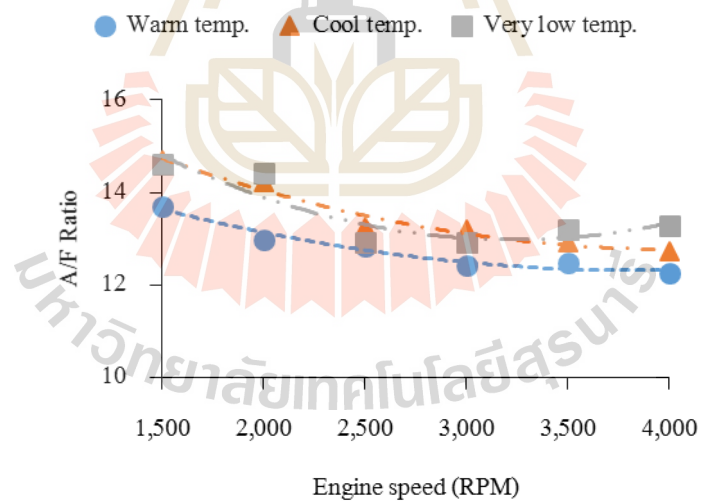


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์จะใช้วิธีการคำนวณจากกฎของแก๊ส (Cengel, 2004) ดังสมการที่ 2.14 จากรูปที่ 4.1 เห็นว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่ออากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ถูกลดอุณหภูมิ จะทำให้ความดันของอากาศมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจาก การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นและการลดลงของอุณหภูมิของอากาศ ดังสมการที่ 2.14 เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจาก อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) มีค่าความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์สูงที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ



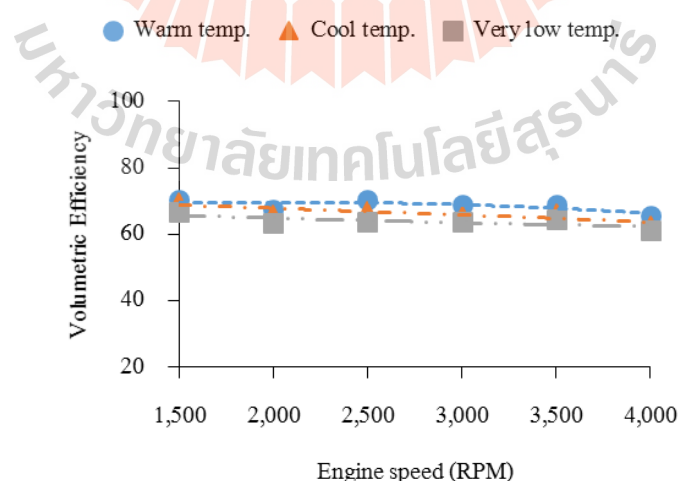
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (ซ้าย) และ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (ขวา) เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

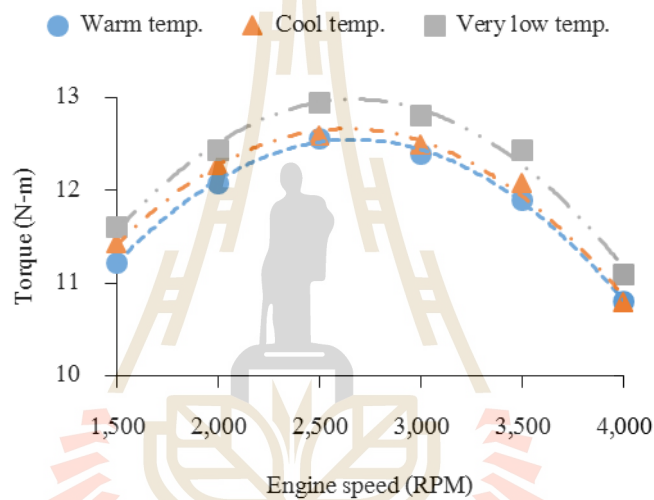
จากรูปที่ 4.2 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องการปริมาณอากาศและเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น และหากเปรียบเทียบการทดสอบทั้งสามแบบ พบว่า อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศของการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิที่น้ำแข็งละลายในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) มีค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเพิ่มขึ้นมากที่สุด สังเกต จากเส้นกราฟ 3 เส้นด้านบนที่มีลักษณะไม่ทับกัน ในขณะที่อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงของการทดสอบทั้งสามแบบ มีค่าใกล้เคียงกัน จากเส้นกราฟ 3 เส้นด้านล่างที่มีลักษณะทับกัน เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบจ่ายเชื้อเพลิงโดยใช้คาร์บูเรเตอร์ การจ่ายเชื้อเพลิงจะขึ้นกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่านั้น ไม่คำนึงถึงปริมาณอากาศและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เข้าสู่เครื่องยนต์ ซึ่งจะสอดคล้องกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงดังรูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีค่าลดลง เนื่องจาก ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูง ๆ อากาศจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ไม่เพียงพอตามความต้องการของเครื่องยนต์ ทำให้อัตราการไหลของอากาศน้อยกว่าที่ควรจะเป็น และหากเปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของการทดสอบทั้งสามแบบ พบว่า การทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) มีค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่ามากที่สุด



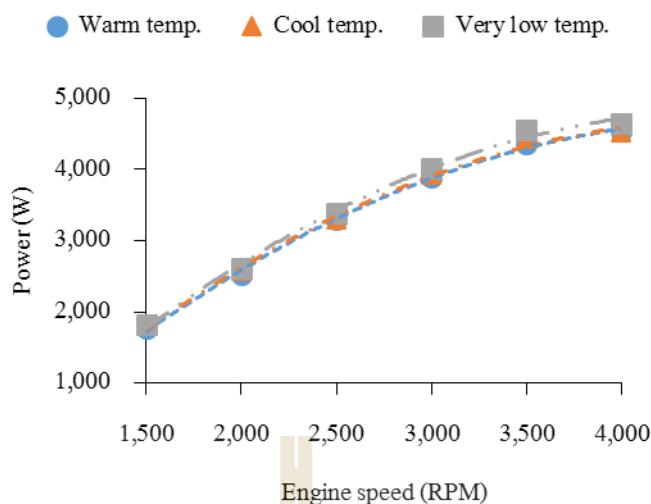
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm ถึงแม้ว่าอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บ หรืออุณหภูมิอากาศต่ำที่สุด จะมีค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมากที่สุด แต่ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ก็ไม่ได้มีค่ามากที่สุด ดังรูปที่ 4.4 เนื่องจาก ความหนาแน่นของอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลง การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของอากาศมีอิทธิพลมากกว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราไหลเชิงมวลของอากาศ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรมีค่าลดลง ซึ่งจะสอดคล้องจากการคำนวณดังสมการที่ 2.9 และเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจาก อุณหภูมิและความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

จากรูปที่ 4.5 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นด้วย และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ มีผลทำให้โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและความดันที่เข้าสู่เครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันสูงสุดภายในกระบอกสูบในจังหวะให้งานมีค่าเพิ่มขึ้นตามทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Pulkrabek, 2004) และหากนำค่าโมเมนต์บิดที่วัดได้ไปคำนวณหาค่ากำลังของเครื่องยนต์ดังสมการที่ 2.11 จะได้ผลดังรูปที่ 4.6

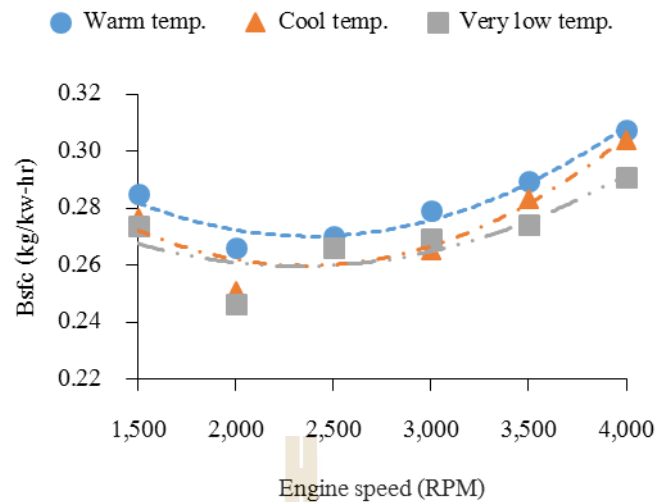


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์  
ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

จากรูปที่ 4.6 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจาก โมเมนต์บิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าโมเมนต์บิดจะลดลงในความเร็วรอบสูง ๆ ก็ตาม เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูง ๆ การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบส่งผลต่อกำลังของเครื่องยนต์มากกว่าการลดลงของโมเมนต์บิด ตามรูปแบบของสมการที่ 2.11

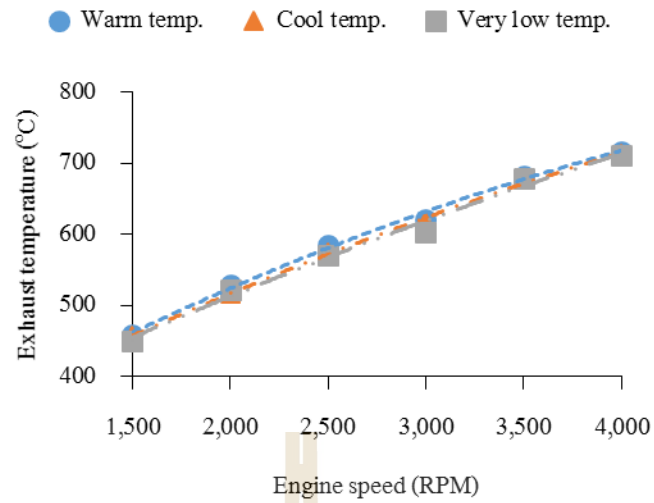
การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm ทำให้กำลังและ โมเมนต์บิดมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศักรินทร์ ปาปะเก และคณะ (2560) และ Cesur et al. (2013) โดยกำลังและ โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 1.83% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) และเพิ่มขึ้นสูงสุด 4.48% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 3,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) เมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm





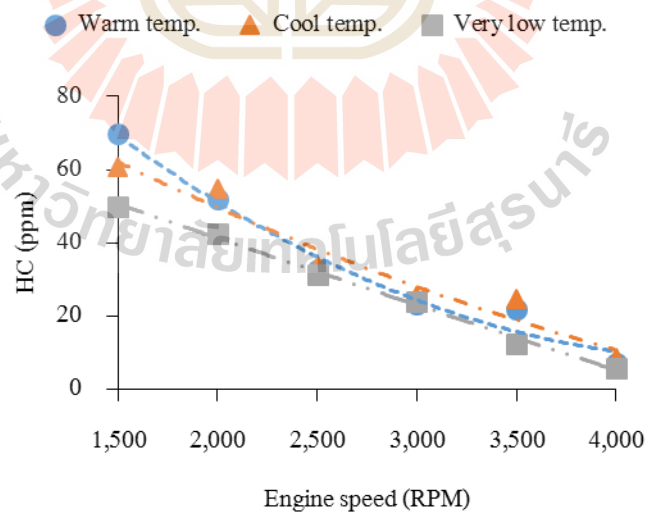
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

จากรูปที่ 4.7 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าลดลงในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500-2,500 RPM และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่า 2,500 RPM การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีผลทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศักรินทร์ ปาปะเก และคณะ (2560), Sahin et al. (2012) และ Cesur et al. (2013) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องยนต์มีส่วนมากกว่าการเพิ่มของอัตราการผลิตเชิงมวลของเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นน้อยมาก โดยความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงสูงสุด 5.79% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,000 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) และลดลงสูงสุด 7.57% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,000 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm



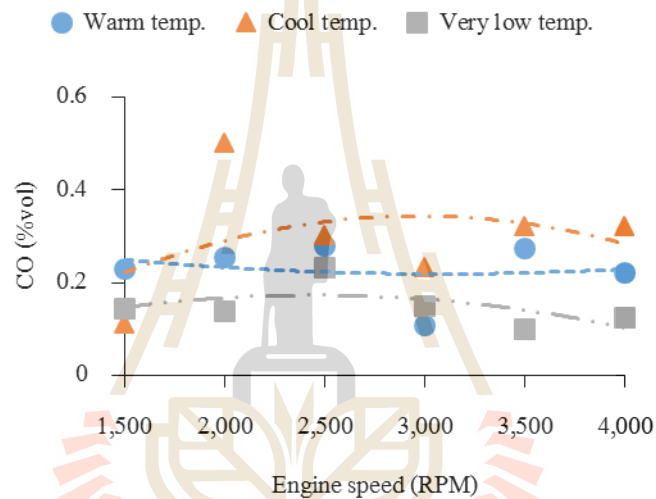
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

จากรูปที่ 4.8 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ ทำให้อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

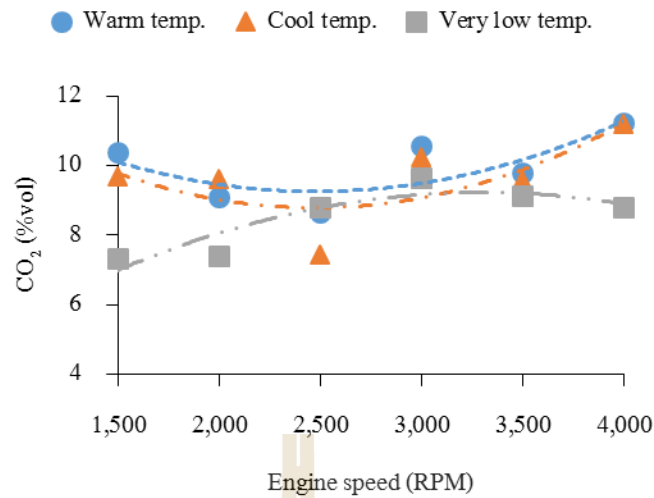


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

จากรูปที่ 4.9 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เนื่องจากไอดีเกิดการไหลปั่นป่วนสูงที่ความเร็วรอบสูง ทำให้อากาศและฝอยน้ำมันเชื้อเพลิงผสมคลุกเคล้ากันได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลให้ได้ไอดีคุณภาพสูง ที่สามารถเผาไหม้ได้ดี เกิดปริมาณ HC จากการเผาไหม้ต่ำ การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำสามารถลดปริมาณ HC จากไอเสียของเครื่องยนต์ได้ หากเปรียบเทียบปริมาณ HC ที่เกิดขึ้นในไอเสีย พบว่า การทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) มีปริมาณ HC ในไอเสียต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm



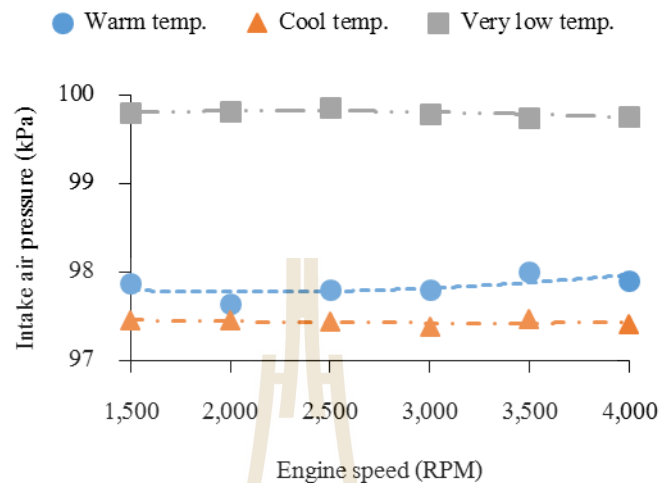
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO<sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

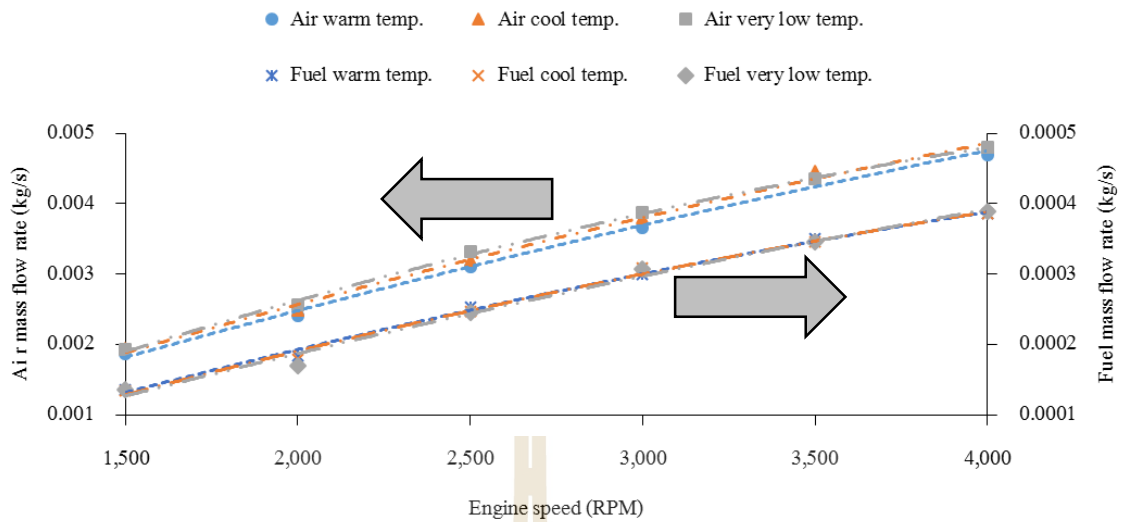
จากรูปที่ 4.10-4.11 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของเครื่องยนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงแบบไม่ชัดเจน หากพิจารณาการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) จะมีปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

#### 4.2.2 ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

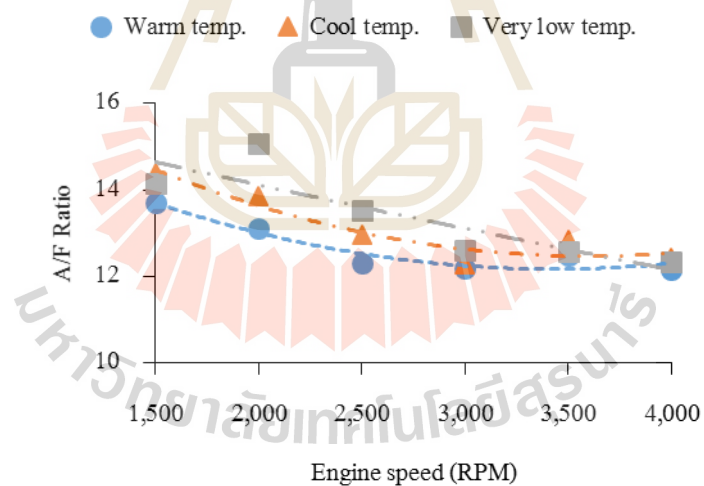


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์จะใช้วิธีการคำนวณเดียวกันกับรูปที่ 4.1 จากรูปที่ 4.12 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm เมื่ออากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ถูกลดอุณหภูมิ จะทำให้ความดันของอากาศมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจาก การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นและการลดลงของอุณหภูมิของอากาศ ดังสมการที่ 2.14 เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจาก อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) มีค่าความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์สูงที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ



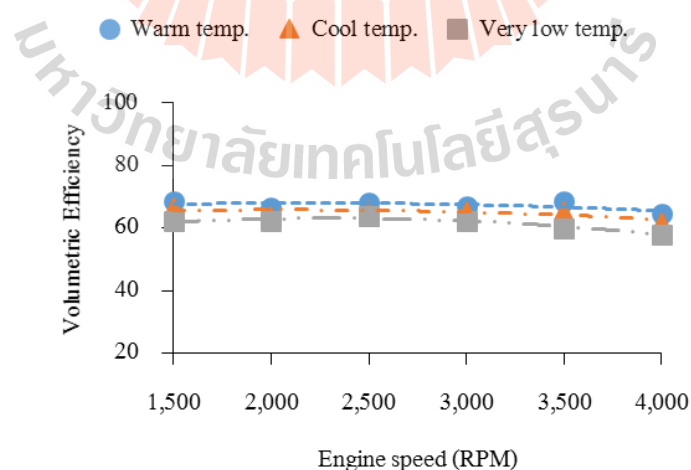
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (ซ้าย) และ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (ขวา) เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

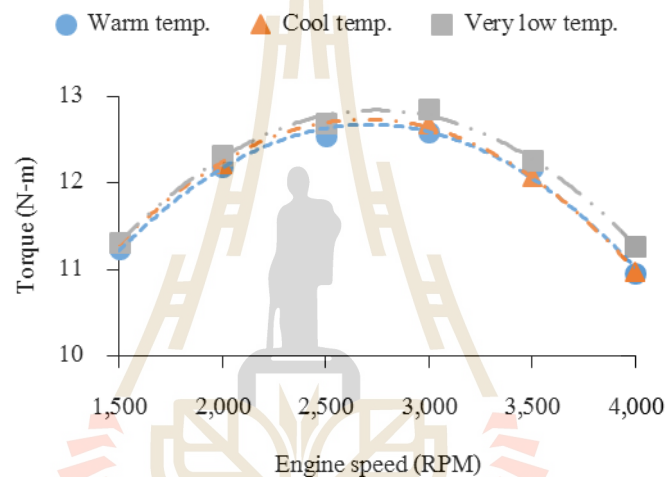
จากรูปที่ 4.13 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องการปริมาณอากาศและเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น และหากเปรียบเทียบการทดสอบทั้งสามแบบ พบว่า อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศของการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิที่น้ำแข็งละลายในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) มีค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเพิ่มขึ้นมากที่สุด สังเกต จากเส้นกราฟ 3 เส้นด้านบนที่มีลักษณะไม่ทับกัน ในขณะที่อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงของการทดสอบทั้งสามแบบ มีค่าใกล้เคียงกัน จากเส้นกราฟ 3 เส้นด้านล่างที่มีลักษณะทับกัน เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบจ่ายเชื้อเพลิงโดยใช้คาร์บูเรเตอร์ การจ่ายเชื้อเพลิงจะขึ้นกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่านั้น ไม่คำนึงถึงปริมาณอากาศและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เข้าสู่เครื่องยนต์ ซึ่งจะสอดคล้องกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงดังรูปที่ 4.14

จากรูปที่ 4.14 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีค่าลดลง เนื่องจาก ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูง ๆ อากาศจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ไม่เพียงพอตามความต้องการของเครื่องยนต์ ทำให้อัตราการไหลของอากาศน้อยกว่าที่ควรจะเป็น และหากเปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของการทดสอบทั้งสามแบบ พบว่า การทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) มีค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่ามากที่สุด



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

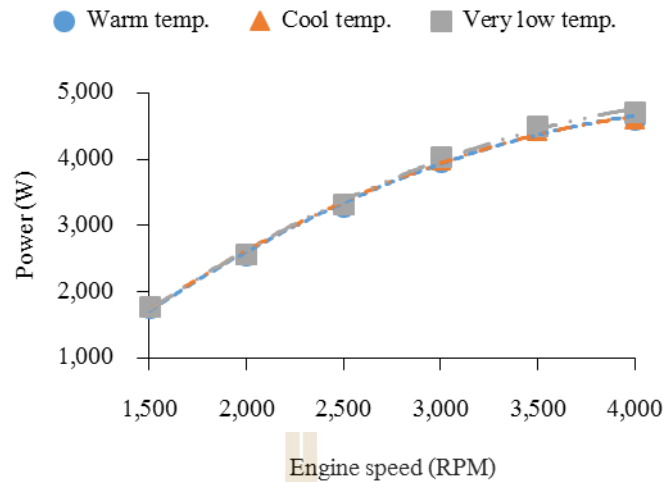
ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm ถึงแม้ว่าอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บ หรืออุณหภูมิอากาศต่ำที่สุด จะมีค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมากที่สุด แต่ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ก็ไม่ได้มีค่ามากที่สุด ดังรูปที่ 4.15 เนื่องจาก ความหนาแน่นของอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลง การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของอากาศมีอิทธิพลมากกว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราไหลเชิงมวลของอากาศ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรมีค่าลดลง ซึ่งจะสอดคล้องจากการคำนวณดังสมการที่ 2.9 และเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจาก อุณหภูมิและความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

จากรูปที่ 4.16 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นด้วย และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 2,500 RPM การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ มีผลทำให้โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและความดันที่เข้าสู่เครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันสูงสุดภายในกระบอกสูบในจังหวะให้งานมีค่าเพิ่มขึ้นตามทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Pulkrabek, 2004) และหากนำค่าโมเมนต์บิดที่วัดได้ไปคำนวณกำลังของเครื่องยนต์ดังสมการที่ 2.11 จะได้ผลดังรูปที่ 4.17

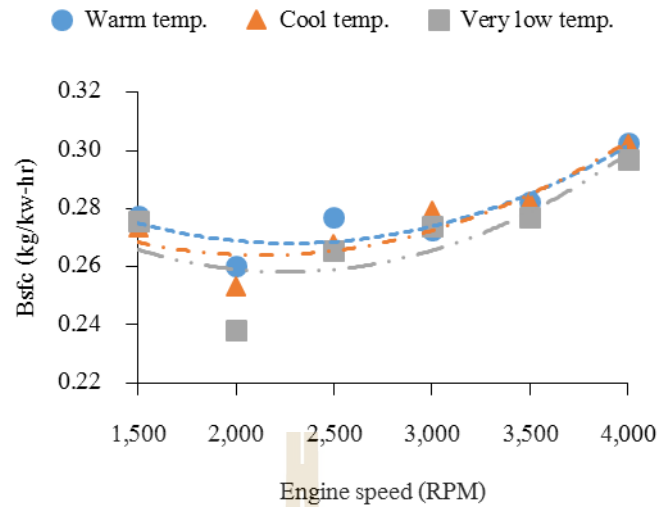




รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

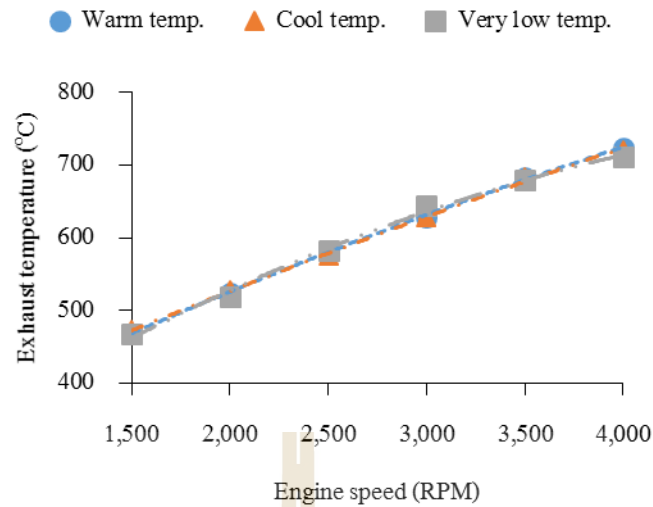
จากรูปที่ 4.17 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจาก โมเมนต์บิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าโมเมนต์บิดลดลงในความเร็วรอบสูง ๆ ก็ตาม เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูง ๆ การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบส่งผลต่อกำลังของเครื่องยนต์มากกว่าการลดลงของ โมเมนต์บิด ตามรูปแบบของสมการที่ 2.11

การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm ทำให้กำลังและ โมเมนต์บิดมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศักรินทร์ ปาปะเก และคณะ (2560) และ Cesur et al. (2013) โดยกำลังและ โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 1.15% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) และเพิ่มขึ้นสูงสุด 2.83% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 4,000 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) เมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm



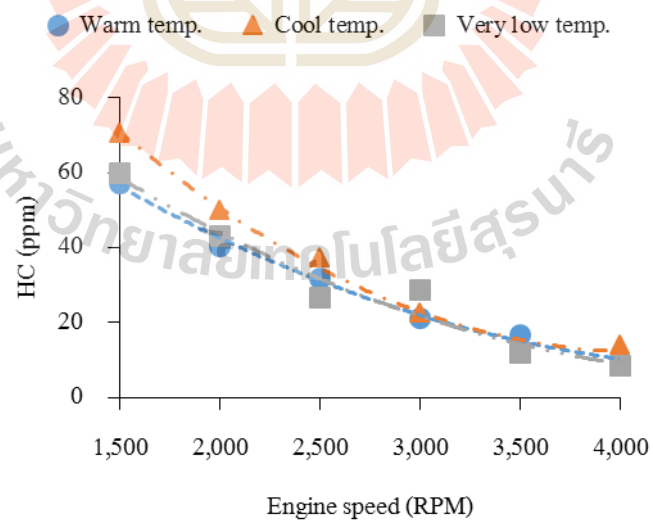
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

จากรูปที่ 4.18 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าลดลงในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500-2,500 RPM และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่า 2,500 RPM การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีผลทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศักรินทร์ ปาปะเก และคณะ (2560), Sahin et al. (2012) และ Cesur et al. (2013) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องยนต์มีส่วนมากกว่าการเพิ่มของอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นน้อยมาก โดยความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงสูงสุด 3.45% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) และลดลงสูงสุด 8.47% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,000 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm



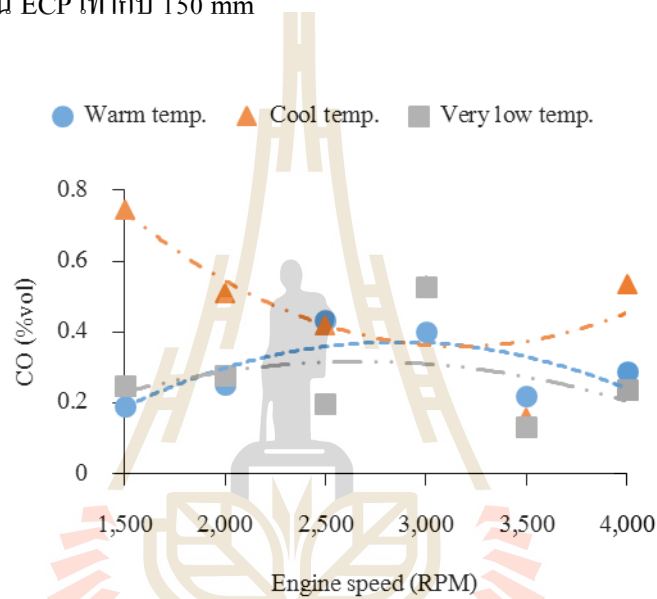
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

จากรูปที่ 4.19 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ ทำให้อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

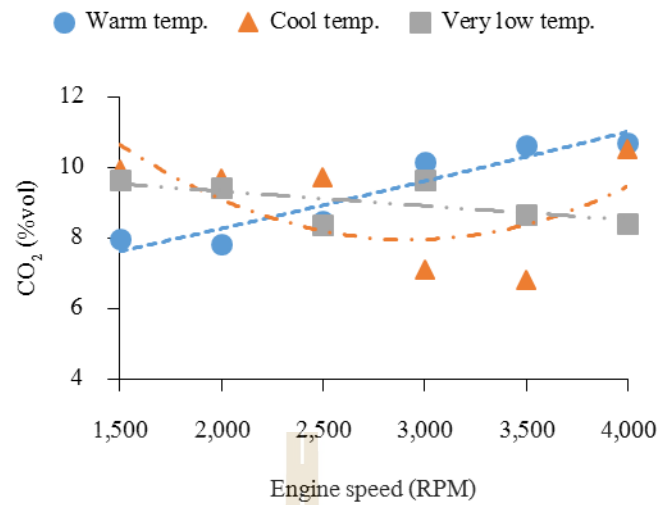


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

จากรูปที่ 4.20 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เนื่องจากไอดีเกิดการไหลปั่นป่วนสูงที่ความเร็วรอบสูง ทำให้อากาศและฝอยน้ำมันเชื้อเพลิงผสมคลุกเคล้ากันได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลให้ได้ไอดีคุณภาพสูง ที่สามารถเผาไหม้ได้ดี เกิดปริมาณ HC จากการเผาไหม้ต่ำ การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำไม่สามารถลดปริมาณ HC จากไอเสียของเครื่องยนต์ได้ หากเปรียบเทียบปริมาณ HC ที่เกิดขึ้นในไอเสีย พบว่า การทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) จะมีปริมาณ HC ในไอเสียสูงที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm



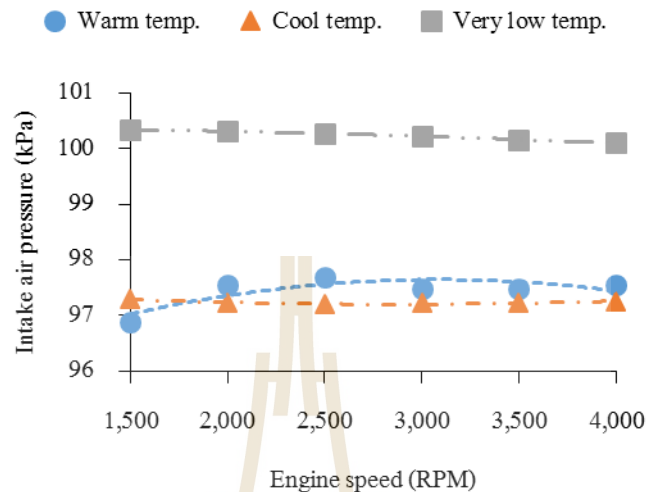
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO<sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

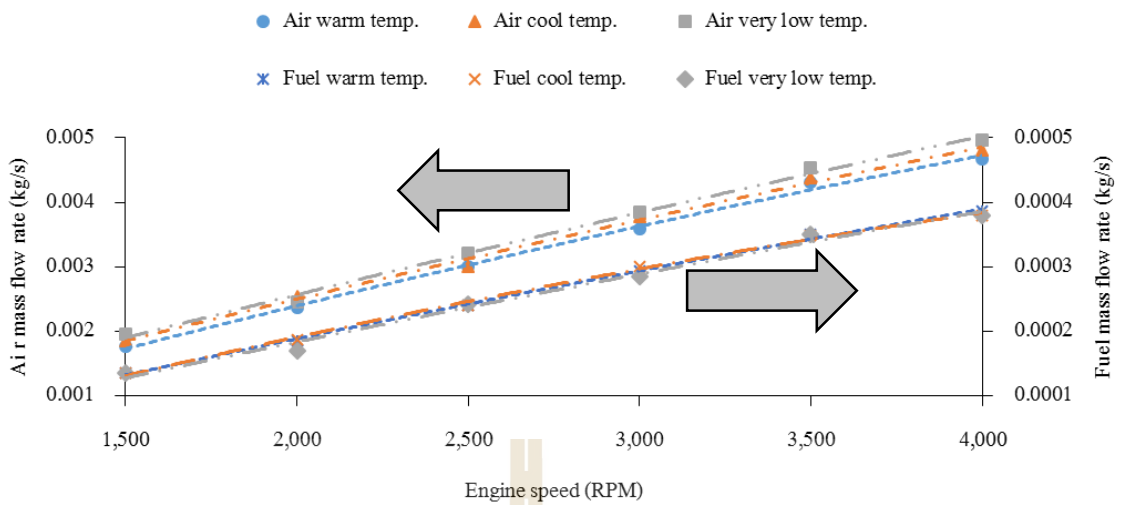
จากรูปที่ 4.21-4.22 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของเครื่องยนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงแบบไม่ชัดเจน หากพิจารณาการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) จะมีปริมาณ CO ในไอเสียต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

#### 4.2.3 ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

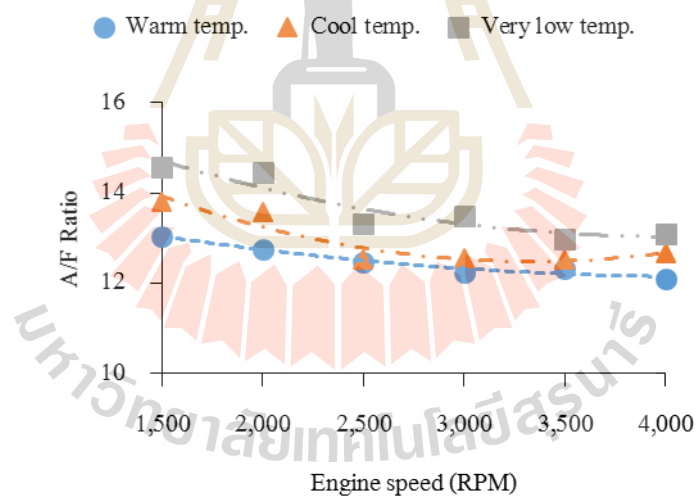


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์จะใช้วิธีการคำนวณเดียวกันกับรูปที่ 4.1 จากรูปที่ 4.23 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm เมื่ออากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ถูกลดอุณหภูมิ จะทำให้ความดันของอากาศมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจาก การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นและการลดลงของอุณหภูมิของอากาศ ดังสมการที่ 2.14 เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจาก อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) มีค่าความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์สูงที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ



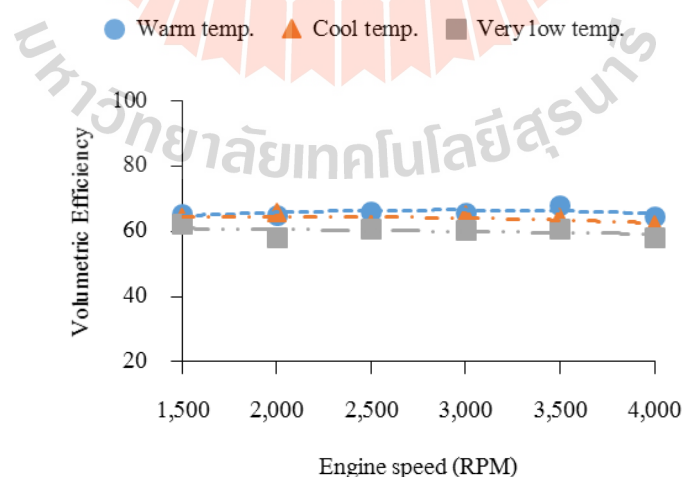
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (ซ้าย) และ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (ขวา) เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

จากรูปที่ 4.24 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องการปริมาณอากาศและเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น และหากเปรียบเทียบการทดสอบทั้งสามแบบ พบว่า อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศของการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิที่น้ำแข็งละลายในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) มีค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเพิ่มขึ้นมากที่สุด สังเกต จากเส้นกราฟ 3 เส้นด้านบนที่มีลักษณะไม่ทับกัน ในขณะที่อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงของการทดสอบทั้งสามแบบ มีค่าใกล้เคียงกัน จากเส้นกราฟ 3 เส้นด้านล่างที่มีลักษณะทับกัน เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบจ่ายเชื้อเพลิงโดยใช้คาร์บูเรเตอร์ การจ่ายเชื้อเพลิงจะขึ้นกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่านั้น ไม่คำนึงถึงปริมาณอากาศและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เข้าสู่เครื่องยนต์ ซึ่งจะสอดคล้องกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงดังรูปที่ 4.25

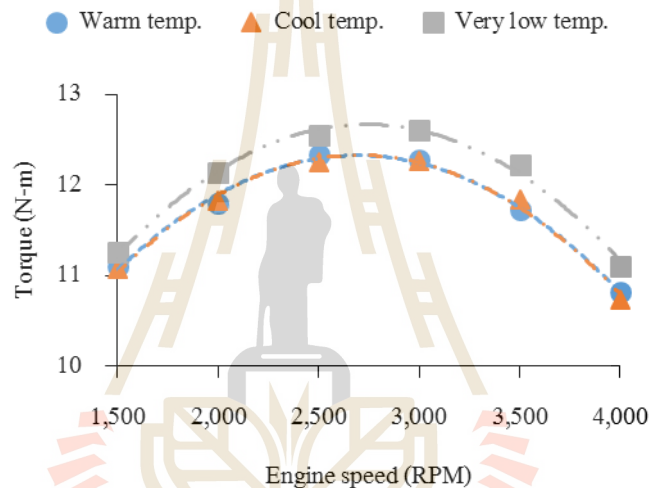
จากรูปที่ 4.25 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีค่าลดลง เนื่องจาก ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูง ๆ อากาศจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ไม่เพียงพอตามความต้องการของเครื่องยนต์ ทำให้อัตราการไหลของอากาศน้อยกว่าที่ควรจะเป็น และหากเปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของการทดสอบทั้งสามแบบ พบว่า การทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) มีค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่ามากที่สุด



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

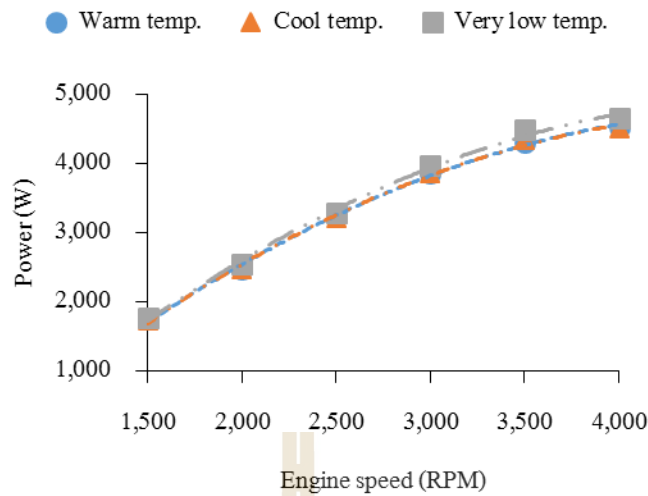


ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm ถึงแม้ว่าอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บ หรืออุณหภูมิอากาศต่ำที่สุด มีค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมากที่สุด แต่ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ก็ไม่ได้มีค่ามากที่สุด ดังรูปที่ 4.26 เนื่องจาก ความหนาแน่นของอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลง การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของอากาศมีอิทธิพลมากกว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราไหลเชิงมวลของอากาศ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรมีค่าลดลง ซึ่งจะสอดคล้องจากการคำนวณดังสมการที่ 2.9 และเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจาก อุณหภูมิและความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

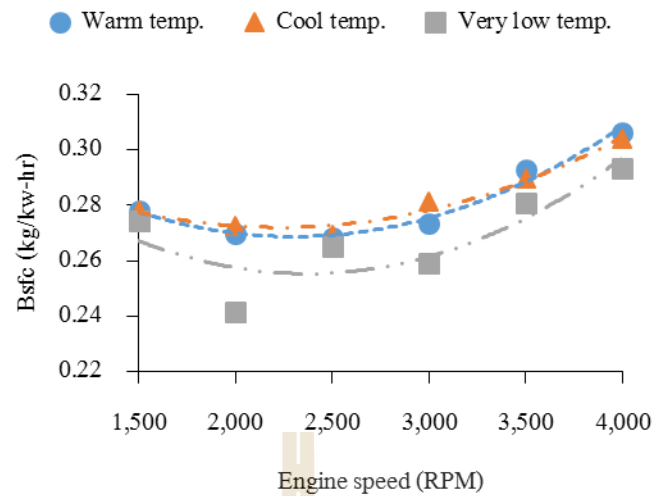
จากรูปที่ 4.27 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นด้วย และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ มีผลทำให้โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและความดันที่เข้าสู่เครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันสูงสุดภายในกระบอกสูบในจังหวะให้งานมีค่าเพิ่มขึ้นตามทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Pulkrabek, 2004) และหากนำค่าโมเมนต์บิดที่วัดได้ไปคำนวณหาค่ากำลังของเครื่องยนต์ดังสมการที่ 2.11 จะได้ผลดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์  
ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

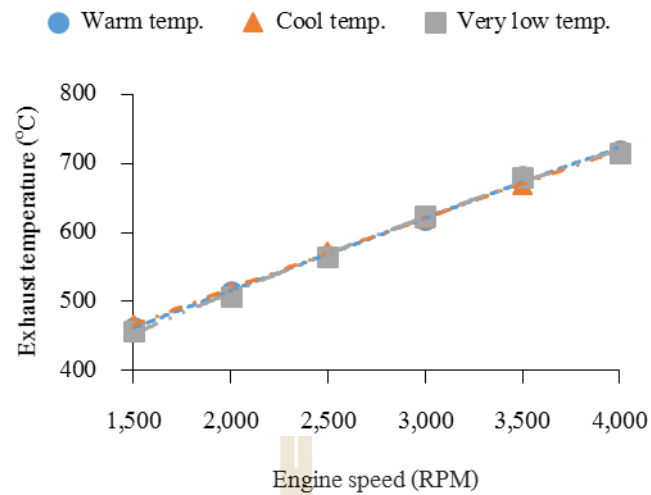
จากรูปที่ 4.28 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจาก โมเมนต์บิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าโมเมนต์บิดลดลงในความเร็วรอบสูง ๆ ก็ตาม เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูง ๆ การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบส่งผลต่อกำลังของเครื่องยนต์มากกว่าการลดลงของโมเมนต์บิด ตามรูปแบบของสมการที่ 2.11

การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm ทำให้กำลังและ โมเมนต์บิดมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศักรินทร์ ปาปะเก และคณะ (2560) และ Cesur et al. (2013) โดยกำลังและ โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 0.94% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 3,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) และเพิ่มขึ้นสูงสุด 4.26% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 3,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm



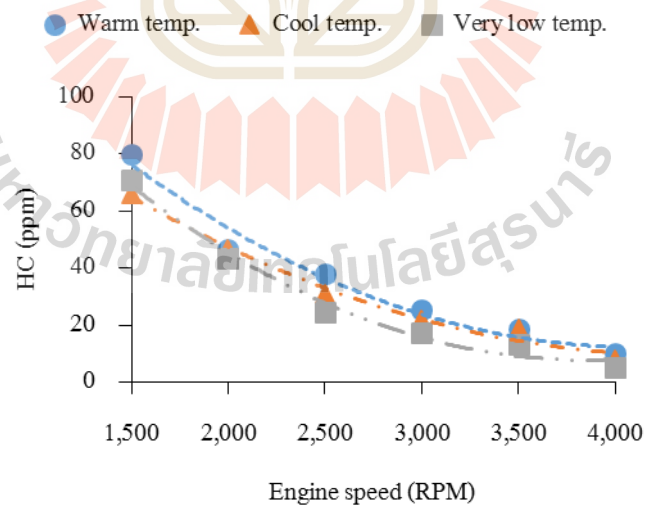
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

จากรูปที่ 4.29 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าลดลงในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500-2,500 RPM และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่า 2,500 RPM การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีผลทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศักรินทร์ ปาปะเก และคณะ (2560), Sahin et al. (2012) และ Cesur et al. (2013) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องยนต์มีส่วนมากกว่าการเพิ่มของอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นน้อยมาก โดยความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงสูงสุด 1.25% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 3,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) และลดลงสูงสุด 10.45% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,000 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm



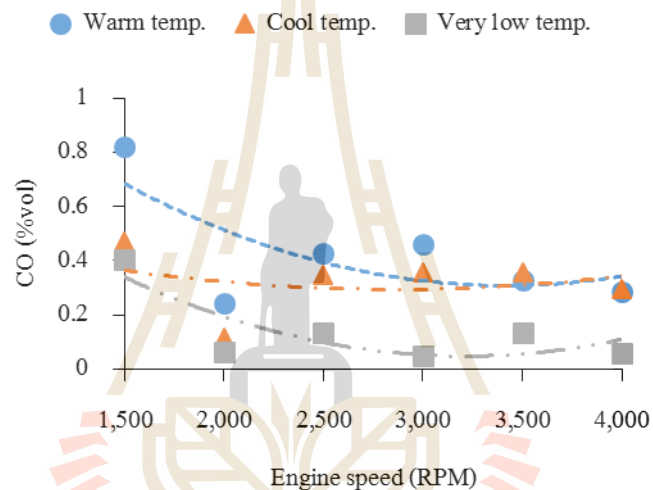
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

จากรูปที่ 4.30 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ ทำให้อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

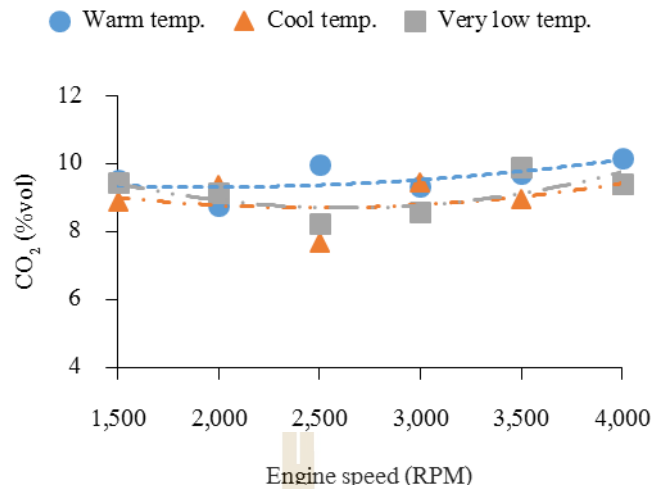


รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

จากรูปที่ 4.31 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เนื่องจากไอดีเกิดการไหลปั่นป่วนสูงที่ความเร็วรอบสูง ทำให้อากาศและฝอยน้ำมันเชื้อเพลิงผสมคลุกเคล้ากันได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลให้ได้ไอดีคุณภาพสูง ที่สามารถเผาไหม้ได้ดี เกิดปริมาณ HC จากการเผาไหม้ต่ำ การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำสามารถลดปริมาณ HC จากไอเสียของเครื่องยนต์ได้ หากเปรียบเทียบปริมาณ HC ที่เกิดขึ้นในไอเสีย พบว่า การทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) จะมีปริมาณ HC ในไอเสียต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm



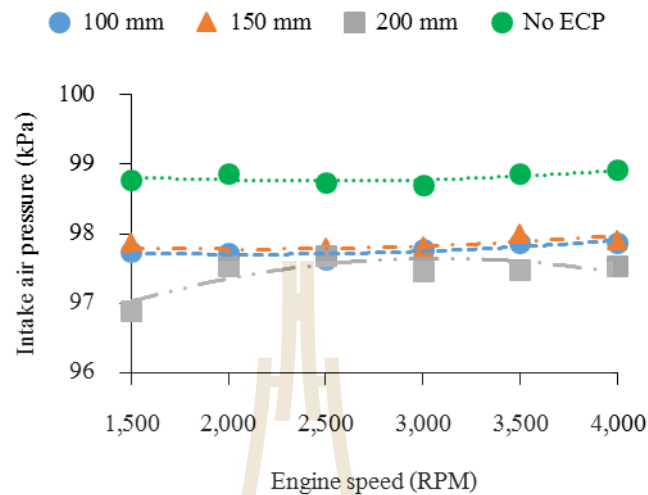
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO<sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

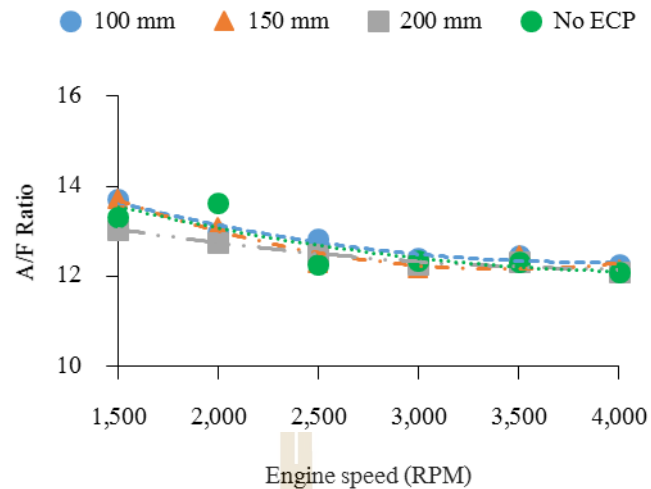
จากรูปที่ 4.32-4.33 พบว่าที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของเครื่องยนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงแบบไม่ชัดเจน หากพิจารณาการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool Temp.) และแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) จะมีปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียต่ำกว่า เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm

#### 4.2.4 ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

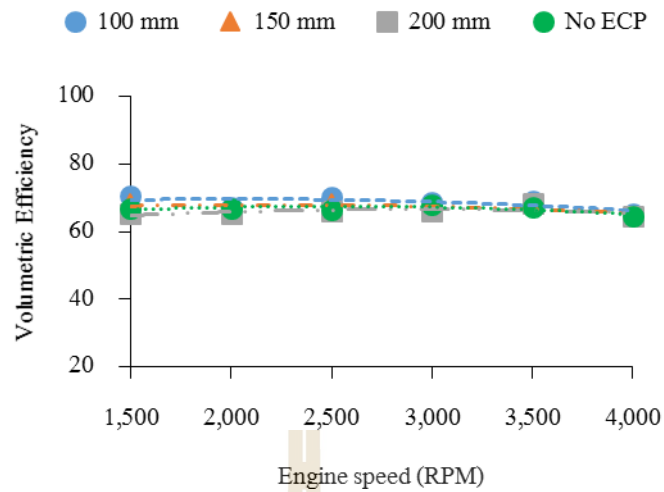
ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์จะใช้วิธีการคำนวณเดียวกันกับรูปที่ 4.1 จากรูปที่ 4.34 พบว่าการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และหากเปรียบเทียบการทดสอบทั้งสี่แบบ แบบที่ไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP) มีค่าความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์สูงที่สุด เนื่องจาก การติดตั้งแผ่น ECP จะทำให้เกิดความต้านทานการไหลของอากาศ ทำให้เกิดการสูญเสียความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosli et al. (2013)



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

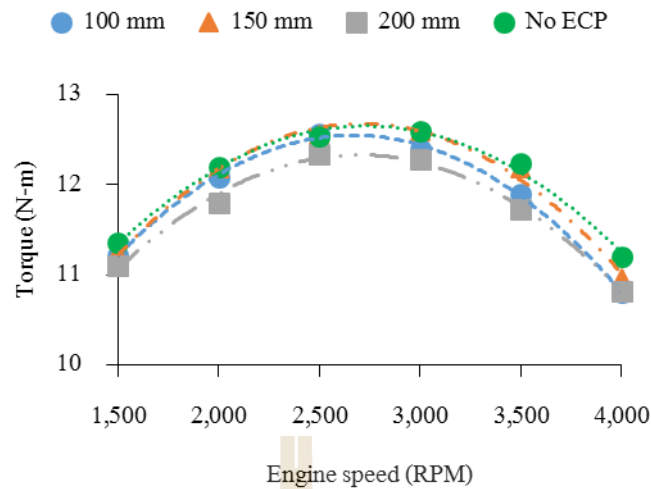
จากรูปที่ 4.35 พบว่าการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจะมีค่าลดลง เนื่องจาก ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูง ๆ อากาศจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ไม่เพียงพอตามความต้องการของเครื่องยนต์ ทำให้อัตราการไหลของอากาศน้อยกว่าที่ควรจะเป็น และการติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ ทำให้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจาก อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงของการทดสอบทุกแบบมีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าจะเกิดความต้านทานการไหลของอากาศโดยการติดตั้งแผ่น ECP





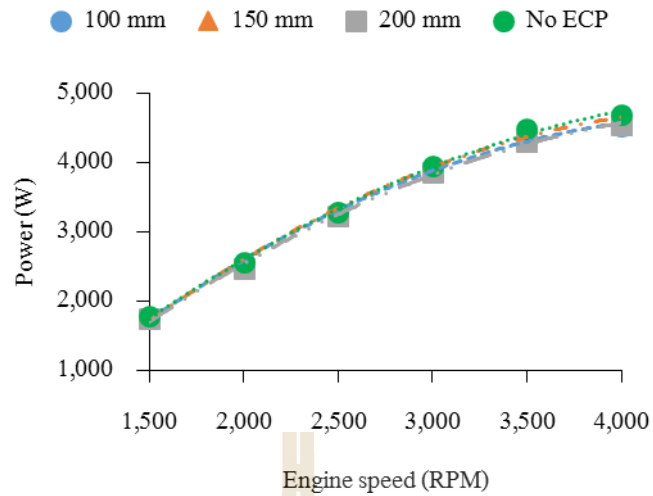
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.36 พบว่าการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และการติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ มีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของการทดสอบเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศของการทดสอบทุกแบบมีค่าใกล้เคียงกัน



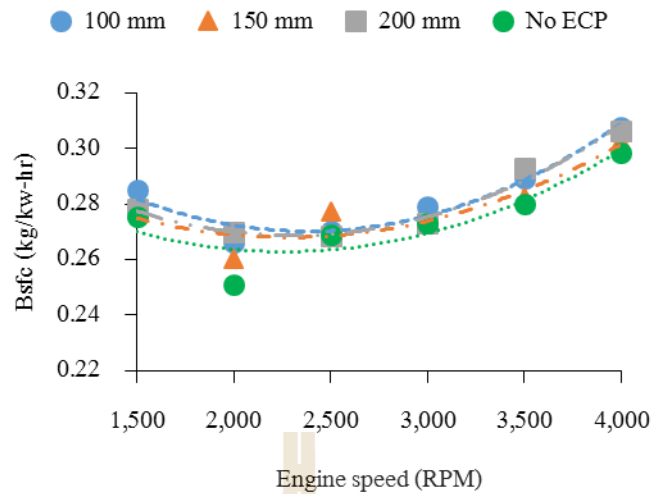
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.37 พบว่าการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นด้วย และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM การติดตั้งแผ่น ECP เพื่อใช้สำหรับการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ ทำให้โมเมนต์บิดที่ได้มีค่าลดลงทุกความหนาของแผ่น ECP เมื่อเทียบกับโมเมนต์บิดจากการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP เนื่องจาก ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าลดลงจากการติดตั้งแผ่น ECP ส่งผลให้ความดันสูงสุดภายในกระบอกสูบในจังหวะให้งานมีค่าลดลงตามทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Pulkrabek, 2004) และหากนำค่าโมเมนต์บิดที่วัดได้ไปคำนวณหาค่ากำลังของเครื่องยนต์ดังสมการที่ 2.11 ได้ผลดังรูปที่ 4.38



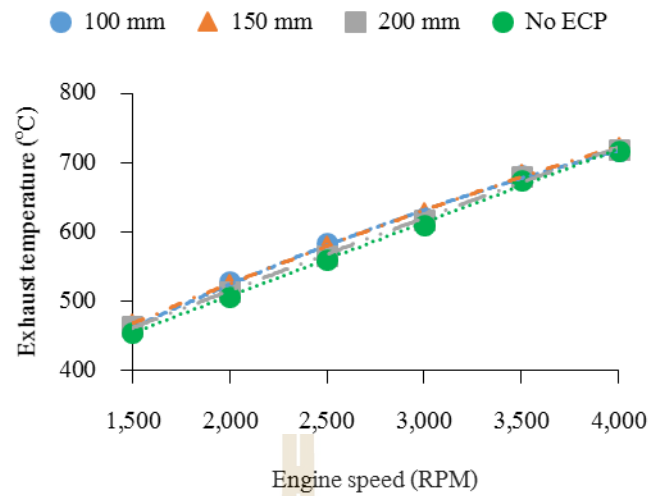
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.38 พบว่าการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจาก โมเมนตัมบิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าโมเมนตัมบิดจะลดลงในความเร็วรอบสูง ๆ ก็ตาม เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูง ๆ การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบส่งผลต่อกำลังของเครื่องยนต์มากกว่าการลดลงของ โมเมนตัมบิด ตามรูปแบบของสมการที่ 2.11



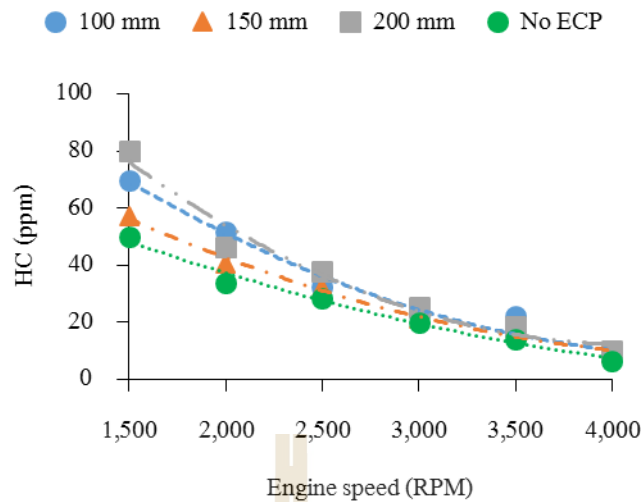
รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.39 พบว่าการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าลดลงในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500-2,500 RPM และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่า 2,500 RPM การติดตั้งแผ่น ECP เพื่อใช้สำหรับการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ ทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นทุกความหนาของแผ่น ECP เมื่อเทียบกับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจากการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP เนื่องจาก โมเมนต์บิดที่ได้จากการติดตั้งแผ่น ECP มีค่าลดลง คล้ายกับการติดตั้งกรองอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosli et al. (2013)



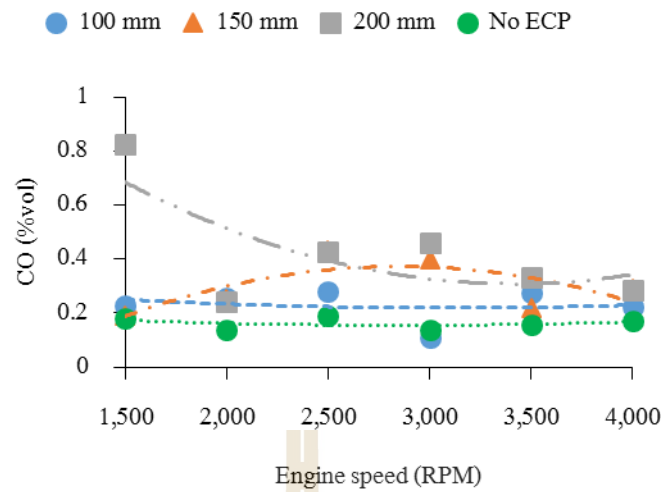
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.40 พบว่าการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย การติดตั้งแผ่น ECP เพื่อใช้สำหรับการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ จะทำให้อุณหภูมิไอเสียที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทุกความหนาของแผ่น ECP เมื่อเทียบกับอุณหภูมิไอเสียจากการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP

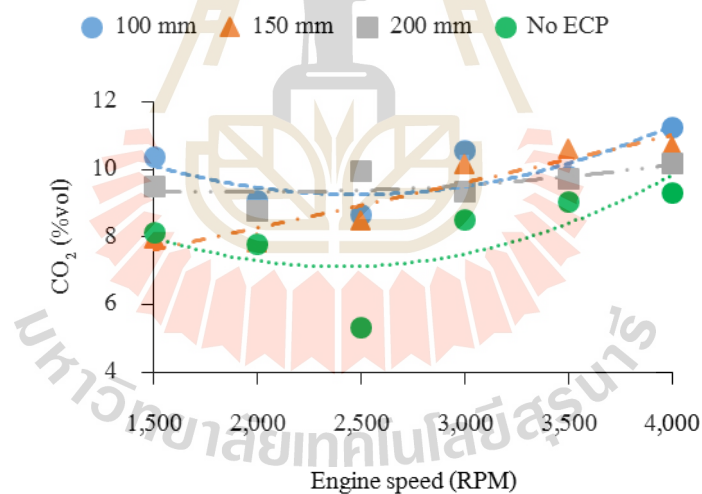


รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.41 พบว่าการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เนื่องจากไอดีเกิดการไหลปั่นป่วนสูงที่ความเร็วรอบสูง ทำให้อากาศและฝอยน้ำมันเชื้อเพลิงผสมคลุกเคล้ากันได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลให้ได้ไอดีคุณภาพสูง ที่สามารถเผาไหม้ได้ดี เกิดปริมาณ HC จากการเผาไหม้ต่ำ การติดตั้งแผ่น ECP เพื่อใช้สำหรับการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณ HC ในไอเสียที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นทุกความหนาของแผ่น ECP เมื่อเทียบกับปริมาณ HC ในไอเสียจากการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP เนื่องจาก อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศของการทดสอบแบบติดตั้งแผ่น ECP มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP ทำให้อากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้น้อยลง เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มากขึ้น



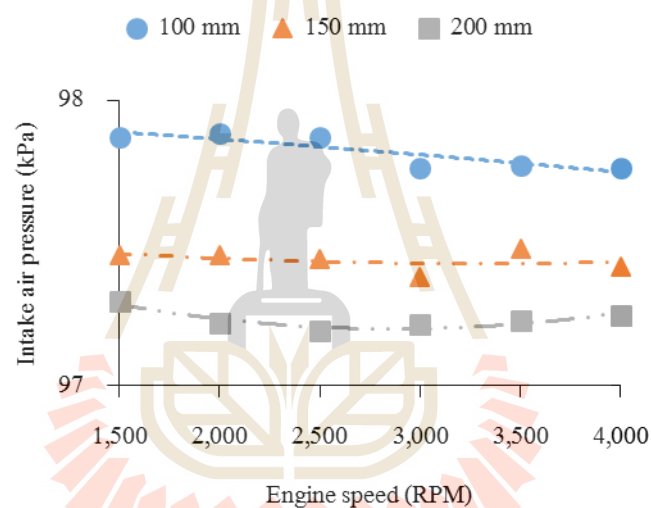
รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)



รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO<sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

รูปที่ 4.42-4.43 แสดงให้เห็นว่าการทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของเครื่องยนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงแบบไม่ชัดเจน หากพิจารณาการทดสอบทั้งสี่แบบ พบว่า ปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP จะมีค่าต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบที่มีการติดตั้งแผ่น ECP ทุก ๆ ความหนา

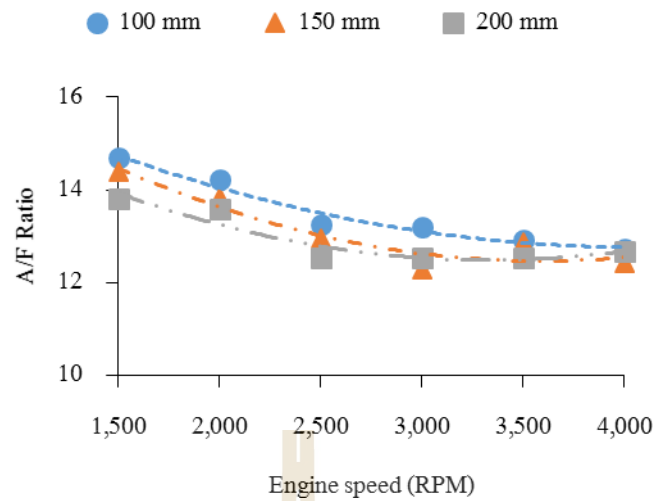
#### 4.2.5 ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ



รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

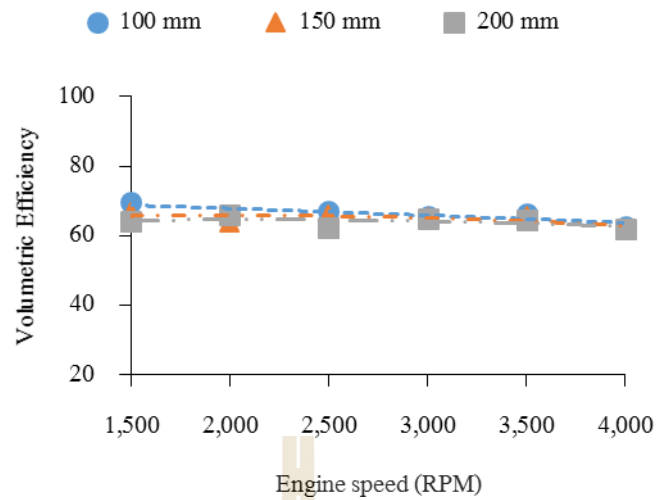
ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์จะใช้วิธีการคำนวณเดียวกันกับรูปที่ 4.1 จากรูปที่ 4.44 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และการเพิ่มความหนาของแผ่น ECP จะทำให้ค่าความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจาก การติดตั้งแผ่น ECP จะทำให้เกิดความต้านทานการไหลของอากาศ เกิดการสูญเสียความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ ซึ่งยิ่งมีความหนามาก ก็จะทำให้เกิดความต้านทานการไหลมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Malli et al. (2011)





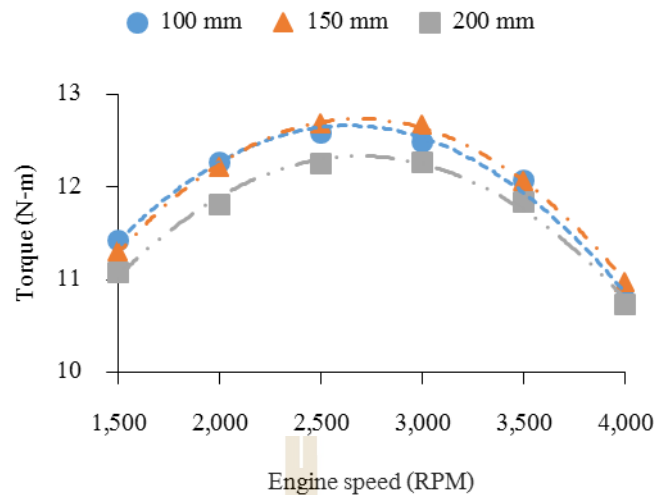
รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.45 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจะมีค่าลดลง เนื่องจากที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูง ๆ อากาศจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ไม่เพียงพอตามความต้องการของเครื่องยนต์ ทำให้อัตราการไหลของอากาศน้อยกว่าที่ควรจะเป็น การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP จะทำให้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงลดลง เนื่องจาก อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่าลดลง จากการติดตั้งแผ่น ECP ที่มีความหนาเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความต้านทานการไหลมากขึ้น



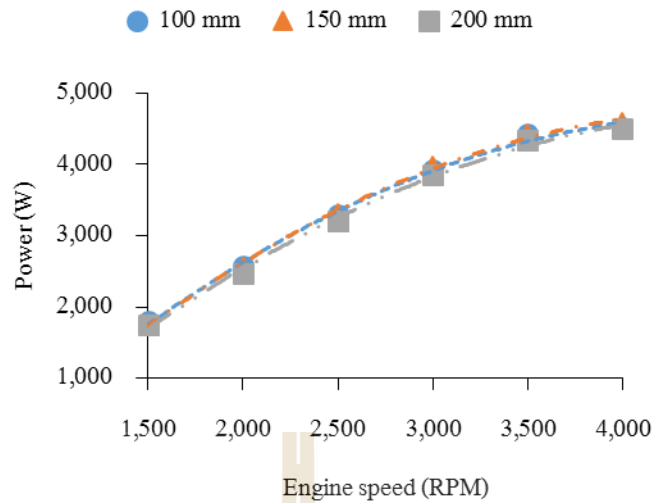
รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.46 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และการเพิ่มความหนาของแผ่น ECP จะทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจาก อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศลดลงจากการเพิ่มความหนาของแผ่น ECP



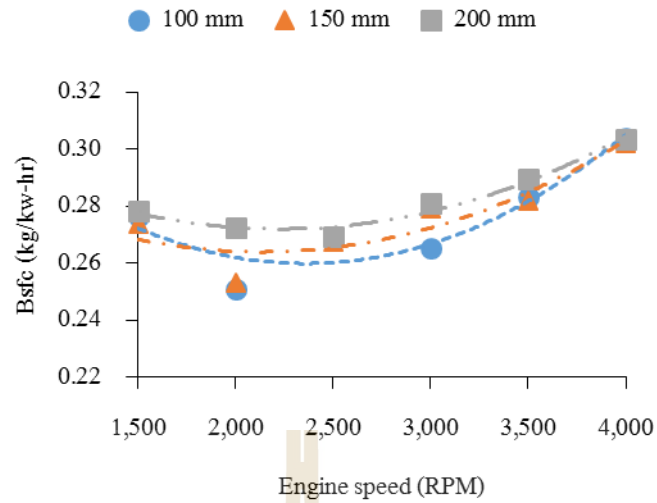
รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.47 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นด้วย และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP มีผลทำให้โมเมนต์บิดที่ได้จากเครื่องยนต์มีค่าลดลง เนื่องจาก ความดันและอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าลดลง จากการติดตั้งแผ่น ECP ที่มีความหนาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันสูงสุดภายในกระบอกสูบในจังหวะให้งานมีค่าลดลงตามทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Pulkrabek, 2004) และหากนำค่าโมเมนต์บิดที่วัดได้ไปคำนวณหากำลังของเครื่องยนต์ดังสมการที่ 2.11 ได้ผลดังรูปที่ 4.48



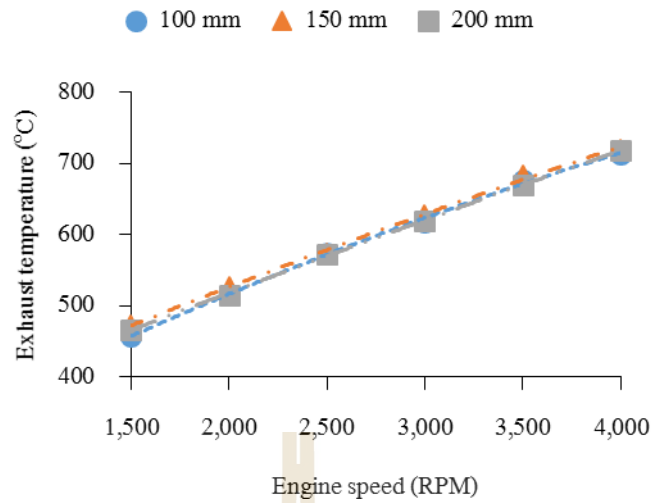
รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.48 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากโมเมนต์บิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าโมเมนต์บิดจะลดลงในความเร็วรอบสูง ๆ ก็ตาม เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูง ๆ การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบส่งผลต่อกำลังของเครื่องยนต์มากกว่าการลดลงของโมเมนต์บิด ตามรูปแบบของสมการที่ 2.11



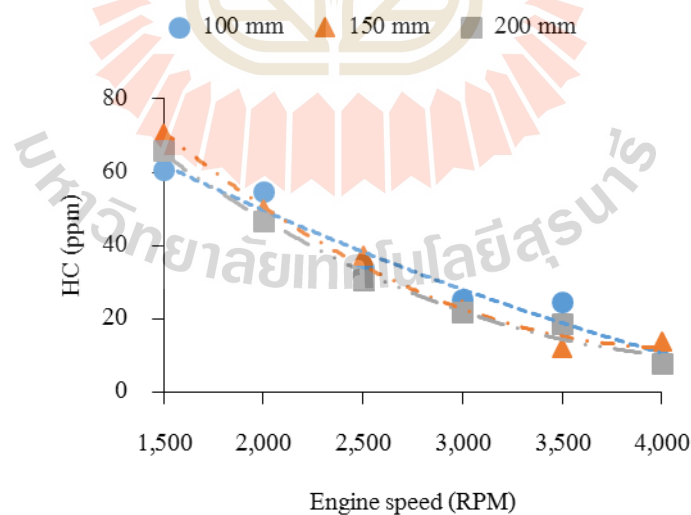
รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.49 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าลดลงในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500-2,500 RPM และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่า 2,500 RPM การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP มีผลทำให้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงขึ้น เนื่องจาก โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เมื่อความหนาของแผ่น ECP เพิ่มขึ้น



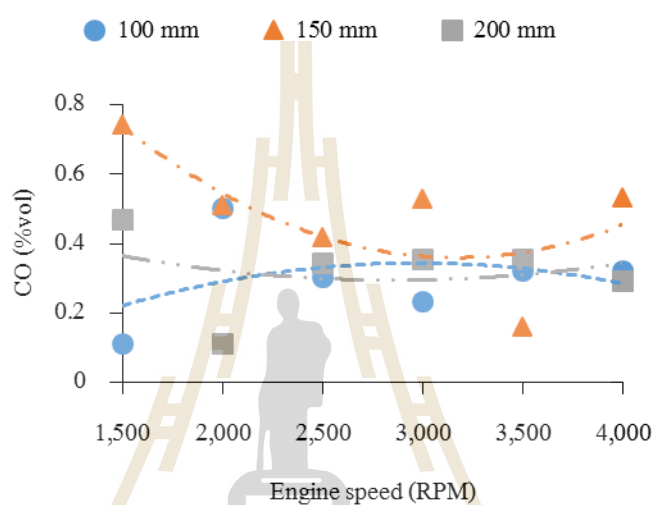
รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.50 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลง

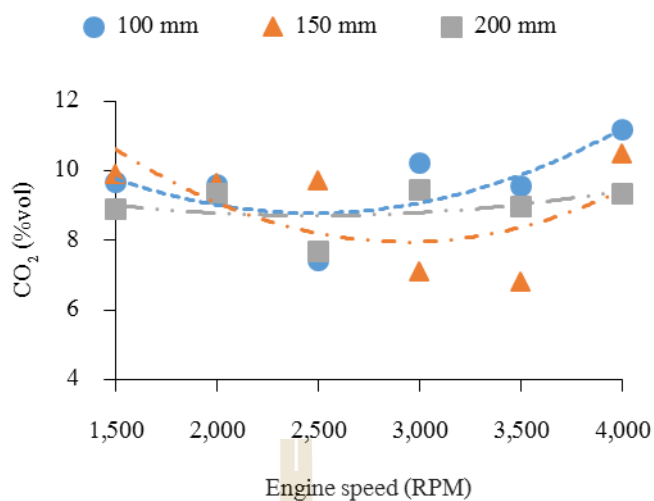


รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.51 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลง เนื่องจากไอเสียเกิดการไหลปั่นป่วนสูงที่ความเร็วรอบสูง ทำให้อากาศและฝอยน้ำมันเชื้อเพลิงผสมคลุกเคล้ากันได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลให้ได้ไอเสียคุณภาพสูง ที่สามารถเผาไหม้ได้ดี เกิดปริมาณ HC จากการเผาไหม้ต่ำ การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP มีผลทำให้ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลงน้อยมาก หรือไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

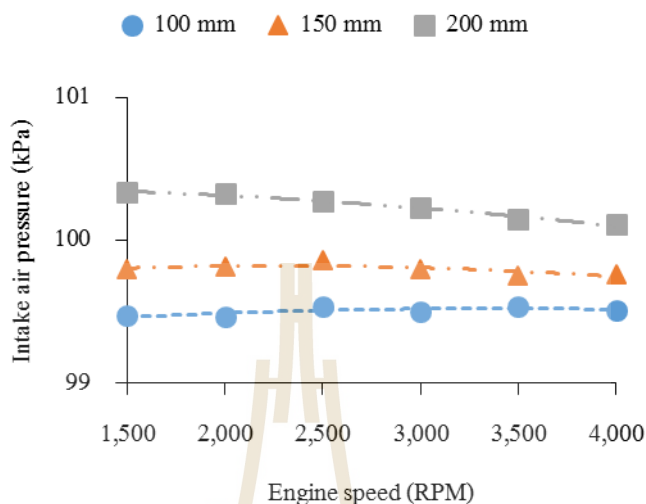


รูปที่ 4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO<sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของ การทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

รูปที่ 4.52-4.53 แสดงให้เห็นว่าการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลด อุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของ เครื่องยนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงแบบไม่ชัดเจน หากพิจารณาการเพิ่มความหนาของแผ่น ECP ไม่สามารถสรุปได้ว่ามีผลทำให้ปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของเครื่องยนต์มีค่า เปลี่ยนแปลงหรือไม่

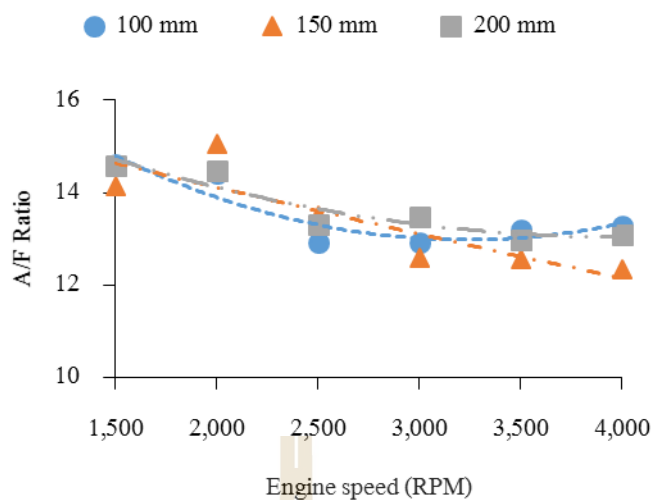


#### 4.2.6 ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบแบบใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ



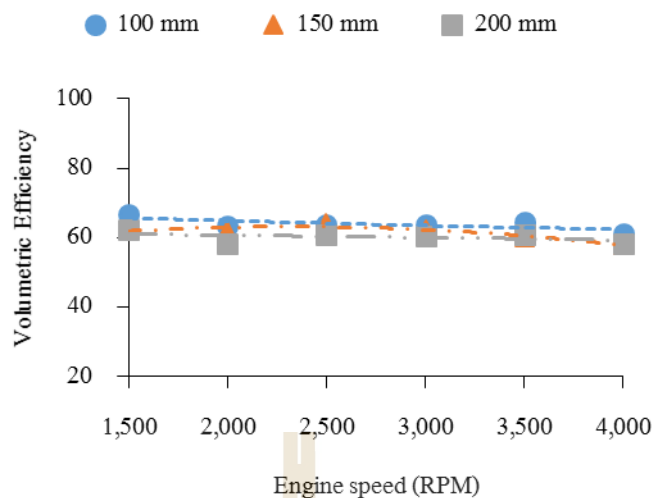
รูปที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ที่เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์จะใช้วิธีการคำนวณเดียวกันกับรูปที่ 4.1 จากรูปที่ 4.54 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และการเพิ่มความหนาของแผ่น ECP มีผลทำให้ค่าความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจาก มีการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของอากาศ จากการลดลงของอุณหภูมิอากาศ ถึงแม้ว่าจะเกิดความดันทานการไหลของอากาศ จากการติดตั้งแผ่น ECP ที่มีความหนามากขึ้นก็ตาม



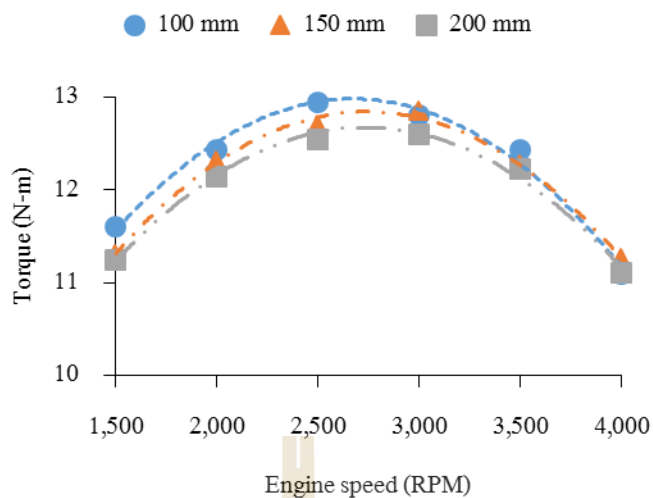
รูปที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.55 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจะมีค่าลดลง เนื่องจาก ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูง ๆ อากาศจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ไม่เพียงพอตามความต้องการของเครื่องยนต์ ทำให้อัตราการไหลของอากาศน้อยกว่าที่ควรจะเป็น และการเพิ่มความหนาของแผ่น ECP ไม่มีผลทำให้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลง



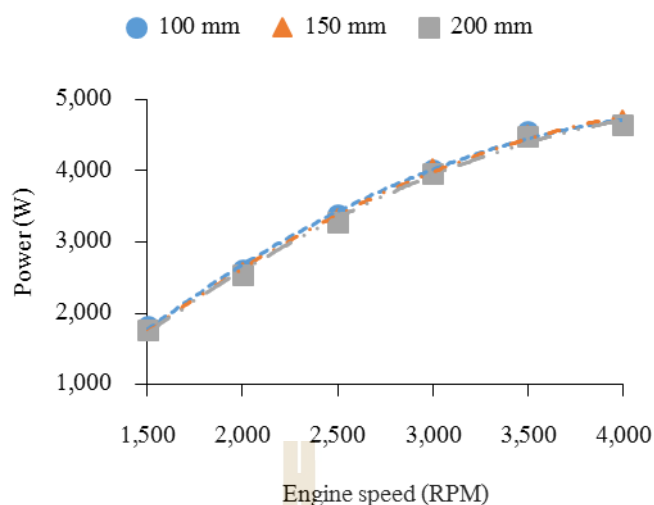
รูปที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.56 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และการเพิ่มความหนาของแผ่น ECP จะทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรลดลง เนื่องจากความหนาแน่นของอากาศมีค่าสูงขึ้น จากการเพิ่มความหนาของแผ่น ECP ในขณะที่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่าใกล้เคียงกันทุกค่าความหนาของแผ่น ECP เป็นไปตามสมการที่ 2.9



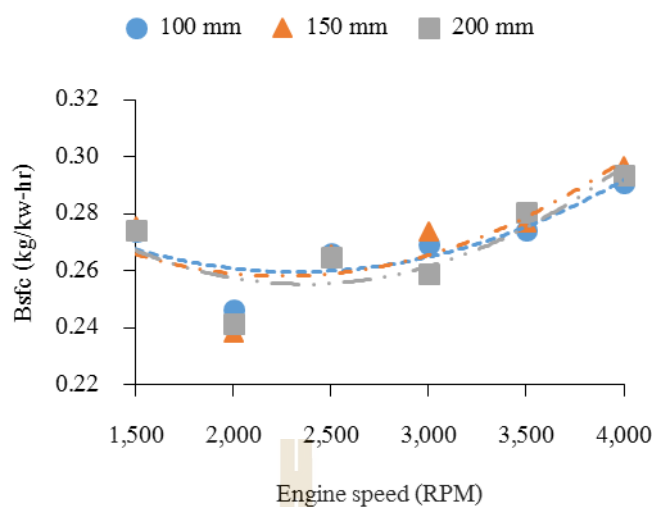
รูปที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.57 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นด้วย และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM ในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำ ๆ การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP ทำให้โมเมนต์บิดที่ได้จากเครื่องยนต์มีค่าลดลง เนื่องจาก การติดตั้งแผ่น ECP ที่มีความหนา มาก ๆ ทำให้เกิดความต้านทานการไหลของอากาศมาก อากาศไหลเข้าสู่เครื่องยนต์ไม่สะดวก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Malli et al. (2011) และหากนำค่าโมเมนต์บิดที่วัดได้ไปคำนวณหาค่ากำลังของเครื่องยนต์ดังสมการที่ 2.11 ได้ผลดังรูปที่ 4.58



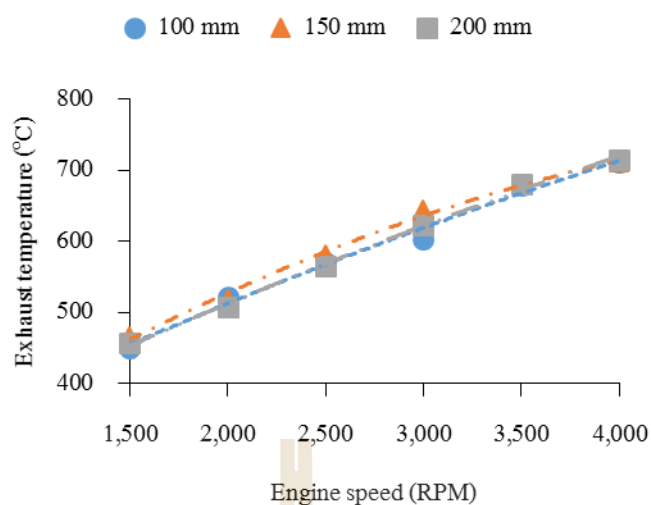
รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.58 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจาก โมเมนต์บิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าโมเมนต์บิดจะลดลงในความเร็วรอบสูง ๆ ก็ตาม เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูง ๆ การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบส่งผลต่อกำลังของเครื่องยนต์มากกว่าการลดลงของโมเมนต์บิดตามรูปแบบของสมการที่ 2.11



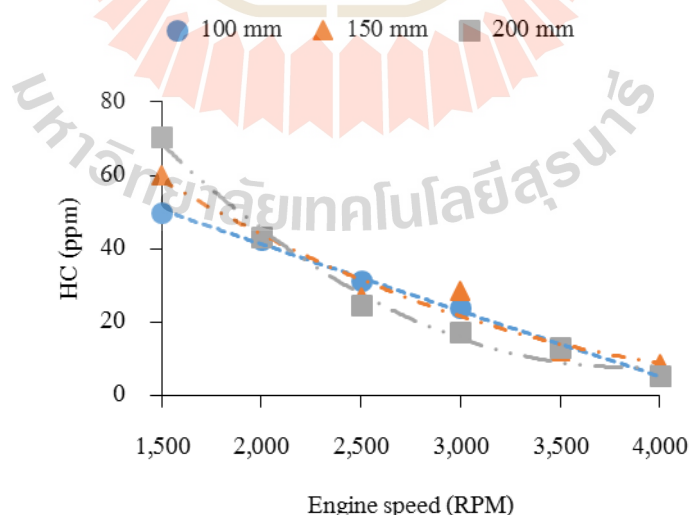
รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.59 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีค่าลดลงในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500-2,500 RPM และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่า 2,500 RPM การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP ไม่มีผลทำให้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการทดสอบที่มีโมเมนต์บิดสูง ๆ ก็จะมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงเช่นกัน จึงทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นไปตามสมการที่ 2.12



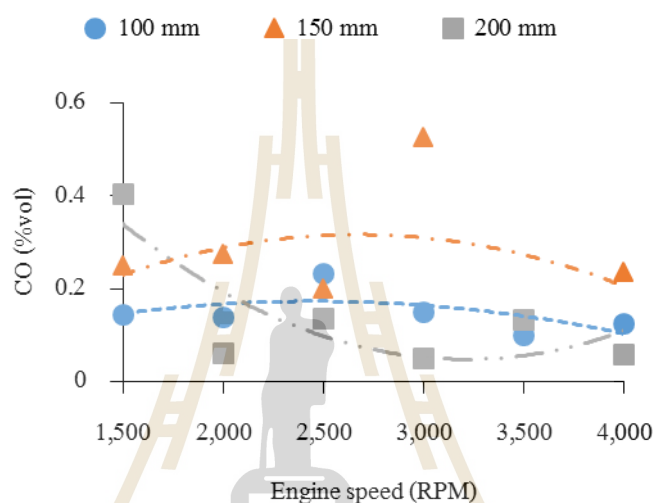
รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.60 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP มีผลทำให้อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หรือไม่เปลี่ยนแปลง



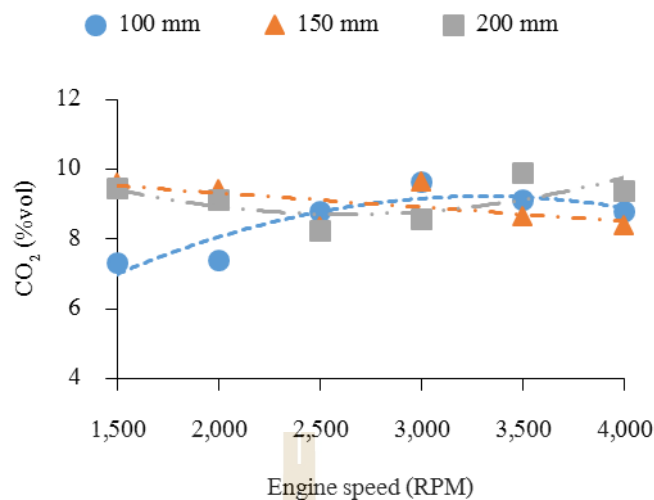
รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.61 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลง เนื่องจากไอดีเกิดการไหลปั่นป่วนสูงที่ความเร็วรอบสูง ทำให้อากาศและฝอยน้ำมันเชื้อเพลิงผสมคลุกเคล้ากันได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลให้ได้ไอสีคุณภาพสูง ที่สามารถเผาไหม้ได้ดี เกิดปริมาณ HC จากการเผาไหม้ต่ำ การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP มีผลทำให้ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หรือไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

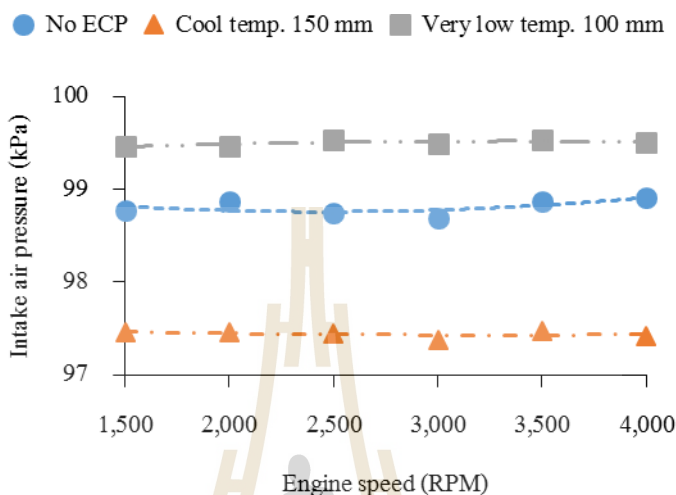




รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO<sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ

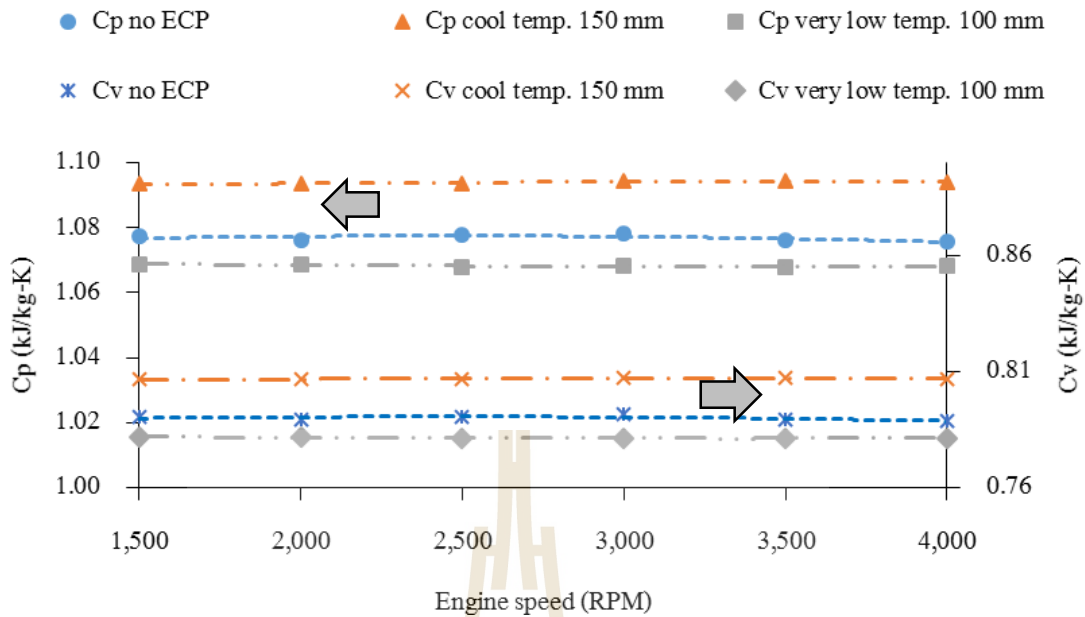
จากรูปที่ 4.62-4.63 พบว่าการทดสอบแบบใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของเครื่องยนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงแบบไม่ชัดเจน และการเพิ่มความหนาของแผ่น ECP ไม่สามารถสรุปได้ว่ามีผลต่อปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของเครื่องยนต์อย่างไร

#### 4.2.7 ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องและน้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP

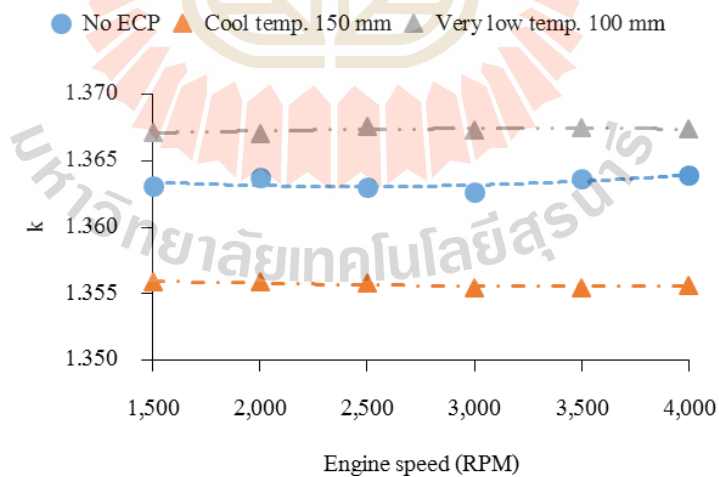


รูปที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์จะใช้วิธีการคำนวณเดียวกันกับรูปที่ 4.1 จากรูปที่ 4.64 พบว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm จะทำให้ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจาก การติดตั้งแผ่น ECP จะทำให้เกิดความต้านทานการไหลของอากาศ ทำให้เกิดการสูญเสียความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Malli et al. (2011) และ Rosli et al. (2013) และหากใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm จะทำให้ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น แม้จะติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศก็ตาม เนื่องจาก ความหนาแน่นของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นและมีอิทธิพลต่อความดันอากาศมากกว่าความต้านทานการไหลของแผ่น ECP

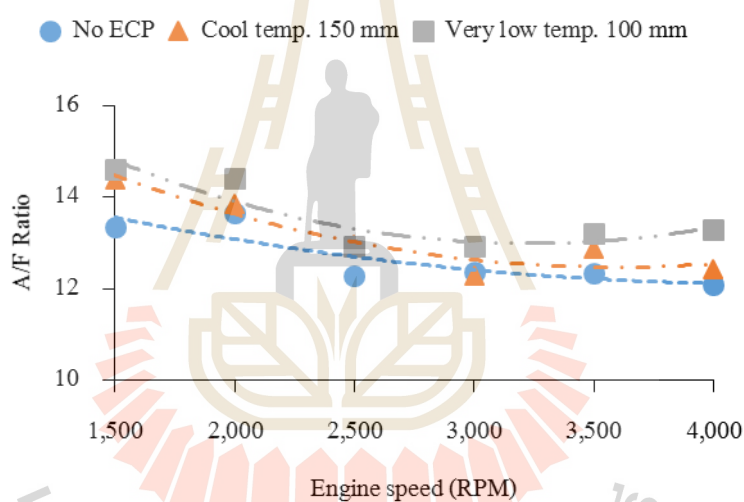


รูปที่ 4.65 ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะของอากาศเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)



รูปที่ 4.66 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

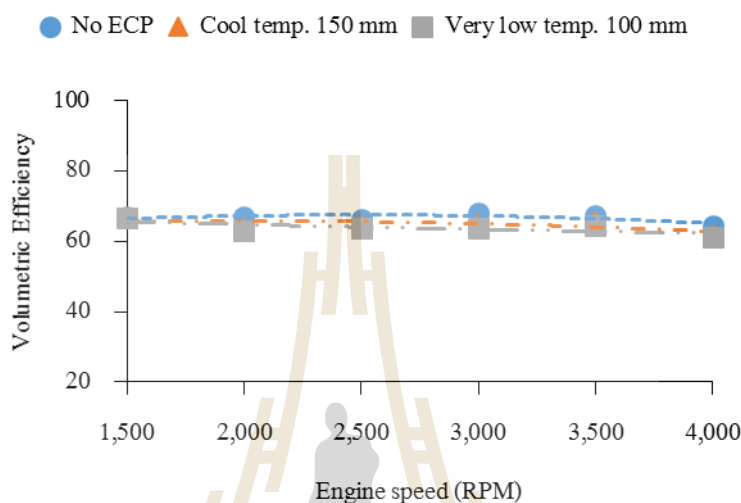
รูปที่ 4.65-4.66 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศและอัตราส่วนความร้อนจำเพาะจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของความชื้น ทำให้ค่า จำเพาะของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลถึงค่าอัตราส่วนความร้อนจำเพาะที่ลดลง ดังสมการที่ 2.15-2.17 การทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm จะมีค่าอัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศมากที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าความชื้นน้อยที่สุด และการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ จะทำให้ความดันภายในกระบอกสูบภายหลังจังหวะอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Pulkrabek, 2004) ดังสมการที่ 2.11



รูปที่ 4.67 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

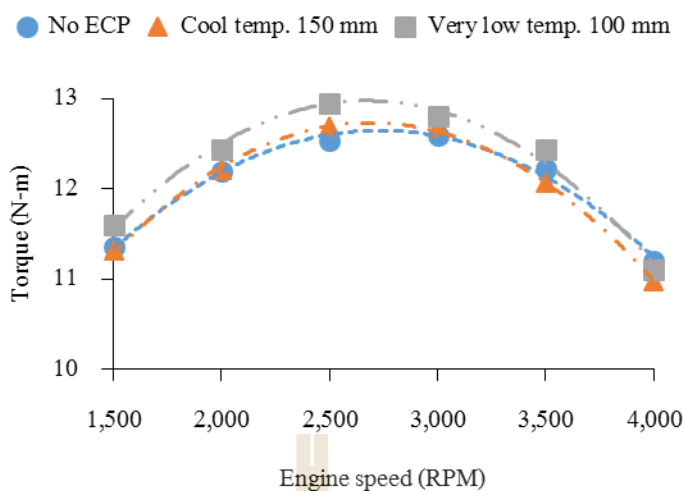
จากรูปที่ 4.67 พบว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจะมีค่าลดลง เนื่องจาก ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูง ๆ อากาศจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ไม่เพียงพอตามความต้องการของเครื่องยนต์ ทำให้อัตราการไหลของอากาศน้อยกว่าที่ควรจะเป็น การติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น เนื่องจาก อัตราการไหลเชิงมวลของ

อากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของอากาศ ภายหลังจากลดอุณหภูมิ และการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm มีค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสูงที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบอื่น ๆ เนื่องจากมีอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมากที่สุด



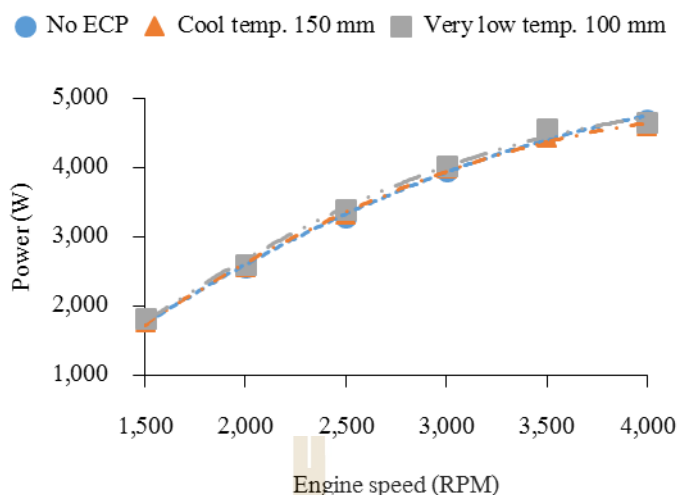
รูปที่ 4.68 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.68 พบว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย การติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ มีผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของอากาศมีอิทธิพลมากกว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรมีค่าลดลง ซึ่งจะสอดคล้องจากการคำนวณดังสมการที่ 2.9



รูปที่ 4.69 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมเมนต์บิดเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

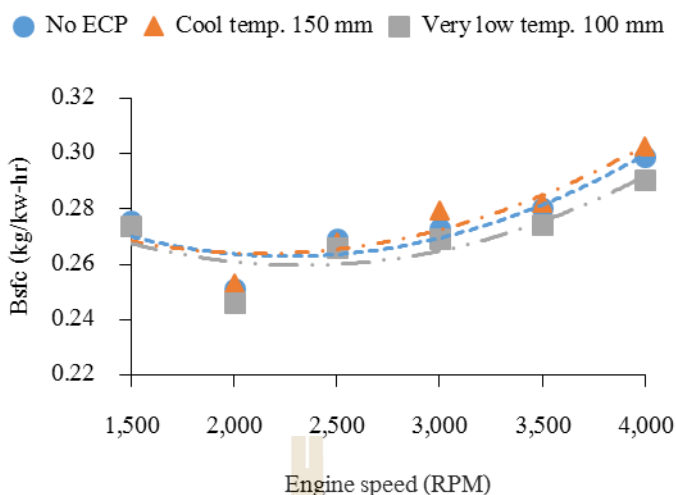
จากรูปที่ 4.69 พบว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นด้วย และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM การติดตั้งแผ่น ECP เพื่อใช้สำหรับการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ จะทำให้โมเมนต์บิดที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm และการใช้น้ำจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm ทำให้โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบไม่ติดตั้ง ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ เนื่องจาก อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ และความดันภายหลังกระบวนการอัดมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้มีอากาศเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ และความดันสูงสุดภายในกระบอกสูบในจังหวะให้งานมีค่าเพิ่มขึ้นตามทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Pulkrabek, 2004) และหากนำค่าโมเมนต์บิดที่วัดได้ไปคำนวณหา กำลังของเครื่องยนต์ดังสมการที่ 2.11 จะได้ผลดังรูปที่ 4.70



รูปที่ 4.70 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.70 พบว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจาก โมเมนต์บิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แม้ว่าโมเมนต์บิดจะลดลงในความเร็วรอบสูง ๆ ก็ตาม เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบสูง ๆ การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบส่งผลต่อกำลังของเครื่องยนต์มากกว่าการลดลงของโมเมนต์บิด ตามรูปแบบของสมการที่ 2.11

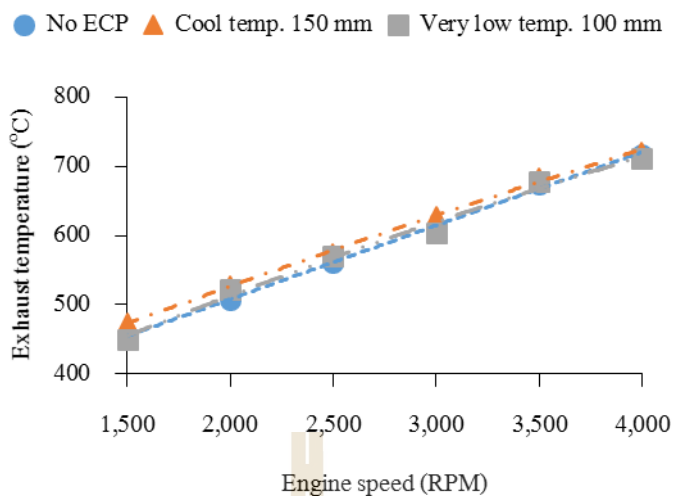
การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ ทำให้กำลังและโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศักรินทร์ ปาปะเก และคณะ (2560) และ Cesur et al. (2013) โดยกำลังและโมเมนต์บิดมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 1.24% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm และเพิ่มขึ้นสูงสุด 3.36% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบแบบไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ



รูปที่ 4.71 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm ,การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

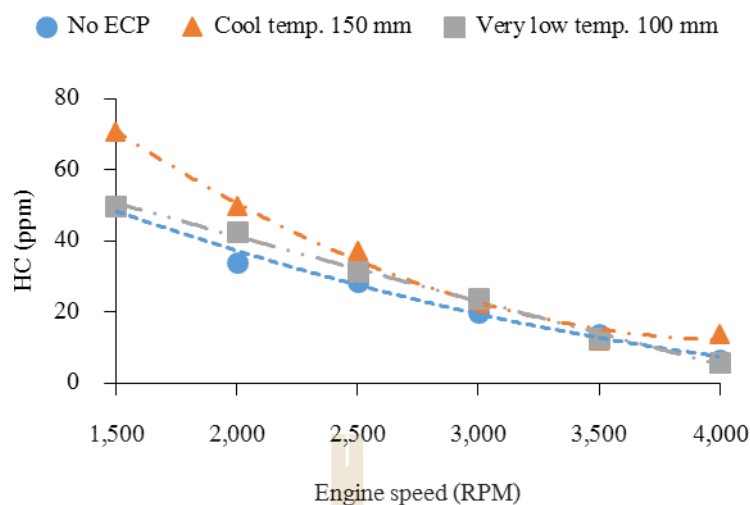
จากรูปที่ 4.71 พบว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าลดลงในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500-2,500 RPM และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่า 2,500 RPM การติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ สามารถลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศักรินทร์ ปาปะเก และคณะ (2560), Sahin et al. (2012) และ Cesur et al. (2013) โดยความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงสูงสุด 0.72% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm และลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะได้สูงสุด 2.67% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 4,000 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เนื่องจาก โมเมนต์บิดและกำลังมีค่ามากกว่า ในขณะที่อัตราการใช้เชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ





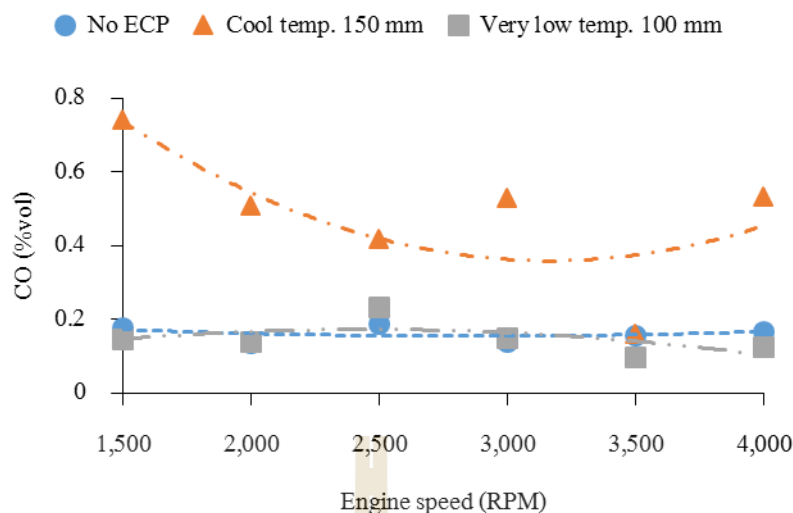
รูปที่ 4.72 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.72 พบว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย การติดตั้งแผ่น ECP เพื่อใช้สำหรับการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ ทำให้อุณหภูมิไอเสียที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับอุณหภูมิไอเสียจากการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP

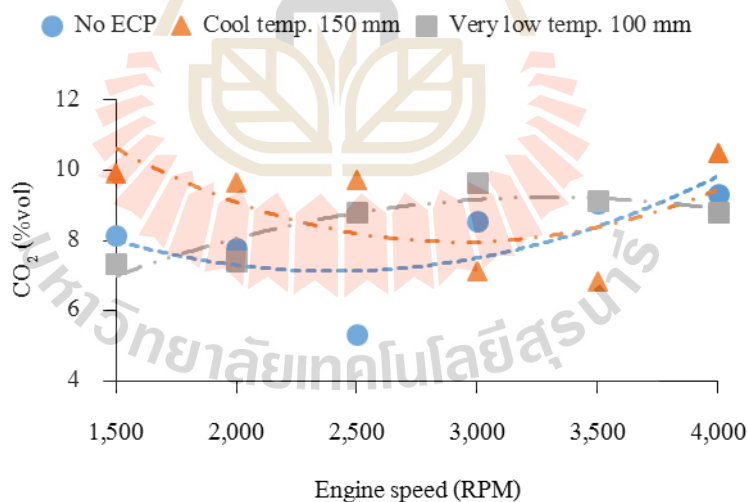


รูปที่ 4.73 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ HC เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.73 พบว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลง เนื่องจากไอดีเกิดการไหลปั่นป่วนสูงที่ความเร็วรอบสูง ทำให้อากาศและฟอยน้ำมันเชื้อเพลิงผสมคลุกเคล้ากันได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลให้ได้ไอดีคุณภาพสูง ที่สามารถเผาไหม้ได้ดี เกิดปริมาณ HC จากการเผาไหม้ต่ำ การติดตั้งแผ่น ECP เพื่อใช้สำหรับการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ จะทำให้ปริมาณ HC ในไอเสียที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณ HC ในไอเสียจากการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP

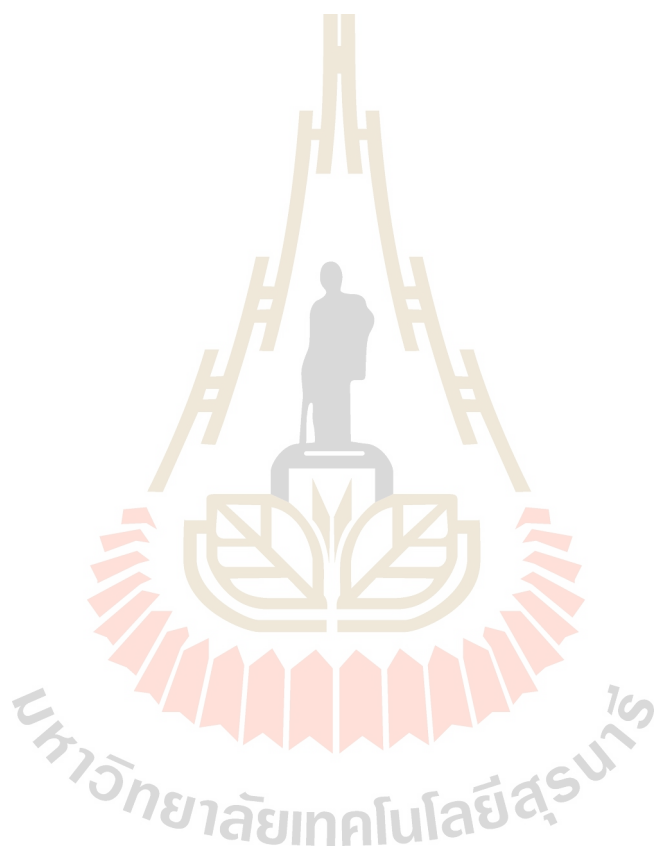


รูปที่ 4.74 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO เทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm, การทดสอบแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)



รูปที่ 4.75 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CO<sub>2</sub> ในไอเสียเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ของการทดสอบแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ และแบบที่ไม่ติดตั้งแผ่น ECP (No ECP)

จากรูปที่ 4.74-4.75 พบว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ CO และ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของเครื่องยนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงแบบไม่ชัดเจน การติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณ CO<sub>2</sub> ในไอเสียของเครื่องยนต์ เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP



## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนแบบอเนกประสงค์ขนาดเล็ก โดยใช้อากาศที่ถูกลดอุณหภูมิก่อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ลง 2 ระดับ ด้วยการใช้น้ำอุณหภูมิห้องและน้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บไพลผ่านแผ่น ECP เปรียบเทียบผลกับการใช้อากาศอุณหภูมิอุ่นจากเครื่องทำความร้อนที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ ทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP 3 ระดับ จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า

##### 5.1.1 การทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 150 และ 200 mm

ผลจากการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ที่ความหนาของแผ่น ECP ต่าง ๆ พบว่า เมื่อใช้น้ำอุณหภูมิห้อง 25°C และน้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บ 2°C ป้อนเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ จะทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง มีผลทำให้ความหนาแน่นของอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลถึงอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์มากขึ้นด้วยการใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น จากการที่น้ำบางส่วนได้รับความร้อนและระเหยกลายเป็นไอน้ำ ส่วนการใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) จะทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลง จากการที่ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวไปกับน้ำที่ใช้ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ และการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น จะส่งผลถึงค่าความร้อนจำเพาะของอากาศที่เพิ่มขึ้น และอัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศที่ลดลง

การใช้อากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm จะทำให้โมเมนต์บิดและกำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 1.83% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) และเพิ่มขึ้นสูงสุด 4.48% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 3,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) และที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm กำลังและโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 1.15% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) และเพิ่มขึ้นสูงสุด 2.83% ที่ความเร็วรอบของ

เครื่องยนต์เท่ากับ 4,000 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) และที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 200 mm กำลังและโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 0.94% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 3,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) และเพิ่มขึ้นสูงสุด 4.26% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 3,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) เมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศอุ่น (Warm temp.) ที่ความหนาของแผ่น ECP เดียวกัน

### 5.1.2 การทดสอบแบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศอุ่น (Warm temp.)

การติดตั้งแผ่น ECP แบบไม่ใช้น้ำเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าลดลง จากความต้านทานการไหลของอากาศ แต่อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเปลี่ยนแปลงน้อยมากหรือไม่เปลี่ยนแปลง กำลังและโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์จากการติดตั้งแผ่น ECP มีค่าลดลง ส่งผลถึงค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเทียบกับทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP

### 5.1.3 การทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.)

การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ สามารถทำให้อุณหภูมิอากาศลดต่ำลง ยิ่งเพิ่มความหนาจะทำได้ ทำให้อุณหภูมิลดต่ำมากตามไปด้วย แต่ทำให้เกิดความต้านทานการไหลของอากาศสูงขึ้นไปด้วย ส่งผลถึงความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์และอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ลดลง

การใช้อากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิ ทำให้กำลังและโมเมนต์บิดเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP ส่งผลทำให้กำลังและโมเมนต์บิดมีค่าลดลง ส่วนความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าต่ำสุดที่ความหนา 100 mm การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP ทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเพิ่มขึ้นด้วย

### 5.1.4 การทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.)

การเพิ่มความหนาของแผ่น ECP สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ สามารถทำให้อุณหภูมิอากาศลดต่ำลง ยิ่งเพิ่ม

ความหนาแน่น ทำให้อุณหภูมิลดต่ำมากตามไปด้วย การลดอุณหภูมิทำให้ความหนาแน่นของอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความดันก่อนเข้าเครื่องยนต์และอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่เพิ่มขึ้น

การใช้อากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ที่ผ่านการลดอุณหภูมิแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้กำลังและโมเมนต์บิดเพิ่มขึ้นสูงสุด ที่ความหนาแน่นของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm การเพิ่มความหนาแน่นของแผ่น ECP ทำให้กำลังและโมเมนต์บิดมีค่าลดลง

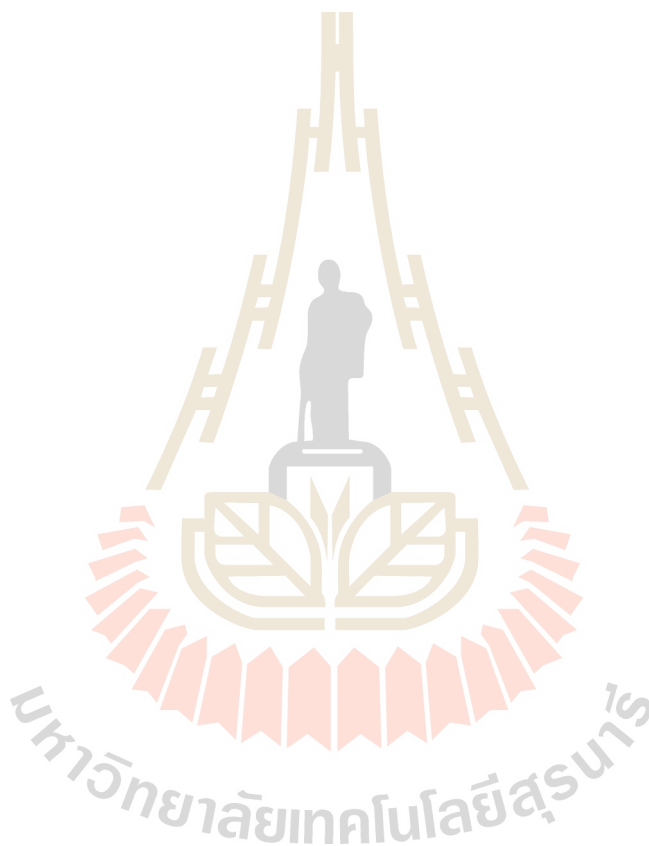
#### 5.1.5 เปรียบเทียบผลสมรรถนะจากการลดอุณหภูมิอากาศโดยใช้น้ำอุณหภูมิห้องและน้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บเข้าสู่ระบบลดอุณหภูมิอากาศ เทียบกับการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP

การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ มีผลทำให้กำลังและโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 1.24% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาแน่นของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm และเพิ่มขึ้นสูงสุด 3.36% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาแน่นของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm สามารถลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะได้สูงสุด 0.72% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำอุณหภูมิห้องหรือแบบอากาศเย็น (Cool temp.) ที่ความหนาแน่นของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm และลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะได้สูงสุด 2.67% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 4,000 RPM สำหรับการทดสอบแบบใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในถังเก็บหรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาแน่นของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบไม่ติดตั้งแผ่น ECP ในระบบลดอุณหภูมิอากาศ

จากการทดสอบการติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำเพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ พบว่า การใช้น้ำเย็นจากการละลายของน้ำแข็งในการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์หรือแบบอากาศเย็นจัด (Very low temp.) ที่ความหนาแน่นของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm จะทำให้ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์มีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับการทดสอบแบบอื่น ๆ โดยผลของการลดอุณหภูมิอากาศจะมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์มากกว่าปริมาณความชื้นในอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์อเนกประสงค์ พบว่า การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีนี้ สามารถเพิ่มสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ได้จริง ระบบลดอุณหภูมิอากาศด้วยวิธีนี้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการลดอุณหภูมิอากาศ ดังนั้นควรมีการออกแบบระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ให้มีขนาดกะทัดรัด เหมาะสมกับกับการใช้งานจริง และควรมีการทดสอบระบบลดอุณหภูมิดังกล่าวในภาคสนาม เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป





## รายการอ้างอิง

ชัชฎพงษ์ ประจักษ์เมธีเลิศ, พิณนรี แสงงนวล, อรอนงค์ พรรณนา และกระวี ตรีอำรรค.

(2558). การทดสอบภาคสนามอุปกรณ์ลดอุณหภูมิอากาศป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ด้วยการระเหยน้ำ. **โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

พูลคาเบ็ก, วิลลาร์ด ดับบิวส์. (2546). **เครื่องยนต์สันดาปภายใน.** แปลโดย เจษฎา ตันฑะเศรษฐี.

กรุงเทพมหานคร: เอช. เอ็น. กรู๊ป.

บ.สยามวิน. (2559). **evaporative cooling pad** [ออนไลน์]. ได้จาก:

<http://www.siamwin.com/product/1615182>

บ.มาสเตอร์คูล. (2559). **พัดลมไอเย็น** [ออนไลน์]. ได้จาก:

<http://masterkool.com/พัดลมไอเย็น>

ประชาชาติธุรกิจ. (2560). **ยอดขายคูโบต้า** [ออนไลน์]. ได้จาก:

[https://www.prachachat.net/news\\_detail.php?newsid=1448254409](https://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1448254409)

พูลพร แสงบางปลา. (2537). **ไอเสียจากเครื่องยนต์และการควบคุม.** กรุงเทพมหานคร:

สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย, กิตติพงษ์ บุญเงิน และรวีวรรณ สิริวัชรชัยกุล. (2557).

การลดอุณหภูมิอากาศด้วยระบบระเหยน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์แก๊สโซลีน. **โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.**

ศักรินทร์ ปาปะเก, วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย, กิตติพงษ์ บุญเงิน, รวีวรรณ สิริวัชรชัยกุล, กระวี

ตรีอำรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำรรค. (2560). การวิเคราะห์เชิงตัวเลขค่าสมรรถนะทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน. **การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2.** ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). **การส่งออกข้าวในปี 2558** [ออนไลน์]. ได้จาก:

[http://www.oae.go.th/download/download\\_journal/2559/yearbook58.pdf](http://www.oae.go.th/download/download_journal/2559/yearbook58.pdf)

อุตสาห์ จิรากร และเชื้อ ชูขำ. (2539). **เครื่องยนต์สันดาปภายใน.** กรุงเทพมหานคร: เอช.เอ็น. กรู๊ป.

- Ashrae (1992). **Psychrometric Chart** [On-line]. Available:  
<http://dolap.magnetband.co/ashrae-psychrometric-chart/>
- Cengel, Y. A. (2004). **Thermodynamics An Engineer Approach**.  
 New York: McGraw-Hill Science.
- Cesur, I., Parlak, A., Ayhan, V., Boru, B. and Gonca, G. (2013). The effects of electronic controlled steam injection on spark ignition engine. **Journal of Applied Thermal Engineering** 55: 61-68.
- Chintala, V. and Subramanian K. A. (2016). Experimental investigation of hydrogen energy share improvement in a compression ignition engine using water injection and compression ratio reduction. **Journal of Energy Conversion and Management** 108: 106-119.
- Hajidavalloo, E. (2007). Application of evaporative cooling on the condenser of window-air-conditioner. **Journal of Applied Thermal Engineering** 27: 1937-1943.
- Hourani, M. E., Ghali, K. and Ghaddar, N. (2014). Effective desiccant dehumidification system with two-stage evaporative cooling for hot and humid climates. **Journal of Energy and Buildings** 68: 329-338.
- Karagoz, Y., Sandalci, T., Yuksek, L. and Dalkilic, A. S. (2015). Engine performance and emission effects of diesel burns enriched by hydrogen on different engine loads. **Journal of International Journal of Hydrogen Energy** 40: 6702-6713.
- Kassaby, M. M. EL., Eldrainy, Y. A., Khidr, M. E. and Khidr, K. I. (2016). Effects of hydroxyl (HHO) gas addition on gasoline engine performance and emissions. **Journal of Alexandria Engineering Journal** 55: 243-251.
- Malli, A., Seyf, H., Layeghi, M., Sharifian, S. and Behravesh, H. (2011). Investigating the performance of cellulosic evaporative cooling pads. **Journal of Energy Conversion and Management** 52: 2598-2603.
- Martínez, P., Ruiz, J., Cutillas, C. G., Martínez, P. J., Kaiser, A. S. and Lucas M. (2016). Experimental study on energy performance of a split air-conditioner by using variable thickness evaporative cooling pads coupled to the condenser. **Journal of Applied Thermal Engineering** 105: 1041-1050.
- Nature Cool. (2016). **evaporative cooling pad** [On-line]. Available: <http://www.nature-cool.com>

- Pan, W., Yao, C., Han, G., Wei, H. and Wang, Q. (2015). The impact of intake air temperature on performance and exhaust emissions of a diesel methanol dual fuel engine. **Journal of Fuel** 162: 101–110.
- Pss packaging company. (2016). **evaporative cooling pad** [On-line]. Available: <http://www.ppspackaging.com/cooler-rolls>
- Pulkrabek, W. W. (2004). **Engineering fundamentals of the internal combustion engine 2nd edition**. New jersey, USA: Pearson Education.
- Rosli, N. A., Shahrudin, N., Mohd, A., Mamat, I., Kasolang, S., Zulkifli, A. and Mamat, R. (2013). Effects of Air Intake Pressure to the Fuel Economy and Exhaust Emissions on a Small SI Engine. **Journal of Procedia Engineering** 68: 278-284.
- Sahin, Z., Tuti, M. and Durgun, O. (2014). Experimental Investigation of the effects of water adding to the intake air on the engine performance and exhaust emission in a DI automotive diesel engine. **Journal of Fuel** 115: 884-895.
- Sajovaara, T., Larmi, M. and Vuorinen, V. (2015). Effect of charge air temperature on E85 dual-fuel diesel combustion. **Journal of Fuel** 153: 6-12.
- Singh, R. P. (2001). **Postharvest technology**. Enfield, USA: Science Publishers.
- Sugar Tech. (2018). **Psychrometric Calculations** [On-line]. Available: <http://www.sugartech.co.za/psychro/index.php>
- Tag technology agreement group. (2559). **evaporative cooling** [On-line]. Available: <http://tag.co.th/evaporative-cooling>
- Tecquipment. (2014). **User guide small engine test TD200**. Nottingham, United Kingdom: Tecquipment.
- Tecquipment. (2014). **User guide Four-stroke petrol engines TD201 and TD211**. Nottingham, United Kingdom: Tecquipment.



ภาคผนวก ก

ตารางผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตารางผนวกที่ ก 1 คุณสมบัติของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm

System	Engine	Intake air		Humidity	RH	Specific	Density
	speed	temperature (°C)		ratio		volume	
	(RPM)	Dry	Wet	(kg/kg <sub>dryair</sub> )	(%)	(m <sup>3</sup> /kg)	(kg/m <sup>3</sup> )
Warm temp.	1,500	53.58	31.72	0.02094	22.62	0.959	1.04275
	2,000	53.68	31.82	0.02110	22.70	0.960	1.04219
	2,500	53.35	31.78	0.02103	22.64	0.960	1.04230
	3,000	51.85	31.18	0.02065	23.76	0.954	1.04892
	3,500	53.58	31.28	0.02012	23.48	0.958	1.04415
	4,000	53.25	31.22	0.02013	22.05	0.957	1.04519
Cool temp.	1,500	32.40	27.97	0.02219	71.63	0.896	1.11663
	2,000	32.13	27.87	0.02211	72.48	0.895	1.11775
	2,500	32.13	27.90	0.02219	72.67	0.895	1.11763
	3,000	31.97	28.23	0.02290	75.60	0.895	1.11702
	3,500	31.80	28.17	0.02284	76.15	0.895	1.11773
	4,000	31.90	28.23	0.02292	75.99	0.895	1.11723
Very low temp.	1,500	23.33	18.83	0.01179	65.59	0.855	1.16961
	2,000	22.83	18.73	0.01187	68.03	0.854	1.17148
	2,500	22.70	18.27	0.01134	65.53	0.853	1.17295
	3,000	22.60	18.47	0.01162	67.62	0.853	1.17285
	3,500	22.37	18.20	0.01139	67.19	0.852	1.17419
	4,000	22.60	18.40	0.01155	67.13	0.853	1.17300

ตารางผนวกที่ ก 2 ความร้อนจำเพาะของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ  
100 mm

System	Engine speed (RPM)	Cp (kJ/kg-K)	Cv (kJ/kg-K)	k
Warm temp.	1,500	1.086	0.799	1.359
	2,000	1.086	0.799	1.359
	2,500	1.086	0.799	1.359
	3,000	1.085	0.798	1.359
	3,500	1.084	0.797	1.360
	4,000	1.084	0.797	1.360
Cool temp.	1,500	1.088	0.801	1.358
	2,000	1.088	0.801	1.358
	2,500	1.088	0.801	1.358
	3,000	1.090	0.803	1.358
	3,500	1.090	0.803	1.358
	4,000	1.090	0.803	1.358
Very low temp.	1,500	1.069	0.782	1.367
	2,000	1.069	0.782	1.367
	2,500	1.068	0.781	1.368
	3,000	1.068	0.781	1.367
	3,500	1.068	0.781	1.368
	4,000	1.068	0.781	1.367

ตารางผนวกที่ ก 3 อัตราไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น  
ECP เท่ากับ 100 mm

System	Engine speed (RPM)	delta P (Pa)	Air mass flow rate (kg/s)	Fuel (ml)	time (s)	Fuel mass flow rate (kg/s)
Warm temp.	1,500	68	0.00191	8	42.40	0.000140
	2,000	109	0.00243	16	63.24	0.000187
	2,500	186	0.00318	16	47.92	0.000247
	3,000	258	0.00375	24	58.79	0.000302
	3,500	352	0.00437	24	51.34	0.000351
	4,000	414	0.00475	24	45.89	0.000387
Cool temp.	1,500	71	0.00203	8	42.93	0.000138
	2,000	112	0.00255	16	66.02	0.000179
	2,500	182	0.00326	16	48.18	0.000246
	3,000	250	0.00381	24	61.45	0.000289
	3,500	348	0.00450	24	51.00	0.000348
	4,000	407	0.00486	24	46.51	0.000382
Very low temp.	1,500	68	0.00203	8	42.64	0.000139
	2,000	108	0.00257	16	66.49	0.000178
	2,500	172	0.00324	16	47.22	0.000251
	3,000	249	0.00390	24	58.96	0.000301
	3,500	345	0.00459	24	51.12	0.000347
	4,000	408	0.00499	24	47.31	0.000376

ตารางผนวกที่ ก 4 สมรรถนะของเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ

100 mm							
System	Engine speed (RPM)	A/F	intake air pressure (kPa)	Volume efficiency (%)	Torque (N-m)	Power (W)	Bsfc (kg/kW-hr)
Warm temp.	1,500	13.71	97.74	70.61	11.2	1,763	0.2852
	2,000	12.99	97.72	67.32	12.1	2,532	0.2664
	2,500	12.85	97.63	70.33	12.6	3,291	0.2705
	3,000	12.42	97.79	68.77	12.4	3,895	0.2793
	3,500	12.47	97.87	69.06	11.9	4,363	0.2895
	4,000	12.26	97.87	65.48	10.8	4,530	0.3077
Cool temp.	1,500	14.69	97.87	69.78	11.4	1,796	0.2767
	2,000	14.24	97.88	65.89	12.3	2,572	0.2510
	2,500	13.25	97.87	67.23	12.6	3,299	0.2682
	3,000	13.20	97.77	65.66	12.5	3,925	0.2652
	3,500	12.91	97.77	66.31	12.1	4,429	0.2832
	4,000	12.73	97.76	62.77	10.8	4,526	0.3039
Very low temp.	1,500	14.61	99.47	66.71	11.6	1,824	0.2741
	2,000	14.41	99.46	63.25	12.4	2,606	0.2462
	2,500	12.92	99.54	63.69	13.0	3,393	0.2661
	3,000	12.94	99.50	63.90	12.8	4,026	0.2693
	3,500	13.21	99.54	64.41	12.4	4,559	0.2743
	4,000	13.29	99.51	61.35	11.1	4,651	0.2907



ตารางผนวกที่ ก 5 คุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ  
100 mm

System	Engine speed (RPM)	Exhaust Temp. (°C)	HC (ppm)	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%vol)
Warm temp.	1,500	459	70	0.23	10.39
	2,000	529	52	0.26	9.11
	2,500	585	33	0.28	8.66
	3,000	622	23	0.11	10.56
	3,500	684	22	0.28	9.82
	4,000	718	7	0.22	11.24
Cool temp.	1,500	458	61	0.11	9.70
	2,000	517	55	0.50	9.63
	2,500	575	34	0.30	7.43
	3,000	617	25	0.23	10.24
	3,500	677	25	0.32	9.57
	4,000	714	9	0.32	11.20
Very low temp.	1,500	451	50	0.15	7.33
	2,000	522	43	0.14	7.41
	2,500	571	31	0.23	8.80
	3,000	604	24	0.15	9.64
	3,500	678	13	0.10	9.12
	4,000	712	6	0.13	8.80

ตารางผนวกที่ ก 6 คุณสมบัติของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 150 mm

System	Engine	Intake air		Humidity	RH	Specific	Density
	speed	temperature (°C)		ratio	(%)	volume	(kg/m <sup>3</sup> )
	(RPM)	Dry	Wet	(kg/kg <sub>dryair</sub> )		(m <sup>3</sup> /kg)	
Warm temp.	1,500	52.43	32.17	0.02221	25.15	0.954	1.04793
	2,000	51.60	32.67	0.02376	28.09	0.954	1.04811
	2,500	51.17	32.13	0.02268	27.33	0.951	1.05128
	3,000	51.57	32.20	0.02266	26.93	0.952	1.05003
	3,500	51.93	31.67	0.02133	24.77	0.952	1.05099
	4,000	52.30	32.07	0.02206	25.12	0.954	1.04864
Cool temp.	1,500	29.97	28.83	0.02492	91.97	0.892	1.12088
	2,000	29.83	28.80	0.02493	92.63	0.892	1.12134
	2,500	29.63	28.80	0.02501	94.00	0.891	1.12196
	3,000	29.80	29.07	0.02544	94.72	0.892	1.12056
	3,500	30.17	29.10	0.02549	94.71	0.893	1.12035
	4,000	30.53	29.10	0.02518	90.06	0.894	1.11830
Very low temp.	1,500	18.83	15.57	0.00972	71.52	0.839	1.19153
	2,000	18.23	15.23	0.00959	73.28	0.837	1.19423
	2,500	17.83	14.83	0.00932	73.10	0.836	1.19637
	3,000	17.87	15.23	0.00974	76.12	0.837	1.19547
	3,500	17.93	15.50	0.01002	77.95	0.837	1.19466
	4,000	17.93	15.40	0.00991	77.13	0.837	1.19485

ตารางผนวกที่ ก 7 ความร้อนจำเพาะของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ  
150 mm

System	Engine speed (RPM)	C <sub>p</sub> (kJ/kg-K)	C <sub>v</sub> (kJ/kg-K)	k
Warm temp.	1,500	1.088	0.801	1.358
	2,000	1.091	0.804	1.357
	2,500	1.089	0.802	1.358
	3,000	1.089	0.802	1.358
	3,500	1.087	0.800	1.359
	4,000	1.088	0.801	1.358
	Cool temp.	1,500	1.093	0.806
2,000		1.093	0.806	1.356
2,500		1.094	0.807	1.356
3,000		1.094	0.807	1.355
3,500		1.095	0.808	1.355
4,000		1.094	0.807	1.356
Very low temp.		1,500	1.065	0.778
	2,000	1.065	0.778	1.369
	2,500	1.064	0.777	1.369
	3,000	1.065	0.778	1.369
	3,500	1.065	0.778	1.369
	4,000	1.065	0.778	1.369

ตารางผนวกที่ ก 8 อัตราไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น  
ECP เท่ากับ 150 mm

System	Engine speed (RPM)	delta P (Pa)	Air mass flow rate (kg/s)	Fuel (ml)	time (s)	Fuel mass flow rate (kg/s)
Warm temp.	1,500	64	0.00187	8	43.49	0.000136
	2,000	107	0.00241	16	64.21	0.000185
	2,500	177	0.00311	16	46.81	0.000253
	3,000	245	0.00366	24	59.23	0.000300
	3,500	349	0.00437	24	50.74	0.000350
	4,000	403	0.00469	24	46.01	0.000386
Cool temp.	1,500	65	0.00194	8	43.83	0.000135
	2,000	106	0.00249	16	65.91	0.000180
	2,500	176	0.00320	16	47.92	0.000247
	3,000	248	0.00380	19	44.63	0.000309
	3,500	341	0.00446	24	51.22	0.000347
	4,000	396	0.00480	24	45.97	0.000386
Very low temp.	1,500	60	0.00193	8	43.52	0.000136
	2,000	106	0.00257	16	69.35	0.000171
	2,500	177	0.00332	16	48.26	0.000245
	3,000	241	0.00387	24	57.80	0.000307
	3,500	306	0.00435	24	51.28	0.000346
	4,000	372	0.00480	24	45.62	0.000389

ตารางผนวกที่ ก 9 สมรรถนะของเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ

150 mm

System	Engine speed (RPM)	A/F	intake air pressure (kPa)	Volume efficiency (%)	Torque (N-m)	Power (W)	Bsfc (kg/kW-hr)
Warm temp.	1,500	13.71	97.88	68.48	11.2	1,766	0.2777
	2,000	13.10	97.64	66.44	12.2	2,553	0.2603
	2,500	12.30	97.81	68.29	12.5	3,285	0.2772
	3,000	12.20	97.81	66.98	12.6	3,958	0.2728
	3,500	12.48	98.01	68.49	12.2	4,465	0.2822
	4,000	12.15	97.90	64.50	11.0	4,591	0.3028
Cool temp.	1,500	14.39	97.46	66.69	11.3	1,777	0.2737
	2,000	13.85	97.46	63.97	12.2	2,559	0.2531
	2,500	12.95	97.45	65.82	12.7	3,323	0.2677
	3,000	12.29	97.38	65.24	12.7	3,984	0.2795
	3,500	12.86	97.48	65.59	12.1	4,424	0.2821
	4,000	12.42	97.42	61.88	11.0	4,600	0.3024
Very low temp.	1,500	14.15	99.80	62.16	11.3	1,777	0.2756
	2,000	15.06	99.82	62.10	12.3	2,581	0.2382
	2,500	13.52	99.86	63.98	12.7	3,326	0.2656
	3,000	12.60	99.80	62.27	12.9	4,039	0.2740
	3,500	12.57	99.75	60.04	12.3	4,498	0.2772
	4,000	12.34	99.77	57.99	11.3	4,721	0.2969

ตารางผนวกที่ ก 10 คุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ  
150 mm

System	Engine speed (RPM)	Exhaust Temp. (°C)	HC (ppm)	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%vol)
Warm temp.	1,500	469	57	0.19	7.97
	2,000	525	41	0.25	7.83
	2,500	582	32	0.43	8.47
	3,000	628	21	0.40	10.15
	3,500	684	17	0.22	10.61
	4,000	724	9	0.29	10.70
Cool temp.	1,500	473	71	0.74	9.92
	2,000	528	50	0.51	9.67
	2,500	575	37	0.42	9.71
	3,000	628	23	0.53	7.11
	3,500	684	12	0.16	6.81
	4,000	721	14	0.53	10.50
Very low temp.	1,500	467	60	0.25	9.63
	2,000	520	43	0.28	9.42
	2,500	582	27	0.20	8.36
	3,000	645	29	0.53	9.64
	3,500	681	12	0.13	8.66
	4,000	711	9	0.24	8.40

ตารางผนวกที่ ก 11 คุณสมบัติของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ

200 mm							
System	Engine speed (RPM)	Intake air temperature (°C)		Humidity ratio (kg/kg <sub>dryair</sub> )	RH (%)	Specific volume (m <sup>3</sup> /kg)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
		Dry	Wet				
Warm temp.	1,500	53.03	35.00	0.02877	31.39	0.966	1.03546
	2,000	52.43	33.07	0.02442	27.49	0.958	1.04439
	2,500	51.87	32.57	0.02351	27.19	0.955	1.04768
	3,000	51.83	33.17	0.02488	28.73	0.956	1.04558
	3,500	52.70	33.30	0.02484	27.45	0.959	1.04286
	4,000	53.33	33.23	0.02439	26.15	0.960	1.04157
Cool temp.	1,500	31.90	29.90	0.02653	88.00	0.899	1.11195
	2,000	31.00	29.80	0.02655	91.56	0.898	1.11435
	2,500	30.60	29.80	0.02674	94.27	0.897	1.11552
	3,000	30.23	29.63	0.02656	95.63	0.895	1.11714
	3,500	30.03	29.57	0.02650	96.56	0.895	1.11804
	4,000	29.97	29.50	0.02639	96.56	0.894	1.11846
Very low temp.	1,500	15.37	10.97	0.00635	58.73	0.825	1.21239
	2,000	14.10	10.47	0.00639	64.24	0.821	1.21760
	2,500	12.93	10.30	0.00672	72.72	0.818	1.22195
	3,000	12.17	10.27	0.00700	79.45	0.817	1.22470
	3,500	11.30	10.43	0.00752	90.08	0.815	1.22741
	4,000	11.13	10.60	0.00775	93.78	0.815	1.22767

ตารางผนวกที่ ก 12 ความร้อนจำเพาะของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ  
200 mm

System	Engine speed (RPM)	C <sub>p</sub> (kJ/kg-K)	C <sub>v</sub> (kJ/kg-K)	k
Warm temp.	1,500	1.101	0.814	1.353
	2,000	1.092	0.805	1.356
	2,500	1.091	0.804	1.357
	3,000	1.093	0.806	1.356
	3,500	1.093	0.806	1.356
	4,000	1.092	0.805	1.356
Cool temp.	1,500	1.096	0.809	1.355
	2,000	1.097	0.810	1.355
	2,500	1.097	0.810	1.354
	3,000	1.097	0.810	1.355
	3,500	1.096	0.809	1.355
	4,000	1.096	0.809	1.355
Very low temp.	1,500	1.058	0.771	1.372
	2,000	1.059	0.772	1.372
	2,500	1.059	0.772	1.372
	3,000	1.060	0.773	1.371
	3,500	1.061	0.774	1.371
	4,000	1.061	0.774	1.371



ตารางผนวกที่ ก 13 อัตราไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น  
ECP เท่ากับ 200 mm

System	Engine speed (RPM)	delta P (Pa)	Air mass flow rate (kg/s)	Fuel (ml)	time (s)	Fuel mass flow rate (kg/s)
Warm temp.	1,500	58	0.00176	8	43.95	0.000135
	2,000	103	0.00236	16	63.95	0.000185
	2,500	166	0.00300	16	49.20	0.000241
	3,000	237	0.00359	24	60.66	0.000293
	3,500	344	0.00432	24	50.75	0.000350
	4,000	402	0.00467	24	46.06	0.000386
Cool temp.	1,500	60	0.00186	8	44.01	0.000135
	2,000	112	0.00254	16	63.30	0.000188
	2,500	156	0.00301	16	49.34	0.000240
	3,000	245	0.00377	24	59.04	0.000301
	3,500	329	0.00437	24	50.91	0.000349
	4,000	398	0.00481	24	46.80	0.000380
Very low temp.	1,500	61	0.00196	8	43.99	0.000135
	2,000	95	0.00246	16	69.69	0.000170
	2,500	163	0.00322	16	49.00	0.000242
	3,000	232	0.00384	24	62.30	0.000285
	3,500	323	0.00454	24	50.81	0.000350
	4,000	386	0.00497	24	46.82	0.000379

ตารางผนวกที่ ก 14 สมรรถนะของเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ

200 mm							
System	Engine speed (RPM)	A/F	intake air pressure (kPa)	Volume efficiency (%)	Torque (N-m)	Power (W)	Bsfc (kg/kW-hr)
Warm temp.	1,500	13.05	96.89	65.35	11.1	1,745	0.2781
	2,000	12.77	97.55	65.29	11.8	2,474	0.2698
	2,500	12.49	97.68	66.19	12.3	3,232	0.2684
	3,000	12.26	97.47	66.02	12.3	3,860	0.2734
	3,500	12.34	97.48	68.26	11.7	4,302	0.2931
	4,000	12.10	97.55	64.63	10.8	4,533	0.3065
Cool temp.	1,500	13.81	97.30	64.25	11.1	1,742	0.2782
	2,000	13.59	97.22	65.85	11.8	2,477	0.2726
	2,500	12.52	97.19	62.17	12.3	3,211	0.2695
	3,000	12.55	97.22	64.98	12.3	3,857	0.2811
	3,500	12.53	97.23	64.46	11.8	4,343	0.2894
	4,000	12.68	97.25	62.06	10.7	4,500	0.3037
Very low temp.	1,500	14.58	100.34	62.30	11.3	1,769	0.2742
	2,000	14.48	100.33	58.20	12.1	2,545	0.2416
	2,500	13.32	100.28	60.78	12.6	3,288	0.2649
	3,000	13.49	100.23	60.38	12.6	3,963	0.2592
	3,500	12.98	100.15	60.96	12.2	4,486	0.2808
	4,000	13.09	100.11	58.36	11.1	4,656	0.2935

ตารางผนวกที่ ก 15 คุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ  
200 mm

System	Engine speed (RPM)	Exhaust Temp. (°C)	HC (ppm)	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%vol)
Warm temp.	1,500	464	80	0.82	9.52
	2,000	514	47	0.24	8.79
	2,500	566	38	0.43	9.97
	3,000	619	25	0.46	9.34
	3,500	681	19	0.33	9.72
	4,000	719	10	0.29	10.17
Cool temp.	1,500	467	66	0.47	8.90
	2,000	515	47	0.11	9.37
	2,500	573	31	0.35	7.69
	3,000	621	22	0.36	9.47
	3,500	669	19	0.36	8.97
	4,000	719	8	0.29	9.37
Very low temp.	1,500	457	71	0.41	9.46
	2,000	508	43	0.06	9.14
	2,500	566	25	0.14	8.26
	3,000	624	17	0.05	8.60
	3,500	681	13	0.13	9.90
	4,000	716	5	0.06	9.41

ตารางผนวกที่ ก 16 คุณสมบัติของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 0 mm  
หรือไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP

System	Engine speed (RPM)	Intake air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )		Humidity ratio ( $\text{kg}/\text{kg}_{\text{dryair}}$ )	RH (%)	Specific volume ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )	Density ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
		Dry	Wet				
No ECP	1,500	56.13	30.13	0.01640	15.68	0.956	1.04559
	2,000	56.17	29.77	0.01569	14.96	0.955	1.04663
	2,500	55.77	30.10	0.01653	16.01	0.956	1.04656
	3,000	55.57	30.23	0.01688	16.51	0.955	1.04663
	3,500	54.07	29.37	0.01575	16.72	0.949	1.05326
	4,000	54.63	29.30	0.01543	15.84	0.951	1.05195

ตารางผนวกที่ ก 17 ความร้อนจำเพาะของอากาศของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ  
0 mm หรือไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP

System	Engine speed (RPM)	$C_p$ ( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ )	$C_v$ ( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$ )	k
No ECP	1,500	1.077	0.790	1.363
	2,000	1.076	0.789	1.364
	2,500	1.078	0.791	1.363
	3,000	1.078	0.791	1.363
	3,500	1.076	0.789	1.364
	4,000	1.076	0.789	1.364

ตารางผนวกที่ ก 18 อัตราไหลเชิงมวลของอากาศและเชื้อเพลิงของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 0 mm หรือไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP

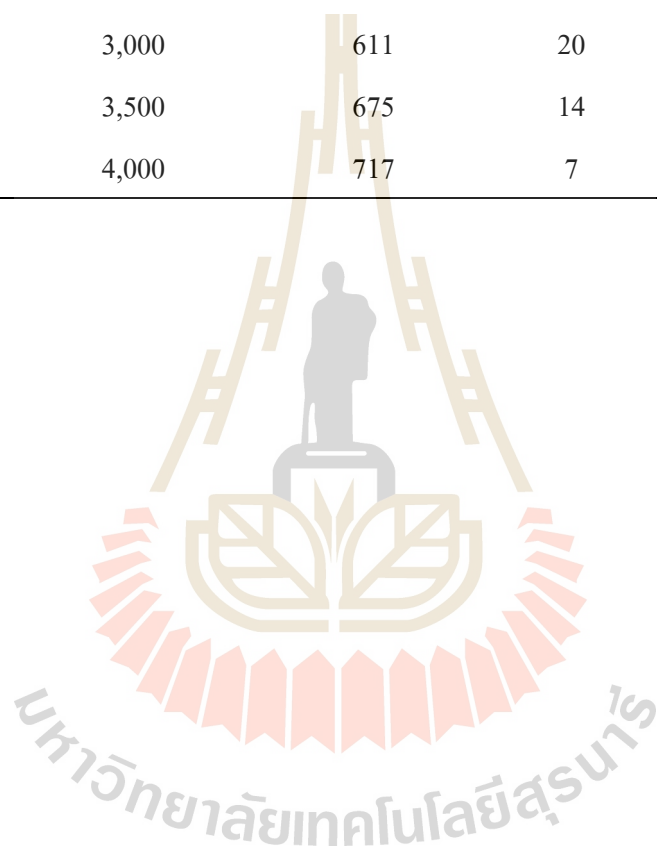
System	Engine speed (RPM)	delta P (Pa)	Air mass flow rate (kg/s)	Fuel (ml)	time (s)	Fuel mass flow rate (kg/s)
No ECP	1,500	61	0.00182	8	43.37	0.000137
	2,000	109	0.00243	16	66.57	0.000178
	2,500	167	0.00301	16	48.30	0.000245
	3,000	253	0.00371	24	59.19	0.000300
	3,500	338	0.00431	24	50.88	0.000349
	4,000	405	0.00471	24	45.65	0.000389

ตารางผนวกที่ ก 19 สมรรถนะของเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 0 mm หรือไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP

System	Engine speed (RPM)	A/F	intake air pressure (kPa)	Volume efficiency (%)	Torque (N-m)	Power (W)	Bsfc (kg/kW-hr)
No ECP	1,500	13.34	98.77	66.97	11.4	1,784	0.2757
	2,000	13.65	98.88	67.00	12.2	2,556	0.2511
	2,500	12.28	98.75	66.39	12.5	3,283	0.2691
	3,000	12.36	98.70	68.12	12.6	3,957	0.2732
	3,500	12.33	98.87	67.38	12.2	4,486	0.2803
	4,000	12.10	98.92	64.52	11.2	4,693	0.2987

ตารางผนวกที่ ก 20 คุณภาพไอเสียของเครื่องยนต์ของการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 0 mm หรือไม่ได้ติดตั้งแผ่น ECP

System	Engine speed (RPM)	Exhaust Temp. (°C)	HC (ppm)	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%vol)
No ECP	1,500	456	50	0.18	8.13
	2,000	507	34	0.14	7.79
	2,500	561	29	0.19	5.34
	3,000	611	20	0.14	8.54
	3,500	675	14	0.16	9.05
	4,000	717	7	0.17	9.31





ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณจะยกตัวอย่างผลการทดสอบที่ความหนาของแผ่น ECP เท่ากับ 100 mm ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500 RPM ผลต่างความดันของแผ่น Orifice 68 Pa และโมเมนต์บิดเท่ากับ 11.2 N-m อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ 53.58°C และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ 31.72°C จากนั้นนำค่าอุณหภูมิไปหาค่าคุณสมบัติของอากาศอื่น ๆ จากกราฟไซโครเมตริก จะได้ อัตราส่วนความชื้น 0.02094 kg/kg<sub>air</sub>, ความชื้นสัมพัทธ์ 22.62%, ปริมาตรจำเพาะ 0.959 m<sup>3</sup>/kg

## 1 การคำนวณคุณสมบัติอากาศ

### 1.1 การคำนวณความหนาแน่นของอากาศ

กำหนดให้  $v = 0.959 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0.959} = 1.04275 \text{ kg/m}^3$$

### 1.2 การคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

กำหนดให้  $C_d = 0.6$ ,  $d = 18.51 \text{ mm}$ ,  $\pi = 22/7$ ,  $\Delta P = 68 \text{ Pa}$

$$\dot{m}_a = C_d \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho\Delta P}$$

$$\dot{m}_a = (0.6) \frac{(22/7)(0.01851)^2}{4} \sqrt{2(1.04275)(68)}$$

$$\dot{m}_a = 0.00191 \text{ kg/s}$$



### 1.3 การคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง

กำหนดให้  $\rho = 740 \text{ kg/m}^3$ ,  $V = 8 \text{ ml}$ ,  $t = 42.40 \text{ s}$

$$\dot{m}_f = \frac{\rho V}{t} = \frac{(740)(8/10^6)}{42.40} = 0.00014 \text{ kg/s}$$

### 1.4 การคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

$$A/F = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{0.00192}{0.00014} = 13.71$$

### 1.5 การคำนวณความดันของอากาศ

กำหนดให้  $\rho = 1.04275 \text{ kg/m}^3$ ,  $R = 0.287 \text{ kJ/kg-K}$ ,  $T = 53.58 \text{ }^\circ\text{C}$

$$P = \rho RT = (1.04275)(0.287)(53.58+273) = 97.74 \text{ kPa}$$

### 1.6 การคำนวณความร้อนจำเพาะของอากาศ

กำหนดให้  $H = 0.02094 \text{ kg/kg}_{\text{air}}$ ,  $R = 0.287 \text{ kJ/kg-K}$

$$C_p = 0.25 + 0.45H = 0.25 + 0.45(0.02094) = 0.259 \text{ kcal/kg-K}$$

$$C_p = 4.186(0.259) = 1.084 \text{ kJ/kg-K}$$

$$R = C_p - C_v$$

$$C_v = C_p - R = 1.084 - 0.287 = 0.797 \text{ kJ/kg-K}$$

### 1.7 การคำนวณอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ

$$k = \frac{C_p}{C_v} = \frac{1.084}{0.797} = 1.36$$

## 2 การคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์

### 2.1 การคำนวณประสิทธิภาพปริมาตรของเครื่องยนต์

กำหนดให้  $N = 1,500$  RPM,  $n = 2$ ,  $V_d = 208$  cc

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a V_d N} = \frac{(2)(0.00192)}{(1.04275)(208/10^6)(1,500/60)} = 0.7081 = 70.81 \%$$

### 2.2 การคำนวณกำลังของเครื่องยนต์

กำหนดให้  $\pi = 22/7$ ,  $N = 1500$  RPM,  $T = 11.2$  N-m

$$P_b = \dot{w}_b = \frac{2\pi NT}{60} = \frac{(2)(22/7)(1500)(11.2)}{60}$$

$$P_b = 1,760 \text{ W}$$

### 2.3 การคำนวณความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์

$$\text{BSFC} = \frac{\dot{m}_f}{\dot{w}_b} = \frac{0.00014}{1,760} = 7.954 \times 10^{-8} \text{ kg/W-s}$$

$$\text{BSFC} = (7.954 \times 10^{-8})(1,000)(3,600) = 0.286 \text{ kg/kW-hr}$$

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างศึกษา

ศักรินทร์ ปาปะเก, วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย, กิตติพงษ์ บุญเงิน, รวีวรรณ สิริวัชระชัยกุล, กระจวี ตรีอำนรรค และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2560).

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขค่าสมรรถนะทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน. การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2. ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์. ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม-1 มิถุนายน 2560.



การวิเคราะห์เชิงตัวเลขค่าสมรรถนะทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน  
 Numerical Analysis of Thermodynamics Performance of Gasoline Engines

ศักรินทร์ ปาปะเก<sup>1</sup>, วันเฉลิม เหมือเกาะพวย<sup>1</sup>, กิตติพงษ์ บุญเงิน<sup>1</sup>, รวีวรรณ สิริวัชรชัยกุล<sup>1</sup>, กระวี  
 ตรีอำนาจ<sup>1</sup>, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ<sup>2</sup>

Sakkarin Papakae, Wanchalume Nuekawai, Kittiphong Boongern,  
 Raweewan Siriwatcharachaikun, KraweeTreamnuk, TawaratTreamnuk

<sup>1</sup> มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

1Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima

\*อีเมล: sakkarinpapakae@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ 1 สูบ ขนาด 163 cc ยี่ห้อ HONDA รุ่น GX160 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์เดิมกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ (Evaporation) กำหนดให้สภาวะอากาศในจังหวะดูด (Intake) ของเครื่องยนต์เดิมมีอุณหภูมิ 50°C ความชื้นสัมพัทธ์ 57 % และสภาวะอากาศในจังหวะดูดของเครื่องยนต์ที่ลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำมีอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100 % การวิเคราะห์เชิงตัวเลขพบว่า การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ จะทำให้ความหนาแน่นและความชื้นในอากาศสูงขึ้น และค่าความร้อนจำเพาะของอากาศลดลง เมื่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ต่ำลง จะส่งผลให้กำลังเบรคและทอร์คเพิ่มขึ้น 3.846 % และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ลดลง 0.712 % เมื่อเทียบกับสมรรถนะของเครื่องยนต์เดิม

คำสำคัญ: เครื่องยนต์แก๊สโซลีน, สมรรถนะเครื่องยนต์

### Abstract

This research aim was to analyze the thermodynamics performance of “ HONDA GX160” , a 163 cc single cylinder 4 strokes gasoline engine by numerical analysis. A comparison of engine performance between the original engine and the modified engine that was reduced the inlet air temperature by water evaporation were discussed. The condition of air intake to the original engine is 50°C in temperature and 57% in relative humidity and for the modified engine, the conditions of air intake is 40°C in temperature and 100% relative humidity were selected. The analysis found that reducing the temperature of the air before take in the engine with the water evaporation influences on the increasing of density and humidity of intake air and decreasing its heat capacity. The reduction of air intake temperature provides a 3.786% of increasing in torque and power of engine and reduced a 0.712 % of the specific fuel consumption when compared to the original engine performance.

Keywords: gasoline engines, engine performance

### บทนำ

ทั่วโลกมีการใช้งานเครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดเล็กหรือเครื่องยนต์อเนกประสงค์เป็นจำนวนมาก ในประเทศไทยเองก็เช่นกัน จากรายงานยอดการผลิตของบริษัท บริษัท ไทยฮอนด้า แมนูแฟคเจอร์ จำกัด พบว่าในปี พ.ศ.2558 มียอดการผลิตเครื่องยนต์อเนกประสงค์สูงถึง 2.4 ล้านหน่วย และตั้งแต่เริ่มสายการผลิตในปี พ.ศ. 2530 ถึงปัจจุบัน บริษัทมียอดการผลิตเครื่องยนต์อเนกประสงค์สะสมถึง 25.5 ล้านหน่วย เพื่อส่งจำหน่ายทั้งในประเทศและนอกประเทศ (ผู้จัดการ, 2559) ในประเทศไทยนิยมใช้เครื่องยนต์อเนกประสงค์สำหรับงานสูบน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลเกษตรต่างๆ เช่น เครื่องตัดหญ้า พ่นปุ๋ยและสารเคมี เครื่องสับย่อยลดขนาดวัสดุ เครื่องมือเตรียมแปลงเพาะปลูก เป็นต้น เครื่องยนต์

เหล่านี้นิยมใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ น้ำมันเบนซินทุกชนิดและดีเซล ซึ่งได้จากกรกลั่นน้ำมันดิบ เชื้อเพลิงเหล่านี้ต้องนำเข้ามาเป็นส่วนใหญ่ โดยในปี พ.ศ. 2558 มีมูลค่าการนำเข้าน้ำมันดิบสูงถึง 593,960 ล้านบาท (กรมธุรกิจพลังงาน, 2558)

ถึงแม้ว่าเครื่องยนต์เหล่านี้จะเป็นที่นิยมสูงก็ตาม แต่เรายังพบปัญหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ที่ไม่สามารถทำให้มีค่าสูงและเป็นไปตามผลทางทฤษฎีได้ สาเหตุสำคัญประการหนึ่งคือการไม่สามารถประจุอากาศที่สภาวะแวดล้อมได้ เนื่องจากเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กจึงนิยมใช้ระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์ด้วยครีบอกอากาศและเครื่องยนต์บางแบบอาจใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ แต่เพราะต้องการออกแบบให้เครื่องยนต์มีความกะทัดรัด ระบบนำอากาศเข้าสู่เครื่องยนต์จึงถูกติดตั้งชิดกับตัวเครื่องยนต์มากที่สุด ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานและแผ่รังสีความร้อนออกรอบๆตัวเครื่อง โดยเฉพาะเครื่องยนต์ที่ติดตั้งแบบอยู่กับที่เช่น เครื่องสูบน้ำ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น การติดตั้งใช้งานดังกล่าว ยิ่งทำให้ระบบดูดอากาศรับเพียงอากาศร้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ตลอดการทำงานอากาศที่ประจุเข้าเครื่องยนต์จึงเป็นอากาศอุณหภูมิสูง ความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของวัฏจักรอากาศในเครื่องยนต์ต่ำลงที่สุดในที่สุด

เทคนิคการลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยน้ำแบบฝิวเปียกได้รับความนิยมสูง ในปัจจุบันเราพบอุปกรณ์ชนิดนี้ให้รูปเครื่องปรับอากาศแบบไอระเหยน้ำที่นิยมใช้ในครัวเรือน เนื่องจากเป็นระบบอย่างง่าย ไม่มีอุปกรณ์ที่ซับซ้อนและต้องการการดูแลรักษา สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กได้ และมีความสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากถึง 15°C (บริษัท มาสเตอร์คูล, 2559) วันเฉลิม และคณะ (2557) ได้ทดลองติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยน้ำแบบฝิวเปียกบนเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 1 สูบ พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพปริมาตรขึ้น 1.06% ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลงได้มากกว่า 30% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ตัวเดียวกันที่ไม่ได้ติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศ ในระยะเวลาเดินเครื่องยนต์ 4 ชั่วโมงที่รับภาระเท่ากัน และการทดสอบภาคสนามเบื้องต้นของ ชัชฌพงษ์ และคณะ (2559) ที่ได้ติดตั้งเครื่องยนต์ขนาดเดียวกันกับเครื่องสูบน้ำและใช้ระบบลดอุณหภูมิอากาศแบบระเหยน้ำ โดยใช้น้ำเย็นอุณหภูมิ 5°C พบว่า อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถลดอุณหภูมิอากาศลงได้เฉลี่ย 16 °C เพิ่มประสิทธิภาพปริมาตรได้สูงสุด 8 % ที่ความเร็วรอบ 3,500 rpm มีผลประหยัดเชื้อเพลิงได้ 0.24 ลิตร/ชม.

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะจำลองการปรับสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยการระเหยน้ำ และวิเคราะห์สมรรถนะเชิงตัวเลขทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์ เพื่อศึกษาแนวโน้มของค่าสมรรถนะเครื่องยนต์ขณะทำงานที่ความเร็วรอบแตกต่างกัน

#### วิธีการศึกษา

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขค่าสมรรถนะทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน จะใช้วัฏจักรออตโต (เลขฐาน 10 เลขฐาน 2546) สำหรับการวิเคราะห์ ซึ่งแบ่งได้ทั้งหมด 6 กระบวนการ ดังรูปที่ 1 แต่สำหรับการประเมินค่าสมรรถนะเชิงตัวเลขนี้จะวิเคราะห์เพียงแค่กระบวนการที่ 1 ถึง 4 เท่านั้น

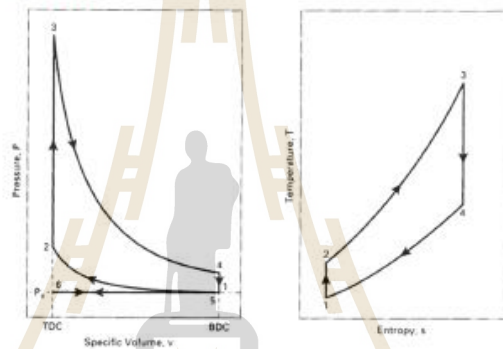


Figure 1 P-V and T-S diagrams of Ideal Otto Cycle (เลขฐาน 10 เลขฐาน 2546)

กระบวนการ 1-2 จังหวะอัดแบบไอเซนโทรปิก คำนวณหาความดันและอุณหภูมิจากสมการที่ 1 และ 2

$$P_2 = P_1 (r_c)^k \quad (1)$$

$$T_2 = T_1 (r_c)^{k-1} \quad (2)$$

กระบวนการ 2-3 ป้อนความร้อนเข้าระบบแบบปริมาตรคงที่ คำนวณหาความร้อนและความดันจากสมการที่ 3 และ 4

$$Q_{in} = Q_{2-3} = m_f Q_{HV} \quad \eta_c = m_m c_v (T_3 - T_2) \quad (3)$$

$$P_3 = P_2 (T_3/T_2) \quad (4)$$



กระบวนการ 3-4 จังหวะขยายตัวหรือจังหวะทำงานแบบไอเซนโทรปิก คำนวณหาความดันและอุณหภูมิจากสมการที่ 5 และ 6

$$P_4 = P_3 (1/r_c)^k \quad (5)$$

$$T_4 = T_3 (1/r_c)^{k-1} \quad (6)$$

ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์วัฏจักรออตโต (เจษฎา ตันชเศรษฐี, 2546)

งานของเครื่องยนต์คืองานที่เกิดจากการขยายตัวของก๊าซในห้องเผาไหม้ คำนวณตามสมการที่ 7 และ 8

$$\text{งานที่ใช้ไปในจังหวะอัดแบบไอเซนโทรปิก} \quad W_{1-2} = mR (T_2 - T_1)/(1-k) \quad (7)$$

$$\text{งานที่ได้ในจังหวะทำงานแบบไอเซนโทรปิก} \quad W_{3-4} = mR (T_4 - T_3)/(1-k) \quad (8)$$

คำนวณหากำลังเบรกของเครื่องยนต์จากสมการที่ 9

$$\dot{W}_b = \eta_m \dot{W}_n/n \quad (9)$$

คำนวณหาแรงบิดของเครื่องยนต์จากสมการที่ 10

$$T = \dot{W}_b / 2\pi N \quad (10)$$

และคำนวณหาความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพันธ์ จากสมการที่ 11

$$BSFC = \dot{m}_f / \dot{W}_b \quad (11)$$

โดย P คือ ความดันภายในกระบอกสูบ(kPa), T คือ อุณหภูมิภายในกระบอกสูบ(K, °C),  $r_c$  คือ อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์, k คือ อัตราส่วนความจุความร้อนของอากาศ,  $Q_m$  หรือ  $Q_H$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน(kJ),  $m_f$  คือ มวลเชื้อเพลิง(kg),  $Q_{HV}$  คือ ค่าพลังงานของเชื้อเพลิง(kJ/kg),  $\eta_c$  คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้,  $m_m$  หรือ  $m$  คือ มวลเชื้อเพลิงรวมกับอากาศ(kg),  $c_v$  คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ(kJ/kg-K), W คือ งาน(kJ), R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (0.287 kJ/kg-K),  $\dot{W}_b$  คือ กำลังเบรก(kW, hp),  $\eta_m$  คือ ประสิทธิภาพทางกล, N คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์(RPM), n คือ จำนวนรอบต่อหนึ่งวัฏจักร, T คือ แรงบิด, bsfc คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพันธ์(N-m),  $\dot{m}_f$  คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง(kg/s)

สภาวะอากาศที่เครื่องยนต์ใช้ในการสันดาป ถูกจำลองสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เป็น 2 แบบ คือ 1.แบบที่ใช้อากาศปกติ (Normal intake air temperature) 2.แบบที่มีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ (Low intake air temperature) ซึ่งจะทำให้ค่า Humidity มีค่าสูงมากจนถึง 100% ค่าสภาวะของอากาศที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 ส่วนคุณสมบัติของอากาศทางเทอร์โมไดนามิกส์อ้างอิงข้อมูลจาก เกษญา ตัณฑเศรษฐี (2546)

Table 1 Conditions of intake air temperature

Condition of Air	Normal intake air temp.	Low intake air temp.
Temperature (°C)	50	40
Humidity (%)	57	100
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1.02	1.05

ทำการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีเชิงตัวเลขโดยใช้เครื่องยนต์ Honda รุ่น GX 160 แบบเชื้อเพลิงเบนซิน อนุกรมประสงค์ 4 จังหวะ 1 สูบ 163 ซีซี มีอัตราส่วนการอัดเท่ากับ 9 ระยะชัก 4.5 ซม.



Figure 2 Honda GX 160 Engine (hondapower, 2560)

### ผลการทดลอง

การศึกษาผลของการใช้สภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน พบว่าสภาวะอากาศที่แตกต่างกันจะส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องยนต์มีค่าแตกต่างกันด้วย หากพิจารณาอุณหภูมิและความดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ ได้ผลดังตารางที่ 1 และ 2

Table 1 Temperature in the cycle

Temperature (K)	Normal intake air temp.	Low intake air temp.
$T_1$	323.000	313.000
$T_2$	774.845	751.923
$T_3$	3,969.983	3,972.938
$T_4$	2,163.349	2,165.098

Table 2 Pressure in the cycle

Pressure (kPa)	Normal intake air temp.	Low intake air temp.
$P_1$	101	101.000
$P_2$	2,180.601	2,183.701
$P_3$	11,172.493	11,538.022
$P_4$	676.465	698.641

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า แบบที่มีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์จะมีอุณหภูมิเริ่มต้นของวัฏจักรต่ำกว่าแบบใช้อากาศปกติ แต่เมื่อเข้าสู่กระบวนการอัดไป อุณหภูมิของแบบที่มีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดดซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าแบบใช้อากาศปกติเล็กน้อย และความดันในวัฏจักรของแบบที่มีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่าแบบใช้อากาศปกติ แม้ความดันเริ่มต้นของวัฏจักรจะมีค่าเท่ากันทั้งสองแบบ ความแตกต่างของอุณหภูมิและความดันในวัฏจักรเป็นผลมา

จาก สภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าแตกต่างกัน เมื่ออากาศมีอุณหภูมิต่ำลงจะทำให้ค่าความจุความร้อนจำเพาะมีค่าลดลงและอัตราส่วนความจุความร้อนจำเพาะมีค่าสูงขึ้น

อุณหภูมิและความดันที่เกิดขึ้นในวัฏจักร สามารถคำนวณเป็นค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้ดังรูปที่ 1

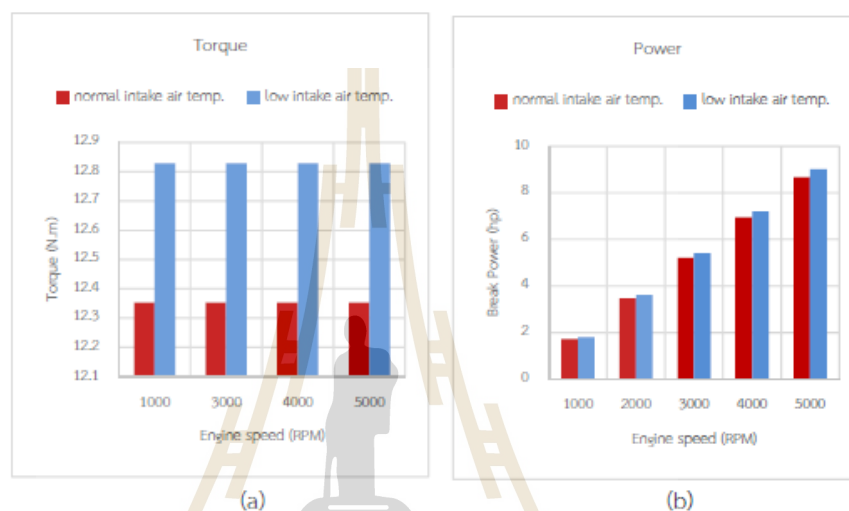


Figure 1 (a) Show the relationship between the torque and engine speed

(b) Show the relationship between the break power and engine speed

ความสัมพันธ์ของแรงบิดของเครื่องยนต์กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์แสดงในรูปที่ 1a แรงบิดของเครื่องยนต์จะมีค่าเท่ากันทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ แต่แรงบิดของเครื่องยนต์แบบที่มีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับแบบที่ใช้อากาศปกติ

ความสัมพันธ์ของกำลังเบรคของเครื่องยนต์กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์แสดงในรูปที่ 1b กำลังเบรคของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ที่ความเร็ว

รอบเดียวกันกำลังเบรคของเครื่องยนต์แบบที่มีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่าแบบที่ใช้อากาศปกติ

แรงบิดและกำลังเบรคของเครื่องยนต์แบบที่มีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์จะมีค่าสูงกว่าแบบที่ใช้อากาศปกติ 3.846% เมื่อเทียบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เดียวกัน การเพิ่มขึ้นของแรงบิดและกำลังเบรคของเครื่องยนต์เป็นผลมาจากอุณหภูมิและความดันที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ ทำให้งานจากการขยายตัวแบบไอเซนโทรปิกภายหลังกระบวนการเผาไหม้มีค่าสูงขึ้น

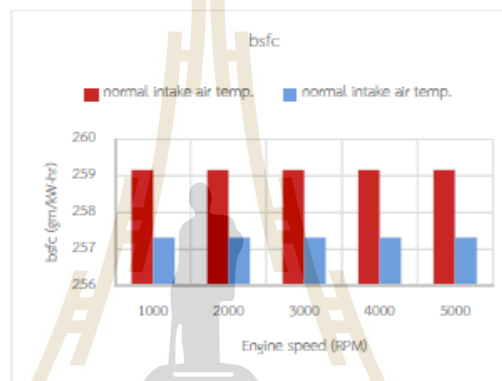


Figure 2 Show the relationship between the break specific fuel consumption and engine speed

จากรูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพันธ์มีค่าเท่ากันในทุกความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ แต่แบบที่มีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพันธ์มีค่าน้อยกว่าแบบที่ใช้อากาศปกติ 0.712% เนื่องจากกำลังเบรคของเครื่องยนต์แบบที่มีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่าแบบใช้อากาศปกติ

## สรุป

การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะเชิงตัวเลขทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยมีการจำลองสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์แบบที่ใช้อากาศที่มีการลดอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำแบบผิวเปียก จะมีค่ากำลังเบรคและแรงบิดสูงขึ้น ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ลดลง เมื่อเทียบกับค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้อากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์แบบปกติ

## เอกสารอ้างอิง

- กรมธุรกิจพลังงาน. 2559. ปริมาณและมูลค่าการนำเข้า ส่งออกน้ำมันเชื้อเพลิง.  
[http://www.doeb.go.th/v5/info\\_supply\\_oil.php](http://www.doeb.go.th/v5/info_supply_oil.php) (31 ส.ค. 2559)
- ข่าวธุรกิจ. 2559. ฮอนด้าปลื้มผลิตเครื่องยนต์ฯครบ 25 ล้านเครื่องในไทย.  
<http://www.manager.co.th/aspbin/ViewNews.aspx?NewsID=9590000032744> (31 ส.ค. 2559)
- เจษฎา ตันตเศรษฐี. 2546. เครื่องยนต์สันดาปภายใน. เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า, กรุงเทพมหานคร.
- ศิษณุพงศ์ ประจักษ์เมธีเลิศ, พิณนารี แสงนवल, อรอนงค์ พรรณนา, และดร.กระวี ตรีอำนาจ. 2558. การทดสอบภาคสนามอุปกรณ์ลดอุณหภูมิอากาศป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ด้วยการระเหยน้ำ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. EP-2558-3-28.
- บ.มาสเตอร์คูล. 2559. พัฒลมไอเย็น. <http://masterkool.com/พัฒลมไอเย็น>. (27 ส.ค. 2559)
- วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย, กิตติพงษ์ บุญเงิน, และรวีวรรค สิริวัชรชัยกุล. 2557. การลดอุณหภูมิอากาศด้วยระบบระเหยน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์แก๊สโซลีน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. EP-2557-2-10
- ฮอนด้า. 2560. เครื่องยนต์ Honda GX160.  
<http://www.hondapower.fi/mallisto/paikallismo> (2 พ.ค. 2560)

ศักรินทร์ ปาปะเก, กระวี ตรีอำนาจ, เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และยงยุทธ เลียงดั่ง. (2561).

ผลของอุณหภูมิและความชื้นอากาศป้อนเข้าที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์อเนกประสงค์ขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ประจวบคีรีขันธ์: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ระหว่างวันที่ 26-27 เมษายน 2561.



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

Available online at [www.tsae.asia](http://www.tsae.asia)

ผลของอุณหภูมิและความชื้นอากาศป้อนเข้าที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์เนกประสงค์ขนาดเล็ก

Effect of Temperature and Humidity of Intake Air on Performance of Small Multi Propose Engine

ศักดิ์รินทร์ ปาปะเก<sup>1\*</sup>, กระวี ศรีอำรรค<sup>1</sup>, เทวรัตน์ ศรีอำรรค<sup>2</sup>, ยงยุทธ เสียงคัง<sup>3</sup>

Sakkarin Papakae<sup>1</sup>, Krawee Treeeamruk<sup>1</sup>, Tawarat Treeeamruk<sup>2</sup> and Yongyuth Sengdang<sup>3</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>2</sup> School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

<sup>3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>4</sup> School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

<sup>5</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>6</sup> School of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

\*Corresponding author: Sakkarin Papakae Tel: +66-8-80725212, E-mail: [sakkarinpapakae@hotmail.com](mailto:sakkarinpapakae@hotmail.com)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นอากาศป้อนเข้าที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์เนกประสงค์ขนาดเล็ก ทดสอบกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะสูบเดี่ยว ขนาด 208 cm<sup>3</sup> ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,500-4,000 min<sup>-1</sup> ประยุกต์ใช้ระบบลดอุณหภูมิอากาศด้วยวิธีการระเหยน้ำแบบผิวเปียก (Evaporative cooling pad) รุ่น 7090 ขนาด ก x ย เท่ากับ 30 x 27 cm<sup>2</sup>หนา 100 mm กับการลดอุณหภูมิอากาศป้อนเข้าเครื่องยนต์ โดยแบ่งการทดสอบเป็น 3 แบบ คือ ใช้น้ำอุณหภูมิ 23.7°C และ 0.5°C ไหลผ่านผิวเปียก เปรียบเทียบผลกับการใช้อากาศอุณหภูมิ 55°C ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิก่อนป้อนเข้า จากการทำทดสอบพบว่า การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ จะทำให้อากาศมีความหนาแน่น ความชื้นสัมพัทธ์และความดันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 3.21% ที่ความเร็วรอบ 2,000 min<sup>-1</sup> สำหรับกรณีใช้น้ำ 23.7°C และเพิ่มขึ้นสูงสุด 7.76% ที่ความเร็วรอบ 3,500 min<sup>-1</sup> สำหรับกรณีใช้น้ำ 0.5°C ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ของเครื่องยนต์ลดลงสูงสุด 7.04 % ที่ความเร็วรอบ 3,500 min<sup>-1</sup> สำหรับกรณีใช้น้ำ 0.5°C อุณหภูมิไอเสียและปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับกรณีอากาศไม่ผ่านการลดอุณหภูมิก่อนป้อนเข้าเครื่องยนต์

คำสำคัญ: การลดอุณหภูมิแบบระเหยน้ำ, การทดสอบเครื่องยนต์, สมรรถนะเครื่องยนต์

Abstract

This research study was investigated the effect of temperature and humidity of intake air on the performance of a small multi propose engine. The single-cylinder 208 cm<sup>3</sup> four-strokes gasoline engine as tested at speed 1,500-4,000 min<sup>-1</sup>. The pad type evaporative air cooling system (model 7090 size w x l is 30x27 cm<sup>2</sup> 100 mm thickness) was applied to produce a low temperature air intake to the engine. The engine performance testing was divided into 3 types by air cooled from water temperature at 23. 7°C, 0.5°C in evaporative cooling system and air without water cooling (intake air temperature to the engine is 55°C). The result shown that the reducing of air temperature



1 before taking in to the engine by the water evaporative cooling system influences on the increasing of density,  
 2 relative humidity and pressure of the intake air. The low temperature of intake air provides an engine torque and  
 3 power. The power increases 3.21% at 2,000 min<sup>-1</sup> of engine speed (use water 23.7°C) and 7.76% at 3,500 min<sup>-1</sup> (use  
 4 water 0.5°C) and the specific fuel consumption reduces 7.04% at 3,500 min<sup>-1</sup>. the exhaust temperature and HC-  
 5 emissions are decreased when compare to the air intake without evaporative cooling system.

6 **Keywords:** Evaporative cooling, Engine testing, Engine performance

7 **1 บทนำ**

8       ทั่วโลกมีการใช้เครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็ก  
 9 จำนวนมาก เนื่องจากเป็นต้นกำเนิดที่มีราคาไม่สูงมาก  
 10 น้ำหนักเบา มีความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน และการใช้  
 11 งานระบบถ่ายเทอากาศ สามารถควบคุมความเร็วได้ง่าย  
 12 และมีความแม่นยำดี ในประเทศไทยนิยมใช้เครื่องยนต์  
 13 เบนซินขนาดเล็กสำหรับงานสูบน้ำ เครื่องกำเนิด  
 14 ไฟฟ้า ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลเกษตรต่างๆ เช่น เครื่องตัด  
 15 หญ้า เครื่องพ่นปุ๋ยและสารเคมี เครื่องสับย่อยลดขนาดวัสดุ  
 16 เครื่องมือเตรียมแปลงเพาะปลูก เป็นต้น

17       ถึงแม้ว่าเครื่องยนต์เหล่านี้จะเป็นที่นิยมสูงก็ตาม แต่ยังมี  
 18 พบปัญหาในการใช้งานเครื่องยนต์เบนซินดังกล่าว  
 19 เนื่องจากในการใช้งานจริงไม่สามารถให้ประสิทธิภาพและ  
 20 สมรรถนะที่สูงและเป็นไปตามทฤษฎีได้ โดยเฉพาะ  
 21 เครื่องยนต์ที่มีขนาดเล็กและใช้งานอยู่กับที่ เช่น เครื่องสูบน้ำ  
 22 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น เนื่องจากการออกแบบ  
 23 เครื่องยนต์เหล่านี้ต้องการความกะทัดรัด อากาศที่อยู่รอบตัว  
 24 เครื่องยนต์จะเกิดการสะสมความร้อนจากการระบายความ  
 25 ร้อนของเครื่องยนต์เองและความร้อนจากการใช้งาน  
 26 กลางแจ้งเมื่อสภาวะแวดล้อม ทำให้ให้อากาศที่อุณหภูมิต่ำ  
 27 เครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นต่ำลง ส่งผลให้  
 28 เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพของวัฏจักรอากาศต่ำลงไปด้วย

29       เทคนิคการลดอุณหภูมิอากาศด้วยการระเหยน้ำแบบผิว  
 30 เปือก ดังแสดงใน Figure 1 จะใช้หลักการทำให้น้ำเกิดเป็น  
 31 ฟิล์มขนาดบาง มีพื้นที่สัมผัสกับอากาศมาก เมื่ออากาศร้อน  
 32 ไหลผ่านพื้นผิวของน้ำ น้ำจะดูดซับความร้อนของอากาศ  
 33 และน้ำบางส่วนจะระเหยกลายเป็นไอ อากาศที่ถูกดูดความ  
 34 ร้อนจะอุณหภูมิต่ำลง ในปัจจุบันเราพบอุปกรณ์ต้นกำเนิดให้รูป  
 35 เครื่องปรับอากาศแบบไอระเหยน้ำที่นิยมใช้ในครัวเรือน  
 36 เนื่องจากเป็นระบบอย่างง่าย ไม่มีอุปกรณ์ที่ซับซ้อนและไม่  
 37 ต้องการการดูแลรักษา สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กได้  
 38 และมีความสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากถึง 15°C

39 (บริษัทมาสเตอร์คูล, 2559) อีกทั้งยังพบการประยุกต์ใช้  
 40 เทคนิคนี้ในการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์  
 41 พบว่าอากาศมีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นเพิ่มสูงขึ้น  
 42 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบปรับอากาศ  
 43 10.6% คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานน้อยลง 11.4 %  
 44 (Martinez et. al., 2016)



Figure 1. Evaporative Cooling Pad.

45       ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะประยุกต์ใช้การลดอุณหภูมิ  
 46 อากาศด้วยการระเหยน้ำแบบผิวเปือกนี้ พัฒนาเป็นระบบช่วยลด  
 47 อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กทั้งนี้  
 48 เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป ตลอด  
 49 จนถึงค่ามลภาวะของไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอุปกรณ์  
 50 ดังกล่าว ผลของการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์  
 51 สามารถเพิ่มแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ 3.846% (ศักรินทร์  
 52 และคณะ, 2560) สามารถลดปริมาณ NOx และสามารถลด  
 53 อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล (Sajovaara et. al., 2015)  
 54 การลดอุณหภูมิอากาศด้วยวิธีการระเหยน้ำแบบผิวเปือกจะส่งผลต่อ  
 55 ปริมาณความชื้นในอากาศที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นผลดีของการเพิ่ม  
 56 ปริมาณไอน้ำหรือน้ำเข้าสู่เครื่องยนต์ สามารถเพิ่มกำลังและ  
 57 แรงบิดของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้มากถึง 4.65% ลดความ  
 58 สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ 6.44% ลดปริมาณ NO เสีย 40%  
 59 และลดปริมาณ HC 31.5% (Cesur et. al., 2013) และลด  
 60 ปริมาณ smoke ของเครื่องยนต์ดีเซล (Sahin et. al., 2012)

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์ทดสอบ

งานวิจัยนี้จะทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้ ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ TecQuipment รุ่น TD201 ดังแสดงใน Figure 2 ทดสอบบนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ 1 สูบ ขนาดความจุระบอบสูบ 208 cm<sup>3</sup> เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm ระยะชัก 54 mm ระยะข้อเหวี่ยง 27 mm อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ 8.5 และกำลังสูงสุดเท่ากับ 5.2 kW ที่ 3,600 min<sup>-1</sup> Figure 3 แสดงการติดตั้งเพลลาของเครื่องยนต์ เพื่อเชื่อมต่อไปยังไดนาโมมิเตอร์ชนิดน้ำ ประยุกต์ใช้แผ่นระเหยน้ำ (ECP) เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ ในระบบนี้มีทางเข้าอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์อยู่ห่างจากเครื่องยนต์ ซึ่งทำให้อากาศไม่ได้รับความร้อนจากเครื่องยนต์ เหมือนสภาวะการใช้งานจริงที่ท่อดูดอากาศสั้น ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาให้การทดสอบเหมือนสภาวะจริง จึงมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนบริเวณทางเข้าของอากาศ ดังแสดงใน Figure 3

2.2 แผ่นระเหยน้ำ (Evaporative Cooling Pad, ECP)

การทดสอบจะใช้แผ่นระเหยน้ำ รุ่น 7090 ขนาดกว้างยาวเท่ากับ 30x27 cm<sup>2</sup> และมีความหนาเท่ากับ 100 mm ประยุกต์ใช้เป็นระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์โดยใช้น้ำ ดังแสดงใน Figure 3 และติดตั้งปั้มน้ำเพื่อใช้สำหรับการหมุนเวียนน้ำในระบบ

2.3 การทดสอบ

การทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศห้องปกติ ให้มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งประมาณ 50-55 °C เพื่อจำลองให้เหมือนสภาวะการใช้งานจริง และแบ่งสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เป็นทั้งหมด 3 แบบ แบบที่ 1 อากาศอุ่น (warm temp.) จะใช้อากาศที่ไหลผ่านเครื่องทำความร้อน และไหลผ่าน ECP โดยไม่เปิดน้ำเข้าสู่ ECP แบบที่ 2 อากาศเย็น (cool temp.) ใช้อากาศเหมือนกันแบบแรก แต่มีการเปิดน้ำอุณหภูมิห้อง (23.7 °C) เข้าสู่ ECP แบบที่ 3 อากาศเย็นมาก (very low temp.) ใช้อากาศเหมือนกับทั้งสองแบบแรก แต่มีการเปิดน้ำเย็นที่ใช้น้ำแข็งละลายในถังเก็บน้ำ (0.5 °C) เข้าสู่ ECP การทดสอบจะทดสอบแบบเดินฝั่ลของเครื่องยนต์เปิดกว้างที่สุด ที่ภาระของเครื่องยนต์คงที่ โดยค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ศึกษามีดังนี้ แรงบิด (N-m), อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg s<sup>-1</sup>), อัตราไหลอากาศ (kg s<sup>-1</sup>), อุณหภูมิไอเสีย (°C) และมลพิษของเครื่องยนต์ HC (ppm)

ทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500, 2,000, 2,500, 3,000, 3,500 และ 4,000 min<sup>-1</sup>

การวัดค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ จะใช้โพลัดเซลล์ชนิด S shape สำหรับการวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ ใช้เทอร์โมคัปเปิล type K สำหรับการวัดอุณหภูมิของอากาศและไอเสียของเครื่องยนต์ และใช้เครื่องวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ HORIBA รุ่น MEXA-584L สำหรับการวัดปริมาณ HC ที่เกิดขึ้นในไอเสียของเครื่องยนต์

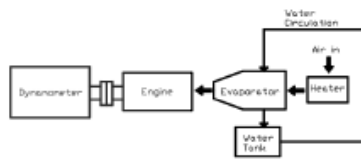


Figure 2. Schematic diagram of experiment.

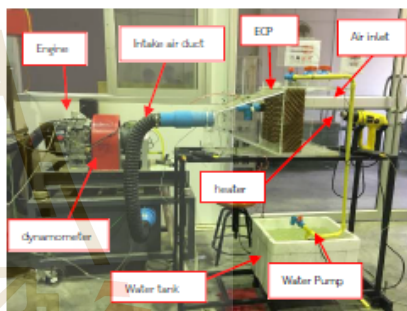


Figure 3. The experiment system.

ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ (Heywood, 1998) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2

$$\dot{W}_b = \dot{V}P_{mi} \tag{1}$$

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}_b} \tag{2}$$

- เมื่อ  $\dot{W}_b$  คือ กำลังบรอกของเครื่องยนต์ (kW)
- $\dot{V}$  คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (min<sup>-1</sup>)
- $N$  คือ แรงบิดของเครื่องยนต์ (N-m)
- bsfc คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ (g kW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)
- $\dot{m}_f$  อัตราไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิง (kg s<sup>-1</sup>)

การประจําวิชาการสมคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

3 ผลและวิจารณ์

4 การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยการระเหยน้ำ  
 5 แบบฝิวเปียก จะใช้สภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ทั้งหมด 3  
 6 แบบ ดังแสดงใน Table 1

7 Table 1 Results of air propoties

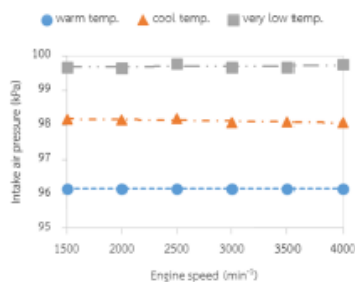
Intake air	Temp. (°C)		Density (kg m <sup>-3</sup> )	Absolute humidity (kg water kg air <sup>-1</sup> )	RH (%)
	Dry bulb	Wet bulb			
Warm temp.	52.8	34.3	1.0390	0.02705	29.8
Low temp.	31.1	26.6	1.1254	0.02098	75.2
Very Low temp.	21.9	16.8	1.1788	0.00985	60.1

8 หมายเหตุ: สภาวะอากาศก่อนเข้า ECP ทุกแบบถูกควบคุมให้  
 9 เท่ากับสภาวะอากาศแบบ warm temp.

10 การทดลองนี้จะเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศเริ่มต้น ควบคุม  
 11 อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ 52.8 °C (warm air) โดยใช้  
 12 เครื่องทำความร้อน การทดลองแรกจะใช้อากาศอุ่นที่ไม่ได้ผ่าน  
 13 การแลกเปลี่ยนความร้อนจาก ECP (ไม่เปิดน้ำเข้าสู่ ECP) อากาศ  
 14 ที่เข้าสู่เครื่องยนต์จึงมีความหนาแน่นต่ำมาก เมื่อเปิดน้ำเข้าสู่  
 15 ECP เพื่อลดอุณหภูมิอากาศ พบว่า สามารถลดอุณหภูมิอากาศ  
 16 จาก 52.8 °C เป็น 31.1 °C (กรณีใช้น้ำ 23.7 °C) เพิ่มความ  
 17 หนาแน่นของอากาศได้เป็น 1.1254 kg m<sup>-3</sup> และเมื่อใช้น้ำเย็น  
 18 อุณหภูมิ 0.5 °C สามารถลดอุณหภูมิและเพิ่มความหนาแน่นของ  
 19 อากาศได้เช่นเดียวกัน ดังแสดงใน Table 1 การลดอุณหภูมิของ  
 20 อากาศด้วยวิธีระเหยน้ำ จะส่งผลต่อความชื้นในอากาศที่เพิ่มขึ้น  
 21 เนื่องจากการระเหยของน้ำ แต่ในการทดลองนี้ค่าความชื้นมีค่า  
 22 ลดลงเนื่องจาก อุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศมีค่าสูงกว่า  
 23 อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ใน ECP เป็นผลให้น้ำในอากาศเกิดการ  
 24 ควบแน่น อากาศที่ไหลผ่าน ECP จึงมีความชื้นลดลง ค่าความ  
 25 หนาแน่นและคววระเหิดของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ จะใช้สูตร  
 26 คำนวณตามกฎของแก๊ส (Cengel, 2004) เพื่อหาค่าความดันของ  
 27 อากาศและแสดงความสัมพันธ์กับความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ดัง  
 28 แสดงใน Figure 4

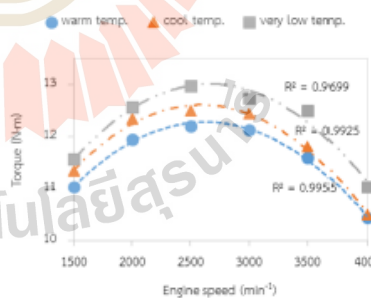
29 ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์จะมีค่าเปลี่ยนแปลง  
 30 เล็กน้อยเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ดังผลการ  
 31 ทดลองใน Figure 4 การลดอุณหภูมิอากาศมีผลทำให้ความดัน  
 32 ของอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของอากาศจะเพิ่มขึ้น

33 เมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าลดลง ความดันของอากาศก่อนเข้า  
 34 เครื่องยนต์กรณีใช้น้ำเย็น 0.5 °C ในการลดอุณหภูมิ (very low  
 35 temp.) จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ



36 Figure 4. Relationship between intake air pressure and  
 37 engine speed.

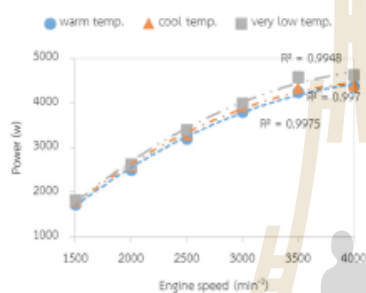
38 เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น แรงบิด  
 39 ของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเร็ว  
 40 รอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 min<sup>-1</sup> การลดอุณหภูมิอากาศ  
 41 ก่อนเข้าเครื่องยนต์ มีผลทำให้แรงบิดของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น  
 42 ทุกความเร็วรอบ เนื่องจากอัตราไหลเชิงมวลและความดันของ  
 43 อากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันสูงสุด  
 44 ภายในกระบอกสูบในจังหวะให้แกมมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้แรงบิดมี  
 45 ค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยเมื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้า  
 46 เครื่องยนต์ แรงบิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 3.21% ที่ความเร็วรอบ  
 47 เท่ากับ 2,000 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 23.7 °C) และเพิ่มขึ้นสูงสุด  
 48 7.76% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 0.5 °C)  
 49 เมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช้น้ำเข้าสู่ ECP ดังผลการทดลองใน Figure  
 50 5



51 Figure 5. Relationship between torque and engine  
 52 speed.

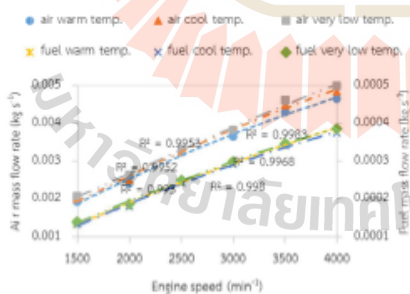
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

1 ในส่วนของกำลังของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็ว  
 2 รอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงบิดและความเร็วรอบมี  
 3 ค่าเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆแม้ว่าแรงบิด  
 4 จะลดลงในความเร็วรอบสูงๆก็ตาม เป็นผลมาจากที่ความเร็วรอบ  
 5 สูงๆการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบส่งผลต่อกำลังของเครื่องยนต์  
 6 มากกว่าการลดลงของแรงบิด การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้า  
 7 เครื่องยนต์ มีผลทำให้กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น  
 8 เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของแรงบิด ดังผลการทดลองใน  
 9 Figure 6 ซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของแรงบิดและกำลังสอดคล้อง  
 10 กับการศึกษาของ (ศักดิ์รินทร์ และคณะ, 2560)



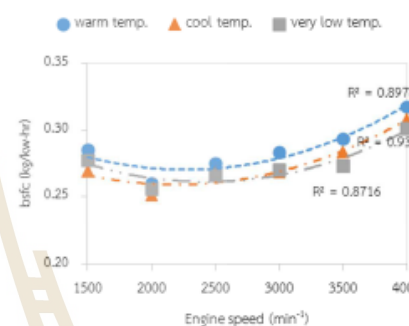
11  
 12 Figure 6. Relationship between power and engine  
 13 speed.

14  
 15 จากผลการทดลองใน Figure 7 อัตราส่วนอากาศคือ  
 16 เชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อน  
 17 เข้าเครื่องยนต์ อัตราไหลเชิงมวลของอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้น  
 18 ในขณะที่อัตราไหลเชิงมวลเชื้อเพลิงมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

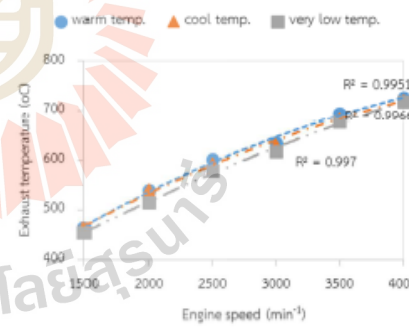


19  
 20  
 21 Figure 7. Relationship between air (left-axis), fuel (right-  
 22 axis) consumption and engine speed.

23 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์จะมีค่าลดลง เมื่อ  
 24 ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นในช่วงความเร็วรอบเท่ากับ 1,500-2,500  
 25 min<sup>-1</sup> และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นสูงกว่า 2,500 min<sup>-1</sup> ความ  
 26 สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังผลการทดลองใน  
 27 Figure 8 การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีผลทำให้  
 28 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์มีค่าลดลง เนื่องจากกำลังที่  
 29 เพิ่มขึ้น และอัตราไหลเชิงมวลเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยความ  
 30 สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ลดลงสูงสุด 5.54% ที่ความเร็วรอบ  
 31 เท่ากับ 1,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 23.7 °C) และลดลงสูงสุด  
 32 7.04% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 0.5 °C)  
 33 เมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช้น้ำเข้าสู่ ECP



34  
 35 Figure 8. Relationship between bsfc and engine speed.



36  
 37  
 38  
 39 Figure 9. Relationship between exhaust temperature  
 40 and engine speed.

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

จากผลการทดลองใน Figure 9 เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ส่งผลให้อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เนื่องจากการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ทำให้เกิดการเผาไหม้ในกระบอกสูบที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ประกอบกับการถ่ายเทความร้อนจากผนังห้องเผาไหม้อากาศ ในจังหวะดูดและอัดเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากผลต่างอุณหภูมิของผนังเครื่องยนต์กับอากาศมีค่าสูง จึงเป็นผลให้อุณหภูมิของเครื่องยนต์และไอเสียมีค่าต่ำลง (Pulkrabek, 2004)

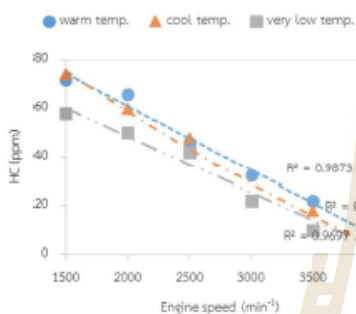


Figure 10. Relationship between HC-emission and engine speed

เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลง ดังผลการทดลองใน Figure 10 เนื่องจากเกิดการไหลปั่นป่วนสูงที่ความเร็วรอบสูง ทำให้อากาศและฟอยล์น้ำมันเชื้อเพลิงคลุกเคล้าผสมกันได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลให้ได้ไอดีคุณภาพสูง ที่สามารถเผาไหม้ได้ดี เกิดปริมาณ HC จากการเผาไหม้ต่ำ การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ จะทำให้ปริมาณ HC มีค่าลดลง เนื่องจากรวมของอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์สามารถลดปริมาณ HC ได้สูงสุด 31.25% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,000 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 23.7 °C) และลดลงสูงสุด 54.55% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 0.5 °C) เมื่อเทียบกับกรณีใช้น้ำเข้าสู่ ECP

สรุป

การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ มีผลทำให้ความหนาแน่น ความดันและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ที่ต่ำลง มี

ผลทำให้แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 3.21% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2,000 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 23.7 °C) และเพิ่มขึ้นสูงสุด 7.76% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 0.5 °C) ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ลดลงสูงสุด 5.54% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 23.7 °C) และลดลงสูงสุด 7.04% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 0.5 °C) อุณหภูมิไอเสียลดลงและปริมาณ HC ในไอเสียลดลงสูงสุด 31.25% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,000 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 23.7 °C) และลดลงสูงสุด 54.55% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 0.5 °C) เมื่อเทียบกับกรณีใช้น้ำเข้าสู่ ECP (อากาศอุ่น)

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมืออุปกรณ์และสถานที่จาก ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

ศุภรินทร์ ปาปะเก, วันเฉลิม เหนือเกาะหวาย, กิตติพงษ์ บุญเงิน, วีรวัฒน์ ลิ่ววิระชัยกุล, กรวีร์ ตริอำนาจ, เพชรรัตน์ ตริอำนาจ, 2560. การวิเคราะห์เชิงตัวเลขค่าสมรรถนะของพลศาสตร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน. รายงานการประชุมระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 2. ชุมพร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์. 31 พฤษภาคม-1 มิถุนายน 2560, ชุมพร.  
 บ.ม.เกษตรศาสตร์. (2559). พัฒนไอเย็น แหล่งข้อมูล: <http://masterkool.com/พัฒนาไอเย็น>. เข้าถึงเมื่อ 27 สิงหาคม 2559.  
 Idris Cesur, Adnan Parlak, Vezir Ayhan, Baris Boru, Guven Gonca. 2013. The effects of electronic controlled steam injection on spark ignition engine. Journal of Applied Thermal Engineering 55, 61-68.  
 P. Martinez , J. Ruiz , C.G. Cutilias , P.J. Martinez , A.S. Kaiser, M. Lucas 2015. Experimental study on energy performance of a split air-conditioner by using variable thickness evaporative cooling pads coupled to the condenser. Journal of Applied Thermal Engineering 105, 1041-1050.

Sakkarin Papakae, Krawee Treamnuk and Tawarat Treamnuk. (2561).

**Influence of Intake Air Temperature on Performance of Small Gasoline Engine.**

The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment, Kobe, Japan: 8-10

June 2018.



### ***Influence of Intake Air Temperature on Performance of Small Gasoline Engine***

Tawarat Treemnuak, Suranaree University of Technology, Thailand  
Krawee Treemnuak, Suranaree University of Technology, Thailand  
Sakkarin Papakae, Suranaree University of Technology, Thailand

The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment 2018  
Official Conference Proceedings

#### **Abstract**

This research study was to investigate the influence of intake air temperature on the performance of a multi-propose small gasoline engine. The four-strokes gasoline engine with single-cylinder of 208 cm<sup>3</sup> was tested at speed of 1,500-4,000 RPM. The intake air temperature was prepared in case of 1) warm temperature that was like the air around the engine at 50°C - 55°C and room humidity 2) low temperature, warm air was cooled by using evaporative cooling pad system (ECP) with the room temperature water and 3) very low temperature, warm air was cooled by using the ECP system with 0.5°C of cool water. The engine performance was tested on the water break dynamometer to determine torque, speed, fuel consumption, air induction rate. The result shown that the reducing air temperature before taking into the engine by ECP system influences on the increasing of density, relative humidity and pressure of the intake air. The low temperature of intake air provides an engine torque and power increasing. The power increases 3.21% at 2,000 RPM of engine speed (use room temperature water) and 7.76% at 3,500 RPM (use cool water) and the specific fuel consumption reduces 7.04% at 3,500 RPM. The exhaust temperature and HC emissions are decreased when compare to the warm intake air.

Keywords: Evaporative cooling, Intake air temperature, Engine testing, Engine performance

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**iafor**

The International Academic Forum  
[www.iafor.org](http://www.iafor.org)

### Introduction

Small multi propose gasoline engine is a world wild favor useful engine. Because this engine is not expensive, easy to control the speed, installation, power transmission, and have an accuracy control system. In Thailand, small multi propose engines are used in water pump, electricity generator, power for agricultural machinery such as two wheels tractor, mowers, fertilizer and chemicals sprayer, chopper machine and tools for cultivation, etc. Although this engine is highly popular, but it has a problem in operation because it cannot provide the high theoretical performance in practical applications. Especially the stationary engine, the air around the engine accumulates heat from the engine cooling system and changes to be the warm air at 50°C - 55°C due to the engine is running. At this temperature, the air is low pressure than cool air and has low density too. Unavoidably, this warm air will be taking into the engine and effects the engine thermal efficiency to low value in finally. Therefore, the reducing of intake air temperature is important and can directly improves the engine performance without difficultyly modify the engine components. The reducing of air temperature by water evaporative cooling is a simple method. Using free water surface on the wet porous pad (or Evaporative air-water cooling pad system, ECP) (Fig. 1), the warm air can flow pass and lose its heat to the water. At the same time, the heat that water was received in form of latent heat change the liquid phase of water to be a gas phase. After that, it mixed within the air and flow out from the system. So, this method must increase the humidity of air ever (Papakae *et al.*, 2017). At present, the ECP was most applied in an air conditioning system. Because it is a simple system, not complicated equipment, designed to be a compact and more ability to reduce air temperature down 15°C from room temperature. The low temperature air by this technique can increase 10.6% of overall air conditioning efficiency and decrease 11.4% of compressor power consumption (Martinez *et al.*, 2016).



Figure 1: Evaporative cooling pad.

Many researchers are interested to study about the effect of air temperature on the engine operation. Sajovaara *et al.* (2015) reported that the reducing of air temperature before inducting to the engine can reduce the NOx emission and exhaust temperature of diesel engine, and the effect of steam or water filled into the gasoline engine is it can reduce fuel consumption by 6.44%, reduce NOx emissions by 40%, reduce HC 31.5% (Cesur *et al.*, 2013). The using of water on diesel engine had ability in exhaust smoke reduction (Sahin *et al.*, 2012).



From the advantages of ECP system and low temperature and moist air induct to the engine on performance and emissions, this research aims to study the influence of air that was reduced the temperature by ECP system on the intake air properties, performance and emission of the engine exhaust gas.

## **Materials and method**

### **1) Test apparatus**

The test apparatus from TecEquipment model TD201 use the single cylinder 4 strokes gasoline engine (Fig. 3) that had Bore size 70 mm, Stroke/Crank radius (mm) 54/27, Engine capacity 208 cm<sup>3</sup>, Compression ratio 8.5 and Power 5.2 kW. The schematic diagram of this experiment was shown in Fig. 2. The engine shaft of test apparatus was connected to the shaft of the water break dynamometer. The intake air was pumping by the engine cylinder and flow through the evaporator (or ECP) to the engine cylinder. In this system, the intake air is not the warm air around the engine like an actual engine operation because the cooling system (evaporator) is adding and the air inlet duct is far from the engine (Fig.3). For solving this problem, the air heater was installed in the test apparatus to create and keep the warm intake air for the engine similar an actual engine operation.

### **2) Evaporative Cooling Pad (ECP)**

The ECP model 7090 with a dimension of 30 x 27 cm<sup>2</sup> in W x H and 100 mm of thickness was modified to the intake air cooling system (Fig. 3). The water in the cooling system was flow through the pad and circulated between pad and water tank by electric pump.

### **3) Experiment**

An intake air temperature was prepared in case of 1) warm intake air similar to the air around the engine at 50°C - 55°C and room humidity by use the air heater (not use the water in this case) 2) low temperature intake air by the use of evaporative cooling pad system (ECP) with the room temperature water and 3) very low temperature intake air by using the ECP system with cool water temperature of 0.5°C. In the testing, the butterfly valve of the engine is wide open and breaks the engine with a constant load for investigating torque (N.m), fuel consumption (ml), air induction rate (kg/s) and emission in term of exhaust temperature (°C) and HC (ppm) at the engine speed of 1,500, 2,000, 2,500, 3,000, 3,500 and 4,000 RPM respectively.

For the measurement, engine torque was measured by S-Type load cell. Air temperature and humidity were measured via a dry and wet bulb temperature of air with thermocouple type K. The engine exhaust emissions were analyzed by an automotive emissions analyzer (HORIBA Model MEXA-584L).

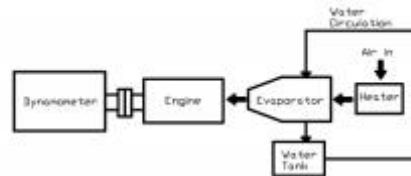


Figure 2: Schematic diagram of experiment system.

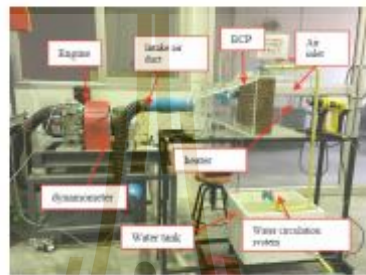


Figure 3: Equipment in the experimental system.

The engine performance was evaluated by (1) and (2) (Heywood, 1998)

$$W_b = 2\pi NT$$

(1)

Where  $W_b$  is engine break power (kW)

$N$  is engine speed (rev/s)

$T$  is engine torque (N.m)

$$b_{fbc} = \frac{\dot{m}_f}{W_b}$$

(2)

Where  $b_{fbc}$  is break specific fuel consumption (g/kW.hr)

$\dot{m}_f$  is rate of fuel consumption (kg/s)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## Result and discussion

Table 1. Properties of intake air

Intake air	Temp. (°C)		Density (kg/m <sup>3</sup> )	Absolute humidity (kg <sub>water</sub> /kg <sub>air</sub> )	RH (%)
	Dry bulb	Wet bulb			
Warm temp.	52.8	34.3	1.0390	0.02705	29.8
Low temp.	31.1	26.6	1.1254	0.02098	75.2
Very Low temp.	21.9	16.8	1.1788	0.00985	60.1

The experiment results showed that the reducing of air temperature before taking into the engine with the ECP system effects on the air properties. From table 1. the inlet supplied air temperature to the test apparatus is equals in every experiment and constantly controlled the air temperature at 52.8°C (warm air) by the heater. On the first row of table 1. the warm air is not cooled by the ECP and directly intake to the engine with the high temperature, so the density of air is lowest. After the warm air is cooled by ECP (the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> rows of table 1.), the using of water at room temperature (around 23.7°C) in ECP system can reduces the temperature from 52.8°C to 31.1°C and can increases the air density to 1.1254 kg/m<sup>3</sup>. This temperature reducing trend is similar to the case of very low temperature intake air when using the cool water at 0.5°C in ECP system. In term of moisture, the relative humidity is increasing when the intake air was cooled by ECP. In fact, the mass of water in air is not increase, on the other hand it is decrease because the dew temperature of the inlet air (warm air) is higher than the ECP temperature. As a result, a water in warm air is condensed at ECP and be the cool and dry intake air in finally.

The air density and temperature were used to calculated by Gas law (Cengel, 2004) to determine the intake air pressure and the relation between the pressure and engine speed was shown in Fig. 4.

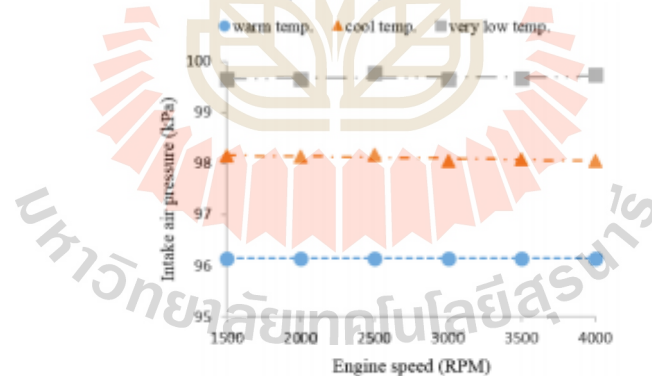


Figure 4: Relation between intake air pressure and engine speed.

From Fig. 4, the intake air pressure is almost unchanged when the engine speed increase. The effect of intake air temperature reducing is increased the intake air pressure because of the increasing of air density. At the very low temperature of intake air, the pressure is highest and increases closely to 100 kPa.

For the measured torque that was produced by the engine, the result found the reducing of intake air temperature can increase torque in every engine speed. The magnitude of torque is increasing when the intake air temperature is more decrease and the maximum torque occur at 2,500 RPM engine speed. Because the higher air mass (by the increasing of air density) and pressure was induced to the engine, the maximum pressure in cylinder after power stroke is rising and create the higher torque in finally. The torque increases 3.21% at 2,000 RPM of engine speed (use water 23.7°C in ECP) and 7.76% at 3,500 RPM (use water 0.5°C in ECP) when compare to the warm intake air. This effect was shown in Fig. 5.

In term of the engine power from Fig. 6, when the engine speed increased, the power of the engine also increased too. Similar to the trends of increased torque when intake air temperature is reduced, the engine power is continuously increasing because it is the multiplied result of torque and engine speed, although the last engine speed the value of torque is decreased but the influence of speed in (1) is more effect than the value of torque.

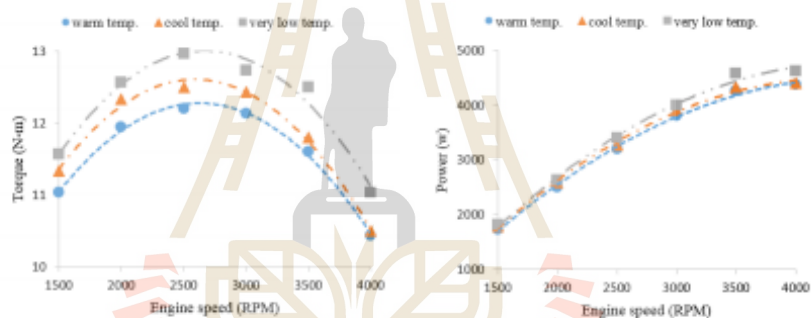


Figure 5: Relation between torque and engine speed.

Figure 6: Relation between power and engine speed.

The fuel/air ratio of the cool intake air is reduced (Fig. 7) by the influence of air temperature reducing because the rate of fuel consumption is almost constant in any intake air temperature, but the air consumption has a rising trend when its temperature is decrease.

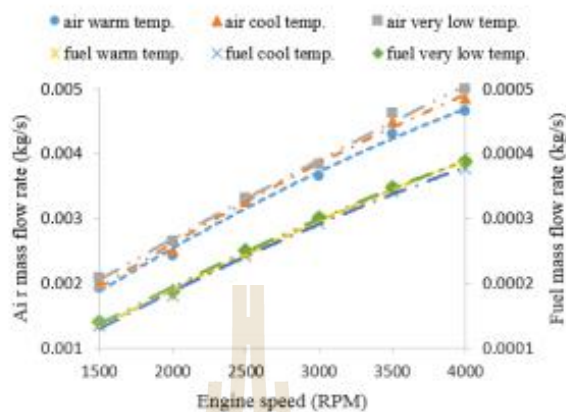


Figure 7: Relation between air (left axis) - fuel (right axis) consumption and engine speed.

The relation between the  $b_{sfc}$  and speed of the engine is presented in Fig. 8, the  $b_{sfc}$  was decreased when engine speed increase from 1,500 to 2,500 RPM and after that tend to increase when the engine speed is increased of every intake air temperature. Considering on intake air temperature found that when the intake air temperature is reduced, the  $b_{sfc}$  of the engine was decreased because the power of engine was clearly increased (fig.6) while the fuel consumption was slightly increased (fig.7). The  $b_{sfc}$  of the engine was decreased 5.54% at 1,500 RPM of engine speed (use water 23.7°C in ECP) and 7.04% at 3,500 RPM (use water 0.5°C in ECP) when compare to the warm temperature intake air.

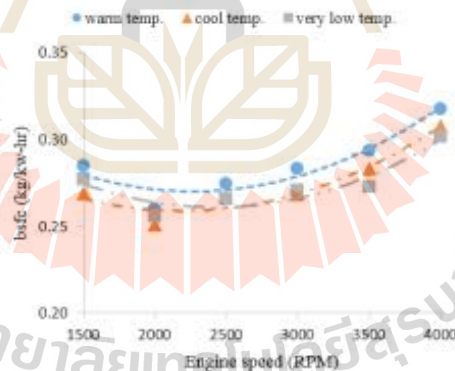


Figure 8: Relation between break specific fuel consumption ( $b_{sfc}$ ) and engine speed.

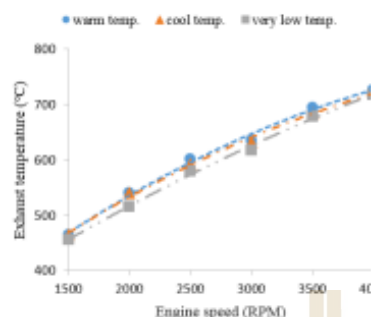


Figure 9: Relation between exhaust gas temperature and engine speed.

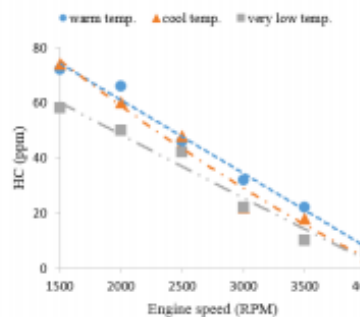


Figure 10: Relation between HC emission and engine speed.

Fig. 9 is present the relation between exhaust gas temperature and engine speed. When the engine speed increases the exhaust gas temperature from the engine also increased too. The very low temperature intake air was produced the lowest exhaust gas temperature when compare with the warm and low temperature intake air because the intake air temperature to the engine is lowest and when this air was finished the combustion, the exhaust gas in cylinder is not also heating over. Considering on HC emission found that the HC-emission of the engine was decreased when the engine speed increased (Fig. 10) and the reducing of intake air temperature affect to the decrease of HC emission because the rising of intake air mass in the engine cylinder help the combustion completely. The HC emission decrease 31.25% at 3,000 RPM of engine speed (use water 23.7°C in ECP) and 54.55% at 3,500 RPM (use water 0.5°C in ECP) when compare to the warm intake air.

### Conclusions

The reducing of intake air temperature by ECP system affect to the increasing of density, relative humidity and pressure of the intake air to the engine. The lower temperature of intake air affect to the engine power increases 3.21% at 2,000 RPM (use water 23.7°C in ECP) and 7.76% at 3,500 RPM (use water 0.5°C in ECP), the break specific fuel consumption of the engine decreases 5.54% at 1,500 RPM (use water 23.7°C in ECP) and 7.04% at 3,500 RPM (use water 0.5°C in ECP), the exhaust gas temperature is decreased and the HC emissions decreased 31.25% at 3,000 RPM (use water 23.7°C in ECP) and 54.55% at 3,500 RPM (use water 0.5°C in ECP) when compare with the warm intake air.

### Acknowledgement

The authors wish to acknowledge the Biosystem Engineering and Technology Research Unit, Suranaree University of Technology for the research support.

**References**

Cengel, Y. A. (2004). *Thermodynamics an Engineer Approach*. New York city: McGraw-Hill Science.

Cesur, I., Parlak, A., Ayhan, V., Boru, B., & Gonca, G. (2013). The effects of electronic controlled steam injection on spark ignition engine. *Applied Thermal Engineering*, 55, 61-68.

Heywood, J. B. (1998). *Internal combustion engine fundamentals*. Singapore: McGraw-Hill.

Martinez, P., Ruiz, J., Cutilas, C. G., Martinez, P. J., Kaiser, A. S., & Lucas, M. (2016). Experimental study on energy performance of a split air-conditioner by using variable thickness evaporative cooling pads coupled to the condenser. *Applied Thermal Engineering*, 105, 1041-1050.

Papakae, S., Nuekawai, W., Boongern, K., Siriwacharachaikun, R., Treemnuak, K., & Treemnuak, T. (2017). Numerical analysis of Thermodynamics Performance of Gasoline Engine. Presented at the 2<sup>nd</sup> National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Sciences and Technology (IAMBEST 2017), Chumphon, Thailand. 31 May-1 June 2017.

Sahin, Z., Tuti, M., & Durgun, O. (2012). Experimental Investigation of the effects of water adding to the intake air on the engine performance and exhaust emission in a DI automotive diesel engine. *Fuel*, 115, 884-895.

Sajovaara, T., Larmi, M., & Vuorinen, V. (2015). Effect of charge air temperature on E85 dual-fuel diesel combustion. *Fuel*, 153, 6-12.

**Contact email:** tawarat@sut.ac.th, krawee@sut.ac.th, sakkarinpapakae@hotmail.com



ศักรินทร์ ปาปะเก, กระวี ตริอำนาจ และ เทวรัตน์ ตริอำนาจ. (2561).

ผลจากการลดอุณหภูมิของอากาศป้อนเข้าด้วยวิธีการระเหยน้ำที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนแบบอเนกประสงค์. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ปีที่ 25 ฉบับที่ 1: 1-7.







ผลจากการลดอุณหภูมิของอากาศป้อนเข้าด้วยวิธีการระเหยน้ำที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนแบบ  
อเนกประสงค์

Effect of Evaporative Air Intake Cooling on Performance of Multi Propose Gasoline Engine

ศักดิ์รินทร์ ป่าปะเก<sup>1</sup>, กระวี ศรีอำรรค<sup>1\*</sup>, เทวรัตน์ ศรีอำรรค<sup>2</sup>

Sakkarin Papakae<sup>1</sup>, Krawee Treeeamnuk<sup>1\*</sup>, Tawarat Treeamnu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>1</sup> School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>2</sup> School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 30000

\*Corresponding author: Krawee Treeeamnuk Tel: +664-4224-766, E-mail: [krawee@sut.ac.th](mailto:krawee@sut.ac.th)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากอากาศที่ถูกลดอุณหภูมิด้วยวิธีการระเหยน้ำก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนแบบอเนกประสงค์ขนาดเล็ก เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะสูบเดี่ยว ขนาด 208 cm<sup>3</sup> ใช้ระบบลดอุณหภูมิอากาศป้อนเข้าด้วยการระเหยน้ำโดยใช้แผ่นระเหยแบบผิวเปียก (Evaporative cooling pad, ECP) รุ่น 7090 ขนาด ก x ย เท่ากับ 30 x 27 cm<sup>2</sup>หนา 100 mm ทดสอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1,500-4,000 min<sup>-1</sup> โดยใช้อากาศที่ถูกลดอุณหภูมิก่อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ลง 2 ระดับ ด้วยการใช้น้ำอุณหภูมิประมาณ 24°C และ 1°C ไหลผ่านแผ่น ECP เปรียบเทียบผลกับการใช้อากาศอุณหภูมิ 55°C ที่ไม่ผ่านการลดอุณหภูมิ จากการทดสอบพบว่า การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ จะทำให้อากาศป้อนเข้ามีความหนาแน่น ความชื้นสัมพัทธ์และความดันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ โมงเมนต์บิดและกำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 3.21% ที่ความเร็วรอบ 2,000 min<sup>-1</sup> สำหรับกรณีใช้น้ำ 24°C และเพิ่มขึ้นสูงสุด 7.76% ที่ความเร็วรอบ 3,500 min<sup>-1</sup> สำหรับกรณีใช้น้ำ 1°C การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ลดลงสูงสุด 7.04 % ที่ความเร็วรอบ 3,500 rpm<sup>1</sup> สำหรับกรณีใช้น้ำ 1°C อุณหภูมิไอเสียและปริมาณไฮโดรคาร์บอนไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับกรณีอากาศไม่ผ่านการลดอุณหภูมิก่อนป้อนเข้าเครื่องยนต์

คำสำคัญ: การลดอุณหภูมิแบบระเหยน้ำ, การทดสอบเครื่องยนต์, สมรรถนะเครื่องยนต์

#### Abstract

The aim of this research was to study the effect of water evaporative intake air cooling on the performance of a multi propose gasoline engine. The 208 cm<sup>3</sup> of four-stroke single cylinder engine was evaluated in this research. An evaporative cooling pad (ECP) system model type 7090 size 30x27 cm<sup>2</sup> and 100 mm thickness was applied to produce a low temperature air take into the engine. The engine was test at speed 1,500-4,000 min<sup>-1</sup> by supply the 2 level of cooled air (produced by circulate 24°C and 1°C of cool water pass ECP). The engine performance was evaluated compare with the normal intake air temperature (warm air at 55°C). The result shown that the reducing of air temperature before taking into the engine by the water evaporative cooling system influences on the increasing of density, relative humidity and pressure of the intake air. The low temperature of intake air provides an increasing of engine torque and power. The power increases 3.21% at 2,000 min<sup>-1</sup> of engine speed (use water 24°C in ECP) and 7.76% at 3,500 min<sup>-1</sup> (use water 1°C in ECP) and the specific fuel consumption reduces 7.04% at 3,500 min<sup>-1</sup>. The exhaust temperature and HC-emissions are decreased when compare to the air intake without evaporative cooling system.

Keywords: Evaporative cooling, Engine testing, Engine performance

## 1 บทนำ

ทั่วโลกมีการใช้เครื่องยนตเอนกประสงค์ขนาดเล็กจำนวนมาก เนื่องจากเป็นต้นกำเนิดที่มีราคาไม่สูงมาก น้ำหนักเบา มีความสะดวกในการติดตั้งใช้งาน และการเชื่อมต่อกับระบบถ่ายถอดกำลัง สามารถควบคุมความเร็วได้ง่ายและมีความแม่นยำดี ในประเทศไทยนิยมใช้เครื่องยนตเอนกประสงค์ขนาดเล็กสำหรับงานสูบน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลเกษตรต่างๆ เช่น เครื่องตัดหญ้า เครื่องพ่นปุ๋ยและสารเคมี เครื่องสูบล้อยลดขนาดวัสดุ เครื่องมือเตรียมแปลงเพาะปลูก เป็นต้น

ถึงแม้ว่าเครื่องยนตเหล่านี้จะได้รับความนิยมอย่างมากก็ตาม แต่ยังคงพบปัญหาด้านสมรรถนะของเครื่องยนตเอนกประสงค์ดังกล่าว เนื่องจากในการใช้งานจริงเครื่องยนตไม่สามารถให้ประสิทธิภาพและสมรรถนะสูงได้ตามทฤษฎี โดยเฉพาะเครื่องยนตระบายความร้อนด้วยอากาศที่มีขนาดเล็กและติดตั้งใช้งานอยู่กับที่ เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น เนื่องจากการออกแบบเครื่องยนตเหล่านี้ต้องการความกะทัดรัด จึงนิยมใช้การระบายความร้อนด้วยครีโบลู่อากาศโดยตรง ทำให้อากาศที่อยู่รอบตัวเครื่องยนตเกิดกระแสลมความร้อนจากการระบายความร้อนของเครื่องยนตเองประกอบกับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมส่วนทำให้อากาศที่ถูกประจุเข้าสู่เครื่องยนตมีอุณหภูมิสูง ความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้เครื่องยนตมีประสิทธิภาพตามวัฏจักรอากาศลดลงไปด้วย

การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้ถูกรายงานโดย ศักรินทร์และคณะ (2560) พบว่า การคำนวณเชิงตัวเลขในเครื่องยนตเอนกประสงค์ขนาดเล็กเมื่อมีการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต สามารถเพิ่มโมเมนต์บิดและกำลังของเครื่องยนตได้ถึง 3.85% Sajovaara et. al. (2015) พบว่า สามารถลดปริมาณก๊าซ NOx และลดอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนตดีเซลขนาด 7.41 dm<sup>3</sup> โดยอาศัยการพ่นละอองน้ำผสมกับอากาศเพื่อช่วยดึงความร้อนออกทำให้อากาศเย็นลง การทดสอบพ่นละอองน้ำเข้าสู่ท่อไอเสียเพื่อศึกษาผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต Cesur et. al. (2013) พบว่าสามารถเพิ่มกำลังและโมเมนต์บิดของเครื่องยนตดีเซลไซลินได้มากถึง 4.65% ลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ 6.44% ลดปริมาณก๊าซ NOx เสีย 40% และลดปริมาณ HC 31.5% นอกจากนี้ ความชื้นที่เพิ่มเข้าสู่เครื่องยนตยังช่วยลดปริมาณ smoke ของเครื่องยนตดีเซลได้อีกด้วย (Sahin et. al., 2012)

เทคนิคหนึ่งในการลดอุณหภูมิอากาศที่ประหยัดและง่ายต่อการควบคุมคือ การลดอุณหภูมิด้วยการระเหยน้ำโดยใช้แผ่นระเหยแบบผิวเปียก (Evaporative Cooling Pad, ECP) ดัง Figure 1 อาศัยหลักการทำให้ไอน้ำเกิดเป็นฟิล์มบาง บนแผ่นตัวกลางที่มีพื้นที่สัมผัสกับอากาศมาก เมื่ออากาศร้อนไหลผ่านผิวฟิล์มของน้ำ อากาศจะสูญเสียความร้อนในรูปความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงและทำให้ไอน้ำบางส่วนระเหยกลายเป็นไอผสมไปกับอากาศ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลงและมีความชื้นสูงขึ้น

2

ในปัจจุบันเราพบอุปกรณ์ชนิดนี้ให้รูปเครื่องปรับอากาศแบบระเหยน้ำที่นิยมใช้ในครัวเรือน เนื่องจากเป็นระบบอย่างง่าย ไม่มีอุปกรณ์ที่ซับซ้อนและดูแลรักษาได้ง่าย สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กได้ และมีความสามารถลดอุณหภูมิอากาศได้มากถึง 15°C (บริษัทมาสเตอร์คูล, 2559) อีกทั้งยังมีการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าแผงคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ พบว่าอากาศมีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นเพิ่มสูงขึ้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบปรับอากาศได้ 10.6% และคอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานน้อยลง 11.4 % (Martinez et. al., 2016)



Figure 1. Evaporative Cooling Pad (ECP).

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะประยุกต์ใช้แผ่น ECP กับระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องยนตดีเซลไซลินแบบเอนกประสงค์ขนาดเล็กทั้งนี้เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องยนตที่เปลี่ยนแปลงไป ตลอดจนค่ามลภาวะของไอเสียจากเครื่องยนตที่ติดตั้งอุปกรณ์ลดอุณหภูมิอากาศดังกล่าว

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 อุปกรณ์ทดสอบ

งานวิจัยนี้จะทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนตโดยใช้ ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต TecQuipment รุ่น TD201 ดังแสดงใน Figure 2 ทดสอบบนเครื่องยนตดีเซลไซลิน 4 จังหวะ 1 สูบ ขนาดความจุกระบอกสูบ 208 cm<sup>3</sup> เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 70 mm ระยะชัก 54 mm ระยะข้อเหวี่ยง 27 mm อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต 8.5 และกำลังสูงสุดเท่ากับ 5.2 kW ที่ 3,600 min<sup>-1</sup> Figure 3 แสดงวงจรติดตั้งเพลลาของเครื่องยนต เพื่อเชื่อมต่อไปยังไดนาโมมิเตอร์ชนิดหน้า ประยุกต์ใช้แผ่นระเหยน้ำ (ECP) เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต ในระบบนี้มีทามเข้าอากาศคอนเข้าเครื่องยนตอยู่ห่างจากเครื่องยนต จึงทำให้อากาศไม่ได้รับความร้อนจากเครื่องยนตเหมือนสภาวะการใช้งานจริงที่มีท่อดูดอากาศสั้น ดังนั้นเพื่อทำให้การทดสอบในงานวิจัยนี้มีสภาวะใกล้เคียงการใช้งานจริงของเครื่องยนต จึงมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อน (Heater) บริเวณทางเข้าของอากาศ ดังแสดงใน Figure 3

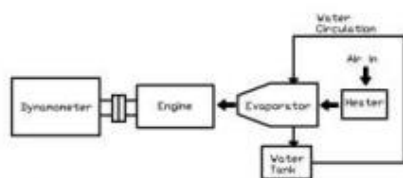


Figure 2. Schematic diagram of the experiment.

2.2 แผ่นระเหยน้ำ (Evaporative Cooling Pad, ECP)

การทดสอบจะใช้แผ่นระเหยน้ำ รุ่น 7090 ขนาด ก x ย เท่ากับ 30 x 27 cm<sup>2</sup> หนา 100 mm ประยุกต์ใช้เป็นระบบลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยน้ำ ดังแสดงใน Figure 3 และติดตั้งปั๊มน้ำเพื่อใช้สำหรับการหมุนเวียนน้ำในระบบให้แผ่น ECP เปียกอยู่ตลอดเวลา

2.3 การทดสอบ

การทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศก่อนเข้าสู่จุดทดสอบ ให้มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งประมาณ 50-55 °C เหมือนกับการทดสอบ ด้วยการเปิดเครื่องทำความร้อนเพื่อจำลองให้เหมือนสภาวะการใช้งานจริงของเครื่องยนต์ และแบ่งสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เป็นทั้งหมด 3 แบบ แบบที่ 1 อากาศอุ่น (Warm temp.) จะใช้อากาศที่ไหลผ่านเครื่องทำความร้อน และไหลผ่าน ECP โดยไม่เปิดน้ำเข้าสู่ ECP แบบที่ 2 อากาศเย็น (Cool temp.) ใช้อากาศเหมือนกับแบบแรก แต่มีการเปิดน้ำอุณหภูมิห้อง (24 °C) เข้าสู่ ECP แบบที่ 3 อากาศเย็นมาก (Very low temp.) ใช้อากาศเหมือนกับทั้งสองแบบแรก แต่มีการเปิดน้ำเย็นที่ใช้น้ำแข็งละลายในถังเก็บน้ำ (1 °C) เข้าสู่ ECP การทดสอบจะทดสอบแบบสลับมีผลของเครื่องยนต์เปิดกว้างที่สุดที่ภาระของเครื่องยนต์คงที่ โดยค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ศึกษามีดังนี้ โมเมนต์บิด (N-m), อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg s<sup>-1</sup>), อัตราไหลอากาศ (kg s<sup>-1</sup>), อุณหภูมิไอเสีย (°C) และมลพิษของเครื่องยนต์ HC (ppm) ทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1,500, 2,000, 2,500, 3,000, 3,500 และ 4,000 min<sup>-1</sup>

การวัดค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ ใช้ Load cell ชนิด S shape สำหรับการวัดโมเมนต์บิดของเครื่องยนต์ (ติดตั้งเป็นจุดสำเร็วจับไดนาโมมิเตอร์) และอ่านค่าความเร็วรอบจากมอเตอร์ของชุดทดสอบ ใช้เทอร์โมคัปเปิล type K สำหรับการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกแบบ wet sock (VanWylen and Sonntag 1973) ของอากาศก่อนเข้าสู่ ECP และหลังผ่าน ECP เพื่อใช้ในการอ่านค่าคุณสมบัติจาก Psychrometric chart (Carrier, 2018) อุณหภูมิของไอเสียจากเครื่องยนต์ และใช้เครื่องวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ HORIBA รุ่น MEXA-584L สำหรับการวัดปริมาณ HC ที่เกิดขึ้นในไอเสีย



Figure 3. The experiment system.

ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ (Heywood, 1998) สามารถคำนวณได้จาก eq. 1-3

$$\dot{W}_c = 2\pi NT \tag{1}$$

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}_c} \tag{2}$$

$$\eta_p = \frac{2\dot{m}_a}{\rho_a V_d N} \tag{3}$$

- เมื่อ  $\dot{W}_c$  คือ กำลังเบรคของเครื่องยนต์ (kW)
- N คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (min<sup>-1</sup>)
- T คือ โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์ (N-m)
- bsfc คือ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (g kW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)
- $\dot{m}_f$  คือ อัตราไหลเชิงมวลน้ำมันเชื้อเพลิง (kg s<sup>-1</sup>)
- $V_d$  คือ ปริมาตรของกระบอกสูบ (m<sup>3</sup>)
- $\rho_a$  คือ ความหนาแน่นอากาศ (kg m<sup>-3</sup>)
- $\eta_p$  คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

3 ผลและวิจารณ์

ผลการเตรียมสภาวะอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ทั้ง 3 แบบ แสดงใน Table 1

Table 1 Results of air properties

Intake air	Temp. (°C)		Density (kg m <sup>-3</sup> )	Absolute humidity (kg <sub>water</sub> kg <sup>-1</sup> )	RH (%)
	Dry bulb	Wet bulb			
Warm temp.	52.8	34.3	1.0390	0.02705	29.8
Cool temp.	31.1	26.6	1.1254	0.02098	75.2
Very Low temp.	21.9	16.8	1.1788	0.00985	60.1

สภาวะอากาศเริ่มต้นเมื่อควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศให้เท่ากับ 52.8°C (Warm temp.) โดยใช้เครื่องทำความร้อน สำหรับการทดลองแรกอากาศอุ่นที่ไม่ได้ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนจาก ECP (ไม่เปิดน้ำเข้าสู่ ECP) จึงเป็นอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ที่มีความหนาแน่นต่ำมาก การใช้น้ำอุณหภูมิ 24°C จ่ายสู่ ECP เพื่อลดอุณหภูมิอากาศ พบว่า สามารถลดอุณหภูมิอากาศจาก 52.8°C เป็น 31.1°C และเพิ่มความหนาแน่นของอากาศได้เป็น 1.1254 kg m<sup>-3</sup> และเมื่อใช้น้ำเย็นอุณหภูมิ 1°C สามารถลดอุณหภูมิและเพิ่มความหนาแน่นของอากาศได้เช่นเดียวกันโดยมีค่าอุณหภูมิอากาศค่าที่อยู่ที่ 21.9°C ความหนาแน่นสูงสุด 1.1788 kg m<sup>-3</sup> ดัง Table 1 การลดอุณหภูมิของอากาศด้วยวิธีระเหยของน้ำ จะส่งผลต่อความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากการระเหยของน้ำ (ค่า %RH ใน Table 1) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณของน้ำในอากาศที่แท้จริงพบว่าค่า Absolute humidity ของอากาศมีค่าลดลงเนื่องจาก อุณหภูมิหยดน้ำค้างของอากาศมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ใน ECP เป็นผลให้น้ำในอากาศเกิดการควบแน่นเมื่อไหลผ่าน ECP และมีความชื้นลดลง ค่าความชื้นของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์คำนวณได้ตามกฎของแก๊ส (Cengel, 2004) ความชื้นของอากาศที่สัมพันธ์กับความเร็วยของเครื่องยนต์ดังแสดงใน Figure 4.

ความชื้นอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องจากกาไหลของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์เกิดจากสภาวะสูญญากาศที่กระบอกสูบสร้างขึ้นในจังหวะดูดของวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ (Pulkrabek, 2004) ค่าความดันมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยและเกือบคงที่เมื่อความเร็วยของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ดัง Figure 4 การลดอุณหภูมิอากาศมีผลทำให้ความดันของอากาศเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าลดลง ความดันของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์กรณีใช้น้ำเย็น 1°C ในการลดอุณหภูมิ (Very low temp.) จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ

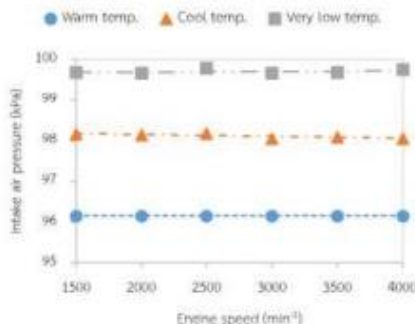


Figure 4. Relationship between intake air pressure and engine speed.

เมื่อความเร็วยของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยและเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเร็วยของเครื่องยนต์เท่ากับ 2,500 min<sup>-1</sup> การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ มีผลทำให้โมเมนต์บิดของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นทุกความเร็วยรอบ เนื่องจากอัตราไหลการไหลเชิงมวลและความดันของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันสูงสุดภายในกระบอกสูบในจังหวะให้งานมีค่าเพิ่มขึ้นตามทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Pulkrabek, 2004) สอดคล้องกับผลการคำนวณเชิงตัวเลขของ คีกรินทร์ และคณะ (2560) และเป็นผลให้โมเมนต์บิดมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยเมื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ โมเมนต์บิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 3.21% ที่ความเร็วยรอบเท่ากับ 2,000 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 24°C) และเพิ่มขึ้นสูงสุด 7.76% ที่ความเร็วยรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 1°C) เมื่อเทียบกับกรณีไม่ใช้น้ำเข้าสู่ ECP ในช่วงค่าทดลองโมเมนต์บิดมีความสัมพันธ์กับความเร็วยรอบ ดังแสดงใน Figure 5

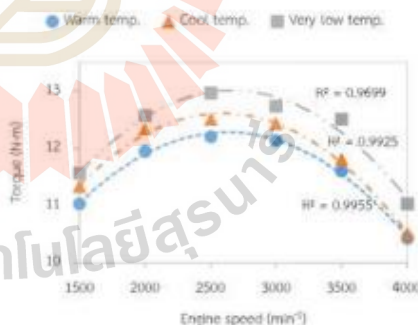


Figure 5. Relationship between torque and engine speed.

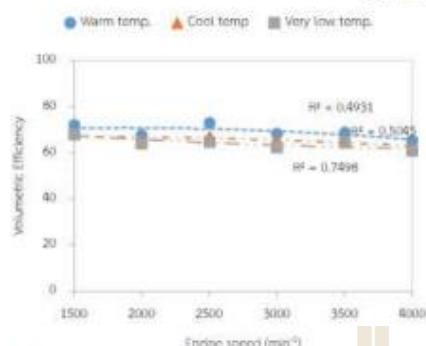


Figure 6. Relationship between volumetric efficiency and engine speed.

เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้สันไอต์เปิด-ปิดเร็วมากขึ้นและทำให้อากาศป้อนเข้าซึ่งเคลื่อนที่ด้วยจังหวะสุดของเครื่องยนต์เกิดการหน่วงมากขึ้นเพราะสันไอต์ปิดก่อนที่มวลอากาศจะไหลเข้าสู่กระบอกสูบได้ทัน ซึ่งแสดงได้ด้วยค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของการประจุอากาศเข้ากระบอกสูบที่มีแนวโน้มลดลงทุกสภาวะการทดสอบ (Figure 6) อย่างไรก็ตามที่ความเร็วรอบสูงอากาศย่อมสามารถถูกประจุเข้ากระบอกสูบด้วยอัตราไหลที่สูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน (Figure 7) ซึ่งผลกระทบร่วมของความสามารถในการประจุอากาศและประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่มีต่อโมเมนต์บิดจะส่งผลชัดเจนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงกว่า 2,500  $\text{min}^{-1}$  ขึ้นไป โดยส่งผลให้ความดันสูงสุดของวัฏจักรลดต่ำลงและทำให้โมเมนต์บิดมีค่าลดลงในที่สุด ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของค่าโมเมนต์บิดและความเร็วรอบตามทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Pulkrabek, 2004)

กำลังเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเมนต์บิดและความเร็วรอบมีค่าเพิ่มขึ้น กำลังของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆแม้ว่าโมเมนต์บิดจะลดลงในความเร็วรอบสูงก็ตาม เป็นผลมาจากการที่ความเร็วรอบสูงๆการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบส่งผลต่อกำลังของเครื่องยนต์มากกว่าการลดลงของโมเมนต์บิด ตามรูป eq. 1 การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ มีผลทำให้กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของโมเมนต์บิด ดังผลการทดลองใน Figure 7 ซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของโมเมนต์บิดและกำลังสอดคล้องกับการศึกษาของ สักรินทร์ และคณะ (2560) และที่ความเร็วรอบสูงสุด 4,000  $\text{min}^{-1}$  การลดอุณหภูมิอากาศด้วยน้ำ 24°C ไม่แตกต่างกับการใช้อากาศอุ่นป้อนเข้าเครื่องยนต์

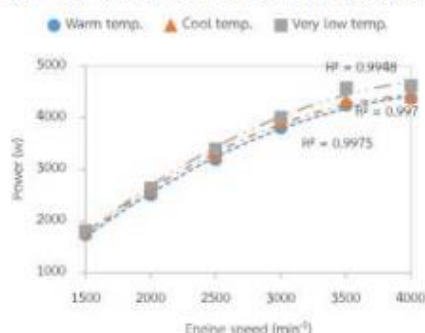


Figure 7. Relationship between power and engine speed.

จากผลการทดลองใน Figure 8 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อลดอุณหภูมิอากาศป้อนเข้าเครื่องยนต์ อัตราไหลเชิงมวลของอากาศจะมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยมาก เนื่องจากเครื่องยนต์รอบประสงค์ที่ใช้ทดสอบใช้คาร์บูเรเตอร์เป็นอุปกรณ์ผสมไอต์ ซึ่งอิทธิพลของความเร็วจากอากาศในคอของคาร์บูเรเตอร์มีผลต่อการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยท่อแคพิลารี (ท่อนมหนู) ในคาร์บูเรเตอร์มากกว่าความหนาแน่นอากาศที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดอุณหภูมิอากาศป้อนเข้า

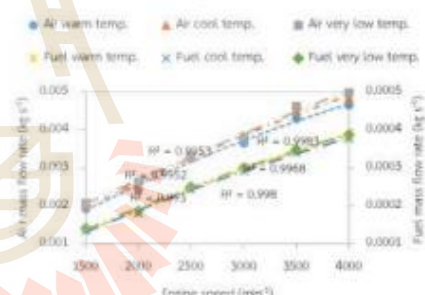


Figure 8. Relationship between air (left-axis) and fuel (right-axis) consumption during engine speed.

การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีค่าลดลง เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นในช่วงความเร็วรอบเท่ากับ 1,500-2,500  $\text{min}^{-1}$  และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นสูงกว่า 2,500  $\text{min}^{-1}$  การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังผลการทดลองใน Figure 9 การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์มีผลทำให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของกำลังเครื่องยนต์มีส่วนมากกว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นน้อยมาก (Figure 7) โดยการสิ้นเปลือง

เชื้อเพลิงจำเพาะลดลงสูงสุด 5.54% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 24°C) และลดลงสูงสุด 7.04% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 1°C) เมื่อเทียบกับการป้อนอากาศอุ่นเข้าสู่เครื่องยนต์

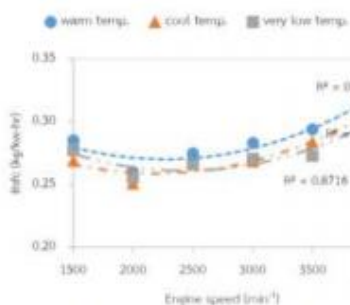


Figure 9. Relationship between bsfc and engine speed.

จากผลการทดลองใน Figure 10 เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ส่งผลให้อุณหภูมิ

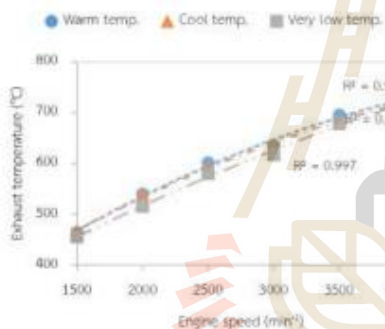


Figure 10. Relationship between exhaust temperature and engine speed.

ไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าลดลง เนื่องจากการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ทำให้มวลอากาศเข้าสู่กระบอกสูบมากขึ้นช่วยให้เกิดการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ประกอบกับการถ่ายเทความร้อนจากผนังห้องเผาไหม้สู่อากาศในจังหวะดูดและอัดเกิดได้ดีขึ้น เนื่องจากผลข้างเคียงของหนึ่งเครื่องยนต์กับอากาศมีค่าสูง จึงเป็นผลให้อุณหภูมิของเครื่องยนต์และไอเสียมีค่าต่ำลงตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนในเครื่องยนต์ (Pulkrabek, 2004)

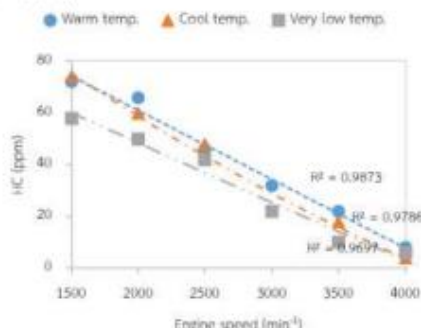


Figure 11. Relationship between HC-emission and engine speed.

เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณ HC ในไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลง ดังผลการทดลองใน Figure 11 เนื่องจากเกิดการไหลปั่นป่วนสูงที่ความเร็วรอบสูง ทำให้อากาศและฝอยน้ำมันเชื้อเพลิงคลุกเคล้าผสมกันได้ดียิ่งขึ้น เป็นผลให้ได้ไอดีคุณภาพสูง ที่สามารถเผาไหม้ได้ดี เกิดปริมาณ HC จากการเผาไหม้ต่ำ การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ จะทำให้ปริมาณ HC มีค่าลดลง เนื่องจากมวลของอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์สามารถลดปริมาณ HC ได้สูงสุด 31.25% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,000 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 24°C) และลดลงสูงสุด 54.55% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 1°C) เมื่อเทียบกับการป้อนอากาศอุ่นเข้าสู่เครื่องยนต์

สรุป

การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ด้วยวิธีการระเหยน้ำ มีผลทำให้ความหนาแน่น ความดันและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ที่ต่ำลง มีผลทำให้เมเนตบีตและกำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นสูงสุด 3.21% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2,000 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 24°C) และเพิ่มขึ้นสูงสุด 7.76% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 1°C) การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงสูงสุด 5.54% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 1,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 24°C) และลดลงสูงสุด 7.04% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 1°C) อุณหภูมิไอเสียลดลงและปริมาณ HC ในไอเสียลดลงสูงสุด 31.25% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,000 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 24°C) และลดลงสูงสุด 54.55% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 min<sup>-1</sup> (กรณีใช้น้ำ 1°C) เมื่อเทียบกับกรณีใช้น้ำจ่ายเข้าสู่ ECP (อากาศอุ่น)

อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะที่รายงานในงานวิจัยนี้ได้จากการทดสอบแบบภาระสูงสุดขณะรันมีเสื่อเปิดกว้างสุดเท่านั้น โดยยัง

วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ปีที่ 25 ฉบับที่ 1 (2562), 1-7

ไม่ใช่ค่าสรณะที่ครอบคลุมสภาพการทำงานทั้งหมดของเครื่องยนต์ และเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่สมบูรณ์เกี่ยวกับผลของการลดอุณหภูมิอากาศที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ จึงยังจำเป็นต้องทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในสภาพการทำงานอื่นตามมาตรฐานการทดสอบที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลต่อไป

##### 5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

##### 6 เอกสารอ้างอิง

- Sakkarin pāpakē , wan chalœm nuā ko, wai , Kittiphong bunngoen , rawi wan siri watchara chai kun , krawi tri 'amnak , thewa rat tri อานรรค. songphanharōhoksip kan wikhrō choeng tualek kha samatthana thang 'unha phonlasat khong kruangyon kaetsotin. ranggan kanprachum wichakan radap chat IAMBEST khang thi2. sathaban wittaya khet Chumphon khet 'udom sak . Phrutsaphakhom - Mithunayon, Chumphon bo mattoekhun (2559) . phatlom ai yen . laeng khomun: <http://ma.sterkool.com/ฟัดลมไอเย็น>. เข้าถึงเมื่อ 27 สิงหาคม 2559.
- Carrier United Technologies. 2018. Psychrometric charts. Available at: <https://www.carrier.com/cari/eruniversity/en/us/courses-materials/materials/psychrometric-charts/>. Accessed on 20 April 2018.
- Cengel, Y.A. 2004. Thermodynamics An Engineer Approach. New York City: McGraw-Hill Science.
- Cesur, I., Parlak, A., Ayhan, V., Boru, B., Gonca, G. 2013. The effects of electronic controlled steam injection on spark ignition engine. Journal of Applied Thermal Engineering 55, 61-68.
- Heywood, J.B 1998. Internal combustion engine fundamentals. Singapore: McGraw-Hill.
- Martínez, P., Ruiz, J., Cutillas, C.G., Martínez, P.J., Kaiser, A.S., Lucas, M. 2015. Experimental study on energy performance of a split air-conditioner by using variable thickness evaporative cooling pads coupled to the condenser. Journal of Applied Thermal Engineering 105, 1041–1050.
- Pulkrabek, W.W. 2004. Engineering fundamentals of the internal combustion engine 2nd edition. Prentice hall upper saddle river, New Jersey 07458: Pearson Education.
- Sahin, Z., Tuti, M., Durgun, O. 2014. Experimental Investigation of the effects of water adding to the intake air on the engine performance and exhaust emission in a DI automotive diesel engine. Journal of Fuel 115, 884-895.
- Sajovaara, T., Larmi, M., Vuorinen, V. 2015. Effect of charge air temperature on E85 dual-fuel diesel combustion. Journal of Fuel 153, 6-12.
- Van Wylen, G.J., Sonntag, R.E. (1973). Fundamentals of Classical Thermodynamics (2<sup>nd</sup> Ed.). Wiley. p. 448. ISBN 0471902276.

## ประวัติผู้เขียน

นายศักรินทร์ ปาปะเก เกิดเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2536 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี เกียรตินิยมอันดับ 1 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2558

ปี พ.ศ.2559 ได้รับทุนกิตติบัณฑิตเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย :

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMEST ครั้งที่ 2 (2560). การวิเคราะห์เชิงตัวเลขค่าสมรรถนะทางอุณหพลศาสตร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน.

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย (2561). ผลของอุณหภูมิและความชื้นอากาศป้อนเข้าที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์อเนกประสงค์ขนาดเล็ก.

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการ The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment (2018), Kobe, Japan. Influence of Intake Air Temperature on Performance of Small Gasoline Engine.

ได้เสนอบทความตีพิมพ์เผยแพร่ วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย (2561). ผลจากการลดอุณหภูมิของอากาศป้อนเข้าด้วยวิธีการระเหยน้ำที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนแบบอเนกประสงค์.