

การประยุกต์ใช้งานของท่อความร้อนแบบสั่นแบบวงรอบในการเพิ่มสมรรถนะของ เครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ท

Application of Closed Loop Oscillating Heat Pipe to Increasing Performance of Turbo Charge Diesel Engine

สุวรรณ วาววาว ดนัย หมั่นทรัพย์ ประชา ยืนยงกุล ชัยณรงค์ พรหมศรี และ ประดิษฐ์ เทอดทูล*
แผนกวิชาช่างยนต์ คณะวิชาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคพายัพ เชียงใหม่ 50300
* ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
128 ถ. ห้วยแก้ว ต. ข้างเมือก อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50300
โทร 0-5389-2645 โทรสาร 0-5389-2645 E-mail: wao_narong@hotmail.com

Suwan WAOWAEW, Danai MANSUB, Pracha YEUNYONGKUL, Chainarong PROMSRI and Pradit TERDTON*
Department of Mechanical Power Faculty of Mechanical Rajamangala Institute of Technology Northern Campus Chiang Mai 50300
* Department of Mechanical Faculty of Engineering Chiang Mai University Chiang Mai 50300
128 Huaykaew Rd. Changpuek Muang Chiang Mai 50300
Tel. 0-5389-2645 Fax: 0-5389-2645 E-mail: wao_narong@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาถึงการประยุกต์ใช้งานของท่อความร้อนแบบสั่นปลายเปิด(CLOHP) ท่อความร้อนแบบสั่นปลายเปิดที่ใช้ในการทดสอบเป็นท่อคาปิลลารีที่ทำมาจากทองแดง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.778 และ 2.032 มิลลิเมตร ปลายทั้งสองถูกเชื่อมต่อกันเป็นวงรอบ ความยาวส่วนทำระเหยและส่วนระบายความร้อนยาวเท่ากับ 170 มิลลิเมตร สารทำงานที่ใช้คือ R-12, R-22 และ น้ำ ที่อัตราการเติมเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรทั้งหมดภายในท่อ และมุมเอียงในการทำงานคือ 90 องศาจากแนวระดับ ทำการทดลองโดยให้ความร้อนแก่ส่วนทำระเหยด้วยอากาศร้อนที่ผ่านการอัดจากเทอร์โบชาร์ท และระบายความร้อนในส่วนควบแน่นด้วยอากาศ จากการศึกษาพบว่าที่ท่อความร้อนแบบสั่นปลายเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 2.032 มิลลิเมตร ที่มีความยาวรวมเท่ากับ 20 เมตร ที่ใช้สารทำงาน R-12 ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงสุด เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์พบว่า เครื่องยนต์ที่ติดตั้ง CLOHP มีแรงบิดและกำลังงานต่อพื้นที่การรับความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์ 9.2 และ 9.2 เท่า ตามลำดับ

Abstract

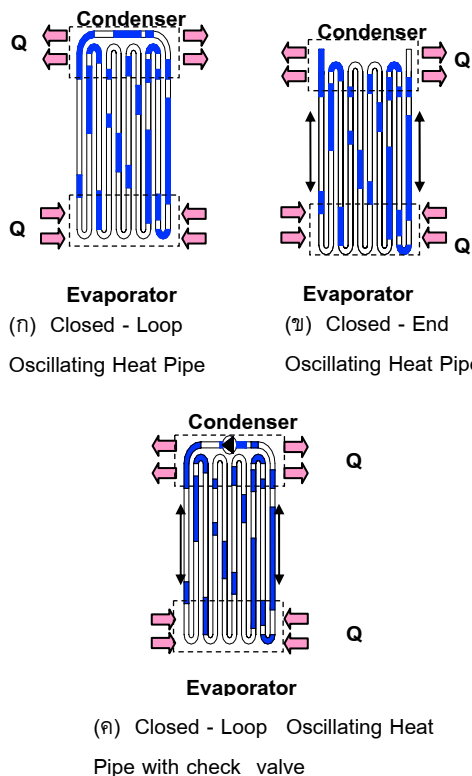
This paper is a study of application of CLOHP. CLOHP of copper capillary tubes with inner diameter of 1.778, 2.032 mm were used in the experiments. The end of tube was welded to loop. The evaporator and condenser lengths are equal to 170 mm. The

working fluids were R-12, R-22 and water with the filling ratio of 50% of the total volume of the tube. The CLOHP operated at vertical position. The CLOHP with the hot air from turbo charger heated for the evaporator section and at the condenser section the heat was removed by air. The test results showed that the CLOHP with inner diameter of 2.032 mm, total length of 20 m and R-12 as working fluid has highest engine performance. The engine performances of CLOHP have higher torque per area and power per area of 9.2 and 9.2 times respectively when compared with intercooler.

1. บทนำ

ท่อความร้อนแบบสั่น หรือ Oscillating Heat Pipe (OHP) เป็นท่อความร้อนชนิดใหม่ซึ่งค้นพบโดย Akachi et al.[3] การส่งถ่ายความร้อนนั้นแตกต่างจากท่อความร้อนแบบธรรมดา กล่าวคือ หลังจากเติมสารทำงานแล้ว ภายในท่อความร้อนแบบสั่นจะมีแท่งของเหลวและก้อนไอสลับกันอยู่ เป็นตัวช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่แบบสั่นของสารทำงานซึ่งเกิดขึ้นด้วยตัวมันเอง (Self-excited oscillating) โดยเกิดขึ้นจากแรงขับของคลื่นแรงดันที่ไม่คงที่อย่างรุนแรง มีสาเหตุมาจากการเดือดแบบฟองและการควบแน่นของสารทำงานภายในท่อ ท่อความร้อนแบบสั่นมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถส่งถ่ายความร้อนได้อย่างรวดเร็ว โดยท่อความร้อนแบบสั่นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดหลักๆ Maezawa et al.[7] ดังแสดงในรูปที่ 1 โดย รูปที่ 1(ก) คือ Closed-Loop

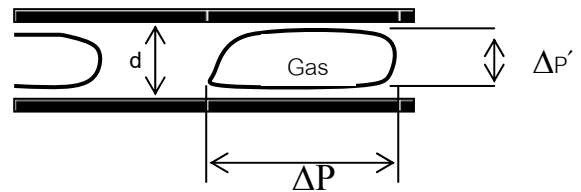
Oscillating Heat Pipe (CLOHP) รูปที่ 1(ข) คือ Closed-End Oscillating Heat Pipe (CEOHP) รูปที่ 1(ค) คือ Closed-Loop Oscillating Heat Pipe แบบมีเช็ควาล์ว (CLOHP with check valve)



รูปที่ 1 ชนิดของท่อความร้อนแบบสั่น

โดยในรูป 1(ก) นั้นทำขึ้นมาจากท่อความร้อนแบบคาปิลลารียาวจำนวนหนึ่งท่อหรือมากกว่านั้นที่ถูกขดและเชื่อมติดกันให้เป็นวงรอบโดยไม่มีเช็ควาล์ว ในรูป 1(ข) นั้นทำขึ้นมาจากท่อความร้อนแบบคาปิลลารีที่ทำการปลายปิดทั้งสองข้างโดยไม่มีเช็ควาล์วและไม่ใช่วงรอบจะประกอบด้วยท่อคาปิลลารียาวจำนวนหนึ่งท่อขดไปมาตามรูป และในแบบสุดท้าย คือ รูป 1(ค) ทำมาจากท่อคาปิลลารียาวจำนวนหนึ่งท่อหรือมากกว่านั้นขดไปมาและเชื่อมให้เป็นวงตามรูป ในวงของท่อความร้อนนั้นจะมีเช็ควาล์วคอยบังคับทิศทางของสารทำงานซึ่งทำหน้าที่พาความร้อนไหลเวียนอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ Maesawa et al.[7] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงสมรรถนะทางความร้อนของท่อเทอร์โมไซฟอนแบบคาปิลลารี โดยชุดทดสอบเป็นท่อเทอร์โมไซฟอนแบบคาปิลลารี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 1 มิลลิเมตร มีจำนวนโค้งเลี้ยวทั้งหมด 20 โค้งเลี้ยวและความยาวทั้งหมด 24 เมตร ใช้สารทำงานเป็น R-142b ผลของการทดสอบที่น่าสนใจ คือ ท่อเทอร์โมไซฟอนแบบคาปิลลารีนั้น มีการส่งถ่ายความร้อนโดยปรากฏการณ์การสั่น การสั่นนั้นเกิดจากคลื่นของแรงดันของสารทำงานที่แกว่งไปมาอย่างรุนแรงซึ่งเป็นผลมาจากการเดือดแบบฟองของสารทำงาน โดยฟองนั้นจะเกิดขึ้นในท่อที่ส่วนทำระเหย ฟองนั้นจะโตขึ้นเรื่อยๆ และจะหายไปเมื่ออยู่ในส่วนควบแน่น โดยลักษณะที่กล่าวมานี้จะขึ้นอยู่กับการถ่ายเทความร้อน อัตราการเดินสารทำงาน สภาพการทำงาน (Heating modes) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อและจำนวนรอบของการขดไป

มา และยังคงกล่าวอีกว่ารูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบคาปิลลารี นั้นมีการไหลแบบ Slug ดังแสดงในรูปที่ 2 โดย Gas slug หรือฟองไอน้ำสามารถไหลได้โดยความแตกต่างของความดัน ดัง



รูปที่ 2 การไหลแบบ Slug ภายในท่อความร้อนแบบสั่นคาปิลลารี

ในรูปที่ 2 แสดงค่าความดันตามแนวรัศมีและค่าความดันตามแนวแกนของท่อ เมื่อสารทำงานในท่ออยู่ในสภาวะที่ $\Delta P \geq \Delta P'$ Gas slug สามารถคงอยู่ในท่อได้ โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเป็นไปตามสมการที่ (1)

$$d \leq 2 \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}} \quad (1)$$

Gi et al. [5] ได้ศึกษาถึงรูปแบบการไหลภายในของท่อความร้อนแบบสั่น (OHP) ซึ่งทำจากเทปอลอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ความยาวรวมทั้งหมด 8200 มิลลิเมตร ความยาวของส่วนรับความร้อนส่วนอะเดียแบติก และส่วนระบายความร้อนเท่ากับ 150 100 และ 150 มิลลิเมตร ตามลำดับ ใช้สาร R-142b เป็นสารทำงาน อุณหภูมิการทำงานเท่ากับ 35 และ 45 °C ผลการทดลองพบว่า อัตราการเดินอุณหภูมิการทำงาน และ มุมเอียงมีผลต่อรูปแบบการไหลภายในท่อและที่มุม 90 องศา ฟองไอน้ำเคลื่อนตัวไปสู่ส่วนระบายความร้อนอย่างรวดเร็วและหายไปที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า การส่งถ่ายความร้อนของ CLOHP ได้สูงที่สุดที่อัตราการเดิน 50 – 60 % และที่มุมเอียง 60 องศา

Dobson and Harms [4] ได้ศึกษาถึงรูปแบบทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย เพื่อแสดงพฤติกรรมของสารทำงานที่อยู่ภายในท่อ เช่น แสดงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน แรงกระทำต่อสารทำงานในส่วนที่เป็นของเหลวและของแข็งเป็นต้น อีกทั้งยังกล่าวถึงค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดที่ท่อความร้อนแบบคาปิลลารีสามารถทำงานได้อย่างเหมาะสม โดยมีค่าแสดงไว้ตามสมการที่ (1) ซึ่งในสภาพที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามสมการดังกล่าวจะทำให้สารทำงานนั้นอยู่ในสภาพการไหลแบบ Gas slug โดยเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนชนิดนี้ นอกจากนี้ Gi et al. [6] ได้ศึกษาการระบายความร้อนให้กับ CPU ของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่น (OHP) ซึ่งทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ทั้งชนิดมีหลอด (CLOHP) และไม่มีหลอด (CEOHP) ด้วยจำนวนโค้งเลี้ยว 3 – 6 โค้งเลี้ยว ใช้สาร R142b เป็นสารทำงานด้วยอัตราการเดิน 40 60 และ 80 % ของความยาวรวมทั้งหมด ความร้อนที่ป้อนให้กับส่วนรับความร้อนเท่ากับ 10 W ถึง 50 W จากผลการทดลองพบว่า OHP ที่เป็นแบบ CLOHP มีสมรรถนะสูงสุดที่อัตราการเดิน 60 % จำนวนโค้งเลี้ยวเท่ากับ 6 โค้งเลี้ยว เนื่องจาก

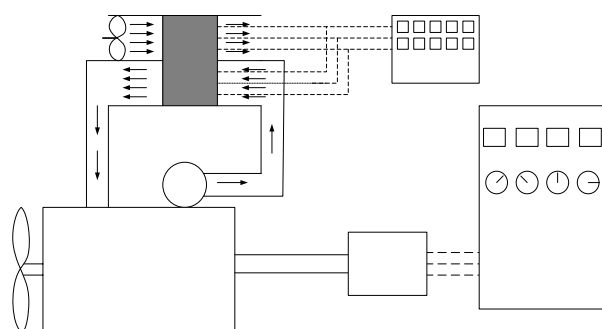
จากงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งหมดจะพบว่า ยังไม่มีนักวิจัยท่านใดที่สนใจศึกษาถึงการนำความร้อนชนิดสั่นแบบวงรอบไปประยุกต์ใช้งานจริงในการระบายความร้อนให้กับอากาศก่อนที่จะเข้ากระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์จเลย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจจะศึกษาถึงผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ความยาวรวม ผลของสารทำงานที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์จ

ในเครื่องยนต์ที่มีการติดตั้งเทอร์โบชาร์จนั้น อุณหภูมิของอากาศที่เข้ากระบอกสูบมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะว่าเทอร์โบชาร์จจะทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นถึง 66 องศาเซลเซียสหรือมากกว่าก่อนที่จะเข้ากระบอกสูบ [1] ดังนั้นจะต้องมีการติดตั้งเครื่องหล่อเย็นหรือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับอากาศที่ถูกอัด ก่อนที่จะเข้ากระบอกสูบทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง ส่งผลให้ความหนาแน่นของอากาศอัดเพิ่มขึ้นปริมาณอากาศเข้ากระบอกสูบมากขึ้น ส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น สมรรถนะของเครื่องยนต์ในบทความนี้จะพิจารณาค่าของแรงบิด กำลังงาน และความเร็วรอบ โดยค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ค่าแรงที่วัดได้โดยโพลต์เซลที่อยู่ในชุดไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งสามารถอ่านค่าได้จากชุดประมวลผลยี่ห้อ Schenck

ในรูปที่ 3 แสดงชุดอุปกรณ์การทดลองซึ่งประกอบด้วย เครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์จ ยี่ห้อนิสสัน รุ่น LD 20 T ขนาดความจุ 2,500 ซีซี เครื่องทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และชุดประมวลผลของยี่ห้อ Schenck ซึ่งมีเครื่องมือวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ค่าแรงที่วัดได้โดยโหลดเซลล์ เวลาซึ่งใช้วัดอัตราการสิ้นเปลือง เครื่องบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น UR 1000 ใช้ร่วมกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K มีช่วงการวัด - 50 °C ถึง 300 °C ส่วนชุด CLOHP ทำมาจากท่อทองแดงขดกลับไปมาจนได้ตามความยาวที่ต้องการ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนรับความร้อนและส่วนระบายความร้อน โดยไม่มีส่วนอะเดียแบติก ในการทดลองนี้มีการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบคือ

- ความยาวของส่วนรับความร้อนและส่วนระบายความร้อนยาวเท่ากันคือ 170 มิลลิเมตร
- อัตราส่วนการเติมของสารทำงานเท่ากับ 50 % ของความยาวรวมทั้งหมด

- ในการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้น มีขั้นตอนในการทดสอบคือ เมื่อติดตั้งชุดทดสอบ CLOHP เสร็จเรียบร้อยแล้วเปิดสวิทช์เครื่องทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์พร้อมทั้งปลดภาระ แล้วจึงสตาร์ทเครื่องยนต์ปล่อยให้เครื่องยนต์เดินเบาจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทางออกมีค่าประมาณ 70 °C แล้วจึงเร่งเครื่องยนต์ประมาณ 80 % ของความเร็วรอบสูงสุดพร้อมกับใส่ภาระให้กับเครื่องยนต์ไปพร้อมๆ กันโดยไม่ให้เครื่องยนต์ดับ หลังจากนั้นทำการลดภาระให้กับเครื่องยนต์โดยเริ่มที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1000 rpm แล้วบันทึกผลการทดสอบ ในการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ปรับขึ้นทีละ 400 rpm จนถึงความเร็วรอบสูงสุดที่ต้องการ เมื่อทดสอบเสร็จให้ปลดภาระของเครื่องยนต์ออกและลดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้อยู่ในตำแหน่งเดินเบา รอจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นลดลงเหลือประมาณ 70 °C แล้วจึงเริ่มทำการทดสอบใหม่โดยเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดไว้

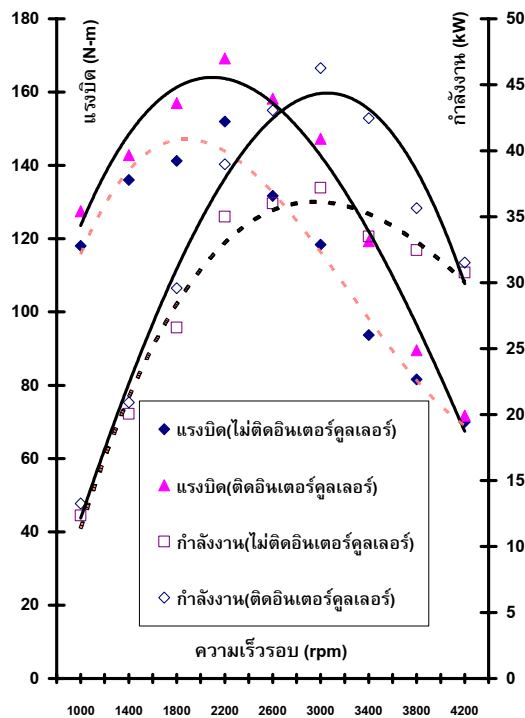


รูปที่ 3 แสดงชุดอุปกรณ์การทดลอง

4.1 ผลของการติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์ที่มีต่อแรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ท

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในกรณีของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทที่ไม่มีการติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์นั้น เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 2200 rpm ทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นจาก 118 N-m ถึง 152 N-m หลังจากนั้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 2200 rpm ถึง 4200 rpm แรงบิดจะมีค่าลดลงจาก 152 N-m ถึง 70 N-m เมื่อพิจารณา กำลังงานของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทที่ไม่มีการติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์แล้วจะเห็นว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 3000 rpm ทำให้กำลัง

งานเพิ่มขึ้นจาก 12.4 kW ถึง 37.2 kW หลังจากนั้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 3000 rpm ถึง 4200 rpm กำลังงานจะมีค่าลดลงจาก 37.2 kW ถึง 30.8 kW ในกรณีของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์นั้น เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 แสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้งและไม่มีการติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์

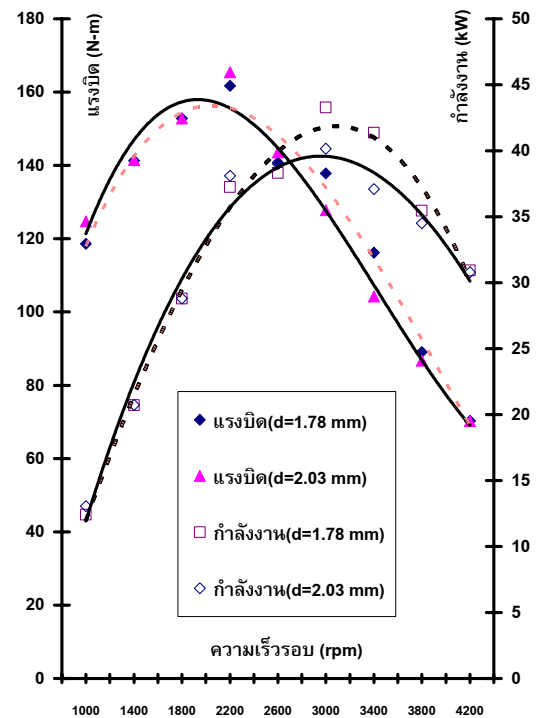
จาก 1000 rpm ถึง 2200 rpm ทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นจาก 127.5 N-m ถึง 169.2 N-m หลังจากนั้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 2200 rpm ถึง 4200 rpm แรงบิดจะมีค่าลดลงจาก 169.2 N-m ถึง 71.7 N-m เมื่อพิจารณากำลังงานของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์แล้วจะเห็นว่า เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 3000 rpm ทำให้กำลังงานเพิ่มขึ้นจาก 13.3 kW ถึง 46.3 kW หลังจากนั้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 3000 rpm ถึง 4200 rpm กำลังงานจะมีค่าลดลงจาก 46.3 kW ถึง 31.5 kW

สรุปได้ว่าการติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์ทำให้แรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทเพิ่มขึ้น 13.3 และ 13 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยตามลำดับ

4.2 ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ CLOHP ที่มีต่อแรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ท

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์พบว่าในกรณีของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้ง CLOHP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.778 mm นั้น เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 2200 rpm ทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นจาก 118.6 N-m ถึง 161.7 N-m หลังจากนั้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 2200

rpm ถึง 4200 rpm แรงบิดจะมีค่าลดลงจาก 161.7 N-m ถึง 70.3 N-m เมื่อพิจารณากำลังงานของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้ง CLOHP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.778 mm แล้วจะเห็นว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 3000 rpm ทำ



รูปที่ 5 แสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้ง CLOHP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ

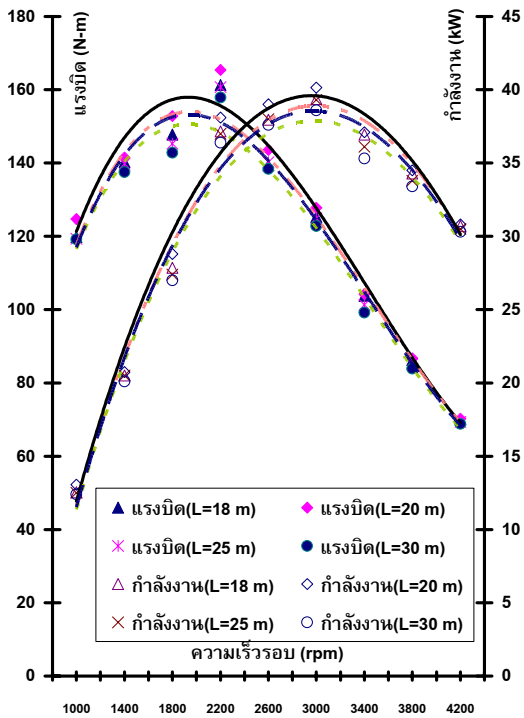
ให้กำลังงานเพิ่มขึ้นจาก 12.4 kW ถึง 43.3 kW หลังจากนั้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 3000 rpm ถึง 4200 rpm กำลังงานจะมีค่าลดลงจาก 43.3 kW ถึง 30.9 kW

ในกรณีของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้ง CLOHP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.032 mm นั้น เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 2200 rpm ทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นจาก 124.7 N-m ถึง 165.4 N-m หลังจากนั้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 2200 rpm ถึง 4200 rpm แรงบิดจะมีค่าลดลงจาก 165.4 N-m ถึง 70.2 N-m เมื่อพิจารณากำลังงานของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้ง CLOHP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.032 mm นั้น จะเห็นว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 3000 rpm ทำให้กำลังงานเพิ่มขึ้นจาก 13.1 kW ถึง 40.2 kW หลังจากนั้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 3000 rpm ถึง 4200 rpm กำลังงานจะมีค่าลดลงจาก 40.2 kW ถึง 30.8 kW

สรุปได้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ CLOHP เพิ่มขึ้นจาก 1.778 mm เป็น 2.032 mm ทำให้แรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย

4.3 ผลของความยาวรวมของ CLOHP ที่มีต่อแรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ท

ในการพิจารณาผลของความยาวรวมนั้นจะอธิบายเฉพาะความยาวรวมที่ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงสุดเท่านั้นคือความยาวรวมเท่ากับ 20 m ซึ่งในการทดลองนั้นได้มีการแปรค่าของความยาวรวม 4 ค่าคือ 18, 20, 25 และ 30 m จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์พบว่า ในกรณีของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้ง CLOHP ขนาดความยาวรวมเท่ากับ 20 m นั้น เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 2200 rpm ทำให้แรงบิด



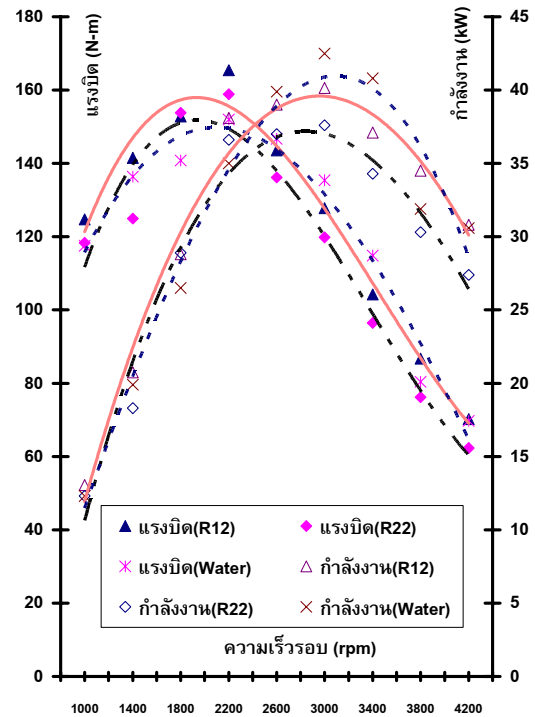
รูปที่ 6 แสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้ง CLOHP ขนาดความยาวรวมต่างๆ

เพิ่มขึ้นจาก 124.7 N-m ถึง 165.4 N-m หลังจากนั้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 2200 rpm ถึง 4200 rpm แรงบิดจะมีค่าลดลงจาก 165.4 N-m ถึง 70.2 N-m เมื่อพิจารณากำลังงานของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้ง CLOHP ขนาดความยาวรวมเท่ากับ 20 m จะเห็นว่าเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 3000 rpm ทำให้กำลังงานเพิ่มขึ้นจาก 13.1 kW ถึง 40.2 kW หลังจากนั้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 3000 rpm ถึง 4200 rpm กำลังงานจะมีค่าลดลงจาก 40.2 kW ถึง 30.8 kW

สรุปได้ว่าความยาวรวมของ CLOHP เท่ากับ 20 m ทำให้แรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวรวม 18 25 และ 30 m คือ 165.4 N-m และ 40.2 kW ตามลำดับ

4.4 ผลของสารทำงานที่มีต่อแรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ท

ในการทดลองนั้นได้ทำการแปรสารทำงานที่ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงสุดคือ R12 R22 และ น้ำ จากผลการทดลองดังแสดง



รูปที่ 7 แสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทที่ใช้สารทำงาน R12 R22 และ น้ำ

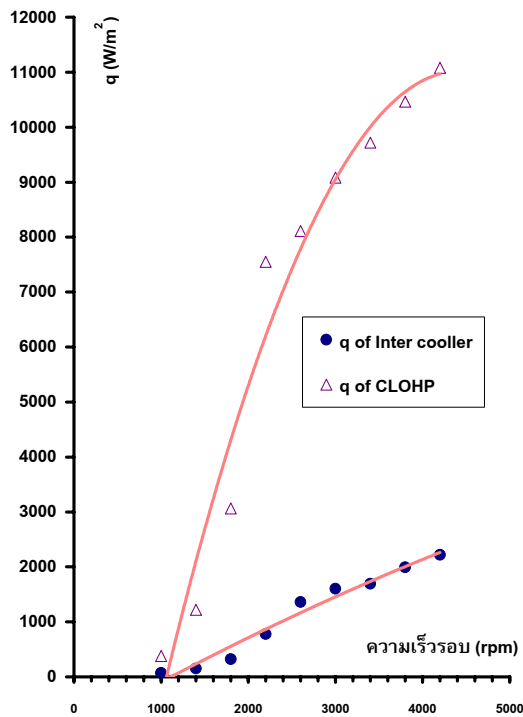
ในรูปที่ 7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์พบว่าในกรณีของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้ง CLOHP ที่ใช้สารทำงาน R12 มีค่าแรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์สูงกว่าสารทำงานที่เป็นน้ำ และ R22

4.5 ผลของการระบายความร้อนของอากาศอัดด้วย CLOHP และ อินเตอร์คูลเลอร์ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ท

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่การระบายความร้อนของ CLOHP และ อินเตอร์คูลเลอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ท ในกรณีของการใช้ CLOHP ในการระบายความร้อนให้กับอากาศอัดของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทพบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 4200 rpm ทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 377 W/m² ถึง 11078 W/m² แต่ในกรณีของการใช้อินเตอร์คูลเลอร์พบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจาก 1000 rpm ถึง 4200 rpm ทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 70 W/m² ถึง 2222 W/m² จะเห็นว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่การระบายความร้อนของ CLOHP สูงกว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่การระบายความร้อนของอินเตอร์คูลเลอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทเท่ากับ 6.7 เท่า โดยเฉลี่ย

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดและกำลังงานต่อพื้นที่การระบายความร้อนของ CLOHP และอินเตอร์คูลเลอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ท พบว่าค่าแรงบิดและกำลัง

งานต่อพื้นที่การระบายความร้อนของ CLOHP สูงกว่าค่าแรงบิดและกำลังงานต่อพื้นที่การระบายความร้อนของอินเตอร์คูลเลอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทเท่ากับ 9.2 และ 9.2 เท้า โดยเฉลี่ย



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่การระบายความร้อน

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 การติดตั้งอินเตอร์คูลเลอร์ทำให้แรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทเพิ่มขึ้น 13.3 และ 13 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยตามลำดับ

5.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ CLOHP เพิ่มขึ้นจาก 1.778 mm เป็น 2.032 mm ทำให้แรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทเพิ่มขึ้น 2.4 และ 4.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

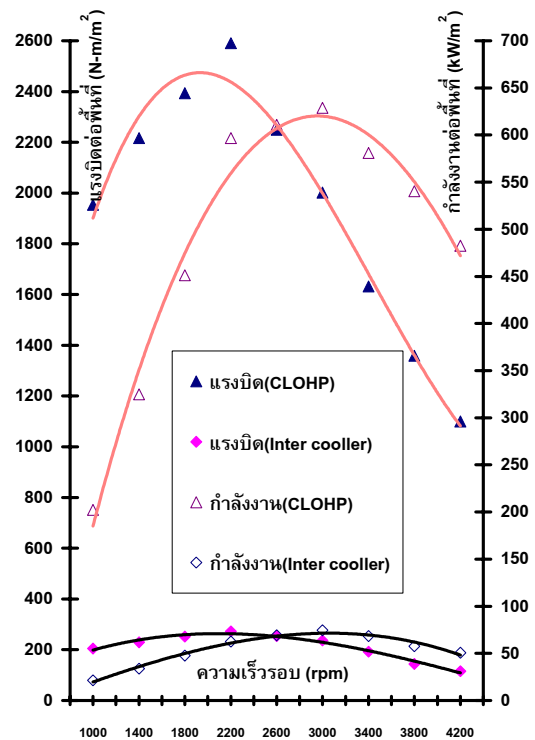
5.3 ความยาวรวมของ CLOHP เท่ากับ 20 m ทำให้แรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวรวม 18 25 และ 30 m คือ 165.4 N-m และ 40.2 kW ตามลำดับ

5.4 เครื่องยนต์เทอร์โบชาร์ทที่มีการติดตั้ง CLOHP ที่ใช้สารทำงาน R12 และ R 22 มีค่าแรงบิดและกำลังงานของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่าสารทำงานที่เป็นน้ำ โดยมีสาเหตุอาจเนื่องมาจากค่าแรงตึงผิวของสารทำงาน

5.5 อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่การระบายความร้อนของ CLOHP สูงกว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่การระบายความร้อนของอินเตอร์คูลเลอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทเท่ากับ 6.7 เท้า

5.6 ค่าแรงบิดและกำลังงานต่อพื้นที่การระบายความร้อนของ CLOHP สูงกว่าค่าแรงบิดและกำลังงานต่อพื้นที่การระบายความร้อนของอินเตอร์คูลเลอร์ของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทเท่ากับ 9.2 และ 9.2 เท้า ตามลำดับ

CLOHP สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับการระบายความร้อนให้กับอากาศอัดก่อนเข้ากระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทได้ดีมาก ซึ่งจะได้มีการนำไปพัฒนาทดสอบกับรถยนต์ในอนาคตอันใกล้



รูปที่ 9 แสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเทอร์โบชาร์ทที่ใช้CLOHP และอินเตอร์คูลเลอร์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคพายัพที่การสนับสนุนเงินทุน

7. สัญลักษณ์

d = เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

σ = แรงตึงผิวของสารทำงาน (N/m)

ρ = ความหนาแน่นของสารทำงาน (kg/m³)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s²)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยยุทธ สุวรรณประทีป, "เทอร์โบและระบบน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด", กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, ปี พ.ศ. 2541
- [2] ณรงค์ วาวแว ววิวัฒน์ ภัททิยชนิ ดนัย หมั่นทรัพย์ และ ประดิษฐ์ เทอดทูล, " การประยุกต์ใช้งานของท่อความร้อนแบบสันแบบวงรอบในการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเทอร์โบชาร์ท" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, ปี พ.ศ. 2546, หน้า 200 - 205

- [3] H. Akachi, F. Polasek, and Stule, "Pulsating Heat Pipe", Procs. of the 5th International Heat Pipe Symposium, Melbourne, Australia, Nov., 1996
- [4] R. T. Dobson, and T.M. Harms, "Lumped Parameter Analysis of Closed and Open Oscillatory Heat Pipes", Procs. Of the 11th International Heat Pipe Conference, Tokyo, Japan, 1999
- [5] K.Y. Gi, F. Sato, and S. Maezawa, "Flow Visualization Experimental on Oscilating Heat Pipe", Procs. of the 11th International Heat Pipe Conference, Tokyo, Japan, 1999
- [6] K.Y. Gi, and S. Maezawa, "CPU Cooling of Notebook PC by Oscillating Heat Pipe", Procs. of the 11th International Heat Pipe Conference, Tokyo, Japan, 1999
- [7] S. Maezawa, K.Y. Gi, A. Minamisawa, and H. Akachi, "Thermal Performance of Capillary Tube Thermosyphon", Procs. of the IX International Heat Pipe Conference, Albuquerque, New Mexico vol. II, May. 1996