

การออกแบบและพัฒนาแคร้งชาร์ฟและแคมชาร์ฟอิลเลทรอนิกส์ของเครื่องยนต์ปั๊ม Design and Development Electronic Crankshaft and Camshaft of an Engine Pump

เจตนากร ศรีทอง และ ปิโยรส จิระวัฒนา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002
โทรศัพท์ +066-43-244296, โทรสาร +66-43-245878, E-mail: cb400kku@hotmail.com, piyoro@kku.ac.th

Jettanakorn Sritong and Piyoros Jirawattana

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kean University, Khon Kean, 40002, Thailand.,
Tel: +66-43-244296, Fax: +66-43-245878, E-mail: cb400kku@hotmail.com, piyoro@kku.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้คือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการออกแบบสร้างชุดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลลูกสูบอิสระ 2 จังหวะ เพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะทางพลศาสตร์ เพื่อให้สามารถควบคุมอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ได้ ซึ่งการศึกษาดังกล่าวจะรวมถึงการควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกสูบทั้งในสภาวะไม่คงตัวและสภาวะคงตัว การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้โดยโดยพิจารณาให้เครื่องยนต์มีลักษณะสมมูลกับระบบ มวล สปริง แดมเปอร์ โดยในชุดทดสอบนั้นจะให้แรงดันอากาศแทนกระบวนการจุดระเบิดและการดันกลับ ผลที่ได้ทำให้ทราบถึงลักษณะการทำงานโดยรวมของเครื่องยนต์เพื่อนำไปพัฒนาต่อไปในอนาคต

Abstract

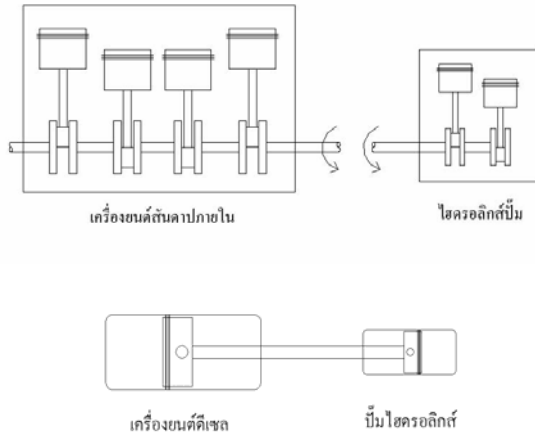
The objective of this work is to model a 2-stroke free piston diesel engine-pump, and to design and fabricate a testing level engine. Dynamic characteristics of an engine have been analyzed for controlling the piston position. The study also includes controller design for compression ratio at steady and unsteady conditions. The engine can be considered as a mass-spring-damper system. Combustion and rebound process in the engine was simulated by high pressure air controlled by solenoid valve. Overall characteristics of the engine would consider developing a further study.

บทนำ

จากปริมาณของน้ำมันดิบธรรมชาติมีอยู่อย่างจำกัด แต่มีปริมาณการใช้มากขึ้นทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนพลังงานและปัญหาด้านมลภาวะ ทำให้เกิดความพยายามที่จะหาพลังงานทดแทนตลอดจนการพัฒนาเครื่องจักรกลต่าง ๆ ให้แปรูปพลังงานอย่างสูงที่สุด

โดยทั่วไปพลังงานไฮดรอลิกส์ที่ใช้ในเครื่องจักรกลทางการเกษตรและงานก่อสร้างที่ได้มาจากปั๊มลูกสูบที่ขับเคลื่อนโดยเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบชัก จะเห็นได้ว่าพลังงานที่ได้จากการสันดาปของน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้ลูกสูบของเครื่องยนต์เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง จากนั้นแรงจะถูกส่งผ่านก้านสูบผ่านมาที่เพลาลูกเบี้ยวทำให้เพลาลูกเบี้ยวหมุนทำให้เกิดเป็นแรงบิดที่เพลาลูกเบี้ยว เพลาลูกเบี้ยวจะต่อกับเพลาลูกเบี้ยวไฮดรอลิกส์ปั๊ม เพื่อขับเคลื่อนลูกสูบของปั๊มเพื่อให้ได้พลังงานไฮดรอลิกส์ออกมา จะเห็นได้ว่าในการทำงานแรงจะถูกส่งผ่านขึ้นส่วนเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการสูญเสีย และประสิทธิภาพของระบบต่ำลง โดยปกติเครื่องยนต์ดีเซลจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดไม่เกิน 28 % รวมกับประสิทธิภาพโดยรวม (overall efficiency) ของปั๊มไฮดรอลิกส์ 90% จึงให้ประสิทธิภาพการแปรูปพลังงานโดยรวมไม่เกิน 25 % การพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยการลดชิ้นส่วนการทำงานลงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เครื่องยนต์ลูกสูบอิสระจึงเป็นการรวมเอาการทำงานทั้งสองเข้าไว้ด้วยกัน เมื่อเกิดการสันดาปพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปขับเคลื่อนลูกสูบ และทำหน้าที่เป็นไฮดรอลิกส์ปั๊มโดยตรง จากการศึกษาของ Achen แห่ง Innas [4] พบว่าเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระสามารถออกแบบให้มีประสิทธิภาพโดยรวมถึง 38 %

เครื่องยนต์ลูกสูบอิสระจะช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ของรถใช้ในที่ใช้งานก่อสร้างหรือในการเกษตรที่ใช้ระบบส่งกำลังอุทกสถิตย (Hydrostatic transmission) อย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะลดลงหากไม่ทำงานที่ความเร็วเหมาะสม (optimum speed) จึงจำเป็นต้องใช้ร่วมกับ transformer และ accumulator ซึ่งทำให้เทอะทะและมีราคาแพง และ การใช้ accumulator ก็เหมือนกับใช้วาล์วลดความดันทำให้สูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์



รูปที่ 1 เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องยนต์ 2 ชนิด

การไม่มีก้านสูบมีข้อดีคือ :

1. ช่วยลดแรงต้านทาน (thrust load) ระหว่างลูกสูบและตัวกระบอกสูบ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะใช้การหล่อลิ้นโดยแก๊ซ
2. เครื่องยนต์สามารถทำงานและหยุดได้ เพราะไม่ต้องการแรงเฉื่อยจากการหมุน
3. การไม่มีกลไกของ crankshaft และ connecting rod ทำให้สามารถออกแบบเครื่องยนต์ variable compression ratio ได้ง่าย (เมื่อเปรียบเทียบกับ connectional ICE ซึ่งกำลังพัฒนาโดย Saab)

ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพเครื่องยนต์คือ อัตราส่วนการอัด การไม่มีอุปกรณ์ทางกลควบคุมตำแหน่งของลูกสูบทำให้เครื่องยนต์มีลักษณะสมมูลกับระบบมวล สปริง และตัวหน่วง ทำให้ลักษณะทางพลศาสตร์ของลูกสูบสามารถควบคุมได้โดย spring stiffness effective และ damping effective ของระบบวาล์วควบคุม ดังนั้นการออกแบบระบบวาล์วที่เหมาะสมจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ความเร็วต่าง ๆ และสามารถใช้งานได้ดีสำหรับช่วงคุณสมบัติของน้ำมันที่กว้าง

พลศาสตร์ของลูกสูบ

เครื่องยนต์ลูกสูบอิสระคือเครื่องยนต์ที่นำเอางานจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบมาใช้โดยตรงโดยไม่ต้องเปลี่ยนทิศทางของการเคลื่อนที่ไปเป็นแบบหมุน ลูกสูบของเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระจะมีเพลาลูกสูบกับลูกสูบ

ของปั๊มไฮดรอลิกส์ แรงที่ได้จากการจุดระเบิดจะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง แรงนั้นจะถูกส่งไปยังลูกสูบของปั๊มไฮดรอลิกส์โดยตรงเพื่อสร้างความดันไฮดรอลิกส์ออกมาใช้งาน เนื่องจากเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระไม่มีเพลาลูกสูบเหมือนเครื่องยนต์โดยทั่วไป อัตราส่วนการอัด (Compression ratio, r_c) จึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้น การทำงานของเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระแบบ Single Piston ลูกสูบใหญ่ทางซ้ายจะเป็นลูกสูบ Combustion ส่วนลูกสูบเล็กทางขวาจะเป็นปั๊มไฮดรอลิกส์ การทำงานของ Single Piston จะเริ่มที่ขั้นตอนการจุดระเบิด แรงจากการระเบิดและการขยายตัวของอากาศจะถูกส่งไปยังลูกสูบของปั๊มโดยเพลาลูกสูบ น้ำมันไฮดรอลิกส์จะถูกอัดเข้าไปเก็บในถังความดัน เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนลูกสูบจะอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง ต่อจากนั้นจะต้องมีแรงที่จะมาดันลูกสูบกลับ (ขั้นตอนการอัดอากาศ) เพื่อให้การทำงานครบวัฏจักร ซึ่งแรงดังกล่าวจะใช้จากแรงดันไฮดรอลิกส์ การควบคุมระยะการเคลื่อนที่สามารถทำได้โดยควบคุมแรงดันไฮดรอลิกส์ที่ใส่เข้าไปซึ่งจะสังเกตได้ว่าการเคลื่อนที่ของชุดลูกสูบและก้านสูบจะเป็นอิสระโดยจะทำงานคล้ายคลึงกับระบบ mass spring damper ซึ่งจะแตกต่างจากในเครื่องยนต์ธรรมดาที่มีเพลาลูกสูบมาบังคับการเคลื่อนที่

ลูกสูบของเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระจะทำหน้าที่ในการอัดน้ำมันไฮดรอลิกส์ออกไปที่ด้านความดันสูงโดยตรงดังนั้นการออกแบบจึงใช้หลักการของเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากให้แรงอัดได้สูงกว่า โดยที่แบบ 2 จังหวะจะมีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์อิสระมากกว่า

เครื่องยนต์ลูกสูบอิสระนั้นจะไม่มีกลไกในการควบคุมตำแหน่งเช่นในเครื่องยนต์ปกติ ดังนั้นการจัด ความเร็ว และความเร่งของลูกสูบจึงขึ้นอยู่กับแรงที่เกิดจากการจุดระเบิด หรือแรงจากถังเก็บความดันในขบวนการ rebound จากลักษณะทางจลนศาสตร์ และการใช้ล้อตุ่นกำลังทำให้ปริมาณทางจลนศาสตร์เหล่านี้มีลักษณะเป็น sinusoidal ตลอดการเคลื่อนที่จาก TDC ถึง BDC เครื่องยนต์ปกติจึงมีประสิทธิภาพในการเก็บพลังงานศักย์ไว้เพื่อใช้ในจังหวะคายได้ดีกว่า (สำหรับแบบ 4 จังหวะเพื่อการสันดาปที่มีประสิทธิภาพมากกว่า) การนำพลังงานจากถังสำรองความดันกลับมาใช้ของเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระเพื่อไล่อากาศเสีย

อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระแบบสองจังหวะสามารถออกแบบสามารถออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการสันดาปที่ดีด้วยเหตุที่ลูกสูบสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังจะได้อธิบายต่อไป

ดังที่ได้แสดงในส่วนของการจำลองทางคณิตศาสตร์ เครื่องยนต์ลูกสูบอิสระนั้นจะมีความเร็ว และความเร่งที่ตำแหน่งใกล้ TDC สูงกว่าเครื่องยนต์ปกติ โดยเฉพาะความเร่งนั้นจะสูงกว่ามาก เนื่องจากแรงระเบิดที่เกิดขึ้นในจังหวะกำลัง และความดันจากถังเก็บความดันในจังหวะอัด การที่ลูกสูบมีความเร็วสูงทำให้เกิดแก๊สผสมกันได้ดีกว่าทำให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์กว่า ประหยัดน้ำมันกว่า และการที่ลูกสูบมีความเร็วสูงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

F_c คือแรงต้านจากการอัดอากาศในห้องเผาไหม้

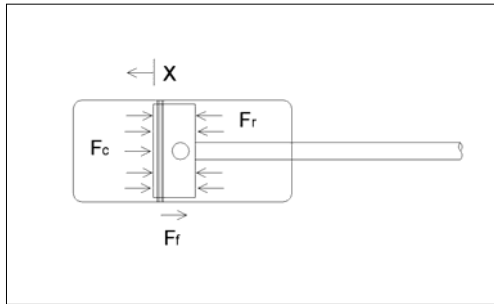
F_r คือแรงจากถังความดันใช้ในการดันลูกสูบกลับ

F_f คือแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ

F_h คือภาระไฮดรอลิกที่กำหนดให้เป็นความดันคงที่
 F_v คือแรงต้านเนื่องจากความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น
 X คือระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ
 l คือช่วงชักทั้งหมดของลูกสูบ
 A คือพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตันสมการสมดุลแรงทั้งสองด้าน

$$\sum F = ma \quad (1)$$



รูปที่ 2 แรงที่กระทำบนลูกสูบ

ในการหาสมการจะกำหนดให้ลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่ง BDC แรงที่ได้จากความดันอากาศ (F_r) จะกระทำที่ด้านซ้ายในรูปที่ 2 แรงที่ต้านการเคลื่อนที่จะมีอยู่ 4 ตัวคือแรงจากการอัดอากาศ (F_c), แรงจากภาระไฮดรอลิกที่กำหนดให้เป็นความดันคงที่ (F_h), แรงต้านเนื่องจากความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (F_v), และแรงเสียดทานระหว่างลูกสูบกับผนังกระบอกสูบ (F_f), ซึ่งกำหนดให้คงที่ตลอดการทำงานและจะนำค่าจากการทดลองมาปรับแก้ให้แม่นยำในภายหลัง เมื่อแทนค่าทั้งหมดลงในสมการ (1)

$$F_r - F_h - F_c - F_v - F_f = ma \quad (2)$$

จัดรูปสมการใหม่

$$ma + F_v + F_c = F_r - F_h - F_f \quad (3)$$

แทนค่าสมการโดยให้สมการทางด้านขวาอยู่ในรูป ($F(t)$)

$$m \ddot{x} + \frac{\eta A_p}{h} \dot{x} + \left(1.4 A P_1 X_1^{1.4} (l - x)^{-2.4}\right) x = F(t) \quad (4)$$

P_1 คือค่าความดันเริ่มต้นภายในห้องเผาไหม้ซึ่งกำหนดให้เท่ากับความดันบรรยากาศ

X_1 คือระยะเริ่มต้นของลูกสูบก่อนที่จะถูกอัดโดยหาได้จากปริมาตรเริ่มต้นหารด้วยพื้นที่หน้าตัด

จากสมการที่ (1.4) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการ มวล สปริง แดมเปอร์ ได้

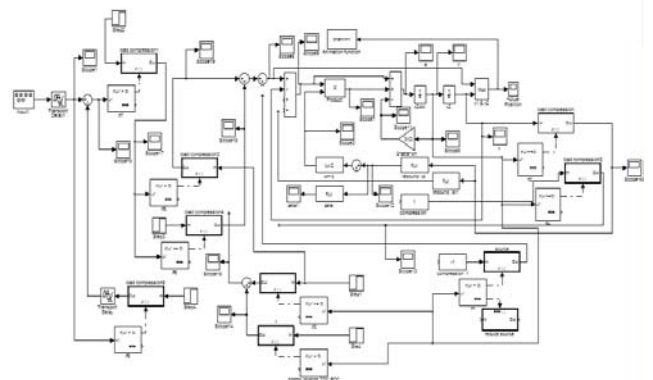
$$m \ddot{x} + C \dot{x} + Kx = F(t) \quad (1.5)$$

$$\text{เมื่อ } C = \frac{\eta A_p}{h}$$

$$K = 1.4 A P_1 X_1^{1.4} x^{-2.4}$$

จากสมการ มวล สปริง แดมเปอร์ จะเห็นได้ว่าอากาศจะทำหน้าที่เป็นสปริงต้านการเคลื่อนที่ของลูกสูบและค่าคงที่ของสปริง (K) จะเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลูกสูบ ค่า K จะส่งผลให้สมบัติของระบบไม่คงที่ด้วยทำให้เป็นการยากในการหา input ที่มีความถี่เท่ากับระบบ ความถี่ของ input ที่ตำแหน่งเข้าใกล้ TDC ค่า K จะสูงขึ้นมาก และจะเป็น infinity ที่ตำแหน่ง TDC ทำให้ค่าความถี่ธรรมชาติมีค่า infinity ส่งผลให้ลูกสูบหยุดโดยตัวเอง

จากสมการที่ได้นำไปทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรม MATLAB โดยฟังก์ชัน SIMULINK ทำให้ทราบถึงลักษณะทางพลศาสตร์ของลูกสูบ รูปที่ 3 เป็นกราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของลูกสูบระหว่างเครื่องยนต์ธรรมดา (CE) และเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระ (FPE) ที่ 1 รอบการทำงาน

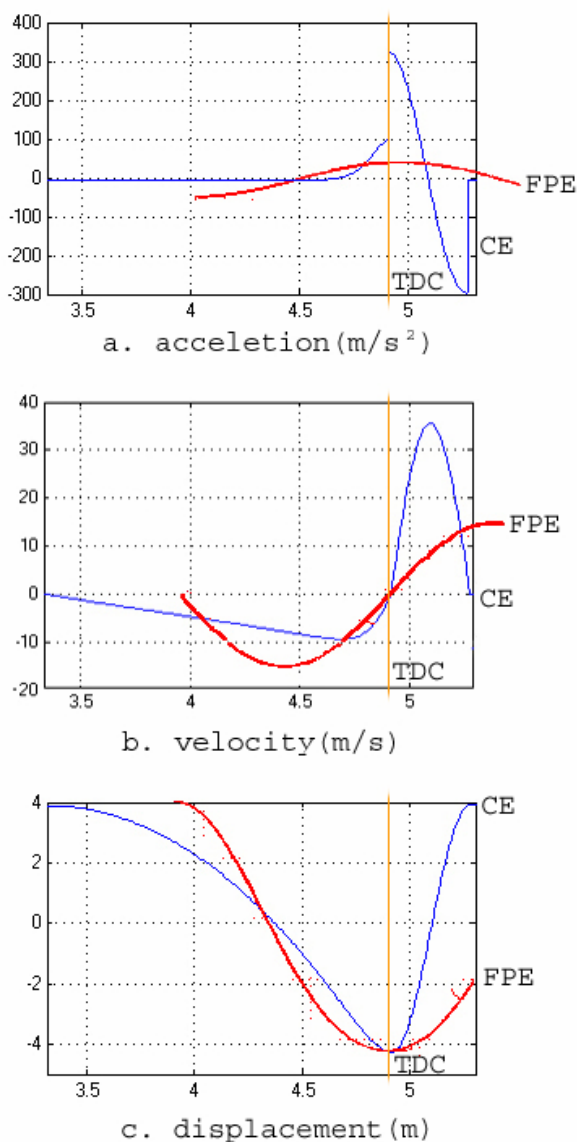


รูปที่ 3 แบบจำลองเครื่องยนต์ สร้างในโปรแกรม MATLAB

จากรูปที่ 4 จะเห็นถึงความแตกต่างของลักษณะทางพลศาสตร์ของลูกสูบระหว่างเครื่องยนต์ธรรมดาและเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระ โดยเฉพาะในจังหวะการขยายตัวความเร็วของเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระจะมีค่าสูงกว่าของเครื่องยนต์ธรรมดา ความแตกต่างที่สำคัญที่สุดคือที่ใกล้กับศูนย์ตายบนในจังหวะการจุดระเบิด ความเร่ง ความเร็ว และระยะการเคลื่อนที่ที่จะขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำกับลูกสูบ ในจังหวะการจุดระเบิดความดันส่งผลให้ความเร่งของเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระจะมีค่ามากที่สุดที่จุดใกล้กับศูนย์ตายบนกว่าเครื่องยนต์ธรรมดาถึง 7 เท่า

ความแตกต่างนี้แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียแรงของเครื่องยนต์ ในเครื่องยนต์ธรรมดาแรงจากการจุดระเบิดจะถูกส่งผ่านจากลูกสูบไปยัง

ก้านสูบและจะถูกส่งไปยังเพลาลูกเบี้ยวซึ่งนอกจากส่งกำลังแล้วยังมีหน้าที่เป็นแรงเฉื่อยดันลูกสูบกลับในจังหวะอัดจึงจำเป็นที่จะต้องมีน้ำหนักมาก แรงบางส่วนยังถูกส่งขึ้นไปขับเคลื่อนเพลาลูกเบี้ยวซึ่งทำหน้าที่เปิดวาล์ว และยังสูญเสียกับแรงเสียดทานของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวนับเป็นจำนวนมาก เมื่อรวมน้ำหนักของทุกชิ้นที่เคลื่อนไหวนอกจากการจุดระเบิดต้องทำให้มวลที่มากกว่าเคลื่อนที่และรวมกับแรงเสียดทานที่สูญเสียทำให้แรงจากการจุดระเบิดเท่ากันทำให้เครื่องยนต์ลูกสู่อิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร่งที่มากกว่าเนื่องจากมีมวลที่น้อยกว่าและยังใช้ไฟฟ้าในการเปิด - ปิดวาล์ว จากรูปที่ 3 ความเร่งของลูกสูบที่ตำแหน่ง TDC มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ธรรมดาถึง 7 เท่า แสดงว่าเครื่องยนต์ลูกสู่อิสระสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานได้ดีกว่าเครื่องยนต์ธรรมดา



รูปที่ 4 ลักษณะทางพลศาสตร์ของลูกสูบเทียบกับเวลา(sec)

การออกแบบเครื่องยนต์ทดสอบ

วัตถุประสงค์การสร้างชุดทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ยังไม่ทราบค่าต่าง ๆ เช่น แรงเสียดทาน สมบัติความหน่วง เพื่อนำค่าต่าง ๆ ที่ได้มาทำการปรับปรุงแบบจำลองให้ถูกต้องแม่นยำขึ้น

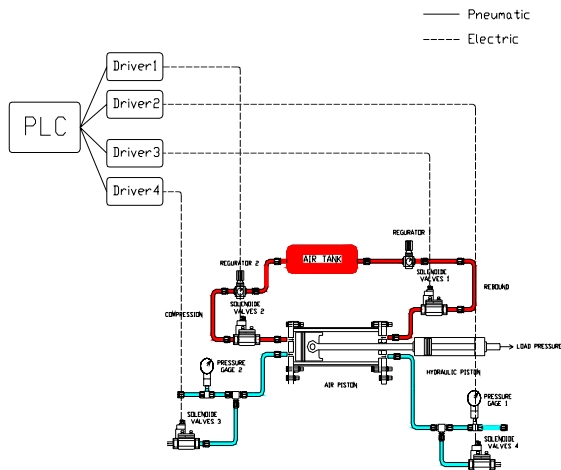
ตำแหน่งที่ลูกสูบหยุดที่ศูนย์ตายบนคือตำแหน่งที่มีอัตราส่วนการอัดสูงสุดซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ ปัจจัยสำคัญในการควบคุมกำลังอัด คือความสมดุลของแรงที่เกิดจากความดันของอากาศที่ถูกอัดจนกระทั่งถึงศูนย์ตายบนกับแรงที่เกิดจากความดันในห้องดันกลับของลูกสูบควบคุม มีสองวิธีที่อาจใช้ในการควบคุมความดันในห้อง rebound คือ

1. ใช้ pressure control servo valve
2. ใช้ solenoid เปิดปิดควบคุมปริมาณอากาศจากเครื่องอัดอากาศ

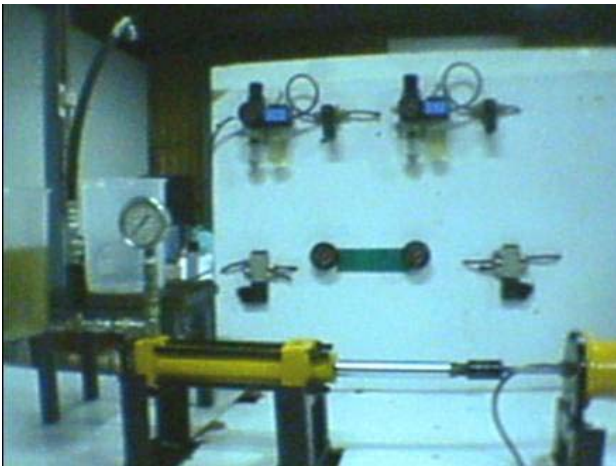
วิธีแรก pressure feedback จะทำหน้าที่ในการกำหนดอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ เนื่องจากของไหลทำงานคือน้ำมันไฮดรอลิกส์ การควบคุมด้วยวิธีนี้จึงให้การตอบสนองที่รวดเร็วกว่า เนื่องจาก stiffness ของน้ำมัน ลดผลของความเฉื่อยของอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ตลอดจนการตอบสนองแบบ transient เมื่อลูกสูบหยุดที่ศูนย์ตายบนหรือล่าง อย่างไรก็ตาม servo valve และ servo controller นี้มีราคาแพงจึงใช้วิธีที่สองเป็นหลักในการออกแบบ

ในการทำงานของชุดทดสอบเครื่องยนต์บีบจะใช้แรงดันอากาศในถังความดันทำหน้าที่แทนแรงดันจากการจุดระเบิด และใช้อากาศจากแหล่งเดียวกันในการดันกลับโดยมีวาล์วปรับความดัน (regulator) ควบคุมแรงดันในจังหวะจุดระเบิดและจังหวะย้อนกลับจากรูปส่วนสีแดงเป็นความดันสูงจากถังความดันและส่วนสีฟ้าเป็นความดันต่ำ วาล์วปรับความดัน 1,2 (regulator 1,2) ทำหน้าที่ปรับความดันที่ใช้ในกระบวนการย้อนกลับและกระบวนการจุดระเบิด solenoid valve 1,2,3,4 ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของอากาศโดยจะถูกควบคุมโดยโปรแกรม PLC ซึ่งสามารถควบคุมเวลาการเปิดปิดวาล์วได้ pressure gage 1,2 ทำหน้าที่วัดความดันภายในกระบอกสูบ ในการทำงานเริ่มต้นลูกสูบจะหยุดอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง ปรับความดัน regulator 1 เพื่อควบคุมความดันในกระบวนการดันกลับ เปิด solenoid valve 1 ในขณะที่ solenoid valve 2,3,4 ปิด ลูกสูบจะเคลื่อนที่ไปที่ศูนย์ตายบน solenoid valve 1 จะปิดก่อนถึงศูนย์ตายบนเพื่อลดความเร็วของลูกสูบเมื่อถึงศูนย์ตายบน solenoid valve 2,4

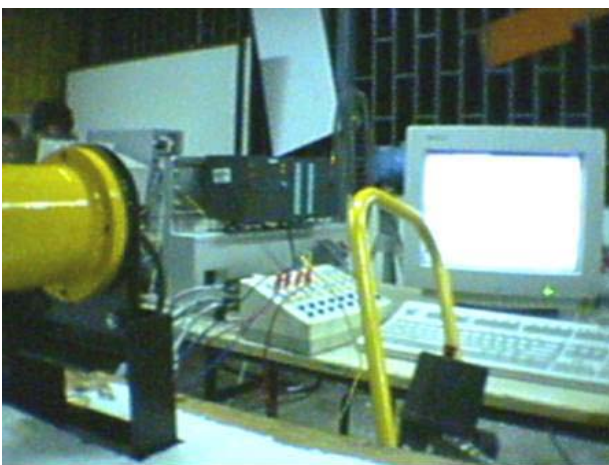
เปิดในขณะที่ solenoid valve 1,3 ปิด เพื่อจำลองการจุดระเบิดโดย solenoid valve 2 จะปิดก่อนถึงศูนย์ตายล่าง เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้ถึงศูนย์ตายล่าง solenoid valve 3 จะเปิดเพื่อปรับความดันในห้องอัดอากาศให้เท่ากับความดันบรรยากาศและจะปิดเมื่อถึงศูนย์ตายล่างและจะเริ่มในจังหวะดันกลับต่อ



รูปที่ 5 โครงสร้างชุดทดสอบ



รูปที่ 6 เครื่องยนต์ทดสอบ



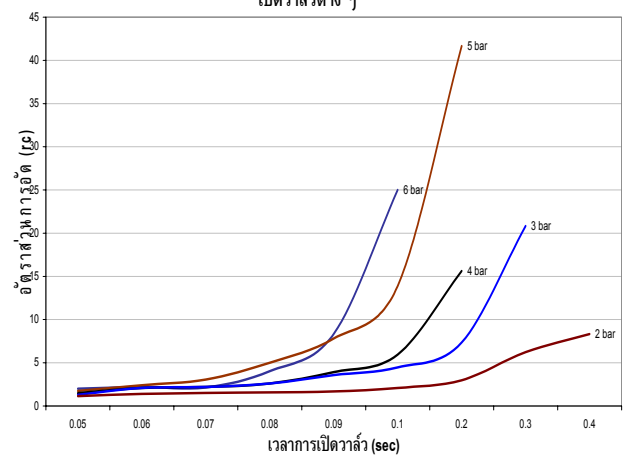
รูปที่ 7 เครื่องควบคุมการเปิดวาล์ว (PLC)

การทดลอง

จุดประสงค์การทำการทดลองคือเพื่อทราบระยะเวลาการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่เวลาการเปิดวาล์วต่างๆ ของแต่ละความดัน และนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมเพื่อหาความผิดพลาดและนำไปปรับแก้ค่าคงที่ต่างๆ ที่กำหนดขึ้น

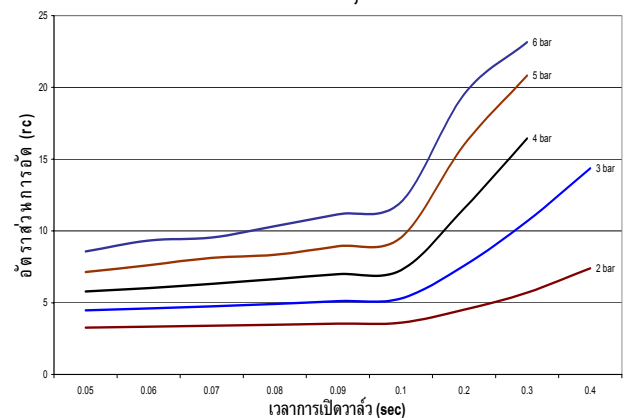
ในการทดลองจะทำการวัดระยะเวลาการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่เวลาการเปิดวาล์วและความดันต่าง ๆ กัน เวลาที่ใช้ในการเปิดวาล์วจะอยู่ระหว่าง 0.05 – 0.4 วินาที ความดันที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 2 – 6 bar จากระยะเวลาการเคลื่อนที่นำมาคำนวณหาอัตราส่วนการอัดซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 7 ส่วนในรูปที่ 8 จะแสดงผลที่ได้จากแบบจำลอง

กราฟอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ทดสอบที่ความดันและเวลาการเปิดวาล์วต่าง ๆ

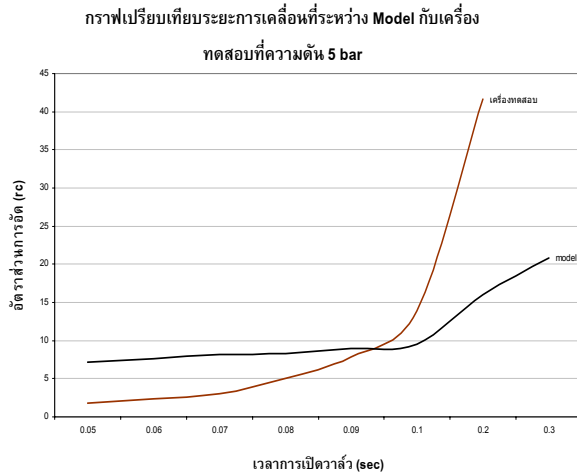


รูปที่ 8 แสดงอัตราส่วนการอัดของลูกสูบเครื่องยนต์ชุดทดสอบที่ความดันและเวลาการเปิดวาล์วต่าง ๆ

กราฟแสดงอัตราส่วนการอัดจากโปรแกรม MATLAB ที่ความดันและเวลาการเปิดวาล์วต่าง ๆ



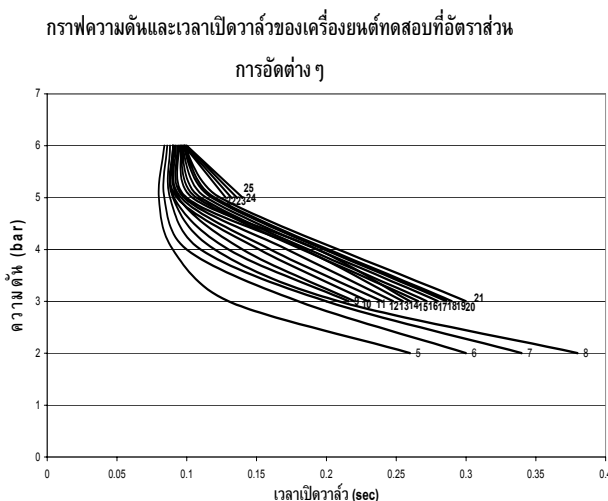
รูปที่ 9 แสดงอัตราส่วนการอัดของลูกสูบในแบบจำลองที่ความดันและเวลาการเปิดวาล์วต่าง ๆ



รูปที่ 10 เปรียบเทียบระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบเครื่องยนต์ชุดทดสอบกับแบบจำลองที่ความดัน 5 bar และเวลาการเปิดวาล์วต่าง ๆ

จากรูปที่ 10 เป็นการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ความดัน 5 bar ของแบบจำลองและชุดทดสอบ สังเกตได้ว่ามีลักษณะต่างกัน ผลที่ทำให้ค่าออกมาต่างกันนั้นมีหลายตัวแปรซึ่งจะต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อหาคำมาปรับแก้ในแบบจำลองต่อไปในอนาคต

จากรูปที่ 11 สามารถควบคุมอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ได้ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟใหม่ ให้แต่ละเส้นแทนด้วยอัตราส่วนการอัดโดยเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งจากอัตราส่วนการอัด 5 ถึง 25



รูปที่ 11 แสดงที่ความดันและเวลาการเปิดวาล์วต่าง ๆ ที่อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ทดสอบ

สรุป

งานวิจัยได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการควบคุมอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระโดยการควบคุมปริมาณอากาศที่ปล่อยเข้าไปยังกระบอกสูบในขบวนการดันกลับ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นได้แสดงให้เห็นความแตกต่างของลักษณะ

ทางพลศาสตร์ระหว่างเครื่องยนต์ที่มีก้านสูบและเครื่องยนต์ลูกสูบอิสระ ลูกสูบอิสระจะมีความเร็วและความเร่งที่สูงกว่า ทำให้การผสมของไอน้ำมันกับอากาศดีกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของการสันดาปดีขึ้นและช่วยลดมลภาวะ ชุดทดสอบระดับห้องปฏิบัติการที่สร้างขึ้นเพื่อได้ใช้เพื่อทดลองหาค่าคงที่ต่าง ๆ ตลอดจนแสดงถึงการทำงานโดยรวมของระบบที่ควบคุมโดย PLC

ข้อเสนอแนะ

ยังมีงานวิจัยอีกหลายประเด็นที่จำเป็นจะต้องศึกษาก่อนที่เครื่องยนต์ลูกสูบอิสระจะสามารถใช้งานอย่างน่าเชื่อถือได้ เทคนิคในการควบคุมอัตราส่วนกำลังอัดทั้งที่สภาวะคงตัวและสภาวะไม่คงตัวจะต้องมีการพัฒนาต่อไป วาล์วเปิด-ปิดจำเป็นต้องมีการพัฒนาให้ทำงานได้เร็วขึ้นเนื่องจากความเร็วของวาล์วทำให้คาบการทำงานของเครื่องยนต์มีขีดจำกัด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนทุนและสถานที่ในการวิจัย

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Constant Pressure Engines, Inc, <http://www.constant-pressure.com/Home.htm> , Lakeland, Florida , April 2-8, 2003.
2. Arshad W. M., Bäckström T., and Sadarangani C., Evaluation of different electrical machine possibilities for an integrated free-piston generator, Approved for presentation at the 19th Electrical Vehicle Symposium (EVS), Korea, October 2002.
3. Tor A. Johansen , Olav Egeland , Erling Aa. Lohannessen and Rolf Kvamsdal , *Free-Piston Diesel Engine Dynamics and Control* , Postboks 169 , N-1325 Lysaker , Sci. Tech. , N-7491 Trondheim , Norway , 2001
4. Peter A. J. Achten, Johan P.J. van den Oever, Jeroen Potma, and Georges E. M. Vael, *Design of a hydraulic free-piston engine*, <http://www.digitalcar.sae.org/ohmag/features/freepiston/index.htm> , Innas BV , 2000 ,
5. Professor pro tem Martti Larmi , Pulse Two - Performance of a Hydraulic Free Piston Engine , Research Projects , Helsinki University of Technology Internal Combustion Engine Laboratory , http://www.hut.fi/Yksikot/Moottori/M/research/Pulse_Two.html , 1999

6. F.J. Fronczak and N.H. Beachley , Pump/Motor Displacement Control Using High-Speed On/Off Valves , SAE Paper 15096-0001. U.S.A. , 1998
7. P. A. J. Achten, "A review of free piston engine concepts" , in SAE Paper 941776, 1994
8. W.J. Thayer , Transfer Functions For MOOG Servovalves , Technical Bulletin 108 , December 1958 , Rev. January 1965
9. V GANESAN , Internal Combustion Engine , ISBN 0-07-462122-X , McGraw-Hill 1999
10. บุญสร้าง ดีเรกสตาพร , Automatic Control , ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น