

การวิเคราะห์ความดันและอุณหภูมิเฉลี่ยในเครื่องยนต์ HCCI ในช่วง NVO ด้วยโปรแกรม KIVA

An Analysis of Average Pressure and Temperature of an HCCI Engine During NVO Using KIVA

กรุณาภรณ์ สมโน* และ พงศาต มีคุณสมบัติ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

*Email: karunapron@gmail.com

บทคัดย่อ : เครื่องยนต์ที่ใช้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันและจุดระเบิดด้วยการอัด (HCCI) ทำงานโดยการผสมอากาศและเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ แล้วอัดส่วนผสมให้เกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองพร้อมกันในหลายตำแหน่งภายในห้องเผาไหม้ ทำให้ช่วงเวลากการเผาไหม้สั้น สารมลพิษมีปริมาณต่ำ และสามารถเผาไหม้ได้ในอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงที่เจือจางมาก [3] บทความนี้เสนอการจำลองเชิงตัวเลขของการทำงานของเครื่องยนต์ HCCI ในช่วงจังหวะวาล์วไอเสียและไอเสียปิดพร้อมกัน (NVO) กับเชื้อเพลิงสองชนิดด้วยโปรแกรม KIVA พบว่าเชื้อเพลิง n-heptane มีการจุดระเบิดที่รุนแรงกว่าเชื้อเพลิง PRF91.8 (เชื้อเพลิงอ้างอิงหลักที่มีค่าออกเทนเป็น 91.8) และมุมเพลานะชนิดเชื้อเพลิงที่ต่างกันส่งผลต่อความดันและอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้อย่างชัดเจน

Abstract : HCCI engine (Homogeneous Charge Compression Ignition) works by mixing air and fuel before entering the combustion chamber, then compressing the mixture to allow it to auto-ignite simultaneously in many locations inside the combustion chamber. This provides short burning time with low emission and can be operated at low equivalence ratio. [3] This paper presents a numerical simulation of an HCCI engine operating during NVO (Negative Valve Overlap) with two different fuels using KIVA. The results confirm that n-heptane combusts more explosively than

that of PRF91.8. Crank angle during fuel injection also affects the average pressure and temperature inside the combustion chamber significantly.

Keywords : HCCI, NVO, n-heptane, PRF, KIVA

1. บทนำ

ปัจจุบันเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 ประเภทคือ เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Spark-Ignition Engine: SI Engine) หรือเครื่องยนต์เบนซิน (Gasoline Engine) และเครื่องยนต์จุดระเบิดโดยการอัด (Compression-Ignition Engine: CI Engine) หรือเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine) เครื่องยนต์ทั้ง 2 ประเภทนี้มีจุดเด่นที่แตกต่างกันคือเครื่องยนต์เบนซินมีการสันดาปที่สมบูรณ์กว่าส่งผลให้เกิดก๊าซมลพิษน้อยกว่าเครื่องยนต์ดีเซล แต่ปัญหาของเครื่องยนต์เบนซินคือ มีแรงบิดและกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ต่ำ ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าและมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ต่ำกว่าเครื่องยนต์เบนซิน แต่เครื่องยนต์ดีเซลปล่อยก๊าซไอเสียที่มีปริมาณของฝุ่นละออง (Particulate Matter: PM) มาก การปรับปรุงเพื่อลด PM ยังต้องใช้ต้นทุนสูง จึงได้มีการพัฒนาโดยรวมจุดเด่นของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ประเภท และเรียกเครื่องยนต์ประเภทนี้ว่า เครื่องยนต์ที่ใช้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันและจุดระเบิดด้วยการอัด

(Homogeneous Charge Compression Ignition Engine: HCCI Engine)

การทำงานของเครื่องยนต์ HCCI เริ่มจากการผสมอากาศและเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และอาจต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิไอดีด้วย จากนั้นส่วนผสมจะถูกอัดในจังหวะอัดจนกระทั่งเกิดการจุดระเบิดด้วยตนเอง (Self-ignition) การเผาไหม้จะเริ่มจากหลายตำแหน่งพร้อมๆ กัน และเกิดการลุกลามของเปลวไฟในระยะสั้นๆ ไปสู่ส่วนผสมที่ยังไม่เผาไหม้โดยรอบ ทำให้ช่วงเวลาการเผาไหม้สั้นมาก ซึ่งการเผาไหม้ในลักษณะนี้ใช้ส่วนผสมที่เจือจางทำให้เกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในปริมาณต่ำ [3] ขณะที่ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงแต่ปัญหาของเครื่องยนต์ HCCI คือ ไม่สามารถควบคุมตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งการปรับเปลี่ยนสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ยังต้องอาศัยความเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อการสันดาปภายในเครื่องยนต์ HCCI อีกมาก ดังนั้นงานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องยนต์ HCCI จึงเป็นที่แพร่หลายทั้งในเชิงทดลองและเชิงตัวเลข เพื่อศึกษาความเข้าใจระดับลึกในการควบคุมเครื่องยนต์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์ HCCI ในเบื้องต้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยได้ประเมินผลการคำนวณของโปรแกรมว่ามีความสอดคล้องกับข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมามากน้อยเพียงใด ด้วยการเลือกใช้เชื้อเพลิงสองชนิดที่มีความแตกต่างกันคือ n-heptane (มีค่าออกเทนเป็นศูนย์) และ PRF91.8 (มีค่าออกเทน 91.8) และคำนวณที่มุมเพลานะกิดเชื้อเพลิงสองค่าคือ 70° และ 30° ก่อนศูนย์ตายบน เพื่อสังเกตผลของสภาวะในห้องเผาไหม้ต่อการจุดระเบิดของเครื่องยนต์

2. งานวิจัยที่ผ่านมา

2.1 งานวิจัยเชิงทดลองสำหรับเครื่องยนต์ HCCI

เครื่องยนต์ HCCI ถูกค้นพบครั้งแรกระหว่างการทดสอบเครื่องยนต์เบนซิน สองจังหวะ โดย Onishi และคณะ [1] ซึ่งเป็นการทดสอบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เบนซินในขณะที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเจือจางในช่วงภาระต่ำถึงปานกลาง และมีการตัดการทำงานของหัวเทียน แต่พบว่าเครื่องยนต์ยังสามารถจุดระเบิดด้วยตนเองต่อไปได้ และ Onishi ได้ให้ข้อปรากฏการณ์นี้ว่า Active Thermo-Atmosphere

Combustion (ATAC) ต่อมา Najt และ Foster [2] ได้ศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์ในแบบดังกล่าว และได้เปลี่ยนชื่อการเผาไหม้แบบนี้เป็น Homogeneous Charge Compression Ignition Engine (HCCI Engine) และได้ทำการศึกษาการเผาไหม้โดยใช้เครื่องยนต์ 4 จังหวะเป็นเครื่องยนต์พื้นฐาน และพบว่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการเผาไหม้ ได้แก่ อัตราส่วนอัด อัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิงและอากาศ (Equivalence Ratio) ความเร็วรอบ ปริมาณการนำไอเสียย้อนกลับมาใช้ อุณหภูมิเริ่มต้นของส่วนผสม ชนิดของเชื้อเพลิง และยังได้มีการวิจัยเพิ่มเติมโดยทำการทดสอบเพื่อแสดงช่วงสภาวะการทำงานที่เครื่องยนต์ HCCI สามารถทำงานได้ [3, 4] พร้อมทั้งศึกษาถึงผลกระทบคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของเครื่องยนต์ HCCI ที่เหมาะสม [5, 6]

2.2 งานวิจัยเชิงตัวเลขสำหรับเครื่องยนต์ HCCI

Roy [7] ได้สร้างแบบจำลองที่อธิบายกระบวนการทำงานแบบ HCCI ที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง พบว่าการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศในช่วงของอุณหภูมิและความดันจะขึ้นอยู่กับความเร็วจากเปลวไฟ ปฏิริยาความร้อน การเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะการเผาไหม้และความดันที่เพิ่มขึ้นคำนวณในส่วน SENKIN [7] ในโปรแกรม CHEMKIN [10] สรุปได้ว่าแบบจำลองที่มีหลายชั้นขอบเขต (Multi-Zone Model) มีข้อเสียคือ อุณหภูมิในช่วงของวาล์วไอดีปิด (Intake Valve Closing: IVC) ไม่คงที่ ทำให้ส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศในกระบอกสูบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จึงได้ทำการจำลองในโปรแกรม AVL BOOSTM [7] โดยใช้แบบจำลองหลายชั้นของเขตของโปรแกรม SENKIN [7] เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นของ IVC แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้และการแลกเปลี่ยนของก๊าซไม่มาก และจากกระบวนการเผาไหม้แสดงให้เห็นว่าช่วงของการเปิดวาล์วนั้นมีความสัมพันธ์กับความดันในกระบอกสูบ

Volker [8] ศึกษาลักษณะการเผาไหม้และคุณสมบัติทางเคมีของการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ HCCI ที่มีการเผาไหม้ 2 ขั้นตอนคือ การเผาไหม้รอง (Cool Flame) และการเผาไหม้หลัก (Main Flame) ด้วยการจำลองแบบหลายมิติ (Multi-dimensional) จากโปรแกรม KIVA ในเครื่องยนต์ CFR กับเชื้อเพลิง 4 ประเภทคือ n-heptane, n-butane, PRF70, และ PRF91.8 (Primary Reference Fuel ที่มีค่าออกเทน 70 และ 91.8

ตามลำดับ) พบว่า คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเป็นตัวแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรม Cool Flame และผลกระทบของตำแหน่งการฉีดเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ แสดงให้เห็นถึงการเลือกเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (Injection Timing) ที่แตกต่างกัน โดยเชื้อเพลิงที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันต่ำจะมีการกระจายของเชื้อเพลิงและเวลาการฉีดเชื้อเพลิงช้าลงไปด้วย

ต่อมา Aroonsrisopon [9] ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม KIVA [11] เพื่อวิเคราะห์การทำงานและระบบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ HCCI ในเครื่องยนต์จาก Yamaha ในจังหวะวาล์วไอดีและไอเสียปิดพร้อมกัน (Negative Valve Overlap: NVO) พบว่าในไอเสียมีออกซิเจนเกิดขึ้น ทำให้อุณหภูมิในกระบอกสูบสูงขึ้น ซึ่งพบว่าการปรับองศาของวาล์วให้ต่ำกว่าช่วง NVO สามารถควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ HCCI ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

3. การทำงานของโปรแกรม KIVA-CHEMKIN

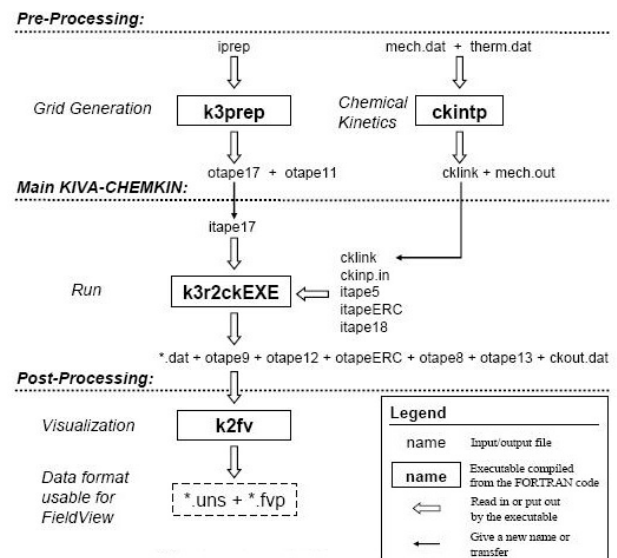
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสันดาปในเครื่องยนต์ โดยใช้โปรแกรม KIVA [11] เป็นโปรแกรมหลักในการพิจารณา และเนื่องจากการเผาไหม้เกิดร่วมกับปฏิกิริยาทางเคมีที่ซับซ้อน จึงได้เพิ่มส่วนขยายจากโปรแกรม CHEMKIN [10] เพื่อคำนวณและวิเคราะห์ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

โปรแกรม KIVA เป็นโปรแกรมที่ศึกษาการเผาไหม้ที่ขึ้นอยู่กับเวลา (Transient) แบบสามมิติ (Three-dimensional) หลายสถานะ (Multi-phase) และหลายส่วนประกอบ (Multi-component) สำหรับการจำลองการเผาไหม้ที่มีปฏิกิริยาเคมีและสเปรย์ของส่วนผสมเชื้อเพลิงไปพร้อมๆกัน KIVA ถูกพัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการแห่งชาติลออสโลโมส (Los Alamos National Laboratory: LANL) ในสหรัฐอเมริกา โดยใช้ระเบียบวิธีแบบ Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) เพื่อกำหนด Grid ร่วมกับระเบียบวิธี Finite Volume โปรแกรม KIVA สามารถทำงานในช่วงการไหลความเร็วต่ำถึงความเร็วเหนือเสียง (Supersonic) ทั้งการไหลที่เป็นแบบราบเรียบ (Laminar) และแบบปั่นป่วน (Turbulent) ที่มีจำนวนประเภทเชื้อเพลิงและจำนวนปฏิกิริยาได้ไม่จำกัด ดังนั้นจึงถือได้ว่าโปรแกรม KIVA เป็นโปรแกรมที่ออกแบบมาสำหรับจำลองการทำงานภายในเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยเฉพาะ โดยโปรแกรม KIVA นี้เป็นที่นิยมนำอย่าง

แพร่หลาย [11] เพราะเป็นโปรแกรมขนาดเล็กมากที่สามารถปรับปรุงและแก้ไขได้ง่าย

โปรแกรม CHEMKIN II [10] ถูกพัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการแซนเดีย (Sandia National Laboratories: SNL) ในปี 1990 ซึ่งได้พัฒนามาจากเวอร์ชันแรกที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี 1980 โดย CHEMKIN เป็นชุดโปรแกรมที่นิยมใช้กันในการอุตสาหกรรมการผลิตทางเคมี การเผาไหม้ และระบบวงจรไฟฟ้าขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่สามารถแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงได้ง่าย โปรแกรม CHEMKIN ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการจำลองปฏิกิริยาการไหลที่มีปฏิสัมพันธ์ของพลังงานจลน์ทางเคมี (Chemical Kinetic Energy) ที่ซับซ้อนสำหรับในงานวิจัยโดยทั่วไปนั้น โปรแกรม CHEMKIN ถูกใช้เพื่ออธิบายการรวมกันของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาหลายๆปฏิกิริยาในหลายช่วงความเข้มข้นและอุณหภูมิ

โปรแกรม KIVA-CHEMKIN ออกแบบมาให้ทำงานร่วมกัน สำหรับการวิเคราะห์การสันดาปในเครื่องยนต์ โดยเฉพาะ โดยสามารถแบ่งโครงสร้างหลักได้ 3 ส่วนคือ ก่อนการประมวลผล (Pre-Processing) การประมวลผล (Main KIVA-CHEMKIN) และหลังการประมวลผล (Post-Processing) โดยมีแผนผังการทำงานดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม KIVA-CHEMKIN [8]

ส่วนก่อนการประมวลผล (Pre-Processing): เป็นการทำงานในสองส่วนพร้อมๆกันคือ ส่วนการทำงานเพื่อกำหนด

Grid ของระบบด้วยโปรแกรมย่อย k3prep ใน KIVA ซึ่งรับไฟล์ Input ชื่อ iprep และได้ไฟล์ output ออกมาสองไฟล์คือ otape17 และ otape11 ส่วนที่สองเป็นการกำหนดองค์ประกอบและปฏิกิริยาเคมีด้วยโปรแกรมย่อย ckintp ใน CHEMKIN โดยรับ Input จากไฟล์ mech.dat และ therm.dat ที่เป็นตัวระบุการทำงานของปฏิกิริยาเคมีและคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกของเชื้อเพลิง แล้วได้ไฟล์ output ออกมาสองไฟล์คือ cklink ซึ่งเป็นไฟล์ที่จะถูกใช้ต่อไปในส่วนการประมวลผลและ mech.out ที่เป็นเสมือน log file สำหรับยืนยันข้อมูลที่ได้ให้กับโปรแกรม

ส่วนการประมวลผล (Main KIVA-CHEMKIN): มีช่วงการทำงานเพียงช่วงเดียว โดยการรับ Input ด้วยการเปลี่ยนชื่อไฟล์ otape17 เป็นไฟล์ itape17 รวมไปถึงไฟล์ cklink จาก Pre-Processing และไฟล์ itape5 ที่เป็นไฟล์หลักในการอธิบายสภาวะของเครื่องยนต์ อันได้แก่ไฟล์ itape18 เป็นไฟล์ที่อธิบายโครงสร้างของวาล์ว ไฟล์ itapeERC เป็นไฟล์เก็บรักษาตัวแปรที่ต้องการเพิ่มเติม และไฟล์ ckinp.in เป็นไฟล์ที่ระบุสภาวะเริ่มต้นของก๊าซในกระบอกสูบ ผ่านการทำงานของโปรแกรม k3r2ckEXE จะได้ไฟล์ output ต่างๆดังนี้ ไฟล์ *.dat ที่อธิบายถึงสภาวะเฉลี่ยในกระบอกสูบในทุกจังหวะการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ ไฟล์ otape12 ที่บอกถึงข้อมูลและคุณสมบัติทั่วไปของเชื้อเพลิงในแต่ละมุมเพลาคณะฉีดเชื้อเพลิง พร้อมทั้งอธิบายสภาวะของเครื่องยนต์ ไฟล์ otape8 และไฟล์ otape13 เป็นไฟล์สำหรับการเริ่มการคำนวณใหม่ และไฟล์ otape9 เป็นไฟล์ที่บอกถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล

ส่วนหลังการประมวลผล (Post-Processing): เป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากไฟล์ otape9 ใน Main KIVA-CHEMKIN มาเปลี่ยนรูปแบบเพื่อแสดงผลเป็นรูปภาพ ผ่านโปรแกรมย่อย k2fv โดยไฟล์ Output ที่ได้นามสกุล .uns และ .fvp จะสามารถนำไปแสดงผลในโปรแกรม FieldView® ได้ ส่วนไฟล์ output เช่น thermo.dat สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์เช่น ความดันและอุณหภูมิในกระบอกสูบได้

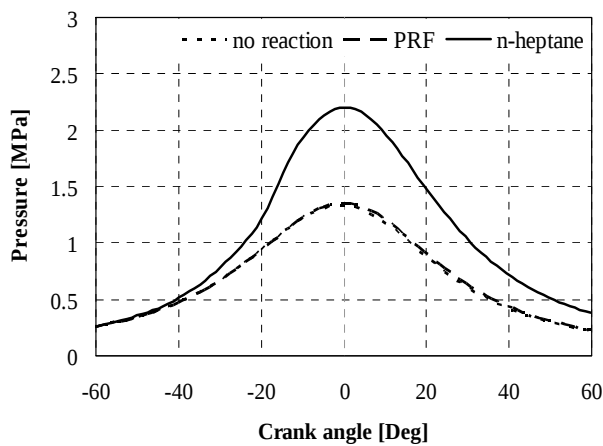
เครื่องยนต์ที่ใช้จำลองในงานวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่องยนต์เบนซินจาก Yamaha ห้องเผาไหม้แบบ Two Direct Injection ที่มีคุณลักษณะของเครื่องยนต์เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Aroonsrisopon [9]

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการจำลองนี้เป็นเชื้อเพลิง 2 ชนิดคือ n-heptane (มีค่าออกเทนเป็นศูนย์) ที่มี 92 species 488 reactions และ PRF91.8 (มีค่าออกเทนเป็น 91.8) ที่มี 40 species 165 reactions

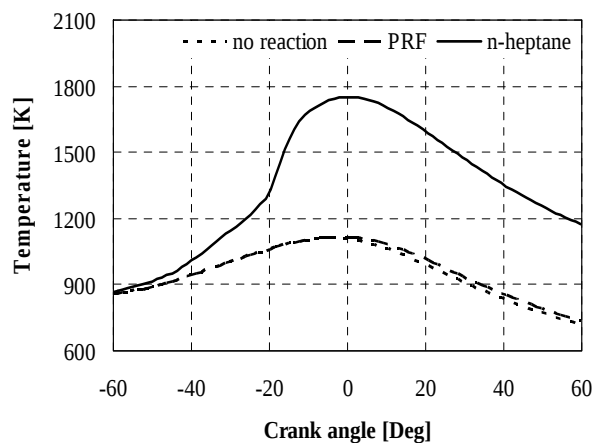
4. ผลการคำนวณ

เครื่องยนต์ HCCI ทำงานโดยการฉีดส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในรูปแบบสเปรย์ ให้เกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองหลายตำแหน่งพร้อมกันภายในห้องเผาไหม้ โดยการควบคุมการปรับองศามุมเพลาคณะฉีดเชื้อเพลิงให้อยู่ในช่วงจังหวะที่วาล์วไอดีและไอเสียปิดพร้อมกัน (Negative Valve Overlap: NVO) ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีมีการไหลเข้าออกของก๊าซในห้องเผาไหม้ โดยในการศึกษานี้ทำการจำลองการเผาไหม้เครื่องยนต์ HCCI ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 รอบต่อนาที และอุณหภูมิเริ่มต้นของการเผาไหม้เป็น 810 K ในช่วง NVO เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Aroonsrisopon [9] ตั้งแต่มุมเพลาคณะ (Crank Angle: CA) ที่ 75° ก่อนจุดศูนย์ตายบน (Top Dead Center: TDC) หรือ bTDC ถึง 75° หลังจุดศูนย์ตายบน หรือ aeTDC โดยในการศึกษานี้ได้แบ่งการจำลองออกเป็น 3 แบบคือ แบบไม่คิดปฏิกิริยาเคมี แบบคิดปฏิกิริยาเคมีด้วยเชื้อเพลิง PRF91.8 และเชื้อเพลิง n-heptane (C_7H_{16}) ด้วยการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้เป็นเวลานาน 1.0 ms เนื่องจาก n-heptane เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนเป็นศูนย์ (มีการจุดระเบิดเชื้อเพลิงที่รุนแรง) ดังนั้นเมื่อเทียบกับ PRF91.8 แล้วจึงคาดว่าค่าความดันและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องเผาไหม้ที่ได้จากการจำลองการเผาไหม้ด้วย n-heptane จะสูงกว่าค่าที่ได้จาก PRF91.8 อย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าความดันเฉลี่ย 2.2 MPa และอุณหภูมิเฉลี่ย 1750 K ที่เกิดในห้องเผาไหม้ด้วยมุมเพลาคณะฉีดเชื้อเพลิงที่ 70° bTDC และในห้องเผาไหม้ด้วยมุมเพลาคณะฉีดเชื้อเพลิงที่ 30° bTDC มีค่าความดันเฉลี่ย 1.7 MPa และอุณหภูมิเฉลี่ย 1350 K

ผลการคำนวณที่เกิดในห้องเผาไหม้ด้วยมุมเพลาคณะฉีดเชื้อเพลิงที่ 70° bTDC แสดงดังรูปที่ 2 (ก) ความดันเฉลี่ย (ข) อุณหภูมิเฉลี่ย และที่เกิดในห้องเผาไหม้ด้วยมุมเพลาคณะฉีดเชื้อเพลิงที่ 30° bTDC แสดงดังรูปที่ 3 (ก) ความดันเฉลี่ย (ข) อุณหภูมิเฉลี่ย

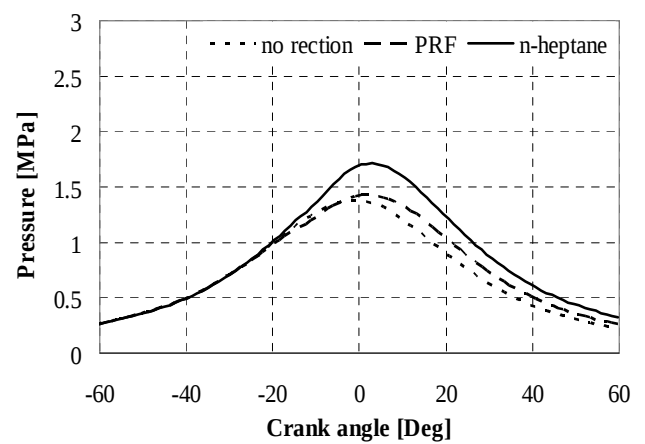


(ก)

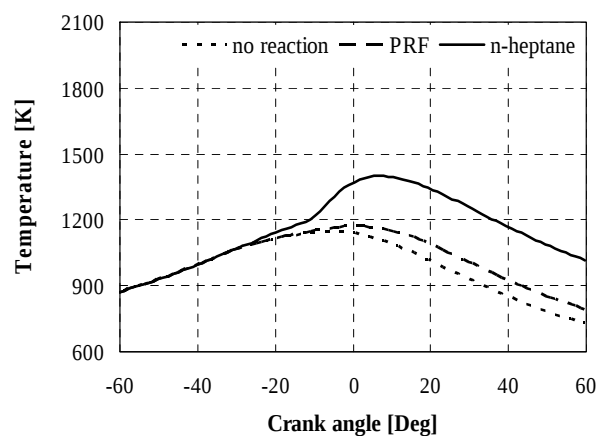


(ข)

รูปที่ 2 แสดงผลลัพธ์เฉลี่ยในห้องเผาไหม้ด้วยมุมเพลฯขณะฉีดเชื้อเพลิงที่ 70° bTDC (ก) ความดันเฉลี่ย (ข) อุณหภูมิเฉลี่ย



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 แสดงผลลัพธ์เฉลี่ยในห้องเผาไหม้ด้วยมุมเพลฯขณะฉีดเชื้อเพลิงที่ 30° bTDC (ก) ความดันเฉลี่ย (ข) อุณหภูมิเฉลี่ย

จากรูปที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าผลที่ได้จากการจำลองการเผาไหม้ที่คิดปฏิกิริยาเคมีมีความดันและอุณหภูมิสูงกว่าการจำลองที่ไม่คิดปฏิกิริยาเคมี โดยการเผาไหม้ด้วย n-heptane ให้ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าการเผาไหม้ด้วย PRF91.8 ตามที่คาดการณ์ไว้อย่างชัดเจน และการเผาไหม้ด้วย PRF91.8 ให้ความดันและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าการจำลองที่ไม่คิดปฏิกิริยาเคมี

ที่มุมเพลฯขณะฉีดเชื้อเพลิง 70° bTDC ผลต่างความดันและอุณหภูมิระหว่างการเผาไหม้ด้วย n-heptane และ PRF91.8 มีค่ามากกว่าผลต่างที่มุมเพลฯขณะฉีดเชื้อเพลิง 30° bTDC

5. วิเคราะห์ผลการคำนวณ

ทั้งที่มุมเพลฯขณะฉีดเชื้อเพลิง 70° bTDC และ 30° bTDC ความดันและอุณหภูมิจากการเผาไหม้ด้วยเชื้อเพลิง n-heptane มีค่าสูงกว่าการเผาไหม้ด้วยเชื้อเพลิง PRF91.8 เป็นผลมาจากค่าออกเทนของ n-heptane มีค่าเป็นศูนย์ (ไวไฟกว่า) ในขณะที่ PRF91.8 มีค่าออกเทนถึง 91.8 (มี iso-octane 91.8% และ n-heptane 8.2% โดยปริมาตร)

ที่มุมเพลฯขณะฉีดเชื้อเพลิง 70° bTDC ผลต่างความดันและอุณหภูมิระหว่างเชื้อเพลิง n-heptane กับ PRF91.8 มีค่ามากกว่ามุมเพลฯขณะฉีดเชื้อเพลิง 30° bTDC เนื่องมาจากการฉีดเชื้อเพลิงให้อยู่ในห้องเผาไหม้นานกว่า ทำให้เชื้อเพลิงมีอุณหภูมิสูงกว่าก่อนที่จะจุดระเบิด จึงส่งผลให้การจุดระเบิดของเชื้อเพลิง

ที่มุมเพลานะฉีดเชื้อเพลิง 70° bTDC รุนแรงกว่าที่มุมเพลานะฉีดเชื้อเพลิง 30° bTDC และตำแหน่งความดันและอุณหภูมิมีค่าสูงสุดที่มุมเพลานะฉีดเชื้อเพลิง 30° bTDC เกิดช้ากว่าที่มุมเพลานะฉีดเชื้อเพลิง 70° bTDC และค่าความดันและอุณหภูมิเฉลี่ยการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง 2 ชนิดมีค่าสูงกว่าการจำลองที่ไม่มีการเผาไหม้ ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงค่าสุดท้ายที่เป็นไปได้

6. บทสรุป ปัญหา และแนวทางการวิจัยในอนาคต

จากการจำลองการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ HCCI ในช่วง NVO ด้วยเชื้อเพลิง 2 ชนิดคือ n-heptane และ PRF91.8 พบว่า การจุดระเบิดของเชื้อเพลิง n-heptane รุนแรงกว่าเชื้อเพลิง PRF91.8 ตามที่คาดการณ์ไว้ และผลของมุมเพลานะฉีดเชื้อเพลิงที่ต่างกันส่งผลต่อความดันและอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้ โดยเมื่อฉีดเชื้อเพลิงให้อยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น เป็นการช่วยให้เชื้อเพลิงจุดระเบิดได้ง่ายขึ้น ทำให้ความดันและอุณหภูมิเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ก็จะสูงตามไปด้วย

ปัญหาที่พบในการจำลองด้วยโปรแกรม KIVA คือ เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นในห้องเผาไหม้เป็นค่าอื่นเช่น 840 K จะไม่สามารถทำงานได้ครบตามมุมของเพลานะฉีดเชื้อเพลิงที่ต้องการตลอดช่วง NVO (75° bTDC ถึง 75° aeTDC) ซึ่งจะต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป

ส่วนแนวทางการวิจัยในอนาคตได้แบ่งออกเป็น 2 แนวทาง คือ

1. การเปรียบเทียบค่าความดันและอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลขกับค่าที่ได้จากการทดลอง [9] เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของโปรแกรม

2. การจำลองการทำงานโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลที่จากการใช้เชื้อเพลิงประเภทอื่นต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย รวมไปถึง ดร. ธเนศ อรุณศรี โสภณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับคำแนะนำ

และข้อมูลอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ เพื่อให้การศึกษานี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Onishi S. and Others, "Active Thermo -Atmosphere Combustion (ATAC) – A New Combustion Process for Internal Combustion Engines", SAE Paper No. 1979-01-0501, 1979.
- [2] Najt P.M. and Foster, D.E., "Compression – Ignited Homogeneous Charge Combustion", SAE Paper No.1983-01-0264, 1983.
- [3] Thring R.H., "Homogeneous-Charge Compression Ignition (HCCI) Engines", SAE Paper No. 1989-01-2068, 1989.
- [4] Aroonsrisopon and Others, "An Investigation into the Effect of Fuel Composition on HCCI Combustion Characteristics", SAE Paper No. 2002-01-2830, 2002.
- [5] Lida M. and Others, "The Effect of Intake Air Temperature, Compression Ratio and Coolant Temperature on the Start of Heat Release in an HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) Engine", SAE Paper No. 2001-01-1880, 2001.
- [6] Lida M. and Others, "Characteristics of Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engine Operation for Variation in Compression Ratio, Speed and Intake Temperature Using n-Butane as a fuel", ASME Paper Vol. 125, 2003.
- [7] Ogink R., "Gasoline HCCI Modeling : An Engine Cycle Simulation Code with a Detailed-Chemistry, Multi-Zone Combustion Model", Thesis for the degree of licentiate in engineering, Department of Thermo and Fluid Dynamics, Chalmers university of technology, Göteborg Sweden, 2003., 2002.
- [8] Volker M., "Multi-Dimensional Modeling of HCCI using Comprehensive and Skeletal Kinetics with Comparison to Experiments", M.S. Thesis, University of Wisconsin-Madison, USA, 2006.
- [9] Aroonsrisopon T., "Analysis of stratified charge operation and negative valve overlap operation using fuel injection in homogeneous charge compression ignition engines", Ph.D Thesis, University of Wisconsin-Madison, USA, 2006.
- [10] Retrieved on October 19, 2008 from: <http://www.et.byu.edu/~tom/classes/641/chemkin/CHEMKIN.DOC.html>.
- [11] Retrieved on August 20, 2008 from: <http://www.lanl.gov/orgs/t/t3/codes/kiva.shtml>.