

การศึกษาการฉีดเชื้อเพลิงเสริมในเครื่องยนต์ดีเซลฉีดตรงด้วย Kiva3V_lite

Study of Fuel Assisted Injection in a Direct Injection Diesel Engine by Kiva3V_lite

ชโลธร ธรรมแท้¹ ชรินทร์ สังข์เกษม¹ และ จินดา เจริญพรพาณิชย์²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

1761 ถ.พัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

โทร 0-23216930-9 ต่อ 212 โทรสาร 0-23214444 E-mail: ch_thumt@kbu.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198

Chalothorn THUMTHAE¹ Charin SANGKASEM¹ and Chinda CHAROENPHONPHANICH²

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasembundit University

1761 Pattanakan Rd. Sounlung Bangkok 10250

Tel: 0-23216930-9 Fax: 0-23214444 E-mail: ch_thumt@kbu.ac.th

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

3 Chalongkrung Rd. Ladkrabang Bangkok 10520 Tel: 0-2326-4197 Fax: 0-2326-4198

บทคัดย่อ

ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลแบบใช้งานหนัก ด้วยการจำลองการฉีดเชื้อเพลิงเสริมเข้าไปหลังจากฉีดในจังหวะแรก โดยใช้โปรแกรม Kiva3v_lite ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการฉีดเชื้อเพลิงเสริมให้ผลลัพธ์ที่ดีในเรื่องกำลังและความประหยัด แต่ให้ผลทางด้านมลภาวะที่ไม่ค่อยดีนัก โดยผลที่ได้จากแบบจำลองสามารถแสดงให้เห็นถึงการสเปรย์ การเผาไหม้ และการเกิดมลภาวะ ทำให้เกิดความเข้าใจในกระบวนการดังกล่าวมากขึ้น โดยโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ จะใช้ mesh อย่างหยาบ เนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างจาก mesh ธรรมดา โดย mesh อย่างหยาบจะทำให้การคำนวณที่รวดเร็วมาก แต่การแสดงผลจะหยาบตามไปด้วย ซึ่งเหมาะสำหรับใช้งานในเชิงการศึกษาขั้นต้น และในกรณีที่มีการศึกษามากๆ

Abstract

This paper study about the method to improve efficiency of heavy duty diesel engine. The method is simulation injection of assisted spray after the main injection by using Kiva3v_lite code. The results show injection of assisted spray give good results with horse power and fuel economy however, emission results does not quite good. The results of simulation also show visualization of spray combustion and emission generation. In this study, the coarse mesh is used replace the normal mesh because the coarse mesh give results do not much difference from the normal mesh and give short calculation time. Hence this software appropriate for basic study and the problems that have many case study.

1.บทนำ

ในปัจจุบัน ได้มีการใช้ Computational Fluids Dynamics (CFD) เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาในทางวิศวกรรม ซึ่งรวมถึงการประยุกต์เข้ากับปัญหาทางด้าน เครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งก็ได้มีทั้งโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาทั้งในเชิงการศึกษาและในเชิงพาณิชย์ โดยโปรแกรมที่ครอบคลุมปัญหาทางด้าน เครื่องยนต์สันดาปภายใน ตัวอย่างเช่น Star CD, Fluent, Fire และ KIVA สำหรับโปรแกรม KIVA นั้นเริ่มต้นพัฒนาจากห้องวิจัย Los Alamos National Laboratory โดย Amsden และคณะ[1] หลังจากนั้นได้มีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยนักวิจัยจากหลายๆที่ทั่วโลก เนื่องจากโปรแกรม KIVA เป็นโปรแกรมในลักษณะ Open source กล่าวคือผู้ใช้จะสามารถแก้ไข เปลี่ยนแปลง และปรับปรุงตัวโปรแกรมได้ ซึ่งในปัจจุบัน KIVA พัฒนามาถึง KIVA3V release 2 จากการที่มีผู้ใช้ KIVA อย่างแพร่หลายและมีการพัฒนาความแม่นยำของตัวโปรแกรมอย่างต่อเนื่อง ทำให้ KIVA สามารถที่จะจำลองปัญหาทางด้านเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ค่อนข้างแม่นยำ ซึ่งโปรแกรมตัวอื่นๆก็ได้มีการนำเอา โปรแกรมย่อย ของ KIVA ไปใช้ด้วยเช่นกัน

อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้โปรแกรม CFD กับเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้น ต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง อันเนื่องมาจากปัญหาที่ซับซ้อน กล่าวคือ นอกจากจะต้องแก้สมการที่เกี่ยวข้องกับการไหลแล้ว ยังต้องเพิ่มแบบจำลอง การสเปรย์เชื้อเพลิง การระเหย การเผาไหม้ การเกิดเขม่า และ ออกไซด์ของไนโตรเจน เข้าไปด้วย ทำให้การ run โปรแกรมในแต่ละครั้งจะใช้เวลาหลายชั่วโมง ด้วยเหตุนี้ ที่ห้องวิจัย ERC ของมหาวิทยาลัย Wisconsin-Madison โดย He และคณะ [2] จึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรม Kiva3v_lite ขึ้นมา โดยโปรแกรม Kiva3v_lite จะง่ายต่อการใช้ ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย แต่จะให้ความแม่นยำที่ไม่สูงนัก โดยสำหรับปัญหาที่ไม่คิดผลของวาล์วไอดี-ไอเสีย จะใช้เวลาในการ run โปรแกรมเพียง 15 นาทีบนเครื่องคอมพิวเตอร์ PC 600 MHZ. ทั้งนี้แน่นอนว่าเวลาในการรันจะขึ้นกับ

ความเร็วของเครื่อง PC ซึ่งทางคณะผู้วิจัยก็ได้มีการพิสูจน์ให้เห็นว่า Kiva3v_lite มีความแม่นยำพอสมควรในระดับหนึ่ง [2]

2. แบบจำลองเครื่องยนต์

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาคูณลักษณะต่างๆของเครื่องยนต์ที่ได้จากการฉีดเชื้อเพลิงเสริม โดยศึกษาผลของการฉีดเชื้อเพลิงเสริมที่จังหวะเริ่มฉีดต่างๆ โดยมีข้อสมมุติฐานว่า การฉีดเชื้อเพลิงเสริมเข้าไปเล็กน้อย จะช่วยลดมลภาวะ ที่เกิดจากการเผาไหม้จากการฉีดเชื้อเพลิงหลัก ทำการศึกษาโดยจำลองห้องเผาไหม้ตามตารางที่ 1 ด้วยโปรแกรม Kiva3v-lite โดยเริ่มทำการคำนวณตั้งแต่วาล์วไอดีปิด จนกระทั่งวาล์วไอดีเปิด นั่นคือไม่คิดผลของการเปิดและปิดวาล์ว โดยให้สภาวะเริ่มต้นในห้องเผาไหม้เป็นอากาศทั้งหมด โดยกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับโปรแกรมตามตารางที่ 1

ในการศึกษาการฉีดเชื้อเพลิงเสริมในครั้งนี้จะใช้รูปแบบของความเร็วเชื้อเพลิงที่หัวฉีดในห้าลักษณะ โดยมีการฉีดเชื้อเพลิงหลักที่เหมือนกันทุกกรณี แต่ในการฉีดเชื้อเพลิงเสริมจะแตกต่างกันออกไป ซึ่งสามลักษณะแรกแสดงอยู่ในรูปที่ 2 สำหรับรูปแบบการฉีดที่ 4 และ 5 จะทำการเว้นระยะของการฉีดเสริม ตามรูปแบบการฉีดที่สอง(Profile 2) ไปเป็นเวลา 1 และ 2 องศาเพลอาข้อเหวี่ยงตามลำดับ

ตารางที่ 1. คุณสมบัติของเครื่องยนต์

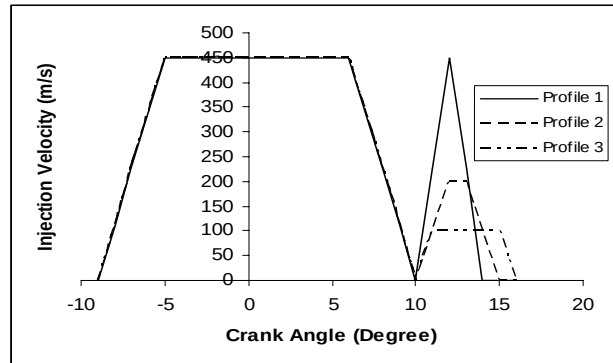
BORE	132.7 mm
STROKE	165.1 mm
Compression Ratio	16.1 : 1
Displacement	2.44L
Connecting Rod	26.3 cm
Nozzle hole -Number	0.259 mm -6 hole
Engine Speed	1600 RPM
Swirl Ratio	0.978
Injection timing/Period	-9 (ATDC) / 21-27 CA
Fuel	C14H30
Injected mass	0.1621 g
Boots Pressure	1.97 bar
IVC/EVO	-147/135 (ATDC)

3. การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

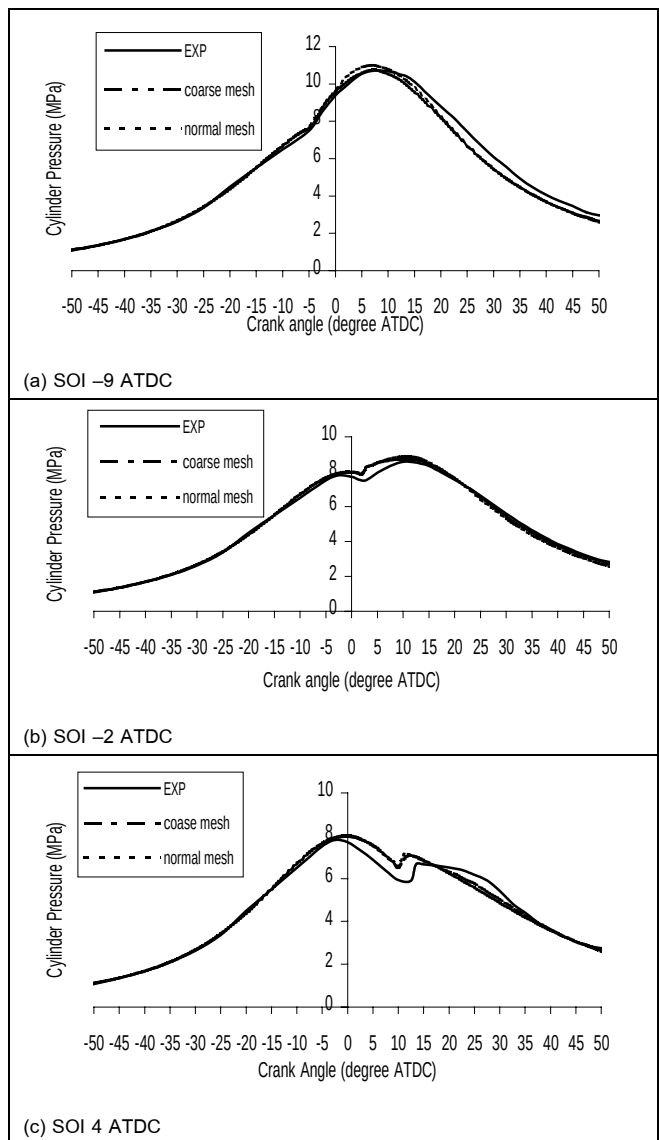
เป็นที่แน่นอนว่าในการทำแบบจำลองเชิงตัวเลขนั้นจะต้องมีการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งในที่นี้จะใช้ผลการทดลองจากงานวิจัยของ He และคณะ[2] โดยในการจำลองจะใช้ mesh ในสองลักษณะคือ mesh แบบธรรมดา และ mesh อย่างหยาบ เพื่อศึกษาถึงความแม่นยำของ mesh ดังกล่าวกับผลการทดลองด้วย โดยจะทำการเปรียบเทียบในสามกรณีคือ ที่จังหวะการฉีด ณ ตำแหน่ง -9, -2 และ 4 องศาหลังศูนย์ตายบนตามลำดับ โดยที่เป็นการฉีดเชื้อเพลิงตามปกติ

ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบที่จังหวะการฉีดต่างๆ แสดงในรูปที่ 3 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า mesh หยาบ ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับ mesh ธรรมดา มาก แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้

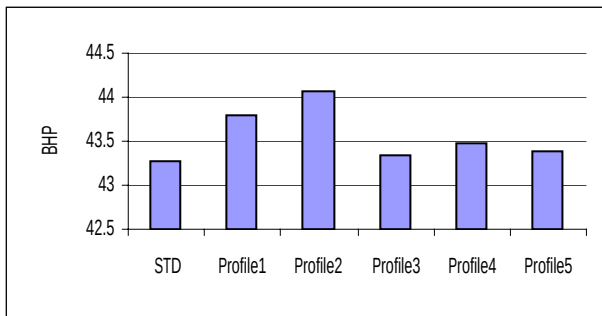
mesh หยาบ ในการทำการจำลองได้ หากพิจารณาถึงความแม่นยำของตัวโปรแกรมแล้ว จะพบว่า kiva3v_lite ให้ผลที่ค่อนข้างดีกับการฉีดในจังหวะลูกสูบอยู่ก่อนถึงศูนย์ตายบน(รูปที่ 3 a-b) แต่จะให้ความแม่นยำที่ไม่ค่อยดีนักกับการฉีดที่จังหวะลูกสูบอยู่หลังศูนย์ตายบนไปแล้ว(รูปที่ 3 c)



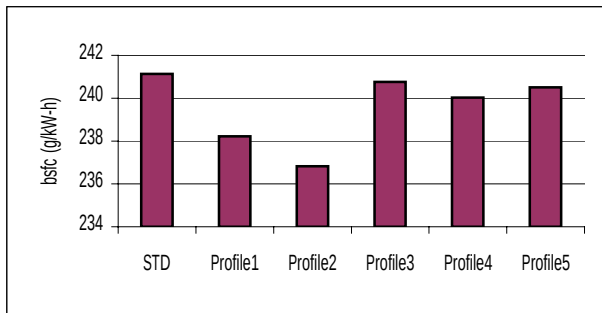
รูปที่ 2. รูปแบบของความเร็วของเชื้อเพลิงที่ต้องการศึกษา



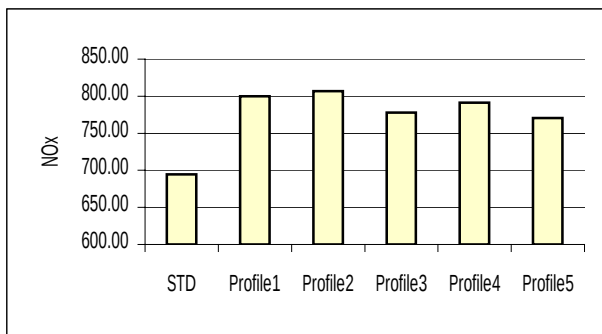
รูปที่ 3. ความดันในกระบอกสูบที่การฉีดในจังหวะต่างๆ



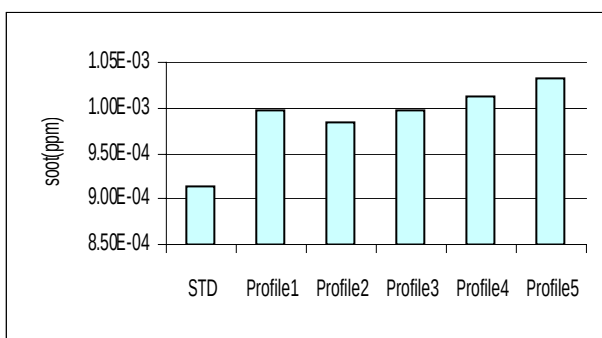
(a) Break horse power



(b) Break specific fuel consumption

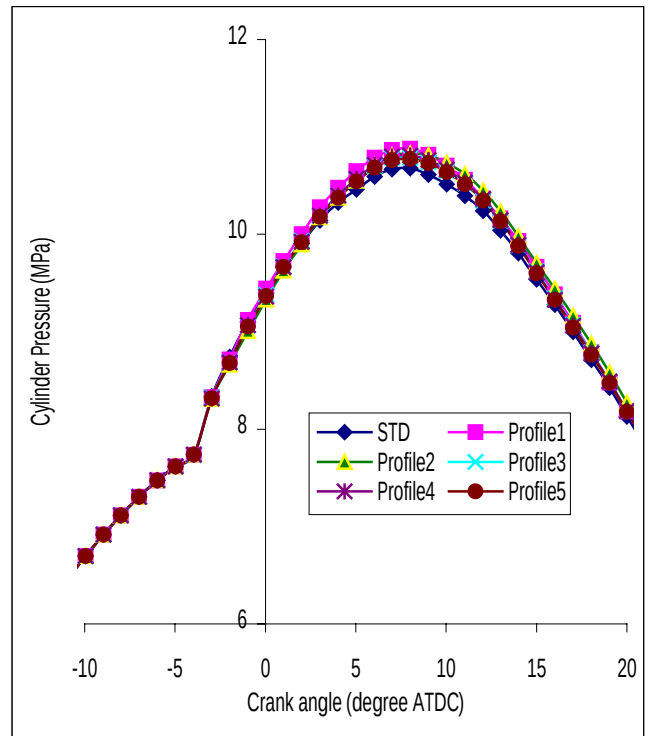


(c) Oxide of nitrogen

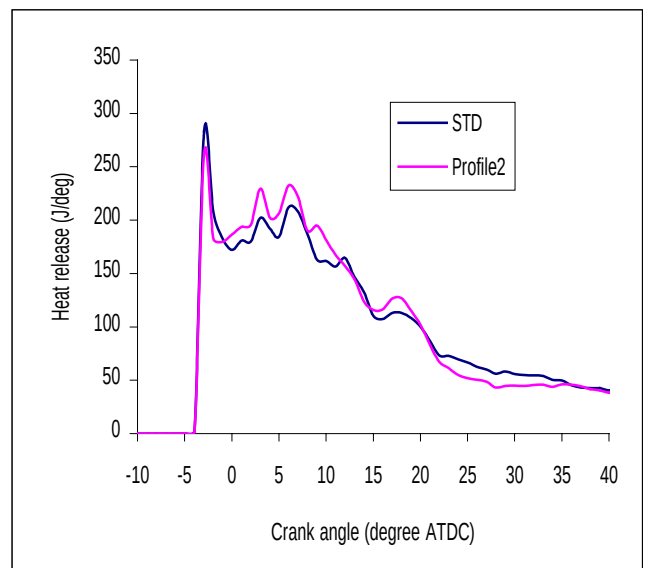


(d) Soot

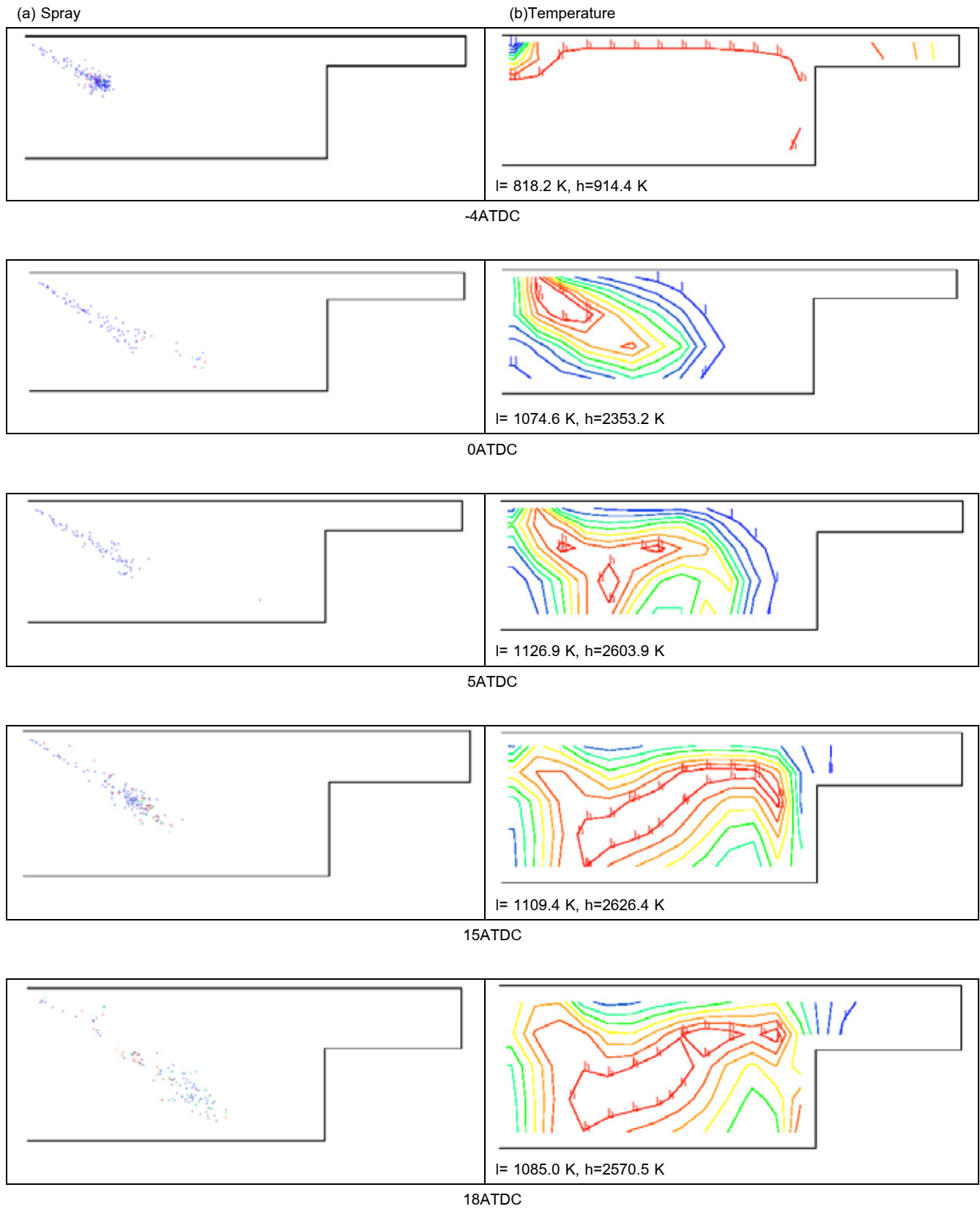
รูปที่ 4. ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการฉีดเสริมทั้งห้าลักษณะเทียบกับการฉีดแบบธรรมดา



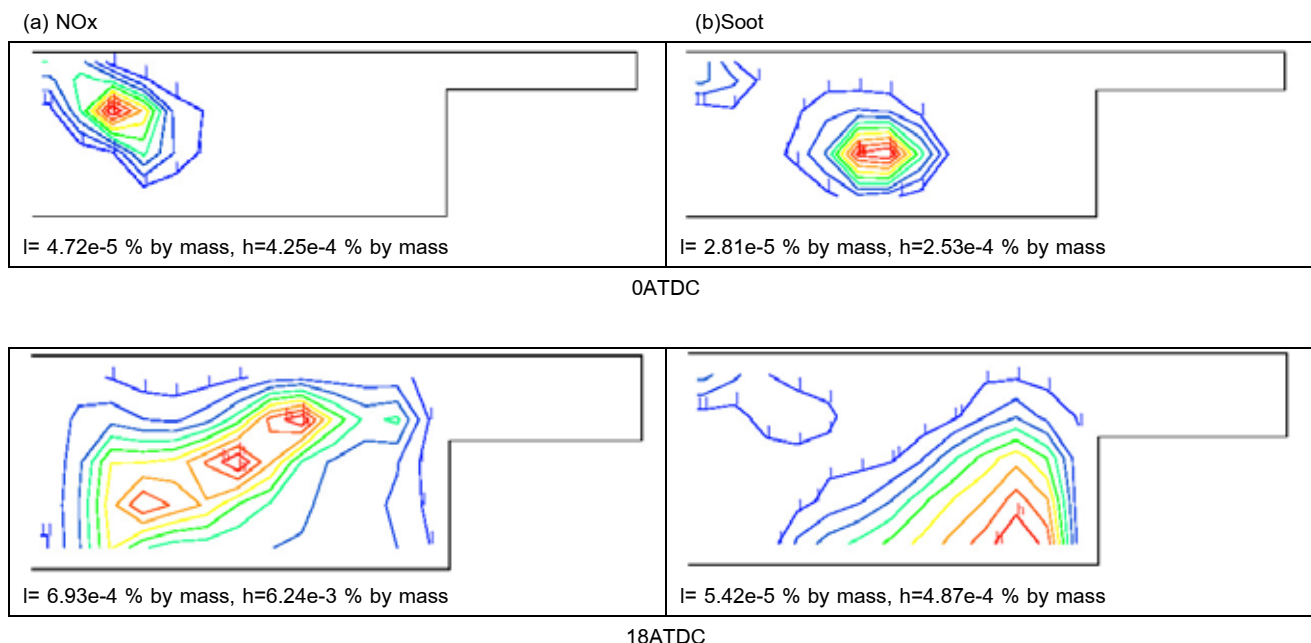
รูปที่ 5. ความดันในกระบอกสูบจากแบบจำลองการฉีดเสริมทั้งห้าลักษณะเทียบกับการฉีดแบบธรรมดา



รูปที่ 6. อัตราการปลดปล่อยความร้อน



รูปที่ 7. ผลที่ได้จากการจำลอง (a)สเปรย์ (b)อุณหภูมิ ที่ตำแหน่งเพลาช้อเหวี่ยงต่างๆ



รูปที่ 8. ผลที่ได้จากการจำลอง (a)ออกไซด์ของไนโตรเจน (b)เขม่า ที่ตำแหน่งเพลวข้อเหวี่ยงต่างๆ

4.ผลและการวิเคราะห์

รูปที่ 4 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการฉีด การเผาไหม้ และการเกิดมลภาวะในเชิงปริมาณ จะเห็นได้ว่า แรงม้าที่ได้จากการฉีดเสริมนั้นจะมากกว่าการฉีดเชื้อเพลิงในแบบปกติทุกกรณี ซึ่งแน่นอนว่า จะให้ค่าความสิ้นเปลืองที่น้อยกว่าด้วยเช่นกัน สำหรับค่าทางด้านมลภาวะที่เกิดขึ้น การฉีดเชื้อเพลิงแบบเสริมจะให้ค่ามลภาวะที่สูงกว่าการฉีดเชื้อเพลิงปกติในทุกกรณี สำหรับผลลัพธ์ในเรื่องกำลังที่ได้นั้น จะเห็นได้ว่าการฉีดเชื้อเพลิงเสริมแบบ Profile2 ให้กำลังม้าที่สูงสุด พิจารณาความดันในกระบอกสูบเปรียบเทียบกรณีศึกษาต่างๆในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าการฉีดแบบ Profile2 จะให้ความดันในกระบอกสูบที่สูงกว่าที่ช่วงปลายของการเผาไหม้

จากที่การฉีดแบบ Profile2 ให้กำลังออกมาสูงที่สุดนั้นหมายความว่าอุณหภูมิของการเผาไหม้ย่อมสูงตามไปด้วย จึงทำให้การฉีดแบบ Profile2 เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนในปริมาณที่มากที่สุดเช่นกัน สำหรับการฉีดแบบ Profile3 Profile4 และ Profile5 จะกินเวลาในการเผาไหม้ที่ยาวนานก็จะทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนในปริมาณที่มากขึ้น สำหรับการเกิดเขม่า การฉีดเชื้อเพลิงเสริมจะทำให้เชื้อเพลิงไปเกาะที่ผิวลูกสูบได้มากขึ้น จึงทำให้เกิดเขม่าได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อการฉีดเชื้อเพลิงยาวนานขึ้น

รูปที่ 7 แสดงผลที่ได้จากการจำลองในเชิงการมองเห็นสเปรย์ และอุณหภูมิ ที่ตำแหน่งเพลวข้อเหวี่ยงต่างๆ ของการฉีดเชื้อเพลิงแบบเสริม Profile2 ที่ตำแหน่ง -4 องศาหลังศูนย์กลางตายบน สเปรย์ทำการฉีดไปแล้ว 5 องศาเพลวข้อเหวี่ยง สเปรย์พุ่งออกมาได้ในระยะหนึ่ง เนื่องจากสเปรย์ยังไม่แตกตัวเป็นฝอยละเอียดมากนัก ที่ตำแหน่งนี้จึงยังไม่เกิดการเผาไหม้ โดยดูได้จากอุณหภูมิที่ยังต่ำอยู่และเป็นอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ทั้งนี้ที่ตำแหน่งนี้เชื้อเพลิงกำลังจะเริ่มจะเผาไหม้โดยดูได้จากกราฟอัตราการปลดปล่อยความร้อนในรูปที่ 6 ที่ตำแหน่งศูนย์กลางตายบน การเผาไหม้เกิดขึ้นไปแล้วในช่วงเวลาหนึ่งทำให้อุณหภูมิในแกนกลาง

ของสเปรย์มีค่าที่สูงมากๆ ที่ตำแหน่ง 5 องศาหลังศูนย์กลางตายบน การเผาไหม้ดำเนินอย่างต่อเนื่องขณะที่หัวฉีดยังคงฉีดสเปรย์อยู่ สเปรย์เชื้อเพลิงกระจายไปทั่วห้องเผาไหม้มากขึ้น ที่ตำแหน่ง 15 องศาหลังศูนย์กลางตายบน สเปรย์จากการฉีดเสริมพุ่งเข้ามาในจังหวะที่กำลังเกิดการเผาไหม้ สังเกตได้จากปริมาณ droplet ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งที่จังหวะการฉีดเสริมที่ค่อนข้างเหมาะสมนี้ทำให้เกิดการเผาไหม้ในปริมาณที่มากขึ้นและความร้อนกระจายไปทั่วห้องเผาไหม้มากขึ้น ตำแหน่ง 18 องศาหลังศูนย์กลางตายบนเชื้อเพลิงที่ฉีดในจังหวะสองสิ้นสุดไปแล้ว การเผาไหม้กระจายทั่วห้องเผาไหม้มากขึ้นแต่อุณหภูมิสูงสุดเริ่มลดลง และหลังจากนี้จะเป็นการเผาไหม้แบบกระจายเปลวไฟ

รูปที่ 8 แสดงถึงการเกิดมลภาวะสองชนิดคือ ออกไซด์ของไนโตรเจน และเขม่า จากผลที่ได้จะเห็นได้ว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนจะเกิดที่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และเขม่าจะเกิดขึ้นมากที่บริเวณผิวลูกสูบเนื่องจากมีปริมาณฟิล์มเชื้อเพลิงที่ไม่ระเหยเกาะติดอยู่ที่บริเวณผิวลูกสูบทำให้อุณหภูมิบริเวณนั้นต่ำ ไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมดจึงเกิดเป็นเขม่าได้ง่ายในบริเวณนี้

แม้ว่าผลที่ได้จากโปรแกรมนี้จะให้ผลที่ค่อนข้างหยาบ และการแสดงผลไม่สวยงามนัก ซึ่งไม่สามารถที่จะดูผลลัพธ์ในแนวลมได้ ด้วยตัวมันเอง แต่ไฟล์ผลลัพธ์ก็สามารถส่งออกไปให้โปรแกรมเชิงพาณิชย์บางตัวแสดงผลได้ ดังเช่น Field View และ EnSign อย่างไรก็ตามผลที่ได้ก็พอจะทำให้มองเห็นกระบวนการต่างๆในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้พอสมควร ทั้งนี้การใช้โปรแกรมนี้เหมาะสำหรับ การทำงานในลักษณะที่ต้องการเปลี่ยนตัวแปรหลายๆตัว ดังเช่นการหาค่าเหมาะสมที่สุดของเครื่องยนต์[3] เนื่องจากงานประเภทนี้มักมีกรณีที่ค่อนข้างยากมาก มายมหาศาล อาจถึงหลักหมื่นกรณี ซึ่งถ้าใช้โปรแกรมการคำนวณประสิทธิภาพสูงอาจจะต้องกินเวลาหลายปี ดังนั้นหากใช้โปรแกรมตัวนี้ช่วยในการหาแนวทางเพื่อลดกรณีศึกษาลง จะช่วยให้ประหยัดเวลาได้อย่างมาก

5. สรุป

จากการศึกษาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลแบบใช้ฐานหนัก ด้วยการจำลองการฉีดเชื้อเพลิงเสริมเข้าไปหลังจากฉีดในจังหวะแรก โดยใช้โปรแกรม Kiva3v_lite

โปรแกรม Kiva3v_lite ให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับผลการทดลองที่การฉีดในจังหวะก่อนถึงศูนย์ตายบน

การใช้ mesh อย่างหยาบให้ค่าที่ต่างจากผลที่ได้จาก mesh ธรรมดา เพียงเล็กน้อย แต่จะให้ผลการคำนวณอย่างรวดเร็ว

การฉีดเชื้อเพลิงเสริมให้ผลลัพธ์ที่ดีในเรื่องกำลังและความประหยัด แต่ให้ผลทางด้านมลภาวะที่ไม่ค่อยดีนัก

การเผาไหม้จะเริ่มที่บริเวณแกนกลางสเปรย์ใกล้ๆกับหัวฉีด และจะเกิดต่อเนื่องไปทั่วห้องเผาไหม้

ออกไซด์ของไนโตรเจนเกิดที่บริเวณอุณหภูมิสูงบริเวณกลางหลุมห้องเผาไหม้ เขม่าเกิดที่บริเวณอุณหภูมิต่ำบริเวณผิวลูกสูบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Amsden,A.A., O'Rourke,P.J., Butler,T.D., "KIVA-II: A Computer Program for Chemically Reactive Flows with Sprays", LA-11560-MS (May 1989)
- [2] Y. He, C. J. Rutland, Z. Nagel, R. P. Hessel, R. D. Reitz, D.E. Foster "Course Mesh CFD: Trend Analysis In a Fraction of the Time" Multidimensional Modeling Meeting 2001, <http://www.erc.wisc.edu/modeling>
- [3] R. P. Hessel, R. D. Reitz, "Diesel engine injection rate-shape optimization using Generic Algorithm and Multidimensional Modeling for a Range of Operating Mode" Multidimensional Modeling Meeting 2002, <http://www.erc.wisc.edu/modeling>