บทที่ 8

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในรถตุ๊กตุ๊ก เป็นเครื่องยนต์สองจังหวะสองสูบที่มีขนาดเล็ก (356 cc.) เมื่อใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง จึงไม่สามารถหาอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง LPG ได้อย่างเหมาะสมตามความต้องการของเครื่องยนต์ ซึ่งระบบที่ใช้กันทั่วไปนั้นเป็น local made gas mixer ชนิด fixed venturi ดังนั้นเพื่อให้การควบคุมอัตราส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงให้เป็นไปตามที่ต้องการ จึงได้ออกแบบและสร้างระบบ gas variable venturi มาใช้ในการควบคุมปริมาณการไหลของเชื้อเพลิงก่อนจ่ายออกไปที่มิกเซอร์เพื่อผสมกับอากาศและเข้าสู่ห้องเผาไหม้ต่อไป

ระบบ gas variable venturi ทำหน้าที่ควบคุมอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่เหมาะสมตามความต้องการของเครื่องยนต์ในขณะนั้น โดยอาศัยการเปิด-ปิดพื้นที่ให้เชื้อเพลิงไหลผ่านก่อนจ่ายไปผสมกับอากาศที่มิกเซอร์ ส่วนประกอบที่สำคัญคือวาล์วก๊าซซึ่งทำหน้าที่ควบคุมพื้นที่เปิดนี้ถูกออกแบบให้เป็น profile needle valve เพื่อปรับปริมาณการไหลของ LPG ที่ต้องการ และนำวาล์วก๊าซนี้ไปต่อเข้ากับปลายของ Stepper motor actuator ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมตำแหน่งของวาล์วก๊าซ

นอกจากนี้ยังประกอบด้วยเรกูเรเตอร์ชนิด single stage ทำหน้าที่ควบคุมความดันและปริมาณ LPG ให้เหมาะสมก่อนจ่ายเข้าไปในเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากระบบ Conventional LPG เดิมที่ใช้เวเปอร์ไรเซอร์ (หรือหม้อต้ม) ชนิด two stage ที่อาศัย depression จากมิกเซอร์ (mixer) เป็นสัญญาณควบคุมปริมาณการไหล ซึ่งพบว่าไม่มีเวเปอร์ไรเซอร์ที่มีขนาดเล็กพอที่จะทำหน้าที่ควบคุมความดันและปริมาณการไหลอย่างเหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์สองจังหวะขนาดเล็กที่ใช้ในรถตุ๊กตุ๊ก

การออกแบบรูปร่างของวาล์วก๊าซอาศัยข้อมูลของส่วนผสมที่ต้องการบน optimum A/F ratio ซึ่งได้จากการทดสอบ mixture loop test ตามจุดการทำงาน พบว่าปริมาณ LPG ที่ต้องการมีความสัมพันธ์กับกับปริมาณอากาศที่ไหลผ่านในลักษณะเชิงเส้น โดยพิสัยของอัตราการไหลของ LPG ที่ต้องการในเครื่องยนต์มีค่า 0.100 – 0.517 liter/sec (ประมาณ 0.187 – 0.966 g/sec ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ) ขณะพิสัยการไหลของอากาศมีค่า 2.37 – 14.14 liter/sec (ประมาณ 2.81 – 16.74 g/sec ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ)

การทดสอบปรับเทียบ (calibration) โดยให้ระบบ gas variable venturi ควบคุมปริมาณการไหลของ LPG ก่อนปล่อยไปที่ burner เพื่อหาข้อจำกัดและนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรหรือพารามิเตอร์ ก่อนที่จะนำไปใช้ในการควบคุมจริงบนเครื่องยนต์ พบว่า พารามิเตอร์หลักในการควบคุมการไหลของ LPG หรือการทำงานของระบบควบคุม gas variable venturi คือ ความดันของระบบที่ออกมาจากเรกูเรเตอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะกดสปริงบนตัวเรกูเรเตอร์ และพื้นที่เปิดให้ปริมาณ LPG ไหลผ่าน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของวาล์วก๊าซ หรือจำนวน step ของ stepper motor actuator

ความดันของระบบที่ออกมาจากเรกูเรเตอร์ถูกกำหนดให้มีค่าความดันสูงสุดที่ระบบสามารถทำงานได้ไม่เกิน 10 นิ้วน้ำ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะกดระหว่าง 0 – 55x10^{-2} มม. ทั้งนี้เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของความดันสูงสุดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลของ LPG (liquid seal drum gas meter) ทำให้มีพิสัยของอัตราการไหล LPG ผ่านเรกูเรเตอร์มีค่า 0 – 0.500 liter/sec (ประมาณ 0 – 0.934 g/sec) นอกจากนี้พบว่าที่อัตราการไหลผ่านของ LPG สูงๆ มีผลทำให้ในเรกูเรเตอร์เย็นตัวลง เนื่องจากการลดความดัน LPG อาศัยการดูดซับเอาความร้อนจากบรรยากาศ จึงทำให้อุปกรณ์ที่ใช้มีอุณหภูมิลดลง ดังนั้นระบบนี้จึงไม่เหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีขนาดใหญ่กว่านี้

ตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของวาล์วก๊าซหรือจำนวน step ของ stepper motor actuator มีพิสัยในการเคลื่อนที่อยู่ในช่วง 0-120 step (12 มม.) จากการทดสอบปรับเทียบพบว่าจำนวน step ที่สามารถปรับอัตราการไหลได้มีค่า 0-50 step (0-5 มม.) โดยที่ตำแหน่งที่อยู่นอกพิสัยดังกล่าวการไหลแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง สาเหตุเนื่องมาจากขนาดของรูปร่าง profile needle valve มีขนาดใหญ่และมีการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่เปิดมากเกิน ดังนั้นในการเลื่อนตำแหน่งเพียงเล็กน้อยจึงมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลอย่างมาก

จากการทดสอบระบบ gas variable venturi กับเครื่องยนต์สองจังหวะที่ใช้ LPG บน Optimum performance path ในเชิงของการประหยัดเชื้อเพลิง ที่แต่ละรอบการทำงาน พบว่าระบบดังกล่าวสามารถจ่ายเชื้อเพลิง LPG ได้ตามความต้องการเกือบทุกค่า ยกเว้นที่ตำแหน่ง WOT ของความเร็วรอบ 4000 rev/min เนื่องจากในการใช้งานบนเครื่องยนต์จริงพบว่าข้อจำกัดในการไหลสูงสุดของ LPG ผ่านระบบควบคุม gas variable venturi มีค่าเท่ากับ 0.455 liter/sec ขณะที่จุดทำงานดังกล่าวต้องการอัตราการไหลของ LPG เท่ากับ 0.517 liter/sec สาเหตุเนื่องจากข้อจำกัดในการปรับเรกูเรเตอร์ปรับความดันที่นำมาใช้งานซึ่งต้องควบคุมไม่ให้เกินความดันสูงสุดของเครื่องมือวัดอัตราการไหลของ LPG นอกจากนี้ยังมีสาเหตุจากข้อจำกัดของรูปร่าง profile needle valve มีขนาดใหญ่และมีการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่เปิดมากเกิน ดังนั้นในการเลื่อนตำแหน่งเพียงเล็กน้อยจึงมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล

อย่างมากทำให้ใช้ step ในการเปลี่ยนตำแหน่งขณะทำงานไม่มากนัก การควบคุมปริมาณการไหลจึงไม่ครอบคลุมตำแหน่งดังกล่าว

เมื่อนำระบบ gas variable venturi มาใช้งานบนเครื่องยนต์สองจังหวะแทนที่ระบบเดิม (local made gas mixer) พบว่าระบบ gas variable venturi สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้ตามความต้องการของเครื่องยนต์ที่ optimum performance path ในเชิงของการประหยัดเชื้อเพลิง พบว่าทุกตำแหน่งความเร็วรอบและภาระของเครื่องยนต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์ Conventional LPG ขณะที่รักษาให้แรงบิดออกมาได้เกือบเท่าเดิม โดยตำแหน่งแรงบิดสูงสุดที่ WOT 2500 rev/min มีค่าแรงบิดลดลง 4.6% ขณะที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่ามากกว่า Conventional LPG 9.5%

ขณะเดียวกันเมื่อเทียบเครื่องยนต์ LPG ที่ใช้ระบบ gas variable venturi กับเครื่องยนต์ OEM ที่ใช้แก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง พบว่าทุกตำแหน่งความเร็วรอบและภาระของเครื่องยนต์ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากเครื่องยนต์ LPG ที่ใช้ระบบควบคุมแบบ gas variable venturi มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนตั้งแต่ 15.6% ถึง 48% โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบต่ำจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่ามาก ขณะเดียวกันค่าแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์ LPG ที่ใช้ระบบควบคุมแบบ gas variable venturi มีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

ตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ดีที่สุดเกิดที่ความเร็วรอบ 4000 rev/min พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ LPG ที่ใช้ระบบควบคุมแบบ gas variable venturi มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีน 15.6% แต่ขณะเดียวกันแรงบิดที่ได้มีค่าลดลง 14% เมื่อพิจารณาตำแหน่งที่ให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ WOT 2500 rev/min พบว่าเครื่องยนต์ LPG ที่ใช้ระบบควบคุมแบบ gas variable venturi ให้ค่าแรงบิดสูงสุดลดลง 20.5% ขณะเดียวกันให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่า 35.6%

นอกจากนี้ระบบควบคุม gas variable venturi ยังทำงานในช่วงส่วนผสมบางตลอดเวลาโดยที่อัตราส่วนสมมูลอยู่ในช่วง 0.830–0.950 ขณะที่เครื่องยนต์แก๊สโซลีนทำงานในช่วงส่วนผสมหนาตลอดเวลาโดยมีอัตราส่วนสมมูลในการทำงานอยู่ในช่วง 1.31–2.03

ตัวแปรการทำงานของเครื่องยนต์เมื่อทำการทดสอบ mixture loop test สำหรับ LPG ที่สำคัญคือ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้า (spark advance) พบว่าที่ MBT Spark advance มีค่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับแก๊สโซลีน เพื่อทำให้กระบวนการเผาไหม้มีเวลาเพียงพอให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เนื่องจากการที่ส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง LPG ที่เป็น dry gas นอกจากมีความต้านทานสูงกว่าแก๊สโซลีนที่เป็นไอแล้ว LPG ยังมีปริมาตรของเชื้อเพลิงในส่วนผสมที่อยู่ในห้องเผาไหม้มากกว่าส่วนผสมระหว่างแก๊สโซลีนกับอากาศอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยจากส่วนผสมที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์เป็นส่วนผสม

บางทุกจุดทำงาน ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการเผาไหม้นานกว่า จำเป็นที่ต้องให้เกิดการจุดระเบิดก่อน TDC มากขึ้น

เมื่อพิจารณา system characteristic ของระบบควบคุม gas variable venturi ที่มีต่อเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบคงที่ โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของ gas variable venturi พบว่าการเปลี่ยนแปลงระยะกดบนสปริงของเรกูเรเตอร์มีผลอย่างมากต่อแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ได้ออกมา ขณะที่การเปลี่ยนแปลง step หรือตำแหน่งวาล์วก๊าซมีผลต่อแรงบิดของเครื่องยนต์เพียงเล็กน้อย นั่นคือพารามิเตอร์หลักของระบบควบคุม gas variable venturi ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของเครื่องยนต์คือ ระยะกดบนสปริงของเรกูเรเตอร์ ขณะที่ตำแหน่งการเลื่อนของวาล์วก๊าซเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลรองลงมา

8.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการควบคุมพารามิเตอร์ในการทำงานของ gas variable venturi คือการเปลี่ยนระยะกดบนเรกูเรเตอร์และการเปลี่ยน step หรือตำแหน่งของวาล์วก๊าซ ที่ได้ออกแบบเป็น manual control และเนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์และโปรแกรมควบคุมที่นำมาใช้งานเป็น open loop control จึงมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนตำแหน่งการทำงานของเครื่องยนต์ (transient) หรือการเปลี่ยนตำแหน่งวาล์วปีกผีเสื้อได้ไม่ดีพอ ต้องมีการพัฒนาต่อไปเพื่อจะนำไปใช้จริงกับเครื่องยนต์
2. ในการนำระบบควบคุม LPG ชนิด gas variable venturi ไปใช้งานจริงนั้น ต้องเพิ่มระบบควบคุม Feed back control โดยอาศัยข้อมูลเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งของวาล์วก๊าซและเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งของระยะกดบนสปริงของเรกูเรเตอร์ และนำ stepper motor actuator มาใช้ในการเปลี่ยนแปลงระยะกดของเรกูเรเตอร์ นอกจากนี้การออกแบบ controller จะมีความซับซ้อนมากขึ้น โดยอาจใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการป้องกันสัญญาณรบกวนอย่างดีมาใช้ในการควบคุมแทนคอมพิวเตอร์ เนื่องจากปัญหาของสัญญาณรบกวนจาก การปิด-เปิดหน้าทองขาวซึ่งทำให้เกิดการยุบตัวของสนามแม่เหล็กในคอยล์จุดระเบิด
3. การออกแบบวาล์วก๊าซต้องให้มีขนาดการเปลี่ยนพื้นที่น้อยกว่านี้เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งวาล์ว นอกจากนี้การเลือก actuator เพื่อมาใช้ในการเลื่อนตำแหน่งของวาล์วก๊าซต้องให้มีความละเอียดหรือระยะมากกว่านี้
4. ควรมีระบบทำความร้อนให้กับเรกูเรเตอร์ชนิด single stage ที่นำมาใช้งานเพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นไดอะแฟรมแข็งตัว โดยอาจจะต่อมาจากน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์

5. ข้อมูลพารามิเตอร์ในการควบคุมที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาระบบควบคุมที่ดีกว่าในอนาคต
6. ระบบที่ได้ออกแบบนี้สามารถนำไปใช้ได้กับ stationary engine หรือเครื่องปั่นไฟขนาดเล็กที่ใช้กันทั่วไป โดยสามารถใช้ถังบรรจุ LPG และเรกกูเรเตอร์ชนิดเดียวกับที่ใช้ในครัวเรือน โดยไม่ต้องอาศัยเวเปอร์ไรเซอร์เนื่องจากปริมาณการไหลค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในยานยนต์
7. สามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์สองจังหวะโดยการปรับแต่งระบบจุดระเบิด เช่น การลดระยะห่าง (gap) ของหน้าทองขาวหรือเพิ่มระยะ dwell time ซึ่งจะเป็นการเพิ่มพลังงานในขณะเกิดการจุดระเบิด แต่มีข้อเสียคืออายุการใช้งานหน้าทองขาวจะสั้นลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย