Journal of Engineering and Technology
Vol. 1 No. 1 January – June 2013

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบควบคุมเครื่องยนต์ขณะรอบเดินเบาของรถยนต์ขนาด 1,000 ซีซี ถึง 1,500 ซีซี โดยวิธีการเทียบเคียง

A Study of Idle Speed Control Performance Benchmarking of 1,000 cc. - 1,500 cc. Engine

สราวุฒิ ปิ่นจันทร์
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะบริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีไทย–ญี่ปุ่น 1771/1 ถ.พัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
sarawutp16@gmail.com

บทคัดย่อ - งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์รถยนต์ขนาด 1,000 ซีซี ถึง 1,500 ซีซี ในประเทศไทย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะนำไปพัฒนาระบบควบคุมความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ตัวอย่าง โดยทำการเทียบเคียงเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบการจัดการเครื่องยนต์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 แบบ คือ การจัดการเครื่องยนต์แบบ D-Jetronic L-Jetronic และแบบที่ใช้ทั้ง Djetronic ร่วมกับ L-Jetronic การทดลองได้แบ่งออกเป็น 16 หัวข้อตามปัจจัยและสภาวะที่ส่งผลกระทบต่อการควบคุมรอบเดินเบาโดยใช้ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพมาทำการเปรียบเทียบกันในเชิงวิเคราะห์ คือ ค่าเฉลี่ยของความเร็วรอบ (N) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วรอบ (σ) ค่าความผิดพลาดของความเร็วรอบจากค่าเป้าหมาย (ε) Overshoot Undershoot และ Track time ซึ่งผลการเทียบเคียงพบว่าเครื่องยนต์ J ซึ่งมีการจัดการแบบ D-Jetronic ได้คะแนนมากที่สุดคือ 35 จาก 41 คะแนนหรือ 85.4% จึงได้ใช้เครื่องยนต์ J เป็นหลักในการวิเคราะห์สำหรับการพัฒนาปรับปรุงเครื่องยนต์ตัวอย่างโดยสามารถสรุปได้ทั้งหมด 3 หัวข้อ คือ 1. ประสิทธิภาพในการตอบสนองที่รวดเร็วของการชดเชยปริมาณอากาศเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดในสภาวะต่าง ๆ ทำให้ควบคุมรอบเดินเบาได้ดี ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยการวางตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดปริมาณอากาศให้ใกล้เครื่องยนต์มากยิ่งขึ้น เป็นต้น 2. การชดเชยปริมาณอากาศหลังเหยียบคันเร่งไปที่รอบปานกลางและรอบสูงที่มีลักษณะขึ้นไปที่รอบเป้าหมายทันทีจะทำให้ค่า Track Time มีค่าน้อยกว่าการชดเชยในลักษณะเป็นขั้นบันได 3. ขนาดของแบตเตอรี่และตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้ามีผลต่อการควบคุมรอบเดินเบา ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็กและตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่จะควบคุมรอบเดินเบาได้ดีเนื่องจากการประจุไฟฟ้ากลับเข้าสู่แบตเตอรี่ทำได้อย่างรวดเร็วและใช้ระยะเวลาสั้นในการดึงกำลังของเครื่องยนต์เพื่อใช้สร้างกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจากการศึกษาเทียบเคียงครั้งนี้สามารถนำหัวข้อการปรับปรุงที่ได้ไปพัฒนาระบบควบคุมรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ตัวอย่างได้ต่อไป

คำสำคัญ - การเทียบเคียง, ความเร็วรอบเดินเบา, ระบบการจัดการเครื่องยนต์

Abstract - **The main objective of this study is to conduct a performance benchmarking of idle speed control system in small automotive engines between 1,000 to 1,500 cc in Thailand. The outcome will be used as a guideline to develop the idle speed control system of the Sample Engine. The performance benchmarking examined 3 different types of engine management system namely; D-Jetronic, L-Jetronic, and the D-Jetronic incorporate with L-Jetronic. The experiment was divided into 16 test conditions which affect the performance of the idle speed control system. Performance indicators were the average of engine speed (N), standard deviation of engine speed (σ), error value of engine speed from the target speed (ε), overshoot, undershoot and track time. The result indicated that Engine "J" with Djetronic engine management system was obtained the highest score and was used to improve the Sample Engine. There are 3 main findings to improve and further develop the Sample Engine. 1) Rapid response of the air intake compensation during the load changes has significant impact on the idle speed control performance. The responsiveness can be improved by, for example, designing the location of the air sensor to be closer to the engine. 2) To return to the target idle speed after high engine speed, instantaneous air intake compensation showed shorter track time than stepping air intake compensation. 3) Size of both battery and alternator has significant impact on the idle speed control performance. The result indicated that automobile sample with a smaller battery and a larger alternator has better performance. This is due to less voltage fluctuation during the idle speed since charging time from the alternator to the battery and the duration of power drawn from the engine to generate electricity was shorter. Thus, the key findings from the study could be used to improve and further develop the Sample Engine in the future.**

Keywords - **Benchmarking, Idle speed, Engine management system**

1. คำนำ (Introduction)

ตลาดรถยนต์ในปัจจุบันนั้น ผู้บริโภคมีแนวโน้มที่จะเลือกใช้รถยนต์ที่มีขนาดเล็ก ประหยัดน้ำมัน ปล่อยมลพิษน้อย แต่มีประสิทธิภาพที่ดีเป็นจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการส่งเสริมให้มีการผลิตและการใช้รถยนต์ขนาดเล็กจากทางภาครัฐ เช่น มาตรการภาษีรถยนต์ประหยัดพลังงานมาตรฐานสากล (Eco Car) แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มตลาดรถยนต์ขนาดเล็กในอนาคตที่จะมีการแข่งขันที่รุนแรงขึ้น ซึ่งผู้ผลิตก็มีความจำเป็นที่ต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างโอกาสที่ดีด้านการแข่งขันซึ่งการใช้งานรถยนต์ในชีวิตประจำวันนั้น อัตราการบริโภคน้ำมันของเครื่องยนต์ 30% จะอยู่ในช่วงของรอบเดินเบา และยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคต เนื่องจากปัญหาจราจรที่ติดขัด ซึ่งในช่วงรอบเดินเบาเครื่องยนต์จะถูกควบคุมการทำงานด้วยระบบควบคุมความเร็วรอบเดินเบานอกจากเรื่องของการบริโภคน้ำมันแล้ว ระบบควบคุมความเร็วรอบเดินเบายังมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ กล่าวคือการควบคุมรอบเดินเบาที่ดีจะต้องควบคุมให้ความเร็วรอบคงที่ที่สุดในทุกสภาวะการทำงานในช่วงรอบเดินเบา ดังนั้นการพัฒนาระบบควบคุมรอบเดินเบาและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องจึงมีความสำคัญต่อผู้ผลิตรถยนต์เป็นอย่างมาก

โดยงานวิจัยในส่วนของระบบการควบคุมความเร็วรอบเดินเบาที่ผ่านมานั้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองหรือโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของความเร็วรอบเดินเบายกตัวอย่างเช่น การศึกษาโมเดลทางคณิตศาสตร์รูปแบบต่างๆ ที่ใช้ควบคุมความเร็วรอบเดินเบาของ D.Hrovat and Jing Sun [1], การศึกษาการควบคุมความเร็วรอบเดินเบาโดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์แบบไฮบริด (Hybrid model) ของ Andrea Balluchi; Luca Benvenuti; Claudio Lemma; Pierpaolo Murrieri; and Alberto L. Sangiovanni-Vincentelli [2], การศึกษาการควบคุมความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ที่ใช้ปีกผีเสื้อไฟฟ้า (Electronic Throttle) โดยใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์แบบ PID ของ Teruji Sekozawa [3] และ การศึกษาวิจัยการทำงานของความเร็วเดินเบาเมื่อทำการลดรอบความเร็วรอบเดินเบาเป้าหมายโดยการเปลี่ยนแปลงโมเดลทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมรอบเดินเบาของ Min Han; Robert N. K. Loh; and Lin Wang [4] เป็นต้น ซึ่งเป็นงานวิจัยในต่างประเทศทั้งสิ้น จะเห็นว่าในประเทศไทยนั้นการศึกษาในส่วนของระบบควบคุมรอบเดินเบานั้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเทคนิคการเทียบเคียงมาประยุกต์ใช้นั้นยังไม่มีการนำ เสนออย่างชัดเจน ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะเข้าไปทำการศึกษาวิจัยในส่วนของการทำการเทียบเคียงผลและลักษณะของการควบคุมความเร็วรอบเครื่องยนต์ในช่วงรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ที่มีระบบการจัดการเครื่องยนต์ที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะนำไปพัฒนาระบบควบคุมรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ตัวอย่างได้ รวมทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการทำการเทียบเคียงในอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย โดยงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมความเร็วรอบเครื่องยนต์ในช่วงรอบเดินเบาของรถยนต์ขนาดเล็กในประเทศไทยที่ใช้ระบบการจัดการเครื่องยนต์ที่แตกต่างกันโดยการนำวิธีการเทียบเคียงมาประยุกต์ใช้ในการวิจัย

2. Literature Review

2.1 การเทียบเคียง (Benchmarking)

เป็นเครื่องมือหรือเทคนิคสำหรับการศึกษาเพื่อปรับปรุงและพัฒนาศักยภาพขององค์กร ซึ่งเป็นกระบวนการวิเคราะห์ ประเมินและเทียบเคียงผลิตภัณฑ์ การบริการ รวมถึงกระบวนการทำงานขององค์กรหนึ่งๆ กับองค์กรที่เป็นเลิศในด้านต่างๆ โดยการศึกษาต้องกระทำอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะช่วยให้องค์กรสามารถพัฒนาระดับศักยภาพของตัวเองให้ทัดเทียมหรือเหนือกว่าระดับที่นำมาเทียบเคียง [5] โดยมีขั้นตอนหลักอยู่ 5 ขั้นตอน [6] 1) วางแผน 2) สรรหา 3) สังเกต 4) วิเคราะห์ และ 5) ประยุกต์

<u>ในขั้นตอนแรก</u> ขั้นตอนวางแผนนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่กำหนดรูปแบบวิธีการทำการเทียบเคียง เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อองค์กร โดยจะแบ่งออกมาได้เป็น 4 ขั้นตอนย่อย คือ

1) การกำหนดหัวข้อการทำการเทียบเคียง ซึ่งควรจะเลือกหัวข้อที่กระทบต่อตัวแปรวัดความสำเร็จที่สำคัญของบริษัท (Critical Success Factor: CSF) หรือผลิตภัณฑ์

2) จัดตั้งทีมปฏิบัติงาน

3) ทำความเข้าใจหัวข้อที่จะศึกษา

4) กำหนดดัชนีชี้วัด (Performance Indicator: PI) สำหรับหัวข้อนั้นๆ

<u>ขั้นตอนที่สอง</u> ขั้นตอนสรรหาซึ่งเป็นขั้นตอนของการคัดเลือกผู้ที่จะมาเป็นผู้เปรียบเทียบข้อมูลกับเรา หรือที่เรียกว่าเป็น Benchmarking Partner ซึ่งมีแนวทางปฏิบัติในขั้นตอนนี้ คือ

1) จัดทำรายการชื่อองค์กรที่ต้องการจะเปรียบเทียบ โดยคำนึงถึงกระบวนการหรือหัวข้อที่ได้คัดเลือกมาทำ

2) การคัดเลือกองค์กร ซึ่งการคัดเลือกองค์กรจำเป็นต้องมีการจัดทำหลักเกณฑ์การคัดเลือกองค์กรเพื่อคัดองค์กรที่มีความเหมาะสมจริงๆ เพื่อไปเปรียบเทียบด้วย

<u>ขั้นตอนที่สาม</u> ขั้นตอนการสังเกต จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้ก็เพื่อที่จะศึกษาและทำความเข้าใจกระบวนการของคู่เทียบเคียงเพื่อนำมาประยุกต์ใช้และปรับปรุงพัฒนากระบวนการของตนเองให้ดีขึ้น ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย คือ

1) ประเมินแหล่งที่มาและประเภทของข้อมูลที่ต้องการ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาองค์กร ควรหาข้อมูลให้ได้ดังนี้ คือ ระดับของประสิทธิภาพบอกให้ได้ว่าคู่เทียบเคียงมีประสิทธิภาพดีกว่าตัวเองเพียงไร

2) เลือกวิธีการและเครื่องมือในการเก็บข้อมูล คือการกำหนดและออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล

3) บันทึกและสรุปข้อมูลที่ได้

ขั้นตอนที่สี่ ขั้นตอนวิเคราะห์ ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมมาเพื่อชี้บ่งถึงระดับความแตกต่างในศักยภาพและสาเหตุที่เป็นไปได้ การวิเคราะห์เป็นขั้นตอนที่สำ คัญอย่างยิ่งขั้นตอนหนึ่งในการ Benchmark ถ้าไม่ให้ความสำคัญต่อการวิเคราะห์สาเหตุของระดับความแตกต่าง แผนการปรับปรุงพัฒนาที่ได้อาจจะไม่ประสบผลสำเร็จ ซึ่งประกอบไปด้วย

1) จัดกลุ่มข้อมูลที่ได้มา เพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติในขั้นตอนต่อไป

2) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

3) ปรับเปลี่ยนข้อมูลให้เข้าใจได้ง่าย เช่น สรุปเป็นค่าเฉลี่ย อัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

4) ชี้บ่งระดับความแตกต่าง การวิเคราะห์ช่วงห่าง (Gap analysis) จะทำ ให้ทราบว่าประสิทธิภาพหรือความสามารถของเราห่างจากคู่เปรียบเทียบด้วยมากน้อยเพียงไร สิ่งแรกที่ต้องปฏิบัติก่อนที่จะทำการวิเคราะห์หาช่วงห่างคือ การเรียบเรียงข้อมูลทั้งหมดที่ได้ในขั้นตอนก่อนหน้าการเรียบเรียงข้อมูลมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล อาจทำได้โดยใช้ กราฟ ตารางเปรียบเทียบข้อมูล หรือใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ

5) ค้นหาสาเหตุ เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงพัฒนา ซึ่งต้องทำความเข้าใจกระบวนการของคู่เทียบเคียงว่ามีขั้นตอนการทำงานอย่างไรจึงมีระดับศักยภาพที่เป็นเลิศ

ขั้นตอนสุดท้าย ขั้นตอนการประยุกต์ ในขั้นตอนนี้จะมุ่งเน้นไปที่หาแนวทางการปรับปรุง และสรุปผลการเทียบเคียง

2.2 ระบบควบคุมความเร็วรอบเดินเบา (Idle speed control system)

ระบบควบคุมความเร็วรอบเดินเบา จะควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในช่วงเดินเบาให้คงที่โดยใช้วาล์วควบคุมปริมาณอากาศที่ผ่านช่องทาง Bypass ของเรือนลิ้นเร่งหรือทางลิ้นปีกผีเสื้อสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ปีกผีเสื้ออิเล็กทรอนิกส์ก่อนเข้าสู่กระบอกสูบ โดยการทำงานของวาล์วจะถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งหน้าที่หลักของระบบควบคุมความเร็วรอบเดินเบา มีดังนี้

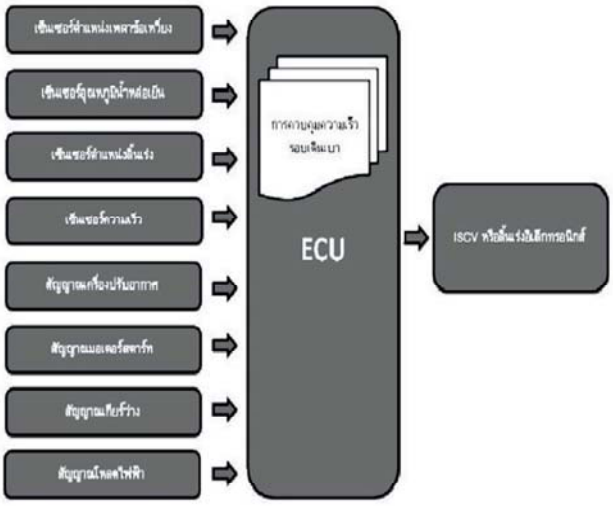
2.2.1) ควบคุมความเร็วรอบให้มีเสถียรภาพเพื่อความสบายในการขับขี่

2.2.2) ป้องกันการดับของเครื่องยนต์

2.2.3) ควบคุมความเร็วรอบเดินเบาให้ต่ำที่สุดตามเป้าหมายที่กำหนดในแต่ละสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อปรับปรุงอัตราบริโภคเชื้อเพลิง

2.2.4) ป้องกันการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบเดินเบาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น ภาระหรือโหลดของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น

การควบคุมความเร็วรอบเดินเบาที่ดีนั้นจะต้องมีการตอบสนองของระบบการควบคุมรวมถึงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการควบคุมรอบเดินเบาที่รวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดเกิดขึ้นเพื่อควบคุมความเร็วรอบให้คงที่ที่สุดโดยการควบคุมความเร็วรอบเดินเบานั้นจะพิจารณาจากความเร็วรอบเป้าหมายในสภาวะต่างๆ เป็นหลัก ถ้าความเร็วรอบในสภาวะนั้นๆ ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย ระบบควบคุมความเร็วรอบเดินเบาจะสั่งการไปที่อุปกรณ์ควบคุมปริมาณอากาศเพื่อชดเชยและรักษารอบให้ได้ตามเป้าหมายที่ถูกกำหนดค่าไว้แล้ว โดยการรับข้อมูลจากเซนเซอร์ต่างๆ มาทำการคำนวณและสั่งการไปยังอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมรอบเดินเบา ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ข้อมูลต่างๆ จากเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้คำนวณเพื่อควบคุมการทำงานของระบบควบคุมรอบเดินเบา

ลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ส่งผลต่อการควบคุมความเร็วรอบเดินเบานั้นมีอยู่ 3 ส่วนหลักๆ โดยเรียงตามลำดับความสำคัญดังนี้ [7]

1) การรักษาระดับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ใกล้เคียงกับค่าความเร็วรอบเป้าหมายมากที่สุด และมีการแกว่งของรอบเครื่องยนต์ (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

2) อุปกรณ์หรือระบบของรถยนต์บางชนิดส่งผลโดยตรงและบางชนิดก็ส่งผลทางอ้อมต่อความเร็วรอบเดินเบา ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าเป็นภาระ (โหลด) ต่อเครื่องยนต์ สามารถสรุปได้ดังนี้

- การทำงานของเครื่องทำความเย็น (การทำงานของคอมเพรสเซอร์)

- การทำงานของตัวสร้างกระแสไฟฟ้า (alternator) เพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เมื่อมีการใช้ไฟฟ้า เช่น วิทยุ ไฟส่องสว่าง ระบบละลายไอน้ำ (ฝ้า) เป็นต้น

- การทำงานของพวงมาลัยเพาเวอร์

- การเข้าเกียร์ขณะรอบเดินเบา

ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นสาเหตุของการเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์โดยการไปดึงกำลังส่วนหนึ่งจากเครื่องยนต์ไปใช้เพื่อควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ ทำให้ความเร็วรอบเครื่องยนต์เกิดการเปลี่ยนแปลง

3) การเปลี่ยนแปลงจากการขับขี่ปกติเข้าสู่ช่วงรอบเดินเบา ซึ่งการควบคุมรอบเดินเบาจะต้องควบคุมให้เข้าสู่ค่าความเร็วรอบเป้าหมายได้อย่างราบเรียบที่สุดโดยที่จะต้องไม่ให้ความเร็วรอบเครื่องยนต์มีการตกลงไปเกินรอบเป้าหมายหรือเกิดขึ้นน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อป้องกันการสั่นและการดับของเครื่องยนต์

3. ขั้นตอนการวิจัย (Research Methodology)

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบไปด้วย

1) เครื่องออสซิลโลสโคป
2) เครื่องวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์
3) เซนเซอร์วัดสัญญาณพัลส์ของคอยล์จุดระเบิด
4) เครื่องวัดความดันอากาศในท่อร่วมไอดี

โดยวิธีการทดลองได้ดำเนินตามขั้นตอนการทำการเทียบเคียงดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนวางแผน

การกำหนดหัวข้อการทำการเทียบเคียงได้คำนึงถึงหัวข้อที่กระทบต่อตัวแปรวัดความสำเร็จที่สำคัญของบริษัท (Critical Success Factor: CSF) หรือผลิตภัณฑ์ซึ่งได้สรุปและทำการคัดเลือกโดยนำเครื่องมือที่เรียกว่า Criteria Testing Matrix มาประยุกต์ช่วยในการลงคะแนนเพื่อให้การคัดเลือกกระบวนการเป็นขั้นตอนมากขึ้น ดังตารางที่ 1 ซึ่งจากคะแนนรวมได้สรุปหัวข้อที่จะทำการเทียบเคียงคือการเทียบเคียงระบบควบคุมรอบเดินเบา หลังจากนั้นได้ทำการกำหนดรูปแบบการทดลองเพื่อทำการเทียบเคียงระบบควบคุมรอบเดินเบาไว้ทั้งหมด 16 หัวข้อ ดังตารางที่ 2 และกำหนดดัชนีชี้วัดในแต่ละหัวข้อ โดยได้ทำการแบ่งกลุ่มหัวข้อการทดลองที่ 1-15 ออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะการทำงานต่างๆ ที่ส่งผลต่อการควบคุมความเร็วรอบเดินเบา โดยเรียงตามลำดับความสำคัญ [7] ดังตารางที่ 3 (การทดลองที่ 16 เป็นการทดลองเพิ่มเติม)

ตารางที่ 1 การคัดเลือกหัวข้อเทียบเคียงโดยใช้ Criteria Testing Matrix

หลักเกณฑ์ / หัวข้อ	ผลต่อความพอใจของลูกค้า	ประโยชน์ที่องค์กรจะได้รับ	ความยากง่าย	ความพร้อมของอุปกรณ์	คะแนนรวม
1.การฉีดเชื้อเพลิง	5	7	1	1	14
2.การจุดระเบิด	5	7	1	1	14
3.ความเร็วรอบเดินเบา	7	7	3	7	24
4.การควบคุมไอเสีย	5	7	5	3	20
5.การวิเคราะห์ปัญหา	5	7	1	3	16
6.ฟังก์ชั่นป้องกันการทำงานบกพร่อง	5	7	3	5	20

การลงคะแนน น้อย = 1 ปานกลาง = 3 มาก = 5 มากที่สุด = 7

ตารางที่ 2 หัวข้อการทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมรอบเดินเบา

หัวข้อการทดลอง
1. การควบคุมรอบเดินเบาขณะที่เครื่องยนต์ไม่มีภาระใดๆ
2. การควบคุมรอบเดินเบาในขณะที่เปิดเครื่องทำความเย็น
3. การควบคุมรอบเดินเบาขณะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า
4. การควบคุมรอบเดินเบาขณะหมุนพวงมาลัยเพาเวอร์จนสุด
5. การควบคุมรอบเดินเบาขณะเข้าเกียร์
6. การควบคุมรอบเดินเบาขณะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องทำความเย็น
7. การควบคุมรอบเดินเบาขณะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเปิดเครื่องทำความเย็นและหมุนพวงมาลัยเพาเวอร์จนสุด
8. การควบคุมรอบเดินเบาหลังจากรอบเครื่องยนต์ขึ้นและลดลงมาจากรอบสูงอย่างรวดเร็ว
9. การควบคุมรอบเดินเบาหลังจากรอบเครื่องยนต์ขึ้นและลดลงมาจากรอบปานกลางอย่างรวดเร็ว
10. การควบคุมรอบเดินเบาหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงของอากาศอย่างต่อเนื่อง
11. การควบคุมรอบเดินเบาหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงของอากาศโดยทันทีหลังสตาร์ท
12. การควบคุมรอบเดินเบาหลังจากรอบเครื่องยนต์ลดลงมาจากรอบปานกลาง (รอบการใช้งานปกติ)
13. การควบคุมรอบเดินเบาหลังจากรอบเครื่องยนต์ลดลงมาจากรอบปานกลาง (รอบการใช้งานปกติ) ในขณะที่เปิดเครื่องทำความเย็น
14. การควบคุมรอบเดินเบาโดยการเปิดเครื่องทำความเย็นในขณะที่ไม่มีการฉีดเชื้อเพลิง

หัวข้อการทดลอง
15. การควบคุมรอบเดินเบาโดยหมุนพวงมาลัยเพาเวอร์จนสุดในขณะที่ไม่มีการฉีดเชื้อเพลิง
16. การควบคุมการชดเชยปริมาณอากาศที่รอบเดินเบาหลังจากที่เหยียบคันเร่งเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 3 การทดลองตามลำดับความสำคัญที่สอดคล้องกับอุปสรรคต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อรอบเดินเบา

หัวข้อลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการควบคุมรอบเดินเบา	การทดลอง	ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ
1.การรักษาระดับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ใกล้เคียงกับค่าความเร็วรอบเป้าหมายมากที่สุด และมีการแกว่งของรอบเครื่องยนต์ (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ต่ำที่สุดทั้งในขณะที่เครื่องยนต์มีภาระและไม่มีภาระใดๆ	1 ถึง 7	N_d, σ, ε
2.ผลกระทบจากการทำงานของอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าต่อการควบคุมความเร็วรอบในช่วงรอบเดินเบา	2 ถึง 7	Track time
3.การเปลี่ยนแปลงจากการขับขี่ปกติที่รอบต่างๆเข้าสู่ช่วงรอบเดินเบา	8 ถึง 15	Undershoot

โดยที่ดัชนีชี้วัดในการทดลองมีดังนี้ [4]

$$\text{Standard deviation} = \sigma = \sqrt{\frac{1}{M}\sum_{n=1}^{M}} [N(n) - \bar{N}(n)]^2 \quad (1)$$

$$\text{Error} = \varepsilon = abs(\bar{N} - N_d) \quad (2)$$

$$\text{Undershoot} = abs(N_{Min} - \bar{N}) \quad (3)$$

$$\text{Track time} = T_{start} - T_{rec} \quad (4)$$

เมื่อ M คือจำนวนของข้อมูลที่เก็บในช่วงเวลานั้นๆ โดยในการทดลองครั้งนี้ทำการเ ก็บข้อมูล 5 ข้อมูลต่อ 1 วินาที

N_d คือความเร็วรอบเดินเบามาตรฐานเมื่อไม่มีภาระใดๆ ของเครื่องยนต์ที่ถูกกำหนดมาจากผู้ผลิตเครื่องยนต์

N_{Max} คือความเร็วรอบสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงของภาระต่างๆที่มีต่อเครื่องยนต์

N_{Min} คือ ความเร็วรอบต่ำสุดที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงของภาระต่างๆที่ มีต่อเครื่องยนต์

T_{start} คือ เวลาขณะที่ภาระต่างๆเริ่มทำงาน เช่น เวลาขณะที่เริ่มเปิดเครื่องทำความเย็นเป็นต้น

T_{rec} คือ เวลาในขณะที่ความเร็วรอบปรับมาอยู่ในขอบเขต 3% ของความเร็วรอบเฉลี่ยหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงของภาระ หรือก็คือเวลาขณะที่ความเร็วรอบเริ่มคงที่หลังจากรอบแกว่งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของภาระ

3.2 ขั้นตอนการสรรหา

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการรวบรวมรายการเครื่องยนต์ที่จะนำมาทำการคัดเลือก โดยการคัดเลือกได้กำหนดเกณฑ์ในการคัดเลือกไว้ 3 หัวข้อ คือ

1) เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบการจัดการเครื่องยนต์ต่างกัน
2) เป็นเครื่องยนต์ที่มีขนาดความจุกระบอกสูบใกล้เคียงกัน
3) เป็นเครื่องยนต์ที่ผลิตในปีที่ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ตัวอย่าง (ไม่เกิน 5 ปี)

ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบ

เกณฑ์	ระบบจัดการเครื่องยนต์	ความจุเครื่องยนต์	ปีล่าสุดที่มีจำหน่าย
ตัวอย่าง	D-L Jetronic	1490cc.	2010
B	L-Jetronic	1497cc.	2010
J	D-Jetronic	1490cc.	2006

หลังจากนั้นจึงนำเครื่องยนต์ที่คัดเลือกมาทำการทดลองเพื่อเทียบเคียงประสิทธิภาพการควบคุมรอบเดินเบาตามหัวข้อการทดลองที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งเป็นขั้นตอนการสังเกตตามกระบวนการเทียบเคียง

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์ (Result and Discussion)

ในส่วนนี้จะเป็นขั้นตอนวิเคราะห์และขั้นตอนประยุกต์ตามกระบวนการเทียบเคียง จากตารางที่ 2 ที่ได้ทำการสรุปการทดลองตามลำดับความสำคัญที่สอดคล้องกับอุปสรรคต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการทำงานการควบคุมความเร็วรอบเดินเบาไว้แล้วนั้น สามารถนำมาประยุกต์สำหรับให้คะแนนความสามารถในการควบคุมความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ที่นำมาเทียบเคียงในแต่ละหัวข้อการทดสอบ เพื่อที่จะหาผู้เป็นเลิศ (เครื่องยนต์) ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ โดยจากทฤษฎีที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นสามารถแบ่งการให้น้ำหนักคะแนนออกเป็น 3 หัวข้อหลักดังนี้

1) การรักษาระดับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ใกล้เคียงกับค่าความเร็วรอบเป้าหมายมากที่สุดและมีการแกว่งของรอบเครื่องยนต์ (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ทั้งในขณะที่เครื่องยนต์มีภาระและไม่มีภาระใดๆ มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 3

2) ผลกระทบจากการทำงานของอุปกรณ์และระบบต่างๆต่อการควบคุมความเร็วรอบในช่วงรอบเดินเบา มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 2

3) การเปลี่ยนแปลงจากการขับขี่ปกติที่รอบต่างๆเข้าสู่ช่วงรอบเดินเบา มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 1

เมื่อได้กำหนดน้ำหนักคะแนนในแต่ละหัวข้อการทดลองแล้วจึงนำมาสรุปได้เป็นตารางที่ 5 การตัดสินเครื่องยนต์ที่ดีที่สุดในแต่ละการทดลองจะพิจารณาจากผลการทดลองของตัวดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญ (Key PI) ของแต่ละการทดลอง หลังจากนั้นจะนำมาให้คะแนนตามน้ำหนักแต่ละหัวข้อการทดลอง และทำการสรุปคะแนนรวมเพื่อหาเครื่องยนต์ที่ดีที่สุดจากงานวิจัยครั้งนี้ จากตารางสามารถสรุปตามลำดับคะแนนได้ดังต่อไปนี้

1) เครื่องยนต์ J ได้คะแนนรวมเท่ากับ 35 คะแนน ซึ่งคิดเป็น 85.4%

2) เครื่องยนต์ตัวอย่าง ได้คะแนนรวมเท่ากับ 6 คะแนน ซึ่งคิดเป็น 14.6%

3) เครื่องยนต์ B ได้คะแนนรวมเท่ากับ 0 คะแนน ซึ่งคิดเป็น 0%

พบว่าเครื่องยนต์ J ได้คะแนนรวมมากที่สุดจึงสรุปได้ว่าเครื่องยนต์ J มีระบบการควบคุมความเร็วรอบเดินเบาดีที่สุด รองลงมาคือเครื่องยนต์ตัวอย่างและเครื่องยนต์ B ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าแนวทางการพัฒนาเครื่องยนต์ตัวอย่างนั้นควรเริ่มต้นจากการศึกษาเครื่องยนต์ J เป็นหลัก

ตารางที่ 5 การเทียบเคียงหาเครื่องยนต์ที่เป็นเลิศด้านการควบคุมความเร็วรอบเดินเบา

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการควบคุมความเร็วรอบเดินเบา	การทดลอง	Key PI	เครื่องยนต์ที่ดีที่สุด
1. การรักษาความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้ใกล้เคียงกับความเร็วรอบเป้าหมายมากที่สุด และมีการแกว่งของรอบเครื่องยนต์ต่ำที่สุด ทั้งในขณะที่เครื่องยนต์มีภาระและไม่มีภาระใดๆ **น้ำหนักคะแนนเท่ากับ 3**	1	ค่าความเร็วเป้าหมายต่ำ (N_d) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ค่าผิดพลาดจากค่าเป้าหมาย (Error : ε)	ตัวอย่าง
	2		J
	3		J
	4		J
	5		ตัวอย่าง
	6		J
	7		J
	6		J
	7		J
2. ผลกระทบจากการทำงานของอุปกรณ์และระบบต่างๆ ต่อการควบคุมความเร็วรอบในช่วงรอบเดินเบา **น้ำหนักคะแนนเท่ากับ 2**	2	Track time	J
	3		J
	4		J
	5		J
	6		J
	7		J
	8		J
3. การเปลี่ยนแปลงจากการขับขี่ปกติที่รอบต่างๆ เข้าสู่ช่วงรอบเดินเบา **น้ำหนักคะแนนเท่ากับ 1**	8	Undershoot	J
	9		J
	10		J
	11		J
	12		J
	13		J
	14		J
	15		J

ผลที่ได้หลังจากทำกระบวนการเทียบเคียงทำให้ทราบความแตกต่างของการควบคุมรอบเดินเบาของบริษัท เมื่อเปรียบเทียบกับคู่แข่งทั้งจุดเด่น จุดด้อยในแต่ละเครื่องยนต์ ทำให้องค์กรตัวอย่างทราบว่าจุดใดบ้างที่ยังมีความแตกต่างจากคู่แข่ง ทราบว่าควรปรับปรุงหรือเพิ่มความพึงพอใจแก่ลูกค้าทางด้านคุณภาพด้านใดบ้าง หรือหัวข้อที่คิดว่าองค์กรตัวอย่างทำได้ดีกว่าคู่แข่งอยู่แล้วก็ควรรักษาระดับคุณภาพและแนวทางในด้านนั้นๆ รวมถึงพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นไปอย่างต่อเนื่องต่อไป ค้นหาช่องว่างของประสิทธิภาพระหว่างเครื่องยนต์ ค้นหาสาเหตุและเสนอแนวทางปรับปรุงตามขั้นตอนของการทำการเทียบเคียง ซึ่งสามารถสรุปข้อเสนอแนะต่อเครื่องยนต์ตัวอย่างได้ 3 หัวข้อดังนี้

1) ประสิทธิภาพในการตอบสนองที่รวดเร็วของการชดเชยปริมาณอากาศเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดในสภาวะต่างๆ จะทำให้สามารถควบคุมรอบเดินเบาได้ดี ซึ่งประสิทธิภาพในการตอบสนองสามารถปรับปรุงได้โดยการวางตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดปริมาณอากาศให้ใกล้เครื่องยนต์มากยิ่งขึ้นกว่าเดิม นอกจากนี้ควรจะมีการศึกษาและปรับปรุงการทำงานโดยเฉพาะการตอบสนองต่อการชดเชยอากาศในส่วนของการควบคุมความเร็วรอบเดินเบาในส่วนของการโปรแกรมการควบคุมการทำงานของ ECU ดังเช่นการศึกษาของ Min Han; Robert N. K. Loh; and Lin Wang ในปี 1998 ที่ได้ศึกษาพัฒนาโปรแกรมการควบคุมการทำงานของระบบควบคุมรอบเดินเบาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตอบสนองการชดเชยอากาศ
ให้เร็วยิ่งขึ้น เป็นต้น

2) การชดเชยปริมาณอากาศหลังเหยียบคันเร่งไปที่รอบปานกลางและรอบสูงของเครื่องยนต์ตัวอย่างและเครื่องยนต์ B มีลักษณะการชดเชยปริมาณอากาศแบบเป็นขั้นบันไดเพื่อควบคุมให้ความเร็วรอบปรับเข้าสู่เป้าหมายอย่างค่อยเป็นค่อยไป ขณะที่เครื่องยนต์ J การชดเชยอากาศมีลักษณะขึ้นไปที่รอบเป้าหมายทันที โดยการชดเชยอากาศของเครื่องยนต์ J จะทำให้ค่า Track Time มีค่าน้อยกว่าการชดเชยในลักษณะเป็นขั้นบันไดซึ่งในส่วนนี้ควรจะมีการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างในส่วนของระบบการควบคุมสั่งการทำงานดังกล่าวในโอกาสต่อไป

3) ขนาดของแบตเตอรี่และตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้ามีผลต่อการควบคุมรอบเดินเบา ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็กและตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าขนาดใหญ่จะควบคุมรอบเดินเบาได้ดีเนื่องจากการประจุไฟฟ้ากลับเข้าสู่แบตเตอรี่ทำได้อย่างรวดเร็วและใช้ระยะเวลาสั้นในการดึงกำลังของเครื่องยนต์จากตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้สร้างกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการคำนึงถึงกำลังการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในรถยนต์และออกแบบกำหนดขนาดแบตเตอรี่และตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Alternator) ให้มีความเหมาะสมสามารถช่วยให้การควบคุมรอบเดินเบามีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นได้จากการศึกษาเทียบเคียง

ครั้งนี้สามารถนำหัวข้อการปรับปรุงที่ได้ไปพัฒนาระบบควบคุมรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ตัวอย่างได้ต่อไป

5. บทสรุป (Conclusion)

จากการศึกษาวิจัยประยุกต์เทคนิคกระบวนการเทียบเคียงมาใช้ในเรื่องระบบควบคุมของเครื่องยนต์ในช่วงรอบเดินเบาในครั้งนี้สามารถสรุปประโยชน์ที่ได้รับดังนี้

1) ในขั้นตอนการวางแผนของการทำการเทียบเคียงทำให้ทราบถึงเทคโนโลยีเกี่ยวกับเครื่องยนต์เบื้องต้นของรถยนต์ขนาดเล็กในประเทศไทย

2) จากการเทียบเคียงทำให้ทราบถึงระดับประสิทธิภาพที่แท้จริงของระบบควบคุมรอบเดินเบาตามแต่ละหัวข้อการทดลองของเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบจากค่า PI ซึ่งสามารถนำไปเป็นตัวแทนของเครื่องยนต์ได้

3) จากการวิเคราะห์ผลทำให้สามารถทราบถึงระบบการควบคุมรอบเดินเบาในด้านใดที่ควรจะปรับปรุงให้ดีขึ้น หรือสิ่งใดควรจะมุ่งเน้นเข้าไปศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาวิธีการปรับปรุงและยกระดับประสิทธิภาพทางด้านนั้นๆ ให้สูงขึ้นได้อย่างถูกต้อง

4) องค์กรหรือผู้สนใจที่จะทำการศึกษาในเรื่องของระบบควบคุมรอบเดินเบาสามารถนำค่าตัวเลขของ PI หรือรูปแบบการทดลองไปประยุกต์ใช้หรือเป็นเกณฑ์อ้างอิงในการเทียบเคียงประสิทธิภาพการควบคุมรอบเดินเบาได้ อันจะทำให้ทราบว่าตนเองควรจะมุ่งเน้นเข้าไปศึกษาหรือพัฒนาปรับปรุงและยกระดับประสิทธิภาพทางด้านใดให้สูงขึ้นต่อไปได้

5) การประยุกต์เทคนิคกระบวนการเทียบเคียงมาใช้ในองค์กรหรือผลิตภัณฑ์ขององค์กรตัวอย่างนั้น นอกจากได้ประสบการณ์และแนวทางในการนำเทคนิคกระบวนการเทียบเคียงมาประยุกต์ใช้ในเรื่องระบบควบคุมของเครื่องยนต์ในช่วงรอบเดินเบาแล้วยังสามารถนำไปใช้กับระบบการทำงานในด้านอื่นๆ ขององค์กรได้อีกด้วย นอกจากนี้องค์กรอื่นๆ สามารถนำขั้นตอนและวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการดำเนินการเทียบเคียงของงานวิจัยนี้ไปเป็นแนวทางเพื่อประยุกต์ใช้กับองค์กรของตนเองได้ ซึ่งขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์มาจากขั้นตอนของการดำเนินการเทียบเคียง (Benchmarking) ที่นิยมใช้กันในต่างประเทศ ซึ่งขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้เป็นขั้นตอนที่เข้าใจง่ายและไม่ซับซ้อนทำให้ง่ายต่อการนำมาประยุกต์ใช้

นอกจากนี้ ในงานวิจัยครั้งนี้ได้มีข้อจำกัดต่างเกิดขึ้นมากมาย ดังนั้นทางผู้วิจัยก็ได้พิจารณาถึงปัญหาและได้เสนอเป็นข้อเสนอแนะไว้สำหรับผู้ที่สนใจ เพื่อเป็นประโยชน์ในการดำเนินการเทียบเคียงอื่นๆ ดังนี้

1) การกำหนดค่า CSF และดัชนีวัดประสิทธิภาพ (PI) ควรจะเริ่มจากวิสัยทัศน์จากผู้ที่มีประสบการณ์สูงในเรื่องนั้นๆ โดยพิจารณาว่าองค์กรต้องการจะดำเนินกิจการไปในทิศทางใดในอนาคต ซึ่งในการวิจัยในครั้งนี้ก็หมายถึงทิศทางของเทคโนโลยีหรือประเด็นที่สำคัญเกี่ยวกับระบบการจัดการเครื่องยนต์ในส่วนของการควบคุมรอบเดินเบา ซึ่ง CSF และดัชนีวัดประสิทธิภาพ (PI) ที่กำหนดก็ควรจะสอดคล้องกับวิสัยทัศน์นั้นด้วย

2) เพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงและครอบคลุมในส่วนของการควบคุมรอบเดินเบาให้ได้มากที่สุด ควรจะกำหนดหัวข้อการทดสอบในส่วนของการทำงานของรอบเดินเบาในทุกสภาวะการใช้งานยกตัวอย่าง เช่น การทดสอบการทำงานของรอบเดินเบาในสภาวะที่อุณหภูมิสูง หรือต่ำกว่าปกติ หรือในสภาวะที่ความดันบรรยากาศเบาบาง เป็นต้น

3) จากการทดลองในครั้งนี้นั้นเป็นเพียงการเทียบเคียงการทำงานในภาพรวมของการควบคุมรอบเดินเบาในรูปแบบการทดลองต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งการที่จะทำให้ได้ข้อเสนอแนะที่ละเอียดลงไปถึงระดับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมรอบเดินเบานั้นเป็นไปได้ยาก ควรจะมีการทำการวิจัยทั้งในด้านการเทียบเคียงการควบคุมรอบเดินเบาควบคู่ไปกับการเทียบเคียงผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบควบคุมรอบเดินเบา เนื่องจากทั้งสองส่วนนั้นมีความสัมพันธ์กันโดยตรง ซึ่งสุดท้ายจะทำให้ได้ซึ่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

เอกสารอ้างอิง

[1] D. Hrovat; and Jing Sun. Models and control methodologies for IC engine idle speed control design. *ControlEngineering Practice*, Vol. 5, no. 8, pp. 1093-1100, 1997.

[2] Andrea Balluchi; Luca Benvenuti; Claudio Lemma; Pierpaolo Murrieri; and Alberto L. Sangiovanni-Vincentelli. *Idle-speed control: a Benchmark Problem in Automotive Applications.* Internal Technical Report. 1-16, 2004.

[3] Teruji Sekozawa. Model-based Control and Learning Control Method for Automobile Idle Speed Control using Electric Throttle. *WSEAS Transaction On Systems and Control.* Issue 2, Vol. 3:125-136, 2008.

[4] Min Han; Robert N. K. Loh; and Lin Wang. Optimal Idle Speed Control of an Automotive Engine. *Electronic Engine Controls : Sensors, Actuators, and Development Tools.* Society of Automotive Engineers, USA, 1998.

[5] American Productivity & Quality Center. *The Benchmarking Management Guide*. Portland: Productivity Press, 1993.

[6] พอล เจมส์ โรแบร์. 2543. หลักการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความสามารถอย่างเป็นระบบ. พิมพ์ครั้งที่ 1/2543. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

[7] M. Thornhill; S. Thomson; and H. Sindano. A comparison of idle speed control schemes. *Control Engineering Practice*, 8, 519-530, 2000.