

# การสำรวจอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและสารมลพิษ ของเครื่องยนต์หัวรถจักร

## An Investigation of Brake Specific Fuel Consumption and Pollution of Locomotive Engines

พลรัตน์ บุญมี<sup>1\*</sup>, ศุภชัย หลักคำ<sup>1</sup> และ ภูษิต โชติสวัสดิ์<sup>2</sup>

Polrut Boonme<sup>1\*</sup>, Supachai Lakkam<sup>1</sup> and Phusit Chotswasd<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นนทบุรี

\*E-mail : polrut.b@rmutp.ac.th โทร. 02-913-2424 ต่อ 4138

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันการขนส่งทางรางเป็นการคมนาคมหลักสำหรับการขนส่งเชิงพาณิชย์ ซึ่งใช้หัวรถจักรที่มีเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ซึ่งมีอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงและการปล่อยสารมลพิษสูง วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือเพื่อสำรวจอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและสารมลพิษของเครื่องยนต์หัวรถจักร เครื่องยนต์ของหัวรถจักรที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ชนิดห้องเผาไหม้ช่วย ชนิดห้องเผาไหม้ตรงระบบกลไกควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ และชนิดห้องเผาไหม้ตรงระบบวางร่วมแรงดันสูง ถูกนำมาทดสอบ การจำลองภาระบนเครื่องทดสอบแบบสถิต (Dynamometer) ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือทางวิศวกรรมภายใต้สภาวะการทดสอบตามมาตรฐานของการรถไฟตามตาราง Regulation characteristics curve จากผลการทดสอบ เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบวางร่วมมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 206 g/kW-h สำหรับการปล่อยสารมลพิษ เช่น สารไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ ของเครื่องยนต์แต่ละชนิดมีพฤติกรรมแตกต่างกันออกไปตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ นอกจากนี้ เครื่องยนต์แบบห้องเผาไหม้ตรงสามารถลดการปล่อยสารควินดำได้ประมาณ 24% เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์แบบห้องเผาไหม้ช่วย

**คำสำคัญ:** อัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก, มลพิษ, เครื่องยนต์หัวรถจักร

### Abstract

Nowadays, the rail transit system is a main of the commercial mass transit using large diesel engine which has more fuel consumption and also generates numerous pollution. The purpose of this study was to investigate the Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) and pollution of locomotive engines. Three different types of the locomotive engine were conducted to the test; pre-chamber, direct injection chamber with pump electronic controller and direct injection chamber with common rail type. The simulation load on the static tests (Dynamometer) was used as an engineering tool according to the regulation characteristic curve which was a standard of the State Railway of Thailand. As a result of testing, the engine using common rail type of fuel injection system had the lowest of the average brake specific fuel consumption (206 g/kW-h). Regarding pollution; hydrocarbon, carbon monoxide and nitrogen oxide, the engines had various emission behaviors depending on engine revolution. Besides, direct injection chamber engines were able to reduce black smut approximately 24% comparing to pre-combustion engine.

**Keywords:** Brake Specific Fuel Consumption, Pollution, Locomotive engines

## 1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญทั้งในระดับชาติและนานาชาติ ซึ่งมีสาเหตุสำคัญมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลก ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการคมนาคม ปัญหาดังกล่าวนำไปสู่การเพิ่มปริมาณการปล่อยมลพิษออกมาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยแหล่งการปล่อยมลพิษส่วนหนึ่งมาจากยานพาหนะซึ่งใช้เครื่องยนต์เป็นแหล่งกำเนิดของพลังงานในการขับเคลื่อน โดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลที่นิยมใช้ในการขับเคลื่อนยานพาหนะหรือใช้กับเครื่องจักรกลหนักเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่ให้พลังงานสูง มีความประหยัด เชื้อเพลิงมีราคาถูก และเครื่องยนต์มีความทนทาน ดังนั้นจึงได้รับความนิยมในการใช้เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังเป็นจำนวนมาก เช่น ขบวนรถไฟ เรือเดินสมุทร รถบรรทุก เครื่องจักรกลการเกษตร และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าว การขนส่งทางรางเป็นแหล่งปล่อยมลพิษอีกจุดหนึ่งซึ่งใช้เครื่องยนต์ดีเซล และมียอดการใช้น้ำมันดีเซลสูงถึงประมาณ 91 ล้านลิตรต่อปี (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553 (ก)) เนื่องจากสภาพรถจักรที่ค่อนข้างเก่า มีอายุการใช้งานตั้งแต่ 16 ถึง 47 ปี รถดีเซลรางมีอายุการใช้งานตั้งแต่ 15 ถึง 44 ปี และรถโดยสารปรับอากาศมีอายุการใช้งานตั้งแต่ 15 ถึง 43 ปี โดยมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดผลกระทบของมลพิษทางอากาศอีกด้วย ส่งผลให้การรถไฟฯ มีปริมาณต้นทุนที่สูงจากการซื้อน้ำมันเพื่อใช้เป็นพลังงานในการเดินรถประมาณปีละ 2,500 ล้านบาทมากกว่านั้นยังพบว่า พลังงานเชื้อเพลิงมีความสำคัญต่อการพัฒนาการขนส่งทางรางโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ และการใช้พลังงานสะอาด อาจเป็นทางเลือกที่จะสามารถช่วยลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมลงไปได้ ด้วยสาเหตุดังกล่าวทางการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ได้มีนโยบายจัดซื้อเครื่องยนต์ใหม่นำมาทดแทนเครื่องยนต์เก่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปัจจุบันก็ยังไม่แล้วเสร็จ เนื่องจากงบประมาณที่ใช้อย่างจำกัด ดังนั้นจึงมีความพยายามในการนำพลังงานก๊าซธรรมชาติที่มีต้นทุนต่ำกว่ามาใช้กับหัวรถจักร และได้จัดตั้งโครงการ “การศึกษาความเป็นไปได้การใช้เชื้อเพลิงร่วม (Diesel-CNG) สำหรับหัวรถจักร” (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553 (ข)) ภายใต้ความร่วมมือระหว่างการรถไฟแห่งประเทศไทย และบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) แต่กลับไม่ประสบความสำเร็จ ส่งผลให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์หัวรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงภายใต้ชื่อ “โครงการศึกษาความคุ้มค่าจากการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์หัวรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง: การรถไฟแห่งประเทศไทย” (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553 (ค)) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การดำเนินการดังกล่าวกลับต้องเผชิญปัญหาค่าบำรุงรักษาที่สูงมากเนื่องจากต้องนำเข้าอะไหล่จากต่างประเทศ นอกจากนี้ ยังมีความพยายามด้วยการศึกษาการใช้ใส่สารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองดังกล่าว (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553 (ง)) แต่ก็ไม่เป็นผลสำเร็จ อีกทั้งมิได้มุ่งเน้นการควบคุมมลพิษเท่าที่ควร

จากการสำรวจวรรณกรรมในต่างประเทศ พบว่ามีความตระหนักในด้านสิ่งแวดล้อมมากกว่าโดยในประเทศเกาหลี ได้ทำการสำรวจอัตราการปล่อยมลพิษที่ออกจากปล่องควัน เพื่อนำมาเลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เพื่อการขนส่งทางรางโดย (Park *et al.*, 2012) ในขณะที่ระบบขนส่งทางรางในสหรัฐอเมริกา เครื่องยนต์ต้นกำลังส่วนใหญ่ถูกปรับเปลี่ยนมาใช้ระบบพลังงานเซลล์ Sol id Ox ide Fuel Cell- Gas Turbine (SOFC-GT) และถูกนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยระบบ SOFC-GT มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าและสามารถลดปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารมลพิษได้เป็นอย่างมาก (Martinez *et al.*, 2012) อีกทั้งในประเทศจีนได้มีการศึกษาถึงการลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ในหัวรถจักรด้วยการใช้ระบบปั๊ม (Minghai *et al.*, 2009) แต่จำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ระบบหัวฉีด ซึ่งจะทำให้ยืดอายุการใช้งานและลดอัตราการซ่อมบำรุงได้เป็นอย่างมาก

ดังนั้นทางคณะผู้เขียนจึงเล็งเห็นความสำคัญของการปล่อยมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายใต้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในด้านการขนส่งทางราง ซึ่งมีการใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่กับหัวรถจักรเป็นจำนวนมาก

จึงได้มีแนวคิดที่จะศึกษาการปลดปล่อยสารมลพิษควบคู่ไปกับการใช้พลังงานเชื้อเพลิงอย่างคุ้มค่า และเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์หัวรถจักร บนเครื่องทดสอบแบบสถิต (Dynamometer) เพื่อทำการหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและสารมลพิษ อีกทั้งนำมาหาความเหมาะสมระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและสารมลพิษ โดยใช้เครื่องยนต์หัวรถจักรไม่ต่ำกว่า 3 ประเภท ที่มีหลักการทำงานของห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกันมาเป็นตัวอย่งในการทดสอบ

## 2. วิธีดำเนินการ

### 2.1 การคัดเลือกเครื่องยนต์

จากการศึกษาการใช้งานหัวรถจักรดีเซลในปัจจุบันพบว่าการรถไฟแห่งประเทศไทยได้นำหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้ามาใช้งานในการทำขบวนเป็นส่วนใหญ่ ด้วยเหตุผลด้านประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และระบบส่งกำลัง ดังนั้นแนวทางการศึกษาจึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาและทดสอบเครื่องยนต์ที่มีอยู่ในหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลทางคณะผู้ศึกษาได้เลือกเครื่องยนต์รุ่น Alsthom เนื่องจากเป็นรถจักรที่ถูกนำมาใช้งานบ่อย และมีความหลากหลายด้านรุ่นเครื่องยนต์ อันเป็นเหตุผลมาจากการนำเครื่องยนต์ที่มีสมรรถนะและเทคโนโลยีที่ดีกว่ามาทดแทนเครื่องยนต์เดิมที่ใช้อยู่ แต่สามารถจำแนกโดยอาศัยหลักการทำงานของเครื่องยนต์ตามหลักการทำงานวิศวกรรมได้จากเทคโนโลยีการจ่ายเชื้อเพลิง โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 และแสดงดังภาพที่ 1 ถึง 3 นอกจากนี้เครื่องยนต์กลุ่มดังกล่าวที่ถูกเลือกเพื่อทำการทดสอบหากเป็นเครื่องยนต์เดิมจะต้องผ่านการทำการซ่อมบำรุงใหญ่ (Overhaul) ในขณะที่เครื่องยนต์ทดแทนจะเป็นเครื่องยนต์ใหม่ที่มีการใช้งานจนอยู่ในภาวะเสถียร (Run in) ก่อนนำมาทำการทดสอบ

#### ตารางที่ 1 รายละเอียดเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ (ถนน และ เซ็ดสกุล, 2554)

ลำดับ	รุ่นเครื่องยนต์	ชนิดห้องเผาไหม้	ระบบฉีดเชื้อเพลิง	หมายเหตุ
1	Pielstick 16PA4V185VG	ห้องเผาไหม้ช่วย (Pre-chamber)	ระบบกลไก (Mechanical unit pump injector)	เครื่องยนต์เดิม
2	Caterpillar 3516BHD	ห้องเผาไหม้ตรง (Direct injection chamber)	ระบบกลไกควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Pump electronic controller)	เครื่องยนต์ทดแทน
3	MTU. 16V4000R41R	ห้องเผาไหม้ตรง (Direct injection chamber)	ระบบรางร่วมแรงดันสูง (Common rail)	เครื่องยนต์ทดแทน



ภาพที่ 1 เครื่องยนต์ Pielstick 16PA4V185VG



ภาพที่ 2 เครื่องยนต์ Caterpillar 3516BHD



ภาพที่ 3 เครื่องยนต์ MTU. 16V 40000 R41R

## 2.2 สภาวะการทดสอบ

เนื่องจากเครื่องยนต์หัวรถจักรเป็นเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ การทดสอบเครื่องยนต์ด้วยการจำลองภาระการใช้งานแบบสถิต (Dynamometer Test) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่ได้รับการยอมรับทั้งในเครื่องยนต์ขนาดเล็ก (ศุภชัย และคณะ, 2555) และขนาดใหญ่ ถูกนำมาใช้ เพราะสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ระหว่างการทดสอบได้ การหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรกและสารมลพิษในครั้งนี้ อีกทั้งสอดคล้องกับการดำเนินการทดสอบของการรถไฟแห่งประเทศไทยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ที่กำหนดความเร็วรอบเครื่องยนต์และภาระของเครื่องยนต์ตาม Regulation characteristic curve (ไฟจิตร, มปป.) ไว้เป็นมาตรฐานและสอดคล้องกับมาตรฐาน ISO 8178-4 (International Organization for Standardization, 2007) โดยเกณฑ์ดังกล่าวเป็นเกณฑ์การทดสอบหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้าที่ทางการรถไฟแห่งประเทศไทยใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังตารางที่ 2

## ตารางที่ 2 สภาวะการทดสอบ

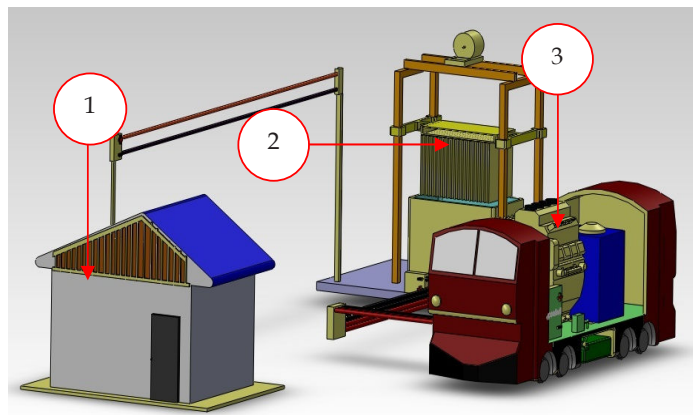
ความเร็วรอบ (rpm)	กระแส (Amp)
700	800
800	1,147
900	1,275
1,000	1,657
1,100	1,852
1,200	1,875
1,300	2,040
1,400	2,490
1,500	2,000

จากการทดสอบด้วยการจำลองภาระการใช้งานบนเครื่องทดสอบแบบสถิต (Dynamometer) ดังกล่าว จำเป็นต้องใช้โรงทดสอบรถจักรดีเซลไฟฟ้า บางชื่อ ซึ่งเป็นสถานที่ปฏิบัติการทดสอบจำเพาะ และสามารถอธิบายส่วนประกอบสำคัญได้จากแผนผังสถานที่ทดสอบ ดังภาพที่ 4 โดยมีส่วนประกอบดังนี้

หมายเลข 1 ห้องควบคุมเครื่องจำลองภาระการใช้งานหัวรถจักร

หมายเลข 2 เครื่องจำลองภาระการใช้งานหัวรถจักร

หมายเลข 3 เครื่องยนต์หัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า



ภาพที่ 4 แผนผังสถานที่ทดสอบ

## 2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

การทดสอบเพื่อบันทึกค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและสารมลพิษ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสารมลพิษวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และวัดค่าทางไฟฟ้า มีอุปกรณ์ที่ใช้ดังนี้

### 2.3.1 เครื่องมือตรวจวัดก๊าซจากการเผาไหม้

เครื่องมือตรวจวัดก๊าซจากการเผาไหม้ ประกอบไปด้วยเครื่องวัดค่าไฮโดรคาร์บอน (HC) ดังภาพที่ 5 และเครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากการเผาไหม้ (Flue gas analyzer) ดังภาพที่ 6 ซึ่งสามารถใช้ตรวจวัดและวิเคราะห์สารมลพิษ

เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>), ไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) และออกซิเจน (O<sub>2</sub>) นอกจากนี้ ยังได้ทำการวัดค่าควันทาโดยใช้เครื่องวัดควันทาระบบกระดาษกรอง ดังภาพที่ 7 เครื่องมือดังกล่าวจะถูกนำไปติดตั้งบริเวณปลายปล่องระบายไอเสียก่อนออกสู่บรรยากาศ



ภาพที่ 5 เครื่องวัดค่าไฮโดรคาร์บอน (HC)



ภาพที่ 6 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากการเผาไหม้ (Flue gas analyzer)



ภาพที่ 7 เครื่องวัดควันทาระบบกระดาษกรอง

### 2.3.2 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

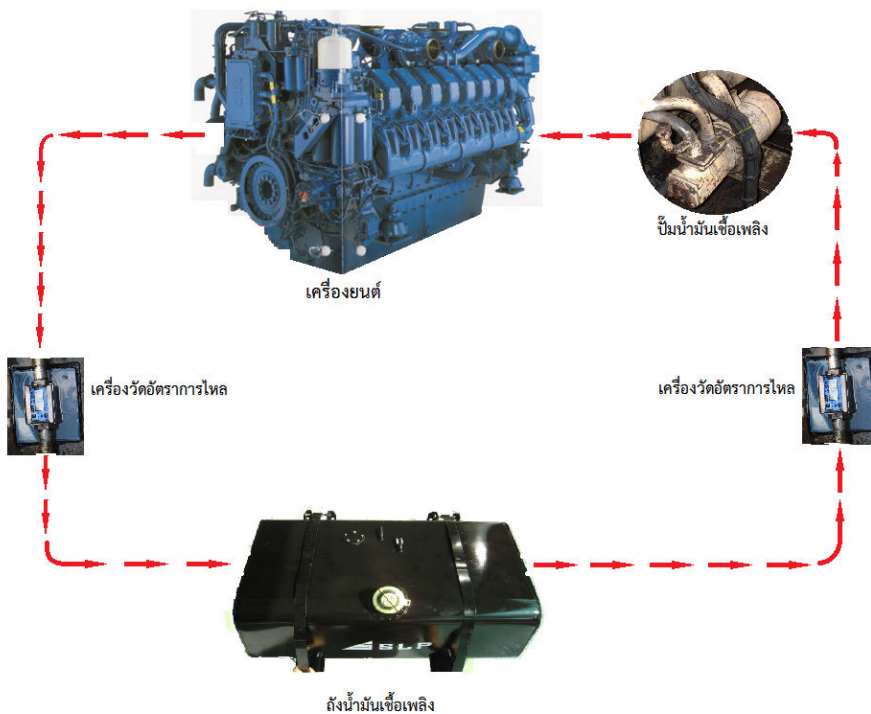
เพื่อความถูกต้องและลดความคลาดเคลื่อนของการวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิง เครื่องวัดอัตราการไหลโดยปริมาตรชนิดกังหันแปรผันตามอุณหภูมิ (Turbine flow meter) ดังภาพที่ 8 ถูกนำมาติดตั้งบริเวณเชื้อเพลิงไหลเข้าและออกจากตัวเครื่องยนต์ โดยมีระยะห่างจากตำแหน่งกรองและปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงมากเท่าที่เป็นไปได้ ดังภาพที่ 9 ก่อนนำข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับอัตราการไหลทั้ง 2 จุด มาคำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยกำหนดความถี่การเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที



ภาพที่ 8 เครื่องวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงแบบกักตัน

### 2.3.3 ชุดจำลองภาระการใช้งาน

ชุดจำลองภาระการใช้งานตัวรถจักรดีเซลไฟฟ้าประกอบด้วย ถังน้ำเกลือ, แผ่นเหล็กสร้างความต้านทาน, มอเตอร์ 3 เฟส และ สายไฟสำหรับต่อเข้าชุดกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องยนต์ตัวรถจักร โดยที่แผ่นเหล็กจะถูกปรับระดับขึ้น-ลง เพื่อสร้างความต้านทานจากมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งจะถูกควบคุมจากตู้ปรับภาระของเครื่องยนต์ โดยแผ่นเหล็กจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือชุดประจุบวกและประจุลบ ดังภาพที่ 10



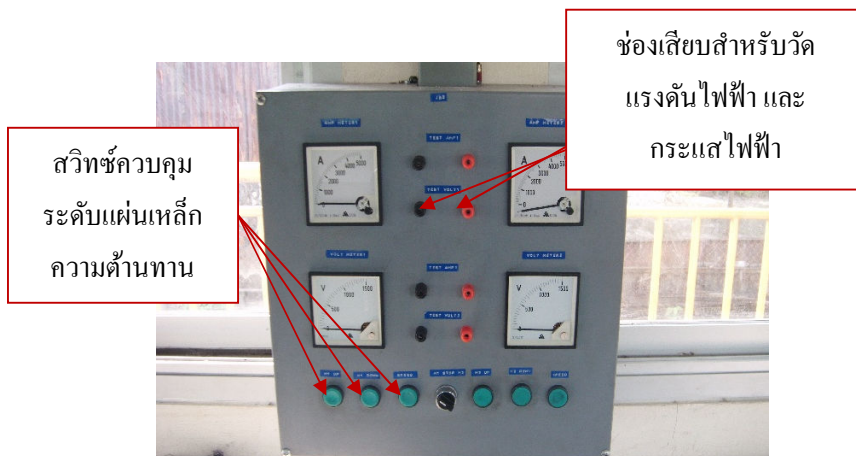
ภาพที่ 9 แผนภาพการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิง



ภาพที่ 10 ชุดจำลองภาระการใช้งานหัวรถจักร

### 2.3.4 ชุดปรับภาระการใช้งานของเครื่องยนต์

ชุดปรับภาระการใช้งานของเครื่องยนต์ ดังภาพที่ 11 ถูกติดตั้งอยู่ในห้องควบคุม ทำหน้าที่ปรับภาระการใช้งานของเครื่องยนต์ โดยการควบคุมระดับแผ่นเหล็กความต้านทาน และมีจอแสดงค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าวัดได้จากการทำงานของเครื่องยนต์ โดยการปรับภาระดังกล่าวจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน Regulation characteristic curve ของการรถไฟแห่งประเทศไทย



ภาพที่ 11 ชุดปรับภาระการใช้งานของเครื่องยนต์

จากข้อมูลที่ได้จากผลการตรวจวัดทั้งหมดได้ถูกนำมาทำการคำนวณหาความสัมพันธ์เชิงเส้นเฉพาะเบรกและกำลังหรือกำลังม้าเบรกเทียบกับเชื้อเพลิง ซึ่งได้จากสมการที่ 1

$$BSFC = \frac{mf}{P} \tag{1}$$

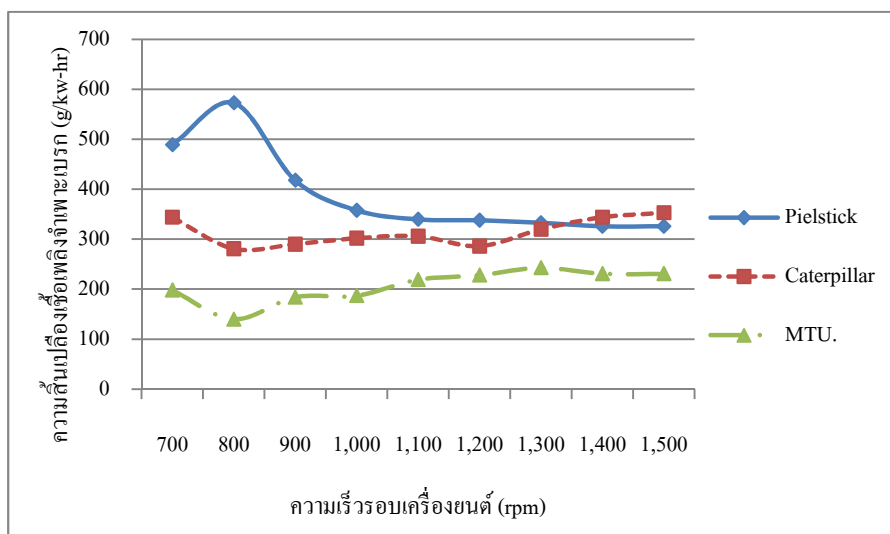


โดย $BSFC$	=	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก, g/kW-h
$m$	=	ความหนาแน่นเชื้อเพลิงจำเพาะ, (0.00083 g/l)
$P$	=	กำลังเครื่องยนต์, kW
$f$	=	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง, l/min

### 3. ผลการทดลอง

#### 3.1 ผลการตรวจวัดค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

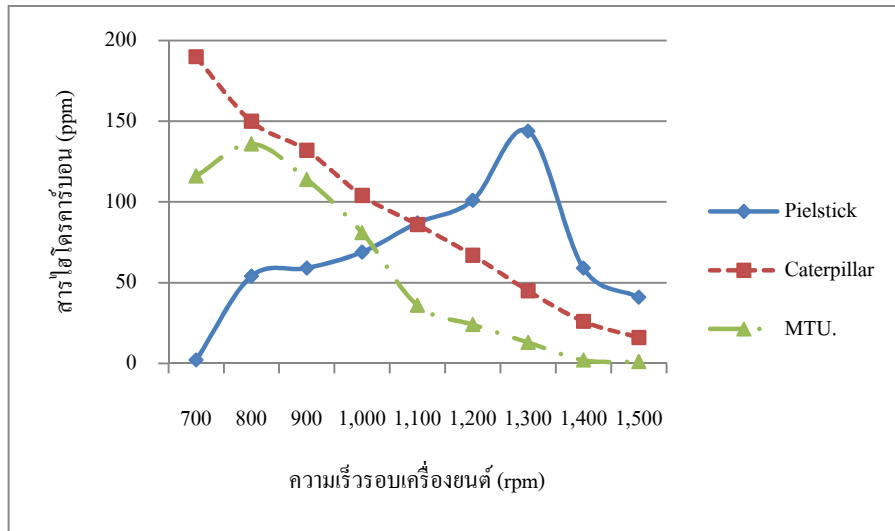
จากผลการตรวจวัดค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ MTU., Caterpillar และ Pielstick ที่ความเร็วรอบต่างๆ ดังภาพที่ 12 โดยมีภาระของเครื่องยนต์ ตามตาราง Regulation characteristics curve ภายใต้มาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย แสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าเครื่องยนต์ MTU. ซึ่งเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วมมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำที่สุดในทุกสภาวะความเร็วรอบเครื่องยนต์ และมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเฉลี่ยจากทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ เท่ากับ 206 g/kW-h ต่ำกว่าเครื่องยนต์ Caterpillar ซึ่งเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกึ่งรางร่วม ที่มีค่าเท่ากับ 314 g/kW-h อยู่ที่ 34.39 % และต่ำกว่าเครื่องยนต์ Pielstick ซึ่งเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไกที่มีค่าเท่ากับ 389 g/kW-h อยู่ที่ 47.04 %



ภาพที่ 12 ผลการตรวจวัดค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

#### 3.2 ผลการตรวจวัดสารไฮโดรคาร์บอน (HC)

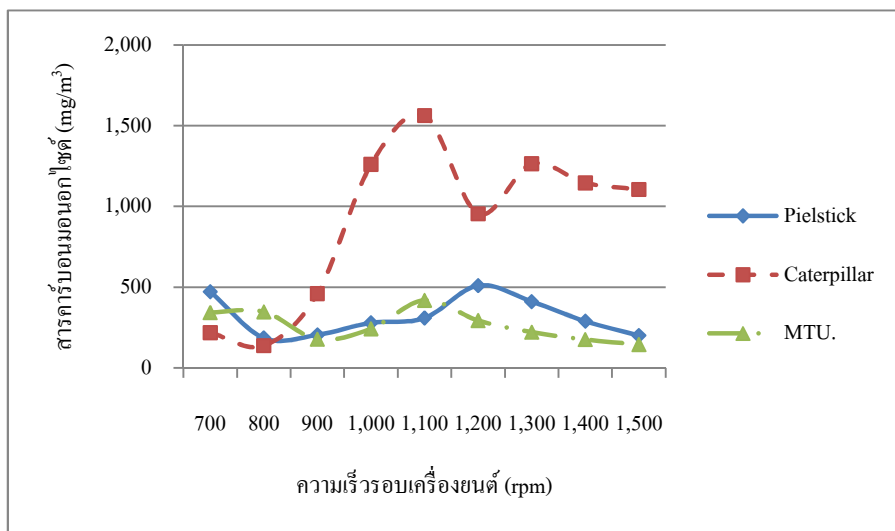
จากผลการตรวจวัดสารไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์ MTU., Caterpillar และ Pielstick ที่ความเร็วรอบต่างๆ ตามตาราง Regulation characteristics curve 2 สะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรมการปล่อยสารไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์ MTU. และ Caterpillar แปรผันผกผันกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ในขณะที่เครื่องยนต์ Pielstick กลับมีแนวโน้มแปรผันตามในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 ถึง 1,300 rpm อย่างไรก็ตาม ในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,400 ถึง 1,500 rpm กลับมีค่าลดลง ดังภาพที่ 13 นอกจากนี้ผลการตรวจวัดยังพบว่าเครื่องยนต์ MTU. ปล่อยมลพิษไฮโดรคาร์บอน (HC) น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ Caterpillar และเครื่องยนต์ Pielstick



ภาพที่ 13 ผลการตรวจวัดสารไฮโดรคาร์บอน

### 3.3 ผลการตรวจวัดสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

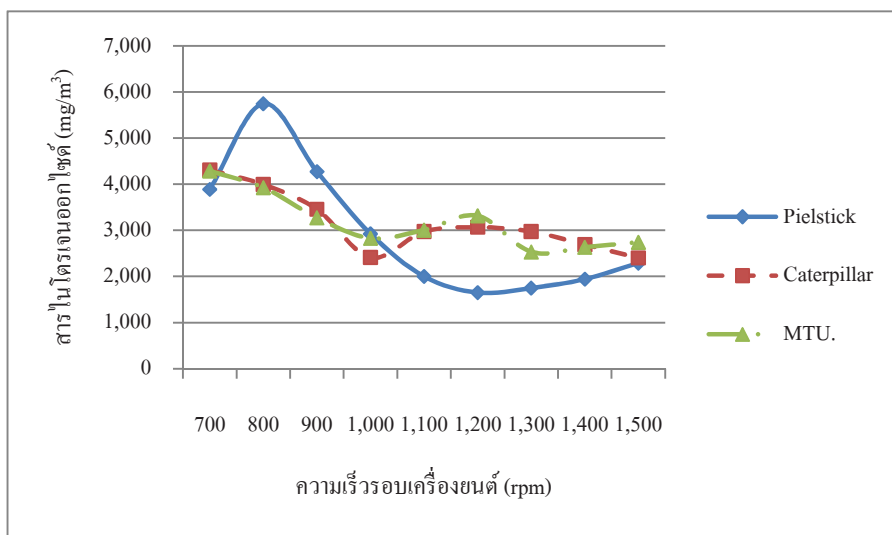
จากผลการตรวจวัดสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามสภาวะที่ตาราง Regulation characteristics curve ของการรถไฟแห่งประเทศไทยกำหนดชี้ให้เห็นว่าเครื่องยนต์ MTU. และ Pielstick มีการปลดปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ค่อนข้างคงที่ในทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ ซึ่งแตกต่างกับเครื่องยนต์ Caterpillar ที่มีสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 rpm พบว่าเครื่องยนต์ MTU. มีการปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) น้อยที่สุด ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ผลการตรวจวัดสารคาร์บอนมอนอกไซด์

### 3.4 ผลการตรวจวัดสารไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)

ผลจากการตรวจวัดสารไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ภายใต้สภาวะการจำลองตามตาราง Regulation characteristics curve ของการรถไฟแห่งประเทศไทย พบว่าเครื่องยนต์ Caterpillar และ MTU. มีการปล่อยสารไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ใกล้เคียงกันในทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ และมีแนวโน้มค่อนข้างแปรผันผกผันกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ซึ่งแตกต่างกับเครื่องยนต์ Pielstick ที่มีการปล่อยสารไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) สูงในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 ถึง 800 rpm และลดลงอย่างมากในช่วงตั้งแต่ความเร็วรอบ 1,100 rpm ขึ้นไป ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ผลการตรวจวัดสารไนโตรเจนออกไซด์

### 3.5 ผลการตรวจวัดควันดำ (Black smut)

ผลการตรวจวัดควันดำ (Black smut) ภายใต้สภาวะความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 rpm ซึ่งเป็นสภาวะกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ Pielstick ปล่อยสารควันดำสูงถึง 47.00% ซึ่งมีค่ามากที่สุด เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ Caterpillar และเครื่องยนต์ MTU. ซึ่งมีค่า 22.33% และ 23.33% ตามลำดับดังตารางที่ 3 ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงสามารถลดปัญหาการปล่อยสารควันดำออกจากห้องเผาไหม้ ซึ่งถือว่าเป็นผลภาวะหลักที่ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของประชากรได้

#### ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดควันดำ (Black smut)

เครื่องยนต์	ควันดำ (%)
Pielstick	47.00
Caterpillar	22.33
MTU.	23.33

#### 4. สรุปและวิจารณ์

จากการสำรวจอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษจากเครื่องยนต์หัวรถจักรทั้ง 3 ประเภท ซึ่งมีลักษณะของห้องเผาไหม้และระบบการฉีดเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน โดยเลือกเครื่องยนต์ Pielstick, Caterpillar และ MTU. ซึ่งมีขนาดพิกัดเครื่องยนต์ที่เท่ากันมาทำการทดสอบบนเครื่องจำลองภาระการใช้งานตามตาราง Regulation characteristics curve ซึ่งเป็นมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของระบบห้องเผาไหม้และระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ MTU. และ Caterpillar ซึ่งใช้ระบบห้องเผาไหม้ตรงให้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ Pielstick ที่ใช้ระบบห้องเผาไหม้ช่วยอย่างชัดเจน นอกจากนี้หากพิจารณาเชิงลึกในรายละเอียดระหว่างเครื่องยนต์ MTU. และ Caterpillar จะพบว่าเครื่องยนต์ MTU. ซึ่งใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Common rail) มีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคน้อยกว่าเครื่องยนต์ Caterpillar ซึ่งใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไกควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Pump electronic controller) 34.39 %

นอกจากนี้ ผลการทดสอบด้านมลพิษพบว่าเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ตรงจะปล่อยสารไฮโดรคาร์บอน (HC) แปรผันผกผันกับความเร็รอบเครื่องยนต์ ซึ่งแตกต่างจากเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ช่วยที่แปรผันตามกับความเร็รอบเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ช่วยกลับปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำและค่อนข้างคงที่กว่า เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ตรงซึ่งปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แปรผันตามความเร็รอบเครื่องยนต์ แต่ก็สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ด้วยการใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Common rail) จึงทำให้เครื่องยนต์ MTU. มีการปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ Pielstick อีกทั้งยังพบว่าสารไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ถูกปล่อยจากเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ช่วย สูงในช่วงความเร็รอบต่ำ และค่อยๆ ลดลงเมื่อความเร็รอบเครื่องยนต์สูงขึ้น แตกต่างกับเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ตรงที่ปล่อยสารไนโตรเจนออกไซด์ค่อนข้างคงที่ในทุกๆ ความเร็รอบเครื่องยนต์ ในขณะที่การปลดปล่อยสารควันดำ (Black smut) สะท้อนให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ตรง (MTU. และ Caterpillar) สามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยมีค่าอยู่ที่ 23.33 % และ 22.33 % ตามลำดับ แตกต่างกับเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ช่วย (Pielstick) ที่มีค่าควันดำสูงถึง 47 %

ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ตรงร่วมกับระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Direct injection with common rail engine) น่าจะเป็นทางเลือกสำหรับการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานและมลพิษ อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีดังกล่าวต้องการการบริหารจัดการที่ดีสำหรับการวางแผนเพื่อใช้งานในอนาคต เนื่องจากต้องใช้งบประมาณในการลงทุนสูงทั้งการเปลี่ยนทดแทนและการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ ดังนั้นปริมาณการใช้งานจึงน่าจะเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนดังกล่าวลดลง

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครสำหรับงบประมาณในการดำเนินงาน และการรถไฟแห่งประเทศไทยสำหรับการอำนวยความสะดวกในการศึกษาครั้งนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2553 (ก). รายงานผลการดำเนินงานประจำปี 2553. การรถไฟแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.  
 การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2553 (ข). โครงการศึกษาความเป็นไปได้การใช้เชื้อเพลิงร่วม (Diesel-CNG) สำหรับหัวรถจักร. รายงานการศึกษา, การรถไฟแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

- การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2553 (ค). **โครงการศึกษาความคุ้มค่าจากการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์หัวรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง**. รายงานการศึกษา, การรถไฟแห่งประเทศไทย.
- การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2553 (ง). **โครงการศึกษาผลกระทบจากการใส่สารเติมแตงน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลือง**. รายงานการศึกษา, การรถไฟแห่งประเทศไทย.
- ถนนอม ฮวยซันท์ และ เชิดสกุล บัวขาว. 2554. **ระบบไฟฟ้ารถจักรอัลสตอม**. โรงรถจักรดีเซลบางซื่อ, การรถไฟแห่งประเทศไทย.
- ศุภชัย หลีกคำ, อิศรา โรจนะ และ สายประสิทธิ์ เกิดนิยม. 2555. **การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องยนต์เล็ก 1 สูบในประเทศไทย**. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร 6(2):156-166.
- ไพจิตร เต็งไตรรัตน์. มปป. **Alsthom Locomotive Load Test**. โรงรถจักรดีเซลบางซื่อ, การรถไฟแห่งประเทศไทย.
- International Organization for Standardization. 2007. **ISO 8178-4 Reciprocating internal combustion engines -- Exhaust emission measurement -- Part 4: Test cycles for different engine applications**. ISO Central Secretariat, Geneva, Switzerland.
- Park, D., Yoon, Y., Kwon, S. B., Jeong, W., Cho, Y. and Lee, K. 2012. **The effects of operating conditions on particulate matter exhaust from diesel locomotive engines**. Science of the Total Environment. 419: 76–80.
- Martinez , A. S., Brouwer, J. and Samuelsen, G. S. 2012. **Feasibility study for SOFC-GT hybrid locomotive power part II. System packaging and operating route simulation**. Journal of Power Sources. 213: 358-374.
- Minghai, L., Hongjiang, C., Juan, W. and Ying, G. 2009. **Improvement of fuel injection system of locomotive diesel engine**. Journal of Environmental Sciences Supplement. 21: 139-141.