

## ผลกระทบจากสภาวะการขับขี่ที่ไม่คงที่ต่อมลพิษของรถยนต์ดีเซล

### The Effects of Transient Driving Patterns on Diesel Vehicle Emissions

เชษฐวุฒิ ภูมิพิพัฒน์พงศ์<sup>1,2</sup>, ปิณณัน พืชสะกะ<sup>1,2</sup> และ ปิณฑิตต์ ตรีวงศ์<sup>1,2</sup>

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยหลายชิ้นได้สรุปผลกระทบของพฤติกรรมการขับขี่ต่อปริมาณมลพิษด้วยหน่วยที่แตกต่างกันไป โดยเฉพาะหน่วยที่ได้จากการทดสอบรถยนต์ดีเซลบน Chassis Dynamometer เป็นหน่วยที่ขึ้นกับเวลา (g/km) ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกได้ งานวิจัยนี้จึงนำข้อมูลโดยละเอียดของการขับขี่ตามรูปแบบมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษมาคาดคะเนความเร็วรอบเครื่องยนต์และสภาวะการขับขี่เพื่อสังเกตผลกระทบที่มีต่อปริมาณมลพิษไอเสีย และเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ Chassis Dynamometer ทดสอบแทนการใช้ Engine Dynamometer ซึ่งน่าจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบได้ ผลการวิจัยได้แสดงว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณมลพิษจาก Phase 1 ไปสู่ Phase 3 ขึ้นอยู่กับหน่วยที่ใช้รายงานผล และพบว่าหากเปรียบเทียบการขับขี่ที่สภาวะคงตัวที่ความเร็วต่างกัน การขับขี่ที่ความเร็วสูงจะมีระดับมลพิษสูงกว่า และมลพิษจะสูงมากในขณะเปลี่ยนเกียร์หรือใช้เกียร์ไม่เหมาะสมกับความเร็ว วิธีการวิเคราะห์นี้มีข้อดีคือ สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณมลพิษที่เกิดจากสภาพการขับขี่จริง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลต่างๆ ก็ยังไม่ละเอียดเพียงพอที่จะใช้วิธีการนี้มาทดแทนการทดสอบด้วย Engine Dynamometer

คำสำคัญ : มลพิษไอเสีย, รถยนต์ดีเซล, กรมควบคุมมลพิษ, สภาวะการขับขี่ตามรูปแบบมาตรฐาน

<sup>1</sup> อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>2</sup> นักวิจัย, ศูนย์วิจัยพลังงานยานยนต์เพื่อสิ่งแวดล้อม, สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

### Abstract

Previous researches regarding to the effect of driving behavior on the exhaust emissions reported in many different units. Especially, the emission tests of a diesel truck on a chassis dynamometer were reported in term of gram per kilometer (g/km). Therefore, the amount of the emissions varied with the time duration which cannot be brought to any further analysis. This research carried the detail of the standard driving cycle of the Pollution Control Department (PCD) to predict the engine speed and driving condition. This was to study the effects on the exhaust gas emissions and the application of using a chassis dynamometer instead of an engine dynamometer which can reduce the testing cost. The results showed that the emission level order among Phase 1, Phase 2 and Phase 3 depended on the unit. However, comparing to the same steady state driving pattern in different vehicle speeds, driving at higher speed produced higher exhaust emissions. Moreover, it was found that the emissions were particularly high during the gear shifting. Using the inappropriate gear ratio was also another source of high emissions. The advantage of the methodology used in this investigation was that it can show the variations of emission level from the actual driving behavior. However, the data is not enough to use this methodology instead of engine dynamometer testing.

**Keywords :** Exhaust emission, Diesel truck, Pollution control department, Standard Driving pattern

## 1. บทนำ

การวัดปริมาณมลพิษในไอเสียยานยนต์มีอยู่หลากหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ใช้เป็นมาตรฐานสำหรับประเทศไทยคือ การทดสอบรถยนต์บนเครื่องทดสอบกำลัง (Chassis Dynamometer) โดยรถยนต์ต้องขับเคลื่อนอยู่บนเครื่องทดสอบด้วยความเร็วและเกียร์ตามรูปแบบการขับขี่มาตรฐาน (standard driving pattern) ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การทดสอบตามมาตรฐานถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงตามความเร็ว คือ ช่วงความเร็วต่ำ (Phase 1) ความเร็วปานกลาง (Phase 2) และความเร็วสูง (Phase 3) โดยช่วงความเร็วต่ำเป็นการจำลองสภาพการจราจรที่ติดขัดอย่างมาก รถยนต์มีการเร่งและเบรกอยู่บ่อยครั้ง ส่วนช่วงความเร็วสูงเป็นการจำลองการขับขี่ที่แทบจะไม่มีมีการเร่งหรือการเบรกเลย

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การรายงานผลการทดสอบของกรมควบคุมมลพิษจะรายงานปริมาณมลพิษในหน่วย g/km (กรัมต่อกิโลเมตร) ซึ่งปัญหาที่สำคัญคือ การวิจัยไม่สามารถศึกษาลงในรายละเอียดได้เนื่องจากหน่วย g/km นี้เป็นค่าเฉลี่ยจากสภาวะการทำงานทั้งหมด โดยไม่คำนึงถึงปัจจัยด้านความเร็วรถยนต์ ณ เวลาใดๆ อัตราทดของระบบส่งกำลัง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ภาระของเครื่องยนต์ และปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณมลพิษ ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์หาสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ก่อให้เกิดมลพิษสูงนั้นไม่สามารถทำได้อย่างแน่นอน

จากการศึกษาวิจัยของ Cheenkachorn และ Fungtammasan [1] ซึ่งได้ทดสอบรถบรรทุกดีเซลขนาดเล็กด้วยมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณมลพิษไฮโดรคาร์บอน (THC) ออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ก่อนข้างจะสอดคล้องกันคือ ปริมาณมลพิษจะลดลงเมื่อความเร็วเฉลี่ยสูงขึ้น (จาก Phase 1 ไปสู่ Phase 3) แต่มลพิษจำพวกเขม่าควัน (PM) นั้นให้ผลที่ค่อนข้างแตกต่างออกไป

การนำเสนอข้อมูลในหน่วย g/km ยังคงทำให้มีปัญหาข้อสงสัยในประเด็นที่ว่า เมื่อความเร็วในแต่ละ Phase ไม่เท่ากัน ระยะเวลาที่ใช้ในการขับขี่และเก็บข้อมูลปริมาณมลพิษต่อระยะทาง 1 km ย่อมไม่เท่ากันด้วย ดังนั้น การที่ Phase 1 มีปริมาณมลพิษสูงกว่า Phase 2 และ 3 อาจมาจากเหตุผลด้านระยะเวลาก็เป็นไปได้

ตารางที่ 1 ปริมาณมลพิษที่ Phase ต่างๆ จากงานวิจัยของ Cheenkachorn และ Fungtammasan [1]

|               | Phase   | Emissions (g/km) | Emissions (g/hr) |
|---------------|---------|------------------|------------------|
| THC           | Phase 1 | 0.121            | 1.768            |
|               | Phase 2 | 0.041            | 1.918            |
|               | Phase 3 | 0.028            | 2.034            |
| $\text{NO}_x$ | Phase 1 | 1.111            | 16.232           |
|               | Phase 2 | 0.934            | 43.683           |
|               | Phase 3 | 0.415            | 30.146           |
| CO            | Phase 1 | 0.374            | 5.464            |
|               | Phase 2 | 0.057            | 2.666            |
|               | Phase 3 | 0.010            | 0.726            |
| $\text{CO}_2$ | Phase 1 | 262.946          | 3,841.641        |
|               | Phase 2 | 193.700          | 9,059.349        |
|               | Phase 3 | 188.828          | 12,203.520       |
| PM            | Phase 1 | 0.097            | 1.417            |
|               | Phase 2 | 0.130            | 6.080            |
|               | Phase 3 | 0.082            | 5.956            |

งานวิจัยที่ได้ทำการทดสอบและนำเสนอปริมาณมลพิษในหน่วย g/km เช่นเดียวกับ [2] มีด้วยกันมากมายเช่น [1, 3-5] ซึ่งพบว่าไม่มีงานวิจัยชิ้นใดสามารถวิเคราะห์ลงในรายละเอียดได้ ดังนั้น ผู้วิจัยได้ทดลองใช้แนวทางขึ้นต้นเพื่อแก้ปัญหาโดยการตัดปัจจัยด้านเวลาออกไป ซึ่งเป็นการนำข้อมูลความเร็วเฉลี่ย (km/hr) ของแต่ละ Phase จากตารางที่ 2 มาทำการวิเคราะห์ผลเพิ่มเติมทำให้ได้ข้อมูลปริมาณ

มลพิษชนิดต่างๆ ในหน่วยกรัมต่อชั่วโมง (g/hr) (เป็นการเปรียบเทียบปริมาณมลพิษที่ระยะเวลาการขับขี่ 1 ชั่วโมงเท่ากัน) ดังแสดงในช่องสุดท้ายของตารางที่ 1

ตารางที่ 2 ข้อมูลประกอบอื่นๆ ในงานวิจัยของ

Cheenkachorn และ Fungtammasan [1]

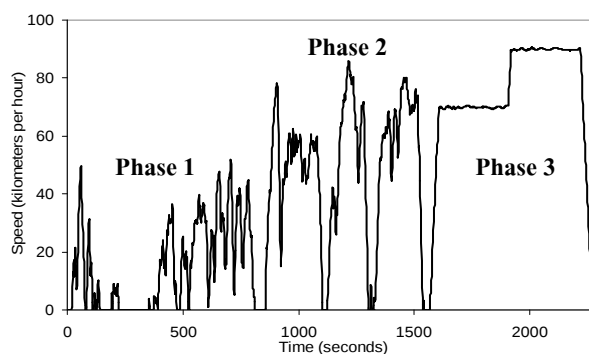
| Phase   | ความเร็วเฉลี่ย<br>(km/hr) | อัตราความสิ้นเปลือง<br>(km/L) | อัตราความสิ้นเปลือง<br>(L/hr) |
|---------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Phase 1 | 14.61                     | 10.03                         | 1.457                         |
| Phase 2 | 46.77                     | 13.66                         | 3.424                         |
| Phase 3 | 72.64                     | 15.75                         | 4.612                         |

จากตารางที่ 2 แสดงว่า Phase 3 มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเชิงปริมาตร (L/hr) สูงที่สุด เชื้อเพลิงจึงน่าจะถูกเผาไหม้และเปลี่ยนเป็นมลพิษได้มากที่สุด มวลของไอเสียทุกชนิดจึงควรต้องเพิ่มขึ้นจาก Phase 1 ไปสู่ Phase 3 แต่ตารางที่ 1 นำเสนอปริมาณมลพิษในหน่วย g/hr ที่มีความสอดคล้องและแตกต่างนี้ ปริมาณ THC และ CO<sub>2</sub> เพิ่มขึ้นจาก Phase 1 ถึง Phase 3 (ซึ่งสอดคล้อง) แต่ปริมาณ CO กลับลดลงสวนทางกับมลพิษอื่นๆ ส่วนปริมาณ PM สูงขึ้นอย่างรวดเร็วจาก Phase 1 ไปสู่ Phase 2 และค่อนข้างคงที่ใน Phase 3

จากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นที่ได้พิจารณาผ่านไปนั้น ประกอบกับรูปแบบการขับขี่มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ดังแสดงในภาพที่ 1 ทำให้สรุปได้ว่าแนวโน้มของการวิเคราะห์เชิงลึกควรมุ่งเน้นไปที่ลักษณะรูปแบบการขับขี่หรือพฤติกรรมขับขี่ที่ส่งผลต่อปริมาณมลพิษไอเสีย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การนำข้อมูลโดยละเอียดของรูปแบบการขับขี่ (driving pattern) อันประกอบด้วยความเร็วรถ ข้อมูลจำเพาะของระบบส่งกำลัง และเกียร์ที่ใช้ในแต่ละวินาทีมาวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณไอเสีย ณ วินาทีนั้นๆ ทำให้สามารถนำความ



รูปที่ 1 รูปแบบการขับขี่ใน Phase 1 ถึง 3 เพื่อทดสอบมลพิษยานยนต์ตามมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ [6]

เร็วรถยนต์มาคำนวณย้อนกลับให้เป็นความเร็วรอบของเครื่องยนต์ได้อย่างค่อนข้างถูกต้องและชัดเจนมากขึ้น โดย driving pattern ก็จะเป็นองค์ประกอบสำคัญสิ่งหนึ่งที่จะทำให้ผู้วิจัยสามารถคาดคะเนพฤติกรรมขับขี่ ณ เวลานั้นๆ ของรถยนต์ได้เช่น ณ เวลานั้นๆ รถยนต์กำลังเร่ง เบรก เล่นด้วยความเร็วคงที่ หรือเปลี่ยนเกียร์

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาผลกระทบของพฤติกรรมขับขี่ต่อปริมาณมลพิษไอเสีย และ (2) หาแนวทางการวิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณมลพิษในไอเสียโดยใช้ Chassis Dynamometer ซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดและสะดวกกว่าการติดตั้งเครื่องยนต์บน Engine Dynamometer อีกทั้งยังเป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลที่อยู่บนพื้นฐานการทำงานที่สถานะจริงของรถยนต์อีกด้วย

## 1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย [1-5] ได้ทดสอบรถยนต์ขนาดต่างๆ บน Chassis Dynamometer ตามมาตรฐานที่แตกต่างกันไป เช่น U.S. Federal Test Procedure (FTP-75), The United Nations Economic Commission for Europe (ECE), The Japanese Test Procedures (10-15 Mode) และมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ผลการทดสอบโดยส่วนใหญ่แสดงว่าความเร็วเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณมลพิษ (g/km) ลดลง

อย่างไรก็ตาม ได้มีงานวิจัยที่พยายามศึกษาถึงปริมาณมลพิษในรูปแบบที่แตกต่างออกไป เช่น Kean และคณะ [7] ได้วิจัยผลกระทบของความเร็วรถยนต์และภาระของเครื่องยนต์ต่อมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้น โดยทำการเก็บข้อมูลจากอุโมงค์แห่งหนึ่งซึ่งมีลักษณะลาดเอียง ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่ขับขึ้นทางลาดเอียง (uphill) ซึ่งจะมีภาระสูงกว่ากลุ่มที่สองซึ่งขับลงทางลาดเอียง (downhill) ข้อมูลบางส่วนถูกนำเสนอในหน่วยกรัมต่อกิโลเมตร (g/km) โดยแสดงว่ารถยนต์ที่ขับขึ้นทางลาดชันมีภาระหรือการเร่งเครื่องยนต์ที่มากกว่าปกติ ทำให้มลพิษ CO และ NO<sub>x</sub> ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมมีปริมาณสูงกว่าด้วย

Rafael และคณะ [8] ได้ทำการวิจัยผลกระทบของลักษณะการขับขี่ต่อปริมาณมลพิษ โดยการทดลองได้แบ่งลักษณะการขับออกเป็น 3 ลักษณะ คือ (1) aggressive driving style หรือ AD ซึ่งเป็นการขับขี่ที่ใช้ความเร่งสูงสุด มีการเปลี่ยนเกียร์อยู่บ่อยครั้ง และความเร็วรถยนต์สูงกว่าที่กฎหมายกำหนด (2) Normal Driving Style หรือ ND ใช้ความเร่งที่ประมาณ 60% ความเร็วอยู่ใกล้เคียงที่กฎหมายกำหนด และ (3) Technical Driving Style หรือ TD เป็นการขับขี่ที่ความเร็วต่ำกว่ากฎหมายกำหนด และใช้ความเร่งที่ 30% การทดสอบลักษณะการขับขี่ทั้งสามมีรูปแบบเดียวกันเป็นระยะทาง 5 ไมล์ ผลการทดสอบพบว่า การขับขี่แบบ AD และ ND ต้องใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงและใช้เชื้อเพลิงมาก ซึ่งเป็นเหตุให้ปล่อยมลพิษมากขึ้น ผลการวิจัยยังพบว่าความเร็วที่ขับขี่ไม่ส่งผลกระทบมากเท่ากับความเร่งที่ใช้

มีงานวิจัยของ Yanowitz และคณะ [9] ที่ได้สร้างโมเดลระบบส่งกำลังและเกียร์อัตโนมัติของรถบรรทุกขนาดใหญ่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าภาระและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ผู้วิจัยได้ทดสอบรถยนต์จำนวน 3 คันบน Chassis Dynamometer จากนั้นได้ถอดเครื่องยนต์ทั้งสามมาติดตั้งบน Engine Dynamometer ผลการวิจัยพบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบมีความแตกต่างกันโดยเฉพาะช่วงความเร็วรอบต่ำเนื่องจากการลื่นไถล (slip) ของ torque convertor งานวิจัยยังพบว่าปริมาณ

NO<sub>x</sub> (g/s) ที่ได้จากการทดสอบบน Chassis Dynamometer มีแนวโน้มเดียวกับการทดสอบด้วย Engine Dynamometer

## 2. การวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบนี้เป็นการใช้รูปแบบการขับขี่ ตามมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษสำหรับรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจะทำในช่วงความเร็วสูง (Phase 3) เท่านั้นเนื่องจากเป็นช่วงที่มีการขับขี่ครบทุกลักษณะ กล่าวคือ มีการเร่งความเร็วจากต่ำไปสูง มีการเปลี่ยนเกียร์ครบทุกเกียร์ และมีช่วงที่ความเร็วคงที่ค่อนข้างยาวนาน ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่วิเคราะห์เกิดความผิดพลาดน้อย

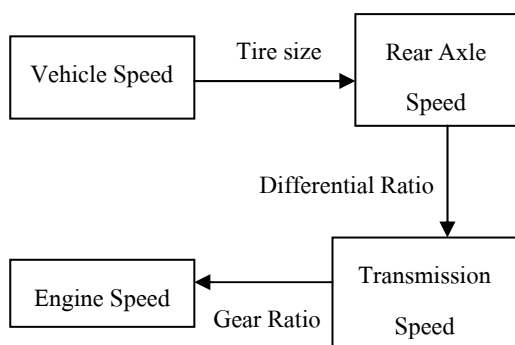
การวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ (1) การคำนวณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และ (2) การคัดเลือกข้อมูลที่น่าจะก่อให้เกิดความผิดพลาด

### 2.1 การคำนวณความเร็วรอบของเครื่องยนต์

การส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปสู่ล้อรถนั้นต้องผ่านระบบส่งกำลังอันประกอบด้วย เกียร์ เพืองท้าย และล้อรถยนต์ การเปลี่ยนค่าความเร็วรถยนต์ให้เป็นความเร็วรอบเครื่องยนต์จึงต้องอาศัยการคำนวณจากข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ และความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 2

ตารางที่ 3 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ในงานวิจัย

| Model                      | Isuzu D-Max  |
|----------------------------|--------------|
| Displacement (l)           | 2.499        |
| Compression Ratio          | 17.7 : 1     |
| Tire size                  | 215 / 70 R15 |
| Differential Ratio         | 43/12        |
| 1 <sup>st</sup> gear Ratio | 4.008 : 1    |
| 2 <sup>nd</sup> gear Ratio | 2.301 : 1    |
| 3 <sup>rd</sup> gear Ratio | 1.427 : 1    |
| 4 <sup>th</sup> gear Ratio | 1.0 : 1      |
| 5 <sup>th</sup> gear Ratio | 0.745 : 1    |

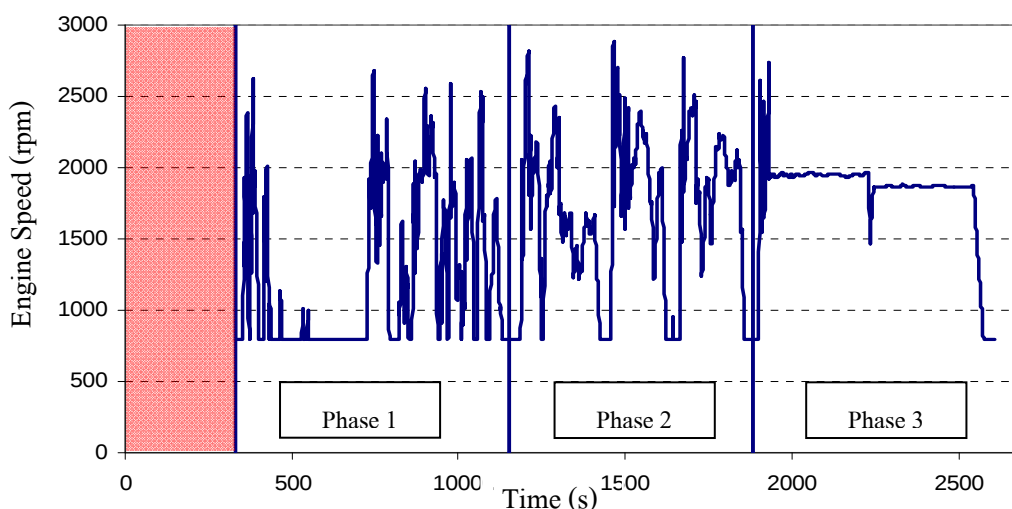


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ในการคำนวณระบบส่งกำลัง

ช่วงการขับขึ้น Phase 1 ช่วงการขับขึ้น Phase 2 และช่วงการขับขึ้น Phase 3

Phase 3 เป็นช่วงที่มีความน่าสนใจมากที่สุดเนื่องจากมีการเร่งความเร็ว มีการเปลี่ยนเกียร์ครบทุกเกียร์อย่างเป็นลำดับ มีช่วงความเร็วคงที่ และมีการลดความเร็ว จึงทำให้ Phase 3 เป็นช่วงที่รวมพฤติกรรมการขับขึ้นไว้อย่างสมบูรณ์ และเป็นข้อมูลที่ไม่ซับซ้อนมากเกินไป งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์การขับขึ้น Phase 3

รูปที่ 4 เป็นการนำข้อมูลใน Phase 3 จากรูปที่ 3 มาวิเคราะห์ ทำให้พบว่าใน Phase 3 นี้มีพฤติกรรมการขับขึ้นที่สำคัญอยู่ด้วยกัน 3 ช่วง (พื้นที่แรเงา)



รูปที่ 3 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตลอดช่วงการทดสอบ

## 2.2 การคัดเลือกข้อมูลที่น่าจะก่อให้เกิดความผิดพลาด

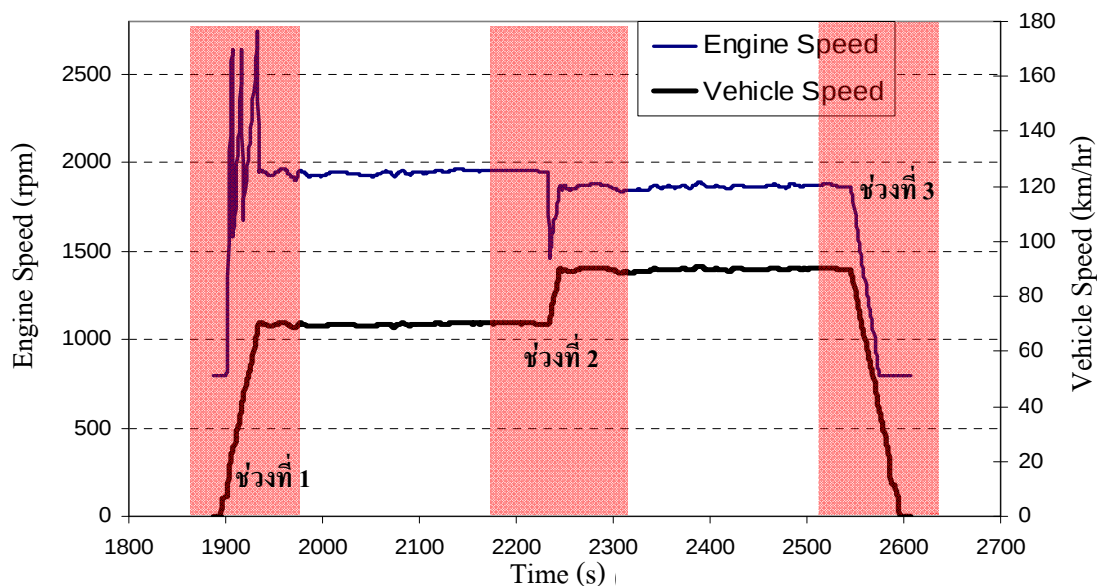
ความเร็วรอบที่คำนวณได้มาจากความสัมพันธ์ในรูปที่ 2 จะเกิดข้อผิดพลาดทันทีที่ระบบส่งกำลังถูกตัดขาด ดังนั้นการวิเคราะห์ต้องสังเกตช่วงเวลาที่ไม่ใส่เกียร์และช่วงที่มีการเหยียบคลัตช์ (declutch) เพื่อเปลี่ยนเกียร์

## 3. ผลการวิจัย

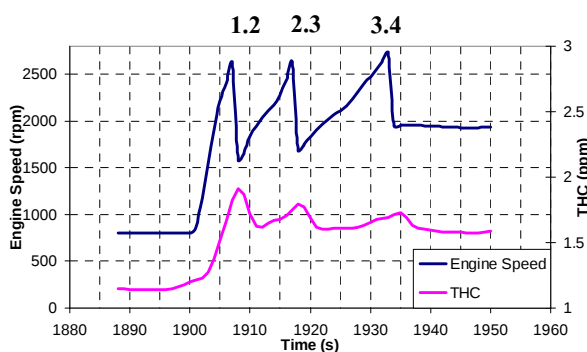
รูปที่ 3 แสดงผลการคำนวณหาความเร็วรอบเครื่องยนต์ ซึ่งถูกแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงที่ให้อุ่นเครื่องยนต์ ซึ่งไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ (ถูกแสดงด้วยพื้นที่แรเงา)

## 3.1 ปริมาณมลพิษในช่วงที่ 1

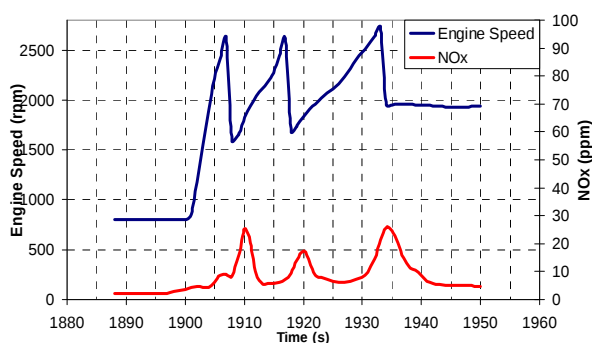
จากรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 7 เป็นปริมาณมลพิษในช่วงที่ 1 ผู้ขับขับได้เร่งเครื่องยนต์เพื่อเปลี่ยนเกียร์จากเกียร์ 1 ไปเป็นเกียร์ 2 (ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ 1.2 ตามการนำเสนอของ Faiz [10]) จากเกียร์ 2 เป็นเกียร์ 3 (2.3) และจากเกียร์ 3 เป็นเกียร์ 4 (3.4) ขณะทำการเปลี่ยนเกียร์ ผู้ขับต้องเหยียบคลัตช์ ผ่อนคันเร่ง และเหยียบคันเร่งอีกครั้งหนึ่ง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเร่งเครื่องยนต์ทำให้เกิดมลพิษ THC, NO<sub>x</sub> และ CO<sub>2</sub> ในปริมาณที่สูงขึ้นด้วย



รูปที่ 4 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ใน Phase 3

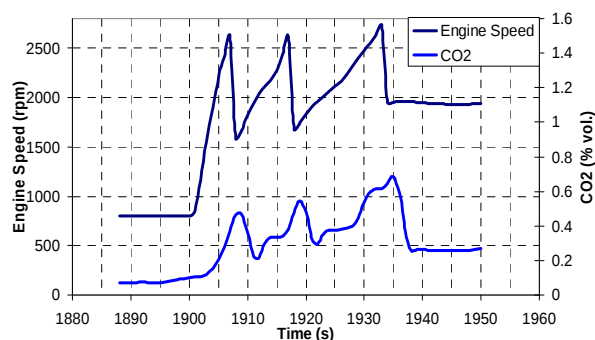


รูปที่ 5 ความเร็วรอบและปริมาณมลพิษ THC ในช่วงที่ 1

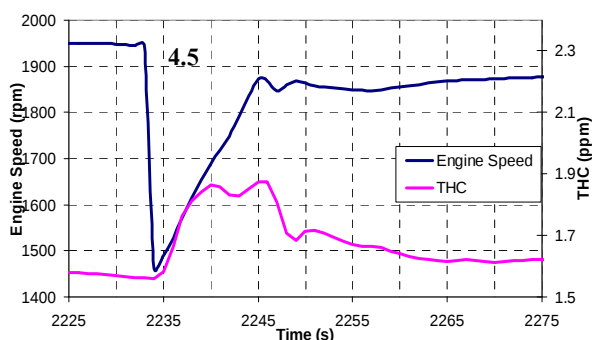
รูปที่ 6 ความเร็วรอบและปริมาณมลพิษ NO<sub>x</sub> ในช่วงที่ 1

### 3.2 ปริมาณมลพิษในช่วงที่ 2

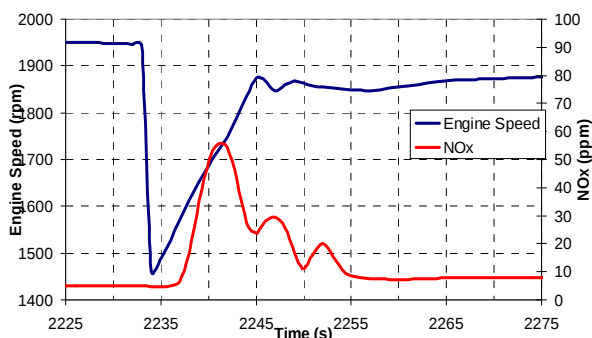
ปริมาณมลพิษทั้งสามชนิดดูคล้ายกับจะเปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4 ถึง 6 แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 7 ถึง 9 ทำให้ไม่สามารถสรุปผลได้ว่าปริมาณ THC, NO<sub>x</sub> และ CO<sub>2</sub> ของเครื่องยนต์ดีเซลจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่สูงขึ้นเนื่องจากภาพที่ 7 แสดงการเปลี่ยนเกียร์จากเกียร์ 4 ไปเป็นเกียร์ 5 และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลดิบจะพบว่า ตลอดช่วงเวลาดังกล่าวรถยนต์มีความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 70 km/h เป็น 90 km/h ดังนั้นการขับขี่โดยใช้เกียร์ 4 ต้องใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงกว่าที่เกียร์ 5 ดังแสดงในรูปที่ 8 ถึง 10

รูปที่ 7 ความเร็วรอบและปริมาณมลพิษ CO<sub>2</sub> ในช่วงที่ 1

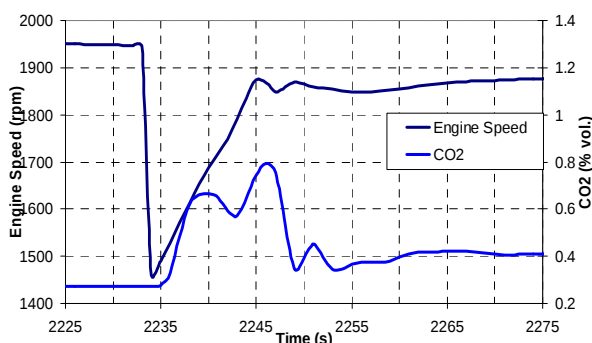
ข้อสังเกตที่พบคือ ความเร็วรอบขณะใช้เกียร์ 5 นั้นต่ำกว่าเกียร์ 4 แต่เครื่องยนต์กลับปล่อยมลพิษ THC, NO<sub>x</sub> และ CO<sub>2</sub> สูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 8 ถึง 10 ซึ่งเหตุผลน่าจะเป็นเพราะการใช้เกียร์ 4 นั้น มีความเหมาะสมกับความเร็วมากกว่าการใช้เกียร์ 5 รวมทั้งแรงบิดที่ได้จากเกียร์ 4 นั้นสูงกว่าเกียร์ 5 ผู้ขับขี่จึงเหยียบคันเร่งน้อยกว่า ปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้จึงลดลงตามไปด้วยและส่งผลต่อปริมาณ THC, NO<sub>x</sub> และ CO<sub>2</sub> ในไอเสีย



รูปที่ 8 ความเร็วรอบและปริมาณมลพิษ THC ในช่วงที่ 2



รูปที่ 9 ความเร็วรอบและปริมาณมลพิษ NO<sub>x</sub> ในช่วงที่ 2



รูปที่ 10 ความเร็วรอบและปริมาณมลพิษ CO<sub>2</sub> ในช่วงที่ 2

ผลการวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอเป็นที่ชัดเจนว่าปริมาณมลพิษทั้งสามชนิดแปรผันไปตามพฤติกรรมภาระเหยียบคันเร่งของผู้ขับขี่ โดยความเร็วรอบเครื่องยนต์นั้นอาจส่งผลต่อปริมาณมลพิษของรถยนต์ดีเซลได้บ้างแต่ไม่ชัดเจนเท่ากับผลกระทบของการเหยียบคันเร่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rafael และคณะ [8] อย่างไรก็ตาม จุดที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งในรูปที่ 8 ถึง 10 คือ ทันทีที่มีการเร่งเครื่องยนต์ ความเร็วรอบได้เพิ่มขึ้นพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณมลพิษ THC แต่กลับพบว่าปริมาณมลพิษ NO<sub>x</sub> และ CO<sub>2</sub> ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงต้นของการเร่งเครื่องยนต์ ทั้งนี้เพราะ THC เป็นเชื้อเพลิงซึ่งเป็นสารตั้งต้นของกระบวนการเผาไหม้ การเร่งเครื่องยนต์เป็นการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงซึ่งย่อมมีเชื้อเพลิงส่วนหนึ่งที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์และปะปนออกมาในไอเสีย แต่มลพิษ NO<sub>x</sub> และ CO<sub>2</sub> เป็นสารผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อการเผาไหม้นั้นอยู่ในสภาวะที่เฉพาะเจาะจง รวมไปถึงต้องมีระยะเวลาเพียงพอต่อการก่อตัว (formation) [11-16]

ปริมาณมลพิษ NO<sub>x</sub> จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น ช่วงเริ่มต้นของการเร่งเครื่องยนต์ ปริมาณเชื้อเพลิงในการเผาไหม้นั้นค่อนข้างน้อย อุณหภูมิการเผาไหม้จึงไม่สูงมากนัก ประกอบกับส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงบางมากทำให้มลพิษประเภท NO<sub>x</sub> แทบจะไม่เพิ่มขึ้นเลย

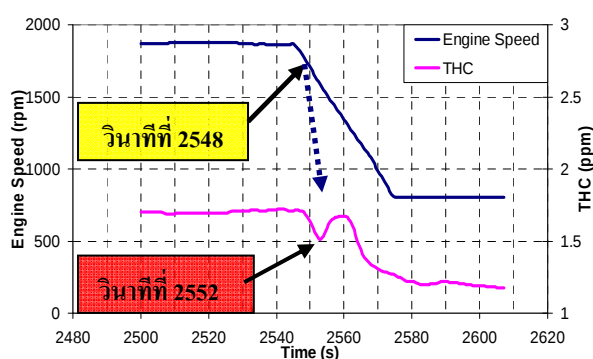
### 3.3 ปริมาณมลพิษในช่วงที่ 3

รูปที่ 11 ถึง 13 เป็นช่วงที่ลดความเร็วจาก 90 km/h ลงสู่ 0 km/h ความเร็วรอบเครื่องยนต์ลดลงจากประมาณ 1875 ลงสู่รอบเดินเบาโดยใช้เกียร์ 5 ตลอดช่วงเวลาดังกล่าว ช่วงการลดความเร็วนี้ ผู้ขับขี่จะค่อยๆ ผ่อนคันเร่งทำให้ปริมาณมลพิษ THC ลดลง และพบว่าในวินาทีที่ 2548 ปริมาณมลพิษทุกชนิดลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งคงเป็นเพราะผู้ขับขี่ทำการเหยียบคลัตช์และปล่อยคันเร่งเพื่อให้รถไหลไปด้วยความเฉื่อย

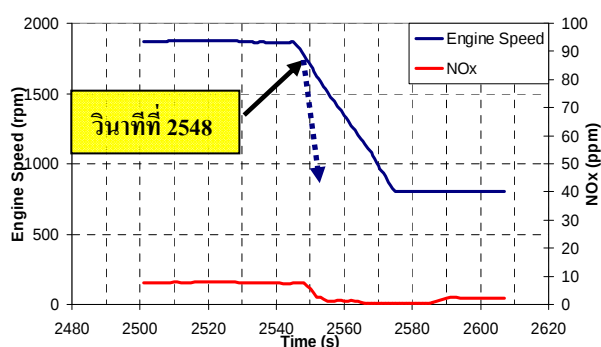
จากรูปที่ 2 และหัวข้อที่ 2.2 การเหยียบคลัตช์เป็นการตัดการส่งกำลังระหว่างเครื่องยนต์กับชุดเกียร์ ดังนั้น เส้นกราฟที่นำเสนอในรูปที่ 11 ถึง 13 จึงเป็นข้อมูลที่ไม่น่าจะถูกต้อง

นัก โดยความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ถูกต้องควรจะลดลงตามแนวโน้มประ

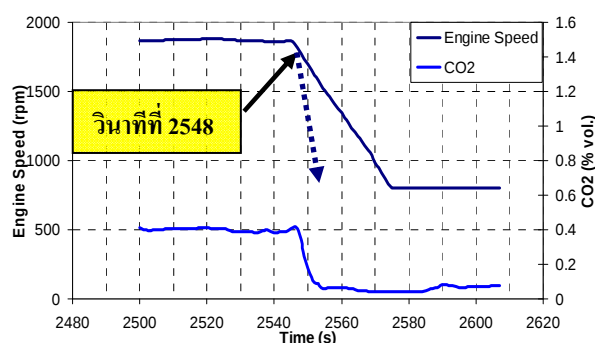
ทั้งนี้ ในวินาทีที่ 2552 พบว่าปริมาณ THC กลับสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่ง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของความเร็วรอบเครื่องยนต์นั้นไม่พบว่าความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น จึงสรุปได้ว่า ในวินาทีที่ 2548 ผู้ขับขี่ได้ทำการเหยียบคลัตช์แล้วปล่อยให้รถไหลด้วยความเฉื่อยดังที่กล่าวไว้แล้ว ความเร็วรอบเครื่องยนต์จึงต้องลดลงตามแนวโน้ม ประ ผู้ขับขี่คงจะมีการเหยียบคันเร่งเล็กน้อยในวินาทีที่ 2552 เพื่อไม่ให้ความเร็วรอบลดลงอย่างรวดเร็วเกินไป ทำให้ THC จึงสูงขึ้น ณ เวลานั้น แต่มลพิษชนิดอื่นๆ ไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นเพราะการเร่งเครื่องครั้งนี้เป็นการเร่งเครื่องแบบไม่มีภาระ ความเร็วรอบไม่สูงมาก ประกอบกับเวลาที่สั้นมากทำให้มลพิษประเภทอื่นเกิดการก่อตัวทางเคมี (formation) ได้ไม่มากนัก



รูปที่ 11 ความเร็วรอบและปริมาณมลพิษ THC ในช่วงที่ 3



รูปที่ 12 ความเร็วรอบและปริมาณมลพิษ NO<sub>x</sub> ในช่วงที่ 3



รูปที่ 13 ความเร็วรอบและปริมาณมลพิษ CO<sub>2</sub> ในช่วงที่ 3

#### 4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของรถยนต์ที่ติดกับความเร็วรอบเครื่องยนต์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของพฤติกรรมการขับขี่ต่อปริมาณมลพิษไอเสีย ผลการวิจัยพบว่า

- (1) ผลกระทบของการเร่งเครื่องยนต์ที่ติดต่อปริมาณมลพิษสูงกว่าความเร็วรอบการทำงานของเครื่องยนต์
- (2) จังหวะการเปลี่ยนเกียร์ และช่วงที่ใช้เกียร์ไม่เหมาะสมกับความเร็วรอบก่อให้เกิดปริมาณมลพิษสูงมากขึ้น
- (3) การเร่งเครื่องยนต์ที่ไม่มีภาระในช่วงเวลาสั้นๆ จะก่อให้เกิดมลพิษ THC สูง แต่มลพิษชนิดอื่นจะเกิดขึ้นต่อเมื่อการเผาไหม้นั้นอยู่ในสภาวะที่เฉพาเจาะจง และต้องมียุทธเวลาเพียงพอต่อการก่อตัว
- (4) การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ไม่อาจนำมาทดแทนการทดสอบด้วย engine dynamometer ได้เนื่องจากผลการวิเคราะห์ไม่สามารถออกมาเป็นตัวเลขได้เพราะข้อมูลพฤติกรรมการขับขี่ เช่น องศาการเหยียบคันเร่ง อัตราการไหลของเชื้อเพลิง และอากาศไม่ละเอียดเพียงพอ
- (5) การวิเคราะห์ปริมาณมลพิษไอเสียบนความสัมพันธ์กับความเร็วรอบเครื่องยนต์จะแสดงค่าที่ชัดเจนและเป็นประโยชน์มากกว่าการวิเคราะห์ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมลพิษกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

การวิเคราะห์ปริมาณมลพิษที่ได้จากการทดสอบบน Chassis Dynamometer ต้องมีความรอบคอบเป็นอย่างมากในเรื่องของหน่วยที่ใช้นำเสนอ การวิเคราะห์ปริมาณมลพิษ

โอเลฟินความสัมพัทธ์กับความเร็วรอบเครื่องยนต์จะแสดงค่าที่ชัดเจนและเป็นประโยชน์มากกว่าการวิเคราะห์ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมลพิษกับความเร็วรอบยนต์

การดำเนินงานวิจัยในลักษณะเดียวกันนี้ในอนาคตควรทำการทดสอบกับรถยนต์แก๊สโซลีนเพราะมีระบบการควบคุมภาระด้วยวิธีทางปริมาณ (quantity control) จึงมีลักษณะการใช้งาน พฤติกรรมการขับขี่ และกระบวนการเผาไหม้ที่แตกต่างออกไป การวิเคราะห์ต้องเริ่มจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบยนต์กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ และต้องทำการคัดเลือกข้อมูลที่น่าจะก่อให้เกิดความผิดพลาดออกเช่นเดียวกับงานวิจัยชิ้นนี้ โดยเริ่มจากการสังเกตความเปลี่ยนแปลงของ THC เป็นอันดับแรกซึ่งข้อมูลที่ได้จะทำให้การวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่ ณ เวลาใดๆ ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม หากจะใช้วิธีการเดียวกันนี้กับรถยนต์ที่ใช้ระบบส่งกำลังด้วยเกียร์อัตโนมัติ (automatic transmission) ต้องทำความเข้าใจถึงการทำงานของระบบควบคุมอย่างละเอียด และต้องคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการลื่นไถล (slip) ใน torque convertor อันจะทำให้การแปลงความเร็วรอบยนต์มาเป็นความเร็วรอบเครื่องยนต์ผิดพลาดไปด้วย

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรพัฒน์ จินจกร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในการสนับสนุนข้อมูลจากการทดสอบรถยนต์ และ Professor Dr. Choi Gyeong Ho คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย DGIST ในการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดจนวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในการสนับสนุนทุนวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- 1 K. Cheenkachorn and B. Fungtammasan, "Biodiesel as an Additive for Diesel", International Journal of Green Energy, 2009, Vol. 6, No. 1, pp. 57-72.
- 2 ดิเรก ชูวีเชียร และเชษฐวุฒิ ภูมิพัฒน์พงศ์, "การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง", วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 2552, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2, หน้า 68-76.
- 3 รักษ์จิต ฐิติพัฒน์พงศ์ และณัฏ เหลืองนฤทัย, "การศึกษาอัตราสิ้นเปลืองรถบรรทุกขนาดเล็กที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซทดแทนน้ำมันดีเซล" ในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 5, 29 เมษายน - 1 พฤษภาคม 2552, มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก.
- 4 R. Joumard, L. Paturel, R. Vidon, J. P. Guitten, A. Saber and E. Combet, "Emissions Unitaires de Pollutants des Vehicules Legers", Report 116, INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite), 1990.
- 5 D. Choowichien, "Application of CNG and its Emissions for Large Diesel-Engine Trucks" Master Thesis, Graduate College, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2008.
- 6 Pollution Control Department, [Online] 2008. [Cited 2008 October 20]. Available from: URL: <http://infofile.pcd.go.th/air/emissionlab2006>.
- 7 J.A. Kean, R.A. Harley and G.R. Kendall, "Effects of Vehicle Speed and Engine Load on Motor Vehicle Emissions", Environmental Science & Technology 2003, Vol. 37, pp. 3739-3746.
- 8 M. Rafael, M. Sanchez, V. Mucino, J. Cervantes and A. Lozano, "Impact of Driving Styles on Exhaust Emissions and Fuel Economy from a Heavy-duty Truck: Laboratory Tests", International Journal of Heavy Vehicle Systems, 2006, Vol. 13, pp. 56-73.

- 9 J. Yanowitz, M.S. Graboski and R.L. McCormick, “Prediction of In-Use Emissions of Heavy-Duty Diesel Vehicles from Engine Testing”, *Environmental Science & Technology*, 2002, Vol. 36, No. 2, pp. 270-275.
- 10 A. Faiz, C.S. Weaver and M.P. Walsh, “Air Pollution from Motor Vehicles”, The World Bank, 1996.
- 11 R.Stone, “Introduction to Internal Combustion Engines”, Society of Automotive Engineers, 2<sup>nd</sup> ed. 1995.
- 12 M. Plint and A. Martyr, “Engine Testing; Theory and Practice”, Butterworth Heinemann, 3<sup>rd</sup> ed. 2007.
- 13 BOSCH, “Diesel-Engine Management”, Professional Engineering Publishing, 2004.
- 14 L.H. Kevin, “Vehicular Engine Design”, SAE, 2006.
- 15 W.W. Pulkrebek, “Engineering Fundamental of the Internal Combustion Engine”, Prentice Hall, 2004.
- 16 C. Poompipatpong, “Effects of Intake Valve Timing and Injection Timing in a Natural Gas Dedicated Diesel Engine”, Master Thesis, Graduate College, King Mongkut’s Institute of Technology North Bangkok, 2007.