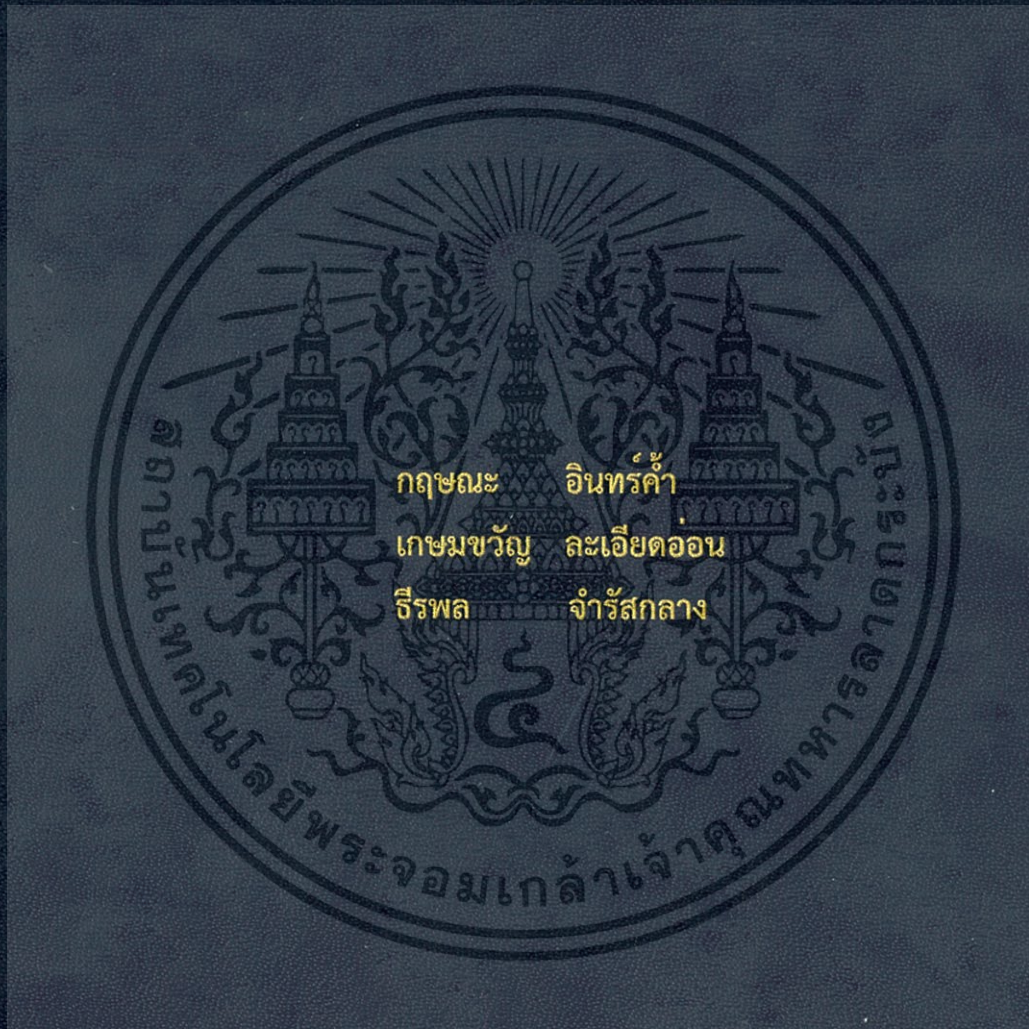


การสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเพื่อศึกษาผลกระทบจากเชื้อเพลิง  
เอทานอลที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยซอฟต์แวร์ AVL BOOST  
THE MODELING OF THE GASOLINE ENGINE FOR STUDYING THE EFFECTS  
OF ETHANOL-GASOLINE BLENDED FUELS ON ENGINE PERFORMANCE  
BY AVL BOOST SOFTWARE



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

การสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเพื่อศึกษาผลกระทบจากเชื้อเพลิง  
เอทานอลที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยซอฟต์แวร์ AVL BOOST  
THE MODELING OF THE GASOLINE ENGINE FOR STUDYING THE EFFECTS  
OF ETHANOL-GASOLINE BLENDED FUELS ON ENGINE PERFORMANCE  
BY AVL BOOST SOFTWARE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE MODELING OF THE GASOLINE ENGINE FOR STUDYING  
THE EFFECTS OF ETHANOL-GASOLINE BLENDED FUELS ON  
ENGINE PERFORMANCE BY AVL BOOST SOFTWARE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BEACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเพื่อศึกษาผลกระทบจากเชื้อเพลิงเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยซอฟต์แวร์ AVL BOOST

THE MODELING OF THE GASOLINE ENGINE FOR STUDYING THE EFFECTS OF ETHANOL-GASOLINE BLENDED FUELS ON ENGINE PERFORMANCE BY AVL BOOST SOFTWARE

ผู้จัดทำ

1. นาย กฤษณะ อินทร์คำ รหัสประจำตัว 54010064
2. นาย เกษมขวัญ ละเอียดอ่อน รหัสประจำตัว 54010130
3. นาย ธีรพล จำรัสกลาง รหัสประจำตัว 54010629



(ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเพื่อศึกษาผลกระทบจากเชื้อเพลิงเอทานอล  
ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยซอฟต์แวร์ AVL BOOST

|              |                |                                     |
|--------------|----------------|-------------------------------------|
| นายกฤษณะ     | อินทร์คำ       | 54010064                            |
| นายเกษมขวัญ  | ละเอียดอ่อน    | 54010130                            |
| นายธีรพล     | จำรัสกลาง      | 54010629                            |
| ผศ.ดร. จินดา | เจริญพรพาณิชย์ | อาจารย์ที่ปรึกษา<br>ปีการศึกษา 2557 |

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนโดยซอฟต์แวร์ AVL BOOST ซึ่งเลือกใช้เครื่องยนต์ HONDA-D15B เป็นต้นแบบในการจำลอง สำหรับแบบจำลองที่สร้างนั้นจะทำการเปรียบเทียบและปรับปรุงความแม่นยำโดยอ้างอิงกับข้อมูลที่เป็นทางการจากผู้ผลิตเครื่องยนต์ต้นแบบ และนำแบบจำลองที่ผ่านการปรับปรุงจนน่าเชื่อถือแล้วไปทำการทดสอบเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศไทย(E10, E20 และ E85) ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ อันได้แก่ แรงบิด และ กำลัง โดยจะใช้กระบวนการจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการทดสอบและเก็บข้อมูลทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกันทดสอบในแบบจำลองเครื่องยนต์เดียวกัน แบบจำลองเครื่องยนต์จะมีสมรรถนะสูงสุดเมื่อใช้กับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน(E0) รองลงมาเป็น E10, E20 และเครื่องยนต์จะมีสมรรถนะต่ำที่สุดเมื่อใช้กับเชื้อเพลิง E85 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (E0) พบว่าแบบจำลองจะมีสมรรถนะลดลงเฉลี่ย 1.77%, 3.72% และ 23.34% เมื่อใช้กับเชื้อเพลิง E10, E20 และ E85 ตามลำดับ ซึ่งหากต้องการให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะสูงสุดนั้นต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE MODELING OF THE GASOLINE ENGINE FOR STUDYING THE EFFECTS  
OF ETHANOL-GASOLINE BLENDED FUELS ON ENGINE PERFORMANCE  
BY AVL BOOST SOFTWARE

|  |             |          |
|--|-------------|----------|
| Krisana  | Inkum       | 54010064 |
| Kasemkwan                                      | La-ead-on   | 54010130 |
| Teerapol                                       | Jumratklang | 54010629 |
| Asst.Prof.Dr.Chinda Charoenphonphanich Advisor |             |          |
| Year 2557                                      |             |          |

### Abstract

This project aim to create a simulation model of the gasoline engine by AVL BOOST software. HONDA-D15B engine was selected to create a simulation model. The model was created to compare and calibration by reference with the official data from engine manufacturer. Then could be bring the model was calibrated to test for studying the effects of ethanol-gasoline blended fuel in Thailand(E10, E20, and E85)on engine performance for example torque and power by using the computer simulation process for testing and collecting all of data. The experimental results demonstrated when used different fuel for testing in the same engine model and the results showed the highest performance when used gasoline fuel(E0) then E10, E20 and lowest engine performance when used E85 fuel. When compared with the model using gasoline fuel (E0) the performance of the engine was decreased 1.77%, 3.72% and 23.34% in case of the engine was fueled by E10, E20 and E85 respectively. To provide maximum engine performance the engine must be tune up to suit the type of fuel used.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์ และ ดร.ปรีชา การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณอย่างมาก

ขอขอบพระคุณทางบริษัท AVL SEA&AUSTRALIA CO.,LTD ที่ได้ให้การสนับสนุนซอฟต์แวร์ AVL BOOST เพื่อใช้ในการศึกษาและจัดทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ พร้อมทั้งอบรมสั่งสอน ขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือเกื้อกูลซึ่งกันและกัน และขอขอบพระคุณทางสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้โอกาสคณะผู้ศึกษาได้เข้ามารับการศึกษานในสาขาวิชา ณ สถาบันแห่งนี้

สุดท้ายนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้ให้การอบรมสั่งสอนและอุปการะเลี้ยงดูด้วยความรัก ให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และให้กำลังใจตลอดมาจนก้าวมาถึงความสำเร็จในวันนี้ คุณค่าและประโยชน์พียงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้ศึกษาขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายกฤษณะ

อินทร์คำ

นายเกษมขวัญ

ละเอียดอ่อน

นายธีรพล

จำรัสกลาง



|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| 2.4.2              | วัฏจักร Otto-วัฏจักรออตโตของเครื่องยนต์ที่เชื้อเพลิงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ..... | 8  |
| 2.5                | เชื้อเพลิงเอทานอล (Ethanol fuel).....  | 9  |
| 2.5.1              | คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอล.....   | 9  |
| 2.5.2              | การเผาไหม้เชื้อเพลิงเอทานอล [12].....  | 10 |
| 2.6                | สมรรถนะของเครื่องยนต์ (Engine Performance) [13].....                           | 11 |
| 2.7                | AVL BOOST Software [14], [15], [16].....                                       | 12 |
| บทที่ 3            | วิธีดำเนินการวิจัย.....  | 15 |
| 3.1                | ข้อมูลเครื่องยนต์ต้นแบบ [17].....  | 16 |
| 3.2                | การสร้างและทดสอบแบบจำลองเครื่องยนต์.....                                       | 17 |
| บทที่ 4            | ผลการศึกษา.....  | 20 |
| 4.1                | ผลการปรับปรุงแบบจำลอง.....   | 20 |
| 4.2                | ผลกระทบจากเชื้อเพลิงเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะของแบบจำลองเครื่องยนต์.....          | 21 |
| บทที่ 5            | สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....   | 26 |
| 5.1                | สรุปการสร้างแบบจำลอง.....  | 26 |
| 5.2                | สรุปผลการทดสอบ.....  | 26 |
| 5.3                | ปัญหาและอุปสรรค.....   | 27 |
| 5.4                | ข้อเสนอแนะ.....  | 27 |
| เอกสารอ้างอิง..... |  | 28 |
| ภาคผนวก.....       |  | 30 |
| ภาคผนวก ก.         | การคำนวณคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....                            | 31 |
| ภาคผนวก ข.         | ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองและการทดสอบโดยซอฟต์แวร์ AVL BOOST.....                  | 36 |
| ภาคผนวก ค.         | ตารางผลการทดสอบ.....   | 66 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด.....  | 3    |
| 2.1 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ.....  | 10   |
| 2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง [5].....  | 10   |
| 3.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์.....  | 16   |
| 3.2 กรณีของการทดสอบ .....  | 18   |
| ก.1 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง .....   | 32   |
| ก.2 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E10 โดยคิดแบบอัตราส่วนโดยปริมาตร.....                                      | 32   |
| ก.3 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E20 โดยคิดแบบอัตราส่วนโดยปริมาตร.....                                      | 33   |
| ก.4 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E85 โดยคิดแบบอัตราส่วนโดยปริมาตร.....                                      | 33   |
| ก.5 ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ .....   | 34   |
| ก.6 ข้อมูลปริมาณอากาศและน้ำมันจากซอฟต์แวร์ AVL BOOST .....   | 35   |
| ก.7 อัตราส่วนผสมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ที่ใช้ทดสอบเมื่อใช้<br>ปริมาตรเชื้อเพลิงคงที่..... | 35   |
| ข.1 Set ของ Initialization .....   | 40   |
| ข.2 ค่าของ Convergence control .....   | 41   |
| ข.3 ค่าของ FMEP ต่อรอบเครื่องยนต์.....   | 42   |
| ข.4 ค่าของ Valve port specification .....  | 44   |
| ข.5 ค่าของ Valve lift ระหว่าง Crank angle กับ Flow coefficient .....                                 | 45   |
| ข.6 ค่าของ Valve lift ระหว่าง Crank angle กับ Flow coefficient .....                                 | 46   |
| ข.7 ค่าของ Valve lift ระหว่าง Crank angle กับ Flow coefficient .....                                 | 47   |
| ข.8 ค่า Flow coefficient.....  | 48   |
| ข.9 ค่า Flow coefficient.....  | 50   |
| ข.10 ค่า Flow coefficient.....   | 50   |
| ข.11 ค่าของ SB 1 และ SB 2 .....  | 51   |
| ข.12 ค่า Flow coefficient.....   | 51   |
| ข. 13 ค่าปริมาตรของ Plenum.....  | 51   |
| ข. 14 ค่า Flow coefficients.....   | 52   |
| ข. 15 ค่ามุมมองระหว่างท่อของ Junctions.....  | 53   |
| ข. 16 ค่า Flow coefficient .....   | 54   |
| ข. 17 ค่าต่างๆ ของ Pipes.....  | 55   |
| ข. 18 ค่าที่เกี่ยวข้องกับตารางที่ ข.17 .....   | 56   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

|  |    |
|--|----|
| ข.19 ตำแหน่งของ Measuring point บน Pipes .....   | 57 |
| ข.20 ตำแหน่งที่จะสร้าง Parameter.....  | 58 |
| ข.21 ตำแหน่งที่จะสร้าง Parameter.....  | 60 |
| ข.22 สูตรต่างๆของ Parameter.....   | 61 |
| ข.23 ค่า Parameter ในแต่ละ Case.....   | 62 |
| ค.1 การเปรียบเทียบกำลังเครื่องยนต์ระหว่างแบบจำลอง AVL BOOST กับข้อมูลจริงจากผู้ผลิต .... | 67 |
| ค.2 การเปรียบเทียบแรงบิดเครื่องยนต์ระหว่างแบบจำลอง AVL BOOST กับข้อมูลจริงจากผู้ผลิต .   | 67 |
| ค.3 เปรียบเทียบกำลังเครื่องยนต์ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละชนิดเชื้อเพลิง.....               | 68 |
| ค.4 เปรียบเทียบแรงบิดเครื่องยนต์ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละชนิดเชื้อเพลิง .....             | 68 |
| ค.5 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด.....              | 69 |
| ค.6 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิง E85 .....             | 70 |
| ค.7 การเปรียบเทียบแรงบิดเมื่อใช้แลมด้าเท่ากับ 1 ระหว่างเชื้อเพลิง E0 และ E85 .....       | 70 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 รูปวัฏจักรการทำงานของลูกสูบ.....  | 5    |
| 2.2 ลำดับเหตุการณ์ในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะจุดระเบิดด้วยประกายไฟ.....  | 6    |
| 2.3 P-V diagram ทางทฤษฎี ของ Otto cycle.....  | 8    |
| 2.4 หน้าจอแสดงผลของซอฟต์แวร์ AVL BOOST.....   | 13   |
| 2.5 ตัวอย่างแผนผังแบบจำลองจากซอฟต์แวร์ AVL BOOST .....  | 14   |
| 3.1 แผนผังวิธีการดำเนินการ .....  | 15   |
| 3.2 เครื่องยนต์ HONDA-D15B .....  | 16   |
| 3.3 กราฟกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ต้นแบบจากผู้ผลิต (Official data) [X] .....  | 17   |
| 3.4 General species setup .....   | 18   |
| 3.5 การสั่งงานเพื่อให้จำลองวัฏจักรการทำงานในรอบต่างๆ (Case explorer).....   | 19   |
| 4.1 การเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างผลการจำลองของ AVL BOOST เทียบกับข้อมูลจริงจากผู้ผลิต..   | 20   |
| 4.2 P-V Diagram ที่ได้จากแบบจำลองเครื่องยนต์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการทำงาน<br>ภายใต้วัฏจักรออตโตได้.....  | 21   |
| 4.3 ค่าแรงบิดที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองเครื่องยนต์ในแต่ละชนิดเชื้อเพลิง.....   | 22   |
| 4.4 ค่ากำลังที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองเครื่องยนต์ในแต่ละชนิดเชื้อเพลิง .....   | 22   |
| 4.5 เปอร์เซ็นต์สมรรถนะที่ลดลงของแบบจำลองเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอล<br>แต่ละชนิดเปรียบเทียบกับแก๊สโซลีน (E0).....                    | 23   |
| 4.6 เปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 โดยไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์กับ<br>เครื่องยนต์ที่มีการปรับค่า lambda เท่ากับ 1..... | 23   |
| 4.7 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิด E85 ที่มีการปรับค่า<br>lambda ให้เท่ากับ 1.....                          | 24   |
| 4.8 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้จากเชื้อเพลิง E85 กับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (E0)<br>ที่ใช้ค่าแลมด้าเท่ากับ 1 .....                     | 25   |
| 5.1 แนวโน้มของแรงบิดที่ได้จากเชื้อเพลิงเอทานอลที่ต่างชนิดกัน .....  | 26   |
| ข.1 ลักษณะของแบบจำลองจาก SB 1 ถึง Air cleaner.....  | 37   |
| ข.2 ลักษณะของแบบจำลองจาก Air cleaner ถึง PL3 .....  | 37   |
| ข.3 ลักษณะของแบบจำลองจาก Plenum 3 ถึง Junction.....   | 38   |
| ข.4 ลักษณะของแบบจำลองของท่อไอเสียจาก Header ถึง SB 2.....   | 38   |
| ข.5 ลักษณะโดยรวมของแบบจำลอง.....  | 39   |
| ข.6 หน้าต่างของ Simulation control – Cycle simulation.....  | 40   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

|   |    |
|---|----|
| ข.7 หน้าต่างของ Assign new parameter .....                        | 41 |
| ข.8 หน้าต่างของ Cylinder/ RPE-Rotor setup.....                    | 42 |
| ข.9 หน้าต่างของ Cylinder/ General .....                           | 43 |
| ข.10 หน้าต่างของ Air cleaner / General .....                      | 48 |
| ข.11 หน้าต่างของ Catalyat / General.....                          | 49 |
| ข.12 หน้าต่างของ Reference element .....                          | 58 |
| ข.13 หน้าต่าง Wall temperature table ของ Pipe 47, 48 และ 49 ..... | 60 |
| ข.14 หน้าต่างตัวอย่างของ Parameter.....                           | 61 |
| ข.15 หน้าต่างแสดง Parameter ที่ใช้.....                           | 62 |
| ข.16 หน้าต่างของ Run simulation.....                              | 63 |
| ข.17 หน้าต่างของ Impress chart แสดงผลลัพธ์.....                   | 64 |
| ข.18 หน้าต่างของ General species setup.....                       | 65 |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1.ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากพัฒนาการของอุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบันมีการแข่งขันทางด้านเทคโนโลยีที่ทันสมัยมากขึ้น มีงานวิจัย พัฒนา และ การออกแบบเครื่องยนต์ที่มุ่งเน้นถึงคุณภาพและประสิทธิภาพที่ดีขึ้น จึงมีการนำเทคโนโลยีทางการจำลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางคอมพิวเตอร์มาใช้งานเพื่อลดขั้นตอนอันยุ่งยากและเวลาของการทำงานรวมถึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายจากการสร้างหรือผลิตต้นแบบในการทดลอง ทำให้ในปัจจุบันมีความนิยมนำการจำลองเสมือนจริงมาใช้มากขึ้น

การสร้างแบบจำลองเสมือนจริงจากอุปกรณ์หรือระบบยานยนต์ที่มีอยู่จริงต้องอาศัยหลักการทางวิชาการหลายสาขา เช่น Fluid Dynamic, Thermo Dynamic ช่วยให้นักวิจัย พัฒนา และการออกแบบทางวิศวกรรมนั้นง่ายและรวดเร็วขึ้น เนื่องจากใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่มาเป็นตัวช่วย ซึ่งแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้ทดลองต่างๆตามความต้องการของผู้ทำวิจัย อีกทั้งยังให้ผลข้อมูลทางการจำลองเสมือนจริงที่มีความแม่นยำสูงใกล้เคียงกับการทดสอบจากอุปกรณ์หรือระบบยานยนต์จริง

จากเหตุผลดังกล่าวนำมาซึ่งโครงการ “การสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเพื่อศึกษาผลกระทบจากเชื้อเพลิงเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยซอฟต์แวร์ AVL BOOST” โดยได้เลือกใช้เครื่องยนต์แก๊สโซลีนของ HONDA รหัสเครื่องยนต์ D15B เป็นเครื่องยนต์ต้นแบบในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งแบบจำลองเครื่องยนต์ทางคอมพิวเตอร์นี้จะถูกปรับปรุงให้มีความแม่นยำสามารถแสดงข้อมูลสมรรถนะได้ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์จริงต้นแบบ

แบบจำลองเครื่องยนต์ที่ได้รับการยอมรับจะนำไปใช้ทำการทดสอบเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศไทย(E10 E20 และ E85) ที่มีต่อสมรรถนะของแบบจำลองเครื่องยนต์อันได้แก่ แรงบิด และ กำลัง ซึ่งได้ถือว่าเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและซอฟต์แวร์เฉพาะทางให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาและวิจัยในยุคสมัยปัจจุบันได้อย่างเหมาะสม

## 1.2. วัตถุประสงค์ของปฏิญญานิพนธ์

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะใช้ซอฟต์แวร์ AVL BOOST สร้างแบบจำลองเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่สามารถแสดงข้อมูลสมรรถนะของเครื่องยนต์ออกมาในรูปแบบของแรงบิด และ กำลัง ที่มี ความใกล้เคียงกับเครื่องยนต์จริงต้นแบบที่เลือกใช้ และนำแบบจำลองเครื่องยนต์ที่ผ่านการปรับปรุง ให้มีความแม่นยำจนยอมรับได้แล้ว ไปทำการทดสอบกับเชื้อเพลิงเอทานอลที่มีอยู่ในประเทศไทย ได้แก่ E10, E20 และ E85 เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่มีต่อสมรรถนะของ แบบจำลองเครื่องยนต์ อันได้แก่ แรงบิด และ กำลัง โดยกระบวนการที่ใช้ในการดำเนินงานจะทำการจำลองทางคอมพิวเตอร์ทั้งหมด

## 1.3. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองเครื่องยนต์ทางคอมพิวเตอร์ที่มีค่าสมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องยนต์จริงต้นแบบ
2. สามารถนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้ในการทดสอบเพื่อศึกษาถึงผลกระทบจากชนิดของเชื้อเพลิงเอทานอล E10, E20 และ E85 ที่มีต่อสมรรถนะของแบบจำลองเครื่องยนต์ดังกล่าว
3. สามารถใช้แบบจำลองเครื่องยนต์ทำนายข้อมูลที่เป็นประโยชน์อื่นๆ นอกเหนือจากสมรรถนะของเครื่องยนต์ เช่น มลพิษ, เสียงรบกวน, อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆในเครื่องยนต์ เป็นต้น
4. สามารถนำแบบจำลองเครื่องยนต์ไปศึกษาได้เพิ่มเติมและสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องได้ในอนาคต

## 1.4. ขอบเขตโครงการ

1. ใช้งานซอฟต์แวร์ AVL BOOST ในการสร้างและทดสอบแบบจำลองเครื่องยนต์
2. เลือกใช้เครื่องยนต์ HONDA-D15B เป็นเครื่องยนต์ต้นแบบ
3. ศึกษาข้อมูลและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอลที่มีใช้ในประเทศไทย
4. ศึกษาถึงผลกระทบจากเชื้อเพลิงเอทานอลชนิดต่างๆ(E0, E10, E20 และ E85)ที่มีต่อสมรรถนะของแบบจำลองเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

- 1.ศึกษาและทดลองใช้งานซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์(AVL BOOST software)
- 2.ศึกษาและหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องของเครื่องยนต์จริงที่จะนำมาสร้างแบบจำลอง
- 3.สร้างแบบจำลองเครื่องยนต์จากซอฟต์แวร์ AVL BOOST และหาค่าสมรรถนะเบื้องต้น
- 4.เปรียบเทียบค่าสมรรถนะระหว่างแบบจำลองกับข้อมูลสมรรถนะจากผู้ผลิตและทำการปรับปรุงแบบจำลองให้เข้าเชื่อถือ
- 5.สรุปผลการดำเนินงาน
- 6.จัดทำรายงานและนำเสนอโครงการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด

| ลำดับที่ | กิจกรรมและขั้นตอน  | กันยายน |   | ตุลาคม |   | พฤศจิกายน |   | ธันวาคม |   | มกราคม |   | กุมภาพันธ์ |   | มีนาคม |   | เมษายน |   |
|----------|--|---------|---|--------|---|-----------|---|---------|---|--------|---|------------|---|--------|---|--------|---|
|          |  | 1       | 2 | 3      | 4 | 1         | 2 | 3       | 4 | 1      | 2 | 3          | 4 | 1      | 2 | 3      | 4 |
| 1        | ศึกษาและทดลองใช้งานโปรแกรมที่จะใช้ในการสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์(AVL Boost)                     | ←→      |   | ←→     |   |           |   |         |   |        |   |            |   |        |   |        |   |
| 2        | ศึกษาและหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องของเครื่องยนต์จริงที่จะนำมาสร้างแบบจำลอง                          |         |   | ←→     |   | ←→        |   |         |   |        |   |            |   |        |   |        |   |
| 3        | ทำการสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์จากเครื่องยนต์จริง และหาค่าสมรรถนะจากโปรแกรม                      |         |   |        |   | ←→        |   | ←→      |   |        |   |            |   |        |   |        |   |
| 4        | เปรียบเทียบค่าสมรรถนะระหว่างเครื่องยนต์จริงกับแบบจำลอง และทำการปรับปรุงแบบจำลองให้เข้าเชื่อถือ |         |   |        |   |           |   |         |   | ←→     |   | ←→         |   |        |   |        |   |
| 5        | สรุปผลการดำเนินงาน   |         |   |        |   |           |   |         |   |        |   |            |   | ←→     |   |        |   |
| 6        | จัดทำรายงานและนำเสนอโครงการ  |         |   |        |   |           |   |         |   |        |   |            |   |        |   | ←→     |   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 งานวิจัยของ REN Hongjuan, Wang Huilong, LUO Yiping [1] ได้ทำการสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้ซอฟต์แวร์ AVL BOOST และออกแบบระบบไอดีของเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของแบบจำลอง โดยทดลองจากพารามิเตอร์ชนิดต่างๆกัน(เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่อไอดีและท่อร่วมไอดี) เพื่อให้เกิดค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์ดังกล่าว

2.1.2 งานวิจัยของ Marcin SZLACHETKA, Michal BIALY [2] ทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์ Wankel XR50 ซึ่งเป็นเครื่องยนต์โรตารี 4 จังหวะ โดยใช้ซอฟต์แวร์ AVL BOOST และทำการเปรียบเทียบค่าแรงบิดที่ได้จากแบบจำลองกับการทดสอบเครื่องยนต์จริงเพื่อพิจารณาความแม่นยำของแบบจำลองดังกล่าว

2.1.3 งานวิจัยของ Le Anh Tuan, Pham Huu Truyen, Nguyen Duc Khanh, Trieu Tien Chuan [3] ได้ทำการสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์ 1 กระบอกสูบ โดยใช้ซอฟต์แวร์ AVL BOOST และทำการทดสอบแบบจำลองดังกล่าวกับเชื้อเพลิงเอทานอลชนิดต่างๆซึ่งได้แก่ E10, E20 และ E85 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลของสมรรถนะและมลพิษที่ได้จากเชื้อเพลิงเอทานอลที่ต่างชนิดกัน

2.1.4 งานวิจัยของ Shashank S N, S Raviteja & Kumar G N [4] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของเชื้อเพลิงเอทานอลผสมและเชื้อเพลิงบิวทานอลที่มีต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ชนิด 4 กระบอกสูบ จุดระเบิดด้วยประกายไฟ โดยใช้ซอฟต์แวร์ AVL BOOST ในการทำการวิจัยและเก็บข้อมูล

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์โดยใช้ซอฟต์แวร์ AVL BOOST นั้นมีอยู่ในปริมาณหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้ซอฟต์แวร์ AVL BOOST ทำการศึกษาและวิจัยเครื่องยนต์ได้หลากหลายประเภทไม่ว่าจะเป็น เครื่องยนต์แก๊สโซลีน, เครื่องยนต์ดีเซล, เครื่องยนต์โรตารี เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถกำหนดพารามิเตอร์ในการทดสอบวิจัยได้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นระบบเชื้อเพลิง ระบบไอดี ระบบไอเสีย รวมไปถึงระบบอื่นๆที่มีอยู่ในเครื่องยนต์ทั้งหมด

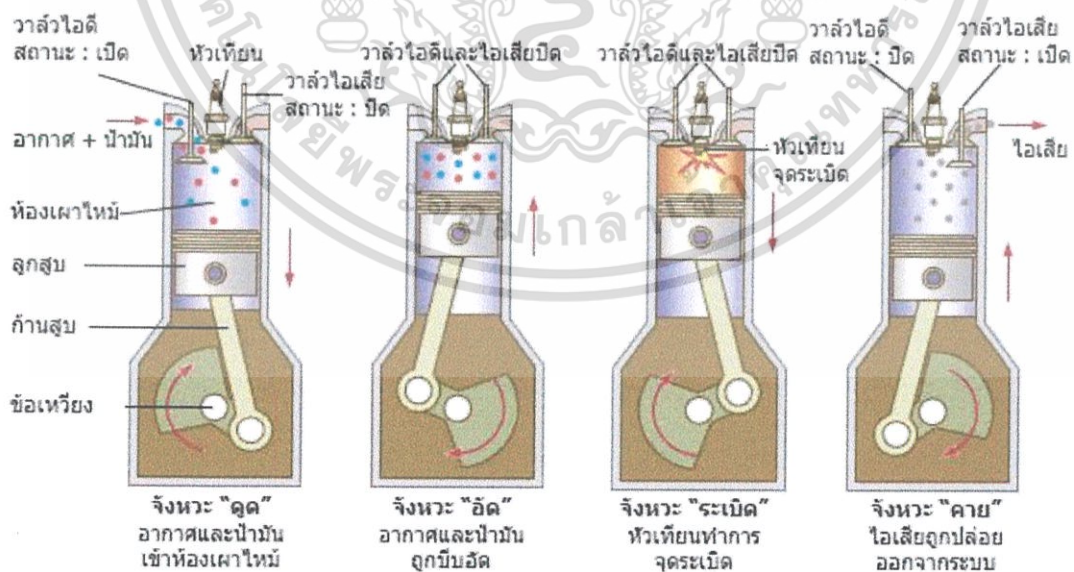
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 เครื่องยนต์สันดาปภายใน (internal combustion engine) [5], [6]

เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นเครื่องยนต์ความร้อน ซึ่งแปลงพลังงานเคมีในเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล โดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของการหมุนเพลาส่งกำลัง ในขั้นแรกพลังงานเคมีของเชื้อเพลิง จะถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อน โดยการสันดาปหรือการออกซิเดชันกับอากาศภายในเครื่องยนต์ พลังงานความร้อนนี้จะเพิ่มทั้งอุณหภูมิและความดันของแก๊สในเครื่องยนต์ แล้วแก๊สความดันสูงนี้ก็จะผลักดันกลไกของเครื่องยนต์ เป็นการแปลงการขยายตัวของแก๊ส โดยอาศัยชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ให้เป็นการหมุนเพลาส่งกำลัง ซึ่งก็คือเพลาส่งกำลังของเครื่องยนต์ เพลาส่งกำลังจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับเกียร์หรือระบบส่งกำลัง เพื่อส่งผ่านพลังงานกลในรูปของการหมุน ไปใช้งานตามความประสงค์ในขั้นสุดท้าย ส่วนใหญ่แล้วเครื่องยนต์เหล่านี้จะถูกใช้เป็นเครื่องต้นกำลังสำหรับยานพาหนะ เช่น รถยนต์ เครื่องจักรไอน้ำ กังหันไอน้ำ เรือ และเครื่องบิน นอกจากนี้ยังใช้เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังสติกิตี สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า บั๊มหรือใช้เป็นเครื่องยนต์เอนกประสงค์เคลื่อนที่ เช่น เลื่อยยนต์หรือเครื่องตัดหญ้า ด้วย เป็นต้น

เครื่องยนต์สันดาปภายในส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องยนต์ลูกสูบเคลื่อนที่สลับทิศ ซึ่งเครื่องยนต์ลูกสูบเคลื่อนที่สลับทิศ อาจมีเพียงสูบเดียวหรือหลายสูบ กระบอกสูบสามารถอยู่ในตำแหน่งทางเรขาคณิตได้แตกต่างกันไปขนาดของเครื่องยนต์แบบนี้ มีตั้งแต่เครื่องยนต์ขนาดจิ๋วของเครื่องบินจำลอง ซึ่งให้กำลังเพียง 100 วัตต์ ไปจนถึงเครื่องยนต์ต้นกำลังสติกิตีหลายสูบขนาดใหญ่ ที่ให้กำลังหลายพันกิโลวัตต์ต่อสูบ

## 2.3 กระบวนการสันดาปภายใน

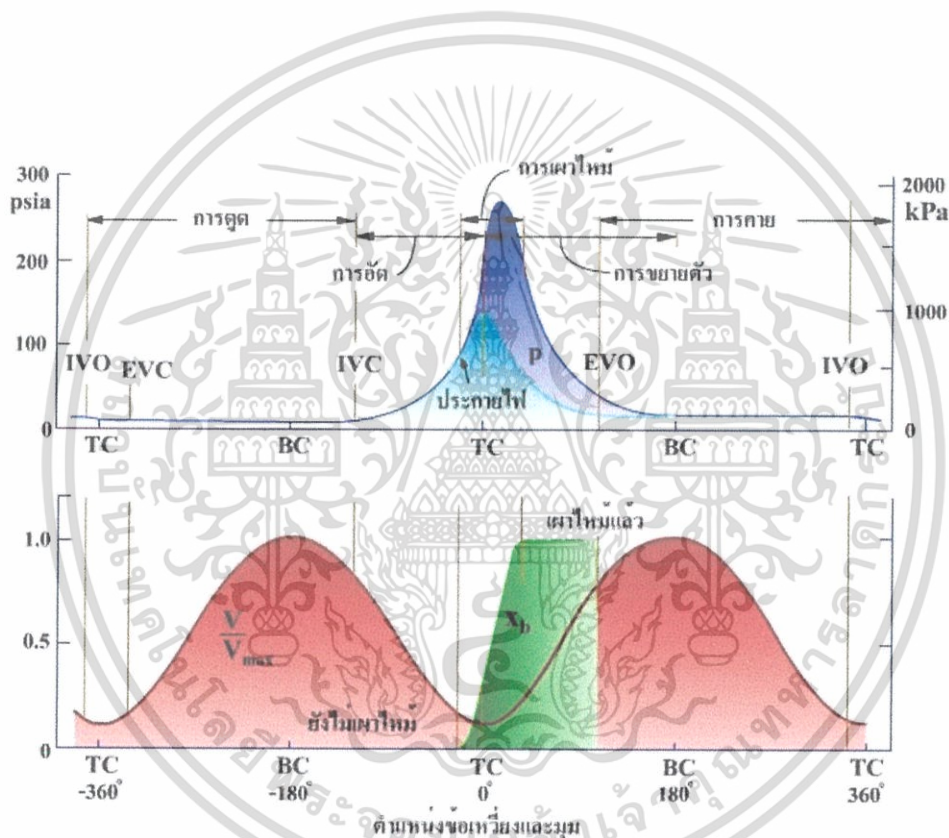


รูปที่ 2.1 รูปวัฏจักรการทำงานของลูกสูบ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการเตรียมสารผสมอากาศกับเชื้อเพลิงแล้วสารผสมก็จะไหลเข้าไปในกระบอกสูบ ลำดับของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟซึ่งจะแสดงไว้ในรูปที่ 3 สำหรับวัฏจักรการทำงานแต่ละวัฏจักรจะเริ่มการนำไอดีเข้าหรือการดูดซึ่งจะเริ่มต้นเมื่อวาล์วไอดีเปิดและไปสิ้นสุดเมื่อวาล์วไอดีปิด ในทางปฏิบัติเพื่อจะรักษาการไหลของสารผสมให้สูงไว้ที่อัตราเร็วเครื่องยนต์สูงวาล์วไอดีจะเปิดก่อน TC และปิดหลัง BC ในระหว่างการนำไอดีเข้านี้ ไอดี (สารผสมอากาศกับเชื้อเพลิง) ที่เข้าไปในกระบอกสูบจะผสมกับแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ค้างอยู่ในกระบอกสูบจากวัฏจักรการทำงานที่ผ่านมา

หลังจากวาล์วไอดีปิด แก๊สที่อยู่ในกระบอกสูบจะถูกอัด ทำให้ความดันและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาตรลดลง ซึ่งเรียกว่า การอัด การอัดเริ่มต้นเมื่อวาล์วไอดีปิดและไปสิ้นสุดเมื่อลูกสูบถึง TDC



IVO = Intake Valve Opens (วาล์วไอดีเปิด)

IVC = Intake Valve Closes (วาล์วไอดีปิด)

EVO = Exhaust Valve Opens (วาล์วไอเสียเปิด)

EVC = Exhaust Valve Closes (วาล์วไอเสียปิด)

รูปที่ 2.2 ลำดับเหตุการณ์ในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะจุดระเบิดด้วยประกายไฟ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนที่ลูกสูบจะถึง TC ระหว่าง 10 ถึง 40 องศาข้อเหวี่ยง หัวเทียนจะให้ประกายไฟออกมาเพื่อเริ่มต้นการเผาไหม้ ซึ่งจะเกิดเปลวไฟขึ้นแล้วเปลวไฟก็จะแพร่ออกไปในสารผสมของอากาศ เชื้อเพลิงและแก๊สที่ค้างอยู่ในกระบอกสูบ แล้วไปดันที่ผนังของห้องเผาไหม้ ช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและการทำงานของเครื่องยนต์ แต่โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 40 ถึง 60 องศาข้อเหวี่ยง เมื่อสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศเผาไหม้ ความดันกระบอกสูบจะเพิ่มขึ้น (เส้นสีน้ำเงินในภาพ 3) สูงกว่าระดับความดันที่เกิดขึ้นจากการอัดเพียงอย่างเดียว (เส้นสีฟ้าในภาพ 3) ซึ่งกราฟเส้นสีฟ้านี้เป็นกราฟความดันกระบอกสูบที่เกิดจากการหมุนเครื่องยนต์โดยไม่มีการเผาไหม้ (motored cycle) ส่วนกราฟเส้นสีน้ำเงินเป็นกราฟความดันกระบอกสูบที่มีการเผาไหม้ (firing cycle) ในช่วงการเผาไหม้นั้น ในแต่ละกระบอกสูบและในแต่ละวัฏจักรการทำงานจะไม่เหมือนกันทีเดียวนัก (เส้นกราฟไม่ทับกัน) ทั้งนี้ เนื่องจากรูปแบบการไหลและส่วนประกอบของสารผสมระหว่างกระบอกสูบแต่ละกระบอก และในกระบอกสูบเดียวกันแต่คนละวัฏจักรการทำงานก็จะแตกต่างกัน ทำให้กระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน

นอกจากนี้ มวลของเชื้อเพลิงกับอากาศในกระบอกสูบหนึ่งๆจะมีจังหวะการจุดระเบิดหรือจังหวะหัวเทียนให้ประกายไฟออกมา (spark timing) ที่เหมาะสมที่สุดจังหวะหนึ่งซึ่งจะให้ทอร์กเบรกสูงสุดที่เรียกว่า จังหวะทอร์กเบรกสูงสุด (maximum brake torque, MBT) ถ้าจังหวะที่หัวเทียนให้ประกายไฟออกมาก่อน (advanced timing) หรือหลัง (retarded timing) จังหวะทอร์กเบรกสูงสุด กำลังของเครื่องยนต์ก็จะลดลง

จังหวะขยายตัวหรือจังหวะกำลังจะเริ่มเมื่อลูกสูบอยู่ที่ TC และไปสิ้นสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BC ในระหว่างจังหวะขยายตัว เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ไปประมาณสองในสามของระยะชัก วาล์วไอเสียจะเริ่มเปิด ที่ตำแหน่งนี้ ความดันในกระบอกสูบจะสูงกว่าความดันในท่อร่วมไอเสีย ทำให้ไอเสียไหลออกจากกระบอกสูบ (blow down) จนกระทั่งความดันกระบอกสูบเท่ากับความดันในท่อร่วมไอเสีย หลังจากนั้นเมื่อลูกสูบถึง BC ก็จะเคลื่อนที่กลับไปยัง TC ดันไอเสียออกจากกระบอกสูบ

วาล์วไอเสียจะยังคงเปิดอยู่จนกระทั่งหลังลูกสูบผ่าน TC ไปแล้วเล็กน้อย และวาล์วไอดีจะเปิดก่อนลูกสูบถึง TC จึงทำให้มีองศาเคลื่อนซ้อนเหลื่อม (valve overlap, ช่วงเหลื่อมกันของวาล์วทั้งสอง) ซึ่งถ้าการไหลเข้าถูกหรือจนกระทั่งความดันต่ำกว่าความดันในท่อร่วมไอเสียก็จะทำให้ไอเสียไหลกลับ (back flow) เข้าไปในท่อร่วมไอดี

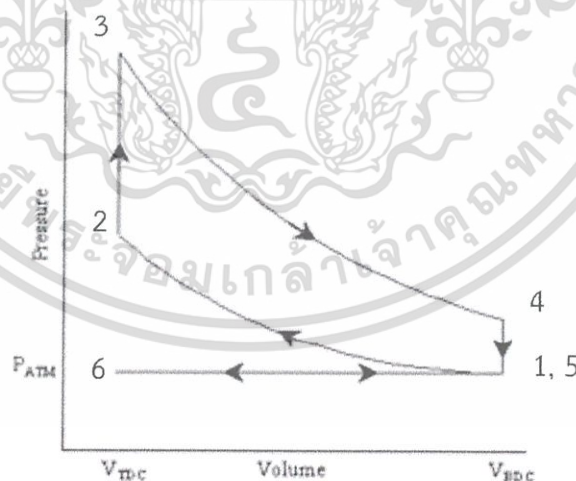
## 2.4 เครื่องยนต์แก๊สโซลีนและวัฏจักรการทำงาน

### 2.4.1 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน [6]

เครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Gasoline Engine) หรือเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Spark Ignition Engine) อาศัยกับเชื้อเพลิงจะผสมกันโดยใช้คาร์บูเรเตอร์หรือใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงในระบบไอดีก่อนที่จะเริ่มกระบวนการสันดาปในแต่ละวัฏจักรโดยหัวเทียน โดยมีอัตราส่วนการไหลของมวลอากาศต่อเชื้อเพลิง (AF ratio) ประมาณ 15 เพื่อให้มีการเผาไหม้ที่เหมาะสม หัวเทียนจะคายประจุไฟฟ้าแรงสูงออกมาระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองขั้ว ประกายไฟจะจุดส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ให้ลุกไหม้บริเวณรอบหัวเทียน โดยการจุดระเบิดภายในห้องเผาไหม้จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลูกสูบซึ่งจะสร้างกำลังให้กับเครื่องยนต์นำไปใช้งานได้ต่อไป

### 2.4.2 วัฏจักร Otto-วัฏจักรอุดมคติของเครื่องยนต์ที่เชื้อเพลิงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ

วัฏจักร Otto เป็นวัฏจักรอุดมคติของเครื่องยนต์ reciprocating ชนิดที่เชื้อเพลิงถูกจุดระเบิดด้วยหัวเทียน วัฏจักรนี้ถูกตั้งชื่อโดย Nikolaus A. Otto หลังจากที่เขาได้เป็นผู้ผลิตเครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะได้สำเร็จในปี ค . ศ . 1876 ในประเทศเยอรมันโดยใช้วัฏจักรที่ถูกเสนอโดย Frenchman Beau de Rochas ทั้งหมดด้วยกัน 4 จังหวะ [9]



รูปที่ 2.3 P-V diagram ทางทฤษฎี ของ Otto cycle [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ1→2 ลูกสูบเคลื่อนที่อัดอากาศ แบบแอดิยาบัติกแบบและผันกลับได้ (ไอเซนทรอปิก) จากจุด BDC (จุดที่ 1) ไปถึง จุด TDC (จุดที่ 2) อากาศมีปริมาตรเท่ากับพื้นที่ว่างบนหัวลูกสูบ (Clearance Volume;  $V_c$ ) อุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้นจากจุดที่ 1

กระบวนการ2→3 เป็นการรับความร้อนหรือการเผาไหม้ภายใต้ปริมาตรคงที่ ( $V=\text{constant}$ ) ทำให้อุณหภูมิและความดันเพิ่มสูงขึ้น ในทางปฏิบัติ คือ จังหวะจุดระเบิด

กระบวนการ3→4 เป็นการขยายตัวแบบแอดิยาบัติก ลูกสูบเคลื่อนที่จาก TDC ไปสู่ตำแหน่ง BDC ด้วยการผลักดันของแก๊สที่เผาไหม้ และได้งานออกจากระบบ

กระบวนการ 4→5 เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบปริมาตรคงที่ ( $V=\text{constant}$ ) เป็นการถ่ายโอนความร้อนออกจากระบบจนกระทั่งคุณสมบัติต่างๆ กับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้น

กระบวนการ 5→6 เป็นการคายไอเสียจากการเผาไหม้ [11]

## 2.5 เชื้อเพลิงเอทานอล (Ethanol fuel)

### 2.5.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอล

เอทานอล(Ethanol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งสามารถรับประทานได้ มีสูตรทางเคมีคือ  $C_2H_5OH$  ลักษณะของเอทานอล จะเป็นของเหลวใส ไร้สี จุดไฟติด ระเหยได้ง่าย ละลายในน้ำและสารอินทรีย์อื่นๆได้ดี โดยเอทานอลผลิตมาจากพืชเกษตรกรรมชนิดต่างๆ เช่น อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าว เป็นต้น

เอทานอลสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ ซึ่งสามารถใช้เพียงเอทานอลชนิดเดียวหรือจะนำมาผสมกับแก๊สโซลีนก็ได้ซึ่งจะเรียกว่า "น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน" ซึ่งเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนสามารถนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน และ น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนยังลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ เนื่องจากเอทานอลที่ผสมเกิดขึ้นจากการหมักของพืชทางการเกษตรในประเทศ โดยน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนใช้สัญลักษณ์ตัว E แสดงถึงอัตราส่วนผสมของเอทานอล

ในประเทศไทยมีแก๊สโซลีนใช้งานดังนี้

1.) E10 คือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างเอทานอลร้อยละ 10 กับน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนร้อยละ 90 โดยปริมาตร E10 ได้รับการยอมรับในหลายประเทศและยังสามารถใช้เชื้อเพลิงนี้กับเครื่องยนต์ที่ไม่ต้องปรับแต่ง

2.) E20 คือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างเอทานอลร้อยละ 20 กับน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนร้อยละ 80 โดยปริมาตร

3.) E85 คือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างเอทานอลร้อยละ 85 กับน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนร้อยละ 15 โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

| <i>Fuel type</i> | <i>Gasoline</i> | <i>Ethanol</i> |
|------------------|-----------------|----------------|
| <i>E0</i>        | 100%            | 0%             |
| <i>E10</i>       | 90%             | 10%            |
| <i>E20</i>       | 80%             | 20%            |
| <i>E85</i>       | 15%             | 85%            |

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง [5]

| <i>Property of Fuel</i>       | <i>E0(Gasoline)</i> | <i>E100(Ethanol)</i> |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| Density (g/cm <sup>3</sup> )  | 0.737               | 0.8                  |
| Stoichiometric air-fuel ratio | 14.612              | 9.003                |
| Lower heating value (kJ/kg)   | 43,000              | 26,950               |
| Octane number(MON)            | 80-91               | 89                   |
| Octane number(ROn)            | 92-99               | 107                  |

### 2.5.2 การเผาไหม้เชื้อเพลิงเอทานอล [12]

กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนในอากาศกับคาร์บอน และไฮโดรเจน ทำให้ได้พลังงานในรูปของความร้อนออกมา และทำให้ความดันภายในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้น ผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้นี้ จะเกิดขึ้นระหว่างจังหวะระเบิดหรือจังหวะทำงาน จึงทำให้สามารถนำกำลังที่ได้รับไปใช้งานได้ตามต้องการ โดยทั่วไปอากาศประกอบด้วยออกซิเจนประมาณ 21% โดยน้ำหนักหรือ 21% โดยปริมาตร ดังนั้นอากาศที่ต้องใช้ผสมกับเชื้อเพลิงจึงมีปริมาณที่มากกว่าเชื้อเพลิงมาก ปริมาณความต้องการอากาศในทางทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ หรือเรียกว่า Stoichiometric Air Fuel ration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสมการการเผาไหม้ของเอทานอลทางทฤษฎี คือ



และสมการการเผาไหม้ของแก๊สโซลีนทางทฤษฎี คือ



## 2.6 สมรรถนะของเครื่องยนต์ (Engine Performance)

### 1. Indicated Mean Effective Pressure: IMEP

$$IMEP = \frac{1}{V_D} \cdot \int_{CD} p_c \cdot dV \quad (\text{bar}) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$p_c$  Cylinder pressure

$V_D$  Cylinder displacement

### 2. Friction Mean Effective Pressure: FMEP

$$FMEP = \frac{P_{fr}}{V_D \cdot n_{cycle}} \quad (\text{bar}) \quad \dots \dots \dots (2)$$

$P_{fr}$  Friction power

$n_{cycles}$  Number of cycle

3. Brake Mean Effective Pressure: BMEP เป็นค่าความดันเฉลี่ยซึ่งคำนวณมาจากกำลังเบรค ความดันเฉลี่ยเบรคนี้จะน้อยกว่าความดันเฉลี่ยอินดิเคด เพราะความดันบางส่วนจะต้องสูญเสียไปเพื่อทำให้เกิดกำลังงาน ซึ่งเท่ากับกำลังงานเนื่องจากความฝืด

$$BMEP = IMEP - FMEP$$

### 4. Indicated Power

$$P_I = IMEP \cdot V_D \cdot n_{cycle} \quad (kW) \quad \dots \dots \dots (3)$$

### 5. Brake Power

$$P_{eff} = BMEP \cdot V_D \cdot n_{cycle} \quad (kW) \quad \dots \dots \dots (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. Indicated Torque

$$T_i = \frac{IMEP \cdot V_D}{k_{cycle}\pi} \quad (N \cdot m) \quad \dots \dots \dots (5)$$

*cycle parameter*

2 for two – stroke engines

4 for four – stroke engine

## 7. Friction Torque

$$T_F = \frac{FMEP \cdot V_D}{k_{cycle}\pi} \quad (N \cdot m) \quad \dots \dots \dots (6)$$

## 8. Brake Torque

$$T_{eff} = \frac{BMEP \cdot V_D}{k_{cycle}\pi} \quad (N \cdot m) \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$= T_i - T_F \quad (N \cdot m) \quad \dots \dots \dots (8)$$

## 2.7 AVL BOOST Software [13], [14], [15]

AVL BOOST คือโปรแกรมจำลองเฉพาะทางที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์ที่สมบูรณ์ โดยเป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์รวมถึงกระบวนการสันดาปภายใน

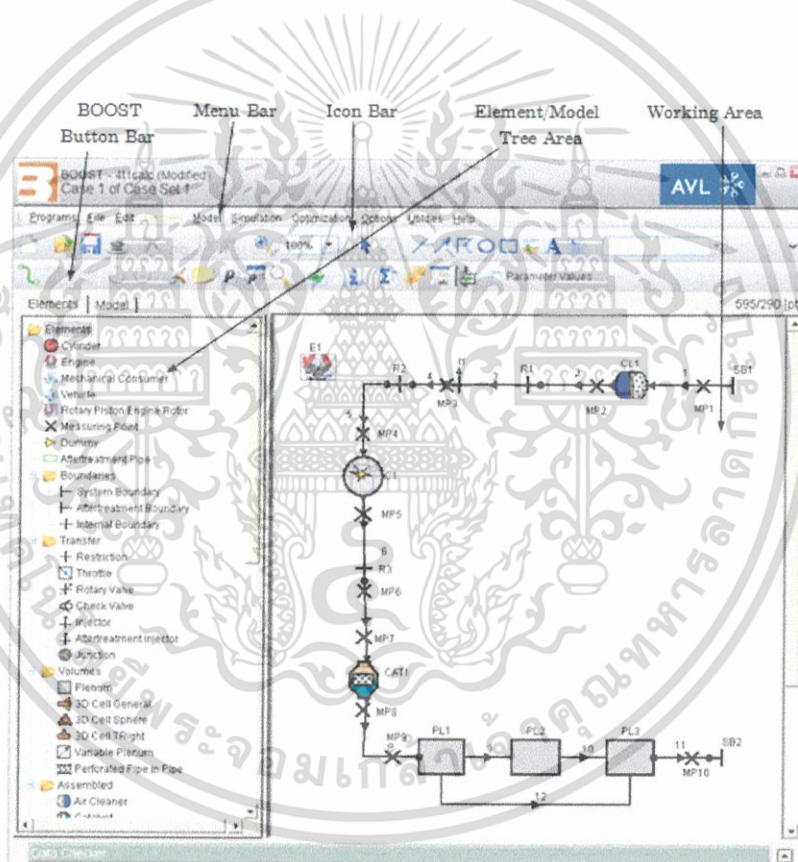
AVL BOOST ถูกจัดสร้างขึ้นโดยแผนกงานเทอร์โมไดนามิกส์ประยุกต์จากบริษัท AVL ตัวโปรแกรมจะใช้วิธีการวัดจากหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์และการคำนวณเป็นหลักในการวิเคราะห์เครื่องยนต์ ซึ่งสิ่งนี้จะพื้นฐานการทำงานหลักในการสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์และเป็นข้อมูลสำคัญในกระบวนการทำงานอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการจำลองต่อไป

AVL BOOST ถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและมีประโยชน์ต่อผู้ใช้งานสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์ ทั้งในสภาวะ steady state และ transient

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

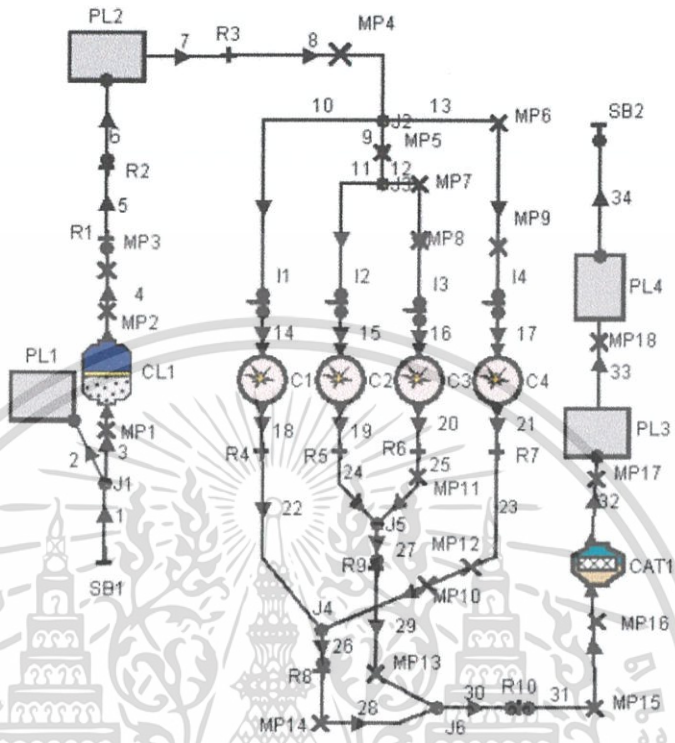
โปรแกรมสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายดังนี้

- การเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องยนต์รูปแบบต่างๆ
- การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ซึ่งเป็นองค์ประกอบในเครื่องยนต์ต่างๆ เช่น Inlet system, Exhaust system, Valve size และอุปกรณ์อื่นๆ โดยพิจารณาจากปัจจัยของ Power output, Torque และ Fuel consumption
- การเพิ่มประสิทธิภาพของ Valve timing และ Cam profiles
- การออกแบบระบบอัดอากาศในเครื่องยนต์
- การปรับปรุงเสียงรบกวนจาก Orifice ให้เหมาะสม
- การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ในสถานะ Transient (Acceleration/Load pick up, Deceleration/Load drop) เพื่อนำข้อมูลไปใช้กับระบบส่งกำลังและระบบพลศาสตร์ยานยนต์



รูปที่ 2.4 หน้าจอแสดงผลของซอฟต์แวร์ AVL BOOST

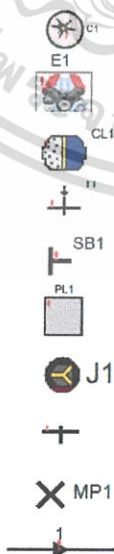
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแผนผังแบบจำลองจากซอฟต์แวร์ AVL BOOST [14]

องค์ประกอบของแบบจำลอง

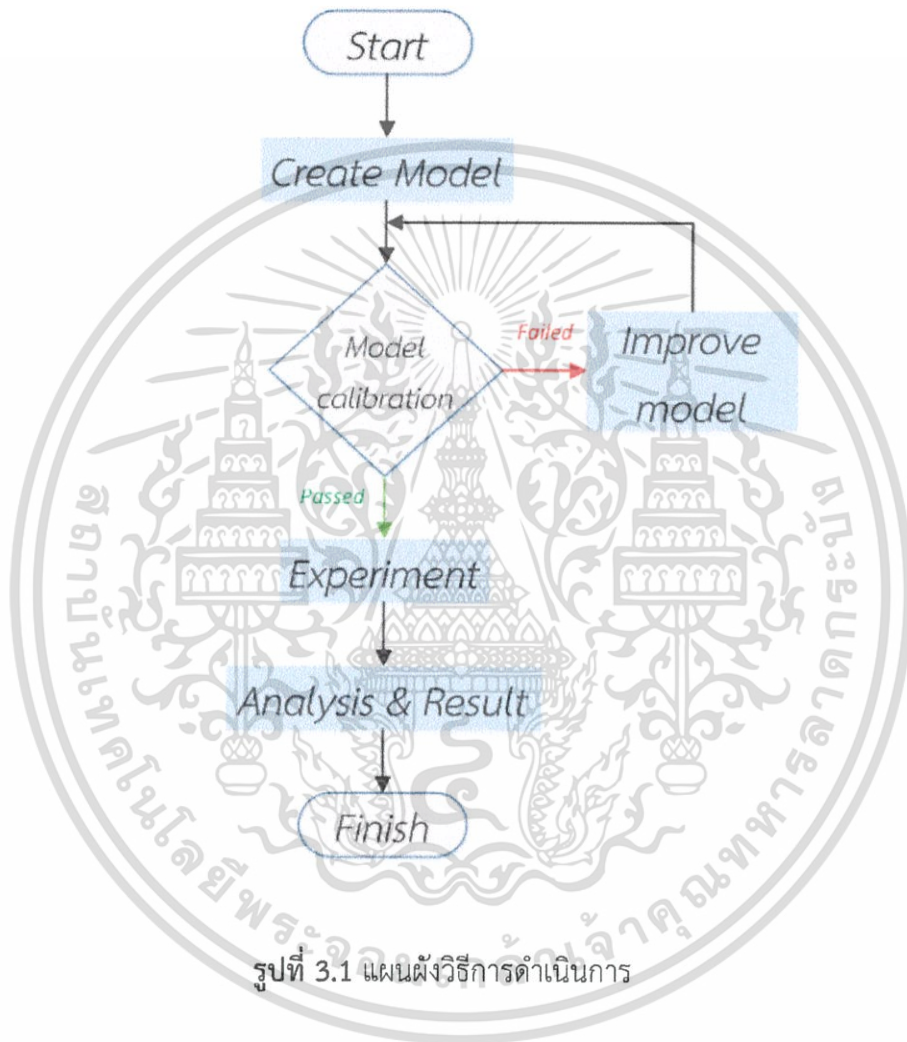
- Cylinders
- Engine
- Air Cleaner
- Injectors
- System Boundaries
- Plenums
- Junctions
- Restrictions
- Measuring Points
- Pipes



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการดำเนินการ

สำหรับการดำเนินงานของโครงการทั้งหมดจะเป็นไปตามขั้นตอนดังแผนภาพที่แสดงไว้ ซึ่งจะแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงหลัก ดังนี้

1.) **ช่วงการเตรียมข้อมูล** เป็นช่วงเริ่มต้นของการดำเนินงานทั้งหมด จะเป็นการเตรียมข้อมูลต่างๆที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลอง ตลอดจนข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้องต่อการดำเนินโครงการทั้งหมด เช่น ข้อมูลซอฟต์แวร์ที่ใช้ ข้อมูลเครื่องยนต์ต้นแบบ รูปแบบการสร้างแบบจำลอง เป็นต้น

2.) **ช่วงการสร้างและปรับปรุงแบบจำลอง** เป็นช่วงการดำเนินงานจัดสร้างและปรับปรุงโดยใช้ซอฟต์แวร์ AVL BOOST เพื่อสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่มีค่าสมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องยนต์จริงต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

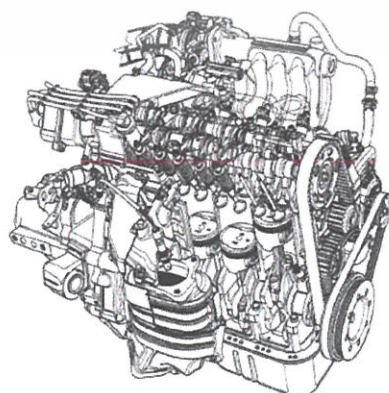
3.) ช่วงการทดสอบและวิเคราะห์สรุปผล เป็นช่วงสุดท้ายของการดำเนินงาน ที่จะนำแบบจำลองที่สร้างและผ่านการปรับปรุงให้มีความน่าเชื่อถือแล้วไปทำการสอบกับเชื้อเพลิงเอทานอลชนิดต่างๆ เพื่อเก็บข้อมูลสมรรถนะจากแบบจำลองดังกล่าวเพื่อศึกษาถึงผลกระทบและแนวโน้มสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามอิทธิพลของเชื้อเพลิงเอทานอลที่ต่างชนิดกัน ได้แก่ E0, E10, E20 และ E85

### 3.1. ข้อมูลเครื่องยนต์ต้นแบบ [16]

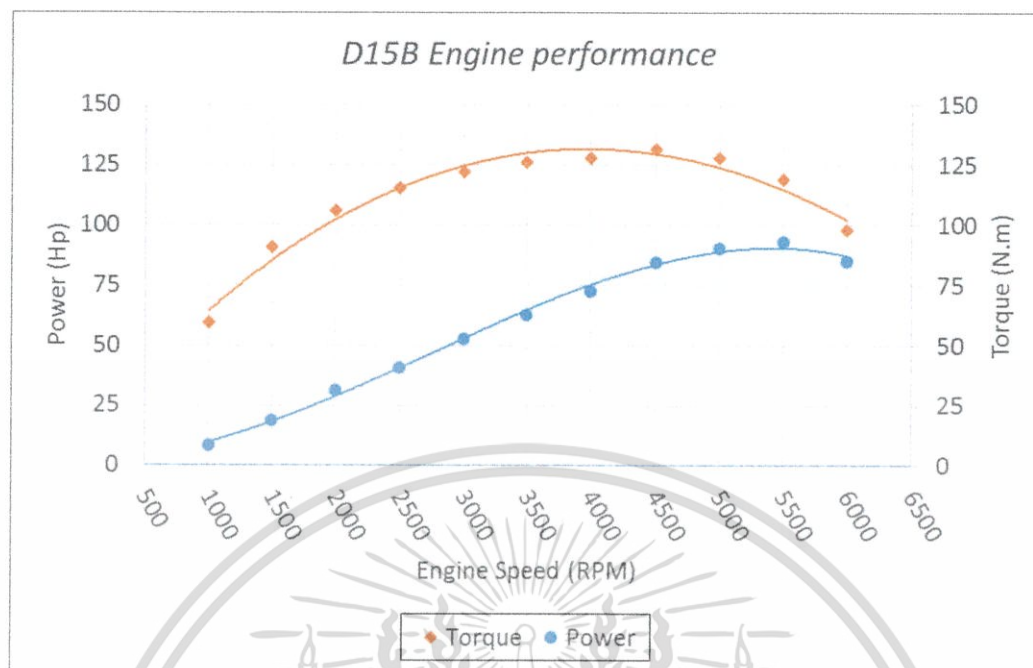
โครงการนี้ได้ทำการเลือกเครื่องยนต์ประเภทแก๊สโซลีน 4 กระบอกสูบแบบแถวเรียง HONDA-D15B เป็นเครื่องยนต์ต้นแบบในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งเครื่องยนต์ดังกล่าวเป็นเครื่องยนต์ในรถยนต์รุ่น HONDA CIVIC ETi(1991-1997) สาเหตุที่เลือกใช้เครื่องยนต์นี้เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่มีหลักการทำงานพื้นฐาน เป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์ และสามารถใช้ในการต่อยอดทำการวิจัยหรือการทดลองอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไปได้อีก

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <i>Engine type</i>           | Inline 4 cylinders<br>16 valve, SOHC<br>SI Engine (Gasoline fuel) |
| <i>Displacement volume</i>   | 1493 cc   |
| <i>Bore</i>                  | 75 mm   |
| <i>Stroke</i>                | 84.5 mm   |
| <i>Connecting rod length</i> | 137 mm  |
| <i>Compression ratio</i>     | 9.3:1   |
| <i>Maximum power</i>         | 93 Hp at 5500RPM  |
| <i>Maximum torque</i>        | 131.5 N.m at 4500RPM  |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.2 เครื่องยนต์ HONDA-D15B อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 กราฟกำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ต้นแบบจากผู้ผลิต (Official data) [16]

### 3.2 การสร้างและทดสอบแบบจำลองเครื่องยนต์

การดำเนินการจัดสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์ AVL BOOST เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง ปรับปรุงแบบจำลอง ทดสอบแบบจำลอง ตลอดจนเก็บค่าข้อมูลทั้งหมด โดยมีขั้นตอนหลักในการดำเนินการสร้างจนถึงการทดสอบแบบจำลองดังนี้

#### 1) ออกแบบแผนผังของแบบจำลอง

โดยแผนผังที่ออกแบบจะต้องมีลักษณะจำเพาะแบบเดียวกับเครื่องยนต์จริงที่ใช้ในการทดสอบ(HONDA-D15B) เช่นมี 4 กระบอกสูบ, 16 วาล์ว, ความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อต่างๆ และหัวฉีดเป็นแบบ Ports injections เป็นต้น (ดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ข.)

#### 2) การปรับแก้แบบจำลองและค่าสมรรถนะที่ได้จากแบบจำลอง

ดำเนินการปรับแก้แบบจำลองจากการปรับค่า FMEP และการเก็บข้อมูลในการวิจัยนี้จะเน้นไปที่การพิจารณาสมรรถนะของแบบจำลองเครื่องยนต์อันได้แก่ แรงบิด และ กำลัง โดยเงื่อนไขการทดสอบหลักที่จะใช้ในทุกกรณีการทดสอบคือ ใช้อัตราส่วนผสมการเผาไหม้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแก๊สไฮโดรเจน( $\lambda = 1$ ) (ดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

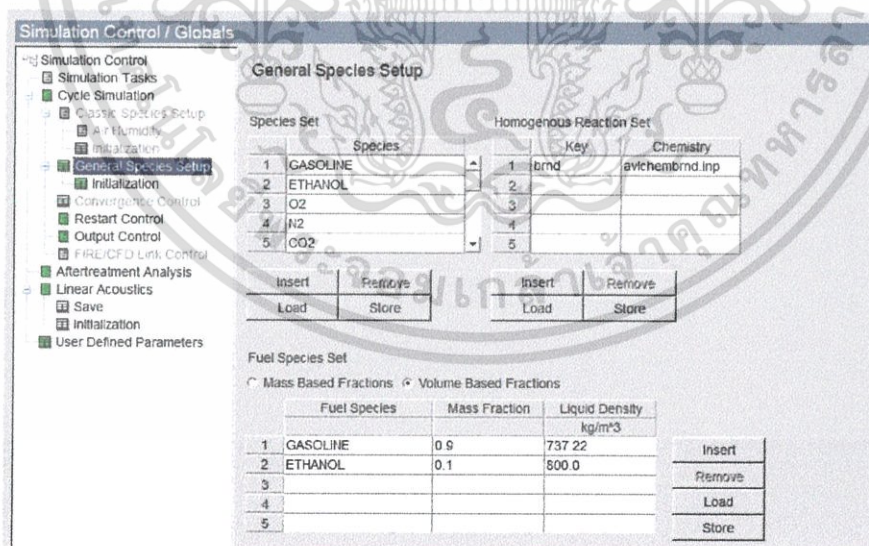
### 3) การทดสอบผลกระทบจากเชื้อเพลิงเอทานอล

ทำการทดสอบแบบจำลองเครื่องยนต์กับเชื้อเพลิง E10, E20 และ E85

3.1) โดยนำแบบจำลองเครื่องยนต์ที่ได้ไปใช้ร่วมกับเชื้อเพลิงเอทานอลต่างๆ โดยเลือกที่เมนูบาร์ Simulation / Control - Cycle simulation, เลือก General สำหรับ Species transport. จากนั้นเลือก General species setup ใส่ข้อมูลตามรูปภาพโดยสามารถเปลี่ยนอัตราส่วนผสมระหว่างแก๊สโซลีนกับเอทานอลได้โดยที่อัตราส่วนมวลระหว่าง Gasoline กับ Ethanol ของน้ำมัน E10, E20, และ E85 เท่ากับ 0.9 กับ 0.1, 0.8 กับ 0.2 และ 0.15 กับ 0.85 (ดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ข.)

ตารางที่ 3.2 กรณีของการทดสอบ

| <i>Experiment case</i> | <i>Fuel type</i> | <i>AF ratio</i> |
|------------------------|------------------|-----------------|
| Case1                  | E0(Gasoline)     | 14.62           |
| Case2                  | E10              | 14.48           |
| Case3                  | E20              | 14.36           |
| Case4                  | E85              | 13.62           |



รูปที่ 3.4 General species setup

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเงื่อนไขการใช้ปริมาณน้ำมันจากเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนคงที่ทำให้ค่าอัตราส่วนผสมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดอื่นเปลี่ยนไป (ดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ก. ตาราง ก.3)

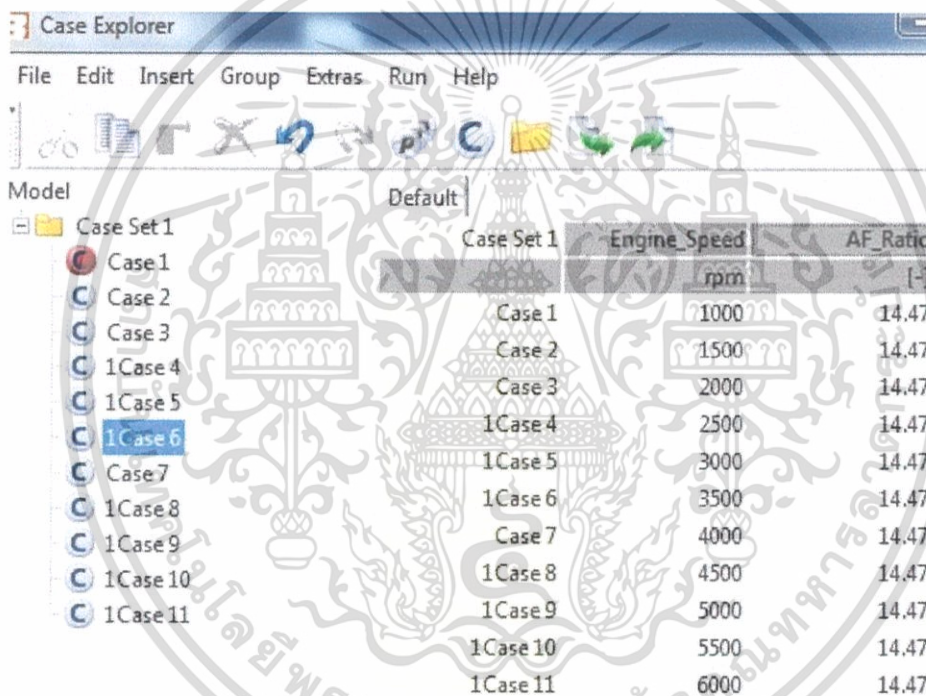
โดยน้ำมันเชื้อเพลิง E10 ใช้อัตราส่วนผสมในการเผาไหม้เท่ากับ 14.47

โดยน้ำมันเชื้อเพลิง E20 ใช้อัตราส่วนผสมในการเผาไหม้เท่ากับ 14.35

โดยน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ใช้อัตราส่วนผสมในการเผาไหม้เท่ากับ 13.61 และ 9.78

จากนั้นนำค่าอัตราส่วนผสมการเผาไหม้ของแต่ละชนิดเชื้อเพลิงมาใส่ข้อมูลใน Case explorer โดยเลือกเมนูบาร์ Model / Case explore

เปลี่ยนค่าอัตราส่วนผสมในการเผาไหม้ในตาราง AF\_Ratio ดังรูปด้านล่าง



| Case Set 1 | Engine_Speed | AF_Ratio |
|------------|--------------|----------|
| Case 1     | 1000 rpm     | 14.47    |
| Case 2     | 1500         | 14.47    |
| Case 3     | 2000         | 14.47    |
| 1Case 4    | 2500         | 14.47    |
| 1Case 5    | 3000         | 14.47    |
| 1Case 6    | 3500         | 14.47    |
| Case 7     | 4000         | 14.47    |
| 1Case 8    | 4500         | 14.47    |
| 1Case 9    | 5000         | 14.47    |
| 1Case 10   | 5500         | 14.47    |
| 1Case 11   | 6000         | 14.47    |

รูปที่ 3.5 การสั่งงานเพื่อให้จำลองวัฏจักรการทำงานในรอบต่างๆ (Case explorer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

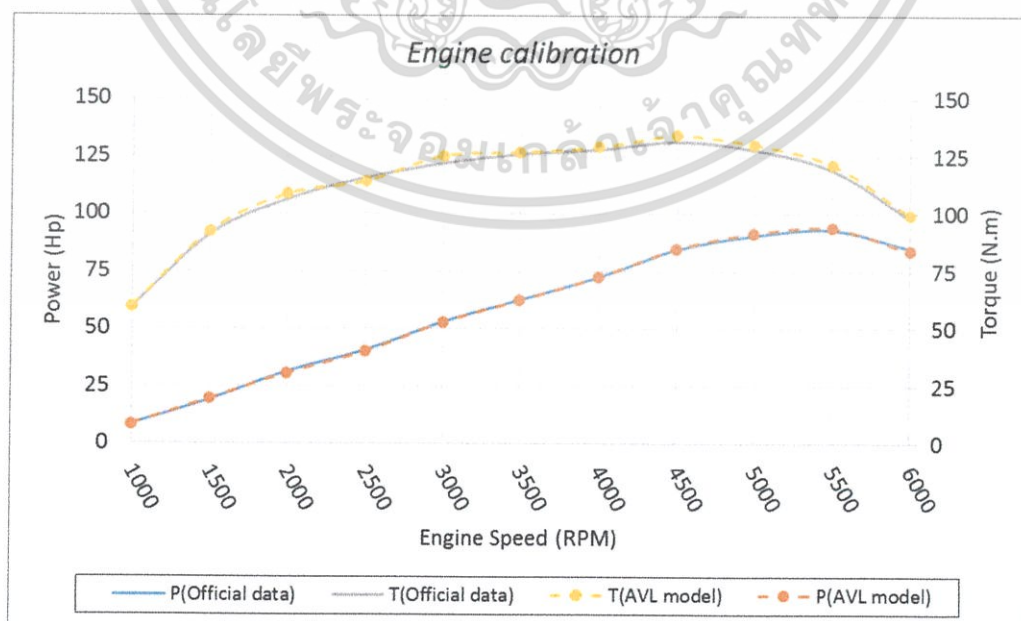
## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

#### 4.1 ผลการปรับปรุงแบบจำลอง

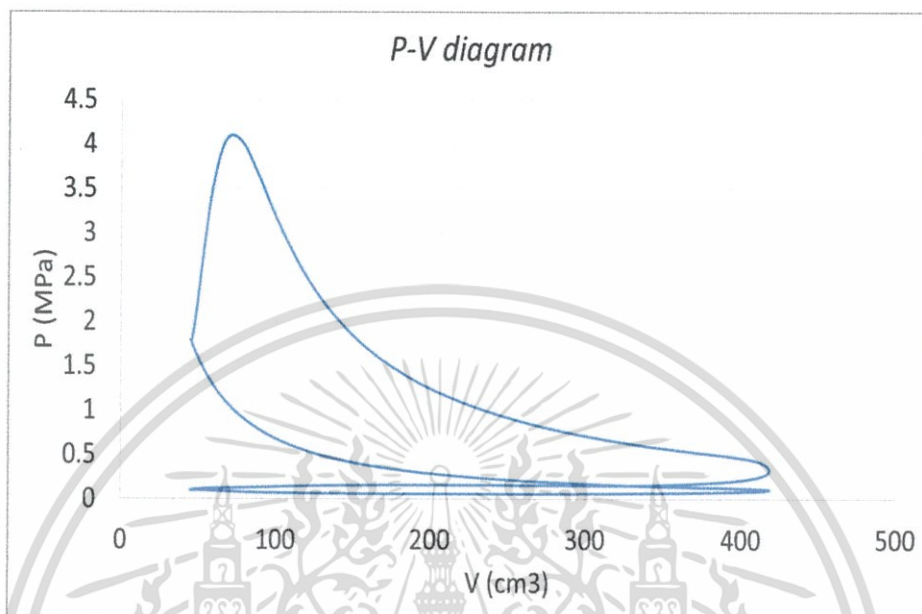
หลังจากที่ได้ทำการสร้างแบบจำลองของเครื่องยนต์ด้วยซอฟต์แวร์ AVL BOOST ในเบื้องต้น จะได้แบบจำลองเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่สามารถนำไปใช้ในการศึกษาวิจัยและทดสอบได้แทนเครื่องยนต์จริงต้นแบบที่กำหนดไว้ แต่ถึงอย่างไรแบบจำลองเครื่องยนต์ที่ได้ในเบื้องต้นนั้นยังไม่สามารถนำไปใช้ทดสอบหรือศึกษาเพิ่มเติมได้จริงเนื่องจากยังไม่ได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลสมรรถนะระหว่างแบบจำลองที่ได้จากซอฟต์แวร์กับเครื่องยนต์จริงต้นแบบว่ามีข้อมูลใกล้เคียงกันเพียงใด และข้อมูลสมรรถนะจากแบบจำลองเครื่องยนต์จะมีความน่าเชื่อถือเพียงพอต่อการนำไปใช้ร่วมในงานวิจัยได้หรือไม่ จึงเป็นการจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำแบบจำลองเครื่องยนต์ที่ได้เบื้องต้นนั้นมาทำการเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์จริงต้นแบบโดยใช้ข้อมูลจากผู้ผลิตเครื่องยนต์ดังกล่าวเป็นข้อมูลในการอ้างอิงเพื่อที่จะได้แบบจำลองเครื่องยนต์ทางคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องยนต์จริงต้นแบบ

ซึ่งการเปรียบเทียบข้อมูลสมรรถนะระหว่างแบบจำลองเครื่องยนต์ที่ได้รับการปรับปรุงเรียบร้อยแล้วกับเครื่องยนต์จริงต้นแบบนั้น จะมีผลการดำเนินงานออกมาดังนี้  
ในส่วนของกำลังเครื่องยนต์ที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยร้อยละ 0.98  
ในส่วนของแรงบิดเครื่องยนต์ที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยร้อยละ 1.59



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างผลการจำลองของ AVL BOOST เทียบกับข้อมูลจริงจากผู้ผลิต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจาก PV diagram ของแบบจำลองเครื่องยนต์ก็เป็นข้อมูลอีกส่วนที่สามารถยืนยันความน่าเชื่อถือของแบบจำลองเครื่องยนต์ทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ได้เช่นกัน

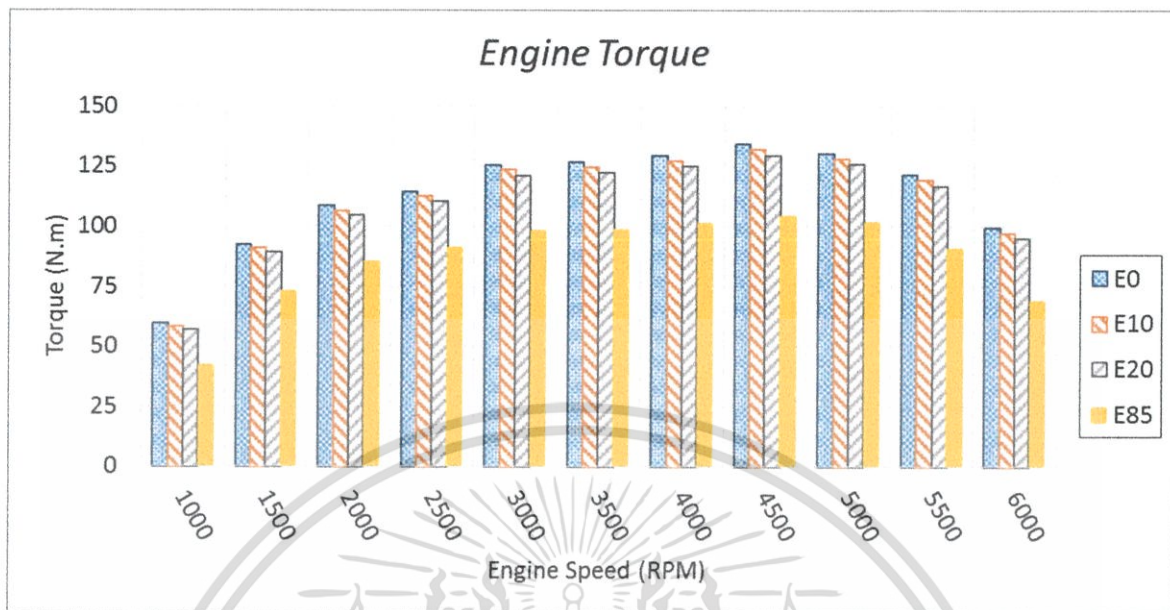


รูปที่ 4.2 P-V Diagram ที่ได้จากแบบจำลองเครื่องยนต์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการทำงานภายใต้วัฏจักรออตโต้

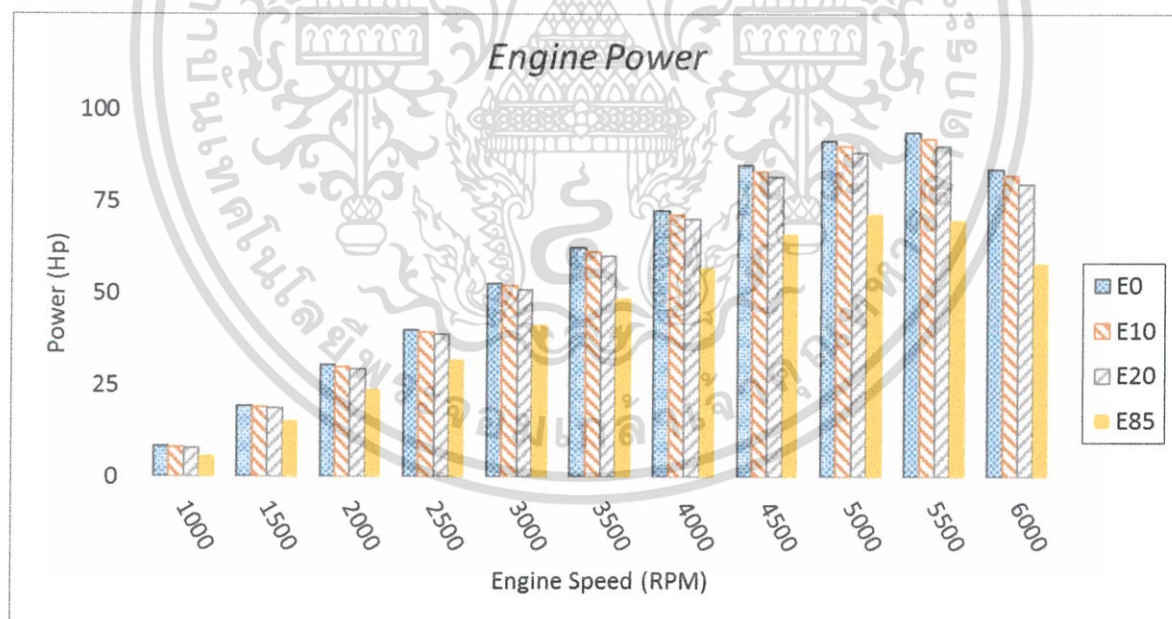
#### 4.2 ผลกระทบจากเชื้อเพลิงเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะของแบบจำลองเครื่องยนต์

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลองเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลชนิดต่างๆกับกรณี  
ที่แบบจำลองเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงชนิดแก๊สโซลีน(E0) จะพบว่า  
แบบจำลองเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิด E10 จะมีสมรรถนะลดลงเฉลี่ยร้อยละ 1.77  
แบบจำลองเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิด E20 จะมีสมรรถนะลดลงเฉลี่ยร้อยละ 3.72  
และแบบจำลองเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิด E85 จะมีสมรรถนะลดลงเฉลี่ยร้อยละ 23.34 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

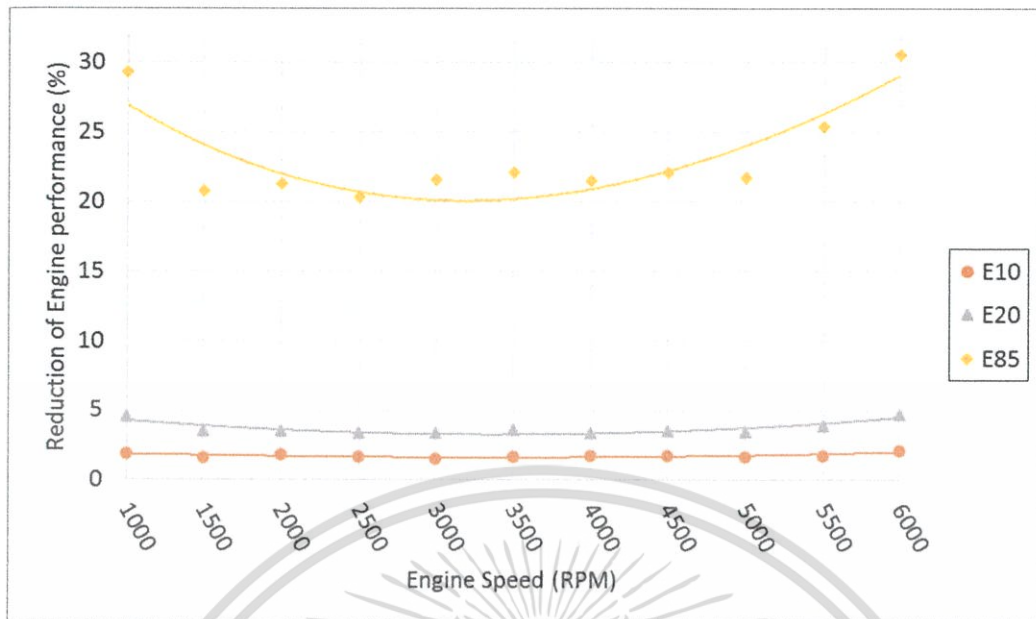


รูปที่ 4.3 ค่าแรงบิดที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองเครื่องยนต์ในแต่ละชนิดเชื้อเพลิง



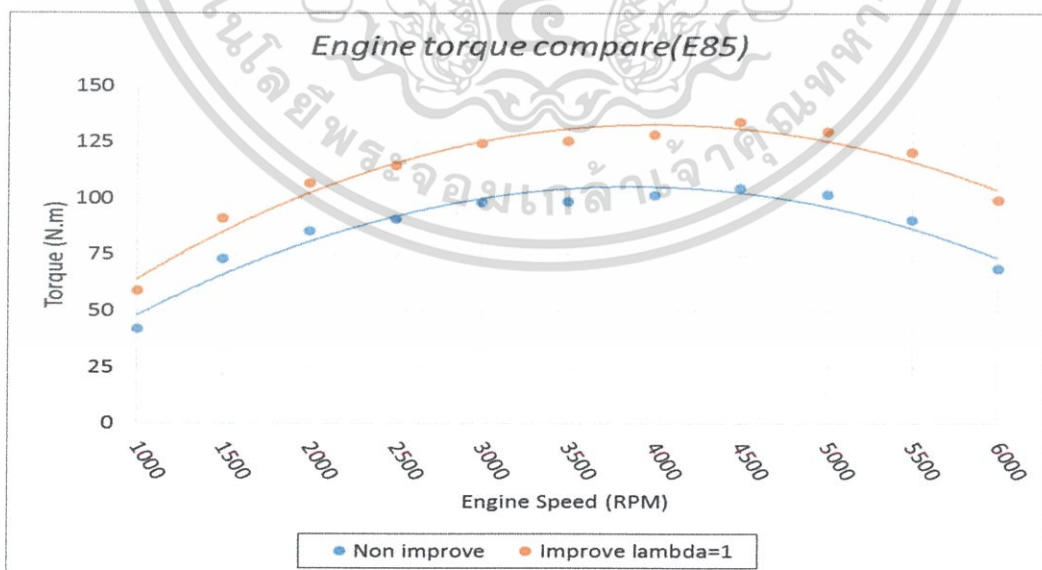
รูปที่ 4.4 ค่ากำลังที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองเครื่องยนต์ในแต่ละชนิดเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



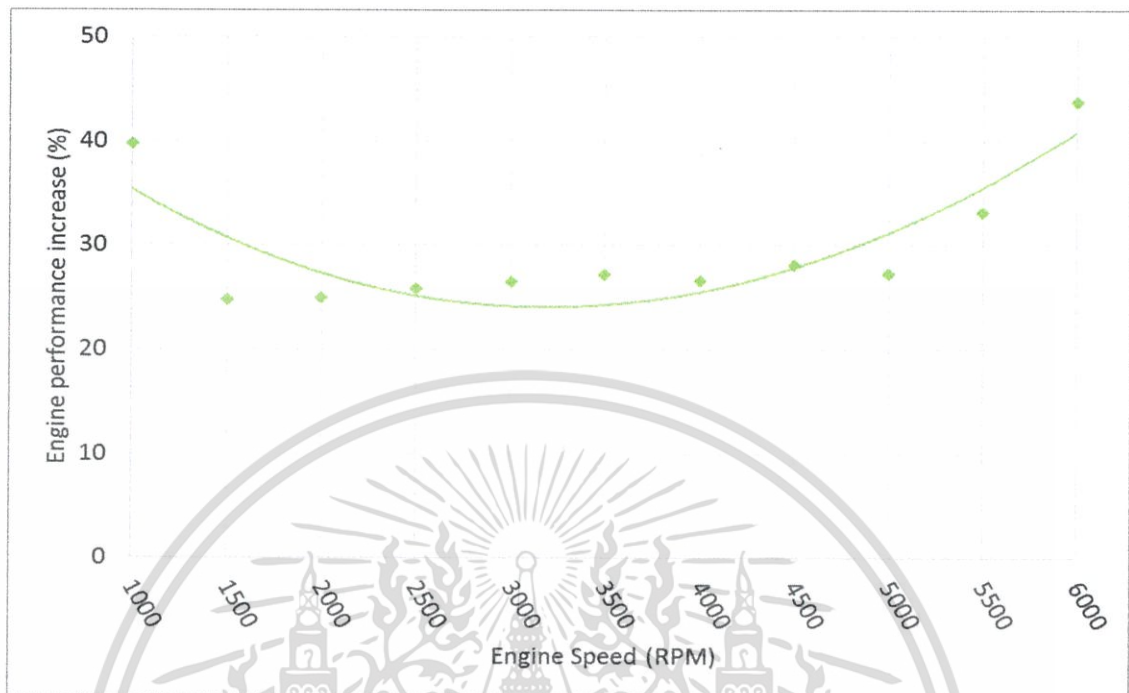
รูปที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์สมรรถนะที่ลดลงของแบบจำลองเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอลแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับแก๊สโซลีน (E0)

จากผลการทดสอบจะพบว่าหากใช้เชื้อเพลิงชนิด E85 กับเครื่องยนต์ที่ใช้กับแก๊สโซลีนอยู่เดิมโดยที่ไม่ได้รับการปรับแต่งจะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์มีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นจึงทำการทดสอบเพิ่มเติม โดยทำการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะกับการใช้งานกับเชื้อเพลิงชนิด E85 โดยปรับค่าแลมด้า( $\lambda$ )ให้เท่ากับ 1 แล้วทดสอบสมรรถนะเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับแต่งเครื่องยนต์



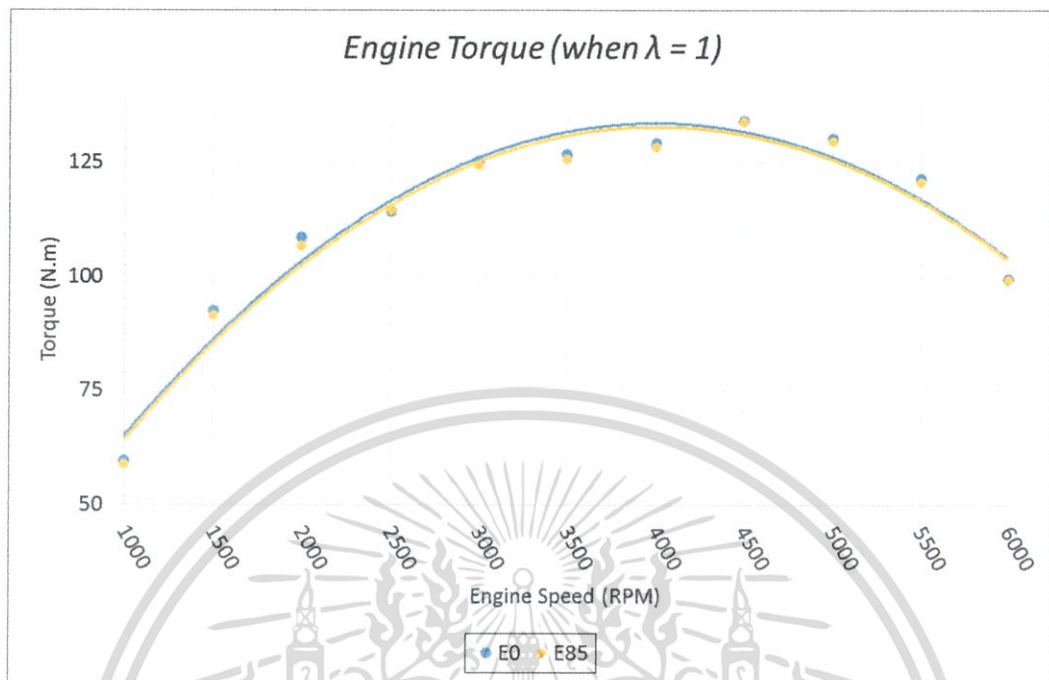
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 โดยไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์กับเครื่องยนต์ที่มีการปรับค่า lambda เท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นของสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิด E85  
ที่มีการปรับค่า lambda ให้เท่ากับ 1

ซึ่งการปรับแต่งเครื่องยนต์โดยที่ค่าแลมด้า ( $\lambda$ ) เท่ากับ 1 จะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 29.83% เมื่อเทียบกับสมรรถนะที่ได้จากเครื่องยนต์ก่อนการปรับแต่ง



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้จากเชื้อเพลิง E85 กับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (E0) ที่ใช้ค่าแลมด้าเท่ากับ 1

เมื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้จากเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (E0) เมื่อค่าแลมด้า ( $\lambda$ ) เท่ากับ 1 เช่นกันแล้ว พบว่าค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 หลังทำการปรับแต่งเครื่องยนต์จะมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าเพียง 0.68%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

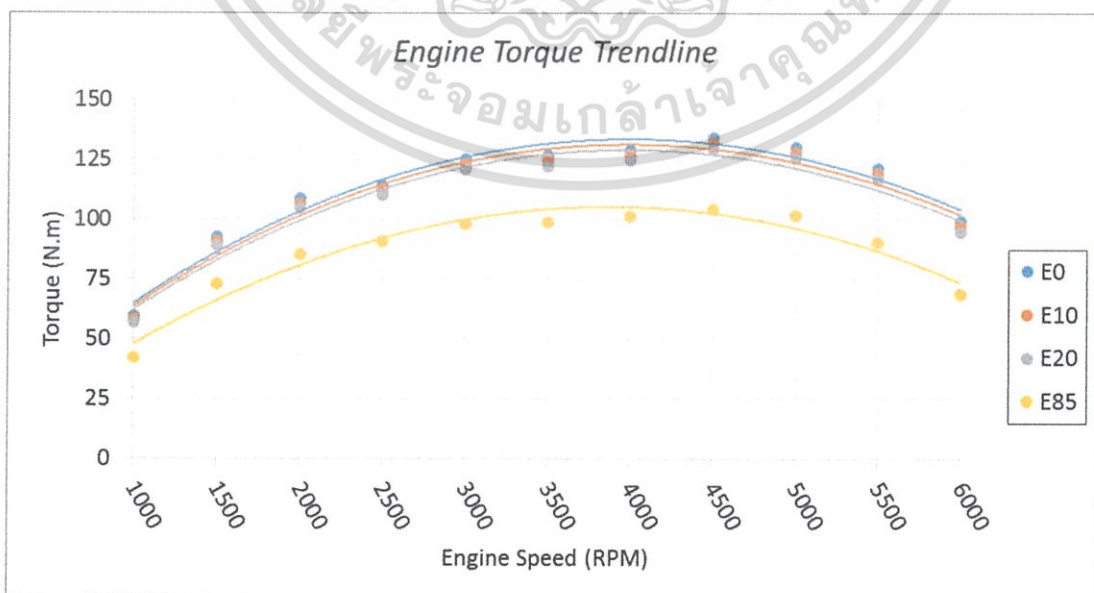
# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปการสร้างแบบจำลอง

ค่าความผิดพลาดของแบบจำลองเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นจากซอฟต์แวร์ AVL BOOST เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะจากเครื่องยนต์จริงต้นแบบนั้นมีค่าความผิดพลาดน้อยมาก อีกทั้งข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองเครื่องยนต์แสดงให้เห็นถึงการทำงานภายใต้วัฏจักรออตโต้(Otto cycle) ซึ่งเป็นที่ยืนยันได้ว่าแบบจำลองเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นนี้เป็นแบบจำลองของเครื่องยนต์ที่ใช้งานด้วยเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและทำงานภายใต้วัฏจักรออตโต้จริง จึงถือว่าแบบจำลองเครื่องยนต์ทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นมานี้สามารถใช้งานแทนเครื่องยนต์จริงต้นแบบที่ทำงานโดยเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน(E0) และสามารถนำไปใช้ในการศึกษาผลกระทบจากเชื้อเพลิงเอทานอลชนิดอื่น ๆ ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้ตามที่ตั้งจุดประสงค์ไว้

### 5.2 สรุปผลการทดสอบ

จากการที่ได้นำแบบจำลองเครื่องยนต์ดังกล่าวมาเข้าสู่กระบวนการทดสอบกับเชื้อเพลิงเอทานอลทั้ง 3 ชนิดที่เหลือซึ่งได้แก่ เชื้อเพลิงชนิด E10, E20 และ E85 โดยมีเงื่อนไขของการทดสอบคือ ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์และใช้ปริมาณน้ำมันคงที่ในการจ่ายเชื้อเพลิงทุกชนิด ซึ่งผลการทดสอบแบบจำลองเครื่องยนต์กับเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด คือ เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน(E0), E10, E20 และ E85 พบว่าแบบจำลองเครื่องยนต์จะมีสมรรถนะสูงสุดเมื่อใช้กับเชื้อเพลิงชนิดแก๊สโซลีน(E0) รองลงมาเป็นชนิด E10, E20 และแบบจำลองเครื่องยนต์จะมีสมรรถนะต่ำที่สุดเมื่อใช้กับเชื้อเพลิงชนิด E85



รูปที่ 5.1 แนวโน้มของแรงบิดที่ได้จากเชื้อเพลิงเอทานอลที่ต่างชนิดกัน ซึ่งประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงชนิดแก๊สโซลีน(E0) จะพบว่าแบบจำลองเครื่องยนต์ที่ใช้กับเชื้อเพลิงชนิด E10 จะมีสมรรถนะลดลงเฉลี่ยร้อยละ 1.77 แบบจำลองที่ใช้กับเชื้อเพลิงชนิด E20 จะมีสมรรถนะลดลงเฉลี่ยร้อยละ 3.72 และแบบจำลองที่ใช้กับเชื้อเพลิงชนิด E85 จะมีสมรรถนะลดลงเฉลี่ยร้อยละ 23.34 ตามลำดับอันเป็นผลมาจากเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนที่มีเอทานอลเป็นส่วนผสมในปริมาณมากจะมีค่าความร้อนต่ำ(LHV) ที่น้อยกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนบริสุทธิ์

จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้เครื่องยนต์กับเชื้อเพลิง E10 และ E20 โดยไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ สมรรถนะของเครื่องยนต์จะไม่ลดลงมากนัก หากเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิง E85 จึงสมควรที่จะต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง E85 จึงได้ทำการปรับแต่งแบบจำลองดังกล่าวโดยใช้ค่าแลมด้า( $\lambda$ )เท่ากับ 1 เมื่อทดสอบออกมาจะพบว่าแบบจำลองจะมีสมรรถนะเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.83 เมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิง E85 ของแบบจำลองที่ไม่ได้รับการปรับแต่งก่อนหน้า และหากทำการเปรียบเทียบกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้จากเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน(E0) เมื่อค่าแลมด้า( $\lambda$ )เท่ากับ 1 เช่นกันแล้ว พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 หลังทำการปรับแต่งจะมีค่าใกล้เคียงกับสมรรถนะที่ได้จากเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน(E0) ซึ่งหากมีการปรับแต่งในพารามิเตอร์อื่นด้วยก็อาจจะทำให้สมรรถนะที่ได้จากเชื้อเพลิง E85 มีค่าสูงกว่าสมรรถนะที่ได้จากเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน(E0) นั่นเอง จากการศึกษาตลอดจนการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า ถึงแม้ว่าเชื้อเพลิงที่มีเอทานอลเป็นส่วนผสมจะมีค่าความร้อนต่ำ(LHV)ที่ต่ำกว่าและมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่สูงกว่าแก๊สโซลีนบริสุทธิ์ แต่ก็จะมีค่าออกเทนที่สูงกว่า ทำให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน[4] ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้งานกับเชื้อเพลิงผสมเอทานอลจะมีสมรรถนะที่สูงขึ้นได้อีกหากได้รับการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้มีความเหมาะสมกับชนิดของเชื้อเพลิงเอทานอลที่ใช้ร่วมกัน เช่น ค่าแลมด้า( $\lambda$ ), องศาการจุดระเบิด, จังหวะการทำงานของวาล์ว, อัตราส่วนกำลังอัด เป็นต้น ซึ่งสามารถจัดทำเป็นงานวิจัยต่อยอดได้ต่อไปในอนาคต

### 5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1. ปัญหาจากตัวซอฟต์แวร์ที่มีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย และการไม่มีผู้ให้คำแนะนำการใช้งานซอฟต์แวร์ซึ่งทำให้เสียเวลาในการศึกษาและทดลองใช้งาน รวมไปถึงการใช้งานซอฟต์แวร์อย่างเข้าใจผิด
2. จำเป็นต้องมีการถอดประกอบเครื่องยนต์จริงเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของชิ้นส่วนต่างๆที่นอกเหนือจากคู่มือของเครื่องยนต์ดังกล่าวไม่ได้ระบุไว้ เช่น valve timing เป็นต้น
3. คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับใช้งานซอฟต์แวร์มีจำนวนจำกัด ทำให้การดำเนินงานมีความล่าช้าไป

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรสร้างแบบจำลองโดยเปรียบเทียบข้อมูลกับการทดสอบเครื่องยนต์จริง
2. ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยอาจจะเพิ่มชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบเช่น E100, LPG เป็นต้น
3. ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับมลพิษของเครื่องยนต์เมื่อใช้กับเชื้อเพลิงที่ต่างประเภทกัน
4. ทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆเพื่อให้เครื่องยนต์เกิดสมรรถนะที่สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้วิจัยนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Ren Hongjuan, Wang Huilong, Luo Yiping, (2014). The Analysis of Diesel Engine Intake System Simulation Based on Multivariate Joint Optimization, URL:<http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ijepe>.
- [2] Marcin SZLACHETKA, Michał BIAŁY. The Modeling of The external Characteristics of The Wankel engine.
- [3] Le Anh Tuan, Pham Huu Truyen, Nguyen Duc Khanh, Trieu Tien Chuan Simulation study of motorcycle engine's characteristics fueled with ethanol-gasoline blends. Hanoi University of Science and Technology
- [4] Shashank S N, S Raviteja, Kumar G N. Comparison of Ethanol and n-Butanol blends with Gasoline: A Computational Study, National Institute of Technology Karnataka, Surathkal
- [5] Willard W. Pulkrabek. "Engine Fundamentals of the Internal Combustion Engine", Prentice Hall, New Jersey.
- [6] John B. Heywood, "Internal combustion engine fundamentals", McGraw-Hill book Company
- [7] รูปภาพหลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ จากเว็บไซต์ [www.asiaautowork.co.th/2013/07/how-engine-works/](http://www.asiaautowork.co.th/2013/07/how-engine-works/)
- [8] ลำดับเหตุการณ์ในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ 4 จังหวะ จาก
- [9] วัฏจักร Otto จาก [www.gp01fbthailand.tripod.com/c7/redOtto.html](http://www.gp01fbthailand.tripod.com/c7/redOtto.html)
- [10] Graph P-V diagram Otto cycle from [www.mechadyne-int.com/vva-reference/part-load-pumping-losses-si-engine](http://www.mechadyne-int.com/vva-reference/part-load-pumping-losses-si-engine)
- [11] กระบวนการของวัฏจักร Otto cycle จาก [www.mte.kmutt.ac.th/elearning/Internal%20Combustion%20Engine%20Part%20I/5\\_1.html](http://www.mte.kmutt.ac.th/elearning/Internal%20Combustion%20Engine%20Part%20I/5_1.html)
- [12] ดลวัฒน์ ไชยศิริบุญการ, ธรรมชาติ ญาณวิจิฉัย "การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์เอทานอลจุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง" คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] BOOST v.2013.1. Performance, Boost Users Guides.
- [14] AVL- Advance Simulation Technologies (2009). AVL Product description Boost RT.
- [15] BOOST v.2013.1 - 4 cylinder gasoline engine example (2013).
- [16] Pawel Zal (2009). 1994 Honda Civic ETi (Model for Japan) specifications & performance data review, URL: <http://www.automobile-catalog.com> access on 18/02/2015.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

| Property of Fuel              | E0(gasoline) | E100 (ethanol) |
|-------------------------------|--------------|----------------|
| Density (g/cm <sup>3</sup> )  | 0.737        | 0.800          |
| Stoichiometric air-fuel ratio | 14.612       | 9.003          |
| Lower heating value (kJ/kg)   | 43,000       | 26,950         |

## 1. การคำนวณ

อัตราส่วนการ

เผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง

## 1.1 เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน



$$\text{A/F ratio} = \frac{11.75 \times 29 \times 4.76}{111} = 14.61:1$$

## 1.2 เชื้อเพลิงเอทานอล E100



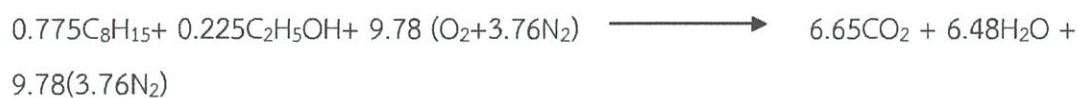
$$\text{A/F ratio} = \frac{3 \times 29 \times 4.76}{46} = 9.00:1$$

ตารางที่ ก.2 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E10 โดยคิดแบบอัตราส่วนโดยปริมาตร

| Fuel                             | Volume(l) | Mass, m (kg) | MW  | Mole N      | Mole fraction | Mass fraction |
|----------------------------------|-----------|--------------|-----|-------------|---------------|---------------|
| C <sub>8</sub> H <sub>15</sub>   | 0.9       | 0.66348      | 111 | 0.005977297 | 0.77461975    | 0.89239791    |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH | 0.1       | 0.08         | 46  | 0.00173913  | 0.22538025    | 0.10760209    |
|                                  |           | 0.74348      |     | 0.007716428 | 1             | 1             |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E10

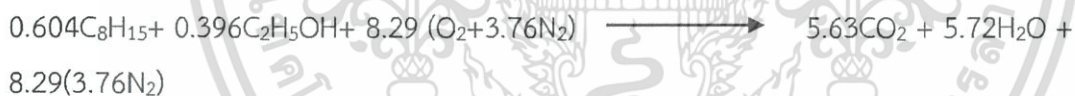


$$\text{A/F ratio} = \frac{9.78 \times 29 \times 4.76}{96.35} = 14.01:1$$

ตารางที่ ก.3 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E20 โดยคิดแบบอัตราส่วนโดยปริมาตร

| Fuel                             | Volume(l) | Mass,m(kg) | MW  | Mole N      | Mole fraction | Mass fraction |
|----------------------------------|-----------|------------|-----|-------------|---------------|---------------|
| C <sub>8</sub> H <sub>15</sub>   | 0.8       | 0.58976    | 111 | 0.005313153 | 0.60435706    | 0.78659838    |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH | 0.2       | 0.16       | 46  | 0.003478261 | 0.39564294    | 0.21340162    |
|                                  |           | 0.74976    |     | 0.008791414 | 1             | 1             |

### 1.4 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E20

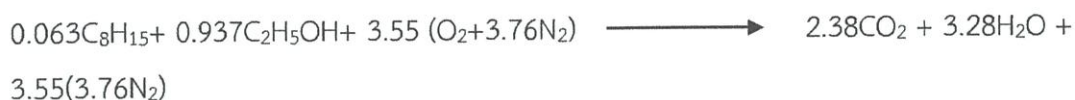


$$\text{A/F ratio} = \frac{8.29 \times 29 \times 4.76}{85.28} = 13.41:1$$

ตารางที่ ก.4 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 โดยคิดแบบอัตราส่วนโดยปริมาตร

| Fuel                             | Volume(l) | Mass,m(kg) | MW  | Mole N      | Mole fraction | Mass fraction |
|----------------------------------|-----------|------------|-----|-------------|---------------|---------------|
| C <sub>8</sub> H <sub>15</sub>   | 0.15      | 0.11058    | 111 | 0.000996216 | 0.06313627    | 0.13987199    |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH | 0.85      | 0.68       | 46  | 0.014782609 | 0.93686373    | 0.86012801    |
|                                  |           | 0.79058    |     | 0.015778825 | 1             | 1             |

## 1.5 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85



$$A/F \text{ ratio} = \frac{3.55 \times 29 \times 4.76}{50.1} = 9.78:1$$

## 2. การคำนวณหาค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ในการคำนวณโปรแกรมต้องการใช้ค่าความร้อนต่ำในการคำนวณ เพราะเนื่องการแก๊สไอเสีย ที่เกิดจากการเผาไหม้ มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ไอน้ำกลั่นตัว จากตารางคุณสมบัติเชื้อเพลิง ก.1

ค่าความร้อนต่ำของแก๊สโซลีน = 43,000 kJ/kg และ ค่าความร้อนต่ำของเอทานอล = 26,950 kJ/kg

ตัวอย่างการคำนวณค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85

จากการคำนวณที่ผ่านมาตารางเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ได้ค่าอัตราส่วนมวลของแก๊สโซลีนกับเอทานอล เท่ากับ 0.1398 และ 0.8602 ตามลำดับ

ดังนั้นค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง E85 =  $(43,000 \times 0.1398) + (26,950 \times 0.8602) = 29,194.95$  kJ/kg

ตารางที่ ก.5 ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ

| เชื้อเพลิง | ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg) |
|------------|------------------------|
| E0         | 43,000                 |
| E10        | 41,272.98              |
| E20        | 39,574.90              |
| E85        | 29,194.95              |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การคำนวณอัตราส่วนผสมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ที่ใช้ทดสอบเมื่อใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่จากแก๊สโซลีน

ข้อมูลจากโปรแกรม AVL Boost ของน้ำมันเชื้อเพลิง E0 ที่ 5,500 รอบต่อนาที

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลปริมาณอากาศและน้ำมันจากซอฟต์แวร์ AVL BOOST

| RPM   | Air aspirated (g) | Fuel aspirated (g) | A/F ratio |
|-------|-------------------|--------------------|-----------|
| 5,500 | 1.60853           | 0.110186           | 14.598    |

เพราะฉะนั้นปริมาตรของน้ำมัน (Volume) เท่ากับ Fuel aspirated / Density of E0

$$\text{Volume} = \frac{0.110186 \text{ g}}{737 \text{ g/l}} = 0.0001495 \text{ l}$$

ดังนั้นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ E10 ใช้เท่ากับ Volume (E0) \* Density of E10

$$\text{Fuel aspirated of E10} = 0.0001495 * 743.48 = 0.11115026$$

$$\text{A/F ratio} = \text{Air aspirated} / \text{Fuel aspirated of E10} = \frac{1.60853 \text{ g}}{0.11115026 \text{ g}} = 14.47:1$$

ตารางที่ ก.7 อัตราส่วนผสมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ที่ใช้ทดสอบเมื่อใช้ปริมาณเชื้อเพลิงคงที่

| Fuel | A/F ratio |
|------|-----------|
| E0   | 14.61     |
| E10  | 14.47     |
| E20  | 14.35     |
| E85  | 13.61     |

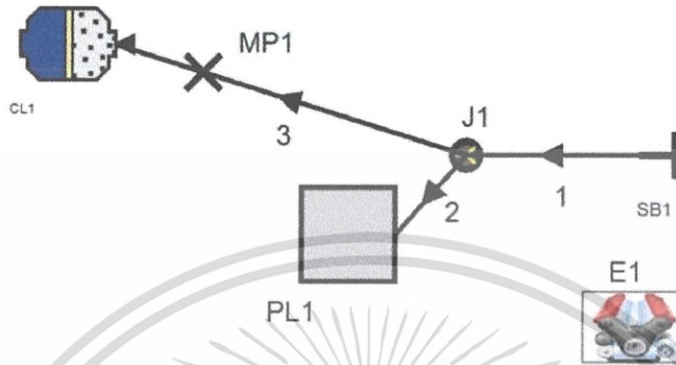
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

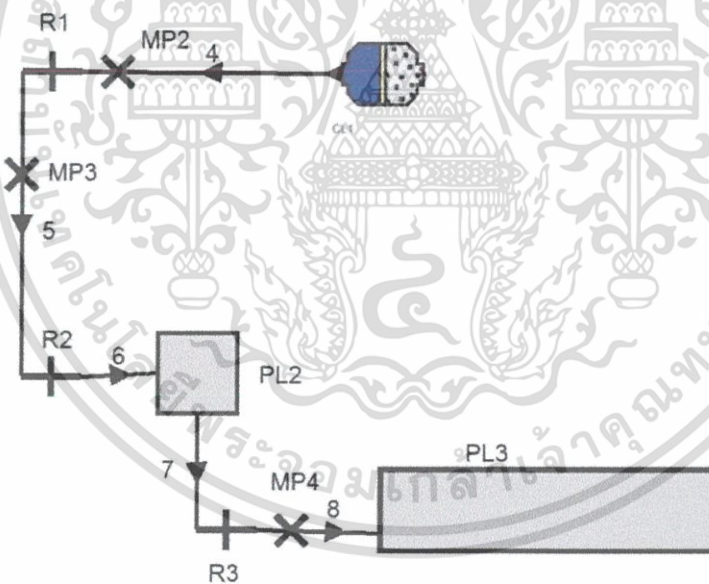
### 1. การออกแบบแบบจำลองเครื่องยนต์

โดยสร้าง element ต่างๆตามเครื่องยนต์จริง เช่น air cleaner, plenum, junction, system boundary and engine แล้วสร้าง connecting pipe เชื่อมต่อกันกับ element ต่างๆเข้าด้วยกันแล้วนำ measuring point ที่ pipe 3 ตามรูป



รูปที่ ข.1 ลักษณะของแบบจำลองจาก SB 1 ถึง Air cleaner

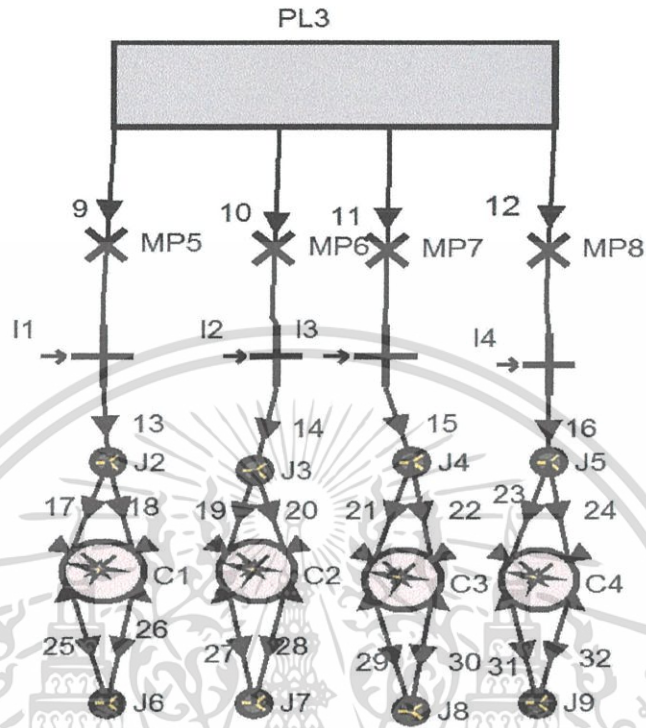
จากนั้นท่อที่ออกจาก air cleaner จนถึง plenum3 (Intake manifold)



รูปที่ ข.2 ลักษณะของแบบจำลองจาก Air cleaner ถึง PL3

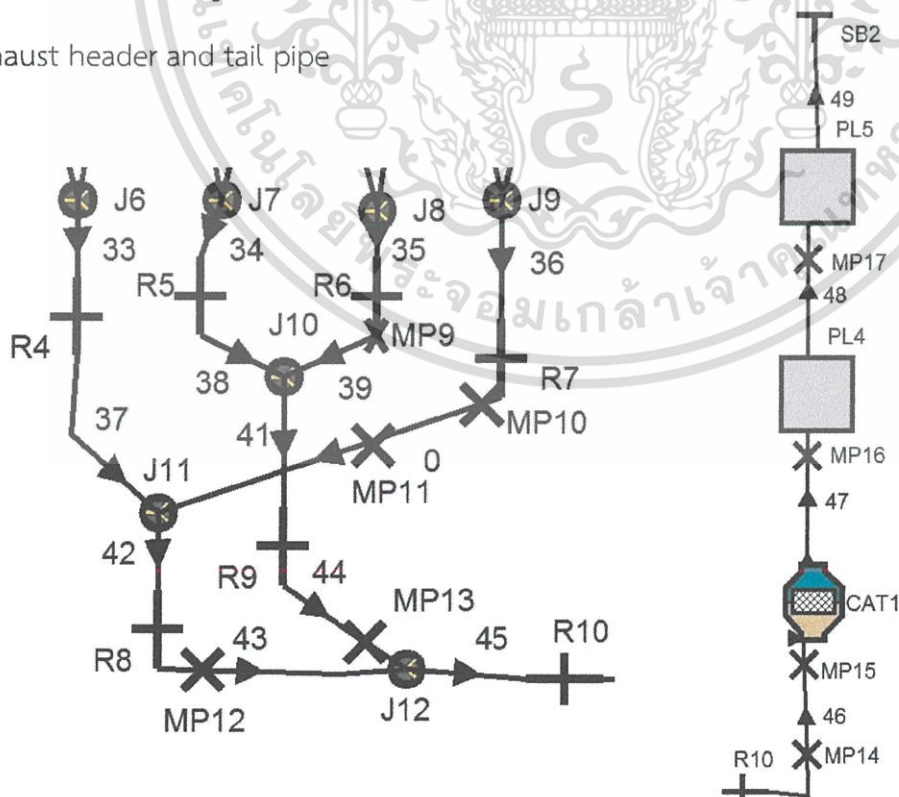
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อที่ออกจาก plenum3 ไปที่ injectors and cylinders



รูปที่ ข.3 ลักษณะของแบบจำลองจาก Plenum 3 ถึง Junction

Exhaust header and tail pipe



รูปที่ ข.4 ลักษณะของแบบจำลองของท่อไอเสียจาก Header ถึง SB 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเพื่อวัตถุประสงค์อื่นนั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Four cylinder sixteen valve engine model over view



รูปที่ ข.5 ลักษณะโดยรวมของแบบจำลอง

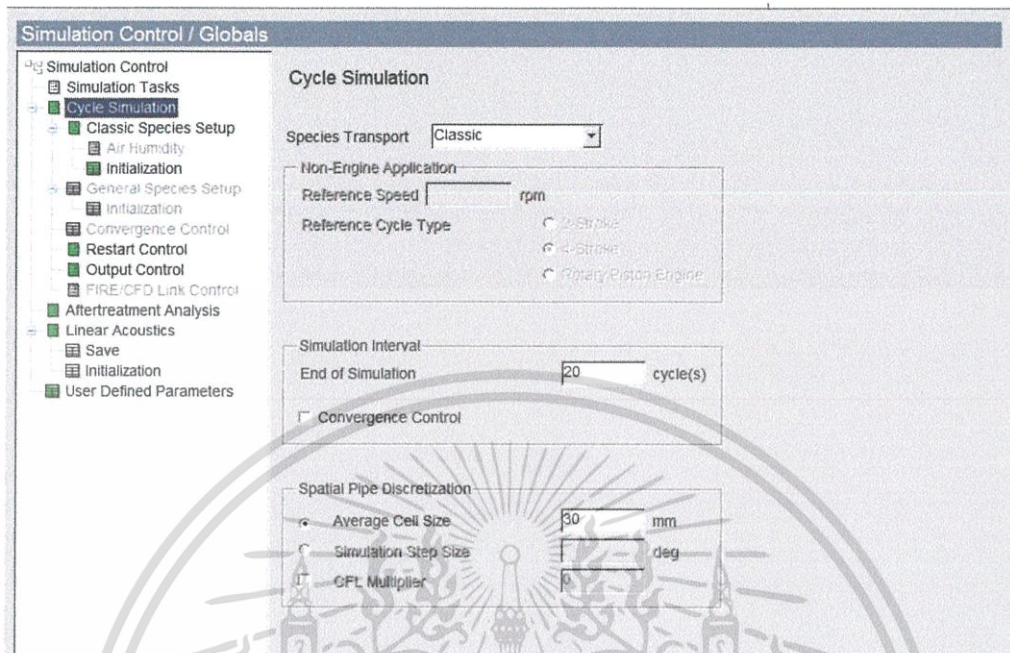
ส่วนประกอบต่างๆของโมเดล

- |                       |        |
|-----------------------|--------|
| ➤ 4 Cylinders         | C      |
| ➤ 1 Engine            | E      |
| ➤ 1 Air Cleaner       | CL     |
| ➤ 1 Catalyst          | CAT    |
| ➤ 2 System Boundaries | SB     |
| ➤ 5 Plenum            | PL     |
| ➤ 12 Junction         | J      |
| ➤ 10 Restrictions     | R      |
| ➤ 17 Measuring Points | MP     |
| ➤ 49 Pipes            | Number |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.1 General input data

โดยการไปที่แท็บ Simulation Control



รูปที่ ข.6 หน้าต่างของ Simulation control – Cycle simulation

1) Simulation Tasks เลือก Cycle Simulation

2) Cycle Simulation

Species Transport: Classic

Simulation interval

End of simulation 20 cycle

Spatial pipe discretization

Average cell size 30 mm

3) Initialization เลือก A/F-Ratio และกด Add set ใส่ค่าตามตาราง

ตารางที่ ข.1 Set ของ Initialization

| Set | Pressure<br>bar | Temp degC | Fuel Vapour | Combustion<br>Products | A/F Ratio |
|-----|-----------------|-----------|-------------|------------------------|-----------|
| 1   | 1               | 30.85     | 0           | 0                      | 10000     |
| 2   | 0.95            | 66.85     | 0.07        | 0                      | 1000      |
| 3   | 1.5             | 216.85    | 0           | 1                      | 14.3      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4) Convergence control

ตารางที่ ข.2 ค่าของ Convergence control

|   | Element    | Parameter | Value | Unit |
|---|------------|-----------|-------|------|
| 1 | Cylinder 1 | IMEP      | 500   | Pa   |
| 2 | Cylinder 2 | IMEP      | 500   | Pa   |
| 3 | Cylinder 3 | IMEP      | 500   | Pa   |
| 4 | Cylinder 4 | IMEP      | 500   | Pa   |

## 5) Restart control

เลือก Specific Interval จาก Restart File Saving interval ใส่ 720 deg สำหรับ Saving interval

## 6) Output control

ใส่ 5 deg สำหรับ Saving interval เสร็จแล้วคลิก OK

## 1.2 Element input data

## 1.2.1 Engine

1) Engine speed: คลิกขวาเลือก Assign new parameter (global) = Engine\_Speed

Cycle type: 4 stroke

Assign existing parameter...

Assign new parameter (global)...

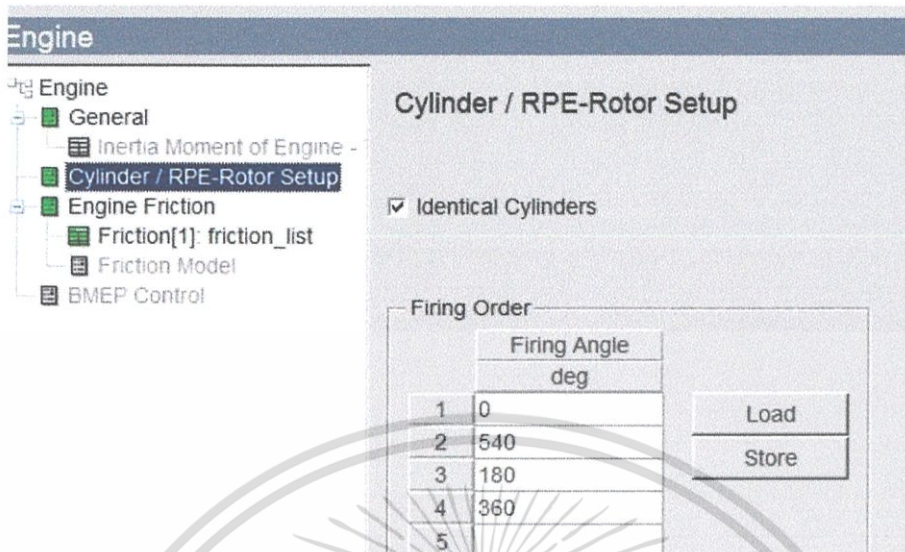
Assign new parameter (local)...

Unassign parameter

รูปที่ ข.7 หน้าต่างของ Assign new parameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) Cylinder/ RPE-Rotor setup ตามรูปด้านล่าง



รูปที่ ข.8 หน้าต่างของ Cylinder/ RPE-Rotor setup

## 3) Engine friction เลือก Table

BMEP: 15 bar

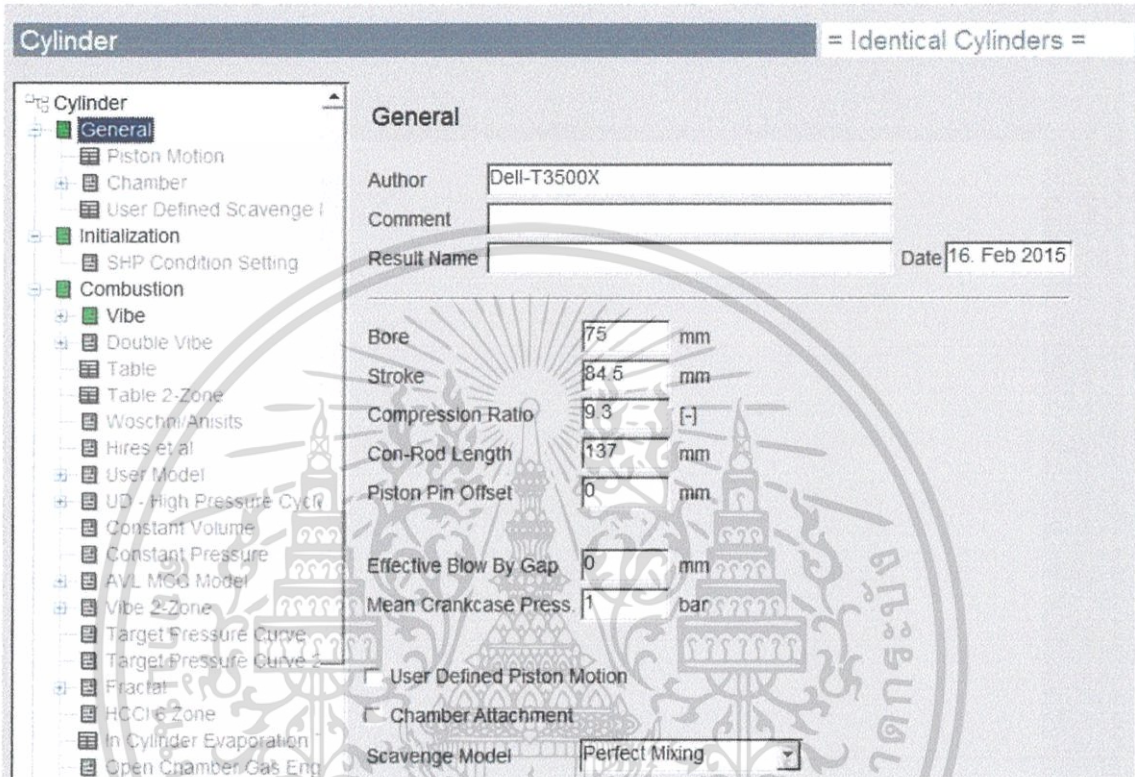
ตารางที่ ข.3 ค่าของ FMEP ต่อรอบเครื่องยนต์

| Engine speed | FMEP  |
|--------------|-------|
| 1000         | 2.3   |
| 1500         | 0.28  |
| 2000         | 0.18  |
| 2500         | 0.054 |
| 3000         | 0.03  |
| 3500         | 0.03  |
| 4000         | 0.03  |
| 4500         | 0     |
| 5000         | 0.4   |
| 5500         | 1.75  |
| 6000         | 3.42  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2.2 Cylinder

1) General ข้อมูลของ 4 Cylinder เหมือนกันดังนั้นสามารถคัดลอกโดยเลือกเมนูบาร์ Element / Copy data โดยเลือก Cylinder 1 เป็น 'Source' และ Cylinder 2, 3 และ 4 เป็น 'Targets' จากนั้นเลือก 'Apply' กำหนดขนาดของ Bore, Stroke, Compression ratio, connecting rod length, mean crankcase pressure ตามรูป



รูปที่ ข.9 หน้าต่างของ Cylinder/ General

## 2) Initialization

Initial Condition at EO (Exhaust Valve Opening)

Pressure: 5 bar  
Temperature: 726.85 degC

Initial gas composition

Ratio type: A/F Ratio  
Ratio Value: 14.3  
Fuel Vapor: 0  
Combustion products: 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3) Combustion

## Vibe

|                      |  |
|----------------------|--|
| Start of combustion: | assign parameter = Start_of_combustion |
| Combustion duration: | assign parameter = Combustion_duration |
| Shaping Parameter m: | assign parameter = Vibe_shape          |
| Parameter a:         | 6.9                                    |

## 4) Heat transfer

|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Cylinder:                  | Woschni 1978                        |
| Ports:                     | Zapf                                |
| Piston:                    |                                     |
| Surface area:              | 5809 mm <sup>2</sup>                |
| Wall temperature:          | 226.85 degC                         |
| Piston calibration factor: | 1                                   |
| Cylinder head:             |                                     |
| Surface area:              | 7550 mm <sup>2</sup>                |
| Wall temperature:          | 226.85 degC                         |
| Head calibration factor:   | 1                                   |
| Liner:                     |                                     |
| Surface area:              | 270 mm <sup>2</sup> (Piston at TDC) |
| Wall temperature:          | 161.85 degC (Piston at TDC)         |
| Wall temperature:          | 151.85 degC (Piston at BDC)         |
| Liner calibration factor:  | 1                                   |
| Combustion system:         | DI                                  |
| In cylinder swirl ratio:   | 0                                   |

## 5) Valve port specification

ตารางที่ ข.4 ค่าของ Valve port specification

| Controlled by |         | Port         |                  |
|---------------|---------|--------------|------------------|
| Pipe          | Control | Surface area | Wall temp        |
| 17            | Valve   | 0            | 86.85            |
| 18            | Valve   | 0            | 86.85            |
| 25            | Valve   | 8300         | Assign parameter |
| 26            | Valve   | 8300         | Assign parameter |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VPS [1] Pipe 17 Intake ใน Valve controlled

Inner valve seat (=Reference) diameter 43.84 mm  
 Valve clearance 0 mm  
 Scaling factor for eff. Flow area 1.712

Specification

Valve opening 340 deg  
 Cam length 280 deg  
 Increment 10 deg

Life cure

Manipulation

Valve opening 340 deg  
 Cam length 280 deg

Flow coefficient

Pressure ratio 1  
 Effective valve lift active

ตารางที่ ข.5 ค่าของ Valve lift ระหว่าง Crank angle กับ Flow coefficient

| Crank angle | Valve lift | Crank angle | Valve lift |
|-------------|------------|-------------|------------|
| 340         | 0          | 490         | 6.38       |
| 350         | 0.16       | 500         | 6.06       |
| 360         | 0.51       | 510         | 5.61       |
| 370         | 1.25       | 520         | 5.37       |
| 380         | 2.08       | 530         | 4.85       |
| 390         | 2.55       | 540         | 4.32       |
| 400         | 3.25       | 550         | 3.68       |
| 410         | 3.68       | 560         | 3.25       |
| 420         | 4.32       | 570         | 2.55       |
| 430         | 4.58       | 580         | 2          |
| 440         | 5.4        | 590         | 1.22       |
| 450         | 5.72       | 600         | 0.51       |
| 460         | 6.15       | 610         | 0.15       |
| 470         | 6.39       | 620         | 0          |
| 480         | 6.5        |             |            |

|    |       |
|----|-------|
| 0  | 0     |
| 1  | 0.109 |
| 2  | 0.202 |
| 3  | 0.289 |
| 4  | 0.373 |
| 5  | 0.453 |
| 6  | 0.498 |
| 7  | 0.529 |
| 8  | 0.551 |
| 9  | 0.567 |
| 10 | 0.579 |
| 11 | 0.584 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VPS[2] Pipe 18 Intake ใน Valve controlled

|  |                      |               |         |
|--|----------------------|---------------|---------|
| Inner valve seat (=Reference) diameter | 43.84 mm             |               |         |
| Valve clearance                        | 0 mm                 |               |         |
| Scaling factor for eff. Flow area      | 1.712                |               |         |
| Specification                          | Manipulation         |               |         |
| Valve opening                          | 340 deg              | Valve opening | 340 deg |
| Cam length                             | 240 deg              | Cam length    | 240 deg |
| Increment                              | 10 deg               |               |         |
| Life cure                              | Flow coefficient     |               |         |
|  | Pressure ratio       | 1             |         |
|  | Effective valve lift | active        |         |

ตารางที่ ข.6 ค่าของ Valve lift ระหว่าง Crank angle กับ Flow coefficient

| Crank angle | Valve lift | Crank angle | Valve lift |
|-------------|------------|-------------|------------|
| 340         | 0          | 470         | 5.41       |
| 350         | 0.7        | 480         | 5.33       |
| 360         | 1.5        | 490         | 5.25       |
| 370         | 2.6        | 500         | 5.11       |
| 380         | 3.5        | 510         | 4.81       |
| 390         | 4.11       | 520         | 4.44       |
| 400         | 4.44       | 530         | 4.12       |
| 410         | 4.81       | 540         | 3.5        |
| 420         | 5.05       | 550         | 2.6        |
| 430         | 5.15       | 560         | 1.5        |
| 440         | 5.32       | 570         | 1.7        |
| 450         | 5.45       | 580         | 0          |
| 460         | 5.5.       |             |            |

|    |       |
|----|-------|
| 0  | 0     |
| 1  | 0.109 |
| 2  | 0.202 |
| 3  | 0.289 |
| 4  | 0.373 |
| 5  | 0.453 |
| 6  | 0.498 |
| 7  | 0.529 |
| 8  | 0.551 |
| 9  | 0.567 |
| 10 | 0.579 |
| 11 | 0.584 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VPS[3],[4] Pipe 25&26 Exhaust ใน Valve controlled

Inner valve seat (=Reference) diameter 36.77 mm

Valve clearance 0 mm

Scaling factor for eff. Flow area 1.242

Specification

Manipulation

Valve opening 130 deg

Valve opening 130 deg

Cam length 260 deg

Cam length 260 deg

Increment 10 deg

Life cure

Flow coefficient

Pressure ratio 1

Effective valve lift active

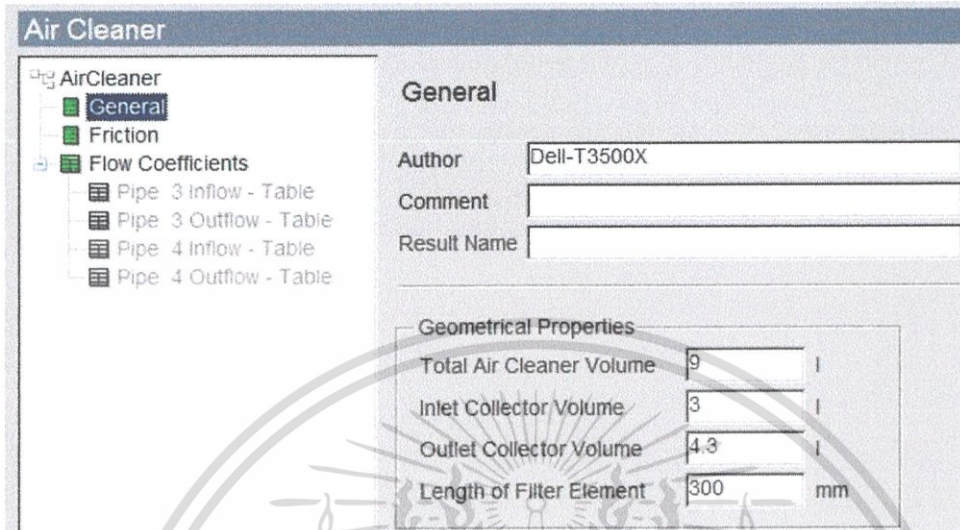
ตารางที่ ข.7 ค่าของ Valve lift ระหว่าง Crank angle กับ Flow coefficient

| Crank angle | Valve lift | Crank angle | Valve lift |
|-------------|------------|-------------|------------|
| 130         | 0          | 280         | 5.75       |
| 140         | 0.06       | 290         | 5.25       |
| 150         | 0.18       | 300         | 4.83       |
| 160         | 0.72       | 310         | 4.36       |
| 170         | 1.41       | 320         | 4.78       |
| 180         | 2.22       | 330         | 2.98       |
| 190         | 2.98       | 340         | 2.22       |
| 200         | 3.78       | 350         | 1.41       |
| 210         | 4.36       | 360         | 0.72       |
| 220         | 4.83       | 370         | 0.18       |
| 230         | 5.25       | 380         | 0.06       |
| 240         | 5.65       | 390         | 0          |
| 250         | 5.99       | 610         | 0.15       |
| 260         | 6.1        | 620         | 0          |
| 270         | 5.98       |             |            |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.3 Air Cleaner

1) ลักษณะทั่วไปของ air cleaner เช่น total air cleaner volume, inlet and outlet collector volume and length of filter element ตามรูป



รูปที่ ข.10 หน้าต่างของ Air cleaner / General

2) Friction specification

Target press drop

Mass flow

Target pressure drop

Inlet pressure

Inlet air temperature

Target pressure drop

0.13 kg/s

0.008 bar

1 bar

19.85 degC

3) Flow coefficients

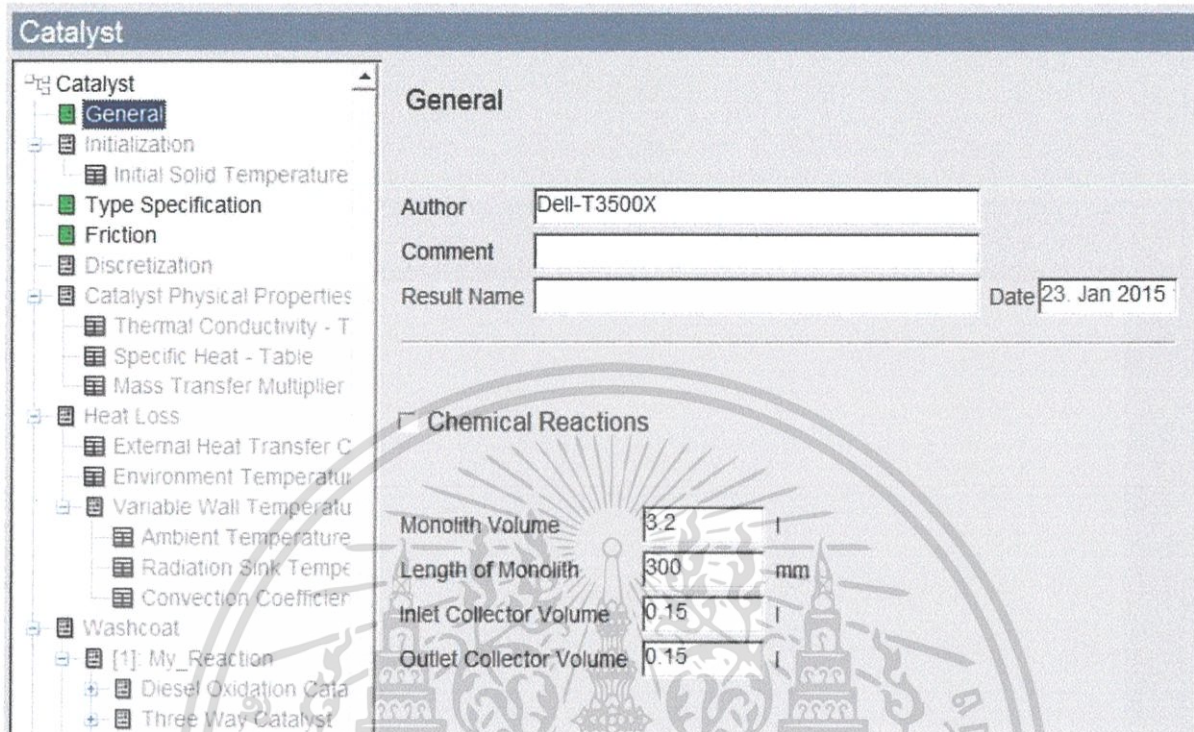
ตารางที่ ข.8 ค่า Flow coefficient

|               |   |                |   |
|---------------|---|----------------|---|
| Pipe 3 inflow | 1 | Pipe 3 outflow | 1 |
| Pipe 4 inflow | 1 | Pipe 4 outflow | 1 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2.4 Catalyst

### 1) General



**Catalyst**

**General**

Author: Dell-T3500X

Comment:

Result Name: Date: 23 Jan 2015

Chemical Reactions

Monolith Volume: 3.2 l

Length of Monolith: 300 mm

Inlet Collector Volume: 0.15 l

Outlet Collector Volume: 0.15 l

รูปที่ ข.11 หน้าต่างของ Catalyat / General

### 2) Type specification

Catalyst type specification

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| General catalyst               | Activate    |
| General catalyst               |             |
| Open frontal area (OFA)        | 1           |
| Hydraulic unit                 | Diameter    |
| Hydraulic diameter             | 116.5385 mm |
| Geometrical surface area (GSA) | 0 1/m       |

### 3) Friction

Friction specification

|                      |              |
|----------------------|--------------|
| Target pressure drop | Activate     |
| Target pressure drop |              |
| Inlet massflow       | 0.13 kg/s    |
| Inlet temperature    | 826.85 deg C |
| Inlet pressure       | 1.4 bar      |
| Target pressure drop | 0.22 bar     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4) Flow coefficients

ตารางที่ ข.9 ค่า Flow coefficient

|                |   |                 |   |
|----------------|---|-----------------|---|
| Pipe 46 inflow | 1 | Pipe 46 outflow | 1 |
| Pipe 47 inflow | 1 | Pipe 47 outflow | 1 |

## 1.2.5 Injector

## 1) General

ข้อมูลของ 4 injector เหมือนกันดังนั้นสามารถคัดลอกโดยเลือกเมนูบาร์ Element / Copy data โดยเลือก Injector 1 เป็น 'Source' และ Injector 2, 3 และ 4 เป็น 'Targets' จากนั้นเลือก 'Apply' โดยจากวัดจาก Air Fuel ratio แบบ injection nozzle (continuous injection)

## 2) Mass flow

Air fuel ratio:

Ratio control

assign parameter = AF\_Ratio

Injector model:

Injection Nozzle (Continuous injection)

Air flow taken from  
measuring point:

Measuring point 2

the injector covers

25 % of the total air flow

## 3) Flow coefficient

ตารางที่ ข.10 ค่า Flow coefficient

|            |                    |      |
|------------|--------------------|------|
| Injector 1 | From Pipe 9 to 13  | 0.98 |
|            | From Pipe 13 to 9  | 0.98 |
| Injector 2 | From Pipe 10 to 14 | 0.98 |
|            | From Pipe 14 to 10 | 0.98 |
| Injector 3 | From Pipe 11 to 15 | 0.98 |
|            | From Pipe 15 to 11 | 0.98 |
| Injector 4 | From Pipe 12 to 16 | 0.98 |
|            | From Pipe 16 to 12 | 0.98 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.6 System boundary

กำหนดสถานะเริ่มต้นเช่นและสิ้นสุด pressure, temperature, fuel vapor, combustion products and A/F ratio

#### 1) General

Standard for Boundary type

#### 2) Boundary condition

เลือก Local boundary conditions เลือก Set 1 สำหรับ Preference

ตารางที่ ข.11 ค่าของ SB 1 และ SB 2

|     | Pressure (bar) | Gas temp (degC) | Fuel vapor | Combustion products | Ratio type | Ratio value |
|-----|----------------|-----------------|------------|---------------------|------------|-------------|
| SB1 | 0.995          | 30.85           | 0          | 0                   | A/F ratio  | 10000       |
| SB2 | 0.995          | 676.85          | 0          | 1                   | A/F ratio  | 14.3        |

#### 3) Flow coefficient

ตารางที่ ข.12 ค่า Flow coefficient

|     |                |      |                 |      |
|-----|----------------|------|-----------------|------|
| SB1 | Pipe 1 inflow  | 0.95 | Pipe 1 outflow  | 0.95 |
| SB2 | Pipe 49 inflow | 1    | Pipe 49 outflow | 1    |

### 1.2.7 Plenum

#### 1) General

ตารางที่ ข.13 ค่าปริมาตรของ Plenum

|          | Volume (L) | Global Initialization |
|----------|------------|-----------------------|
| Plenum 1 | 2.6        | Set 1                 |
| Plenum 2 | 2          | Set 1                 |
| Plenum 3 | 2.5        | Set 3                 |
| Plenum 4 | 6          | Set 3                 |
| Plenum 5 | 6          | Set 3                 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) Flow coefficients

ตารางที่ ข.14 ค่า Flow coefficients

|          |                   |      |                    |      |
|----------|-------------------|------|--------------------|------|
| Plenum 1 | Pipe 2<br>inflow  | 0.9  | Pipe 2<br>outflow  | 0.9  |
| Plenum 2 | Pipe 6<br>inflow  | 0.95 | Pipe 6<br>outflow  | 0.95 |
|          | Pipe 7<br>inflow  | 0.95 | Pipe 7<br>outflow  | 0.95 |
| Plenum 3 | Pipe 8<br>inflow  | 1    | Pipe 8<br>outflow  | 1    |
|          | Pipe 9<br>inflow  | 1    | Pipe 9<br>outflow  | 1    |
|          | Pipe10<br>inflow  | 1    | Pipe 10<br>outflow | 1    |
|          | Pipe 11<br>inflow | 1    | Pipe 11<br>outflow | 1    |
|          | Pipe 12<br>inflow | 1    | Pipe 12<br>outflow | 1    |
| Plenum 4 | Pipe 47<br>inflow | 0.6  | Pipe 47<br>outflow | 0.6  |
|          | Pipe 48<br>inflow | 0.65 | Pipe 48<br>outflow | 0.65 |
| Plenum 5 | Pipe 48<br>inflow | 0.9  | Pipe 48<br>outflow | 0.9  |
|          | Pipe 49<br>inflow | 0.9  | Pipe 49<br>outflow | 0.9  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.8 Junctions

#### 1) General

ตารางที่ ข.15 ค่ามุมมองระหว่างท่อของ Junctions

|             |               |                     |     |
|-------------|---------------|---------------------|-----|
| Junction 1  | Refined model | Angle between pipes | 135 |
|             |               |                     | 45  |
|             |               |                     | 180 |
| Junction 2  | Refined model | Angle between pipes | 180 |
|             |               |                     | 0   |
| Junction 3  | Refined model | Angle between pipes | 180 |
|             |               |                     | 0   |
|             |               |                     | 180 |
| Junction 4  | Refined model | Angle between pipes | 180 |
|             |               |                     | 0   |
|             |               |                     | 180 |
| Junction 5  | Refined model | Angle between pipes | 180 |
|             |               |                     | 0   |
|             |               |                     | 180 |
| Junction 6  | Refined model | Angle between pipes | 0   |
|             |               |                     | 180 |
|             |               |                     | 180 |
| Junction 7  | Refined model | Angle between pipes | 0   |
|             |               |                     | 180 |
|             |               |                     | 180 |
| Junction 8  | Refined model | Angle between pipes | 0   |
|             |               |                     | 180 |
|             |               |                     | 180 |
| Junction 9  | Refined model | Angle between pipes | 0   |
|             |               |                     | 180 |
|             |               |                     | 180 |
| Junction 10 | Refined model | Angle between pipes | 30  |
|             |               |                     | 165 |
|             |               |                     | 165 |
| Junction 11 | Refined model | Angle between pipes | 30  |
|             |               |                     | 165 |
|             |               |                     | 165 |
| Junction 12 | Refined model | Angle between pipes | 30  |
|             |               |                     | 165 |
|             |               |                     | 165 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2.9 Restrictions

### 1) Flow coefficient

ตารางที่ ข.16 ค่า Flow coefficient

|                   |                    |      |
|-------------------|--------------------|------|
| Restriction<br>1  | From Pipe 4 to 5   | 1    |
|                   | From Pipe 5 to 4   | 1    |
| Restriction<br>2  | From Pipe 5 to 6   | 1    |
|                   | From Pipe 6 to 5   | 1    |
| Restriction<br>3  | From Pipe 7 to 8   | 0.85 |
|                   | From Pipe 8 to 7   | 0.85 |
| Restriction<br>4  | From Pipe 33 to 37 | 0.8  |
|                   | From Pipe 37 to 33 | 0.8  |
| Restriction<br>5  | From Pipe 34 to 38 | 0.8  |
|                   | From Pipe 38 to 34 | 0.8  |
| Restriction<br>6  | From Pipe 35 to 39 | 0.8  |
|                   | From Pipe 39 to 35 | 0.8  |
| Restriction<br>7  | From Pipe 36 to 40 | 0.8  |
|                   | From Pipe 40 to 36 | 0.8  |
| Restriction<br>8  | From Pipe 42 to 43 | 0.9  |
|                   | From Pipe 43 to 42 | 0.9  |
| Restriction<br>9  | From Pipe 41 to 44 | 0.9  |
|                   | From Pipe 44 to 41 | 0.9  |
| Restriction<br>10 | From Pipe 45 to 46 | 0.9  |
|                   | From Pipe 46 to 45 | 0.9  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2.10 Pipes

ตารางที่ ข.17 ค่าต่างๆ ของ Pipes

|            | Pipe length (mm) | Diameter (mm) | Friction coeff. | Heat transfer factor | Wall temp (degC) | Global initial |
|------------|------------------|---------------|-----------------|----------------------|------------------|----------------|
| Pipe 1     | 110              | Table         | 0.001           | 1                    | 30.85            | Set 1          |
| Pipe 2     | 140              | 45            | 0.019           | 1                    | 30.85            | Set 1          |
| Pipe 3     | 220              | Table         | 0.001           | 1                    | 30.85            | Set 1          |
| Pipe 4     | 220              | Table         | 0.01            | 1                    | 30.85            | Set 1          |
| Pipe 5     | 60               | 60            | 0.01            | 1                    | 30.85            | Set 1          |
| Pipe 6     | 60               | 100           | 0.01            | 1                    | 30.85            | Set 1          |
| Pipe 7     | 40               | 70            | 0.034           | 1                    | 30.85            | Set 1          |
| Pipe 8     | 105              | Table         | 0.001           | 1                    | 30.85            | Set 1          |
| Pipe 9-12  | 25               | 33.5          | 0.0036          | 1                    | 36.85            | Set 1          |
| Pipe 13-16 | 25               | 33.5          | 0.04            | 1                    | 66.85            | Set 2          |
| Pipe 17-24 | 25               | 33.5          | 0.04            | 1                    | 66.85            | Set 2          |
| Pipe 25-32 | 25               | 28            | 0.04            | 1                    | 576.85           | Set 3          |
| Pipe 33-36 | 80               | 32            | 0.04            | 1                    | 576.85           | Set 2          |
| Pipe 37    | 305              | 32            | Table           | 1                    | Assign parameter | Set 3          |
| Pipe 38    | 300              | 32            | Table           | 1                    | Assign parameter | Set 3          |
| Pipe 39    | 270              | 32            | Table           | 1                    | Assign parameter | Set 3          |
| Pipe 40    | 285              | 32            | Table           | 1                    | Assign parameter | Set 3          |
| Pipe 41    | 50               | 35            | 0.023           | 1                    | Assign parameter | Set 3          |
| Pipe 42    | 50               | 34            | 0.023           | 1                    | Assign parameter | Set 3          |
| Pipe 43    | 360              | 37            | 0.022           | 1                    | Assign parameter | Set 3          |
| Pipe 44    | 290              | 37            | 0.022           | 1                    | Assign parameter | Set 4          |
| Pipe 45    | 50               | 44            | 0.021           | 1                    | Assign parameter | Set 3          |
| Pipe 46    | 970              | Table         | Table           | 1                    | Assign parameter | Set 3          |
| Pipe 47    | 860              | 46            | 0.021           | 1                    | Table            | Set 3          |
| Pipe 48    | 970              | 46            | 0.021           | 1                    | Table            | Set 3          |
| Pipe 49    | 330              | 46            | 0.021           | 1                    | Table            | Set 3          |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.18 ค่าที่เกี่ยวข้องกับตารางที่ ข.17

|           | Diameter        |                 | Bending radius  |                       | Friction coefficient |                   |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
|           | Location X (mm) | Diameter Y (mm) | Location X (mm) | Bending radius Y (mm) | Location X (mm)      | Friction coeff. Y |
| Pipe 1    | 0               | 55              |                 |                       |                      |                   |
|           | 110             | 44              |                 |                       |                      |                   |
| Pipe 3    | 0               | 44              |                 |                       |                      |                   |
|           | 220             | 80              |                 |                       |                      |                   |
| Pipe 4    | 0               | 70              |                 |                       |                      |                   |
|           | 110             | 60              |                 |                       |                      |                   |
| Pipe 8    | 0               | 75              |                 |                       |                      |                   |
|           | 52.5            | 75              |                 |                       |                      |                   |
| Pipe 8    | 105             | 65              |                 |                       |                      |                   |
|           |                 |                 |                 |                       |                      |                   |
| Pipe 9-12 | 0               | 45              | 0               | 0                     |                      |                   |
|           | 70              | 42.7            | 105             | 120                   |                      |                   |
|           | 115             | 41.3            | 210             | 60                    |                      |                   |
|           | 170             | 36.8            | 320             | 10000                 |                      |                   |
|           | 225             | 33.5            |                 |                       |                      |                   |
|           | 265             | 33.4            |                 |                       |                      |                   |
|           | 320             | 33.4            |                 |                       |                      |                   |
| Pipe 37   |                 |                 |                 |                       | 0                    | 0.04              |
|           |                 |                 |                 |                       | 102.5                | 0.04              |
|           |                 |                 |                 |                       | 213.75               | 0.023             |
|           |                 |                 |                 |                       | 305                  | 0.023             |
| Pipe 38   |                 |                 |                 |                       | 0                    | 0.04              |
|           |                 |                 |                 |                       | 110                  | 0.04              |
|           |                 |                 |                 |                       | 205                  | 0.023             |
|           |                 |                 |                 |                       | 300                  | 0.023             |
| Pipe 39   |                 |                 |                 |                       | 0                    | 0.04              |
|           |                 |                 |                 |                       | 115                  | 0.04              |
|           |                 |                 |                 |                       | 182.5                | 0.023             |
|           |                 |                 |                 |                       | 270                  | 0.023             |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|         | Diameter        |                 | Bending radius  |                       | Friction coefficient |                   |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------------|-------------------|
|         | Location X (mm) | Diameter Y (mm) | Location X (mm) | Bending radius Y (mm) | Location X (mm)      | Friction coeff. Y |
| Pipe 40 |                 |                 |                 |                       | 0                    | 0.04              |
|         |                 |                 |                 |                       | 102.5                | 0.04              |
|         |                 |                 |                 |                       | 213.5                | 0.023             |
|         |                 |                 |                 |                       | 285                  | 0.23              |
| Pipe 46 | 0               | 46              | 0               | 0                     | 0                    | 0.019             |
|         | 220             | 46              | 220             | 10000                 | 220                  | 0.06              |
|         | 400             | 45              | 570             | 100                   | 570                  | 0.06              |
|         | 570             | 46              | 970             | 10000                 | 970                  | 0.019             |
|         | 970             | 46              |                 |                       |                      |                   |

### 1.2.11 Measuring point

#### 1) General

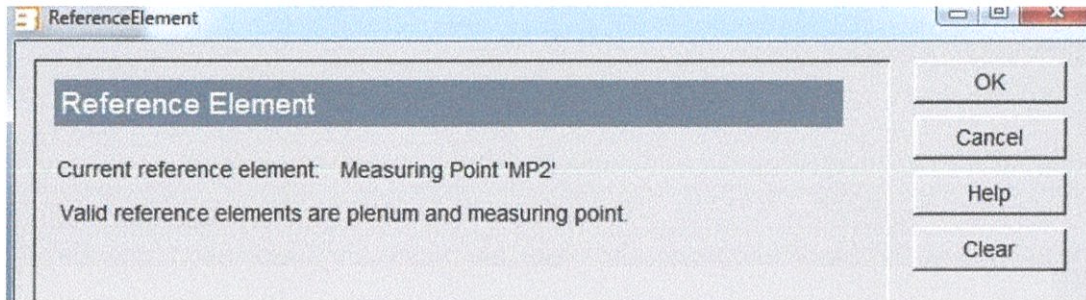
ตารางที่ ข.19 ตำแหน่งของ Measuring point บน Pipes

|                    | Location of measuring point from upstream pipe end (mm) | Output extent |
|--------------------|---|---------------|
| Measuring point 1  | 170   | Standard      |
| Measuring point 2  | 35  | Standard      |
| Measuring point 3  | 200   | Standard      |
| Measuring point 4  | 60  | Standard      |
| Measuring point 5  | 40  | Standard      |
| Measuring point 6  | 40  | Standard      |
| Measuring point 7  | 40  | Standard      |
| Measuring point 8  | 40  | Standard      |
| Measuring point 9  | 50  | Standard      |
| Measuring point 10 | 180   | Standard      |
| Measuring point 11 | 50  | Standard      |
| Measuring point 12 | 260   | Standard      |
| Measuring point 13 | 200   | Standard      |
| Measuring point 14 | 50  | Standard      |
| Measuring point 15 | 900   | Standard      |
| Measuring point 16 | 50  | Standard      |
| Measuring point 17 | 305   | Standard      |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.12 Reference point for volumetric efficiency

เลือกเมนูบาร์ Simulation / Volumetric efficiency ตั้งรูปด้านล่าง แล้วเลือกที่ Measuring point 2



รูปที่ ข.12 หน้าต่างของ Reference element

## 2. Case series calculation

### 2.1 Assign new parameter

1) คลิกขวาที่ชื่อ Parameter และเลือก Assign new parameter (global) สำหรับพารามิเตอร์ที่เลือกครั้งแรก แล้วใช้เพิ่มพารามิเตอร์ต่อไปเลือก Assign existing parameter

ตารางที่ ข.20 ตำแหน่งที่จะสร้าง Parameter

| Parameter              | Description                               | Path   |
|------------------------|---|--|
| AF_Ratio               | Injected air/fuel ratio for each injector | Injector 1 (Injector / General / (Air fuel ratio))<br>Injector 2 (Injector / General / (Air fuel ratio))<br>Injector 3 (Injector / General / (Air fuel ratio))<br>Injector 4 (Injector / General / (Air fuel ratio)) |
| AF_Ratio               | Initial air/fuel ratio in the cylinder    | Cylinder / Initialization / (Raito valve)  |
| Start_of_Combustion    | Start of combustion                       | Cylinder / Combustion / Vibe / (Start of combustion)   |
| Duration_of_Combustion | Duration of combustion                    | Cylinder / Combustion / Vibe / (Combustion duration)   |
| Vibe_Shape             | Vibe shape parameter 'm'                  | Cylinder / Combustion / Vibe / (Shape parameter m)   |
| Cylinder_Head_T        | Cylinder head temperature                 | Cylinder / Heat transfer / (Cylinder head: Wall temp.)   |
| Liner_TDC_T            | Liner temperature at TDC                  | Cylinder / Heat transfer / (Liner: Wall Temp. <Piston at TDC>)   |
| Liner_BDC_T            | liner temperature at BDC                  | Cylinder / Heat transfer / (Liner: Wall Temp. <Piston at BDC>)   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Parameter           | Description  | Path   |
|---------------------|--|--|
| Piston_T            | Piston temperature   | Cylinder / Heat transfer / (Piston: Wall Temperature)  |
| Exhaust_Port_Wall_T | Exhaust port wall temperature  | Cylinder / Valve port specifications / (Port: Wall temp: Line for pipe 25&26)  |
| Engine_Speed        | Engine speed   | Engine / Engine speed  |
| Exhaust_Wall_1_T    | Exhaust wall temperature for first stage of exhaust manifold. (I.e. first pipes after exhaust port runners.) | Pipe 37 (Pipe / General / Wall temperature)<br>Pipe 38 (Pipe / General / Wall temperature)<br>Pipe 39 (Pipe / General / Wall temperature)<br>Pipe 40 (Pipe / General / Wall temperature) |
| Exhaust_Wall_2_T    | Exhaust wall temperature for second stage of exhaust manifold.   | Pipe 41 (Pipe / General / Wall temperature)<br>Pipe 42 (Pipe / General / Wall temperature)   |
| Exhaust_Wall_3_T    | Exhaust wall temperature for third stage of exhaust manifold.  | Pipe 43 (Pipe / General / Wall temperature)<br>Pipe 44 (Pipe / General / Wall temperature)<br>Pipe 45 (Pipe / General / Wall temperature)<br>Pipe 46 (Pipe / General / Wall temperature) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สำหรับท่อ 47, 48 และ 49

|   | Location (X) | Wall Temperature (Y)  |
|---|--------------|-----------------------|
|   | mm           | K                     |
| 1 | 0            | =Wall_T_Up_Catalyst   |
| 2 | 860          | =Wall_T_Down_Catalyst |
| 3 |              |                       |
| 4 |              |                       |
| 5 |              |                       |

รูปที่ ข.13 หน้าต่าง Wall temperature table ของ Pipe 47, 48 และ 49

3) ข้อมูลของ Cylinder และ Injector เหมือนกันดังนั้นสามารถคัดลอกโดยเลือกเมนูบาร์ Element / Copy data โดยเลือก Cylinder 1 เป็น 'Source' และ Cylinder 2, 3 และ 4 เป็น 'Targets' จากนั้นเลือก 'Apply' เช่นเดียวกับ Injector

ตารางที่ ข. 21 ตำแหน่งที่จะสร้าง Parameter

| Parameter            | Description   | Path   |
|----------------------|---|--|
| Wall_T_Up_Catalyst   | Exhaust wall temperature at upstream end of pipe downstream of catalyst.        | Pipe 47 (Pipe / General / Wall temperature - table / Wall temperature at first location in table, 0 mm)  |
| Wall_T_Down_Catalyst | Exhaust wall temperature at downstream end of pipe downstream of catalyst.      | Pipe 47 (Pipe / General / Wall temperature - table / Wall temperature at last location in table, 860 mm) |
| Wall_T_Up_Exshust    | Exhaust wall temperature at upstream end of pipe between two exhaust plenums.   | Pipe 48 (Pipe / General / Wall temperature - table / Wall temperature at first location in table, 0 mm)  |
| Wall_T_Down_Exshust  | Exhaust wall temperature at downstream end of pipe between two exhaust plenums. | Pipe 48 (Pipe / General / Wall temperature - table / Wall temperature at last location in table, 970 mm) |
| Wall_T_Up_Tailpipe   | Exhaust wall temperature at upstream end of tail pipe.                          | Pipe 49 (Pipe / General / Wall temperature - table / Wall temperature at first location in table, 0 mm)  |
| Wall_T_Down_Tailpipe | Exhaust wall temperature at downstream end of tail pipe.                        | Pipe 49 (Pipe / General / Wall temperature - table / Wall temperature at last location in table, 330 mm) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) เลือกเมนูบาร์ Model / Parameters เลือก 'New parameter' ในหลักพารามิเตอร์เปลี่ยนชื่อจาก Parameter\_1 เป็น Exhaust\_Wall\_T\_Factor จากนั้นใส่ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.01 ในหลัก Value หน่วยของพารามิเตอร์เป็น Ratio [-]
- 5) Formula of parameter

ตารางที่ ข.22 สูตรต่างๆของ Parameter

| Parameter            | Formula  |
|----------------------|--|
| Exhaust_Wall_1_T     | $660 + \text{Exhaust\_Wall\_T\_Factor} * (980 - 660)$  |
| Exhaust_Wall_2_T     | $640 + \text{Exhaust\_Wall\_T\_Factor} * (950 - 640)$  |
| Exhaust_Wall_3_T     | $630 + \text{Exhaust\_Wall\_T\_Factor} * (930 - 630)$  |
| Wall_T_Up_Catalyst   | $550 + \text{Exhaust\_Wall\_T\_Factor} * (1024 - 550)$ |
| Wall_T_Down_Catalyst | $550 + \text{Exhaust\_Wall\_T\_Factor} * (965 - 550)$  |
| Wall_T_Up_Exshust    | $510 + \text{Exhaust\_Wall\_T\_Factor} * (885 - 510)$  |
| Wall_T_Down_Exshust  | $510 + \text{Exhaust\_Wall\_T\_Factor} * (850 - 510)$  |
| Wall_T_Up_Tailpipe   | $480 + \text{Exhaust\_Wall\_T\_Factor} * (768 - 480)$  |
| Wall_T_Down_Tailpipe | $480 + \text{Exhaust\_Wall\_T\_Factor} * (737 - 480)$  |

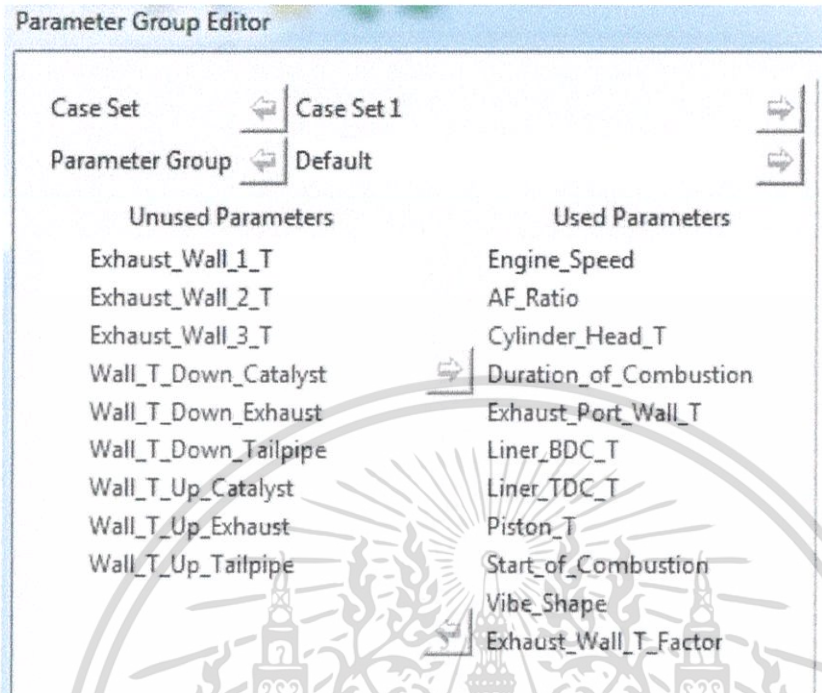
- 6) The model parameter จะเป็นดังรูปข้างล่าง

| Parameters             |        |                                       |                        |
|------------------------|--------|---------------------------------------|------------------------|
| Parameter              | Type   | Value                                 | Unit                   |
| AF_Ratio               | global | 14.61                                 | [-] (Ratio)            |
| Cylinder_Head_T        | global | 480                                   | K (Temperature)        |
| Duration_of_Combustion | global | 40                                    | deg (Angle)            |
| Engine_Speed           | global | 1000                                  | rpm (Angular Velocity) |
| Exhaust_Port_Wall_T    | global | 430                                   | K (Temperature)        |
| Exhaust_Wall_1_T       | global | =660+Exhaust_Wall_T_Factor*(980-660)  | K (Temperature)        |
| Exhaust_Wall_2_T       | global | =640+Exhaust_Wall_T_Factor*(950-640)  | K (Temperature)        |
| Exhaust_Wall_3_T       | global | =630+Exhaust_Wall_T_Factor*(930-630)  | K (Temperature)        |
| Exhaust_Wall_T_Factor  | global | 0.01                                  | [-] (Ratio)            |
| Liner_BDC_T            | global | 360                                   | K (Temperature)        |
| Liner_TDC_T            | global | 390                                   | K (Temperature)        |
| Piston_T               | global | 450                                   | K (Temperature)        |
| Start_of_Combustion    | global | 3                                     | deg (Angle)            |
| Vibe_Shape             | global | 2.4                                   | [-] (Ratio)            |
| Wall_T_Down_Catalyst   | global | =550+Exhaust_Wall_T_Factor*(965-550)  | K (Temperature)        |
| Wall_T_Down_Exhaust    | global | =510+Exhaust_Wall_T_Factor*(850-510)  | K (Temperature)        |
| Wall_T_Down_Tailpipe   | global | =480+Exhaust_Wall_T_Factor*(737-480)  | K (Temperature)        |
| Wall_T_Up_Catalyst     | global | =550+Exhaust_Wall_T_Factor*(1024-550) | K (Temperature)        |
| Wall_T_Up_Exhaust      | global | =510+Exhaust_Wall_T_Factor*(885-510)  | K (Temperature)        |
| Wall_T_Up_Tailpipe     | global | =480+Exhaust_Wall_T_Factor*(768-480)  | K (Temperature)        |

รูปที่ ข.14 หน้าต่างตัวอย่างของ Parameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) เลือก Model / Case explorer และเลือกเมนูบาร์ Group / Edit จากนั้นเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่ใช้งานตามรูป



รูปที่ ข.15 หน้าต่างแสดง Parameter ที่ใช้

8) จากนั้นเลือกเมนูบาร์ Insert / Case โดยเราเพิ่มทั้งหมด 11 Case จากรอบเครื่องยนต์ 1000 ถึง 6000 รอบต่อนาทีและใส่ค่าตามตารางนี้

ตารางที่ ข.23 ค่า Parameter ในแต่ละ Case

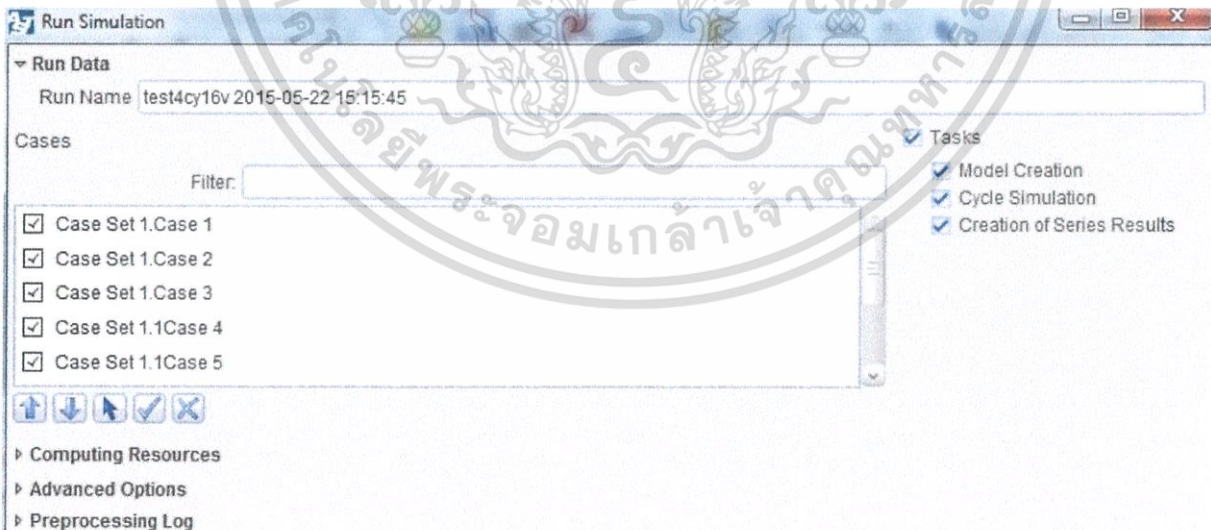
| Case set | Engine_Speed | AF_Ratio | Start_of_Combustion | Duration_of_Combustion | Vibe_Shape |
|----------|--------------|----------|---------------------|------------------------|------------|
| 1        |              |          |                     |                        |            |
| Case 1   | 1000         | 14.61    | 3                   | 40                     | 2.4        |
| Case 2   | 1500         | 14.61    | -5                  | 41                     | 2.38       |
| Case 3   | 2000         | 14.61    | -6                  | 42                     | 2.28       |
| Case 4   | 2500         | 14.61    | -7                  | 43                     | 2.08       |
| Case 5   | 3000         | 14.61    | -8                  | 44                     | 1.83       |
| Case 6   | 3500         | 14.61    | -9                  | 45                     | 1.68       |
| Case 7   | 4000         | 14.61    | -12                 | 46                     | 1.62       |
| Case 8   | 4500         | 14.61    | -15                 | 47                     | 1.56       |
| Case 9   | 5000         | 14.61    | -17                 | 48                     | 1.5        |
| Case 10  | 5500         | 14.61    | -15                 | 49                     | 1.38       |
| Case 11  | 6000         | 14.61    | -14                 | 50                     | 1.2        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Case set<br>1 | Cylinder<br>_Head_T | Liner_TDC_T | Liner_B<br>DC_T | Piston<br>_T | Exhaust_Port<br>_Wall_T | Exhaust_Wall_T_<br>Factor |
|---------------|---------------------|-------------|-----------------|--------------|-------------------------|---------------------------|
| Case 1        | 480                 | 390         | 360             | 450          | 430                     | 0.01                      |
| Case 2        | 492                 | 396         | 368             | 460          | 444                     | 0.12                      |
| Case 3        | 504                 | 402         | 375             | 470          | 458                     | 0.304                     |
| Case 4        | 516                 | 408         | 385             | 480          | 473                     | 0.538                     |
| Case 5        | 528                 | 414         | 390             | 490          | 487.5                   | 0.645                     |
| Case 6        | 540                 | 420         | 400             | 500          | 500                     | 0.762                     |
| Case 7        | 552                 | 426         | 410             | 510          | 515                     | 0.872                     |
| Case 8        | 564                 | 432         | 417             | 520          | 529                     | 0.911                     |
| Case 9        | 576                 | 438         | 425             | 530          | 543                     | 0.943                     |
| Case 10       | 588                 | 444         | 433             | 540          | 558                     | 0.964                     |
| Case 11       | 600                 | 452         | 444             | 555          | 580                     | 0.985                     |

### 3 Run simulation

บันทึกแบบจำลองให้เรียบร้อย ไปที่เมนูบาร์เลือก Simulation / Run และเลือกทั้งหมดทั้ง Case และ Task ตามรูป



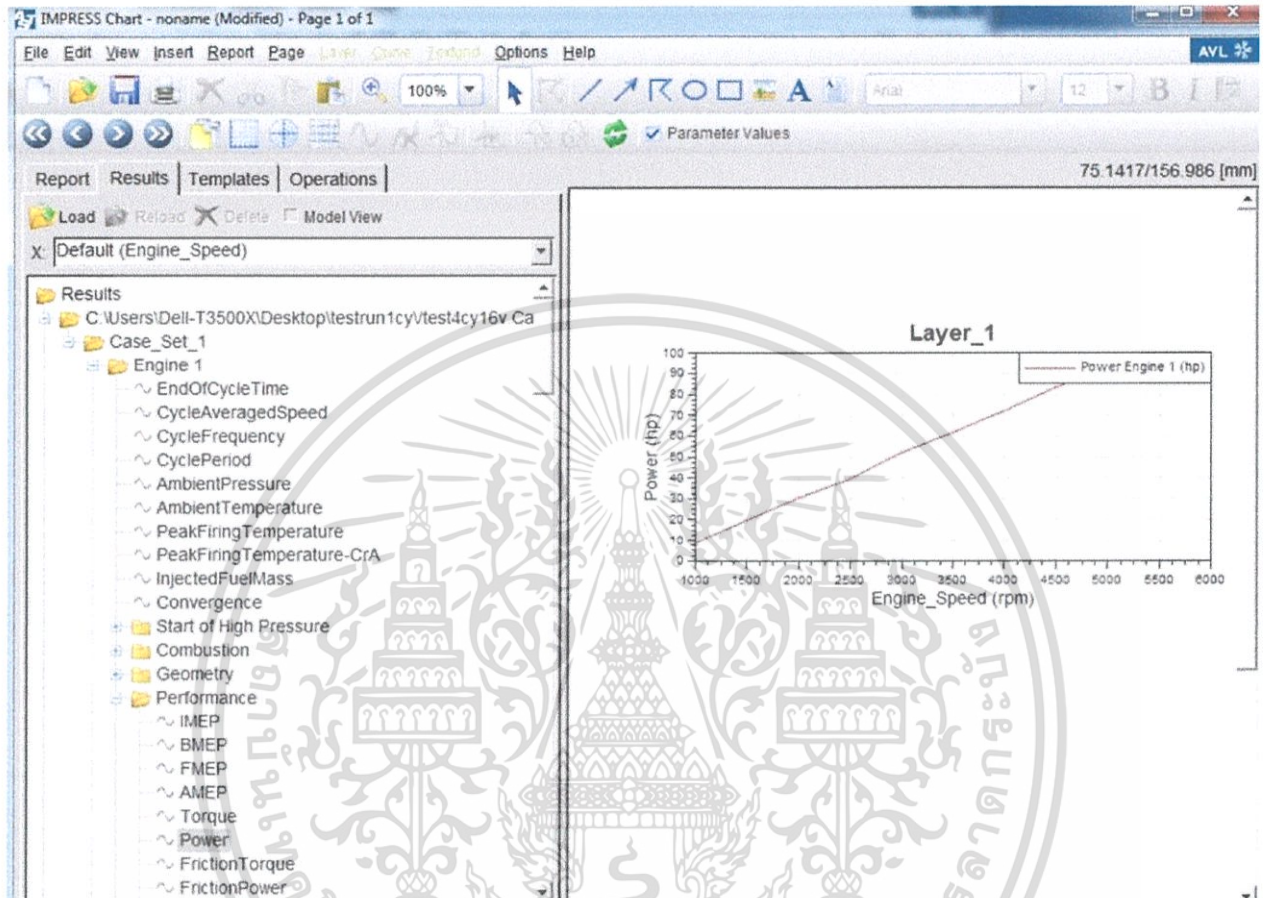
รูปที่ ข.16 หน้าต่างของ Run simulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. Post-processing

เป็นการแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลอง

เลือกเมนูบาร์ Simulation / Show Results ดังรูปด้านล่าง

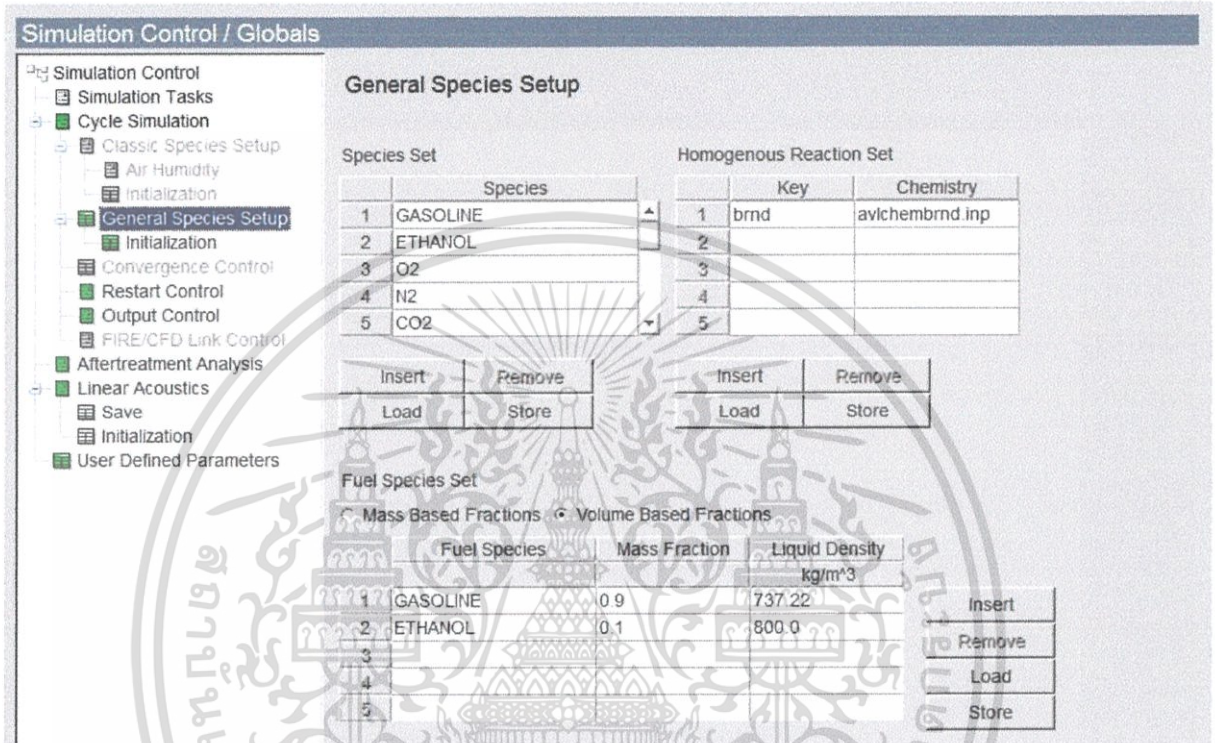


รูปที่ ข.17 หน้าต่างของ Impress chart แสดงผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. General species transport

นำแบบจำลองที่ได้ใช้กับน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ โดยเลือกเมนูบาร์ Simulation / Control - Cycle simulation, เลือก General สำหรับ Species transport. จากนั้นเลือก General species setup ใส่ข้อมูลตามรูปภาพโดยสามารถเปลี่ยนอัตราส่วนผสมระหว่างแก๊สโซลีนกับเอทานอลได้โดยที่อัตราส่วนมวลรวมกันได้ ต่อเท่ากับ 1



รูปที่ ข.18 หน้าต่างของ General species setup

โดยใส่ค่าตามนี้

Species set: GASOLINE, ETHANOL, O2, N2, CO2, H2O, CO, H2, O, OH, H, HO2, H2O2, N, NO, N2O

Homogenous reaction set:

Key: brnd

Chemistry: avlchembrnd.inp

Volume based fractions

Fuel species: GASOLINE, ETHANOL

Mass fraction: 0.9, 0.1

Liquid density: 737.22, 800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 การเปรียบเทียบกำลังเครื่องยนต์ระหว่างแบบจำลอง AVL BOOST กับข้อมูลจริงจากผู้ผลิต

| RPM  | Official Data (Hp) | AVL Model (Hp) | Error (%) |
|------|--------------------|----------------|-----------|
| 1000 | 8.4                | 8.37788        | 0.263333  |
| 1500 | 19                 | 19.4818        | 2.535789  |
| 2000 | 31.25              | 30.5007        | 2.39776   |
| 2500 | 40.6               | 40.1343        | 1.147044  |
| 3000 | 53                 | 52.824         | 0.332075  |
| 3500 | 62.5               | 62.3561        | 0.23024   |
| 4000 | 72.5               | 72.593         | 0.128276  |
| 4500 | 84.5               | 84.8427        | 0.405562  |
| 5000 | 90.6               | 91.5322        | 1.028918  |
| 5500 | 93                 | 93.8703        | 0.935806  |
| 6000 | 85                 | 83.8251        | 1.382235  |
|      |                    | Avg. error     | 0.98064   |

ตารางที่ ค.2 การเปรียบเทียบแรงบิดเครื่องยนต์ระหว่างแบบจำลอง AVL BOOST กับข้อมูลจริงจากผู้ผลิต

| RPM  | Official Data (Nm) | AVL Model (Nm) | Error (%) |
|------|--------------------|----------------|-----------|
| 1000 | 59.375             | 59.6581        | 0.4768    |
| 1500 | 91                 | 92.4856        | 1.6325    |
| 2000 | 106.25             | 108.596        | 2.2080    |
| 2500 | 115.6              | 114.317        | 1.1099    |
| 3000 | 122                | 125.385        | 2.7746    |
| 3500 | 126                | 126.866        | 0.6873    |
| 4000 | 128                | 129.232        | 0.9625    |
| 4500 | 131.5              | 134.257        | 2.0966    |
| 5000 | 128                | 130.358        | 1.8422    |
| 5500 | 119                | 121.535        | 2.1303    |
| 6000 | 98                 | 99.4851        | 1.5154    |
|      |                    | Avg. error     | 1.5851    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่องค์กรคุณเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 เปรียบเทียบกำลังเครื่องยนต์ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละชนิดเชื้อเพลิง

| RPM  | Gasoline(E0) (Hp) | E10 (Hp) | E20 (Hp) | E85 (Hp) |
|------|-------------------|----------|----------|----------|
| 1000 | 8.3779            | 8.2148   | 7.9950   | 5.9224   |
| 1500 | 19.4818           | 19.1627  | 18.7997  | 15.4341  |
| 2000 | 30.5007           | 29.9480  | 29.4286  | 24.0130  |
| 2500 | 40.1343           | 39.4630  | 38.7758  | 31.9623  |
| 3000 | 52.8240           | 52.0204  | 51.0280  | 41.4383  |
| 3500 | 62.3561           | 61.2939  | 60.1238  | 48.5819  |
| 4000 | 72.5930           | 71.3330  | 70.1451  | 56.9655  |
| 4500 | 84.8427           | 83.3214  | 81.8205  | 66.0906  |
| 5000 | 91.5322           | 89.9643  | 88.3769  | 71.6047  |
| 5500 | 93.8703           | 92.2211  | 90.2020  | 70.0119  |
| 6000 | 83.8251           | 82.0412  | 79.8853  | 58.1955  |

ตารางที่ ค.4 เปรียบเทียบแรงบิดเครื่องยนต์ที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละชนิดเชื้อเพลิง

| RPM  | Gasoline(E0) (N.m) | E10 (N.m) | E20 (N.m) | E85 (N.m) |
|------|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| 1000 | 59.6581            | 58.4968   | 56.9313   | 42.1727   |
| 1500 | 92.4856            | 90.9704   | 89.2473   | 73.2697   |
| 2000 | 108.5960           | 106.6290  | 104.7790  | 85.4970   |
| 2500 | 114.3170           | 112.4050  | 110.4480  | 91.0403   |
| 3000 | 125.3850           | 123.4770  | 121.1220  | 98.3594   |
| 3500 | 126.8660           | 124.7050  | 122.3250  | 98.8421   |
| 4000 | 129.2320           | 126.9890  | 124.8740  | 101.4120  |
| 4500 | 134.2570           | 131.8500  | 129.4750  | 104.5830  |
| 5000 | 130.3580           | 128.1260  | 125.8650  | 101.9780  |
| 5500 | 121.5350           | 119.4000  | 116.7850  | 90.6451   |
| 6000 | 99.4851            | 97.3680   | 94.8093   | 69.0675   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 เปอร์เซ็นต์การลดลงของสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด  
เมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สโซลีน(E0)

| RPM                | %Reduction E10 | %Reduction E20 | %Reduction E85 |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1000               | 1.9466         | 4.5707         | 29.3093        |
| 1500               | 1.6383         | 3.5014         | 20.7772        |
| 2000               | 1.8113         | 3.5149         | 21.2706        |
| 2500               | 1.6725         | 3.3844         | 20.3615        |
| 3000               | 1.5217         | 3.3999         | 21.5541        |
| 3500               | 1.7034         | 3.5794         | 22.0894        |
| 4000               | 1.7356         | 3.3722         | 21.5272        |
| 4500               | 1.7928         | 3.5618         | 22.1024        |
| 5000               | 1.7122         | 3.4467         | 21.7708        |
| 5500               | 1.7567         | 3.9083         | 25.4165        |
| 6000               | 2.1281         | 4.7000         | 30.5750        |
| Avg. reduction (%) | 1.7654         | 3.7218         | 23.3413        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 เปรอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิง E85  
เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับเครื่องยนต์มาใช้แลมด้าเท่ากับ 1

| RPM               | E85 lean burn (Hp) | E85 Stoich (Hp) | %Increase (%) |
|-------------------|--------------------|-----------------|---------------|
| 1000              | 5.92237            | 8.27453         | 39.72         |
| 1500              | 15.4341            | 19.2644         | 24.82         |
| 2000              | 24.013             | 30.0211         | 25.02         |
| 2500              | 31.9623            | 40.2364         | 25.89         |
| 3000              | 41.4383            | 52.4165         | 26.49         |
| 3500              | 48.5819            | 61.7893         | 27.19         |
| 4000              | 56.9655            | 72.1158         | 26.60         |
| 4500              | 66.0906            | 84.7061         | 28.17         |
| 5000              | 71.6047            | 91.1353         | 27.28         |
| 5500              | 70.0119            | 93.2443         | 33.18         |
| 6000              | 58.1955            | 83.6802         | 43.79         |
| Avg. increase (%) |                    |                 | 29.83         |

ตารางที่ ค.7 การเปรียบเทียบแรงบิดเมื่อใช้แลมด้าเท่ากับ 1 ระหว่างเชื้อเพลิง E0 และ E85

| RPM            | E0 (Hp) | E85 (Hp) | Change of power (%) |
|----------------|---------|----------|---------------------|
| 1000           | 8.3779  | 8.2745   | -1.2336             |
| 1500           | 19.4818 | 19.2644  | -1.1159             |
| 2000           | 30.5007 | 30.0211  | -1.5724             |
| 2500           | 40.1343 | 40.2364  | +0.2544             |
| 3000           | 52.8240 | 52.4165  | -0.7714             |
| 3500           | 62.3561 | 61.7893  | -0.9090             |
| 4000           | 72.5930 | 72.1158  | -0.6574             |
| 4500           | 84.8427 | 84.7061  | -0.1610             |
| 5000           | 91.5322 | 91.1353  | -0.4336             |
| 5500           | 93.8703 | 93.2443  | -0.6669             |
| 6000           | 83.8251 | 83.6802  | -0.1729             |
| %Increase Avg. |         |          | 0.6763              |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้