

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการศึกษาและทดสอบการใช้เชื้อเพลิง E85 ในรถจักรยานยนต์ระบบหัวฉีดหลังติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV Conversion Kit



สารบัญ

หน้า

สารบัญ.....	ก
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	จ
บทที่ 1 บทนำ.....	1-1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ.....	1-1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1-1
1.3 แผนการดำเนินงาน.....	1-2
1.4 ระยะเวลาดำเนินงาน.....	1-2
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง.....	2-1
2.1 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85.....	2-1
2.2 หลักการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องยนต์ในรถจักรยานยนต์.....	2-7
2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์.....	2-8
2.2.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์.....	2-11
2.2.3 ระบบการจ่ายน้ำมันของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์.....	2-13
2.3 หลักการทำงานของ FFV conversion kit.....	2-21
2.4 น้ำมันเครื่อง.....	2-23
2.4.1 หน้าที่ของน้ำมันเครื่อง.....	2-23
2.4.2 फिल्मหล่อลื่นของน้ำมันเครื่อง.....	2-27
2.4.3 ประเภทของน้ำมันเครื่องสำหรับรถจักรยานยนต์.....	2-29
2.4.4 มาตรฐานของน้ำมันเครื่องสำหรับรถจักรยานยนต์.....	2-33
2.4.5 การเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง.....	2-37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ผลการดำเนินงาน	3-1
3.1 การคัดเลือกรถจักรยานยนต์เข้าร่วมโครงการ.....	3-1
3.2 การออกแบบการทดสอบ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล และคู่มือการใช้รถของผู้ทดสอบ	3-2
3.3 การตรวจสอบและทดสอบสภาพเครื่องยนต์ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์เสริม	3-6
FFV conversion kit	
3.4 การทดสอบการขับเคลื่อนด้วยน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 หลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริม	3-8
FFV conversion kit	
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	4-1
4.1 การทดสอบด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งาน.....	4-1
4.1.1 วิธีการเก็บข้อมูล	4-1
4.1.2 ผลการทดสอบจากแบบสอบถาม (Subjective Evaluation)	4-4
4.1.3 ผลการทดสอบวัดค่าอัตราเร่งด้วยอุปกรณ์วัด (Objective Evaluation).....	4-10
4.1.4 สรุปผลการทดสอบด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งานเชิงเปรียบเทียบ	4-14
4.2 การทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้งานจริง	4-14
4.2.1 วิธีการเก็บข้อมูล	4-15
4.2.2 สรุปผลการทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้งานจริง.....	4-16
4.3 การทดสอบด้านความทนทานจากการใช้งานจริง	4-17
4.3.1 วิธีการเก็บข้อมูล	4-17
4.3.2 วิธีการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้านความทนทาน.....	4-19
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบตัวอย่างน้ำมันเครื่องจากการใช้งานจริง.....	4-26
4.3.4 สรุปผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้านความทนทานจากการใช้งานจริง.....	4-39
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการ	5-1
5.1 สมรรถนะเครื่องยนต์	5-2
5.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	5-2
5.3 ความทนทานจากการใช้งานจริง	5-3
5.4 ข้อเสนอแนะ	5-4

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ก	ผลการทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะขั้นที่กด้วยแบบสอบถาม
ภาคผนวก ข	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันเครื่องในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ASTM
ภาคผนวก ค	รายละเอียดมาตรฐาน ASTM ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านความทนทานของน้ำมันเครื่อง
	(1) D6595-00 : Standard Test Method for Determination of Wear Metals and Contaminants in Used Lubricating Oils or Used Hydraulic Fluids by Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectrometry
	(2) D974-04 : Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration
	(3) D445-04 : Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and the Calculation of Dynamic Viscosity)
	(4) D4739-02 : Standard Test Method for Base Number Determination by Potentiometric Titration
ภาคผนวก ง-1	ใบลงทะเบียนผู้เข้าร่วมประชุมสรุปผลการดำเนินโครงการ
ภาคผนวก ง-2	เอกสารประกอบการประชุม

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1	แผนการดำเนินงาน 1-2
2-1	ส่วนผสมหลักของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย 2-3
2-2	ข้อดี-ข้อเสียของการใช้เอทานอลมาเป็นส่วนผสมในน้ำมันเบนซิน 2-3
2-3	มาตรฐาน ASTM D 5798-99 สำหรับการผลิตแก๊สโซฮอล์เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ 2-4
2-4	การเปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด 2-5
2-5	ขั้นตอนการทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ 2-9
2-6	ขั้นตอนการทำงานของเครื่องยนต์สองจังหวะ 2-10
2-7	ขั้นตอนการทำงานภายในท่อคาร์บูเรเตอร์ 2-14
2-8	ตัวอย่างสารเพิ่มคุณภาพน้ำมันเครื่อง 2-31
2-9	มาตรฐาน API ของน้ำมันเครื่องที่ใช้ น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง 2-34
3-1	แผนการดำเนินการทดสอบก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit 3-3
3-2	แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับอาสาสมัครเพื่อเก็บบันทึกข้อมูลด้านอัตราการสิ้นเปลือง 3-6
	ในคู่มือการทดสอบใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85
3-3	ตัวอย่างรายการประเมินด้านสมรรถนะของรถจักรยานยนต์จากผู้ขับขี่ 3-9
4-1	การเปรียบเทียบข้อมูลอัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลเมตรต่อลิตร) จากอาสาสมัครที่เข้าร่วม 4-16
	โครงการ
4-2	การเปรียบเทียบข้อมูลอัตราค่าใช้จ่าย (บาทต่อกิโลเมตร) จากอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการ 4-17
4-3	ข้อมูลเชิงกายภาพด้านความชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนของรถจักรยานยนต์ 4-39
4-4	สรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบด้านความทนทานจากการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์ 4-39
	ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 และรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E10

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า	
2-1	การจัดประเภทของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ตามชนิดของส่วนผสมหลักและอัตราส่วน.....	2-2
2-2	กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันเบนซิน น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E22 และเอทานอล E100.....	2-6
2-3	กราฟแสดงแนวโน้มของปริมาณก๊าซเสียที่ลดลงจากการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85.....	2-7
2-4	วัฏจักรการทำงาน 4 ขั้นตอนของเครื่องยนต์.....	2-8
2-5	วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ชนิดสองจังหวะ.....	2-10
2-6	ส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์.....	2-11
2-7	ส่วนประกอบของคาร์บูเรเตอร์ในรถจักรยานยนต์.....	2-13
2-8	ลักษณะภายในและขั้นตอนการทำงานภายในท่อของคาร์บูเรเตอร์ (ก) ลักษณะภายใน ของคาร์บูเรเตอร์ และ (ข) ลักษณะการกระจายของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นละออง	2-14
2-9	หลักการทำงานของระบบหัวฉีด.....	2-19
2-10	อุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจน (O ₂ sensor).....	2-20
2-11	หลักการทำงานของอุปกรณ์วัดตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง (CKP sensor).....	2-20
2-12	ตัวอย่างชุดอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit ของผู้ผลิตต่าง ๆ.....	2-21
2-13	หลักการทำงานของชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในชุด FFV conversion kit.....	2-22
2-14	การหล่อลื่นเครื่องยนต์.....	2-23
2-15	การระบายความร้อนของเครื่องยนต์.....	2-24
2-16	การป้องกันสนิมของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์.....	2-25
2-17	การป้องกันการรั่วของกำลังอัดเครื่องยนต์.....	2-25
2-18	การทำความสะอาดชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์.....	2-26
2-19	การหล่อลื่นชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์.....	2-26
2-20	ลักษณะการก่อตัวของฟิล์มน้ำมันแบบ Hydrodynamic Full Film.....	2-27
2-21	ลักษณะการก่อตัวของฟิล์มน้ำมันแบบ Hydrostatic Full Film.....	2-27
2-22	ลักษณะของฟิล์มหล่อลื่นแบบ Elastohydrodynamic.....	2-28
2-23	ลักษณะการก่อตัวของชั้นฟิล์มหล่อลื่นแบบ Boundary.....	2-29
2-24	ตัวอย่างสัญลักษณ์น้ำมันเครื่องที่จำแนกตามคุณภาพ.....	2-33
2-25	ตัวอย่างสัญลักษณ์น้ำมันเครื่องชนิดเกรดรวม.....	2-36

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-1 ตัวอย่างรายชื่อและข้อมูลของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการ	3-2
3-2 ตัวอย่างคู่มือการทดสอบใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ในรถจักรยานยนต์	3-4
3-3 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit	3-7
3-4 ตำแหน่งการติดตั้งตัวอย่างชุดอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit ในรถจักรยานยนต์.....	3-7
3-5 สถานที่ดำเนินโครงการภาคสนาม ภายในพื้นที่ของ ปณท. สำนักงานใหญ่.....	3-7
3-6 การเข้าสำรวจพื้นที่และทำการทดสอบขับขี่เบื้องต้นด้วยน้ำมัน E85 หลังการติดตั้ง	3-8
อุปกรณ์เสริม FFV conversion kit ในพื้นที่บริเวณ ปณท. สำนักงานใหญ่	
3-7 แผนผังสนามทดสอบในพื้นที่บริเวณ ปณท. สำนักงานใหญ่	3-9
3-8 ตัวอย่างการกรอกแบบสอบถามที่ใช้ในการทดสอบการขับขี่เบื้องต้น	3-10
เพื่อระบุข้อมูลจำเพาะของรถจักรยานยนต์ที่เข้าร่วมโครงการ	
3-9 ตัวอย่างขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์.....	3-11
3-10 ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมของรถก่อนการทดสอบการใช้งานกับ.....	3-12
น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85	
4-1 รถจักรยานยนต์ที่ใช้ในการทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งาน.....	4-1
4-2 การทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งาน.....	4-2
4-3 ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูลขณะใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85.....	4-3
4-4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างการประเมินด้วยความรู้สึกของผู้ขับขี่ (Subjective Evaluation)	4-4
และการประเมินจากตัวเลขที่วัดได้ (Objective Evaluation)	
4-5 ผลการประเมินข้อมูลด้านสมรรถนะฯ จากการทดสอบรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i... 4-5	4-5
ภายใต้ (ก) ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ (ข) ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่	
4-6 ผลการประเมินข้อมูลด้านสมรรถนะฯ จากการทดสอบรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i... 4-6	4-6
ภายใต้ (ก) ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ (ข) ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่	
4-7 ผลการประเมินข้อมูลด้านสมรรถนะฯ จากการทดสอบรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click	4-7
ภายใต้ (ก) ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ (ข) ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่	
4-8 ค่าเฉลี่ยของผลการประเมินข้อมูลด้านสมรรถนะฯ จากการทดสอบรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น..... 4-8	4-8
ภายใต้ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-9 ค่าเฉลี่ยของผลการประเมินข้อมูลด้านสมรรถนะฯ จากการทดสอบรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น.....	4-9
ภายใต้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่	
4-10 ตัวอย่างเส้นทางการวิ่งทดสอบของรถจักรยานยนต์จากอุปกรณ์วัดความเร็วรถ.....	4-10
ชนิด GPS-based (ล่าง) เปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม (บน)	
4-11 ตัวอย่างค่าความเร็ว (สีแดง) และความเร่ง (สีน้ำเงิน) ของรถจักรยานยนต์ที่บันทึกได้.....	4-11
จากการทดสอบการขับขี่ที่ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	
4-12 ตัวอย่างค่าความเร็ว (สีแดง) และความเร่ง (สีน้ำเงิน) ของรถจักรยานยนต์ที่ใช้.....	4-12
เชื้อเพลิง E10 ที่บันทึกได้จากการทดสอบการขับขี่ที่กำหนดความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	
4-13 ตัวอย่างค่าความเร็ว (สีแดง) และความเร่ง (สีน้ำเงิน) ของรถจักรยานยนต์ที่ใช้.....	4-12
เชื้อเพลิง E10 ที่บันทึกได้จากการทดสอบการขับขี่โดยใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่	
4-14 ตัวอย่างค่าความเร็ว (สีแดง) และความเร่ง (สีน้ำเงิน) ของรถจักรยานยนต์ที่ใช้.....	4-13
เชื้อเพลิง E85 ที่บันทึกได้จากการทดสอบการขับขี่ที่กำหนดความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	
4-15 ตัวอย่างค่าความเร็ว (สีแดง) และความเร่ง (สีน้ำเงิน) ของรถจักรยานยนต์ที่ใช้.....	4-13
เชื้อเพลิง E85 ที่บันทึกได้จากการทดสอบการขับขี่โดยใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่	
4-16 ตัวอย่างอาสาสมัครเจ้าของรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 และได้รับ.....	4-14
การติดตั้งชุด FFV Conversion Kit ที่เข้าร่วมโครงการเพื่อเก็บข้อมูลด้านอัตราการสิ้นเปลือง	
4-17 ตัวอย่างข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองของอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการจากการบันทึก.....	4-15
โดย (ก) อาสาสมัคร และ (ข) พนักงานที่ปั้มน้ำมัน	
4-18 รถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่เข้าร่วมโครงการ.....	4-18
4-19 บริเวณวินรถจักรยานยนต์รับจ้าง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (รังสิต).....	4-18
4-20 การเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจากรถทดสอบ.....	4-19
4-21 การสึกหรอแบบ Adhesive.....	4-20
4-22 การสึกหรอแบบ Abrasive.....	4-20
4-23 ความเสียหายแบบล้า (Fatigue Wear).....	4-21
4-24 การสึกหรอแบบปกติ (Normal Wear).....	4-21
4-25 การสึกหรอแบบผิดปกติ (Abnormal Wear).....	4-22
4-26 วิธีการและเครื่องมือตรวจวิเคราะห์อนุภาคโลหะที่เหมาะสมกับขนาดอนุภาคต่างๆ.....	4-23

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-27 ตัวอย่างน้ำมันเครื่องจากรถจักรยานยนต์ในโครงการหลังจากใช้งาน 2,000 กิโลเมตร	4-26
4-28 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-27
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i	
4-29 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-27
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i	
4-30 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-28
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click	
4-31 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-29
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i	
4-32 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-29
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i	
4-33 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-30
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click	
4-34 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่อง	4-31
จากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i	
4-35 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่อง	4-31
จากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i	
4-36 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่อง	4-31
จากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click	
4-37 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่อง.....	4-32
จากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i	
4-38 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่อง.....	4-32
จากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i	
4-39 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่อง.....	4-33
จากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click	
4-40 การเปรียบเทียบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของน้ำมันเครื่อง.....	4-34
จากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i	

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-41 การเปรียบเทียบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของน้ำมันเครื่อง.....	4-34
จากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i	
4-42 การเปรียบเทียบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของน้ำมันเครื่อง.....	4-35
จากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click	
4-43 การเปรียบเทียบปริมาณเขม่าโดยน้ำหนัก (%wt) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-36
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i	
4-44 การเปรียบเทียบปริมาณเขม่าโดยน้ำหนัก (%wt) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-36
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i	
4-45 การเปรียบเทียบปริมาณเขม่าโดยน้ำหนัก (%wt) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-36
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click	
4-46 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-37
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i	
4-47 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-38
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i	
4-48 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-38
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click	
4-49 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-40
การใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น	
4-50 ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (cSt) ของน้ำมันเครื่องจากการทดสอบ	4-41
การใช้งานจริง ของรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ปัจจุบันมีอุปกรณ์เสริมติดตั้งในรถจักรยานยนต์เพื่อรองรับการใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมระหว่างน้ำมันเบนซินกับเอทานอล เรียกว่า FFV conversion kit ซึ่งสามารถใช้ในสัดส่วนของเอทานอลได้สูงถึง 85% หรือเชื้อเพลิง E85 ดังนั้น เพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้แก๊สโซฮอล์ในภาคขนส่งอย่างต่อเนื่องและแพร่หลาย และเพื่อศึกษาผลกระทบทั้งทางด้านเทคนิคในการใช้งานอุปกรณ์เสริมดังกล่าว และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ฯลฯ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) จึงได้ดำเนินโครงการศึกษาและทดสอบการใช้งานในกลุ่มผู้ใช้รถจักรยานยนต์ในการปฏิบัติงานจริง โดยได้มีบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ MOU ไตรภาคีร่วมกับบริษัทไปรษณีย์ไทย จำกัด (ปณท.) ซึ่งช่วยดำเนินการจัดหาอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการและอำนวยความสะดวกในการจัดหาสถานที่ และบริษัทจิระเทค 2012 จำกัด ซึ่งช่วยดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ FFV conversion kit และจัดหาเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เพื่อให้บริการจำหน่ายให้แก่อาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการและผู้ที่สนใจทั่วไป ตลอดจนอนุเคราะห์ทีมช่างที่มีประสบการณ์เพื่อประโยชน์ของการดำเนินงานตลอดระยะเวลาโครงการ โดยที่ปรึกษามีหน้าที่ตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์ก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริม รวมถึงวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ จนได้ผลการทดสอบและบทวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือสำหรับใช้ในการให้ความรู้แก่ประชาชนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- (1) วิเคราะห์ความเสียหายที่อาจเกิดต่อเครื่องยนต์ โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบสภาพเครื่องยนต์ก่อนและหลังการขับขี่ ระยะทางไม่น้อยกว่า 10,000 กิโลเมตร หรือระยะเวลาไม่น้อยกว่า 6 เดือน
- (2) ตรวจสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง E85 ในการขับขี่จริงบนท้องถนน ของรถจักรยานยนต์ระบบหัวฉีด หลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit
- (3) วิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์ในการขับขี่เพื่อปฏิบัติงานจริงของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการ

1.3 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือน							ผู้รับผิดชอบ	
	Oct-56	Nov-56	Dec-56	Jan-57	Feb-57	Mar-57	Apr-57		May-57
1 ออกแบบการทดสอบ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล และคู่มือการใช้รถของผู้ทดสอบ	■								ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (ศว.)
2 คัดเลือกรถจักรยานยนต์และผู้ทดสอบ 18 คน อบรมและแนะนำการดำเนินการทดสอบ	■								ศว. และ บจ.จิระเทค 2012
3 ทดสอบสภาพเครื่องยนต์และสมรรถนะในสนาม ทดสอบก่อนติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV	■								ศว.
4 เก็บข้อมูลด้านความทนทานของชิ้นส่วนก่อนการ ดัดแปลงรถ	■								ศว.
5 ติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit		■							บจ.จิระเทค 2012
6 ทดสอบภาคสนาม เพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ			■						ศว.
7 ทดสอบภาคสนาม เพื่อเก็บข้อมูลด้านการใช้งาน โดยผู้ทดสอบรถ			■						ศว.
8 ทดสอบโดยการขับขี่จริง เพื่อเก็บข้อมูลด้าน พลังงาน อัตราการสิ้นเปลือง รวมระยะทาง			■	■	■	■	■	■	ศว. และ บจ.จิระเทค 2012
9 ทดสอบโดยการขับขี่จริง เพื่อเก็บข้อมูลด้านความ ทนทานของชิ้นส่วนในห้องปฏิบัติการ รวม			■	■	■	■	■	■	ศว. และ บจ.จิระเทค 2012
10 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบและผลการ ทดสอบ				■	■	■	■	■	ศว.
11 จัดทำรายงานและนำเสนอผลการทดสอบต่อ ผู้เกี่ยวข้อง		■	■					■	ศว.

หมายเหตุ ■ แสดงแผนการดำเนินงาน และ ■ แสดงผลการดำเนินงานจริง

1.4 ระยะเวลาดำเนินงาน

8 เดือน (1 ตุลาคม 2556 – 31 พฤษภาคม 2557)

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

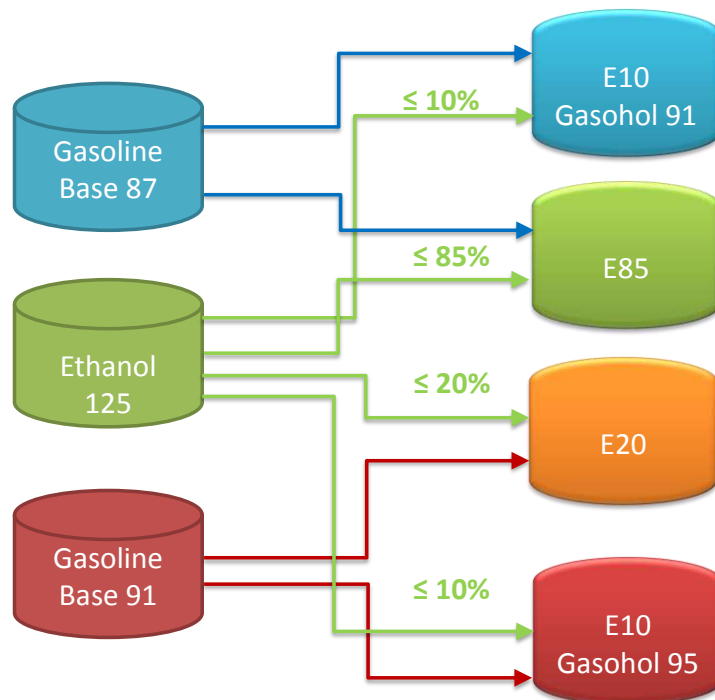
2.1 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85

ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกต้องเผชิญกับความเสี่ยงของการเกิดวิกฤติการณ์ด้านน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้ภาครัฐและเอกชนผลักดันให้มีการนำพลังงานทางเลือกมาใช้มากขึ้น หนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ไม่เพียงแต่ในทวีปอเมริกาและยุโรปเท่านั้น คือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยชื่อ “แก๊สโซฮอล์” นั้น เป็นคำทับศัพท์มาจากภาษาอังกฤษว่า “Gasohol” ซึ่งเป็นการผสมคำว่า “Gasoline” และ “Ethanol” เข้าด้วยกัน น้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นพลังงานทางเลือกในการลดใช้น้ำมันเบนซิน และทดแทนการใช้สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มค่าออกเทน (Octane) ของน้ำมันเบนซิน ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ อาทิ สาร MTBE (Methyl-Tertiary-Butyl-Ether) เป็นต้น นอกจากนี้ ข้อดีอื่น ๆ ของการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์คือ แนวโน้มของการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่สมบูรณ์ขึ้น เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของแอลกอฮอล์ ทำให้สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ถูกปล่อยออกมาจากท่อไอเสีย และสามารถลดมลพิษในอากาศ

การผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์ มีหลักคือการนำเอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) มาผสมกับน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วเพื่อเพิ่มค่าออกเทนและทดแทนการใช้สาร MTBE ทั้งนี้ เอทานอลให้พลังงานน้อยกว่า MTBE ประมาณ 1.6 - 1.8% โดยในการผลิตแก๊สโซฮอล์ จะใช้แอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ 99.5% โดยปริมาตร ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ชนิดที่ได้จากการแปรรูปจากพืชจำพวกแป้งและน้ำตาล เช่น อ้อย มันสำปะหลัง รวมทั้งธัญพืช ได้แก่ ข้าว ข้าวฟ่าง และข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 เป็นต้นมา ได้มีการผลิตและจำหน่ายน้ำมันแก๊สโซฮอล์ในประเทศไทยในหลายอัตราส่วน สามารถแบ่งได้ดังแสดงในรูปที่ 2-1 และตารางที่ 2-1 เป็น 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

- **น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91** เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์สูตร E10 ซึ่งได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานที่มีค่าออกเทน 87 กับเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% โดยปริมาตร ในอัตราส่วนเบนซินอย่างน้อย 90% ต่อเอทานอลไม่เกิน 10% เพื่อให้เกิดค่าออกเทนประมาณ 91

- **น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95** เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์สูตร E10 ซึ่งได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานที่มีค่าออกเทน 91 กับเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% โดยปริมาตร ในอัตราส่วนเบนซินอย่างน้อย 90% ต่อเอทานอลไม่เกิน 10% เพื่อให้เกิดค่าออกเทนประมาณ 95
- **น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20** เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์สูตรที่ได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานที่มีค่าออกเทน 91 กับเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% โดยปริมาตร ในอัตราส่วนเบนซินอย่างน้อย 80% ต่อเอทานอลระหว่าง 19 - 20% เพื่อให้เกิดค่าออกเทนประมาณ 95
- **น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85** เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์สูตรที่ได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานที่มีค่าออกเทน 87 กับเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% โดยปริมาตร ในอัตราส่วนเบนซินอย่างน้อย 15% ต่อเอทานอลไม่เกิน 85% ซึ่งจะเกิดค่าออกเทนประมาณ 100-113 (ค่าที่แน่นอนจะขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมแต่ละชนิด)



รูปที่ 2-1 การจัดประเภทของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ตามชนิดของส่วนผสมหลักและอัตราส่วน

ตารางที่ 2-1 ส่วนผสมหลักของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย

ค่าจำเพาะต่าง ๆ	ประเภทของน้ำมัน			
	แก๊สโซฮอล์ 91	แก๊สโซฮอล์ 95	แก๊สโซฮอล์ E20	แก๊สโซฮอล์ E85
RON	91N	95N	95N	95N
Sulfur (ppm)	50			
Aromatic (% Vol.)	35			
Benzene (% Vol.)	1.0			
Olefin (% Vol.)	18			
Ethanol (% Vol.)	9-10		19-20	ไม่ต่ำกว่า 75

จากคำอธิบายข้างต้น น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 คือ เชื้อเพลิงผสมสำหรับใช้งานรถยนต์ เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานที่มีค่าออกเทน 87 กับเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% โดยปริมาตร ในอัตราส่วนเบนซินอย่างน้อย 15% ต่อเอทานอลไม่เกิน 85% จุดประสงค์ของการผลิตน้ำมันชนิดนี้คือ การนำเอทานอลมาเป็นส่วนผสมหลักในน้ำมันเชื้อเพลิงของรถยนต์เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำมันเบนซิน รวมทั้งใช้เอทานอลเพื่อทดแทนสาร MTBE ที่จะทำให้หน้าที่เพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน ซึ่งจะสามารถสรุปเป็นข้อดีและข้อเสียเชิงเปรียบเทียบได้ดังนี้

ตารางที่ 2-2 ข้อดี-ข้อเสียของการใช้เอทานอลมาเป็นส่วนผสมในน้ำมันเบนซิน

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> ● ลดปริมาณการใช้น้ำมันเบนซิน ● ลดการนำเข้าสาร MTBE ที่ทำหน้าที่เพิ่มค่าออกเทน ● มีค่าออกเทนที่สูงขึ้นกว่าน้ำมันเบนซิน ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ ● ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากท่อไอเสีย 	<ul style="list-style-type: none"> ● อัตราการสิ้นเปลืองสูงกว่าน้ำมันเบนซิน เนื่องจากเอทานอลบริสุทธิ์ให้พลังงานน้อยกว่าน้ำมันเบนซิน ประมาณ 23%⁽¹⁾ ● ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จะมีก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สพิษเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องมีมาตรการดูแลต่อไปในอนาคต ● ใช้ได้กับรถยนต์ในกลุ่มที่เรียกว่า FFV (Flex Fuel Vehicle) เท่านั้น⁽²⁾

⁽¹⁾ เอทานอลมีค่าพลังงานความร้อน 84,600 บีทียูต่อแกลลอน ในขณะที่เบนซินบริสุทธิ์ออกเทน 95 มีค่าพลังงานความร้อน 125,000 บีทียูต่อแกลลอน ดังนั้น เพื่อให้ได้พลังงานความร้อนที่เท่ากัน จะต้องใช้ปริมาณน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 มากกว่าน้ำมันเบนซิน

⁽²⁾ รายละเอียดอธิบายในหัวข้อ 2.3

มาตรฐานการผลิตแก๊สโซฮอล์สำหรับการใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ ที่ได้รับอนุญาตให้มีการผลิตและจำหน่ายอย่างถูกต้องนั้น ได้มีระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM D 5798-99 ดังตารางที่ 2-3 ⁽³⁾ โดยมีการควบคุมปริมาณของสารหลักที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณเอทานอล ปริมาณไฮโดรคาร์บอน และปริมาณกำมะถัน

ตารางที่ 2-3 มาตรฐาน ASTM D 5798-99 สำหรับการผลิตแก๊สโซฮอล์ชนิด E75 - E85 เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์

Property	Value for Class			Test Method
	1	2	3	
ASTM volatility class	1	2	3	N/A
Ethanol, plus higher alcohols (minimum volume %)	79	74	70	ASTM D5501
Hydrocarbons (including denaturant) (volume %)	17-21	17-26	17-30	ASTM D4815
Vapor pressure at 37.8°C - kPa psi	38-59 5.5-8.5	48-65 7.0-9.5	66-83 9.5-12.0	ASTM D4953, D5190, D5191 -
Lead (maximum, mg/L)	2.6	2.6	3.9	ASTM D5059
Phosphorus (maximum, mg/L)	0.3	0.3	0.4	ASTM D3231
Sulfur (maximum, mg/kg)	210	260	300	ASTM D3120, D1266, D2622
Methanol (maximum, volume %)	-	0.5	N/A	-
Higher aliphatic alcohols, C3-C8 (maximum volume %)	-	2	-	N/A
Water (maximum, mass %)	-	1.0	-	ASTM E203
Acidity as acetic acid (maximum, mg/kg)	-	50	-	ASTM D1613
Inorganic chloride (maximum, mg/kg)	-	1	-	ASTM D512, D7988
Total chlorine as chlorides (maximum, mg/kg)	-	2	-	ASTM D4929
Gum, unwashed (maximum, mg/100 mL)	-	20	-	ASTM D381
Gum, solvent-washed (maximum, mg/100 mL)	-	5.0	-	ASTM D381
Copper (maximum, mg/100 mL)	-	0.07	-	ASTM D1688
Appearance	-	Product shall be visibly free of suspended or precipitated contaminants (shall be clear and bright)	-	Appearance determined at ambient temperature or 21°C (70°F), whichever is higher.

⁽³⁾ ที่มา : ASTM D5798-99 Standard Specification for Fuel Ethanol for Automotive Spark-Ignition Engines

นอกจากนี้ จากข้อมูลเชิงเปรียบเทียบสมบัติของแก๊สโซฮอล์ E85 เมทานอล เอทานอล และน้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทน 87 ดังตารางที่ 2-4⁽⁴⁾ โดยเมื่อเปรียบเทียบน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีจำหน่ายในประเทศไทย ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 และน้ำมันเบนซินออกเทน 87 ในหัวข้อต่าง ๆ จะพบว่าค่าออกเทนของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 มีค่าประมาณ 105 ซึ่งสูงกว่าค่าของน้ำมันเบนซินออกเทน 87 อย่างไรก็ตาม น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 จะมีค่าความร้อน 12,500 บีทียูต่อปอนด์ ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองจากการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 สูงกว่าน้ำมันเบนซินออกเทน 87 ที่มีค่าความร้อน 18,000 - 19,000 บีทียูต่อปอนด์ หรือเมื่อพิจารณาระยะทางที่รถวิ่งได้ต่อน้ำมันหนึ่งแกลลอน เห็นได้ว่า เมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 จะวิ่งได้ระยะทางเป็น 72% ของระยะทางที่ใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 87 เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสอดคล้องกับในตารางได้ระบุถึงข้อมูลอัตราส่วนต่อน้ำหนักของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการจุดระเบิดในเครื่องยนต์เบนซิน โดยจะพบว่าในกรณีที่ปริมาณอากาศเท่ากัน สัดส่วนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันเบนซินในการจุดระเบิดจะน้อยกว่าสัดส่วนของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าของกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันทั้งสองชนิด จะพบว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 ให้ค่ากำลังที่สูงกว่าค่าที่ได้จากน้ำมันเบนซินประมาณร้อยละ 3 - 5 อีกทั้งในการติดเครื่องยนต์ขณะเครื่องเย็นหรือ “Cold start” ที่น้ำมันทั้งสองชนิดได้รับการประเมินอยู่ในเกณฑ์ “ดี” จึงสามารถกล่าวได้ว่า น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 ไม่ได้ส่งผลเสียต่อสมรรถนะการติดเครื่องยนต์ขณะเครื่องเย็นแต่อย่างใด

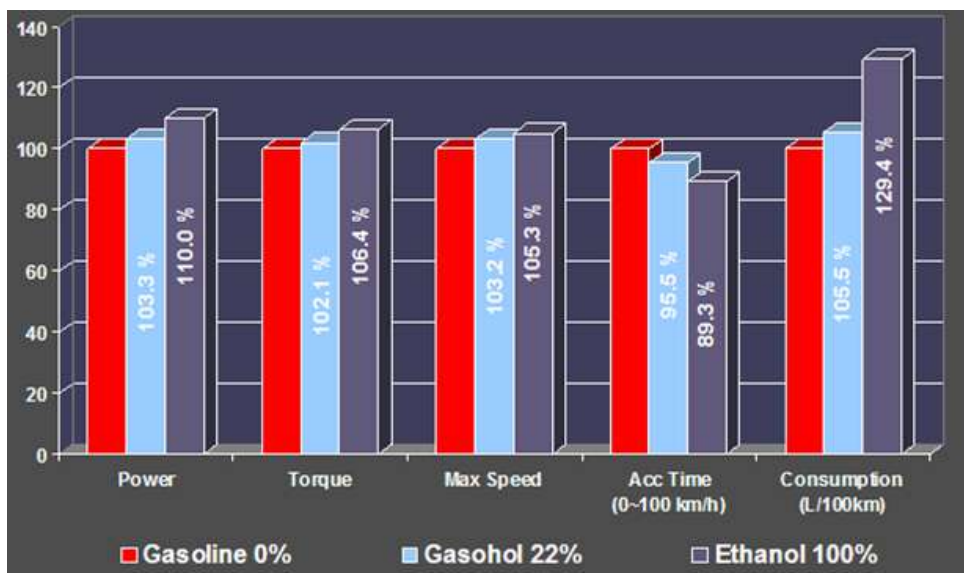
ตารางที่ 2-4 การเปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

Property	Methanol	Ethanol	Gasoline (87 Octane)	E85
Chemical formula	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₄ to C ₁₂ chains	*
Main constituents (% by weight)	38 C, 12 H, 50 O	52 C, 13 H, 35 O	85-88 C, 12-15 H	57 C, 13 H, 30 O
Octane (R+M)/2	100	98-100	86-94	105
Lower heating value (Btu/lb)	8,570	11,500	18,000-19,000	12,500
Gallon equivalent	1.8	1.5	1	1.4
Miles per gallon compared to gasoline	55%	70%	-	72%
Relative tank size to yield (driving range equivalent to gasoline)	Tank is 1.8 times larger	Tank is 1.5 times larger	1	Tank is 1.4 times larger
Reid vapor pressure (psi)	4.6	2.3	8-15	6-12
Ignition point - Fuel in air (%)	7-36	3-19	1-8	*
Temperature (approx.) (°F)	800	850	495	*
Specific gravity (60/65°F)	0.796	0.794	0.72-0.78	0.78
Cold weather starting	Poor	Poor	Good	Good
Vehicle power	4% power increase	5% power increase	standard	3%-5% power increase
Stoichiometric air/fuel ratio (by weight)	6.45	9	14.7	10

* Depends on percentage and type of the hydrocarbon fraction.

⁽⁴⁾ ที่มา : ASTM D5798-99 Standard Specification for Fuel Ethanol for Automotive Spark-Ignition Engines

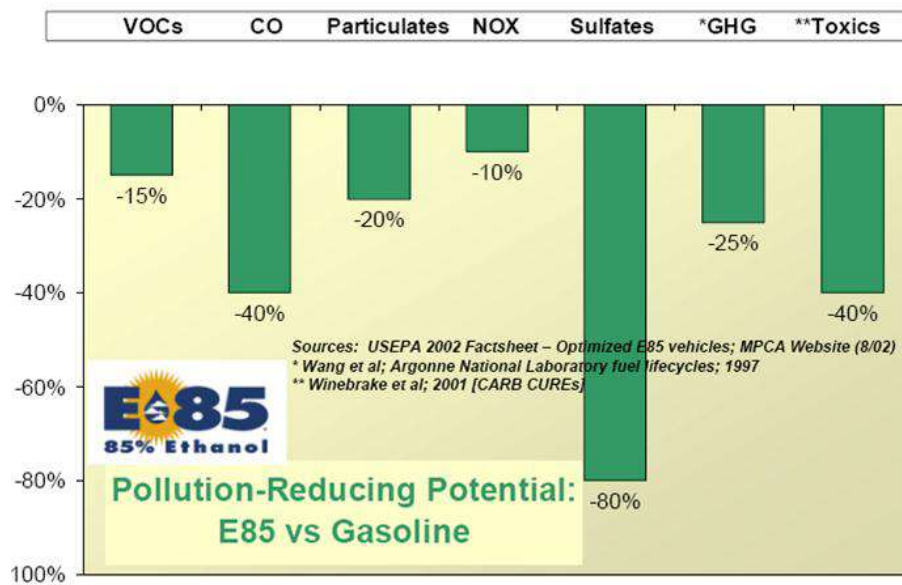
ในด้านของสมรรถนะของการนำเชื้อเพลิงน้ำมันแก๊สโซฮอล์ไปใช้ในรถยนต์เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซิน นั้น จากข้อมูลของตัวอย่างงานวิจัยที่ผ่านมา⁽⁵⁾ ดังแสดงในรูปที่ 2-2 ได้มีการเก็บข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงเชิงเปรียบเทียบจำนวน 3 ชนิดได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E22 และเอทานอล E100 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวโน้มด้านประสิทธิภาพจากการใช้น้ำมันที่มีปริมาณเอทานอลในสัดส่วนที่แตกต่างกันในด้านต่าง ๆ ซึ่งพบว่าค่าเชิงเทคนิค ได้แก่ ค่ากำลัง (Power) ค่าแรงบิด (Torque) และค่าความเร็วสูงสุดของรถ (Max. Speed) ที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล E100 มีค่ามากกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E22 และน้ำมันเบนซิน โดยกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล E100 คิดเป็น 1.1 เท่าของกำลังที่ได้จากน้ำมันเบนซิน กำลังที่ได้จากน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E22 คิดเป็น 1.03 เท่าของกำลังที่ได้จากน้ำมันเบนซิน ส่วนแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล E100 คิดเป็น 1.06 เท่าของกำลังที่ได้จากน้ำมันเบนซิน แรงบิดที่ได้จากน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E22 คิดเป็น 1.02 เท่าของกำลังที่ได้จากน้ำมันเบนซิน โดยค่าความเร็วสูงสุดที่ได้ในเชิงเปรียบเทียบจากเชื้อเพลิงเอทานอล E100 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E22 คิดเป็น 1.05 เท่าและ 1.03 เท่าของน้ำมันเบนซินตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าเชิงสมรรถนะ ได้แก่ อัตราเร่ง (Acceleration Rate) และอัตราการสิ้นเปลือง (Consumption Rate) ของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ด้อยกว่าน้ำมันเบนซิน โดยอัตราเร่งหรือระยะเวลาที่ใช้ในการทำความเร็วจาก 0 ถึง 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมงที่ได้จากเชื้อเพลิงเอทานอล E100 จะต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E22 และน้ำมันเบนซิน และอัตราการสิ้นเปลืองจากการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล E100 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E22 จะสูงกว่าน้ำมันเบนซิน โดยคิดเป็น 1.29 เท่าและ 1.05 เท่าตามลำดับ



รูปที่ 2-2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันเบนซิน น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E22 และเอทานอล E100⁽⁵⁾

⁽⁵⁾ ที่มา : USEPA 2002 Factsheet – Optimized E85 vehicles

อีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจ คือองค์ประกอบในไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2-3⁽⁶⁾ จะเห็นได้ว่า ก๊าซเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้แก๊สโซฮอล์ E85 เมื่อเทียบกับใช้น้ำมันเบนซิน มีแนวโน้มลดลงหลายชนิด เช่น สารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน (VOCs) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ฝุ่นละออง (Particulates) กลุ่มก๊าซประเภทไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ซัลเฟต (Sulfates) ก๊าซเรือนกระจก (GHG) และสารพิษอื่น ๆ (Toxics) ซึ่งเป็นจุดเด่นที่สำคัญของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 ในการผลักดันให้เกิดการนำไปใช้ในวงกว้าง



รูปที่ 2-3 กราฟแสดงแนวโน้มของปริมาณก๊าซเสียที่ลดลงจากการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85⁽⁶⁾

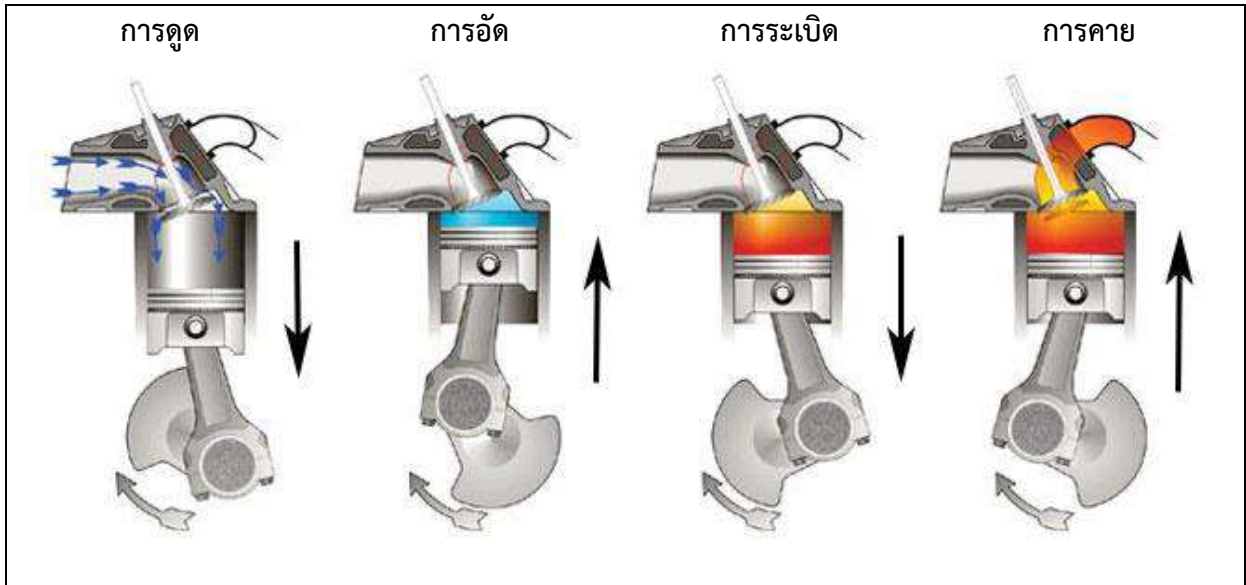
2.2 หลักการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องยนต์ในรถจักรยานยนต์

ในปัจจุบัน เครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์ได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา ประหยัดน้ำมัน เชื้อเพลิง มีสมรรถนะสูง ง่ายต่อการบำรุงรักษา และคำนึงถึงการลดไอเสียและเสียงที่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้จากเทคโนโลยีและหลักการทำงานของเครื่องยนต์ สามารถแบ่งเครื่องยนต์ตามจำนวนจังหวะการทำงานได้เป็นชนิดสองจังหวะและสี่จังหวะ ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

⁽⁶⁾ ที่มา : USEPA 2002 Factsheet – Optimized E85 vehicles

2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์

หลักการทำงานของเครื่องยนต์ประกอบด้วยกระบวนการ 4 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ การดูด การอัด การระเบิด และการคาย ดังแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 วัฏจักรการทำงาน 4 ขั้นตอนของเครื่องยนต์

การดูด เป็นขั้นตอนการดูดน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศเข้าสู่กระบอกสูบ โดยก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงตำแหน่งสูงสุด หรือเรียกว่าตำแหน่ง “ศูนย์ตายบน (TDC, Top Dead Center)” ลูกเบี้ยวจะกดให้ลิ้นไอดีเปิด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงจะดูดไอดีเข้ามาบรรจุในกระบอกสูบ การที่ลิ้นไอดีเปิดก่อนตำแหน่งศูนย์ตายบนทำให้ไอดีถูกดูดเข้าบรรจุในกระบอกสูบได้เต็มที่ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้เชื้อเพลิง

การอัด เป็นขั้นตอนการอัดส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศให้มีเงื่อนไขเหมาะสมต่อการจุดระเบิด โดยทั่วไปไอดีจะถูกอัดให้มีปริมาตรลดลงเป็นอัตราส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงต่ออากาศประมาณ 8:1 - 10:1 ความดัน 14 - 18 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยในขั้นตอนการอัดนี้ ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียทั้งคู่จะปิดสนิท ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นสู่ตำแหน่งจุดศูนย์ตายบน


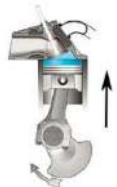


การระเบิด หรือเรียกว่า จังหวะ “งาน” ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีการจุดระเบิดในกระบอกสูบ เพื่อแปลงพลังงานความร้อนที่ได้จากการจุดระเบิดของส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศที่ถูกอัดเป็นพลังงานจลน์ ซึ่งแสดงในรูปของการเคลื่อนที่ของลูกสูบและการหมุนของเพลาคอเหวี่ยงที่เชื่อมต่อกับระบบส่งกำลัง โดยกรณีของเครื่องยนต์ชนิดเบนซิน ก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงตำแหน่งศูนย์ตายบนเล็กน้อย หัวเทียนจะจุดประกายไฟเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ไอดีที่ถูกอัด ทำให้แก๊สขยายตัวและการจุดระเบิด ที่ความดันประมาณ 40 - 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อุณหภูมิจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นที่อยู่ประมาณ 400 - 600 องศาเซลเซียส แรงดันที่เกิดขึ้นจากการระเบิดนี้จะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง กำลังที่ได้จะส่งผ่านไปยังเพลาคอเหวี่ยง

ทำให้เพลาค้อเหวี่ยงหมุนรอบตัว เป็นการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานจลน์ การจุดประกายไฟก่อน ศูนย์ตายบน เพื่อให้เกิดการเผาไหม้เต็มที่ที่ศูนย์ตายบน

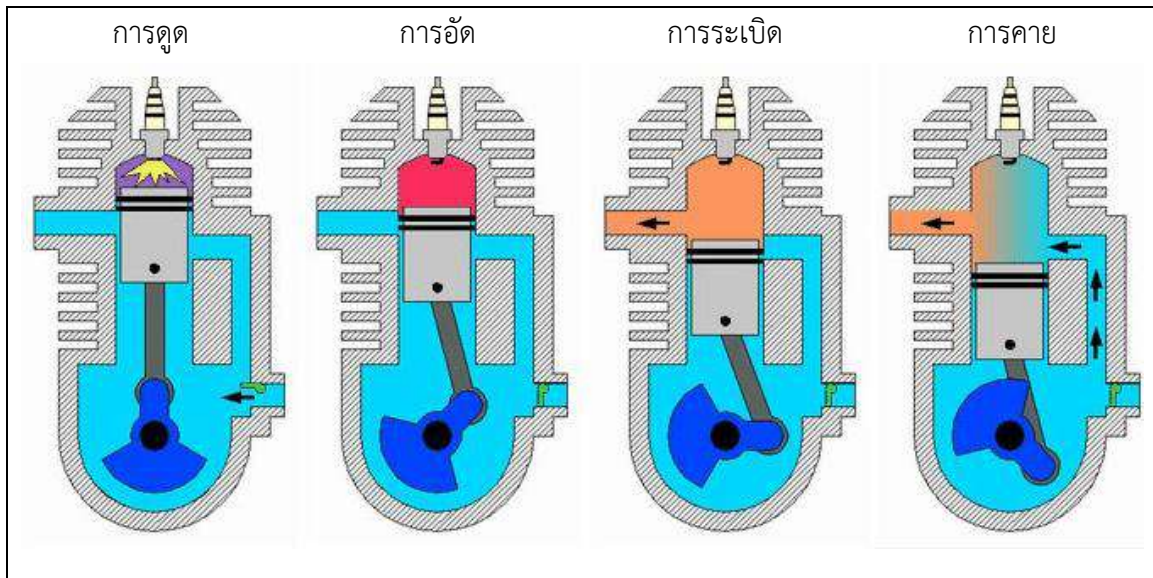
การคาย เป็นขั้นตอนการคายหรือปล่อยไอเสียที่เกิดจากการจุดระเบิดออกจากกระบอกสูบ โดยลูกเบี้ยวจะกดให้ลิ้นไอเสียเปิด ก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งต่ำสุด หรือเรียกว่าตำแหน่ง “ศูนย์ตายล่าง (BDC, Bottom Dead Center)” จากนั้นลูกสูบจะผลักดันไอเสียให้ออกไปอย่างรวดเร็ว เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับขั้นตอนการดูดหรือบรรจุไอดีเข้าต่อไป โดยทั่วไป ลิ้นไอเสียจะถูกเปิดก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายล่างเล็กน้อย เพื่อให้ไอเสียสามารถถูกคายออกจากกระบอกสูบได้เร็วและมีประสิทธิภาพ

ในการทำงานของเครื่องยนต์ชนิดสี่จังหวะ ใน 1 วัฏจักรของการทำงาน เครื่องยนต์จะหมุนทั้งหมด 2 รอบ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนย่อย ลูกสูบของเครื่องยนต์จะเคลื่อนที่หมุนเป็นมุม 180 องศา รวมเป็นการหมุน 2 รอบต่อวัฏจักรการทำงาน ดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ


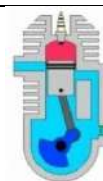
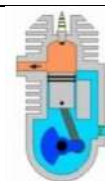
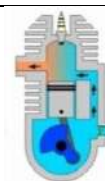
การทำงานของ ชิ้นส่วน	ขั้นตอนการทำงาน			
	จังหวะที่ 1	จังหวะที่ 2	จังหวะที่ 3	จังหวะที่ 4
				
	การดูด	การอัด	การระเบิด	การคาย
การเคลื่อนที่ของ ลูกสูบ	ลูกสูบเคลื่อนที่ลง เพื่อดูดอากาศเข้า มาในกระบอกสูบ	ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น เพื่ออัดอากาศ ภายในกระบอกสูบ ให้มีแรงดันสูงจน เกิดการจุดระเบิด	ภายหลังการจุด ระเบิด ลูกสูบ เคลื่อนที่ลงด้วย แรงระเบิด ทำให้ เกิดการเหวี่ยงของ เพลาค้อเหวี่ยง ทำ ให้เครื่องยนต์หมุน	ลูกสูบเคลื่อนขึ้น เพื่อดันไอเสีย หลัง การเผาไหม้ให้ออก จากกระบอกสูบ
ลิ้นไอดี	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด
ลิ้นไอเสีย	ปิด	ปิด	ปิด	เปิด

ในขณะที่เครื่องยนต์ชนิดสองจังหวะนั้น เครื่องยนต์จะหมุนเพียง 1 รอบต่อวัฏจักร (เทียบเท่ากับระยะหมุนในการหมุนของเพลลา 360 องศา) ซึ่งเกิดจากการพัฒนาเครื่องยนต์ให้ในแต่ละขั้นตอน ลูกสูบหมุนเป็นมุม 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2-5 การทำงานเครื่องยนต์ชนิดสองจังหวะ จะใช้ลิ้นแผ่น (Reed valve) ในการปิด-เปิดช่องไอดีในตำแหน่งด้านข้างของลูกสูบ และใช้การเคลื่อนที่ของลูกสูบเพื่อปิด-เปิดให้ไอเสียไหลออกจากกระบอกสูบ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2-6



รูปที่ 2-5 วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ชนิดสองจังหวะ

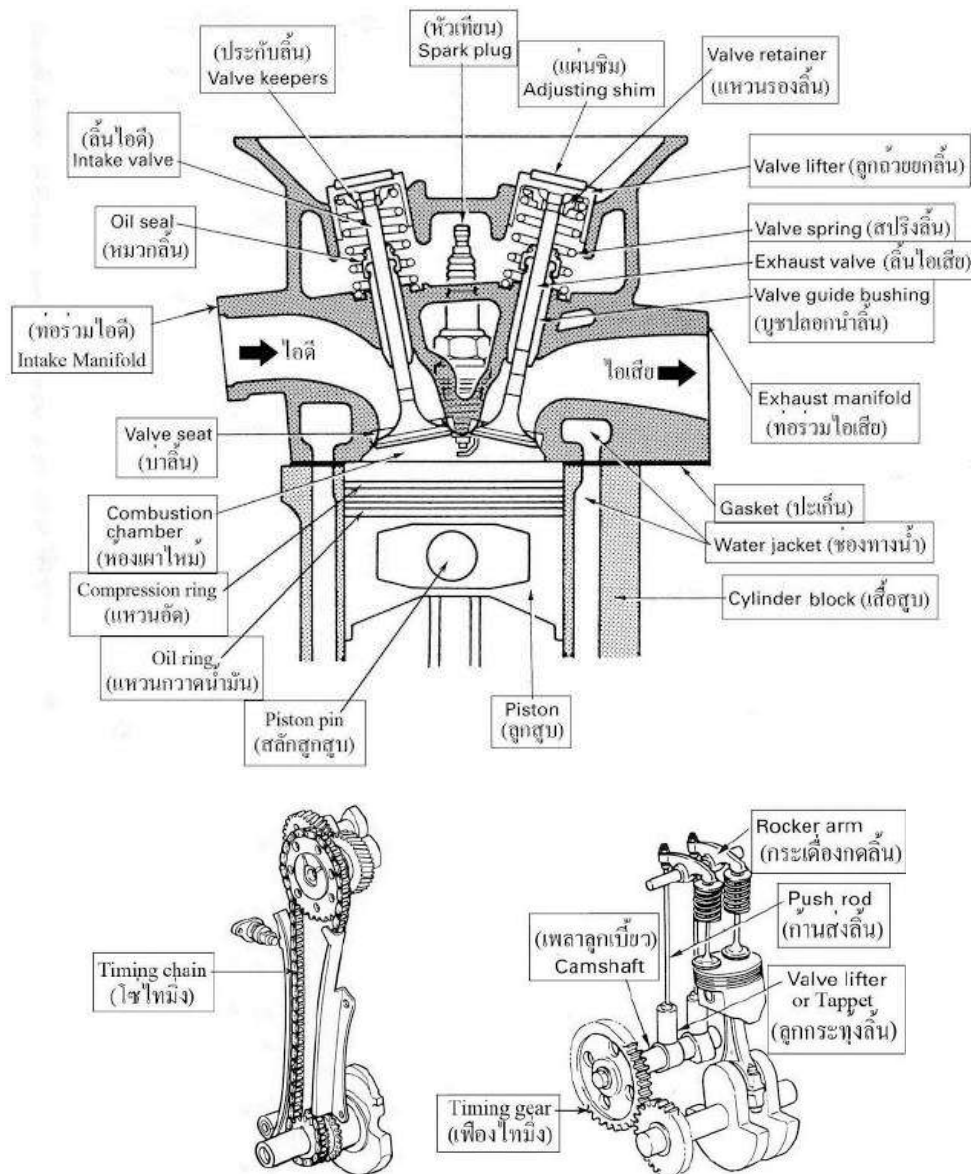
ตารางที่ 2-6 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องยนต์สองจังหวะ

	ขั้นตอนการทำงาน			
	จังหวะที่ 1		จังหวะที่ 2	
พื้นที่ในกระบอกสูบ	 การดูด	 การอัด	 การระเบิด	 การคาย
บริเวณเหนือลูกสูบ	กระบอกสูบปิด ช่องไอดี และช่องไอเสีย	ไอดีถูกเผาไหม้ แก๊สขยายตัว	กระบอกสูบเปิด ช่องไอเสียให้ไอ เสียออก	ช่องบรรจุไอดีเปิด เพื่อดันไอเสียที่ค้าง ออก
บริเวณใต้ลูกสูบ	ลิ้นไอดีเปิดเพื่อ ดูดไอดีเข้า	ลิ้นไอดีปิด ไอดีถูกอัด	เพิ่มแรงดัน	เพิ่มแรงดันสูงขึ้น พร้อมบรรจุไอดี ในวัฏจักรใหม่

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเครื่องยนต์ชนิดสองจังหวะจะมีจุดเด่นในด้านการหมุนที่สม่ำเสมอกว่าเครื่องยนต์ชนิดสี่จังหวะ แต่เมื่อเปรียบเทียบเทคโนโลยีของเครื่องยนต์ชนิดสี่จังหวะในปัจจุบัน จะพบว่าเครื่องยนต์ชนิดสี่จังหวะมีข้อดีด้านกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์กว่าเครื่องยนต์สองจังหวะ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าและปล่อยมลพิษทางไอเสียน้อยกว่า รวมถึงข้อดีด้านต้นทุนที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วน ซึ่งเครื่องยนต์ชนิดสองจังหวะจะมีต้นทุนในการผลิตสูงกว่า เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ความละเอียดประณีตในการผลิตมากกว่า

2.2.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์

ภายในเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์ มีชิ้นส่วนหลักที่มีผลสำคัญต่อการทำงานดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 ส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์

ฝาสูบ โดยส่วนใหญ่ทำจากวัสดุอะลูมิเนียมอัลลอย ที่ผิวด้านนอกมีครีบบนสำหรับระบายความร้อนเช่นเดียวกับเสื้อสูบ โดยถูกออกแบบโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการระบายความร้อนเป็นสำคัญ

ห้องเผาไหม้ มีรูปร่างเป็นแบบครึ่งวงกลม (Squish Dome Type) โดยมีพื้นที่ในการรีดหรืออัดไอดี (Squish Area) ระหว่างฝาสูบกับหัวลูกสูบในช่วงสุดท้ายของจังหวะอัด พื้นที่รีดไอดีจะทำให้ไอดีคลุกเคล้ากันได้ดีมากขึ้น ช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ เกิดกำลังงานเต็มที่ ทำให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะสูงขึ้น

เบาะลิ้น ซึ่งสวมอัดอยู่ที่ช่องไอดีและไอเสีย ถูกออกแบบเพื่อปิดกั้นอากาศจากห้องเผาไหม้ วัสดุที่ใช้ในการผลิตเบาะลิ้นต้องมีสมบัติทนต่อความร้อนจากแก๊สร้อนได้สูง เนื่องจากความเสียหายที่เบาะลิ้นทำให้ลิ้นปิดไม่สนิท จะส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของอากาศ ซึ่งทำให้กำลังอัดหรือแรงขยายตัวแก๊สที่เผาไหม้ลดลง เป็นสาเหตุให้กำลังของเครื่องยนต์และประสิทธิภาพตกลง

ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสีย ทำจากเหล็กผสมผ่านกระบวนการชุบแข็ง เพื่อให้ทนต่อการใช้งานในอุณหภูมิสูง นอกจากนั้นบริเวณผิวของก้านลิ้นและหน้าสัมผัสของลิ้นจะผ่านการชุบผิวด้วยสารเคลือบผิว เพื่อให้ทนต่อแรงกระแทกและความร้อนที่เกิดขึ้น ตัวแปรสำคัญที่เกิดจากลิ้นไอดีและไอเสียที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์คือ ระยะเวลาการเปิด-ปิดของลิ้นทั้งคู่ ซึ่งถูกควบคุมด้วยเพลาลูกเบี้ยว รวมถึงมุมองศาที่ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียเปิดคาบเกี่ยวกัน (Overlap Angle) ซึ่งเป็นลักษณะการทำงานของลิ้นไอดีในจังหวะดูดและลิ้นไอเสียในจังหวะคาย การเปิดคาบเกี่ยวกันของลิ้นทั้งสองเป็นระยะเวลาสั้น ๆ แรงดันอัดจากไอดีส่วนหนึ่งทำให้ไอเสียไหลออกจากกระบอกสูบได้มากขึ้น ในขณะที่ลิ้นไอดีจะเริ่มถูกดูดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ทำให้มีปริมาณไอดีสำหรับการเผาไหม้มากขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้เกิดการอัดและจุดระเบิดได้เร็วและมีประสิทธิภาพสูง และเครื่องยนต์มีสมรรถนะสูงขึ้น

สปริงลิ้น ทำหน้าที่เสริมแรงกดให้ลิ้นต่าง ๆ ปิดสนิท ซึ่งค่าความแข็งของสปริงลิ้นมีผลโดยตรงต่อเครื่องยนต์ เครื่องยนต์บางชนิดมีสปริงลิ้น 2 ตัวต่อ 1 ลิ้น โดยสปริงแต่ละตัวมีความยาวและความแข็งต่างกัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกระพือของลิ้น ที่จะส่งผลให้เกิดการรั่วไหลของอากาศและกำลังเครื่องยนต์ตก

เพลาลูกเบี้ยว โดยทั่วไปต้องผ่านการชุบเคลือบผิวด้วยสารหล่อลื่นพิเศษ (Defric Coating) และในการติดตั้งจะถูกรองรับด้วยลูกปืนที่ตำแหน่งปลายทั้งสองด้าน

กระบอกสูบ ทำจากเหล็กหล่อเกรดสูง เพื่อให้ทนต่อการเสียดสีได้เป็นอย่างดี

ลูกสูบ ทำจากอะลูมิเนียมอัลลอย หัวของลูกสูบถูกออกแบบให้มีพื้นที่รีดอากาศเข้ากับฝาสูบ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ไอดีคลุกเคล้ากันได้ดีในช่วงของจังหวะอัด โดยรูของสลักลูกสูบจะเยื้องจากจุดกึ่งกลางของลูกสูบไปทางลิ้นไอดีประมาณ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อลดเสียงดังของลูกสูบจากการเคลื่อนที่ อีกทั้งเพื่อให้เกิดความสมดุลของการหมุนของเพลาลูกเบี้ยวส่วนบนของลูกสูบ จะมีร่องแหวน 3 ร่อง สำหรับใส่แหวนลูกสูบ 3 ตัว โดยร่องที่ 3 จะถูกเจาะรูไว้โดยรอบ เพื่อให้ น้ำมันหล่อลื่นไหลกลับไปก้นอ่าง เพื่อการถ่ายเทความร้อนออกจากลูกสูบให้มากขึ้น

แหวนลูกสูบ โดยทั่วไป ลูกสูบของเครื่องยนต์จะประกอบด้วยแหวนลูกสูบ 3 ตัวต่อลูกสูบ แบ่งเป็น (1) แหวนอัด (อยู่บน) ทำหน้าที่ต้านความดันที่เกิดจากการเผาไหม้ไอดี และช่วยประคองให้ลูกสูบไม่

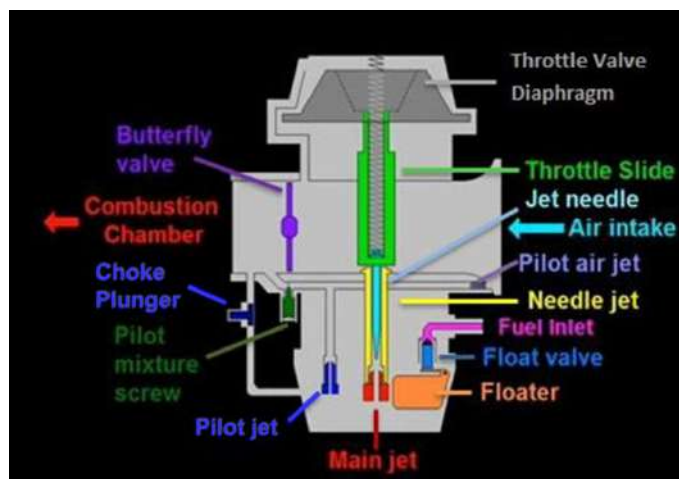
เกิดอาการสะดุดในขณะที่เคลื่อนที่ขึ้นลง (2) แหวนกลาง (อยู่ตรงกลาง) ทำหน้าที่กวาดน้ำมันหล่อลื่นจากผนังกระบอกสูบไม่ให้เข้าไปในห้องเผาไหม้ ซึ่งมีหน้าสัมผัสกระบอกสูบเป็นมุมเอียง (Taper) ทำหน้าที่เป็นซีลป้องกันน้ำมันหล่อลื่นขึ้นไปยังห้องเผาไหม้อีกชั้นหนึ่ง และช่วยถ่ายเทความร้อนไปยังผนังกระบอกสูบเมื่อลูกสูบได้รับความร้อน และ (3) แหวนน้ำมัน (อยู่ล่างสุด) ทำหน้าที่กวาดน้ำมันหล่อลื่นจากผนังกระบอกสูบให้ไหลกลับลงยังอ่างน้ำมันหล่อลื่น

2.2.3 ระบบการจ่ายน้ำมันของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์

เทคโนโลยีของระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์ที่มีใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์ และระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.2.3.1 การทำงานของระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์

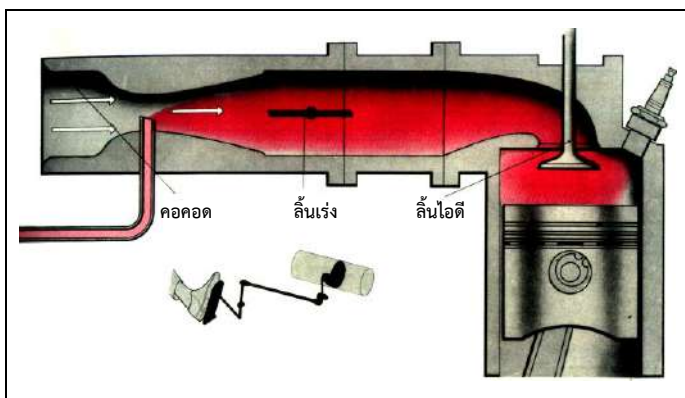
โดยทั่วไป เครื่องยนต์จักรยานยนต์หรือเครื่องยนต์ต้นกำลังเล็ก ๆ มักเป็นเครื่องยนต์สูบเดี่ยวหรือ 2 สูบ ซึ่งข้อเสียหลักของเครื่องยนต์ที่มีจำนวนลูกสูบดังกล่าวคือ ความไม่สม่ำเสมอและราบรื่นของการดูดส่วนผสมไอดี ด้วยเหตุนี้เครื่องยนต์เบนซินที่มีจำนวนลูกสูบหนึ่งหรือสองลูกสูบ จึงถูกออกแบบให้มีท่อดูดไอดีหรือเรียกว่าท่อคอคอดหรือท่อเวนจูรี ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่หรือกว้าง เพื่อลดแรงเสียดทานการไหลของอากาศและแก้ไขปัญหาความไม่ราบรื่นของการหมุนของเพลลาเครื่องยนต์ รูปที่ 2-7 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของคาร์บูเรเตอร์ของรถจักรยานยนต์



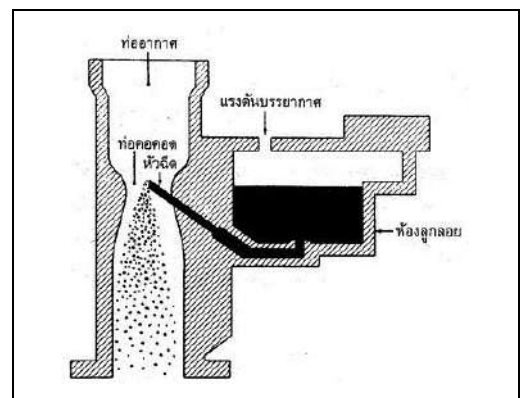
รูปที่ 2-7 ส่วนประกอบของคาร์บูเรเตอร์ในรถจักรยานยนต์⁽⁷⁾

⁽⁷⁾ ที่มา : <http://www.youtube.com/watch?v=wyspAHRMbb8>

ลักษณะภายในและขั้นตอนการทำงานภายในห้องของคาร์บูเรเตอร์ สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2-8 (ก) เมื่อเครื่องยนต์ทำงานลูกสูบจะดูดส่วนผสมของไอดีผ่านคาร์บูเรเตอร์เข้าสู่ห้องเผาไหม้สุญญากาศ เนื่องด้วยลักษณะของท่อเวนจูรีที่มีลักษณะเป็นคอขวด ทำให้ความเร็วของลมในท่อคาร์บูเรเตอร์แตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของแรงดันภายในและภายนอกกระบอกสูบ ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงภายในห้องลูกลอย ถูกดูดผ่านท่อหัวฉีด และเมื่อได้รับแรงดันของอากาศจากภายนอกผ่านกระบอกสูบทำให้กระจายเป็นละออง ดังรูปที่ 2-8 (ข) โดยวงจรเดินเบาและวงจรมหุใหญ่ (Main Jet) เป็นระบบที่ทำหน้าที่ควบคุมให้ส่วนผสมไอดีมีอัตราส่วนตามที่กำหนด โดยคาร์บูเรเตอร์เครื่องจักรยานยนต์มีวงจรถูกเดินเบาอย่างง่าย ๆ ด้วยระบบเข็มมหุ สร้างส่วนผสมไอดีที่เหมาะสมกับแต่ละสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์



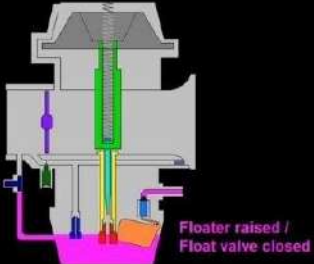
(ก)

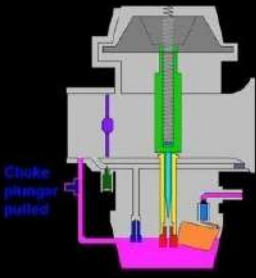
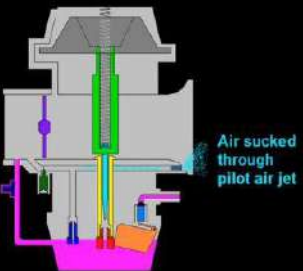
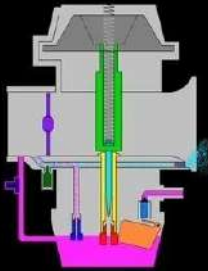
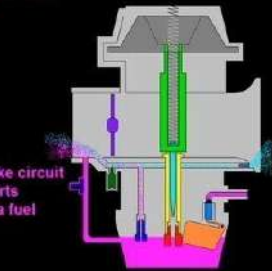
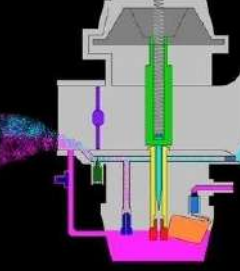


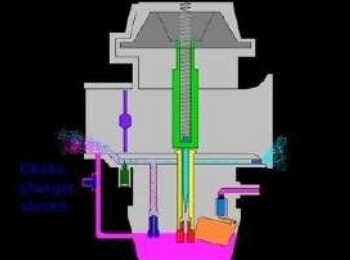
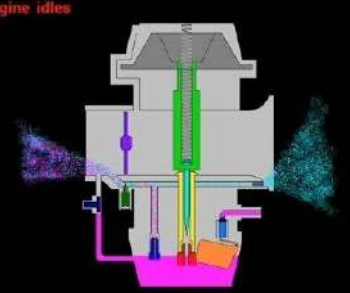
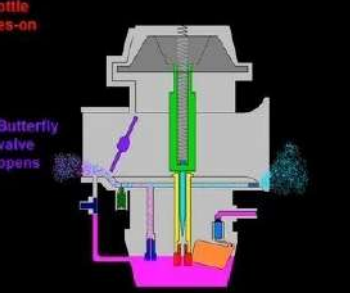
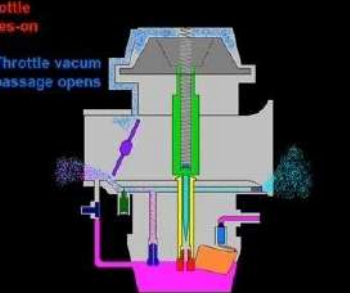
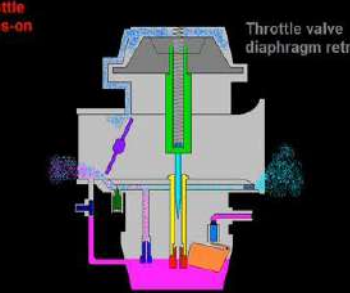
(ข)

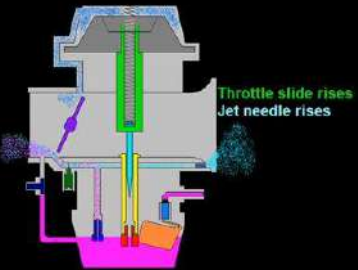
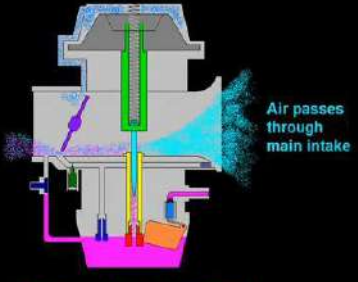
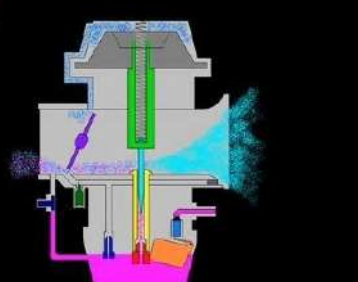
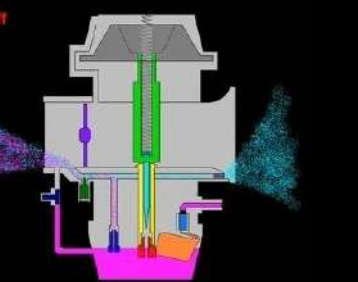
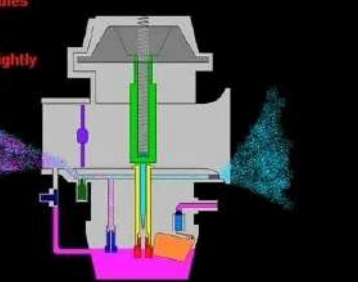
รูปที่ 2-8 ลักษณะภายในและขั้นตอนการทำงานภายในห้องของคาร์บูเรเตอร์ (ก) ลักษณะภายในของคาร์บูเรเตอร์ และ (ข) ลักษณะการกระจายของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นละออง

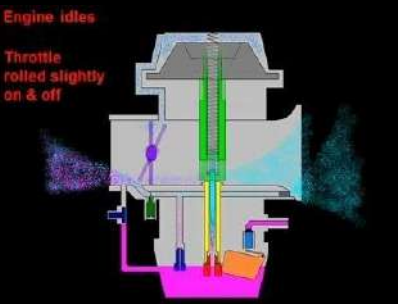
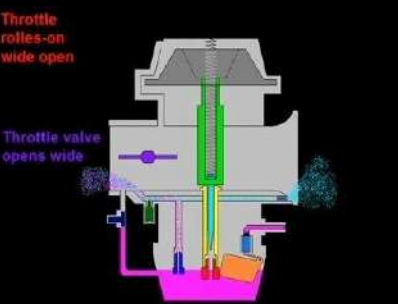
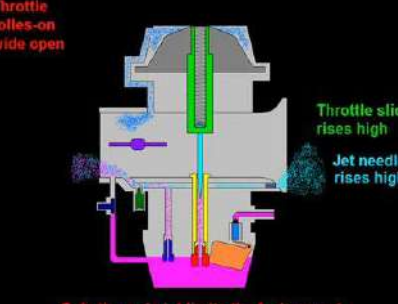
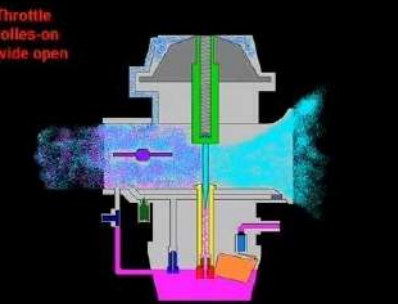
ตารางที่ 2-7 ขั้นตอนการทำงานภายในห้องคาร์บูเรเตอร์

ภาพประกอบ	ขั้นตอนการทำงาน
	<p>1) ขณะเปิดสวิตช์กุญแจ น้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลเข้าห้องลูกลอยของคาร์บูเรเตอร์ เมื่อน้ำมันได้ระดับ เข็มลูกลอยจะถูกลูกลอยดันขึ้นไปปิดทางไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง</p>

ภาพประกอบ	ขั้นตอนการทำงาน
 <p>Choke plunger pulled</p>	<p>2) ขณะดันคั่นโยก (Choke plunger) ของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเชื้อเพลิงจะสามารถไหลผ่านช่องทางเสริมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อช่วยในการติดเครื่องยนต์ขณะเครื่องเย็น</p>
 <p>Engine Start Air sucked through pilot air jet</p>	<p>3) ขณะเหยียบคันสตาร์ท ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลง ทำให้เกิดแรงดูดอากาศเข้ามา ทำให้เกิดสุญญากาศเกิดแรงดูดน้ำมันจากช่องทางน้ำมันหลักดูดเอาน้ำมันเชื้อเพลิงจากห้องลูกลอยผ่านนมหุใหญ่ (Main Jet)</p>
 <p>Engine Start</p>	<p>4) ขณะเดียวกัน ที่ช่องทางเสริมน้ำมันเชื้อเพลิงจะเกิดสุญญากาศขึ้นด้วย ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงจากห้องลูกลอยถูกดูดผ่านนมหุเล็ก (Pilot Air Jet) ซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ</p>
 <p>Engine Start Choke circuit squirts extra fuel</p>	<p>5) นอกจากนี้ ที่ตำแหน่งช่องทางออกของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกเปิด จะเกิดสภาวะสุญญากาศเช่นเดียวกัน ทำให้น้ำมันถูกดูดขึ้นมาจากห้องลูกลอย เป็นการเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงให้หนาขึ้น</p>
	<p>6) น้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกดูดผ่านช่องทางทั้งสามจะมีลักษณะเป็นละอองขนาดเล็ก เมื่อผสมกับอากาศจะกลายเป็นส่วนผสมของไอดีที่ใช้ในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์</p>

ภาพประกอบ	ขั้นตอนการทำงาน
	<p>7) หลังจากที่เครื่องยนต์ติดแล้ว จึงปิดคันโยกน้ำมัน</p>
<p>Engine idles</p> 	<p>8) หลังจากปิดคันโยกน้ำมันเชื้อเพลิงแล้ว เครื่องยนต์ในสภาวะเดินเบา ลิ้นปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) จะเปิดไว้ในลักษณะแคบ (ยังไม่ปิดคันเร่ง)</p>
<p>Throttle rolls-on</p> 	<p>9) เมื่อปิดคันเร่ง ลิ้นปีกผีเสื้อจะถูกเปิดให้กว้างขึ้น ทำให้อากาศไหลผ่านได้มากขึ้น</p>
<p>Throttle rolls-on</p> 	<p>10) เมื่ออากาศไหลผ่านมากขึ้น จะเกิดแรงสุญญากาศมากขึ้นทำให้อากาศที่อยู่เหนือแผ่นไดอะแฟรมถูกดูดออกมา</p>
<p>Throttle rolls-on</p> 	<p>11) ทำให้บริเวณเหนือแผ่นไดอะแฟรม เกิดสุญญากาศดูดแผ่นไดอะแฟรมซึ่งติดอยู่กับลูกเร่งจะยกตัวขึ้น</p>

ภาพประกอบ	ขั้นตอนการทำงาน
<p>Throttle rolls-on</p> 	<p>12) เมื่อลูกเร่งยกตัวสูงขึ้น วาล์วเข็มนมหนูที่ปลายลูกเร่งจะยกตัวตามไปด้วย</p>
<p>Throttle rolls-on</p> 	<p>13) เมื่อลูกเร่งยกถึงระดับที่กำหนดแล้ว จะเกิดช่องว่างระหว่างวาล์วเข็มนมหนูที่มีลักษณะปลายเรียวลง กับช่องจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง</p>
<p>Throttle rolls-on</p> 	<p>14) ละอองน้ำมันเชื้อเพลิงถูกดูดผ่านช่องทางที่เกิดขึ้นนี้เป็นการเพิ่มปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงให้มากขึ้นขณะเร่งเครื่องยนต์</p>
<p>Throttle rolled-off</p> 	<p>15) ในกรณีที่คันเร่งถูกลดระดับหรือปล่อยอิสระ ลิ้นปีกผีเสื้อจะถูกปิดแคบลง ทำให้อากาศไหลผ่านท่อเวนจูรีได้น้อย เกิดแรงดูดสุญญากาศน้อยลง ทำให้แรงดูดบริเวณเหนือแผ่นไดอะแฟรมไม่สามารถเอาชนะแรงดันสปริงดันกลับได้</p>
<p>Engine idles</p> <p>Throttle rolled slightly on & off</p> 	<p>16) ลูกเร่งพร้อมวาล์วเข็มนมหนูจะเคลื่อนที่ลงมาปิดช่องทางน้ำมันเชื้อเพลิง เครื่องยนต์จะเข้าสู่สภาวะเดินเบา</p>

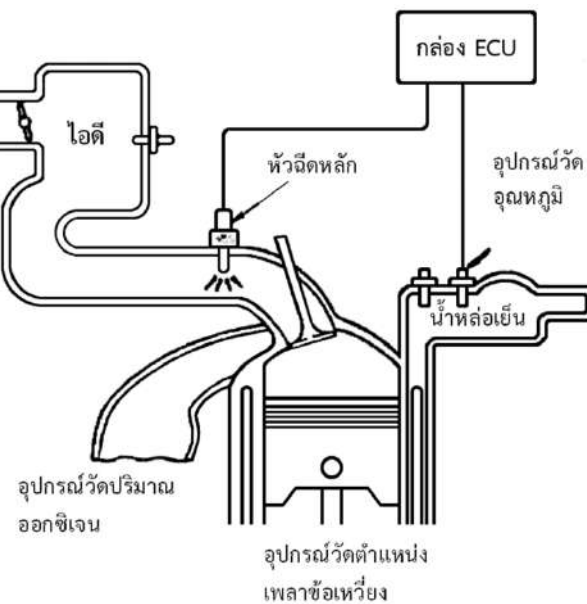
ภาพประกอบ	ขั้นตอนการทำงาน
 <p>Engine idles Throttle rolled slightly on & off</p>	<p>17) แสดงภาพสรุปการเคลื่อนขึ้น-ลง ของลูกเร่งขณะเร่งและเบาคือ (ลิ้นปีกผีเสื้อเปิด-ปิด ตามการเร่ง)</p>
 <p>Throttle rolled on wide open Throttle valve opens wide</p>	<p>18) เมื่อปิดคันเร่งสุด (ลิ้นปีกผีเสื้อเปิดเต็มที่) บริเวณช่องว่างเหนือไดอะแฟรมจะเกิดแรงดูดสุญญากาศเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากอากาศไหลเข้าได้เต็มที่ และรวดเร็ว</p>
 <p>Throttle rolled on wide open Throttle slide rises high Jet needle rises high Only the main jet limits the fuel amount</p>	<p>19) จากการไหลของอากาศเข้านี้ ทำให้เกิดแรงดูดสุญญากาศ ซึ่งจะดูดแผ่นไดอะแฟรม ให้ยกตัวสูงสุด ส่งผลให้ลูกเร่งและวาล์วเข็มนมหนูที่ติดอยู่ในชุดเดียวกันยกตัวขึ้นสูงสุดไปพร้อมกัน</p>
 <p>Throttle rolled on wide open</p>	<p>20) เมื่อวาล์วเข็มนมหนูยกตัวขึ้นสูงสุด ช่องทางน้ำมันเชื้อเพลิงเปิดกว้าง ทำให้อัตราส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศสูงขึ้นด้วย กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์รวมไปถึงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ก็จะสูงขึ้นเช่นกัน</p>

2.2.3.2 การทำงานของระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์

ระบบการจ่ายน้ำมันด้วยหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ได้รับการพัฒนาขึ้นมาแทนที่ระบบคาร์บูเรเตอร์ เพื่อควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นไปอย่างเหมาะสม ประหยัด และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยระบบการทำงานด้วยหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยอุปกรณ์จับสัญญาณและอุปกรณ์ประมวลผลเพื่อควบคุมปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างแม่นยำด้วยกล่อง ECU (Electronic Control Unit) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่

วิเคราะห์คำนวณและส่งคำสั่งเพื่อกำหนดปัจจัยการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมต่อการขับขี่ต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศที่ถูกดูดเข้าบรรจุ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น ตำแหน่งของลิ้นเร่ง ความเข้มข้นของออกซิเจนในท่อไอเสีย เป็นต้น

หลักการทำงานของระบบจ่ายน้ำมันแบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ในรถจักรยานยนต์ แสดงได้ดังรูปที่ 2-9 กล่าวคือ เริ่มจากการปิดสวิทช์กุญแจและติดเครื่องยนต์ น้ำมันเชื้อเพลิงในถังน้ำมัน จะถูกส่งผ่านกรองน้ำมันด้วยปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในถังน้ำมัน ร่วมกับตัวควบคุมแรงดันน้ำมันที่ติดตั้งอยู่บริเวณท่อไอดี ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมภายในระบบให้คงที่อยู่ตลอดเวลาในทุกสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ โดยปริมาณของน้ำมันที่จะถูกส่งออกมา นั้น จะถูกกำหนดจากผลการคำนวณภายในกล่อง ECU ที่ใช้ข้อมูลดิบจากสัญญาณของอุปกรณ์วัดตำแหน่งเพลลาข้อเหวี่ยง อุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจน และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ โดยหลังจากที่กล่อง ECU ได้ทำการคำนวณแล้ว จะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปที่ชุดหัวฉีด เพื่อสั่งให้เข็มหัวฉีดเคลื่อนที่ยกตัวขึ้น จากนั้นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีแรงดันสูง จะถูกฉีดเข้าไปผสมกับอากาศภายในท่อไอดีเพื่อบรรจุเข้ากระบอกสูบ



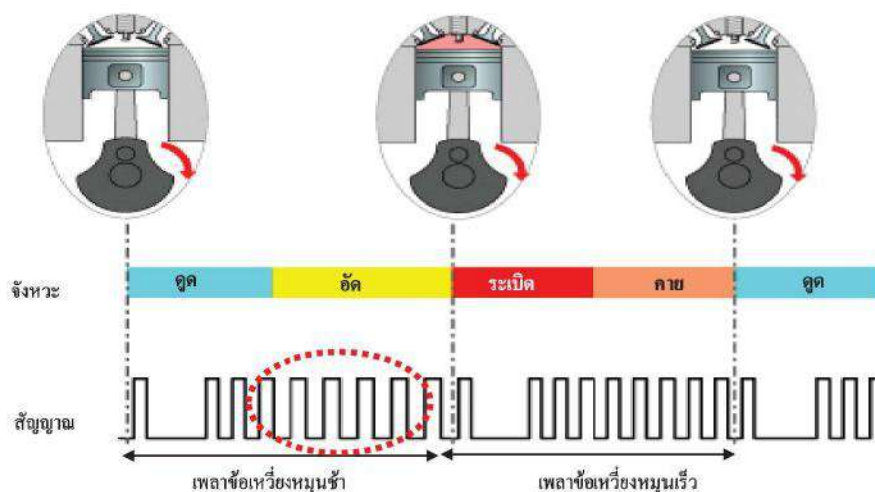
รูปที่ 2-9 หลักการทำงานของระบบหัวฉีด

ในปัจจุบันผู้ผลิตรถจักรยานยนต์แต่ละรายได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการควบคุมปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีด อาทิ หัวฉีดระบบ PGM-FI (Programmed Fuel Injection) ที่ได้รับการพัฒนาโดยบริษัทฮอนด้า หรือ หัวฉีดระบบ YMJET-FI ที่ได้รับการพัฒนาโดยบริษัทยามาฮา ซึ่งโดยหลักการ ระบบดังกล่าวนี้ เป็นระบบที่มีการควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด โดยประมวลผลการเผาไหม้ด้วยข้อมูลปริมาณออกซิเจนที่เหลืออยู่ในไอเสียจากเครื่องยนต์ที่วัดด้วยอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจน (O_2 sensor) ดังที่

แสดงในรูปที่ 2-10 ซึ่งติดตั้งภายในฝาสูบบริเวณปากทางออกไอเสีย สัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจนซึ่งติดตั้งอยู่ที่ฝาสูบบริเวณปากทางออกไอเสียจะถูกส่งเข้ากล่อง ECU เพื่อประมวลผลและสั่งให้หัวฉีดเพิ่มหรือลดปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ในกรณีที่อุปกรณ์วัดไม่พบออกซิเจนในไอเสีย แสดงว่าส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงหนา กล่อง ECU จะส่งสัญญาณไปที่หัวฉีดให้ลดปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้น้อยลง จนกว่าปริมาณออกซิเจนในไอเสียที่วัดได้เหมาะสมต่อเครื่องยนต์ ในทางตรงข้าม หากปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่ามากเกินไปที่เหมาะสมต่อเครื่องยนต์ แสดงถึงส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงบางเกินไป กล่อง ECU จะสั่งเพิ่มปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้สัมพันธ์กับการทำงานของเครื่องยนต์ในขณะนั้น นอกจากนี้ ยังมีอุปกรณ์วัดตำแหน่งเพลาคือเซ็นเซอร์ (Crank Shaft Position Sensor ; CKP Sensor) ที่ใช้ในการวัดความเร็วในการหมุนของเพลาคือเซ็นเซอร์ที่โดยทฤษฎีแล้ว จะมีค่าลดลงในระหว่างกระบวนการอัดและสูงขึ้นในกระบวนการระเบิดและคาย (ดังที่แสดงในรูปที่ 2-11) โดยจากข้อมูลที่วัดได้นี้ กล่อง ECU จะประมวลผลให้มีอัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและกำหนดจังหวะการจุดระเบิดที่เหมาะสมต่อเครื่องยนต์และทันต่อสภาวะการขับขี่ในขณะนั้น



รูปที่ 2-10 อุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจน (O₂ sensor)⁽⁸⁾



รูปที่ 2-11 หลักการทำงานของอุปกรณ์วัดตำแหน่งเพลาคือเซ็นเซอร์ (CKP sensor)⁽⁸⁾

⁽⁸⁾ ที่มา : คู่มือประกอบการอบรมรถจักรยานยนต์ wave 125i บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด

2.3 หลักการทำงานของ FFV conversion kit

ในอดีตที่ผ่านมาถึงปัจจุบัน ผู้ผลิตรถยนต์หลายแห่งทั่วโลกได้ทำการวิจัยพัฒนาเครื่องยนต์เพื่อรองรับการนำเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกชนิดต่าง ๆ เช่น เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอล มาใช้ ซึ่งเรียกรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ประเภทนี้ว่ารถยนต์ประเภท Flexible Fuel Vehicles หรือ FFVs โดยในด้านเทคนิค เครื่องยนต์ของรถประเภท FFVs จะมีระบบตรวจวัดปริมาณเอทานอลในน้ำมันเชื้อเพลิง และส่งข้อมูลไปยังหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) เพื่อควบคุมสัดส่วนของน้ำมันต่ออากาศที่ถูกนำเข้าไปในระบบการเผาไหม้จุดระเบิดให้เหมาะสมกับชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้เต็มสมรรถนะ

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน หลายประเทศทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยยังมีรถยนต์จำนวนมากที่ไม่ได้ผลิตเพื่อรองรับการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีสัดส่วนผสมของเอทานอลในปริมาณเกินกว่า 20% เช่น น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 จึงได้มีการวิจัย พัฒนาและผลิตอุปกรณ์เสริมเรียกว่า “FFV conversion kit” สำหรับติดตั้งเพิ่มเติมในรถยนต์เพื่อให้สามารถรองรับการใช้เชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกชนิดต่าง ๆ ได้ ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2-12

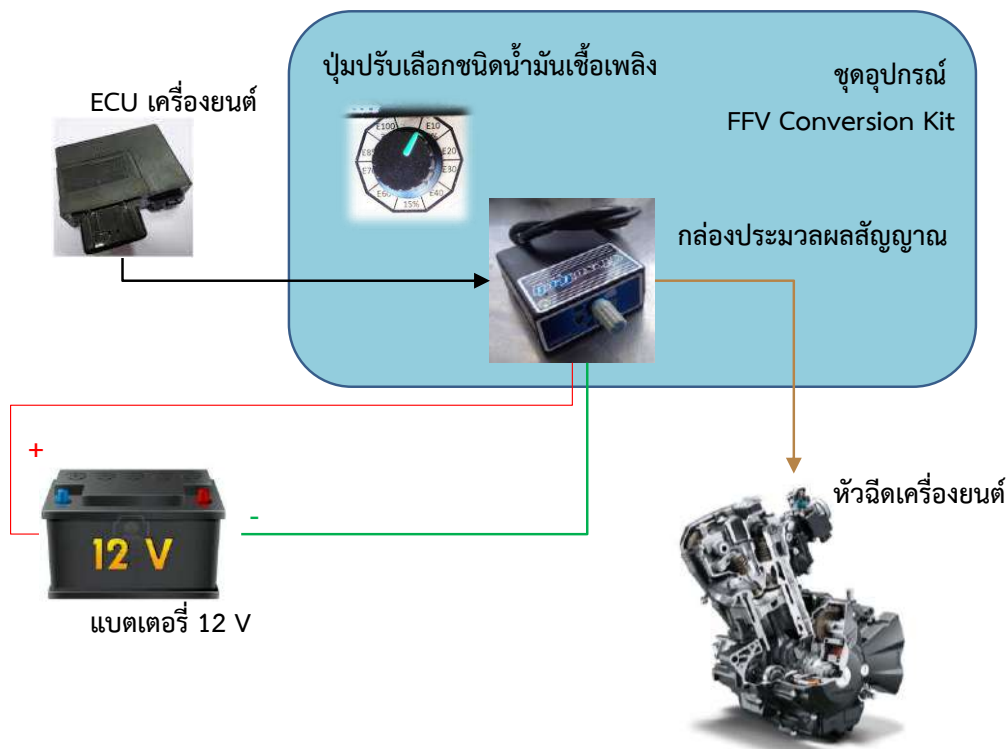


รูปที่ 2-12 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit ของผู้ผลิตต่าง ๆ ⁽⁹⁾

อุปกรณ์เสริม FFV conversion kit ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์หลัก 2 กลุ่ม ได้แก่ ชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และชุดอุปกรณ์ทางกล โดยชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีหน้าที่สื่อสารกับกล่องสมองกลหรือระบบ Electronic Control Unit (ECU) ของเครื่องยนต์ ดังที่แสดงหลักการทำงานในรูปที่ 2-13 โดยชุดอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit จะรับสัญญาณค่าอัตราส่วนของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อปริมาณอากาศเชิง

⁽⁹⁾ ที่มา : รายงานโครงการศึกษาและทดสอบผลกระทบของรถยนต์ที่ใช้อุปกรณ์ FFV Conversion kit กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

เป้าหมายที่ต้องการในการจู่ระเบิดในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จาก ECU หลังจากนั้นทำการประมวลผลและส่งสัญญาณต่อไปยังหัวฉีดเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนดังกล่าว ด้วยการเพิ่มระยะเวลาการเปิดของหัวฉีดให้มีระยะเวลานานขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงและเพิ่มความหนาของส่วนผสมที่จะใช้ในการจู่ระเบิด ให้ได้กำลังหรือพลังงานตามที่ต้องการ โดยออกคำสั่งผ่านคันเร่งของรถยนต์และส่งข้อมูลไปยัง ECU ของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ ต้องทำการปรับเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ทางกลที่มีสมบัติเชิงวัสดุศาสตร์ที่เหมาะสมและมีความทนทานต่อการใช้ใช้น้ำมันชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ชิ้นส่วนของระบบเชื้อเพลิง เช่น ถังน้ำมัน หัวฉีด ท่อน้ำมัน ท่อยางและแหวนยางต่าง ๆ



รูปที่ 2-13 หลักการทำงานของชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในชุด FFV conversion kit

ด้วยจุดประสงค์ของการพัฒนาชุดอุปกรณ์ FFV conversion kit มีขึ้นเพื่อเพิ่มทางเลือกแก่ผู้บริโภคที่ต้องการใช้ยานยนต์คันเดิม และต้องการลดภาระค่าเชื้อเพลิงในชีวิตประจำวันได้บางส่วน ปัจจุบันในประเทศไทย ได้มีผู้ให้ความสนใจนำรถยนต์ไปติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว รวมถึงรถจักรยานยนต์ ซึ่งถือว่าเป็นยานพาหนะที่มีการใช้เป็นจำนวนมากในประเทศ การศึกษาผลกระทบในด้านต่าง ๆ ในการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวร่วมกับการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 จึงมีความสำคัญ และเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้

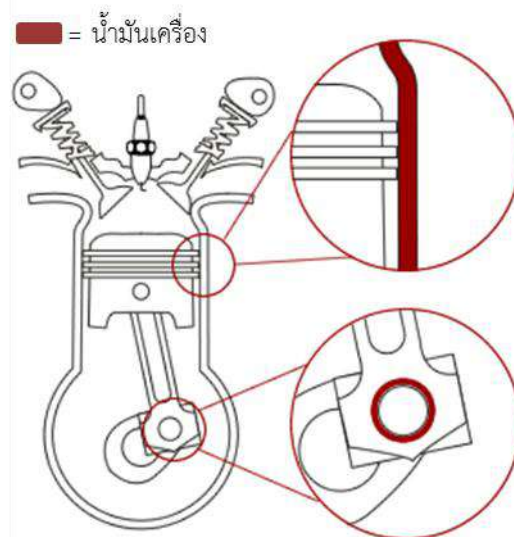
2.4 น้ำมันเครื่อง

2.4.1 หน้าที่ของน้ำมันเครื่อง

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่าน้ำมันเครื่องนั้น มีบทบาทสำคัญในการช่วยให้เครื่องยนต์ทำงานได้ตามประสิทธิภาพที่ควรจะเป็น โดยน้ำมันเครื่องจะถูกกักเก็บไว้ในอ่างน้ำมันเครื่องซึ่งอยู่ใต้เครื่องยนต์ และจะถูกปั๊มดูดเพื่อส่งไปหล่อลื่นชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถสรุปหน้าที่ของน้ำมันเครื่องได้ดังต่อไปนี้

2.4.1.1 การหล่อลื่นเครื่องยนต์

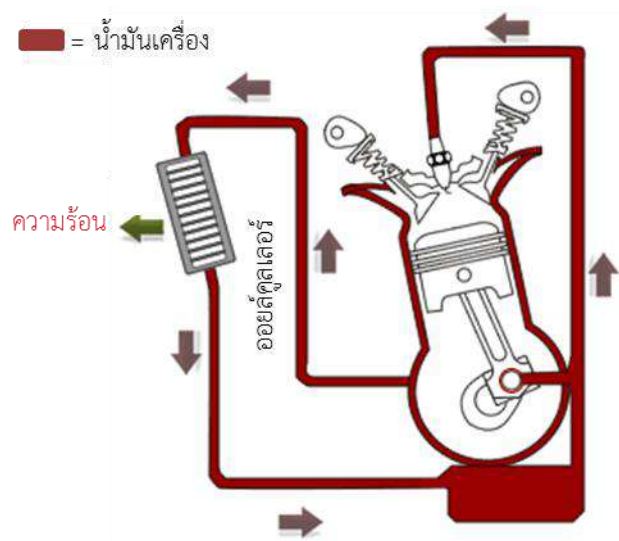
เครื่องยนต์ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่ผลิตจากวัสดุโลหะและอะลูมิเนียม โดยมีข้อเหวี่ยงทำหน้าที่ดันลูกสูบและกระบอกสูบให้เคลื่อนที่ขึ้นลง จึงเกิดการเสียดสีกันระหว่างชิ้นส่วนโลหะภายในด้วยความเร็วสูงอยู่ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงาน นอกจากนี้ ยังเกิดความร้อนจากการเสียดสีกันระหว่างชิ้นส่วนภายใน ซึ่งอาจเกิดรอยเสียดสีภายในเครื่องยนต์ในระดับที่ทำให้เครื่องยนต์ไม่สามารถทำงานต่อไปได้ ดังนั้น การหล่อลื่นเครื่องยนต์จึงเป็นหน้าที่หลักของน้ำมันเครื่อง กล่าวคือ น้ำมันเครื่องจะทำหน้าที่เคลือบชิ้นส่วนโลหะภายในเครื่องยนต์ โดยมีลักษณะเป็นฟิล์มเคลือบอยู่บนผิวโลหะเพื่อช่วยลดการเสียดสีกันโดยตรงระหว่างชิ้นส่วนโลหะ ซึ่งความหนาของฟิล์มที่เคลือบนั้นขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำมันเครื่อง



รูปที่ 2-14 การหล่อลื่นเครื่องยนต์

2.4.1.2 การระบายความร้อนของเครื่องยนต์

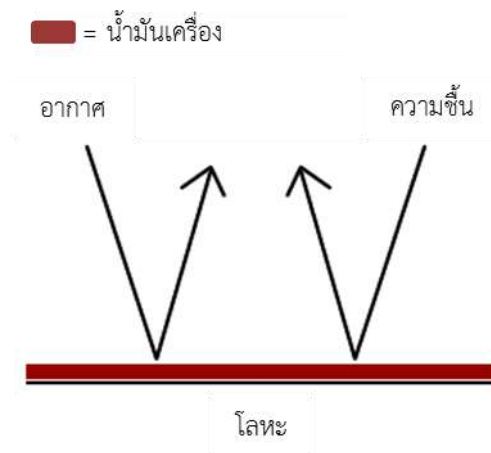
ในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงานจะเกิดความร้อนขึ้นบริเวณรอบ ๆ ฝาสูบ กระบอกสูบ ลูกสูบ ข้อเหวี่ยง และชิ้นส่วนภายในต่าง ๆ ป้อน้ำมันเครื่องจะส่งน้ำมันเครื่องไปหล่อลื่นชิ้นส่วนต่าง ๆ และไหลกลับมายังอ่างน้ำมันเครื่อง ซึ่งจะนำเอาความร้อนที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนต่าง ๆ มาด้วย ถือเป็นกระบวนการระบายความร้อนให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์อีกทางหนึ่ง นอกจากการระบายความร้อนด้วยอากาศด้วยครีบบที่ล้อมรอบกระบอกสูบ ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของน้ำมันเครื่องในระดับสูงจึงเป็นสิ่งสำคัญ อย่างไรก็ตาม เมื่อน้ำมันเครื่องได้รับความร้อนจะเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้น ดังนั้น ในรถจักรยานยนต์ประสิทธิภาพสูงจึงควรติดตั้งออยล์คูลเลอร์เพื่อช่วยหล่อเย็นน้ำมันเครื่องอีกทางหนึ่ง



รูปที่ 2-15 การระบายความร้อนของเครื่องยนต์

2.4.1.3 การป้องกันสนิมและการกัดกร่อนชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์

กระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์จะทำให้เกิดความร้อนและไอน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมกับชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ สนิมที่เกิดขึ้นจะหลุดออกจากผิวของชิ้นส่วนโลหะและก่อให้เกิดการสึกกร่อนกับชิ้นส่วนโลหะ น้ำมันเครื่องจึงต้องมีหน้าที่ในการกั้นน้ำและน้ำมันให้แยกออกจากกันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสนิมขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะปกป้องผิวของชิ้นส่วนโลหะด้วยฟิล์มของน้ำมันในเชิงทฤษฎีแล้ว แต่ในทางปฏิบัติยังสามารถเกิดสนิมกับชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ได้ กล่าวคือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงสามารถก่อให้เกิดกรดกำมะถัน ซึ่งสามารถกัดกร่อนชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ให้สึกหรอ ดังนั้น น้ำมันเครื่องจึงต้องมีหน้าที่ในการทำให้ไอน้ำและกรดกำมะถันเจือจางลงเพื่อช่วยป้องกันสนิมและการกัดกร่อนชิ้นส่วนโลหะภายในเครื่องยนต์



รูปที่ 2-16 การป้องกันสนิมของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์

2.4.1.4 การป้องกันการรั่วของกำลังอัดเครื่องยนต์

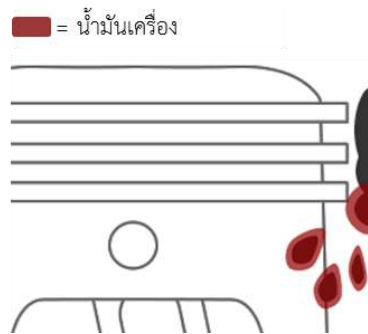
ลูกสูบจะทำหน้าที่รับแรงดันซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ และแรงดังกล่าวจะทำหน้าที่ผลักข้อเหวี่ยงให้หมุนเพื่อถ่ายทอดเป็นแรงขับเคลื่อนต่อไป อนึ่ง ระหว่างลูกสูบและกระบอกสูบจะมีช่องว่างเล็กๆ ซึ่งแหวนลูกสูบจะทำหน้าที่อุดช่องว่างนั้นเพื่อไม่ให้เกิดที่ไค้จากการเผาไหม้รั่วออกไป สำหรับน้ำมันเครื่องที่อยู่ในรูปของฟิล์มจะทำหน้าที่เคลือบผนังกระบอกสูบ เพื่อป้องกันการลดลงของกำลังอัดภายในกระบอกสูบที่สามารถรั่วผ่านระหว่างแหวนลูกสูบและกระบอกสูบลงสู่ห้องแคร็งค์ (ที่ว่างบริเวณเพลาค้อเหวี่ยง) ของเครื่องยนต์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปิดภายในห้องเผาไหม้ ช่วยให้พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ถ่ายทอดไปยังลูกสูบได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น



รูปที่ 2-17 การป้องกันการรั่วของกำลังอัดเครื่องยนต์

2.4.1.5 การทำความสะอาดชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์

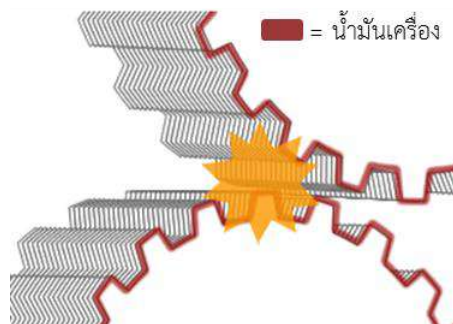
แม้ว่ากระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์จะสะอาดเพียงใดก็ตาม อาจเกิดโคลน (Sludge) ซึ่งเป็นตะกอนจากการเผาไหม้สะสมอยู่ที่กระบอกสูบ ฝาสูบ และชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ได้นอกจากนั้น ในน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินจะมีสภาพความเป็นยาง ซึ่งจะเกาะติดอยู่ภายในเครื่องยนต์ ซึ่งสภาพความเป็นยางดังกล่าวจะเป็นสารที่มีลักษณะเหนียวเหนอะหนะเกิดขึ้นได้เองหลังจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซิน ซึ่งอาจทำให้เกิดการอุดตันภายในชิ้นส่วนเครื่องยนต์ได้ ดังนั้น น้ำมันเครื่องต้องมีหน้าที่ในการชะล้างโคลนหรือสภาพความเป็นยางภายในเครื่องยนต์ เพื่อให้เครื่องยนต์มีความสะอาด



รูปที่ 2-18 การทำความสะอาดชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์

2.4.1.6 การหล่อลื่นชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์

การเสียดสีระหว่างชิ้นส่วนโลหะรวมถึงหน้าสัมผัสในทิศทางการเคลื่อนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์ เช่น การเสียดสีกันของฟันเกียร์ที่ความเร็วรอบสูง เป็นต้น ซึ่งน้ำมันเครื่องที่ดีจะต้องแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างฟันเกียร์เพื่อช่วยลดความแรงในการกระแทกและปกป้องผิวของฟันเกียร์ อนึ่ง फिल्मหล่อลื่นของน้ำมันเครื่องจะต้องไม่เกิดการแตกตัวเมื่อได้รับแรงกระแทกอันเป็นคุณสมบัติเด่นอีกประการหนึ่งที่เป็นที่ต้องการของน้ำมันเครื่อง



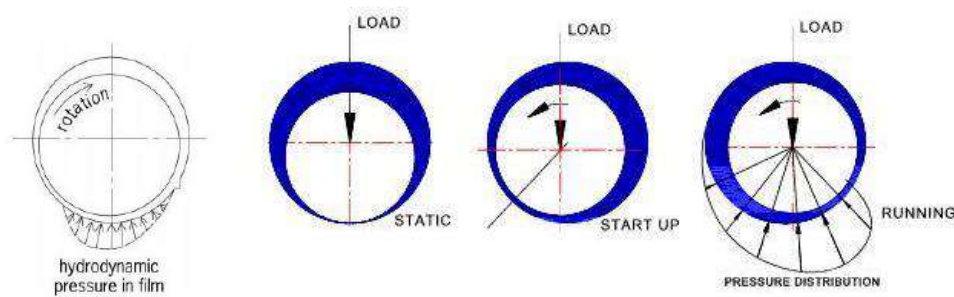
รูปที่ 2-19 การหล่อลื่นชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์

2.4.2 फिल्मหล่อลื่นของน้ำมันเครื่อง

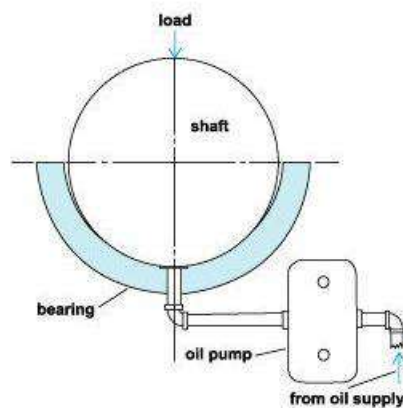
ฟิล์มหล่อลื่นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ แบบ Full Film แบบ Elastohydrodynamic และแบบ Boundary Layer Film

2.4.2.1 แบบ Full Film

เป็นลักษณะของฟิล์มในอุดมคติของการหล่อลื่น กล่าวคือ ชั้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่จะไม่เกิดการสัมผัสกับชั้นส่วนที่อยู่กับที่เลยในทุกกรณี เนื่องจากมีชั้นฟิล์มหล่อลื่นแทรกตัวอยู่ระหว่างพื้นผิวสัมผัสระหว่างชั้นส่วนทั้งสอง แบ่งได้ 2 ชนิด คือ Hydrodynamic Full Film และ Hydrostatic Full Film



รูปที่ 2-20 ลักษณะการก่อตัวของฟิล์มน้ำมันแบบ Hydrodynamic Full Film ⁽¹⁰⁾



รูปที่ 2-21 ลักษณะการก่อตัวของฟิล์มน้ำมันแบบ Hydrostatic Full Film ⁽¹⁰⁾

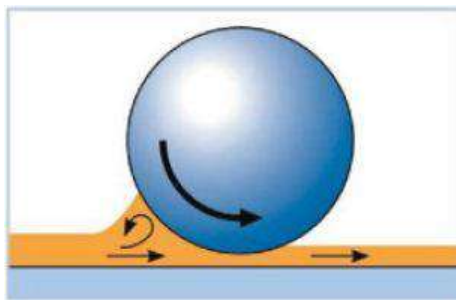
⁽¹⁰⁾ ที่มา : <http://www.brighthubengineering.com/>

การก่อตัวของฟิล์มหล่อลื่นแบบ Hydrodynamic Full Film จะมีลักษณะดังรูปที่ 2-20 ฟิล์มที่มีแรงดันก่อตัวขึ้นจากการเคลื่อนตัวของส่วนเคลื่อนที่กวาดสารหล่อลื่นผ่านเข้าไประหว่างส่วนเคลื่อนที่ และส่วนอยู่กับที่ ยิ่งเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนตัว ผิวสัมผัสของส่วนที่เคลื่อนที่จะถูกแรงดันของฟิล์มน้ำมันยกตัว แยกออกจากผิวของส่วนอยู่กับที่ ในขณะที่ การก่อตัวของฟิล์มน้ำมันแบบ Hydrostatic Full Film จะมีลักษณะดังรูปที่ 2-21 โดยฟิล์มก่อตัวขึ้นจากแรงดันจากภายนอกที่ดันให้น้ำมันเครื่องยก และรองรับน้ำหนักที่กดไว้ น้ำมันหล่อลื่นที่ถูกปั๊มด้วยแรงดันที่พอเหมาะ จะแยกผิวแบร์ริงออกจากกัน

กล่าวโดยสรุปคือ ลักษณะการก่อตัวของฟิล์มทั้งสองแบบ ผิวสัมผัสที่เคลื่อนที่จะถูกยกตัวและลอยอยู่ด้วยแรงดันของน้ำมัน โดยแบบ Hydrodynamic Full Film จะเป็นการเพิ่มแรงดันด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ ส่วนแบบ Hydrostatic Full Film จะอาศัยแรงดันน้ำมันที่ได้จากปั๊มภายนอก

2.4.2.2 แบบ Elastohydrodynamic

จากรูปที่ 2-22 การก่อตัวของฟิล์มแบบ Elastohydrodynamic โดยได้รับความดันที่เกิดจากน้ำหนักที่กดลงบนส่วนที่เคลื่อนที่ และหมุนตัวไปบนพื้นผิวที่อยู่กับที่ น้ำมันเครื่องจะแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างผิวหน้าสัมผัสทั้งสองซึ่งเป็นการเพิ่มความดันให้กับผิวของน้ำมันเครื่อง น้ำมันจะถูกรีดตัวออกมาจากระหว่างผิวทั้งสอง ภายใต้อัตราความดันสูงนี้เอง น้ำมันหล่อลื่นจะถูกรีดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ถ้าน้ำหนักที่กดลงมายังคงเพิ่มไปตลอด จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นถูกรีดให้ชั้นของฟิล์มน้ำมันบางลงกว่าเดิม และส่งผลให้ผิวของชิ้นส่วนทั้งสองสัมผัสกัน เป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอขึ้น ดังนั้นจึงควรเลือกน้ำมันเครื่องที่มีความหนืดเหมาะสมกับการใช้งาน

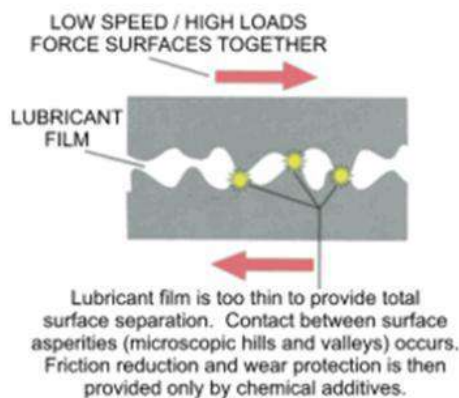


รูปที่ 2-22 ลักษณะของฟิล์มหล่อลื่นแบบ Elastohydrodynamic ⁽¹¹⁾

⁽¹¹⁾ ที่มา : <http://www.brighthubengineering.com/>

2.4.2.3 แบบ Boundary Layer Film

ลักษณะฟิล์มแบบ Boundary Layer Film จะเกิดขึ้นโดยการส่งน้ำมันเครื่องเข้าไปแทรกตัวระหว่างผิวของชิ้นส่วนทั้งสองในจำนวนที่พอเหมาะที่จะทำให้จุดสูงสุดของผิวสัมผัสของชิ้นส่วนทั้งสองเกิดการแยกตัวโดยน้ำมันเครื่องเท่านั้น ลักษณะของฟิล์มแบบนี้เกิดจากการให้ปริมาณน้ำมันเครื่องน้อยหรือไม่เพียงพอและให้แรงกดที่พอดีกับความสามารถของน้ำมันหล่อลื่นในการสร้างชั้นฟิล์มตามขนาดความสูงของจุดสูงสุดของผิวสัมผัสระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง



รูปที่ 2-23 ลักษณะการก่อตัวของชั้นฟิล์มหล่อลื่นแบบ Boundary

2.4.3 ประเภทของน้ำมันเครื่องสำหรับรถจักรยานยนต์

น้ำมันเครื่องสำหรับรถจักรยานยนต์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำมันเครื่องสำหรับรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ และน้ำมันเครื่องสำหรับรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ โดยสามารถจำแนกตามกระบวนการผลิตน้ำมันเครื่องออกได้เป็น 3 ประเภทดังต่อไปนี้คือ น้ำมันเครื่องชนิดน้ำมันแร่ น้ำมันเครื่องชนิดกึ่งสังเคราะห์ และน้ำมันเครื่องชนิดสังเคราะห์ ซึ่งปกติแล้วน้ำมันเครื่องทุกประเภทจะประกอบขึ้นจากส่วนผสมของ “น้ำมันพื้นฐาน” และ “สารเพิ่มคุณภาพ” กล่าวคือ

น้ำมันพื้นฐาน (Base Oil) + สารเพิ่มคุณภาพ (Additives) = น้ำมันเครื่อง (Engine Oil)

2.4.3.1 น้ำมันพื้นฐาน (Base Oil)

น้ำมันพื้นฐาน (Base Oil) ที่นำมาใช้ผลิตน้ำมันเครื่องนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มด้วยกัน คือ

กลุ่มที่ 1 - น้ำมันพื้นฐานชนิดน้ำมันแร่ (Mineral Oil)

กลุ่มที่ 2 - น้ำมันพื้นฐานซึ่งได้จากการนำน้ำมันแร่ทั่วไปมาผ่านกระบวนการปรับปรุงให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นกว่าน้ำมันพื้นฐานกลุ่มที่ 1

กลุ่มที่ 3 - น้ำมันพื้นฐานชนิดใหม่ หรือในชื่อภาษาอังกฤษว่า Unconventional Base Oil (UCBO) ซึ่งได้จากการนำน้ำมันแร่ทั่วไปมาผ่านกระบวนการปรับปรุงให้พิเศษขึ้นจนมีคุณสมบัติเทียบเคียงกับน้ำมันสังเคราะห์ แต่มีราคาต้นทุนที่ต่ำกว่าน้ำมันสังเคราะห์มาก ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตน้ำมันเครื่องส่วนใหญ่จึงใช้น้ำมันพื้นฐานกลุ่มที่ 3 ผลิตน้ำมันเครื่องสังเคราะห์เพื่อจำหน่ายในท้องตลาด และสามารถใช้คำว่า Synthetic ในฉลากได้ ถึงแม้จะไม่ได้ผลิตจากน้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์ Group 4 หรือ 5 ที่เป็นสารจำพวกโพลีอัลฟาโอเลฟิน (Polyalphaolefin – PAO) หรือเอสเทอร์ (Ester Base)

กลุ่มที่ 4 - น้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์ (Fully Synthetic) ผลิตมาจากสารสังเคราะห์ล้วน ส่วนใหญ่จะเป็นพวกโพลีอัลฟาโอเลฟิน (Polyalphaolefin – PAO) กล่าวคือ ผลิตขึ้นมาจากสารสังเคราะห์ 100% ให้การหล่อลื่นและปกป้องเครื่องยนต์ได้ดีกว่า และคงสภาพได้นานกว่า

กลุ่มที่ 5 - น้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์ (Fully Synthetic) ผลิตมาจากสารสังเคราะห์ล้วนเช่นกัน ส่วนใหญ่จะเป็นเอสเทอร์ (Ester) ซึ่งให้การหล่อลื่นมากและอายุการใช้งานสูง แต่มีราคาต้นทุนที่สูงกว่าน้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์กลุ่มที่ 4 ค่อนข้างมาก

ดังที่ได้อธิบายมาแล้วทั้งหมด น้ำมันพื้นฐานตั้งแต่กลุ่มที่ 1 ถึงกลุ่มที่ 3 ผลิตขึ้นจากน้ำมันดิบหรือน้ำมันแร่ (Mineral Oil) และน้ำมันพื้นฐานกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5 เป็นน้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์ ดังนั้น น้ำมันพื้นฐานกลุ่มที่ 4 จึงมีความคุ้มค่าที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำมันเครื่องสังเคราะห์สำหรับยานยนต์ เนื่องจากให้การปกป้องการหล่อลื่นที่ดีและได้อายุการใช้งานที่สูง ในราคาต้นทุนที่ไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ 5

2.4.3.2 สารเพิ่มคุณภาพ (Additives)

เครื่องยนต์ในปัจจุบันได้รับการออกแบบให้มีขนาดเล็กลง ทำงานเร็วขึ้นและภาระน้ำมันที่สูงขึ้น น้ำมันเครื่องที่ใช้ในเครื่องยนต์ดังกล่าวต้องประสบกับสภาวะด้านอุณหภูมิ ความเค้น และภาระน้ำหนักสูง น้ำมันเครื่องพื้นฐานเพียงอย่างเดียวมีคุณภาพที่ไม่เพียงพอในการทำหน้าที่ต่างๆ ได้ครบถ้วนโดยมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ดังนั้น จึงต้องมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทั้งด้านเคมีและกายภาพของน้ำมันเครื่องให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการ สารเพิ่มคุณภาพมีอยู่มากมายหลายชนิด ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 ตัวอย่างสารเพิ่มคุณภาพน้ำมันเครื่อง

สารเพิ่มคุณภาพ	หน้าที่
(1) สารชะล้างเขม่า (Detergents)	ทำความสะอาดภายในเครื่องยนต์ โดยการชะล้างสิ่งสกปรก คราบตะกอน เขม่าต่างๆ ออกจากชิ้นส่วนของเครื่องยนต์
(2) สารละลาย-ย่อยเขม่า (Dispersants)	ย่อยหรือละลายสิ่งสกปรก คราบตะกอน และเขม่าให้เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ละลายผสมอยู่กับน้ำมันเครื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกเล็กๆ เหล่านี้ตกตะกอนเพื่อรอการถ่ายทิ้ง
(3) สารป้องกันการกัดกร่อน (Anti-Corrosives Agents)	ป้องกันการกัดกร่อนของกรดกำมะถัน ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของกำมะถันที่มีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง
(4) สารป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Anti-Oxidants)	ป้องกันไม่ให้น้ำมันแปรสภาพเป็นยางเหนียวหรือเป็นโคลนเมื่อเครื่องยนต์ร้อนจัด
(5) สารป้องกันการสึกหรอ (Anti-Wear Agents)	ลดการสึกหรอของชิ้นส่วน และช่วยป้องกันไม่ให้โลหะละลายติดกัน เมื่อชิ้นส่วนขาดการหล่อลื่นชั่วขณะ
(6) สารรับแรงกดสูง (Extreme Pressure)	เพิ่มความแข็งแรงให้กับฟิล์มน้ำมัน และเพิ่มความสามารถในการรับภาระน้ำหนัก
(7) สารป้องกันสนิม (Rust Inhibitor)	ป้องกันสนิมและชิ้นส่วนต่างๆ ที่ผลิตจากเหล็กในขณะที่เครื่องยนต์ไม่ได้ทำงาน หรือขณะเก็บรักษาเพื่อรอการใช้งานต่อไป
(8) สารป้องกันการเกิดฟอง (Form Inhibitor)	ป้องกันไม่ให้น้ำมันเกิดฟองในขณะที่ใช้งาน
(9) สารปรับปรุงค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index Improver)	รักษาความหนืดให้คงที่เสมอแม้ในอุณหภูมิสูง
(10) สารที่ทำให้น้ำมันรวมตัวกับน้ำมัน (Emulsifier)	ช่วยให้น้ำมันรวมตัวกับน้ำมันได้ เพื่อให้ของเหลวสามารถทำหน้าที่หล่อลื่นได้โดยไม่ทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์เสียหาย
(11) สารลดจุดไหลเทของน้ำมัน (Pour Point Dispersant)	ช่วยให้น้ำมันมีจุดไหลเทที่อุณหภูมิต่ำลงไปกว่าเดิมอีก ใช้ผสมกับน้ำมันเครื่องที่ใช้ในบริเวณที่อุณหภูมิต่ำมาก ไม่ทำให้น้ำมันแข็งตัว
(12) สารลดแรงเสียดทาน (Friction Modifier)	ลดแรงเสียดทานโดยเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ ความฝืดของผิวชิ้นส่วนที่สัมผัสกับน้ำมันเครื่อง
(13) สารช่วยให้เกาะติดดี (Tackiness Agent)	เพิ่มคุณสมบัติการเกาะติดผิวของน้ำมัน

2.4.3.3 การจำแนกประเภทน้ำมันเครื่อง (Engine Oil)

น้ำมันเครื่องมักจะถูกผลิตขึ้นตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งต้องพิจารณาถึงหน้าที่หรือการทำงานของน้ำมันเครื่อง และสถานะต่างๆ ที่น้ำมันเครื่องนั้นต้องประสบในขณะที่ทำการหล่อลื่น จากนั้นจึงกำหนดคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องที่ต้องการ แล้วทำการเลือกน้ำมันเครื่องพื้นฐาน ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มคุณภาพที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการ น้ำมันเครื่องแต่ละชนิดจึงใช้น้ำมันพื้นฐาน ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มคุณภาพที่ต่างกัน

(1) น้ำมันเครื่องชนิดน้ำมันแร่ (Mineral Engine Oil)

น้ำมันเครื่องชนิดนี้ถูกกลั่นขึ้นจากน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นน้ำมันพื้นฐานที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่เนื่องจากมวลโมเลกุลของน้ำมันมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ โครงสร้างทางเคมีจึงพังทลายลงได้ง่าย น้ำมันแร่ได้จากการเอาส่วนที่อยู่กันหอกันในสถานะบรรยากาศมาผ่านกระบวนการกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อทำการแยกน้ำมันเครื่องชนิดใสและชนิดข้นออกมา ส่วนที่เหลือซึ่งเป็นกากจะถูกนำไปผลิตเป็นยางมะตอย ชนิดและปริมาณของน้ำมันแร่ที่แยกออกมาได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบที่นำมากลั่น น้ำมันแร่ที่ได้จากการกลั่นแยกภายใต้สภาวะสุญญากาศนี้มีคุณภาพที่ไม่ดีพอที่จะนำมาใช้ผลิตน้ำมันเครื่อง ซึ่งต้องผ่านกระบวนการต่างๆ ในการจัดสารที่ไม่ต้องการออกเพื่อให้ความเสถียรเชิงเคมีและเชิงความร้อน น้ำมันแร่ที่นำมาใช้ผลิตเป็นน้ำมันเครื่องแบ่งตามดัชนีความหนืด ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงความหนืดตามอุณหภูมิ ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่มีดัชนีความหนืดสูง กลาง และต่ำ น้ำมันแร่ที่มีดัชนีความหนืดสูงได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบประเภทแนฟทาติก (Naphthenic)

(2) น้ำมันเครื่องชนิดกึ่งสังเคราะห์ (Semi-Synthetic Engine Oil)

น้ำมันเครื่องชนิดนี้เกิดจากการผสมน้ำมันเครื่องชนิดสังเคราะห์ หรือน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการเติมไฮโดรเจนประมาณ 20%~30% ลงในน้ำมันแร่ ทำให้ได้น้ำมันเครื่องที่มีความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์สูงสุด แต่คุณสมบัติในการทนความร้อนยังไม่สามารถเทียบเท่ากับน้ำมันเครื่องชนิดสังเคราะห์

(3) น้ำมันเครื่องชนิดสังเคราะห์ (Synthetic Engine Oil)

น้ำมันเครื่องชนิดนี้ผลิตขึ้นจากการย่อยสลายทางเคมีน้ำมันแร่และเติมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อให้มีคุณสมบัติในการทำความสะอาดและรักษาเครื่องยนต์ ส่วนผสมทางเคมีและมวลโมเลกุลของน้ำมันเครื่องชนิดนี้มีความเสถียรที่สุดเพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่อย่างไรก็ตาม น้ำมันเครื่องชนิดนี้มีต้นทุนในการผลิตสูงที่สุดในจำนวนน้ำมันเครื่องที่ได้กล่าวมา

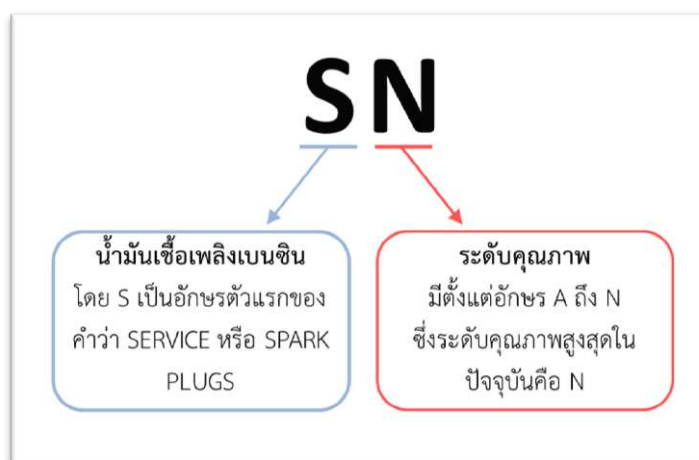
ในอดีต น้ำมันพื้นฐานสังเคราะห์ที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำมันเครื่องสังเคราะห์ ได้แก่ โพลีอัลฟาโอเลฟิน โดยบริษัทผู้ผลิตจะแสดงคำว่า “PAO” ในฉลากของน้ำมันเครื่องมาโดยตลอด แต่ในปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันพื้นฐานชนิดใหม่ ที่เรียกว่า Unconventional Base Oil (UCBO) ซึ่งได้จากการนำน้ำมันแร่ทั่วไปมาผ่านกระบวนการสังเคราะห์พิเศษให้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับ PAO มาใช้แทน โดยมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับ PAO ในด้านความทนต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนสูง ความสิ้นเปลืองหล่อลื่นน้อยเนื่องจากอัตราการระเหยต่ำ การเกิดคราบสกปรก เขม่า และโคลนในเครื่องยนต์ต่ำ และแม้ว่า PAO จะมีความบริสุทธิ์ดีกว่า แต่ถ้าเปรียบเทียบใน

ด้านการใช้งานแล้ว เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปทั้งเชิงวิชาการและการตลาดว่า น้ำมันพื้นฐานชนิดใหม่ี่สามารถใช้ในการผลิตน้ำมันเครื่องได้เทียบเท่ากับ PAO เช่นกัน และผู้ผลิตสามารถที่จะแสดงฉลากเป็นน้ำมันสังเคราะห์ได้ และสำหรับน้ำมันกึ่งสังเคราะห์ในปัจจุบันก็ได้มีการเปลี่ยนมาใช้น้ำมันพื้นฐานชนิดใหม่ี่แทน PAO โดยผสมในสัดส่วนที่เท่ากันคือ 10 - 30% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการพัฒนาสูตรการผลิตของแต่ละบริษัทด้วย น้ำมันสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน มักจะใช้ส่วนผสมของสารดังต่อไปนี้ในการผลิต

- โพลีอัลฟาโอเลฟิน (Polyalphaolefins - PAO) ซึ่งมีดัชนีความหนืดสูงมาก มีจุดไหลเทต่ำมาก มีการระเหยต่ำ และมีความต้านทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- เอสเทอร์ (Esters) ทั้งพวกไดเอสเทอร์ (Diester) และคอมเพล็กซ์เอสเทอร์ (Complex Ester) ใช้เป็นน้ำมันพื้นฐานในงานที่ต้องประสกับสภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก
- โพลีไกลคอล (Polyglycols) มีจุดเดือดสูงและจุดไหลเทต่ำ ใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูง
- ซิลิโคน (Silicone) ใช้ในงานอุณหภูมิสูง
- ฮาโลจีเนตไฮโดรคาร์บอน (Halogenated Hydrocarbon) เช่น คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbons) มีความเสถียรทางเคมีและความร้อนที่ดีมาก
- โพลีฟีนีเอเทอร์ (Polypheny Ethers) มีความเสถียรทางความร้อนสูง มีความต้านทานต่อรังสีนิวเคลียร์ สามารถใช้ในงานที่อุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียส

2.4.4 มาตรฐานของน้ำมันเครื่องสำหรับรถจักรยานยนต์

2.4.4.1 มาตรฐานของน้ำมันเครื่องจำแนกตามคุณภาพ



รูปที่ 2-24 ตัวอย่างสัญลักษณ์น้ำมันเครื่องที่จำแนกตามคุณภาพ

การกำหนดมาตรฐานของน้ำมันเครื่องจำแนกตามคุณภาพนั้น สามารถแบ่งโดยอ้างอิงสถาบันวิจัยระดับโลกได้หลายสถาบัน เช่น American Petroleum Institute (API) European Automobile Manufacturer's Association (ACEA) ที่เกิดจากการรวมตัวของสมาคมผู้ผลิตรถยนต์ในตลาดร่วมยุโรป (เดิมเรียก CCMC) และ Japanese Automotive Standards Organization (JASO) ที่เกิดจากการรวมตัวของสถาบันกลุ่มผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น ในอดีต API เคยมีบทบาทมากและเป็นสถาบันที่กลุ่มผู้ผลิตรถยนต์ทั่วโลกยอมรับ แต่ในปัจจุบัน กลุ่มประเทศยุโรปและญี่ปุ่นเองได้มีการพัฒนามาตรฐานน้ำมันเครื่องขึ้นมาเป็นของตนเองเช่นกัน

การแบ่งระดับน้ำมันเครื่องตามคุณภาพของ API แบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ ได้แก่ (1) น้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง ใช้สัญลักษณ์ "SX" โดยที่ S มาจาก Service Stations Classifications บ่งชี้ถึงเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง และ X มีค่าตั้งแต่อักษร A ถึง N บ่งชี้ถึงระดับคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น ในปัจจุบัน N เป็นระดับคุณภาพสูงสุด และ (2) น้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ใช้สัญลักษณ์ "CX" โดยที่ C มาจาก Commercial Classifications บ่งชี้ถึงเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และ X มีค่าตั้งแต่อักษร A ถึง G

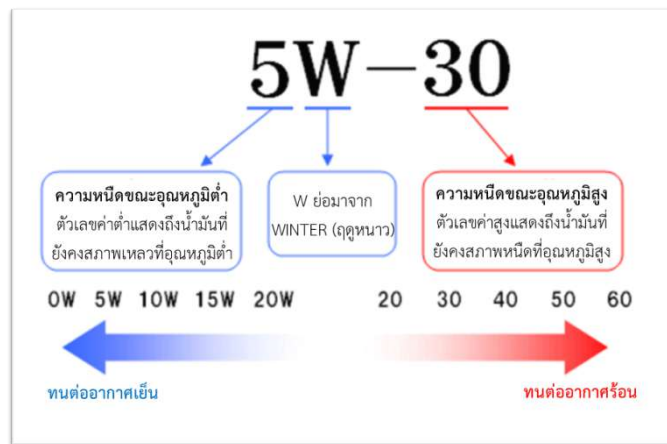
ในที่นี้จะกล่าวถึงมาตรฐานน้ำมันเครื่องที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงเท่านั้น ซึ่งมีรายละเอียดแสดงได้ดังตารางที่ 2-9

ตารางที่ 2-9 มาตรฐาน API ของน้ำมันเครื่องที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
SA	สำหรับการใช้งานเบา ไม่มีสารเพิ่มคุณภาพ
SB	สำหรับการใช้งานเบา มีสารเพิ่มคุณภาพเล็กน้อยและสารป้องกันการกัดกร่อน ซึ่งไม่แนะนำให้ใช้ในเครื่องยนต์รุ่นใหม่
SC	สำหรับเครื่องยนต์เบนซินที่ผลิตระหว่างปี ค.ศ. 1964-1967 โดยมีคุณภาพสูงกว่ามาตรฐาน SB เล็กน้อย เช่น มีสารควบคุมการเกิดคราบเขม่า
SD	สำหรับเครื่องยนต์เบนซินที่ผลิตระหว่างปี ค.ศ. 1968-1971 โดยมีสารคุณภาพสูงกว่า SC และมีสารเพิ่มคุณภาพมากกว่า SC
SE	สำหรับเครื่องยนต์เบนซินที่ผลิตระหว่างปี ค.ศ. 1971-1979 มีสารเพิ่มคุณภาพเพื่อเพิ่มสมรรถนะการใช้งานที่สูงกว่า SD และ SC และยังสามารถใช้แทน SD และ SC ได้ดีกว่า
SF	สำหรับเครื่องยนต์เบนซินที่ผลิตระหว่างปี ค.ศ. 1980-1988 มีคุณสมบัติในป้องกันการเสื่อมสภาพสามารถทนต่อความร้อนสูงกว่า SE และยังมีสารชำระล้างคราบเขม่าที่ดีขึ้น

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
SG	เริ่มประกาศใช้เมื่อปี ค.ศ. 1988 มีคุณสมบัติเพิ่มขึ้นกว่ามาตรฐาน SF โดยเฉพาะสารป้องกันการสึกหรอ สารป้องกันการกัดกร่อน สารป้องกันสนิม สารป้องกันการเสื่อมสภาพ เนื่องจากความร้อน และสารชะล้าง-ละลาย และย่อยเขม่าที่ดีขึ้น
SH	เริ่มประกาศใช้เมื่อปี ค.ศ. 1994 เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ได้มีการพัฒนาเครื่องยนต์อย่างรวดเร็วมีระบบใหม่ ๆ ในเครื่องยนต์ที่ถูกคิดค้นนำเข้ามาใช้ เช่น ระบบแคมคู่ (Twin Cam) ระบบหัวฉีด (Fuel Injector) ระบบมัลติวาล์ว (Multi-Valve) ระบบวาล์วแปรผัน (Variable Valve Timing) และมีการติดตั้งระบบแปรสภาพไอเสีย (Catalytic Converter)
SJ	เริ่มประกาศใช้เมื่อปี ค.ศ. 1997 มีคุณสมบัติทั่วไปคล้ายกับมาตรฐาน SH แต่จะช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดีกว่า มีค่าการระเหยตัว (Lower Volatility) ที่ต่ำกว่า ทำให้ลดอัตราการสูญหายของน้ำมันหล่อลื่นลงและมีค่าฟอสฟอรัส (Phosphorous) ที่ต่ำกว่า ซึ่งช่วยให้เครื่องกรองไอเสียใช้งานได้นานขึ้น
SL	เริ่มประกาศใช้เมื่อปี ค.ศ. 2001 เหมาะสำหรับรถยนต์รุ่นใหม่ซึ่งเน้นเรื่องการประหยัดเชื้อเพลิง ช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ ลดมลภาวะจากเขม่า ไอเสีย ตลอดจนปริมาณก๊าซเสียต่างๆ จากกระบวนการเผาไหม้ และเพิ่มระยะเวลาเปลี่ยนถ่ายมากขึ้น การระเหยตัวต่ำภายใต้สภาพการใช้งานในสภาพเครื่องยนต์ร้อนจัด
SM	เริ่มประกาศใช้เมื่อปี ค.ศ. 2004 มีคุณสมบัติทั่วไปคล้ายกับมาตรฐาน SL แต่เพิ่มคุณสมบัติต้านทานการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพิ่มความสามารถในการทนต่อความร้อน และแรงเสียดทานที่มากขึ้น เพิ่มความสามารถในการปกป้องเครื่องยนต์ขณะอุณหภูมิต่ำ ตลอดจนอายุของน้ำมันหล่อลื่น
SN	เป็นระดับคุณภาพสูงสุดในปัจจุบัน เริ่มประกาศใช้เมื่อ ค.ศ. 2010 เพิ่มคุณสมบัติในการหล่อลื่น ปกป้องลูกสูบ โดยเฉพาะในอุณหภูมิสูง เพิ่มการต้านทานการเกิดโคลน (Sludge) จากการใช้ น้ำมันหล่อลื่นอย่างยาวนาน เพิ่มการปกป้องสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบอัดอากาศ ลดการเกิดมลภาวะ และสำคัญที่สุดคือ เพิ่มการปกป้องเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอล (Ethanol) หรือแก๊สโซฮอลล์ (Gasohol)

2.4.4.2 มาตรฐานของน้ำมันเครื่องจำแนกตามความหนืด



รูปที่ 2-25 ตัวอย่างสัญลักษณ์น้ำมันเครื่องชนิดเกรดรวม

การจำแนกประเภทของน้ำมันเครื่องตามความหนืดเป็นที่คุ้นเคยและใช้กันมานาน อีกทั้งยังเป็นมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงของอีกหลายสถาบันที่ก่อตั้งขึ้นภายหลังอีกด้วย โดยสมาคมวิศวกรยานยนต์ (Society of Automotive Engineers : SAE) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐาน SAE ที่ใช้การแบ่งระดับคุณภาพของน้ำมันเครื่องออกเป็นตัวเลขสำหรับช่วงอุณหภูมิสูงและช่วงอุณหภูมิต่ำแยกกัน เรียกว่า **"น้ำมันเครื่องชนิดเกรดเดี่ยว (Single Viscosity หรือ Single Grade)"** กล่าวคือ สำหรับช่วงอุณหภูมิสูงกำหนดตัวเลข เช่น 30 40 และ 50 ซึ่งตัวเลขแต่ละชุดแสดงถึงค่าความหนืดของน้ำมัน โดยน้ำมันเครื่องที่มีค่าตัวเลขต่ำกว่าจะมีลักษณะใสกว่าน้ำมันเครื่องที่มีค่าตัวเลขสูง อนึ่ง ค่าตัวเลขที่กำหนดได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หมายความว่าที่อุณหภูมิทำการทดสอบ น้ำมันเครื่องที่มีค่าตัวเลข 50 จะมีความหนืดมากกว่าน้ำมันเครื่องที่มีค่าตัวเลข 30 เป็นต้น

สำหรับน้ำมันเครื่องที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในที่ช่วงอุณหภูมิต่ำ เช่นในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวเย็นมาก ด้านหลังตัวเลขที่กำหนดของช่วงอุณหภูมิต่ำจะมีตัวอักษร "W" ต่อท้าย ซึ่งย่อมาจากคำว่า Winter โดยค่าตัวเลขที่กำหนดได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำมันเครื่องที่มีค่าตัวเลขต่ำกว่าจะมีลักษณะเหลวกว่า เช่น น้ำมันเครื่อง 5W จะมีลักษณะเหลวกว่าน้ำมันเครื่อง 15W เป็นต้น นอกจากนี้ตัวเลขที่กำหนดยังแสดงถึงความสามารถในการคงความเหลวในอุณหภูมิต่ำอีกด้วย เช่น น้ำมันเครื่อง 0W สามารถคงความเหลวได้ถึงประมาณ -30 องศาเซลเซียส และน้ำมันเครื่อง 20W สามารถคงความเหลวได้ถึงอุณหภูมิประมาณ -10 องศาเซลเซียส เป็นต้น

สำหรับ **"น้ำมันเครื่องชนิดเกรดรวม (Multi Viscosity หรือ Multi Grade)"** นั้น มาตรฐาน SAE ไม่ได้ระบุไว้ แต่เกิดจากการที่ผู้ผลิตทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมสารเคมีจนสามารถทำให้น้ำมันเครื่องนั้น ๆ มีมาตรฐานเทียบเท่ากับมาตรฐาน SAE ทั้งสำหรับช่วงอุณหภูมิสูงและช่วงอุณหภูมิต่ำ และ

สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายตามสภาพภูมิประเทศที่มีอุณหภูมิต่างกันมาก การเติมสารเติมแต่งคุณภาพนั้นมีความแตกต่างกันออกไปตามความต้องการใช้งาน เช่น น้ำมันเครื่อง 5W-40 หรือ 15W-50 เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม การจำแนกประเภทของน้ำมันเครื่องตามความหนืดที่ระบุเป็นหมายเลขเช่นนี้สามารถระบุได้แค่ช่วงความหนืดเท่านั้น แต่ไม่สามารถระบุได้ถึงระดับการใช้งานของเครื่องยนต์แต่ละประเภท ดังนั้น ในช่วงประมาณปี ค.ศ. 1970 ทาง SAE API และ ASTM (American Society for Testing and Materials) จึงได้ร่วมมือกันกำหนดการจำแนกน้ำมันเครื่องตามสภาพการทำงานของเครื่องยนต์เพื่อให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีเครื่องยนต์ที่พัฒนาสูงขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากฉลากข้างบรรจุภัณฑ์ เช่น การระบุมาตรฐานในการใช้งาน API SJ/CF และค่าความหนืด SAE 20W-50 ควบคู่กันไปด้วย แสดงว่า น้ำมันเครื่องชนิดนี้สามารถใช้กับเครื่องยนต์เบนซินเทียบเท่าเกรด SJ และถ้าใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลจะเทียบเท่าเกรด CF ที่ค่าความหนืด SAE 20W-50 เป็นต้น

2.4.5 การเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง

น้ำมันเครื่องแต่ละชนิดได้ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อให้มีคุณสมบัติและคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับงานหล่อลื่นแต่ละประเภท โดยการนำเอาน้ำมันพื้นฐานที่มีความหนืดพอเหมาะมาปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มคุณภาพให้มีคุณสมบัติพิเศษตามความต้องการ เช่น คุณสมบัติในการชะล้างป้องกันฟองหรือการรับแรงกด เป็นต้น เมื่อน้ำมันเครื่องถูกนำมาใช้งาน คุณสมบัติและคุณภาพของน้ำมันเครื่องจะสูญเสียและเสื่อมสภาพลงไปเรื่อย ๆ จนในที่สุดไม่อยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานอีกต่อไป ลักษณะการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ การเสื่อมสภาพของตัวเนื่อน้ำมันที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพไป และการเสื่อมสภาพจากสิ่งสกปรกหรือสารอื่นจากภายนอกเข้าไปปะปน

2.4.5.1 การเสื่อมสภาพของตัวเนื่อน้ำมันที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิใช้งานสูงขึ้น ผลก็คือน้ำมันจะเปลี่ยนสภาพและแปรสภาพเป็นกรดขึ้น รวมทั้งความหนืดของน้ำมันเครื่องที่มักสูงขึ้นด้วย ถ้าหากน้ำมันเครื่องมีสภาพความเป็นกรดสูงมากๆ จะทำให้เนื่อน้ำมันเสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น ผลลัพธ์ของปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดยางเหนียวเกาะอยู่ตามร่องรู ทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่นและในที่สุดอาจเกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนโลหะภายในเครื่องยนต์ได้ ดังนั้น จึงต้องมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพลงในน้ำมันเครื่องเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเมื่อสารเพิ่มคุณภาพดังกล่าวถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพลง น้ำมันเครื่องอาจทำปฏิกิริยากับอากาศได้ที่อุณหภูมิสูง

2.4.5.2 สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพไป

สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันเครื่องมีอยู่มากมายหลายชนิด สารเหล่านั้นช่วยให้ น้ำมันเครื่องมีคุณสมบัติสูงขึ้นและเหมาะสมในสภาพการใช้งานมากขึ้น แต่สารเหล่านั้นอาจถูกใช้หมดไปได้โดยการเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารอื่นที่ไม่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติอีกต่อไป ทำให้น้ำมันเครื่องอยู่ในสภาพไม่ดีพอที่จะทำงานได้ดีอีก

2.4.5.3 สารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกจากภายนอกเข้าไปปะปน

สารอินทรีย์จากภายนอก เช่น น้ำ ฝุ่นผง เหมม่า และอื่น ๆ เมื่อเข้าไปปะปนกับน้ำมันเครื่องแล้วอาจทำให้น้ำมันเครื่องเสื่อมคุณภาพลงได้ เช่น เมื่อน้ำเข้าไปปะปนและถูกตีปั่นกับน้ำมันเครื่องด้วยแล้ว จะทำให้น้ำมันเครื่องมีลักษณะขุ่นขาว เพราะมีอนุภาคของน้ำแทรกอยู่ทั่วไปในเนื่อน้ำมัน ซึ่งทำให้ความหนืดเปลี่ยนไปและไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานอีกต่อไป ถ้าฝุ่นผงและเหมม่า โดยเฉพาะเศษโลหะปะปนอยู่ในน้ำมันเครื่องเป็นจำนวนมากแล้ว อาจไปขัดสีกับผิวของชิ้นส่วนโลหะภายในเครื่องยนต์ ก่อให้เกิดรอยขีดข่วนและการสึกหรอขึ้นได้ ทั้งยังทำให้ความหนืดของน้ำมันเครื่องสูงขึ้นด้วย หรือในกรณีที่น้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปปะปนกับน้ำมันเครื่อง จะทำให้น้ำมันเครื่องมีความหนืดลดลง ไม่เหมาะสมกับการใช้งานอีกต่อไป เป็นต้น ดังนั้น จึงควรระวังมิให้สารภายนอกเข้าไปปะปนกับน้ำมันเครื่อง และไม่ควรผสมน้ำมันเครื่องต่างชนิดกันเข้าด้วยกัน เพราะอาจทำให้คุณภาพของน้ำมันเครื่องเสื่อมลง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การคัดเลือกรถจักรยานยนต์เข้าร่วมโครงการ

ในการคัดเลือกรถจักรยานยนต์เข้าร่วมโครงการนั้น ใช้เกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

(ก) คัดเลือกเฉพาะรถจักรยานยนต์ระบบหัวฉีดเท่านั้น เนื่องจากต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit จำนวน 15 คัน ตามข้อจำกัดทางด้านเทคนิคของรถ

(ข) ให้ความสำคัญเป็นอันดับหนึ่งแก่อาสาสมัครผู้ใช้งานรถจักรยานยนต์ในการปฏิบัติงานในชีวิตประจำวัน หรือที่มีการขับขี่ด้วยระยะทางต่อวันค่อนข้างสูง เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการทดสอบและเก็บข้อมูล ซึ่งต้องมีระยะทางขับขี่จริง ไม่น้อยกว่า 10,000 กิโลเมตร หรือระยะเวลาขับขี่ไม่น้อยกว่า 6 เดือน

(ค) เป็นรถจักรยานยนต์รุ่นที่นิยมใช้โดยทั่วไป เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่สามารถตอบโจทย์ผู้ใช้รถจักรยานยนต์ส่วนใหญ่ของประเทศ

ในขั้นตอนที่ปรึกษา ร่วมกับบริษัท จีระเทค 2012 จำกัด ทำการคัดเลือกรถจักรยานยนต์ทั้งสิ้น 18 คัน โดยแบ่งเป็นผู้ทดสอบรถจักรยานยนต์ ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit สำหรับเชื้อเพลิงชนิด E85 จำนวน 15 ราย และผู้ทดสอบรถจักรยานยนต์ที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit สำหรับเชื้อเพลิงชนิด E10 จำนวน 3 ราย โดยกำหนดให้เป็นรถจักรยานยนต์ยี่ห้อและเครื่องยนต์รุ่นเดียวกัน มีอายุและลักษณะการใช้งานใกล้เคียงกันเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะและความทนทานเชิงเปรียบเทียบ จำนวน 3 คู่ ประกอบด้วย รถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 จำนวน 3 คัน และรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E10 จำนวน 3 คัน ทั้งนี้ กำหนดให้รถทุกคันใช้น้ำมันเครื่องสูตรสังเคราะห์ชนิดเดียวกัน ซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมหนึ่งที่ใช้ตลอดระยะเวลาโครงการ

เจ้าของรถจักรยานยนต์ที่เข้าร่วมโครงการ จะได้รับการอบรมให้ความรู้พร้อมคู่มือในการปฏิบัติตัวตลอดระยะเวลาที่เข้าร่วมโครงการ เพื่อรับทราบขั้นตอนการทดสอบและข้อพึงปฏิบัติจากที่ปรึกษาโครงการ ตัวอย่างรายชื่อของอาสาสมัครได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 3-1

แบบบันทึกข้อมูลอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการทดลองใช้ E85 ในรถจักรยานยนต์ระบบหัวฉีด หลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV Conversion-kit

ลำดับที่	ข้อมูลเจ้าของรถ		ข้อมูลรถจักรยานยนต์			ข้อมูลการใช้น้ำมัน							
	ชื่อ-สกุล	อาชีพ	ชื่อ/รุ่น	ปีเกิด	ซีซี	อัตราการใช้เฉลี่ย		ชนิดน้ำมันที่ใช้					
						(ลิตร/กม.)	(ลิตร/ชั่วโมง)	Benzin 95	Gasohol 91	Gasohol 95	E 20	E 85	
1	นาย ต้าทิน เพ็ชรนิล	รับจ้าง	Honda Click	2011	125	3	21	(พ.จ.ร. 633)				086-09973-49	
2	ท. วิชัย ชัยวัฒน์	รับจ้าง	Honda Click	2011	110	3.5	14.5	(พ.จ.ร. 593)				087-58825-29	
3	ท. ชัยระ เจริญชัย	รับจ้าง	Honda Wave	2011	110	3.5	14.5	(พ.จ.ร. 733)				087-3270972	
4	ท. วีระชัย ชัยวัฒน์	รับจ้าง	Honda Wave	2011	125	2	14	(พ.จ.ร. 633)				088-3009197	
5	ท. อมก. ดาใจ	รับจ้าง	Honda Wave		125			(พ.จ.ร. 380)	7.			088-6398944	
6	ท. อ.ท.ม. ลีมา/อง	พ.จ.ร. 2.รับจ้าง	Honda Wave		125			(พ.จ.ร. 848)	7.			085-4479637	
7	ท. วีระ ลีทาสินสี	รับจ้าง	Honda Click		125			(พ.จ.ร. 334)	7.			084-2037291	
8	ท. สมาน มีสิง	รับจ้าง	Honda Click		110			(พ.จ.ร. 754)	7.			089-8254537	
9	ท. วิกรม หอม ทนทกน	รับจ้าง	Honda Click		110				7.			085-2183924	
10	ท. พงษ์ศักดิ์ นันท์	รับจ้าง	Honda Click		110			ท.จ.ร.	7.			089-0422203	
11	ท. วิชัย พานมัจฉ	รับจ้าง	Honda Wave	2012	125	3	21						✓
12	ท. วิชัย อิมรชัย	รับจ้าง	Honda Scoopy	2011	110	1.5	10.5						✓
13	ท. นเรศ จันอ้อม	รับจ้าง	Honda Wave	2012	110	2	14						✓
14	ท. วิมลยศ รัตนา	พ.จ.ร. 2.รับจ้าง	Honda Wave	2012	110	2.5	17.5						✓
15	ท. วิมลยศ รัตนา	รับจ้าง	Honda Wave		110			(พ.จ.ร. 855)	7.			0870043067	

รูปที่ 3-1 ตัวอย่างรายชื่อและข้อมูลของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการ

3.2 การออกแบบการทดสอบ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล และคู่มือการใช้รถของผู้ทดสอบ

แผนดำเนินการทดสอบ ดังที่แสดงในตารางที่ 3-1 ถูกออกแบบโดยใช้ตัวอย่างรถจักรยานยนต์สำหรับการทดสอบทั้งสิ้นจำนวน 18⁽¹²⁾ คัน ประกอบด้วยรถที่ใช้ น้ำมัน E10 จำนวน 3⁽¹²⁾ คัน (Baseline) และรถที่ใช้ น้ำมัน E85 จำนวน 15 คัน (ติดตั้ง FFV conversion kit) ตามลำดับ

⁽¹²⁾ ข้อกำหนดและเงื่อนไขการว่าจ้างที่ปรึกษา (TOR) กำหนดให้มีรถจักรยานยนต์ในการทดสอบจำนวนไม่น้อยกว่า 3 คัน ทั้งนี้ คณะกรรมการตรวจรับการจ้างมีมติเห็นควรให้เพิ่มรถในกลุ่ม baseline อีก 3 คัน เพื่อประโยชน์ในการศึกษาคุณภาพของน้ำมันเครื่องเพิ่มเติม ในโครงการฯ จึงมีรถรวมทั้งสิ้น 18 คัน

ตารางที่ 3-1 แผนการดำเนินการทดสอบก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit

ประเภทการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง (คัน)		รูปแบบการทดสอบ	วิธีการทดสอบ	จำนวนการเก็บข้อมูล (ครั้ง)
	น้ำมันเชื้อเพลิง				
	Baseline	E85			
ด้านความทนทาน					
น้ำมันเครื่อง	3	3	ใช้งานจริง	วิเคราะห์สารเจือปนในน้ำมันเครื่อง และค่าความหนืด ^(*)	31 ^(**)
ชิ้นส่วนยาง เช่น ท่อทางเดินน้ำมัน	3	3	ใช้งานจริง	บันทึกข้อมูล (สังเกต วัด ถ่ายรูป) ทุก 2,000 กิโลเมตร	36
ชิ้นส่วนโลหะ เช่น รางหัวฉีด	3	3	ใช้งานจริง		36
ชิ้นส่วนพลาสติก เช่น ถังน้ำมัน	3	3	ใช้งานจริง		36
ด้านพลังงาน					
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	3	15	ใช้งานจริง	จุดบันทึกระยะทาง / ปริมาณน้ำมัน / ความเร็วเฉลี่ย	N/A
ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์					
การสตาร์ทเครื่อง		3	สนามทดสอบ	ประเมินด้วยผู้ขับขี่ โดยใช้แบบสอบถาม 3-point-scale	18
อัตราเร่ง		3	สนามทดสอบ	วัดอัตราเร่งด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วรถ	18
การออกตัว		3	สนามทดสอบ	ประเมินด้วยผู้ขับขี่ โดยใช้แบบสอบถาม 3-point-scale	18
การเบรก		3	สนามทดสอบ		18
การสิ้นเปลืองจากเครื่องยนต์		3	สนามทดสอบ		18
เสียง		3	สนามทดสอบ		18

หมายเหตุ^(*) ทำการวิเคราะห์ทดสอบในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ASTM ต่าง ๆ ในหัวข้อ "ผลการทดสอบด้านความทนทาน"

^(**) จำนวนการเก็บข้อมูล 31 ครั้ง ประกอบด้วย น้ำมันหล่อลื่นใหม่จำนวน 1 ครั้ง และน้ำมันหล่อลื่นที่เก็บจากรถ 6 คัน คือรถที่ใช้ น้ำมัน E10 และ E85 ชนิดละ 3 คัน คันละ 5 ครั้ง (ทุก 2,000 กิโลเมตร) จำนวน 30 ครั้ง

การทดสอบเชิงเปรียบเทียบ (Benchmark study) ประกอบด้วย การทดสอบ 3 ด้าน คือ (1) ด้านความทนทาน (2) ด้านพลังงาน (อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง) และ (3) ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ โดยการทดสอบด้านความทนทาน จะทำการเปรียบเทียบรถจักรยานยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด (E10 และ E85) จากผู้ผลิตเดียวกัน เครื่องยนต์รุ่นเดียวกัน และอายุการใช้งานไม่แตกต่างกันมากจนมีนัยสำคัญ สำหรับการทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและด้านสมรรถนะเครื่องยนต์นั้น ดำเนินการโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการใช้เชื้อเพลิงต่อระยะทางที่ขับได้จริง จากกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 18 คัน

ในการเก็บข้อมูลด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ดำเนินการโดยให้อาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการเป็นผู้นำบันทึกข้อมูลลงในคู่มือการทดสอบใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85 ในรถจักรยานยนต์ ดังที่ได้แสดงตัวอย่างคู่มือดังกล่าวของรถจักรยานยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 ตัวอย่างคู่มือการทดสอบใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ในรถจักรยานยนต์

ในคู่มือดังกล่าว มีรายละเอียดกล่าวถึงที่มาและวัตถุประสงค์ของโครงการโดยสังเขป พร้อมทั้งข้อชี้แจงสำหรับอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการ ความว่า

"น้ำมัน E85 เป็นเชื้อเพลิงทดแทนผลิตจากอ้อย (โมลาส) มันสำปะหลัง เป็นแอลกอฮอล์สำเร็จรูป 85% ตลอดระยะเวลาที่ท่านได้เข้าร่วมโครงการนี้ ที่ปรีกษาฯ ขอประกาศแจ้งเตือนถึงผู้ใช้รถทุกท่านให้บำรุงรักษาและปรับเปลี่ยนอะไหล่ของรถ เช่น หัวเทียน หัวฉีดน้ำมัน ไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ท่อยางต่าง ๆ พร้อมทั้งเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นและไส้กรองตามระยะซ่อมบำรุงและอายุการใช้งานตามกำหนดและถูกต้องตามคำแนะนำของศูนย์บริการ เพื่อให้รถของท่านอยู่ในสภาพดีและสามารถใช้งานได้ตามปกติ"

รวมถึงระบุแผนการดำเนินการทดสอบโดยคร่าว เพื่อให้อาสาสมัครเข้าใจขั้นตอนในการดำเนินงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- (1) ออกแบบการทดสอบ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล และคู่มือการใช้งานของผู้ทดสอบ สำหรับการทดสอบเชิงเปรียบเทียบ 3 ประเภทหลัก ได้แก่ การทดสอบ ด้านความทนทาน ด้านพลังงาน หรืออัตราการสิ้นเปลือง และด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ ของรถจักรยานยนต์ที่เข้าร่วมโครงการ
- (2) คัดเลือกรถจักรยานยนต์ ได้แก่ รถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมัน E10 และ E85 ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit เพื่อเติมน้ำมัน
- (3) ทดสอบสภาพเครื่องยนต์และสมรรถนะเบื้องต้น
- (4) ทดสอบด้านความทนทานของชิ้นส่วนระบบเครื่องยนต์และท่อน้ำมัน
- (5) ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit
- (6) ทดสอบภาคสนามเบื้องต้น
- (7) ทดสอบการใช้งานจริงด้านอัตราการสิ้นเปลือง รวมระยะทาง 10,000 กิโลเมตร หรือไม่น้อยกว่า 6 เดือน
- (8) ทดสอบโดยการใช้งานจริงด้านความทนทาน โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น 100 cc. ทุก 2,000 กิโลเมตร เพื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้านการสึกหรอ เสื่อมสภาพ ชำรุด โดยทั่วไปของชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และระบบท่อน้ำมัน

รวมทั้งแจ้งข้อปฏิบัติในการเติมน้ำมันให้เต็มถังทุกครั้ง และแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับอาสาสมัคร เพื่อเก็บบันทึกข้อมูลด้านอัตราการสิ้นเปลืองดังที่ได้แสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 แบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับอาสาสมัครเพื่อเก็บบันทึกข้อมูลด้านอัตราการสิ้นเปลืองในคู่มือการทดสอบใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85

อาสาสมัครหมายเลข _____					อาสาสมัครหมายเลข _____				
ครั้งที่	วันที่	ตัวเลขเข็มไมล์ (กม.)	ปริมาณน้ำมันที่เติม (ลิตร)	ราคา (บาท)	ครั้งที่	วันที่	ตัวเลขเข็มไมล์ (กม.)	ปริมาณน้ำมันที่เติม (ลิตร)	ราคา (บาท)
1					16				
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11					26				
12					27				
13					28				
14					29				
15					30				

3.3 การตรวจสอบและทดสอบสภาพเครื่องยนต์ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit

การตรวจสอบและทดสอบสภาพเครื่องยนต์ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit ดำเนินการภายใต้เกณฑ์ที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพและทดสอบ ได้แก่ เครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์จะต้องมีสภาพสมบูรณ์ ไม่มีอุปกรณ์พื้นฐานชำรุด เช่น เข็มไมล์ ระบบคันเร่ง หรือระบบเบรก เป็นต้น แล้วจึงดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit (รูปที่ 3-3 และรูปที่ 3-4) ในรถจักรยานยนต์ จำนวน 15 คัน ณ บริเวณสถานีบริการน้ำมันของบริษัท จิระเทค 2012 จำกัด ซึ่งได้รับการอำนวยความสะดวกเรื่องพื้นที่จาก บริษัทไปรษณีย์ไทย จำกัด (ปณท.) สำนักงานใหญ่ ดังที่แสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-3 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit



รูปที่ 3-4 ตำแหน่งการติดตั้งตัวอย่างชุดอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit ในรถจักรยานยนต์



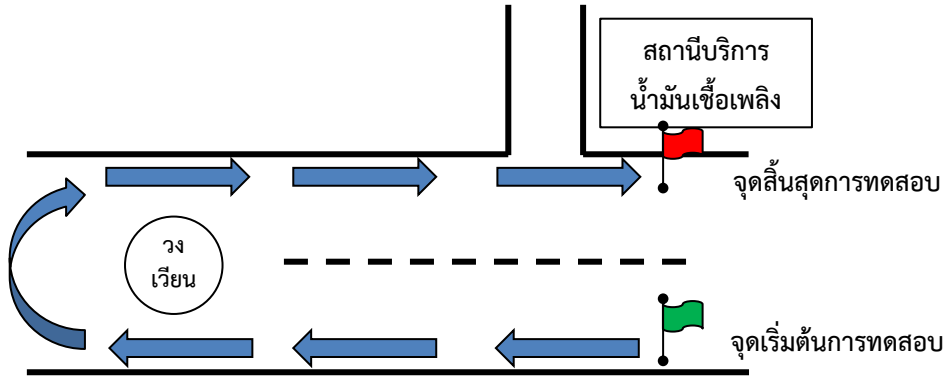
รูปที่ 3-5 สถานที่ดำเนินโครงการภาคสนาม ภายในพื้นที่ของ ปณท. สำนักงานใหญ่

3.4 การทดสอบการขับขี่เบื้องต้นด้วยน้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85 หลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit

ก่อนดำเนินการทดสอบด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ของอาสาสมัครจำนวน 3 ราย จึงทำการทดสอบการขับขี่รถจักรยานยนต์ที่ใช้ น้ำมัน E85 เบื้องต้น (รูปที่ 3-6) โดยเลือกใช้พื้นที่การทดสอบเป็นถนนเชื่อมหน่วยงานต่าง ๆ ในบริเวณ ปณท. สำนักงานใหญ่ เนื่องจากมีความเหมาะสมกับการจำลองสถานการณ์การขับขี่ในสภาพใกล้เคียงกับการใช้งานรถจักรยานยนต์ในชีวิตประจำวันของอาสาสมัครส่วนใหญ่ โดยมีระยะทางโดยรวมประมาณ 1 กิโลเมตร ดังที่ได้แสดงแผนผังไว้ในรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-6 การเข้าสำรวจพื้นที่และทำการทดสอบขับขี่เบื้องต้นด้วยน้ำมัน E85 หลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit ในพื้นที่บริเวณ ปณท. สำนักงานใหญ่



รูปที่ 3-7 แผนผังสนามทดสอบในพื้นที่บริเวณ ปณท. สำนักงานใหญ่

ในการทดสอบการขับขี่เบื้องต้นนั้น ตัวแทนที่ปรึกษาได้เป็นผู้ขับขี่และดำเนินการทดสอบ โดยได้ทำการประเมินสมรรถนะในการขับขี่ด้วยแบบสอบถามซึ่งแบ่งเป็นรายการประเมินต่าง ๆ 6 รายการดังตารางที่ 3-3 ซึ่งในการทดสอบกับอาสาสมัครผู้ร่วมโครงการนั้น ผู้ทำการทดสอบจะเป็นผู้ประเมินสภาพและสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยใช้แบบสอบถามดังตัวอย่างในรูปที่ 3-8 ซึ่งก่อนทำการทดสอบ ต้องเตรียมรถจักรยานยนต์ตั้งขั้นตอนในรูปที่ 3-9 และรูปที่ 3-10 โดยเริ่มจากการถ่ายน้ำมันเครื่องเดิมออกจนหมด แล้วทำความสะอาดภายในเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันเครื่องหรือน้ำมันล้างเครื่องยนต์ (Flushing oil) โดยจะทำการติดเครื่องยนต์ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที แล้วถ่ายน้ำมันล้างเครื่องยนต์ออกจนกว่าจะสังเกตได้ว่าสีของน้ำมันล้างเครื่องยนต์ใสขึ้น จากนั้นเติมน้ำมันเครื่องจนได้ปริมาณที่กำหนด เปลี่ยนไส้กรองอากาศ แล้วเติมน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดที่จะทำการทดสอบให้เต็มถัง จากนั้นติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วชนิด GPS-based อุปกรณ์กำหนดระยะคันเร่งมือ ทำการตรวจสอบลมยาง และจุดเลขไมล์รวมเริ่มต้น แล้วจึงเริ่มทำการทดสอบ

ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างรายการประเมินด้านสมรรถนะของรถจักรยานยนต์จากผู้ขับขี่

ลำดับที่	รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1	การติดเครื่องยนต์	ติดยาก	-	ติดง่าย
2	การออกตัว	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3	อัตราเร่ง	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4	การเบรก	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5	การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6	เสียงรบกวน	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย


ตัวอย่าง

โครงการศึกษาและทดสอบการใช้เชื้อเพลิง E85 ในรถจักรยานยนต์ระบบหัวฉีด
หลังติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV Conversion Kit

การทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์

ข้อมูลจำเพาะของรถจักรยานยนต์ที่เข้าร่วมโครงการ

วันที่	:	30 พฤศจิกายน 2556
ชื่อ-นามสกุล ผู้ขับขี่	:	นาย อี85 อารมณดี
รถจักรยานยนต์ยี่ห้อ	:	Honda
รุ่น	:	Wave 125i
เลขไมล์	:	12345 กม.
ทะเบียนรถ	:	กขค 111 ปทุมธานี
หมายเลขตัวถัง	:	xxxxxxxxxx
หมายเลขเครื่องยนต์	:	xxxxxxxxxx
ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง	:	E85 / E10
ยางรถยนต์	:	ล้อหน้า M45 ลมยาง 33
		ล้อหลัง M45 ลมยาง 36
สภาพอากาศ	:	ฝนตก
สภาพถนน	:	ถนนลื่น



กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

รูปที่ 3-8 ตัวอย่างการกรอกแบบสอบถามที่ใช้ในการทดสอบการขับขี่เบื้องต้นเพื่อระบุข้อมูลจำเพาะของรถจักรยานยนต์ที่เข้าร่วมโครงการ

โครงการศึกษาและทดสอบการใช้เชื้อเพลิง E85 ในรถจักรยานยนต์ระบบหัวฉีด
หลังติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV Conversion Kit

การทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์

ตัวอย่าง

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์

- 1. ถายน้ำมันเครื่องเก่าออกให้หมด
- 2. ล้างภายในเครื่องยนต์ด้วยฟลัชซิงออยล์ (Flushing Oil)
- 3. เติมน้ำมันเครื่องสังเคราะห์แท้ยี่ห้อ Flexolube ลงไปในปริมาณที่บริษัทผู้ผลิตจักรยานยนต์แนะนำในแต่ละรุ่น
- 4. เปลี่ยนไส้กรองอากาศ
- 5. ตั้งตั้ง limit คันเร่งเพื่อทดสอบอัตราเร่ง
- 6. ติดตั้งอุปกรณ์วัดการสิ้นเสเหือน
- 7. ติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็ว

E10

- 8. ถายน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ออกจากถังน้ำมัน
- 9. เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E10 ลงเต็มถัง จากนั้นสตาร์ทเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อไล่น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ที่ยังค้างอยู่ในออก
- 10. ทำการขับซั้ทดสอบตามรายการในแบบสอบถามตั้งแต่ลำดับที่ 1 (การสตาร์ทเครื่อง) ลำดับที่ 2 (การออกตัว) ลำดับที่ 3 (อัตราเร่ง) ลำดับที่ 4 (การเบรก) ลำดับที่ 5 (การสิ้นเสเหือนจากเครื่องยนต์) ถึงลำดับที่ 6 (เสียงรบกวน) ทั้งหมด 3 ครั้ง โดยให้ทำแบบสอบถามหลังจากที่ทดสอบเสร็จในแต่ละครั้ง -- **บันทึกในตาราง E10** --

E85

- 11. ถายน้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่ยังค้างอยู่ในถังน้ำมันออกให้หมด
- 12. เติมน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ลงเต็มถัง จากนั้นสตาร์ทเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อไล่น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่ยังค้างอยู่ในออก
- 13. ทำการขับซั้ทดสอบตามรายการในแบบสอบถามตั้งแต่ลำดับที่ 1 (การสตาร์ทเครื่อง) ลำดับที่ 2 (การออกตัว) ลำดับที่ 3 (อัตราเร่ง) ลำดับที่ 4 (การเบรก) ลำดับที่ 5 (การสิ้นเสเหือนจากเครื่องยนต์) ถึงลำดับที่ 6 (เสียงรบกวน) ทั้งหมด 3 ครั้ง โดยให้ทำแบบสอบถามหลังจากที่ทดสอบเสร็จในแต่ละครั้ง -- **บันทึกในตาราง E85** --

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

รูปที่ 3-9 ตัวอย่างขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์



(1) ถ่ายน้ำมันเครื่องเก่า



(2) ทำความสะอาดภายในเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันเครื่องหรือน้ำมันล้างเครื่องยนต์



(3) เติมน้ำมันเครื่องใหม่



(4) เปลี่ยนไส้กรองอากาศ



(5) เติมน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะทำการทดสอบ



(6) เลือกชนิดเชื้อเพลิงที่ชุด FFV Conversion Kit



(7) ตรวจสอบลมยาง



(8) ติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วรถ

รูปที่ 3-10 ขั้นตอนการเตรียมความพร้อมของรถก่อนการทดสอบการใช้งานกับน้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งาน

เป็นการทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งานของรถเชิงเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85 ของรถจักรยานยนต์ จำนวน 3 คัน ซึ่งเป็นรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 และได้รับการติดตั้งชุด FFV conversion kit จำนวน 3 รุ่น ได้แก่ Honda Wave รุ่น 125i Honda Wave รุ่น 110i และ Honda Click ซึ่งดำเนินการทดสอบที่สนามทดสอบดังรูปที่ 3-7 โดยใช้รถจักรยานยนต์คันเดิมในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด และทำการปรับแต่งเลือกชนิดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ชุด FFV conversion kit



(ก) Honda Wave รุ่น 125i



(ข) Honda Wave รุ่น 110i



(ค) Honda Click

รูปที่ 4-1 รถจักรยานยนต์ที่ใช้ในการทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งาน

4.1.1 วิธีการเก็บข้อมูล

ดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามดังตัวอย่างในรูปที่ 4-3 ซึ่งสามารถแบ่งการทดสอบเป็นประเภทต่าง ๆ โดยมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

(1) **การติดเครื่องยนต์** ให้ใช้การทดสอบด้วยวิธีการติดเครื่องยนต์ด้วยเท้าทั้งหมด หากสามารถติดเครื่องยนต์ได้ในครั้งเดียว ถือว่า “ติดเครื่องยนต์ง่าย” หากทำการติดเครื่องยนต์ไม่ได้ในครั้งเดียว ถือว่า “ติดเครื่องยนต์ยาก”

(2) **การออกตัว** หลังจากเข้าเกียร์ 1 แล้ว ให้บิดคันเร่งไปจนถึงขีดจำกัดความเร่งด้วยความเร็วปกติ ใช้ความรู้สึกของเจ้าของรถจักรยานยนต์ว่า “อืด” “ปกติ” หรือ “พุ่งแรง”

(3) **อัตราเร่ง** หลังจากเข้าเกียร์ 4 ซึ่งเป็นเกียร์สูงสุดของรถจักรยานยนต์แล้ว ให้บิดคันเร่งไปจนถึงความเร็วปกติ (กำหนดเป็น 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) ในระยะทาง 1 กิโลเมตร แล้วใช้ความรู้สึกของเจ้าของรถจักรยานยนต์ว่า “เร่งไม่ขึ้น” “เร่งปกติ” หรือ “เร่งแรง”

(4) **การเบรก** ทำการทดสอบต่อเนื่องจาก “อัตราเร่ง” ให้เจ้าของรถจักรยานยนต์เบรกภายหลังจากที่รถจักรยานยนต์ขึ้นถึงเกียร์สูงสุดที่ความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แล้วใช้ความรู้สึกของเจ้าของรถจักรยานยนต์ว่า “เบรกไม่อยู่” “เบรกปกติ” หรือ “เบรกดี”

(5) การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์

- ทำการทดสอบรอบเดินเบาในขณะที่ติดเครื่องอยู่โดยไม่เข้าเกียร์ แล้วใช้ความรู้สึกของเจ้าของรถจักรยานยนต์ว่า “สั่นน้อย” “สั่นปกติ” หรือ “สั่นมาก”

- ทำการทดสอบขณะขับขี่ด้วยเกียร์สูงสุดที่ความเร็วปกติ (ประมาณ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) แล้วใช้ความรู้สึกของเจ้าของรถจักรยานยนต์ว่า “สั่นน้อย” “สั่นปกติ” หรือ “สั่นมาก”

(6) เสียงรบกวน

- ทำการทดสอบรอบเดินเบาในขณะที่ติดเครื่องอยู่โดยไม่เข้าเกียร์ แล้วใช้ความรู้สึกของเจ้าของรถจักรยานยนต์ว่า “ดังน้อย” “ดังปกติ” หรือ “ดังมาก”

- ทำการทดสอบขณะขับขี่ด้วยเกียร์สูงสุดที่ความเร็วปกติ (ประมาณ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) แล้วใช้ความรู้สึกของเจ้าของรถจักรยานยนต์ว่า “ดังน้อย” “ดังปกติ” หรือ “ดังมาก”



รูปที่ 4-2 การทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งาน

ตัวอย่าง

แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์

E85

กรุณาวางกลม ตามคำตอบที่ท่านต้องการ

ลำดับที่	รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
			-1	0	1
1	การสตาร์ทเครื่อง	ครั้งที่ 1	ดีดยาก	-	ดีดง่าย
		ครั้งที่ 2	ดีดยาก	-	ดีดง่าย
		ครั้งที่ 3	ดีดยาก	-	ดีดง่าย
2	การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
		ครั้งที่ 2	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
		ครั้งที่ 3	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3	อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
		ครั้งที่ 2	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
		ครั้งที่ 3	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4	การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
		ครั้งที่ 2	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
		ครั้งที่ 3	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5	การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1	ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
		ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
		ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2	ขณะขับซี	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
		ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
		ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6	เสียงรบกวน				
6.1	ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
		ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
		ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2	ขณะขับซี	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
		ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
		ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

รูปที่ 4-3 ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูลขณะใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85

นอกจากการใช้แบบสอบถามในการประเมินด้วยความรู้สึกของผู้ขับขี่ (Subjective Evaluation) แล้ว การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วรถชนิด GPS-based เพื่อบันทึกข้อมูลเชิงพลศาสตร์ยานยนต์ ระหว่างการทดสอบ อาทิ ความเร็วรถ ความเร่ง เป็นต้น ได้ถูกนำมาใช้ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการประเมินข้อมูลจากแบบสอบถาม และการประเมินจากตัวเลขที่วัดได้จริง (Objective Evaluation) ด้านการออกตัวและอัตราเร่ง ดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างการประเมินด้วยความรู้สึกของผู้ขับขี่ (Subjective Evaluation) และการประเมินจากตัวเลขที่วัดได้ (Objective Evaluation)

4.1.2 ผลการทดสอบจากแบบสอบถาม (Subjective Evaluation)

จากข้อมูลด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งานด้านต่าง ๆ ของอาสาสมัคร โดยเจ้าของรถจักรยานยนต์ เป็นผู้ขับขี่ทดสอบและประเมินสมรรถนะการขับขี่ใช้งานด้วยการให้สัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม (Subjective Evaluation) ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.1.1 จึงทำการวิเคราะห์ในเชิงเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ในรถจักรยานยนต์คันเดียวกัน โดยแบ่งรูปแบบการขับขี่ในการทดสอบออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

(ก) รูปแบบการขับขี่ที่กำหนดความเร็วสูงสุดไว้ที่ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

(ข) รูปแบบการขับขี่ที่ใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่

จากนั้น จึงทำการแปลผลระดับความพึงพอใจจากแบบสอบถามให้เป็นคะแนนในช่วงระหว่าง 1 ถึง 10 คะแนนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ โดยกำหนดให้

ระดับ “1” ซึ่งหมายถึง “ความพึงพอใจสูงสุด” มีค่าเป็น 10 คะแนน

ระดับ “0” ซึ่งหมายถึง “ความพึงพอใจระดับกลาง” มีค่าเป็น 5 คะแนน

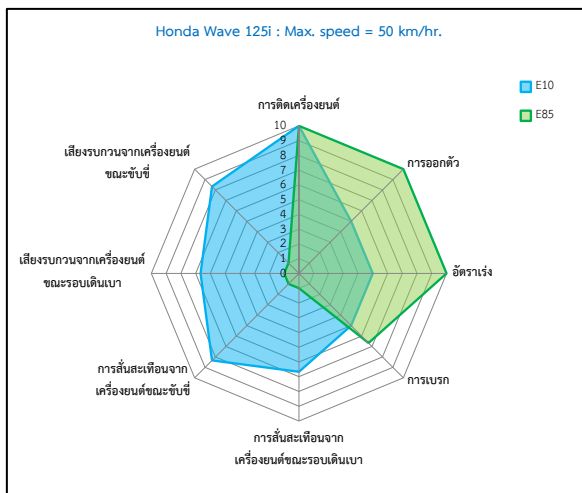
ระดับ “-1” ซึ่งหมายถึง “ความไม่พึงพอใจสูงสุด” มีค่าเป็น 1 คะแนน

มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

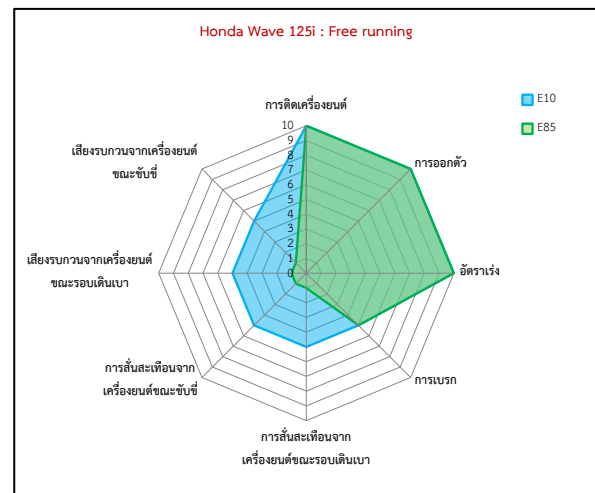
(1) รถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i

สำหรับรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i ที่ทดสอบโดยกำหนดความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่า การติดเครื่องยนต์ใหม่ของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนั้นได้รับการประเมิน 10 คะแนนเท่ากัน ในขณะที่การออกตัวและอัตราเร่งจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ได้รับการประเมิน 10 คะแนน ซึ่งสูงกว่าคะแนนการออกตัวและอัตราเร่งจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่ได้รับการประเมินเพียง 5 คะแนน ส่วนการเบรคนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้การประเมินด้านการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนขณะรอบเดินเบาและขณะขับขี่จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 นั้นได้รับการประเมินที่ดีกว่ากรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ที่ได้คะแนนการประเมิน 1 คะแนน ซึ่งหมายถึง “ความไม่พึงพอใจสูงสุด” ต่อการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนจากเครื่องยนต์กรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ดังรูปที่ 4-5 (ก)

เมื่อประเมินจากรูปแบบการขับขี่ที่ใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่ พบว่า การติดเครื่องยนต์ใหม่ การออกตัว และอัตราเร่งของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนั้นได้รับการประเมินด้วยคะแนน 10 คะแนนเท่ากัน ในขณะที่ผลการประเมินด้านการเบรก การสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนขณะรอบเดินเบาและขณะขับขี่ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการประเมินในกรณีที่กำหนดความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 4-5 (ข)



(ก)



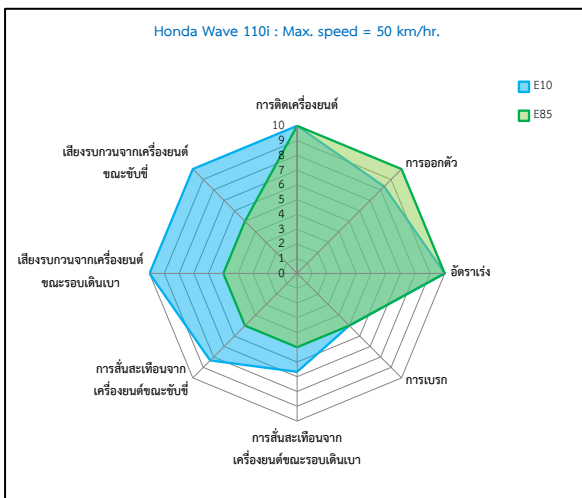
(ข)

รูปที่ 4-5 ผลการประเมินข้อมูลด้านสมรรถนะฯ จากการทดสอบรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i ภายใต้ (ก) ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ (ข) ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่

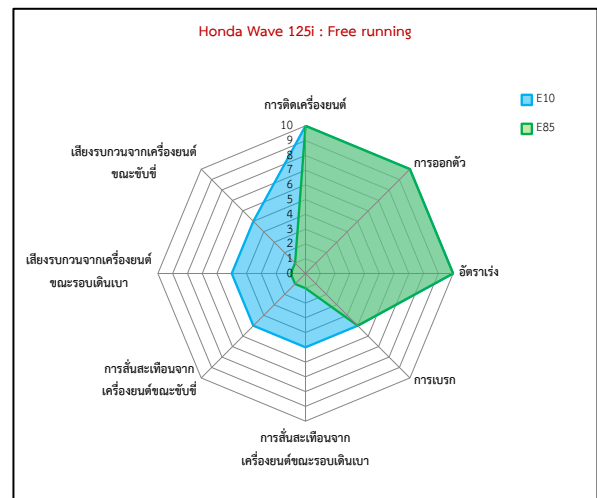
(2) รถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i

ในกรณีของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i ที่ทดสอบโดยกำหนดความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่า การติดเครื่องยนต์ใหม่และอัตราเร่งของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนั้นได้รับการประเมิน 10 คะแนนเท่ากัน ในขณะที่การออกตัวจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ได้รับการประเมิน 10 คะแนน ซึ่งสูงกว่าคะแนนการออกตัวจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่ได้รับการประเมิน 8.5 คะแนนเพียงเล็กน้อย ส่วนการเบรคนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้การประเมินด้านการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนขณะรอบเดินเบาและขณะขับขี่จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 นั้นได้รับการประเมินที่ดีกว่ากรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ที่ได้คะแนนการประเมินเฉลี่ย 4 คะแนน ซึ่งหมายถึง “ความไม่พึงพอใจระดับกลาง” ต่อการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนจากเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 4-6 (ก)

ในขณะที่ผลการประเมินภายใต้รูปแบบการขับขี่ที่ใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ดังรูปที่ 4-6 (ข) พบว่า การออกตัวและอัตราเร่งของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนั้นได้รับการประเมิน 10 คะแนนเท่ากัน ในทำนองเดียวกันกับผลที่ได้จากรถจักรยานยนต์ที่ทดสอบรุ่นอื่นๆ ที่พฤติกรรมการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนจากเครื่องยนต์กรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ได้รับการประเมินโดยรวมต่ำกว่ากรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และการเบรกของรถทั้งสองประเภทนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การติดเครื่องยนต์ใหม่จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ได้รับการประเมินด้วยคะแนน 10 คะแนน ซึ่งสูงกว่าคะแนนจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่ได้เพียง 1 คะแนน



(ก)



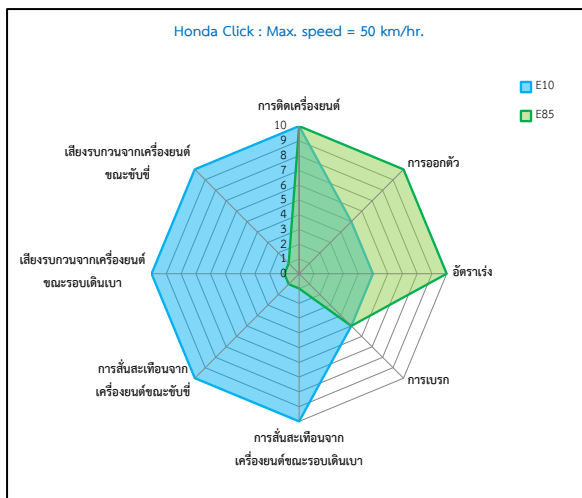
(ข)

รูปที่ 4-6 ผลการประเมินข้อมูลด้านสมรรถนะฯ จากการทดสอบรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i ภายใต้ (ก) ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ (ข) ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่

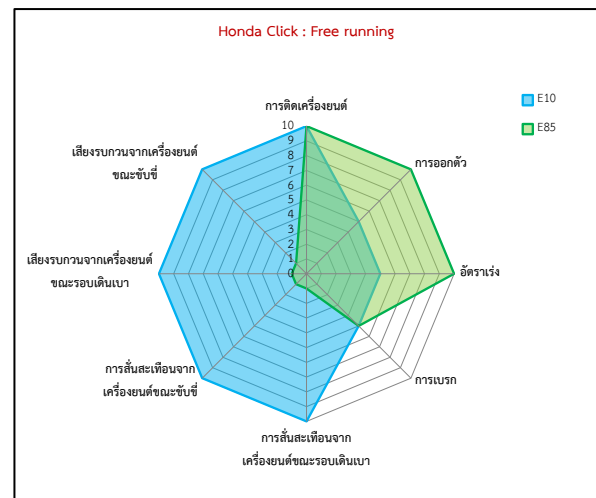
(3) รถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click

ในกรณีของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click ที่ทดสอบโดยกำหนดความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่า ได้ผลโดยรวมใกล้เคียงกับรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i โดยการติดตั้งเครื่องยนต์ใหม่นั้นได้รับการประเมิน 10 คะแนนเท่ากันสำหรับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด ในขณะที่การออกตัวและอัตราเร่งจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ได้รับการประเมินด้วยคะแนน 10 คะแนน ซึ่งสูงกว่ากรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่ได้รับการประเมินเพียง 5 คะแนน โดยที่การเบรกของรถทั้งสองประเภทนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้การประเมินด้านการสิ้นสละเทือนและเสียงรบกวนขณะรอบเดินเบาและขณะขับซึ่งจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 นั้นได้รับการประเมินที่ดีกว่ากรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ที่ได้คะแนนการประเมินเพียง 1 คะแนน ซึ่งหมายถึง “ความไม่พึงพอใจสูงสุด” ต่อการสิ้นสละเทือนและเสียงรบกวนจากเครื่องยนต์กรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ดังรูปที่ 4-7 (ก)

และเมื่อประเมินจากรูปแบบการขับขี่ที่ใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่ พบว่า มีผลการประเมินเช่นเดียวกับรูปแบบการขับขี่ที่กำหนดความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 4-7 (ข)



(ก)

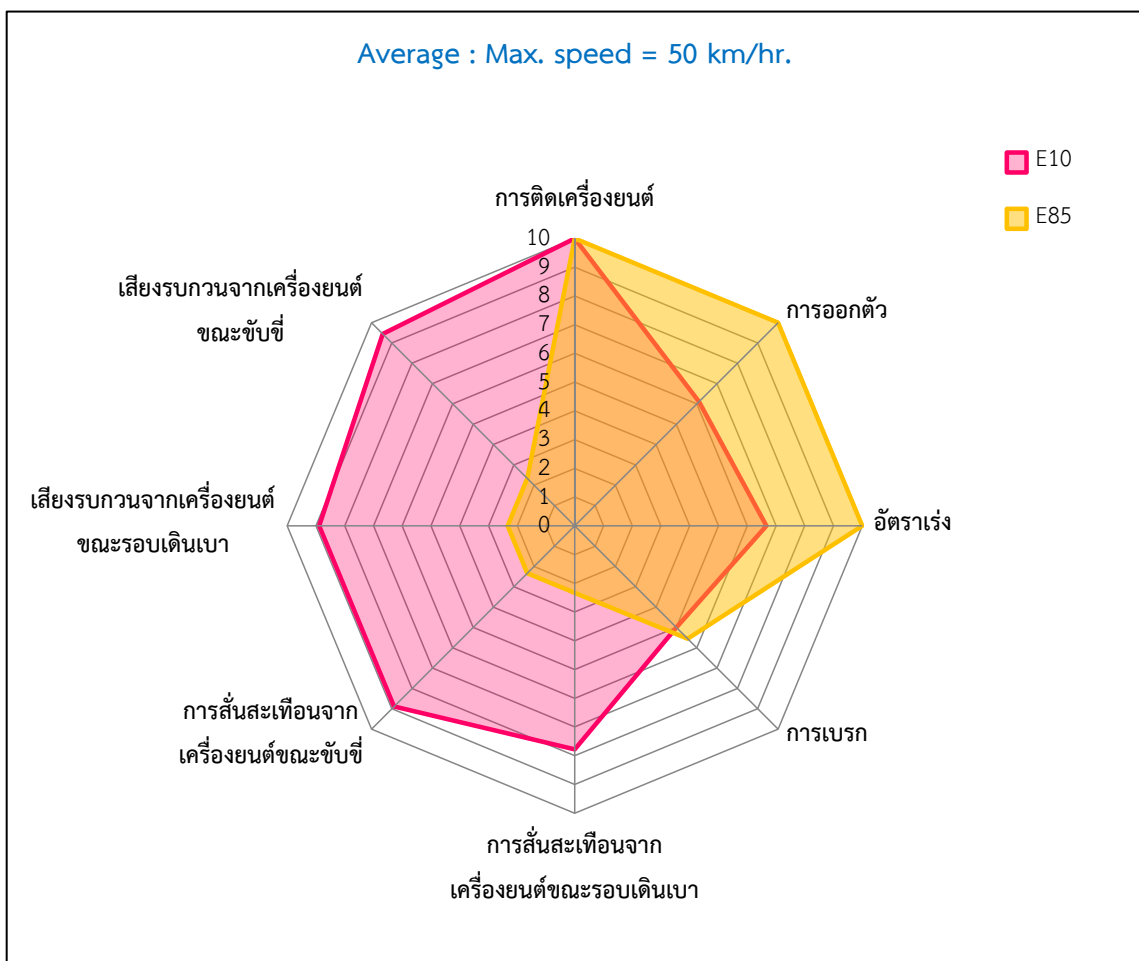


(ข)

รูปที่ 4-7 ผลการประเมินข้อมูลด้านสมรรถนะฯ จากการทดสอบรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click ภายใต้ (ก) ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ (ข) ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่

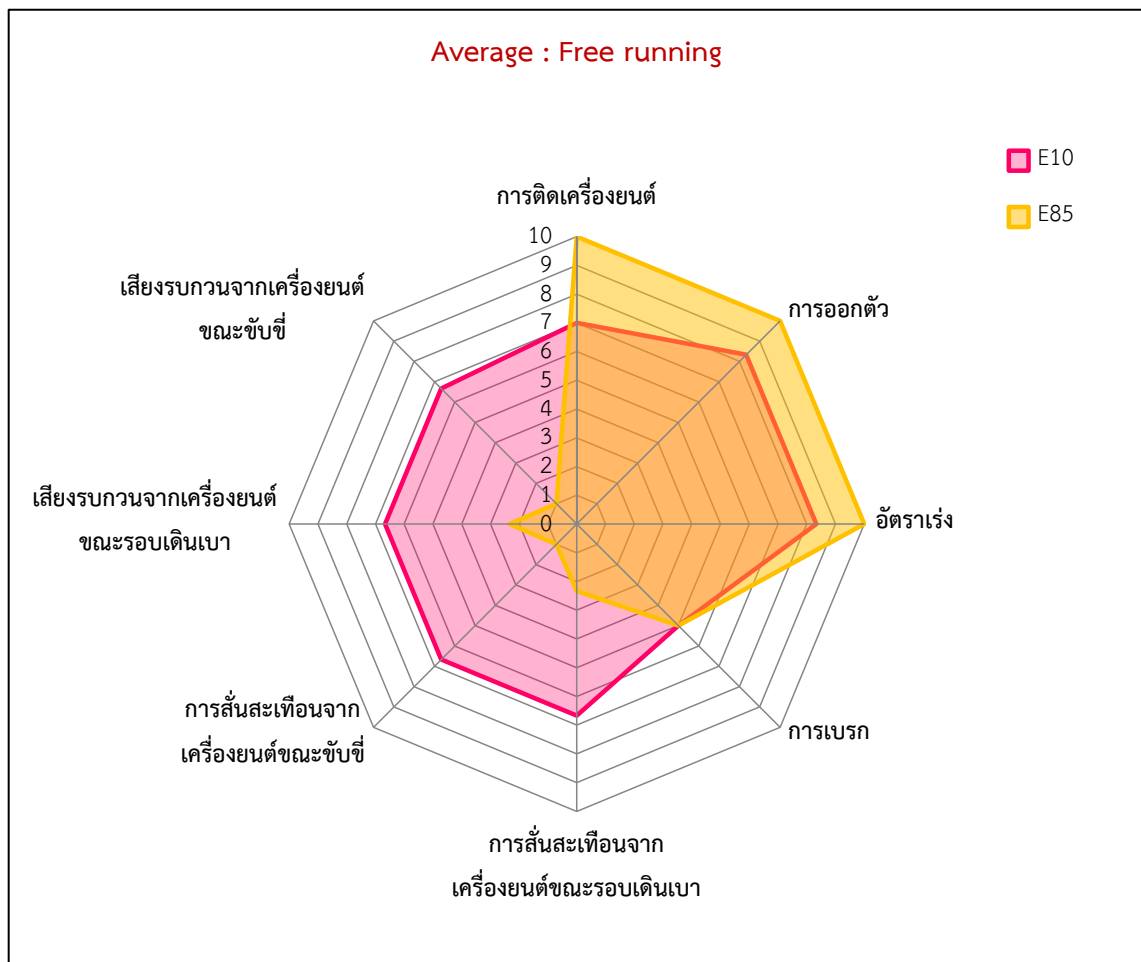
จากผลการทดสอบข้างต้น สามารถสรุปผลการประเมินด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งานของรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดได้จากการแสดงค่าเฉลี่ยของผลการประเมินข้อมูลด้านต่าง ๆ จากการตอบแบบสอบถาม (Subjective Evaluation) ของการทดสอบรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น ดังนี้

ในกรณีที่กำหนดค่าความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การออกตัวและอัตราเร่งของกรณีที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ได้รับการประเมินว่าสูงกว่าด้วยคะแนน 10 คะแนน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่ได้ 6 และ 6.5 คะแนนตามลำดับ ในขณะที่การประเมินด้านการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนขณะรอบเดินเบาและขณะขับขี่ของรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 นั้นได้ผลลัพธ์อยู่ระหว่าง 7.7 – 9.5 คะแนน ซึ่งสูงกว่าการประเมินกรณีที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ที่ได้คะแนน 2.3 คะแนนโดยประมาณ ดังรูปที่ 4-8



รูปที่ 4-8 ค่าเฉลี่ยของผลการประเมินข้อมูลด้านสมรรถนะฯ จากการทดสอบรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น ภายใต้ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในขณะที่ การทดสอบที่ใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่ พบว่า การติดเครื่องยนต์ใหม่หลังจากที่ดับเครื่องยนต์และการเบรกของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนั้นได้รับการประเมินในระดับเดียวกัน ในขณะที่การออกตัวและอัตราเร่งจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ได้รับการประเมินเฉลี่ย 10 คะแนน ซึ่งสูงกว่ากรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่ได้รับการประเมินเฉลี่ย 8.2 คะแนนเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้การประเมินด้านการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนขณะรอบเดินเบาและขณะขับขี่ของรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 นั้นได้ผลลัพธ์ที่ “น่าพึงพอใจ” กว่าผลการประเมินกรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ที่ได้คะแนนการประเมินเพียง 1 คะแนน ซึ่งหมายถึง “ความไม่พึงพอใจสูงสุด” ต่อพฤติกรรมการสั่นสะเทือนและเสียงรบกวนจากเครื่องยนต์กรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ดังรูปที่ 4-9

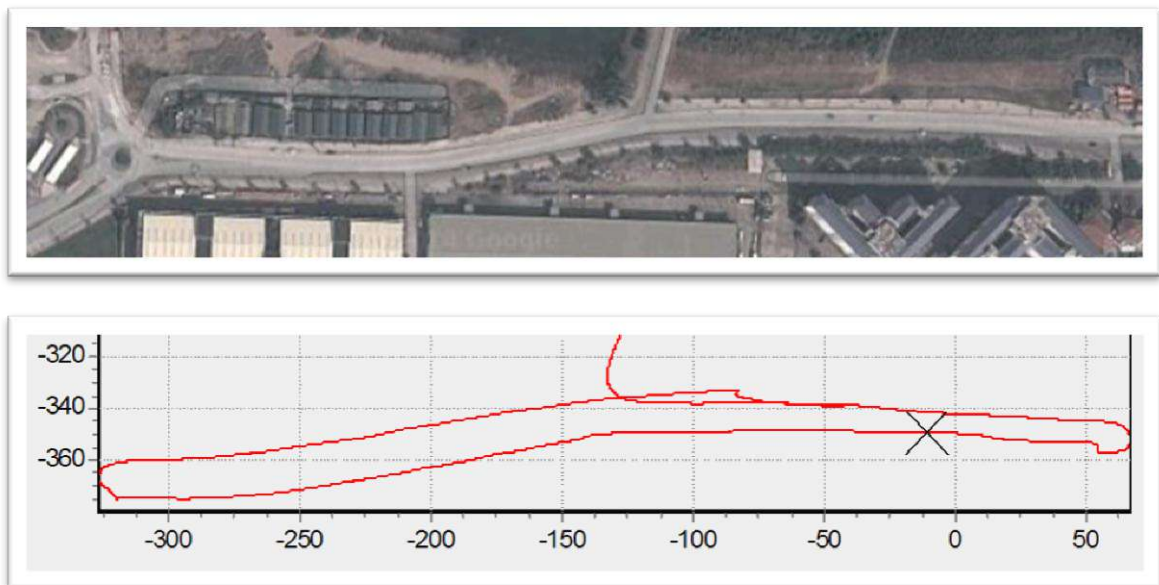


รูปที่ 4-9 ค่าเฉลี่ยของผลการประเมินข้อมูลด้านสมรรถนะฯ จากการทดสอบรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น ภายใต้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่

4.1.3 ผลการทดสอบวัดค่าอัตราเร่งด้วยอุปกรณ์วัด (Objective Evaluation)

ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.1 แล้วว่า นอกจากการใช้แบบสอบถามในการเก็บบันทึกข้อมูล ยังได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วรถชนิด GPS-based เพื่อบันทึกข้อมูลเชิงพลศาสตร์ยานยนต์ระหว่างการทดสอบ ได้แก่ ค่าความเร็วรถ และค่าความเร่งของรถ โดยมีวัตถุประสงค์สองประการได้แก่ เพื่อการประเมินด้านสมรรถนะจากตัวเลขที่วัดได้จริง (Objective Evaluation) และเพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของการประเมินด้วยความรู้สึกของผู้ขับขี่ (Subjective Evaluation) ด้านการออกตัวและอัตราเร่ง ด้วยวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสองชนิด

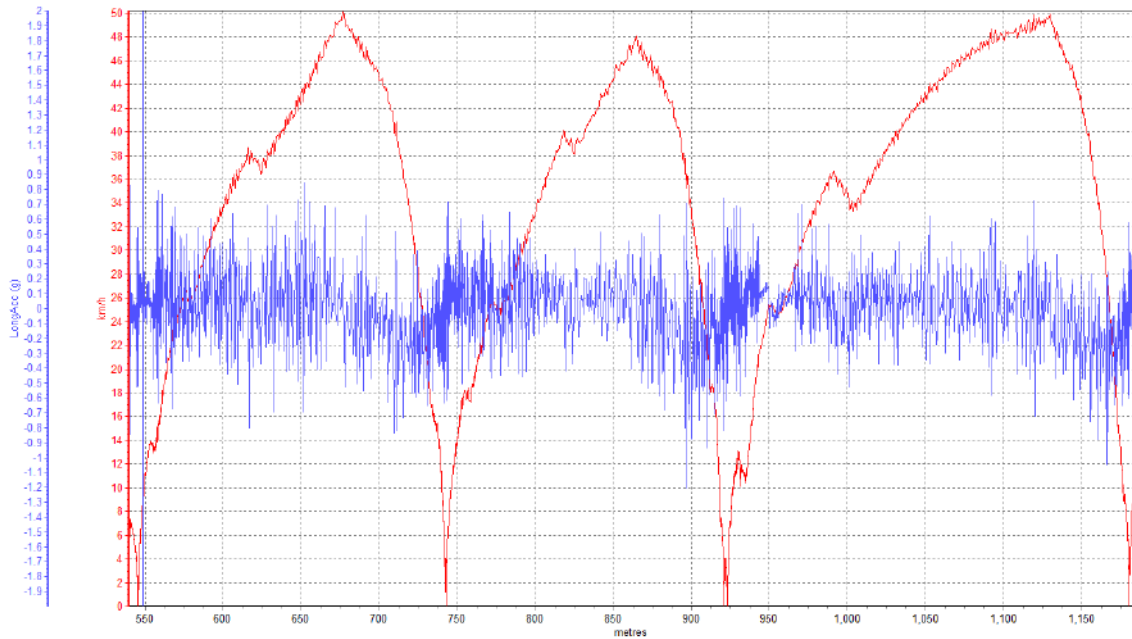
รูปที่ 4-10 แสดงตัวอย่างเส้นทางการวิ่งทดสอบของรถจักรยานยนต์ที่บันทึกได้จากอุปกรณ์วัดความเร็วรถชนิด GPS-based จำนวน 1 รอบ ซึ่งคิดเป็นระยะทางรวมต่อรอบการทดสอบ 750 เมตร โดยประมาณ เปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม



รูปที่ 4-10 ตัวอย่างเส้นทางการวิ่งทดสอบของรถจักรยานยนต์จากอุปกรณ์วัดความเร็วรถชนิด GPS-based (ล่าง) เปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม (บน)

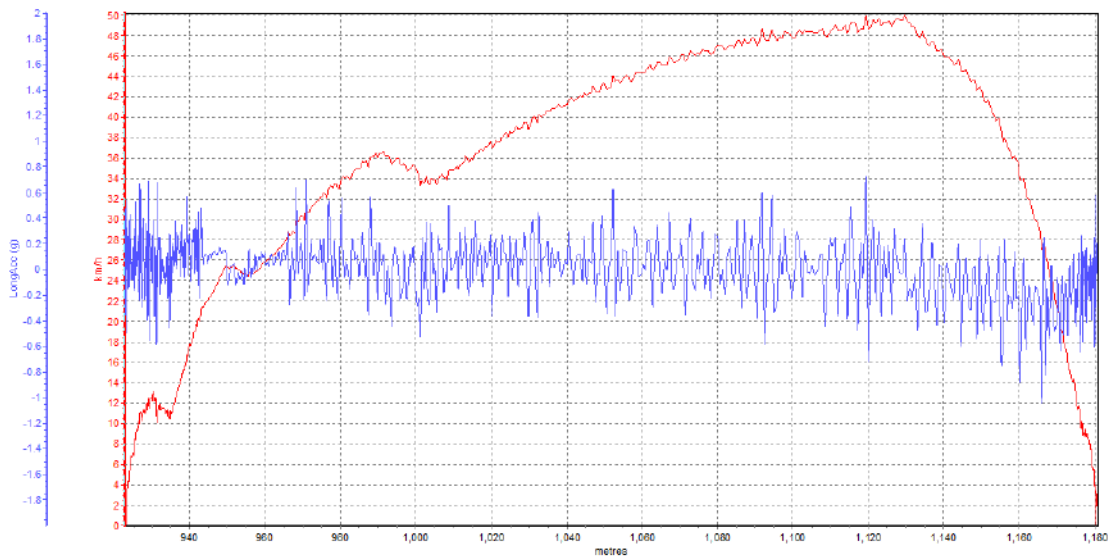
นอกจากข้อมูลเส้นทางการวิ่งทดสอบที่บันทึกได้แล้ว ค่าความเร็วและความเร่งของรถจักรยานยนต์ที่ถูกบันทึกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4-11 ที่ทำความเร็วสูงสุดและชะลอต่อเนื่องจำนวน 3 ครั้ง ในระยะทางที่วิ่งทดสอบ 1 รอบ ซึ่งจากข้อมูลที่วัดได้พบว่าค่าความเร่งสูงสุดที่บันทึกได้จากการทดสอบอยู่ในสถานการณ์การออกตัวจากสภาวะหยุดนิ่ง และสถานการณ์เร่งจากความเร็วกว่า 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็น 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในสถานการณ์ที่ผู้ขับขี่ทำการออกตัว หรือเร่งเพื่อเพิ่มความเร็วขึ้น ค่าความเร่งที่วัด

ได้จะมีค่าเป็นบวก ในสถานการณ์ที่ผู้ขับขี่ทำการชะลอรถหรือเบรกให้รถหยุดสนิท ค่าความเร่งที่วัดได้จะมีค่าเป็นลบ

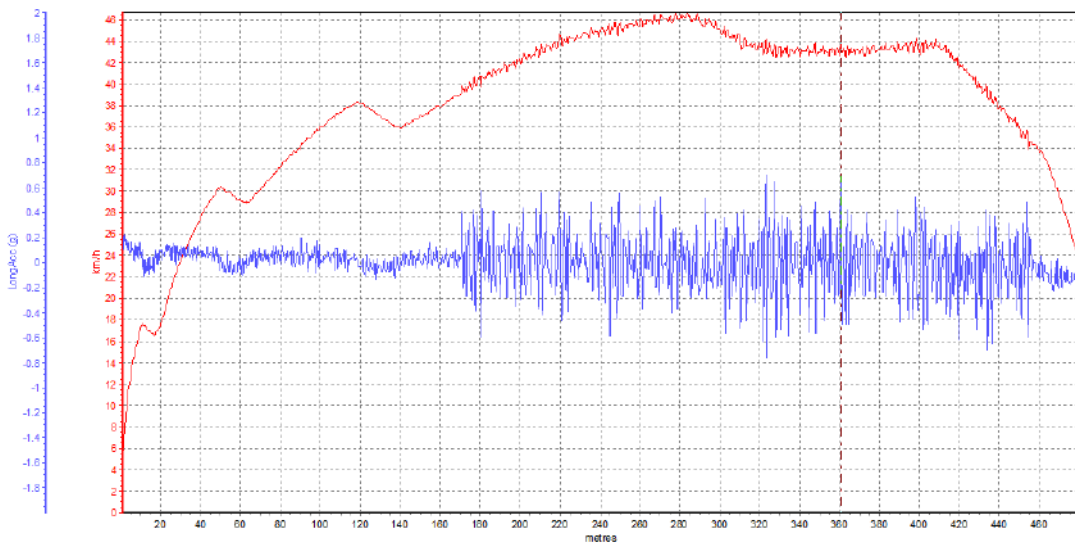


รูปที่ 4-11 ตัวอย่างค่าความเร็ว (สีแดง) และความเร่ง (สีน้ำเงิน) ของรถจักรยานยนต์ที่บันทึกได้จากการทดสอบการขับขี่ที่ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

รูปที่ 4-12 และรูปที่ 4-13 แสดงตัวอย่างค่าความเร็วและความเร่งของรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E10 ในการทดสอบในหัวข้อ 4.1.2 โดยสามารถบันทึกค่าความเร่งได้ประมาณ 0.64g (หรือ 6.28 เมตรต่อวินาที²) สำหรับกรณีที่กำหนดความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 0.53g (หรือ 5.20 เมตรต่อวินาที²) สำหรับการขับขี่โดยใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ซึ่งเมื่อหาความสัมพันธ์ค่าการประเมินด้วยผู้ขับขี่ตามที่แสดงในรูปที่ 4-6 จะพบว่าที่ค่าความเร่งของรถดังกล่าว ผู้ขับขี่ได้ประเมินสถานการณ์การออกตัวและอัตราเร่งด้วยคะแนนระหว่าง 8.5 ถึง 10 คะแนน หรือ “ความพึงพอใจระดับสูงสุด” ทั้งสองกรณี



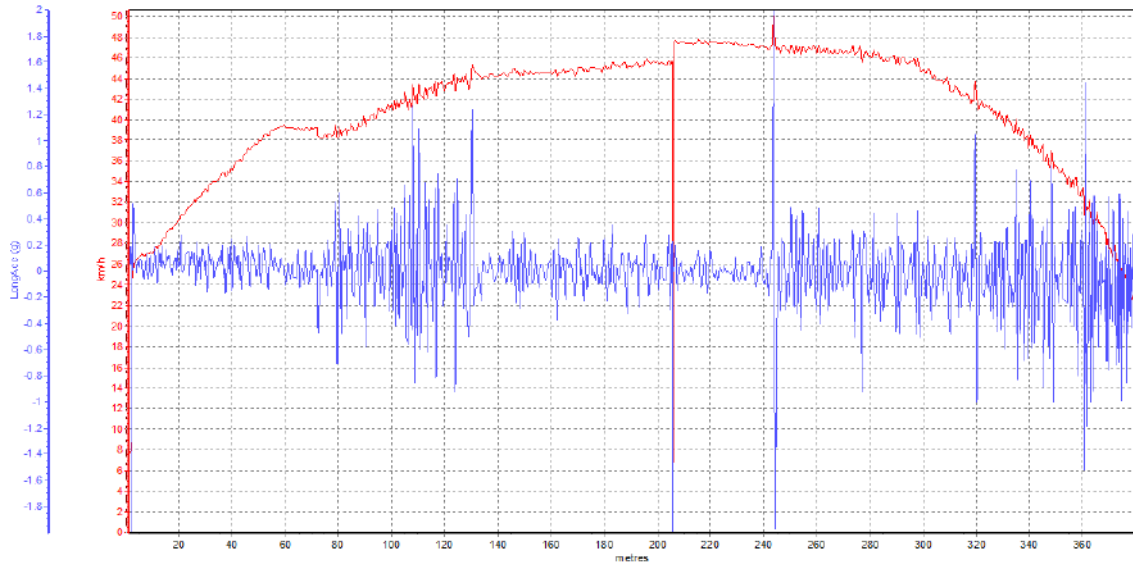
รูปที่ 4-12 ตัวอย่างค่าความเร็ว (สีแดง) และความเร่ง (สีน้ำเงิน) ของรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E10 ที่บันทึกได้จากการทดสอบการขับซีที่กำหนดความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



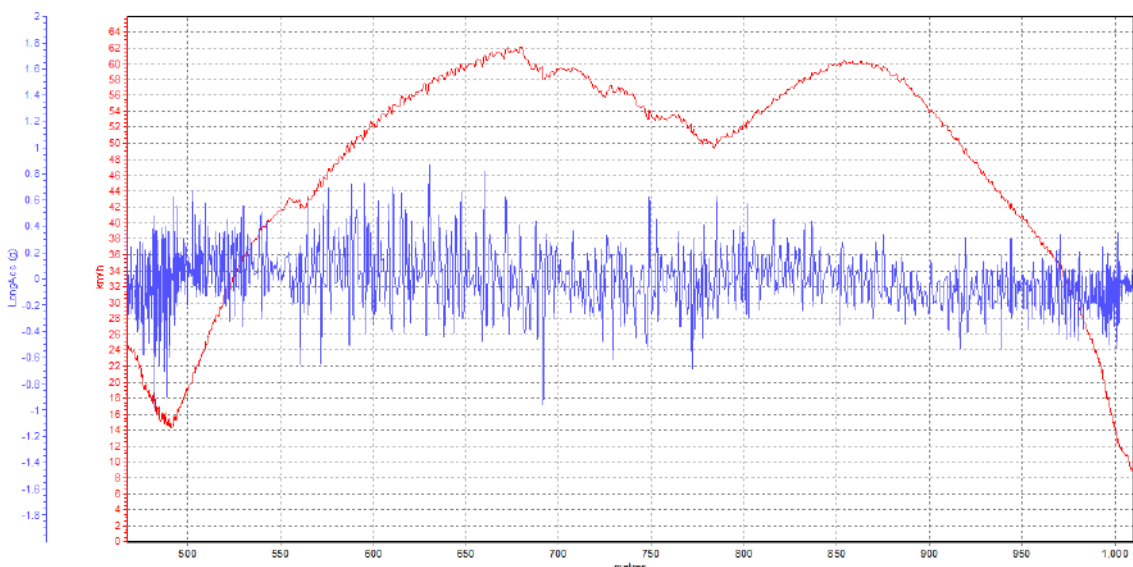
รูปที่ 4-13 ตัวอย่างค่าความเร็ว (สีแดง) และความเร่ง (สีน้ำเงิน) ของรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E10 ที่บันทึกได้จากการทดสอบการขับซีที่ใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับซี

รูปที่ 4-14 และรูปที่ 4-15 แสดงตัวอย่างค่าความเร็วและความเร่งของรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 ที่บันทึกได้จากการทดสอบการขับซีที่ความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และจากการทดสอบการขับซีที่ใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับซีที่ใช้ความเร็วสูงสุด 62 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยค่าความเร่งสูงสุดที่วัดได้ของทั้งสองกรณีเท่ากับ 1.2g (หรือ 11.77 เมตรต่อวินาที²) และ 0.71g (หรือ 6.97 เมตร

ต่อวินาที) ตามลำดับ ซึ่งเมื่อหาความสัมพันธ์ค่าการประเมินด้วยผู้ขับขี่ตามที่แสดงในรูปที่ 4-6 จะพบว่าที่ค่าความเร่งของรถดังกล่าว ผู้ขับขี่ได้ประเมินสถานการณ์การออกตัวและอัตราเร่งด้วยคะแนนเท่ากับ 10 คะแนน หรือ “ความพึงพอใจสูงสุด” ทั้งสองกรณี



รูปที่ 4-14 ตัวอย่างค่าความเร็ว (สีแดง) และความเร่ง (สีน้ำเงิน) ของรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 ที่บันทึกได้จากการทดสอบการขับขี่ที่กำหนดความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 4-15 ตัวอย่างค่าความเร็ว (สีแดง) และความเร่ง (สีน้ำเงิน) ของรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 ที่บันทึกได้จากการทดสอบการขับขี่โดยใช้ความเร็วตามพฤติกรรมของผู้ขับขี่

4.1.4 สรุปผลการทดสอบด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งานเชิงเปรียบเทียบ

จากข้อมูลตัวอย่างที่แสดงข้างต้นพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการประเมินด้านการออกตัวและอัตราเร่งของการทดสอบโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85 ด้วยความรู้สึกของผู้ขับขี่ (Subjective Evaluation) และการประเมินด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งานจากตัวเลขที่วัดได้จริง (Objective Evaluation) ด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วรถชนิด GPS-based มีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถยืนยันความถูกต้องของผลการประเมินด้วยความรู้สึกได้

นอกจากนี้ ยังสามารถสรุปได้ว่า การใช้น้ำมัน E85 เป็นเชื้อเพลิงของรถจักรยานยนต์นั้น ทำให้สมรรถนะในด้านการออกตัวและอัตราเร่งที่ได้รับการประเมินจากผู้ขับขี่และข้อมูลที่วัดได้ดีกว่ารถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมัน E10 ในขณะที่รถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมัน E10 เป็นเชื้อเพลิงได้รับการประเมินด้านการสิ้นเปลืองและเสียงจากเครื่องยนต์ดีกว่ารถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมัน E85 สำหรับด้านความปลอดภัยในการเบรกของรถจักรยานยนต์นั้น พบว่าประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่มีผลให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญแต่อย่างใด

4.2 การทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้งานจริง

การทดสอบเพื่อวัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจากการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์ดำเนินการกับรถจักรยานยนต์ของอาสาสมัครที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 จำนวน 15 คัน เปรียบเทียบกับรถจักรยานยนต์ของอาสาสมัครที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 จำนวน 3 คัน



รูปที่ 4-16 ตัวอย่างอาสาสมัครเจ้าของรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 และได้รับการติดตั้งชุด FFV Conversion Kit ที่เข้าร่วมโครงการเพื่อเก็บข้อมูลด้านอัตราการสิ้นเปลือง

อย่างไรก็ตาม สิ่งที่มีอิทธิพลต่ออัตราการสิ้นเปลืองของรถจักรยานยนต์แต่ละคันนั้น นอกจากชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นปัจจัยหนึ่งแล้ว ควรคำนึงถึงสภาพอายุการใช้งานเดิมของเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ รวมไปถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น แรงดันลมยาง ชนิดของยาง ภาระที่บรรทุก (มีหรือไม่มีผู้โดยสาร บรรทุกของหรือไม่มี) ลักษณะการขับขี่ (ระยะทางใกล้หรือไกล มีการชะลอและเร่งบ่อยหรือไม่) หรือสภาพพื้นถนนอีกด้วย

4.2.1 วิธีการเก็บข้อมูล

ในการดำเนินการเก็บข้อมูลด้านอัตราการสิ้นเปลือง ได้กำหนดให้ดำเนินการสองวิธี วิธีที่หนึ่ง ดังที่แสดงตัวอย่างในรูปที่ 4-17 (ก) คือการกำหนดให้อาสาสมัครแต่ละรายเป็นผู้ทำการเก็บข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วยตัวเองโดยบันทึกข้อมูลสถิติระยะทางที่วิ่งได้ และจำนวนลิตรของน้ำมันที่ใช้การเติมน้ำมันให้เต็มถึงแต่ละครั้งลงในคู่มือที่ได้รับจากโครงการ สำหรับวิธีที่สอง พนักงานที่ปั้มน้ำมันเป็นผู้บันทึกรายละเอียดทุกครั้งที่อาสาสมัครมาเติมน้ำมัน ดังที่แสดงตัวอย่างในรูปที่ 4-17 (ข) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของการบันทึกข้อมูลและเป็นการสำรองข้อมูลอีกทางหนึ่ง

อาสาสมัครหมายเลข ๒๐๓

* ค่าไมล์วิ่ง 90,225 เก็บตัวช่วยน้ำมันเครื่อง *

ครั้งที่	วันที่	ตัวเลขเข็มไมล์ (กม.)	ปริมาณน้ำมันที่เติม (ลิตร)	ราคา (บาท)
✓๖	๗/๒/๕๗	๙๐๑๙๖.๕	1.568	๕๐.๖
✓๗	๗/๓/๕๗	๙๐๒๗๓.๕	2.352	6๐.๖
✓๘	๗/๓/๕๗	๙๐๓๕๐.๖	1.568	4๐.๖
✓๙	๗/๓/๕๗	๙๐๔๒๖.๕	1.568	4๐.๖
✓๑๐	๗/๓/๕๗	๙๐๕๐๓.๕	1.568	4๐.๖
✓๑๑	๗/๓/๕๗	๙๐๕๘๐.๖	1.568	4๐.๖
✓๑๒	๗/๓/๕๗	๙๐๖๕๖.๕	1.568	4๐.๖
✓๑๓	๗/๓/๕๗	๙๐๗๓๓.๕	2.352	6๐.๖
✓๑๔	๗/๓/๕๗	๙๐๘๑๐.๖	1.568	๕๐.๖
✓๑๕	๗/๓/๕๗	๙๐๘๘๖.๕	1.568	4๐.๖
✓๑๖	๗/๓/๕๗	๙๐๙๖๓.๕	1.568	4๐.๖
✓๑๗	๗/๓/๕๗	๙๑๐๓๙.๕	1.568	4๐.๖
✓๑๘	๗/๓/๕๗	๙๑๑๑๖.๕	1.568	4๐.๖
✓๑๙	๗/๓/๕๗	๙๑๑๙๓.๕	1.568	4๐.๖
✓๒๐	๗/๓/๕๗	๙๑๒๖๙.๕	1.568	4๐.๖

(ก)

อาสาสมัครหมายเลข ๒๐๓

พนักงานปั้มน้ำมัน

ครั้งที่	วันที่	ตัวเลขเข็มไมล์ (กม.)	ปริมาณน้ำมันที่เติม (ลิตร)	ราคา (บาท)
1	๗/๓/๕๗	๙๐๑๙๖.๕	1.568	๕๐.๖
2	๗/๓/๕๗	๙๐๒๗๓.๕	2.352	6๐.๖
3	๗/๓/๕๗	๙๐๓๕๐.๖	1.568	๕๐.๖
4	๗/๓/๕๗	๙๐๔๒๖.๕	1.568	๕๐.๖
5	๗/๓/๕๗	๙๐๕๐๓.๕	1.568	๕๐.๖
6	๗/๓/๕๗	๙๐๕๘๐.๖	1.568	๕๐.๖
7	๗/๓/๕๗	๙๐๖๕๖.๕	1.568	๕๐.๖
8	๗/๓/๕๗	๙๐๗๓๓.๕	2.352	6๐.๖
9	๗/๓/๕๗	๙๐๘๑๐.๖	1.568	๕๐.๖
10	๗/๓/๕๗	๙๐๘๘๖.๕	1.568	๕๐.๖
11	๗/๓/๕๗	๙๐๙๖๓.๕	1.568	๕๐.๖
12	๗/๓/๕๗	๙๑๐๓๙.๕	1.568	๕๐.๖
13	๗/๓/๕๗	๙๑๑๑๖.๕	1.568	๕๐.๖
14	๗/๓/๕๗	๙๑๑๙๓.๕	1.568	๕๐.๖
15	๗/๓/๕๗	๙๑๒๖๙.๕	1.568	๕๐.๖
16	๗/๓/๕๗	๙๑๓๔๖.๕	1.568	๕๐.๖
17	๗/๓/๕๗	๙๑๔๒๓.๕	1.568	๕๐.๖
18	๗/๓/๕๗	๙๑๕๐๐.๖	1.568	๕๐.๖
19	๗/๓/๕๗	๙๑๕๗๖.๕	1.568	๕๐.๖
20	๗/๓/๕๗	๙๑๖๕๓.๕	1.568	๕๐.๖
21	๗/๓/๕๗	๙๑๗๓๐.๖	1.568	๕๐.๖
22	๗/๓/๕๗	๙๑๘๐๖.๕	1.568	๕๐.๖
23	๗/๓/๕๗	๙๑๘๘๓.๕	1.568	๕๐.๖
24	๗/๓/๕๗	๙๑๙๖๐.๖	1.568	๕๐.๖
25	๗/๓/๕๗	๙๒๐๓๖.๕	1.568	๕๐.๖

(ข)

รูปที่ 4-17 ตัวอย่างข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองของอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการจากการบันทึก โดย (ก) อาสาสมัคร และ (ข) พนักงานที่ปั้มน้ำมัน

4.2.2 สรุปผลการทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้งานจริง

จากข้อมูลที่บันทึกได้ของอาสาสมัครที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองประเภท สามารถแสดงอัตราการใช้เชื้อเพลิงซึ่งแสดงผลเป็นระยะทางการใช้งานต่อปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ (กิโลเมตรต่อลิตร) ของอาสาสมัครแต่ละรายได้ ดังตารางที่ 4-1 ซึ่งพบว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถจักรยานยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E85 มีค่าตั้งแต่ 48.77 ถึง 52.23 กิโลเมตรต่อลิตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.10 กิโลเมตรต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถจักรยานยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ทั้งสามคันที่มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ 56.14 กิโลเมตรต่อลิตร จึงอาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า โดยเฉลี่ย รถจักรยานยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E85 จะมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่ารถจักรยานยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ซึ่งสอดคล้องกับเหตุผลดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.1

ตารางที่ 4-1 การเปรียบเทียบข้อมูลอัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลเมตรต่อลิตร) จากอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการ

ชนิดของเชื้อเพลิง	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลเมตรต่อลิตร)			
	จำแนกตามอาสาสมัครแต่ละราย			เฉลี่ย
E85	คันที่ 1 : 53.23	คันที่ 6 : 54.16	คันที่ 11 : 49.88	51.10
	คันที่ 2 : 52.49	คันที่ 7 : 49.83	คันที่ 12 : 49.65	
	คันที่ 3 : 49.98	คันที่ 8 : 48.77	คันที่ 13 : 50.45	
	คันที่ 4 : 52.34	คันที่ 9 : 51.67	คันที่ 14 : 50.22	
	คันที่ 5 : 53.22	คันที่ 10 : 50.67	คันที่ 15 : 49.91	
E10	คันที่ 1 : 59.93	คันที่ 2 : 56.17	คันที่ 3 : 52.33	56.14

อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยราคาน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิง E85 (ค่าเฉลี่ยราคาน้ำมัน 25.51 บาทต่อลิตร ระหว่างวันที่ 1 ต.ค. 2556- 31 พ.ค. 2557⁽¹³⁾) ที่ต่ำกว่าอัตราค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิง E10 (ค่าเฉลี่ยราคาน้ำมัน 37.82 บาทต่อลิตร ระหว่างวันที่ 1 ต.ค. 2556- 31 พ.ค. 2557⁽¹⁴⁾) ทำให้อัตราสิ้นเปลืองในรูปแบบราคาน้ำมันต่อระยะทางใช้รถที่ผู้ขับขี่ต้องจ่ายจริงจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 (มีค่าระหว่าง 0.47 ถึง 0.52 บาทต่อกิโลเมตร) ต่ำกว่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 (มีค่าระหว่าง 0.63 ถึง 0.72 บาทต่อกิโลเมตร) ไปด้วย

⁽¹³⁾ อ้างอิงราคาน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ของสถานีบริการน้ำมันของบริษัท จิระเทค 2012 จำกัด เนื่องจากกำหนดให้อาสาสมัคร E85_1 ถึง E85_15 ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 จากสถานีนี้เท่านั้น

⁽¹⁴⁾ อ้างอิงราคาน้ำมันเชื้อเพลิง E85 จากส่วนปีโตรเลียม สำนักพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ (สนพ.)

ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบข้อมูลอัตราค่าใช้จ่าย (บาทต่อกิโลเมตร) จากอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการ

ชนิดของเชื้อเพลิง	ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงต่อระยะทาง (บาทต่อกิโลเมตร)			เฉลี่ย
	จำแนกตามอาสาสมัครแต่ละราย			
E85	คันที่ 1 : 0.48	คันที่ 6 : 0.51	คันที่ 11 : 0.51	0.50
	คันที่ 2 : 0.49	คันที่ 7 : 0.52	คันที่ 12 : 0.51	
	คันที่ 3 : 0.51	คันที่ 8 : 0.49	คันที่ 13 : 0.51	
	คันที่ 4 : 0.49	คันที่ 9 : 0.50	คันที่ 14 : 0.51	
	คันที่ 5 : 0.48	คันที่ 10 : 0.51	คันที่ 15 : 0.51	
E10	คันที่ 1 : 0.63	คันที่ 2 : 0.67	คันที่ 3 : 0.72	0.68

ในกรณีที่พิจารณาเปรียบเทียบจากค่าเฉลี่ยของราคาน้ำมันเชื้อเพลิงต่อระยะทาง พบว่า ในการขับขี่ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตรเท่ากัน ค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 มีค่าเท่ากับ 0.50 บาท ในขณะที่ค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่มีค่าเท่ากับ 0.68 บาท ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากการดำเนินโครงการนี้ สามารถสรุปได้ว่า ผู้ใช้จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านน้ำมันเชื้อเพลิง (ไม่รวมค่าซ่อมบำรุง) ไปได้ 18 บาทต่อระยะทางที่ใช้ 100 กิโลเมตร จากการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงจาก E10 มาเป็น E85

4.3 การทดสอบด้านความทนทานจากการใช้งานจริง

4.3.1 วิธีการเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลด้านความทนทานของชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์และระบบส่งกำลังจากการทดสอบการใช้งานจริง ดำเนินการ 2 รูปแบบได้แก่ (1) การเก็บข้อมูลทางกายภาพด้านความชำรุดเสียหายจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 โดยทั่วไปของชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และระบบท่อน้ำมันที่ทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ยาง โลหะ และพลาสติก ด้วยการสังเกตรูปร่างภายนอก และ (2) การเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องที่ระยะการใช้งานต่าง ๆ เพื่อทำการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ สภาพการสึกหรอของเครื่องยนต์ สมบัติของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการใช้งาน และสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง ตามมาตรฐาน ASTM ต่างๆ ซึ่งดำเนินการกับรถจักรยานยนต์ที่ได้รับคัดเลือกเข้าร่วมในโครงการทั้งหมดจำนวน 6 ราย โดยเป็นรถที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit สำหรับใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 จำนวน 3 คัน (รูปที่ 4-1) ซึ่งเป็นของอาสาสมัครที่ทำการทดสอบด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งานในหัวข้อ 4.1 และรถที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 จำนวน

3 คัน (รูปที่ 4-18) ซึ่งเป็นของผู้ประกอบอาชีพจักรยานยนต์รับจ้างในพื้นที่มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (รังสิต) ดังรูปที่ 4-19



Honda Wave รุ่น 125i



Honda Wave รุ่น 110i



Honda Click รุ่น 110i

รูปที่ 4-18 รถจักรยานยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่เข้าร่วมโครงการ



รูปที่ 4-19 บริเวณวินรถจักรยานยนต์รับจ้าง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (รังสิต)

การเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการนั้น ทำได้โดยการใช้ปั๊มมือชนิดดูด เก็บน้ำมันเครื่องจากรถจักรยานยนต์ของอาสาสมัครตามระยะที่กำหนด ครั้งละประมาณ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ซีซี) (รูปที่ 4-20) และทำการเติมน้ำมันเครื่องเพิ่มเข้าไปในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งการวิเคราะห์ผลจะเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลของน้ำมันเครื่องใหม่เป็นพื้นฐาน



รูปที่ 4-20 การเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจากรถทดสอบ

สำหรับรถจักรยานยนต์ที่ได้รับการติดตั้งชุด FFV Conversion Kit และใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ได้ทำการเก็บตัวอย่างและเติมน้ำมันเครื่องเพิ่มทุกระยะ 2,000 กิโลเมตรโดยประมาณ และทำการทดสอบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 7 เดือน รวมเป็นระยะทางที่ทำการทดสอบทั้งหมดประมาณ 8,000 กิโลเมตร แล้วจึงทำการถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ทั้งหมด

ในขณะที่ กรณีของรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ซึ่งอาสาสมัครทั้งสามรายประกอบ อาชีพจักรยานยนต์รับจ้างนั้น อาสาสมัครเจ้าของรถได้เข้าร่วมโครงการภายใต้เงื่อนไขที่ต้องทำการถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ทั้งหมดที่ระยะ 4,000 กิโลเมตร ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมที่บำรุงรักษาของตนอยู่เท่านั้น ด้วยเหตุนี้ จึงทำการทดสอบ โดยเก็บตัวอย่างและเติมน้ำมันเครื่องเพิ่มทุกระยะ 500 กิโลเมตรโดยประมาณ และถ่ายน้ำมันเครื่องออกหมดที่ระยะ 4,000 กิโลเมตร แล้วทำการทดสอบซ้ำอีกครั้งหนึ่ง รวมเป็นระยะทางทั้งหมด 8,000 กิโลเมตร

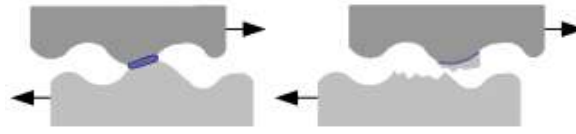
4.3.2 วิธีการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้านความทนทาน

4.3.2.1 สภาพการสึกหรอของเครื่องยนต์ (Wear Condition)

การสึกหรอ หมายถึงการสูญเสียวัสดุหรือเนื้อสารจำนวนหนึ่งออกไปจากชิ้นวัตถุโดยมิได้ต้องการ สาเหตุของการสึกหรอมีหลายประการ การสึกหรอที่เกิดขึ้นจึงอาจเกิดจากหลายสาเหตุร่วมกัน โดยสามารถแบ่งลักษณะการสึกหรอตามสาเหตุได้เป็น 4 ประเภท คือ

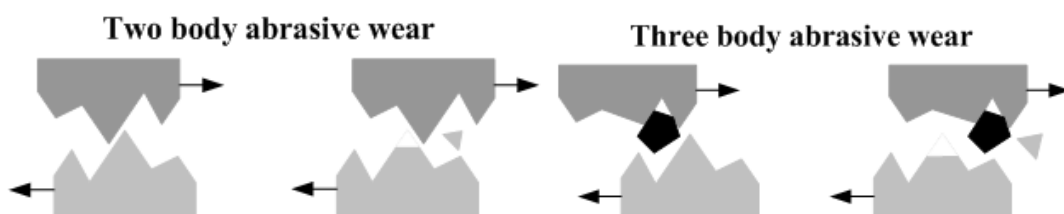
- **การสึกหรอแบบ Adhesive** เกิดจากการที่ผิวโลหะเสียดสีกัน และพื้นผิวที่ขรุขระที่มีลักษณะเหมือนยอดแหลมได้รับการเสียดสีและกระแทกให้แตกหัก ส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานสูงกว่าที่ออกแบบไว้ การใช้น้ำมันหล่อลื่นจะช่วยลดการสึกหรอประเภทนี้ด้วยการสร้างตัวเป็นผิวบางๆ ระหว่างพื้นผิว

ของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่หรือติดต่อกัน เป็นการลดแรงเสียดทานเพื่อให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย การสึกหรอประเภทนี้มักเกิดจากการเคลื่อนที่และหยุดแบบรวดเร็วของผิวหน้าสัมผัส ก่อนที่ฟิล์มน้ำมันจะเกิดขึ้น หรือความไม่สมบูรณ์ของฟิล์มน้ำมันที่แยกออกจันวัตถุทั้งสองสัมผัสกัน



รูปที่ 4-21 การสึกหรอแบบ Adhesive ⁽¹⁵⁾

- **การสึกหรอแบบ Abrasive** เกิดจากการเสียดสีอย่างรุนแรงของวัตถุสองชิ้น (Two body abrasive wear) หรือกรณีที่มีชิ้นส่วนของแข็งขนาดเล็กปะปนเข้าไปในบริเวณผิวสัมผัส (Three body abrasive wear) และครูดไถไปบนผิวหน้าที่อาจจะมีค่าความแข็งต่ำกว่าชิ้นส่วนของแข็งขนาดเล็ก โดยชิ้นส่วนของแข็งนี้สามารถเป็นสิ่งแปลกปลอมจากภายนอกผิวสัมผัส หรือเศษที่แตกหักมาจากการสึกหรอนั่นเอง ในกรณีที่อนุภาคของแข็งมีขนาดใหญ่กว่าความหนาของฟิล์มน้ำมัน และมีความแข็งกว่าผิวหน้าสัมผัส จะทำให้เกิดการสึกหรอแบบ Abrasive ขึ้น การใช้น้ำมันหล่อลื่นจะช่วยชะล้างอนุภาคของแข็งที่เป็นอันตรายต่อผิวหน้านี้ออกไป เป็นการลดการสึกหรอให้แก่อุปกรณ์ของระบบหล่อลื่น เช่น ซีลและไส้กรอง เป็นต้น



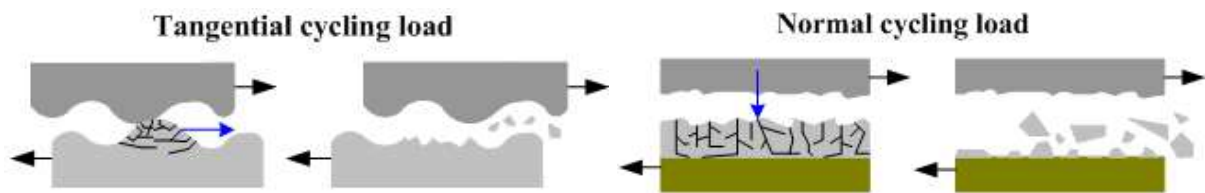
รูปที่ 4-22 การสึกหรอแบบ Abrasive ⁽¹⁵⁾

- **การสึกกร่อน (Corrosive)** หมายถึง การที่เนื้อสารถูกสารอื่นเข้ากัดกร่อนทำปฏิกิริยาเคมี เช่น จากอากาศ จากสารที่เกิดขึ้นจากน้ำมันหล่อลื่นที่เสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน กลายเป็นกรด หรือจากไอกรดกำมะถันจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้และอื่นๆ ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นช่วยลดการสึกกร่อนได้สองวิธี คือ การสร้างตัวเป็นชั้นฟิล์มเคลือบผิวหน้าป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการที่

⁽¹⁵⁾ ที่มา : www.substech.com

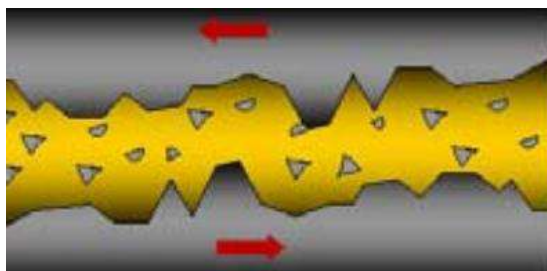
น้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมของ Additive หรือสารเคมีที่จะทำให้หน้าที่ยืดหยุ่นหรือเข้าทำปฏิกิริยากับสารที่เป็นอันตรายนั้นก่อนที่จะเกิดการสึกกร่อน

- **ความเสียหายแบบล้า (Fatigue Wear)** เกิดจากการที่ผิววัสดุถูกแรงกระทำซ้ำๆ และต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน จนเกิดการล้าของเนื้อสารขึ้น อาการที่พบของความเสียหายแบบล้าคือ รูหรือรอยแตกขนาดเล็กที่เกิดขึ้นโดยฉับพลัน สำหรับการสึกหรอประเภทนี้ ยังไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นมีส่วนช่วยลดหรือป้องกันได้ อย่างไรก็ตาม หลักการของน้ำมันหล่อลื่นในการลดแรงเสียดทานและการสึกหรอ เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการออกแบบ การเลือกใช้ ให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงของน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 4-23 ความเสียหายแบบล้า (Fatigue Wear) ⁽¹⁶⁾

นอกจากนี้ ในทางทฤษฎียังสามารถแบ่งประเภทของการสึกหรอตามขนาดของอนุภาคเศษโลหะ ออกได้เป็นการสึกหรอแบบปกติ (Normal Wear) และการสึกหรอแบบผิดปกติ (Abnormal Wear) ทั้งนี้ การสึกหรอแบบปกติ (รูปที่ 4-24) หมายถึงการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องยนต์หรือเครื่องจักร ที่มีชิ้นของอนุภาคเศษโลหะเกิดขึ้นตามปกติ ภายใต้การเกิดขึ้นของชั้นฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่น โดยทั่วไปอนุภาคเศษโลหะของการสึกหรอแบบปกติ จะมีขนาดละเอียด (Fine Wear) หรือมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน



รูปที่ 4-24 การสึกหรอแบบปกติ (Normal Wear)

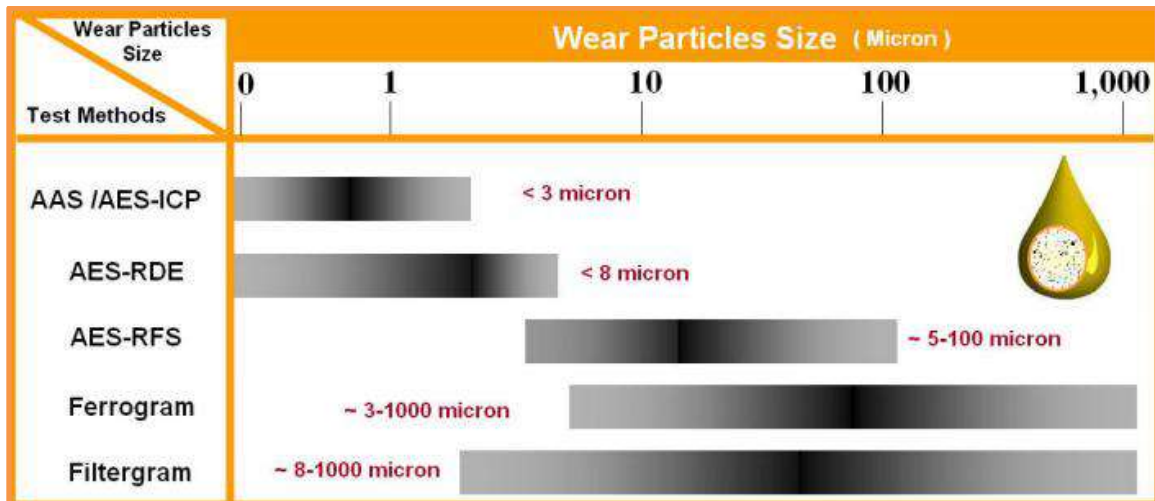
⁽¹⁶⁾ ที่มา : www.substech.com

การสึกหรอแบบผิดปกติ (รูปที่ 4-25) เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ในกรณีที่เครื่องยนต์หรือเครื่องจักรทำงานที่ภาระสูงหรือความเร็วสูงกว่าที่ได้รับการออกแบบไว้ ในกรณีที่มั่ววัสดุเจือปน รวมไปถึงกรณีที่น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพ ซึ่งในกรณีต่างๆ นี้ จะทำให้เกิดอนุภาคเศษโลหะที่มีขนาดผิดปกติ สวมใหญ่แล้วจะพบวาทังอนุภาคขนาดละเอียดและขนาดหยาบปะปนรวมกัน โดยที่ปริมาณของอนุภาคเศษโลหะสึกหรอขนาดเล็กหรือขนาดละเอียด (Fine Wear) มีปริมาณมาก รวมเข้าด้วยกันกับอนุภาคเศษโลหะที่มีขนาดหยาบ (Coarse Wear) หรือขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน



รูปที่ 4-25 การสึกหรอแบบผิดปกติ (Abnormal Wear)

ในการวิเคราะห์สภาพการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์ในโครงการ ได้ดำเนินการด้วยการตรวจวัดปริมาณอนุภาคธาตุโลหะจำนวน 11 ชนิด ได้แก่ ธาตุเหล็ก (Iron) ธาตุโครเมียม (Chromium) ธาตุตะกั่ว (Lead) ธาตุทองแดง (Copper) ธาตุดีบุก (Tin) ธาตุอะลูมิเนียม (Aluminum) ธาตุนิเกิล (Nickel) ธาตุเงิน (Silver) ธาตุโมลิบดีนัม (Molybdenum) ธาตุไทเทเนียม (Titanium) แบบขนาดอนุภาคหยาบ (ขนาดตั้งแต่ 5 ไมครอนขึ้นไป) และขนาดอนุภาคละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน) โดยใช้การผสมผสานวิธีและเครื่องมือเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 4-26 เรียกว่า “Double Wear Check™” ซึ่งเป็นการตรวจวิเคราะห์อนุภาคเศษโลหะด้วยวิธีการสเปกโตรมิเตอร์แบบพิเศษ โดยใช้วิธี RFS Coarse Wear Spectrometric Analysis (RFS ย่อมาจาก Rotrode Filter Spectroscopy) คือการใช้ RFS Spectrometer ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคธาตุโลหะขนาดอนุภาคหยาบ (ตั้งแต่ 5 ถึง 100 ไมครอน) และวิธี RDE Spectrometric Analysis (RDE ย่อมาจาก Rotating Disk Electrode) คือการใช้ RDE - Atomic Emission Spectrometer ในการตรวจวัดปริมาณอนุภาคธาตุโลหะขนาดอนุภาคละเอียด (เล็กกว่า 5 ไมครอน) มีหน่วยเป็น ppm



รูปที่ 4-26 วิธีการและเครื่องมือตรวจวิเคราะห์อนุภาคโลหะที่เหมาะสมกับขนาดอนุภาคต่างๆ

4.3.2.2 สมบัติของน้ำมันเครื่อง (Oil Condition)

การตรวจสอบวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันเครื่อง มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอายุการใช้งานและความสามารถของน้ำมันเครื่องในการทำหน้าที่หล่อลื่นและป้องกันความเสียหายภายในชิ้นส่วน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพลดลงจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง อันเนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน (Thermal degradation)
- การเสียดสีระหว่างผิวสไลด์ (Reaction with sliding surfaces)
- การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)
- สิ่งสกปรกจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ (Contamination by engine blow-by)
- การเสื่อมสภาพของสารเติมแต่ง (Additive depletion)

น้ำมันเครื่องที่เสื่อมลงจะมีสีคล้ำเข้มขึ้น ความหนืดของน้ำมันและค่าความเป็นกรดจะสูงขึ้นด้วย ซึ่งสามารถพิจารณาการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องได้จากค่าต่างๆ ต่อไปนี้

- ค่า Viscosity Index ตรวจวัดด้วยวิธี ASTM D-445 โดยทั่วไป ค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณเตือนให้ทำการตรวจสอบสมบัติอื่นซึ่งอาจผิดปกติตามไป ซึ่งจากมาตรฐานที่กำหนดกรณีที่ค่าของความหนืดเปลี่ยนไป 10% ถึง 15% จากค่าเริ่มต้น ไม่ว่าจะมากขึ้นหรือน้อยลงก็ตาม ถือว่าน้ำมันเครื่องเกิดการเสื่อมสภาพจนต้องทำการเปลี่ยนถ่าย

- **ค่าไนเตรชัน (Nitration)** ตรวจวัดด้วยวิธี FTIR โดยทั่วไป การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้จะให้ความร้อนสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและไนเตรชัน โดยเมื่อเกิดปฏิกิริยาไนเตรชัน (nitration) เบนซีนทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกเข้มข้นที่ร้อน จะให้ไนโตรเบนซีน (nitrobenzene) เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลให้เกิดโคลน และมีความหนืดเพิ่มขึ้น สมบัติในการต้านการเกิดปฏิกิริยาไนเตรชัน จึงเป็นหนึ่งในสิ่งที่สมบัติของน้ำมันเครื่องต้องมี ในการตรวจวัดปริมาณค่าไนเตรชัน ด้วยวิธีอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี หรือ FTIR (ย่อมาจาก Fourier Transform InfraRed Spectroscopy) ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีในโมเลกุล รวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด ซึ่งมีหลักการทำงานจากสมบัติการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบที่แตกต่างกัน และทำการจับคู่สเปกตรัมของสารประกอบที่ต้องการเข้ากับสเปกตรัมอ้างอิง IR/FTIR ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์ อะตอมทุกตัวในโมเลกุลจะมีการสั่นอยู่ตลอดเวลา เมื่อความถี่ของการสั่นมีค่าเท่ากับค่าความถี่ของรังสีอินฟราเรดที่ฉายมายังโมเลกุล โมเลกุลก็จะดูดกลืนรังสี จำนวนแถบการดูดกลืนทั้งหมดที่สังเกตได้จะมีค่าไม่เท่ากับการสั่นมูลฐานของโมเลกุลทั้งหมด โดยจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะจะมีบางแถบพลังงานที่ไม่มีการตอบสนองต่อพลังงานในช่วงรังสีอินฟราเรด

- **ค่าออกซิเดชัน (Oxidation)** ตรวจวัดด้วยวิธี FTIR เช่นเดียวกับปฏิกิริยาไนเตรชัน สมบัติของการต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นอีกหนึ่งสมบัติที่จำเป็นของน้ำมันเครื่อง ปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันเครื่อง เกิดขึ้นจากการที่ตัวเนื่อน้ำมันพื้นฐานทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศในระหว่างการใช้งาน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดสูงขึ้น ค่าความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น และปริมาณตะกอนที่ไม่ละลายในสารละลายสูงขึ้น กรดที่เกิดปฏิกิริยาในเบื้องต้นมักจะไม่เป็นอันตรายต่อชิ้นส่วนเครื่องจักรกล เพราะยังมีความเข้มข้นต่ำอยู่ หากการเกิดปฏิกิริยาบ่อยจนส่งผลให้ค่าความเป็นกรดสูงพอที่จะเริ่มกัดกร่อนผิวชิ้นส่วนโลหะจนเกิดเป็นกรดเกลือ โลหะจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับออกซิเจน ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบ่อยขึ้น ทำให้น้ำมันเสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็วขึ้น เกิดเป็นตะกอนยางเหนียวเกาะติดตามทางเดินของน้ำมันในเครื่องยนต์ ส่งผลให้เกิดการอุดตันของทางเดินของน้ำมัน ขาดการหล่อลื่นและเครื่องยนต์เกิดการสึกหรอในที่สุด

- **ค่าความเป็นกรด TAN (Total Acid Number)** ตรวจวัดด้วยวิธี ASTM D-974 ค่าความเป็นกรดที่วัดออกมาเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม KOH ต่อกรัม น้ำมัน โดยใช้ตัวย่อว่า “mgKOH/g” เช่นเดียวกันกับค่าความเป็นด่าง แสดงถึงปริมาณของกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น จุดประสงค์ของการวัดค่าความเป็นกรดในน้ำมันหล่อลื่นคือ ต้องการตรวจวัดปริมาณกรดแก่หรือกรดอ่อน ซึ่งอาจกัดกร่อนโลหะทำให้เกิดความเสียหาย โดยปกติ น้ำมันพื้นฐาน (Base Oil) ที่มีคุณภาพที่ดีจะมีค่าความเป็นกรดน้อยมากไม่เกิน 0.05 ถึง 0.10 mgKOH/g และตามมาตรฐาน ASTM น้ำมันเครื่องที่ดีควรมีค่าความเป็นกรดไม่เกิน 0.20 ถึง 0.32 mgKOH/g ในกรณีที่เกินกว่านี้แสดงว่าน้ำมันเสื่อมคุณภาพแล้ว สารเคมีถูกใช้หมดไปและน้ำมันรวมกับออกซิเจนมากเกินไป ถ้าค่าของความเป็นกรดถึง 0.4 mgKOH/g ต้องเปลี่ยนน้ำมันใหม่

- **ความเป็นต่าง TBN (Total Base Number)** ตามมาตรฐาน ASTM กำหนดให้ค่าของความเป็นต่าง TBN ควรสูงกว่า 3.2 mgKOH/g ในกรณีที่ต่ำกว่านี้แสดงว่าน้ำมันมีแนวโน้มที่จะมีค่าความเป็นกรดสูง ในกรณีที่ถ้าค่าของความเป็นต่างมีค่าต่ำกว่า 0.2 mgKOH/g จะต้องเปลี่ยนน้ำมันใหม่

4.3.2.3 สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง (Contamination)

สิ่งสกปรกปนเปื้อนในน้ำมันเครื่องมีผลสำคัญต่อประสิทธิภาพการหล่อลื่น เช่น เขม่า (Soot) น้ำ (Water) น้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel) ไกลคอล (Glycol) รวมไปถึงผงและฝุ่นละอองที่เจือปนที่สามารถตรวจวัดได้จากค่าปริมาณอนุภาคซิลิกอน (Silicon) เป็นต้น โดยในโครงการมีการตรวจวัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ดังรายการต่อไปนี้

- **ปริมาณเขม่า (Soot Content)** เขม่า หรือ “Soot” เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ มีก้อนหรือเศษของวัสดุที่ยังเผาไหม้ไม่หมด โดยเขม่าซึ่งมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าควัน จะเกาะและสะสมตัวอยู่บนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเขม่ามากขึ้นอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียความร้อนมากขึ้น และทำให้อัตราการสิ้นเปลืองสูงขึ้นตามไปด้วย ในโครงการนี้ได้ดำเนินการตรวจวัดปริมาณเขม่าอันเป็นผลมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ด้วยวิธีการ FTIR โดยกำหนดให้มีค่ามีการแจ้งเตือนเมื่อมีค่าสูงกว่า 0.25%wt และต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องเมื่อมีค่าสูงกว่า 0.5%wt

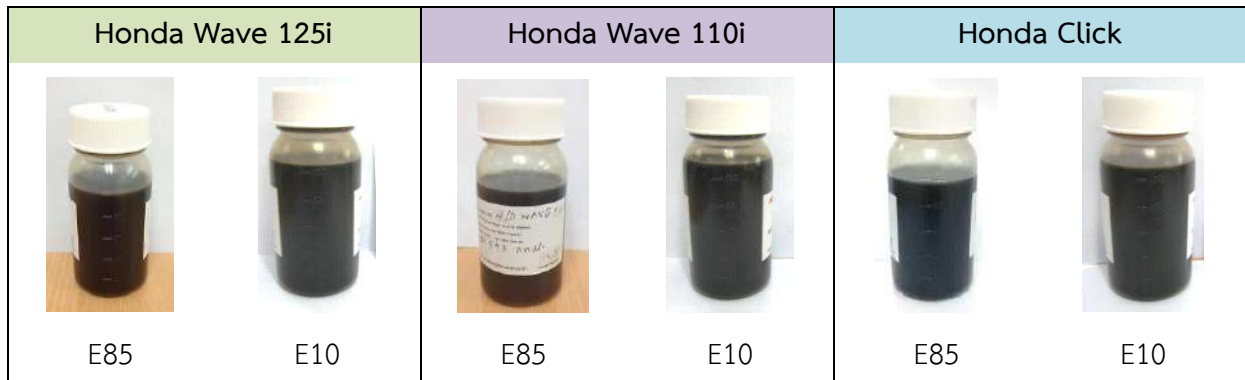
- **ปริมาณอนุภาคซิลิกอน (Silicon Content)** ซิลิกอนเป็นธาตุกึ่งโลหะ ที่มีลักษณะเป็นผลึกสีเทาเป็นมันวาว มีโครงสร้างคล้ายเพชร เป็นธาตุที่มีในธรรมชาติมากเป็นอันดับสองรองจากออกซิเจน คือประมาณร้อยละ 25.67 โดยมวล โดยทั่วไปธาตุซิลิกอนไม่พบในรูปอิสระ แต่มักจะพบในแร่ควอตซ์และทราย ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ที่เรียกว่าซิลิกา (SiO_2) ในกรณีที่พบในอากาศจะอยู่ในรูปของฝุ่นละอองจากดิน ในการตรวจวัดค่าปริมาณอนุภาคซิลิกอนในน้ำมันเครื่องนั้น มีจุดประสงค์เพื่อวัดปริมาณฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันเครื่องอันเป็นผลให้น้ำมันเครื่องมีค่าความหนืดสูงขึ้น จนสามารถเสื่อมสภาพไปในที่สุด

- **ปริมาณน้ำ (Water Content)** ในโครงการนี้ได้ดำเนินการตรวจวัดปริมาณน้ำด้วยวิธีการ FTIR โดยกำหนดให้มีค่ามีการแจ้งเตือนเมื่อมีค่าสูงกว่า 0.15%wt และต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องเมื่อมีค่าสูงกว่า 0.20%wt

- **ปริมาณเชื้อเพลิง (Fuel Content)** ในโครงการนี้ได้ดำเนินการตรวจวัดปริมาณเชื้อเพลิงปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นด้วยวิธีการ SAW (ย่อมาจาก Surface Acoustic Wave) โดยกำหนดให้มีค่ามีการแจ้งเตือนเมื่อมีค่าสูงกว่า 3%wt และต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องเมื่อมีค่าสูงกว่า 5%wt

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบตัวอย่างน้ำมันเครื่องจากการใช้งานจริง

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบตัวอย่างน้ำมันเครื่องจากการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์ (ดังตัวอย่างในรูปที่ 4-27) ที่ปรึกษาได้ดำเนินการพิจารณาเปรียบเทียบด้วยการจับคู่รถจักรยานยนต์รุ่นเดียวกันที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85 โดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ผลจากค่าที่วัดได้ต่างๆ เป็นคู่ด้วยเช่นกัน โดยได้ทำการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ ต่อระยะทางที่ใช้ทดสอบ ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้



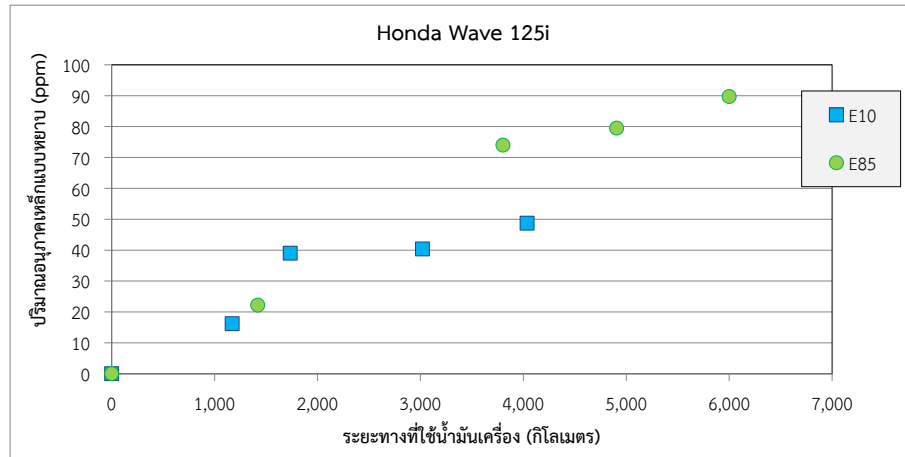
รูปที่ 4-27 ตัวอย่างน้ำมันเครื่องจากรถจักรยานยนต์ในโครงการหลังจากใช้งาน 2,000 กิโลเมตร

4.3.3.1 สภาพการสึกหรอของเครื่องยนต์

จากข้อมูลผลการวิเคราะห์สภาพการสึกหรอของเครื่องยนต์จากปริมาณอนุภาคธาตุโลหะต่างๆ พบว่า ธาตุเหล็ก และธาตุอะลูมิเนียม มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

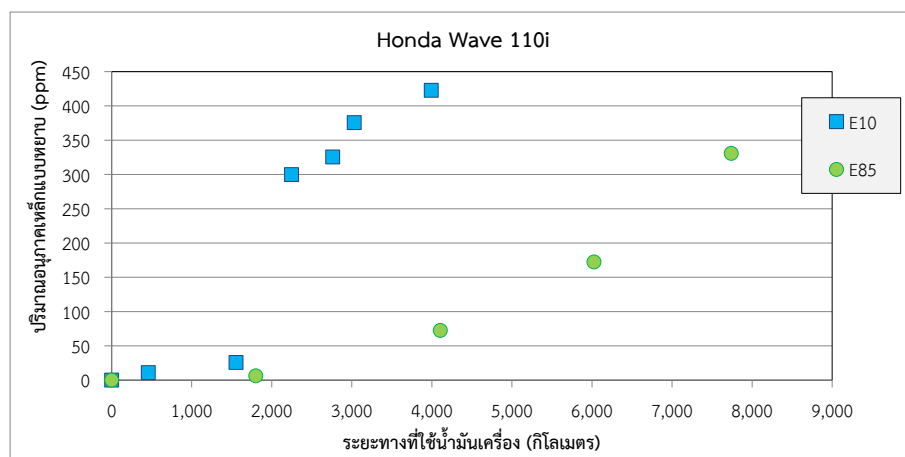
ปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบ

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณอนุภาคธาตุเหล็ก ซึ่งเป็นวัสดุที่เป็นส่วนประกอบในการผลิตชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ อาทิ วาล์วหรือลูกปืน โดยผลการวิเคราะห์อนุภาคแบบหยาบเป็นตัวชี้วัดการสึกหรอแบบผิดปกติจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด ดังที่แสดงในรูปที่ 4-28 ถึงรูปที่ 4-30 ซึ่งเป็นผลของรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่นพบว่า ผลกระทบที่เกิดกับรถจักรยานยนต์แต่ละรุ่นมีความแตกต่างกัน โดยสำหรับรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิด ที่ในระยะทาง 1,100 ถึง 1,300 กิโลเมตรแรกโดยประมาณ ได้ตรวจพบค่าปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบได้ประมาณ 20 ppm แต่ที่ระยะทางตั้งแต่ 3,800 กิโลเมตรเป็นต้นไป พบว่าปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 สูงกว่าผลจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 โดยวัดได้ประมาณ 75 ppm และ 50 ppm ตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสามารถสรุปจากข้อมูลนี้ได้ว่า สำหรับรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i ที่เข้าร่วมการทดสอบมีการสึกหรอจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 สูงกว่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10



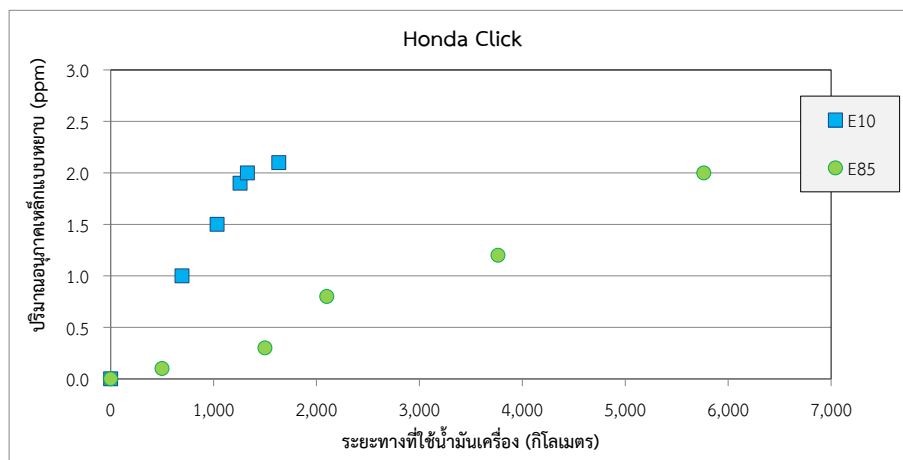
รูปที่ 4-28 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคหลักแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i

ในทางตรงกันข้าม ผลการตรวจวัดที่ได้จากรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิด (รูปที่ 4-29) พบค่าสัมบูรณ์และแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของปริมาณอนุภาคหลักแบบหยาบจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่สูงกว่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 อย่างชัดเจนตั้งแต่ที่ระยะทาง 2,000 กิโลเมตรขึ้นไป โดยมีค่าอยู่ที่ 300 ppm และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 378 ppm และ 430 ppm ที่ระยะทาง 3,000 และ 4,000 กิโลเมตรตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปจากข้อมูลนี้ได้ว่า อาจเกิดการสึกหรอแบบผิดปกติกับรถจักรยานยนต์คันที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 โดยสามารถเกิดขึ้นได้ที่ชิ้นส่วนลูกปืนและเพลากลางในเครื่องยนต์ที่ผลิตจากวัสดุที่เป็นเหล็ก



รูปที่ 4-29 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคหลักแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i

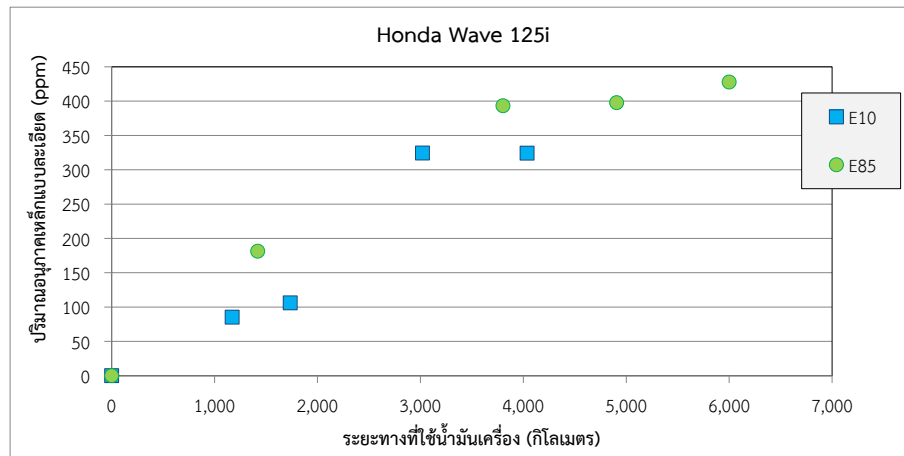
สำหรับผลการตรวจวัดที่ได้จากรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click (รูปที่ 4-30) ซึ่งเป็นรุ่นที่ระบบเกียร์ไม่ได้ใช้น้ำมันเครื่องชนิดเดียวกับเครื่องยนต์ และน้ำมันเครื่องจะทำการหล่อลื่นเฉพาะชิ้นส่วนในเครื่องยนต์เท่านั้น อนึ่ง ในกรณีของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave ทั้งสองรุ่นที่ผ่านมา น้ำมันเครื่องจะทำหน้าที่หล่อลื่นในเครื่องยนต์ ระบบเกียร์และคลัชต์ ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของในเชิงคุณภาพของน้ำมันเครื่อง โดยตรวจพบค่าอนุภาคเหล็กแบบหยาบของรถรุ่น Honda Click ทั้งสองคันเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีแนวโน้มจะพบการสึกหรอของการใช้เชื้อเพลิง E10 สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิง E85 โดยมีค่าสูงสุด 2.2 ppm และ 2 ppm ตามลำดับ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ไม่พบการสึกหรอแบบผิดปกติในรถจักรยานยนต์รุ่นนี้ทั้งสองคัน



รูปที่ 4-30 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click

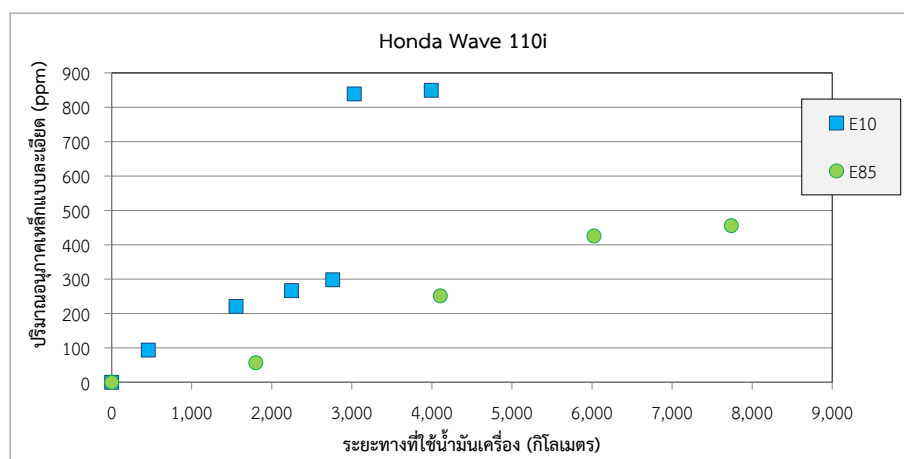
ปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียด

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณอนุภาคธาตุเหล็กแบบละเอียด ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการสึกหรอแบบปกติจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดของรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่นพบว่า ปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียดที่ตรวจพบในน้ำมันเครื่องจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดกับรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i (รูปที่ 4-31) มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามปริมาณอนุภาคธาตุเหล็กแบบละเอียดที่วัดได้ตั้งแต่ระยะทางใช้งาน 1,700 กิโลเมตรอยู่ในระดับที่สูงมากกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด (ไม่ควรเกิน 60 ppm) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งหมายความว่า เครื่องยนต์ของรถทั้งสองคันมีการสึกหรอแบบปกติที่มีปริมาณอนุภาคธาตุเหล็กแบบละเอียดสูงถึง 400 และ 420 ppm ในกรณีของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ที่ระยะทาง 4,000 และ 6,000 กิโลเมตรตามลำดับ ซึ่งสมควรจะได้รับการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ทั้งหมด



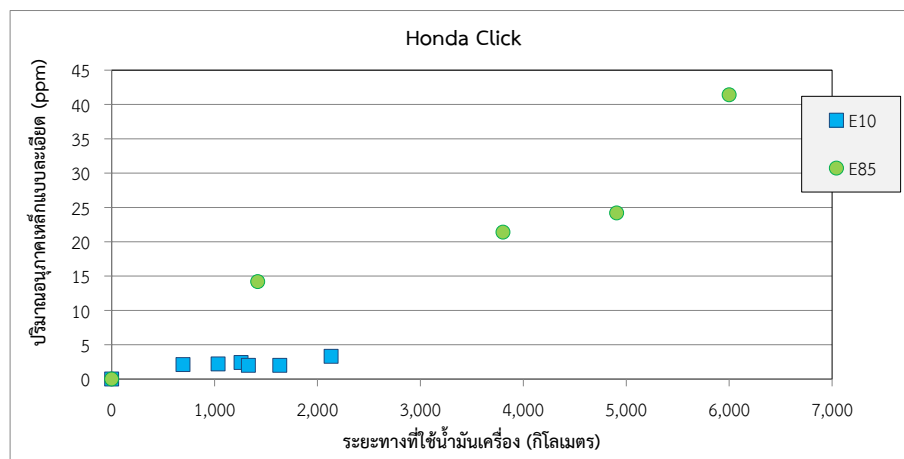
รูปที่ 4-31 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i

สำหรับกรณีของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave รุ่น 110i (รูปที่ 4-32) ปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียดที่ตรวจพบจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 จะสูงกว่า E85 ตั้งแต่เริ่มต้นโดยมีความแตกต่างที่ชัดเจนตั้งแต่ระยะทาง 2,000 กิโลเมตรโดยประมาณ ซึ่งวัดค่าได้ 220 ppm และ 72 ppm ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียดอยู่ในระดับที่สูงมากกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด (ไม่ควรเกิน 60 ppm) ทั้งสองกรณี อีกทั้งยังพบว่าปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียดที่ได้จากรถที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 มีสูงถึง 849 ppm และ 897 ppm ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับที่สูงมากและควรได้รับการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ทั้งหมดทันที



รูปที่ 4-32 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i

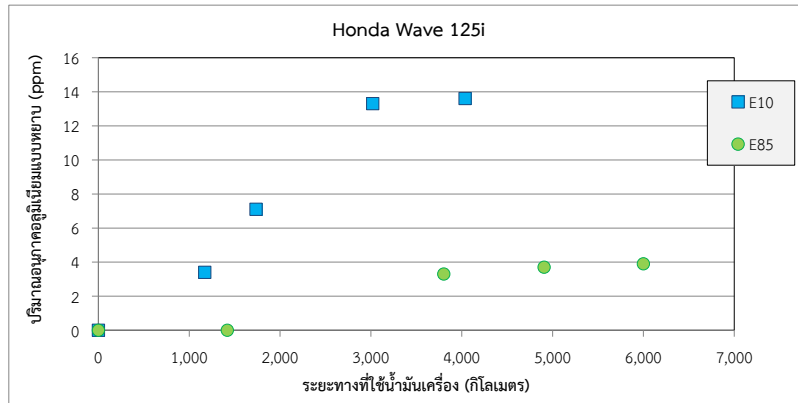
สำหรับผลการตรวจวัดปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียดที่ได้จากรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click พบว่าได้ผลสอดคล้องกับการตรวจวัดปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบกล่าวคือ ค่าปริมาณอนุภาคสูงสุดของรถทั้งสองคันที่ตรวจพบยังคงต่ำกว่าค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน (60 ppm) ซึ่งโดยแนวโน้มจะพบการสึกหรอของการใช้เชื้อเพลิง E85 สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิง E10 โดยที่ระยะทาง 1,500 กิโลเมตร พบว่ามีที่ค่าปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียดเท่ากับ 15 ppm และ 2 ppm ตามลำดับ ซึ่งสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า ไม่พบการสึกหรอแบบปกติในรถจักรยานยนต์รุ่นนี้ทั้งสองคัน



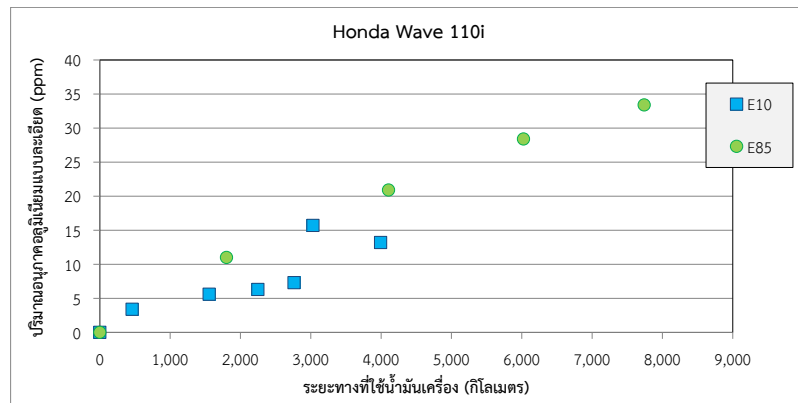
รูปที่ 4-33 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click

ปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบหยาบ

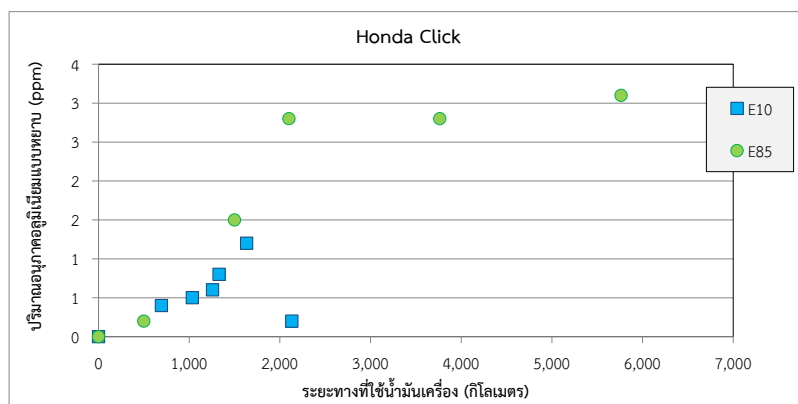
อะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่เป็นส่วนประกอบในการผลิตชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์หลายชิ้นส่วน อาทิ ลูกสูบ หรือ แหวนลูกสูบ ซึ่งมีโอกาสได้รับการเสียดสีจนเกิดการสึกหรอจากการทำงานสูง จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณอนุภาคธาตอะลูมิเนียมแบบหยาบ ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM D-6595 จะต้องไม่เกิน 4 ppm พบว่าที่ระยะการทดสอบ 4,000 กิโลเมตรของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave รุ่น 125i และรุ่น 110i (รูปที่ 4-34 และรูปที่ 4-35) ทั้งที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85 ค่าปริมาณอนุภาคธาตอะลูมิเนียมแบบหยาบมีค่าระหว่าง 4 ถึง 22 ppm ซึ่งสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่ามีการสึกหรอแบบผิดปกติ โดยในรุ่น Honda Wave 125i รถที่ใช้เชื้อเพลิง E10 พบค่าการสึกหรอสูงกว่ารถที่ใช้เชื้อเพลิง E85 ในขณะที่ ค่าอนุภาคธาตอะลูมิเนียมแบบหยาบที่ตรวจพบได้จากรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click ที่ใช้น้ำมันทั้งสองประเภท มีค่าผ่านเกณฑ์ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการที่น้ำมันหล่อลื่นของรถรุ่นนี้ทำการหล่อลื่นเฉพาะชิ้นส่วนในเครื่องยนต์เท่านั้น ไม่รวมถึงระบบคลัชต์และเกียร์ จึงส่งผลให้อัตราการสึกหรอหรือเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องเกิดขึ้นช้ากว่า และคงประสิทธิภาพการใช้งานได้ดีกว่าในกรณีที่ใช้น้ำมันเครื่องทำหน้าที่หล่อลื่นในระบบเกียร์ด้วย



รูปที่ 4-34 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i



รูปที่ 4-35 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i

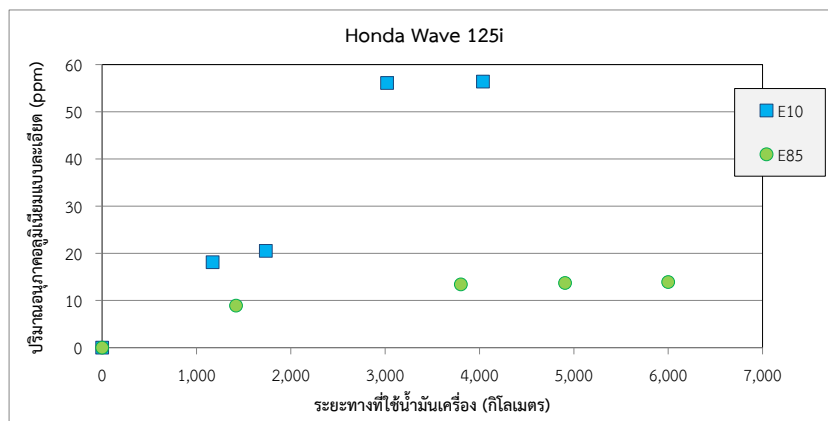


รูปที่ 4-36 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click

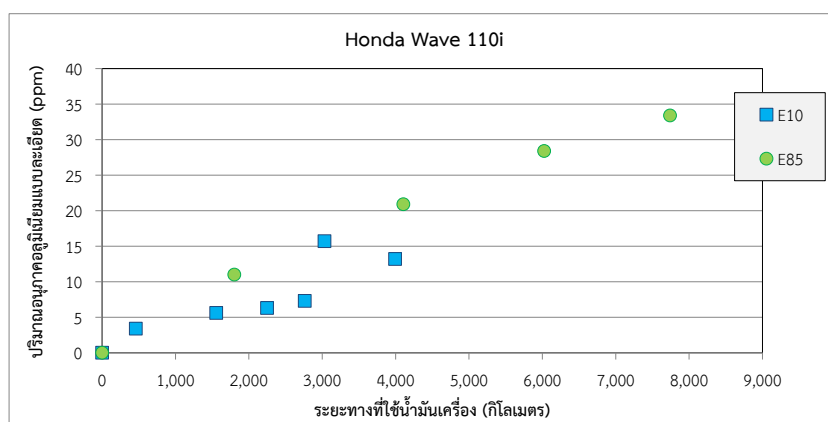
ปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบละเอียด

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณอนุภาคธาตุอะลูมิเนียมแบบละเอียด ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM D-6595 จะต้องมีค่าไม่เกิน 20 ppm พบว่าที่ระยะการทดสอบ 4,000 กิโลเมตรของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave รุ่น 125i (รูปที่ 4-37) คันที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E10 พบค่าปริมาณอนุภาคธาตุอะลูมิเนียมแบบละเอียดถึง 57 ppm ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ตามมาตรฐาน ในขณะที่รถรุ่นเดียวกันที่ใช้เชื้อเพลิง E85 มีค่าอนุภาคธาตุอะลูมิเนียมแบบละเอียดในระดับปกติ โดยมีค่าสูงสุด 15 ppm ที่ระยะทาง 6,000 กิโลเมตร

ในขณะที่ ค่าปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบละเอียดของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave รุ่น 110i (รูปที่ 4-38) ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ตั้งแต่ระยะทางทดสอบ 4,000 กิโลเมตร จะสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานและสูงกว่ารถที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 และเพิ่มขึ้นถึง 34 ppm ที่ระยะทาง 8,000 กิโลเมตร

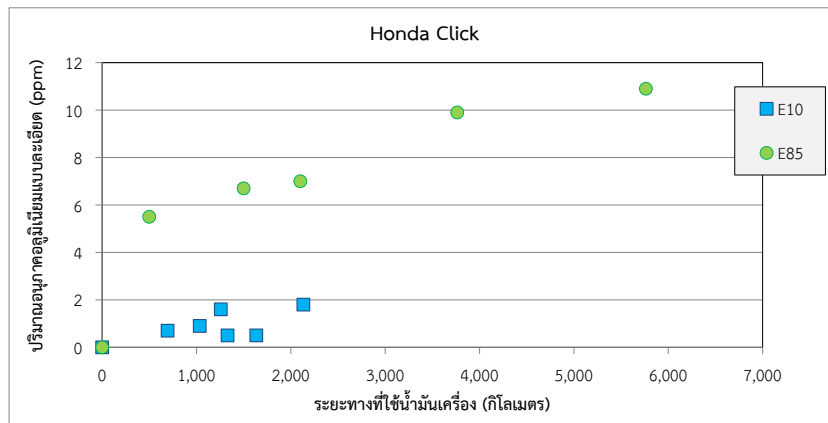


รูปที่ 4-37 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i



รูปที่ 4-38 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i

สำหรับการตรวจวัดค่าอนุภาคธาตุอะลูมิเนียมแบบละเอียดที่ตรวจพบได้ในรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click ในรถที่ใช้ น้ำมันทั้งสองประเภทพบว่าได้ผลสอดคล้องกับการตรวจวัดปริมาณอนุภาคเหล็กและอะลูมิเนียมแบบหยาบของรถในรุ่นนี้กล่าวคือ มีค่าผ่านเกณฑ์ และไม่พบการสึกหรอแบบผิดปกติ



รูปที่ 4-39 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียมแบบละเอียด (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click

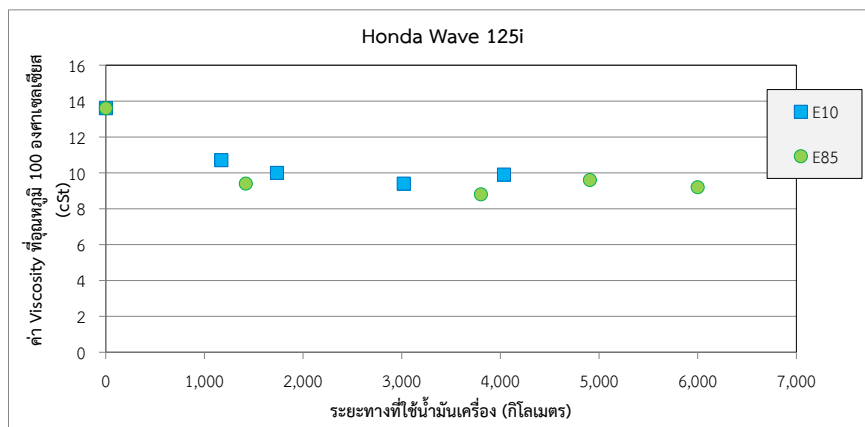
4.3.3.2 สมบัติของน้ำมันเครื่อง

น้ำมันเครื่องแต่ละชนิดได้ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อให้มีสมบัติ และคุณภาพเหมาะสมสำหรับงานหล่อลื่นแต่ละประเภท โดยการนำเอาน้ำมันพื้นฐานที่มีความหนืดพอเหมาะมาปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารเคมีเพิ่มคุณภาพเพื่อให้คุณสมบัติพิเศษตามความต้องการ เช่น สมบัติในการรับแรงกดหรือเสียดสีของชิ้นส่วน หรือชะล้างเศษโลหะหรือสิ่งสกปรกออกจากเครื่องยนต์ เมื่อถูกใช้งาน สมบัติและคุณภาพของน้ำมันเครื่องจะเสื่อมสภาพลงไปเรื่อยๆ จนในที่สุดไม่เหมาะสมกับการใช้งานอีกต่อไป ตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ด้านความหนืด (Viscosity) ของน้ำมันเครื่องด้วยวิธีตามมาตรฐาน ASTM D-445 ซึ่งค่าความหนืดที่เปลี่ยนไป ไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เป็นการบ่งชี้แนวโน้มและความเป็นไปได้ที่น้ำมันเครื่องจะเสื่อมสภาพ และควรทำการตรวจสอบสมบัติอื่นๆ ซึ่งอาจผิดปกติไปด้วย โดยจากมาตรฐานแล้ว กรณีที่ค่าของความหนืดเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าหรือน้อยกว่าร้อยละ 10 ถึง 15 จากค่าที่วัดได้จากน้ำมันเครื่องใหม่ (ค่าเริ่มต้น) ถือว่าเกิดการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องต้องทำการเปลี่ยนถ่าย

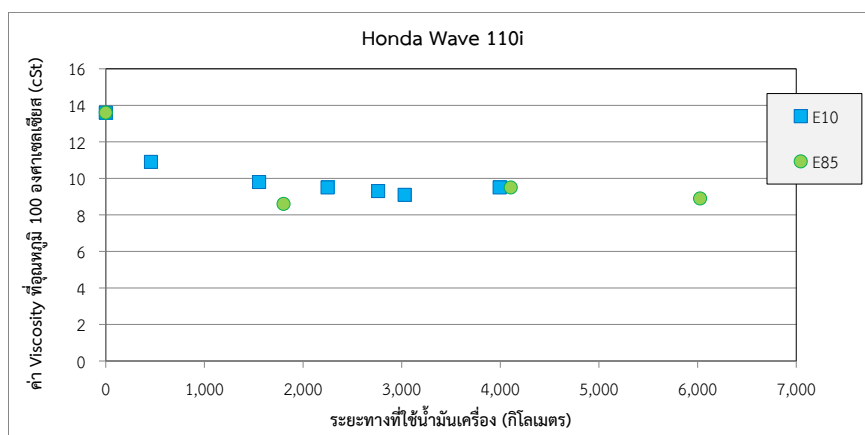
ความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ดังที่ได้แสดงผลไว้ในภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์น้ำมันเครื่องก่อนการใช้งาน พบว่ามีค่าความหนืด 13.6 cSt ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งจากมาตรฐาน ASTM D-445 การเสื่อมสภาพของ

น้ำมันเครื่องจะต้องทำการเปลี่ยนถ่ายจะเกิดขึ้นในกรณีที่ค่าของความหนืดมีค่าต่ำกว่า 11.6 cSt หรือมีค่าสูงกว่า 15.7 cSt ซึ่งจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของตัวอย่างน้ำมันเครื่องจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดของรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น (รูปที่ 4-40 ถึงรูปที่ 4-42) พบว่ามีแนวโน้มเดียวกันทั้งหมดกล่าวคือ ค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องมีค่าลดลงจาก 13.6 cSt เหลือลงประมาณ 8.8 ถึง 11 cSt จากการใช้งานที่ระยะทาง 1,000 กิโลเมตร โดยหลังจากที่ใช้งานที่เพิ่มขึ้นที่ระยะทางถึง 8,000 กิโลเมตร ค่าความหนืดยังคงรักษาระดับไว้ และไม่ลดลงไปกว่า 7 cSt โดยจากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันเครื่องจากรุ่น Honda Wave 125i (รูปที่ 4-40) พบว่าค่าความหนืดจากรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราใกล้เคียงกันจากค่าเริ่มต้น เช่นเดียวกับกรณีของรถรุ่น Honda Wave 110i (รูปที่ 4-41)

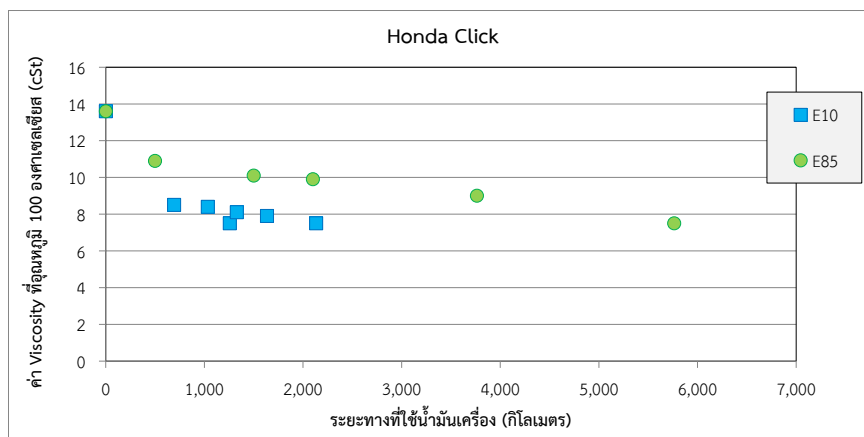


รูปที่ 4-40 การเปรียบเทียบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i



รูปที่ 4-41 การเปรียบเทียบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i

สำหรับรถรุ่น Honda Click พบว่าค่าความหนืดจากตัวอย่างน้ำมันเครื่องของรถรุ่น Honda Click ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับรถรุ่นอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ค่าความหนืดของรถที่ใช้เชื้อเพลิง E10 จากการใช้งานที่ระยะทางเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ มีค่าต่ำกว่าค่าความหนืดที่วัดได้จากรถที่ใช้เชื้อเพลิง E85 โดยมีค่าความหนืดลดลงเหลือ 7.5 cSt และ 10 cSt ตามลำดับ จากการใช้งานที่ระยะทาง 1,000 กิโลเมตรโดยประมาณ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องของรถรุ่นนี้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่สูงกว่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85



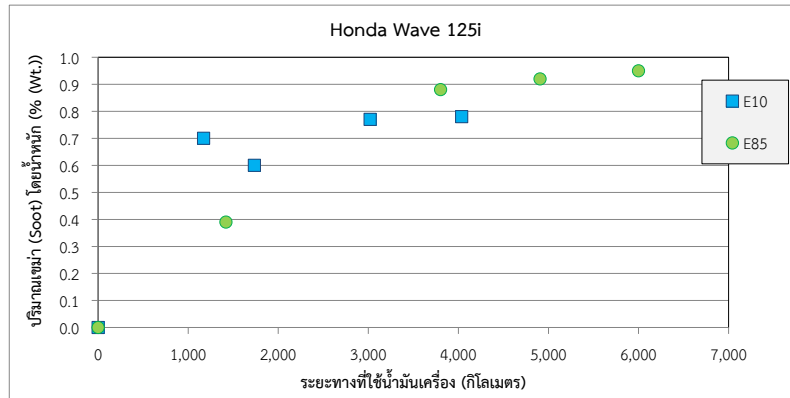
รูปที่ 4-42 การเปรียบเทียบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click

4.3.3.3 สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

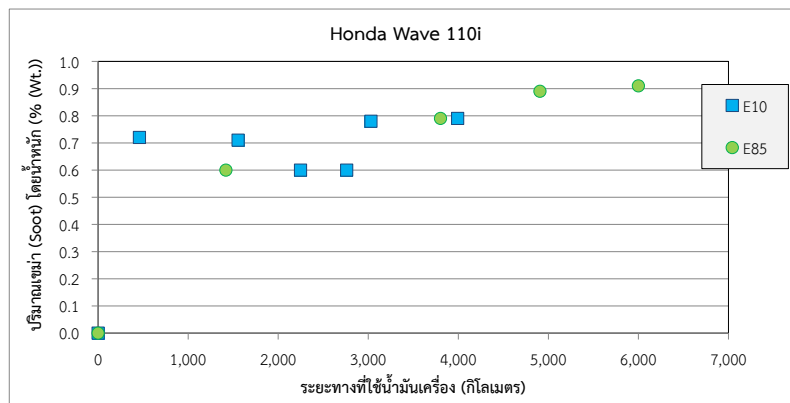
สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่องไม่ว่าจะเป็น น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำและความชื้น เชม่า ไกลคอล ผุ่นละออง เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ทำให้การเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องเกิดขึ้นเร็วกว่าอายุการใช้งานที่กำหนดไว้ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการตรวจวัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น โดยนำตัวแปรที่มีนัยสำคัญมาอภิปราย ดังนี้

ปริมาณเชม่าโดยน้ำหนัก (%wt)

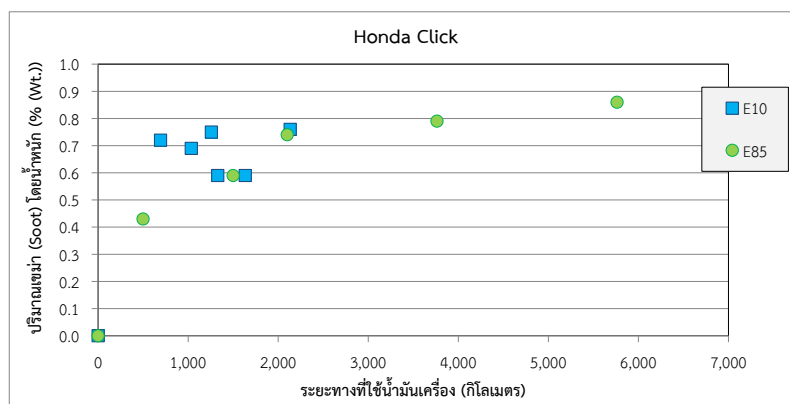
ปริมาณเชม่าอันเป็นผลมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์สามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีการ FTIR โดยกำหนดให้มีการแจ้งเตือนเมื่อมีค่าสูงกว่า 0.25%wt และต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องเมื่อมีค่าสูงกว่า 0.5%wt ซึ่งจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณเชม่าของตัวอย่างน้ำมันเครื่องจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดของรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น (รูปที่ 4-43 ถึงรูปที่ 4-45) พบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มเดียวกันทั้งหมด กล่าวคือ ปริมาณเชม่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากประมาณ 0.70%wt ที่ระยะทางการใช้งาน 1,000 กิโลเมตร จนถึงประมาณ 0.95%wt ที่ระยะทางการใช้งาน 6,000 กิโลเมตรอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4-43 การเปรียบเทียบปริมาณเขม่าโดยน้ำหนัก (%wt) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i



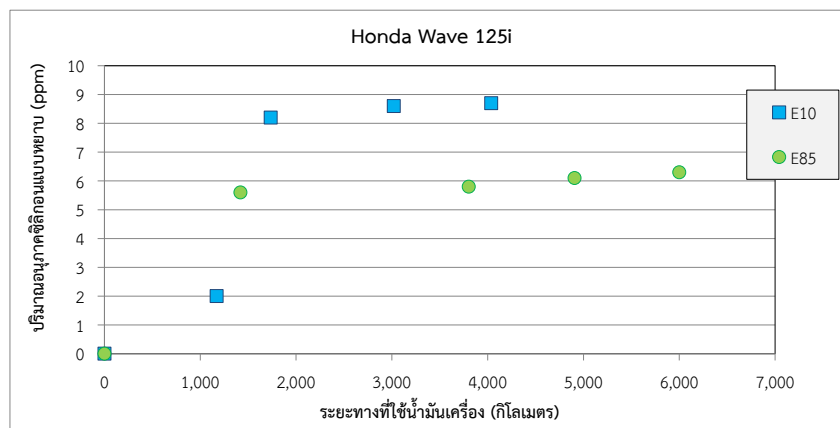
รูปที่ 4-44 การเปรียบเทียบปริมาณเขม่าโดยน้ำหนัก (%wt) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i



รูปที่ 4-45 การเปรียบเทียบปริมาณเขม่าโดยน้ำหนัก (%wt) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click

ปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบ

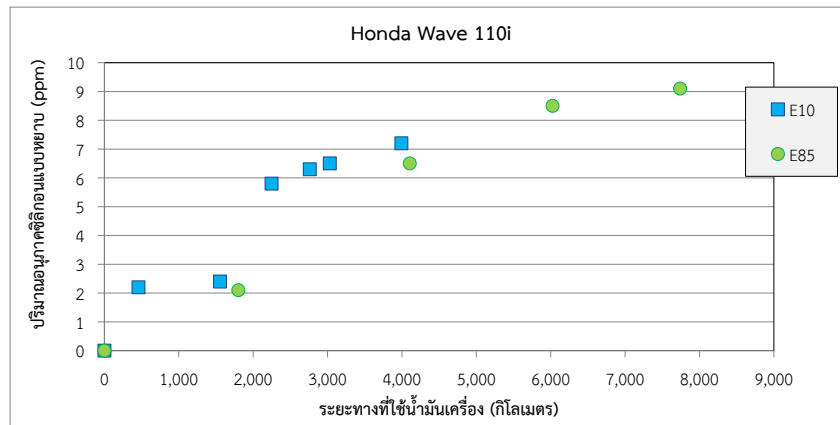
ตามมาตรฐาน ASTM D-6595 การวิเคราะห์ค่าปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบได้กำหนดเกณฑ์ค่าสูงสุดของปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบไว้ที่ 7 ppm ในกรณีที่ตรวจวัดได้สูงกว่านี้ ควรทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องโดยเร่งด่วน ซึ่งจากผลการตรวจวัดค่าปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i (รูปที่ 4-46) พบว่า ค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ที่มีค่าปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบสูงกว่าค่าเกณฑ์ที่ 7 ppm ตั้งแต่ระยะการทดสอบ 1,000 กิโลเมตร และเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 9 ppm ที่ระยะทาง 4,000 กิโลเมตร ในขณะที่ค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 มีค่าระหว่าง 5.5 ถึง 6.5 ppm ซึ่งยังคงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



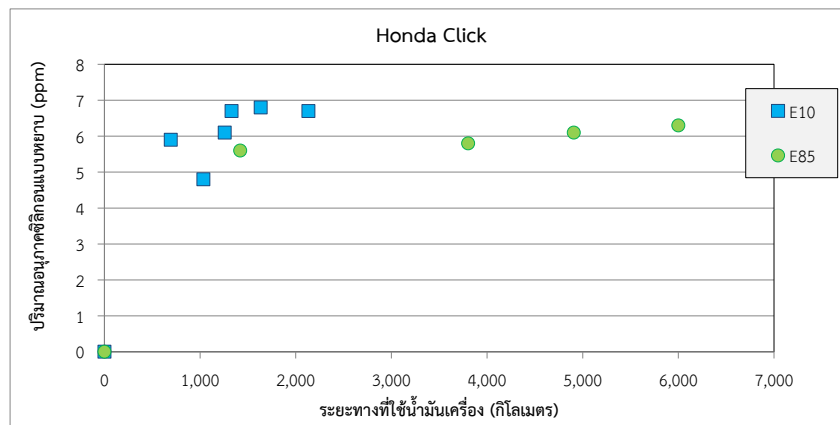
รูปที่ 4-46 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i

จากผลการตรวจวัดค่าปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i (รูปที่ 4-47) พบว่า ค่าที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มสูงกว่าค่าเกณฑ์สูงสุด (7 ppm) ตั้งแต่ระยะทาง 4,000 กิโลเมตร และเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 9 ppm ที่ระยะทาง 8,000 กิโลเมตร

ในขณะที่ ผลการตรวจวัดค่าปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click (รูปที่ 4-48) พบว่า ค่าที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิง E10 และ E85 มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยค่าดังกล่าวยังคงต่ำกว่าค่าเกณฑ์สูงสุด ที่ระยะทางการทดสอบที่ 2,000 กิโลเมตร โดยสำหรับรถจักรยานยนต์รุ่นนี้ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 ที่ระยะทางการใช้งานถึง 6,000 กิโลเมตร ค่าที่ได้อยู่ที่ประมาณ 6 ppm ซึ่งยังคงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง



รูปที่ 4-47 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคซัลฟิวรอนแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 110i



รูปที่ 4-48 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคซัลฟิวรอนแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click

4.3.3.4 ผลการเก็บข้อมูลเชิงกายภาพด้านความชำรุดเสียหายของชิ้นส่วน

นอกจากการตรวจสอบตัวอย่างน้ำมันเครื่อง ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลทางกายภาพด้านความเสียหายจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ของรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น โดยมุ่งเน้นประเด็นการเสื่อมสภาพหรือชำรุดของชิ้นส่วนที่เป็นยาง โลหะ และพลาสติกของเครื่องยนต์และระบบท่อน้ำมันด้วยวิธีการสังเกตรูปร่างภายนอกของชิ้นส่วนต่างๆ หลังจากใช้งานประมาณ 6 เดือนสำหรับรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 และหลังจากใช้งาน 4,000 กิโลเมตร สำหรับรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 จากตารางที่ 4-3 พบว่ามีเพียงชิ้นส่วนปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 ที่มีความชำรุดของวงจรวาล์วอิเล็กทรอนิกส์ ในขณะที่ไม่พบความชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนอื่นๆ ของรถที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลเชิงกายภาพด้านความชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนของรถจักรยานยนต์

วัสดุ	ชิ้นส่วน	สภาพก่อนทดสอบ			สภาพหลังการทดสอบ		
		รถจักรยานยนต์					
		E85_1	E85_2	E85_3	E10_1	E10_2	E10_3
โลหะ	หัวฉีด	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
พลาสติก	ปั้มน้ำมัน	ปกติ	ชำรุด 6 เดือน	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
พลาสติก	ถังน้ำมัน	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
ยาง	ท่อทางเดินน้ำมัน	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ

4.3.4 สรุปผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบด้านความทนทานจากการใช้งานจริง

จากผลการวิเคราะห์ทดสอบด้านความทนทานจากการใช้งานจริงที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่แล้วนั้น สามารถสรุปภาพรวมของผลการทดสอบได้ดังที่แสดงในตารางที่ 4-4 โดยพบว่ารถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 จะบรรลุแผนการทดสอบด้านความทนทานจากการใช้งานจริงได้นานกว่า 6 เดือน ซึ่งจะนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E10 ในระยะทางที่ใช้จริงที่ 4,000 กิโลเมตร โดยสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ในด้านความทนทานได้ดังนี้

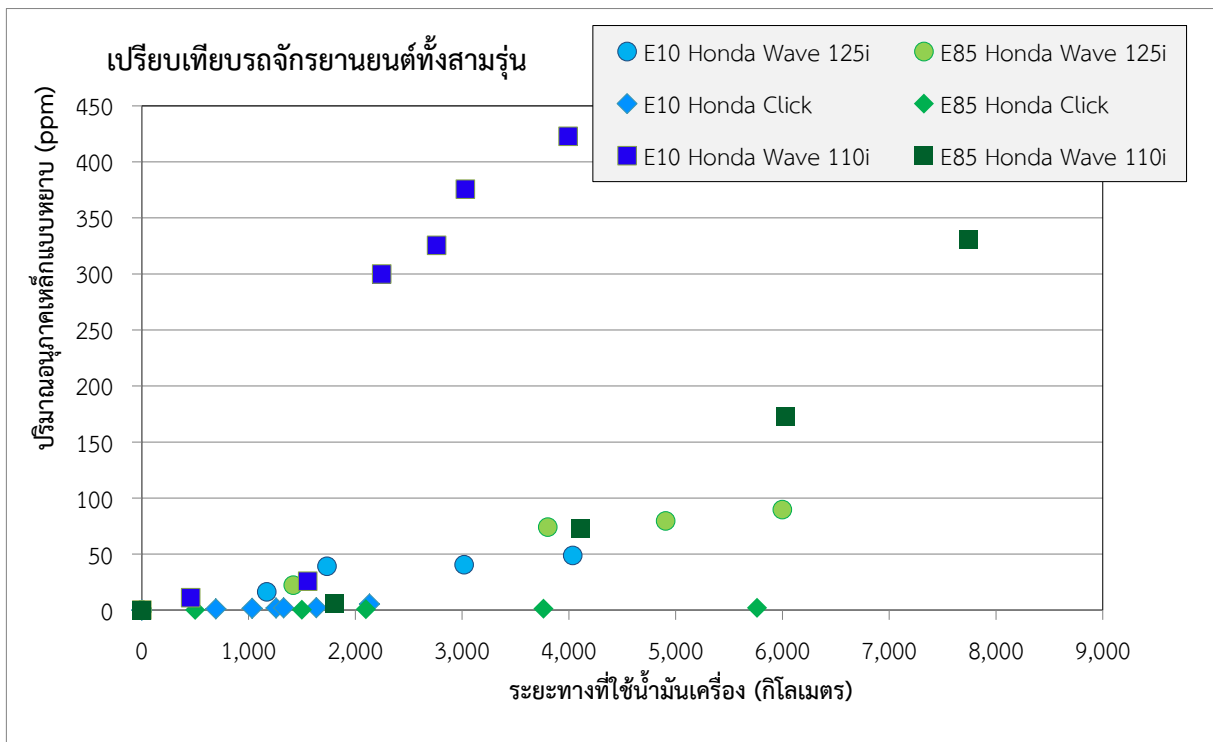
ตารางที่ 4-4 สรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบด้านความทนทานจากการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 และรถจักรยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง E10

ข้อมูลที่บันทึก	รถจักรยานยนต์					
	E85_1	E85_2	E85_3	E10_1	E10_2	E10_3
รวมระยะเวลาทดสอบต่อเนื่อง (เดือน)	7	6	6	2	2	2
รวมระยะทาง (กม.)	8,000			4,000		
ความถี่ในการเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง (กม.)	2,000					
ระยะทางที่ใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบ (กม.)	4,000					

4.3.4.1 สรุปผลการวิเคราะห์สภาพการสึกหรอของเครื่องยนต์

จากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.3.3.1 สามารถสรุปได้ว่า พบสภาพการสึกหรอแบบผิดปกติจากปริมาณอนุภาคของโลหะที่เป็นวัสดุของส่วนประกอบหลักในเครื่องยนต์ ได้แก่ ธาตุเหล็กและอะลูมิเนียม ทั้งแบบหยาบที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 5 ไมครอนขึ้นไป และแบบละเอียดที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 5 ไมครอน

ในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM โดยจะเกิดขึ้นกับรถจักรยานยนต์รุ่นที่ใช้น้ำมันเครื่องในการหล่อลื่นทั้งเครื่องยนต์และชุดเกียร์ ได้แก่ รุ่น Honda Wave 125i และ Honda Wave 110i ซึ่งโดยเฉลี่ยผลจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 (รูปที่ 4-49) จะมีปริมาณอนุภาคโลหะที่สึกหรอแบบผิดปกติสูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ในขณะที่ไม่พบค่าการสึกหรอแบบผิดปกติในรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click ซึ่งน่าจะมีเหตุผลมาจากที่น้ำมันเครื่องที่ใช้ในรถรุ่นนี้ จะทำหน้าที่ในการหล่อลื่นเครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว จึงมีอัตราการสึกหรอที่ต่ำกว่ากรณีของรุ่นที่ใช้น้ำมันเครื่องในการหล่อลื่นระบบเกียร์ด้วย



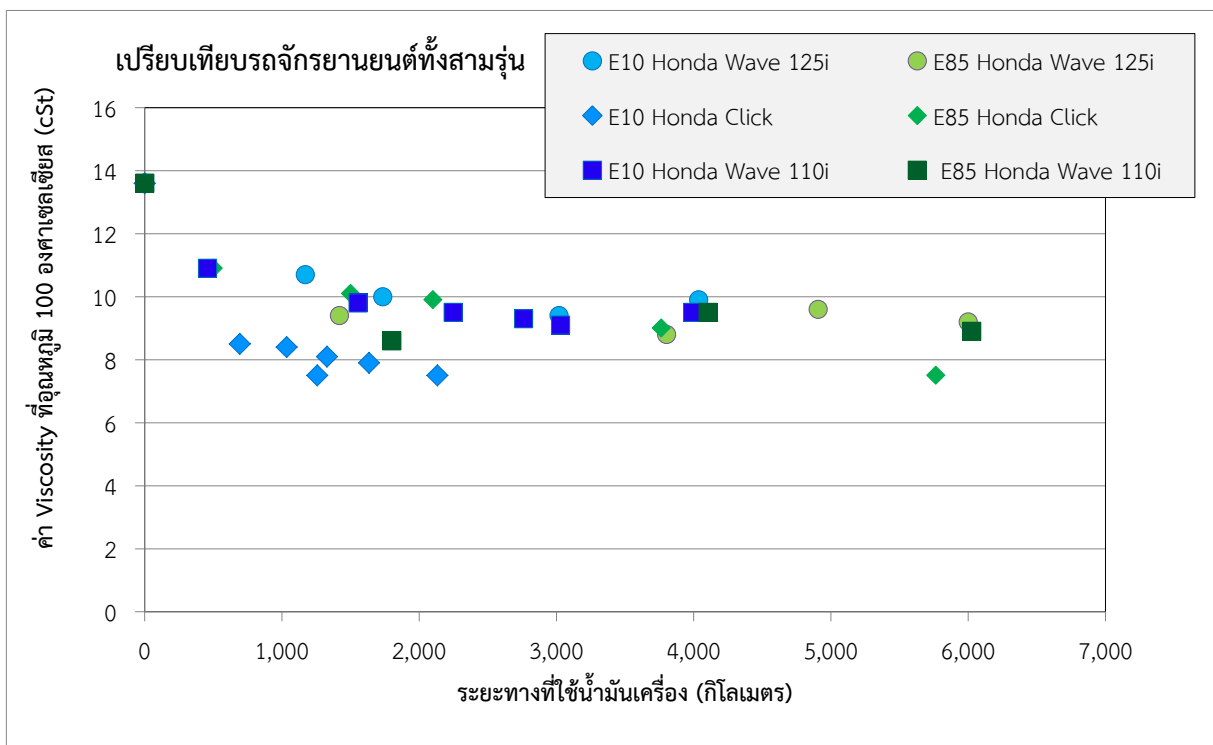
รูปที่ 4-49 การเปรียบเทียบปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบ (ppm) ในน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น

4.3.4.2 สรุปผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

จากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.3.3.2 สรุปได้ว่าค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ของรถจักรยานยนต์ทุกคันจะมีค่าตกลงไปต่ำกว่า 15% ของค่าตั้งต้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ระยะทางการใช้งานที่ 1,000 กิโลเมตร ซึ่งควรต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องโดยทันที อีกทั้งพบว่าที่ระยะทางการใช้งานมากขึ้น ค่าของความหนืดคงที่อยู่ระหว่าง 7.5 ถึง 11 cSt (รูปที่ 4-50) โดยไม่ลดลงไปกว่านี้ จากผลการทดสอบที่พบ โดยเฉลี่ยแล้วค่าความหนืดที่วัดได้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดจะได้ค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์และหาข้อมูล สาเหตุที่เป็นไปได้ของการลดลงอย่างรวดเร็วของค่าความหนืด

คือ การเข้าไปผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันเครื่อง อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยค่าความหนืดที่ลดลง มีระดับที่ใกล้เคียงกันจากรถที่ใช้ น้ำมันทั้งสองประเภท จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่น่าจะมีผลอย่างมีนัยสำคัญกับการลดลงของค่าความหนืดของน้ำมันเครื่อง

นอกจากนี้ สิ่งที่ควรพิจารณาคือ การลดลงของค่าความหนืดในน้ำมันเครื่อง สามารถส่งผลให้ไม่สามารถเกิดชั้นฟิล์มของน้ำมันเครื่องเพื่อลดการเสียดสีและป้องกันการกระแทกหรือชนกันของชิ้นส่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้เกิดการสึกหรอในชิ้นส่วนอื่นๆ เพิ่มขึ้น ข้อมูลนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ผลิตน้ำมันเครื่องต้องนำไปพิจารณาปรับแก้ไขสูตรส่วนผสม เพื่อให้อัตราการลดลงของค่าความหนืดและการเสื่อมสภาพช้าลง และสามารถยืดอายุการใช้งานของทั้งชิ้นส่วนและน้ำมันเครื่องได้



รูปที่ 4-50 ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (cSt) ของน้ำมันเครื่องจากการทดสอบการใช้งานจริงของรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่น

4.3.4.3 สรุปผลการวิเคราะห์สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

จากผลการวิเคราะห์ที่นำเสนอไปในหัวข้อที่ 4.3.3.3 พบว่ามีปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่องที่สูงกว่าเกณฑ์และได้นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ เชม่า หรือ ผุ่นละออง ซึ่งมีส่วนผสมหลักเป็นซิลิกอน ซึ่งเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ทำให้การเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องเกิดขึ้นได้เร็วกว่าอายุการใช้งานที่ได้ออกแบบไว้ จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าปริมาณเชม่าและค่าปริมาณอนุภาคซิลิกอนของตัวอย่างน้ำมันเครื่องจากการใช้น้ำมัน

เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดของรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่นมีระดับค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่เป็นมาตรฐานที่กำหนดไว้ใน ASTM D-6595 จึงควรได้รับการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันโดยทันที

4.3.4.4 สรุปผลการเก็บข้อมูลเชิงกายภาพด้านความชำรุดเสียหายของชิ้นส่วน

จากผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพชำรุดของชิ้นส่วนที่เป็นชนิดยาง ชนิดโลหะ และชนิดพลาสติก ของเครื่องยนต์และระบบท่อน้ำมันด้วยวิธีการสังเกตรูปร่างภายนอกของชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ระยะเวลาการขับขี่ประมาณ 6 เดือน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-3 พบว่ามีเพียงชิ้นส่วนปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงของรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Wave 125i ที่ใช้เชื้อเพลิง E85 ที่มีความชำรุดของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ ในขณะที่ไม่พบความชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนอื่นๆ ของรถที่ทำการทดสอบแต่อย่างใด

อย่างไรก็ตามข้อมูลจากการทดสอบนี้เป็นเพียงการศึกษาผลกระทบเบื้องต้นของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 จากการขับขี่จริงเท่านั้น ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนจากพฤติกรรมและข้อจำกัดต่างๆ ของผู้ใช้ในการศึกษาวิจัยด้านความทนทานของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์ให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและถูกต้อง ควรดำเนินการทดสอบรถจักรยานยนต์ในห้องปฏิบัติการ หรือ Test Bench ที่สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ได้ อย่างแม่นยำ ซึ่งจะทำให้ผลการทดสอบด้านความทนทานมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำมาต่อยอดในการแก้ไขปัญหาด้านความเหมาะสมของวัสดุ (Material compatibility) ในขั้นตอนการออกแบบชิ้นส่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินโครงการ

ทีมที่ปรึกษาฯ จากห้องปฏิบัติการยานยนต์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ได้ดำเนินการโครงการนี้ ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2556 จนถึง 31 พฤษภาคม 2557 ตามกรอบสัญญาว่าจ้างที่ปรึกษาฯ ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) โดยได้รับความร่วมมือจาก บริษัทไพรซิเนียไทย จำกัด (ปณท.) และบริษัท จิระเทค 2012 จำกัด เพื่อศึกษาผลกระทบด้านสมรรถนะเครื่องยนต์ และด้านความทนทานของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E10 ในรถจักรยานยนต์ที่ติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่ช่วยในการส่งจ่ายเชื้อเพลิงในสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ที่มีสัดส่วนเอทานอลต่อเบนซินพื้นฐานต่างๆ กันไปจนถึงที่ร้อยละ 85 หรือเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ชนิด E85

โครงการนี้มีเป้าหมายในระยะยาวเพื่อนำผลที่ได้ศึกษาทดลองมาพัฒนาปรับปรุงมาตรการส่งเสริมการใช้แก๊สโซฮอล์ในภาคขนส่งของประเทศอย่างอย่างเป็นรูปธรรมในอนาคต ทั้งนี้ ที่ปรึกษาฯ ได้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงตามแผน ซึ่งประกอบด้วยกรวางแผนและออกแบบการทดสอบ การจัดทำคู่มือการใช้รถให้แก่อาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการ การคัดเลือกอาสาสมัครจำนวน 18 ราย ซึ่งเป็นผู้ใช้รถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะหลักในชีวิตประจำวัน การตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์ การทดสอบสมรรถนะการขับขี่ในสนามทดสอบก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ฯ การเก็บข้อมูลด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง การวิเคราะห์ด้านความทนทานของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์จากการใช้งานจริงอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 6 เดือน โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบจากข้อมูลดิบของการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 และ E10 อนึ่ง ในการทดสอบตลอดระยะเวลาของโครงการ ไม่สามารถทำการถอดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ใดๆ ออกมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากอาสาสมัครมีความจำเป็นต้องใช้รถสำหรับปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ โดยสามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบได้ตั้งรายละเอียดในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้

5.1 สมรรถนะเครื่องยนต์

จากการทดสอบด้านสมรรถนะการขับขี่ใช้งานเชิงเปรียบเทียบระหว่างรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E10 และ E85 ด้วยวิธีการประเมินด้วยความรู้สึกของผู้ขับขี่เป็นหลัก (Subjective Evaluation) และจากตัวเลขที่วัดค่าได้จริง (Objective Evaluation) ด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วรถชนิด GPS-based พบว่าสามารถใช้งานได้ตามปกติ โดยไม่พบปัญหาการสตาร์ทเครื่องยนต์ในสภาพอากาศเย็น (Cold start) หรือข้อบกพร่องในการขับขี่แต่ประการใด ไม่ว่าจะเป็นการออกตัว อัตราเร่ง การเบรก ในส่วนของเสียงและการสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์พบว่ามีสภาพปกติเช่นกัน

นอกเหนือจากนี้ ยังพบว่า สมรรถนะด้านการออกตัวและอัตราเร่งได้รับการประเมินจากผู้ขับขี่ด้วย E85 โดยรวมดีกว่าเมื่อขับขี่ด้วย E10 ในขณะที่รถจักรยานยนต์ที่ใช้ E10 เป็นเชื้อเพลิงได้รับการประเมินด้านการสั่นสะเทือนและเสียงจากเครื่องยนต์ในระดับที่ดีกว่าเมื่อใช้ E85 ในขณะที่ ด้านความปลอดภัยในการเบรกของรถจักรยานยนต์นั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ทั้งสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E10 และ E85 พบว่าการขับขี่ด้วย E85 ประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการขับขี่ด้วย E10 ที่เฉลี่ยร้อยละ 26.47 โดยค่าเฉลี่ยของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อขับขี่ด้วย E85 อยู่ที่ 51.10 กิโลเมตรต่อลิตร ขณะที่เมื่อขับขี่ด้วย E10 มีอัตราเฉลี่ยที่ดีกว่าที่ 56.14 กิโลเมตรต่อลิตร กล่าวคือ โดยเฉลี่ยแล้ว รถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 จะมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันสูงกว่า หรือ “กินน้ำมัน” กว่ารถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E10 ด้วยเหตุผลด้านเทคนิคที่จะต้องใช้สัดส่วนในการผสมกับอากาศของน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ที่ “หนา” หรือมากกว่ากรณีของน้ำมันเชื้อเพลิง E10 เพื่อให้ได้ค่าพลังงานจากการสันดาปภายในเครื่องยนต์ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าความร้อนของเอทานอลมีค่าน้อยกว่าค่าความร้อนของเบนซินพื้นฐานประมาณร้อยละ 35 (ค่าความร้อนต่อน้ำหนักของเอทานอลและน้ำมันเชื้อเพลิง E10 มีค่าเท่ากับ 26.8 และ 40.7 เมกะจูลต่อกิโลกรัมตามลำดับ (ที่มา: World Nuclear Association))

ด้วยนโยบายส่งเสริมการใช้เอทานอลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เองภายในประเทศ ส่งผลให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง E85 ถูกกว่า E10 อยู่ที่ร้อยละ 32.5 (อ้างอิงประกาศราคาน้ำมันเชื้อเพลิง E85 จากส่วนปิโตรเลียมสำนักพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ (สนพ.) วันที่ 1 ตุลาคม 2556) ทำให้สามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่า ในการขับขี่รถจักรยานยนต์ให้ระยะทางเท่ากันที่ 100 กิโลเมตร จะมีค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อขับขี่ด้วย E85 อยู่ที่ 50 บาท ซึ่งประหยัดกว่าประมาณ 18 บาทเมื่อขับขี่ด้วย E10 ที่มีค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ที่ 68 บาท จึงสามารถสรุปได้ว่าดังนี้

- 1) การขับขี่ด้วย E85 จะให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่า E10 ที่ร้อยละ 20 ถึง 25 โดยประมาณ
- 2) การขับขี่ด้วย E85 จะมีค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงประหยัดกว่า E10 ที่ร้อยละ 25 ถึง 28 โดยประมาณ

5.3 ความทนทานจากการใช้งานจริง

ผลการวิเคราะห์ด้านความทนทานของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D-974 ASTM D-4739 ASTM D-6595 และ ASTM D-445 สามารถสรุปได้ว่า เกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์เฉพาะบางรุ่นเท่านั้น โดยตรวจวัดพบปริมาณอนุภาคโลหะที่เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ธาตุเหล็ก อะลูมิเนียม โดยไม่พบปริมาณอนุภาคโลหะที่มีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อีก 8 ชนิด ประกอบด้วย โครเมียม ตะกั่ว ทองแดง ดีบุก นิกเกิล เงิน โมลิบดีนัม และไทเทเนียม

โดยพบสภาพการสึกหรอแบบผิดปกติจากปริมาณอนุภาคของโลหะที่เป็นวัสดุของส่วนประกอบหลักในเครื่องยนต์ ได้แก่ ธาตุเหล็กและอะลูมิเนียม ทั้งแบบหยาบที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 5 ไมครอนขึ้นไป และแบบละเอียดที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 5 ไมครอน ในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานดังกล่าว โดยจะเกิดขึ้นกับรถจักรยานยนต์เฉพาะรุ่นที่น้ำมันเครื่องต้องทำหน้าที่ในการหล่อลื่นทั้งเครื่องยนต์และชุดเกียร์ในคราเดียวกัน ได้แก่ รุ่น Honda Wave 125i และ Honda Wave 110i ทั้งนี้ โดยเฉลี่ยผลจากการใช้ E10 จะมีปริมาณอนุภาคโลหะที่สึกหรอแบบผิดปกติสูงกว่า E85 ในขณะที่ไม่พบค่าการสึกหรอแบบผิดปกติในรถจักรยานยนต์รุ่น Honda Click แต่ประการใด

ที่ปรึกษาฯ จึงตั้งสมมติฐานว่ามีเหตุผลมาจากน้ำมันเครื่องที่ใช้ในรถรุ่นนี้ จะทำหน้าที่ในการหล่อลื่นเครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว จึงเกิดการสึกหรอต่ำกว่ากรณีของรุ่นที่ใช้น้ำมันเครื่องในการหล่อลื่นระบบเกียร์ด้วย

ในส่วนของ การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ระยะทางของการขับขี่ต่างๆ สามารถสรุปได้ว่า โดยเฉลี่ยแล้วค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องที่วัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสที่วัดได้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าลดลงต่ำกว่าร้อยละ 15 ของค่าตั้งต้น ณ กิโลเมตรที่ศูนย์อย่างรวดเร็วตั้งแต่ระยะทางการขับขี่ที่ 1,000 กิโลเมตร ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในระดับวิกฤติและต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องโดยทันที

สาเหตุหลักที่เป็นไปได้ที่ส่งผลต่อการลดลงอย่างรวดเร็วของค่าความหนืดคือ การผสมกันของน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันเครื่อง อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของชนิดน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของค่าความหนืดดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญแต่ประการใด กล่าวคือ ค่าความหนืดลดลงในระดับเดียวกัน

ในส่วนของ การวิเคราะห์สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ตรวจวัดพบว่าปริมาณอนุภาคซิลิกอนในน้ำมันเครื่องมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ใน ASTM D-6595 ในรถจักรยานยนต์ทั้งสามรุ่นที่นำมาทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นการขับขี่ด้วยเชื้อเพลิง E10 หรือ E85 ก็ให้สัญญาณต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องเช่นเดียวกัน ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการเกิดเขม่าหรือฝุ่นละออง

5.4 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาลักษณะเบื้องต้นของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง E85 โดยการเก็บข้อมูลการขับขี่รถจักรยานยนต์เพื่อใช้ปฏิบัติงานจริงจากกลุ่มอาสาสมัคร จำนวน 18 ราย ช่วยให้เห็นถึงผลกระทบต่อการใช้งานเชื้อเพลิง E85 หลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV Conversion Kit เป็นการเบื้องต้น และเห็นถึงความจำเป็นในการศึกษาลักษณะที่อาจเกิดจากการใช้งานด้วยเชื้อเพลิง E85 ในวงกว้างมากขึ้น โดยขยายกรอบการศึกษาให้ครอบคลุมมิติต่างๆ อย่างทั่วถึง อาทิ ผู้ผลิตเครื่องยนต์ต่างๆ รุ่นรถที่ได้รับความนิยมสูงสุดในรอบปีที่ผ่านมา ขนาดเครื่องยนต์ น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเครื่อง พฤติกรรมหรือเส้นทางการขับขี่ที่แตกต่างกัน เป็นต้น โดยกำหนดให้มีการควบคุมตัวแปรที่สำคัญๆ เพิ่มเติม ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่ถูกต้องแม่นยำและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อนเชิงนโยบายด้านการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งเสริมการใช้แก๊สโซฮอล์ เพื่อก่อให้เกิดผลอย่างเป็นรูปธรรมในภาคประชาชนได้ในที่สุด

ทีมที่ปรึกษาฯ จึงขอเสนอแนะให้มีการดำเนินโครงการในลักษณะของการต่อยอดหรือขยายผลจากผลการทดสอบในครั้งนี้ โดยอาศัยความรู้ที่ได้จากการทดสอบและปัญหาหรืออุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นมาพัฒนาระเบียบวิธีในการออกแบบการทดสอบ การเก็บข้อมูล หรือการแก้ไขอุปสรรคและปัญหา ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อาทิ การขยายกลุ่มอาสาสมัครให้ครอบคลุมถึงหน่วยงานของรัฐ กลุ่มมอเตอร์ไซด์รับจ้าง กลุ่มผู้ประกอบการอาชีพรับจ้างส่งพัสดุด้วยรถจักรยานยนต์ เพื่อสะท้อนลักษณะการใช้งานจริงในวงกว้างยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับการใช้งานจริงในระดับประเทศ

นอกเหนือจากนี้ ควรมีการดำเนินการทดสอบด้านสมรรถนะ (Performance) ด้านมลพิษ (Emission) ด้านความเหมาะสมของวัสดุ (Material compatibility) และด้านความทนทาน (Endurance) ของชิ้นส่วนต่างๆ ในเครื่องยนต์โดยการทดสอบรถจักรยานยนต์ภาคสนาม (Field test) ควบคู่กับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Lab test) ที่สามารถกำหนดตัวแปรควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด จนสามารถพัฒนาเป็นฐานข้อมูลสำคัญด้านการดัดแปลงเครื่องยนต์ในรถจักรยานยนต์รุ่นต่างๆ ทั้งที่เป็นรถเก่าและรถใหม่ที่สะสมรวมกันจนถึงปัจจุบันนี้ในประเทศไทยกว่า 20 ล้านคัน ให้สามารถใช้งานกับแก๊สโซฮอล์ E85 ได้ อันจะส่งผลต่อการกระตุ้นยอดการใช้เอทานอลของประเทศให้สอดคล้องกับแผน AEDP 10 ปี ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานซึ่งกำหนดไว้ที่อัตราการใช้ 9.0 ล้านลิตรต่อวัน ภายในปี พ.ศ. 2564 ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ
บันทึกด้วยแบบสอบถาม

การทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ

ข้อมูลจำเพาะของรถจักรยานยนต์ที่เข้าร่วมในโครงการ

วันที่	:	10 มกราคม 2557		
ชื่อ-นามสกุล ผู้ขับขี่	:	คุณสายชล ขำเอี่ยม		
รถจักรยานยนต์ยี่ห้อ	:	Honda		
รุ่น	:	Wave 110i (2011)		
เลขไมล์	:	88,211 กม.		
ทะเบียนรถ	:	กจก 593 กรุงเทพมหานคร		
หมายเลขตัวถัง	:	NF110C-0605251		
หมายเลขเครื่องยนต์	:	NF110CE-0605251		
ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง	:	E85 / E10		
ยางรถยนต์	:	ล้อหน้า Camel M/C 33P	ลมยาง	28
		ล้อหลัง Michelin M/C 35S	ลมยาง	36
สภาพอากาศ	:	ท้องฟ้าแจ่มใส มีแดด		
สภาพถนน	:	ถนนคอนกรีต ถนนแห้ง		



แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์

E10

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
	ครั้งที่ 2	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
	ครั้งที่ 3	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 2	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 3	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 2	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 3	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 2	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 3	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์
(กรณีการขับขี่ปกติในชีวิตประจำวันของผู้ขับขี่)

E10

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ติดยาก	-	ติดง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

หมายเหตุ

- 1) ความเร็วสูงสุดในการขับขี่ประมาณ 70 กม./ชม.
- 2) กรณีใช้น้ำมันเครื่องสังเคราะห์ที่กำหนด รู้สึกว่าเครื่องยนต์อืด เร่งไม่ค่อยขึ้นเมื่อความเร็วสูงกว่า 50 กม./ชม.

แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์

E85

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
	ครั้งที่ 2	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
	ครั้งที่ 3	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 2	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 3	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 2	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 3	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 2	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 3	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์
(กรณีการขับขี่ปกติในชีวิตประจำวันของผู้ขับขี่)

E85

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ติดยาก	-	ติดง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

หมายเหตุ

- 1) ความเร็วสูงสุดในการขับขี่ประมาณ 70 กม./ชม.
- 2) กรณีใช้น้ำมันเครื่องสังเคราะห์ที่กำหนด รู้สึกว่าเครื่องยนต์อืด เร่งไม่ค่อยขึ้นเมื่อความเร็วสูงกว่า 50 กม./ชม.

การทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ

ข้อมูลจำเพาะของรถจักรยานยนต์ที่เข้าร่วมในโครงการ

วันที่	:	10 มกราคม 2557		
ชื่อ-นามสกุล ผู้ขับขี่	:	คุณอุเทน ลำปอง		
รถจักรยานยนต์ยี่ห้อ	:	Honda		
รุ่น	:	Wave 125i (2011)		
เลขไมล์	:	31,430 กม.		
ทะเบียนรถ	:	พนม 848 กรุงเทพมหานคร		
หมายเลขตัวถัง	:	NF125C-0174690		
หมายเลขเครื่องยนต์	:	NF125CE-017690		
ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง	:	E85 / E10		
ยางรถยนต์	:	ล้อหน้า Maxxis MA-3D	ลมยาง	28
		ล้อหลัง Michelin M35	ลมยาง	40
สภาพอากาศ	:	ท้องฟ้าแจ่มใส มีแดด		
สภาพถนน	:	ถนนคอนกรีต ถนนแห้ง		



แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์

E10

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ดีดยาก	-	ดีดง่าย
	ครั้งที่ 2	ดีดยาก	-	ดีดง่าย
	ครั้งที่ 3	ดีดยาก	-	ดีดง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 2	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 3	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 2	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 3	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 2	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 3	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์
(กรณีการขับขี่ปกติในชีวิตประจำวันของผู้ขับขี่)

E10

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ติดยาก	-	ติดง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1			
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1			
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

หมายเหตุ ความเร็วสูงสุดในการขับขี่ประมาณ 80 กม./ชม.

แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์

E85

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
	ครั้งที่ 2	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
	ครั้งที่ 3	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 2	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 3	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 2	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 3	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 2	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 3	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์
(กรณีการขับขี่ปกติในชีวิตประจำวันของผู้ขับขี่)

E85

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ติดยาก	-	ติดง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

หมายเหตุ ความเร็วสูงสุดในการขับขี่ประมาณ 80 กม./ชม.

การทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ

ข้อมูลจำเพาะของรถจักรยานยนต์ที่เข้าร่วมในโครงการ

วันที่	:	7 กุมภาพันธ์ 2557		
ชื่อ-นามสกุล ผู้ขับขี่	:	คุณสาโรจน์ พริงเพราะ		
รถจักรยานยนต์ยี่ห้อ	:	Honda		
รุ่น	:	Click 110i (20??)		
เลขไมล์	:	52,587 กม. (เรือนไมล์พัง)		
ทะเบียนรถ	:	ขรร 558 สุรินทร์		
หมายเลขตัวถัง	:	NC110BK-0076886		
หมายเลขเครื่องยนต์	:			
ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง	:	E85 / E10		
ยางรถยนต์	:	ล้อหน้า Deestone 35L	ลมยาง	33
	:	ล้อหลัง Vee Rubber V338F	ลมยาง	36
สภาพอากาศ	:	ท้องฟ้าแจ่มใส มีแดด		
สภาพถนน	:	ถนนคอนกรีต ถนนแห้ง		



แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์

E10

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
	ครั้งที่ 2	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
	ครั้งที่ 3	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 2	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 3	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 2	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 3	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 2	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 3	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์
(กรณีการขับขี่ปกติในชีวิตประจำวันของผู้ขับขี่)

E10

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ติดยาก	-	ติดง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

หมายเหตุ ความเร็วสูงสุดในการขับขี่ประมาณ 80 กม./ชม.

แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์

E85

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
	ครั้งที่ 2	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
	ครั้งที่ 3	ดีดยาก	-	ดีได้ง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 2	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
	ครั้งที่ 3	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 2	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
	ครั้งที่ 3	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 2	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
	ครั้งที่ 3	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 2	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
	ครั้งที่ 3	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
	ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

แบบสอบถามการทดสอบสมรรถนะของรถจักรยานยนต์
(กรณีการขับขี่ปกติในชีวิตประจำวันของผู้ขับขี่)




E85

รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
1. การติดเครื่องยนต์	ครั้งที่ 1	ติดยาก	-	ติดง่าย
2. การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3. อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4. การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
5. การสั่นสะเทือนจากเครื่องยนต์				
5.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
5.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	สั่นมาก	สั่นปกติ	สั่นน้อย
6. เสียงรบกวนจากเครื่องยนต์				
6.1 ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2 ขณะขับขี่	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย

หมายเหตุ ความเร็วสูงสุดในการขับขี่ประมาณ 80 กม./ชม.

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันเครื่องในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ASTM

				E85					
				Honda Click 110i					
Bottle ID		Baseline		I		II			
Date Sampled				1024893		1025070			
Oil Hours (km)				17/03/2014		24/04/2014			
Unite Hours (km)				2100		3763.5			
				52587.5		54251			
Remarks :									
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Warning <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: yellow; margin-right: 5px; margin-top: 5px;"></div> Caution <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: lightgreen; margin-right: 5px; margin-top: 5px;"></div> Normal </div>									
Test Method	Result	Unit		Fine Wear	Coarse Wear	Fine Wear	Coarse Wear		
Wear Condition									
Iron	D-6595	PPM	0.0	24.2	5.0	41.4	14.9		
Chromium	D-6595	PPM	0.0	4.1	0.8	11.3	1.2		
Lead	D-6595	PPM	0.0	0.0	1.4	0.0	0.1		
Copper	D-6595	PPM	0.0	1.6	0.1	3.2	0.4		
Tin	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1		
Aluminium	D-6595	PPM	0.0	7.0	0.2	9.9	2.8		
Nickel	D-6595	PPM	0.0	0.1	0.0	5.6	0.1		
Silver	D-6595	PPM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1		
Molybdenum	D-6595	PPM	76.0	77.2	0.0	87.8	4.5		
Titanium	D-6595	PPM	0.0	0.2	0.7	0.0	0.1		
Oil Condition									
Viscosity @ 40 °C	D-445	cSt							
Viscosity @ 100 °C	D-445	cSt	13.6	9.9		9.1			
Oxidation	FTIR	Abs	86.4	105.8		104.9			
Nitration	FTIR	Abs	4.7	5.8		6			
TAN	D-974	mg KOH/g							
TBN	D-4739	mg KOH/g	6.4	5.9		5.8			
Contamination									
Water	FTIR	%wt	0.084	0.123		0.111			
Fuel	SAW	%wt		1.00		1.26			
Glycol	FTIR	Abs.		0		0			
Soot	FTIR	%wt		0.74		0.59			
Vanadium	D-6595	PPM	0	0		0			
Sodium	D-6595	PPM	4	6		9			
Silicon	D-6595	PPM	9	11.9	3.4	17.5	5.3		
Additive Element									
Boron	D-6595	PPM	200	169		137			
Magnesium	D-6595	PPM	18	28		31			
Calcium	D-6595	PPM	1754	1984		1960			
Barium	D-6595	PPM	0	0		0			
Phosphorus	D-6595	PPM	867	687		718			
Zinc	D-6595	PPM	849	928	64	1269	114		
Additional Test									
Flash Point	D-3828	°C							
Viscosity Index	D-2270								

ภาคผนวก ค

รายละเอียดมาตรฐาน ASTM ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านความทนทานของน้ำมันเครื่อง

Standard Test Method for Determination of Wear Metals and Contaminants in Used Lubricating Oils or Used Hydraulic Fluids by Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectrometry¹

This standard is issued under the fixed designation D 6595; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of wear metals and contaminants in used lubricating oils and used hydraulic fluids by rotating disc electrode atomic emission spectroscopy (RDE-AES).

1.2 This test method provides a quick indication for abnormal wear and the presence of contamination in new or used lubricants and hydraulic fluids.

1.3 This test method uses oil-soluble metals for calibration and does not purport to relate quantitatively the values determined as insoluble particles to the dissolved metals. Analytical results are particle size dependent and low results may be obtained for those elements present in used oil samples as large particles.

1.4 The test method is capable of detecting and quantifying elements resulting from wear and contamination ranging from dissolved materials to particles approximately 10 μm in size.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only. The preferred units are mg/kg (ppm by mass).

1.6 *This standard does not purport to address all the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this method to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 4057 Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products²

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *burn, vt*—in emission spectroscopy, to vaporize and excite a specimen with sufficient energy to generate spectral radiation.

3.1.2 *calibration, n*—the determination of the values of the significant parameters by comparison with values indicated by a set of reference standards.

3.1.3 *calibration curve, n*—the graphical or mathematical representation of a relationship between the assigned (known) values of standards and the measured responses from the measurement system.

3.1.4 *calibration standard, n*—a standard having an accepted value (reference value) for use in calibrating a measurement instrument or system.

3.1.5 *emission spectroscopy, n*—measurement of energy spectrum emitted by or from an object under some form of energetic stimulation; for example, light, electrical discharge, and so forth.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *arc discharge, n*—a self-sustaining, high current density, high temperature discharge, uniquely characterized by a cathode fall nearly equal to the ionization potential of the gas or vapor in which it exists.

3.2.2 *check sample, n*—a reference material usually prepared by a laboratory for its own use as a calibration standard, as a measurement control standard, or for the qualification of a measurement method.

3.2.3 *contaminant, n*—material in an oil sample that may cause abnormal wear or lubricant degradation.

3.2.4 *counter electrode, n*—either of two graphite electrodes in an atomic emission spectrometer across which an arc or spark is generated.

3.2.5 *graphite disc electrode, n*—a soft form of the element carbon manufactured into the shape of a disc for use as a counter electrode in arc/spark spectrometers for oil analysis.

3.2.6 *graphite rod electrode, n*—a soft form of the element carbon manufactured into the shape of a rod for use as a counter electrode in arc/spark spectrometers for oil analysis.

3.2.7 *profiling, n*—to set the actual position of the entrance slit to produce optimum measurement intensity.

3.2.8 *standardization, n*—the process of reestablishing and correcting a calibration curve through the analysis of at least two known oil standards.

3.2.9 *uptake rate, n*—the amount of oil sample that is physically carried by the rotating disc electrode into the arc for analysis.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.03 on Elemental Analysis.

Current edition approved Nov. 10, 2000. Published November 2000.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Volume 05.02.

3.2.10 *wear metal, n*—material resulting from damage to a solid surface due to relative motion between that surface and a contacting substance or substances.

4. Summary of Test Method

4.1 Wear metals and contaminants in a used oil test specimen are evaporated and excited by a controlled arc discharge using the rotating disk technique. The radiant energies of selected analytical lines and one or more references are collected and stored by way of photomultiplier tubes, charge coupled devices or other suitable detectors. A comparison is made of the emitted intensities of the elements in the used oil test specimen against those measured with calibration standards. The concentrations of the elements present in the oil test specimen are calculated and displayed. They may also be entered into a data base for processing.

5. Significance and Use

5.1 *Used Lubricating Oil*—The determination of debris in used oil is a key diagnostic method practiced in machine condition monitoring programs. The presence or increase in concentration of specific wear metals can be indicative of the early stages of wear if there are baseline concentration data for comparison. A marked increase in contaminant elements can be indicative of foreign materials in the lubricants, such as antifreeze or sand, which may lead to wear or lubricant degradation. The test method identifies the metals and their concentration so that trends relative to time or distance can be established and corrective action can be taken prior to more serious or catastrophic failure.

6. Interferences

6.1 *Spectral*—Most spectral interferences can be avoided by judicious choice of spectral lines. High concentrations of additive elements can have an interfering influence on the spectral lines used for determining wear metals. Instrument manufacturers usually compensate for spectral interferences during factory calibration. A background correction system, which subtracts unwanted intensities on either side of the spectral line, shall also be used for this purpose. When spectral interferences cannot be avoided with spectral line selection and background correction, the necessary corrections shall be made using the computer software supplied by the instrument manufacturer.

6.2 *Viscosity Effects*—Differences in viscosity of used oil samples will cause differences in uptake rates. Internal references of the instrument will compensate for a portion of the differences. In used oil applications, the hydrogen 486.10 nm spectral line has become the industry standard for use as an internal reference. Without a reference, trended data on used oil will be adversely affected if the sample base stock has a different viscosity from the base line samples.

6.3 *Particulate*—When large particles over 10 µm in size are detected, the analytical results will be lower than the actual concentration they represent. Large particles may not be effectively transported by the rotating disk electrode sample introduction system into the arc, nor will they be fully vaporized by the spark.

7. Apparatus

7.1 *Electrode Sharpener*—An electrode sharpener is necessary to remove the contaminated portion of the rod electrode remaining from the previous determination. It also forms a new 160° angle on the end of the electrode. Electrode sharpeners are not required for instruments using a pre-shaped disc electrode as the counter electrode.

7.2 *Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectrometer*, a simultaneous spectrometer consisting of excitation source, polychromator optics, and a readout system. Suggested elements and wavelengths are listed in Table 1. When multiple wavelengths are listed, they are in the order of preference or desired analytical range.

7.3 *Heated Ultrasonic Bath (Recommended)*, an ultrasonic bath to heat and homogenize used oil samples to bring particles into homogeneous suspension. The ultrasonic bath shall be used on samples containing large amount of debris and those that have been in transit or stored for 48 hours or longer.

8. Reagents and Materials

8.1 *Base Oil*, a 75 cSt base oil free of analyte to be used as a calibration blank or for blending calibration standards.

8.2 *Check Samples*, An oil standard or sample of known concentration which is periodically analyzed as a go/no go sample to confirm the need for standardization based on an allowable ± 10 % accuracy limit.

8.3 *Cleaning Solution*, An environmentally safe, non-chlorinated, rapid evaporating, and non-film producing solvent, to remove spilled or splashed oil sample in the sample stand.

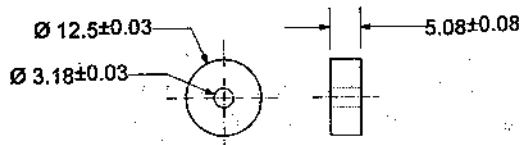
8.4 *Disc Electrode*, a graphite disc electrode of high-purity graphite (spectroscopic grade). Dimensions of the electrodes shall conform to those shown in Fig. 1.

8.5 *Glass Cleaning Solution*, capable of cleaning and removing splashed oil sample from the quartz window that protects the entrance lens and fiber optic. Isopropyl rubbing alcohol or ammonia based window cleaner has been found to be suitable for this purpose.

8.6 *Organometallic Standards*, single or multi-element blended standards for use as the high concentration standard for instrument standardization purposes or for use as a check sample to confirm calibration. Typical concentrations in the upper calibration point standard for used oil applications is 100 mg/kg for wear metals and contaminants, and 900 mg/kg for additive elements.

TABLE 1 Elements and Recommended Wavelengths

Element	Wavelength, nm	Element	Wavelength, nm
Aluminum	308.21	Nickel	341.48
Barium	230.48, 455.40	Phosphorus	255.32, 214.91
Boron	249.67	Potassium	766.49
Calcium	393.37, 445.48	Silicon	251.60
Chromium	425.43	Silver	328.07, 243.78
Copper	324.75, 224.26	Sodium	588.89, 589.59
Iron	259.94	Tin	317.51
Lead	283.31	Titanium	334.94
Lithium	670.78	Tungsten	400.87
Manganese	403.07, 294.92	Vanadium	290.88, 437.92
Magnesium	280.20, 518.36	Zinc	213.86
Molybdenum	281.60		



NOTE—All dimensions are in millimetres; material is high-purity graphite (spectroscopic grade).

FIG. 1 Graphite Disc Electrode

8.6.1 Standards have a shelf-life and shall not be used to standardize an instrument if they have exceeded the expiration date.

8.7 Counter Electrode—The counter electrode can be either a rod or a disc. The counter electrode must be high-purity graphite (spectroscopic grade). Dimensions of the counter electrodes shall conform to those shown in Fig. 2.

8.8 Specimen Holders—A variety of specimen holders can be used for the analysis of used oil samples. Disposable specimen holders must be discarded after each analysis and reusable specimen holders must be cleaned after each analysis. All specimen holders must be free of contamination and shall be stored accordingly. Specimen holder and covers shall be used on hydraulic oil samples that may catch on fire during the analysis.

9. Sampling

9.1 The used oil sample taken for the analysis must be representative of the entire system. Good sampling procedures are key to good analyses and samples must be taken in accordance with Practice D 4057.

10. Preparation of Test Specimen

10.1 Homogenization—Used oil samples may contain particulate matter and, in order to be representative, must always be vigorously shaken prior to pouring a test specimen for analysis.

10.2 Ultrasonic Homogenization—Samples that have been in transit for several days, idle in storage or very viscous, shall be placed in a heated ultrasonic bath to break up clusters of particles and to bring them back into suspension. The samples shall be vigorously shaken after being in the ultrasonic bath

and prior to pouring a test specimen for analysis. The bath temperature shall be at least 60°C and the total agitation time at least 2 min.

10.3 Specimen Holders—Used oil samples and oil standards shall be poured into a specimen holder of at least 1 mL capacity prior to analysis. Exercise care to pour the sample consistently to the same level in the specimen holders to maintain good repeatability of analysis.

10.4 Specimen Table—The specimen table shall be adjusted so that when it is in the fully raised position, at least one-third of the disc electrode is immersed in the oil test specimen.

11. Preparation of Apparatus

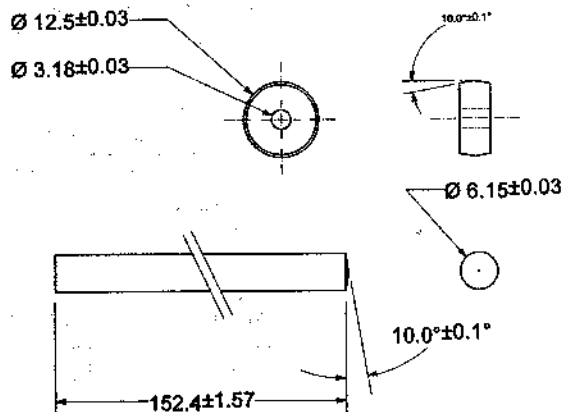
11.1 Warm-up Burns—If the instrument has been idle for several hours, it may be necessary to conduct at least three warm-up burns to stabilize the excitation source. The warm-up procedure can be performed with any oil sample or standard. Consult the manufacturer's instructions for specific warm-up requirements.

11.2 Optical Profile—Perform the normal optical profile procedure called for in the operation manual of the instrument. An optical profile shall also be performed if the instrument has been inoperative for an extended period of time or if the temperature has shifted more than 10°C since the last calibration check.

11.3 Validation Check—A go/no go standardization check can be performed with one or more check samples to confirm calibration prior to the analysis of routine samples. A calibration standard or known oil sample can be used for this purpose. The optical profile and standardization routine recommended by the instrument manufacturer shall be performed if the validation check fails to meet the ± 10 % accuracy guidelines for each element of interest.

12. Calibration

12.1 Factory Calibration—The analytical range for each element is established through the analysis of organometallic standards at known concentrations. A calibration curve for each element is established and correction factors are set to produce a linear response. Analyses of test specimens must be performed within the linear range of response. The typical



NOTE—All dimensions are in millimetres; material is high-purity graphite (spectroscopic grade).

FIG. 2 Graphite Counter Electrode

TABLE 2 Repeatability

Element	Range, mg/kg	Repeatability, mg/kg
Aluminum	0.23-101	0.5419(X+0.57) ^{0.45}
Barium	28-115	0.0694X ^{1.18}
Boron	0.14-120	0.4280(X+0.1028) ^{0.56}
Calcium	3.7-11460	0.1106(X+2.184)
Chromium	0.18-152	0.7285(X+0.0557) ^{0.41}
Copper	0.47-100	0.1631(X+0.3459) ^{0.85}
Iron	4.8-210	0.3159 (X+0.0141) ^{0.73}
Lead	0.43-101	1.062(X+0.6015) ^{0.34}
Magnesium	4.9-1360	0.1049X
Manganese	0.3-117	0.7017(X+0.3534) ^{0.34}
Molybdenum	0.21-100	0.9978(X+0.4795) ^{0.34}
Nickel	0.35-100	0.7142(X+0.3238) ^{0.40}
Phosphorus	52-2572	0.0761(X+14.76)
Potassium	0.35-247	0.4075(X+0.1154) ^{0.63}
Silicon	3.2-142	0.4015(X+0.1692) ^{0.63}
Silver	31-102	0.1523(X+1.2) ^{0.68}
Sodium	3.6-99.6	0.1231(X-2.674)
Tin	30-139	0.6777(X+0.6578) ^{0.45}
Titanium	6.8-103	0.5831(X+0.9304) ^{0.5}
Vanadium	2.1-101	0.6389(X+0.8418) ^{0.41}
Zinc	5.3-1345	0.2031(X+1.553) ^{0.87}

X = mean concentration in mg/kg

TABLE 3 Calculated Repeatability at Selected Concentrations in mg/kg

Element	1	10	100	1000
Aluminum	0.7	1.6	4.3	
Barium			16.2	
Boron	0.5	1.6	5.6	
Calcium		1.3	11.3	110.8
Chromium	0.7	1.9	4.8	
Copper	0.2	1.2	8.2	
Iron		1.7	9.3	
Lead	1.2	2.4	5.1	
Magnesium		1.0	10.5	104.9
Manganese	0.8	1.6	3.4	
Molybdenum	1.1	2.2	4.8	
Nickel	0.8	1.8	4.5	
Phosphorus			1.9	8.7
Potassium	0.4	1.8	7.4	
Silicon		1.7	7.3	
Silver			8.9	
Sodium		0.9	12.0	
Tin			5.4	
Titanium		1.7	4.2	
Vanadium		1.7	4.2	
Zinc		1.7	11.3	82.9

elements and recommended wavelengths determined in the used oil analysis applications are listed in Table 1.

12.2 Routine Standardization—A minimum of a two point routine standardization shall be performed if the instrument fails the validation check or at the start of each working shift. A minimum of three analyses shall be made using the blank and working standard.

13. Procedure

13.1 Analysis of Oil Samples—Analyze the test specimen in the same calibration curve program and manner as the standardization standards. A new disc electrode and re-pointed rod electrode or new counter disc electrode must be used for each analysis. A laboratory grade paper towel or installation tool shall be used to install the disc electrode in order to protect it from contamination from the fingers. Cleaning procedures

TABLE 4 Reproducibility

Element	Range, mg/kg	Reproducibility, mg/kg
Aluminum	0.25-100	1.457(X+0.57) ^{0.45}
Barium	28-115	0.1317X ^{1.18}
Boron	0.14-120	0.9726 (X+0.1028) ^{0.56}
Calcium	3.7-11460	0.2951(X+2.184)
Chromium	0.18-152	1.232(X+0.0557) ^{0.41}
Copper	0.47-100	0.4386(X+0.3459) ^{0.85}
Iron	4.8-210	0.8323(X+0.0141) ^{0.73}
Lead	0.43-101	1.814(X+0.6015) ^{0.34}
Magnesium	4.9-1360	0.3535X
Manganese	0.3-117	2.272(X+0.3534) ^{0.34}
Molybdenum	0.21-100	2.089(X+0.4795) ^{0.34}
Nickel	0.35-100	1.261(X+0.3238) ^{0.40}
Phosphorus	52-2572	0.3016(X+14.76)
Potassium	0.35-247	1.023(X+0.1154) ^{0.63}
Silicon	3.2-142	0.8796(X+0.1692) ^{0.63}
Silver	31-102	0.4439(X+1.2) ^{0.68}
Sodium	3.6-99.6	0.1075(X+26.36)
Tin	30-139	0.7967(X+0.6578) ^{0.45}
Titanium	6.8-103	0.9682(X+0.9304) ^{0.5}
Vanadium	2.1-101	1.983(X+0.8418) ^{0.41}
Zinc	5.3-1345	0.5881(X+1.553) ^{0.87}

X = mean concentration in mg/kg

TABLE 5 Calculated Reproducibility at Selected Concentrations in mg/kg

Element	1	10	100	1000
Aluminum	1.8	4.2	11.6	
Barium			30.7	
Boron	1.0	3.6	12.8	
Calcium		3.6	30.2	295.7
Chromium	1.3	3.2	8.1	
Copper	0.6	3.2	22.0	
Iron		4.4	24.5	
Lead	2.1	4.0	8.7	
Magnesium		3.5	35.4	353.5
Manganese	2.5	5.0	10.9	
Molybdenum	2.4	4.6	10.0	131.3
Nickel	1.4	3.2	8.0	
Phosphorus			7.5	34.6
Potassium	1.1	4.4	18.6	
Silicon		3.8	16.0	
Silver			25.8	
Sodium		3.9	13.6	
Tin			6.3	
Titanium		3.2	9.7	
Vanadium		5.3	13.1	
Zinc		4.9	32.8	240

recommended by the manufacturer shall be followed to avoid cross contamination or buildup of spilled sample.

13.2 Analysis of Flammable Samples—A non-plastic specimen holder cover shall be used on the specimen holder when hydraulic samples that might catch on fire during the analysis are analyzed. The cover retards flaming and minimizes smoke that will attenuate the analytical signal. Most covers will fit on reusable or disposable specimen holders.

13.3 Quality Control with a Check Sample—Analyze a check sample at least every hour during continuous operation or every 25 samples during intermittent operation to confirm that the instrument is still within the required ± 10 % accuracy guidelines for each element of interest.

14. Report

14.1 Report wear metals and contaminants in mg/kg and to one decimal place for concentrations below 10 mg/kg and in

whole numbers for concentrations greater than 10 mg/kg. Report additive elements in mg/kg and in whole numbers up to three significant digits. One determination per used oil sample is the standard industry practice.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The precision of this test method was determined by statistical analysis of interlaboratory results obtained by following this method. A total of 16 laboratories participated in the Interlaboratory Study (ILS) of which 14 sent in data on 11 oil samples analyzed in duplicate. The 11 samples in the ILS were: two used automotive oils, one used turbine oil, one used gear oil, one used diesel oil, one hydraulic oil, one mixture of oil standards, one military oil, and three calibration standards. Two determinations were made on each used oil sample and considered separately. Data is available in a research report³.

15.1.1 *Repeatability*—The difference between two test results, obtained by the same operator with the same apparatus under constant operating conditions on identical test material

would, in the long run, in the normal and correct operation of the test method, exceed the values in Tables 2 and 3 only in one case in twenty.

15.1.2 *Reproducibility*—The difference between two single and independent results, obtained by different operators working in different laboratories on identical test materials, would in the long run, in the normal and correct operation of the test method, exceed the values in Tables 4 and 5 only in one case in twenty.

15.2 *Bias*—Bias was evaluated by analyzing three samples prepared from calibration standards at the 30 mg/kg, 50 mg/kg, and 100 mg/kg concentrations. The t-test concluded that the bias was insignificant for all elements with the exception of barium at 30 mg/kg concentration, nickel at the 50 mg/kg concentration, and titanium at the 100 mg/kg concentration. The calculated bias values are of lesser significance in used oil trending applications.

16. Keywords

16.1 additive elements; contaminant; disc electrode; emission spectrometry; lubricating oil; RDE; rotating disc electrode spectrometer; rod electrode; wear metal

³ Available from ASTM Headquarters. Request Research Report D02-1487.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration¹

This standard is issued under the fixed designation D 974; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of acidic or basic constituents (Note 1) in petroleum products² and lubricants soluble or nearly soluble in mixtures of toluene and isopropyl alcohol. It is applicable for the determination of acids or bases whose dissociation constants in water are larger than 10^{-9} ; extremely weak acids or bases whose dissociation constants are smaller than 10^{-9} do not interfere. Salts react if their hydrolysis constants are larger than 10^{-9} .

NOTE 1—In new and used oils, the constituents considered to have acidic characteristics include organic and inorganic acids, esters, phenolic compounds, lactones, resins, salts of heavy metals, and addition agents such as inhibitors and detergents. Similarly, constituents considered to have basic properties include organic and inorganic bases, amino compounds, salts of weak acids (soaps), basic salts of polyacidic bases, salts of heavy metals, and addition agents such as inhibitors and detergents.

NOTE 2—This test method is not suitable for measuring the basic constituents of many basic additive-type lubricating oils. Test Method D 4739 can be used for this purpose.

1.2 This test method can be used to indicate relative changes that occur in an oil during use under oxidizing conditions. Although the titration is made under definite equilibrium conditions, the method does not measure an absolute acidic or basic property that can be used to predict performance of an oil under service conditions. No general relationship between bearing corrosion and acid or base numbers is known.

NOTE 3—Oils, such as many cutting oils, rustproofing oils, and similar compounded oils, or excessively dark-colored oils, that cannot be analyzed for acid number by this test method due to obscurity of the color-indicator end point, can be analyzed by Test Method D 664. The acid numbers obtained by this color-indicator test method need not be

numerically the same as those obtained by Test Method D 664, the base numbers obtained by this color indicator test method need not be numerically the same as those obtained by Test Method D 4739, but they are generally of the same order of magnitude.

1.3 The values stated in acceptable SI units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

- D 117 Guide for Sampling, Test Methods, Specifications, and Guide for Electrical Insulating Oils of Petroleum Origin
- D 664 Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration
- D 1193 Specification for Reagent Water
- D 4175 Terminology Relating to Petroleum, Petroleum Products, and Lubricants
- D 4739 Test Method for Base Number Determination by Potentiometric Titration

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *acid number, n* —the quantity of base, expressed in milligrams of potassium hydroxide per gram of sample that is required to titrate a sample to a specified end point.

3.1.1.1 *Discussion*—In this test method, the indicator is *p*-naphtholbenzein titrated to a green/green-brown end point in a toluene-water-isopropanol solvent.

3.1.2 *base number, n* —the quantity of acid, expressed in milligrams of potassium hydroxide per gram of sample that is required to titrate a sample to a specified end point.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.06 on Analysis of Lubricants.

In the IP, this test method is under the jurisdiction of the Standardization Committee. This test method was adopted as a joint ASTM-IP standard in 1965.

Current edition approved Nov. 1, 2004. Published November 2004. Originally approved in 1948. Last previous edition approved in 2002 as D 974-02¹.

² Statements defining this test method, its modification, and its significance when applied to electrical insulating oils of mineral origin will be found in Guide D 117.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

4.1 Discussion—In this test method, the indicator is *p*-naphtholbenzein titrated to an orange end point in a toluene-water-isopropanol solvent.

4.2 used oil, *n*—any oil that has been in a piece of equipment (for example, an engine, gearbox, transformer, or airline) whether operated or not. D 4175

Definitions of Terms Specific to This Standard:

4.2.1 strong acid number, *n*—the quantity of base, expressed in milligrams of potassium hydroxide per gram of sample, that is required to titrate a hot water extract of the sample to a golden-brown end point using methyl orange solution.

4. Summary of Test Method

4.1 To determine the acid or base number, the sample is dissolved in a mixture of toluene and isopropyl alcohol containing a small amount of water, and the resulting single-phase solution is titrated at room temperature with standard alcoholic base or alcoholic acid solution, respectively, to the end point indicated by the color change of the added *p*-naphtholbenzein solution (orange in acid and green-brown in base). To determine the strong acid number, a separate portion of the sample is extracted with hot water and the aqueous extract is titrated with potassium hydroxide solution, using methyl orange as an indicator.

5. Significance and Use

5.1 New and used petroleum products can contain basic or acidic constituents that are present as additives or as degradation products formed during service, such as oxidation products. The relative amount of these materials can be determined by titrating with acids or bases. This number, whether expressed as acid number or base number, is a measure of this amount of acidic or basic substances, respectively, in the oil, always under the conditions of the test. This number is used as a guide in the quality control of lubricating oil formulations. It is also sometimes used as a measure of lubricant degradation in service; however, any condemning limits must be empirically established.

5.2 Since a variety of oxidation products contribute to the acid number and the organic acids vary widely in corrosive properties, the test cannot be used to predict corrosiveness of an oil under service conditions. No general correlation is known between acid number and the corrosive tendency of oils toward metals. Compounded engine oils can and usually do have both acid and base numbers in this test method.

6. Apparatus

6.1 Buret—A 50-mL buret graduated in 0.1-mL subdivisions, or a 10-mL buret graduated in 0.05-mL subdivisions.

Note 4—An automated buret capable of delivering titrant amounts in 0.05-mL or smaller increments can be used but the stated precision data were obtained using manual burets only.

7. Reagents

7.1 Purity of Reagents—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Commit-

tee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.⁴ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

7.2 Purity of Water—References to water shall be understood to mean reagent water as defined by Type III of Specification D 1193.

7.3 Isopropyl Alcohol, anhydrous (less than 0.9 % water). (Warning—Flammable.)

7.4 Hydrochloric Acid Solution, Standard Alcoholic —(0.1 M)—Mix 9 mL of concentrated hydrochloric acid (Warning—Corrosive, fumes cause irritation) (HCl, sp gr 1.19) with 1000 mL of anhydrous isopropyl alcohol (2-propanol) (Warning—See 7.3). Standardize frequently enough to detect molarity changes of 0.0005 (Note 6), preferably by electrometric titration of approximately 8 mL (accurately measured) of the 0.1 M alcoholic KOH solution diluted with 125 mL of carbon dioxide-free water. When an electrometric titration is used for the standardization, the end point shall be a well-defined inflection point closest to the cell voltage for the acidic buffer solution. When a colorimetric titration is used for the standardization, titrate to the first stable appearance of the orange color with methyl orange indicator.

Note 5—Commercially available reagents may be used in place of the laboratory preparations when they are certified to be in accordance with 7.1.

Note 6—To simplify calculations, both the standard KOH and HCl solutions can be adjusted so that 1.00 mL is equivalent to 5.00 mg of KOH. Sodium hydroxide (NaOH) and sulfuric acid (H₂SO₄) can be substituted for KOH and HCl, respectively.

7.5 Methyl Orange Indicator Solution—Dissolve 0.1 g of methyl orange in 100 mL of water.

7.6 *p*-Naphtholbenzein Indicator⁵ Solution—The *p*-naphtholbenzein shall meet the specifications given in Annex A1. Prepare a solution of *p*-naphtholbenzein in titration solvent equal to 10 ± 0.01 g/L.

7.7 Potassium Hydroxide Solution, Standard Alcoholic (0.1 M)—Add 6 g of solid KOH (Warning—Highly corrosive to all body tissue) to approximately 1 L of anhydrous isopropyl alcohol (containing less than 0.9 % water) in a 2-L Erlenmeyer flask. Boil the mixture gently for 10 to 15 min, stirring to prevent the solids from forming a cake on the bottom. Add at least 2 g of barium hydroxide (Ba(OH)₂) (Warning—Poisonous if ingested, strongly alkaline, causes severe irritation producing dermatitis) and again boil gently for 5 to 10 min. Cool to room temperature, allow to stand for several hours, and filter the supernatant liquid through a fine sintered-glass or porcelain filtering funnel; avoid unnecessary exposure to

⁴ Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see Annual Standards for Laboratory Chemicals, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the United States Pharmacopeia and National Formulary, U.S. Pharmacopeial Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

⁵ In a 1992 study, only Kodak, Fisher, and Baker (Mallinkrodt) *p*-naphtholbenzein were found to meet the specifications in Annex A1. However, Kodak brand is no longer available.

carbon dioxide (CO₂) during filtration. Store the solution in a chemically resistant dispensing bottle out of contact with cork, rubber, or saponifiable stopcock lubricant and protected by a guard tube containing soda lime or soda nonfibrous silicate absorbent (Ascarite, Carbosorb, or Indecarb).

7.7.1 *Standardization of Potassium Hydroxide Solution*—Standardize frequently enough to detect changes of 0.0005 *N*. One way to do this is as follows: Weigh, to the nearest 0.1 mg approximately 0.2 g of potassium acid phthalate, which has been dried for at least 1 h at 110 ± 1°C and dissolve in 40 ± 1 mL of water, free of CO₂. Titrate with the potassium hydroxide alcoholic solution to either of the following end points: (1) When the titration is electrometric, titrate to a well-defined inflection point at the voltage that corresponds to the voltage of the basic buffer solution, or (2) When titration is colorimetric, add six drops of phenolphthalein indicator solution and titrate to the appearance of a permanent pink color. Perform the blank titration on the water used to dissolve the potassium acid phthalate. Calculate the normality using the following equation:

$$\text{Normality} = \frac{W_p}{204.23} \times \frac{1000}{V - V_b} \quad (1)$$

where:

- W_p = weight of the potassium acid phthalate, g,
- 204.23 = molecular weight of the potassium acid phthalate,
- V = volume of titrant used to titrate the salt to the specific end point, mL, and
- V_b = volume of titrant used to titrate the blank, mL.

7.7.2 Prepare a 0.1 ± 0.01 m% solution of phenolphthalein by dissolving pure solid phenolphthalein in a 1:1 mixture of water, free of CO₂, and ethanol.

NOTE 7—Commercially available reagents may be used in place of the laboratory preparations.

NOTE 8—Because of the relatively large coefficient of cubic expansion of organic liquids, such as isopropyl alcohol, the standard alcoholic solutions should be standardized at temperatures close to those employed in the titrations of samples.

7.8 *Titration Solvent*—Prepare by mixing toluene, water, and anhydrous isopropyl alcohol in the ratio 100 : 1 : 99.

8. Preparation of Used Oil Samples

8.1 Strict observance of the sampling procedure described in 8.2 is necessary, since the sediment itself is acidic or basic or has adsorbed acidic or basic material from the sample. Failure to obtain a representative sample causes serious errors.

8.2 Heat the sample (Note 9) of used oil to 60 ± 5°C in the original container and agitate until all sediment is homogeneously suspended in the oil (Note 10). If the original container is of opaque material, or if it is more than three-fourths full, transfer the entire sample to a clear glass bottle having a capacity at least one third greater than the volume of the sample, and transfer all traces of sediment from the original container to the bottle by violent agitation of portions of the sample in the original container. After complete suspension of all sediment, strain the sample or a convenient aliquot through a 100-mesh screen for the removal of large contaminating particles (Note 9).

NOTE 9—When samples are visibly free of sediment, the heating

procedure described in 8.2 may be omitted. When samples are visibly free of sediment, the straining procedure may also be omitted.

NOTE 10—As used oil can change appreciably in storage, samples should be tested as soon as possible after removal from the lubricating system and the dates of sampling and testing should be noted.

9. Procedure for Acid Number

9.1 Into an appropriate size Erlenmeyer flask or a beaker, introduce a weighed quantity of the sample as given in Table 1. Add 100 mL of the titration solvent and 0.5 mL of the indicator solution, and without stoppering, swirl until the sample is entirely dissolved by the solvent. If the mixture assumes a yellow-orange color, proceed as directed in 9.2; if it becomes green or green-black, proceed as directed in Section 10.

NOTE 11—In routine analysis, the indicator may be pre-mixed with the titration solvent before adding to the sample.

9.2 Without delay, titrate at a temperature below 30°C (Note 14). Add 0.1 *M* KOH solution in increments and mix to disperse the KOH as necessary (see Note 12). Shake vigorously near the end point, but avoid dissolving carbon dioxide (CO₂) in the solvent. (In the case of acidic oils, the orange color changes to a green or green-brown as the end point is approached.) Consider the end point definite if the color change (Note 13) persists for 15 s or if it reverses with two drops of 0.1 *M* HCl.

NOTE 12—When acid numbers about or below one are expected, better precision can be obtained by substituting 0.01 or 0.05 *M* solutions in 9.2 and 9.3. This substitution was not included in the development of a precision statement.

NOTE 13—To observe the end point of dark-colored oil, shake the flask vigorously to produce momentarily a slight foam when the color change occurs as the last few drops of titrant are added and observe the titration under a white fluorescent lamp at bench top level.

NOTE 14—The temperature can be measured by any suitable temperature measuring device.

NOTE 15—An automated photometric device may also be used to detect the titration end point. However, the precision estimates given in Section 15 may not apply to this mode of titration.

9.3 *Blank*—Perform a blank titration on 100 mL of the titration solvent and 0.5 mL of the indicator solution, adding 0.1-mL or less increments of the 0.1 *M* KOH solution.

9.3.1 The titration solvent usually contains weak acid impurities which react with the strongly basic components of the sample. To correct the base number for the sample, determine an *acid number* blank upon the solvent.

10. Procedure for Base Number

10.1 If the titration solvent containing the dissolved sample assumes a green or greenish-brown color after the indicator is

TABLE 1 Size of Sample^A

Acid Number or Base Number	Size of Sample, g	Sensitivity of Weighing, g
New or Light Oils		
0.0 to 3.0	20.0 ± 2.0	0.05
Over 3.0 to 25.0	2.0 ± 0.2	0.01
Over 25.0 to 250.0	0.2 ± 0.02	0.001
Used or Dark-Colored Oils		
0.0 to 25.0	2.0 ± 0.2	0.01
Over 25 to 250.0	0.2 ± 0.02	0.001

^A Light-colored samples of low acid number permit the use of 20-g samples to obtain more precise results. The sample size for dark-colored oils is limited to the quantity specified to minimize possible interference by the dark color.

added (9.1), carry out the titration as described in 9.2, but use 0.1 M HCl and titrate until the green-brown color changes to orange.

10.2 *Blank*—Perform a blank titration as directed in 9.3.

11. Procedure for Strong Acid Number

11.1 Introduce approximately 25 g of a representative sample, weighed to the nearest 0.1 g, into a 250-mL separatory funnel and add 100 mL of boiling water. Shake vigorously and drain the water phase, after separation, into a 500-mL casserole. Extract the sample twice more with 50-mL portions of boiling water, adding both extracts to the casserole. To the combined extracts add 0.1 mL of methyl orange indicator solution and, if the solution becomes pink or red, titrate with 0.1 M KOH solution until the solution becomes golden brown in color. If the initial color is not pink or red, report the strong acid number as zero. (See Note 15.)

11.2 *Blank*—Into a 250-mL Erlenmeyer flask, introduce 200 mL of the same boiling water as used for the sample titration. Add 0.1 mL of methyl orange indicator solution. If the indicator color is yellow-orange, titrate with 0.1 M HCl to the same depth and shape of color obtained in the titration of the sample. If the indicator color is pink or red, titrate with 0.1 M KOH solution to the same end point as that used in the sample titration.

12. Quality Control Checks

12.1 Confirm the performance of the equipment or the procedure each day it is in use, by analyzing a quality control (QC) sample. It is advisable to analyze additional QC samples as appropriate, such as at the end of a batch of samples or after a fixed number of samples to ensure the quality of the results. Analysis of results from these QC samples can be carried out using control chart techniques.⁶ When the result of a test on a QC sample exceeds the control limits of the laboratory, corrective action, such as instrument recalibration may be required. An ample supply of QC sample material shall be available for the intended period of use, and shall be homogeneous and stable under the anticipated storage conditions. If possible, the QC sample shall be representative of samples typically analyzed and the average value and control limits of the QC sample shall be determined prior to monitoring the measurements process. The precision for the QC sample must be compared against that given in the Precision and Bias section of this test method in order to verify that the instrument is functioning correctly.

Note 16—Because the acid and base numbers can vary while the QC sample is in storage, when an out-of-control situation arises, the stability of the QC sample can be a source of the error.

13. Calculation

13.1 Calculate the acid number as follows:

$$\text{Acid number, mg of KOH/g} = [(A - B)M \times 56.1]/W \quad (2)$$

where:

A = KOH solution required for titration of the sample (9.2), mL,

B = KOH solution required for titration of the blank (9.3), mL,

M = molarity of the KOH solution, and

W = sample used, g.

13.2 Calculate the strong-acid number as follows:

13.2.1 If the blank titration is made with acid:

$$\text{Strong-acid number, mg of KOH/g} = [(CM + Dm) \times 56.1]/W \quad (3)$$

where:

C = KOH solution required to titrate the water extract (11.1), mL,

M = molarity of KOH solution,

D = HCl solution required to titrate the blank solution (11.2), mL,

m = molarity of the HCl solution, and

W = sample used, g.

13.2.2 If the blank titration is made with base:

$$\text{Strong-acid number, mg of KOH/g} = [C - D]M \times 56.1/W \quad (4)$$

where:

C = KOH solution required to titrate the water extract (11.1), mL,

D = KOH solution required to titrate the blank solution (11.2), mL,

M = molarity of the KOH solution, and

W = sample used, g.

13.3 Calculate the base number as follows:

$$\text{base number, mg of KOH/g} = [(Em + FM) \times 56.1]/W \quad (5)$$

where:

E = HCl solution required for titration of the sample (Section 10), mL,

m = molarity of the HCl solution,

F = KOH required for titration of the acid number blank, mL,

M = molarity of the KOH solution, and

W = sample used, g.

14. Report

14.1 Report the result as acid number, strong acid number, or base number as follows:

Acid number (D 974) = (result)

Strong acid number (D 974) = (result)

Base number (D 974) = (result)

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—This precision section applies only to new, light-colored, straight mineral oils and new and used inhibited steam turbine oils. Insufficient data are available on other oils coming within the scope of this test method so that no precision is given for such oils.

15.1.1 *Repeatability*—The difference between two test results, obtained by the same operator with the same apparatus under constant operating conditions on identical test material,

⁶ Manual on Presentation of Data Control Chart Analysis, Section 3: Control Charts for Individuals, ASTM MNL 7, 6th ed., ASTM International, 1990.

would in the long run, in the normal and correct operation of the test method, exceed the following values only in one case in twenty:

Acid Base Number	Repeatability
0.00 to 0.1	0.03
Over 0.1 to 0.5	0.05
Over 0.5 to 1.0	0.08
Over 1.0 to 2.0	0.12

15.1.2 *Reproducibility*—The difference between two single and independent results obtained by different operators working in different laboratories on identical test material would, in the long run, in the normal and correct operation of the test method, exceed the following values only in one case in twenty:

Acid Base Number	Reproducibility
0.00 to 0.1	0.04
Over 0.1 to 0.5	0.08
Over 0.5 to 2.0	15 % of the neutralization number level

NOTE 17—These precision values do not apply to oils that are so highly colored as to obscure the end point color change.

NOTE 18—For precision applicable to electrical insulating liquids, refer to Guide D 117.

NOTE 19—The precision statements were based on the use of manual burets only. The user is cautioned that the precision statements may or may not be applicable to titrations performed with the use of automated burets, since no interlaboratory study has been conducted to date to statistically evaluate results determined by both techniques.

15.2 *Bias*—The procedures in this test method have no bias because the acid and base values can be defined only in the terms of the test method.

16. Keywords

16.1 acid number; base number; color indication titration; petroleum products

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. SPECIFICATIONS FOR *p*-NAPHTHOLBENZEIN

A1.1 *p*-Naphtholbenzein shall conform to the following requirements:

A1.1.1 *Appearance*—Red amorphous powder.

A1.1.2 *Chlorides*—Less than 0.5 %.

A1.1.3 *Solubility*—Ten grams shall dissolve completely in 1 L of titration solvent (see A2.7.3).

A1.1.4 *Minimum Absorbance*—Exactly 0.1000 g of sample is dissolved in 250 mL of methanol. (**Warning**—Flammable. Vapor harmful. Can be fatal or cause blindness if swallowed or inhaled. Cannot be made nonpoisonous.) Five millilitres of this solution is made up to 100 mL with pH 12 buffer. This final dilution should have a minimum absorbance of 1.20 when read at the 650-nm peak using a Beckman DU or alternative type spectrophotometer, 1-cm cells, and water as the blank.

A1.1.5 *pH Range*:

A1.1.5.1 Indicator turns to the first clear green at a relative pH of 11 ± 0.5 when tested by the method for pHr range of *p*-naphtholbenzein indicator as described in Note A2.1.

A1.1.5.2 Requires not more than 0.5 mL of 0.01 M KOH solution above that for blank to bring indicator solution to the first clear green.

A1.1.5.3 Requires not more than 1.0 mL of 0.01 M KOH solution above that for blank to bring indicator solution to a blue color.

A1.1.5.4 Initial pHr of indicator solution is at least as high as that of the blank.

A1.1.5.5 Buffer is made by mixing 50 mL of 0.05 M dibasic sodium phosphate solution with 26.9 mL of 0.1 M sodium hydroxide solution.

A2. TEST METHOD FOR DETERMINING pHr RANGE OF *p*-NAPHTHOLBENZEIN INDICATOR

A2.1 Scope

A2.1.1 This test method is intended for determining the acceptability of *p*-naphtholbenzein indicator for use in Test Method D 974 with regard to color change over a pHr range.

A2.2. Terminology

A2.2.1 *Definitions of Terms Specific to This Standard*:

A2.2.1.1 *pHr, n*—an arbitrary term which expresses the relative hydrogen ion activity in the toluene-isopropanol-water medium.

A2.2.1.1.1 *Discussion*—For the purpose of this test method, the pHr acidity scale is defined by two standard buffer solutions which have been designated pHr 4 and pHr 11. The exact

relation between pHr and the true pH of a toluene-isopropanol-water solution is not known and cannot be readily determined.

A2.3 Summary of Test Method

A2.3.1 A prescribed amount of indicator is titrated electrometrically through the various color changes with alcoholic (**Warning**—Flammable) potassium hydroxide and results plotted against meter readings converted to pHr units.

A2.4 Significance and Use

A2.4.1 This procedure is used to establish the pHr values of the various color changes of the *p*-naphtholbenzein indicator.

Apparatus

Meter, Glass Electrode, Calomel Electrode, Stirrer, and Stand, as specified in the Apparatus section of Test Method D 664.

Purity of Reagents

6.1 Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.⁴ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

6.2 References to water shall be understood to mean distilled water.

Reagents

7.1 Potassium Hydroxide Solution, Standard Alcoholic (0.1 M)—Prepare, store, and standardize in accordance with Test Method D 644.

7.2 Hydrochloric Acid Solution, Standard Alcoholic (0.2 M)—Prepare and standardize in accordance with Test Method D 644.

7.3 Titration Solvent—Add 500 mL of toluene and 5 mL of water to 495 mL of anhydrous isopropyl alcohol (2-propanol). The titration solvent should be made up in large quantities.

7.4 Acidic Buffer Solution (pHr = 4.0)—Prepare a stock solution in accordance with Test Method D 664. Add 10 mL of buffer stock solution to 100 mL of titration solvent. Use the diluted solution within 1 h.

7.5 Alkaline Buffer Solution (pHr = 11.0)—Prepare a stock solution in accordance with Test Method D 664. Add 10 mL of buffer stock solution to 100 mL of titration solvent. Use the diluted solution within 1 h.

7.6 Potassium Chloride Electrolyte—Prepare a saturated solution of potassium chloride (KCl) in water.

7.7 Naphtholbenzein Indicator Solution—Prepare as described in 7.6.

A2.8 Preparation of Electrode System

A2.8.1 Prepare the electrode system in accordance with Section 8, Preparation of the Electrode System, of Test Method D 664.

A2.9 Standardization of Apparatus

A2.9.1 Prior to each test or series of tests, set the meter to read on the pH scale, insert the electrodes into a beaker containing the acidic nonaqueous buffer solution at a temperature of $25 \pm 2^\circ\text{C}$, and stir the solution vigorously. When the pH meter reading becomes constant adjust the asymmetry potential dial of the instrument so that the meter reads 4.0.

A2.9.2 Remove the acidic buffer, clean the electrodes, and immerse them in water for several minutes. Dry the electrodes and insert them in a beaker containing alkaline nonaqueous

buffer solution at $25 \pm 2^\circ\text{C}$. When the pH meter reading has become steady, record the exact value. If the reading is within 0.2 pH units of 11.0, the initial acidity, pHr, of unknown solutions may be read directly from the dial of the meter. If the reading is not within 0.2 units of 11.0, prepare a correction graph as shown in Fig. A2.1. Use this graph to convert pH meter readings to initial acidity, pHr.

A2.10 Procedure

A2.10.1 Titrate 100 mL of titration solvent (**Warning—Flammable**) with 0.01 M KOH solution until the meter indicates a pHr between 13 and 14.

A2.10.2 Add 0.5 mL of indicator solution to a fresh portion of titration solvent, and after cleaning the electrodes titrate with 0.01 M KOH solution until the meter indicates a pHr between 13 and 14.

A2.10.3 During the titration, plot the volume of titrant against the pHr or meter reading and note on the curve the various color changes at the corresponding pHr values.

Note A2.1—The following color changes, in order, are intended as a guide:

- Amber to olive green
- Olive green to clear green
- Clear green to bluish green
- Bluish green to blue

A2.10.4 Plot the blank titration on the same paper used for the indicator.

A2.11 Calculation

A2.11.1 Subtract the volume of titrant used in the blank titration from that used for the indicator solution titration at the same pHr corresponding to the definite color changes between 10 to 12 pHr.

A2.12 Precision and Bias

A2.12.1 Precision—The precision of this procedure has not been determined, and there are no plans to develop one.

A2.12.2 Bias—The procedures in this test method have no bias because the values can only be defined in terms of the test method.

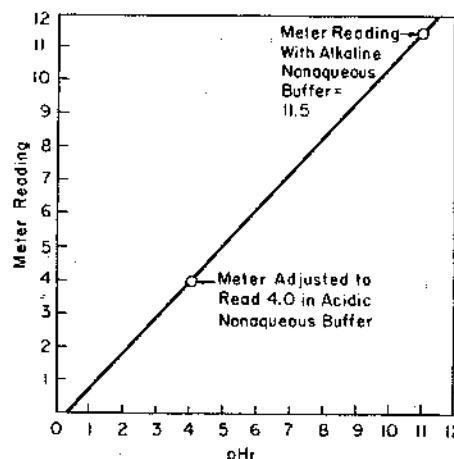


FIG. A2.1 Calibration Curve for Conversion of pH Meter Readings to pHr

SUMMARY OF CHANGES

Subcommittee D02.06 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D 974-02^{e1}) that may impact the use of this standard.

(1) Added new Note 15 allowing the use of a photometric detection titrator.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Designation: D 445 – 04^{ε1}

An American National Standard
British Standard 2000: Part 71:1990



Designation: 71/1/97

Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and the Calculation of Dynamic Viscosity)¹

This standard is issued under the fixed designation D 445; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

^{ε1} NOTE—Repeatability information that was inadvertently duplicated in Section 17 was removed editorially in November 2004.

1. Scope*

1.1 This test method specifies a procedure for the determination of the kinematic viscosity, ν , of liquid petroleum products, both transparent and opaque, by measuring the time for a volume of liquid to flow under gravity through a calibrated glass capillary viscometer. The dynamic viscosity, η , can be obtained by multiplying the kinematic viscosity, ν , by the density, ρ , of the liquid.

NOTE 1—For the measurement of the kinematic viscosity and viscosity of bitumens, see also Test Methods D 2170 and D 2171.

1.2 The result obtained from this test method is dependent upon the behavior of the sample and is intended for application to liquids for which primarily the shear stress and shear rates are proportional (Newtonian flow behavior). If, however, the viscosity varies significantly with the rate of shear, different results may be obtained from viscometers of different capillary diameters. The procedure and precision values for residual fuel oils, which under some conditions exhibit non-Newtonian behavior, have been included.

1.3 The range of kinematic viscosities covered by this test method is from 0.2 to 300 000 mm²/s (see Table A1.1) at all temperatures (see 6.3 and 6.4). The precision has only been determined for those materials, kinematic viscosity ranges and temperatures as shown in the footnotes to the precision section.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appro-*

priate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D 446 Specifications and Operating Instructions for Glass Capillary Kinematic Viscometers
- D 1193 Specification for Reagent Water
- D 1217 Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Liquids by Bingham Pycnometer
- D 1480 Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Viscous Materials by Bingham Pycnometer
- D 1481 Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Viscous Materials by Lipkin Bicapillary Pycnometer
- D 2162 Test Method for Basic Calibration of Master Viscometers and Viscosity Oil Standards
- D 2170 Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts (Bitumens)
- D 2171 Test Method for Viscosity of Asphalts by Vacuum Capillary Viscometer
- D 6074 Guide for Characterizing Hydrocarbon Lubricant Base Oils
- D 6617 Practice for Laboratory Bias Detection Using Single Test Result from Standard Material
- E 1 Specification for ASTM Liquid-in-Glass Thermometers
- E 77 Test Method for Inspection and Verification of Thermometers

2.2 ISO Standards:³

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.07 on Flow Properties.

Current edition approved May 1, 2004. Published June 2004. Originally approved in 1937. Last previous edition approved in 2003 as D 445–03.

² In the IP, this test method is under the jurisdiction of the Standardization Committee.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

ISO 3104 Petroleum Products—Transparent and Opaque Liquids—Determination of Kinematic Viscosity and Calculation of Dynamic Viscosity

ISO 3105 Glass Capillary Kinematic Viscometers—Specification and Operating Instructions

ISO 3696 Water for Analytical Laboratory Use—Specification and Test Methods

ISO 5725 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results.

ISO 9000 Quality Management and Quality Assurance Standards—Guidelines for Selection and Use

ISO 17025 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories

2.3 NIST Standards.⁴

NIST Technical Note 1297, Guideline for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results

NIST GMP 11

NIST Special Publication 819

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *automated viscometer, n*—apparatus which, in part or in whole, has mechanized one or more of the procedural steps indicated in 11 or 12 without changing the principle or technique of the basic manual apparatus. The essential elements of the apparatus in respect to dimensions, design and operational characteristics are not changed. The measured result from the apparatus does not require correction to bring it into correlation with the basic manual apparatus. The precision of the apparatus shall be of statistical equivalence to, or better (has less variability) than the manual apparatus.

3.1.1.1 *Discussion*—Automated viscometers have the capability to mimic some operation of the test method while reducing or removing the need for manual intervention or interpretation. Apparatus which determine kinematic viscosity by physical techniques that are different than those used in this test method are not considered to be Automated Viscometers.

3.1.2 *density, n*—the mass per unit volume of a substance at a given temperature.

3.1.3 *dynamic viscosity, n*—the ratio between the applied shear stress and rate of shear of a liquid.

3.1.3.1 *Discussion*—It is sometimes called the coefficient of dynamic viscosity or, simply, viscosity. Thus dynamic viscosity is a measure of the resistance to flow or deformation of a liquid.

3.1.3.2 *Discussion*—The term dynamic viscosity can also be used in a different context to denote a frequency-dependent quantity in which shear stress and shear rate have a sinusoidal time dependence.

3.1.4 *kinematic viscosity, n*—the resistance to flow of a fluid under gravity.

3.1.4.1 *Discussion*—For gravity flow under a given hydrostatic head, the pressure head of a liquid is proportional to its density, ρ . For any particular viscometer, the time of flow of a

fixed volume of fluid is directly proportional to its kinematic viscosity, ν , where $\nu = \eta/\rho$, and η is the dynamic viscosity coefficient.

4. Summary of Test Method

4.1 The time is measured for a fixed volume of liquid to flow under gravity through the capillary of a calibrated viscometer under a reproducible driving head and at a closely controlled and known temperature. The kinematic viscosity (determined value) is the product of the measured flow time and the calibration constant of the viscometer. Two such determinations are needed from which to calculate a kinematic viscosity result that is the average of two acceptable determined values.

5. Significance and Use

5.1 Many petroleum products, and some non-petroleum materials, are used as lubricants, and the correct operation of the equipment depends upon the appropriate viscosity of the liquid being used. In addition, the viscosity of many petroleum fuels is important for the estimation of optimum storage, handling, and operational conditions. Thus, the accurate determination of viscosity is essential to many product specifications.

6. Apparatus

6.1 *Viscometers*—Use only calibrated viscometers of the glass capillary type, capable of being used to determine kinematic viscosity within the limits of the precision given in the precision section.

6.1.1 Viscometers listed in Table A1.1, whose specifications meet those given in Specifications D 446 and in ISO 3105 meet these requirements. It is not intended to restrict this test method to the use of only those viscometers listed in Table A1.1. Annex A1 gives further guidance.

6.1.2 *Automated Viscometers*—Automated apparatus may be used as long as they mimic the physical conditions, operations or processes of the manual apparatus they replace. Any viscometer, temperature measuring device, temperature control, temperature controlled bath or timing device incorporated in the automated apparatus shall conform to the specification for these components as stated in 6 of this test method. The automated apparatus shall be capable of determining kinematic viscosity of a certified viscosity reference standard within the limits stated in 9.2.1 and Section 17.

6.2 *Viscometer Holders*—Use viscometer holders to enable all viscometers which have the upper meniscus directly above the lower meniscus to be suspended vertically within 1° in all directions. Those viscometers whose upper meniscus is offset from directly above the lower meniscus shall be suspended vertically within 0.3° in all directions (see Specifications D 446 and ISO 3105).

6.2.1 Viscometers shall be mounted in the constant temperature bath in the same manner as when calibrated and stated on the certificate of calibration. See Specifications D 446, see Operating Instructions in Annexes A1–A3. For those viscometers which have Tube L (see Specifications D 446) held vertical, vertical alignment shall be confirmed by using (J) a

⁴ Available from National Institute of Standards and Technology (NIST), 100 Bureau Dr., Stop 3460, Gaithersburg, MD 20899-3460.

holder ensured to hold Tube L vertical, or (2) a bubble level mounted on a rod designed to fit into Tube L, or (3) a plumb line suspended from the center of Tube L, or (4) other internal means of support provided in the constant temperature bath.

6.3 Temperature-Controlled Bath—Use a transparent liquid bath of sufficient depth such, that at no time during the measurement of flow time, any portion of the sample in the viscometer is less than 20 mm below the surface of the bath liquid or less than 20 mm above the bottom of the bath.

6.3.1 Temperature Control—For each series of flow time measurements, the temperature control of the bath liquid shall be such that within the range from 15 to 100°C, the temperature of the bath medium does not vary by more than $\pm 0.02^\circ\text{C}$ of the selected temperature over the length of the viscometer, or between the position of each viscometer, or at the location of the thermometer. For temperatures outside this range, the deviation from the desired temperature must not exceed $\pm 0.05^\circ\text{C}$.

6.4 Temperature Measuring Device in the Range from 0 to 100°C—Use either calibrated liquid-in-glass thermometers (Annex A2) of an accuracy after correction of $\pm 0.02^\circ\text{C}$ or better, or any other thermometric device of equal or better accuracy.

6.4.1 If calibrated liquid-in-glass thermometers are used, the use of two thermometers is recommended. The two thermometers shall agree within 0.04°C .

6.4.2 Outside the range from 0 to 100°C, use either calibrated liquid-in-glass thermometers of an accuracy after correction of $\pm 0.05^\circ\text{C}$ or better, or any other thermometric device of equal or better accuracy. When two temperature measuring devices are used in the same bath, they shall agree within $\pm 0.1^\circ\text{C}$.

6.4.3 When using liquid-in-glass thermometers, such as those in Table A2.1, use a magnifying device to read the thermometer to the nearest $\frac{1}{2}$ division (for example, 0.01°C or 0.02°F) to ensure that the required test temperature and temperature control capabilities are met (see 10.1). It is recommended that thermometer readings (and any corrections supplied on the certificates of calibrations for the thermometers) be recorded on a periodic basis to demonstrate compliance with the test method requirements. This information can be quite useful, especially when investigating issues or causes relating to testing accuracy and precision.

6.5 Timing Device—Use any timing device that is capable of taking readings with a discrimination of 0.1 s or better, and has an accuracy within $\pm 0.07\%$ (see Annex A3) of the reading when tested over the minimum and maximum intervals of expected flow times.

6.5.1 Electrical timing devices may be used if the current frequency is controlled to an accuracy of 0.05% or better. Alternating currents, as provided by some public power systems, are intermittently rather than continuously controlled. When used to actuate electrical timing devices, such control can cause large errors in kinematic viscosity flow time measurements.

7. Reagents and Materials

7.1 Chromic Acid Cleaning Solution, or a nonchromium-containing, strongly oxidizing acid cleaning solution.

(**Warning**—Chromic acid is a health hazard. It is toxic, a recognized carcinogen, highly corrosive, and potentially hazardous in contact with organic materials. If used, wear a full face-shield and full-length protective clothing including suitable gloves. Avoid breathing vapor. Dispose of used chromic acid carefully as it remains hazardous. Nonchromium-containing, strongly oxidizing acid cleaning solutions are also highly corrosive and potentially hazardous in contact with organic materials, but do not contain chromium which has special disposal problems.)

7.2 Sample Solvent, completely miscible with the sample. Filter before use.

7.2.1 For most samples a volatile petroleum spirit or naphtha is suitable. For residual fuels, a prewash with an aromatic solvent such as toluene or xylene may be necessary to remove asphaltenic material.

7.3 Drying Solvent, a volatile solvent miscible with the sample solvent (see 7.2) and water (see 7.4). Filter before use.

7.3.1 Acetone is suitable. (**Warning**—Extremely flammable.)

7.4 Water, deionized or distilled and conforming to Specification D 1193 or Grade 3 of ISO 3696. Filter before use.

8. Certified Viscosity Reference Standards

8.1 Certified viscosity reference standards shall be certified by a laboratory that has been shown to meet the requirements of ISO 17025 by independent assessment. Viscosity standards shall be traceable to master viscometer procedures described in Test Method D 2162.

8.2 The uncertainty of the certified viscosity reference standard shall be stated for each certified value ($k = 2$, 95% confidence). See ISO 5725 or NIST 1297.

9. Calibration and Verification

9.1 Viscometers—Use only calibrated viscometers, thermometers, and timers as described in Section 6.

9.2 Certified Viscosity Reference Standards⁵ (Table A1.2)—These are for use as confirmatory checks on the procedure in the laboratory.

9.2.1 If the determined kinematic viscosity does not agree within the acceptable tolerance band, as calculated from Annex A4, of the certified value, recheck each step in the procedure, including thermometer and viscometer calibration, to locate the source of error. Annex A1 gives details of standards available.

Note 2—In previous issues of Test Method D 445, limits of $\pm 0.35\%$ of the certified value have been used. The data to support the limit of $\pm 0.35\%$ cannot be verified. Annex A4 provides instructions on how to determine the tolerance band. The tolerance band combines both the uncertainty of the certified viscosity reference standard as well as the uncertainty of the laboratory using the certified viscosity reference standard.

9.2.1.1 As an alternative to the calculation in Annex A4, the approximate tolerance bands in Table 1 may be used.

⁵The ASTM Viscosity Oil Standards are available in 1-pt (0.47 L) containers. Purchase orders should be addressed to the Cannon Instrument Co., P.O. Box 16, State College, PA 16804. Shipment will be made as specified or by best means.

TABLE 1 Approximate Tolerance Bands

NOTE—The tolerance bands were determined using Practice D 6617. The calculation is documented in Research Report D02-1490.

Viscosity of Reference Material, mm ² /s	Tolerance Band
< 10	±0.30%
10 to 100	±0.32%
100 to 1000	±0.36%
1000 to 10 000	±0.42%
10 000 to 100 000	±0.54%
> 100 000	±0.73%

9.2.2 The most common sources of error are caused by particles of dust lodged in the capillary bore and temperature measurement errors. It must be appreciated that a correct result obtained on a standard oil does not preclude the possibility of a counterbalancing combination of the possible sources of error.

9.3 The calibration constant, C_2 , is dependent upon the gravitational acceleration at the place of calibration and this must, therefore, be supplied by the standardization laboratory together with the instrument constant. Where the acceleration of gravity, g , differs by more than 0.1 %, correct the calibration constant as follows:

$$C_2 = (g_2/g_1) \times C_1 \quad (1)$$

where the subscripts 1 and 2 indicate, respectively, the standardization laboratory and the testing laboratory.

10. General Procedure for Kinematic Viscosity

10.1. Adjust and maintain the viscometer bath at the required test temperature within the limits given in 6.3.1 taking account of the conditions given in Annex A2 and of the corrections supplied on the certificates of calibration for the thermometers.

10.1.1 Thermometers shall be held in an upright position under the same conditions of immersion as when calibrated.

10.1.2 In order to obtain the most reliable temperature measurement, it is recommended that two thermometers with valid calibration certificates be used (see 6.4).

10.1.3 They should be viewed with a lens assembly giving approximately five times magnification and be arranged to eliminate parallax errors.

10.2 Select a clean, dry, calibrated viscometer having a range covering the estimated kinematic viscosity (that is, a wide capillary for a very viscous liquid and a narrower capillary for a more fluid liquid). The flow time shall not be less than 200 s or the longer time noted in Specifications D 446.

10.2.1 The specific details of operation vary for the different types of viscometers listed in Table A1.1. The operating instructions for the different types of viscometers are given in Specifications D 446.

10.2.2 When the test temperature is below the dew point, fill the viscometer in the normal manner as required in 11.1. To ensure that moisture does not condense or freeze on the walls of the capillary, draw the test portion into the working capillary and timing bulb, place rubber stoppers into the tubes to hold the test portion in place, and insert the viscometer into the bath. After insertion, allow the viscometer to reach bath temperature, and the remove the stoppers. When performing manual viscos-

ity determinations, do not use those viscometers which cannot be removed from the constant temperature bath for charging the sample portion.

10.2.2.1 The use of loosely packed drying tubes affixed to the open ends of the viscometer is permitted, but not required. If used, the drying tubes shall fit the design of the viscometer and not restrict the flow of the sample by pressures created in the instrument.

10.2.3 Viscometers used for silicone fluids, fluorocarbons, and other liquids which are difficult to remove by the use of a cleaning agent, shall be reserved for the exclusive use of those fluids except during their calibration. Subject such viscometers to calibration checks at frequent intervals. The solvent washings from these viscometers shall not be used for the cleaning of other viscometers.

11. Procedure for Transparent Liquids

11.1 Charge the viscometer in the manner dictated by the design of the instrument, this operation being in conformity with that employed when the instrument was calibrated. If the sample is thought or known to contain fibers or solid particles, filter through a 75 μ m screen, either prior to or during charging (see Specifications D 446).

NOTE 3—To minimize the potential of particles passing through the filter from aggregating, it is recommended that the time lapse between filtering and charging be kept to a minimum.

11.1.1 In general, the viscometers used for transparent liquids are of the type listed in Table A1.1, A and B.

11.1.2 With certain products which exhibit *gel-like* behavior, exercise care that flow time measurements are made at sufficiently high temperatures for such materials to flow freely, so that similar kinematic viscosity results are obtained in viscometers of different capillary diameters.

11.1.3 Allow the charged viscometer to remain in the bath long enough to reach the test temperature. Where one bath is used to accommodate several viscometers, never add or withdraw, or clean a viscometer while any other viscometer is in use for measuring a flow time.

11.1.4 Because this time will vary for different instruments, for different temperatures, and for different kinematic viscosities, establish a safe equilibrium time by trial.

11.1.4.1 Thirty minutes should be sufficient except for the highest kinematic viscosities.

11.1.5 Where the design of the viscometer requires it, adjust the volume of the sample to the mark after the sample has reached temperature equilibrium.

11.2 Use suction (if the sample contains no volatile constituents) or pressure to adjust the head level of the test sample to a position in the capillary arm of the instrument about 7 mm above the first timing mark, unless any other value is stated in the operating instructions for the viscometer. With the sample flowing freely, measure, in seconds to within 0.1 s, the time required for the meniscus to pass from the first to the second timing mark. If this flow time is less than the specified minimum (see 10.2), select a viscometer with a capillary of smaller diameter and repeat the operation.

11.2.1 Repeat the procedure described in 11.2 to make a second measurement of flow time. Record both measurements.

11.2.2 From the two measurements of flow time, calculate two determined values of kinematic viscosity.

11.2.3 If the two determined values of kinematic viscosity calculated from the flow time measurements agree within the stated determinability figure (see 17.1.1) for the product, use the average of these determined values to calculate the kinematic viscosity result to be reported. Record the result. If not, repeat the measurements of flow times after a thorough cleaning and drying of the viscometers and filtering (where required, see 11.1) of the sample until the calculated kinematic viscosity determinations agree with the stated determinability.

11.2.4 If the material or temperature, or both, is not listed in 17.1.1, for temperatures between 15 and 100°C, use as an estimate of the determinability 0.20% and 0.35% for temperatures outside this range.

12. Procedure for Opaque Liquids

12.1 For steam-refined cylinder oils and black lubricating oils, proceed to 12.3 ensuring a thoroughly representative sample is used. The kinematic viscosity of residual fuel oils and similar waxy products can be affected by the previous thermal history and the following procedure described in 12.1.1-12.2.2 shall be followed to minimize this.

12.1.1 In general, the viscometers used for opaque liquids are of the reverse-flow type listed in Table A1.1, C.

12.1.2 Heat in the original container, in an oven, at $60 \pm 2^\circ\text{C}$ for 1 h.

12.1.3 Thoroughly stir the sample with a suitable rod of sufficient length to reach the bottom of the container. Continue stirring until there is no sludge or wax adhering to the rod.

12.1.4 Recap the container tightly and shake vigorously for 1 min to complete the mixing.

12.1.4.1 With samples of a very waxy nature or oils of high kinematic viscosity, it may be necessary to increase the heating temperature above 60°C to achieve proper mixing. The sample should be sufficiently fluid for ease of stirring and shaking.

12.2 Immediately after completing 12.1.4, pour sufficient sample to fill two viscometers into a 100-mL glass flask and loosely stopper.

12.2.1 Immerse the flask in a bath of boiling water for 30 min. (**Warning**—Exercise care as vigorous boil-over can occur when opaque liquids which contain high levels of water are heated to high temperatures.)

12.2.2 Remove the flask from the bath, stopper tightly, and shake for 60 s.

12.3 Two determinations of the kinematic viscosity of the test material are required. For those viscometers that require a complete cleaning after each flow time measurement, two viscometers may be used. A single viscometer in which an immediate, repeat flow time measurement can be made without cleaning may also be used for the two measurements of flow time and calculation of kinematic viscosity. Charge two viscometers in the manner dictated by the design of the instrument. For example, for the cross-arm or the BS U-tube viscometers for opaque liquids, filter the sample through a 75- μm filter into two viscometers previously placed in the bath.

For samples subjected to heat treatment, use a preheated filter to prevent the sample coagulating during the filtration.

12.3.1 Viscometers which are charged before being inserted into the bath may need to be preheated in an oven prior to charging the sample. This is to ensure that the sample will not be cooled below test temperature.

12.3.2 After 10 min, adjust the volume of the sample (where the design of the viscometer requires) to coincide with the filling marks as in the viscometer specifications (see Specifications D 446).

12.3.3 Allow the charged viscometers enough time to reach the test temperature (see 12.3.1). Where one bath is used to accommodate several viscometers, never add or withdraw, or clean a viscometer while any other viscometer is in use for measuring flow time.

12.4 With the sample flowing freely, measure in seconds to within 0.1 s, the time required for the advancing ring of contact to pass from the first timing mark to the second. Record the measurement.

12.4.1 In the case of samples requiring heat treatment described in 12.1 through 12.2.1, complete the measurements of flow time within 1 h of completing 12.2.2. Record the measured flow times.

12.5 Calculate kinematic viscosity, ν , in mm^2/s , from each measured flow time. Regard these as two determined values of kinematic viscosity.

12.5.1 For residual fuel oils, if the two determined values of kinematic viscosity agree within the stated determinability figure (see 17.1.1), use the average of these determined values to calculate the kinematic viscosity result to be reported. Record the result. If the calculated kinematic viscosities do not agree, repeat the measurements of flow times after thorough cleaning and drying of the viscometers and filtering of the sample. If the material or temperature, or both, is not listed in 17.1.1, for temperatures between 15 and 100°C use as an estimate of the determinability 1.0%, and 1.5% for temperatures outside this range; it must be realized that these materials can be non-Newtonian, and can contain solids which can come out of solution as the flow time is being measured.

13. Cleaning of Viscometer

13.1 Between successive determinations of kinematic viscosity, clean the viscometer thoroughly by several rinsings with the sample solvent, followed by the drying solvent (see 7.3). Dry the tube by passing a slow stream of filtered dry air through the viscometer for 2 min or until the last trace of solvent is removed.

13.2 Periodically clean the viscometer with the cleaning solution (**Warning**—see 7.1), for several hours to remove residual traces of organic deposits, rinse thoroughly with water (7.4) and drying solvent (see 7.3), and dry with filtered dry air or a vacuum line. Remove any inorganic deposits by hydrochloric acid treatment before the use of cleaning acid, particularly if the presence of barium salts is suspected. (**Warning**—It is essential that alkaline cleaning solutions are not used as changes in the viscometer calibration can occur.)

14. Calculation

14.1 Calculate each of the determined kinematic viscosity values, ν_1 and ν_2 , from the measured flow times, t_1 and t_2 , and the viscometer constant, C , by means of the following equation:

$$\nu_{1,2} = C \cdot t_{1,2} \quad (2)$$

where:

$\nu_{1,2}$ = determined kinematic viscosity values for ν_1 and ν_2 , respectively, mm²/s,

C = calibration constant of the viscometer, mm²/s², and

$t_{1,2}$ = measured flow times for t_1 and t_2 , respectively, s.

Calculate the kinematic viscosity result, ν , as an average of ν_1 and ν_2 (see 11.2.3 and 12.5.1).

14.2 Calculate the dynamic viscosity, η , from the calculated kinematic viscosity, ν , and the density, ρ , by means of the following equation:

$$\eta = \nu \times \rho \times 10^{-3} \quad (3)$$

where:

η = dynamic viscosity, mPa·s,

ρ = density, kg/m³, at the same temperature used for the determination of the kinematic viscosity, and

ν = kinematic viscosity, mm²/s.

14.2.1 The density of the sample can be determined at the test temperature of the kinematic viscosity determination by an appropriate method such as Test Methods D 1217, D 1480, or D 1481.

15. Expression of Results

15.1 Report the test results for the kinematic or dynamic viscosity, or both, to four significant figures, together with the test temperature.

16. Report

16.1 Report the following information:

16.1.1 Type and identification of the product tested,

16.1.2 Reference to this test method or a corresponding international standard,

16.1.3 Result of the test (see Section 15),

16.1.4 Any deviation, by agreement or otherwise, from the procedure specified,

16.1.5 Date of the test, and

16.1.6 Name and address of the test laboratory.

17. Precision

17.1 *Comparison of Determined Values:*

17.1.1 *Determinability (d)*—The difference between successive determined values obtained by the same operator in the same laboratory using the same apparatus for a series of operations leading to a single result, would in the long run, in the normal and correct operation of this test method, exceed the values indicated only in one case in twenty:

Base oils at 40 and 100°C ⁶	0.0020 y	(0.20 %)
Formulated oils at 40 and 100°C ⁷	0.0013 y	(0.13 %)
Formulated oils at 150°C ⁸	0.015 y	(1.5 %)
Petroleum wax at 100°C ⁹	0.0080 y	(0.80 %)
Residual fuel oils at 80 and 100°C ¹⁰	0.011 (y + 8)	
Residual fuel oils at 50°C ¹⁰	0.017 y	(1.7 %)
Additives at 100°C ¹¹	0.00106 y ^{1.1}	

Gas oils at 40°C ¹²	0.0013 (y+1)	
Jet fuels at -20°C ¹³	0.0018 y	(0.18 %)

where: y is the average of determined values being compared.

17.2 *Comparison of Results:*

17.2.1 *Repeatability (r)*—The difference between successive results obtained by the same operator in the same laboratory with the same apparatus under constant operating conditions on identical test material would, in the long run, in the normal and correct operation of this test method, exceed the values indicated only in one case in twenty:

Base oils at 40 and 100°C ⁶	0.0011 x	(0.11 %)
Formulated oils at 40 and 100°C ⁷	0.0026 x	(0.26 %)
Formulated oils at 150°C ⁸	0.0056 x	(0.56 %)
Petroleum wax at 100°C ⁹	0.0141 x ^{1.2}	
Residual fuel oils at 80 and 100°C ¹⁰	0.013 (x + 8)	
Residual oils at 50°C ¹⁰	0.015 x	(1.5 %)
Additives at 100°C ¹¹	0.00192 x ^{1.1}	
Gas oils at 40°C ¹²	0.0043 (x+1)	
Jet fuels at -20°C ¹³	0.007 x	(0.7 %)

where: x is the average of results being compared.

17.2.2 *Reproducibility (R)*—The difference between two single and independent results obtained by different operators working in different laboratories on nominally identical test material would, in the long run, in the normal and correct operation of this test method, exceed the values indicated below only in one case in twenty.

Base oils at 40 and 100°C ⁶	0.0065 x	(0.65 %)
Formulated oils at 40 and 100°C ⁷	0.0076 x	(0.76 %)
Formulated oils at 150°C ⁸	0.018 x	(1.8 %)
Petroleum wax at 100°C ⁹	0.0366 x ^{1.2}	
Residual fuel oils at 80 and 100°C ¹⁰	0.04 (x + 8)	

⁶ These precision values were obtained by statistical examination of interlaboratory results from six mineral oils (base oils without additive package) in the range from 8 to 1005 mm²/s at 40°C and from 2 to 43 mm²/s at 100°C, and were first published in 1989. Precision data available from ASTM Headquarters. Request RR:D02-1331 and RR:D02-1132. See Guide D 6074.

⁷ These precision values were obtained by statistical examination of interlaboratory results from seven fully formulated engine oils in the range from 36 to 340 mm²/s at 40°C and from 6 to 25 mm²/s at 100°C, and were first published in 1991. Precision data available from ASTM Headquarters. Request RR:D02-1332. See Guide D 6071.

⁸ These precision values were obtained by statistical examination of interlaboratory results for eight fully formulated engine oils in the range from 7 to 19 mm²/s at 150°C, and first published in 1991. Precision data available from ASTM Headquarters. Request RR:D02-1333. See Guide D 6074.

⁹ These precision values were obtained by statistical examination of interlaboratory results from five petroleum waxes in the range from 3 to 16 mm²/s at 100°C, and were first published in 1988. Precision data available from ASTM Headquarters. Request RR:D02-1334.

¹⁰ These precision values were obtained by statistical examination of interlaboratory results from fourteen residual fuel oils in the range from 30 to 1300 mm²/s at 50°C and from 5 to 170 mm²/s at 80 and 100°C, and were first published in 1984. Precision data available from ASTM Headquarters. Request RR:D02-1198.

¹¹ These precision values were obtained by statistical examination of interlaboratory results from eight additives in the range from 145 to 1500 mm²/s at 100°C and were first available in 1997. Precision data available from ASTM Headquarters. Request RR:D02-1421.

¹² These precision values were obtained by statistical examination of interlaboratory results from eight gas oils in the range from 1 to 13 mm²/s at 40°C and were first available in 1997. Precision data available from ASTM Headquarters. Request RR:D02-1422.

¹³ These precision values were obtained by statistical examination of interlaboratory results from nine jet fuels in the range from 4.3 to 5.6 mm²/s at -20°C and were first available in 1997. Precision data available from ASTM Headquarters. Request RR:D02-1420.

Residual oils at 50°C ¹⁰	0.074 x	(7.4 %)
Additives at 100°C ¹¹	0.00862 x ^{1.1}	
Gas oils at 40°C ¹²	0.0082 (x+1)	
Jet fuels at -20°C ¹³	0.019 x	(1.9 %)

where: x is the average of results being compared.

17.3 The precision for used oils has not been determined but is expected to be poorer than that for formulated oils. Because of the extreme variability of such used oils, it is not anticipated that the precision of used oils will be determined.

17.4 The precision for specific automated viscometers has not been determined. However, an analysis has been made of a large data set including both automated and manual viscom-

eters over the temperature range of 40 to 100°C. The reproducibility of automated viscometer data is not statistically significantly different than the reproducibility of manual viscometer data. It is also shown that there is no bias of the automated data in comparison to the manual data.¹⁴

18. Keywords

18.1 dynamic viscosity; kinematic viscosity; viscometer; viscosity

¹⁴ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR: D02-1498.

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. VISCOMETER TYPES AND CERTIFIED VISCOSITY REFERENCE STANDARDS

A1.1 Viscometer Types

A1.1.1 Table A1.1 lists capillary viscometers commonly in use for viscosity determinations on petroleum products. For specifications, operating instructions, and calibration, refer to specifications in Specifications D 446.

A1.1.2 Table A1.2 lists certified viscosity reference standards.

TABLE A1.1 Viscometer Types

Viscometer Identification	Kinematic Viscosity Range, ^A mm ² /s
A. Ostwald Types for Transparent Liquids	
Cannon-Fenske routine ^B	0.5 to 20 000
Zeitfuchs	0.6 to 3 000
BS/U-tube ^B	0.9 to 10 000
BS/U/M miniature	0.2 to 100
SIL ^B	0.6 to 10 000
Cannon-Manning semi-micro	0.4 to 20 000
Pinkevitch ^B	0.6 to 17 000
B. Suspended-level Types for Transparent Liquids	
BS/IP/SL ^B	3.5 to 100 000
BS/IP/SL(S) ^B	1.05 to 10 000
BS/IP/MSL	0.6 to 3 000
Ubbelohde ^B	0.3 to 100 000
FitzSimons	0.6 to 1 200
Atlantic ^B	0.75 to 5 000
Cannon-Ubbelohde(A), Cannon Ubbelohde dilution ^B (B)	0.5 to 100 000
Cannon-Ubbelohde semi-micro	0.4 to 20 000
C. Reverse-flow Types for Transparent and Opaque Liquids	
Cannon-Fenske opaque	0.4 to 20 000
Zeitfuchs cross-arm	0.6 to 100 000
BS/IP/RF U-tube reverse-flow	0.6 to 300 000
Lantz-Zeitfuchs type reverse-flow	60 to 100 000

^A Each range quoted requires a series of viscometers. To avoid the necessity of making a kinetic energy correction, these viscometers are designed for a flow time in excess of 200 s except where noted in Specifications D 446.

^B In each of these series, the minimum flow time for the viscometers with lowest constants exceeds 200 s.

TABLE A1.2 Certified Viscosity Reference Standards

Designation	Approximate Kinematic Viscosity, mm ² /s					
	20°C	25°C	40°C	50°C	80 °C	100°C
S3	4.6	4.0	2.9	...	...	1.2
S6	11	8.9	5.7	...	...	1.8
S20	44	34	18	...	...	3.9
S60	170	120	54	...	...	7.2
S200	640	450	180	...	...	17
S600	2400	1600	520	280	67	32
S2000	8700	5600	1700	...	...	75
S8000	37 000	23 000	6700	...	...	...
S30 000	...	81 000	23 000	11 000	...	...

A2. KINEMATIC VISCOSITY TEST THERMOMETERS

A2.1 Short-Range Specialized Thermometer

A2.1.1 Use a short-range specialized thermometer conforming to the generic specification given in Table A2.1 and Table A2.2 and to one of the designs shown in Fig. A2.1.

A2.1.2 The difference in the designs rests mainly in the position of the ice point scale. In Design A, the ice point is within the scale range, in Design B, the ice point is below the scale range, and in Design C, the ice point is above the scale range.

A2.2 Calibration

A2.2.1 Use liquid-in-glass thermometers with an accuracy after correction of 0.02°C or better, calibrated by a laboratory meeting the requirements of ISO 9000 or ISO 17025, and carrying certificates confirming that the calibration is traceable to a national standard. As an alternative, use thermometric devices such as platinum resistance thermometers, of equal or better accuracy, with the same certification requirements.

A2.2.2 The scale correction of liquid-in-glass thermometers can change during storage and use, and therefore regular re-calibration is required. This is most conveniently achieved in a working laboratory by means of a re-calibration of the ice point, and all of the main scale corrections altered for the change seen in the ice point.

TABLE A2.1 General Specification for Thermometers

Note—Table A2.2 gives a range of ASTM, IP, and ASTM/IP thermometers that comply with the specification in Table A2.1, together with their designated test temperatures. See Specification E 1 and Test Method E 77.

	Immersion	Total
Scale marks:		
Subdivisions	°C 0.05	
Long lines at each	°C 0.1 and 0.5	
Numbers at each	°C 1	
Maximum line width	mm 0.10	
Scale error at test temperature, max	°C 0.1	
Expansion chamber:		
Permit heating to	°C 105 up to 90, 120 between 90 and 95	130 between 95 and 105, 170 above 105
Total length	mm 300 to 310	
Stem outside diameter	mm 6.0 to 8.0	
Bulb length	mm 45 to 55	
Bulb outside diameter	mm no greater than stem	
Length of scale range	mm 40 to 90	

TABLE A2.2 Complying Thermometers

Thermometer No.	Test Temperature		Thermometer No.	Test Temperature	
	°C	°F		°C	°F
	ASTM 132C, IP 102C	150			ASTM 128C, F/IP 33C	0	32
ASTM 110C, F/IP 93C	135	275	ASTM 72C, F/IP 67C	-17.8	0
ASTM 121C/IP 32C	98.9	210	ASTM 127C/IP 99C	-20	-4
	100	212	ASTM 126C, F/IP 71C	-26.1	-20
ASTM 129C, F/IP 36C	93.3	200	ASTM 73C, F/IP 68C	-40	-40
ASTM 48C, F/IP 90C	82.2	180	ASTM 74C, F/IP 69C	-53.9	-65
IP 100C	80				
ASTM 47C, F/IP 35C	60	140			
ASTM 29C, F/IP 34C	54.4	130			
ASTM 46C F/IP 66C	50	122			
ASTM 120C/IP 92C	40				
ASTM 28C, F/IP 31C	37.8	100			
ASTM 118C, F	30	86			
ASTM 45C, F/IP 30C	25	77			
ASTM 44C, F/IP 29C	20	68			

A2.2.2.1 The interval for ice-point recalibration shall be no longer than six months (see NIST GMP 11). For new thermometers, monthly checking for the first six months is recommended. A change of one or more scale divisions in the ice point means that the thermometer may have been overheated or damaged, and it may be out of calibration. Such thermometers shall be removed from service until inspected, or recalibrated, or both. A complete recalibration of the thermometer, while permitted, is not necessary in order to meet the accuracy ascribed to this design thermometer (see NIST Special Publication 819). Any change in ice-point correction shall be added to the other corrections of the original Report of Calibration.

A2.2.2.2 Other thermometric devices, if used, will also require periodic recalibration. Keep records of all recalibration.

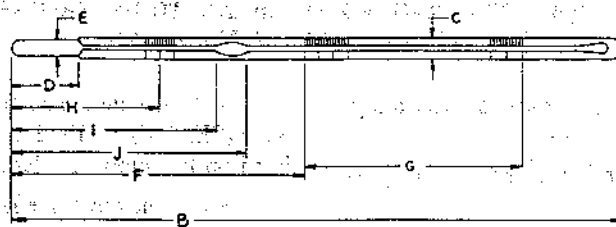
A2.2.3 Procedure for Ice-point Recalibration of Liquid-in-glass Thermometers.

A2.2.3.1 Unless otherwise listed on the certificate of calibration, the recalibration of calibrated kinematic viscosity thermometers requires that the ice-point reading shall be taken within 60 min after being at test temperature for not less than 3 min.

A2.2.3.2 Select clear pieces of ice, preferably made from distilled or pure water. Discard any cloudy or unsound portions. Rinse the ice with distilled water and shave or crush into small pieces, avoiding direct contact with the hands or any chemically unclean objects. Fill the Dewar vessel with the



(a)



(b)



(c)

FIG. A2.1 Thermometer Designs

crushed ice and add sufficient water to form a slush, but not enough to float the ice. As the ice melts, drain off some of the water and add more crushed ice. Insert the thermometer, and pack the ice gently about the stem, to a depth approximately one scale division below the 0°C graduation.

A2.2.3.3 After at least 3 min have elapsed, tap the thermometer gently and repeatedly at right angles to its axis while making observations. Successive readings taken at least 1 min apart shall agree within 0.005°C.

A2.2.3.4 Record the ice-point readings and determine the thermometer correction at this temperature from the mean reading. If the correction is found to be higher or lower than that corresponding to a previous calibration, change the correction at all other temperatures by the same value.

A2.2.3.5 During the procedure, apply the following conditions:

(1) The thermometer shall be supported vertically.

(2) View the thermometer with an optical aid that gives a magnification of approximately five and also eliminates parallax.

(3) Express the ice-point reading to the nearest 0.005°C.

A2.2.4 When in use, immerse the thermometric device to the same depth as when it was fully calibrated. For example, if a liquid-in-glass thermometer was calibrated at the normal total immersion condition, it shall be immersed to the top of the mercury column with the remainder of the stem and the expansion volume at the uppermost end exposed to room temperature and pressure. In practice, this means that the top of the mercury column shall be within a length equivalent to four scale divisions of the surface of the medium whose temperature is being measured.

A2.2.4.1 If this condition cannot be met, then an extra correction may be necessary.

A3. TIMER ACCURACY

A3.1 Regularly check timers for accuracy and maintain records of such checks.

A3.1.1 Time signals as broadcast by the National Institute of Standards and Technology are a convenient and primary standard reference for calibrating timing devices. The following can be used to an accuracy of 0.1 s:

WWV	Fort Collins, CO	2.5, 5, 10, 15, 20 MHz
-----	------------------	------------------------

WWVH	Kauai, HI	2.5, 5, 10, 15, MHz
CHU	Ottawa, Canada	3.33, 7.335, 14.67 MHz

A3.1.2 Radio broadcast of voice and audio on a telephone line at phone 303-499-7111. Additional time services are available from the National Institute of Standards and Technology.

A4. CALCULATION OF ACCEPTABLE TOLERANCE ZONE (BAND) TO DETERMINE CONFORMANCE WITH A CERTIFIED REFERENCE MATERIAL

A4.1 Determine the standard deviation for site uncertainty, σ_{site} , from a laboratory quality control program.

A4.1.1 If the standard deviation for site uncertainty, σ_{site} , is not known, use the value 0.19%.

A4.2 Determine the combined extended uncertainty (CEU) of the accepted reference value (ARV) of the certified reference material (CRM) from the supplier's label or included documentation.

A4.3 Calculate the standard error of the accepted reference value (SEARV) by dividing the CEU by the coverage factor, k , listed on the supplier's label or included documentation.

A4.3.1 If the coverage factor, k , is not known, use the value 2.

A4.4 Construct the acceptable tolerance zone:

$$TZ = \pm 1.44 \sqrt{\sigma_{\text{site}}^2 + SE_{\text{ARV}}^2}$$

SUMMARY OF CHANGES

Subcommittee D02.07 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D 445-03) that may impact the use of this standard.

- (1) Replaced A2.2.2.1.
- (2) Added text to 12.3.

- (3) Added text to 6.5.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Test Method for Base Number Determination by Potentiometric Titration¹

This standard is issued under the fixed designation D 4739; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers a procedure for the determination of basic constituents in petroleum products and lubricants (Note 1). The test method resolves these constituents into groups having weak-base and strong-base ionization properties, provided the dissociation constants of the more strongly basic compounds are at least 1000 times that of the next weaker groups.

1.1.1 This test method covers base numbers up to 70. While it can be extended to higher base numbers, the precision of the test method for base numbers greater than 70 has not been determined.

NOTE 1—In new and used oils, the constituents which can be considered to have basic properties are primarily organic and inorganic bases, including amino compounds, although certain salts of heavy metals, salts of weak acids, basic salts of polyacidic compounds, and some additives such as inhibitors or detergents may show basic characteristics.

1.2 This test method can be used to indicate relative changes that occur in an oil during use under oxidizing or other service conditions regardless of the color or other properties of the resulting oil (Note 3). Although the analysis is made under closely specified conditions, the method is not intended to, and does not, result in reported basic properties which can be used under all service conditions to predict performance of an oil; for example, no overall relationship is known between bearing corrosion or the control of corrosive wear in the engine and base number.

NOTE 2—Test Method D 4739 was developed as an alternative for the former base number portion of Test Method D 664. Base numbers obtained by this method may or may not be numerically the same as those obtained by the former base number portion of Test Method D 664.²

NOTE 3—A color indicator titration method is also available in the Test Method D 974 and IP 139. The base numbers obtained by the potentiometric method may or may not be numerically the same as those obtained by Test Method D 974 or equivalent color indicator methods such as given in Federal Test Method Std. No. 791b. Potentiometric methods for base number are also available in Test Method D 2896.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 664 Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration³

D 974 Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration³

D 1193 Specification for Reagent Water⁴

D 2896 Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration³

2.2 IP Standard:

IP 139 Test Method for Acid Number by Color-Indicator Titration Method⁵

2.3 U.S. Federal Test Method:

Federal Test Method Standard No. 791b Lubricants Liquid Fuels and Related Products; Methods of Testing⁶

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *base numbers, n*—the quantity of acid, expressed in milligrams of potassium hydroxide per gram of sample that is required to titrate a sample, dissolved in a specified solvent to a specified end point.

3.1.1.1 *Discussion*—In this test method, the sample is titrated to a meter reading corresponding to a freshly prepared nonaqueous acidic buffer solution.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *strong base number, n*—the quantity of acid, expressed in terms of the equivalent number of milligrams of

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.06 on Analysis of Lubricants.

Current edition approved Dec. 10, 2002. Published February 2003. Originally approved in 1987. Last previous edition approved in 1996 as D 4739-96.

² The base number portion was last published in the 1981 version.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 05.01.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.01.

⁵ IP Standards for Petroleum and Its Products, Part 1. Methods for Analysis and Testing.

⁶ Available from Standardization Documents Order Desk, DODSSP, Bldg. 4, Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5098

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

potassium hydroxide per gram of sample, that is required to titrate a sample dissolved in the specified solvent from the initial meter reading to a meter reading corresponding to a freshly prepared basic buffer solution.

4. Summary of Test Method

4.1 The sample is dissolved in a mixture of toluene, propanol-2-ol (isopropyl alcohol), chloroform, and a small amount of water and titrated potentiometrically with alcoholic hydrochloric acid solution. The test results of this procedure are obtained by titration mode of fixed increment and fixed time additions of the titrant. An endpoint is selected from a titration curve according to the criteria given in 13.1 and used to calculate a base number.

5. Significance and Use

5.1 New and used petroleum products can contain basic constituents that are present as additives or as degradation products formed during service. The relative amount of these materials can be determined by titrating with acids. The base number is a measure of the amount of basic substances in the oil—always under the conditions of the test. The base number is used as a guide in the quality control of lubricating oil formulations. It is also sometimes used as a measure of lubricant degradation in service. Any condemning limits must be empirically established.

6. Apparatus

6.1 *Potentiometric Titrimeter*, automatic or manual, with capability of adding fixed increments of titrant at fixed time intervals (see Annex A1).

6.1.1 The titrimeter must automatically (or manually) control the rate of addition of titrant as follows: Delivery of titrant will be incremental; after delivery of precisely a 0.100-mL increment (see 6.1.2), the delivery is stopped and a fixed time period of 90 s is allowed to pass before another 0.100-mL increment of titrant is delivered. This procedure is repeated until the titration is completed.

6.1.2 The precision of addition of the 0.100-mL increments of titrant must be ± 0.001 mL for automatic titrators. For manual buret, it should be ± 0.005 mL. A higher incremental precision is required for an automatic buret because the total volume to the end point is summed from the individual increments, whereas with a manual buret it is read from a scale.

6.2 *Glass Indicating Electrode*, pH 0 to 14, general purpose.

6.3 *Reference Electrode*, Silver/Silver Chloride (Ag/AgCl) reference electrode, filled with 1 M - 3 M LiCl in ethanol.

NOTE 4—Certain alternative electrode-electrolyte combinations have been found to give satisfactory results although the precision using these alternatives has not been determined. Combination electrodes may be used provided they conform to 8.3 and have a sufficient fast response time.

6.4 *Stirrer, Buret, Stand, Titration Vessel*, as specified in Annex A1 are required. A typical cell assembly is shown in Fig. 1.

7. Reagents

7.1 *Buffer, Nonaqueous Acid*—Add 10 mL of buffer stock solution A (see 7.3) to 100 mL of titration solvent. Use within 1 h.

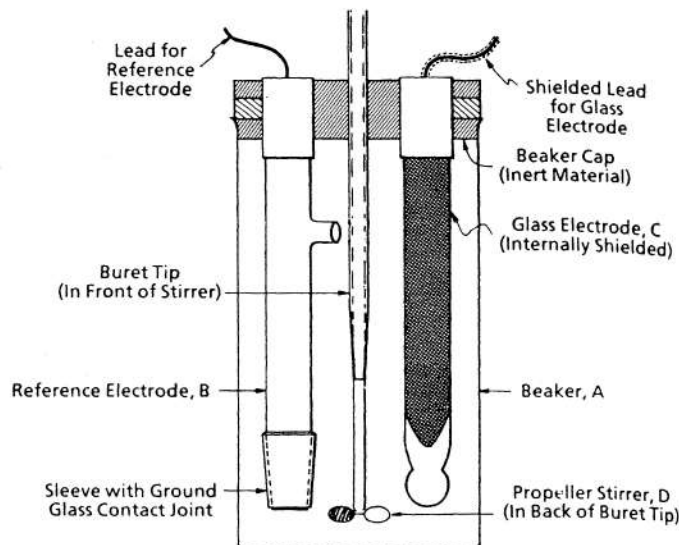


FIG. 1 Cell for Potentiometric Titration

7.2 *Buffer, Nonaqueous Base*—Add 10 mL of buffer stock solution B (see 7.4) to 100 mL of titration solvent. Use within 1 h.

7.3 *Buffer Stock Solution A*—Accurately weigh 24.2 ± 0.1 g of 2,4,6-trimethyl pyridine (γ -collidine), and transfer to a 1-L volumetric flask containing 100 mL of anhydrous isopropyl alcohol. Using a 250-mL graduated cylinder, add to the flask, while continuously stirring its contents, $150/N_{\text{HCl}} \pm 5$ mL of 0.2 M alcoholic HCl solution (N_{HCl} being the exact molarity of the HCl solution found by standardization). Dilute to the 1000-mL mark with anhydrous isopropyl alcohol, and mix thoroughly. Use within 2 weeks.

7.4 *Buffer Stock Solution B*—Accurately weigh 27.8 ± 0.1 g of *m*-nitrophenol and transfer to a 1-L volumetric flask containing 100 mL of anhydrous isopropyl alcohol. Using a 250-mL graduated cylinder, add to the flask while continuously stirring its contents, $50/N_{\text{KOH}} \pm 1$ mL of 0.2 M alcoholic KOH solution. (N_{KOH} being the exact molarity of the KOH solution found by standardization). Dilute to the 1000-mL mark with anhydrous isopropyl alcohol and mix thoroughly. Use within 2 weeks.

7.5 *Chloroform*, reagent grade. (**Warning**—Toxic and suspected carcinogen.)

7.6 *Chromic Acid Solution*—(**Warning**—Causes severe burns. Recognized carcinogen. Strong oxidizer.)

7.7 *Hydrochloric Acid Solution, Standard Alcoholic (0.1 M)*—Mix 9 mL of reagent grade hydrochloric acid (HCl, sp gr 1.19) (**Warning**—Toxic and corrosive), with 1 L of anhydrous isopropyl alcohol. Standardize frequently enough to detect normality changes of 0.0005 by potentiometric titration of approximately 8 mL (accurately measured) of the 0.1 M alcoholic KOH solution diluted with 125 mL CO_2 -free water.

7.8 *Hydrochloric Acid Solution, Standard Alcoholic (0.2 M)*—Prepare and standardize as described in 7.7, but use 18 mL of HCl (sp gr 1.19).

7.9 *Lithium Chloride Electrolyte*—Prepare a saturated solution of lithium chloride (LiCl) in isopropyl alcohol.

7.10 *m*-Nitrophenol, $\text{NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$, (**Warning—Toxic**), (mol weight 139.11), conforming to the following requirements:

Melting point	96 to 97°C
Color	Pale Yellow

7.10.1 Store the reagent in a brown glass bottle.

7.11 *Potassium Hydroxide Solution, Standard Alcoholic* (0.1 M)—Add 6 g of reagent grade potassium hydroxide (KOH) (**Warning—Toxic and corrosive**), to approximately 1 L of anhydrous isopropyl alcohol. Boil gently for 10 min to effect solution. Allow the solution to stand for 2 days and then filter the supernatant liquid through a fine sintered-glass funnel. Store the solution in a chemically resistant bottle. Dispense in a manner such that the solution is protected from atmospheric carbon dioxide (CO_2) by means of a guard tube containing soda lime or soda non-fibrous silicate absorbent (Ascarite, Carbosorb, or Indicarb), and such that it does not come into contact with cork, rubber, or saponifiable stopcock grease. Standardize frequently enough to detect normality changes of 0.0005 by potentiometric titration of weighed quantities of potassium acid phthalate dissolved in CO_2 -free water.

7.12 *Potassium Hydroxide Solution, Standard Alcoholic* (0.2 M)—Prepare, store, and standardize as directed in 7.11, but use 12 to 13 g of KOH to approximately 1 L of anhydrous isopropyl alcohol.

7.13 *Propanol-2-ol (Isopropyl Alcohol), Anhydrous*, (less than 0.1 % H_2O) (**Warning—Flammable**). If dry reagent cannot be procured, dry it by distillation through a multiple plate column, discarding the first 5 % of material distilling over and using the 95 % remaining. Also, drying can be accomplished using molecular sieves such as Linde Type 4A, by passing the solvent upward through a molecular sieve column using 1 part of molecular sieve per 10 parts of solvent. (**Warning—It has been reported that, if not inhibited against it, propanol-2-ol can contain peroxides. When this occurs, an explosive mixture is possible when the storage vessel or other equipment such as a dispensing bottle, are near empty and approaching dryness.**)

7.14 *Purity of Reagents*—Reagent-grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society, where such specifications are available.⁷ Other grades may be used, provided it is first ascertained that the reagent is of sufficiently high purity to permit its use without lessening the accuracy of the determination.

7.14.1 Commercially available solutions may be used in place of laboratory preparations provided the solutions have been certified as equivalent.

7.14.2 Alternate volumes of solutions may be prepared provided the final solution concentration is equivalent.

7.15 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, references to water shall be understood to mean reagent water as defined by Type III of Specification D 1193.

7.16 *Titration Solvent*—In a brown reagent bottle, add 30 mL of water to 1 L of isopropyl alcohol and mix thoroughly. Add 1 L each of toluene and chloroform and mix thoroughly.

7.17 *Toluene*, reagent grade. (**Warning—Extremely flammable.**)

7.18 *2,4,6-Trimethyl Pyridine (γ -Collidine)*, $(\text{CH}_3)_3\text{C}_5\text{H}_2\text{N}$, (**Warning—Toxic**), (mol weight 121.18) conforming to the following requirements:

Boiling range	168 to 170°C
Refractive index n_D^{20}	1.4982 ± 0.0005
Color	colorless

7.18.1 Store the reagent over activated alumina and keep it in a brown glass bottle.

8. Preparation of Electrode System

8.1 *Maintenance of Electrodes*—Clean the glass electrode (Note 5) at frequent intervals (not less than once every week during continual use) by immersing in cold chromic acid cleaning solution (**Warning—Causes severe burns. Recognized carcinogen. Strong oxidizer**). Drain the calomel electrode at least once each week and refill with fresh LiCl electrolyte as far as the filling hole. Make sure that crystallized LiCl is present in the solution. Maintain the electrolyte level in the reference electrode above that of the liquid in the titration beaker at all times. When not in use, immerse the lower halves of the electrodes in either water (glass) or the LiCl in isopropyl alcohol electrolyte (reference). Do not allow them to remain immersed in titration solvent for any appreciable period of time between titrations. While the electrodes are not extremely fragile, handle them carefully at all times.

NOTE 5—Cleaning the electrodes thoroughly, keeping the ground-glass joint free of foreign materials, and regular testing of the electrodes are important in obtaining repeatable potentials, since contamination can introduce uncertain, erratic, and unnoticeable liquid contact potentials.⁸ While this is of secondary importance when end points are chosen from inflection points in the titration curve, it is quite serious when end points are chosen at arbitrarily-fixed cell potentials (that is, the nonaqueous acidic buffer potential).

8.2 *Preparation of Electrodes*, Before and after using, blot-dry the glass electrode thoroughly with a clean cloth or a soft absorbent tissue and rinse with water. Wipe the reference electrode with a cloth or tissue, carefully remove the ground-glass sieve, and thoroughly wipe both ground surfaces. Replace the sleeve loosely and allow a few drops of electrolyte to drain through to flush the ground-glass joint (Note 5). Wet the ground surfaces thoroughly with electrolyte, set the sleeve firmly in place, and rinse the electrode with water. Prior to each titration, soak the prepared electrodes in water for at least 5 min immediately before use and touch the tips of the electrodes with a dry cloth or tissue to remove the excess water.

⁷ *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications*, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analar Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmacopoeial Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

⁸ For a detailed discussion of the need for care in preparation of the electrodes, see Lykken, L., Porter, P., Ruliffson, H. D., and Tuemmler, F. D., "Potentiometric Determination of Acidity in Highly Colored Oils," *Industrial and Engineering Chemistry*, Analytical Edition, IENAA, Vol 16, 1944, pp. 219–234.

8.3 *Testing of Electrodes*—Test the meter-electrode combination (Note 6) when first put into use or when new electrodes are installed and retest at intervals thereafter by dipping the electrodes into a well-stirred mixture of 100 mL of the titration solvent and 1.0 to 1.5 mL of 0.1 M alcoholic KOH solution. For the meter-electrode combination to be suitable for use, the potential between the electrodes must change by more than 0.480 V from the potential between the same electrodes when dipped in the nonaqueous acidic buffer solution.

NOTE 6—Considerably more sensitive electrodes are now available that will show a potential change of at least 0.590 V under these conditions, and their use is recommended.

9. Standardization of Apparatus

9.1 *Determination of Meter Readings for the Nonaqueous Buffer Solution Corresponding to Base End Point*—To ensure comparable selection of end points with the meter described in A1.1.1, determine daily for each electrode pair, the meter reading obtained with the freshly prepared nonaqueous acidic buffer solution to be used for the determination of base numbers, and with the freshly prepared nonaqueous basic buffer solution to be used for the determination of strong base numbers.

NOTE 7—The response of different glass electrodes to hydrogen ion activity is not the same. Therefore, it is necessary to establish regularly for each electrode system the meter readings corresponding to the acidic and basic buffer solutions arbitrarily selected to represent the end point.

9.2 Prepare the electrodes as described in 8.2, immerse them in the appropriate nonaqueous buffer solution, and stir for 5 min, maintaining the temperature of the buffer solution at a temperature within 2°C of that at which the titrations are to be made. Read the cell voltage. The reading so obtained in the acidic buffer solution is taken as the end point for the base number if an inflection is not observed as specified in 12.1, and the reading obtained in the basic buffer solution is taken as the end point for the strong base number.

10. Preparation of Sample of Used Oil

10.1 Strict observation of the sampling procedure is necessary, since the sediment itself is acidic or basic or has absorbed acidic or basic material from the sample. Failure to obtain a representative sample negates a meaningful value obtained.

NOTE 8—As used oils can change appreciably in storage, samples should be tested as soon as possible after removal from the lubricating system; and the dates of sampling and testing shall be noted.

10.2 Heat the sample (Note 9) of used oil to 60 ± 5°C in the original container and agitate the sample until all of the sediment is homogeneously suspended in the oil. If the original container is a can, or if it is glass and more than three-fourths full, transfer the entire sample to a clear-glass bottle having a capacity at least one-third greater than the volume of the sample. Transfer all traces of sediment from the original container to the bottle by vigorous agitation of portions of the sample in the original container.

10.3 After complete suspension of all sediment, strain the sample or a convenient aliquot through a 150-µm (100-mesh) screen for the removal of large contaminated particles.

NOTE 9—When samples are visibly free of sediment, the heating

procedures described can be omitted.

11. Procedure for Base Number and Strong Base Number

11.1 Calculate the quantity of sample required for its expected base number as follows:

$$A = 7/E \quad (1)$$

where:

A = approximate mass of sample, g and

E = expected base number.

11.1.1 Take a maximum of 5 g and a minimum of 0.1 g for analysis. The precision of weighing is as follows:

Size of Sample, g	Precision of Weighing g
1-5	0.005
0.1-1	0.002

11.2 Into a 250-mL titration beaker or a suitable titration vessel, introduce a weighed quantity of sample as prescribed in 11.1.1 and add 125 mL of titration solvent (Note 10). Prepare the electrodes as directed in 8.2. Place the beaker or titration vessel on the titration stand and adjust its position so that the electrodes are about half immersed. Start the stirrer, and stir throughout the determination at a rate sufficient to produce vigorous agitation without spattering and without stirring air into the solution.

NOTE 10—Some automatic titrators do not accept a beaker size that contains 125 mL of titration solvent. In such cases, a lesser amount of solvent in the range from 75 to 100 mL is acceptable.

11.3 Select and fill a suitable buret with the 0.1 M alcoholic HCl solution and place the buret in position on the titration assembly, taking care that the tip is immersed about 25 mm in the liquid in titration vessel. Record the initial buret and meter (cell potential) readings.

11.4 *Titration*—The reaction of the hydrochloric acid with the basic components is very slow with most titrations for base number. As a result, these titrations are not at equilibrium. Because of this, the titration conditions are tightly specified and must be strictly adhered to in order to achieve the precision as stated.

NOTE 11—See Appendix X1 for techniques for reducing the titration time of a sample. Pre-dosing techniques have been found to provide satisfactory results although the precision using these techniques has not been determined.

11.4.1 Whether the titration is carried out manually or automatically, the following procedure of *fixed increment, fixed time* addition of titrant must be followed. Add 0.1 M HCl in increments of 0.100 mL throughout the titration with a 90-s pause between each incremental addition. Take millivolt readings at the end of each 90 s interval. Continue as above until a potential is reached which is 100 mV past the meter reading corresponding to that found for the standard acidic buffer solution (acidic buffer potential). If the volume of titrant required to reach this potential (100 mV past the acidic buffer potential) is greater than 4.0 mL, reduce the sample size by one-half and repeat the titration.

11.4.1.1 The meter readings of potential difference are plotted manually or automatically against the respective volumes of titrant, and the end point taken as described in 12.1.

11.4.2 On completion of the titration, remove the titration vessel and rinse the electrodes and buret tip with the titration solvent, then with water, then again with titration solvent. (Soak electrodes in distilled water for at least 5 min before using for another titration.) Store the glass electrode in deionized or distilled water and the reference electrode in a saturated solution of LiCl in isopropyl alcohol when not in use (see 8.1).

11.4.3 Blanks—For each set of samples, make a blank titration of the same volume of titration solvent used for the sample. For the base number blank, add 0.1 M alcoholic HCl solution in 0.05-mL increments, waiting 90 s between each addition, until a potential which is 100 mV past the buffer potential (see 11.4) is reached. For the strong base number blank, add titrant under the same conditions until the potential corresponding to the basic buffer solution is reached.

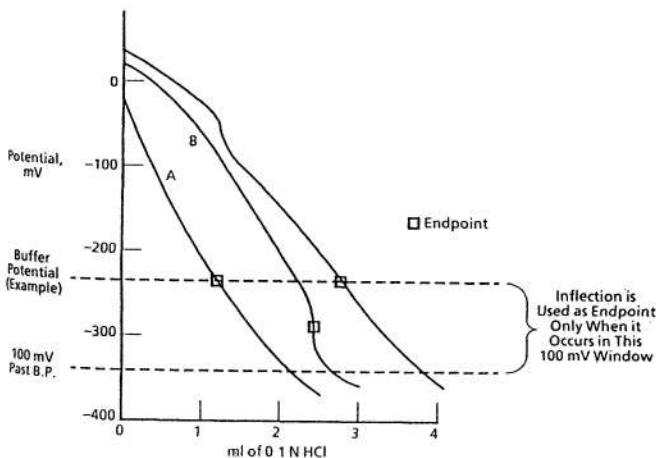
12. Calculation

12.1 If an inflection (see Note 12) occurs in the potential region between the acidic buffer potential (see 11.4) and a point 100 mV past this potential, mark this inflection as the end point. If no inflection occurs in the above mentioned potential region, mark as the end point the point on the curve that corresponds to the acidic buffer potential. See Fig. 2 for examples of end points.

NOTE 12—An inflection point is generally recognizable by inspection whenever at least five successive cell potential changes, Δ, caused by the addition of the corresponding five increments of titrant, exhibit a maximum as illustrated by an example in the following table.

Titrant, mL	Δ, mV
1.8	8.3
1.9	10.7
2.0	11.3
2.1	10.0
2.2	7.9

The Δ at the maximum should be at least 5 mV, and the difference in Δ between the maximum and both the first and last Δ should be at least 2 mV.



- (A) Titration curve has no inflections. Take end point at the buffer potential.
- (B) Titration curve has inflection within prescribed window. Take inflection as the end point.
- (C) Titration curve has inflection prior to buffer potential but not in prescribed window. Take end point at buffer potential.

FIG. 2 Example Titration Curves to Illustrate Selection of End Points

12.2 Calculate the base number and strong base number as follows:

$$\text{Base number, mg KOH/g} = [(A-B) \times M \times 56.1]/W \quad (2)$$

$$\text{Strong base number, mg KOH/g} = [(CM + Dm) \times 56.1]/W \quad (3)$$

where:

- A = alcoholic HCl solution, mL, used to titrate the sample to the end point (nonaqueous acidic buffer or inflection—see 12.1),
- B = alcoholic HCl, mL, used to titrate the solvent blank to the same potential at which the sample end point occurs,
- M = molarity of the alcoholic HCl solution,
- W = sample, g,
- C = alcoholic HCl solution, mL, used to titrate the sample to an end point that occurs at a meter reading corresponding to the nonaqueous basic buffer (see 7.2)
- D = alcoholic KOH solution, mL, used to titrate the solvent blank to the potential corresponding to C, and
- m = molarity of the alcoholic KOH solution.

13. Report

13.1 Report the results as base number, and strong base number, Test Method D 4739.

14. Quality Control Checks

14.1 confirm the performance of the test procedure by analyzing a quality control (QC) sample that is, if possible, representative of the samples typically analyzed.

14.2 Prior to monitoring the measurement process, the user of the method needs to determine the average value and control limits of the QC sample.

14.3 Record the QC results and analyze by control charts or other statistically equivalent technique to ascertain the statistical control status of the total testing process. Any out of control data should trigger investigation for root cause(s). The results of this investigation may, but not necessarily, result in instrument recalibration.

14.4 The frequency of QC testing is dependent on the criticality of the quality being measured, the demonstrated stability of the testing process, and customer requirement. Generally, a QC sample should be analyzed each testing day. The QC frequency should be increased if a large number of samples are routinely analyzed. However, when it is demonstrated that the testing is under statistical control, the QC testing frequency may be reduced.

15. Precision and Bias⁹

15.1 Precision—The precision of this test method as determined by statistical examination of results on nine samples of new and used oils run in duplicate by twelve different laboratories is as follows:

15.1.1 Base Number:

15.1.1.1 Repeatability—The difference between two test results, obtained by the same operator with the same apparatus

⁹ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR: D02-1217.

under constant operating conditions on identical test material, would, in the long run, in the normal and correct operation of the test method, exceed the following value only in one case in twenty:

10.4 % of the mean of the two test results (4)

15.1.1.2 *Reproducibility*—The difference between two single and independent results obtained by different operators working in different laboratories on identical test material, would, in the long run, in the normal and correct operation of the test method, exceed the following value only in one case in twenty:

21.1 % of the mean of the two test results (5)

NOTE 13—The range of base number values for which the precision values were established was 0.5 to 70.

15.1.2 *Strong Base Number*—Precision data have not been developed for strong base number because of its rare occurrence.

15.2 *Bias*—A statement of bias is not applicable since a standard reference material for this property is not available.

16. Keywords

16.1 base number; lubricants; petroleum products; potentiometric titration

ANNEX

(Mandatory Information)

A1. APPARATUS

A1.1 *Apparatus for Manual Titration*—Shall consist of the following:

A1.1.1 *Meter*—A voltmeter or potentiometer that will operate with an accuracy of ± 0.005 V and a sensitivity of ± 0.002 V, over a range of at least ± 0.5 V, when the meter is used with the electrodes specified in A1.1.2 and A1.1.3, and when the resistance between the electrodes falls within the range from 0.2 to 20 M Ω . The meter shall be protected from stray electrostatic fields so that no permanent change in the meter readings over the entire operating range is produced by touching with a grounded lead (Note A1.1), any part of the exposed surface of the glass electrode, the glass electrode lead, the titration stand, or the meter. A desirable apparatus may consist of a continuous-reading electronic voltmeter with specified range, accuracy, and sensitivity, that is designed to operate on an input of less than 5×10^{-12} A when an electrode system having 1000 M Ω resistance is connected across the meter terminals, and that is provided with a satisfactory terminal to connect the shielded connection wire from the glass electrode to the meter without interferences from the presence of external electrostatic field.

NOTE A1.1—*Grounded or connected to the ground* means connected through a resistance of not more than 100 Ω to a standard ground potential such as that of a water-service pipe.

A1.1.2 *Glass Electrode*—A pencil-type glass electrode (C, Fig. 1) 125 to 180 mm in length and 8 to 14 mm in diameter. The body of the electrode shall be made of a chemically resistant glass tube with a wall thickness of 1 to 3 mm. The end dipping into the solution shall be closed with a hemisphere of Corning 015 glass or equivalent sealed on to the electrode tube, and the radius of this hemisphere shall be about 7 mm. The thickness of the glass in the hemisphere shall be great enough so that the resistance of the hemisphere is 100 to 1000 M Ω at 25°C. The electrode shall contain a reproducible, permanently sealed liquid cell for making electrical connection with the

inner surface of the hemisphere. The entire electrical connection from the sealed contact cell to the meter terminal shall be surrounded by an electrical shield that will prevent electrostatic interferences when the shield is grounded. The shield shall be insulated from the electrical connection by insulating material of the highest quality, such as rubber and glass, so that the resistance between the shield and the entire length of the electrical connection is greater than 50 000 M Ω .

A1.1.3 *Calomel Electrode*—A pencil-type calomel electrode (B, Fig. 1) 125 to 180 mm in length and 8 to 14 mm in diameter. This electrode shall be made of glass and shall be provided with an external, removable glass sleeve on the sealed end that is dipped into the titration solution. The glass sleeve shall be 8 to 25 mm in length, shall be slightly tapered, and shall be ground to fit the electrode so that the sealed end of the electrode protrudes 2 to 20 mm beyond the sleeve. The ground surface shall be continuous and free of smooth spots. At a point midway between the extremities of the ground surface, the electrode tube shall be pierced by a hole or holes 1 mm in diameter. The electrode shall contain the necessary mercury, calomel and electrical connection to mercury, (calomel), or silver-silver chloride (Ag/AgCl), all arranged in a permanent manner. The electrode shall be filled almost to capacity with saturated LiCl in isopropyl alcohol electrolyte and shall be equipped with a stoppered port through which the electrolyte may be replenished. When suspended in the air and with the sleeve in place, the electrode shall not leak electrolyte at a rate greater than one drop in 10 min.

A1.1.4 *Stirrer*—A variable-speed mechanical stirrer of any suitable type, equipped with a glass, propeller-type-stirring paddle (D, Fig. 1). A propeller with blades 6 mm in radius and set at a pitch of 30 to 45° is satisfactory. A magnetic stirrer is also satisfactory. If electrical stirring apparatus is used, it must be grounded so that connecting or disconnecting the power to

the motor will not produce a permanent change in meter reading during the courses of titration.

A1.1.5 *Buret*—A 5-mL buret (E, Fig. 1) graduated in 0.01-mL divisions and calibrated with an accuracy of ± 0.005 mL. The buret shall have a glass stopcock and shall have a tip that extends 100 to 130 mm beyond the stopcock.

A1.1.6 *Titration Beaker*—A 250-mL beaker made of borosilicate glass, or other suitable titration beaker, (A, Fig. 1).

A1.1.7 *Titration Stand*—A suitable stand to support the electrodes, stirrer, and buret in the position shown in Fig. 1. An arrangement that allows the removal of the beaker without disturbing the electrodes, buret, and stirrer is desirable.

A1.2 Automatic titration system shall be generally in

accordance with A1.1 and provide the following technical performance characteristics of features:

A1.2.1 The addition of titrant must be automatically controlled to dispense discontinuously 0.100 ± 0.001 -mL increments of titrant with a waiting period of 90 s between increments.

A1.2.2 Interchangeable precision motor-driven burets with volume dispensing accuracy of ± 0.001 mL.

A1.2.3 A record of the complete course of a titration by continuously printing out the potential or change in potential with the addition of each increment of titrant, versus volume of titrant added.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. REDUCING TITRATION TIME

X1.1 A long, equilibration period of 90 s/increment was selected for the base number titration because the titration reaction and electrode equilibration are generally slow. This, of course, can lead to long titration time/sample, with a maximum time of 1 h based on a maximum volume of titrant of 4 mL and a rate of titrant addition of 0.1 mL/90 s. It is possible to substantially reduce the titration time by predosing with rapid addition of titrant until a potential within 25 mV of the buffer potential is reached, then allowing 90 s for equilibration and completing the titration under normal conditions. This procedure is not expected to have an adverse affect on the precision of this test method; however, the precision under these conditions has not been determined.

X1.2 There are many cases where the optimum in precision in the base number is not required, and in these cases the titration time can be shortened by taking a smaller sample. For example, for a base number of 2 and using a sample size calculated from the equation in 11.1, a total titration time of 24 min would be required. By taking only one half of the prescribed sample size the titration time would be reduced to 12 min. The affect of halving the sample size on the precision of this test method has not been determined but it would be expected to be small.

SUMMARY OF CHANGES

Subcommittee D02.06 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D 4739-96) that may impact the use of this standard.

- (1) Placed relation to former base number portion in Test Method D 664 in the scope.
- (2) Added references to ASTM practices for manual and automatic sampling.
- (3) Updated title of reference IP 139.
- (4) Placed permission for commercial solutions and variations of reagent volumes in 7.14.1 and 7.14.2.

- (5) Clarified definitions and corrected chemical name for isopropyl alcohol.
- (6) Removed reference to use of Calomel electrodes.
- (7) Inserted a new warning statement concerning possible peroxide formation in propanol-2-ol.
- (8) Added Section 14 on Quality Control Checks.

ภาคผนวก ง-1

ใบลงทะเบียนผู้เข้าร่วมประชุมสรุปผลการดำเนินโครงการ



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน



ประชุมสรุปผลการดำเนินงานโครงการ

"โครงการการศึกษาและทดสอบการใช้เชื้อเพลิง E85 ในรถจักรยานยนต์ระบบหัวฉีดหลังติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV Conversion Kit"
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน
วันพฤหัสบดีที่ 15 พฤษภาคม 2557 เวลา 9.00 - 15.00 น. ห้องประชุม M506

ลำดับ	ชื่อ-นามสกุล	ตำแหน่ง	หน่วยงาน	หมายเหตุ
1	น.ส. ผดุงชน ศรีสวัสดิ์	ผู้ช่วยวิจัย	ศก.	
2	นาย ศราวุธ เดิศจันทร์สันต์	นักวิจัย	ศก.	
3	นาย ประสิทธิ์ จันทรวงศ์ก่อ	วิศวกร	ศก.	
4	นาย พิรภพศักดิ์ วิริยะธานศักดิ์	ผู้ช่วยวิจัย	ศก.	
5	นาย อรรถพร ฉิมพรัตน์	ผู้ฝึกสอน	บ.จ.ระเทศ กอ.	
6	นาย อนุพงษ์ นันท์โคกขจร	อำนวยการ	บ.ธุรกิจเอเซีย	
7	นาย เดวิด (ส.ท.ท.ร.ค.ค.)	อำนวยการ	พพ.	ประธานกรรมการ
8	นาย กฤษณ์ ขวดีดีดงอุมา	ผู้จัดการฝ่ายการตลาด	พพ.	กรรมการ
9	น.ส. เบญจมาภรณ์ ชัยธรรมกิจ	ผู้จัดการ	พพ.	กรรมการ
10	น.ส. เลิศกมลรัตน์ ตังกรพิชญะ	ผู้ติดตาม	ศก.	
11	นาย อรรถพร ลาภนิยวัฒน์กุล	เจ้าหน้าที่ดูแลลูกค้า	ไม่ร่วมประชุม	
12				
13				
14				
15				

ภาคผนวก ง-2

เอกสารประกอบการประชุม

ประชุมสรุปผลการดำเนินงาน

“โครงการศึกษาและทดสอบการใช้เชื้อเพลิง E85 ในรถจักรยานยนต์
ระบบหัวฉีดหลังติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV Conversion Kit“

คณะวิจัยห้องปฏิบัติการยานยนต์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

วันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2557



สารบัญ

- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- แผนและขั้นตอนการดำเนินงาน และขอบเขตเงื่อนไข
- ผลการดำเนินงาน
 - การทดสอบด้านสมรรถนะ
 - การทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลือง
 - การทดสอบด้านความทนทานของชิ้นส่วน
- สรุปผลการดำเนินงาน
- อุปสรรคที่พบและการแก้ไข
- อภิปรายร่วมกัน



วัตถุประสงค์



1. วิเคราะห์ความเสียหายที่อาจจะเกิดต่อเครื่องยนต์ โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำมันเครื่องยนต์ก่อน และระหว่างการใช้งานจริงทุก 2,000 กิโลเมตร โดยรวมเป็นระยะทางทั้งหมดไม่น้อยกว่า **10,000 กิโลเมตร** หรือเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า **6 เดือน**



3

วัตถุประสงค์



2. ตรวจสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง E85 ใน **การขับขี่จริง** บนท้องถนน ของรถจักรยานยนต์ระบบหัวฉีด หลังการติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV Conversion-kit
3. วิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์ **ในการขับขี่เพื่อปฏิบัติงานจริง** ของอาสาสมัครผู้เข้าร่วมโครงการ

น	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
		-1	0	1
ม	ครั้งที่ 1	ดีเยี่ยม	-	ดีเยี่ยม
	ครั้งที่ 2	ดีเยี่ยม	-	ดีเยี่ยม
	ครั้งที่ 3	ดีเยี่ยม	-	ดีเยี่ยม
	ครั้งที่ 1	ดี	ปกติ	ดีเยี่ยม

การประเมินโดยผู้ทดสอบ

← ความสัมพันธ์ →

การวัดค่าความเร็วและความเร่ง

GPS-based speed sensor

4

สารบัญ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

MTEC
a member of NSTDA

- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- **แผนและขั้นตอนการดำเนินงาน และขอบเขตเงื่อนไข**
- ผลการดำเนินงาน
 - การทดสอบด้านสมรรถนะ
 - การทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลือง
 - การทดสอบด้านความทนทานของชิ้นส่วน
- สรุปผลการดำเนินงาน
- อุปสรรคที่พบและการแก้ไข
- อภิปรายร่วมกัน

5

แผนการดำเนินงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

MTEC
a member of NSTDA

15 พ.ค. 2557

กิจกรรม	เดือน								ผู้รับผิดชอบ
	Oct-56	Nov-56	Dec-56	Jan-57	Feb-57	Mar-57	Apr-57	May-57	
1 ออกแบบการทดสอบ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล และคู่มือการใช้งานของผู้ทดสอบ									ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (ทว.)
2 คัดเลือกจักรยานยนต์และผู้ทดสอบ 18 คน อบรมและแนะนำการดำเนินการทดสอบ									ทว. และ บจจ.ระเทศ 2012
3 ทดสอบสภาพเครื่องยนต์และสมรรถนะในสนามทดสอบก่อนติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit									บจจ.ระเทศ 2012
4 เก็บข้อมูลด้านความทนทานของชิ้นส่วนก่อนการดัดแปลงรถ									ทว.
5 ติดตั้งอุปกรณ์เสริม FFV conversion kit									บจจ.ระเทศ 2012
6 ทดสอบภาคสนาม เพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ									ทว.
7 ทดสอบโดยการขี่จริง เพื่อเก็บข้อมูลด้านพลังงาน อัตราการสิ้นเปลือง									ทว. และ บจจ.ระเทศ 2012
8 ทดสอบโดยการขี่จริง เพื่อเก็บข้อมูลด้านความทนทานของชิ้นส่วน									ทว. และ บจจ.ระเทศ 2012
9 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบและผลการทดสอบ									ทว.
10 จัดทำรายงานและนำเสนอผลการทดสอบต่อผู้เกี่ยวข้อง									ทว.

6

ขั้นตอนการดำเนินงาน



1. ออกแบบการทดสอบ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล และคู่มือการใช้รถ

- ประเภทการทดสอบ – **เชิงเปรียบเทียบ E85 vs. E10**



- ด้านสมรรถนะรถ: ตัวชี้วัด คือ ผลการประเมินด้วยคนที่สัมพันธ์กับค่าที่วัดได้



- ด้านความทนทานเครื่องยนต์: ตัวชี้วัด คือ การสึกหรอของชิ้นส่วน การเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง และสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง



- ด้านพลังงาน: ตัวชี้วัด คือ อัตราการสิ้นเปลือง (กิโลเมตร/ลิตร) และค่าเชื้อเพลิง (บาท/กิโลเมตร)

7

ขั้นตอนการดำเนินงาน



1. ออกแบบการทดสอบ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล และคู่มือการใช้รถ

ประเภทการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง (คืน)		รูปแบบการทดสอบ	วิธีการทดสอบ
	น้ำมันเชื้อเพลิง Baseline	E85		
ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์				
การสตาร์ทเครื่อง		3	สนามทดสอบ	ประเมินด้วยผู้ขับขี่ โดยใช้แบบสอบถาม 3-point-scale
อัตราเร่ง		3	สนามทดสอบ	วัดอัตราเร่งด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วรถ และประเมินด้วยผู้ขับขี่
การออกตัว		3	สนามทดสอบ	วัดอัตราเร่งด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วรถ และประเมินด้วยผู้ขับขี่
การเบรก		3	สนามทดสอบ	ประเมินด้วยผู้ขับขี่ โดยใช้แบบสอบถาม 3-point-scale
การสิ้นสละเทือนจากเครื่องยนต์		3	สนามทดสอบ	
เสียง		3	สนามทดสอบ	
ด้านพลังงาน				
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	3	15	ใช้งานจริง	จุดบันทึกระยะทาง / ปริมาณน้ำมัน / ความเร็วเฉลี่ย
ด้านความทนทาน				
น้ำมันเครื่อง	3	3	ใช้งานจริง	วิเคราะห์การสึกหรอ การเสื่อมสภาพและสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง
ชิ้นส่วนยาง	3	3	ใช้งานจริง	
ชิ้นส่วนโลหะ	3	3	ใช้งานจริง	
ชิ้นส่วนพลาสติก	3	3	ใช้งานจริง	

8

ขั้นตอนการดำเนินงาน



1. ออกแบบการทดสอบ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล และคู่มือการใช้รถ

- คู่มือการใช้รถ

คู่มือการทดสอบใช้วันจันทร์-พฤหัสบดี E85 ในรถจักรยานยนต์

อาสาสมัครหมายเลข _____

ทะเบียนรถ _____

อาสาสมัครหมายเลข _____

คู่มือการทดสอบใช้วันจันทร์-พฤหัสบดี E85 ในรถจักรยานยนต์

คำชี้แจง

คู่มือนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือสำหรับผู้ใช้งาน E85 ในรถจักรยานยนต์ โดยคู่มือฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือสำหรับผู้ใช้งาน E85 ในรถจักรยานยนต์ ซึ่งคู่มือฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือสำหรับผู้ใช้งาน E85 ในรถจักรยานยนต์

วัตถุประสงค์

เพื่อให้ผู้ใช้งาน E85 ในรถจักรยานยนต์สามารถใช้งาน E85 ในรถจักรยานยนต์ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย

สารบัญ

1. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ	1
2. วัตถุประสงค์ของการใช้ E85 ในรถจักรยานยนต์	2
3. วิธีการใช้งาน E85 ในรถจักรยานยนต์	3
4. แนวทางการใช้ E85 ในรถจักรยานยนต์	4
5. ข้อมูลทั่วไปของ E85	5

ขั้นตอนการดำเนินงาน



1. ออกแบบการทดสอบ แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล และคู่มือการใช้รถ

- แบบฟอร์มบันทึกข้อมูล

อาสาสมัครหมายเลข _____

ครั้งที่	วันที่	กิจกรรมที่บันทึก (ชม.)	ปริมาณน้ำมันที่บันทึก (ลิตร)	ราคา (บาท)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

อาสาสมัครหมายเลข _____

ครั้งที่	วันที่	กิจกรรมที่บันทึก (ชม.)	ปริมาณน้ำมันที่บันทึก (ลิตร)	ราคา (บาท)
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

อาสาสมัครหมายเลข _____

ครั้งที่	วันที่	กิจกรรมที่บันทึก (ชม.)	ปริมาณน้ำมันที่บันทึก (ลิตร)	ราคา (บาท)
1	14/1/52	883930	1.56	90.0
2	20/1/52	883936	1.960	50.0
3	27/1/52	883940	1.56	40.0
4	28/1/52	883943	1.960	40.0
5	29/1/52	883947	1.56	40.0
6	30/1/52	883953	1.960	40.0
7	31/1/52	883959	2.352	60.0
8	1/2/52	883965	1.960	50.0
9	2/2/52	883971	1.960	40.0
10	3/2/52	883974	1.56	40.0
11	6/2/52	883979	1.56	40.0
12	7/2/52	883982	1.56	40.0
13	8/2/52	883984	1.56	40.0
14	9/2/52	883987	1.56	40.0
15	10/2/52	883992	1.56	40.0
16	11/2/52	883997	1.56	40.0

ขั้นตอนการดำเนินงาน



2. คัดเลือกรถจักรยานยนต์จำนวน 18 คัน / อบรมผู้ทำการทดสอบ

- จำนวนรถ - แบ่งตามประเภทเชื้อเพลิง
 - รถเติมน้ำมัน **E10** เป็น Baseline จำนวน 3 คัน
 - รถเติมน้ำมัน **E85** เป็น Test object จำนวน 15 คัน

E10: 3 คัน

E85: 3 จาก 15 คัน

เกณฑ์การคัดเลือก:

เปรียบเทียบ 3 คู่ โดยแต่ละคู่ต้องมี

- ยี่ห้อเดียวกัน
- รุ่นเครื่อง/ชนิดเกียร์เดียวกัน
- ปีผลิตห่างกันไม่เกิน 1 ปี
- ใช้น้ำมันเครื่องชนิดเดียวกัน

(Maxima Flexolube)

11



ขั้นตอนการดำเนินงาน



2. คัดเลือกรถจักรยานยนต์จำนวน 18 คัน / อบรมผู้ทำการทดสอบ

- จำนวนรถ - แบ่งตามประเภทการทดสอบ



รถรุ่น Honda Wave 125i น้ำมัน E85



รถรุ่น Honda Wave 110i น้ำมัน E85



รถรุ่น Honda Click น้ำมัน E85



รถรุ่น Honda Wave 125i น้ำมัน E10



รถรุ่น Honda Wave 110i น้ำมัน E10



รถรุ่น Honda Click น้ำมัน E10

12

ขั้นตอนการดำเนินงาน

2. คัดเลือกรถจักรยานยนต์จำนวน 18 คัน / อบรมผู้ทำการทดสอบ

- จำนวนรถ - แบ่งตามประเภทการทดสอบ

E85_1

E85_2

E85_3

ทดสอบด้านสมรรถนะ E85 vs. E10



E10_1

E10_2

E10_3

ทดสอบด้านความทนทานเครื่องยนต์

E85_4

E85_5

...

E85_14

E85_15



ทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลือง



13

ขั้นตอนการดำเนินงาน

3. ทดสอบภาคสนามด้านสมรรถนะก่อนติดตั้ง FFV conversion kit

4. เก็บข้อมูลด้านความทนทานของชิ้นส่วนก่อนการดัดแปลงรถ

5. ติดตั้งอุปกรณ์ FFV conversion kit



14

ขั้นตอนการดำเนินงาน

6. ทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ

- **วิธีการ:** เปรียบเทียบน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด



15

ขั้นตอนการดำเนินงาน

6. ทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ

- **วิธีการ:** หาความสัมพันธ์ของการประเมินและข้อมูลที่วัดได้ เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของผลการประเมิน



การประเมินด้าน **อัตราเร่ง** และ **การออกตัว**
โดยผู้ทดสอบ

การวัดค่า **ความเร็ว** และ **ความเร่ง**
ด้วยอุปกรณ์วัด

16

ขั้นตอนการดำเนินงาน

6. ทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ

- วิธีการ: ติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วและความเร่ง



ควบคุมระยะคันเร่งสูงสุด



แบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์วัด



GPS-based Vbox: วัดความเร็วและความเร่งของรถ

17

ขั้นตอนการดำเนินงาน

6. ทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ

- วิธีการ: ประเมินด้วยแบบสอบถามชนิด 3-point-scale

ลำดับที่	รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
			-1	0	1
1	การสตาร์ทเครื่อง	ครั้งที่ 1	ติดยาก	-	ติดง่าย
		ครั้งที่ 2	ติดยาก	-	ติดง่าย
		ครั้งที่ 3	ติดยาก	-	ติดง่าย
2	การออกตัว	ครั้งที่ 1	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
		ครั้งที่ 2	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
		ครั้งที่ 3	อืด	ปกติ	พุ่งแรง
3	อัตราเร่ง	ครั้งที่ 1	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
		ครั้งที่ 2	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
		ครั้งที่ 3	เร่งไม่ขึ้น	เร่งปกติ	เร่งแรง
4	การเบรก	ครั้งที่ 1	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
		ครั้งที่ 2	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี
		ครั้งที่ 3	เบรกไม่อยู่	เบรกปกติ	เบรกดี



18

ขั้นตอนการดำเนินงาน

6. ทดสอบภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านสมรรถนะ

- **วิธีการ:** ประเมินด้วยแบบสอบถามชนิด 3-point-scale

ลำดับที่	รายการประเมิน	ครั้งที่ทดสอบ	ระดับความพึงพอใจ		
			-1	0	1
5	การสิ้นเปลืองจากเครื่องยนต์				
5.1	ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	สิ้นมาก	สิ้นปกติ	สิ้นน้อย
		ครั้งที่ 2	สิ้นมาก	สิ้นปกติ	สิ้นน้อย
		ครั้งที่ 3	สิ้นมาก	สิ้นปกติ	สิ้นน้อย
5.2	ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	สิ้นมาก	สิ้นปกติ	สิ้นน้อย
		ครั้งที่ 2	สิ้นมาก	สิ้นปกติ	สิ้นน้อย
		ครั้งที่ 3	สิ้นมาก	สิ้นปกติ	สิ้นน้อย
6	เสียงรบกวน				
6.1	ขณะรอบเดินเบา	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
		ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
		ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
6.2	ขณะขับขึ้น	ครั้งที่ 1	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
		ครั้งที่ 2	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย
		ครั้งที่ 3	ดังมาก	ดังปกติ	ดังน้อย



19

ขั้นตอนการดำเนินงาน

7. ทดสอบโดยการใช้อุปกรณ์ด้านพลังงาน อัตราสิ้นเปลือง

- **วิธีการ:** จดบันทึกด้านระยะทางที่ใช้/จำนวนเงิน/ราคาน้ำมัน
- บันทึกโดยอาสาสมัครและพนักงานที่ปั้มน้ำมัน



วันที่	วัน	เลขที่ใบเสร็จรับเงิน	ราคา (บาท)	ปริมาณ (ลิตร)	ราคาต่อลิตร (บาท)
✓	14/2/59	101963	1,566	40.8	38.4
✓	15/2/59	10273	52,732	60.8	86.7
✓	16/2/59	103783	1,316	40.8	32.3
✓	17/2/59	104463	1,468	40.8	36.0
✓	18/2/59	105129	670	50.0	13.4
✓	19/2/59	106043	1,068	50.0	21.4
✓	20/2/59	107772	1,330	60.0	22.2
✓	21/2/59	108815	1,387	60.0	23.1
✓	22/2/59	109108	1,568	60.0	26.1
✓	23/2/59	110128	2,352	60.0	39.2
✓	24/2/59	111080	1,960	40.8	48.0
✓	25/2/59	112080	1,568	40.8	38.4
✓	26/2/59	112758	1,568	40.8	38.4
✓	27/2/59	113072	1,568	40.8	38.4

20

ขั้นตอนการดำเนินงาน

8. ทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ โดยการใช้งานจริง

- **วิธีการ:** ดูดตัวอย่างน้ำมันเครื่องจำนวน 100 cc และบันทึกระยะเวลาทาง



ขั้นตอนการดำเนินงาน

8. ทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ โดยการใช้งานจริง

- **วิธีการ:** วิเคราะห์ด้านการสึกหรอ / ด้านคุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง / ด้านสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

การทดสอบด้านการสึกหรอ	วิธีที่ใช้	เกณฑ์ตามมาตรฐาน
ปริมาณอนุภาคเหล็ก (ppm)	RDE - Atomic Emission Spectrometer	หยาบ < 20, ละเอียด < 60
ปริมาณอนุภาคโครเมียม (ppm)	ปริมาณอนุภาคแบบละเอียด (น้อยกว่า 5 ไมครอน) และ RFS Coarse Wear	หยาบ < 2, ละเอียด < 10
ปริมาณอนุภาคตะกั่ว (ppm)		หยาบ < 6, ละเอียด < 21
ปริมาณอนุภาคทองแดง (ppm)	Spectrometric Analysis ปริมาณอนุภาคแบบหยาบ (ตั้งแต่ 5 ไมครอนขึ้นไป)	หยาบ < 3, ละเอียด < 50
ปริมาณอนุภาคดีบุก (ppm)		หยาบ < 2, ละเอียด < 2



ขั้นตอนการดำเนินงาน



8. ทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ โดยการใช้งานจริง

- **วิธีการ:** วิเคราะห์ด้านการสึกหรอ / ด้านคุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง / ด้านสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

การทดสอบด้านการสึกหรอ	วิธีที่ใช้	เกณฑ์ตามมาตรฐาน
ปริมาณอนุภาคอะลูมิเนียม (ppm)	RDE - Atomic Emission Spectrometer	หยาบ < 4, ละเอียด < 20
ปริมาณอนุภาคนิกเกิล (ppm)	ปริมาณอนุภาคแบบละเอียด (น้อยกว่า 5 ไมครอน)	หยาบ < 2, ละเอียด < 3
ปริมาณอนุภาคเงิน (ppm)	และ RFS Coarse Wear	เปรียบเทียบ
ปริมาณอนุภาคโมลิบดีนัม (ppm)	Spectrometric Analysis ปริมาณอนุภาคแบบหยาบ (ตั้งแต่ 5 ไมครอนขึ้นไป)	เปรียบเทียบ
ปริมาณอนุภาคไทเทเนียม (ppm)		เปรียบเทียบ



23

ขั้นตอนการดำเนินงาน



8. ทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ โดยการใช้งานจริง

- **วิธีการ:** วิเคราะห์ด้านการสึกหรอ / ด้านคุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง / ด้านสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง

คุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง	วิธีที่ใช้	เกณฑ์ตามมาตรฐาน
ค่า Viscosity @100°C [cSt]	ASTM D-445	11.6 < ... < 15.7
ค่าไนเตรชัน (Nitration) [-]	FTIR	เปรียบเทียบ
ค่าออกซิเดชัน (Oxidation) [-]	FTIR	เปรียบเทียบ
ความเป็นด่าง TBN (Total Base Number) [mg KOH /g.]	ASTM D-4739	< 2



24

ขั้นตอนการดำเนินงาน



8. ทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ โดยการใช้งานจริง

- **วิธีการ:** วิเคราะห์ด้านการสึกหรอ / ด้านคุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง / **ด้านสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง**

สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง	วิธีที่ใช้	เกณฑ์ตามมาตรฐาน
เขม่า [%Wt.]	FTIR	< 0.5%
ปริมาณน้ำ [%Wt.]	FTIR	< 0.2%
ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง [%Wt.]	Surface Acoustic Wave	< 5%
ฝุ่นละออง (อนุภาคซิลิกอน) [ppm]	ASTM D-6595	หยาบ < 7, ละเอียด < 25
ไกลคอล [-]	FTIR	เปรียบเทียบ
โซเดียม [ppm]	ASTM D-6595	เปรียบเทียบ



25

ขั้นตอนการดำเนินงาน



9. วิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดสอบ

10. จัดทำรายงานและนำเสนอผลการดำเนินงาน



รถรุ่น Honda Wave 125i น้ำมัน E85



รถรุ่น Honda Wave 110i น้ำมัน E85



รถรุ่น Honda Click น้ำมัน E85



รถรุ่น Honda Wave 125i น้ำมัน E10



รถรุ่น Honda Wave 110i น้ำมัน E10



รถรุ่น Honda Click น้ำมัน E10

26

ขอบเขตและเงื่อนไข



- **เงื่อนไขการเก็บผลการทดสอบด้านความทนทาน:**
 - ข้อมูลมีโอกาสคลาดเคลื่อนได้มากกว่าการทดสอบใน Lab
 - ไม่สามารถถอดชิ้นส่วนมาตรวจวัดได้
 - จำเป็นต้องเติม (top-up) น้ำมันเครื่องก่อนระยะเก็บตัวอย่างที่กำหนดไว้ เนื่องจากเครื่องยนต์ของรถหลายคันมีอาการรั่วซึม
 - ไม่สามารถตรวจวัดน้ำมันเครื่องซ้ำ (repeat) ได้ เนื่องจากระยะเวลาจำกัด
 - การเปรียบเทียบรถที่ใช้ E85 vs. E10 ไม่สามารถหา “ฝาแฝด” ได้
 - อาสาสมัครเจ้าของรถที่ใช้ E85: มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องก่อนระยะ 10,000 กิโลเมตร เนื่องจากผลการวิเคราะห์
 - อาสาสมัครเจ้าของรถที่ใช้ E10 ยินยอมให้ทำการทดสอบสูงสุด 4,000 กิโลเมตรต่อการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง 1 ครั้ง

27

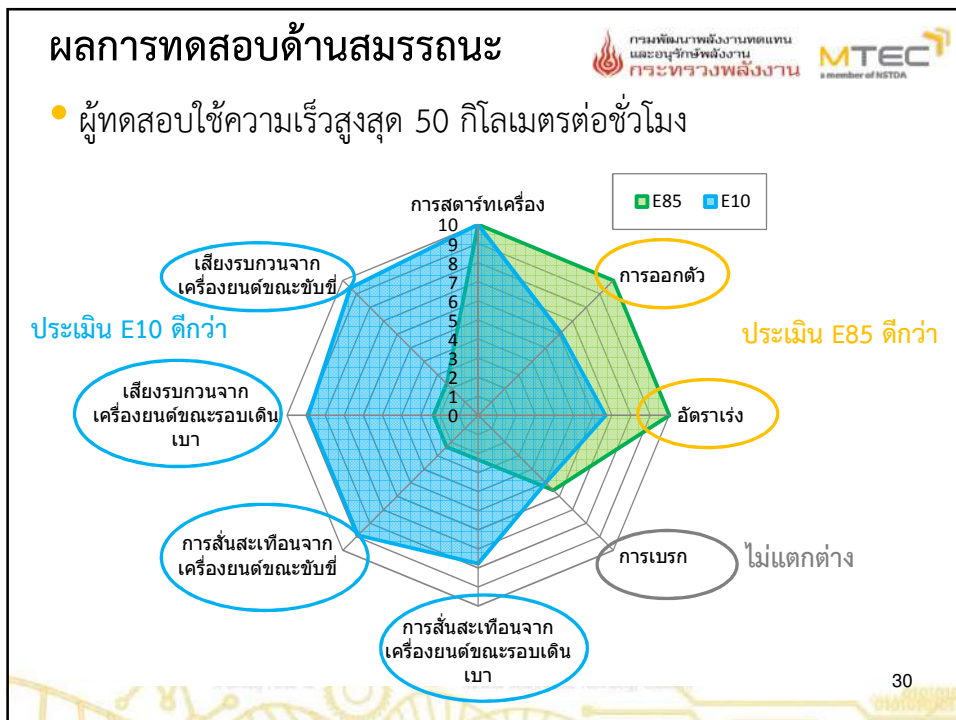
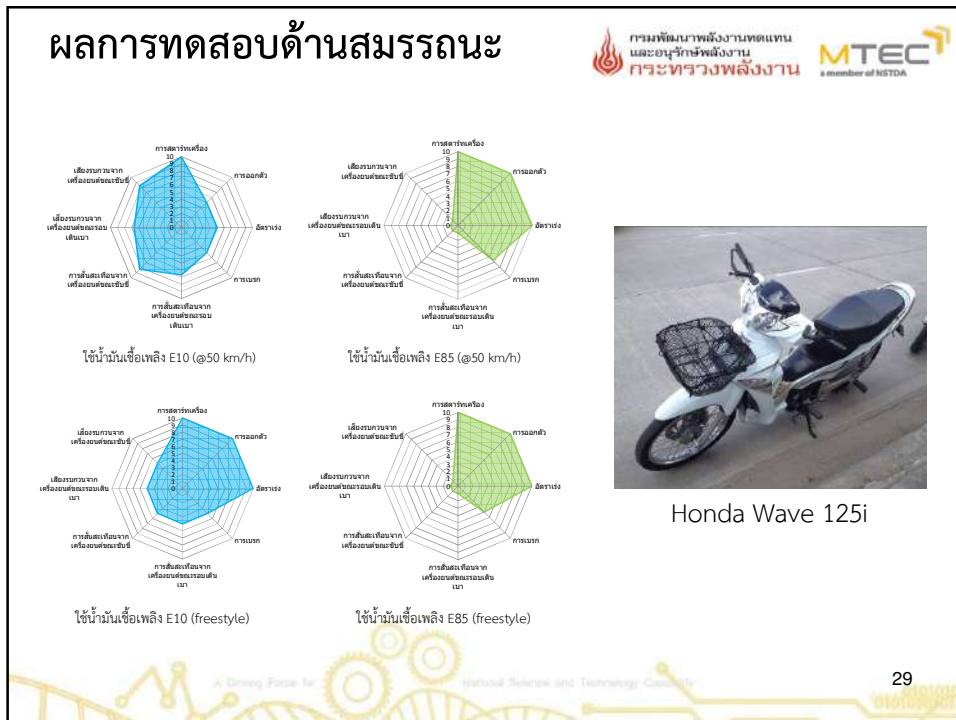
สารบัญ

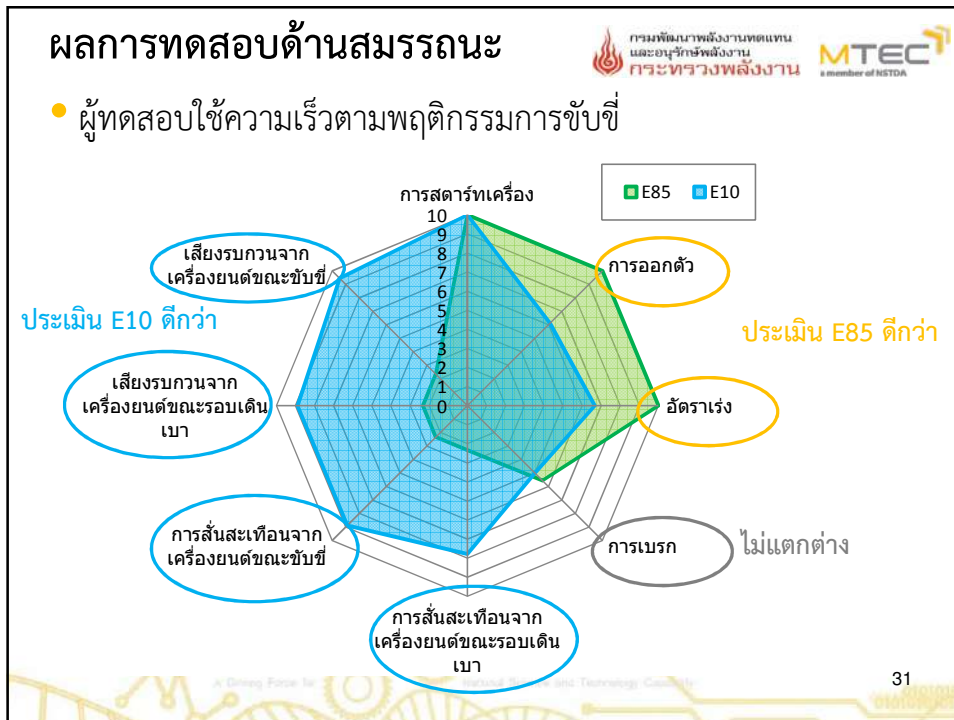


- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- แผนและขั้นตอนการดำเนินงาน และขอบเขตเงื่อนไข
- **ผลการดำเนินงาน**
 - การทดสอบด้านสมรรถนะ
 - การทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลือง
 - การทดสอบด้านความทนทานของชิ้นส่วน
- สรุปผลการดำเนินงาน
- อุปสรรคที่พบและการแก้ไข
- อภิปรายร่วมกัน



28





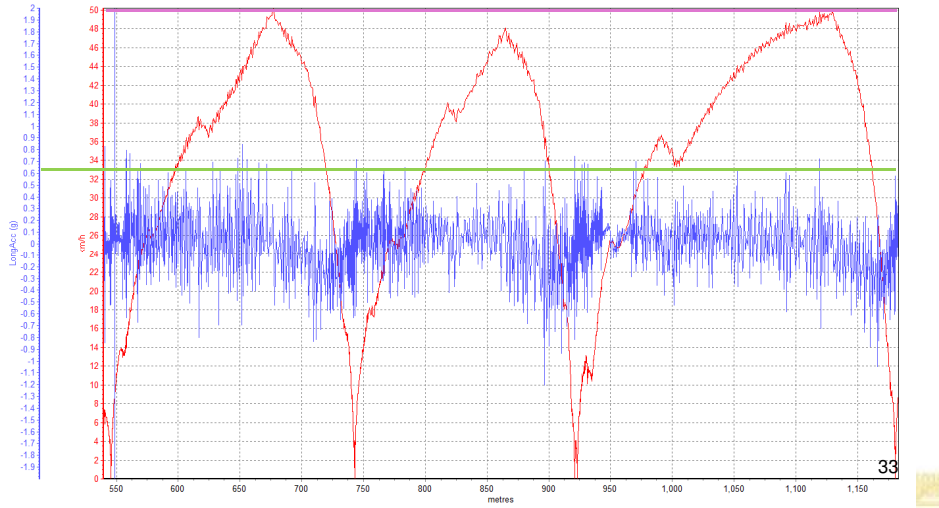
ผลการทดสอบด้านสมรรถนะ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

MTECTM
a member of NSTDA

- ตัวอย่างข้อมูลที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดความเร็วและความเร่ง

ค่าความเร็ว (km/h) และความเร่ง (g)



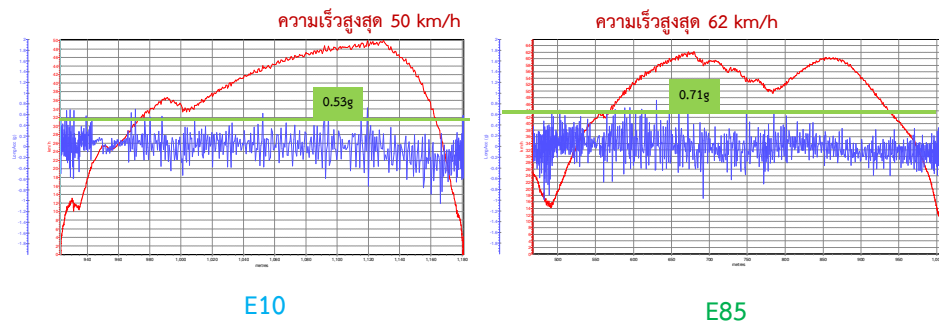
ผลการทดสอบด้านสมรรถนะ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน
และอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

MTECTM
a member of NSTDA

- การเปรียบเทียบค่าอัตราเร่ง E10 vs. E85

ค่าความเร็ว (km/h) และความเร่ง (g)





E10

E85

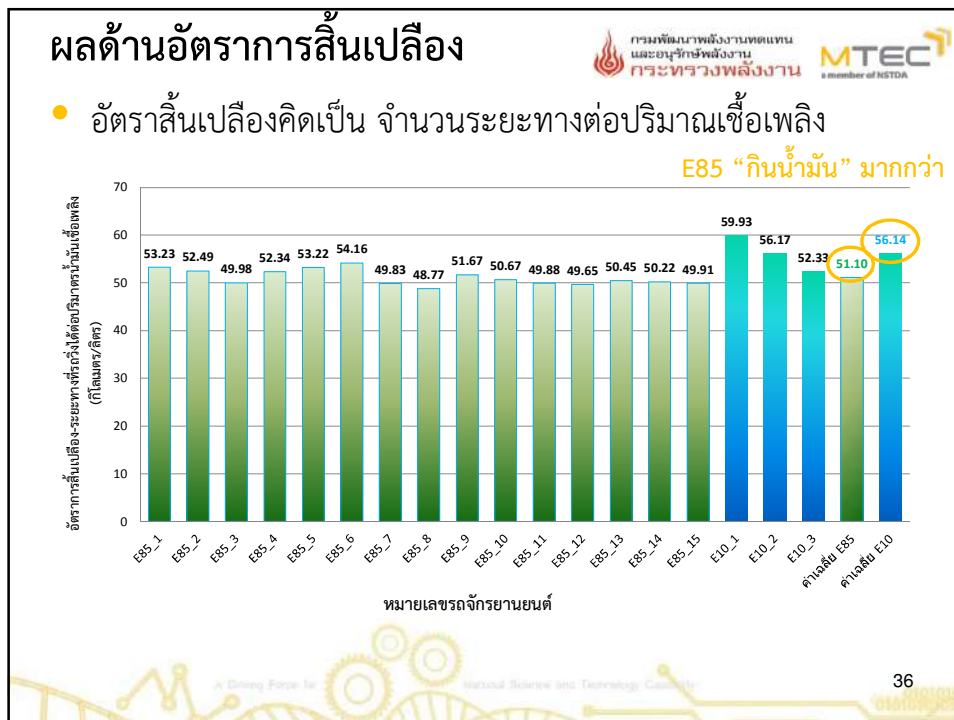
สารบัญ

- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- แผนและขั้นตอนการดำเนินงาน และขอบเขตเงื่อนไข
- ผลการดำเนินงาน
 - การทดสอบด้านสมรรถนะ
 - การทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลือง
 - การทดสอบด้านความทนทานของชิ้นส่วน
- สรุปผลการดำเนินงาน
- อุปสรรคที่พบและการแก้ไข
- อภิปรายร่วมกัน

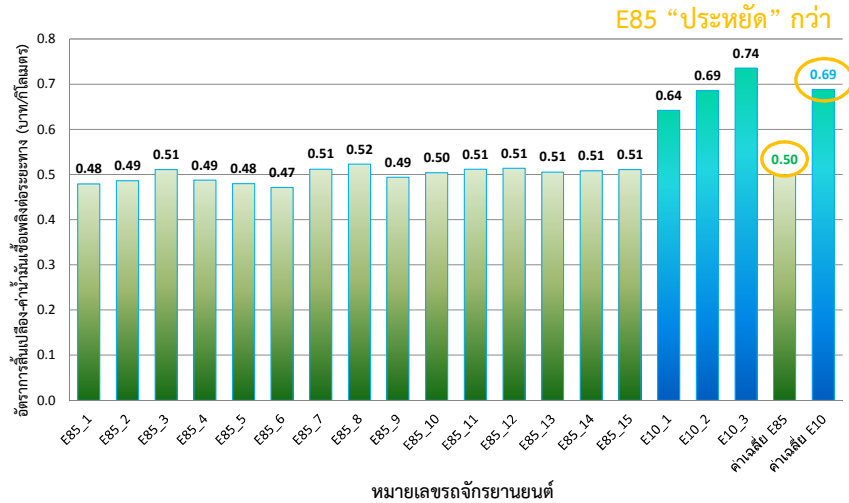
35

A Driving Force for National Science and Technology Capacity



ผลด้านอัตราการสิ้นเปลือง

- ค่าใช้จ่ายคิดเป็น จำนวนเงินต่อระยะทาง



37

สารบัญ

- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- แผนและขั้นตอนการดำเนินงาน และขอบเขตเงื่อนไข
- ผลการดำเนินงาน
 - การทดสอบด้านสมรรถนะ
 - การทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลือง
 - การทดสอบด้านความทนทานของชิ้นส่วน
- สรุปผลการดำเนินงาน
- อุปสรรคที่พบและการแก้ไข
- อภิปรายร่วมกัน



38

ผลด้านความทนทานของชิ้นส่วน

- ตัวอย่างน้ำมันระยะ 2,000 กิโลเมตร



รถรุ่น Honda Wave 125i น้ำมัน E85



รถรุ่น Honda Wave 110i น้ำมัน E85



รถรุ่น Honda Click น้ำมัน E85



รถรุ่น Honda Wave 125i น้ำมัน E10



รถรุ่น Honda Wave 110i น้ำมัน E10



รถรุ่น Honda Click น้ำมัน E10

ผลความทนทานของชิ้นส่วน

- ระยะทาง – ระยะเวลา ที่ดำเนินการทดสอบรถจักรยานยนต์ด้านความทนทาน

ข้อมูลพื้นฐานที่ก	รถจักรยานยนต์					
	E85_1	E85_2	E85_3	E10_1	E10_2	E10_3
รวมระยะเวลาทดสอบต่อเนื่อง (เดือน)	7	6	6	2	2	2
รวมระยะทาง (กม.)	8,000			4,000		
ความถี่ในการเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง (กม.)	8,000					
ระยะทางที่ใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบ (กม.)	4,000					

บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ

เงื่อนไขที่พบหลังดำเนินโครงการ

ผลด้านความทนทานของชิ้นส่วน

- การวิเคราะห์ความเสียหายเชิงกายภาพ

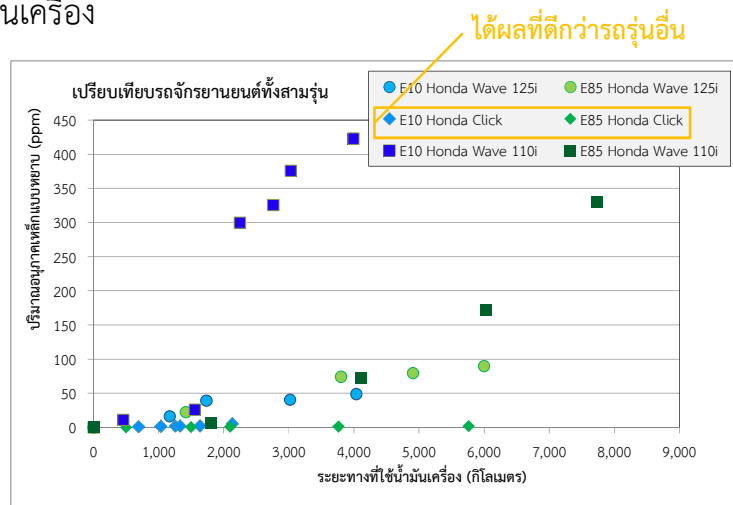


วัสดุ	ชิ้นส่วน	สภาพก่อนทดสอบ			สภาพหลังการทดสอบ		
		รถจักรยานยนต์					
		E85_1	E85_2	E85_3	E10_1	E10_2	E10_3
โลหะ	หัวฉีด	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
พลาสติก	ปั้มน้ำมัน	ปกติ	ชำรุด 6 เดือน	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
พลาสติก	ถังน้ำมัน	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
ยาง	ท่อทางเดินน้ำมัน	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ

41

ผลด้านความทนทานของชิ้นส่วน

- ปริมาณอนุภาคเหล็กแบบหยาบ (ppm) ที่วัดได้จากการสู่มตัวอย่างน้ำมันเครื่อง

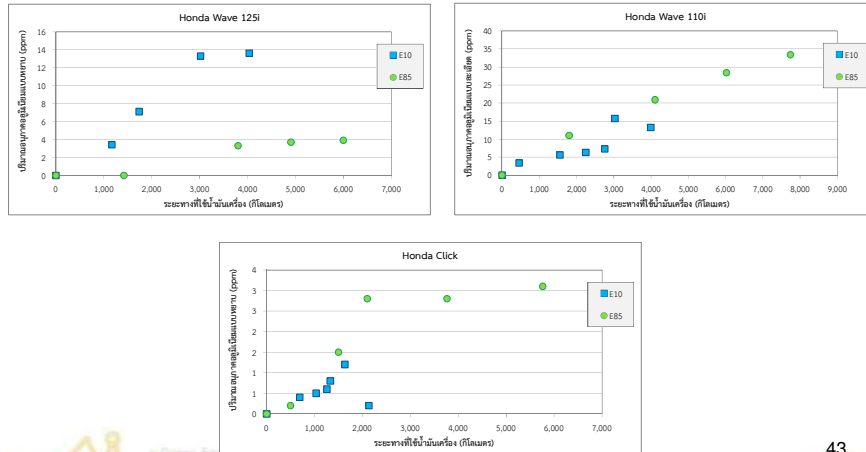


42

ผลด้านความทนทานของชิ้นส่วน



- ปริมาณอนุภาคคอลลูมิเนียมแบบหยาบ (ppm) ที่วัดได้จากการสู่มตัวอย่างน้ำมันเครื่อง

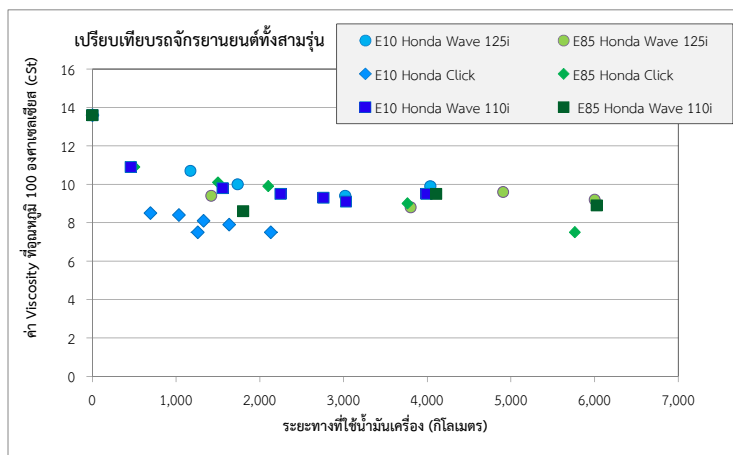


43

ผลด้านความทนทานของชิ้นส่วน



- ค่าความหนืด (cSt) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่วัดได้จากการสู่มตัวอย่างน้ำมันเครื่อง

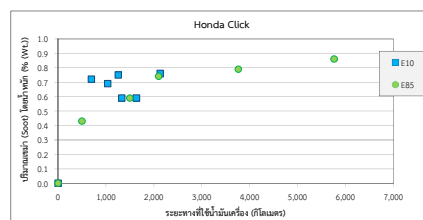
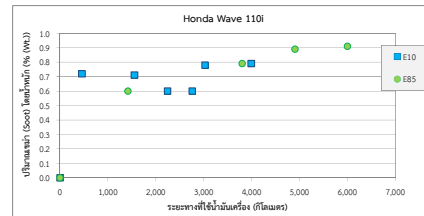
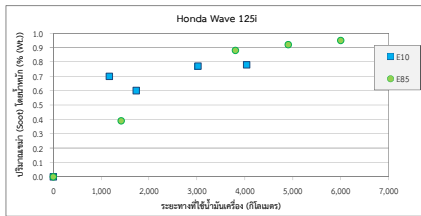


44

ผลด้านความทนทานของชิ้นส่วน



- ปริมาณเขม่า (%Wt.) ที่วัดได้จากการสู่มตัวอย่างน้ำมันเครื่อง

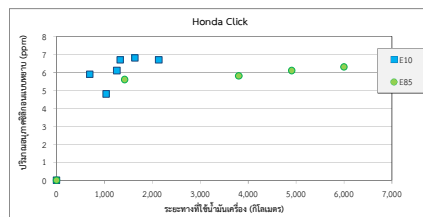
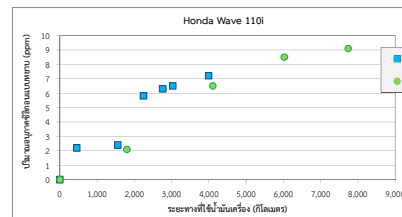
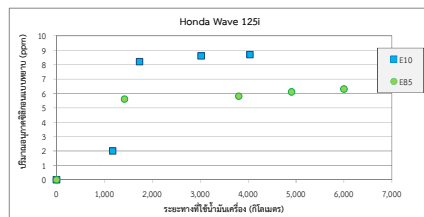


45

ผลด้านความทนทานของชิ้นส่วน




- ปริมาณอนุภาคซิลิกอนแบบหยาบ (ppm) ที่วัดได้จากการสู่มตัวอย่างน้ำมันเครื่อง




46

สารบัญ

- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- แผนและขั้นตอนการดำเนินงาน และขอบเขตเงื่อนไข
- ผลการดำเนินงาน
 - การทดสอบด้านสมรรถนะ
 - การทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลือง
 - การทดสอบด้านความทนทานของชิ้นส่วน
- สรุปผลการดำเนินงาน
- อุปสรรคที่พบและการแก้ไข
- อภิปรายร่วมกัน







47

สรุปผลการดำเนินงาน

- **สรุปผลการวิเคราะห์ด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์**
 - ได้ผลการประเมินด้านการออกตัวและอัตราเร่งที่สอดคล้องกับข้อมูลที่วัดได้ด้วยอุปกรณ์วัดความเร็ว
 - รถจักรยานยนต์ที่ใช้ E10 ได้รับการประเมินด้านเสียงและการสั่นสะเทือนที่ต่ำกว่ากรณีที่ใช้ E85
 - ไม่สามารถดำเนินการเก็บข้อมูลเรื่องเสียงและการสั่นสะเทือนด้วยอุปกรณ์วัดจากการดำเนินการทดสอบภาคสนามได้
- **สรุปผลการวิเคราะห์ด้านพลังงาน (อัตราการสิ้นเปลือง)**
 - รถจักรยานยนต์ที่ใช้ E85 มีอัตราการสิ้นเปลืองสูงกว่ากรณีที่ใช้ E10
 - รถจักรยานยนต์ที่ใช้ E85 มีค่าใช้จ่ายต่อระยะทางที่ใช้ต่ำกว่ากรณีที่ใช้ E10





48

สรุปผลการดำเนินงาน



• สรุปผลการวิเคราะห์สภาพการสึกหรอของเครื่องยนต์

- ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85
- พบการสึกหรอจากปริมาณธาตุเหล็กและอะลูมิเนียมที่สูงกว่าเกณฑ์ในรถจักรยานยนต์สองรุ่นที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดตั้งแต่ระยะการใช้งาน 1,000 กิโลเมตร
- พบการสึกหรอน้อยที่สุดในรถจักรยานยนต์รุ่นที่มีน้ำมันเกียร์แยกจากน้ำมันเครื่อง ได้แก่ รุ่น Honda Click

• สรุปผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

- ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85
- พบการลดลงของค่าความหนืดที่ต่ำกว่าเกณฑ์ในรถจักรยานยนต์ทุกคันที่ใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดตั้งแต่ระยะการใช้งาน 1,000 กิโลเมตร

49

สรุปผลการดำเนินงาน



• สรุปผลการวิเคราะห์สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

- ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง E10 และ E85
- พบปริมาณเขม่าที่สูงกว่าเกณฑ์ในรถจักรยานยนต์ทุกคัน
- พบปริมาณฝุ่นละออง (ซิลิกอน) ที่สูงกว่าเกณฑ์ในรถจักรยานยนต์สองรุ่น ยกเว้นรุ่น Honda Click

• สรุปผลการวิเคราะห์ความชำรุดเสียหายทางกายภาพ

- พบความเสียหายที่ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงในรถจักรยานยนต์ 1 คัน ในรุ่นที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง E85 ในเดือนที่ 7 ที่ดำเนินการเก็บข้อมูล

50

สารบัญ

- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- แผนและขั้นตอนการดำเนินงาน และขอบเขตเงื่อนไข
- ผลการดำเนินงาน
 - การทดสอบด้านสมรรถนะ
 - การทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลือง
 - การทดสอบด้านความทนทานของชิ้นส่วน
- สรุปผลการดำเนินงาน
- **อุปสรรคที่พบและการแก้ไข**
- อภิปรายร่วมกัน



51

อุปสรรคที่พบและการแก้ไข

1. จำนวนอาสาสมัครที่เข้าร่วมโครงการ		
	TOR	ข้อเสนอเชิงเทคนิค
รายละเอียด	ข้อ 3.1.1 คัดเลือกจักรยานยนต์ (จยย.) เข้าร่วมโครงการ จำนวนไม่น้อย กว่า 3 คัน เพื่อทดสอบ สมรรถนะการขับขี่	ข้อ 7. ขอบเขตการดำเนินงาน 7.1 คณะที่ปรึกษาได้ทำการออกแบบแผนดำเนินการทดสอบ ดังที่แสดงในตารางที่ 1 โดยจะใช้ตัวอย่างรถ จยย. สำหรับการทดสอบทั้งหมด 18 คัน (E10-Baseline จำนวน 3 คัน / E85-FFV conversion kit จำนวน 15 คัน)
ผลการดำเนินงาน	สามารถดำเนินการได้ตามที่ระบุไว้	ในช่วงเริ่มต้นสามารถดำเนินการได้ตามที่ระบุไว้ จนเมื่อเกิดเหตุการณ์ไม่สงบทางการเมือง มีการปิดถนนบริเวณศูนย์ราชการ (แจ้งวัฒนะ) ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการเข้าพื้นที่เก็บบันทึกข้อมูลจากอาสาสมัครที่ได้คัดเลือกไว้
แนวทางแก้ไข	-	ที่ปรึกษา ร่วมกับเจ้าหน้าที่ของ บจ.จิระเทคฯ ได้เข้าพื้นที่และจัดเตรียมของที่ระลึกเพื่อ จูงใจในการหาอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการ
ผลลัพธ์ที่ได้	ดำเนินการได้ตาม TOR	ได้อาสาสมัครเข้าร่วมโครงการครบถ้วน ตามที่ระบุไว้ในข้อเสนอเชิงเทคนิค ซึ่งเป็น อาสาสมัครที่ประกอบอาชีพขับรถ จยย. รับจ้างที่บริเวณ ม.ธรรมศาสตร์ (รังสิต) จำนวน 3 ราย

52

อุปสรรคที่พบและการแก้ไข



2. ระยะเวลาในการทดสอบ

	TOR	ข้อเสนอเชิงเทคนิค
	ข้อ 3.4 ผู้เข้าร่วมโครงการจะใช้รถ จยย. ตามข้อ 3.1 สำหรับการปฏิบัติงานจริงในชีวิตประจำวันเป็นระยะทาง 10,000 กิโลเมตร หรือน้อยกว่า 6 เดือน	ข้อ 7. ขอบเขตการดำเนินงาน 7.8 ทดสอบโดยใช้จริงด้านความทนทาน ในขั้นตอนเดียวกับการทดสอบใช้จริง จะทำการเก็บข้อมูล ทุกๆ ระยะ 2,000 กิโลเมตร จนครบ 10,000 กิโลเมตร หรือน้อยกว่า 6 เดือน โดยจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่อง (100 ซีซี) เพื่อทำการทดสอบเชิงเปรียบเทียบในห้องปฏิบัติการจำนวน 6 ตัวอย่าง (ติดตั้ง FFV conversion kit จำนวน 3 คัน และไม่ติดตั้ง FFV conversion kit จำนวน 3 คัน) และทำการเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้านการสึกหรอ
ผลการดำเนินงาน	สามารถดำเนินการได้ตามที่ระบุไว้กับรถ จยย. จำนวนไม่น้อยกว่า 3 คัน เป็นระยะเวลา 7 เดือน	สามารถดำเนินการได้ตามที่ระบุไว้กับรถ จยย. ที่ติดตั้ง FFV conversion kit จำนวน 3 คัน แต่สำหรับรถ จยย. ที่ไม่ได้ติดตั้ง FFV conversion kit จำนวน 3 คัน (จยย.รับจ้าง) นั้น เนื่องจากอาสาสมัครดังกล่าวมักจะถ่ายน้ำมันเครื่องออกทั้งหมดทุก ๆ ระยะทาง ๒,๐๐๐ กิโลเมตร ไม่มีอาสาสมัครท่านใดยินยอมให้ทดสอบน้ำมันเครื่องโดยไม่มีการถ่ายใหม่ตลอดระยะทาง 10,000 กิโลเมตร ด้วยเกรงว่าจะส่งผลเสียร้ายแรงต่อเครื่องยนต์
แนวทางแก้ไข	ใช้ระยะเวลาการทดสอบเป็นตัวชี้วัดสำหรับรถ E85	ที่ปรึกษา ได้ออกแบบการทดสอบการใช้จริงใหม่ โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ระยะ 1,000 และ 2,000 กิโลเมตร โดยจะดำเนินการจนครบระยะทาง 8,000 กิโลเมตร เพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ การทดสอบรถ จยย. ที่ติดตั้ง FFV conversion kit
ผลลัพธ์ที่ได้	ดำเนินได้ตาม TOR	อาสาสมัครยินยอมให้ดำเนินการดังกล่าวได้ และผลการทดสอบสามารถใช้ยืนยัน 50% ความถูกต้องได้

สารบัญ

- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- แผนและขั้นตอนการดำเนินงาน และขอบเขตเงื่อนไข
- ผลการดำเนินงาน
 - การทดสอบด้านสมรรถนะ
 - การทดสอบด้านอัตราการสิ้นเปลือง
 - การทดสอบด้านความทนทานของชิ้นส่วน
- สรุปผลการดำเนินงาน
- อุปสรรคที่พบและการแก้ไข
- อภิปรายร่วมกัน



อภิปรายร่วมกัน

• ข้อเสนอแนะ/ แนวทางการวิจัยต่อไปที่เชิงคุณภาพ

- ศึกษาผลกระทบของน้ำมันเครื่อง ด้วยการทำ Benchmark Study ทดสอบกับน้ำมันเครื่องชนิดอื่นๆ
- ดำเนินการทดสอบด้านความทนทานในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้ ข้อมูลการสึกกร่อนของชิ้นส่วนที่สามารถถอดมาตรวจวัดได้
- ดำเนินการทดสอบด้านการสั่นสะเทือนและเสียงในห้องปฏิบัติการ
- ทำการทดสอบในระยะต่อเนืองที่มากขึ้นและเพิ่มจำนวนการทำซ้ำ
- ทำการทดสอบในรถจักรยานยนต์ที่มีการใช้งานประเภทอื่นๆ เช่น ขับขี่ระยะไกลเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง หรือกรณีขับไม่บ่อย

55

อภิปรายร่วมกัน



56