

ได้ผ่านการตรวจประเมินคุณภาพหนังสือเรียนอาชีวศึกษา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ประกาศลำดับที่ 512



รหัสวิชา 20101-2104

หนังสือเล่มนี้เรียบเรียงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชาและคำอธิบายรายวิชา หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ
พุทธศักราช 2562 ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

งานระบบฉีด เชื้อเพลิง

ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์
Electronic Control Fuel Injection Job

พศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศร

92.-



งานระบบฉีดเชื้อเพลิง ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Fuel Injection Job)

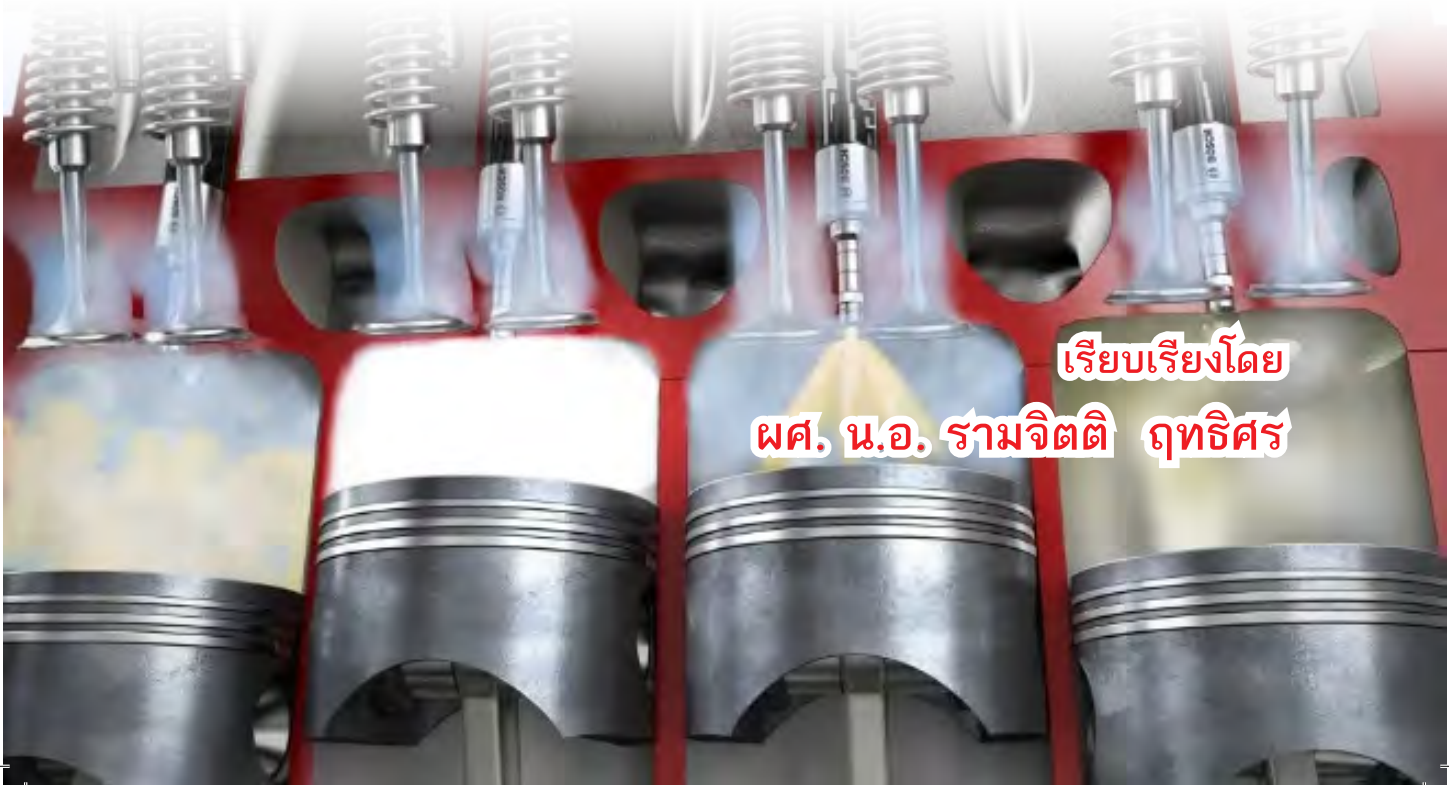
รหัสวิชา 20101-2104

หมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเลือก

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างยนต์

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ



เรียบเรียงโดย
ผศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศร



งานระบบฉีดเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Fuel Injection Job)

ISBN 978-616-495-213-3



พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2565

จำนวนพิมพ์ 3,000 เล่ม

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย...



บริษัทวังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

โทร. 0-2472-3293-5 โทรสาร 0-2891-0742 Mobile : 08-8585-1521

Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร

e-Mail : wangaksorn9@gmail.com

<http://www.wangaksorn.com>

ID Line : wangaksorn



สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2561

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ไปทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน
ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ นอกจากได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรล่วงหน้าจากทางบริษัทฯ เท่านั้น
ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้ เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย
โดยบริษัทวังอักษร จำกัด มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด



งานระบบฉีดเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Fuel Injection Job)

รหัสวิชา 20101-2104



จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์
2. สามารถตรวจสอบสภาพบำรุงรักษาระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์
3. มีกิจนิสัยที่ดีในการทำงานรับผิดชอบ ประณีตรอบคอบ ตรงต่อเวลา สะอาด ปลอดภัย และรักษาสภาพแวดล้อม



สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิง เครื่องยนต์แก๊สโซลีน และดีเซล
2. ตรวจสอบข้อขัดข้อง บำรุงรักษาเครื่องยนต์ของระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน และดีเซลตามคู่มือ
3. ปรับแต่งเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและดีเซลตามคู่มือ



คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซล การตรวจสอบสภาพและบำรุงรักษาระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์



ตารางวิเคราะห์สมรรถนะรายวิชา

วิชา งานระบบฉีดเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์

รหัสวิชา 20101 - 2104

ท - ป - น 1 - 6 - 3 จำนวน.....7.....คาบ/สัปดาห์ รวม.....126.....คาบ

สมรรถนะรายวิชา บทที่	แสดงความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิงเครื่องยนต์แก๊สโซลีนดีเซล	ตรวจสอบข้อขัดข้อง บำรุงรักษาเครื่องยนต์ของระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนดีเซลตามคู่มือ	ปรับแต่งเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนดีเซลตามคู่มือ
1. พื้นฐานการฉีดเชื้อเพลิงด้วยอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน	✓		
2. ระบบเชื้อเพลิง	✓		
3. ระบบประจุอากาศ	✓		
4. ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	✓		
5. ระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์ EFI	✓		
6. การวิเคราะห์ข้อขัดข้องเครื่องยนต์แก๊สโซลีน		✓	
7. ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล	✓		
8. อุปกรณ์หลักในระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล			✓
9. การบริการระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล			✓



คำนำ

วิชาการระบบนิเทศเพื่อเพิ่มขีดความสามารถด้วยอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 2101-2104 จัดอยู่ในหมวดสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเลือก สาขางานยานยนต์ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างไฟฟ้า ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2562 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ ผู้เขียนได้บริหารสาระการเรียนรู้แบ่งเป็น 9 บทเรียน ได้จัดการจัดการเรียนรู้/แผนการสอนที่มุ่งเน้นฐานสมรรถนะ (Competency Based) และการบูรณาการ (Integrated) ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา คำอธิบายรายวิชา ในแต่ละบทเรียนมุ่งให้ความสำคัญส่วนที่เป็นความรู้ ทฤษฎี หลักการ กระบวนการ ตัวอย่าง แบบฝึกปฏิบัติ และคำถามเพื่อการทบทวนเพื่อฝึกทักษะประสบการณ์ เร่งพัฒนาบทบาทของผู้เรียนเป็นผู้จัดการแสวงหาความรู้ (Explorer) เป็นผู้สอนตนเองได้ สร้างองค์ความรู้ใหม่ และบทบาทของผู้สอนเปลี่ยนจากผู้ให้ความรู้มาเป็นผู้จัดการชั้น (Teacher Roles) จัดสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อความสนใจเรียนรู้และเป็นผู้ร่วมเรียนรู้ (Co-investigator) จัดห้องเรียนเป็นสถานที่ทำงานร่วมกัน (Learning Context) จัดกลุ่มเรียนรู้ให้รู้จักทำงานร่วมกัน (Grouping) ฝึกความใจกว้าง มุ่งสร้างสรรค์คนรุ่นใหม่ สอนความสามารถที่นำไปทำงานได้ (Competency) สอนความรัก ความเมตตา (Compassion) ความเชื่อมั่น ความซื่อสัตย์ (Trust) เป้าหมายอาชีพอันยังประโยชน์ (Productive Career) และชีวิตที่มีศักดิ์ศรี (Noble Life) เหนือสิ่งอื่นใด เป็นคนดีทั้งกาย วาจา ใจ มีคุณธรรม จรรยาบรรณทางธุรกิจและวิชาชีพ

ส่งเสริมสนับสนุนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคุณวุฒิวิชาชีพ (Vocational Qualification System) สอดคล้องตามมาตรฐานอาชีพ (Occupational Standard) สร้างภูมิคุ้มกัน เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ กำลังแรงงาน การพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติงานระดับชาติ (National Benchmarking) และการวิเคราะห์หน้าที่การงาน (Functional Analysis) เพื่อให้เกิดผลสำเร็จในภาคธุรกิจ อุตสาหกรรม ทุกสาขาอาชีพ เป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนเข้าสู่สนามการแข่งขันในประชาคมอาเซียน

ผศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศรี



สารบัญ

บทที่	เนื้อหา	หน้า
	พื้นฐานการฉีดเชื้อเพลิงด้วยอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน	1
	อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง	3
	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และกำลังงานของเครื่องยนต์	4
	อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์	5
	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อส่วนประกอบของไอเสีย	5
	ข้อจำกัดในการทำงานของคาร์บูเรเตอร์	6
	จุดเด่นของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์	7
	ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	8
	ชนิดของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	9
	การควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	12
	ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์	12
	ระบบควบคุมเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์	13
	โครงสร้างของระบบควบคุมเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์	13
	วงจรไฟฟ้าของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	14
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	16
	ใบงานที่ 1.1 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์	19
	ใบงานที่ 1.2 การติดเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์	21





บทที่	เนื้อหา	หน้า
2	ระบบเชื้อเพลิง	24
	ลักษณะระบบเชื้อเพลิง	27
	ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง	30
	กรองเชื้อเพลิง	36
	ตัวป้องกันการกระเพื่อม	37
	ตัวคุมค่าความดันเชื้อเพลิง	37
	ท่อจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง	39
	หัวฉีด	39
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	42
	ใบงานที่ 2.1 การตรวจวัดความดันน้ำมันเชื้อเพลิง	45
	ใบงานที่ 2.2 การตรวจสอบวงจรไฟฟ้าควบคุมหัวฉีด	49

บทที่	เนื้อหา	หน้า
3	ระบบประจุอากาศ	54
	ส่วนประกอบของระบบประจุอากาศ	56
	กรองอากาศ	57
	มาตรวัดการไหลอากาศ	58
	เรือนปีกผีเสื้อ	67
	ห้องประจุไอดีและท่อร่วมไอดี	71
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	72
	ใบงานที่ 3.1 การตรวจสอบตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ	74
	ใบงานที่ 3.2 การตรวจสอบการทำงานของลิ้นอากาศ	77





บทที่	เนื้อหา	หน้า
	ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	80
	ส่วนประกอบของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	82
	หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	83
	มาตรวัดการไหลของอากาศ	94
	ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	94
	ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ	96
	ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง	97
	ตัวตรวจจับความดันท่อร่วมไอดี	99
	ตัวตรวจจับมุมเพลาค้อเหวี่ยง	100
	ตัวตรวจจับออกซิเจน	102
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	104
	ใบงานที่ 4.1 การตรวจสอบตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	106

บทที่	เนื้อหา	หน้า
	ระบบจุดระเบิดเครื่องยนต์ EFI	109
	ระบบจุดระเบิดทรานซิสเตอร์	111
	ระบบจุดระเบิดแบบกึ่งทรานซิสเตอร์	111
	ระบบจุดระเบิดแบบทรานซิสเตอร์ล้วน	113
	ระบบจุดระเบิดแบบ CDI	122
	ระบบจุดระเบิดแบบไร้จานจ่าย	123
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	129
	ใบงานที่ 5.1 การตรวจสอบคอยล์จุดระเบิด	132





บทที่	เนื้อหา	หน้า
6	การวิเคราะห์ข้อขัดข้องเครื่องยนต์แก๊สโซลีน	135
	ระบบการวิเคราะห์ข้อขัดข้อง	137
	การวิเคราะห์ข้อขัดข้องของเครื่องยนต์ โดยวิธีลัดชั่วตรวจสอบ	138
	การวิเคราะห์ข้อขัดข้องของเครื่องยนต์ โดยการใช้เครื่องอ่านข้อมูล	141
	ระบบป้องกันการทำงานบกพร่อง	144
	การแก้ไขข้อขัดข้อง	145
	ข้อควรระวังในการแก้ไขปัญหาข้อขัดข้อง	149
	การลบรหัสวิเคราะห์ปัญหา	149
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	150
	ใบงานที่ 6.1 การวิเคราะห์ปัญหาระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	153

บทที่	เนื้อหา	หน้า
7	ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล	157
	เครื่องยนต์ดีเซล	159
	ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล	162
	มลพิษจากไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล	164
	วิวัฒนาการของเครื่องยนต์ดีเซล ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์	165
	เครื่องยนต์ดีเซลควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์	167
	วงจรจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	169
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	170
	ใบงานที่ 7.1 งานเปลี่ยนกรองน้ำมันเชื้อเพลิง	173
	ใบงานที่ 7.2 รีเซ็ตไฟเตือนกรองน้ำมันเชื้อเพลิง	180





บทที่	เนื้อหา	หน้า
8	อุปกรณ์หลักในระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล	185
	ปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	187
	ลิ้นควบคุมการดูดน้ำมันเชื้อเพลิง	191
	ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง	194
	หัวฉีด	195
	รางร่วม	197
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	198
	ใบงานที่ 8.1 การตรวจสอบสภาพของหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซล	200

บทที่	เนื้อหา	หน้า
9	การบริการระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล	207
	การค้นหาปัญหาขัดข้องในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล	209
	การบริการระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล	211
	แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	217
	ใบงานที่ 9.1 การติดเครื่องยนต์และตรวจสอบความปกติของระบบต่าง ๆ	218

คำศัพท์ประจำบท **222**

บรรณานุกรม **227**





พื้นฐานการฉีดเชื้อเพลิง ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน



แนวคิด

ระบบควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์จะมีลักษณะควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ ดังนี้ 1. การควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยอิเล็กทรอนิกส์ 2. การควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์ 3. การควบคุมความเร็วรอบเดินเบา 4. การวินิจฉัยปัญหา 5. การป้องกันการทำงานบกพร่อง 6. ระบบการทำงานสำรอง

อุปกรณ์ในระบบควบคุมเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1. กลุ่มตัวตรวจจับสนญาณ 2. หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ 3. กลุ่มอุปกรณ์ทำงาน



สาระการเรียนรู้

1. อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง
2. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังงานของเครื่องยนต์
3. อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์
4. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อส่วนประกอบของไอเสีย
5. ข้อจำกัดในการทำงานของคาร์บูเรเตอร์
6. จุดเด่นของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์
7. ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง
8. ชนิดของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง
9. การควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง
10. ระบบควบคุมเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์
11. โครงสร้างของระบบควบคุมเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์
12. วงจรไฟฟ้าของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์



สมรรถนะประจำบท

1. ระบุส่วนประกอบระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์
2. สามารถตรวจสอบระบบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องยนต์แก๊สโซลีน
3. สามารถติดเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์เครื่องยนต์แก๊สโซลีน



จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกอัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถูกต้อง
2. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และกำลังงานของเครื่องยนต์ได้
3. บอกอัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ได้ถูกต้อง
4. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อส่วนประกอบของไอเสียได้
5. ระบุข้อจำกัดในการทำงานของคาร์บูเรเตอร์ได้
6. บอกจุดเด่นของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกต้อง
7. จำแนกระบบฉีดและชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงได้ถูกต้อง
8. อธิบายการควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้
9. อธิบายระบบควบคุมเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ได้
10. ยกตัวอย่างโครงสร้างของระบบควบคุมเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ได้ 3 กลุ่ม
11. สรุปวงจรไฟฟ้าของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างถูกต้อง



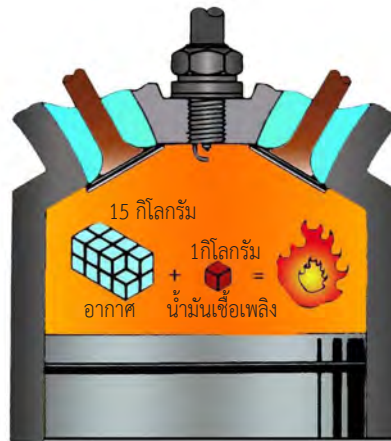
เครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงมากขึ้น โดยการทำให้ได้กำลังงานสูงสุด มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำ และเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งองค์ประกอบที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ประกอบด้วย อัตราส่วนการอัด กระบวนการเผาไหม้ อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ากระบอกสูบ และการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด การทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้มีการนำเอาระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุมการทำงานในระบบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น ระบบควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบควบคุมการจุดระเบิด ระบบควบคุมวาล์วแบบแปรผัน ระบบควบคุมมลพิษ เป็นต้น



อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง

อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง (Air – Fuel Ratio) เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ หากอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ากระบอกสูบไม่เหมาะสม จะเป็นเหตุให้เครื่องยนต์มีกำลังงานต่ำ การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงและเกิดก๊าซไอเสียที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง คือ จำนวนน้ำหนักของอากาศที่ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง 1 หน่วยน้ำหนัก โดยในทางทฤษฎี อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ จะมีค่าประมาณ 14.7 : 1 หรือ 15 : 1 เมื่อคิดโดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 1.1



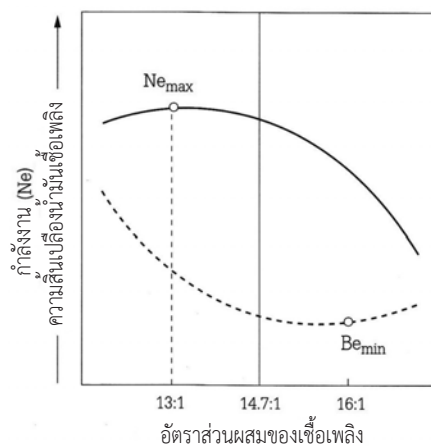
รูปที่ 1.1 อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงทางทฤษฎีของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

หากอัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าไปในห้องเผาไหม้ มีน้อยกว่าอัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงทางทฤษฎี (14.7 : 1 หรือ 15 : 1) เช่น 11 : 1 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีปริมาณอากาศน้อยกว่าทางทฤษฎี จะเรียกว่า **อัตราส่วนผสมหนา (Rich Mixture)**

ในทางตรงกันข้าม หากอัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าไปในห้องเผาไหม้ มีมากกว่าอัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงทางทฤษฎี เช่น 18 : 1 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีปริมาณอากาศมากกว่าทางทฤษฎี จะเรียกว่า **อัตราส่วนผสมบาง (Lean Mixture)**



ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังงานของเครื่องยนต์



รูปที่ 1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อความสิ้นเปลืองน้ำมันและกำลังของเครื่องยนต์

จากกราฟ อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ประมาณ $16 : 1$ (Be_{min}) เป็นอัตราส่วนผสมที่มีความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุด และที่อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงประมาณ $12 - 13 : 1$ (Ne_{max}) จะเป็นอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังงานสูงสุด และในช่วงส่วนผสมที่หนากว่าอัตราส่วนผสมตามทฤษฎี จะเป็นช่วงที่ให้อัตราเร่งดีเนื่องจากกราฟพุ่งขึ้นสู่ค่าสูงสุด



อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์แก๊สโซลีนต้องการในสภาวะการทำงานต่าง ๆ นั้นแตกต่างกัน ส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ ดังนี้

- 1. ขณะสตาร์ท** เครื่องยนต์ต้องการส่วนผสมของเชื้อเพลิงค่อนข้างหนามาก เนื่องจากเครื่องยนต์ยังมีความเร็วรอบต่ำ และเครื่องยนต์ยังมีความืดของชิ้นส่วนสูง จึงต้องใช้อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่หนากว่าปกติ (ประมาณ $8 - 10 : 1$) เพื่อให้ได้กำลังงานในการขับเคลื่อนชิ้นส่วนมากขึ้น
- 2. ขณะเดินเบา** ซึ่งเป็นความเร็วรอบต่ำเพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานโดยไม่สะดุดหรือดับเครื่องยนต์ต้องการส่วนผสมที่หนาประมาณ $10 : 1$
- 3. ขณะอุณหภูมิต่ำ** มีผลทำให้ฝอยละอองน้ำมันเชื้อเพลิงบางส่วนกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อไอดีและผนังกระบอกสูบ เครื่องยนต์ต้องการอัตราส่วนผสมที่หนา
- 4. ขณะเครื่องยนต์รับภาระปานกลางใช้ความเร็วสม่ำเสมอ** ความเร็วรอบประมาณ 2,000 - 2,500 รอบ/นาที อัตราส่วนผสมที่ใช้จะอยู่ประมาณ $15 : 1 - 16 : 1$ ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ประหยัดและใกล้เคียงกับอัตราส่วนผสมตามทฤษฎี
- 5. ขณะเร่งเครื่อง** อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ต้องการจะหนากว่าปกติเพื่อให้ได้กำลังงาน สำหรับเพิ่มความเร็วรอบได้อย่างทันทีทันใด
- 6. ขณะความเร็วสูงหรือภาระงานหนัก** เช่น ขณะบรรทุก การขึ้นทางลาดชันเครื่องยนต์ต้องการส่วนผสมที่หนาประมาณ $12 : 1 - 13 : 1$ เพื่อให้ได้กำลังงานสูงสุด

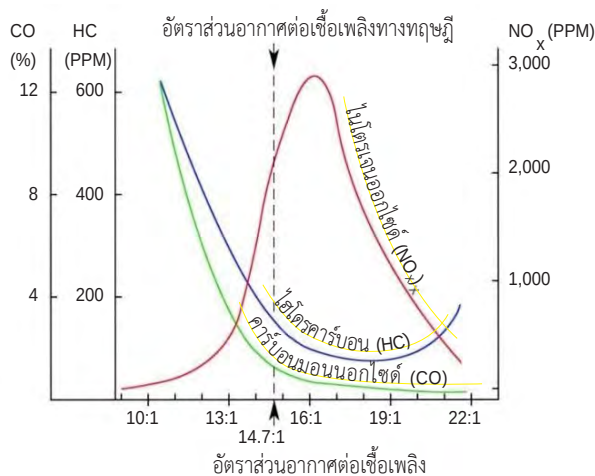


ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อส่วนประกอบของไอเสีย

ในไอเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์จะประกอบด้วย สารประกอบต่าง ๆ ที่เป็นพิษต่อร่างกายของมนุษย์ คือ

1. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide : CO)
2. ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxide of Nitrogen : NO, NO_x)
3. ไฮโดรคาร์บอน (Hydro Carbons : HC)

จากกราฟในรูปที่ 1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับส่วนประกอบของไอเสียทั้ง 3 จะเห็นว่าที่อัตราส่วนผสมหนาจะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอนมาก และที่ใกล้เคียงกับส่วนผสมตามทฤษฎี จะเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) มาก



รูปที่ 1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อส่วนประกอบของไอเสีย



ข้อจำกัดในการทำงานของคาร์บูเรเตอร์

เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องทำงานอยู่ภายใต้สภาวะต่าง ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามสภาพการขับขี่ของรถยนต์ ดังนั้น คาร์บูเรเตอร์ที่นำมาใช้จะต้องถูกออกแบบให้สามารถจ่ายส่วนผสมของเชื้อเพลิงได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ทันต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ด้วยเหตุนี้จึงเห็นว่าคาร์บูเรเตอร์จึงมีอุปกรณ์หรือกลไกต่าง ๆ ประกอบเข้าด้วยกันจำนวนมาก คาร์บูเรเตอร์ของรถยนต์บางรุ่นได้นำเอาระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุมการทำงาน เพื่อให้จ่ายส่วนผสมของเชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ก็ยังไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดตามต้องการได้ เนื่องจากคาร์บูเรเตอร์ยังมีข้อจำกัดในการทำงานอยู่หลายประการ คือ

1. คาร์บูเรเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ทำงานต่าง ๆ ที่เป็นกลไกอยู่จำนวนมาก ทำให้การจ่ายส่วนผสมมีความล่าช้าส่งผลให้การตอบสนองการเร่งยังไม่ดีเท่าที่ควร
2. จากการที่คาร์บูเรเตอร์ประกอบด้วยวงจรในการจ่ายส่วนผสมหลายวงจร เช่น วงจรความเร็วรอบเดินเบา วงจรความเร็วรอบปกติ วงจรปัมเป้แรง วงจรความเร็วรอบสูง ฯลฯ ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงวงจรการทำงาน จำเป็นต้องมีการจ่ายส่วนผสมที่หนาไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์สะดุด ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

3. ประสิทธิภาพในการผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง จะขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านคอคออด (Venturi) ของคาร์บูเรเตอร์ เช่น ในขณะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ ความเร็วของอากาศจะต่ำ การผสมของอากาศกับน้ำมันจะไม่ค่อยดี (เป็นฝอยละอองได้ไม่ดี) ทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

4. กรณีที่เครื่องยนต์มีคาร์บูเรเตอร์ตัวเดียว และเนื่องจากตามธรรมชาติแล้ว ความยาวของท่อไอดีในแต่ละสูบจะไม่เท่ากัน กระบอกสูบที่มีท่อไอดียาวหรือมีความโค้งงอของท่อไอดีมาก จะมีความล่าช้าในการบรรจุส่วนผสม และมีการตกค้างของน้ำมันในท่อไอดีมาก ทำให้ส่วนผสมที่บรรจุเข้าในแต่ละกระบอกสูบไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลต่อกำลังของเครื่องยนต์

5. ขณะทำการลดอัตราเร่งของเครื่องยนต์ลงทันทีทันใด (ปล่อยคันเร่ง) ซึ่งเป็นสภาวะที่เครื่องยนต์ไม่ต้องการน้ำมันเชื้อเพลิง แต่เครื่องยนต์ยังได้รับน้ำมันเชื้อเพลิงจากทางวงจรความเร็วรอบเดินเบา (เฉพาะในคาร์บูเรเตอร์แบบธรรมดา) และน้ำมันที่ยังตกค้างติดกับผนังท่อไอดี ซึ่งขณะลิ้นเร่งปิด จะเกิดสุญญากาศในท่อไอดีมาก เนื่องจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์ยังสูงอยู่ ทำให้น้ำมันที่ตกค้างอยู่ กลายเป็นฝอยละอองถูกดูดเข้ากระบอกสูบ จึงเป็นการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

จากข้อจำกัดในการทำงานของคาร์บูเรเตอร์ดังกล่าว ทำให้บริษัทผู้ผลิตรถยนต์พัฒนาอุปกรณ์สำหรับจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์แบบใหม่ที่เรียกว่า **ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง** มาใช้แทนคาร์บูเรเตอร์ โดยในระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงนี้ จะไม่มีวงจรจ่ายส่วนผสมหลายวงจรเหมือนคาร์บูเรเตอร์ และในปัจจุบันระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะควบคุมการทำงานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย



จุดเด่นของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์

ปัจจุบันรถยนต์ทุกยี่ห้อที่ผลิตมาจำหน่ายล้วนแต่มีการออกแบบให้เป็นเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ด้วยกันทั้งนั้น เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง และประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์มีจุดเด่นดังต่อไปนี้

1. มีประสิทธิภาพในการประจุอากาศสูงกว่าเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์ ในเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์ ปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้าไปในกระบอกสูบจะถูกขวางด้วยคอคออด (Venturi) ซึ่งมีลักษณะช่องที่ถูกบีบให้แคบลงเพื่อเพิ่มความเร็วการไหล แต่เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์นั้น ที่ท่อร่วมไอดี จะไม่มีคอคออดมาขัดขวางการไหลของอากาศ อากาศไหลเข้าไปในห้องเผาไหม้ได้เต็มที่ ทำให้เครื่องยนต์ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพในการประจุอากาศสูง

2. มีการตอบสนองขณะเร่งเครื่องยนต์ได้ดี ในเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์นั้น ขณะที่ทำการเร่งเครื่องยนต์อย่างทันทีทันใดจะเกิดการสะดุด หรือที่เรียกว่า **เครื่องยนต์รอรอบ** ทั้งนี้เนื่องจากอากาศจะต้องไหลเข้าห้องเผาไหม้ก่อน น้ำมันเชื้อเพลิงจึงไหลตามเข้าไปภายหลัง ทำให้อัตราส่วนของไอดีในช่วงแรกไม่ถูกต้อง แต่เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์จะมีการติดตั้งหัวฉีด (Injector) อยู่ในตำแหน่งลิ้นไอดีของแต่ละกระบอกสูบ หรือในเครื่องยนต์บางรุ่นหัวฉีดจะติดตั้งบนฝาสูบ ซึ่งจะฉีด

น้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้โดยตรง เมื่อทำการเร่งเครื่องยนต์ทันทีทันใด ดังนั้น น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกจ่ายเข้าไปในห้องเผาไหม้ก่อนแล้วอากาศจึงไหลตามเข้าไป ทำให้เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์มีอัตราเร่งดี อีกประการหนึ่ง คือ น้ำมันเชื้อเพลิงจะมีระยะทางในการถูกดูดเข้าไปยังห้องเผาไหม้สั้นกว่าเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์ จึงทำให้อัตราเร่งดี

3. สามารถจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงได้แม่นยำแน่นอนตลอดทุกช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์ไม่สามารถควบคุมอัตราส่วนผสมอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้แน่นอนตลอดทุกช่วงความเร็วรอบ เนื่องจากคาร์บูเรเตอร์มีหลายวงจร ในขณะที่เปลี่ยนแปลงวงจรการทำงานจำเป็นจะต้องมีการจ่ายส่วนผสมที่หนาไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะดุด แต่เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์นั้น การจ่ายปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ จึงทำให้การจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และแน่นอน ไม่ว่าเครื่องยนต์จะมีความเร็วรอบหรือภาระอย่างไร

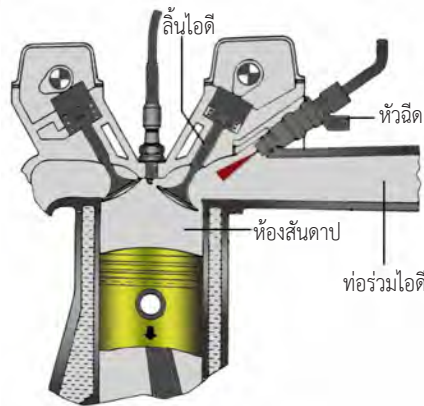
4. สามารถใช้กับรถยนต์ที่วิ่งบนถนนที่มีความลาดเอียงได้ดี เครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องลูกลอยจะเปลี่ยนไปตามความลาดเอียงของพื้นถนน ทำให้การจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของคาร์บูเรเตอร์ผิดพลาดไปจากสถานะจริง แต่ในเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกสร้างให้มีแรงดันสูงในระบบ จากการทำงานของปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้น ความลาดเอียงของถนนจึงไม่เป็นปัญหากับการทำงาน

5. ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงกว่าเครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์ กล่าวคือ เนื่องจากเมื่อใดก็ตามที่เครื่องยนต์คาร์บูเรเตอร์มีการทำงาน น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกดูดและจ่ายเข้าไปในกระบอกสูบทุกครั้งโดยไม่คำนึงถึงว่าเวลาใดควรจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงหรือเวลาใดไม่ควรจ่าย เช่น เมื่อคนขับถอนเท้าจากคันเร่งมาเหยียบเบรก เพื่อต้องการลดความเร็วหรือหยุดรถ เป็นช่วงที่ไม่ต้องการกำลังงานจากเครื่องยนต์ แต่น้ำมันเชื้อเพลิงก็ยังถูกจ่ายออกมา ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ถ้าเป็นเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ ช่วงที่คนขับถอนเท้าออกจากคันเร่งเพื่อเหยียบเบรก หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะสั่งให้หัวฉีดหยุดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงไปจนกระทั่งความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงถึงค่าที่กำหนด (ซึ่งขึ้นอยู่กับรุ่นของเครื่องยนต์) การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงก็จะเริ่มต้นใหม่



ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

หลักการของระบบฉีดน้ำมัน คือ จะใช้หัวฉีด (Injector) ทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปผสมกับอากาศในท่อร่วมไอดี (Intake Manifold) หรือท่อไอดี (Intake Tube) แสดงดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ตำแหน่งการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด

เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Injection System) โดยทั่วไปจะมีหัวฉีด กระบอกสูบละ 1 ตัว (ยกเว้นเครื่องยนต์บางรุ่นที่มีการฉีดน้ำมันที่ท่อร่วมไอดี) และหัวฉีดจะทำการฉีด น้ำมันเชื้อเพลิงพร้อมกันทุกสูบ หรือมีการฉีดเป็นกลุ่ม หรือฉีดเรียงตามลำดับการจุดระเบิด หรือ ฉีดหลายรูปแบบผสมกัน ในเครื่องยนต์ที่ใช้หัวฉีดรุ่นแรก ๆ จะมีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงพร้อมกันทุกสูบ ส่วนเครื่องยนต์รุ่นใหม่ในปัจจุบันจะมีการฉีดทุกรูปแบบ ตามที่บริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์ออกแบบ น้ำมัน เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดแต่ละตัวจะมีปริมาณที่เท่ากัน และมีความเหมาะสมกับปริมาณอากาศที่ ถูกดูดเข้ากระบอกสูบ และสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ในขณะนั้น โดยหัวฉีดจะถูกควบคุมการฉีด น้ำมันด้วยชุดควบคุมส่วนผสม (Control Unit) ซึ่งมีทั้งแบบกลไก แบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือแบบกลไก ร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์



ชนิดของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีใช้ในรถยนต์นั่งโดยทั่วไป จะมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบควบคุมด้วยกลไก (เรียกว่า K – Jetronic)
2. ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบควบคุมด้วยกลไกร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์ (เรียกว่า KE – Jetronic)

ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ K และ KE มีลักษณะการทำงานคล้ายกัน แตกต่างกันเฉพาะส่วนที่เป็น กลไกควบคุม แบ่งพื้นที่การทำงานออกเป็น 3 หน้าที่หลัก ได้แก่

1. การวัดอัตราการไหล (Air Flow Measurement) ปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้าเครื่องยนต์ จะถูกควบคุมโดยลิ้นปีกผีเสื้อ และวัดปริมาณของอากาศโดยเซนเซอร์วัดการไหลอากาศ (Air Flow Sensor)
2. การจ่ายเชื้อเพลิง (Fuel Supply) เชื้อเพลิงจะถูกดูดจากถังเชื้อเพลิงโดยปั๊มเชื้อเพลิง ไฟฟ้าไปยังจานจ่ายเชื้อเพลิง ผ่านไปยังกล่องเก็บสะสมเชื้อเพลิง และชุดกรองเชื้อเพลิง จานจ่ายเชื้อเพลิง จะจัดแบ่งปริมาณของเชื้อเพลิงไปยังลิ้นหัวฉีดเชื้อเพลิงในท่อร่วมไอดีของกระบอกสูบ