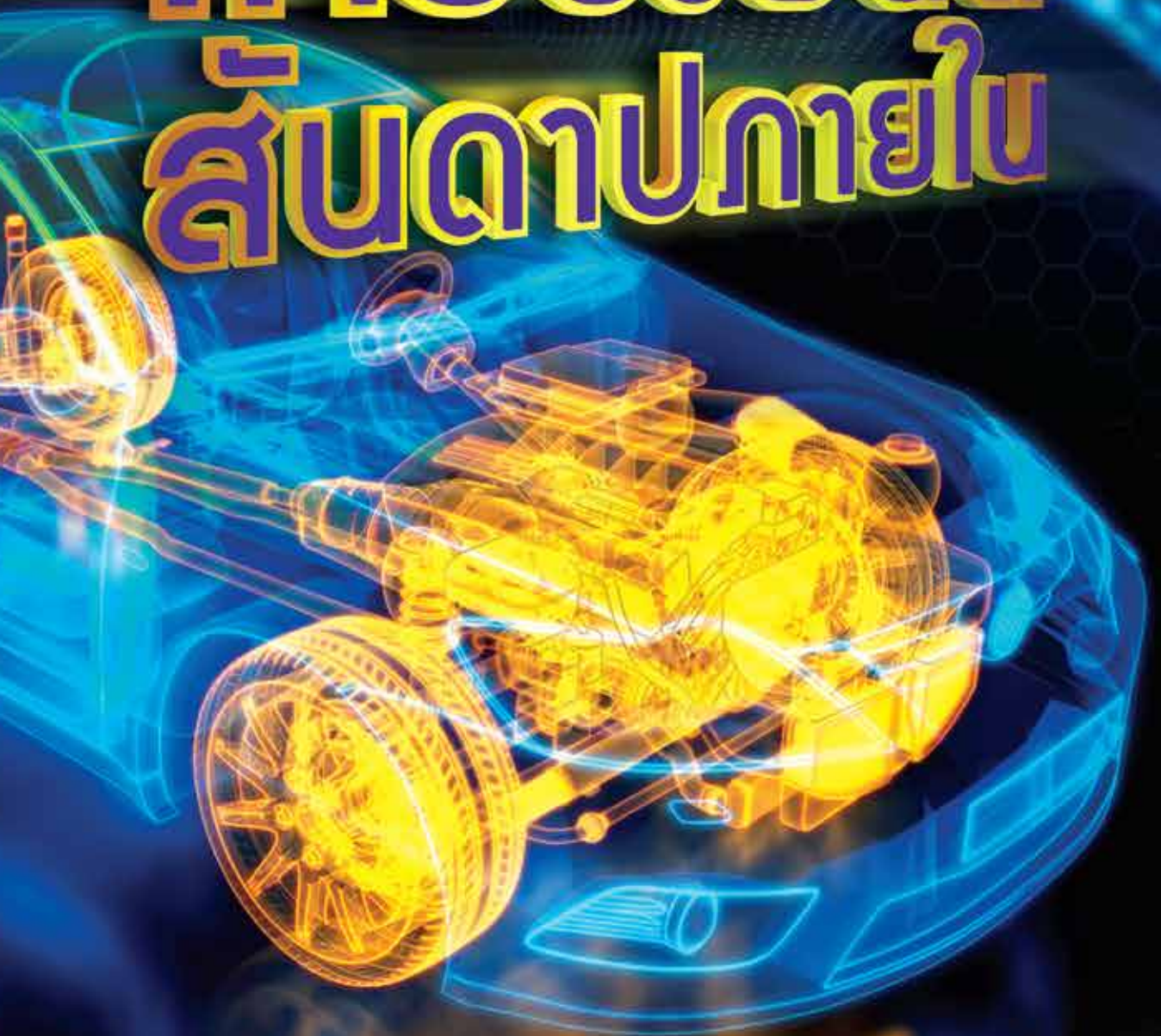




เครื่องยนต์ สันดาปภายใน

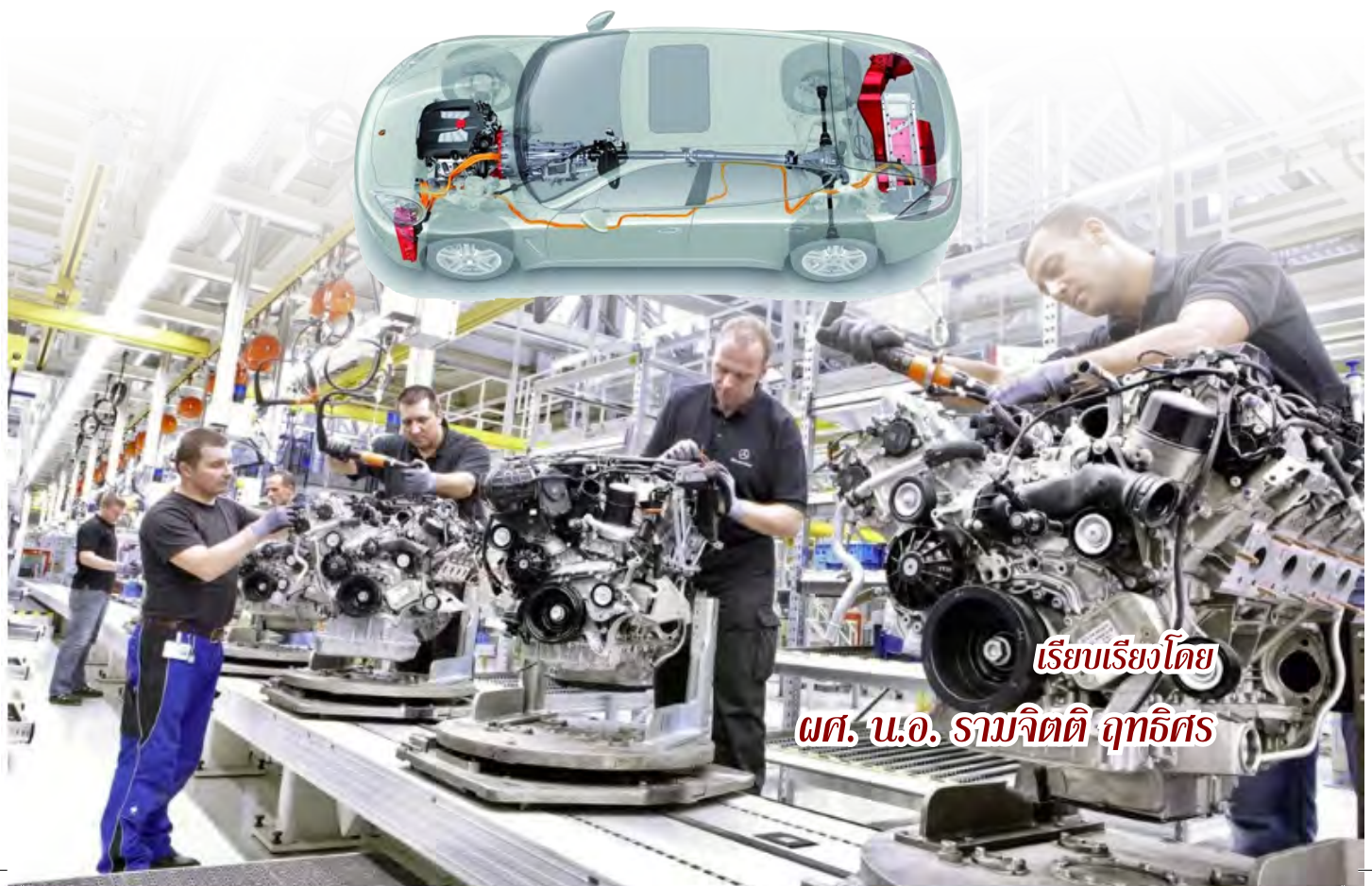
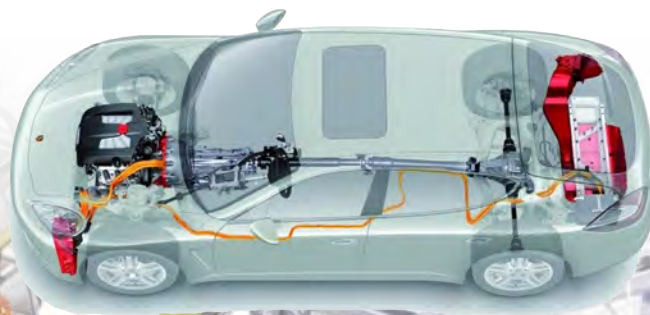


พศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศรี

เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine)

รหัสวิชา 30101-2003

หมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเฉพาะ
ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกล
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2563
สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ



เรียบเรียงโดย
ผศ. น.อ. รามจิตติ อุทิสร์

เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine)

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นของเทอร์โมไดนามิกส์และการประยุกต์ใช้งานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ การผสมกันระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ การสันเพลิงเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพความร้อน การฉีดเชื้อเพลิงและการสันดาป โครงสร้างลักษณะการออกแบบห้องสันดาป การเกิดมลภาวะจากยานยนต์ การแก้ไขการน็อกของเครื่องยนต์และการทำงานของเครื่องยนต์โรตารี

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2563



วังอักษร

บริษัทวังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณเขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

โทร. 0-2472-3293-5 โทรสาร 0-2891-0742

Mobile : 08-8585-1521

Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร

<http://www.wangaksorn.com>

e-Mail : wangaksorn9@gmail.com

ID Line : @wangaksorn



ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

รามจิตติ ฤทธิศร.

เครื่องยนต์สันดาปภายใน.-- กรุงเทพฯ : วังอักษร, 2563.

216 หน้า.

1. เครื่องยนต์สันดาปภายใน. I. ชื่อเรื่อง.

621.43

ISBN 978-616-211-857-9

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537

โดยบริษัทวังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้

ไปทำซ้ำดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ

นอกจากได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรล่วงหน้าจากทางบริษัทฯ เท่านั้น

ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่นๆ ที่อ้างถึงในหนังสือฉบับนี้ เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมาย
ของเจ้าของแต่ละราย โดยบริษัท วังอักษร จำกัด มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด

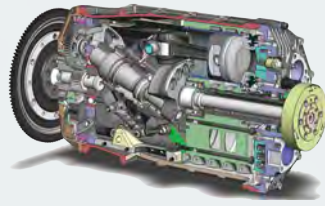


คำนำ

วิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน รหัสวิชา 30101-2003 จัดอยู่ในหมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเฉพาะ ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาเทคนิคเครื่องกล **ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563** สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ ผู้เขียนได้บริหารสาระการเรียนรู้แบ่งเป็น 7 บทเรียน ได้จัดแผนการจัดการเรียนรู้/แผนการสอนที่มุ่งเน้น ฐานสมรรถนะ (Competency Based) และการบูรณาการ (Integrated) ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา คำอธิบายรายวิชา ในแต่ละบทเรียนมุ่งให้ความสำคัญส่วนที่เป็นความรู้ทฤษฎี หลักการ กระบวนการ ตัวอย่าง แบบฝึกปฏิบัติ และคำถามเพื่อการทบทวนเพื่อฝึกทักษะประสบการณ์ เร่งพัฒนาบทบาทของผู้เรียนเป็นผู้จัดการแสวงหาความรู้ (Explorer) เป็นผู้สอนตนเองได้ สร้างองค์ความรู้ใหม่ และบทบาทของผู้สอนเปลี่ยนจากผู้ให้ความรู้มาเป็นผู้จัดการชี้แนะ (Teacher Roles) จัดสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อความสนใจเรียนรู้ และเป็นผู้ร่วมเรียนรู้ (Co-investigator) จัดห้องเรียน เป็นสถานที่ทำงานร่วมกัน (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) เพื่อให้เกิดผลสำเร็จในภาค ธุรกิจ อุตสาหกรรม ทุกสาขาอาชีพ เป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนเข้าสู่สนามการแข่งขัน ในประชาคมอาเซียน

ผศ.น.อ. รามจิตติ ฤทธิศร



สารบัญ

บทที่ 1	บทนำเรื่องเครื่องยนต์สันดาปภายใน	1
	เครื่องยนต์สันดาปภายใน	2
	ชนิดของเครื่องยนต์ลูกสูบ	3
	ช่วงชักของลูกสูบในกระบอกสูบ	4
	การเปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบสลับเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน	5
	ลิ้นของเครื่องยนต์	8
	การทำงานของเครื่องยนต์	9
	การทำงานของลิ้น	10
	เครื่องยนต์หลายสูบ	11
	ระบบเสริมการทำงานของเครื่องยนต์	12
	ประเภทของเครื่องยนต์ตามลักษณะกระบอกสูบและตำแหน่งติดตั้ง	15
	ตำแหน่งในการวางเครื่องยนต์	18
	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เชิงกล และเชิงปริมาตร	20
	การจัดและอัตราส่วนการอัดของกระบอกสูบ	21
	เครื่องยนต์โรตารี (Rotary Engines)	21
	คำถามประจำบทที่ 1	25
	ใบงานการปฏิบัติงานที่ 1	26
บทที่ 2	เทอร์โมไดนามิกส์และวัฏจักรอากาศมาตรฐาน	29
	กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (First Law of Thermodynamics)	30
	งานทางกลสำหรับกระบวนการไหลแบบคงตัวไร้แรงเสียดทาน (Mechanical Work for a Frictionless Steady-Flow Process)	32
	สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)	33
	ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat)	33
	น้ำหนักอะตอม (Atomic Weight)	34
	ก๊าซสมมุติหรือก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas)	34
	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)	36

วัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot Cycle)	37
เอนโทรปี (Entropy)	38
เอนโทรปีในนิยามคุณสมบัติ	39
การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีและความสัมพันธ์ไอเซนทรอปิกสำหรับ กระบวนการต่าง ๆ	40
วัฏจักรอากาศมาตรฐาน (Air-Standard Cycle)	43
คำถามประจำบทที่ 2	54
ใบงานการปฏิบัติงานที่ 2	56

บทที่ 3 คุณสมบัติการทำงานของเครื่องยนต์ 59

ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ (Engine Parameters)	60
งาน (Work)	66
ความดันยังผลเฉลี่ย	70
แรงบิดและกำลัง	71
ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometers)	74
อัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิง และอัตราส่วนเชื้อเพลิง-อากาศ	77
ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ	78
ประสิทธิภาพเครื่องยนต์	80
ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร	81
คำถามประจำบทที่ 3	84
ใบงานการปฏิบัติงานที่ 3	86

บทที่ 4 วัฏจักรเครื่องยนต์จริง (ตอนที่ 1) 89

วัฏจักรอากาศมาตรฐานและวัฏจักรจริง	90
วัฏจักรออตโต (เพิ่มเติม)	91
วัฏจักรดีเซล (เพิ่มเติม)	100
วัฏจักรควบหรือวัฏจักรคูอัล	103
คำถามประจำบทที่ 4	111
ใบงานการปฏิบัติงานที่ 4	113

บทที่ 5 วัฏจักรเครื่องยนต์จริง (ตอนที่ 2) 116

วัฏจักรสองจังหวะ (Two Stroke Cycles)	117
วัฏจักรสเตอร์ลิง	121

วัฏจักรมิลเลอร์	125
วัฏจักรเบรย์ตัน	131
คำถามประจำบทที่ 5	139
ใบงานการปฏิบัติงานที่ 5	142

บทที่ 6 การเผาไหม้ทางเคมี 145

องค์ประกอบของอากาศแห้ง (Composition of Dry Air)	146
สมการทั่วไปของการเผาไหม้ (General Combustion Equation)	147
เอนทาลปีของการเปลี่ยนรูป (Enthalpy of Formation)	153
เอนทาลปีของการเผาไหม้ (Enthalpy of Combustion)	155
ค่าความร้อนเหนือกว่าและต่ำกว่า (Higher and Lower Heating Values)	156
เอนทาลปีของปฏิกิริยา (Enthalpy of Reaction)	157
อุณหภูมิเปลวเพลิงแบบเอดิยาติกเมื่อความดันคงที่ (Constant-Pressure Adiabatic Flame Temperature)	158
คำถามประจำบทที่ 6	161
ใบงานการปฏิบัติงานที่ 6	162

บทที่ 7 ระบบไอดี ไอเสีย และเชื้อเพลิง 165

ระบบไอดี (Air-Intake System)	166
ระบบไอเสีย (Exhaust System)	172
ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงและการเผาไหม้	174
การน็อคของเครื่องยนต์ (Engine Knocking)	179
มลพิษจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน	181
การประยุกต์ใช้งานวัฏจักรมิลเลอร์	183
คำถามประจำบทที่ 7	185
ใบงานการปฏิบัติงานที่ 7	186
ใบงานการปฏิบัติงานที่ 8	189
ใบงานการปฏิบัติงานที่ 9	192
ใบงานการปฏิบัติงานที่ 10	195

คำศัพท์ 198

ภาคผนวก 204

บรรณานุกรม 208

บทที่ 1

บทนำเรื่องเครื่องยนต์สันดาปภายใน

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

หลังจากศึกษาจบบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาจะมีความสามารถดังนี้

1. อธิบายเครื่องยนต์สันดาปภายใน
2. ระบุชนิดของเครื่องยนต์ลูกสูบ
3. อธิบายช่วงชักของลูกสูบในกระบอกสูบ
4. อธิบายการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่แบบสลับเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน
5. ยกตัวอย่างลิ้นของเครื่องยนต์
6. อธิบายการทำงานของเครื่องยนต์
7. อธิบายการทำงานของลิ้น
8. อธิบายเครื่องยนต์หลายสูบ
9. ระบุระบบเสริมการทำงานของเครื่องยนต์
10. จำแนกประเภทของเครื่องยนต์ตามลักษณะกระบอกสูบและตำแหน่งติดตั้ง
11. ระบุตำแหน่งในการวางเครื่องยนต์
12. บอก ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เชิงกล และเชิงปริมาตร
13. อธิบายการจัดและอัตราส่วนการอัดของกระบอกสูบ
14. อธิบายเครื่องยนต์โรตารี





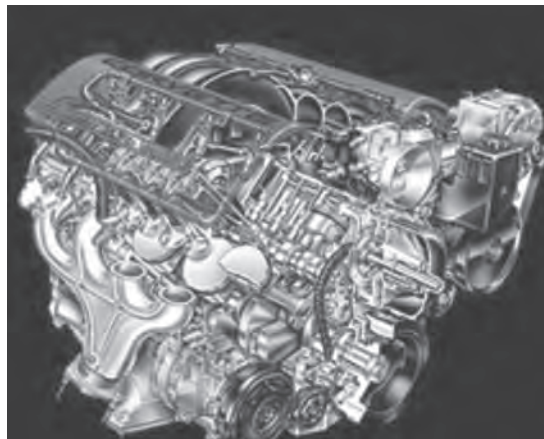
1

บทนำ เรื่องเครื่องยนต์สันดาปภายใน



เครื่องยนต์สันดาปภายใน

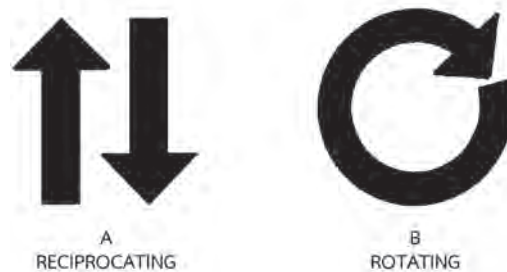
เครื่องยนต์ (Engine) ดังรูปที่ 1.1 คือ เครื่องจักรซึ่งเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกล ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้เกิดกำลัง (Power) ซึ่งทำให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปได้ ซึ่งเครื่องยนต์จะถูกเรียกเป็น ต้นกำเนิดกำลัง (Power Plant) อย่างหนึ่ง



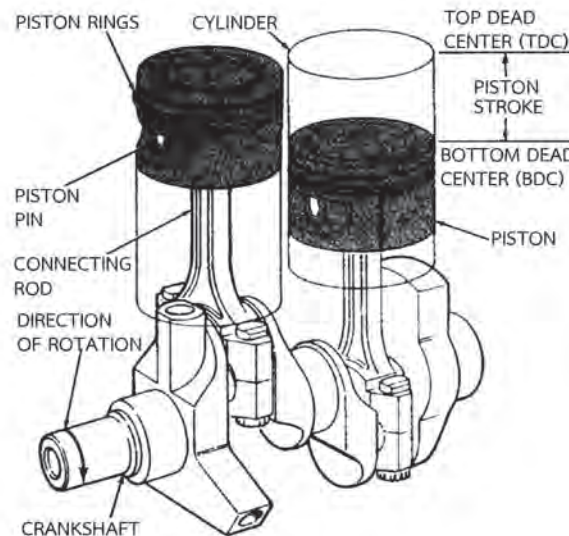
รูปที่ 1.1 เครื่องยนต์ 6 สูบวี วางเพลาลูกเบี้ยวไว้ตอนบน จุดระเบิดด้วยหัวเทียน

สำหรับรถยนต์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะใช้เครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายใน (Internal Combustion Engine, ICE) เป็นแหล่งกำเนิดกำลัง เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นต้นกำเนิดกำลังของเครื่องยนต์ชนิดนี้ถูกเผาไหม้ เบ็ดเสร็จภายในเครื่องยนต์ ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดเคลื่อนที่สลับ (Reciprocating) และชนิด หมุนรอบ (Rotary) ดังรูปที่ 1.2

ชนิดเคลื่อนที่สลับ หมายถึง เคลื่อนที่ขึ้นลงหรือจากหน้าไปหลัง สำหรับรถยนต์ส่วนใหญ่จะใช้เครื่องยนต์ชนิดเคลื่อนที่สลับ โดยมีลูกสูบซึ่งทำหน้าที่เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงภายในกระบอกสูบ เรียกว่า “เครื่องยนต์ลูกสูบ (Piston Engine)” ดังรูปที่ 1.3 ส่วนชนิดหมุนรอบจะมีชิ้นส่วนที่หมุน เรียกว่า “โรเตอร์ (Rotor)” ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวในภายหลัง



รูปที่ 1.2 ทิศทางการทำงานของเครื่องยนต์ทั้งสองชนิด



รูปที่ 1.3 การเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบ



ชนิดของเครื่องยนต์ลูกสูบ

เครื่องยนต์ลูกสูบจะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เครื่องยนต์ชนิดจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Spark-Ignition Engine) หรือเครื่องยนต์เบนซิน และชนิดจุดระเบิดด้วยการอัดตัว (Compression-Ignition Engine) หรือเครื่องยนต์ดีเซล ข้อแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์ทั้งสองชนิดนี้ คือ

1. ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้
2. วิธีที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้ากระบอกสูบ
3. วิธีที่เชื้อเพลิงถูกจุดระเบิด

ปกติแล้วเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ชนิดจุดระเบิดด้วยประกายไฟนั้นจะเป็นเชื้อเพลิงเหลว เช่น ก๊าซโซลีน (Gasoline) หรือแอลกอฮอล์ผสม (Alcohol Blend) โดยมีลักษณะเฉพาะตัวพิเศษ คือ ระเหยได้ง่าย เชื้อเพลิงในสถานะไอนี้จะรวมตัวกับอากาศกลายเป็นอากาศผสม (Fuel-Air Mixture) ซึ่งจะถูกเผาไหม้ได้ง่าย ก่อนที่จะไหลผ่านเข้าไปในกระบอกสูบ (Cylinder) อากาศผสมเมื่อไหลเข้ากระบอกสูบแล้วจะถูกอัดตัวโดยลูกสูบให้มีความดันสูงขึ้น จากนั้นความร้อนจากประกายไฟโดยเครื่องจุดประกายไฟ (หัวเทียน) จะจุดระเบิดอากาศผสมแรงดันสูงดังกล่าว ทำให้อากาศผสมสันดาปเกิดเป็นก๊าซร้อนความดันและอุณหภูมิสูงภายในกระบอกสูบ ความดันสูงกระทำบนส่วนบนของลูกสูบทำให้เกิดแรงดันกดลูกสูบลง การเคลื่อนที่ของลูกสูบจะส่งต่อไปยังชุดเพลาลูกข้อเหวี่ยง เพื่อกำลัง และเพลาลูกข้อเหวี่ยง ซึ่งจะไปทำให้รอกยนต์เคลื่อนที่ไปได้

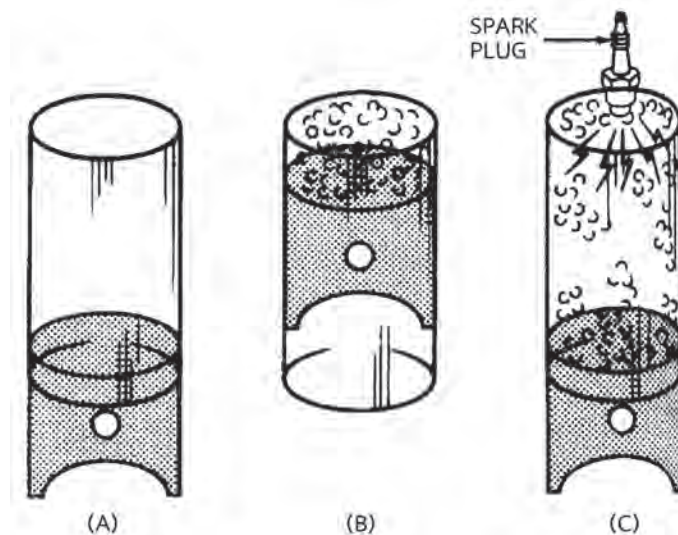
สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เชื้อเพลิงจะถูกผสมกับอากาศภายหลังจากที่อากาศไหลเข้าไปในกระบอกสูบแล้ว ลูกสูบจะทำการอัดอากาศให้เหลือปริมาตรเพียง $1/22$ ของปริมาตรเริ่มต้น การอัดอากาศด้วยความดันที่สูงมากนี้ทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นไปถึง $1,000\text{ F}$ (ประมาณ $600\text{ }^{\circ}\text{C}$)

ช่วงชักของลูกสูบในกระบอกสูบ

เครื่องยนต์ทั้งชนิดจุดระเบิดด้วยประกายไฟหรือจุดระเบิดด้วยความร้อนจากการอัดตัว มีโครงสร้างของเครื่องยนต์เหมือนกัน คือ จะมีลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงอยู่ภายในกระบอกสูบ ซึ่งจะสัมพันธ์กับรอบในการหมุนของเพลาลูกข้อเหวี่ยง

พิจารณารูปที่ 1.3 ลูกสูบเมื่ออยู่ที่ตำแหน่งล่างสุด เรียกว่า “ศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center, BDC)” เป็นตำแหน่งที่ลูกสูบถอยลงไปอีกไม่ได้แล้ว และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นมายังตำแหน่งบนสุด เรียกว่า “ศูนย์ตายบน (Top Dead Center, TDC)” จะเป็นตำแหน่งที่ลูกสูบดันขึ้นไปอีกไม่ได้เช่นกัน ระยะระหว่างศูนย์ตายบนและล่าง เรียกว่า “ช่วงชัก (Stroke)” ของลูกสูบ

ขนาดของกระบอกสูบถูกกำหนดขอบเขตด้านบนไว้ด้วยฝาสูบ (Cylinder Head) และด้านข้างด้วยขนาดของรูที่เจาะในเสื้อสูบ (Cylinder Block) ซึ่งขอบเขตทั้งสองจะตายตัว ขณะที่ด้านล่างจะใช้ลูกสูบ (รวมแหวนลูกสูบ) เป็นตัวกำหนด ดังนั้น ปริมาตรของกระบอกสูบจึงแปรเปลี่ยนไปตามการเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบ



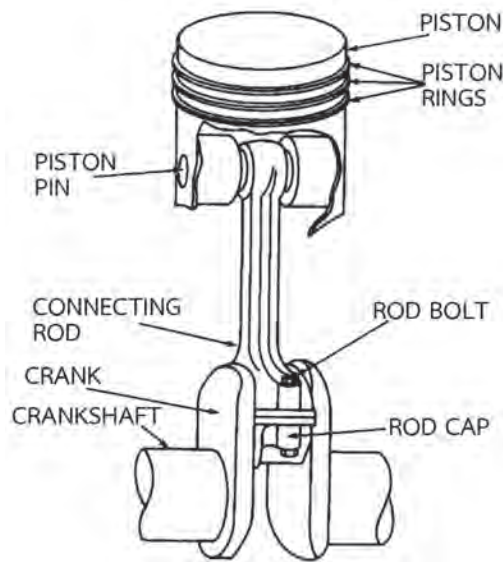
รูปที่ 1.4 การกระทำในกระบอกสูบ

รูปที่ 1.4 แสดงการกระทำในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ชนิดจุดระเบิดด้วยประกายไฟ รูป (A) ลูกสูบจะอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง (BDC) ช่องว่างเหนือลูกสูบขึ้นไปบรรจุด้วยอากาศผสม จากนั้นลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นไปยังตำแหน่งศูนย์ตายบน (TDC) ปริมาตรในกระบอกสูบลดลง ความดันในกระบอกสูบมากขึ้น อากาศผสมจึงถูกอัดตัว ก่อนที่ลูกสูบจะขึ้นไปถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อย ประกายไฟถูกจุดขึ้นเพื่อเผาไหม้ อากาศผสม ทำให้เกิดก๊าซร้อนความดันสูงกดลูกสูบให้เคลื่อนที่ลง การเคลื่อนที่ลงของลูกสูบนี้ทำให้เกิดกำลังที่เคลื่อนที่รถ การกระทำเช่นนี้เกิดขึ้นในทุก ๆ กระบอกสูบภายในเครื่องยนต์อย่างต่อเนื่องรอบเท่าที่เครื่องยนต์ยังเดินอยู่



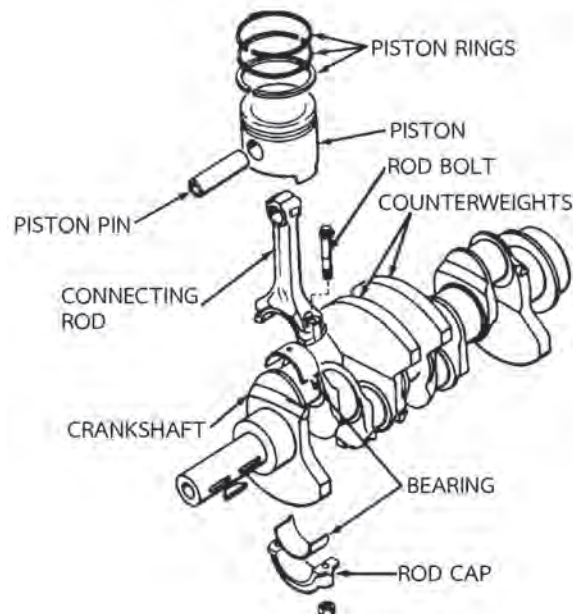
การเปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบสลับเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน

การเคลื่อนที่ขึ้นลงสลับของลูกสูบจะถูกเปลี่ยนไปเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนเพื่อขับล้อรถยนต์ โดยส่งการเคลื่อนที่ผ่านก้านสูบ (Connecting Rod) และเพลาค้อเหวี่ยง (Crankshaft) ดังรูปที่ 1.5 ปลายข้างหนึ่งของก้านสูบจะถูกยึดไว้กับลูกสูบโดยสลักสูบ (Piston Pin) และปลายอีกข้างจะยึดกับเพลาค้อเหวี่ยงที่สลักเพลาค้อ (Crankpin หรือ Connecting Rod Journal) ดังรูปที่ 1.6 สลักสูบจะทำหน้าที่คล้ายจุดหมุนในการที่ให้ก้านสูบแกว่งไปมาได้

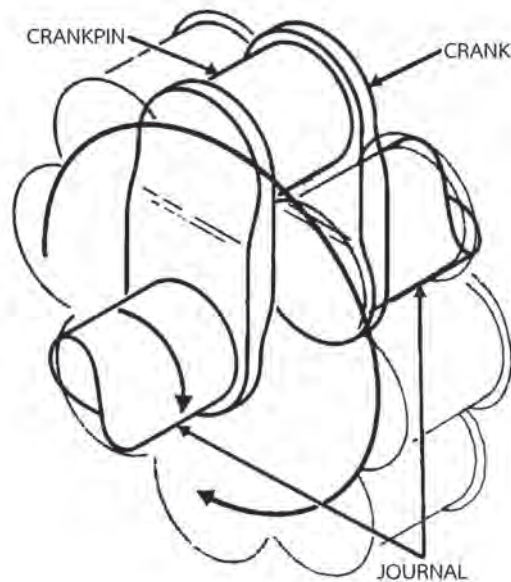


รูปที่ 1.5 ก้านสูบและเพลาคือเหวี่ยง

สลักเพลาคือเป็นส่วนที่เชื่อมกันออกมาจากเพลาคือเหวี่ยงดังรูปที่ 1.7 ซึ่งจะเหวี่ยงเป็นวงรอบในเวลาที่เพลาคือเหวี่ยงหมุน ฝา ก้านสูบ (Rod Cap) และสลักเกลียวใช้ในการยึดก้านสูบเข้ากับสลักเพลาคือ โดยมีแบริ่งรองรับทั้งส่วนบนและล่าง ซึ่งเมื่อประกอบแล้วจะมีระยะห่างเล็กน้อยเพื่อให้ น้ำมันหล่อลื่นเข้าไป สร้างชั้นฟิล์มป้องกันการสัมผัสโดยตรงระหว่างโลหะกับโลหะ

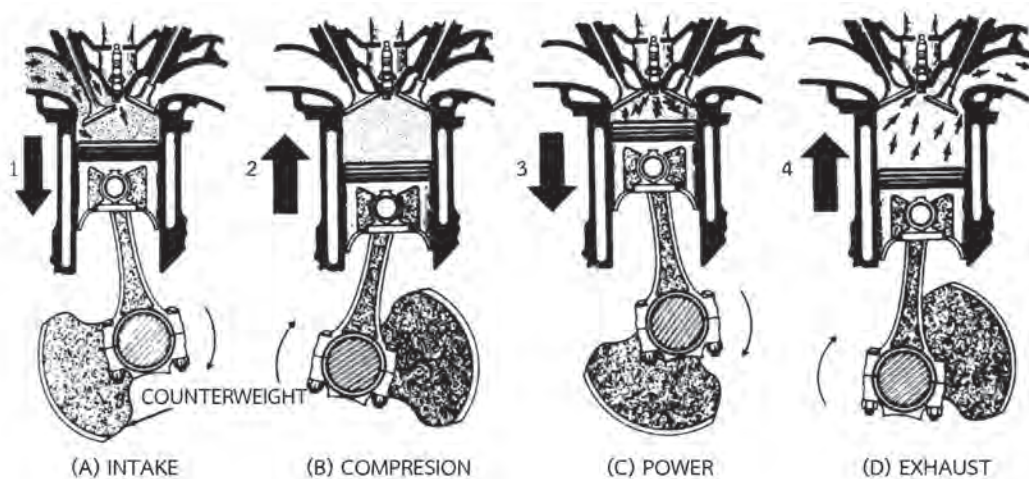


รูปที่ 1.6 การประกอบลูกสูบ ก้านสูบ และเพลาคือเหวี่ยงเข้าด้วยกัน



รูปที่ 1.7 ลักษณะการหมุนของสลักเพลตามการเคลื่อนที่ขึ้นลงของก้านสูบ

ในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลง สลักเพลจะหมุนเป็นวงกลมและทำให้เพลาช้อเหวี่ยงหมุนด้วย รูปที่ 1.8A แสดงการเคลื่อนที่ลงของลูกสูบแล้วทำให้สลักเพลหมุนไปข้างหนึ่ง หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ลงจนถึงตำแหน่งศูนย์ตายล่างและเริ่มต้นจะดันตัวขึ้น ดังรูปที่ 1.8B ก้านสูบจะเหวี่ยงไปอีกข้าง ดังนั้น จะเห็นได้ว่าก้านสูบจะเหวี่ยงจากหน้าไปหลัง ซึ่งจะทำให้ปลายด้านใหญ่ของก้านสูบจะหมุนสลักเพลให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบเพลาช้อเหวี่ยง อันเป็นการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบให้เป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนของเพลาช้อเหวี่ยง

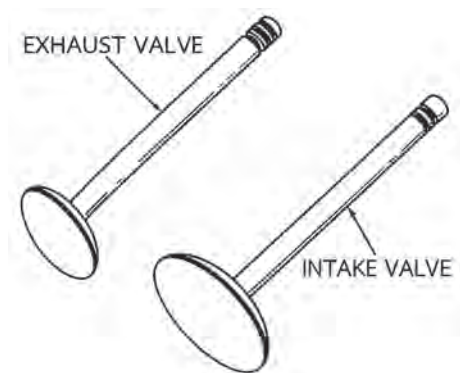


รูปที่ 1.8 การทำงานของเครื่องยนต์

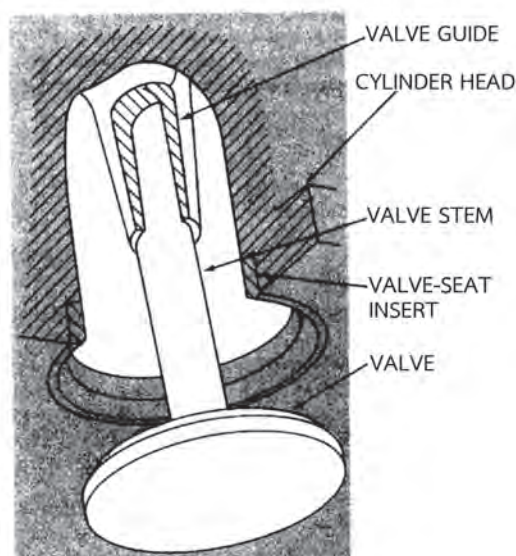
ลิ้นของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ส่วนใหญ่จะมีช่อง (Port) อยู่ 2 ช่องบนฝาสูบ เรียกว่า “ช่องไอดี (Intake Port)” ซึ่งเป็นช่องทางเดินให้อากาศผสมไพล์เข้ากระบอกสูบ และท่อไอเสีย (Exhaust Port) เป็นช่องให้ก๊าซสันดาปไพล์ออกจากกระบอกสูบ

ท่อทั้งสองถูกควบคุมการเปิด-ปิดให้เป็นจังหวะเวลาด้วยลิ้น (Valve) ซึ่งจะมี 2 ประเภท คือ ลิ้นไอดี (Intake Valve) และลิ้นไอเสีย (Exhaust Valve) ดังรูปที่ 1.9 ลิ้นจะมีลักษณะเป็นแป้นกลมโค้งเป็นรูปโดมและต่อก้านยาว (Stem) ออกไป ซึ่งทำหน้าที่ปิด-เปิดช่องที่อยู่บนฝาสูบ ดังรูปที่ 1.10 เมื่อลิ้นเคลื่อนที่ขึ้นไปในช่องจะเข้าไปแนบสนิทกับนั่งวาล์ว (Valve Seat) ในตำแหน่งนี้ลิ้นจะปิดช่อง และเมื่อลิ้นถูกดันลงจากนั่งวาล์วช่องก็จะเปิด ลิ้นจะถูกควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยร็าวลิ้น (Valve Train)



รูปที่ 1.9 ลิ้นไอเสียและลิ้นไอดี



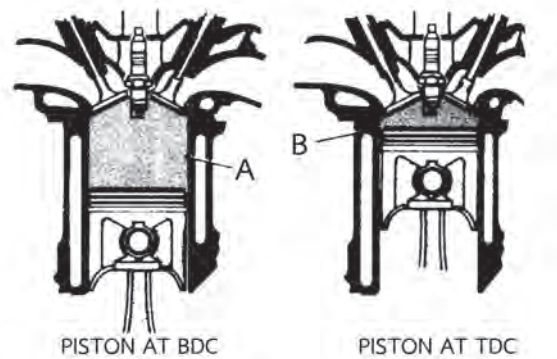
รูปที่ 1.10 ตำแหน่งของลิ้นในฝาสูบ

การทำงานของเครื่องยนต์

การทำงานในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนเกี่ยวข้องกับช่วงการชักของลูกสูบ (Piston Stroke) หรือการเคลื่อนที่ไปมาระหว่าง BDC กับ TDC เรียกว่า “จังหวะ” การทำงานครบวัฏจักรของเครื่องยนต์ต้องการช่วงชักของลูกสูบ 4 ช่วง คือ จังหวะดูด (Intake) จังหวะอัด (Compression) จังหวะระเบิด (Power) และจังหวะคาย (Exhaust) ดังรูปที่ 1.8 เพลาข้อเหวี่ยงจะหมุนครบ 2 รอบ เพื่อจบการทำงานของลูกสูบทั้ง 4 ช่วง เหตุนี้จึงเรียกเครื่องยนต์ชนิดนี้ว่า “เครื่องยนต์ 4 จังหวะ (Four-Stroke-Cycle Engine)” คำว่า **วัฏจักร** หมายถึง เหตุการณ์ที่สิ้นสุดกลับมาที่ตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้ง

1. จังหวะดูด ในช่วงจังหวะดูดของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ดังรูปที่ 1.8A ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลง ลิ้นไอดีจะเปิดให้อากาศผสมไหลผ่านช่องไอดีเข้ามาในกระบอกสูบ ระบบเชื้อเพลิงจะจ่ายเชื้อเพลิงเข้ามาผสมกับอากาศก่อนที่จะถูกดูดเข้าไปในกระบอกสูบ ในขณะที่ลูกสูบเลื่อนลงมาถึงตำแหน่ง BDC ลิ้นไอดีจะปิด (ลิ้นไอเสียปิดก่อนหน้านี้แล้ว) ทำให้ด้านบนของกระบอกสูบถูกปิดสนิท

2. จังหวะอัด หลังจาก que ลูกสูบเลื่อนลงมาถึงตำแหน่ง BDC แล้ว จะเริ่มต้นเคลื่อนที่ขึ้นกลับไปด้วยรูปที่ 1.8B ลิ้นทั้งสองตัวปิด ลูกสูบที่เคลื่อนที่ขึ้นจะอัดอากาศผสมให้มีปริมาตรเล็กลง (ปริมาตรระหว่างด้านบนของลูกสูบและฝาสูบ) ปริมาตรนี้เรียกว่า “ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)” อากาศผสมจะมีปริมาตรเหลือเพียงประมาณ $\frac{1}{8}$ ของปริมาตรตั้งต้น เรียกอัตราส่วนปริมาตรตั้งต้น (รูปที่ 1.11A) กับปริมาตรที่ถูกอัดตัว (รูปที่ 1.11B) นี้ว่า “อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio)” ดังนั้น ถ้าปริมาตรที่ถูกอัดตัวเหลือ $\frac{1}{8}$ ของปริมาตรตั้งต้น จะมีอัตราส่วนการอัดเป็น 8 ต่อ 1 (เขียนเป็น 8 : 1)



รูปที่ 1.11 อัตราส่วนการอัด ปริมาตรที่ A หารปริมาตรที่ B

3. จังหวะระเบิด (กำลัง) ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่ง TDC ก่อนสิ้นสุดจังหวะอัด กระแสไฟฟ้าจากหัวเทียนที่มีความร้อนสูงจะจุดระเบิดอากาศผสมที่ถูกอัดตัว ดังรูปที่ 1.8C เกิดการสันดาปขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดก๊าซร้อนอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น ซึ่งความดันนี้จะส่งแรงดันผลักดันด้านบนของลูกสูบ ก้านสูบจะถ่ายแรงนี้ส่งไปยังเพลาข้อเหวี่ยงไปหมุนล้อต่อไป

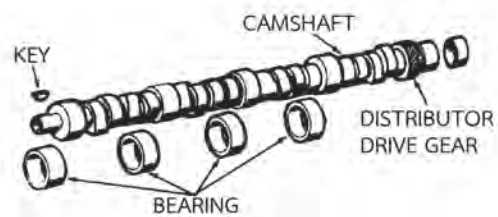
4. **จังหวะคาย** ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาถึงตำแหน่ง BDC จากจังหวะระเบิด ลิ้นไอดีจะเปิดหลังจากที่ลงมาถึงตำแหน่ง BDC แล้วลูกสูบจะเริ่มดันขึ้นอีกครั้ง ดังรูปที่ 1.8D เพื่อไล่ก๊าซสันดาปออกจากระบบสูบผ่านช่องไอดี เมื่อลูกสูบขึ้นไปใกล้ถึงตำแหน่ง TDC ลิ้นไอดีจะเริ่มเปิดอีกครั้ง และเมื่อถึงตำแหน่ง TDC ลิ้นไอดีจะปิดและพร้อมจะเริ่มจังหวะดูดอีกครั้งหนึ่ง เข้าไปเรื่อย ๆ トラบเท่าที่เครื่องยนต์ยังคงทำงานอยู่



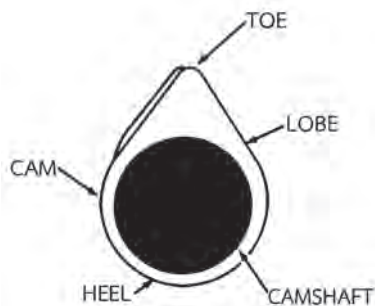
การทำงานของลิ้น

เครื่องยนต์โดยทั่วไปจะมี 2 ลิ้น ต่อ 1 กระบอกสูบ คือ ลิ้นไอดีและลิ้นไอดีเสีย อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์สมัยใหม่บางชนิดอาจจะมีลิ้นมากกว่า 2 ตัว เรียกว่า “เครื่องยนต์หลายลิ้น (Multivalve Engines)” ซึ่งมีจำนวนลิ้นตั้งแต่ 3 ถึง 6 ลิ้นต่อกระบอกสูบ เรียกชื่อเครื่องยนต์ตามจำนวนลิ้น เช่น มี 4 ลิ้น เรียกว่า “เครื่องยนต์ 4 ลิ้น (ภาษาช่างเรียก เครื่องยนต์ 4 วาล์ว)”

รवालลิ้น (Valve Train) คือ ชุดของชิ้นส่วนซึ่งทำหน้าที่เปิดและปิดลิ้น การทำงานเริ่มต้นที่เพลาลูกเบี้ยว (Camshaft) ดังรูปที่ 1.12 ซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยเพลาลูกเบี้ยวผ่านชุดเฟืองจังหวะ (Timing Gear) เฟืองจะสพานกับสายพานรवालลิ้น (Sprocket and Timing Belt) หรือเฟืองโซ่กับโซ่ (Sprocket and Chain)



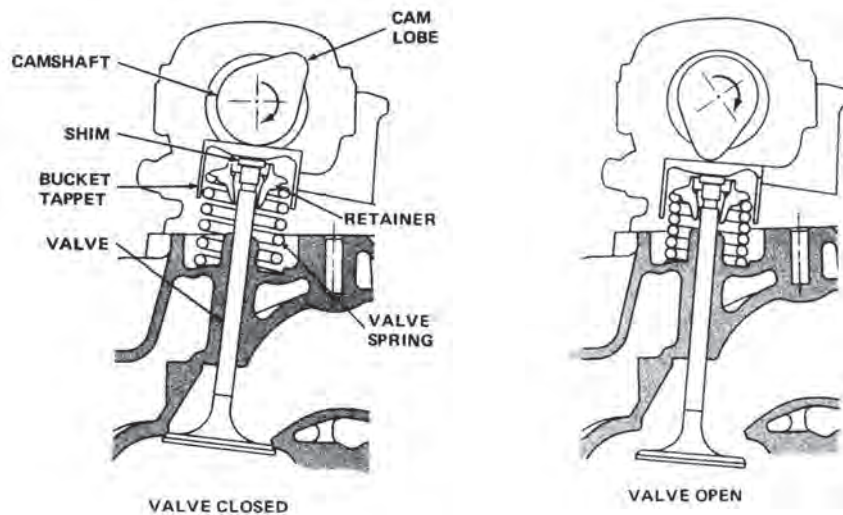
รูปที่ 1.12 เพลาลูกเบี้ยว



รูปที่ 1.13 ลูกเบี้ยว

เพลาลูกเบี้ยวจะมีพูลูกเบี้ยวเท่ากับจำนวนลิ้นในเครื่องยนต์ ลูกเบี้ยว 1 พูจะควบคุมลิ้น 1 ตัว เป็นอิสระ ลูกเบี้ยวจะมีลักษณะเป็นปอดซึ่งจะมีสันด้านหนึ่งนูนขึ้น เรียกว่า “พู (Lobe)” ดังรูปที่ 1.13

รูปที่ 1.14 เป็นวิธีการทำงานแบบหนึ่งของรอกลิ้น เฟลาถูกเบี้ยวถูกวางไว้ด้านบนฝาสูบ ขาส่งลิ้น (Bucket Tappet) ครอบด้านบนของก้านลิ้นไว้ ภายในขาส่งลิ้นจะมีสปริงลิ้น (Valve Spring) ยันขาส่งลิ้นไว้กับลูกเบี้ยว เมื่อเฟลาถูกเบี้ยวหมุนถึงตำแหน่งพู่ของลูกเบี้ยวไปกดขาส่งลิ้น แรงกดของสปริงจะดันให้ลิ้นลงจากนั่งลิ้น ลิ้นจะเปิด เมื่อเฟลาถูกเบี้ยวหมุนต่อไป พูลูกเบี้ยวจะหมุนจากสปริงจะดันขาส่งลิ้นและลิ้นกลับไปที่นั่งลิ้นเพื่อปิดช่องอีกครั้ง



รูปที่ 1.14 การทำงานของรอกลิ้นในการปิด-เปิดลิ้น



เครื่องยนต์หลายสูบ

เครื่องยนต์ 4 จังหวะกระบอกสูบเดียวจะทำให้กำลังในจังหวะระเบิดเพียงครึ่งเดียวต่อการหมุนของเฟลาข้อเหวี่ยง 2 รอบ ดังนั้น เครื่องยนต์จะส่งกำลังเพียงแค่ 1 ใน 4 ของเวลาเดินเครื่องจากจังหวะระเบิด เพราะอีก 3 จังหวะที่เหลือลูกสูบไม่ได้ส่งกำลังให้เฟลาข้อเหวี่ยง

เพื่อให้การส่งกำลังเป็นไปอย่างต่อเนื่องขึ้น เครื่องยนต์สำหรับรถยนต์จึงต้องมีจำนวนสูบมาก เรียกว่า “เครื่องยนต์หลายสูบ (Multiple-Cylinder Engine)” ซึ่งจะมีจำนวนสูบตั้งแต่ 2 ขึ้นไป โดยทั่วไป จำนวนสูบที่มากขึ้นจะส่งผลดีต่อการส่งกำลังไปยังข้อเหวี่ยงได้ต่อเนื่องและนุ่มนวลขึ้น เนื่องจากจังหวะระเบิดของลูกสูบที่มากขึ้นทำให้ช่วงรอยต่อของการส่งกำลังนั้นสั้นลง ผลคือทำให้เครื่องยนต์เดินนิ่งขึ้น และลดเสียงของเครื่องยนต์ลงอีกด้วย

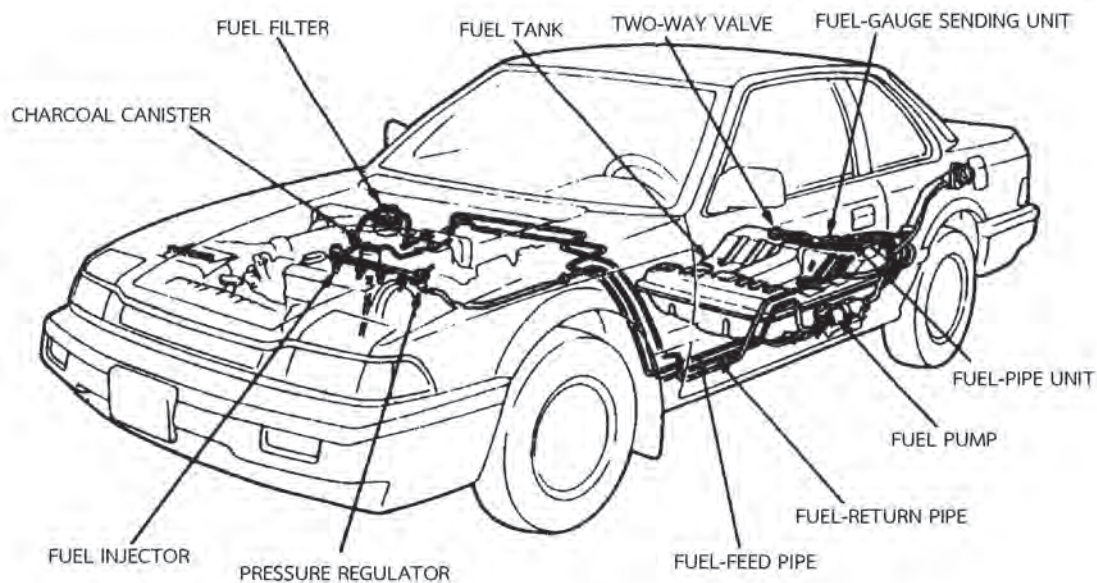
ระบบเสริมการทำงานของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟต้องการ 5 ระบบพื้นฐานในการสนับสนุนการทำงาน (Supporting Engine Operation) ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลต้องการเพียง 3 ระบบจากระบบเหล่านี้ ระบบสนับสนุนการทำงานนี้ประกอบด้วย

1. ระบบเชื้อเพลิง (Fuel System)
2. ระบบจุดระเบิดด้วยไฟฟ้า (Electric Ignition System) ยกเว้นเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่มีระบบนี้
3. ระบบหล่อลื่น (Lubricating System)
4. ระบบหล่อเย็น (Cooling System)

1. ระบบเชื้อเพลิง ทำหน้าที่จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น แก๊สโซลีน (เบนซิน) น้ำมันดีเซล หรือ เชื้อเพลิงเหลวอื่น ๆ ไปยังเครื่องยนต์ เพื่อสันดาปและกำเนิดความร้อนต่อไป

รูปที่ 1.15 เป็นระบบเชื้อเพลิงระบบหนึ่งใช้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ถึงเชื้อเพลิง (Fuel Tank) จะบรรจุเชื้อเพลิงที่จะจ่ายไว้ ปั๊มเชื้อเพลิง (Fuel Pump) จะทำหน้าที่สูบเชื้อเพลิงในถังส่งไปยังหัวฉีดเชื้อเพลิง (Fuel Injectors) ภายในหัวฉีดจะมีลิ้นปิดเปิดการฉีดน้ำมันควบคุมโดยหน่วยควบคุมไฟฟ้า (Electronic Control Module, ECM) หรือคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1.15 ระบบจ่ายเชื้อเพลิง

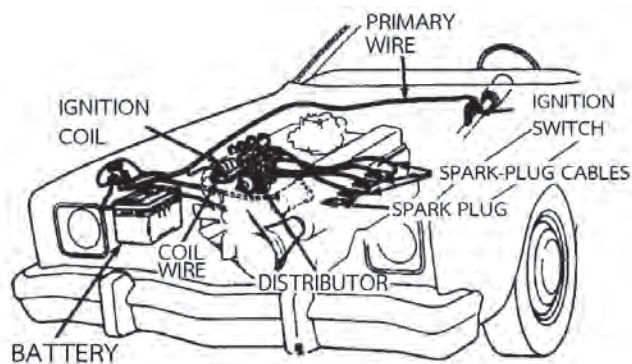
ถังเชื้อเพลิง ขึ้นรูปมาจากแผ่นโลหะ ไฟเบอร์กลาส หรือพลาสติก มีช่องน้ำมันออก (Fuel-Feed Port) และช่องน้ำมันเวียนกลับ (Fuel-Return Port)

ปั๊มเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 1.15 เป็นปั๊มเชื้อเพลิงที่เชื่อมต่อในถังเชื้อเพลิง (ช่างเรียกว่า ปั๊มแช่) ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมใช้ในรถยนต์ส่วนใหญ่ที่ใช้ระบบไฟฟ้าควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง

เครื่องยนต์ในปัจจุบันใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงในการทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นละอองฉีดเข้าไปรวมตัวกับอากาศภายในกระบอกสูบ ในอดีตจะใช้คาร์บูเรเตอร์ (Carburetor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงเข้าด้วยกันก่อนจึงจะปล่อยเข้าไปในกระบอกสูบ

2. ระบบจุดระเบิดด้วยไฟฟ้า หลังจากระบบเชื้อเพลิงจ่ายเชื้อเพลิงเข้าไปรวมกับอากาศกลายเป็นอากาศผสมไหลเข้ากระบอกสูบแล้ว หลังสิ้นสุดจังหวะอัดของลูกสูบ ระบบจุดระเบิด ดังรูปที่ 1.16 จะส่งประกายไฟฟ้าผ่านหัวเทียนไปจุดระเบิดอากาศผสม และเริ่มต้นกระบวนการสันดาปต่อไป

ระบบจุดระเบิดจะแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าโวลต์ต่ำจากแบตเตอรี่ (12 โวลต์) ให้เป็นโวลต์สูง (ประมาณ 47,000 โวลต์) ที่คอยล์จุดระเบิด (Ignition Coil) ซึ่งทำให้เกิดประกายไฟกระโดดข้ามหัวเทียนไปยังขั้วหัวเทียน (Spark Plug) ประกายไฟที่ร้อนนี้จะไปจุดระเบิดอากาศผสมอัดตัวให้เริ่มต้นสันดาป



รูปที่ 1.16 ระบบจุดระเบิดด้วยไฟฟ้า

3. ระบบหล่อลื่น ภายในเครื่องยนต์มีชิ้นส่วนโลหะที่ต้องเคลื่อนไหวหลายส่วน เมื่อโลหะเกิดการเสียดสีซึ่งกันและกันโดยตรง การสึกหรอจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้น เพื่อป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าว เครื่องยนต์จึงต้องมีระบบหล่อลื่น ดังรูปที่ 1.17 เพื่อทำหน้าที่หล่อเลี้ยงโลหะเหล่านี้ด้วยน้ำมัน โดยน้ำมันหล่อลื่นจะไหลเข้าไประหว่างผิวสัมผัสของโลหะที่เคลื่อนไหวเพื่อไม่ให้โลหะเสียดสีกันโดยตรง

ระบบหล่อลื่นจะมีอ่างน้ำมัน (Oil Pan) อยู่ตอนล่างของเครื่องยนต์ ปั๊มน้ำมัน ซึ่งถูกขับโดยเครื่องยนต์จะสูบน้ำมันขึ้นมาจากอ่างแล้วส่งไปหล่อเลี้ยงทั่วเครื่องยนต์ หลังจากนั้นจะหยดกลับลงมาที่อ่างอีกครั้ง ปั๊มก็จะสูบกกลับขึ้นไปใหม่อย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่เครื่องยนต์ยังทำงานอยู่