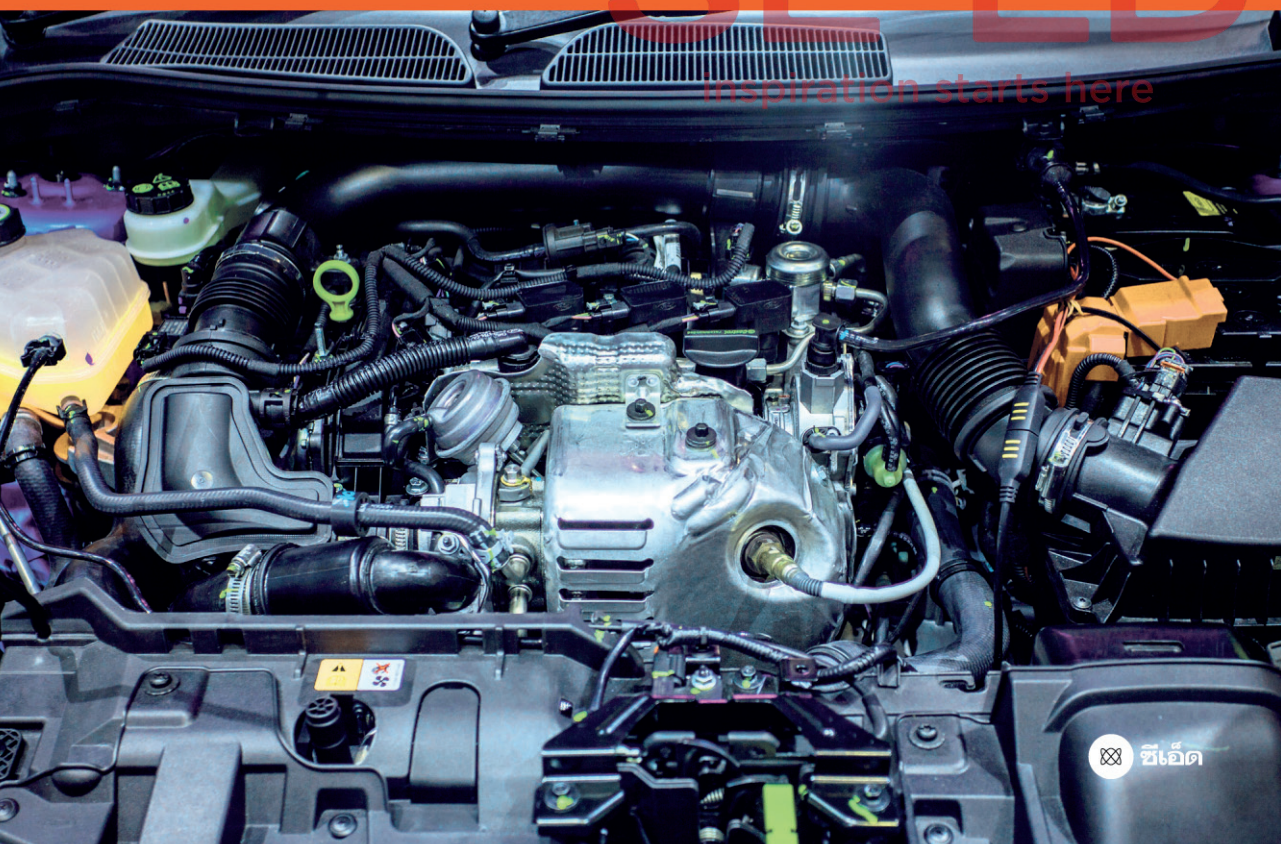


เครื่องยนต์ สันดาปภายใน

INTERNAL COMBUSTION ENGINE

อู่คำห์ จิรากร

เชื้อ บูบ่า



inspiration starts here

เครื่องยนตสันดาปภายใน

โดย อุตสาหกรรม จิรากร, เชื้อ ชูชา

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย © พ.ศ. 2553 โดย อุตสาหกรรม จิรากร และ เชื้อ ชูชา
ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ทำซ้ำ จัดพิมพ์ หรือกระทำการใด โดยวิธีการใดๆ ในรูปแบบใดๆ
ไม่ว่าส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ในสื่อทุกประเภท หรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ
นอกจากจะได้รับอนุญาต

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

อุตสาหกรรม จิรากร.

เครื่องยนตสันดาปภายใน. - - กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2553.

408 หน้า.

1. เครื่องยนตสันดาปภายใน.

I. เชื้อ ชูชา, ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.

621.43

Barcode (e-book) 9786160842803

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย



บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

เลขที่ 1858/87-90 ถนนเทพรัตน แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

โทรศัพท์ 0-2826-8000

หากมีคำแนะนำหรือติชม สามารถติดต่อได้ที่ comment@se-ed.com

SE-ED
inspiration starts here

คำนำ

วิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) หรือเรียกสั้นๆ ว่า I.C.E. เป็นวิชาที่สำคัญมากวิชาหนึ่งทางด้านวิศวกรรม และเป็นวิชาที่เข้าใจค่อนข้างยากสำหรับผู้เพิ่งเริ่มเรียนหรือศึกษาเป็นครั้งแรก ทั้งนี้เป็นเพราะเนื้อหาและศัพท์ทางเทคนิคค่อนข้างแปลกและใหม่ต่อนักศึกษาโดยทั่วไป ทำให้การอ่านและการทำความเข้าใจทำได้ยาก เป็นสาเหตุให้เกิดความเบื่อหน่ายและรู้สึกท้อถอย ประกอบกับตำราที่เกี่ยวข้องกับวิชา I.C.E. นี้ส่วนมากมักจะเป็นภาษาต่างประเทศ ทำให้มีปัญหาหลายด้าน เช่น ราคาแพง ไม่เหมาะกับค่าใช้จ่ายของนักศึกษา ดังนั้นสิ่งต่างๆ ที่ได้กล่าวข้างต้นจึงเป็นอุปสรรคในการเรียนและการสอนเป็นอย่างมาก

หนังสือเล่มนี้จึงเขียนขึ้นเพื่อขจัดอุปสรรคดังกล่าวให้น้อยลงเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้เป็นประโยชน์แก่นักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป สำหรับแนวการเขียนได้พยายามอย่างมากที่จะให้ผู้อ่านเข้าใจได้ด้วยตนเอง ดังจะเห็นว่าผู้เขียนได้พยายามยกสูตรมากล่าวอ้างซ้ำๆ อยู่เสมอในตอนต้นๆ ทั้งนี้ด้วยจุดประสงค์เพื่อให้ผู้อ่านทำความเข้าใจได้ดีขึ้นนั่นเอง จึงเหมาะที่จะใช้อ่านประกอบการเรียนทั้งในระดับ ปวส. และปริญญาตรี

และเล่มนี้เป็นฉบับที่ได้ปรับปรุงแล้ว ภายในเล่มนอกจากจะกล่าวถึงเครื่องยนต์ประเภทต่างๆ เทอร์โมไดนามิกส์ วัฏจักรซึ่งใช้อากาศเป็นตัวทำงาน วัฏจักรที่แท้จริง และคาร์บูเรชัน อันเป็นเนื้อหาที่มีอยู่เดิมแล้ว ยังได้เพิ่มเติมเนื้อหาที่สำคัญอีก 2 บทคือ การทดสอบเครื่องยนต์ และเครื่องยนต์กังหันแก๊ส ซึ่งอยู่ในบทที่ 7 และ 8 ตามลำดับ นอกจากนั้นในแต่ละบทจะมีแบบฝึกหัดท้ายบท เพื่อเป็นการทบทวนความรู้ให้กับผู้อ่านอีกด้วย

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะมีส่วนช่วยในการเสริมสร้างความเจริญทางด้านวิชาการ และมีส่วนร่วมในการพัฒนาประเทศ ความดีของหนังสือเล่มนี้ขอมอบให้แก่บุพการีและครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิทยาการทั้งหลายให้แก่ผู้เขียนทั้งสอง และขอขอบคุณบริษัท ซีอีเอดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

อดส่าห์ จิรากร

เชื้อ ชูข่า

SE-ED
inspiration starts here

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ.....	9
1.1 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์.....	10
1.2 ประเภทเครื่องยนต์.....	11
1.3 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน.....	13
1.4 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 2 จังหวะ.....	14
1.5 เครื่องยนต์ดีเซล.....	15
1.6 การวัดกำลังของเครื่องยนต์.....	15
1.7 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์.....	17
1.8 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง.....	21
แบบฝึกหัด.....	23
บทที่ 2 เทอร์โบไดนามิคส์	25
2.1 รูปแบบของพลังงาน.....	25
2.2 พลังงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน.....	26
2.3 กระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์.....	27
2.4 สมการพลังงานของกระบวนการที่ไหลสม่ำเสมอ.....	28
2.5 สมการพลังงานของกระบวนการที่ไม่มีการไหล.....	30
แบบฝึกหัด.....	35
บทที่ 3 วัฏจักรซึ่งใช้อากาศเป็นตัวทำงาน.....	37
3.1 ประสิทธิภาพความร้อนของวัฏจักร.....	38
3.2 วัฏจักรคาร์โนต์.....	38

3.3 วัฏจักรออตโต	47
3.4 วัฏจักรดีเซล	64
3.5 วัฏจักรรวม	79
แบบฝึกหัด	125
บทที่ 4 วัฏจักรที่แท้จริง	127
แบบฝึกหัด	139
บทที่ 5 การเผาไหม้	141
5.1 การหาค่าส่วนประกอบของเชื้อเพลิงหรือแก๊สจากการเผาไหม้โดยปริมาตร จากค่าที่กำหนดให้โดยน้ำหนัก	150
5.2 การหาค่าส่วนประกอบของเชื้อเพลิงหรือแก๊สจากการเผาไหม้โดยน้ำหนักจากค่า ที่กำหนดให้โดยปริมาตร	156
5.3 น้ำหนักของไอเสียต่อเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัมที่เผาไหม้	157
แบบฝึกหัด	169
บทที่ 6 คาร์บูเรชัน	171
6.1 อัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิง	171
6.2 ชนิดของคาร์บูเรเตอร์	174
6.3 ผลของความสูง	196
แบบฝึกหัด	206
บทที่ 7 การทดสอบเครื่องยนต์	207
7.1 ประเภทของการทดสอบ	207
7.2 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในการทดสอบ	208
7.3 การวัดหาแรงม้าอินดิเคต	209
7.4 เครื่องวัดอินดิเคเตอร์ทางกล	209
7.5 การคำนวณงานจากแผนภาพอินดิเคเตอร์	211
7.6 การคำนวณหาแรงม้าอินดิเคต	213
7.7 ชุดแสดงอินดิเคเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์	214
7.8 Pumping Loop	215
7.9 การทดสอบแบบมอร์ส	217

SE-ED
inspiration starts here

7.10 การทดสอบแบบมอเตอร์	219
7.11 การวัดแรงม้าเบรก	220
7.12 การหาค่าแรงม้าเบรก	224
7.13 ประสิทธิภาพเชิงกล	225
7.14 ความดันเฉลี่ยอินดิเคต	225
7.15 การวัดปริมาณเชื้อเพลิง	229
7.16 การวัดความร้อนที่ถูกพาออกไปโดยไอเสีย	235
7.17 สมดุลความร้อน (Heat Balance)	236
แบบฝึกหัด	265
บทที่ 8 เครื่องยนต์กังหันแก๊ส.....	271
8.1 วัฏจักรเบรย์ตัน (Brayton Cycle)	273
8.2 วัฏจักรทางทฤษฎี	274
8.3 วัฏจักรที่แท้จริง	287
แบบฝึกหัด	394
เฉลยแบบฝึกหัด.....	399
บรรณานุกรม	403

SE-ED

inspiration starts here

SE-ED

inspiration starts here

บทที่

1

บทนำ

พลังงานของเครื่องยนต์หรือเครื่องจักร ซึ่งได้มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานกล เราเรียกว่า *เครื่องยนต์ความร้อน (Heat Engine)* แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก (External Combustion Engines)

ในกรณีนี้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้อยู่ภายนอกกระบอกลูกสูบ เช่น ในกรณีของเครื่องจักรไอน้ำ ซึ่งความร้อนจากการเผาไหม้ไปทำให้เกิดไอน้ำเพื่อใช้ดันลูกสูบภายในกระบอกลูกสูบ หรือตัวอย่างอื่นๆ ได้แก่ เครื่องยนต์อากาศร้อน (Hot Air Engine), เครื่องยนต์กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์แบบวัฏจักรปิด (Closed Cycle Gas Turbine)

โดยทั่วๆ ไปแล้วเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอกจะใช้ในรถไฟสมัยก่อน เรือ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (Internal Combustion Engines)

ในกรณีนี้เชื้อเพลิงและออกซิเจนจากอากาศเกิดการเผาไหม้ภายในกระบอกลูกสูบ ได้แก่ เครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนใช้ส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศผสมกันก่อน แล้วจึงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลต้องอัดอากาศให้ร้อนแล้วจึงฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปเผาไหม้

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในส่วนมากจะใช้ในยานยนต์ เครื่องบิน รถไฟในปัจจุบัน และในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหลาย

ข้อดีของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอกคือ

1. เนื่องจากมีการเผาไหม้ภายนอก จึงสามารถใช้เชื้อเพลิงราคาถูกได้ หรือแม้แต่เชื้อเพลิงแข็งก็สามารถใช้ได้
2. แรงบิดในขณะเริ่มใช้งานสูงกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน
3. สามารถเริ่มหมุนทำงานได้ด้วยตัวของมันเอง เช่น ในกรณีไอน้ำไปดันลูกสูบหรือใบพัดโดยตรง แต่สำหรับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในแล้ว ต้องใช้อุปกรณ์ประกอบเพิ่มสำหรับช่วยสตาร์ท เช่น สตาร์ทเตอร์ เป็นต้น
4. ง่ายแก่การติดตั้ง

ข้อดีของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก มีดังนี้

1. มีประสิทธิภาพรวม (Overall Efficiency) สูงกว่า
2. กลไกประกอบต่างๆ ง่ายกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก
3. ติดเครื่องง่ายในสภาพที่อากาศเย็น
4. น้ำหนักต่อแรงม้า น้อย
5. ราคาเครื่องที่ต้องลงทุนในครั้งแรกต่ำ
6. กะทัดรัด (Compact) ทำให้ไม่เปลืองเนื้อที่ในการติดตั้ง

SE-ED
inspiration starts here

ข้อดีดังกล่าวทำให้เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน มีบทบาทสำคัญในงานขนส่งทางบกเป็นพิเศษ จะเห็นว่าจากเครื่องยนต์เครื่องจักรทั้งหมด 90 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นกำลังงานที่ได้มาจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน เนื่องจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในมีขนาดเล็กกว่า และมีมากมายหลายขนาด ดังนั้นการใช้งานจึงถูกเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม

1.1 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์จะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- กระบอกสูบ (Cylinder)
- เสือสูบ (Cylinder Block)
- ฝาสูบ (Cylinder Head)
- ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสีย (Inlet and Exhaust Valves)

- ช่องทางและท่อทาง (Port and Manifolds)
- เฟลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft)
- ก้านสูบ (Connecting Rod)
- อ่างเครื่อง (Crankcase)

ฯลฯ

นอกจากนี้ยังมีศัพท์เทคนิคที่สำคัญจำเป็นต้องรู้อย่างนี้

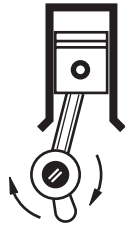
- ความโตกระบอกสูบ (Bore) คือความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบ
- ระยะเวลา (Stroke) คือระยะที่ลูกสูบเคลื่อนที่กลับไปกลับมาภายในกระบอกสูบ
- จุดสูงสุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ไปถึง (Top Dead Center) ในกรณีวางลูกสูบในแนวนอน จุดนี้เรียกว่า (Inner Dead Center)
- จุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาต่ำสุด (Bottom Dead Center) ในกรณีวางลูกสูบในแนวนอน จุดนี้เรียกว่า (Outer Dead Center)
- ปริมาตรห้องเผาไหม้ (Clearance Volume) คือปริมาตรภายในกระบอกสูบในขณะที่ลูกสูบอยู่จุดสูงสุด
- ปริมาตรระยะชัก (Swept Volume หรือ Piston Displacement) คือปริมาตรที่อยู่ระหว่างจุดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ไปมา
- ปริมาตรรวม (Total Cylinder Volume) คือปริมาตรระยะชัก + ปริมาตรห้องเผาไหม้
- อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) คืออัตราส่วนของปริมาตรรวมต่อปริมาตรเมื่อลูกสูบอยู่ที่จุดสูงสุด หรือแสดงได้ดังนี้คือ

$$\text{อัตราส่วนการอัด} = \frac{\text{ปริมาตรรวม}}{\text{ปริมาตรห้องเผาไหม้}}$$

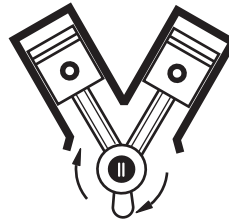
1.2 ประเภทเครื่องยนต์

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในแบ่งประเภทเครื่องยนต์โดยดูจากการจัดกระบอกสูบดังนี้

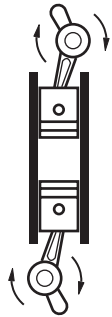
แบบเรียงแถว (In – line Arrangement) ทุกๆ กระบอกสูบจัดวางเรียงกันไปเป็นแนวเดียวกัน ส่งกำลังผ่านเพลาคอเหวี่ยงอันเดียวกัน อาจจะมีจำนวนกระบอกสูบมากถึง 16 กระบอกสูบ



(ก) กระบอกสูบแบบเรียงแถว



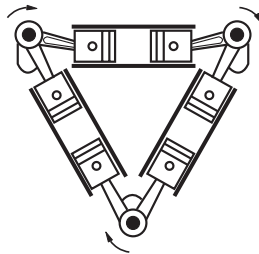
(ข) กระบอกสูบแบบตัววี



(ค) กระบอกสูบแบบลูกสูบตรงกันข้าม



(ง) กระบอกสูบแบบดาว



(จ) กระบอกสูบสามเหลี่ยม



(ฉ) กระบอกสูบตรงข้าม

รูปที่ 1.1 ประเภทของกระบอกสูบ

แบบตัววี (V – type) แบบนี้ความยาวของเพลาช้อเหวี่ยงสามารถลดลงได้เกือบครึ่งหนึ่ง ลักษณะการสร้างโดยการนำเครื่องยนต์แบบเรียงแถว 2 ชุด มาทำมุมกันเป็นรูปตัววี โดยมุมที่ทำมีตั้งแต่ 30° – 75°

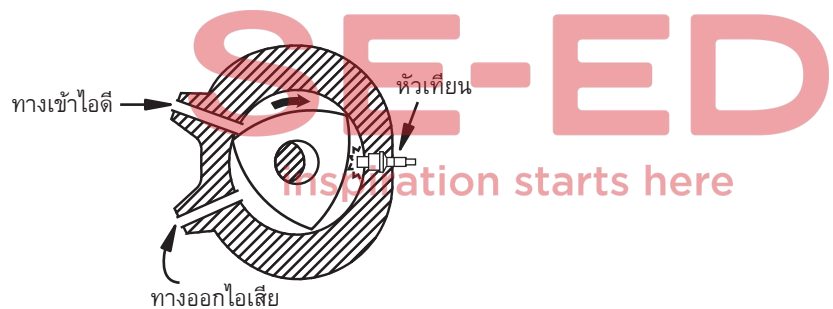
แบบลูกสูบตรงกันข้าม (Opposed Piston Engines) แบบนี้กระบอกสูบ 2 สูบหรือมากกว่ามาจัดวางตรงกันข้ามกัน

แบบดาว (Radial Engine) จัดกระบอกสูบเป็นวงกลมโดยรอบ

แบบสามเหลี่ยม จัดสร้างโดยใช้กระบอกสูบแบบลูกสูบตรงกันข้าม 3 ชุด ซึ่งวางเป็นรูปสามเหลี่ยม

แบบกระบอกสูบตรงข้าม (Opposed Cylinder) แบบนี้สร้างคล้ายกับตัววี แต่มุมที่กระทำเป็น 180° ดังนั้นกระบอกสูบจะอยู่ตรงข้ามกัน

แบบแวนเคิล (Wankel) หรือเครื่องยนต์โรตารี หรือเครื่องยนต์แบบลูกสูบหมุน (Rotary Engine) โดยมีโรเตอร์เป็นรูปสามเหลี่ยมหมุนอยู่ภายในห้องสูบ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 เครื่องยนต์โรตารีหรือเครื่องยนต์แบบลูกสูบหมุน

1.3 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน

ออตโตซึ่งเป็นชาวเยอรมันได้เป็นผู้วางหลักการของวัฏจักรนี้ จึงได้ชื่อภายหลังว่า *วัฏจักรออตโต (Otto Cycle)*

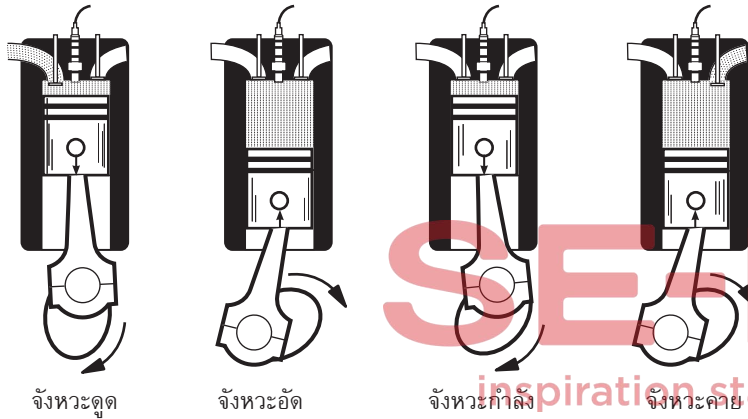
เครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Sparking Ignition Engine or Gassoline Engine) มีทั้งแบบ 2 จังหวะ และ 4 จังหวะ แต่ส่วนมากมักเป็นแบบ 4 จังหวะ ซึ่งประกอบด้วยจังหวะต่างๆ ดังต่อไปนี้

จังหวะดูด (Suction Stroke) ลูกสูบเลื่อนลง ลิ้นไอดีเปิด ดูดเอาส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศเข้ากระบอกสูบ

จังหวะอัด (Compression Stroke) ลิ้นไอดีและไอเสียปิด ลูกสูบเลื่อนขึ้นโดยอัดส่วนผสมในกระบอกสูบ

จังหวะกำลังหรือจังหวะระเบิด (Power Stroke or Expansion Stroke) เมื่อลูกสูบอัดสุดแล้ว ส่วนผสมภายในจะถูกจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่หัวเทียน เมื่อส่วนผสมลุกไหม้ก็จะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง และส่งกำลังไปใช้งาน

จังหวะคาย (Exhaust Stroke) ลิ้นไอเสียเปิด

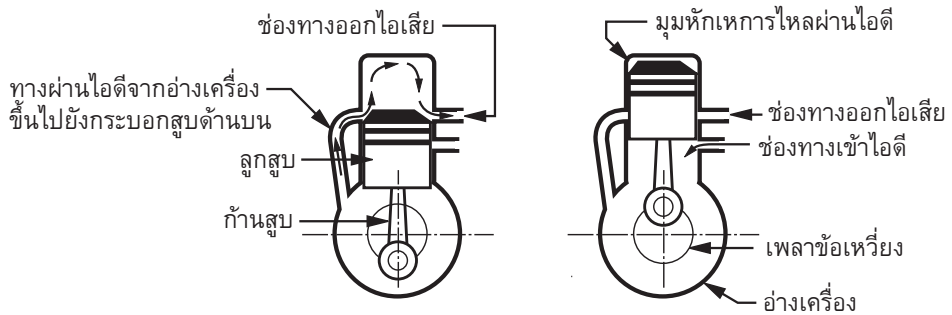


รูปที่ 1.3 จังหวะต่างๆ ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

1.4 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 2 จังหวะ

เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 2 จังหวะ เพลาค้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบจะได้กำลังงาน 1 ครั้ง ซึ่งต่างกับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ที่ต้องหมุนเพลาค้อเหวี่ยง 2 รอบ จึงจะได้กำลังงาน 1 ครั้ง เครื่องยนต์ 2 จังหวะจะไม่มีจังหวะดูดและจังหวะคาย แต่จะมีกลไกมาทำหน้าที่แทน เรียกว่า *Scavenging Pump*

การทำงานเมื่อลูกสูบเปิดช่องไอดี (Inlet Port) ส่วนผสมจะถูกดูดเข้าไปในอ่างเครื่อง (Crank Case) เมื่อลูกสูบเลื่อนลงจะอัดอากาศในอ่างเครื่องขึ้นไปยังหัวสูบ ในขณะเดียวกัน ด้านหัวสูบก็จะเป็นจังหวะกำลัง ส่วนผสมภายในหัวสูบจะถูกอัดเมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้น พร้อมกับทางห้องอ่างเครื่องก็จะเป็นจังหวะดูดใหม่ การทำงานจะเป็นเช่นนี้ไปตลอด ซึ่งทำให้เกิดจังหวะกำลังทุกรอบที่เพลาค้อเหวี่ยงหมุนไป



รูปที่ 1.4 เครื่องยนต์ 2 จังหวะ

1.5 เครื่องยนต์ดีเซล

รูดอล์ฟ ดีเซล นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ได้เป็นผู้วางหลักการของวัฏจักรนี้ และเรียกกันต่อมาว่า *วัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle)* การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล (Compression Ignition Engine or Diesel Engine) จะทำงานที่กำลั้งดันสูงกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน และใช้เชื้อเพลิงที่หนักกว่า เครื่องยนต์ดีเซลมีทั้ง 2 จังหวะและ 4 จังหวะ เช่นเดียวกับกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนคือ มีจังหวะดังนี้

1. จังหวะดูด
2. จังหวะอัด
3. จังหวะระเบิด
4. จังหวะคาย

แต่ในจังหวะดูดจะดูดเฉพาะอากาศเข้าไป และในจังหวะอัดจะอัดอากาศด้วยอัตราส่วนการอัดตัวที่สูงกว่า จนสามารถที่จะให้ความร้อนพอที่จะจุดระเบิดเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้ามาในกระบอกสูบได้

1.6 การวัดกำลังของเครื่องยนต์

การคำนวณหากำลังม้าของเครื่องยนต์จะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

แรงม้าอินดิเคต คือกำลังงานที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ ซึ่งในขั้นแรกเป็นการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล เรียกว่า *แรงม้าอินดิเคต (Indicated Horse Power หรือ IHP)* ทั้งนี้เรียกโดยความหมายจากการใช้เครื่องมือที่แสดงถึงงานที่ได้ภายในกระบอกสูบโดยแผนภาพ P-V

ดังนั้น IHP ของเครื่องยนต์จึงหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{IHP} = \frac{W_a \times (\text{Indicated Net-Work})}{4,500} \quad \dots (1.1)$$

โดยที่ W_a คือน้ำหนักของอากาศที่ไหลผ่านเข้าเครื่อง มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อนาที (kg/min)

Indicated Net-Work คืองานที่กระทำ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม·เมตร (kg·m)

ตัวอย่างที่ 1.1 เครื่องยนต์ 4 จังหวะเครื่องหนึ่ง มีอากาศไหลผ่านเข้ากระบอกสูบด้วยอัตรา 0.5 kg/min งานที่ได้จากแผนภาพ P-V คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 20 kg·m/cyc ถ้าเครื่องยนต์นี้หมุน 6,000 rpm จงคำนวณหาแรงม้าอินดิเคตของเครื่องยนต์นี้

วิธีทำ คำนวณหาค่า IHP ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{IHP} &= \frac{W_a \times (\text{Indicated Net-Work})}{4,500} \\ &= \frac{0.5 \text{ kg/min} \times 20 \text{ kg} \cdot \text{m} \times (6,000/2) \text{ rpm}}{4,500} \end{aligned}$$

∴ ค่าแรงม้าอินดิเคตของเครื่องยนต์เท่ากับ 6.67 hp

หมายเหตุ : (1) งานที่ได้จากแผนภาพ P-V มีค่าเท่ากับ 20 kg·m/cyc จะได้กล่าวต่อไป

(2) 6,000/2 ที่ต้องหารด้วย 2 เป็นเพราะเครื่องยนต์ 4 จังหวะ เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ ได้จังหวะงาน 1 ครั้ง

แรงม้าความฝืด คือกำลังงานที่ส่งให้กับลูกสูบผ่านไปขับเคลื่อนเพลลาโดยก้านสูบ เมื่อผ่านเพลลาข้อเหวี่ยงจะมีกำลังงานสูญเสีย เนื่องจากผิวสัมผัสของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ กำลังที่สูญเสียทั้งหมดนี้เรียกว่า **แรงม้าความฝืด (Friction Horse Power; FHP)**

แรงม้าเบรก คือกำลังงานจากเครื่องยนต์ทั้งหมดหรือ IHP ลบด้วยกำลังงานที่สูญเสียออกหรือ FHP ที่เหลือจะเป็นกำลังงานไปใช้งาน ซึ่งก็คือ **แรงม้าเบรก (Brake Horse Power; BHP)** และจะหาแรงม้าเบรกได้จากสมการ

$$\text{BHP} = \text{IHP} - \text{FHP} \quad \dots (1.2)$$

1.7 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์คือ เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการสันดาปกับพลังงานกลที่ได้นำไปใช้ประโยชน์ โดยแบ่งประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้ดังนี้

ประสิทธิภาพทางกล (Mechanical Efficiency)

ประสิทธิภาพทางกลคือ อัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่ได้กับกำลังงานที่ให้ ซึ่งกำลังงานที่ได้คือ BHP และกำลังงานที่ให้คือ IHP ดังนั้น

$$\eta_{\text{mech}} = \frac{\text{BHP}}{\text{IHP}} \times 100 \quad (\text{มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์}) \quad \dots (1.3)$$

ตัวอย่างที่ 1.2 จงคำนวณหาประสิทธิภาพทางกลของเครื่องยนต์ ซึ่งกำลังทำงานที่ได้ (BHP) เท่ากับ 51 แรงม้าที่ความเร็วรอบ 1,000 rpm และต้องการ 17 hp เพื่อหมุนตัวเอง

วิธีทำ จากสมการ $\text{IHP} = \text{BHP} + \text{FHP}$

โดยที่ BHP = 51 hp, FHP = 17 hp

แทนค่า $\text{IHP} = 51 + 17$

$$= 68 \text{ hp}$$

$$\eta_{\text{mech}} = \frac{\text{BHP}}{\text{IHP}} \times 100$$

$$= \frac{51}{68} \times 100 = 75\%$$

∴ ประสิทธิภาพทางกลของเครื่องยนต์เท่ากับ 75%

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.3 จากตัวอย่างที่ 1.2 จงคำนวณหาประสิทธิภาพทางกล ถ้าเครื่องยนต์

(ก) ให้กำลัง BHP = 25.5 hp

(ข) ให้กำลัง BHP = 10 hp

วิธีทำ (ก) จากสมการ $\text{IHP} = \text{BHP} + \text{FHP}$

โดยที่ BHP = 25.5 hp, FHP = 17 hp

แทนค่า $\text{IHP} = 25.5 + 17$

$$= 42.5 \text{ hp}$$

$$\begin{aligned}\eta_{\text{mech}} &= \frac{25.5}{42.5} \times 100 \\ &= 60\%\end{aligned}$$

∴ ประสิทธิภาพทางกลเมื่อให้ BHP 25 hp จะมีค่าเท่ากับ 60%

ตอบ

(ข) จากสมการ $IHP = BHP + FHP$

โดยที่ BHP = 10 hp, FHP = 17 hp

แทนค่า $IHP = 10 + 17 = 27 \text{ hp}$

$$\eta_{\text{mech}} = \frac{10}{27} \times 100 = 37\%$$

∴ ประสิทธิภาพทางกลเมื่อให้ BHP 10 hp จะมีค่าเท่ากับ 37%

ตอบ

ประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal Efficiency)

พลังงานที่ให้กับเครื่องยนต์เป็นพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง พลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์จะอยู่ในรูปของพลังงานกล ประสิทธิภาพทางความร้อนก็เป็นอัตราส่วนระหว่างงานกลที่ได้ออกมากับพลังงานความร้อนที่ให้เข้าไปคือ

ประสิทธิภาพทางความร้อนบนฐานอินดิเคต (Indicated Thermal Efficiency) หรือ η_{it} จะได้

$$\eta_{it} = \frac{IHP}{\text{ความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง}} \quad \text{.....(1.4)}$$

ประสิทธิภาพทางความร้อนบนฐานเบรก (Brake Thermal Efficiency) หรือ η_{bt} จะได้

$$\eta_{bt} = \frac{BHP}{\text{ความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง}} \quad \text{.....(1.5)}$$

ตัวอย่างที่ 1.4 จงคำนวณหา η_{bt} ของเครื่องยนต์ ซึ่งสันเพลิงน้ำมัน 220 g/BHP·h ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงคือ 10,600 kcal/kg

วิธีทำ คำนวณหาค่า η_{bt} ได้จากสมการ

$$\eta_{it} = \frac{BHP}{\text{ความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง}}$$

โดยที่ความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง = $W_f C_v$

W_f คือน้ำหนักของเชื้อเพลิงทั้งหมดสิ้นไป มีหน่วยเป็น kg/h

C_v คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็น kcal/kg

$$\text{และความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง} = 0.220 \times 10,600 = 2,332 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ BHP} = 4,500 \text{ kg} \cdot \text{m/min} = 4,500 \times 60 \text{ kg} \cdot \text{m/h}$$

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$1 \text{ BHP} = \frac{4,500 \times 60}{427} = 632.32 \text{ kcal/h}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad \eta_{bt} &= \frac{632.32}{2,332} \times 100 \\ &= 27.11\% \end{aligned}$$

∴ ประสิทธิภาพความร้อนบนฐานเบรคมีค่าเท่ากับ 27.11%

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.5 จงคำนวณหา η_{bt} และ η_{it} ของเครื่องยนต์ ซึ่งให้ IHP 45 hp สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 13 l/h ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง 0.8 ประสิทธิภาพทางกลเท่ากับ 80% ค่าความร้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 10,000 kcal/kg

$$\text{วิธีทำ จากสมการ} \quad \eta_{it} = \frac{\text{IHP}}{\text{ความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง}}$$

โดยที่ IHP = 45 hp (เปลี่ยน IHP 45 hp ให้เป็นพลังงานความร้อน)

$$\begin{aligned} \text{IHP} &= \frac{45 \times 4,500 \times 60}{427} \\ &= 28,454.33 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง} &= W_f C_v \\ &= 13 \times 0.8 \times 10,000 \\ &= 104,000 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad \eta_{it} &= \frac{28,454.33}{104,000} \times 100 \\ &= 27.36\% \end{aligned}$$

∴ ประสิทธิภาพความร้อนบนฐานอินดิเคตเท่ากับ 27.36%

ตอบ

จากสมการ $\eta_{bt} = \frac{\text{BHP}}{\text{ความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง}}$

โดยที่ $\eta_{\text{mech}} = \frac{\text{BHP}}{\text{IHP}}$

$$\text{BHP} = \eta_{\text{mech}} \times \text{IHP}$$

$$= 0.8 \times 45$$

$$= 36 \text{ hp}$$

(เปลี่ยน BHP ให้เป็นพลังงานความร้อน)

$$\text{BHP} = \frac{36 \times 4,500 \times 60}{427}$$

$$= 22,763.47 \text{ kcal/h}$$

และความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง $= 13 \times 0.8 \times 10,000$

$$= 104,000 \text{ kcal/h}$$

แทนค่า $\eta_{bt} = \frac{22,763.47}{104,000} \times 100$

$$= 21.89\%$$

$\therefore$ ประสิทธิภาพความร้อนบนฐานเบรกเท่ากับ 21.89%

ตอบ

หมายเหตุ : $4,500 \text{ kg} \cdot \text{m/min} = 1 \text{ hp}$

$$427 \text{ kg} \cdot \text{m} = 1 \text{ kcal}$$

ตัวอย่างที่ 1.6 จงประมาณปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 15 BHP จะมีค่า η_{it} 28% และประสิทธิภาพทางกลหรือ η_{mech} 75% ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเท่ากับ 10,000 kcal/kg

วิธีทำ จากสมการ $\eta_{\text{mech}} = \frac{\eta_{bt}}{\eta_{it}}$

$$0.75 = \frac{\eta_{bt}}{0.28}$$

$$0.75 \times 0.28 = \eta_{bt}$$

จะได้ $\eta_{bt} = 0.21$

$$\eta_{bt} = \frac{\text{BHP}}{\text{ความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง}}$$

$$\text{ความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง} = \frac{\text{BHP}}{\eta_{bt}}$$

$$\text{ความร้อนที่ใช้ต่อชั่วโมง} = \frac{15 \times 4,500 \times 60}{0.21 \times 427} \text{ kcal/h}$$

$$\text{ค่าความร้อนเชื้อเพลิง} = 10,000 \text{ kcal/kg}$$

$$\text{การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง} = \frac{15 \times 4,500 \times 60}{0.21 \times 427 \times 10,000}$$

$$= 4.516 \text{ kg/h}$$

∴ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4.516 kg/h

ตอบ

1.8 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงนับว่าเป็นเรื่องสำคัญที่จะชี้ให้เห็นถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งได้แก่

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption)

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะคือ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยแรงม้า ต่อหนึ่งหน่วยเวลา แบ่งได้เป็น 2 อย่างดังนี้

1. ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบนฐานของแรงม้าเบรก (Brake Specific Fuel Consumption) หรือ BSFC

$$\text{BSFC} = \frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้}}{\text{BHP} \cdot \text{h}} \quad \dots(1.6)$$

2. ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบนฐานของแรงม้าอินดิเคต (Indicated Specific Fuel Consumption) หรือ ISFC

$$\text{ISFC} = \frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้}}{\text{IHP} \cdot \text{h}} \quad \dots(1.7)$$

ตัวอย่างที่ 1.7 จากตัวอย่างที่ 1.5 จงหา ISFC และ BSFC

$$\text{วิธีทำ จากสมการ ISFC} = \frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้}}{\text{IHP} \cdot \text{h}}$$

$$\text{โดยที่ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้} = 13 \times 0.8 = 10.4 \text{ kg/h}$$

$$\text{IHP} = 45 \text{ แรงม้า, BHP} = 36 \text{ hp}$$

$$\text{แทนค่า ISFC} = \frac{10.4}{45}$$

$$= 0.2311 \text{ kg/IHP} \cdot \text{h}$$

ตอบ

$$\text{จากสมการ BSFC} = \frac{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้}}{\text{BHP} \cdot \text{h}}$$

$$\text{แทนค่า BSFC} = \frac{10.4}{36}$$

$$= 0.288 \text{ kg/BHP} \cdot \text{h}$$

ตอบ

SE-ED
inspiration starts here

แบบฝึกหัด

1. จงอธิบายความแตกต่างของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และ 4 จังหวะ
2. จงอธิบายความแตกต่างของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซล
3. จงให้ความสัมพันธ์ของสมการของค่า η_{bt} กับ η_{mech}
4. ทำไมเครื่องยนต์ 2 จังหวะจึงให้กำลังมากกว่าเครื่องยนต์ 4 จังหวะ เมื่อขนาดของลูกสูบเท่ากัน และสภาพการทำงานต่างๆ อย่างเดียวกัน
5. เครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อน 10,000 kcal/kg มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก 30% จงคำนวณหาความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกในหน่วย g/BHP·h
6. เครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อน 10,500 kcal/kg และมีความถ่วงจำเพาะ 0.74 ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก 20% ขณะทำงานมีประสิทธิภาพเชิงกล 75% เครื่องยนต์สามารถผลิตแรงม้าเบรกได้ 50 BHP จงคำนวณหา
 - ก. ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นลิตร/ชั่วโมง
 - ข. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนอินดิเคต
7. เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ มีปริมาตรดูด 8,500 cm³ ทำการทดสอบที่ 300 rpm เมื่อเพิ่มภาระมีแรงบิดเกิดขึ้น 50 kg-m จากแผนภาพ P-V สามารถหาความดันเฉลี่ยได้ 100 kg/cm² จงคำนวณหา
 - ก. แรงม้าเบรก
 - ข. ประสิทธิภาพเชิงกล
8. เครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก 28% ถ้าใช้น้ำมันที่มีค่าความร้อน 10,000 kcal/kg จงคำนวณหาความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

SE-ED

inspiration starts here

2.1 รูปแบบของพลังงาน

พลังงานคือ ความสามารถในการทำงาน ถ้าเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรกำลังทำงาน แสดงว่ามันมีพลังงานอยู่ในตัวของมัน สำหรับงานคำนวณได้จากแรงคูณระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่

พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้ เช่น จากพลังงานกลเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งปกติมีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี

สังเกตว่าถ้าวัตถุ 2 ก้อนมีอุณหภูมิไม่เท่ากันวางสัมผัสกัน วัตถุที่ร้อนกว่าจะเย็นลง และวัตถุที่เย็นกว่าจะร้อนขึ้น ปริมาณความร้อนที่ลดลงกับปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะมีปริมาณเท่าๆ กัน และเช่นเดียวกับการทำงาน ถ้าในระบบอันหนึ่งใช้งานไป พลังงานก็จะลดไปเท่ากับงานที่อีกระบบหนึ่งได้รับ นั่นหมายถึง การถ่ายเทพลังงาน (Energy Transfer)

จากที่กล่าวมาวัตถุถ่ายเทพลังงานซึ่งกันและกัน อันแรกเสียพลังงาน อันที่สองได้รับพลังงาน แต่เราไม่เรียกว่าเป็นการทำงาน เราเรียกว่าการสะสมในรูปของพลังงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามันจะเก็บไว้ในรูปของพลังงานใด ซึ่งพลังงานต่างๆ ได้แก่

พลังงานศักย์

ถ้าวัตถุซึ่งมีน้ำหนัก W กิโลกรัม อยู่ในระยะความสูงเป็น Z เมตร จากจุดอ้างอิงวัตถุนั้นสามารถที่จะทำงานได้เท่ากับ WZ กิโลกรัม-เมตร นี่คือนิยามของพลังงานศักย์ (Potential Energy) และถ้าวัตถุยังอยู่สูงมากเท่าใด ก็จะมีพลังงานศักย์มากเท่านั้น

พลังงานจลน์

ถ้าวัตถุมีน้ำหนักเท่ากับ W กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v เมตร/วินาที มันจะทำงานเท่ากับ $Wv^2/2g$ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม-เมตร นี่คือ พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) และถ้าวัตถุเคลื่อนที่มากเท่าใด ก็จะมีพลังงานจลน์มากขึ้นตามไปด้วย

พลังงานภายใน

พลังงานภายในคือ พลังงานของแก๊สที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สนั้น สำหรับแก๊สสมบูรณ์ (คือแก๊สที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามกฎของบอยล์และชาร์ลในเรื่องความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ) พลังงานภายใน (Internal Energy) จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของมัน หรือพลังงานภายในมีค่าเป็น 0 ที่อุณหภูมิ 0 องศาสัมบูรณ์

พลังงานเคมี

พลังงานเคมีคือ พลังงานที่สะสมไว้ในอิเล็กตรอนและจากการจับตัวของโครงสร้างอะตอม ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอะตอมก็就会有เปลี่ยนแปลงพลังงาน นั้นหมายถึง พลังงานเคมี (Chemical Energy)

2.2 พลังงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

พลังงานที่จ่ายให้เครื่องยนต์ได้มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศในรูปของพลังงานเคมี ซึ่งเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงที่เผาไหม้เรียกว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ในกรณีที่ส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศถูกเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ อัตราส่วนผสมนี้เรียกว่า น้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อน้ำหนักของอากาศ (Fuel/Air Ratio) หรือโดยกลับกัน น้ำหนักอากาศต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง (Air/Fuel Ratio) จะได้สมการดังนี้

$$\text{อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ} = \frac{W_f}{W_a} \quad \dots(2.1)$$

โดยที่ W_f คือน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่หมดสิ้นไปต่อชั่วโมง

W_a คือน้ำหนักของอากาศที่หมดสิ้นไปต่อชั่วโมง

สำหรับค่าความร้อนที่ถ่ายเทไปกับไอเสีย ประมาณ 25 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ภายในกระบอกสูบ จะถูกพาออกไปกับแก๊สไอเสีย และเป็นความร้อนจำนวนมากที่สุดที่สูญเสียสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ส่วนค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับน้ำ

ที่หล่อเย็นประมาณ 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ของความร้อนทั้งหมด จะถูกพาไปกับน้ำหล่อเย็นหรืออากาศที่อยู่ภายนอกโดยรอบ สำหรับแรงต้านและความฝืดจากชั้นส่วนที่สัมผัสและเสียดสีกันนั้น บางส่วนของความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จะสูญเสียไป เนื่องจากเป็นกำลังงานเอาชนะความฝืดต่างๆ เหล่านั้น

ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เหลือจากที่กล่าวมาแล้วก็จะเป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้งานเพื่อเป็นกำลังงานในการทำงาน

อัตราส่วนของงานที่ได้นี้กับปริมาณความร้อนทั้งหมดจากเชื้อเพลิงก็คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์

2.3 กระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์

กระบวนการต่างๆ ทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องยนต์ภายในกระบอกสูบ ได้แก่

- กระบวนการความดันคงที่ (Constant Pressure Process)
- กระบวนการปริมาตรคงที่ (Constant Volume Process)
- กระบวนการไอเซนโทรปิกหรือกระบวนการแอดิเยแบติกแบบย้อนกลับได้ (Isentropic or Reversible Adiabatic Process)
- กระบวนการแอดิเยแบติกแบบย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible Adiabatic Process)
- กระบวนการโพลีโทรปิก (Polytropic Process)
- กระบวนการไอโซเทอร์มัล (Isothermal Process)

ในการทำงานของวัฏจักรจะประกอบด้วยกระบวนการใดบ้างก็แล้วแต่หลักการของวัฏจักรนั้นๆ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปนี้

กระบวนการย้อนกลับไม่ได้

กระบวนการย้อนกลับไม่ได้หมายถึง ในการทำงานของกระบวนการต่างๆ ถ้าเป็น *กระบวนการย้อนกลับไม่ได้ (Irreversible Process)* ก็หมายความว่า ในการทำงานของกระบวนการนั้นจะมีการสูญเสียเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากความฝืด หรือในการทำงานของกระบวนการนั้นจะต้องนำค่าของความฝืดที่มีมาคิดด้วย นั่นก็คือ งานที่ให้เข้าไปกับงานที่ได้ออกมามากับวัฏจักรนั้นจะมีค่าไม่เท่ากันถ้าเป็นกระบวนการย้อนกลับไม่ได้ โดยปกติงานที่ให้จะมากกว่างานที่ได้ และการเปลี่ยนรูป

ของพลังงานต่างๆ จากพลังงานชนิดหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกชนิดหนึ่งย่อมมีการสูญเสียพลังงานจำนวนหนึ่งเสมอ แม้แต่ในเครื่องจักรกลที่ใช้ก็มีการสูญเสียพลังงาน (Energy Loss) เช่นกัน ในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกล หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ไม่มีเครื่องจักรกลใดๆ ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งจะมีประสิทธิภาพเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์

สรุปก็คือ เครื่องจักรกลทุกชนิดจะทำงานอยู่ในกระบวนการย้อนกลับไม่ได้นั่นเอง

กระบวนการย้อนกลับได้

กระบวนการย้อนกลับได้หมายถึง กระบวนการซึ่งสมมติว่าในการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกล หรือจากพลังงานรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง ถ้าไม่คำนึงถึงการสูญเสียที่เกิดขึ้น หรือไม่มีการสูญเสียใดๆ เลย เราเรียกกระบวนการนี้ว่า *กระบวนการย้อนกลับได้ (Reversible Process)*

สรุปก็คือว่า ไม่มีเครื่องจักรกลใดๆ ที่จะทำงานอยู่ในกระบวนการย้อนกลับได้นั่นเอง

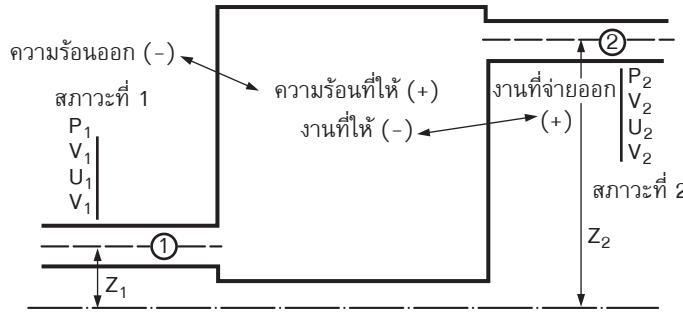
2.4 สมการพลังงานของกระบวนการที่ไหลสม่ำเสมอ

ในระบบซึ่งสารตัวกลางเป็นตัวทำงานไหลผ่านระบบในอัตราสม่ำเสมอ มีการถ่ายเทความร้อนและทำงานในวัฏจักรอย่างต่อเนื่อง เราจะถือว่าเป็นการทำงานในสภาพไหลสม่ำเสมอ เช่นการทำงานของแก๊สในเครื่องยนต์แก๊สเทอร์ไบน์ หรือการทำงานของไอน้ำในเครื่องยนต์กังหันไอน้ำ ซึ่งทั้งแก๊สและไอน้ำจะไหลผ่านเข้าไปยังชุดกังหันอย่างต่อเนื่องตลอดไป

สมการที่ใช้คำนวณการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการนี้จะแสดงได้ดังนี้

$$WZ_1 + \frac{Wv_1^2}{2g} + P_1 V_1 + U_1 + Q_{12} = WZ_2 + \frac{Wv_2^2}{2g} + P_2 V_2 + U_2 + W_s \quad \dots(2.2)$$

สำหรับค่าต่างๆ ในสูตรให้พิจารณาในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระบบที่มีการไหล

โดยที่ WZ_1 คือพลังงานศักย์ของสารตัวกลางที่ทำงาน ณ ตำแหน่งนั้น

$Wv^2/2g$ คือพลังงานจลน์ของสารตัวกลาง ณ ตำแหน่งที่เข้าและออกจากระบบที่ทำงาน

PV คือพลังงานไหล (Flow Energy) เป็นพลังงานซึ่งเกิดจากการไหลของสารตัวกลางที่ทำงาน ณ จุดเข้าและออกจากระบบ

U_1 คือพลังงานภายในของสารตัวกลางที่มีอยู่ภายในของสารตัวทำงานนั้น ปกติสารตัวกลางทุกชนิดจะมีพลังงานภายในอยู่ก่อนแล้ว เช่น เมื่อเรากล่าวถึงน้ำ 1 กรัม อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะคำนวณหาพลังงานภายในได้ดังนี้

$$\begin{aligned} U &= mC_v (T_2 - T_1) \\ &= 1 \times 1 \times (10 - 0) \\ &= 10 \text{ แคลอรี} \end{aligned}$$

Q_1 คือความร้อนหรือพลังงานความร้อน ซึ่งถ้ามีเครื่องหมายเป็นบวกหมายถึง ความร้อนที่เข้าไปในระบบ ถ้าเครื่องหมายเป็นลบหมายถึง เป็นความร้อนที่นำออกมาหรือส่งออกมาจากระบบ

W_s คืองานหรือพลังงานกล ซึ่งถ้ามีเครื่องหมายบวกหมายถึง เป็นงานที่ได้ ออกมาจากระบบ ถ้าเครื่องหมายลบหมายถึง งานที่ให้กับระบบ

ตัวห้อยหมายเลข 1 หมายถึงพลังงานด้านเข้า

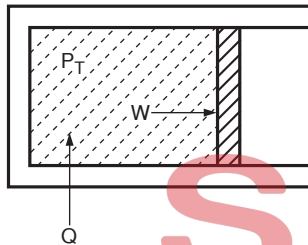
ตัวห้อยหมายเลข 2 หมายถึงพลังงานด้านออก

2.5 สมการพลังงานของกระบวนการที่ไม่มีการไหล

ในกรณีที่สารตัวทำงานไม่ได้ไหลผ่านเข้าออกจากระบบในขณะที่มีการถ่ายเทพลังงาน และเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล หรือพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อน เราจะเรียกว่า เป็นงานของกระบวนการที่ไม่มีการไหล เช่น การทำงานของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ในจังหวะระเบิด พลังงานความร้อนที่ได้จากการระเบิดนี้จะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานกลให้กับลูกสูบเครื่องยนต์ พิจารณาในรูปที่ 2.2

สมการที่ใช้คำนวณการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการนี้จะแสดงได้ดังนี้

$$U_1 + WZ_1 + \frac{Wv_1^2}{2g} + Q - W = U_2 + WZ_2 + \frac{Wv_2^2}{2g}$$



รูปที่ 2.2 ระบบไม่มีการไหล

โดยที่ U คือพลังงานภายใน

WZ/J และ $Wv^2/2g$ มีความหมายเช่นเดียวกันกับสมการที่แล้วมา คือพลังงานศักย์ และพลังงานจลน์ และในกรณีนี้ทั้งพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ ทั้งที่จุด 1 และจุด 2 จะมีค่าเท่ากัน

W คืองานที่ออกจากระบบ

เมื่อกล่าวถึงพลังงานภายในจะเห็นว่า ถ้าจะกล่าวถึงน้ำแล้ว ไม่ว่าน้ำจะมีอุณหภูมิใดๆ ที่เหนือกว่า 0 องศา น้ำจะมีพลังงานภายในอยู่ทั้งสิ้น เช่น กล่าวว่า น้ำ 1 กรัม อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะมีพลังงานภายใน 10 แคลอรี ดังนั้นถ้ากล่าวว่า น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส น้ำที่กล่าวถึงจะมีพลังงานภายใน 6 แคลอรี เป็นต้น และถ้าหากเราอยากรู้ว่าพลังงานภายในของน้ำดังกล่าวที่ 10 องศาเซลเซียส และ 6 องศาเซลเซียส จะมีพลังงานภายในต่างกันเท่าใด ก็สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$U_2 - U_1 = WC_v (T_2 - T_1) \quad \text{.....(2.3)}$$

ตัวอย่างที่ 2.1 น้ำ 10°C และ 6°C มีน้ำหนัก 1 g จะมีพลังงานภายในต่างกันเท่าใด

$$\text{วิธีทำ จากสมการ } U_2 - U_1 = WC_v (T_2 - T_1)$$

$$\text{แทนค่า} \quad = 1 \times 1 \times (10 - 6) = 4 \text{ cal}$$

ตอบ

งานที่กระทำ (W) เมื่อกล่าวถึงงาน เรามีสมการเกี่ยวข้องที่เคยทราบมาดังนี้

$$W = \text{แรง} \times \text{ระยะทาง}$$

ในลูกสูบเครื่องยนต์ แรงที่ดันหัวลูกสูบสามารถคำนวณได้จากความดันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้วาก็ที่โลกริมต่อตารางเซนติเมตร หากทราบว่าหัวลูกสูบมีพื้นที่หน้าตัดเท่าใด ก็สามารถคำนวณหาแรงที่ดันหัวลูกสูบได้จากสมการ

$$F = PA$$

โดยที่ F คือแรงที่ดันบนหัวลูกสูบ

P คือความดันที่เกิดจากการเผาไหม้

A คือพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ

แต่

$$W = FL$$

$$= PAL$$

โดยที่ L คือระยะทางที่หัวลูกสูบเลื่อนลง

AL คือปริมาตรของกระบอกสูบเคลื่อนที่

จะได้

$$PAL = PV$$

ถ้าปริมาตรไม่คงที่ในระหว่างเกิดการเผาไหม้ กล่าวคือ ถ้าปริมาตรคงที่แล้ว ลูกสูบจะไม่เคลื่อนที่ แต่ถ้าลูกสูบเคลื่อนที่ลงแล้ว ปริมาตรก็จะเปลี่ยนแปลง ซึ่งงานในกระบอกสูบสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$W = \int P dV$$

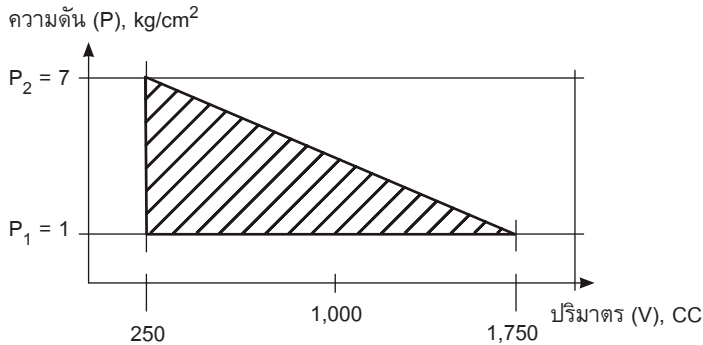
ซึ่งก็คือพื้นที่ภายใต้ส่วนโค้งของแผนภาพ P-V นั่นเอง ซึ่งจะได้กล่าวในตอนต่อไป หรือจะกล่าวย่อๆ พอเข้าใจดังนี้ ถ้าเราเขียนกราฟระหว่างแกน P และแกน V ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง P กับ V ในรูปก็ได้ดังนี้คือ

P_2 จะมีค่าประมาณ 7 kg/cm^2

P_1 จะมีค่าประมาณ 1 kg/cm^2

V_2 จะมีค่าประมาณ 250 cm^3

V_1 จะมีค่าประมาณ $1,750 \text{ cm}^3$



รูปที่ 2.3 แผนภาพ P-V

คำนวณหาพื้นที่ง่าย ๆ ได้โดยหาพื้นที่ดังกล่าวโดยประมาณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ของงาน} &= \frac{(1,750 - 250)(7 - 1)}{2} \text{ kg/cm}^2 \times \text{cm}^3 \\ &= 4,500 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

ค่า $4,500 \text{ kg} \cdot \text{cm}$ เป็นงานที่เกิดขึ้น แต่ในงานจริงๆ พื้นที่ที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นเส้นตรงจริงๆ แต่จะเป็นเส้นโค้ง การคำนวณหาพื้นที่จึงเป็นการคำนวณหาพื้นที่ใต้ส่วนโค้ง ซึ่งคำนวณหาได้ยากกว่า และวิธีการทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงจะหาได้ด้วยสมการของ $W = \int P \, dV$ นั่นเอง

หมายเหตุ : จากข้อความข้างต้น พื้นที่ 1 ตารางหน่วย = งาน $1 \text{ kg} \cdot \text{cm}$

ตัวอย่างที่ 2.2 เครื่องยนต์สูบเดียวมีลูกสูบโต 11.4 cm ระยะชัก 17.1 cm ความดันภายในกระบอกสูบเฉลี่ย 2.5 kg/cm^2 จงคำนวณหาพื้นที่ได้จากเครื่องยนต์นี้

วิธีทำ จะเห็นว่าเราสามารถที่จะใช้สูตร $W = PAL$ มาคำนวณหาพื้นที่ได้โดยประมาณดังนี้

$$\begin{aligned} W &= 2.5 \times \frac{\pi}{4} \times 11.4 \times 11.4 \times 17.1 \text{ kg/cm}^2 \times \text{cm}^3 \\ &= 4,364 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 2.3 ในกระบวนการซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ การทำงานเป็นไปตามสมการ $PV = C$ ถ้า $P_1 = 7 \text{ kg/cm}^2$ และ $V_1 = 250 \text{ cm}^3$ จงเขียนกราฟแสดงพื้นที่ของงานที่กระทำ ถ้าให้ความดันสุดท้ายเท่ากับ 1 kg/cm^2

วิธีทำ เขียนตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P และ V ได้ดังนี้

$P \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	$V \text{ (cm}^3\text{)}$	$PV = C \text{ (kg} \cdot \text{cm)}$
$P_1 = 7$	$V_1 = 250$	$P_1 V_1 = 1,750$
$P_2 = 6$	$V_2 = 291.8$	$P_2 V_2 = 1,750$
$P_3 = 5$	$V_3 = 350$	$P_3 V_3 = 1,750$
$P_4 = 4$	$V_4 = 437.5$	$P_4 V_4 = 1,750$
$P_5 = 3$	$V_5 = 583.3$	$P_5 V_5 = 1,750$
$P_6 = 2$	$V_6 = 875$	$P_6 V_6 = 1,750$
$P_7 = 1$	$V_7 = 1,750$	$P_7 V_7 = 1,750$

สามารถเขียนกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และหาพื้นที่ส่วนโค้งได้ดังนี้

จากสมการ $W = \int P dV$ inspiration starts here

โดยที่ $PV = C$; $P = \frac{C}{V}$

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่า} \quad W &= \int_{V_1}^{V_2} \frac{C}{V} dV \\
 &= C \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \\
 &= C \ln \frac{V_2}{V_1}
 \end{aligned}$$

เมื่อเป็นกระบวนการที่อุณหภูมิคงที่จะได้

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = C$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}$$

ดังนั้น

$$W = C \ln \frac{P_1}{P_2}$$

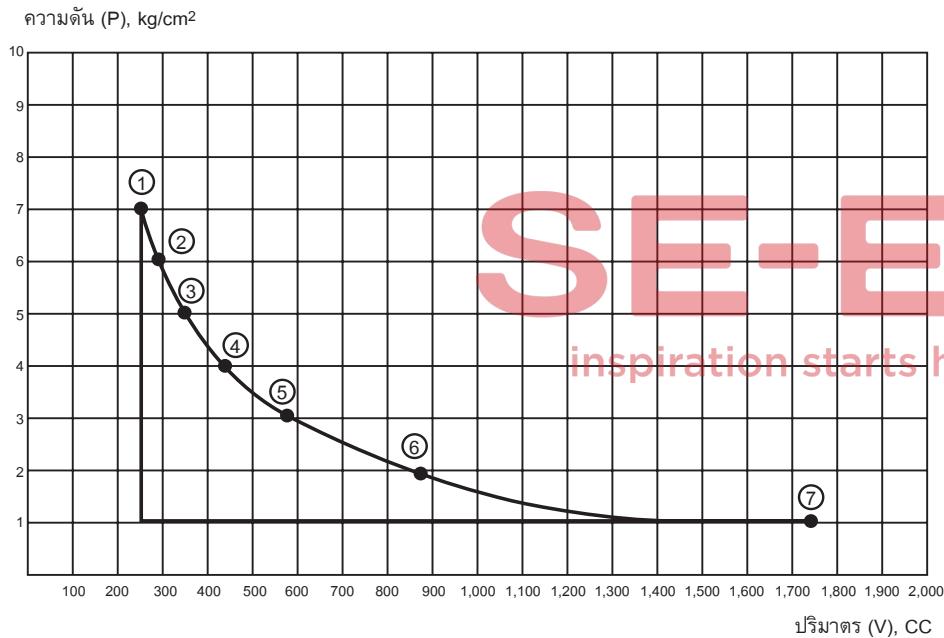
คำนวณหาพื้นที่ที่กระทำได้นี้

โดยที่ $C = 1,750$, $P_1 = 7 \text{ kg/cm}^2$ และ $P_2 = 1 \text{ kg/cm}^2$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า} \quad W &= 1,750 \times \ln \frac{7}{1} \\ &= 1,750 \times 1.945 \\ &= 3,409.23 \text{ kg} \cdot \text{cm}\end{aligned}$$

ตอบ

ซึ่งจะเป็นค่าของงานที่ถูกต้องตามความเป็นจริงมากที่สุด



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงพื้นที่ของงานที่กระทำ

จะเห็นว่ารูปจริงจะได้พื้นที่ใต้เส้นโค้ง ซึ่งเราไม่สามารถคำนวณหาพื้นที่ด้วยวิธีใช้สูตรหาพื้นที่ของสามเหลี่ยมได้ จึงต้องหาด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงกว่าคือ $W = \int P \, dV$ นั่นเอง ซึ่งจะหาพื้นที่ได้ถูกต้อง และพื้นที่ส่วนนี้หมายถึงงานที่กระทำ

แบบฝึกหัด

1. ถังน้ำกว้าง 2 m ยาว 3 m ลึก 2 m มีน้ำอยู่เต็มถัง อยากทราบว่าต้องใช้งานเท่าใดในการยกน้ำจำนวนนี้ขึ้นไปที่ยอดบันของถังน้ำ (ยกถึง)
2. คำว่า Air/Fuel Ratio หมายความว่าอย่างไร
3. ห้องประชุมมีผู้ชาย 650 คน ผู้หญิง 250 คน เด็ก 50 คน ปรากฏว่าเครื่องปรับอากาศเสีย และผู้ชายแต่ละคนถ่ายเทความร้อนออก 100 kcal/h ผู้หญิงแต่ละคนถ่ายเทความร้อนออก 85 kcal/h เด็กถ่ายเทความร้อนออก 65 kcal/h ถามว่าภายในเวลา 20 นาทีแรก พลังงานภายในของห้องจะเป็นเท่าใด

SE-ED
inspiration starts here

SE-ED

inspiration starts here

วัฏจักรซึ่งใช้อากาศ เป็นตัวทำงาน

ก่อนที่จะกล่าวถึงการทำงานของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ซึ่งใช้เชื้อเพลิงผสมกับอากาศในการทำงาน เรามาพิจารณาว่า ถ้าสมมติว่าเครื่องยนต์ใช้อากาศเป็นตัวทำงานแล้ว จะมีวัฏจักรเป็นอย่างไร ถ้าสงสัยว่าทำไมต้องใช้อากาศมาเป็นตัวทำงาน คำตอบก็คือ การใช้อากาศอย่างเดียวมาพิจารณาจะง่ายกว่า จึงขอให้พิจารณาดังต่อไปนี้ ก่อนอื่นเราจะต้องกำหนดก่อนว่า การใช้อากาศเป็นมาตรฐาน (Air Standard) นั้น จะมีข้อกำหนดอย่างไรบ้าง และจะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดดังนี้

- แก๊สที่ทำงานภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะต้องเป็น *อากาศสมบูรณ์* (Perfect Gas) คือแก๊สที่มีการเปลี่ยนแปลงตามกฎของบอยล์และชาลส์ และจะต้องมีค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สคงที่ (Constant Specific Heat)
- คุณสมบัติของแก๊สภายในกระบอกสูบจะมีค่าเช่นเดียวกับอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ยปกติ เช่น น้ำหนักโมเลกุลมีค่าเท่ากับ 29 และมีค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่เท่ากับ 0.170 กิโลแคลอรี/(กิโลกรัม) องศาเซลเซียส
- กระบวนการอัดและการขยายตัวต้องเป็นแอเดียแบติก (Adiabatic) คือไม่มีความร้อนผ่านเข้าออกจากกระบวนการ ($Q = 0$) และการทำงานต้องไม่คิดความเสียดด้วย
- วัฏจักรในการทำงานนี้ต้องทำงานแบบวัฏจักรปิด คำว่า *วัฏจักรปิด* หมายถึงสารตัวทำงานจะคงอยู่ภายในระบบตลอดเวลา ซึ่งต่างกับวัฏจักรเปิดคือ สารตัวทำงานจะถูกปล่อยทิ้งไป แล้วดูดสารทำงานเข้ามาใหม่

วัฏจักรการใช้อากาศเป็นมาตรฐาน (Air Standard Cycle) ที่เราจะนำมากล่าวในวัฏจักรเหล่านี้ได้แก่

1. วัฏจักรออตโต (Otto Cycle) ซึ่งมักจะเรียกกันว่า วัฏจักรปริมาตรคงที่ (Constant Volume Cycle) เหตุผลที่เรียกเช่นนี้จะได้กล่าวต่อไป
2. วัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle) ซึ่งมักจะเรียกกันว่า วัฏจักรความดันคงที่ (Constant Pressure Cycle) เหตุผลที่เรียกเช่นนี้จะได้กล่าวต่อไป
3. วัฏจักรรวม (Dual Cycle) ซึ่งจะรวมการทำงานของวัฏจักรออตโตและวัฏจักรดีเซลเข้าด้วยกัน

3.1 ประสิทธิภาพความร้อนของวัฏจักร

ในการหาสมรรถนะของวัฏจักร เครื่องยนต์จะได้รับความร้อนจำนวนหนึ่งในระหว่างการทำงาน และส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นงานใช้ประโยชน์ในการทำงาน ที่เหลือจะถูกทิ้งไปภายหลังที่ครบวัฏจักรของการทำงาน ดังนั้นงานที่กระทำกับลูกสูบในระหว่างวัฏจักรก็คือ ผลต่างของค่าความร้อนที่ส่งเข้าไปกับค่าความร้อนที่ถ่ายเทออกมา นั่นก็คือ

$$\begin{aligned} \text{งานที่ได้รับ (Work Done)} &= \text{ปริมาณความร้อนที่ได้รับ (Heat Supplied)} - \text{ปริมาณ} \\ &\quad \text{ความร้อนที่ระบายออก (Heat Rejected)} \\ \text{หรือ} \quad W &= Q_A - Q_R \quad \dots (3.1) \end{aligned}$$

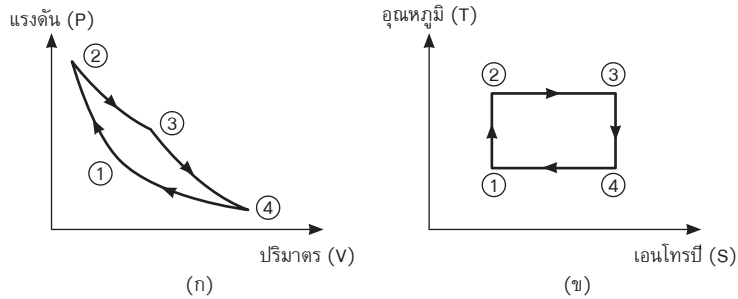
$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพความร้อนของวัฏจักร} &= \frac{\text{งานที่ได้รับ}}{\text{ปริมาณความร้อนที่ให้}} \\ \text{หรือ} \quad \eta &= \frac{Q_A - Q_R}{Q_A} \quad \dots (3.2) \end{aligned}$$

โดยที่ประสิทธิภาพความร้อนทางทฤษฎีของวัฏจักร (Theoretical Thermal Efficiency) ก็คือ η

3.2 วัฏจักรคาร์โนต์

คาร์โนต์เป็นผู้คิดวัฏจักรนี้ ซึ่งเราจำเป็นจะต้องศึกษาเพื่อดูแนวความคิดของวัฏจักรเครื่องยนต์สันดาปภายใน การใช้ในงานจริงๆ วัฏจักรนี้ไม่มีการนำไปใช้งาน จะมีใช้งานก็ใน วัฏจักรทวนของคาร์โนต์ (Reverse Carnot Cycle) ซึ่งได้แก่ กระบวนการของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ

ถ้ากล่าวถึงวัฏจักรของคาร์โนต์อย่างง่าย ๆ ก็จะประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วัฏจักรคาร์โนต์

จากรูปที่ 3.1 (ก) เป็นรูปแสดงถึงแผนภาพ P-V ของวัฏจักรคาร์โนต์ ส่วนรูปที่ 3.1 (ข) เป็นรูปแสดงแผนภาพ T-S ของวัฏจักรคาร์โนต์ และมีกระบวนการต่างๆ พิจารณารูปที่ 3.1 (ก) และ (ข) ดังต่อไปนี้

ตำแหน่งที่ ① ไป ② เป็นการอัดตัวแบบแอดิเอแบติก (ไม่มีความร้อนเข้าออก)

ตำแหน่งที่ ② ไป ③ ให้ความร้อนแบบไอโซเทอร์มัล (อุณหภูมิคงที่)

ตำแหน่งที่ ③ ไป ④ เป็นการขยายตัวแบบแอดิเอแบติก

ตำแหน่งที่ ④ ไป ① เป็นการคายความร้อนแบบไอโซเทอร์มัล

พื้นที่ในรูปที่ 3.1 (ก) แผนภาพ P-V จะเป็นงานที่ได้จากวัฏจักรคาร์โนต์ สำหรับพื้นที่ของรูปที่ 3.1 (ข) จะเป็นความร้อน (Q) ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้จะต้องมีค่าเท่ากัน แต่รูปที่ 3.1 (ก) จะอยู่ในรูปของพลังงานกล และรูปที่ 3.1 (ข) จะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน สมมติว่ารูป (ก) เป็นงานเท่ากับ 100 กิโลกรัม·เมตร รูป (ข) ก็จะหาพลังงานความร้อนได้เทียบเท่ากับงาน 100 กิโลกรัม·เมตร แต่เป็นงานในรูปของพลังงานความร้อน

เปรียบเทียบหน่วยของงานคือ กิโลกรัม·เมตรกับกิโลแคลอรี จากรูปที่ 3.1 (ก) และ (ข) จะได้ดังนี้

$$\text{งาน } 100 \text{ kg} \cdot \text{m} = \frac{100}{427} = 0.2342 \text{ kcal}$$

หมายเหตุ : 1 kcal = 427 kg·m

P คือความดัน (Pressure)

V คือปริมาตร (Volume)

T คืออุณหภูมิ (Temperature)

S คือเอนโทรปี (Entropy)

สำหรับหลักเบื้องต้นในการหาเอนโทรปี อธิบายได้ในตัวอย่างที่ 3.1

ตัวอย่างที่ 3.1 น้ำ 1 kg อุณหภูมิ 10 °C จะมีเอนโทรปีเท่าใด

$$\begin{aligned}
 \text{วิธีทำ} \quad Q &= mst \\
 &= 1 \times 1 \times 10 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 &= 10 \text{ kcal/kg} \cdot \text{K} \\
 \text{แต่} \quad S &= \frac{Q}{T} \\
 &= \frac{10}{10 + 273} \text{ kcal/kg} \cdot \text{K} \\
 &= \frac{10}{283} \\
 &= 0.00353 \text{ kcal/kg} \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

∴ เอนโทรปีมีค่าเท่ากับ 0.00353 kcal/kg·K

ตอบ

สำหรับวัฏจักรคาร์โนต์นี้ เราสามารถหาประสิทธิภาพได้ดังต่อไปนี้

$$\eta = \frac{Q_A - Q_R}{Q_A} \quad \dots (3.3)$$

เนื่องจากในตอนที่ให้ความร้อนเราให้ความร้อนในแบบไอโซเทอร์มัล จึงคำนวณหาความร้อนได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$Q_A = PV \ln \frac{V_3}{V_2}$$

สำหรับที่มาของสมการข้างต้น ศึกษารายละเอียดได้ดังต่อไปนี้ จากสมการ

$$W = PV$$

แต่เนื่องจาก V เปลี่ยนแปลง สมการจึงเปลี่ยน

$$dW = P dV$$

$$W \text{ (งานทั้งหมด)} = \int P dV$$

เราหาจากตำแหน่งที่ ② ไปถึงตำแหน่งที่ ③ จะได้สมการ

เครื่องยนต์สันดาปภายใน

INTERNAL COMBUSTION ENGINE

หนังสือเล่มนี้ ใช้สำหรับเป็นแบบเรียนในวิชา **เครื่องยนต์สันดาปภายใน** (Internal Combustion Engine หรือ I.C.E. ซึ่งเป็นวิชาที่สำคัญมากวิชาหนึ่งทางด้านวิศวกรรม เนื้อหาภายในได้เขียนอธิบายอย่างละเอียดเป็นขั้นตอน เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจและสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง โดยได้กล่าวเริ่มต้นตั้งแต่เครื่องยนต์ประเภทต่างๆ เทอร์โบไดนามิกส์ วัฏจักร ซึ่งใช้อากาศเป็นตัวทำงาน วัฏจักรที่แท้จริง คาร์บูเรชัน การทดสอบเครื่องยนต์ และเครื่องยนต์กังหันแก๊ส นอกจากนั้นในแต่ละบทจะมีแบบฝึกหัดท้ายบท เพื่อเป็นการทบทวนความรู้ให้กับผู้อ่าน หนังสือเล่มนี้จึงเหมาะที่จะใช้ศึกษาทั้งในระดับ ปวส. และปริญญาตรี

ประวัติผู้เขียน



อุตสาหกรรม จิรากร

สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปริญญาโททาง Mechanical Engineering (M.S.M.E.) จาก Oklahoma State University สหรัฐอเมริกา โดยเป็น Graduate Research Assistant ที่ภาควิชา Mechanical Eng. Dept. Oklahoma State University เคยได้รับทุนจาก USOM ให้ไปศึกษาทางด้านวิศวกรรมยานยนต์ที่ Wayne State University สหรัฐอเมริกาเป็นเวลา 1 ปี และทุนจาก UNIDO ให้ไปศึกษาทางด้านวิศวกรรมเครื่องกลที่ Techno-Economic Institute of Heavy Equipment สาธารณรัฐเช็ก เป็นเวลา 3 เดือน อดีตเคยเป็นอาจารย์และหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร)



เชื้อ ชูชา

สำเร็จการศึกษาศาสตรัศตวรรษอุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (ค.อ.บ. เครื่องกล) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (ไทย-เยอรมัน) และ การศึกษานิเทศ (กค.บ. ฟิสิกส์-คณิตศาสตร์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตบางเขน เคยได้รับการศึกษาดูงานเกี่ยวกับโลหะวิศวกรรม ณ ประเทศญี่ปุ่นเป็นเวลา 9 เดือน อดีตเคยเป็นอาจารย์ ประจำแผนกวิชาช่างยนต์ และหัวหน้าคณะวิชาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิครุงเทพฯ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ)



www.se-ed.com



sbc.fans

ISBN 978-616-08-4280-3



200 บาท

คู่มือเรียน-สอบ/อาชีพศึกษา-
เครื่องยนต์สันดาปภายใน