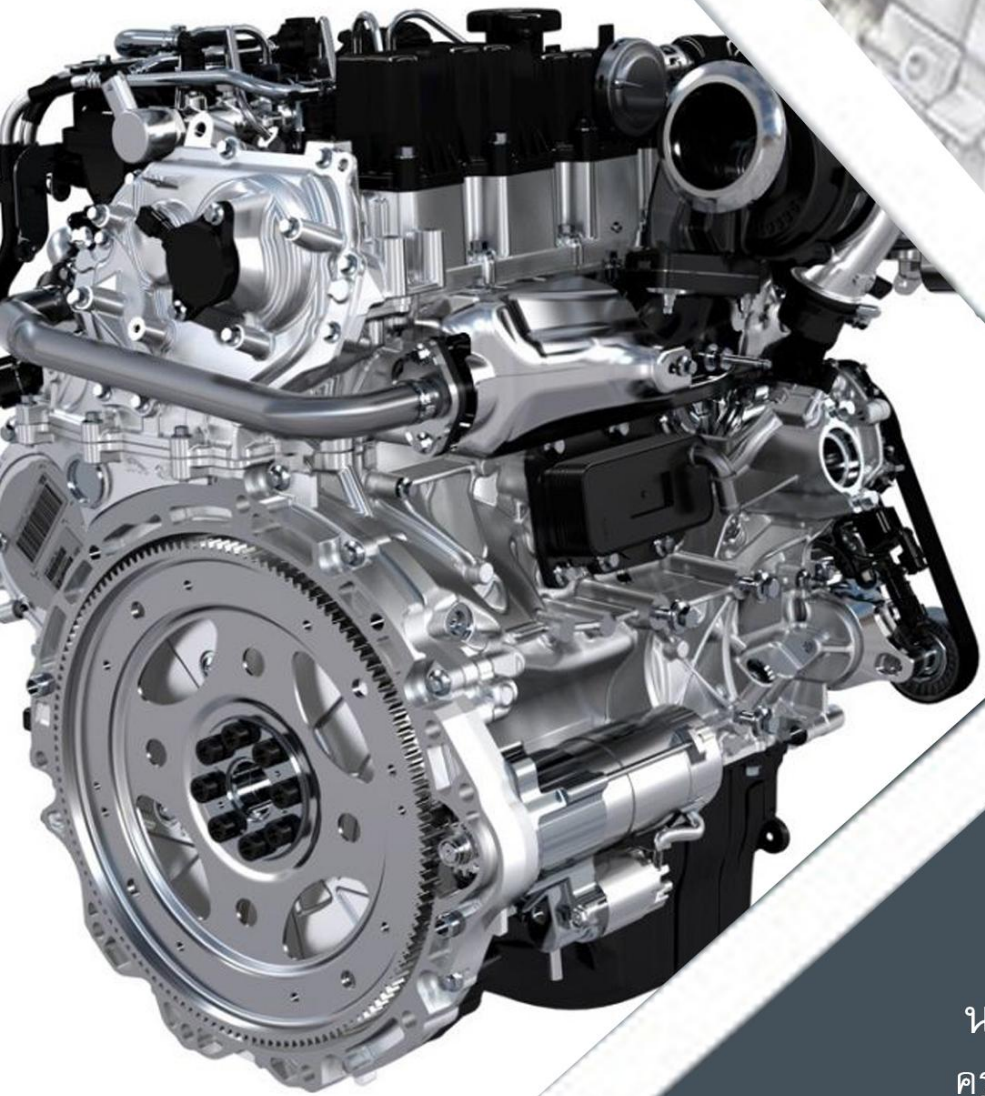
เอกสารประกอบการฝึกอบรม สาขาหลักการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะและ 4 จังหวะ



เรียบเรียงโดย

นายอภิชาติ ศรีมันตะ

ครูฝึกฝีมือแรงงานระดับ ช3

สำนักงานพัฒนาฝีมือแรงงานมุกดาหาร กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน

ผู้ออกแบบและพัฒนา

นายอภิชาติ ศรีมันตะ

ครูฝึกฝีมือแรงงาน ระดับ ช3

สำนักงานพัฒนาฝีมือแรงงานนุกดาหาร

หลักการทำงานของเครื่องยนต์

2 จังหวะและ 4 จังหวะ

พื้นฐานช่างยนต์

เครื่องยนต์แบบต่าง ๆ

เครื่องยนต์ 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ 2 จังหวะ

เครื่องยนต์ ไอน้ำ แบบลูกสูบ

เครื่องยนต์กังหันไอน้ำ

เครื่องยนต์กังหันแก๊ส

เครื่องยนต์จรวด

วีดิทัศน์

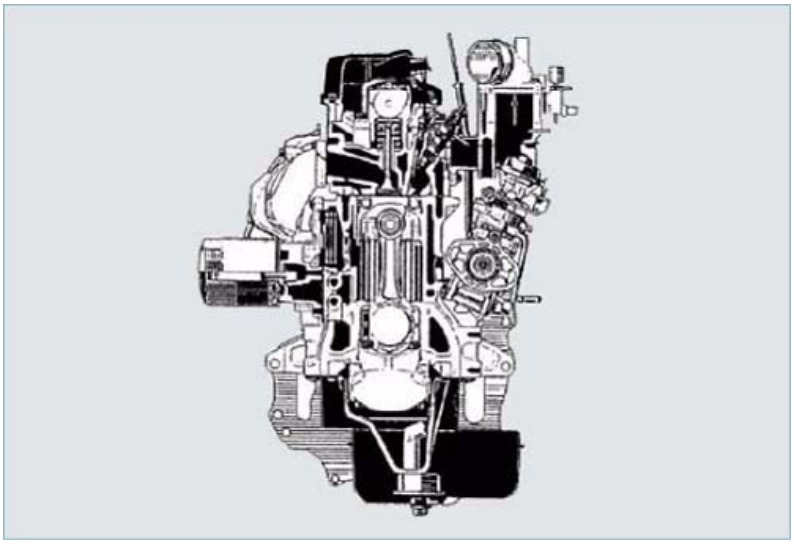
การทำงานของเครื่องยนต์ในแบบต่างๆ

หลักการทำงานเครื่องยนต์ 2 จังหวะและ 4 จังหวะ

การทำงานของเครื่องยนต์

พื้นฐานรถยนต์

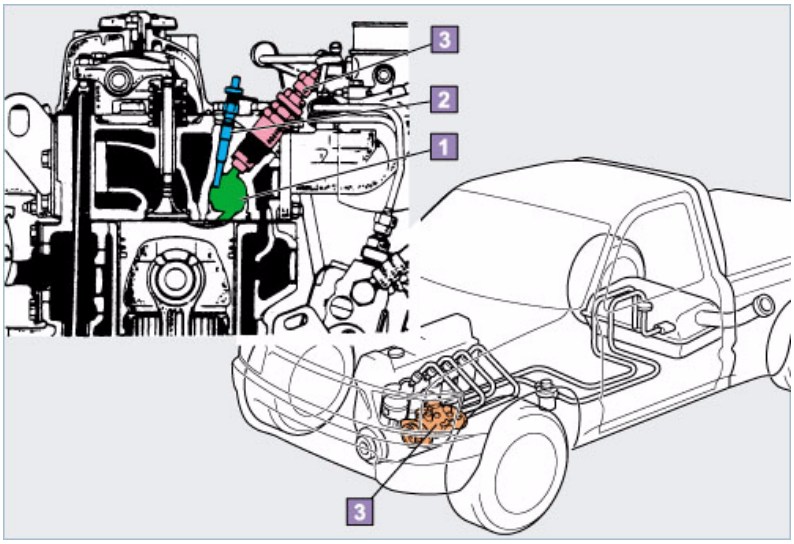
เครื่องยนต์ดีเซล



รายละเอียดทั่วไป

เครื่องยนต์ดีเซลใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะให้กำลังงานสูงที่ความเร็วรอบต่ำและมีโครงสร้างที่แข็งแรง ประสิทธิภาพของน้ำมันดีเซลจะดีกว่าน้ำมันเบนซิน

(1/2)



ความแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

นอกจากความแตกต่างของประเภทน้ำมันที่ใช้แล้ว เครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซลยังมีกลไกการทำงานที่แตกต่างกันด้วย

1 ห้องเผาไหม้

เครื่องยนต์ดีเซลจะไม่ติดตั้งระบบจุดระเบิดโดยใช้หัวเทียน ซึ่งจะแทนที่โดยความร้อนที่เกิดจากแรงอัดซึ่งจะเป็นเหตุให้น้ำมันเชื้อเพลิงลุกไหม้ด้วยตนเอง ดังนั้นอัตราส่วนแรงอัดที่ได้จะสูงมาก

2 ระบบอุ่นอากาศ

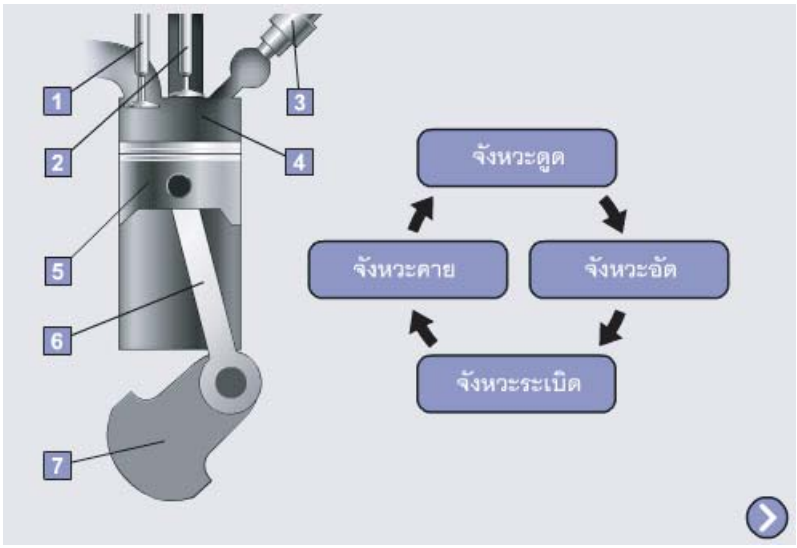
เพื่อให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย เครื่องยนต์ดีเซลจะมีระบบอุ่นอากาศซึ่งจะใช้หัวเผา ฯลฯ เพื่อให้ความร้อนกับไอดี

3 ระบบเชื้อเพลิง

เครื่องยนต์ดีเซลมีปั๊มฉีดเชื้อเพลิงและหัวฉีด เพื่อทำการฉีดเชื้อเพลิงไปยังห้องเผาไหม้ด้วยแรงดันสูง

(2/2)

คุณสมบัติเครื่องยนต์



การทำงาน

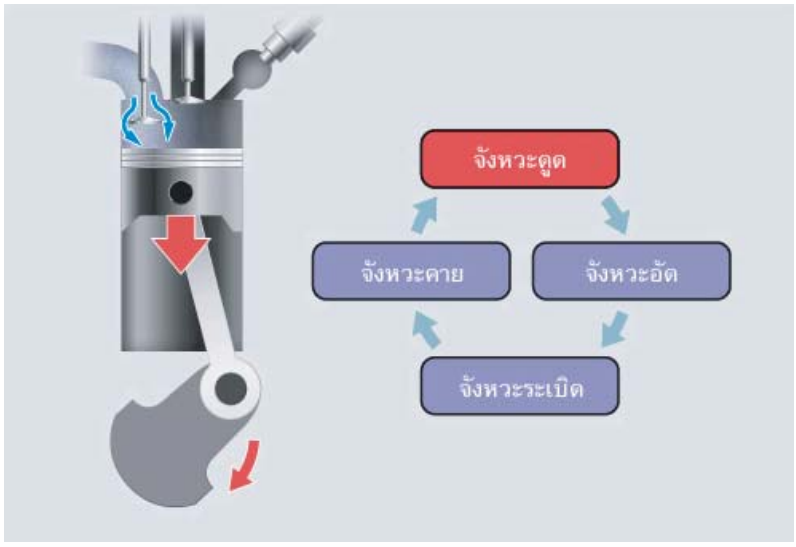
เพื่อผลิตพลังงานขับเคลื่อนให้กับรถ ซึ่งโดยปกติแล้วเครื่องยนต์ 4 จังหวะจะทำงานซ้ำกันใน 4 จังหวะดังแสดงในแผนผัง

เครื่องยนต์ดีเซลไม่มีระบบจุดระเบิดเหมือนกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน น้ำมันที่ถูกอัดให้มีแรงดันสูงจะถูกฉีดเข้าไปในอากาศที่มีอุณหภูมิสูงและแรงดันสูงเพื่อให้เชื้อเพลิงลุกไหม้ขึ้นเอง

1. ลิ้นไอดี
2. ลิ้นไอเสีย
3. หัวฉีดเชื้อเพลิง
4. ห้องเผาไหม้
5. ลูกสูบ
6. ก้านสูบ
7. เพลาข้อเหวี่ยง

- แผนผังแสดงภาพเครื่องยนต์แบบห้องเผาไหม้หมุนวน

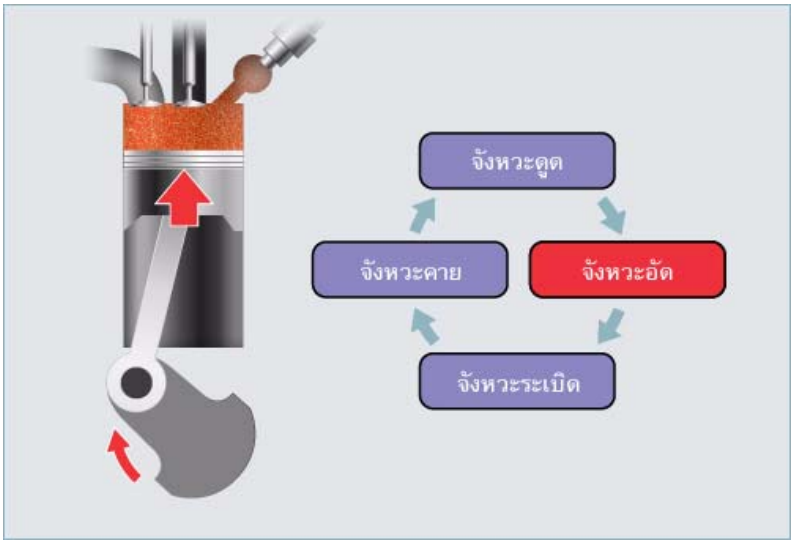
(1/5)



จังหวะดูด

ลิ้นไอเสียจะปิดและลิ้นไอดีเปิด จังหวะที่ลูกสูบเลื่อนลง ลิ้นไอดีจะเปิดเพื่อดูดอากาศเข้าไปในกระบอกสูบเพียงอย่างเดียว

(2/5)

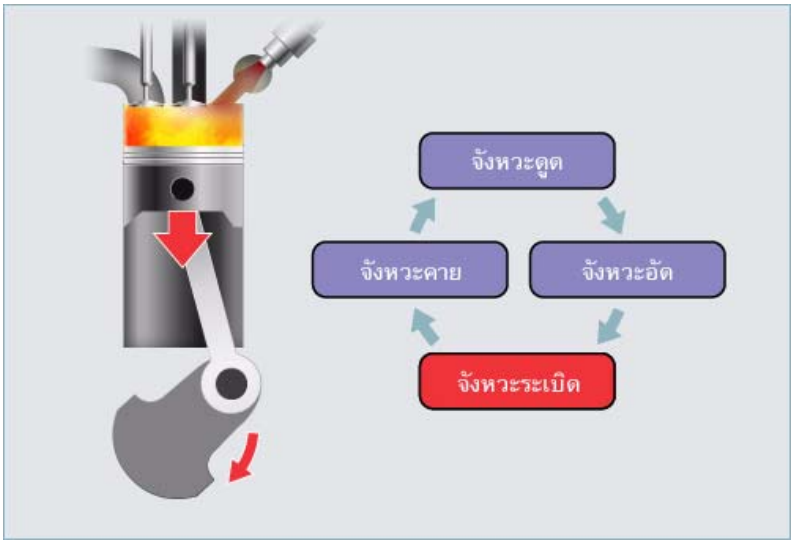


จังหวะอัด

ในขณะที่ลูกสูบเลื่อนลงสุด ลิ้นไอดีจะปิดใน จังหวะที่ลูกสูบเลื่อนขึ้น อากาศที่ถูกดูดเข้าไปในกระบอกสูบจะถูกอัดอย่างแรงจนทำให้อุณหภูมิสูง

อัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ดีเซล = 15 ถึง 23 (ประมาณ 2 ถึง 3 เท่าของอัตราส่วนกำลังอัดเครื่องยนต์แก๊สโซลีน) อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ = 500 ถึง 800°C (900 ถึง 1,500°F)

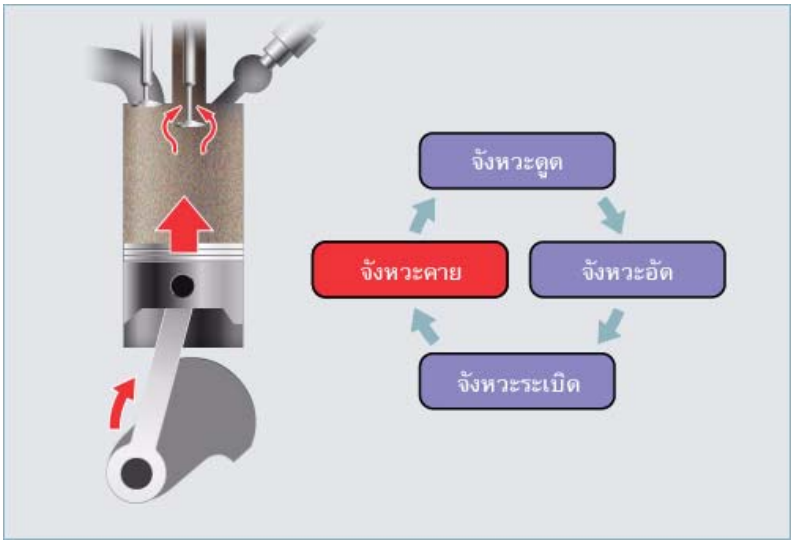
(3/5)



จังหวะระเบิด

ขณะที่ลูกสูบอยู่ในจังหวะเลื่อนขึ้น หัวฉีดจะฉีดน้ำมันด้วยแรงดันสูงไปที่อากาศที่มีแรงดันและอุณหภูมิสูง
อุณหภูมิที่สูงของอากาศนี้จะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงลุกไหม้ จะมีผลทำให้เกิดการระเบิดและการเผาไหม้ แรงของการเผาไหม้นี้จะผลักดันให้ลูกสูบเลื่อนลง ซึ่งจะทำให้เพลาข้อเหวี่ยงเกิดการหมุน

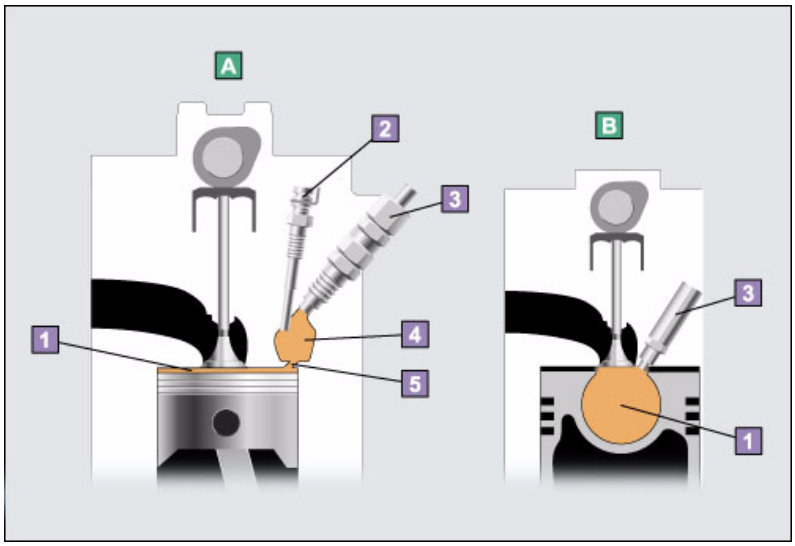
(4/5)



จังหวะคาย

ขณะที่จังหวะลูกสูบเลื่อนลง ลิ้นไอเสียจะเปิด แล้วลูกสูบจะเลื่อนขึ้นทำให้แก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกระบายออกข้างนอกกระบอกสูบ

(5/5)



ห้องเผาไหม้

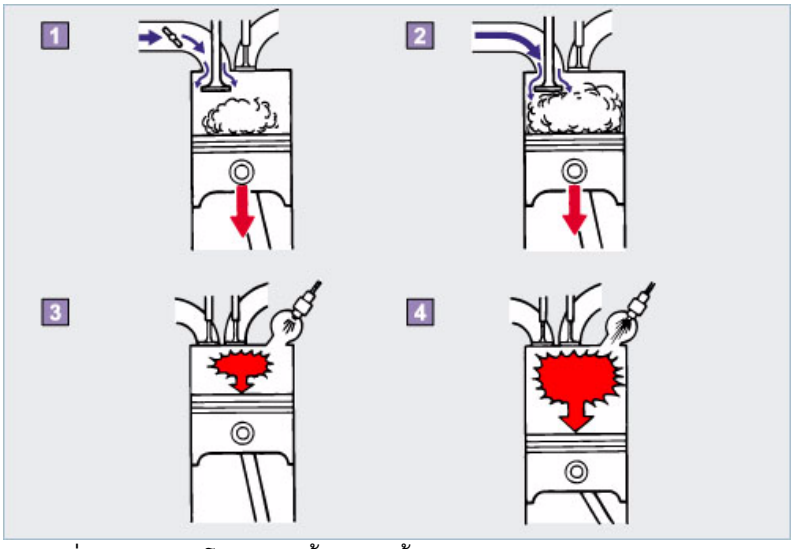
ห้องเผาไหม้ประกอบไปด้วยช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างลูกสูบ, เสื้อสูบและฝาสูบ

A ห้องเผาไหม้แบบหมุนวน
โดยทั่วไปแล้วจะมีห้องเผาไหม้ทรงกลมอยู่ด้านบนของห้องเผาไหม้หลัก ซึ่งห้องเผาไหม้แบบหมุนวนจะต่อกับห้องเผาไหม้หลักทางช่องส่งผ่าน ในจังหวะอัด อากาศจะไหลเข้าไปในห้องเผาไหม้แบบหมุนวนเพื่อเพิ่มแรงในการหมุน ซึ่งหัวฉีดจะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้แบบหมุนวน

B ห้องเผาไหม้แบบฉีดตรง
จะมีห้องเผาไหม้หลักที่อยู่ระหว่างฝาสูบและลูกสูบ และน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดโดยตรงจากหัวฉีดไปยังห้องเผาไหม้

1 ห้องเผาไหม้หลัก
2 หัวเผา
3 หัวฉีด
4 ห้องเผาไหม้หมุนวน
5 ช่องส่งผ่าน

(1/1)



1 เครื่องยนต์แก๊สโซลีน (มีลิ้นปีกผีเสื้อ)
2 เครื่องยนต์ดีเซล (ไม่มีลิ้นปีกผีเสื้อ)
3 ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงน้อย
4 ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงมาก

การควบคุมกำลังเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลอาศัยการจุดระเบิดของไอดีที่ถูกอัดให้เกิดความร้อนจนเกิดการเผาไหม้ ซึ่งต้องการปริมาณของอากาศจำนวนมาก ดังนั้น เครื่องยนต์ดีเซลจะไม่มีลิ้นปีกผีเสื้อ

เครื่องยนต์แก๊สโซลีนจะควบคุมกำลังงานที่ได้โดยการใช้ลิ้นปีกผีเสื้อควบคุมปริมาณส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศที่ดูดเข้าไปในเครื่องยนต์

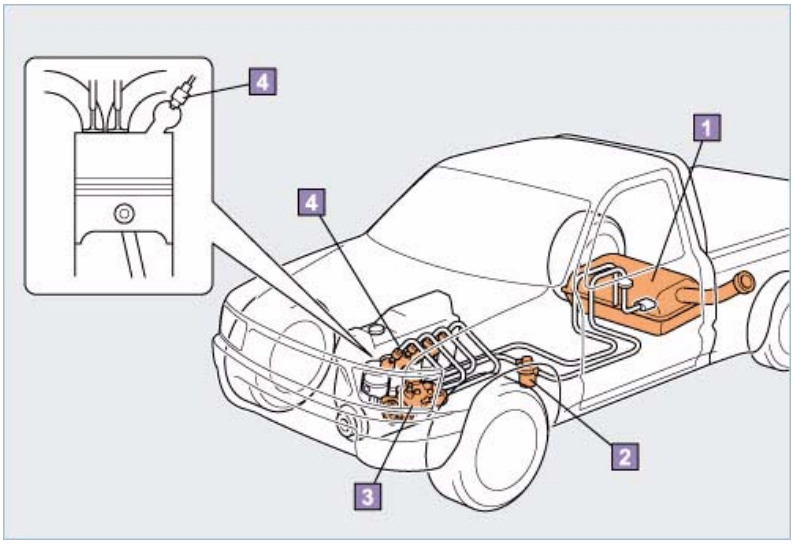
การเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นความแตกต่างเครื่องยนต์ดีเซลควบคุมกำลังงานที่ได้โดยการควบคุมปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เพราะเหตุนี้ เครื่องยนต์ดีเซลจึงไม่มีลิ้นปีกผีเสื้อและปริมาณของไอดีที่ได้จะคงที่

ตัวอย่างเช่น ความรุนแรงของเปลวไฟจะเปลี่ยนไปเมื่อเลื่อนปุ่มควบคุมเพราะจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของแก๊สที่เปลี่ยนแปลงไป

ในทำนองเดียวกัน เมื่อผู้ขับรถเหยียบคันเร่ง ปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้กำลังงานของเครื่องยนต์ที่ได้ออกมาเพิ่มมากขึ้นด้วย

(1/1)

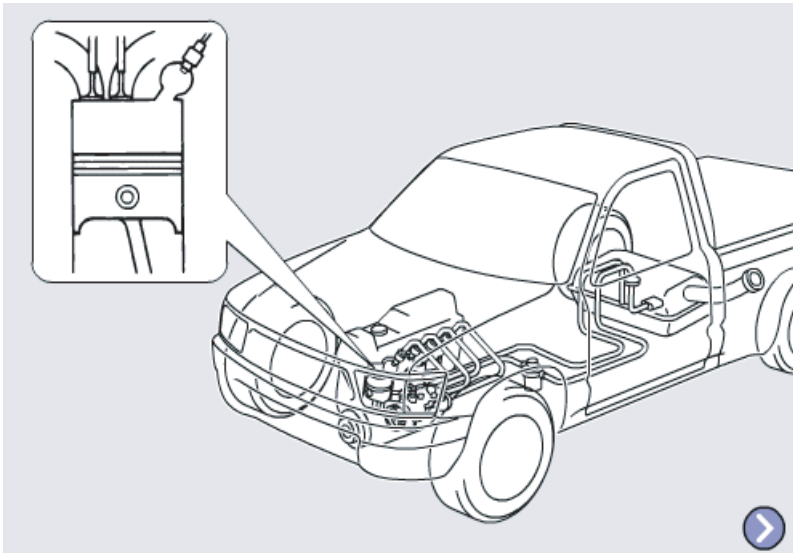
ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง



รายละเอียดทั่วไป

ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลจะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยแรงดันสูงเข้าไปในห้องเผาไหม้ ในขณะที่อากาศถูกอัดตัวให้มีแรงดันสูง จึงต้องใช้อุปกรณ์พิเศษซึ่งไม่เหมือนในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

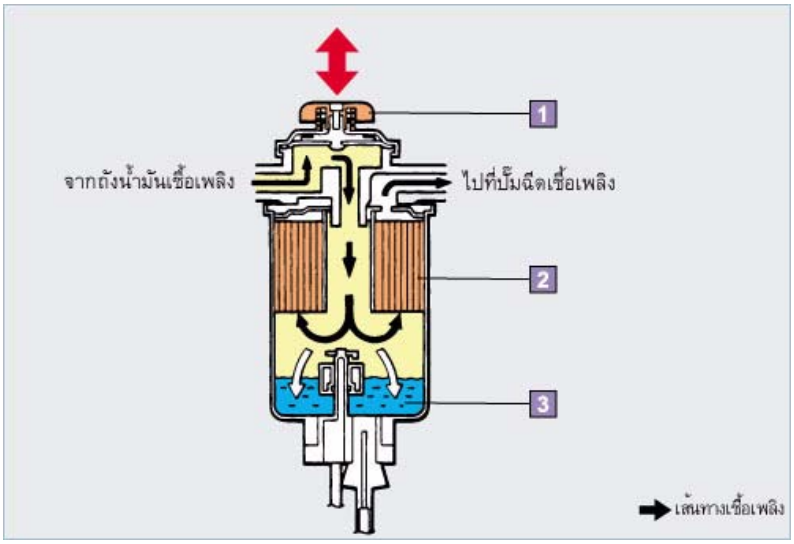
1 ถังน้ำมันเชื้อเพลิง
2 กรองน้ำมันเชื้อเพลิงพร้อมหม้อดักน้ำ
3 ปั๊มฉีดเชื้อเพลิง
4 หัวฉีด



รายละเอียดทั่วไป

เส้นทางเชื้อเพลิง

(1/1)



กรองน้ำมันเชื้อเพลิง

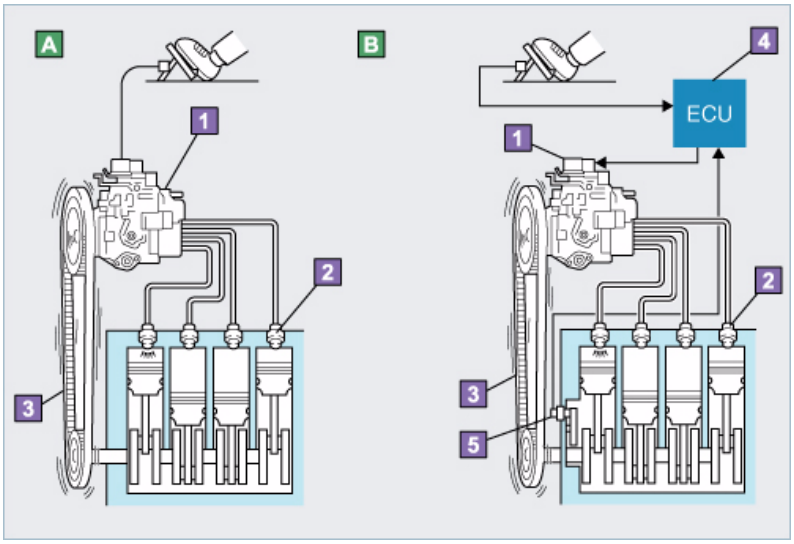
อุปกรณ์นี้จะดักฝุ่นผงและน้ำจากน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันปั๊มฉีดเชื้อเพลิงและหัวฉีดที่เป็นชิ้นส่วนที่มีความแม่นยำสูง ฝุ่นและน้ำจะถูกกำจัดออกจากน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงจากการจับตัวของสนิมเนื่องจากปั๊มฉีดเชื้อเพลิงถูกหล่อลื่นด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

1 ปั๊มมือ
เป็นปั๊มแมนนวลที่ใช้สำหรับไล่ลมออกจากท่อทางน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงหมด หรือระบายน้ำที่ค้างอยู่ในตัวดักน้ำ

2 ไส้กรองเชื้อเพลิง
ส่วนนี้จะกรองสิ่งสกปรกออกจากน้ำมันเชื้อเพลิง

3 หม้อดักน้ำ
ส่วนนี้จะแยกน้ำออกจากน้ำมันเชื้อเพลิง

(1/1)



ปั๊มฉีดเชื้อเพลิง

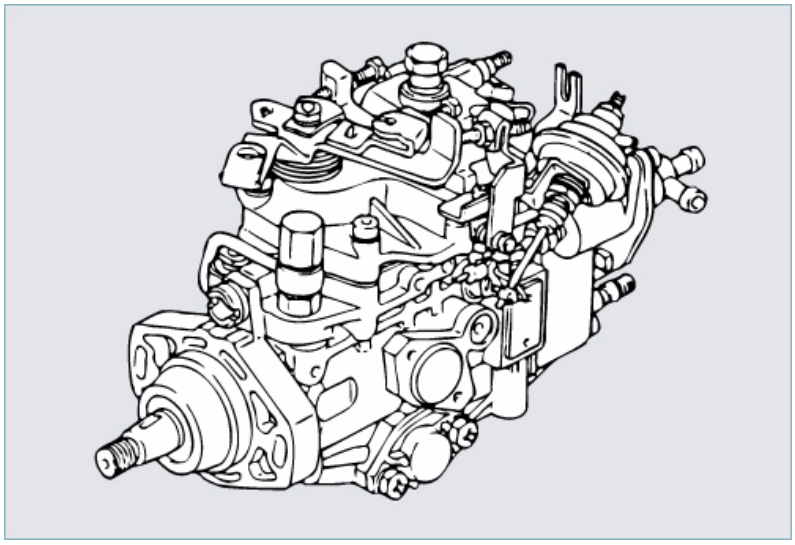
ปั๊มฉีดเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลมีด้วยกัน 2 ชนิด:

ปั๊มฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไกซึ่งจะควบคุมปริมาณและเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงโดยกลไก
ปั๊มฉีดเชื้อเพลิงแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้กล่อง ECU (Electronic Control Unit) ในระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์แบบ D (EFI-D)

A ปั๊มฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก
B ปั๊มฉีดเชื้อเพลิงแบบอิเล็กทรอนิกส์

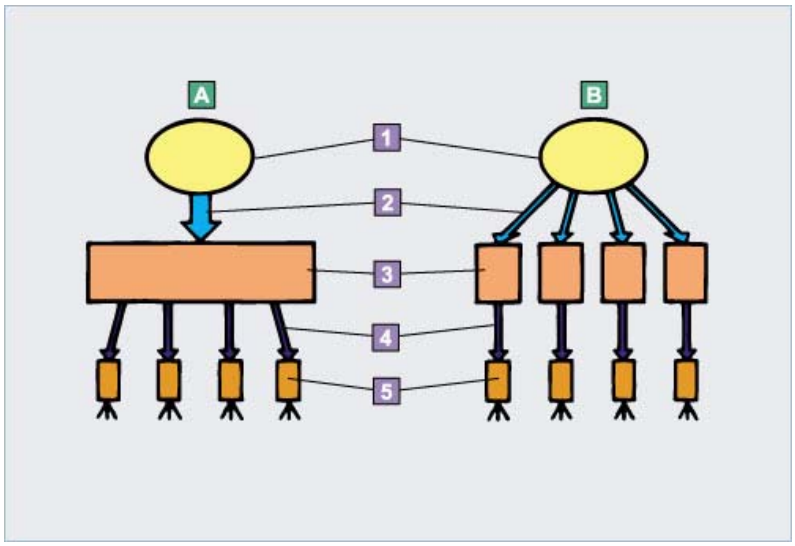
1 ปั๊มฉีดเชื้อเพลิง
2 หัวฉีด
3 สายพานไทม์มิ่ง
4 ECU
5 เซ็นเซอร์

(1/4)



ปั๊มฉีดเชื้อเพลิงจะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงไปที่หัวฉีด ปริมาณในการฉีดเชื้อเพลิงและเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงจะถูกควบคุมโดยกลไกเพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการเร่งและความเร็วของเครื่องยนต์

(2/4)



ปั๊มฉีดเชื้อเพลิง

ปั๊มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

มี 2 แบบ:
ปั๊มแบบจานจ่ายมีลูกปั๊มลูกเดียวเพื่อสร้างแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิง
และแบบปั๊มแถวเรียงมีลูกสูบปั๊มตามแต่ละสูบของเครื่องยนต์

A ปั๊มฉีดเชื้อเพลิงแบบแจกจ่าย

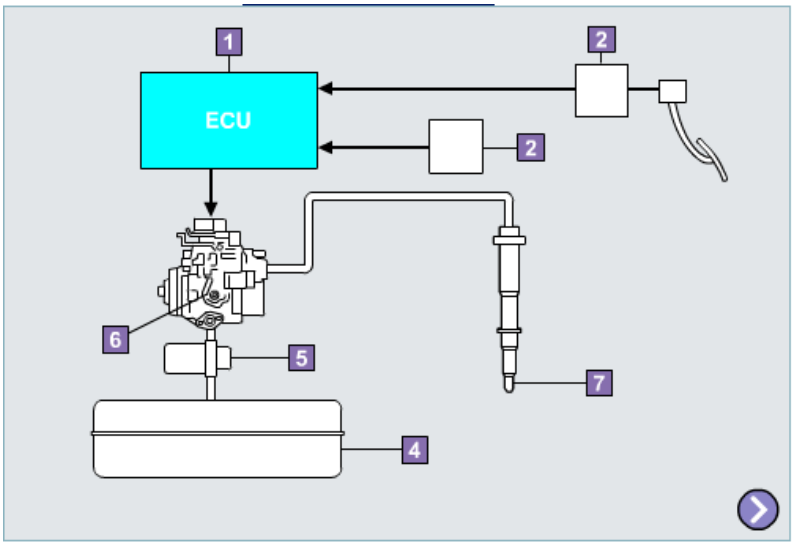
อาจรู้จักกันในชื่อ "VE*ปั๊ม"
ปั๊มชนิดนี้มีขนาดกะทัดรัดและมีน้ำหนักเบา ใช้กับเครื่องยนต์ประเภทรถยนต์โดยสารและรถบรรทุกขนาดเล็ก
*VE: เป็นคำย่อมาจากภาษาเยอรมัน "Verteiler Einspritz"

B ปั๊มฉีดเชื้อเพลิงแบบแถวเรียง

ปั๊มฉีดเชื้อเพลิงแบบแถวเรียงจะมีลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อนเพราะว่ามันมีลูกสูบปั๊มหลายตัวในตอนแรก มันถูกใช้กับเครื่องยนต์สำหรับรถบรรทุก

1 เชื้อเพลิง
2 เชื้อเพลิงแรงดันต่ำ
3 ลูกสูบปั๊ม
4 เชื้อเพลิงแรงดันสูง
5 หัวฉีด

(1/1)



EFI ดีเซล

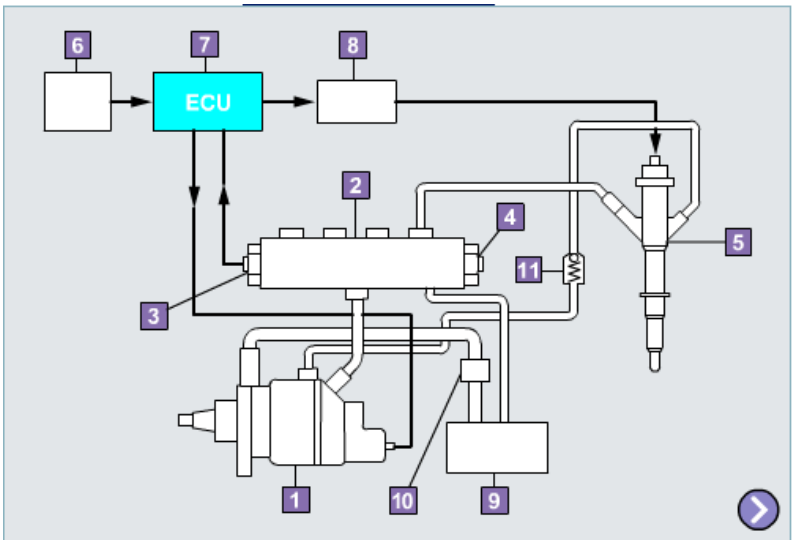
ชนิดของระบบ EFI ดีเซลมี 2 ชนิดคือ:
เครื่องยนต์ดีเซลแบบ EFI ธรรมดา
เครื่องยนต์ดีเซลแบบ EFI คอมมอนเรล

1. เครื่องยนต์ดีเซลแบบ EFI ธรรมดา

ระบบนี้ใช้เซ็นเซอร์ตรวจหาการเปิดของลิ้นเร่งและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และ ECU จะคำนวณปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและเวลาในการฉีด การควบคุมกลไกจะใช้สำหรับการดูด การจ่าย และขบวนการฉีดเชื้อเพลิง เป็นพื้นฐานของระบบกลไกเครื่องยนต์ดีเซล

1 ECU
2 เซ็นเซอร์
3 ถังน้ำมันเชื้อเพลิง
4 กรองน้ำมันเชื้อเพลิง
5 ปั๊มฉีดเชื้อเพลิง
6 หัวฉีด

(3/4)



EFI ดีเซล

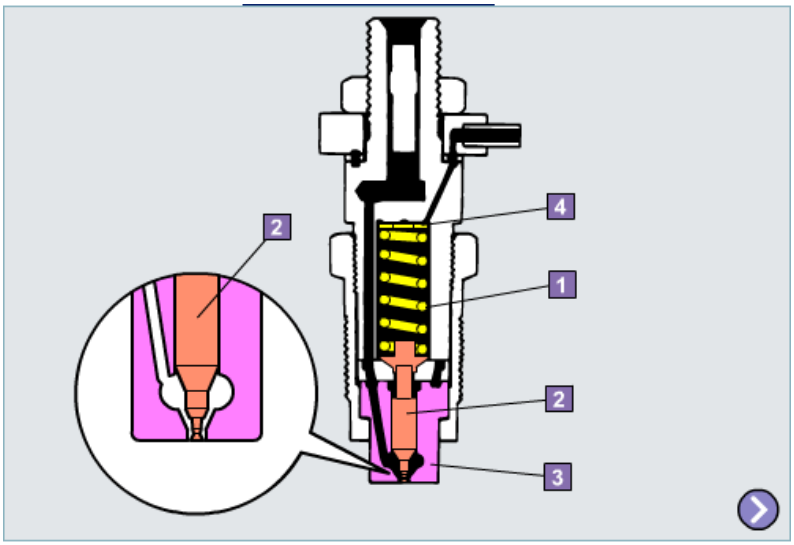
2. เครื่องยนต์ดีเซลแบบ EFI

คอมมอนเรล

น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกทำให้เกิดแรงดันโดยปั๊มเชื้อเพลิง และถูกเก็บไว้ในรางหัวฉีด ก่อนที่น้ำมันจะถูกจ่ายไปที่หัวฉีด ECU และ EDU จะควบคุมปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และเวลาในการฉีดที่ระดับเหมาะสมโดยการทำงานและการปิดของหัวฉีดจะสอดคล้องกับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ ขั้นตอนนี้คล้ายกับระบบ EFI ที่ใช้ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

1 ปั๊มจ่ายเชื้อเพลิง
2 ท่อคอมมอนเรล (รางหัวฉีด)
3 เซ็นเซอร์แรงดันน้ำมันเชื้อเพลิง
4 ตัวจำกัดความดัน
5 หัวฉีด
6 เซ็นเซอร์
7 ECU
8 EDU (Electronic Driving Unit)
9 ถังน้ำมันเชื้อเพลิง
10 กรองน้ำมันเชื้อเพลิง
11 ลิ้นกันกลับ

(4/4)

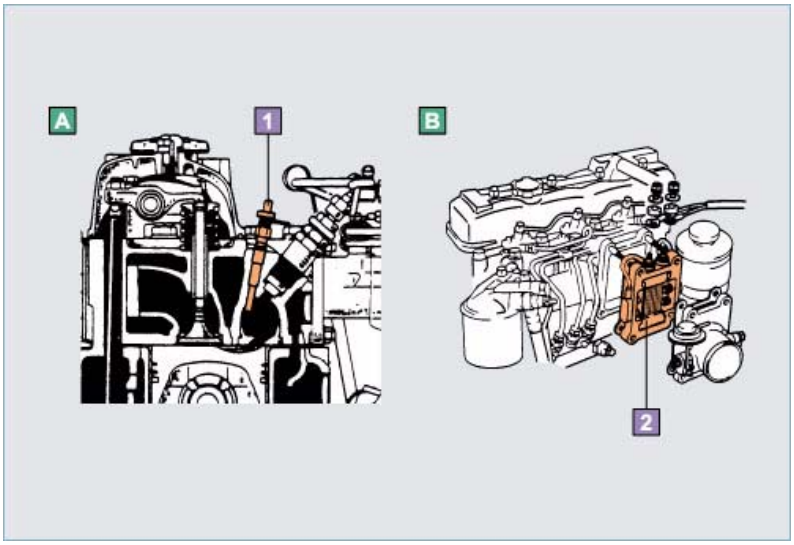


หัวฉีด

ส่วนนี้ได้รับน้ำมันเชื้อเพลิงแรงดันสูงจากปั๊มฉีดเชื้อเพลิงและฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้
เมื่อแรงดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ส่งมาจากปั๊มฉีดเชื้อเพลิงสูงเกินกว่าค่าแรงกดของสปริง แรงดันของน้ำมันจะยกเข็มหัวฉีดขึ้น ด้วยเหตุนี้เองสปริงหัวฉีดจะเกิดแรงดันและน้ำมันจะถูกฉีดเข้าไปยังห้องเผาไหม้ แรงดันของการฉีดเชื้อเพลิงนี้สามารถปรับได้โดยการเปลี่ยนแปลง ค่าความหนาของการปรับตั้งแผ่นชิม ซึ่งจะมีผลในการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดของสปริง

1 สปริงแรงดัน
2 เข็มหัวฉีด
3 เรือนหัวฉีด
4 แผ่นชิมปรับตั้ง

(1/1)



ระบบอุ่นไอดี

ความร้อนที่ได้จากการอัดอากาศอย่างเพียงพอไม่สามารถได้มาระหว่างสตาร์ท ขณะเครื่องเย็นหรือทำงานที่อุณหภูมิต่ำ ระบบอุ่นไอดีจะให้ความร้อนกับไอดีเพื่อเพิ่มความสามารถในการลุกไหม้ของเชื้อเพลิง ระบบนี้ใช้กระแสไฟจากแบตเตอรี่เพื่อให้ความร้อนกับไอดี

ระบบอุ่นไอดีมีด้วยกัน 2 แบบ:
A แบบหัวเผา:
จะให้ความร้อนห้องเผาไหม้
B แบบอุ่นไอดี:
จะให้ความร้อนกับอากาศที่จะเข้าเครื่องยนต์

1 หัวเผา
2 ขดลวดความร้อน

(1/1)

คำถาม-1

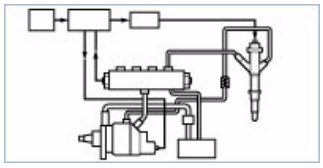
ทำเครื่องหมายถูกหรือผิดที่ข้อความดังต่อไปนี้

ข้อ	คำถาม	ถูกหรือผิด	เฉลย
1	อัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในรถจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 9 ถึง 12	ถูก ผิด	
2	ในเครื่องยนต์ดีเซลน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีแรงดันสูงจะถูกฉีดเข้าไปในอากาศที่มีอุณหภูมิสูงและแรงดันสูงที่ถูกอัดโดยลูกสูบ ความร้อนของอากาศที่มีอุณหภูมิสูง จะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงลุกไหม้ได้เอง	ถูก ผิด	
3	เครื่องยนต์ดีเซลแบบห้องเผาไหม้หมุนวนจะมีระบบอุ่นไอดี เพราะไม่อาจให้ความร้อนในการอัดที่เหมาะสมได้ระหว่างการสตาร์ทขณะเครื่องเย็นหรือการทำงานขณะอุณหภูมิเครื่องเย็น	ถูก ผิด	
4	กรองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์มีหน้าที่เผาไหม้น้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง	ถูก ผิด	
5	กลวัตรการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ จะทำงานเช่นเดียวกับในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ	ถูก ผิด	

คำถาม-2

ข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้องเกี่ยวกับระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบคอมมอนเรล?

1. ระบบนี้จะควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้สอดคล้องกับการเปิดของลิ้นเร่งและความเร็วรอบด้วยระบบกลไก
2. คอมมอนเรลจะเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งถูกอุ่นโดยปั๊มจ่ายเชื้อเพลิง เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิสูงตามที่กำหนด หัวฉีดก็จะทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง
3. คอมมอนเรลจะเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งถูกทำให้เกิดแรงดันโดยปั๊มเชื้อเพลิง ECU จะกำหนดปริมาณในการฉีดเชื้อเพลิงและระยะเวลาในการควบคุมการเปิดและปิดของหัวฉีด
4. คอมมอลเรลทำการผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ และ ECU ควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงให้สอดคล้องกับการเปิดของลิ้นเร่งและความเร็วรอบ



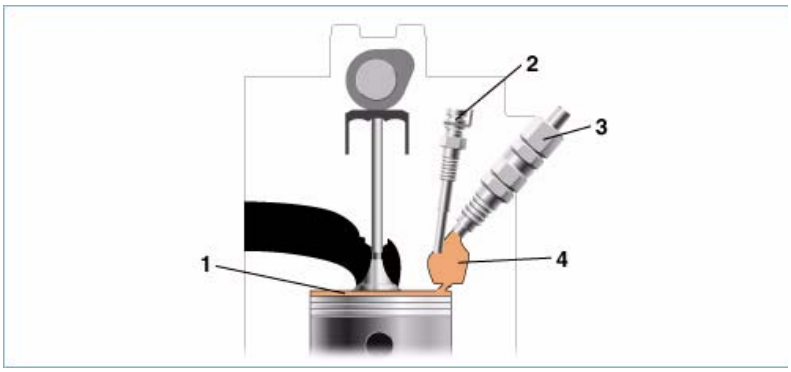
คำถาม-3

ข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้องเกี่ยวกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบ EFI ธรรมดา?

- 1. ระบบนี้ใช้เซ็นเซอร์ตรวจหาการเปิดลิ้นเร่งและความเร็วรอบ และใช้กลไกใน การกำหนดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงและเวลาในการฉีด
- 2. ระบบนี้ใช้เซ็นเซอร์ตรวจหาการเปิดลิ้นเร่งและความเร็วรอบ และใช้คอมพิวเตอร์คำนวณ ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงและเวลาในการฉีด
- 3. ระบบนี้ กลไกจะตรวจหาการเปิดลิ้นเร่งและความเร็วรอบ และใช้คอมพิวเตอร์คำนวณปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงและเวลาในการฉีด
- 4. ระบบนี้ใช้เซ็นเซอร์ตรวจหาการเปิดลิ้นเร่งและความเร็วรอบ และใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านเข้าไป

คำถาม-4

รายละเอียดในภาพต่อไปนี้กล่าวถึงห้องเผาไหม้แบบหมุนวนของเครื่องยนต์ดีเซล
เลือกคำให้สอดคล้องกับตัวเลขในภาพจากกลุ่มคำที่กำหนดให้



ก) หัวเผา ข) ห้องเผาไหม้ ค) ห้องเผาไหม้แบบหมุนวน ง) หัวฉีด จ) หัวฉีดสตาร์ทเย็น

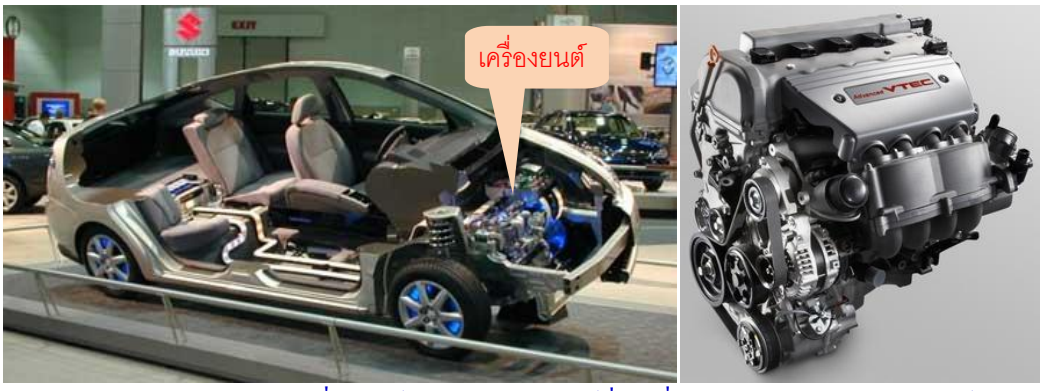
คำตอบ: 1.[ ] 2.[ ] 3.[ ] 4.[ ]

เครื่องยนต์แบบต่าง ๆ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเครื่องยนต์แบบต่าง ๆ ที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป ได้แก่ เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ เครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องยนต์ไอน้ำ เครื่องยนต์กังหันไอน้ำ เครื่องยนต์กังหันแก๊ส และเครื่องยนต์จรวด (rocket engine)

เครื่องยนต์ 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ 4 จังหวะเป็นเครื่องยนต์ที่มีการใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุดในปัจจุบัน เหตุที่เรียกชื่อเช่นนี้ก็เนื่องมาจากใน 1 รอบการทำงานของเครื่องยนต์ ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นลงรวม 4 ครั้ง เครื่องยนต์นี้นิยมใช้เป็นตัวสร้างกำลังขับเคลื่อนในรถยนต์นั่งส่วนบุคคลทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 12 และรถมอเตอร์ไซด์ในปัจจุบัน



รูปที่ 12 ภาพตัดแสดงตำแหน่งของเครื่องยนต์ 4 จังหวะในรถยนต์ทั่วไปซึ่งมักจะอยู่ด้านหน้าของรถยนต์ (ซ้าย) และเครื่องยนต์ 4 จังหวะแบบหนึ่ง (ขวา) (ภาพจาก http://gajitz.com/power-stripped-4-amazing-real-life-cutaway-cars/ และ http://www.cleanmpg.com/photos/data/501/Honda_-_A-VTEC_Engine.jpg)

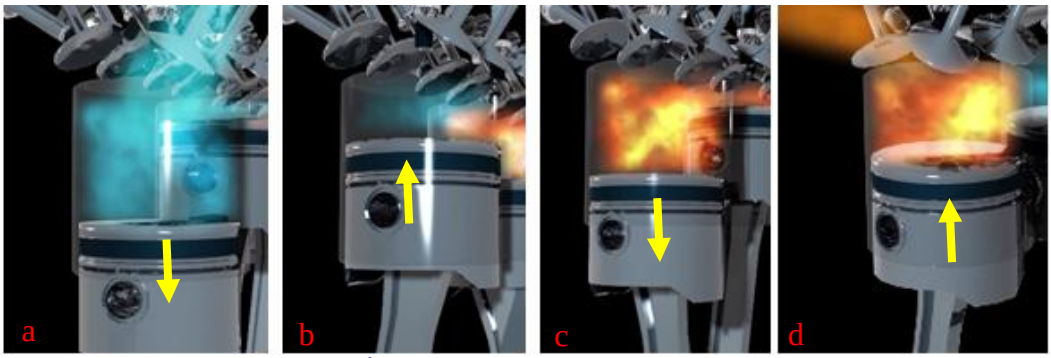
การเคลื่อนที่ขึ้น – ลง ของลูกสูบใน 1 รอบการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะนี้ประกอบด้วย การรับไอดี (intake) การอัด (compression) กำลัง (power) และการปล่อยไอเสีย (exhaust)

1. การรับไอดี (รูป 13 a) ขั้นตอนนี้ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงจากตำแหน่งสูงสุด หรือที่เรียกว่าศูนย์ตายบน (Top Dead Center, TDC) ลงมาจนถึงตำแหน่งต่ำสุด หรือที่เรียกว่าศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center, BDC) พร้อมกับวาล์วไอดีเปิดและวาล์วไอเสียปิด ทำให้ไอดี (ซึ่งอาจเป็นอากาศหรืออากาศผสมกับเชื้อเพลิง) ถูกดูดเข้ามาในกระบอกสูบ

2. การอัด (รูป 13 b) ขั้นตอนนี้ก็จะต่อเนื่องจากการรับไอดี โดยวาล์วทั้งหมดจะปิด และลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจากศูนย์ตายล่างขึ้นไปยังศูนย์ตายบนอัดให้ไอดีมีปริมาตรลดลง มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น

3. กำลัง (รูป 13 c) ขั้นตอนนี้จะเริ่มขึ้นในขณะที่ลูกสูบอยู่บริเวณศูนย์ตายบน เชื้อเพลิงจะถูกเผาไหม้เกิดความร้อนมหาศาลถ่ายเทให้กับแก๊สในกระบอกสูบขยายตัวดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงมายังศูนย์ตายล่าง การเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะนี้เองจะสร้างแรงขับเคลื่อนให้กับเครื่องยนต์

4. การคายไอเสีย (รูป 13 d) ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นจากศูนย์ตายล่างไปยังศูนย์ตายบนพร้อมกับวาล์วไอเสียเปิดขณะที่วาล์วไอดีปิด ทำให้ไอเสีย (แก๊สในกระบอกสูบหลังการเผาไหม้เชื้อเพลิง) ถูกระบายออกจากเครื่องยนต์

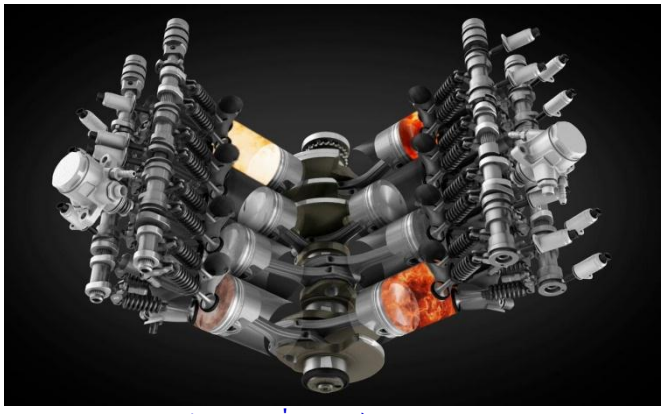


รูปที่ 13 ภาพจำลองแสดงการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ประกอบด้วย การรับไอดี (a) การอัด (b) กำลัง (c) และการคายไอเสีย (d) ลูกศรสีเหลืองแสดงทิศการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

เครื่องยนต์ 4 จังหวะ โดยทั่วไปใน 1 เครื่องยนต์มักประกอบด้วยกระบอกสูบ 4 กระบอก เรียงในแนวเดียวกันดังในรูปที่ 14 ลูกสูบแต่ละอันจะมีจังหวะกำลังต่อเนื่องกันไปทำให้เครื่องยนต์สร้างกำลังขับเคลื่อนได้อย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 14 ภาพจำลองแสดงภายในของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ 4 กระบอกสูบเรียงแถว

จำนวนกระบอกสูบก็มีผลเกี่ยวเนื่องกับกำลังเคลื่อนด้วยเช่นกัน โดยเครื่องยนต์ที่มีจำนวนกระบอกสูบมากกว่าก็จะให้กำลังขับเคลื่อนได้มากกว่าแต่ก็จะทำให้เครื่องยนต์มีขนาดใหญ่มากขึ้นไปด้วย จำนวนกระบอกสูบอื่น ๆ นอกจาก 4 ก็เช่น 1 กระบอกสูบในเครื่องยนต์ของรถมอเตอร์ไซด์ขนาดเล็ก 3 กระบอกสูบในรถยนต์ขนาดประหยัด (eco car) บางรุ่น 6 และ 8 กระบอกสูบ (รูปที่ 15) ในรถยนต์หรูขนาดใหญ่หลายรุ่น



รูปที่ 15 ภาพจำลองแสดงโครงสร้างของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ 8 กระบอกสูบ แบบหนึ่ง (ภาพจาก http://media.caranddriver.com/images/12q1/435648/2013-bentley-continental-gt-v8-40-liter-twin-turbocharged-v-8-engine-cutaway-photo-435685-s-1280x782.jpg)

ถ้าหากเราสังเกตรูปที่ 14 และ 15 จะเห็นได้ว่าการวางตัวของกระบอกสูบในเครื่องยนต์ก็อาจแตกต่างกันได้ ในรูปที่ 14 เป็นการวางกระบอกสูบแบบเรียงเป็นแนวเดียวกันซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้ในเครื่องยนต์ที่มีไม่เกิน 4 กระบอกสูบ ในรูปที่ 15 กระบอกสูบจะแบ่งเป็น 2 แนว แต่ละแนวจะทำมุมเฉียงต่อกัน เมื่อมองจากด้านหน้าเข้าไปจะเห็นคล้ายตัววี (V) จึงมักเรียกว่าเครื่องยนต์แบบวี นิยมใช้สำหรับเครื่องยนต์ที่มี 6 และ 8 กระบอกสูบ นอกจากทั้ง 2 นี้แล้วยังมีการวางตัวของกระบอกสูบอีกแบบหนึ่งซึ่งมีใช้อยู่บ้าง การวางกระบอกสูบแบ่งเป็น 2 แนวคล้ายเครื่องแบบวี แต่ทั้งสองแนวนั้นจะอยู่ในระนาบเดียวกันดังรูปที่ 16 ซึ่งเวลาเครื่องยนต์ทำงานลูกสูบจะเคลื่อนที่คล้ายชกมวย จึงเรียกว่า เครื่องยนต์แบบบอกเซอร์ (boxer engine)

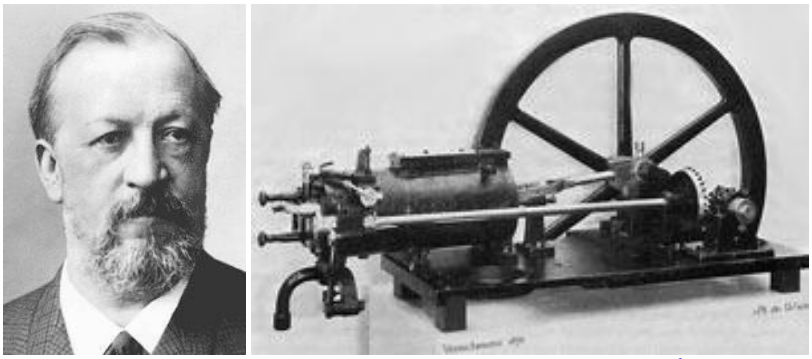
รูปที่ 16 การวางตัวของระบอกสูบแบบบอกเซอร์ (ภาพจาก http://kevin-cohen.com/CARPICS/boxer_engine.jpg)

ไม่ว่าเครื่องยนต์จะมีกี่กระบอกสูบ หรือมีการวางตัวแบบใด ในแต่ละกระบอกสูบก็จะมีการทำงาน 4 ขั้นตอน ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น เรื่องเกี่ยวกับจำนวนกระบอกสูบ หรือการวางตัวของกระบอกสูบรูปแบบต่าง ๆ เป็นเรื่องของเทคนิคการออกแบบซึ่งแม้จะไม่ได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ แต่เรื่องราวเหล่านี้อาจจะเป็นสิ่งที่ช่วยกระตุ้นความสนใจของผู้เรียนได้เช่นกัน

เครื่องยนต์ 4 จังหวะ ไม่ว่าจะแบบใดก็ตามจะถูกแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้คือ เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ และเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ซึ่งเราจะดูในรายละเอียดกันต่อไป

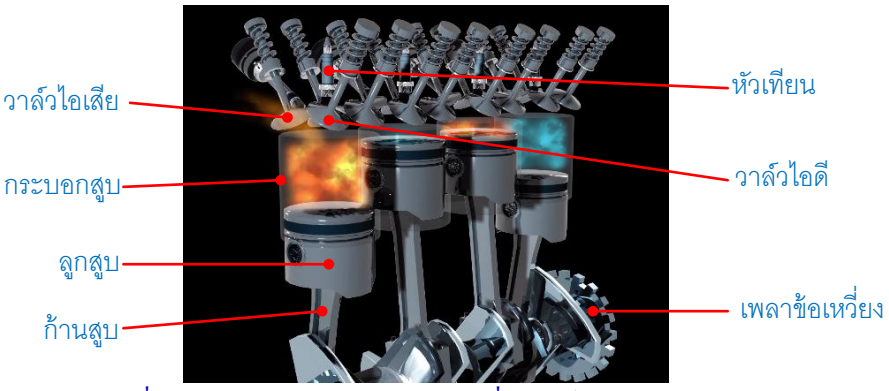
เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ แบบมีลูกสูบ

เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะนี้จัดเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องยนต์แบบนี้ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1876 (รูปที่ 17 ขวา)โดยนักประดิษฐ์ชาวเยอรมัน นิโกลัส ออกุส ออตโต (Nikolaus August Otto) (รูปที่ 17 ซ้าย)



รูปที่ 17 นิโกลัส ออกุส ออตโต (ค.ศ. 1832-1891) นักประดิษฐ์ชาวเยอรมัน (ซ้าย) และเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ เครื่องแรกที่ออตโตสร้างขึ้น (ภาพจาก http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Nicolaus-August-Otto.jpg และ Helmut Hütten, "Motoren", Motorbuchverlag Stuttgart, S. 264)

เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ ในปัจจุบันนี้ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ดังนี้ กระบอกสูบ ลูกสูบ หัวเทียน (spark plug) วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย ก้านสูบ และเพลาข้อเหวี่ยง (crankshaft) ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ

การทำงานของเครื่องยนต์ก็ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนอย่างที่ได้กล่าวมาแล้วคือ การรับไอดี การอัด กำลัง และการคายไอเสีย ลักษณะสำคัญของเครื่องยนต์เบนซินอยู่ที่ขั้นตอนกำลัง ในขั้นตอนนี้เชื้อเพลิงจะถูกจุดให้เกิดการเผาไหม้โดยประกายไฟจากหัวเทียน (รูปที่ 19)

รูปที่ 19 หัวเทียน (ซ้าย) และประกายไฟจากหัวเทียน (ขวา) (ภาพจาก http://image.made-in-china.com/2f0j00CeHTIQrPvBiD/Automobile-Spark-Plug-F7TC-.jpg และ http://static.zigwheels.com/media/content/2012/Nov/clean-spark-plug_560x420.jpg)

สารทำงานในเครื่องยนต์เบนซินส่วนใหญ่จะเป็นอากาศผสมกับเชื้อเพลิง ซึ่งโดยมาตรฐานจะเป็นละอองน้ำมันเบนซิน หรืออาจจะเชื้อเพลิงทางเลือก เช่น แก๊สมีเทน (CNG, NGV) แก๊สหุงต้ม (LPG) หรือสารทำงานอาจจะเป็นอากาศอย่างเดียวในช่วงต้นแล้วจึงฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปผสมก่อนที่จะจุดระเบิด สำหรับการเปลี่ยนสถานะของสารทำงานสามารถประมาณได้ดังนี้

1. การรับไอดี : สารทำงานจะถูกดูดเข้ามาในกระบอกสูบ นั่นคือสารทำงานจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นในขณะที่ความดันคงที่

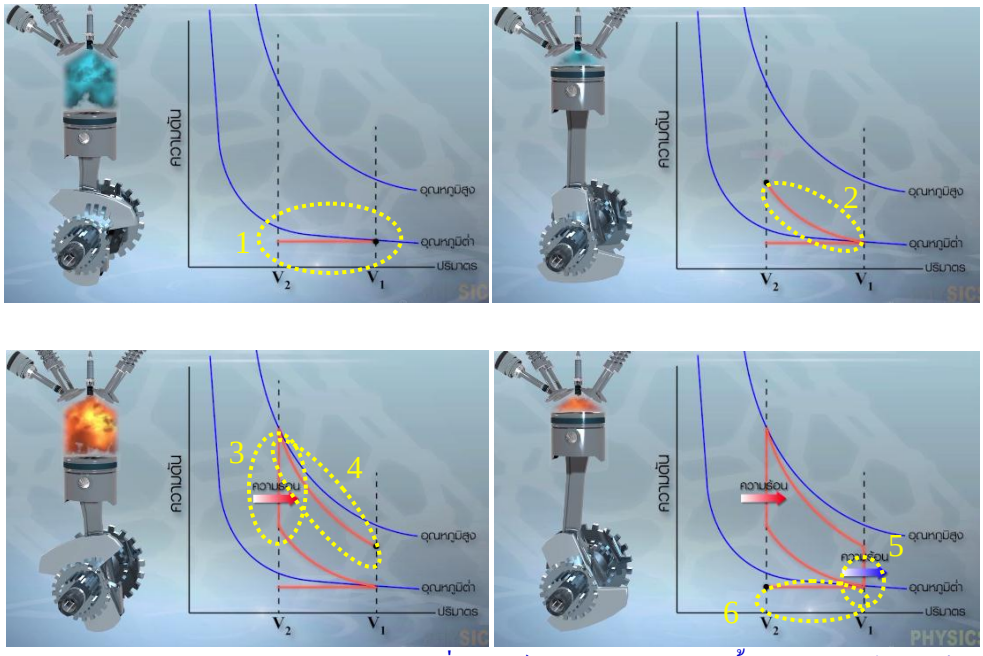
2. การอัด : จะทำให้สารทำงานมีปริมาตรลดลง ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 300 องศาเซลเซียส

3. กำลัง : ในช่วงก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อย หัวเทียนจะสร้างประกายไฟทำให้เชื้อเพลิงในสารทำงานเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว ความดันและอุณหภูมิของสารทำงานจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่ปริมาตรแทบไม่เปลี่ยนแปลง

4. กำลัง : ความดันที่สูงมากของสารทำงานจะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงไปยังศูนย์ตายล่าง ช่วงนี้เองที่ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถูกเปลี่ยนให้เป็นงาน

5. คายไอเสีย : เมื่อวาล์วไอเสียเปิดออกจะทำให้สารทำงานจะพุ่งออกไปจากกระบอกสูบอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความดันในกระบอกสูบที่สูงกว่าภายนอก นั่นคือสารทำงานจะมีความดันลดลงในขณะที่ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง

6. คายไอเสีย : ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นดันสารทำงานออกไปจากกระบอกสูบ นั่นคือสารทำงานจะมีปริมาตรลดลงในขณะที่ความดันคงที่



รูปที่ 20 แผนภาพความดัน-ปริมาตรของสารทำงานในเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ ในขั้นตอนการรับไอดี (ซ้ายบน) การอัด (ขวาบน) กำลัง (ซ้ายล่าง) และการคายไอเสีย (ขวาล่าง) วงกลมประสีเหลืองแสดงถึงช่วงต่าง ๆ ตามเนื้อหาด้านบน

เครื่องยนต์เบนซินจะมีประสิทธิภาพประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ แม้จะมีประสิทธิภาพไม่สูงมากแต่เครื่องยนต์นี้จะทำงานค่อนข้างเงียบ และมีขนาดไม่ใหญ่มาก จึงเป็นที่นิยมใช้ในรถยนต์นั่งทั่วไป แต่ด้วยปัญหาน้ำมันราคาแพงและปัญหาสิ่งแวดล้อมทำให้แนวโน้มการใช้เครื่องยนต์เบนซินจะลดลง เครื่องยนต์ดีเซลมีแนวโน้มที่จะเข้ามาแทนที่ในอนาคต

เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ แบบไม่มีลูกสูบ

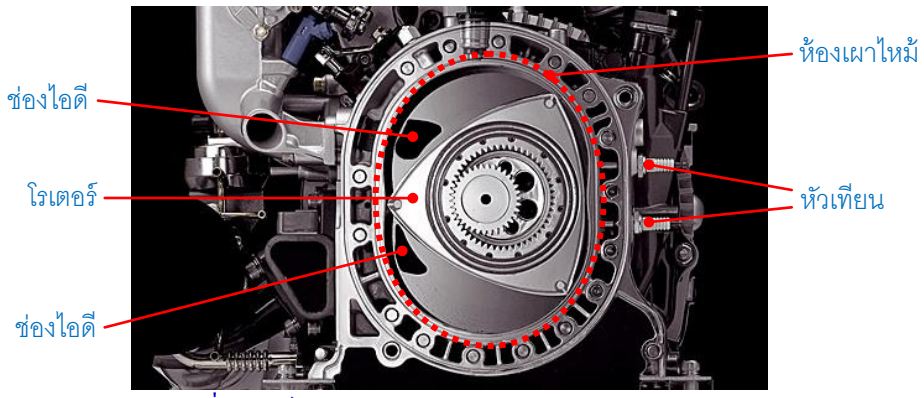
เครื่องยนต์นี้ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี ค.ศ. 1929 โดยวิศวกรชาวเยอรมัน ฟีลิกซ์ แรงเกล (Felix Wankel) ทำให้เครื่องยนต์นี้มักถูกเรียกว่า เครื่องยนต์โรตารีแรงเกล (rotary Wankel engine) หรือ เครื่องยนต์แรงเกล

รูปที่ 21 ฟีลิกซ์ แรงเกล (ค.ศ. 1902 - 1988) และเครื่องยนต์แรงเกลเครื่องแรกที่เขาสร้างขึ้น (ภาพจาก http://www.der-wankelmotor.de/image/Wankel/felix-01.jpg)

แต่อย่างไรก็ตาม บุคคลทั่วไปนิยมเรียกเครื่องยนต์แบบนี้ว่าเครื่องยนต์โรตารี ซึ่งอาจจะทำให้สับสนกับเครื่องยนต์โรตารีจริง ๆ (rotary engine) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์แบบมีลูกสูบแต่มีการจัดวางกระบอกสูบในแนวรัศมีรอบเพลาข้อเหวี่ยง นิยมใช้ในเครื่องบินยุคสงครามโลก ดังแสดงในรูปที่ 22

รูปที่ 22 ภาพจำลองแสดงลักษณะของเครื่องยนต์โรตารี (ซ้าย) และ เครื่องยนต์โรตารีถูกติดตั้งบริเวณปีกของเครื่องบิน(ขวา) (ภาพจาก http://www.luxology.com/store/16_rotary_engine/images/hdr_rotary_engine.jpg และ http://gitcheegumeeguy.smugmug.com/Airplanes/B-17-flight/i-9pd5C8J/0/L/Wright%20cyclone-L.jpg)

เครื่องยนต์แรงเกลนี้จะไม่มีลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงในกระบอกอย่างเครื่องยนต์ทั่วไป แต่จะมีโรเตอร์ (rotor) หมุนเยื้องรอบเพลาในห้องเผาไหม้แทน ดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 ภาพตัดแสดงภายในของเครื่องยนต์แรงเกล (ภาพจาก http://4.bp.blogspot.com/-9h8AcIWiZh4/T3Bdv03JmXI/AAAAAAAAJ_Q/s2BT5Ja7bGs/s1600/Mazda+Rotary+Engine+Develop+Low+Emission.jpg)

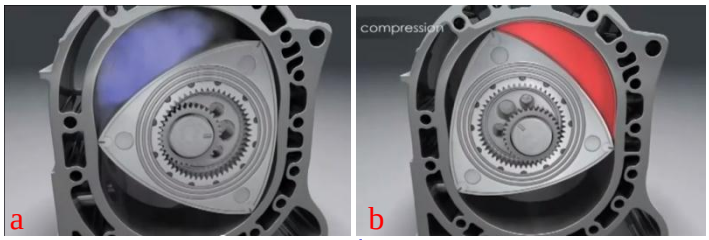
สำหรับการทำงานของเครื่องยนต์แรงเกลจะแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน เช่นเดียวกับเครื่องยนต์แบบมีลูกสูบ

1. การรับไอดี : ไอดีถูกดูดเข้ามาในห้องเผาไหม้

2. การอัด : โรเตอร์จะหมุนอัดไอดีให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น

3. กำลัง : จากนั้นหัวเทียนจะสร้างประกายไฟทำให้เชื้อเพลิงในไอดีเกิดการเผาไหม้ ส่งผลในความดันของแก๊สในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ดันให้โรเตอร์หมุนสร้างแรงขับเคลื่อนต่อไป

4. การคายไอเสีย : โรเตอร์ดันในไอเสียออกไปจากห้องเผาไหม้



รูปที่ 24 ภาพจำลองแสดงหลักการทำงานของเครื่องยนต์แรงเกล การรับไอดี (a) และการอัด (b)

รูปที่ 25 ภาพจำลองแสดงหลักการทำงานของเครื่องยนต์แรงเกล (ต่อ) หัวเทียนจุดระเบิด (c) เชื้อเพลิงเผาไหม้ (d) การคายไอเสีย (e) (ภาพจาก http://www.youtube.com/watch?v=qpjxNRKT5Bo&feature=player_embedded#!)

เนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะแบบมีลูกสูบ ดังนั้นสารทำงานในเครื่องยนต์แรงเกลก็จะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะเช่นเดียวกับในแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 20

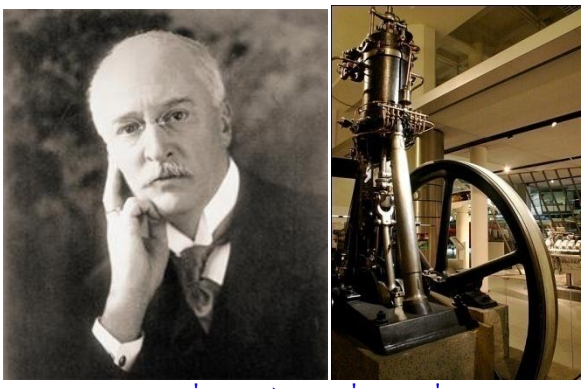
จุดเด่นของเครื่องยนต์นี้อยู่ที่ขนาดที่เล็ก ดังนั้นเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์แบบมีลูกสูบที่ขนาดเท่ากัน เครื่องยนต์แรงเกลจะสร้างแรงขับเคลื่อนได้มากกว่า แต่ก็มีข้อด้อยสำคัญตรงที่ความสึกหรอโดยเฉพาะตรงส่วนมุมของโรเตอร์ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์สั้นกว่าเครื่องยนต์แบบมีลูกสูบ ปัจจุบันนี้มีเพียงรถยนต์บางรุ่นของยี่ห้อมาสดา (Mazda) เท่านั้นที่ใช้เครื่องยนต์แบบนี้

รูปที่ 26 รถยนต์มาสดา รุ่น อาร์เอ็กซ์ 8 (RX-8) ใช้เครื่องยนต์แรงเกล

หมายเหตุ : ในสื่อการสอนมิได้กล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องยนต์แบบนี้

เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

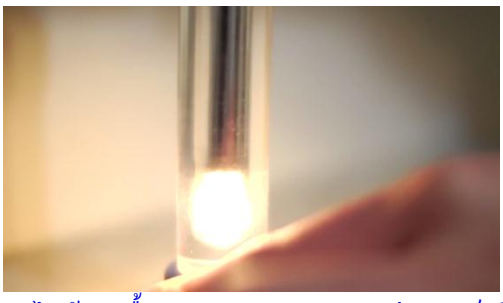
เครื่องยนต์แบบนี้ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1897 (รูปที่ 27 ขวา)โดยวิศวกรชาวเยอรมัน รูดอล์ฟ ดีเซล (Rudolf Diesel) (รูปที่ 27 ซ้าย)



รูปที่ 27 รูดอล์ฟ ดีเซล (ค.ศ. 1858-1913) และเครื่องยนต์ดีเซลเครื่องแรกซึ่งดีเซลประดิษฐ์ขึ้น ปัจจุบันจัดแสดงอยู่ในพิพิธภัณฑ์เมืองมิวนิค ประเทศเยอรมัน (ภาพจาก http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rudolf_Diesel.jpg และ http://en.wikipedia.org/wiki/File:Diesel%27s_Engine.jpg)

เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะในปัจจุบันนี้ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ คล้ายกับเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ คือ กระบอกสูบ ลูกสูบ วาล์วไอดี วาล์วไอเสีย ก้านสูบ และเพลาข้อเหวี่ยง ดังแสดงในรูปที่ 18 เพียงแต่จะไม่มีหัวเทียนเท่านั้น และเชื้อเพลิงที่ใช้คือ น้ำมันดีเซล

การทำงานของเครื่องยนต์ก็ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนอย่างที่ได้กล่าวมาแล้วคือ การรับไอดี การอัดกำลัง และการคายไอเสีย ลักษณะสำคัญของเครื่องยนต์ดีเซลอยู่ที่ขั้นตอนกำลัง ในขั้นตอนนี้เชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบแล้วเกิดการเผาไหม้ขึ้นเองจากอุณหภูมิที่สูงของอากาศในกระบอกสูบ โดยไม่ต้องอาศัยประกายไฟจากหัวเทียน การอัดอากาศให้มีอุณหภูมิสูงจนเกิดการเผาไหม้ได้นี้ก็มีลักษณะเช่นเดียวกับการใช้งานตะบันไฟ (fire piston) นั่นเองดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงจากการอัดลูกสูบอย่างรวดเร็วในตะบันไฟ

สารทำงานในเครื่องยนต์ดีเซลจะเป็นอากาศผสมกับละอองน้ำมันเชื้อเพลิงเช่นกัน เพียงแต่ไม่ได้ผสมกันตั้งแต่เริ่มต้น โดยการเปลี่ยนสถานะของสารทำงานสามารถประมาณได้ดังนี้

1. การรับไอดี : สารทำงานซึ่งขณะนี้มีเพียงอากาศเท่านั้น จะถูกดูดเข้ามาในกระบอกสูบ นั่นคือสารทำงานจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นในขณะที่ความดันคงที่

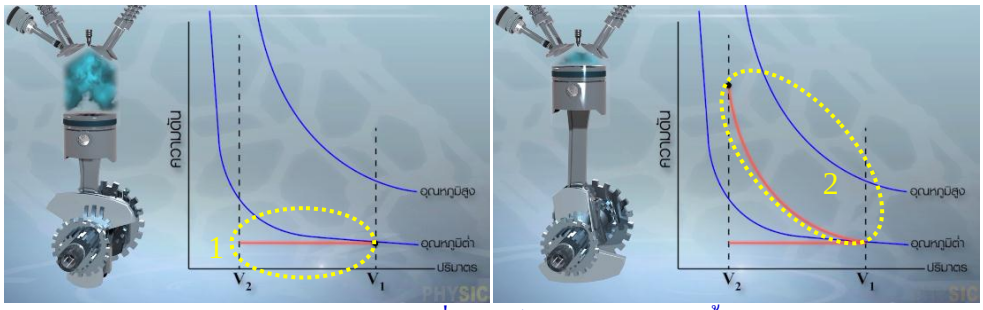
2. การอัด : เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นจะทำให้สารทำงานมีปริมาตรลดลง ความดันสูงขึ้นมากกว่า 4 เมกกะพาสคัล (MPa) และอุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 600 องศาเซลเซียส

3. กำลัง : เมื่อลูกสูบถึงศูนย์ตายบน ละอองน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบ ด้วยอุณหภูมิที่สูงจะทำให้เชื้อเพลิงในสารทำงานเกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว ดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงอย่างรวดเร็วจนความดันแทบไม่เปลี่ยนแปลง

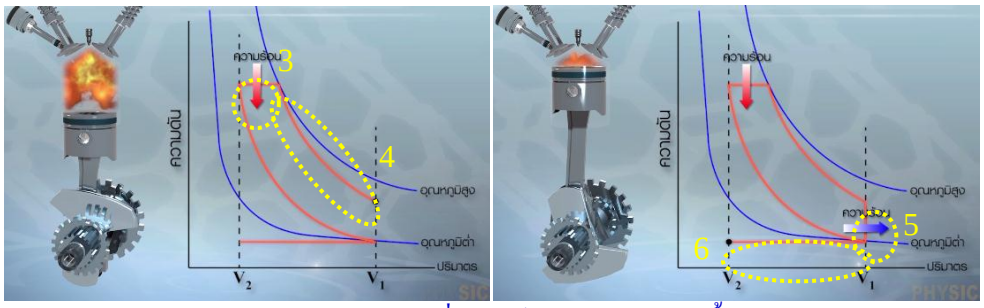
4. กำลัง : ความดันที่สูงมากของสารทำงานจะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงไปยังศูนย์ตายล่าง ช่วงนี้เองที่ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถูกเปลี่ยนให้เป็นงาน

5. คายไอเสีย : เมื่อวาล์วไอเสียเปิดออกจะทำให้สารทำงานจะพุ่งออกไปจากกระบอกสูบอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความดันในกระบอกสูบที่สูงกว่าภายนอก นั่นคือสารทำงานจะมีความดันลดลงในขณะที่ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง

6. คายไอเสีย : ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นดันสารทำงานออกไปจากกระบอกสูบ นั่นคือสารทำงานจะมีปริมาตรลดลงในขณะที่ความดันคงที่



รูปที่ 29 แผนภาพความดัน-ปริมาตรของสารทำงานในเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ในขั้นตอนการรับไอดี (ซ้าย) การอัด (ขวา) วงกลมประสีเหลืองแสดงถึงช่วงต่าง ๆ ตามเนื้อหาด้านบน



รูปที่ 30 แผนภาพความดัน-ปริมาตรของสารทำงานในเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ในขั้นตอนกำลัง (ซ้าย) และการคายไอเสีย (ขวา) วงกลมประสีเหลืองแสดงถึงช่วงต่าง ๆ ตามเนื้อหาด้านบน

เครื่องยนต์จะมีประสิทธิภาพประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าเครื่องยนต์เบนซินมาก อีกทั้งยังปล่อยมลพิษต่ำกว่า แต่เครื่องยนต์ดีเซลก็มีข้อด้อยตรงที่มีเสียงและความสั่นสะเทือนมากกว่า แต่จากปัญหาการแพงขึ้นของน้ำมันและปัญหาสิ่งแวดล้อม ทำให้แนวโน้มในอนาคตจะมีการใช้เครื่องยนต์ดีเซลมากขึ้นเรื่อย ๆ จะเห็นได้จากรถยนต์นั่งในปัจจุบันเริ่มเปลี่ยนมาใช้เครื่องยนต์ดีเซลมากขึ้นกว่าสมัยก่อนมาก ซึ่งในสมัยก่อนเครื่องยนต์ดีเซลจะใช้ในเครื่องจักรกล รถยนต์ หรือเรือขนาดใหญ่เท่านั้น

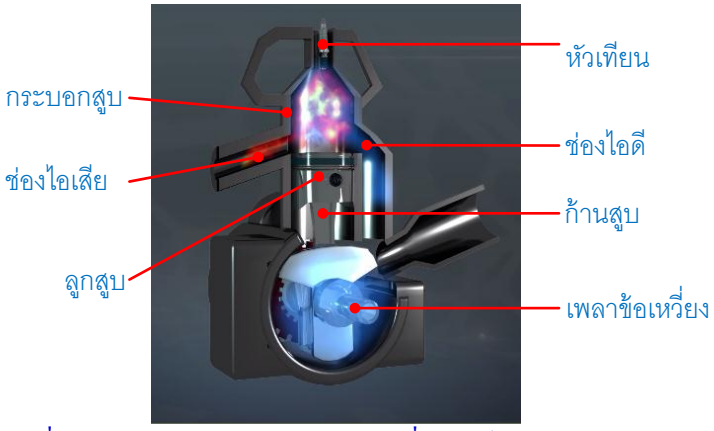
รูปที่ 31 รถยนต์นั่งรุ่นใหม่ ๆ ที่มีการใช้เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมักมีสัญลักษณ์ d หรือ D แสดงอยู่ (ภาพจาก http://www.agnewcars.com/carimages/LFZ4395-2.jpg และ http://www.carsculture.com/imgs/2012/06/2012-Mercedes-Benz-SLK250-CDI-Rear.jpg)

เครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ

เครื่องยนต์ชนิดนี้เป็นนิยมใช้ในเครื่องจักรขนาดเล็กเช่น เครื่องตัดหญ้า มอเตอร์ไซด์รุ่นเก่า (รูปที่ 32) ปั้มน้ำ เรือขนาดเล็ก เป็นต้น เหตุที่เรียกว่าเครื่องยนต์ 2 จังหวะ ก็เนื่องจากลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้น – ลง 2 ครั้ง ใน 1 รอบการทำงาน

รูปที่ 32 ผู้บรรยายแสดงเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ ที่ใช้กับรถมอเตอร์ไซด์ (ซ้าย) และเครื่องตัดหญ้า (ขวา)

เครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะนี้ โดยทั่วไปมักมีเพียง 1 กระบอกสูบ ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องยนต์ประกอบด้วย ลูกสูบ หัวเทียน ก้านสูบ เพลาข้อเหวี่ยง และกระบอกสูบ โดยลูกสูบจะมีช่องสำหรับไอดีและไอเสีย ดังแสดงในรูปที่ 33



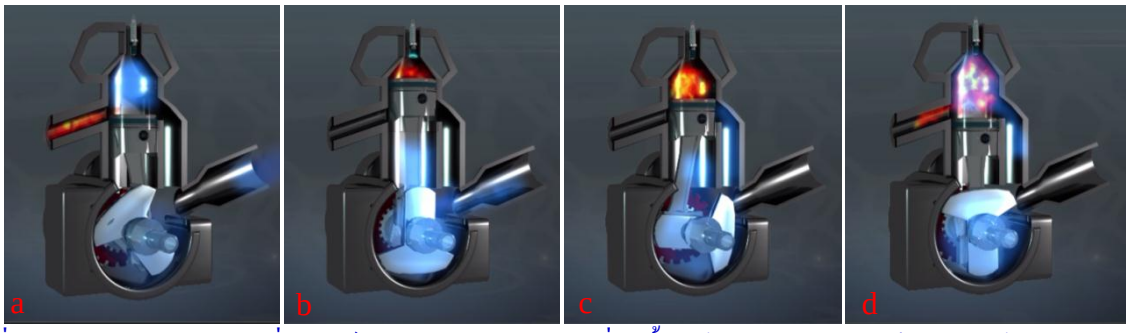
รูปที่ 33 แสดงส่วนประกอบสำคัญของเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ

การเคลื่อนที่ขึ้น – ลง ของลูกสูบใน 1 รอบการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะนี้ ก็สามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนได้เช่นกัน

1. การอัด : เริ่มต้นขณะที่ลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายล่างและมีไอดีอยู่ในกระบอกสูบแล้ว ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นไปยังศูนย์ตายบนอัดไอดีให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น ก่อนที่ลูกสูบจะถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อยหัวเทียนจะสร้างประกายไฟทำให้เชื้อเพลิงในไอดีเกิดการเผาไหม้

2. กำลัง : การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะเป็นผลให้ความดันและอุณหภูมิของแก๊สในกระบอกสูบสูงขึ้นอย่างมาก ดันให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ลง ช่วงนี้เองเป็นช่วงที่ความร้อนถูกเปลี่ยนเป็นงาน

3. การรับไอดี และคายไอเสีย : ก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายล่าง จะผ่านช่องระบายไอเสียและช่องรับไอดีซึ่งอยู่ด้านข้างกระบอกสูบ ไอดีจะถูกดันเข้ามาในกระบอกสูบไล่ไอเสียออกไปทางช่องระบายไอเสีย



รูปที่ 34 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ ลูกสูบเลื่อนขึ้นอัดไอดี (a) หัวเทียนสร้างประกายไฟจุดระเบิด (b) แก๊สขยายตัวดันลูกสูบเลื่อนลง (c) และไอดีถูกอัดเข้ามาพร้อมกับดันไอเสียออกไป (d)

เครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะนี้มีจุดเด่นตรงที่มีขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา แต่มีข้อด้อยสำคัญในเรื่องมลพิษ เนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เพราะไอเสียมักจะถูกระบายออกไม่หมด และมักมีไอดีถูกดันออกไปพร้อมกับไอเสียด้วย อีกทั้งด้วยระบบหล่อลื่นที่ไม่ดีนักน้ำมันหล่อลื่นจึงมักถูกเผาไหม้พร้อมไปด้วยเกิดเป็นควันขาว (รูปที่ 35) ซึ่งประกอบด้วยสารพิษหลายชนิด

รูปที่ 35 ควันขาวซึ่งเกิดจากการเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ

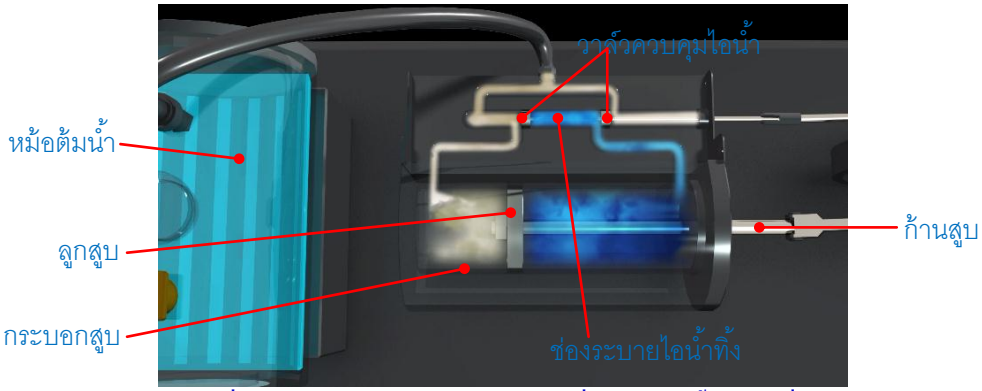
แม้ในสื่อการสอนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเครื่องยนต์เบนซิน 2 จังหวะ แต่จริง ๆ แล้วก็มีเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะด้วยเช่นกัน โดยมีใช้ในเครื่องปั่นไฟฟ้าและเรือเดินสมุทร ผู้สอนอาจให้ผู้เรียนไปค้นคว้ารายละเอียดเพิ่มเติมก็ได้

เครื่องยนต์ไอน้ำแบบลูกสูบ

เครื่องยนต์ไอน้ำจัดเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอก มีการประดิษฐ์คิดค้นและพัฒนามาเป็นระยะเวลายาวนานตั้งแต่ประมาณ ค.ศ. 1600 สมัยแรก ๆ ใช้ได้เป็นเพียงเครื่องปั๊มน้ำ ต่อมาจึงมีการพัฒนาใช้ในการเกษตร โรงงาน เรือ รถไฟ (รูปที่ 36) และรถยนต์ เครื่องยนต์นี้เป็นส่วนสำคัญอย่างมากในการปฏิวัติอุตสาหกรรม

รูปที่ 36 หัวรถจักรไอน้ำซึ่งจัดแสดงอยู่ที่สถานีรถไฟไทรโยคน้อย จ. กาญจนบุรี

เครื่องยนต์ไอน้ำมีมากมายหลายรูปแบบ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะรูปแบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในช่วงปฏิวัติอุตสาหกรรม ซึ่งมักจะมีส่วนประกอบหลักดังนี้ ลูกสูบ กระบอกสูบ ก้านสูบ หม้อต้มน้ำ วาล์วควบคุมไอน้ำ ดังรูปที่ 37



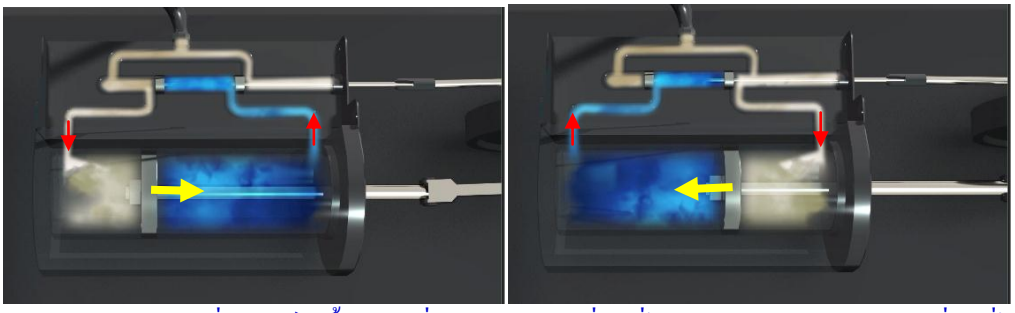
รูปที่ 37 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์ไอน้ำแบบหนึ่ง

โดยหลักการแล้วก็จะใช้เชื้อเพลิงซึ่งก็มักเป็นฟืนหรือถ่านหิน ต้มน้ำให้เดือดกลายเป็นไอ และไอน้ำที่มีความดันสูงนี้เองก็จะถูกปล่อยเข้าไปดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ ซึ่งก็เป็นการเปลี่ยนความร้อนให้เป็นงานนั่นเอง จากนั้นไอน้ำที่ขยายตัวแล้วก็จะถูกดันออกจากกระบอกสูบ

สำหรับแบบจำลองเครื่องจักรไอน้ำในสื่อการสอนนี้จะมีขั้นตอนการทำงาน 2 ขั้นตอน ดังนี้

1.ขณะลูกสูบอยู่ที่ด้านขวาสุด วาล์วควบคุมไอน้ำด้านซ้ายจะเปิดให้ไอน้ำแรงดันสูง (แทนด้วยสีขาว) พุ่งเข้ามาในกระบอกสูบด้านซ้าย ดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางขวา ในขณะเดียวกันวาล์วควบคุมไอน้ำด้านขวาจะเปิดให้ไอน้ำที่ขยายตัวแล้วด้านขวาของลูกสูบถูกดันออกไป (รูปที่ 38 ซ้าย)

2. เมื่อไอน้ำดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางขวาจนสุดแล้ว วาล์วควบคุมไอน้ำด้านขวาจะเปิดให้ไอน้ำแรงดันสูงพุ่งเข้ามาในกระบอกสูบด้านขวา ดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้าย ในขณะเดียวกันวาล์วควบคุมไอน้ำด้านซ้ายจะเปิดให้ไอน้ำที่ขยายตัวแล้วด้านซ้ายของลูกสูบถูกดันออกไป (รูปที่ 38 ขวา)



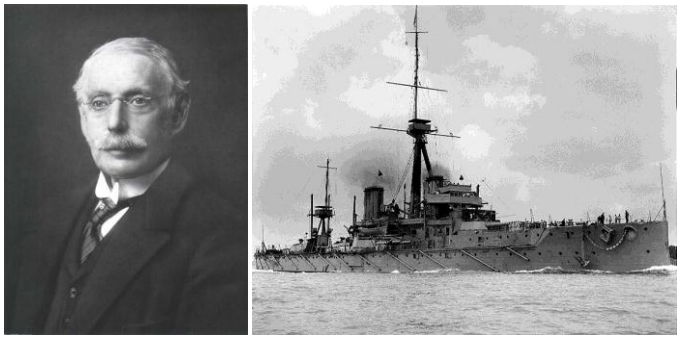
รูปที่ 38 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์ไอน้ำแบบหนึ่ง ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางขวา และขณะลูกสูบเคลื่อนที่ไปทางซ้าย (ลูกศรสีเหลืองแสดงทิศการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ลูกศรสีแดงแสดงทิศการเคลื่อนที่ของไอน้ำ)

แม้เครื่องยนต์ไอน้ำที่ใช้การเคลื่อนที่ของลูกสูบในลักษณะเช่นนี้จะไม่มีใช้อย่างจริงจังแล้วในปัจจุบันนี้ แต่ผู้ที่สนใจก็ยังสามารถหาชมได้ตามพิพิธภัณฑ์ โดยเฉพาะที่พิพิธภัณฑ์หัวรถจักรไอน้ำ สถานีรถไฟธนบุรี ซึ่งได้เก็บรักษาหัวรถจักรไอน้ำที่เคยใช้ในสมัยก่อนไว้หลายคัน หรือหากต้องการนั่งรถไฟขบวนพิเศษซึ่งลากด้วยหัวรถจักรไอน้ำก็ต้องรอให้ถึงวันสำคัญ เช่น วันเฉลิมพระชนม์พรรษา วันปิยะมหาราช หรือวันสถาปนาการรถไฟ ซึ่งการรถไฟจะจัดให้มีการเดินรถโดยใช้หัวรถจักรไอน้ำ ดังเช่นในรูปที่ 39

รูปที่ 39 รถไฟขบวนพิเศษซึ่งลากโดยหัวรถจักรไอน้ำ

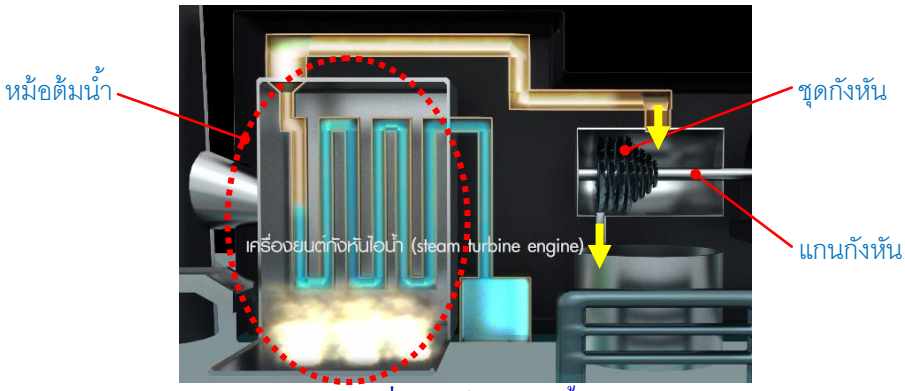
เครื่องยนต์กังหันไอน้ำ

เครื่องยนต์ไอน้ำ ฟังชื่ออาจดูโบราณเหมือนไม่น่าจะมีใช้แล้วในปัจจุบัน ซึ่งก็จริงในส่วนหนึ่งสำหรับ เครื่องจักรไอน้ำแบบลูกสูบอย่างที่ได้กล่าวไปแล้วก่อนหน้านี้ แต่ยังมีเครื่องยนต์ไอน้ำอีกประเภทหนึ่งซึ่งมีใช้อย่างมากมายในปัจจุบัน และก็จะมากขึ้นเรื่อย ๆ ในอนาคต เครื่องยนต์นี้ก็คือ เครื่องยนต์กังหันไอน้ำ เครื่องยนต์นี้มีประวัติย้อนกลับไปหลายร้อยปี แต่รูปแบบที่อย่างที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1884 โดยวิศวกรชาวไอริช เซอร์ ชาร์ลส พาสันส์ (Sir Charles Parsons)



รูปที่ 40 เซอร์ ชาร์ลส พาสันส์ (ค.ศ. 1854 - 1931) (ซ้าย) และ เรือรบ เฮช เอ็ม เอส เดรดนอธ (HMS Dreadnought) เรือรบที่แล่นได้เร็วที่สุดในโลกในขณะนั้น (ค.ศ. 1906) ซึ่งใช้เครื่องยนต์กังหันไอน้ำของพาสันส์ (ภาพจาก http://en.wikipedia.org/wiki/File:Charles_Algernon_Parsons.jpg และ http://en.wikipedia.org/wiki/File:HMS_Dreadnought_1906_H63596.jpg)

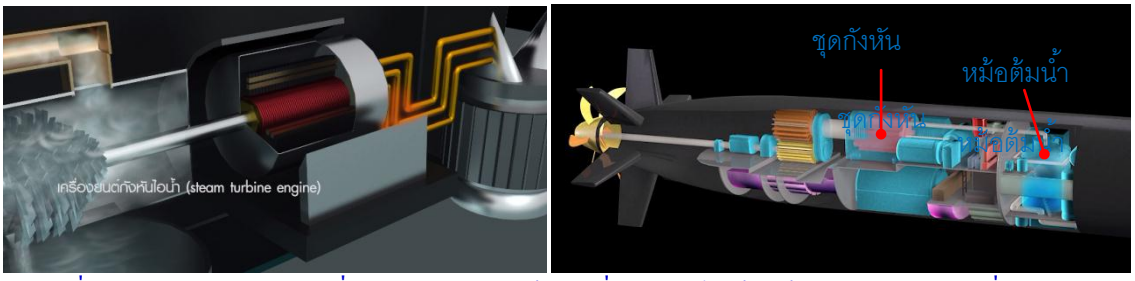
เครื่องยนต์กังหันไอน้ำจัดเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอก ทำงานโดยอาศัยไอน้ำแรงดันสูงขยายตัวหมุนชุดกังหัน ซึ่งความร้อนก็จะถูกเปลี่ยนเป็นงานเช่นกัน เครื่องยนต์กังหันไอน้ำโดยทั่วไปมีส่วนประกอบหลัก ๆ แสดงในรูปที่ 41 ดังนี้ หม้อต้มน้ำ (boiler) ชุดกังหัน (รูปที่ 42) และแกนกังหัน



รูปที่ 41 ภาพจำลองแสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องยนต์กังหันไอน้ำ ลูกศรสีเหลืองแสดงทิศทางการไหลของไอน้ำ

รูปที่ 42 ชุดกังหัน (ภาพจาก http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d7/Dampfturbine_Laeufer01.jpg/350px-Dampfturbine_Laeufer01.jpg)

ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือปฏิกิริยานิวเคลียร์จะทำให้น้ำในหม้อต้มเดือดกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำความดันสูงนี้จะถูกส่งไปตามท่อไปยังชุดกังหัน การขยายตัวของไอน้ำจะทำให้ชุดกังหันหมุน ชุดกังหันทั้งหมดจะถูกยึดอยู่บนแกนหมุนอันเดียวกัน แกนที่หมุนนี้จะถูกนำไปใช้งานไม่ว่าจะเป็นหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ดังรูปที่ 43 ซ้าย) หรือหมุนใบพัด (ดังรูปที่ 43 ขวา) เพื่อขับเคลื่อนยานพาหนะเช่น เรือรบและเรือดำน้ำพลังงานนิวเคลียร์ (ดังรูปที่ 44)



รูปที่ 43 ภาพจำลองแสดงการเชื่อมต่อแกนกังหันเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ซ้าย) และใบพัดขับเคลื่อน (ขวา)

รูปที่ 44 เรือดำน้ำพลังงานนิวเคลียร์ (ซ้าย) และเรือบรรทุกเครื่องบินพลังงานนิวเคลียร์ (ขวา)

ส่วนไอน้ำที่ผ่านชุดกังหันออกมาก็จะถูกระบายออกไป อาจถูกทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม (ดังรูปที่ 45) หรือนำกลับไปควบแน่นในกลายเป็นน้ำแล้วนำกลับไปต้มใหม่อีกก็ได้

รูปที่ 45 แสดงไอน้ำที่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ (ภาพจาก http://2.bp.blogspot.com/-T5dk-w8rb6g/Tu4wZ_fMw2I/AAAAAAAABzs/Mwyp5YHsVV0/s1600/Top+10+Biggest+Nuclear+Power+Station+in+the+World+9.jpg)

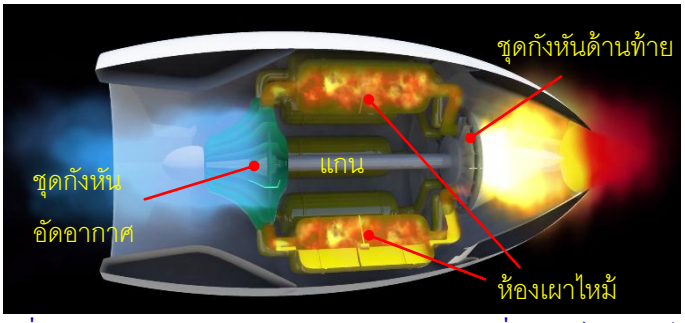
เครื่องยนต์กังหันไอน้ำถูกใช้มากมายทั่วโลกอย่างที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น เนื่องจากมีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวน้อยชิ้น สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายตั้งแต่ ขยะ เศษวัสดุทางการเกษตร (รูปที่ 46 ซ้าย) น้ำมันเชื้อเพลิง ความร้อนใต้พิภพ (รูปที่ 46 ขวา) หรือปฏิกิริยานิวเคลียร์ และที่สำคัญเครื่องยนต์นี้มีประสิทธิภาพถึงประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้อยู่ทั่วไป

รูปที่ 46 กองวัสดุการเกษตรและโรงไฟฟ้าชีวมวล (ซ้าย) โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ (ขวา) (ภาพจาก http://4.bp.blogspot.com/-UxdbX_or1rw/T_vKWk8SXCI/AAAAAAAAA6E/9EYTZKm5Img/s1600/Biomass+with+Plant.jpg และhttp://progressivetimes.files.wordpress.com/2012/02/geothermal-power-plant-i01.jpg)

ดังนั้นจึงไม่น่าแปลกใจเลยว่ากว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในโลกเรานี้ถูกผลิตจากเครื่องยนต์กังหันไอน้ำเหล่านี้

เครื่องยนต์กังหันแก๊ส

เครื่องยนต์แบบนี้มีลักษณะคล้ายกับเครื่องยนต์กังหันไอน้ำ แต่เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องยนต์กังหันแก๊สมีแบบย่อย ๆ อีกหลายแบบ ในสื่อการสอนนี้จะกล่าวถึงเพียงหลักการคร่าว ๆ เครื่องยนต์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ชุดกังหันอัดอากาศ (turbine compressor) ด้านหน้า ซึ่งจะมีแกนเชื่อมต่อกับชุดกังหันด้านท้าย และมีห้องเผาไหม้อยู่ระหว่างชุดกังหันทั้งสอง แสดงดังรูปที่ 47



รูปที่ 47 ภาพจำลองแสดงส่วนประกอบสำคัญของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส

เครื่องยนต์กังหันแก๊สทำงานโดยเริ่มจากชุดทั้งหมดเริ่มหมุน การหมุนของกังหันอัดอากาศด้านหน้าจะอัดอากาศให้มีความดันสูงเข้าไปในห้องเผาไหม้ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปผสมกับอากาศและถูกจุดทำให้เกิดการเผาไหม้ ความร้อนจากการเผาไหม้จะทำให้แก๊สในห้องเผาไหม้มีความดันสูงขึ้นอย่างมาก ซึ่งแก๊สนี้จะถูกพ่นออกมาดันชุดกังหันด้านหลัง ทำให้ชุดกังหันทั้งหมดหมุนเร็วยิ่งขึ้นไปอีก

การขับเคลื่อนพาหนะจากเครื่องยนต์กังหันแก๊สนิยมทำใน 2 รูปแบบ คือ

1. ใช้แก๊สที่พ่นออกมาด้านหลังเป็นตัวสร้างแรงขับเคลื่อนโดยตรง มักเรียกเครื่องยนต์ลักษณะนี้ว่า เครื่องยนต์เจ็ท (jet engine) นิยมใช้ในเครื่องบินที่บินด้วยความเร็วสูง (รูปที่ 48)

รูปที่ 48 เครื่องบินรบซึ่งใช้เครื่องยนต์เจ็ท

2. ใช้การหมุนของชุดกังหันทั้งหมดเชื่อมต่อกับใบพัดขนาดใหญ่ภายนอกเพื่อให้การหมุนของใบพัดขนาดใหญ่นั้นสร้างแรงขับเคลื่อนต่อไปดังแสดงในรูปที่ 49 มักนิยมใช้ในเครื่องบินที่บินด้วยความเร็วต่ำ เรือ และเฮลิคอปเตอร์ (รูปที่ 50)

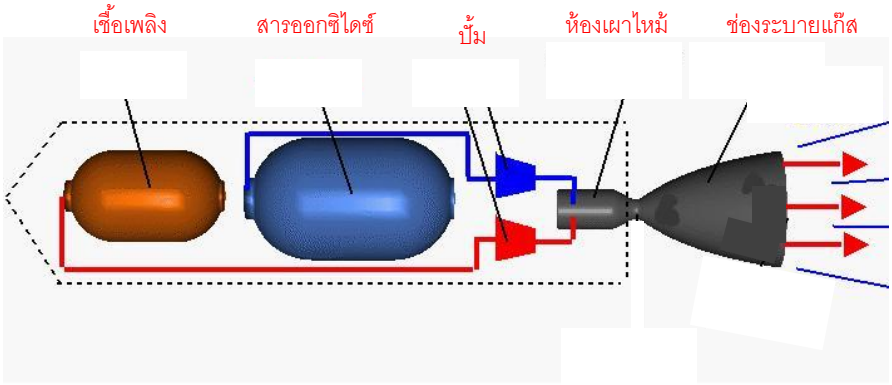
รูปที่ 49 ภาพจำลองแสดงการสร้างแรงขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์กังหันแก๊สโดยใช้ใบพัดขนาดใหญ่ภายนอก

รูปที่ 50 ตัวอย่างอากาศยานที่ใช้การสร้างแรงขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์กังหันแก๊สโดยใช้ใบพัดขนาดใหญ่ภายนอก

เครื่องยนต์กังหันแก๊สมีจุดเด่นตรงที่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวน้อยชิ้น และมีน้ำหนักที่เบากว่าเครื่องยนต์แบบอื่น ๆ ที่ให้กำลังในการขับเคลื่อนเท่า ๆ กัน จึงไม่น่าแปลกใจที่อากาศยานแทบทุกแบบจะใช้เครื่องยนต์ชนิดนี้เป็นตัวสร้างแรงขับเคลื่อน

เครื่องยนต์จรวด

เครื่องยนต์จรวดจัดเป็นแบบหนึ่งของเครื่องยนต์เจ็ท เนื่องจากใช้การขยายตัวของแก๊สความดันสูงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ แต่จะแตกต่างจากเครื่องยนต์เจ็ทที่เป็นเครื่องยนต์กังหันแก๊สอย่างที่ได้กล่าวไปแล้วก่อนหน้านี้ตรงที่ เครื่องยนต์จรวดจะไม่มีการอัดอากาศจากภายนอกเข้าไปในห้องเผาไหม้ แต่จะใช้สารออกซิไดซ์ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เป็นผลให้เกิดทั้งแก๊สและความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นก็จะทำให้แก๊สที่เกิดขึ้นมีความดันสูงขึ้นอย่างมาก เมื่อพ่นออกมาก็จะสร้างแรงขับเคลื่อนได้อย่างมหาศาล ดังรูปที่ 51



รูปที่ 51 แผนภาพแสดงหลักการของเครื่องยนต์จรวด

และการที่เครื่องยนต์นี้ไม่ต้องพึ่งพาอากาศจากภายนอกจึงทำให้สามารถใช้งานได้ทุกที่ไม่ว่าจะเป็นบนบกในน้ำ หรือแม้แต่ในอวกาศ เครื่องยนต์จรวดนี้จึงมักถูกใช้เป็นตัวสร้างแรงขับเคลื่อนของกระสวยอวกาศจรวดต่าง ๆ ยานอวกาศ และขีปนาวุธ ดังรูปที่ 52

รูปที่ 52 การปล่อยกระสวยอวกาศ (ซ้าย) และขีปนาวุธโทมาฮอว์ค (Tomahawk missile) (ภาพจาก http://lovelygenerationtech.webs.com/SpaceShuttle_Launch_-_large.jpg และ http://bosniangenocide.files.wordpress.com/2011/02/tomahawk-cruise-missile-bosnian-genocide1.jpeg)

แต่เครื่องยนต์จรวดที่ใกล้ตัวเราที่สุดน่าจะเป็นพวกผีพุ่งใต้ วีดบึ้ม ตะไลหรือบั้งไฟ (รูปที่ 53) ที่เราจุดในเทศกาลต่าง ๆ อุปกรณ์นี้จะใช้การเผาไหม้ของดินปืนทำให้เกิดแก๊สและความร้อนสร้างแรงขับเคลื่อนให้กับของเล่นเหล่านั้น

รูปที่ 53 การจุดบั้งไฟ (ซ้าย) และตะไล (ขวา)ในประเพณีบุญบั้งไฟ

ผู้สอนอาจหาซื้อผีพุ่งใต้ หรือตะไลอันเล็ก ๆ มาจุดให้ผู้เรียนดูเพื่อนำเข้าสู่บทเรียนก็ได้ หรืออาจให้นักเรียนอภิปรายว่าของเล่นเหล่านี้จัดเป็นเครื่องยนต์ความร้อนได้หรือไม่

หมายเหตุ : ในสื่อการสอนมิได้กล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องยนต์แบบนี้

วิดิทัศน์

การทำงานของเครื่องยนต์ในแบบต่างๆ

YouTube

https://www.youtube.com/watch?v=ikHBnrhhu60

วิดิทัศน์

หลักการทำงานเครื่องยนต์ 2 จังหวะและ 4 จังหวะ

YouTube

https://www.youtube.com/watch?v=IN3E3ASytHc

วิดิทัศน์

การทำงานของเครื่องยนต์

YouTube

https://www.youtube.com/watch?v=odm-XqQBaas

Super Worker

“Developing productivity workers skill of all levels and entrepreneurs towards Thailand 4.0”

E-mail : dsd2u@hotmail.com

Line id : dsd2uline

สำนักงานพัฒนาฝีมือแรงงานมุกดาหาร

326 หมู่ 2 ตำบลคำป่าหลาย อำเภอเมือง จังหวัดมุกดาหาร 49000

โทร.042-643765-9