แบบตรวจแผนการจัดการเรียนรู้

รายวิชา.....เครื่องยนต์สันดาปภายใน..... **รหัสวิชา ..30101-2003.....**

ภาคเรียนที่.....2.....ปีการศึกษา.....2568..... **ครูผู้สอน.....นายศรายุทธ ทบเนตร.....**

การตรวจสอบ

อ้างอิงมาตรฐาน	☑	มี	☐	ไม่มี
ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา	☑	มี	☐	ไม่มี
จุดประสงค์การเรียนรู้	☑	มี	☐	ไม่มี
มาตรฐานรายวิชา	☑	มี	☐	ไม่มี
คำอธิบายรายวิชา	☑	มี	☐	ไม่มี
สมรรถนะรายวิชา	☑	มี	☐	ไม่มี
ตารางวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้ตามจุดประสงค์รายวิชาและสมรรถนะรายวิชา	☑	มี	☐	ไม่มี
เวลาเรียน 15 สัปดาห์	☑	มี	☐	ไม่มี
การประเมินสรุปผลการเรียนรู้ (15 สัปดาห์)	☑	มี	☐	ไม่มี
สาระสำคัญ	☑	มี	☐	ไม่มี
จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม	☑	มี	☐	ไม่มี
สมรรถนะรายหน่วย	☑	มี	☐	ไม่มี
กิจกรรมการเรียนรู้	☑	มี	☐	ไม่มี
สื่อการเรียนรู้	☑	มี	☐	ไม่มี
การวัดผลประเมินผล	☑	มี	☐	ไม่มี
บูรณาการเศรษฐกิจพอเพียง	☑	มี	☐	ไม่มี
บูรณาการ 3D	☑	มี	☐	ไม่มี
แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน	☑	มี	☐	ไม่มี
ใบงานหรือแบบฝึกหัด	☑	มี	☐	ไม่มี

สิ่งที่ควรแก้ไข

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(นายศรายุทธ ทบเนตร)

หัวหน้าแผนกวิชาเทคนิคเครื่องกลเรือ

การอนุมัติแผนการจัดการเรียนรู้

รายวิชา.....เครื่องยนต์สันดาปภายใน..... **รหัสวิชา ..30101-2003.....**

ภาคเรียนที่.....2.....ปีการศึกษา.....2568..... **ครูผู้สอน.....นายศรายุทธ ทบเนตร.....**

ความเห็นหัวหน้าแผนกวิชาเทคนิคเครื่องกลเรือ

เหมาะสมต่อการใช้ในการเรียนการสอน

ลงชื่อ.....

(.....นายศรายุทธ ทบเนตร.....)

...../...../.....

ความเห็นหัวหน้างานหลักสูตรการเรียนการสอน

เห็นสมควรพิจารณาอนุมัติ

ลงชื่อ.....

(นางเกศนีย์ แก่กล้า)

...../...../.....

ความเห็นรองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ

เห็นควรอนุมัติ

ลงชื่อ.....

(นางสาวกัลยา หาญชิน)

...../...../.....

ความเห็นผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคบ้านค่าย

อนุมัติ

.....

(นายยุทธพันธ์ โคตรพันธ์)

...../...../.....

แผนการจัดการเรียนรู้

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2567

ประเภทวิชาอุตสาหกรรมโลจิสติกส์

กลุ่มอาชีพพาณิชยนาวี

สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกลเรือ

รหัสวิชา 30101-2003 เครื่องยนต์สันดาปภายใน

(Internal Combustion Engine)

วิทยาลัยเทคนิคบ้านค่าย

ตัวอย่าง

คำนำ

แผนการสอนแผนการจัดการเรียนรู้ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช ประเภทวิชาอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ กลุ่มอาชีพพาณิชยนาวี สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกลเรือสาขาวิชาเทคนิครหัสวิชา 30101-2003 เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอน ประจำภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2568

เนื้อหาในแผนการจัดการเรียนรู้ วิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) รหัสวิชา 30101-2003 เล่มนี้ แบ่งออกเป็น 5 หน่วยการเรียน เริ่มจากเรื่อง **1. หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 2.พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ 3. การผสมเชื้อเพลิง 4. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 5. การสันดาป** ซึ่งแต่ละหน่วยจะมีใบความรู้,ใบกิจกรรม,ใบงาน,ใบมอบหมายงาน,แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) รหัสวิชา 30101-2003 เล่มนี้จะได้นำมาใช้ประกอบการเรียนการสอนจะเป็นแผนที่ในการดำเนินการสอนให้บรรลุวัตถุประสงค์ของรายวิชาตามที่ต้องการ

(นายศรายุทธ ทบเนตร)
ตำแหน่ง ครู
แผนกวิชาเทคนิคเครื่องกลเรือ

ศรายุทธ ทบเนตร

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
หลักสูตรรายวิชา	ค
มาตรฐานอาชีพ (ถ้ามี)	ง
ตาราวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้	จ
หน่วยการเรียนรู้	ฉ
ตารางวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้	ช
หน่วยที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์	1
แผนการจัดการเรียนรู้	1
ใบความรู้	4
ใบกิจกรรม	17
ใบมอบหมายงาน	21
แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ	
หน่วยที่ 2 พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	24
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1	24
ใบความรู้ 1	27
ใบงาน 1	30
ใบกิจกรรม 1	33
ใบมอบหมายงาน 1	36
แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ	
หน่วยที่ 2 พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	38
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2	38
ใบความรู้ 2	42
ใบงาน 2	45
ใบกิจกรรม 2	48
ใบมอบหมายงาน 2	51
แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ	
หน่วยที่ 2 พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	54
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3	54
ใบความรู้ 3	57
ใบงาน 3	60
ใบกิจกรรม 3	63

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ใบมอบหมายงาน 3 66
แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ
หน่วยที่ 2 พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ 54
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 54
ใบความรู้ 4 57
ใบงาน 4 60
ใบกิจกรรม 4 63
ใบมอบหมายงาน 4 66
แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ
หน่วยที่ 2 พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ 69
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 73
ใบความรู้ 5 75
ใบงาน 5 77
ใบกิจกรรม 5 80
ใบมอบหมายงาน 5 66
แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ
หน่วยที่ 3 วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล 86
แผนการจัดการเรียนรู้ 1 86
ใบความรู้ 1 91
ใบงาน 1 100
ใบกิจกรรม 1 103
ใบมอบหมายงาน 1 106
แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ
หน่วยที่ 3 วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล 109
แผนการจัดการเรียนรู้ 2 113
ใบความรู้ 2 113
ใบงาน 2 122
ใบกิจกรรม 2 125
ใบมอบหมายงาน 2 128
แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ
หน่วยที่ 4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 131
แผนการจัดการเรียนรู้ 134
ใบงาน 140
ใบความรู้ 143

ตัวอย่าง ห้ามเผยแพร่

ใบกิจกรรม 127
ใบมอบหมายงาน 146
แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ
หน่วยที่ 5 การสันดาป
แผนการจัดการเรียนรู้ 149
ใบความรู้ 152
ใบกิจกรรม 152
ใบงาน 156
ใบมอบหมายงาน 161
แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติงาน/ผลลัพธ์การเรียนรู้/สมรรถนะ

ตรวจเล่ม ทบทวน

ลักษณะรายวิชา

หลักสูตร ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)

ประเภทวิชา อุตสาหกรรมโลจิสติกส์ กลุ่มอาชีพ อาชีพพาณิชยนาวี สาขาวิชา เทคนิคเครื่องกลเรือ

ชื่อ วิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) รหัสวิชา 30101-2003

ทฤษฎี 3 ชั่งโมง/สัปดาห์ ปฏิบัติ - ชั่วโมง/สัปดาห์ จำนวน 3 หน่วยกิต

อ้างอิงมาตรฐาน

1. มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน รหัส - อาชีพช่างบำรุงรักษารถยนต์ ระดับ 2
2. มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน รหัส - อาชีพช่างซ่อมรถยนต์ ระดับ 2-3
3. มาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน รหัส - อาชีพช่างซ่อมเครื่องยนต์ดีเซล ระดับ 2-3

ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา

วิเคราะห์งานเทอร์โมไดนามิกส์และการประยุกต์ใช้งานของเครื่องยนต์ สันดาปภายใน เพื่อการแก้ไขของเครื่องยนต์ ตามมาตรฐานอาชีพช่างบำรุงรักษารถยนต์ ระดับ 2 ช่างซ่อมรถยนต์ ระดับ 2-3 ช่างซ่อมเครื่องยนต์ดีเซล ระดับ 2-3

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซล หลักการและวิธีแก้ไขการเกิดมลภาวะจากยานยนต์ การสืบหาความรู้เกี่ยวกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน
2. คำนวณหาอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของความร้อน
3. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการสืบค้นความรู้ ในการทำงาน ปฏิบัติงานด้วยความประณีตรอบคอบ ประหยัด มีวินัยตรงต่อเวลา ตระหนักถึงความปลอดภัยในการทำงานและรักษาสิ่งแวดล้อมและใช้เหตุผลของวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ การเกิดมลภาวะจากยานยนต์
4. สามารถประยุกต์ใช้งานของเครื่องยนต์ สันดาปภายในงานเครื่องกลและยานยนต์

สมรรถนะรายวิชา

1. ประมวลความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซล
2. คำนวณหาอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของความร้อน
3. แก้ไขการเกิดมลภาวะจากยานยนต์
4. สืบหาความรู้เกี่ยวกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน
5. ประยุกต์ใช้หลักการเครื่องยนต์สันดาปภายใน กับงานเทคนิคเครื่องกล

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นของเทอร์โมไดนามิกส์และการประยุกต์ใช้งานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ การผสมกันระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพความร้อน การฉีดเชื้อเพลิงและการสันดาป โครงสร้างลักษณะ การออกแบบห้องสันดาปการเกิดมลภาวะจากยานยนต์ การแก้ไขการน๊อกของเครื่องยนต์และการทำงานของเครื่องยนต์โรตารี่

ตารางวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้ตามจุดประสงค์รายวิชาและสมรรถนะรายวิชา

วิชา.....เครื่องยนต์สันดาปภายใน..... รหัสวิชา.....30101-2003.....(3-0-3)เวลาเรียน.....3...ชั่งโมง/สัปดาห์

ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา(Job) นายประจำเรือฝ่ายชางกลเรือ				
งานหลัก (Duty)	**งานย่อย (Task)**	**สมรรถนะย่อย** (มาตรฐานอาชีพ)	**ความรู้ ในการปฏิบัติงาน**	**ทักษะ ในการปฏิบัติงาน**
1. หลักการทำงานของเครื่องยนต์	1. งานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน		1. การทำงานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 2 จังหวะ 2. การทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ	1. อธิบายการทำงานเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 2 จังหวะ 2. อธิบายการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ 3. เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 2 จังหวะและ 4 จังหวะ
	2. งานเครื่องยนต์ดีเซล		1. การทำงานเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ 2. การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	1. อธิบายการทำงานเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ 2. อธิบายการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ 3. เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะและ 4 จังหวะ
2. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	1. พลังงาน		1. ความหมายของพลังงาน 2. ความหมายของพลังงานศักย์ 3. ความหมายของพลังงานจลน์ 4. ความหมายของพลังงานที่ได้จากการไหล	1. อธิบายความหมายของพลังงาน 2. อธิบายความหมายของพลังงานศักย์ 3. คำนวณหาค่าพลังงานศักย์ 4. คำนวณหาค่าพลังงานจลน์ 5. คำนวณหาค่าพลังงานจลน์
	2. ความร้อน		1. ความหมายของความร้อน 2. ค่าปริมาณความร้อน	1. อธิบายความหมายของความร้อน 2. คำนวณหาค่าปริมาณความร้อน
	3. พลังงานภายใน		1. ความหมายของพลังงานภายใน 2. ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน	1. อธิบายความหมายของพลังงานภายใน 2. คำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน

ตัวอย่าง

ตารางวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้ตามจุดประสงค์รายวิชาและสมรรถนะรายวิชา

วิชา.....เครื่องยนต์สันดาปภายใน..... รหัสวิชา.....30101-2003.....(3-0-3)เวลาเรียน.....3...ชั่งโมง/สัปดาห์

ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา(Job) นายประจำเรือฝ่ายชางกลเรือ				
งานหลัก (Duty)	**งานย่อย (Task)**	**สมรรถนะย่อย** (มาตรฐานอาชีพ)	**ความรู้ ในการปฏิบัติงาน**	**ทักษะ ในการปฏิบัติงาน**
	4. ก๊าซอุดมคติ		1. ความหมายของก๊าซอุดมคติ 2. สมการบอกสภาวะของก๊าซอุดมคติ	1. ความหมายของก๊าซอุดมคติ 2. คำนวณหาค่าต่าง ๆ จากสมการบอกสภาวะของก๊าซอุดมคติ
	5. เอนทาลปี		1. ความหมายของเอนทาลปี้ 2. สมการของเอนทาลปี	1. อธิบายความหมายของเอนทาลปี้ 2. คำนวณหาค่าเอนทาลปี้
3. การผสมเชื้อเพลิง	1. อัตราส่วนผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ		1. ความหมายของการผสมเชื้อเพลิง 2. ความหมายของอัตราส่วนผสมของมวลอากาศต่อมวลเชื้อเพลิง	1. อธิบายความหมายของการผสมเชื้อเพลิง 2. อธิบายความหมายของอัตราส่วนผสมของมวลอากาศต่อมวลเชื้อเพลิง
	2. การฉีดเชื้อเพลิงและการสันดาป		1. ความหมายของการฉีดเชื้อเพลิงและการสันดาป 2. ส่วนประกอบต่าง ๆ ของการฉีดเชื้อเพลิง	1. อธิบายความหมายของการฉีดเชื้อเพลิงและการสันดาป 2. อธิบายส่วนประกอบต่าง ๆ ของการฉีดเชื้อเพลิง
	3. อัตราการไหลของอากาศ		1. อัตราการไหลของมวลอากาศ 2. อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง 3. อัตราส่วนผสมของมวลอากาศต่อมวลเชื้อเพลิง	1. คำนวนหาอัตราการไหลของมวลอากาศ 2. คำนวนหาอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง 3. คำนวนหาอัตราส่วนผสมของมวลอากาศต่อมวลเชื้อเพลิง
4. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	1. สมรรถนะของเครื่องยนต์		1. ความหมายของการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 2. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	1. อธิบายความหมายของการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 2. สามารถการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์
	2. กำลังม้าเบรก		1. ความหมายของการกำลังม้าเบรก 2. คำนวนหากำลังมาเบรกเครื่องยนต์	1. อธิบายความหมายของการกำลังม้าเบรก 2. คำนวนหากำลังมาเบรกเครื่องยนต์

ตัวอย่าง

ตารางวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้ตามจุดประสงค์รายวิชาและสมรรถนะรายวิชา

วิชา.....เครื่องยนต์สันดาปภายใน..... รหัสวิชา.....30101-2003.....(3-0-3)เวลาเรียน.....3...ชั่งโมง/สัปดาห์

ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา(Job) นายประจำเรือฝ่ายชางกลเรือ				
งานหลัก (Duty)	**งานย่อย (Task)**	**สมรรถนะย่อย** (มาตรฐานอาชีพ)	**ความรู้ ในการปฏิบัติงาน**	**ทักษะ ในการปฏิบัติงาน**
	3. กำลังม้าชี้บ่ง		1. ความหมายของการกำลังม้าชี้บ่ง 2. คำนวนหากำลังม้าชี้บ่งเครื่องยนต์	1. อธิบายความหมายของการกำลังม้าชี้บ่ง 2. คำนวนหากำลังม้าชี้บ่งเครื่องยนต์
	4. ประสิทธิภาพทางกล		1. ความหมายของประสิทธิภาพทางกล 2. คำนวนหาประสิทธิภาพทางกล	1. อธิบายความหมายของประสิทธิภาพทางกล 2. คำนวนหาประสิทธิภาพทางกล
	5. ประสิทธิภาพทางความร้อน		1. ความหมายของประสิทธิภาพทางความร้อน 2. คำนวนหาประสิทธิภาพทางความร้อน	1. อธิบายความหมายของประสิทธิภาพทางความร้อน 2. คำนวนหาประสิทธิภาพทางความร้อน
	6. ความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง		1. ความหมายของความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง 2. คำนวนหาความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง	1. อธิบายความหมายของความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง 2. คำนวนหาความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง
5. การสันดาป	1. ความรู้พื้นฐานทางเคมี		1. ความรู้พื้นฐานทางเคมี 2. สมการพื้นฐานทางเคมี	1. อธิบายความหมายของความรู้พื้นฐานทางเคมี 2. เขียนสมการพื้นฐานทางเคมี
	2. การวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยมวล		1. การวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยมวล 2. สมการการสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยมวล 3. วิเคราะห์หาอัตราส่วนอากาศกับน้ำมันโดยมวล 4. วิเคราะห์หาผลิตผลที่ได้จากการสันดาปเป็น	1. อธิบายการวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยมวล 2. เขียนสมการการสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยมวล 3. วิเคราะห์หาอัตราส่วนอากาศกับน้ำมันโดยมวล 4. วิเคราะห์หาผลิตผลที่ได้จากการสันดาปเป็นเปอร์เซ็นต์โดยมวล

ตารางวิเคราะห์หน่วยการเรียนรู้ตามจุดประสงค์รายวิชาและสมรรถนะรายวิชา

วิชา.....เครื่องยนต์สันดาปภายใน..... รหัสวิชา.....30101-2003.....(3-0-3)เวลาเรียน.....3...ชั่งโมง/สัปดาห์

	3. การวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยปริมาตร		1. การวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยปริมาตร 2. สมการการสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยปริมาตร 3. สามารถวิเคราะห์หาอัตราส่วนอากาศกับน้ำมันโดยปริมาตร 4. สามารถวิเคราะห์หาผลิตผลที่ได้จากการสันดาปเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	1. อธิบายการวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยปริมาตร 2. เขียนสมการการสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยปริมาตร 3. สามารถวิเคราะห์หาอัตราส่วนอากาศกับน้ำมันโดยปริมาตร 4. สามารถวิเคราะห์หาผลิตผลที่ได้จากการสันดาปเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
	4. การวิเคราะห์อัตราส่วนอากาศกับน้ำมัน		1. การวิเคราะห์อัตราส่วนอากาศกับน้ำมัน 2. สมการการอัตราส่วนอากาศกับน้ำมัน 3. คำนวณหาปริมาณอากาศที่ใช้ในการสันดาปของสารเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนเกิน	1. อธิบายการวิเคราะห์อัตราส่วนอากาศกับน้ำมันโดยปริมาตร 2. เขียนสมการอัตราส่วนอากาศกับน้ำมัน 3. สามารถคำนวณหาปริมาณอากาศที่ใช้ในการสันดาปของสารเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนเกิน

ตรวจเอกสารต้นฉบับ

หน่วยการเรียนรู้

ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน **รหัสวิชา 30101-2003**

ทฤษฎี 3 ชั่วโมง/สัปดาห์ ปฏิบัติ - ชั่วโมง/สัปดาห์ จำนวน 3 หน่วยกิต รวม 45 ชั่วโมง/ภาคเรียน

หน่วยที่	หน่วยการเรียนรู้	เวลาเรียน (ชม.)		
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ	รวม
1	1. หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 1.1 โครงสร้างของเครื่องยนต์ 1.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ 1.3 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหว่ะ 1.4 ตำแหน่งการจุดระเบิดของเครื่องยนต์	3	3	6
2	2. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์ 2.1 ความหมายของพลังงาน 2.2 รูปของพลังงาน 2.3 ความร้อน 2.4 พลังงานภายใน 2.5 สมการบอกสภาวะของก๊าซอุดมคติ 2.6 การกำหนดเครื่องหมายของงาน และความร้อน 2.7 สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล 2.8 เอนทาลปี้ 2.9 สมการพลังงานของระบบเปิดที่มีการไหลสม่ำเสมอ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (C_v) ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (C_p) ค่าคงที่เฉพาะของก๊าซ (R) และค่าคงที่ของสารตัวกลาง (k)	6	6	12
3	3. วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล (Air standard diesel cycle) 3.1 วัฏจักรคาร์โนต์ 3.2 อัตราส่วนของงาน 3.3 วัฏจักรออตโต หรือ วัฏจักรปริมาตรคงที่ (Otto cycle or constant volume cycle) 3.4 วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล (Air standard diesel cycle) 3.5 วัฏจักรผสม (dual combustion cycle)	2	4	6

หน่วยการเรียนรู้

ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน **รหัสวิชา 30101-2003**

ทฤษฎี 3 ชั่วโมง/สัปดาห์ ปฏิบัติ - ชั่วโมง/สัปดาห์ จำนวน 3 หน่วยกิต รวม 45 ชั่วโมง/ภาคเรียน

หน่วยที่	หน่วยการเรียนรู้	เวลาเรียน (ชม.)		
		ทฤษฎี	ปฏิบัติ	รวม
4	4. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 4.1 ความหมายของสมรรถนะของเครื่องยนต์ 4.2 การวัดกำลังม้าเบรก 4.3 การวัดกำลังม้าชี้บ่ง 4.4 กำลังม้าเสียดทาน 4.5 ความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง 4.6 ความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ 4.7 ประสิทธิภาพทางกล 4.8 ประสิทธิภาพทางความร้อน	4	8	12
5	5. การสันดาป 5.1 ความรู้พื้นฐานทางเคมี 5.2 การวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยมวล 5.3 การวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิงโดยปริมาตร 5.4 การวิเคราะห์อัตราส่วนอากาศกับน้ำมัน 5.5 การเปลี่ยนการวิเคราะห์โดยปริมาตรไปเป็นการวิเคราะห์โดยมวล 5.6 การเปลี่ยนการวิเคราะห์โดยมวลไปเป็นการวิเคราะห์โดยปริมาตร 5.7 การสันดาปของสารเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนเกิน	3	9	12

ตราประทับ

ตารางวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้

วิชา งานไฟฟ้ายานยนต์ รหัสวิชา 30101-2009 เวลาเรียน 5 ชั่งโมง/สัปดาห์ รวม 75 ชั่วโมง/ภาคเรียน

หน่วยการเรียนรู้	ความสามารถที่คาดหวัง									รวม	จำนวนชั่วโมง ท/ป
	พุทธิพิสัย						ทักษะพิสัย	จิตพิสัย	ประยุกต์ใช้		
	ความรู้	ความเข้าใจ	การนำไปใช้	การวิเคราะห์	การประเมินค่า	การสร้างสรรค์					
1. หลักการทำงานของเครื่องยนต์	2	4	2	1	-	-	2	3	2	15	6
2. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	2	2	2	3	-	-	4	3	2	27	12
3. การผสมเชื้อเพลิง	1	2	2		-	-	3	3	2	12	6
4. การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	1	4	3	1		-	5	4	2	23	12
5. การสันดาป	1	2	2	4		-	6	4	2	20	9
รวม	7	14	11	9			20	20	10	100	
ประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับรายวิชา (เมื่อเรียนรายวิชานี้สำเร็จแล้วทำอะไรได้) วิเคราะห์งานเทอร์โมไดนามิกส์และการประยุกต์ใช้งานของเครื่องยนต์ สันดาปภายใน เพื่อการแก้ไขของเครื่องยนต์ ตามมาตรฐานอาชีพช่างบำรุงรักษารถยนต์ ระดับ 2 ช่างซ่อมรถยนต์ ระดับ 2-3 ช่างซ่อมเครื่องยนต์ดีเซล ระดับ 2-3											
รวมทั้งรายวิชา										100	45

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 1
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 1-2
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. หลักการทำงานของเครื่องยนต์	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งานหลักการทำงานของเครื่องยนต์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถ**อธิบายและวิเคราะห์**หลักการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในประเภทต่าง ๆ และ**นำความรู้ไปใช้ในการวินิจฉัยปัญหาเบื้องต้น**ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานผิดปกติของเครื่องยนต์ในยานพาหนะ หรือเครื่องจักรกลขนาดเล็กในชีวิตประจำวัน/งานอาชีพได้

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ (อ้างอิงจากสาขาอาชีพช่างยนต์/เทคนิคยานยนต์)

- **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมบำรุงรักษาทั่วไป (Automotive General Maintenance Technician)
- **สมรรถนะย่อย:** เข้าใจหลักการทำงานและส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องยนต์ (Understanding the basic operating principle and components of the engine)

1. **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:** อธิบายวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) และ 2 จังหวะได้อย่างถูกต้อง ชี้แจงความแตกต่างระหว่างเครื่องยนต์เบนซินและดีเซลได้

2. **วิธีประเมิน:** การทดสอบข้อเขียน การสังเกตจากการนำเสนอ/อธิบายหลักการทำงาน

3. **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):** แผนภาพ/โมเดลจำลองการทำงานของเครื่องยนต์พร้อมคำอธิบาย, รายงานการวิเคราะห์หลักการทำงาน

4. **หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence):** ผลการทดสอบความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงาน, ส่วนประกอบ และชนิดของเครื่องยนต์

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ

- **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์ (เน้นการเชื่อมโยงหลักการทำงานสู่การวิเคราะห์ระบบที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบจุดระเบิด ระบบเชื้อเพลิง) และ ช่างเทคนิคเครื่องจักรกลเกษตร/อุตสาหกรรม (เนื่องจากมีการใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในในเครื่องจักรกลเหล่านี้)

3. สมรรถนะประจำหน่วย (Competency per Unit)

3.1 อธิบายหลักการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะและ 2 จังหวะ ตามมาตรฐานของวัฏจักรการทำงาน (Cycle Standard)

3.2 เปรียบเทียบหลักการทำงานและลักษณะของเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์เบนซิน ได้อย่างชัดเจน

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

4.1 อธิบายวัฏจักรการทำงานทั้ง 4 จังหวะของเครื่องยนต์ได้อย่างถูกต้อง (K)

4.2สามารถวาด/สร้างแผนภาพจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะได้ (S)

4.3 แสดงความรับผิดชอบและมีวินัยในการศึกษาค้นคว้าหลักการทำงานของเครื่องยนต์ (A)

4.4 เชื่อมโยงหลักการทำงานของเครื่องยนต์เข้ากับการวินิจฉัยอาการผิดปกติเบื้องต้น เช่น การสตาร์ทติดยาก (P/A)

5. สาระการเรียนรู้ (Learning Contents)

1. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน
2. ส่วนประกอบหลักที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องยนต์
3. วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย)
4. วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ
5. ความแตกต่างและหลักการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน (Spark Ignition Engine) และเครื่องยนต์ดีเซล (Compression Ignition Engine)
6. หลักการพื้นฐานของเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องยนต์

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (Learning Activities)

1. **ขั้นนำ (15 นาที)** ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้ภาพหรือวิดีโอ (เช่น วิดีโอ YouTube) แสดงการทำงานของเครื่องยนต์จริง และกระตุ้นคำถามเกี่ยวกับหน้าที่ของชิ้นส่วนหลัก

2. **ขั้นสอน (120 นาที)**

1. ครูบรรยายพร้อมใช้สื่อ Power Point, โมเดลจำลอง, หรือแอนิเมชันเพื่ออธิบายวัฏจักร 4 จังหวะและ 2 จังหวะอย่างละเอียด

2. นักเรียนแบ่งกลุ่มเพื่อศึกษาเปรียบเทียบหลักการทำงานของเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล โดยเน้นที่ความแตกต่างของกระบวนการจุดระเบิด (ประกายไฟ/การอัด)

3. นักเรียนแต่ละกลุ่มทำกิจกรรม “วาดและอธิบาย” โดยให้วาดแผนภาพ/ผังการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ พร้อมระบุสถานะของลิ้นไอดี-ไอเสียและหัวลูกสูบในแต่ละจังหวะ

3. **ขั้นสรุปและการประยุกต์ใช้ (45 นาที):**

1. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปหลักการทำงานทั้งหมด

2. ครูตั้งสถานการณ์ปัญหา (Problem-Based Learning - PBL) เช่น "ถ้าเครื่องยนต์มีควันขาวมากในช่วงจังหวะคาย จะเกิดจากสาเหตุใดและเชื่อมโยงกับหลักการทำงานได้อย่างไร" ให้นักเรียนกลุ่มเดิมระดมสมองและนำเสนอคำตอบเพื่อฝึกการประยุกต์ใช้ความรู้

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้ (Media and Resources)

1. หนังสือเรียน/เอกสารประกอบการสอนวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน
2. Power Point Presentation/สื่อมัลติมีเดีย (Animation แสดงหลักการทำงาน)
3. โมเดลเครื่องยนต์จำลอง (แบบตัด/แบบแสดงการทำงาน)
4. วิดีโอจาก YouTube เกี่ยวกับการทำงานของเครื่องยนต์
5. [YouTube Video Link Here]

8. หลักฐานการเรียนรู้ (Learning Evidence)

8.1 **หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence):**

1. ผลการทดสอบย่อย/แบบฝึกหัดท้ายหน่วย
2. สรุปองค์ความรู้เรื่องหลักการทำงานของเครื่องยนต์ในสมุด/รายงาน

ตัวอย่าง ห้ามนำไปใช้

8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):

1. แผนภาพ/ผังการทำงานของเครื่องยนต์ที่วาด/สร้างโดยกลุ่ม
2. การนำเสนอและการอธิบายหลักการทำงานต่อหน้าชั้นเรียน
3. รายงานผลการวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหา (PBL)

9. การวัดและประเมินผล (Assessment)

9.1 **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:**

1. ความถูกต้องในการอธิบายวัฏจักรการทำงาน (70%)
2. ความชัดเจนในการเปรียบเทียบเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล (20%)
3. การมีส่วนร่วมและวินัยในการทำกิจกรรมกลุ่ม (10%)

9.2 วิธีการประเมิน:

1. ประเมินผลการทดสอบย่อย (วัดพุทธิพิสัย)
2. สังเกตการปฏิบัติงานกลุ่มและการนำเสนอ (วัดทักษะพิสัย/จิตพิสัย/ประยุกต์ใช้ฯ)
3. ตรวจผลงานแผนภาพและการวิเคราะห์ปัญหา

9.3 เครื่องมือประเมิน:

1. แบบทดสอบปรนัย/อัตนัย
2. แบบประเมินการนำเสนอและอธิบาย (Rubric Score)
3. แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม

10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

10.1 ผลการจัดการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นกับผู้เรียน

.....

.....

.....

10.2 ปัญหา อุปสรรคที่พบ

.....

.....

.....

10.3 การแก้ไขปัญหา

1) ผลการแก้ไขปัญหาที่ส่งผลลัพธ์ที่ดีต่อผู้เรียน

.....

.....

2) แนวทางแก้ปัญหาในครั้งต่อไป

.....

.....

ครูยุพิน พบเหมาะ

	ใบความรู้ ที่ 1	หน่วยที่ 1
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 1-2
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. หลักการทำงานของเครื่องยนต์	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งานหลักการทำงานของเครื่องยนต์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถ**อธิบาย**และ**วิเคราะห์**หลักการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (เบนซินและดีเซล ทั้ง 2 และ 4 จังหวะ) และ**นำความรู้ไปใช้ในการวินิจฉัยปัญหาเบื้องต้น**ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ในยานพาหนะ หรือเครื่องจักรกลขนาดเล็กในงานอาชีพได้จริง

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ** ช่างซ่อมบำรุงรักษาทั่วไปยานยนต์ (Automotive General Maintenance Technician)

2. **สมรรถนะย่อย** เข้าใจหลักการทำงานและส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องยนต์

1. **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:** อธิบายและจำแนกวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) และ 2 จังหวะ พร้อมชี้แจงความแตกต่างของหลักการจุดระเบิดในเครื่องยนต์เบนซินและดีเซลได้อย่างถูกต้อง

2. **วิธีประเมิน** ทดสอบข้อเขียน, การสังเกตจากการอธิบายด้วยแผนภาพจำลอง

3. **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):** แผนภาพ/ผังแสดงการทำงานของเครื่องยนต์แต่ละจังหวะ, การนำเสนออธิบายด้วยโมเดล

4. **หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence):** ผลการทดสอบความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องยนต์

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ

1. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์, ช่างเทคนิคเครื่องจักรกลเกษตร (เพื่อให้เห็นภาพการนำความรู้ไปใช้กับเครื่องจักรกลที่หลากหลาย)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 อธิบายหลักการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซล 4 จังหวะ ได้อย่างมีขั้นตอนและถูกต้องตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์

3.2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียและลักษณะการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะและ 4 จังหวะ ในสถานการณ์การใช้งานจริง

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (เขียนให้ครบด้าน พุทธิพิสัย ทักษะพิสัย จิตพิสัย และ ประยุกต์ใช้ฯ)

4.1 พุทธิพิสัย (Knowledge - K) อธิบายวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะและ 2 จังหวะได้ถูกต้อง และจำแนกความแตกต่างของหลักการทำงานระหว่างเครื่องยนต์เบนซินและดีเซลได้

4.2 ทักษะพิสัย (Skill - S) วาดแผนภาพ หรือใช้สื่อจำลองเพื่ออธิบายหลักการทำงานของเครื่องยนต์แต่ละจังหวะได้อย่างชัดเจน

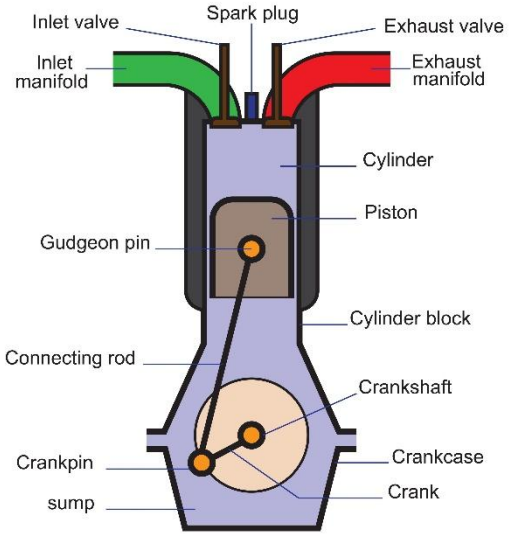
4.3 จิตพิสัย (Affective - A) และ ประยุกต์ใช้ (Applied - P): แสดงความละเอียดรอบคอบในการวิเคราะห์หลักการทำงาน (A) และสามารถเชื่อมโยงหลักการทำงานเพื่อวินิจฉัยอาการผิดปกติเบื้องต้นของเครื่องยนต์ที่พบในงานอาชีพได้ (P)

5. เนื้อหาสาระ (Learning Contents)

ความรู้พื้นฐานเรื่องเครื่องยนต์สันดาปภายใน

1.1 โครงสร้างของเครื่องยนต์ (Engine Structure)

เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) เป็นเครื่องจักรที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานกล (การหมุน) โครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญหลายส่วนที่ทำงานประสานกัน ดังนี้:



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญ

ส่วนประกอบหลัก (Stationary Parts):

1. **เสื้อสูบ (Cylinder Block):** เป็นโครงสร้างหลักของเครื่องยนต์ มีลักษณะเป็นบล็อกโลหะที่เจาะรูเป็นช่องกระบอกสูบ เป็นที่ติดตั้งของเพลาข้อเหวี่ยงและชิ้นส่วนอื่นๆ
2. **ฝาสูบ (Cylinder Head):** เป็นชิ้นส่วนที่ปิดอยู่ด้านบนของเสื้อสูบ ทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้ และเป็นที่ติดตั้งของวาล์วไอดี/ไอเสีย (ในเครื่องยนต์ 4 จังหวะ) หัวเทียน (เครื่องยนต์เบนซิน) หรือหัวฉีด (เครื่องยนต์ดีเซล)
3. **อ่างน้ำมันเครื่อง (Oil Pan / Sump):** ติดตั้งอยู่ด้านล่างสุดของเสื้อสูบ ใช้สำหรับกักเก็บน้ำมันหล่อลื่น

ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ (Moving Parts):

1. **ลูกสูบ (Piston):** เป็นชิ้นส่วนทรงกระบอกที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลงภายในกระบอกสูบ ทำหน้าที่รับแรงดันจากการจุดระเบิดและถ่ายทอดแรงไปยังก้านสูบ
2. **แหวนลูกสูบ (Piston Rings):** ติดตั้งรอบลูกสูบ ทำหน้าที่ป้องกันการรั่วไหลของกำลังอัด (แหวนอัด) และป้องกันน้ำมันเครื่องเล็ดลอดเข้าห้องเผาไหม้ (แหวนกวาดน้ำมัน)
3. **ก้านสูบ (Connecting Rod):** ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างลูกสูบกับเพลาข้อเหวี่ยง เพื่อถ่ายทอดแรง

4. **เพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft):** เป็นเพลาหลักของเครื่องยนต์ ทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบขึ้น-ลงของลูกสูบ ให้เป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน เพื่อส่งกำลังต่อไปยังระบบส่งกำลัง (เกียร์)

ระบบวาล์ว (Valve Train) - (ส่วนใหญ่ใน 4 จังหวะ):

1. **วาล์วไอดี (Intake Valve) และ วาล์วไอเสีย (Exhaust Valve):** ทำหน้าที่เป็น "ประตู" เปิด-ปิด เพื่อให้ส่วนผสมไอดี (อากาศและเชื้อเพลิง) เข้ามา และให้ไอเสียออกไป

2. **เพลาลูกเบี้ยว (Camshaft):** เป็นเพลาที่มี "ลูกเบี้ยว" (Cams) ติดอยู่ ทำหน้าที่กดและปล่อยวาล์วให้เปิด-ปิดตามจังหวะที่ถูกต้อง โดยรับแรงหมุนมาจากเพลาข้อเหวี่ยง (ผ่านสายพานหรือโซ่)

ส่วนประกอบอื่น ๆ

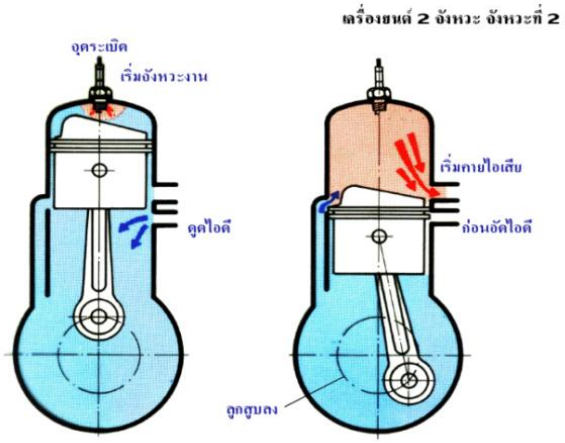
1. **หัวเทียน (Spark Plug):** (ในเครื่องยนต์เบนซิน) ทำหน้าที่สร้างประกายไฟเพื่อจุดระเบิดส่วนผสมไอดี
2. **หัวฉีด (Injector):** (ในเครื่องยนต์ดีเซล หรือเบนซินระบบฉีดตรง GDI) ทำหน้าที่ฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นฝอยละเอียดเข้าไปในห้องเผาไหม้

1.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ (2-Stroke Engine Principle)

เครื่องยนต์ 2 จังหวะ (Two-Stroke Engine) ทำงานครบวงจร (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) ภายใน **2 จังหวะ** การเคลื่อนที่ของลูกสูบ (ขึ้น 1 ครั้ง และ ลง 1 ครั้ง) หรือคิดเป็นการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง **1 รอบ เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 360 องศา**

เครื่องยนต์ 2 จังหวะมักไม่มีวาล์ว แต่ใช้ "ช่อง" (Ports) ที่ผนังกระบอกสูบ และใช้ตัวลูกสูบเป็นตัวเปิด-ปิดช่องเหล่านี้แทน

การทำงานแบ่งเป็น 2 จังหวะ



ภาพที่ 2 แสดงการทำงานแบ่งเป็น 2 จังหวะ

ที่มาของภาพ : http://enginecarthai.blogspot.com/2016/05/2.html

จังหวะที่ 1 จังหวะดูด (อัด) (Upward Stroke: Intake/Compression)

1. **ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น** (จากจุดศูนย์ตายล่าง BDC ไปยังจุดศูนย์ตายบน TDC)
2. **การอัด (Compression):** ในพื้นที่เหนือลูกสูบ (ห้องเผาไหม้) ส่วนผสมไอดี (น้ำมัน+อากาศ+ออโต้ลูบ) ที่ถูกส่งเข้ามาในรอบที่แล้ว จะถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลง ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น

3. **การดูด (Intake):** ในขณะเดียวกัน การเคลื่อนที่ขึ้นของลูกสูบ ทำให้พื้นที่ใน "ห้องแคร้ง" (Crankcase - ใต้ลูกสูบ) เกิดสุญญากาศ
4. แรงดูดนี้จะดึงเอา **ไอดีใหม่** จากคาร์บูเรเตอร์ ไหลผ่าน "ช่องพอร์ตไอดี" (Intake Port) เข้ามาเก็บไว้ในห้องแคร้ง

จังหวะที่ 2: จังหวะระเบิด (คาย) (Downward Stroke: Power/Exhaust)

1. **จุดระเบิด (Ignition):** เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เกือบถึงจุดสูงสุด (TDC) หัวเทียนจะจุดประกายไฟ ทำให้ไอดีที่ถูกอัดไว้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว (ระเบิด)
2. **กำลัง (Power):** แรงดันมหาศาลจากการเผาไหม้ จะดันลูกสูบให้ **เคลื่อนที่ลง** อย่างรวดเร็ว (นี่คือจังหวะที่ได้กำลังงาน)
3. **การคาย (Exhaust):** เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาถึงระดับหนึ่ง จะเปิด "ช่องพอร์ตไอเสีย" (Exhaust Port) ก่อน ไอเสียที่ถูกเผาไหม้แล้วจะไหลพรวดพราดออกไป
4. **การถ่ายโอนไอดี (Transfer):** เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงต่ำอีกเล็กน้อย จะเปิด "ช่องพอร์ตไอดี" (Transfer Port) ซึ่งเชื่อมต่อกับห้องแคร้ง ไอดีใหม่ที่ถูกอัดรออยู่ในห้องแคร้ง (จากการเคลื่อนที่ลงของลูกสูบ) ก็จะไหลทะลักเข้าสู่กระบอกสูบ เพื่อไล่ไอเสียเก่าที่ค้างอยู่ออกไป และเตรียมพร้อมสำหรับการอัดในรอบต่อไป

ข้อดี: โครงสร้างง่าย (ไม่มีวาล์ว) น้ำหนักเบา ให้อัตราส่วนแรงม้าต่อน้ำหนักสูง

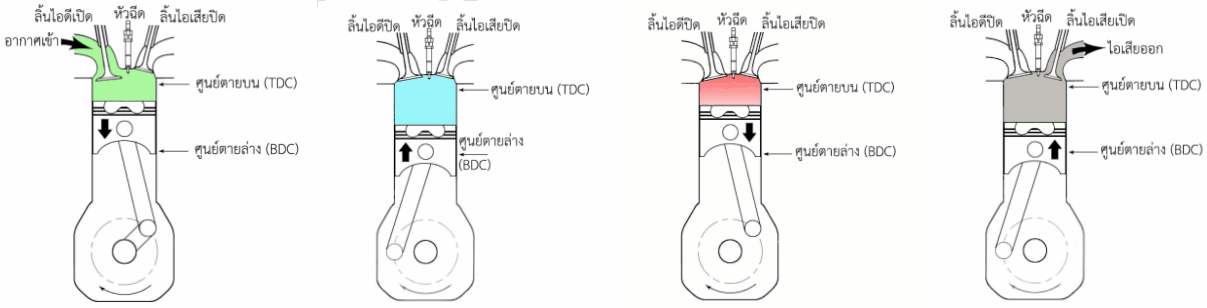
ข้อเสีย: สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (มีไอดีบางส่วนปนไปกับไอเสีย) มลพิษสูง (เผาไหม้น้ำมันหล่อลื่นไปด้วย)

1.3 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ (4-Stroke Engine Principle)

เครื่องยนต์ 4 จังหวะ (Four-Stroke Engine) ทำงานครบวงจร (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) โดยใช้ **4 จังหวะ** การเคลื่อนที่ของลูกสูบ (ขึ้น-ลง-ขึ้น-ลง) หรือคิดเป็นการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง **2 รอบ เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 720 องศา**

เครื่องยนต์ 4 จังหวะ ใช้ระบบวาล์ว (ไอดีและไอเสีย) และเพลาลูกเบี้ยวในการควบคุมการเปิด-ปิดที่แม่นยำ

การทำงานแบ่งเป็น 4 จังหวะ



1. จังหวะดูด (Intake Stroke)

1) **ลูกสูบ:** เคลื่อนที่ลง (TDC ถึง BDC)
2) **วาล์วไอดี: เปิด**
3) **วาล์วไอเสีย: ปิด**

4) **การทำงาน:** ลูกสูบเคลื่อนที่ลง สร้างสุญญากาศในกระบอกสูบ ดูดเอาส่วนผสมไอดี (อากาศ + เชื้อเพลิง) หรืออากาศบริสุทธิ์ (ในเครื่องดีเซล/GDI) เข้ามาในกระบอกสูบ

2. จังหวะอัด (Compression Stroke)

1) **ลูกสูบ:** เคลื่อนที่ขึ้น (BDC ขึ้นสู่ TDC)
2) **วาล์วไอดี: ปิด**
3) **วาล์วไอเสีย: ปิด**
4) **การทำงาน:** วาล์วทั้งสองปิดสนิท ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น อัดส่วนผสมไอดีให้มีปริมาตรเล็กลง ทำให้ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นมาก

3. จังหวะระเบิด (Power / Combustion Stroke)

1) **ลูกสูบ:** เคลื่อนที่ลง (TDC $\rightarrow$ BDC)
2) **วาล์วไอดี: ปิด**
3) **วาล์วไอเสีย: ปิด**
4) **การทำงาน:** เมื่อลูกสูบเกือบถึงจุดสูงสุด (TDC) หัวเทียนจะจุดประกายไฟ (เบนซิน) หรือหัวฉีดฉีดเชื้อเพลิง (ดีเซล) เกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรง แรงดันสูงจากการระเบิดจะผลักลูกสูบให้เคลื่อนที่ลง (เป็นจังหวะเดียวที่ได้กำลังงาน)

4. จังหวะคาย (Exhaust Stroke)

1) **ลูกสูบ:** เคลื่อนที่ขึ้น (BDC ขึ้นสู่ TDC)
2) **วาล์วไอดี: ปิด**
3) **วาล์วไอเสีย: เปิด**
4) **การทำงาน:** ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ดันไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ให้ออกไปจากกระบอกสูบผ่านทางวาล์วไอเสียที่เปิดอยู่

เมื่อสิ้นสุดจังหวะคาย วาล์วไอเสียจะปิด วาล์วไอดีจะเริ่มเปิด และเครื่องยนต์ก็จะเริ่ม "จังหวะดูด" ใหม่อีกครั้ง วนไปเป็นวัฏจักร

ข้อดี: ประสิทธิภาพสูง (เผาไหม้สมบูรณ์กว่า) ประหยัดเชื้อเพลิงกว่า มลพิษต่ำกว่า

ข้อเสีย: โครงสร้างซับซ้อน (มีระบบวาล์ว) ชิ้นส่วนเยอะ น้ำหนักมาก

1.4 ตำแหน่งการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ (Engine Ignition Timing)

ตำแหน่งการจุดระเบิด หรือ **ไทม์มิ่ง (Timing)** คือ "เวลา" ที่หัวเทียนสร้างประกายไฟ (ในเครื่องยนต์เบนซิน) หรือหัวฉีดเริ่มฉีดน้ำมัน (ในเครื่องยนต์ดีเซล) โดยอ้างอิงกับตำแหน่งของลูกสูบ หรือองศาการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง

ทำไมต้องจุดระเบิด "ก่อน" ลูกสูบถึงจุดสูงสุด (BTDC)?

หลายคนอาจคิดว่าควรจุดระเบิดตอนที่ลูกสูบอัดไอดีจนสุด (ที่จุดศูนย์ตายบน หรือ TDC) พอดี แต่ในความเป็นจริง การเผาไหม้ไม่ได้เกิดขึ้นทันที แต่ต้องใช้ "เวลา" เล็กน้อย (แม้จะเร็วมาก) เพื่อให้เปลวไฟลุกลามและสร้างแรงดันสูงสุด

1. **จุดประสงค์:** เราต้องการให้เกิด **แรงดันสูงสุด** จากการเผาไหม้ในจังหวะระเบิด *หลังจาก* ที่ลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านจุดศูนย์ตายบน (TDC) ไปเล็กน้อย เพื่อให้แรงดันนั้น "ผลัก" ลูกสูบลงไปได้เต็มประสิทธิภาพที่สุด

2. **การปฏิบัติ:** เพื่อให้ได้แรงดันสูงสุดในเวลาที่ถูกต้อง เราจึงต้อง "จุดระเบิดล่วงหน้า"

3. **BTDC (Before Top Dead Center):** คือคำที่ใช้เรียกตำแหน่งการจุดระเบิดนี้ หมายถึง "ก่อนถึงจุดศูนย์ตายบน"

4. **หน่วยวัด:** มักวัดเป็น **องศา ($^\circ$)** ของเพลาข้อเหวี่ยงก่อนถึง TDC เช่น 10° BTDC หมายความว่า หัวเทียนจะจุดประกายไฟ เมื่อเพลาข้อเหวี่ยงหมุนมาถึงตำแหน่ง 10 องศาก่อนที่ลูกสูบจะถึงจุดสูงสุด

การปรับตั้งไทม์มิ่ง (Timing Advance/Retard)

1. **Advance (จุดระเบิดเร็วขึ้น/แก่ขึ้น)** เมื่อเครื่องยนต์มี **รอบสูงขึ้น (RPM สูง)** ลูกสูบจะเคลื่อนที่เร็วมาก เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (ซึ่งค่อนข้างคงที่) จะไม่เพียงพอ ดังนั้น ระบบจะต้อง "จุดระเบิดให้เร็วขึ้น" (เพิ่มองศา BTDC มากขึ้น) เพื่อให้เผาไหม้ทัน

2. **Retard (จุดระเบิดช้าลง/อ่อนลง)** เมื่อเครื่องยนต์มี **ภาระโหลดสูง (เช่น เหยียบคันเร่งหนักๆ ตอนรอบต่ำ)** อาจเกิด "การน็อค" (Knocking) หรือการชิงจุดระเบิด ระบบอาจจะต้อง "จุดระเบิดให้ช้าลง" (ลดองศา BTDC) เพื่อลดแรงดันในห้องเผาไหม้ชั่วขณะ

สรุป ตำแหน่งการจุดระเบิดที่ถูกต้อง (BTDC) เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพ กำลัง และการป้องกันความเสียหายของเครื่องยนต์ โดยจะถูกควบคุมอย่างแม่นยำ (ในปัจจุบันใช้ระบบคอมพิวเตอร์ หรือ ECU) ให้เหมาะสมกับความเร็วรอบและภาระของเครื่องยนต์ในขณะนั้น

6. แบบฝึกหัด

ส่วนที่ 1 แบบฝึกหัดอัตนัย (ชนิดเติมคำในช่องว่าง)

คำชี้แจง: จงเติมคำหรือข้อความลงในช่องว่างให้ถูกต้องสมบูรณ์ (จำนวน 5 ข้อ)

1. ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่แบบขึ้น-ลงของลูกสูบ ให้กลายเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุน คือ _____
2. เครื่องยนต์ 2 จังหวะ ทำงานครบ 1 วงจร (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) โดยใช้การหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงเพียง _____
3. ใน "จังหวะอัด" (Compression Stroke) ของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ทั้งวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียจะต้องอยู่ในสถานะ _____
4. ในเครื่องยนต์ 2 จังหวะ ไอดีใหม่ (น้ำมัน+อากาศ) จะถูกดูดเข้าไปเก็บไว้ใน _____ ก่อนที่จะถูกส่งเข้าสู่กระบอกสูบ
5. อักษรย่อ **BTDC** ซึ่งหมายถึงการจุดระเบิดล่วงหน้า มีความหมายเต็มว่า _____

ส่วนที่ 2: ข้อสอบปรนัย (ชนิด 4 ตัวเลือก)

คำชี้แจง: จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว (จำนวน 10 ข้อ)

1. ชิ้นส่วนใดที่ ไม่ได้ ติดตั้งอยู่บน "ฝาสูบ" (Cylinder Head)?

ก. หัวเทียน ข. วาล์วไอดี

ค. อ่างน้ำมันเครื่อง ง. วาล์วไอเสีย

2. หน้าที่หลักของ "แหวนลูกสูบ" (Piston Rings) คืออะไร?

ก. เชื่อมต่อลูกสูบกับก้านสูบ ข. ป้องกันกำลังอัดรั่วไหล และกวาดน้ำมันเครื่อง

ค. เปิด-ปิด วาล์วไอดีและไอเสีย ง. กักเก็บน้ำมันหล่อลื่น

3. เครื่องยนต์ 4 จังหวะ ต้องใช้การหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงกี่รอบ เพื่อให้ทำงานครบ 1 วงจร (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย)?

ก. 1 รอบ (360 องศา) ข. 2 รอบ (720 องศา)

ค. 3 รอบ ง. 4 รอบ

4. ข้อใดคือข้อเสียของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ ที่ระบุไว้ในใบเนื้อหา?

ก. โครงสร้างซับซ้อน มีชิ้นส่วนวาล์วมาก

ข. น้ำหนักมากเมื่อเทียบกับกำลังที่ได้

ค. มลพิษสูง เพราะมีการเผาไหม้น้ำมันหล่อลื่น (ออโต้ลูบ)

ง. ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่า 4 จังหวะ

5. ในเครื่องยนต์ 4 จังหวะ "จังหวะดูด" (Intake Stroke) มีลักษณะการทำงานอย่างไร?

ก. ลูกสูบขึ้น, วาล์วไอเสียเปิด ข. ลูกสูบขึ้น, วาล์วปิดสนิท

ค. ลูกสูบลง, วาล์วไอดีเปิด ง. ลูกสูบลง, วาล์วปิดสนิท

6. ในเครื่องยนต์ 2 จังหวะ ไอดีใหม่ถูกส่งจากห้องแคร้งเข้าสู่กระบอกสูบ (Transfer) ในจังหวะใด?

ก. จังหวะอัด (ขณะลูกสูบกำลังขึ้น) ข. จังหวะระเบิด/คาย (ขณะลูกสูบกำลังลง)

ค. ตอนที่ลูกสูบอยู่จุดศูนย์ตายบน (TDC) พอดี ง. ตอนที่จุดระเบิดพอดี

7. เครื่องยนต์ 4 จังหวะ ได้รับ "กำลังงาน" (Power) ซึ่งเกิดจากแรงดันการเผาไหม้ในจังหวะใด?

ก. จังหวะดูด ข. จังหวะอัด

ค. จังหวะระเบิด ง. จังหวะคาย

8. เหตุผลหลักที่เครื่องยนต์ต้องตั้ง "ตำแหน่งการจุดระเบิด" (Ignition Timing) ไว้แบบ BTDC (ก่อนศูนย์ตายบน) คืออะไร?

ก. เพื่อให้หัวเทียนมีเวลาพัก

ข. เพื่อประหยัดเชื้อเพลิงในจังหวะอัด

ค. เพราะการเผาไหม้ต้องใช้เวลา จึงจุดก่อนเพื่อให้แรงดันสูงสุดเกิดหลัง TDC พอดี

ง. เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์ร้อนจนเกินไป

9. "เพลาลูกเบี้ยว" (Camshaft) ในเครื่องยนต์ 4 จังหวะ มีหน้าที่สำคัญอย่างไร?

ก. สร้างประกายไฟ

ข. หมุนข้อเหวี่ยงโดยตรง

ค. เปลี่ยนการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง เป็นการหมุน

ง. กดและปล่อยวาล์วไอดี/ไอเสีย ให้เปิด-ปิดตามจังหวะ

10. ตามเนื้อหา เมื่อเครื่องยนต์มี "รอบสูงขึ้น" (RPM สูง) ระบบจุดระเบิดจะต้องปรับตั้งอย่างไร?

ตัวอย่าง ห้ามนำไปใช้

ก. จุดระเบิดช้าลง (Retard)

ข. จุดระเบิดเร็วขึ้น (Advance)

ค. จุดระเบิดที่ TDC พอดี

ง. งดการจุดระเบิดในบางสูบ

ศรายุทธ ทบเมือง

7. เอกสารอ้างอิง

1. หนังสือเรียน วิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตร)
2. คู่มือ/ตำราเครื่องยนต์สันดาปภายในเบื้องต้น
3. สื่อการเรียนรู้แบบ Interactive/Animation เกี่ยวกับ Engine Cycle (เช่น **Virtual Engine Model**)
4. วารสาร/บทความทางเทคนิคยานยนต์ที่เกี่ยวข้องกับ Engine Fundamentals

8. ภาคผนวก (การวัดและประเมินผล)

8.1 กิจกรรมการเรียนรู้

1. **กิจกรรมกลุ่ม** "Engine Cycle Relay" (นักเรียนผลัดกันวาดและอธิบายแต่ละจังหวะของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ)
2. **กิจกรรมนำเสนอ** การใช้โมเดลจำลองเพื่ออธิบายความแตกต่างของเครื่องยนต์ 2 จังหวะกับ 4 จังหวะ

8.2 การวัดและประเมินผล

1. **วิธีการประเมิน:**
    1. ประเมินความรู้ (K): ตรวจแบบทดสอบและแบบฝึกหัด
    2. ประเมินทักษะ (S): สังเกตและให้คะแนนจากการนำเสนอแผนภาพ/โมเดล
    3. ประเมินเจตคติและการประยุกต์ใช้ (A/P): สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่มและการวิเคราะห์โจทย์ประยุกต์
2. **เครื่องมือประเมิน:**
    1. แบบทดสอบ
    2. แบบประเมินผลงาน (แผนภาพ/ผังการทำงาน)
    3. แบบสังเกตพฤติกรรม/การมีส่วนร่วม และ Rubric Scoring สำหรับการนำเสนอ

8.3 เฉลยแบบฝึกหัด/แบบทดสอบ (สำหรับครู)

เฉลย ส่วนที่ 1 (แบบฝึกหัดอัตนัย)

1. เพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft)
2. 1 รอบ (หรือ $360^\\circ$)
3. ปิด (หรือ ปิดสนิท)
4. ห้องแคร้ง (Crankcase)
5. Before Top Dead Center (หรือ ก่อนถึงจุดศูนย์ตายบน)

เฉลย ส่วนที่ 2 (ข้อสอบปรนัย)

1. ค. (อ่างน้ำมันเครื่อง ติดตั้งอยู่ด้านล่างเสื้อสูบ)
2. ข. (ป้องกันกำลังอัดรั่วไหล และกวาดน้ำมันเครื่อง)
3. ข. (2 รอบ หรือ $720^\\circ$)
4. ค. (มลพิษสูง เพราะมีการเผาไหม้น้ำมันหล่อลื่น)
5. ค. (ลูกสูบลง, วาล์วไอดีเปิด)
6. ข. (จังหวะระเบิด/คาย เมื่อลูกสูบเคลื่อนลงมาเปิด Transfer Port)

ตัวอย่าง ไม่ผ่าน

7. ค. (จังหวะระเบิด)
8. ค. (เพราะการเผาไหม้ต้องใช้เวลา)
9. ง. (กดและปล่อยวาล์วไอดี/ไอเสีย)
10. ข. (จุดระเบิดเร็วขึ้น (Advance) เพราะลูกสูบเร็วขึ้น)

ศรายุทธ ทบเนตร

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

เรื่อง โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องยนต์

คำชี้แจง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

ส่วนที่ 1 พุทธิพิสัย (Cognitive Domain)

(วัดความรู้ ความจำ และความเข้าใจในเนื้อหา)

1. ชิ้นส่วนใดทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่าง "ลูกสูบ" กับ "เพลาข้อเหวี่ยง"?

ก. เสื้อสูบ

ข. ก้านสูบ

ค. เพลาลูกเบี้ยว

ง. ฝาสูบ

2. ในเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ อุปกรณ์ใด ไม่ได้ ติดตั้งอยู่บนฝาสูบ?

ก. วาล์วไอดี

ข. หัวเทียน

ค. วาล์วไอเสีย

ง. อ่างน้ำมันเครื่อง

3. เครื่องยนต์ 2 จังหวะ ทำงานครบ 1 วัฏจักร (Cycle) ใช้การหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงกี่องศา?

ก. เพลาข้อเหวี่ยง หมุน 180 (ครึ่งรอบ)

ข. เพลาข้อเหวี่ยง หมุน 360 (1 รอบ)

ค. เพลาข้อเหวี่ยง หมุน 540 (1 รอบครึ่ง)

ง. เพลาข้อเหวี่ยง หมุน 720 (2 รอบ)

4. เครื่องยนต์ 4 จังหวะ ทำงานครบ 1 วัฏจักร (Cycle) ใช้การหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงกี่องศา?

ก. เพลาข้อเหวี่ยง หมุน 180 (ครึ่งรอบ)

ข. เพลาข้อเหวี่ยง หมุน 360 (1 รอบ)

ค. เพลาข้อเหวี่ยง หมุน 540 (1 รอบครึ่ง)

ง. เพลาข้อเหวี่ยง หมุน 720 (2 รอบ)

5. ข้อใดคือความแตกต่างที่ชัดเจนที่สุดระหว่างโครงสร้างเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และ 4 จังหวะ?

ก. 2 จังหวะ ไม่มีลูกสูบ

ข. 4 จังหวะ ไม่มีหัวเทียน

ค. 2 จังหวะ มักไม่มีระบบวาล์วและเพลาลูกเบี้ยว

ง. 4 จังหวะ ไม่มีเพลาข้อเหวี่ยง

6. ในเครื่องยนต์ 2 จังหวะ ไอดีใหม่ (น้ำมัน+อากาศ+ออโต้ลูบ) จะถูกดูดเข้าไปเก็บไว้ที่ใด ก่อน ถูกส่งเข้ากระบอกสูบ?

ก. ห้องเผาไหม้

ข. ท่อไอเสีย

ค. ห้องแคร้ง (Crankcase)

ง. คาร์บูเรเตอร์

7. "จังหวะอัด" (Compression Stroke) ของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ มีลักษณะการทำงานอย่างไร?

ก. ลูกสูบขึ้น, วาล์วไอดีเปิด, วาล์วไอเสียปิด

ข. ลูกสูบลง, วาล์วไอดีเปิด, วาล์วไอเสียปิด

ค. ลูกสูบขึ้น, วาล์วไอดีปิด, วาล์วไอเสียปิด

ง. ลูกสูบลง, วาล์วไอดีปิด, วาล์วไอเสียปิด

8. ในจังหวะใดของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ที่วาล์วไอเสีย (Exhaust Valve) จะเปิด?

ก. จังหวะดูด

ข. จังหวะอัด

ค. จังหวะระเบิด

ง. จังหวะคาย

9. คำว่า "Timing Advance" (จุดระเบิดแก่) หมายความว่าอย่างไร?

ก. จุดระเบิดช้าลง (ใกล้ TDC)

ข. จุดระเบิดเร็วขึ้น (เพิ่มองศา BTDC)

ค. จุดระเบิดที่จุดศูนย์ตายบน (TDC) พอดี

ง. จุดระเบิดหลังจุดศูนย์ตายบน (ATDC)

10. ข้อใดคือจังหวะที่เครื่องยนต์ 4 จังหวะ "ได้รับกำลังงาน" (Power) มาขับเคลื่อนเพลาข้อเหวี่ยง?

ก. จังหวะดูด

ข. จังหวะอัด

ค. จังหวะระเบิด

ง. จังหวะคาย

11. "ช่องพอร์ตไอดี" (Transfer Port) ในเครื่องยนต์ 2 จังหวะ ทำหน้าที่อะไร?

ก. นำไอเสียออกจากกระบอกสูบ

ข. นำไอดีใหม่จากห้องแคร้งเข้าสู่กระบอกสูบ

ค. นำไอดีใหม่จากคาร์บูเรเตอร์เข้าห้องแคร้ง

ง. ตำแหน่งที่ติดตั้งหัวเทียน

12. เหตุผลหลักที่ต้องจุดระเบิด "ก่อน" ลูกสูบถึงจุดศูนย์ตายบน (BTDC) คืออะไร?

ก. เพื่อให้การเผาไหม้มีเวลาสร้างแรงดันสูงสุดพอดีกับตอนที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลง

ข. เพื่อลดความร้อนในห้องเผาไหม้

ค. เพื่อประหยัดหัวเทียน

ง. เพื่อให้จังหวะคายทำงานได้เร็วขึ้น

ส่วนที่ 2 ทักษะพิสัย (Psychomotor Domain)

(วัดความเข้าใจในเชิงลำดับขั้น กระบวนการ หรือการประยุกต์ใช้)

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

13. ข้อใดเรียงลำดับ "กระบวนการ" ของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ได้ถูกต้อง?

ก. ดูด → ระเบิด→ อัด → คาย

ข. ดูด → อัด → คาย → ระเบิด

ค. ดูด → อัด → ระเบิด → คาย

ง. อัด → ดูด → ระเบิด → คาย

14. เมื่อลูกสูบเครื่องยนต์ 2 จังหวะ เคลื่อนที่ "ขึ้น" 1 ครั้ง (Upward Stroke) เกิดกระบวนการใดขึ้นพร้อมกัน?

ก. (เหนือลูกสูบ) อัดไอดี, (ใต้ลูกสูบ) ดูดไอดีใหม่เข้าห้องแคร้ง

ข. (เหนือลูกสูบ) คายไอเสีย, (ใต้ลูกสูบ) ส่งไอดีเข้ากระบอกสูบ

ค. (เหนือลูกสูบ) ระเบิด, (ใต้ลูกสูบ) อัดไอดีในห้องแคร้ง

ง. (เหนือลูกสูบ) ดูดไอดี, (ใต้ลูกสูบ) คายไอเสีย

15. เมื่อลูกสูบเครื่องยนต์ 2 จังหวะ เคลื่อนที่ "ลง" 1 ครั้ง (Downward Stroke) เกิดกระบวนการใดขึ้น?

ก. จังหวะอัด และ จังหวะดูด

ข. จังหวะดูด และ จังหวะคาย

ค. จังหวะระเบิด และ จังหวะคาย/ถ่ายโอนไอดี

ง. จังหวะอัด และ จังหวะระเบิด

16. หากเครื่องยนต์มี "รอบสูงขึ้น" (RPM สูง) ระบบควบคุมการจุดระเบิด (ECU) ควรสั่งการอย่างไร เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ?

ก. สั่ง "Advance" (จุดระเบิดให้เร็วขึ้น)

ข. สั่ง "Retard" (จุดระเบิดให้ช้าลง)

ค. สั่งให้จุดระเบิดที่ TDC คงที่

ง. สั่งให้ลดการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

ส่วนที่ 3: จิตพิสัย (Affective Domain)

(วัดเจตคติ คุณค่า และผลกระทบที่เกิดจากการใช้งาน)

17. ข้อได้เปรียบของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ที่ส่งผลดีต่อ "สิ่งแวดล้อม" มากกว่า 2 จังหวะ คือข้อใด?

ก. มีแรงม้าต่อน้ำหนักสูงกว่า

ข. สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยกว่า และปล่อยมลพิษต่ำกว่า

ค. โครงสร้างซับซ้อนน้อยกว่า ซ่อมง่ายกว่า

ง. ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง

18. เหตุใดผู้ใช้งานเครื่องยนต์ 2 จังหวะ (เช่น เครื่องตัดหญ้า, เรือหางยาว) จึงต้อง "ใส่ใจ" เติมน้ำมันออโต้ลูบ (2T) ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงเสมอ?

ก. เพื่อให้เครื่องยนต์มีเสียงดัง

ข. เพื่อป้องกันการเกิดเขม่าที่หัวเทียน

ค. เพื่อให้ไอเสียมีกลิ่นหอม

ง. เพราะเครื่อง 2 จังหวะ ใช้น้ำมันนี้หล่อลื่นชิ้นส่วนภายใน (เช่น ลูกสูบ, ข้อเหวี่ยง) หากขาดจะทำให้เครื่องพัง

ศรายุทธ ทบเมตร

19. การตั้งค่า "ตำแหน่งการจุดระเบิด" (Timing) ที่ไม่ถูกต้อง (เช่น แก่เกินไป หรือ อ่อนเกินไป) จะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์อย่างไร?

ก. ทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงสุด แต่สึกหรอเร็ว

ข. ไม่ส่งผลใดๆ เพราะเครื่องยนต์ปรับตัวเองได้

ค. ทำให้เครื่องยนต์สูญเสียกำลัง, สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง หรือเกิดการน็อค (Knocking) จนเสียหายได้

ง. ทำให้ระบบวาล์วทำงานผิดพลาด

20. จากเนื้อหาทั้งหมด การที่เครื่องยนต์ 4 จังหวะ มีกระบวนการ "ดูด" และ "คาย" ที่แยกจากกันชัดเจน (โดยใช้วาล์ว) สะท้อนให้เห็นถึงข้อดีในด้านใดมากที่สุด?

ก. ด้านความซับซ้อนของโครงสร้าง

ข. ด้านการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และลดการสิ้นเปลือง

ค. ด้านน้ำหนักที่เบา

ง. ด้านการบำรุงรักษาที่ง่าย

เฉลยแบบทดสอบ

1. ข. (ก้านสูบ - Connecting Rod)
2. ง. (อ่างน้ำมันเครื่อง - Oil Pan ติดตั้งใต้เสื้อสูบ)

ข. ข. เพลาข้อเหวี่ยง หมุน 360 (1 รอบ)

3. ง. เพลาข้อเหวี่ยง หมุน 720 หรือ (2 รอบ)
4. ค. (2 จังหวะใช้พอร์ต, 4 จังหวะใช้วาล์ว)
5. ค. (ห้องแคร้ง - Crankcase)
6. ค. (ลูกสูบขึ้น, วาล์วปิดสนิท 2 ตัว เพื่ออัด)
7. ง. (จังหวะคาย)
8. ข. (จุดระเบิดเร็วขึ้น)
9. ค. (จังหวะระเบิด)
10. ข. (นำไอดีใหม่จากห้องแคร้งเข้าสู่กระบอกสูบ)
11. ก. (เพื่อให้การเผาไหม้มีเวลาสร้างแรงดันสูงสุด)

13. ค. (ค. ดูด → อัด → ระเบิด → คาย)

14. ก. (เหนือลูกสูบ = อัด, ใต้ลูกสูบ/ห้องแคร้ง = ดูด)
15. ค. (ค. จังหวะระเบิด และ จังหวะคาย/ถ่ายโอนไอดี)
16. ก. (สั่ง "Advance" เพราะลูกสูบเร็วขึ้น ต้องชิงจุดก่อนเพื่อให้เผาไหม้ทัน)
17. ข. (เผาไหม้สมบูรณ์กว่า, ไม่มีออโต้ลูบปนมาเผาไหม้)
18. ง. (ขาดการหล่อลื่น = ลูกสูบติด, เครื่องพัง)
19. ค. (Timing ที่ผิดพลาดส่งผลเสียโดยตรงต่อประสิทธิภาพและความทนทาน)
20. ข. (การแยกไอดี-ไอเสียชัดเจน ทำให้เผาไหม้ดี (ไอดีไม่ปนไอเสีย) จึงประหยัดและมีประสิทธิภาพ)

ครูยุทธ ทบเนตร

	ใบกิจกรรมที่ 1	หน่วยที่ 1
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 1-2
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. หลักการทำงานของเครื่องยนต์	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งานหลักการทำงานของเครื่องยนต์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้การปฏิบัติกิจกรรม (Learning Outcomes)

เมื่อเสร็จสิ้นกิจกรรมนี้ ผู้เรียนจะสามารถ:

1.1 ระบุชื่อและหน้าที่ของชิ้นส่วนหลักในโครงสร้างเครื่องยนต์สันดาปภายในได้

1.2 เปรียบเทียบความแตกต่างในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และ 4 จังหวะ

1.3 อธิบายลำดับขั้นตอน (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) ของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ได้อย่างถูกต้อง

1.4 อธิบายความสำคัญของตำแหน่งการจุดระเบิด (Ignition Timing) ว่าทำไมจึงต้องจุดระเบิดก่อนจุดศูนย์ตายบน (BTDC)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ (Standard Reference / Career Links)

1. อ้างอิงมาตรฐาน: (ระบุมาตรฐานหลักสูตรของท่าน เช่น สมรรถนะหลักสูตรอาชีวศึกษา สาขางานยานยนต์) หมวดความรู้พื้นฐานงานเครื่องยนต์

2. เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. ช่างซ่อมบำรุงยานยนต์ (ช่างยนต์)
2. ช่างซ่อมรถจักรยานยนต์
3. ช่างเครื่องจักรกลการเกษตร
4. พนักงานเทคนิคในสายการผลิตยานยนต์
5. วิศวกรเครื่องกล (ในระดับที่สูงขึ้น)

3. สมรรถนะประจำกิจกรรม (Activity Competencies)

3.1 สมรรถนะหลัก (Core Competencies):

1. การคิดวิเคราะห์: ความสามารถในการเปรียบเทียบความแตกต่างของกระบวนการที่ซับซ้อน (2 จังหวะ vs 4 จังหวะ)
2. การประยุกต์ใช้ความรู้: การนำความรู้จากใบเนื้อหามาใช้ในการอธิบายแผนภาพและตอบคำถาม

3.2 สมรรถนะวิชาชีพ (Functional Competencies):

1. ทักษะการระบุชิ้นส่วนเครื่องยนต์ (ตามใบเนื้อหา 1.1)
2. ทักษะการอธิบายหลักการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามใบเนื้อหา 1.2, 1.3, 1.4)

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

4.1 ด้านพุทธิพิสัย (Cognitive Domain):

1. ผู้เรียนสามารถบอกชื่อชิ้นส่วนหลักของเครื่องยนต์ (เช่น ลูกสูบ, เพลาข้อเหวี่ยง, วาล์ว) ได้อย่างน้อย 5 ชิ้น

2. ผู้เรียนสามารถอธิบายความแตกต่างหลัก (จำนวนรอบการหมุน, การใช้วาล์ว/พอร์ต) ระหว่าง

เครื่องยนต์ 2 และ 4 จังหวะได้

3. ผู้เรียนสามารถอธิบายเหตุผลของการจุดระเบิดแบบ BTDC ได้

4.2 ด้านทักษะพิสัย (Psychomotor Domain):

1. ผู้เรียนสามารถเติมคำหรือวาดลูกศรแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบและสถานะวาล์ว/พอร์ต ลงในแผนภาพวัฏจักรเครื่องยนต์ (ที่เตรียมให้ในกิจกรรม) ได้ถูกต้อง

4.3 ด้านจิตพิสัย (Affective Domain):

1. ผู้เรียนตระหนักถึงความสำคัญของความแม่นยำในการทำงานของเครื่องยนต์ (เช่น การจุดระเบิด, จังหวะวาล์ว)

2. แสดงความสนใจและกระตือรือร้นในการค้นคว้าและตอบคำถาม

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ (Tools, Materials, and Equipment)

5.1 ใบเนื้อหา (Content Sheet) เรื่อง โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องยนต์ (ที่ให้มาก่อนหน้านี้)

5.2 ใบกิจกรรมนี้ (Activity Sheet) (พิมพ์สำหรับผู้เรียนแต่ละคน/กลุ่ม)

5.3 เครื่องเขียน (ปากกา, ปากกาสี/ไฮไลท์)

5.4 (ถ้ามี) สื่อเสริมการสอน เช่น โมเดลเครื่องยนต์ตัดผ่า (Cutaway Model) หรือ วิดีโอแอนิเมชันการทำงานของเครื่องยนต์ 2 และ 4 จังหวะ

6. ขั้นตอนการทำกิจกรรม (Activity Steps)

ขั้นที่ 1 ทบทวนและเตรียมความพร้อม (5 นาที)

1. ผู้สอนนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้คำถาม เช่น "เครื่องยนต์ในรถมอเตอร์ไซค์ และเครื่องยนต์ในรถยนต์ทำงานเหมือนหรือต่างกันอย่างไร?"
2. แจก "ใบเนื้อหา" และ "ใบกิจกรรม" ให้ผู้เรียน

ขั้นที่ 2 ศึกษาและสืบค้น (10 นาที)

1. ให้ผู้เรียนศึกษา "ใบเนื้อหา" ทั้ง 4 หัวข้อ เพื่อทำความเข้าใจองค์ประกอบและหลักการทำงานโดยรวม

ขั้นที่ 3 ลงมือปฏิบัติกิจกรรม (25 นาที)

1. ผู้เรียนทำกิจกรรมในใบกิจกรรม ดังนี้:

กิจกรรมที่ 1 สำรวจโครงสร้าง (อ้างอิง 1.1)

1. จากแผนภาพโครงสร้างเครื่องยนต์ (ที่ว่างเปล่า) จงเติมชื่อชิ้นส่วนต่อไปนี้ให้ถูกต้อง:
    1. ฝาสูบ
    2. เสื้อสูบ
    3. ลูกสูบ
    4. ก้านสูบ
    5. เพลาข้อเหวี่ยง
    6. วาล์วไอดี
    7. วาล์วไอเสีย

ตัวอย่าง ทบทวน

8. หัวฉีด
9. เพลาลูกเบี้ยว

กิจกรรมที่ 2 เปรียบเทียบวัฏจักร (อ้างอิง 1.2 และ 1.3)

2. จงเติมข้อมูลลงในตารางเปรียบเทียบต่อไปนี้ให้สมบูรณ์

คุณสมบัติ	**เครื่องยนต์ 2 จังหวะ**	**เครื่องยนต์ 4 จังหวะ**
การหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง (ครบ 1 วัฏจักร)	1 รอบ (เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 360^0)	.....
การเกิดจังหวะกำลัง (Power Stroke)	ทุก ๆ ..... รอบ	ทุก ๆ 2 รอบ
การควบคุม ไอดี/ไอเสีย	ใช้ ..... (Ports)	ใช้ ..... (Valves)
การหล่อลื่นชิ้นส่วนภายใน	.....	ใช้น้ำมันเครื่องในอ่าง (แยกส่วน)
ข้อดี (ตามใบเนื้อหา)	โครงสร้างง่าย, ...	....., มลพิษต่ำ

กิจกรรมที่ 3 วิเคราะห์จังหวะ 4 จังหวะ (อ้างอิง 1.3)

จงอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในแต่ละจังหวะของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ (โดยระบุ ทิศทางลูกสูบ, สถานะวาล์วไอดี, สถานะวาล์วไอเสีย)

1. จังหวะดูด ลูกสูบเคลื่อนที่ ..... / วาล์วไอดี: ..... / วาล์วไอเสีย: .....
2. จังหวะอัด ลูกสูบเคลื่อนที่ ..... / วาล์วไอดี: ..... / วาล์วไอเสีย: .....
3. จังหวะระเบิด ลูกสูบเคลื่อนที่ ..... / วาล์วไอดี: ..... / วาล์วไอเสีย: .....
4. จังหวะคาย ลูกสูบเคลื่อนที่ ..... / วาล์วไอดี: ..... / วาล์วไอเสีย: .....

กิจกรรมที่ 4: ไขความลับการจุดระเบิด (อ้างอิง 1.4)

จงตอบคำถามต่อไปนี้:

1. BTDC ย่อมาจากอะไร และหมายความว่าอย่างไร?
2. เหตุใดเครื่องยนต์จึง *ไม่* จุดระเบิดในจังหวะที่ลูกสูบอยู่ตำแหน่งสูงสุด (TDC) พอดี? (อธิบายสั้นๆ)

ขั้นที่ 4: ตรวจสอบและแลกเปลี่ยน (10 นาที)

1. ผู้เรียนแลกเปลี่ยนใบกิจกรรมกับเพื่อนเพื่อช่วยกันตรวจสอบความถูกต้อง
2. ผู้สอนสุ่มถามคำตอบ หรือ เฉลยคำตอบบนกระดาน

7. สรุปและอภิปราย (Conclusion and Discussion)

ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถามนำ:

1. "จากกิจกรรมที่ 2 นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใด ปัจจุบันรถยนต์จึงนิยมใช้เครื่องยนต์ 4 จังหวะมากกว่า 2 จังหวะ?" (นำไปสู่เรื่องประสิทธิภาพและมลพิษ)
2. "จะเกิดอะไรขึ้น หากเพลาลูกเบี้ยว (ที่ควบคุมวาล์ว) กับเพลาข้อเหวี่ยง (ที่ดันลูกสูบ) ทำงานไม่สัมพันธ์กัน?" (นำไปสู่ความสำคัญของ "ไทม์มิ่ง" ของวาล์ว)

3. "หากตั้งไฟจุดระเบิด 'แก่' (Advance) มากเกินไป จะส่งผลเสียอย่างไร?" (อาจเกิดการน็อค/ชิงจุดระเบิด)

8. การประเมินผล (Evaluation)

8.1 วิธีการประเมิน:

1. ตรวจความถูกต้องของคำตอบในใบกิจกรรม (เน้นกิจกรรมที่ 2, 3, 4)
2. สังเกตพฤติกรรมการมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมและการอภิปราย

8.2 เกณฑ์การประเมิน:

1. (พุทธิพิสัย/ทักษะพิสัย) ความถูกต้องของเนื้อหาในใบกิจกรรม (ให้คะแนนตามสัดส่วน เช่น 10-20 คะแนน)
2. (จิตพิสัย) การมีส่วนร่วมและความสนใจ (ให้ระดับคะแนน ดี/พอใช้/ปรับปรุง)

10. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม (References)

10.1 ใบเนื้อหา เรื่อง โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องยนต์ (เอกสารประกอบหลัก)

10.2 หนังสือเรียน รายวิชางานเครื่องยนต์เบื้องต้น (ระบุชื่อหนังสือ/สำนักพิมพ์)

10.3 สื่อวิดีโอออนไลน์ ค้นหาคำว่า: "How 2-Stroke Engine Works" และ "How 4-Stroke Engine Works"

ศรายุทธ ทบแสง

	ใบมอบหมายงาน	หน่วยที่ 1
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 1-2
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. หลักการทำงานของเครื่องยนต์	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/งานหลักการทำงานของเครื่องยนต์		

1. ผลงานหรือผลการปฏิบัติงาน (Output/Performance Result)

ผู้เรียนต้องส่งมอบผลงานดังต่อไปนี้

1. รายงานเชิงวิเคราะห์และสรุปผล (Analytical and Summary Report): จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ที่ครอบคลุมเนื้อหาทั้ง 4 หัวข้อ (1.1-1.4) พร้อมภาพประกอบที่ชัดเจนและคำอธิบายใต้ภาพที่ถูกต้อง

2. แผนภาพชิ้นส่วนหลัก (Key Component Diagrams): แผนภาพโครงสร้างเครื่องยนต์ (1.1) และแผนภาพการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ/4 จังหวะ (1.2, 1.3) ที่วาด/สร้างด้วยโปรแกรมและติดป้ายกำกับ (Labeling) ชิ้นส่วนหรือขั้นตอนการทำงานอย่างชัดเจน

3. การนำเสนอ (Optional - ตามตกลง): หากมีการนำเสนอ ให้เตรียมสื่อนำเสนอ (PowerPoint/Slide) ที่สรุปเนื้อหาหลักและเน้นความแตกต่างของเครื่องยนต์แต่ละประเภท

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ (Reference Standard/Occupational Group Link)

มาตรฐานอ้างอิง

1. **มาตรฐานสมรรถนะอาชีพ (National Occupational Standard):** สาขาช่างยนต์ (Automotive Mechanic) หรือสาขาเทคนิคยานยนต์ (Automotive Engineering Technology)
2. **สมรรถนะหลัก** การบำรุงรักษาและซ่อมเครื่องยนต์เบนซิน/ดีเซล
3. **กลุ่มอาชีพที่เชื่อมโยง** ช่างเทคนิคยานยนต์, วิศวกรยานยนต์, ช่างซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล, ผู้สอน/วิทยากรด้านเทคนิคยานยนต์

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน (Performance Competency)

สมรรถนะ	คำอธิบาย
3.1 การวิเคราะห์และจำแนกองค์ประกอบ (Analysis & Classification)	ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์และจำแนกชิ้นส่วนหลักของเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ถูกต้อง และสามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของหลักการทำงานระหว่างเครื่องยนต์ 2 จังหวะและ 4 จังหวะได้
3.2 การประยุกต์ใช้ความรู้ (Knowledge Application)	ผู้เรียนสามารถอธิบายความสำคัญของการจุดระเบิดในตำแหน่งที่เหมาะสม (Ignition Timing) และเชื่อมโยงไปยังประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

เมื่อปฏิบัติงานนี้เสร็จสิ้น ผู้เรียนต้องสามารถ

จุดประสงค์	คำอธิบาย
4.1 ด้านพุทธิพิสัย (Cognitive Domain)	อธิบายโครงสร้าง, ชื่อชิ้นส่วนหลัก, และหลักการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะและ 4 จังหวะตามลำดับขั้นตอนได้อย่างถูกต้อง **โดยไม่มีข้อผิดพลาดเกิน 10%**
4.2 ด้านทักษะพิสัย (Psychomotor Domain)	เขียน/สร้างแผนภาพการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะและ 2 จังหวะ (4 จังหวะ: ดูด-อัด-ระเบิด-คาย, 2 จังหวะ: อัด-ระเบิด/คาย-ดูด) พร้อมระบุตำแหน่งการจุดระเบิดที่สัมพันธ์กันได้อย่างสมเหตุสมผล
4.3 ด้านจิตพิสัย (Affective Domain)	แสดงความรับผิดชอบในการทำงานร่วมกับผู้อื่น (กรณีกลุ่ม) และส่งมอบงานตรงตามกำหนดเวลาด้วยความละเอียดรอบคอบและเป็นระเบียบเรียบร้อย

5. รายละเอียดของงาน (Work Details)

ผู้เรียนต้องค้นคว้าและนำเสนอเนื้อหาในรูปแบบรายงาน โดยมีส่วนประกอบที่เน้นรายละเอียดต่อไปนี้:

หัวข้อเนื้อหา	สิ่งที่ต้องนำเสนอในรายงาน/แผนภาพ	ภาพประกอบที่แนะนำ
1.1 โครงสร้างของเครื่องยนต์	ชื่อชิ้นส่วนหลัก (เช่น เสื้อสูบ, ฝาสูบ, ลูกสูบ, แหวน, ก้านสูบ, เพลาข้อเหวี่ยง, ลิ้นไอดี/ไอเสีย) พร้อมหน้าที่โดยย่อของแต่ละชิ้นส่วน	**แผนภาพเครื่องยนต์ 4 จังหวะแบบตัดขวาง** พร้อมป้ายกำกับชิ้นส่วนหลัก
1.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ	อธิบายหลักการทำงาน 2 จังหวะ (Power Stroke และ Compression Stroke) เน้นการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ช่องพอร์ต (Port) และบทบาทของห้องข้อเหวี่ยง (Crankcase)	**แผนภาพแสดง 2 จังหวะ** (จังหวะที่ 1: อัดและดูด, จังหวะที่ 2: ระเบิดและคาย)
1.3 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	อธิบายหลักการทำงาน 4 จังหวะ (ดูด-อัด-ระเบิด-คาย) โดยระบุตำแหน่งลิ้นไอดี/ไอเสียที่เปิด/ปิดในแต่ละจังหวะ	**แผนภาพแสดง 4 จังหวะ** (ดูด, อัด, ระเบิด, คาย)
1.4 ตำแหน่งการจุดระเบิดของเครื่องยนต์	อธิบายความหมายของ TDC, BDC, และช่วงองศาการจุดระเบิด (Ignition Advance) พร้อมเหตุผลที่ต้องจุดระเบิดก่อนลูกสูบถึงศูนย์ตายบน (BTDC)	**แผนภาพแสดงองศาเพลาข้อเหวี่ยง** และจุด BTDC/ATDC ที่สัมพันธ์กับจังหวะระเบิด

6. กำหนดเวลาส่งงาน (Submission Deadline)

1. กำหนดส่ง: วันที่ [ระบุวันที่] เวลา [ระบุเวลา]

2. รูปแบบการส่ง: ส่งเป็นไฟล์เอกสาร (PDF หรือ Word) ผ่าน [ช่องทางการส่งงาน เช่น E-mail/Google Classroom]

7. แนวทางในการปฏิบัติงาน (Work Guidelines)

1. **ความเป็นระเบียบ** รายงานต้องมีความเป็นระเบียบเรียบร้อย ใช้ภาษาทางเทคนิคที่ถูกต้อง และมีการอ้างอิงแหล่งข้อมูล (หากใช้ข้อมูลจากภายนอก)

2. **ความถูกต้อง** ภาพประกอบทุกภาพต้องถูกระบุที่มา (หากไม่ใช่ผลงานวาดเอง) และมีคำอธิบายใต้ภาพที่สัมพันธ์กับเนื้อหาในรายงาน

3. **การวาดแผนภาพ** แผนภาพหลัก (1.1, 1.2, 1.3) ควรสื่อสารด้วยตนเองได้อย่างชัดเจน โดยเน้นการติดป้ายกำกับชิ้นส่วนและลูกศรแสดงทิศทางการเคลื่อนที่/การไหลของไอดี/ไอเสีย

8. แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม (Additional Research Sources)

1. ตำราเรียนวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine Textbooks)
2. วารสารหรือคู่มือการซ่อมบำรุงรถยนต์และรถจักรยานยนต์
3. เว็บไซต์ทางการของสถาบันการศึกษาด้านเทคนิคและอาชีวะ
4. ช่องวิดีโอ (YouTube) ที่นำเสนอแอนิเมชันการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะและ 4 จังหวะ (ให้ค้นหาเป็นภาษาอังกฤษ เช่น "2 stroke vs 4 stroke engine animation")

9. การประเมินผล (Evaluation)

จะใช้เกณฑ์การประเมิน 100 คะแนน โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	**รายละเอียดการให้คะแนน**	**คะแนน (เต็ม 100)**
9.1 เนื้อหาและความถูกต้องทางวิชาการ (Content Accuracy)	ความถูกต้องของข้อมูลในทั้ง 4 หัวข้อ (1.1-1.4), ความสมบูรณ์ของการอธิบายหลักการทำงาน, และการอธิบายตำแหน่งการจุดระเบิด	50
9.2 การนำเสนอและแผนภาพ (Presentation & Diagrams)	ความชัดเจนของรายงาน, ความถูกต้องของการติดป้ายกำกับในแผนภาพ, การใช้ภาษาทางเทคนิค, และความเป็นระเบียบเรียบร้อย	30
9.3 เวลาและการมีส่วนร่วม (Timeliness & Participation)	การส่งมอบงานตรงตามกำหนดเวลา, และความรับผิดชอบในการปฏิบัติงาน (กรณีงานกลุ่ม: การกระจายงานและความร่วมมือ)	20
รวมคะแนน		**100**

ตัวอย่าง ไม่มีขาย

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์		ปฏิบัติ....ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถ**อธิบาย**การเปลี่ยนรูปของพลังงานในระบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน และ**นำหลักการอนุรักษ์พลังงาน (กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์)** มาใช้ในการ**วิเคราะห์**และ**ประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้น**ของการใช้เชื้อเพลิงในชีวิตประจำวัน (เช่น การประหยัดพลังงานในการขับขี่) หรืองานอาชีพช่างยนต์ (เช่น การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ (อ้างอิงจากสาขาอาชีพช่างยนต์/เทคนิคยานยนต์)

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์ (Engine and Electrical System Repair Technician)

2. **สมรรถนะย่อย:** ประยุกต์ใช้หลักการเบื้องต้นของเทอร์โมไดนามิกส์กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

1. **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:** อธิบายการเปลี่ยนรูปของพลังงานจากพลังงานเคมีในเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานกลได้อย่างถูกต้อง โดยอ้างอิงถึงกฎการอนุรักษ์พลังงาน

2. **วิธีประเมิน:** การทดสอบข้อเขียนเชิงวิเคราะห์, การสังเกตจากการนำเสนอแผนภาพการเปลี่ยนรูปพลังงาน

3. **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):** แผนภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานในเครื่องยนต์, รายงานการวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในระบบหล่อเย็น

4. **หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence):** ผลการทดสอบความรู้เกี่ยวกับนิยามของพลังงาน, รูปแบบของพลังงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์, และการถ่ายเทความร้อน

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ

– **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (เน้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน), ช่างซ่อมระบบปรับอากาศและทำความเย็น (เนื่องจากใช้หลักการถ่ายเทความร้อนและเทอร์โมไดนามิกส์ร่วมกัน)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 อธิบายความหมายและรูปแบบของพลังงานทั้งหมด ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสันดาปในเครื่องยนต์

3.2 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและการเปลี่ยนรูปของพลังงาน ในระบบเครื่องยนต์สันดาปภายในตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (เขียนให้ครบด้าน พุทธิพิสัย ทักษะพิสัย จิตพิสัย และ ประยุกต์ใช้ฯ)

4.1 พุทธิพิสัย (Cognitive - K):

1. อธิบายความหมายของพลังงานและความร้อนได้อย่างถูกต้อง
2. จำแนกและยกตัวอย่างรูปแบบของพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องยนต์ได้
3. สรุปกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (กฎการอนุรักษ์พลังงาน) ได้

4.2 ทักษะพิสัย (Psychomotor - S):

1. สามารถวาดแผนภาพแสดงการเปลี่ยนรูปของพลังงานจากเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานกลได้
2. สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงความร้อนเบื้องต้นในระบบปิดได้ (ถ้ามีโจทย์ให้)

4.3 จิตพิสัย (Affective - A):

1. เห็นความสำคัญของการนำหลักการทางวิทยาศาสตร์ (เทอร์โมไดนามิกส์) มาใช้เป็นพื้นฐานในการเรียนรู้เครื่องยนต์ (A)
2. แสดงความกระตือรือร้นในการค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบพลังงานใหม่ๆ ในเทคโนโลยียานยนต์ (A)

4.4 ประยุกต์ใช้ฯ (Applied - P):

1. ประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องการสูญเสียความร้อนเพื่ออธิบายสาเหตุของเครื่องยนต์ร้อนจัด (Overheating) ในสถานการณ์จำลองได้ (P)

5. สาระการเรียนรู้ (Learning Contents)

5.1 ความหมายของพลังงาน (Energy)

1. นิยามและหน่วยของพลังงาน
2. กฎการอนุรักษ์พลังงาน (กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์)

5.2 รูปแบบของพลังงาน (Forms of Energy)

1. พลังงานศักย์ (Potential Energy)
2. พลังงานจลน์ (Kinetic Energy)
3. พลังงานเคมี (Chemical Energy)
4. พลังงานความร้อน (Thermal Energy/Heat)
5. การเปลี่ยนรูปพลังงานในเครื่องยนต์สันดาปภายใน

5.3 ความร้อน (Heat)

1. นิยามของความร้อนและอุณหภูมิ
2. กลไกการถ่ายเทความร้อน 3 รูปแบบ (การนำ, การพา, การแผ่รังสี) ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์
3. ความร้อนที่ได้จากการสันดาป (Heat of Combustion)

6. กิจกรรมการเรียนรู้

1. ขั้นนำ (15 นาที): ครูนำเสนอภาพ/วิดีโอการสันดาปในกระบอกสูบ และตั้งคำถามกระตุ้นเกี่ยวกับ "สิ่งที่หายไปและสิ่งที่ได้มา" (เชื้อเพลิงหายไป ได้พลังงานอะไรมา?)

2. ขั้นสอน (120 นาที):

1. บรรยาย ครูบรรยายความหมายและรูปแบบของพลังงาน โดยเน้นที่พลังงานเคมี, ความร้อน, และพลังงานกล พร้อมอธิบายกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

2. กิจกรรมกลุ่ม "Energy Flow Chart"นักเรียนแบ่งกลุ่ม ทำแผนภาพแสดงการเปลี่ยนรูปพลังงานทั้งหมดในเครื่องยนต์ โดยระบุสัดส่วนโดยประมาณของพลังงานที่ได้ (พลังงานกล) และพลังงานที่สูญเสีย (ความร้อนไอเสีย, ความร้อนระบบหล่อเย็น, ความร้อนแผ่รังสี, แรงเสียดทาน)

3. อภิปราย ครูนำเข้าสู่เรื่องความร้อนและกลไกการถ่ายเทความร้อน โดยเชื่อมโยงกับระบบหล่อเย็นและระบบไอเสียของเครื่องยนต์

3. ขั้นสรุปและการประยุกต์ใช้ (45 นาที):

1. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปหลักการเทอร์โมไดนามิกส์

2. **โจทย์ประยุกต์ (PBL):** ให้กลุ่มวิเคราะห์ว่า "ทำไมรถยนต์ที่จอดอยู่เฉยๆ จึงต้องเปิดฝากระโปรงทิ้งไว้หลังการแข่งขันหรือใช้งานหนัก" โดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนและการเปลี่ยนรูปพลังงานมาอธิบาย

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

1. หนังสือเรียน/เอกสารประกอบการสอนวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน
2. Power Point Presentation/Infographic แสดงการเปลี่ยนรูปพลังงาน
3. วิดีโอ/แอนิเมชันเกี่ยวกับกฎเทอร์โมไดนามิกส์และ Energy Conversion
4. ตัวอย่างชิ้นส่วนเครื่องยนต์ (เช่น หม้อน้ำ, ท่อไอเสีย) เพื่อแสดงการถ่ายเทความร้อน

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1 หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence)

1. ผลการทดสอบย่อย/แบบฝึกหัดท้ายหน่วย
2. สรุปองค์ความรู้เกี่ยวกับรูปแบบพลังงานและการถ่ายเทความร้อน

8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence)

1. แผนภาพแสดงการเปลี่ยนรูปและการสูญเสียพลังงานในเครื่องยนต์
2. รายงานผลการวิเคราะห์โจทย์ประยุกต์ (การแก้ไขปัญหาความร้อนสูง)

9. การวัดและประเมินผล

9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน

1. ความถูกต้องในการระบุรูปแบบพลังงานและการถ่ายเทความร้อน (50%)
2. ความถูกต้องในการเขียนแผนภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานและการสูญเสีย (30%)
3. การใช้หลักการอนุรักษ์พลังงานมาอธิบายปรากฏการณ์ได้อย่างสมเหตุสมผล (20%)

9.2 วิธีการประเมิน

1. ประเมินผลการทดสอบข้อเขียน (วัด K)
2. สังเกตการนำเสนอแผนภาพและประเมินรายงานกลุ่ม (วัด S/P)
3. สังเกตพฤติกรรมการมีส่วนร่วมในการอภิปราย (วัด A)

9.3 เครื่องมือประเมิน

1. แบบทดสอบปรนัย/อัตนัย

2. แบบประเมินแผนภาพและรายงานวิเคราะห์ (Rubric)

3. แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้

	ใบความรู้ ที่ 1	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. . พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ....ชม.
ชื่อเรื่อง/. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถ**อธิบายหลักการเปลี่ยนรูปพลังงาน**ในเครื่องยนต์สันดาปภายในและ**นำหลักการอนุรักษ์พลังงาน (กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์)** ไปใช้ในการ**วิเคราะห์ประสิทธิภาพ**และการสูญเสียความร้อนของเครื่องยนต์ เพื่อนำไปสู่การ**ประเมินและแนะนำการบำรุงรักษาระบบที่เกี่ยวข้อง** (เช่น ระบบระบายความร้อน) ในงานอาชีพช่างยนต์ได้อย่างมีหลักการ

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** ประยุกต์หลักการเบื้องต้นของเทอร์โมไดนามิกส์ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (เน้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน), ช่างซ่อมระบบปรับอากาศและทำความเย็น

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 อธิบายความหมายและรูปแบบของพลังงานทั้งหมด ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสันดาปและวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์

3.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนรูปและการถ่ายเทความร้อน ในระบบเครื่องยนต์สันดาปภายในตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K): อธิบายความหมายและจำแนกรูปแบบของพลังงานที่ใช้ในเครื่องยนต์ พร้อมสรุปกฎการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างถูกต้อง

4.2 ทักษะพิสัย (S): สามารถสร้างแผนภาพแสดงการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานกลและพลังงานสูญเสียได้อย่างเป็นระบบ

4.3 จิตพิสัย (A) และ ประยุกต์ใช้ (P): ตระหนักถึงความสำคัญของการจัดการความร้อนในเครื่องยนต์ (A) และสามารถประยุกต์ใช้หลักการถ่ายเทความร้อนเพื่อวิเคราะห์ปัญหาเครื่องยนต์ร้อนจัด (Overheating) ได้ (P)

5. เนื้อหาสาระ (Learning Contents)

2.1 ความหมายของพลังงาน (Energy)

พลังงาน คือ ความสามารถในการทำงาน (Capacity to do Work) หรือการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (First Law of Thermodynamics): หรือ กฎการอนุรักษ์พลังงาน กล่าวว่า "พลังงานไม่สามารถถูกสร้างขึ้นหรือถูกทำลายได้ แต่สามารถเปลี่ยนรูปจากรูปแบบหนึ่งไปสู่อีกรูปแบบหนึ่งได้" ในระบบเครื่องยนต์

พลังงานเคมี(เชื้อเพลิง) = พลังงานกล(งานที่ได้) + พลังงานสูญเสีย(ความร้อน + แรงเสียดทาน)

2.2 รูปแบบของพลังงานที่สำคัญ (Forms of Energy)

1. **พลังงานเคมี (Chemical Energy):** พลังงานที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิง (น้ำมันเบนซิน/ดีเซล) ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาในรูปของความร้อนเมื่อเกิดการสันดาป
2. **พลังงานความร้อน (Thermal Energy/Heat):** พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งเป็นผลลัพธ์หลักจากการสันดาป
3. **พลังงานกล (Mechanical Energy):** พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่หรือตำแหน่งของวัตถุ แบ่งเป็น
    1) **พลังงานจลน์ (Kinetic Energy):** พลังงานของการเคลื่อนที่ เช่น การเคลื่อนที่ของลูกสูบ
    2) **พลังงานศักย์ (Potential Energy):** พลังงานที่สะสมเนื่องจากตำแหน่งหรือความเครียด เช่น พลังงานที่สะสมในสปริงวาล์ว

2.3 ความร้อน (Heat)

1. **ความร้อน** คือ พลังงานที่ถ่ายโอนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ
2. **การถ่ายเทความร้อนในเครื่องยนต์ (Heat Transfer Mechanisms):**
    1) **การนำความร้อน (Conduction):** การถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่อยู่กับที่ (ของแข็ง) เช่น ความร้อนนำผ่านผนังกระบอกสูบไปยังเสื้อสูบและน้ำหล่อเย็น
    2) **การพาความร้อน (Convection):** การถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของตัวกลาง (ของเหลวหรือก๊าซ) เช่น ความร้อนที่ถูกพาออกจากเครื่องยนต์โดยน้ำหล่อเย็นหรืออากาศ
    3) **การแผ่รังสีความร้อน (Radiation):** การถ่ายเทความร้อนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) เช่น ความร้อนที่แผ่ออกมาจากท่อไอเสียร้อนจัด

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำสั่ง: จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. จงอธิบายความหมายของ **กฎการอนุรักษ์พลังงาน** พร้อมยกตัวอย่างการเปลี่ยนรูปพลังงานในจังหวะ **ระเบิด/กำลัง** ของเครื่องยนต์
2. พลังงานหลักที่สะสมอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิงคือพลังงานประเภทใด และเปลี่ยนเป็นพลังงานใดบ้างเมื่อเกิดการสันดาป
3. การที่น้ำหล่อเย็นไหลเวียนออกจากเครื่องยนต์เพื่อไปถ่ายเทความร้อนที่หม้อน้ำ จัดเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยกลไกใด จงอธิบาย

7. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตร ปวช./ปวส.)

2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill Education.
3. Heywood, John B. **Internal Combustion Engine Fundamentals.** McGraw-Hill.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

เฉลยแบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

1. **กฎการอนุรักษ์พลังงาน:** พลังงานไม่สามารถสร้างหรือทำลายได้ แต่เปลี่ยนรูปได้ **จังหวะระเบิด/กำลัง:** พลังงานเคมีในเชื้อเพลิงเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนจากการสันดาป จากนั้นพลังงานความร้อนส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกล (งานที่ผลักลูกสูบ)
2. **พลังงานหลักในเชื้อเพลิง:** พลังงานเคมี เปลี่ยนเป็น **พลังงานความร้อน**, **พลังงานกล**, และพลังงานอื่นๆ (เสียง, แสง)
3. **การถ่ายเทความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น:** จัดเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบ **การพาความร้อน (Convection)** เนื่องจากความร้อนถูกพาไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของตัวกลาง (น้ำหล่อเย็น)

ศรายุทธ ทบเนตร

	ใบงานที่ 1	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์		ปฏิบัติ ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้จากการปฏิบัติงาน

ผู้เรียนสามารถ**สร้างแผนภาพแสดงการเปลี่ยนรูปพลังงาน**ในเครื่องยนต์ (จากเคมีเป็นกลและสูญเสีย) และ**วิเคราะห์กลไกการถ่ายเทความร้อน**ที่เกิดขึ้นในส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องยนต์จริง เพื่อนำไปสู่การประเมินสภาพและบำรุงรักษาระบบระบายความร้อนได้อย่างมีหลักการ

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** ประยุกต์ใช้หลักการเบื้องต้นของเทอร์โมไดนามิกส์ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (เน้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน)

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 สร้างแผนภาพแสดงการเปลี่ยนรูปพลังงานทั้งหมดในเครื่องยนต์ ได้อย่างถูกต้องตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน

3.2 ระบุและวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน (นำ, พา, แผ่รังสี) ที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนสำคัญของเครื่องยนต์แต่ละชนิด

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K): อธิบายการเปลี่ยนรูปพลังงานตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ และจำแนกกลไกการถ่ายเทความร้อน 3 รูปแบบได้

4.2 ทักษะพิสัย (S): สามารถเขียนแผนภาพวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในเครื่องยนต์ และระบุกลไกการถ่ายเทความร้อนบนชิ้นส่วนจริงของเครื่องยนต์ได้

4.3 จิตพิสัย (A) และ ประยุกต์ใช้ (P): แสดงความละเอียดรอบคอบในการวิเคราะห์ (A) และนำหลักการถ่ายเทความร้อนไปใช้อธิบายการทำงานของระบบระบายความร้อนได้ (P)

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 ชิ้นส่วนเครื่องยนต์จริง/เครื่องยนต์ผ่าซีก (เช่น ฝาสูบ, หม้อน้ำ, ท่อไอเสีย)

5.2 แผ่นภาพ/โปสเตอร์แสดง Energy Flow Chart ของเครื่องยนต์

5.3 ปากกาเคมี/กระดาษสำหรับทำแผนภาพกลุ่ม

5.4 เทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด (ถ้ามี) สำหรับวัดอุณหภูมิพื้นผิวเบื้องต้น

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. ระมัดระวังความสะอาดและความปลอดภัยขณะปฏิบัติงาน โดยเฉพาะเมื่อสัมผัสชิ้นส่วนเครื่องยนต์จริง
2. ห้ามวัดอุณหภูมิของเครื่องยนต์ที่กำลังทำงานหรือเพิ่งหยุดทำงานทันที เนื่องจากมีความร้อนสูงมาก

3. การวิเคราะห์ Energy Flow ให้พิจารณาทั้ง **พลังงานที่ได้** (งาน) และ **พลังงานสูญเสีย** (ความร้อน, แรงเสียดทาน)

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ภารกิจที่ 1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนรูปพลังงาน (Energy Conversion Analysis)

1. **ระดมสมอง (15 นาที)** ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มระดมสมองและสรุปรูปแบบของพลังงานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ (ตั้งแต่เชื้อเพลิงเข้าจนกระทั่งได้กำลังขับเคลื่อน)

2. **สร้างแผนภาพ (30 นาที)** สร้างแผนภาพการเปลี่ยนรูปพลังงาน (Energy Flow Chart) ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยให้ระบุ:

   1) พลังงานเริ่มต้น (พลังงานเคมี)
   2) พลังงานที่ได้ (พลังงานกล)
   3) พลังงานที่สูญเสีย (ความร้อนผ่านไอเสีย, ความร้อนผ่านระบบหล่อเย็น, แรงเสียดทาน, อื่น ๆ)
   4) *วาดแผนภาพในพื้นที่ที่กำหนดด้านล่าง*

ภารกิจที่ 2 การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Analysis)

1. **สำรวจชิ้นส่วน (20 นาที):** นำชิ้นส่วนเครื่องยนต์ (เช่น ฝาสูบ, หม้อน้ำ, ท่อไอเสีย) มาวางบนโต๊ะปฏิบัติงาน

2. **วิเคราะห์และระบุ (20 นาที):** ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มวิเคราะห์และระบุว่า **กลไกการถ่ายเทความร้อน (Conduction, Convection, Radiation)** ใดบ้างที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนต่อไปนี้ พร้อมอธิบายเหตุผล

ชิ้นส่วน	**กลไกการถ่ายเทความร้อนหลัก**	**เหตุผล/คำอธิบาย**
ผนังกระบอกสูบ (ถ่ายเทไปยังเสื้อสูบ)	.....	.....
หม้อน้ำรถยนต์ (พัดลมเป่าอากาศผ่าน)	.....	.....
ท่อไอเสีย (หลังใช้งาน)	.....	.....
น้ำหล่อเย็น (ไหลเวียนในเสื้อสูบ)	.....	.....

8. สรุปและวิจารณ์ผล

1. จากแผนภาพ Energy Flow Chart ที่สร้างขึ้น พลังงานส่วนใหญ่ถูกสูญเสียไปในรูปแบบใด (ระบุ 2 ลำดับแรก) และการสูญเสียนี้สอดคล้องกับหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์อย่างไร?

   .....

   .....

   .....

2. ในฐานะช่างยนต์ การเข้าใจกลไกการถ่ายเทความร้อนของเครื่องยนต์มีประโยชน์อย่างไรต่อการวินิจฉัยและบำรุงรักษาระบบระบายความร้อน?

   .....

   .....

   .....

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)	คะแนนที่ได้
ภารกิจ 1: ความถูกต้องของ Energy Flow Chart (แสดงการเปลี่ยนรูปและสูญเสีย)	10	
ภารกิจ 2: ความถูกต้องในการระบุและอธิบายกลไกการถ่ายเทความร้อน	10	
การสรุปและวิจารณ์ผล (การประยุกต์ใช้หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์)	10	
รวมคะแนน	**30**	

10. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ เรื่อง พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์
2. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ว่าด้วยเทอร์โมไดนามิกส์)
3. วิดีโอ/แอนิเมชันเกี่ยวกับ Energy Conversion in I.C. Engines
4. [เว็บไซต์ค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับ Heat Transfer]

ตัวอย่าง ฉบับทดสอบ

	ใบกิจกรรมที่ 1	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ ชม.
ชื่อเรื่อง/พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้การปฏิบัติกิจกรรม

ผู้เรียนสามารถ**นำหลักการอนุรักษ์พลังงาน (กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์)** มาประยุกต์ใช้ในการ**จำแนก**และ**วิเคราะห์**การเปลี่ยนรูปและการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริงในระบบเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการบำรุงรักษาระบบระบายความร้อนในงานอาชีพช่างยนต์

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** ประยุกต์ใช้หลักการเบื้องต้นของเทอร์โมไดนามิกส์ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องจักรกล, ช่างเทคนิคพลังงาน

3. สมรรถนะประจำกิจกรรม

3.1 จำแนกและระบุรูปแบบของพลังงาน (เคมี, ความร้อน, กล) และกลไกการถ่ายเทความร้อน (นำ, พา, แผ่รังสี) ในชิ้นส่วนและกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์

3.2 สร้างแผนภาพแสดงการเปลี่ยนรูปและการสูญเสียพลังงานในเครื่องยนต์ ได้อย่างมีหลักการตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K): จำแนกรูปแบบพลังงานและความร้อนที่สัมพันธ์กับชิ้นส่วนเครื่องยนต์ได้อย่างน้อย 5 ชิ้นส่วน/กระบวนการ

4.2 ทักษะพิสัย (S): ออกแบบแผนภาพการเปลี่ยนรูปพลังงาน (Energy Flow Chart) ในเครื่องยนต์ได้อย่างชัดเจนและเป็นระบบ

4.3 จิตพิสัย (A) และ ประยุกต์ใช้ (P): แสดงความรับผิดชอบในการทำงานร่วมกับผู้อื่น (A) และสามารถวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเครื่องยนต์ร้อนจัดจากมุมมองของการถ่ายเทความร้อนได้ (P)

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 ชิ้นส่วนเครื่องยนต์จริง/เครื่องยนต์ผ่าซีก (เช่น ฝาสูบ, ลูกสูบ, หม้อน้ำ, ท่อไอเสีย)

5.2 ปากกาเมจิกหลากสี

5.3 กระดาษฟลิปชาร์ท หรือ กระดานไวท์บอร์ดสำหรับวาดแผนภาพ

5.4 รูปภาพ/โปสเตอร์แสดง Energy Balance ของเครื่องยนต์ (สำหรับอ้างอิง)

6. ขั้นตอนการทำกิจกรรม (เวลาปฏิบัติ: 90 นาที)

กิจกรรม 1 "Energy Detective" (ค้นหาและจำแนกพลังงาน) (30 นาที)

1. นำชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่จัดเตรียมไว้มาวางบนโต๊ะ

2. นักเรียนในกลุ่มร่วมกันพิจารณาชิ้นส่วนและกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ และระบุว่าพลังงานหรือการถ่ายเทความร้อนประเภทใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับรายการที่กำหนด

3. บันทึกผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: การจำแนกพลังงานและการถ่ายเทความร้อน

ลำดับ	ชิ้นส่วน/ กระบวนการ	รูปแบบพลังงานหลัก (เคมี, ความร้อน, กล, อื่นๆ)	กลไกการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น
1	น้ำมันเชื้อเพลิง	.....	.....
2	การสันดาปในกระบอกสูบ	.....	.....
3	การเคลื่อนที่ของลูกสูบ	.....	.....
4	ความร้อนจากไอเสีย	.....	.....
5	ความร้อนจากผนังกระบอกสูบสู่เสื้อสูบ	.....	.....
6	การไหลเวียนของน้ำหล่อเย็น	.....	.....

กิจกรรม 2 "Engine Energy Flow Chart" (แผนภาพการเปลี่ยนรูปพลังงาน) (40 นาที)

1. นักเรียนกลุ่มร่วมกันสร้างแผนภาพแสดงการเปลี่ยนรูปพลังงานทั้งหมดในเครื่องยนต์ (Energy Flow Chart) โดยใช้กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์เป็นหลัก

2. ระบุสัดส่วนโดยประมาณ (เป็นเปอร์เซ็นต์) ของพลังงานที่ได้ (งาน) และพลังงานที่สูญเสีย (ความร้อนไอเสีย, ความร้อนระบายความร้อน, อื่นๆ)

3. ใช้ลูกศรหรือสัญลักษณ์ที่แตกต่างกันเพื่อแสดงการเปลี่ยนรูปและการสูญเสียพลังงาน

4. นำเสนอแผนภาพต่อชั้นเรียน (10 นาที)

7. สรุปและอภิปราย

1. สรุปผลที่ค้นพบ: กลุ่มของคุณพบว่าพลังงานส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ถูกใช้ไปในการทำประโยชน์ (พลังงานกล) หรือถูกสูญเสียไป (ความร้อน)?

.....

.....

2. เชื่อมโยงสู่ปัญหา: หากปะเก็นฝาสูบรั่วทำให้น้ำหล่อเย็นรั่วไหลออกมา การถ่ายเทความร้อนที่ผนังกระบอกสูบจะได้รับผลกระทบอย่างไร และจะนำไปสู่ปัญหาอะไรกับเครื่องยนต์? (ใช้หลักการถ่ายเทความร้อนอธิบาย)

.....

.....

8. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน	คะแนนที่ได้
ความรู้ (K): ความถูกต้องในการจำแนกพลังงานและการถ่ายเทความร้อน (ตารางที่ 1)	10	
ทักษะ (S): ความชัดเจนและความถูกต้องของแผนภาพ Energy Flow Chart (รวมถึงการระบุสัดส่วน)	10	
เจตคติและการประยุกต์ใช้ (A/P): การมีส่วนร่วมในการทำงานกลุ่ม และการวิเคราะห์ตอบคำถามสรุป (ข้อ 2)	10	
รวมคะแนน	**30**	

9. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ เรื่อง พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์
2. ตำราเรียนวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 2)
3. คู่มือการซ่อมบำรุงรักษารถยนต์ (ส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบหล่อเย็น)

ตรวจแล้ว พบปัญหา

	ใบมอบหมายงาน	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์		ปฏิบัติ ชม.

1. ผลงานหรือผลการปฏิบัติงาน

รายงานการวิเคราะห์และออกแบบแผนภาพการไหลของพลังงาน (Energy Flow Diagram) ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยเน้นการประยุกต์ใช้กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ และการจำแนกการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริงในระบบ

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์ (Engine and Electrical System Repair Technician)
2. **สมรรถนะย่อย:** ประยุกต์ใช้หลักการเบื้องต้นของเทอร์โมไดนามิกส์ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์
3. **เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคพลังงาน (Energy Technician) และช่างซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรกล

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 วิเคราะห์และจำแนกการเปลี่ยนรูปพลังงาน (เคมี, ความร้อน, กล) ในเครื่องยนต์ พร้อมระบุสัดส่วนการสูญเสียพลังงานโดยประมาณ

3.2 ประยุกต์ใช้หลักการถ่ายเทความร้อน 3 รูปแบบ (นำ, พา, แผ่รังสี) เพื่อวิเคราะห์ความสำคัญของระบบหล่อเย็นและระบบไอเสียของเครื่องยนต์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K): อธิบายความสัมพันธ์ของพลังงานและความร้อนตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์ได้อย่างละเอียด

4.2 ทักษะพิสัย (S): ออกแบบและนำเสนอแผนภาพการไหลของพลังงาน (Sankey Diagram หรือเทียบเท่า) ได้อย่างชัดเจนและถูกต้องตามหลักวิชาการ

4.3 จิตพิสัย (A) และ ประยุกต์ใช้ (P): แสดงความสนใจในการค้นคว้าข้อมูลเชิงวิชาการ (A) และสามารถเสนอแนวทางในการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนในเครื่องยนต์อย่างมีเหตุผลได้ (P)

5. รายละเอียดของงาน

ให้นักศึกษาจัดทำ**รายงานเชิงวิเคราะห์** โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้:

1. **บทนำ:** ความหมายและรูปแบบของพลังงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน
2. **หลักการวิเคราะห์:** สรุปกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (กฎการอนุรักษ์พลังงาน) และอธิบายว่ากฎนี้ใช้ในการวิเคราะห์เครื่องยนต์อย่างไร
3. **แผนภาพการไหลของพลังงาน (Energy Flow Diagram/Sankey Diagram):**

1) วาดแผนภาพที่แสดงการเปลี่ยนรูปของพลังงานจาก **พลังงานเคมี** ในเชื้อเพลิง ไปเป็น **พลังงานกล** (งานที่ได้) และพลังงานที่ **สูญเสีย** (ความร้อนไอเสีย, ความร้อนระบบหล่อเย็น, แรงเสียดทาน)

2) **ระบุสัดส่วนเปอร์เซ็นต์โดยประมาณ** ของพลังงานที่ได้และพลังงานที่สูญเสียแต่ละส่วน (อ้างอิงจากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้)

4. **การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน:** อธิบายกลไกการถ่ายเทความร้อน **การนำ (Conduction), การพา (Convection), และการแผ่รังสี (Radiation)** ว่าเกิดขึ้น ณ ส่วนใดของเครื่องยนต์ (ยกตัวอย่างอย่างน้อย 3 ส่วน/ระบบ)

5. **บทสรุปและการประยุกต์ใช้ (P):** นำเสนอแนวทางปฏิบัติ 3 ข้อสำหรับช่างยนต์ในการลดการสูญเสียพลังงานความร้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (เช่น การบำรุงรักษาระบบใดบ้าง)

6. กำหนดเวลาส่งงาน

1. **วันที่ส่ง:** .....
2. **รูปแบบการส่ง:** จัดทำเป็นรูปเล่มรายงาน หรือไฟล์เอกสารอิเล็กทรอนิกส์

7. แนวทางในการปฏิบัติงาน

1. ค้นคว้าข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับ Energy Balance ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (เบนซินหรือดีเซล)
2. เน้นการวิเคราะห์อย่างมีเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ ไม่ใช่เพียงการคัดลอกนิยาม
3. การออกแบบแผนภาพต้องมีความชัดเจน สวยงาม และง่ายต่อการทำความเข้าใจ

8. แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ว่าด้วยเทอร์โมไดนามิกส์)
2. วารสาร/บทความวิชาการด้านเทอร์โมไดนามิกส์ของเครื่องยนต์
3. เว็บไซต์/สื่อการเรียนรู้แบบแอนิเมชันเกี่ยวกับ Engine Energy Loss และ Heat Transfer
4. คู่มือซ่อมบำรุงรถยนต์สมัยใหม่ (ศึกษาข้อมูลจำเพาะด้านความร้อน)

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	**เกณฑ์การให้คะแนน (คะแนนเต็ม 25)**	**คะแนนที่ได้**
ความรู้เชิงวิเคราะห์ (K) การอธิบายกฎเทอร์โมไดนามิกส์และการจำแนกความร้อน	5	
ทักษะการออกแบบ (S) ความถูกต้อง ความชัดเจน และความสวยงามของ Energy Flow Diagram	10	
การประยุกต์ใช้ (P) การวิเคราะห์กลไกการถ่ายเทความร้อน และข้อเสนอแนะในการลดการสูญเสียพลังงาน	5	
ความเรียบร้อยและกำหนดเวลา (A) ความสมบูรณ์ของรายงาน และการส่งงานตรงตามกำหนด	5	
รวมคะแนน	**25**	

	แผนการจัดการเรียนรู้ 3	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 4
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/การวิเคราะห์พลังงานและการคำนวณสภาวะก๊าซในเครื่องยนต์		ปฏิบัติ.....ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถ**วิเคราะห์เชิงปริมาณ**การเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซในกระบอกสูบเครื่องยนต์ โดยใช้หลักการของ **สมการก๊าซอุดมคติ** และ **กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์** เพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความร้อน งาน และอุณหภูมิในวัฏจักรการทำงานจริง

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์เบื้องต้นของก๊าซที่ใช้ในการสันดาป
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคผู้ประเมินประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องยนต์ (Thermal Efficiency Analyst)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานภายใน อุณหภูมิ ความดัน และปริมาตร โดยใช้ทฤษฎีจลน์ของก๊าซและสมการก๊าซอุดมคติ

3.2 ประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ $\Delta U = Q - W)$ เพื่อกำหนดทิศทางและคำนวณการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในในกระบวนการอัดและการขยายตัว

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K): นิยามความหมายของพลังงานภายใน และกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ พร้อมทั้งเขียนสมการก๊าซอุดมคติได้

4.2 ทักษะพิสัย (S): สามารถแก้โจทย์ปัญหาคำนวณการเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซ (P, V, T) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) ในกระบวนการทำงานที่กำหนดได้

4.3 จิตพิสัย (A): แสดงความรับผิดชอบและความละเอียดรอบคอบในการกำหนดเครื่องหมายของ (W) และ (Q) ที่ใช้ในสมการ

5. เนื้อหาสาระ (Learning Contents)

1. **พลังงานภายใน (Internal Energy,** (ΔU)**:** ความหมายและความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิ (สำหรับก๊าซอุดมคติ) (ΔU) ≈ (ΔT)
2. **สมการบอกสภาวะของก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas Law):**
    1. สูตร: PV = nRT และ P1V1/T1 = P2V2/T2
    2. การประยุกต์ใช้ในการหาความดันและอุณหภูมิในกระบอกสูบ
3. **การกำหนดเครื่องหมายของงานและความร้อน (Sign Convention):**
    1. ความร้อน (Q) เข้าเป็นบวก (+) ออกเป็นลบ (-)

2. งาน (W) ระบบทำเป็นบวก (+) งานทำบนระบบเป็นลบ (-)

4. **กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์:** (ΔU) = Q - W และการวิเคราะห์จังหวะอัดและกำลัง

กิจกรรมการจัดการเรียนรู้

ขั้นตอน	กิจกรรมของครูผู้สอน	กิจกรรมของผู้เรียน	เวลา (นาที)	เครื่องมือ/สื่อ
ขั้นนำ	1. ทบทวนเรื่องพลังงาน ความร้อน และการเปลี่ยนรูปในเครื่องยนต์ 2. ตั้งคำถาม: "การอัดไอดีทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้อย่างไร?" เพื่อนำเข้าสู่เรื่อง (ΔU) และ (W)	1. ตอบคำถามทบทวน 2. ร่วมกันอภิปรายความสัมพันธ์ระหว่างการอัดกับความร้อน	15	สไลด์นำเสนอ, คำถาม
ขั้นสอน	**1. อธิบาย พลังงานภายใน (ΔU)** เน้นความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ **2. อธิบาย สมการก๊าซอุดมคติ:** แสดงสูตร PV=nRT และ P1V1/T1 = P2V2/T2 และตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลง P, V, T ในกระบอกสูบ **3. อธิบาย การกำหนดเครื่องหมาย (Q) และ (W):** เน้นย้ำว่าระบบคือ "ก๊าซในกระบอกสูบ" และความหมายของเครื่องหมายบวก/ลบ **4. อธิบาย กฎข้อที่ 1** (ΔU) = Q - W และยกตัวอย่างการวิเคราะห์ (ΔU) ในจังหวะอัดและจังหวะกำลัง	1. จดบันทึกและซักถาม 2. ทำความเข้าใจสมการและฝึกการแทนค่า 3. ร่วมกันกำหนดเครื่องหมาย (Q) และ (W) ในจังหวะอัด/กำลัง 4. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง (ΔU) ตามตัวอย่าง	90	ใบความรู้, กระดาน, เครื่องคิดเลข, โจทย์ตัวอย่าง
ขั้นปฏิบัติ	**กิจกรรมกลุ่ม (ใบกิจกรรม):** ให้นักเรียนทำ "กิจกรรมกลุ่ม: การวิเคราะห์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ในเครื่องยนต์" (ตามใบกิจกรรมที่สร้างไว้ก่อนหน้า) เน้นการคำนวณและเติมตารางกำหนดเครื่องหมาย	1. ทำกิจกรรมกลุ่ม: วิเคราะห์และกำหนดเครื่องหมาย Q, W, ΔU ในจังหวะทำงาน 2. แก้โจทย์คำนวณ (ΔU) = Q - W	60	ใบกิจกรรม, เครื่องคิดเลข
ขั้นสรุป	1. ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอผลการวิเคราะห์/คำนวณสั้นๆ 2. สรุปความสำคัญของกฎข้อที่หนึ่งและสมการก๊าซอุดมคติในการประเมินประสิทธิภาพเครื่องยนต์ 3. มอบหมายงาน (ใบมอบหมายงาน)	1. นำเสนอผลการปฏิบัติ 2. สรุปเนื้อหาและเชื่อมโยงสู่การใช้งานจริง 3. รับใบมอบหมายงานไปทำเป็นการบ้าน	15	ใบมอบหมายงาน, สื่อนำเสนอ

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ (วัดผลหลังเรียน)

คำสั่ง: จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด (10 ข้อ)

1. ข้อใดคือความสัมพันธ์ที่ถูกต้องสำหรับพลังงานภายใน ΔU ของก๊าซอุดมคติ?

ก. (ΔU) ขึ้นอยู่กับความดันเท่านั้น

ข. (ΔU) ขึ้นอยู่กับปริมาตรเท่านั้น

ค. (ΔU) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่านั้น

ง. (ΔU) ขึ้นอยู่กับความดันและปริมาตร

2. สมการก๊าซอุดมคติคือ?

ก. $P = F/A$

ข. $PV = mRT$

ค. $PV = nRT$

ง. $(\Delta U) = Q - W$

3. ในจังหวะ กำลัง (Power Stroke) ของเครื่องยนต์ งาน (W) ควรมีเครื่องหมายเป็นอย่างไร เมื่อยึด "ก๊าซ" เป็นระบบ?

ก. เป็นบวก (+)

ข. เป็นลบ (-)

ค. เป็นศูนย์ (0)

4. ถ้าความร้อน (Q) ออกจากระบบ 5 kJ และงาน (W) ถูกทำบนระบบ 10 kJ การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) คือเท่าใด?

ก. -15 kJ

ข. +5 kJ

ค. -5 kJ

ง. +15 kJ

ตัวอย่าง ห้ามเผยแพร่

7. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตรที่ใช้)
2. ใบความรู้ที่ 2.4 - 2.6
3. สื่อการสอนออนไลน์/วิดีโอ เรื่อง Ideal Gas Law และ First Law of Thermodynamics
4. ใบกิจกรรมและใบมอบหมายงาน

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

เฉลยแบบทดสอบ

1. ค. (ΔU) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่านั้น
2. ค. $PV = nRT$ (เป็นรูปแบบที่พบเห็นได้ทั่วไป)
3. ก. เป็นบวก (+) (เพราะก๊าซขยายตัวทำงานดันลูกสูบ)
4. ข. +5 kJ

วิธีทำ:

1. (Q) ออกจากระบบ $\rightarrow Q = -5\ kJ$
2. (W) ถูกทำบนระบบ $\rightarrow W = -10\ kJ$
3. $(\Delta U) = Q - W = (-5) - (-10) = -5 + 10 = +5\ kJ$

ศรายุทธ พบเมตร

	ใบความรู้ที่ 2	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 4
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ ชม.
ชื่อเรื่อง/. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถ**ประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์** $\Delta U = Q - W$ ร่วมกับ**สมการก๊าซอุดมคติ** เพื่อ**คำนวณและวิเคราะห์**การเปลี่ยนแปลงสภาวะ (ความดัน, อุณหภูมิ) และหาค่าพลังงานภายในของก๊าซในกระบอกสูบเครื่องยนต์ **ในจังหวะทำงานหลัก** อันเป็นพื้นฐานในการประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องยนต์

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของก๊าซในวัฏจักรเครื่องยนต์
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคปรับจูนสมรรถนะเครื่องยนต์ (Engine Performance Tuning) และวิศวกรออกแบบเครื่องจักรกล

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานภายใน อุณหภูมิ และความดัน รวมถึงความสำคัญของสมการก๊าซอุดมคติ ต่อการวิเคราะห์วัฏจักรเครื่องยนต์

3.2 ประยุกต์ใช้หลักการกำหนดเครื่องหมายของงานและความร้อน เพื่อคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ในกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K): อธิบายความหมายของพลังงานภายในและกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ พร้อมเขียนสมการก๊าซอุดมคติได้อย่างถูกต้อง

4.2 ทักษะพิสัย (S): สามารถใช้สมการก๊าซอุดมคติคำนวณตัวแปรสภาวะ (P, V, T) ที่เปลี่ยนแปลงในกระบวนการอัดหรือขยายตัวได้

4.3 จิตพิสัย (A): แสดงความละเอียดรอบคอบในการกำหนดเครื่องหมายของงานและความร้อนเพื่อใช้ในสมการกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

5. เนื้อหาสาระ (Learning Contents)

2.4 พลังงานภายใน (Internal Energy, U)

1. **ความหมาย:** คือพลังงานทั้งหมดที่สะสมอยู่ในระบบอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่และการจัดเรียงตัวของ

โมเลกุล ซึ่งรวมถึงพลังงานจลน์ (การเคลื่อนที่ของโมเลกุล) และพลังงานศักย์ (พันธะเคมี/แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล)

2. **ความสัมพันธ์ที่สำคัญ:** สำหรับก๊าซอุดมคติ **พลังงานภายในขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่านั้น** $(\Delta U \propto \Delta T)$ ดังนั้น หากพลังงานภายในเพิ่มขึ้น (ΔU เป็นบวก) หมายความว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย

2.5 สมการบอกสภาวะของก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas Equation of State)

สมการก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas Law): เป็นสมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิของก๊าซ โดยสมมติว่าไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุล

$$PV = nRT$$

เมื่อ:

P = ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure)

V = ปริมาตร

n = จำนวนโมลของก๊าซ

R = ค่าคงที่ก๊าซสากล (≈8.314 J/mol·K)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature, K)

การประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์: ใช้ในการคำนวณสภาวะของไอดี/ไอเสียในจังหวะต่าง ๆ เช่น การหาความดันสูงสุดหลังการอัดหรือหลังการเผาไหม้ โดยใช้สมการรวมสภาวะ

P1V1/T1 = P2V2/T_2

2.6 การกำหนดเครื่องหมายของงาน (W) และความร้อน (Q)

การกำหนดเครื่องหมายมีความสำคัญอย่างยิ่งในการใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ โดยยึด **ก๊าซในกระบอกสูบ** เป็น **ระบบ (System)**

ตัวแปร	เครื่องหมาย (Sign)	ความหมาย	ตัวอย่างในเครื่องยนต์
ความร้อน (Q)	**บวก** (+)	ความร้อน **เข้าสู่ระบบ** (Heat added to the system)	การสันดาป (การเผาไหม้)
	ลบ (-)	ความร้อน **ออกจากระบบ** (Heat rejected from the system)	การระบายความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบ, การคายไอเสีย
งาน (W)	**บวก** (+)	ระบบ **ทำงาน** (Work done by the system)	ก๊าซขยายตัวดันลูกสูบลง (จังหวะกำลัง)
	ลบ (-)	**งานถูกทำบนระบบ** (Work done on the system)	ลูกสูบอัดก๊าซ (จังหวะอัด)

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (First Law of Thermodynamics):

$$\Delta U = Q - W$$

(การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน = ความร้อนที่เข้า - งานที่ทำโดยระบบ)

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำสั่ง: จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง **พลังงานภายใน** (ΔU) และ **อุณหภูมิ** (T) ของก๊าซในกระบอกสูบ
2. จงใช้สมการก๊าซอุดมคติเพื่ออธิบายว่าทำไมอุณหภูมิของก๊าซจึงสูงขึ้นอย่างมากเมื่อถูกอัด (ลดปริมาตร)
3. ในจังหวะ **อัด** (Compression Stroke) ของเครื่องยนต์ งาน (W) ควรมีเครื่องหมายเป็น **บวก** หรือ **ลบ** และทำไม?
4. ก๊าซในกระบอกสูบได้รับความร้อน Q = 20 kJ และก๊าซทำงาน$W = 5 kJ จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU)

7. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตร ปวช./ปวส.)
2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill Education.
3. Heywood, John B. **Internal Combustion Engine Fundamentals.** McGraw-Hill.

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

เฉลยแบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

1. **ความสัมพันธ์:** พลังงานภายใน (ΔU) แปรผันตรงกับอุณหภูมิ ΔT สำหรับก๊าซอุดมคติ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น พลังงานภายในจะเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลง พลังงานภายในจะลดลง

2. **สมการก๊าซอุดมคติ:** จาก $P1V1/T1 = P2V2/T2$ เมื่อเกิดการอัดทำให้ $V2$ ลดลงอย่างมาก หาก $P1V1/T1$ มีค่าคงที่ การลดลงของ $V2$ จะทำให้อุณหภูมิ $T2$ สูงขึ้นเพื่อให้สมการสมดุล (โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้กระบวนการที่ใกล้เคียง Adibatic Process)

3. **จังหวะอัด:** W ควรมีเครื่องหมายเป็น **ลบ** ($-W$) เพราะว่า **งานถูกทำบนระบบ** (ลูกสูบกำลังทำงานเพื่ออัดก๊าซ)

4. **คำนวณ ΔU**

$Q = +20\ kJ$ (ความร้อนเข้าสู่ระบบ)

$W = +5\ kJ$ (ระบบทำงาน)

$\Delta U = Q - W = (+20\ kJ) - (+5kJ) = 15\ kJ$

พลังงานภายในเพิ่มขึ้น $15\ kJ$

	ใบงานที่ 2	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 4
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ ชม.
ชื่อเรื่อง/การคำนวณและวิเคราะห์สภาวะก๊าซในกระบอกสูบเครื่องยนต์ (Thermodynamic Calculation)		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้จากการปฏิบัติงาน

ผู้เรียนสามารถ**ใช้สมการบอกสภาวะของก๊าซอุดมคติ** และ**ประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์** $\Delta U = Q - W$ ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงสภาวะ (ความดัน, อุณหภูมิ) และหาค่า ΔU ที่เกิดขึ้นในจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อสร้างความเข้าใจเชิงปริมาณเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องยนต์

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของก๊าซที่ใช้ในการสันดาป
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคที่ทำการปรับจูนเครื่องยนต์ (Engine Performance Tuning) และวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชื้อเพลิง

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 คำนวณหาตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ (เช่น ความดัน, อุณหภูมิ) ได้อย่างถูกต้อง โดยใช้สมการก๊าซอุดมคติร่วมกับการวิเคราะห์สภาวะเริ่มต้นและสุดท้าย

3.2 วิเคราะห์และแสดงวิธีทำการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ΔU ในกระบอกสูบเครื่องยนต์ โดยกำหนดเครื่องหมายของความร้อน (Q) และงาน (W) ตามหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์อย่างชัดเจน

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายความหมายของพลังงานภายใน (ΔU) และเขียนสูตรการคำนวณโดยใช้สมการก๊าซอุดมคติและกฎข้อที่หนึ่งได้อย่างถูกต้อง

4.2 ทักษะพิสัย (S) สามารถแก้โจทย์คำนวณที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซในเครื่องยนต์ได้อย่างเป็นขั้นตอน

4.3 จิตพิสัย (A) และ ประยุกต์ใช้ (P) แสดงความละเอียดรอบคอบในการกำหนดเครื่องหมายของ W และ Q ในโจทย์ปัญหา (A) และนำผลการคำนวณไปเปรียบเทียบกับจังหวะการทำงานจริงของเครื่องยนต์ได้ (P)

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์ปัญหาตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน

5.2 เครื่องคิดเลข (Calculator)

5.3 กระดาษและปากกาสำหรับแสดงวิธีทำ

5.4 ใบความรู้ เรื่อง ก๊าซอุดมคติและกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. ระบบที่พิจารณาคือ **ก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบ** (ระบบปิด)
2. ให้ใช้ค่าคงที่ก๊าซสากล $\mathcal{R} = 8.314\ J/mol.K$
3. ตรวจสอบการกำหนดเครื่องหมายของ Q และ W ให้ถูกต้องตามหลักการ:

Q > 0 (บวก) เมื่อความร้อน **เข้า** สู่ระบบ

Q < 0 (ลบ) เมื่อความร้อน **ออก** จากระบบ

W > 0 (บวก) เมื่อระบบ **ทำงาน** (ก๊าซขยายตัว)

W < 0 (ลบ) เมื่อ **งานถูกทำบน** ระบบ (ก๊าซถูกอัด)

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (โจทย์ปัญหา)

นักศึกษาจะต้องวิเคราะห์และคำนวณโจทย์ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนด โดยแสดงวิธีทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอน:

ภารกิจที่ 1 การวิเคราะห์สภาวะก๊าซอุดมคติ (Ideal Gas State Analysis)

ก๊าซผสมในกระบอกสูบของเครื่องยนต์มีสถานะเริ่มต้นดังนี้:

ความดันเริ่มต้น: P1 = 100 kPa

อุณหภูมิเริ่มต้น: T1 = 300 K (ประมาณ 27^0C

ปริมาตรเริ่มต้น: V1 = 0.6 ลิตร

ก๊าซถูกอัดไปยังสถานะที่สอง:

ปริมาตรสุดท้าย V2 = 0.1 ลิตร (อัตราส่วนการอัด 6:1)

อุณหภูมิสุดท้าย: T2 = 550 K

คำถาม 1.1: จงคำนวณ **ความดันสุดท้าย** $P2\ (หน่วย\ kPa)$ ของก๊าซในกระบอกสูบ โดยใช้สมการรวมของก๊าซอุดมคติ $P1V1/T1 = P2V2/T2$

คำถาม 1.2: จงเปรียบเทียบความดัน $P2$ ที่คำนวณได้ กับความดันบรรยากาศ $(101.3\ kPa)$ และอธิบายว่าการอัดส่งผลต่อความดันในกระบอกสูบอย่างไร

ภารกิจที่ 2 การวิเคราะห์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (First Law Analysis)

พิจารณาจังหวะ **อัด** (Compression Stroke) ของเครื่องยนต์

งานที่ถูกทำบนก๊าซ (งานจากการอัด) W = 4 kJ

ความร้อนที่สูญเสียออกจากก๊าซสู่ผนังกระบอกสูบ (ความร้อนที่ระบายออก): Q = 1 kJ

คำถาม 2.1: จงกำหนดเครื่องหมายที่ถูกต้องของ W และ Q สำหรับกระบวนการนี้

1. W (ระบุเครื่องหมาย และค่า) W = ?
2. Q (ระบุเครื่องหมาย และค่า) Q =?

ตัวอย่าง ห้ามใช้

คำถาม 2.2: จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงของ **พลังงานภายใน** ΔU ของก๊าซ (หน่วย kJ) โดยใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ $\Delta U = Q - W$

คำถาม 2.3: จากค่า ΔU ที่ได้ พลังงานภายในของก๊าซ **เพิ่มขึ้นหรือลดลง** และอุณหภูมิของก๊าซเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด?

8. สรุปและวิจารณ์ผล

1. ในจังหวะอัดของเครื่องยนต์ งาน (W) ที่ถูกทำบนก๊าซ มีผลกระทบต่อพลังงานภายใน ΔU มากกว่าการสูญเสียความร้อน (Q) หรือไม่? การวิเคราะห์เชิงปริมาณนี้มีความสำคัญต่อการออกแบบเครื่องยนต์อย่างไร?

.....

.....

2. สมการก๊าซอุดมคติมีความสมบูรณ์เพียงใดในการอธิบายพฤติกรรมของก๊าซจริงที่อุณหภูมิและความดันสูงมากในระหว่างการสันดาป?

.....

.....

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
ภารกิจ 1 การคำนวณ P2 และการอธิบายผล (ข้อ 1.1, 1.2)	10
ภารกิจ 2 การกำหนดเครื่องหมาย W, Q ถูกต้อง (ข้อ 2.1)	10
ภารกิจ 2 การคำนวณ ΔU และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ข้อ 2.2, 2.3)	10
การสรุปและวิจารณ์ผล: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์อย่างมีหลักการ (ข้อ 1 และ 2)	10
รวมคะแนน	**40**

10. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบมอบหมายงานและใบความรู้ที่เกี่ยวข้อง
2. ตำราวิชาเทอร์โมไดนามิกส์และเครื่องยนต์สันดาปภายใน
3. เว็บไซต์ค้นคว้าเรื่อง Ideal Gas Law Calculator และ First Law of Thermodynamics Sign Convention

ตัวอย่าง ห้ามนำไปใช้

	ใบกิจกรรมที่ 2	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 4
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม.
ชื่อเรื่อง/การวิเคราะห์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ในเครื่องยนต์		ปฏิบัติ.....ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้การปฏิบัติกิจกรรม

ผู้เรียนสามารถ**วิเคราะห์**และ**จำลอง**การเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซในกระบอกสูบเครื่องยนต์ตามหลัก**สมการก๊าซอุดมคติ** และสามารถ**ประยุกต์ใช้**การกำหนดเครื่องหมายของความร้อน (Q) และงาน (W) เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลง **พลังงานภายใน** ΔU โดยนำความรู้นี้ไปใช้อธิบายกลไกทางเทอร์โมไดนามิกส์ในจังหวะทำงานจริงของเครื่องยนต์

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของก๊าซที่ใช้ในการสันดาป
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคยานยนต์ที่ทำการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์ (Engine Performance Analyst)

3. สมรรถนะประจำกิจกรรม

3.1 วิเคราะห์สถานการณ์สมมติเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซในกระบอกสูบเครื่องยนต์ โดยใช้สมการก๊าซอุดมคติได้อย่างแม่นยำ

3.2 ประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ $\Delta U = Q - W$ เพื่อสรุปความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานภายใน งาน และความร้อน ในจังหวะทำงานที่แตกต่างกันของเครื่องยนต์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายความหมายของพลังงานภายในและความสำคัญของสมการก๊าซอุดมคติต่อการวิเคราะห์เครื่องยนต์ได้

4.2 ทักษะพิสัย (S) กำหนดเครื่องหมายของงานและความร้อนที่ถูกต้องจากสถานการณ์ในจังหวะอัดและจังหวะกำลัง และสามารถแก้โจทย์คำนวณเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับ ΔU ได้

4.3 จิตพิสัย (A) และ ประยุกต์ใช้ (P) แสดงความละเอียดรอบคอบในการกำหนดเครื่องหมายและคำนวณ (A) และสามารถนำหลักการ Q และ W ไปอธิบายวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ (P)

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์สมมติ (ตามตารางที่ 1)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 กระดาษสำหรับทำรายงาน (หรือแผ่นกระดานนำเสนอ)

5.4 แผนภาพวงจรเทอร์โมไดนามิกส์ (P-V Diagram) ของเครื่องยนต์ (สำหรับอ้างอิง)

6. ขั้นตอนการทำกิจกรรม (เวลาปฏิบัติ 90 นาที)

กิจกรรม 1 “Thermodynamic Sign Game” (เกมกำหนดเครื่องหมาย) (40 นาที)

1. นักเรียนในกลุ่มทบทวนหลักการกำหนดเครื่องหมายของ **ความร้อน (Q)** และ **งาน (W)** โดยยึด "ก๊าซในกระบอกสูบ" เป็นระบบ

Q เป็นบวก (+): ความร้อนเข้าสู่ระบบ (เช่น การเผาไหม้)

Q เป็นลบ (-): ความร้อนออกจากระบบ (เช่น การระบายความร้อน)

W เป็นบวก (+): ระบบทำงาน (ก๊าซขยายตัวดันลูกสูบ)

W เป็นลบ (-): งานถูกทำบนระบบ (ก๊าซถูกอัดโดยลูกสูบ)

2. กลุ่มร่วมกันวิเคราะห์จังหวะการทำงาน 4 จังหวะของเครื่องยนต์เบนซิน (ดูด, อัด, ระเบิด/กำลัง, คาย) และเติมตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดเครื่องหมายของ Q, W, และ ΔU ในเครื่องยนต์

จังหวะทำงาน	Q (ความร้อน)	W (งาน)	ΔU=Q−W	ΔT (อุณหภูมิ)	อธิบายสภาวะที่เกิดขึ้น
อัด (Compression)	มักเป็น -Q	-W	.....	.....	....
กำลัง (Power/Expansion)	Q เป็นบวกมาก	+W	.....	.....	....
คาย (Exhaust)	มักเป็น -Q	-W หรือ ≈0	.....	.....	....

กิจกรรม 2: "Ideal Gas Challenge" (โจทย์ก๊าซอุดมคติ) (40 นาที)

1. กลุ่มร่วมกันแก้โจทย์ปัญหาเชิงคำนวณ

โจทย์: ก๊าซในกระบอกสูบ (ระบบ) ถูกอัดโดยงาน W = 15 kJ โดยงานถูกทำบนระบบ และก๊าซสูญเสียความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบ Q = 3 kJ **จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายใน ΔU** และบอกว่าพลังงานภายในของระบบเพิ่มขึ้นหรือลดลง

2. กลุ่มนำเสนอผลการคำนวณและอภิปรายผลต่อชั้นเรียน (10 นาที)

7. สรุปและอภิปราย

1. จงสรุปความสัมพันธ์ของ พลังงานภายใน ΔU และ อุณหภูมิ ของก๊าซในกระบอกสูบ

.....

.....

2. จากกิจกรรมที่ 2 (โจทย์คำนวณ) ทำไม พลังงานภายในจึงยังคง เพิ่มขึ้น แม้ว่าก๊าซจะสูญเสียความร้อนออกไปแล้วก็ตาม?

.....

.....

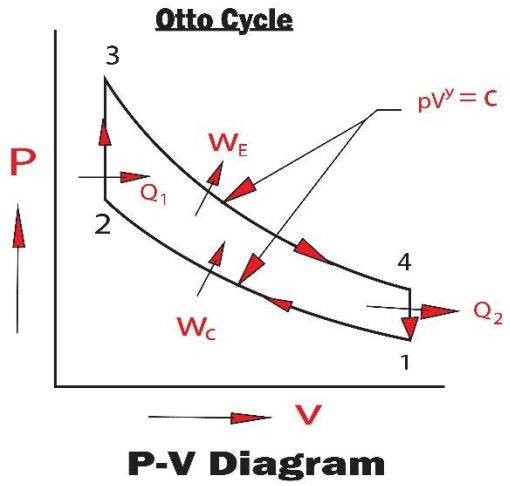
ศึกษานิเทศก์

8. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
กิจกรรม 1: การกำหนดเครื่องหมาย Q, W, ΔU ในตารางที่ 1 ถูกต้อง (2 คะแนน/ช่อง)	12
กิจกรรม 2: การแก้โจทย์คำนวณหา ΔU และระบุทิศทางการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในถูกต้อง	10
สรุปและอภิปราย: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และเข้าร่วมการนำเสนออย่างมีเหตุผล (ข้อ 1 และ 2)	8
รวมคะแนน	**30**

9. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

- ใบความรู้ เรื่อง กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ และสมการก๊าซอุดมคติ
- ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 2)



	ใบมอบหมายงาน	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 4
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ.....ชม.
ชื่อเรื่อง/2.4 พลังงานภายใน, 2.5 สมการบอกสภาวะของก๊าซอุดมคติ, 2.6 การกำหนดเครื่องหมายของงานและความร้อน		

1. ผลงานหรือผลการปฏิบัติงาน

1. **รายงานการวิเคราะห์และคำนวณ:** นำเสนอการแก้โจทย์ปัญหาเชิงคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซในกระบอกสูบเครื่องยนต์ โดยใช้สมการก๊าซอุดมคติ และแสดงการกำหนดเครื่องหมายของงาน (W) และความร้อน (Q) อย่างชัดเจน

2. **ผังความคิด (Concept Map):** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานภายใน (Internal Energy), งาน, และความร้อน ตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. มาตรฐานอาชีพ: ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างซ่อมเครื่องยนต์

2. สมรรถนะย่อย: คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของก๊าซที่ใช้ในการสันดาปเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพ

3. บูรณาการกลุ่มอาชีพ: วิศวกร/ช่างเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและปรับปรุงเครื่องยนต์ (Engine Performance Tuning)

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 คำนวณหาตัวแปรต่าง ๆ ในสภาวะของก๊าซอุดมคติ (ความดัน P, ปริมาตร V, อุณหภูมิ T) ได้อย่างถูกต้อง

3.2 ประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ $\Delta U = Q - W$ เพื่อหาความสัมพันธ์และกำหนดทิศทาง (เครื่องหมาย) ของงานและความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบอกสูบเครื่องยนต์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายความหมายของพลังงานภายใน และเขียนสมการก๊าซอุดมคติ พร้อมนิยามการกำหนดเครื่องหมายของ W และ Q ได้อย่างถูกต้อง

4.2 ทักษะพิสัย (S) สามารถแก้โจทย์คำนวณที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซในเครื่องยนต์โดยใช้สมการ $PV = nRT$ และกำหนดเครื่องหมายของ W และ Q ได้

4.3 จิตพิสัย (A) และ ประยุกต์ใช้ (P) แสดงความรับผิดชอบในการจัดทำรายงาน (A) และนำหลักการกำหนดเครื่องหมายของ W และ Q ไปใช้อธิบายจังหวะ อัด และ กำลัง ของเครื่องยนต์ได้ (P)

5. รายละเอียดของงาน (โจทย์ปัญหา)

นักศึกษาจะต้องวิเคราะห์และคำนวณโจทย์ปัญหาตามสถานการณ์สมมติด้านล่าง โดยแสดงวิธีทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอน

สถานการณ์: การเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซในกระบอกสูบเครื่องยนต์เบนซิน

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสภาวะของก๊าซภายในกระบอกสูบ (ระบบปิด) ของเครื่องยนต์ 1 สูบ

โจทย์ที่ 1 การคำนวณสภาวะก๊าซอุดมคติ

ก๊าซผสมในกระบอกสูบมีปริมาตร V_1 = 0.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ T_1 = 300 K และความดัน P_1 = 100 kPa สมมติว่าในกระบอกสูบมีก๊าซอยู่ n = 0.02 โมล (ค่าคงที่ก๊าซสากล R = 8.314 J/mol.K

คำถาม จงคำนวณ **ปริมาตร** ของก๊าซที่อุณหภูมิ T_2 = 600 K และความดัน P_2 = 250 kPa โดยใช้สมการก๊าซอุดมคติ (สมมติว่าเป็นก๊าซอุดมคติ)

โจทย์ที่ 2: การวิเคราะห์งานและความร้อน

ก๊าซในกระบอกสูบ (ระบบ) ถูก อัด ทำให้เกิดงาน W = 10 kJ โดย งานถูกทำบนระบบ ในขณะเดียวกันก๊าซ สูญเสีย ความร้อนให้กับผนังกระบอกสูบ Q = 2 kJ

คำถาม ก. จงกำหนดเครื่องหมายที่ถูกต้องของงาน (W) และความร้อน (Q) สำหรับกระบวนการนี้

คำถาม ข. จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงของ **พลังงานภายใน** ΔU ของก๊าซ โดยใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ $\Delta U = Q - W$

คำถาม ค. จากค่า ΔU ที่ได้ อุณหภูมิของก๊าซเพิ่มขึ้นหรือลดลง? จงอธิบายความสัมพันธ์กับพลังงานภายใน

6. กำหนดเวลาส่งงาน

1. **วันที่ส่ง:** .....
2. **รูปแบบ:** รายงานฉบับเต็ม พร้อมผังความคิด (Concept Map)

7. แนวทางในการปฏิบัติงาน

1. ทบทวนความหมายของ **พลังงานภายใน** และความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ
2. ทบทวน **สมการก๊าซอุดมคติ:** $PV = nRT$ หรือ $P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$ ทำความเข้าใจ **การกำหนดเครื่องหมายของ W และ Q** ในทางเทอร์โมไดนามิกส์
1. **งาน (W) เป็นบวก (+)** เมื่อ **ระบบทำงาน** (เช่น ก๊าซขยายตัวดันลูกสูบลง) / **เป็นลบ (-)** เมื่อ **งานถูกทำบนระบบ** (เช่น ก๊าซถูกอัด)
2. **ความร้อน (Q) เป็นบวก (+)** เมื่อ **ความร้อนเข้าสู่ระบบ** / **เป็นลบ (-)** เมื่อ **ความร้อนออกจากระบบ**
3. ใช้ **กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์:** $\Delta U = Q - W$

8. แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

1. หนังสือเรียนวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 2)
2. ตำราวิชาเทอร์โมไดนามิกส์เบื้องต้น
3. เว็บไซต์หรือวิดีโออธิบายเรื่อง Ideal Gas Law และ First Law of Thermodynamics

ศูนย์วิทยทรัพยากร

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	**เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)**
โจทย์ที่ 1: การใช้สมการก๊าซอุดมคติ และการคำนวณปริมาตร (V_2) ถูกต้อง	10
โจทย์ที่ 2 (ก.): การกำหนดเครื่องหมายของ W และ Q ถูกต้อง	10
โจทย์ที่ 2 (ข.): การคำนวณ ΔU ตามกฎข้อที่ 1 ถูกต้อง	10
โจทย์ที่ 2 (ค.): การอธิบายความสัมพันธ์ของ ΔU กับอุณหภูมิถูกต้อง	10
การนำเสนอ: ผังความคิด (Concept Map) และความชัดเจนของรายงาน	10
รวมคะแนน	**50**

ศรายุทธ ทบเสถียร

	แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล (Non-Flow Energy Equation), เอนทาลปี้ (Enthalpy)		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถ**ประยุกต์ใช้**กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ในรูปแบบ**สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล** และ**เข้าใจความหมายของเอนทาลปี้** เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายโอนความร้อนและงานที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบเครื่องยนต์ (ระบบปิด/ระบบที่ไม่มีการไหล)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของก๊าซในวัฏจักรเครื่องยนต์โดยเฉพาะในกระบวนการที่ปริมาตรเปลี่ยนไป
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคที่ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องจักรกล (Heat Rate Analysis)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 อธิบายและเขียนสมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล (First Law for Closed System) พร้อมทั้งระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้อง

3.2 วิเคราะห์ความสำคัญของ เอนทาลปี้ ในบริบทของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาตร

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K): นิยามความหมายของเอนทาลปี้ (H) และความสัมพันธ์ระหว่างเอนทาลปี้กับพลังงานภายในได้

4.2 ทักษะพิสัย (S): สามารถใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล $\Delta U=Q-W$ ในการคำนวณโจทย์ปัญหาเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการทำงานในกระบอกสูบ

4.3 จิตพิสัย (A): แสดงความกระตือรือร้นในการเรียนรู้และเชื่อมโยงแนวคิดทางเทอร์โมไดนามิกส์เข้ากับจังหวะทำงานจริงของเครื่องยนต์

5. เนื้อหาสาระ

หัวข้อ	รายละเอียด
2.7 สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล (Non-Flow Energy Equation)	**ความหมาย:** คือการประยุกต์ใช้กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์กับระบบปิด (Control Mass) หรือระบบที่ไม่มีมวลไหลเข้าออก เช่น ก๊าซในกระบอกสูบเครื่องยนต์ **ในขณะที่วาล์วปิด** (จังหวะอัดและกำลัง)

	สมการ: $\Delta U=Q-W$ หรือ $U2 - U1 = Q - W$ เมื่อ U คือพลังงานภายใน, Q คือความร้อน, W คืองาน
	การประยุกต์ใช้: ใช้ในการหาค่าพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงไปในกระบวนการอัด (Compression) และขยายตัว (Expansion)
2.8 เอนทาลปี้ (Enthalpy, H)	**ความหมาย:** เอนทาลปี้คือสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่รวมเอาพลังงานภายใน (U) และพลังงานที่เกิดจากความดันและปริมาตร (PV) เข้าด้วยกัน
	สมการ: $H = U + PV$
	การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้: $\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$
	ความสำคัญในเครื่องยนต์: แม้กระบอกสูบจะเป็นระบบที่ไม่มีการไหล แต่เอนทาลปี้มีความสำคัญมากในส่วนประกอบที่เป็นระบบที่มีการไหล (Control Volume) เช่น **วาล์วไอดี/ไอเสีย, เทอร์โบชาร์จเจอร์**, และการวิเคราะห์การไหลของไอดีและไอเสีย (ไอเสียทิ้งพลังงานความร้อนสูง)

6. ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้

ขั้นตอน	กิจกรรมครู	กิจกรรมผู้เรียน	เวลา (นาที)
ขั้นนำ (ทบทวนและกระตุ้น)	ทบทวนการกำหนดเครื่องหมาย Q, W และ $\Delta U = Q - W$	ตอบคำถามทบทวน, เชื่อมโยงความรู้เดิม	10
ขั้นสอน (การบรรยายและสาธิต)	**2.7 สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล:** อธิบายว่ากระบอกสูบเป็นระบบปิดในช่วงอัดและกำลัง และนำเสนอสมการ $\Delta U = Q - W$ สาธิตการแก้โจทย์เบื้องต้น	ตั้งใจฟัง, บันทึกสาระ, ซักถามข้อสงสัย	30
	2.8 เอนทาลปี้: แนะนำแนวคิดเอนทาลปี้ $H = U + PV$ อธิบายว่า PV คืองานไหล (Flow Work) และเอนทาลปี้จะสำคัญต่อการวิเคราะห์ **ระบบที่มีการไหล** (วาล์ว, ท่อไอเสีย)	ตั้งใจฟัง, ทำความเข้าใจความแตกต่างระหว่าง U และ H	20
ขั้นกิจกรรม (ปฏิบัติงาน)	**ใบงาน/กิจกรรม: การคำนวณ ΔU และ ΔH** แจกโจทย์ปัญหาการคำนวณ $\Delta U=Q-W$ ให้นักเรียนทำและโจทย์ $\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$	ทำงานกลุ่ม/เดี่ยวตามใบงาน, แสดงวิธีทำและนำเสนอคำตอบ	30
ขั้นสรุป (ประยุกต์และประเมิน)	สรุปความสำคัญของ ΔU และ ΔH ต่อเครื่องยนต์ และมอบหมายงานการบ้าน	ร่วมสรุป, ซักถามประเด็นสุดท้าย	10

ตัวอย่าง ฉบับเต็ม

7. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำสั่ง: จงตอบคำถามและแสดงวิธีทำ

1. จงเขียนความสัมพันธ์ของเอนทาลปี้ (H) ในรูปของพลังงานภายใน (U) และตัวแปรอื่น ๆ

คำตอบ: $\Delta H = U + PV$

2. ระบบก๊าซในกระบอกสูบ (ระบบปิด) ได้รับความร้อน Q = 15 kJ และระบบทำงานดันลูกสูบ W = 8 kJ จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ($\Delta U=Q-W$) ของระบบ

วิธีทำ: $\Delta U = Q - W = (+15\ kJ) - (+8\ kJ) = 7\ kJ$

3. หากพลังงานภายในของระบบในข้อ 2. เพิ่มขึ้น $\Delta U = 7$ kJ ความดันและปริมาตรรวมกันเปลี่ยนไปในรูปของ $P\Delta V + V\Delta P = 3$ kJ จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ ΔH

วิธีทำ: $\Delta H = \Delta U + \Delta(PV) = 7\ kJ + 3\ kJ = 10\ kJ$

8. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตร ปวช./ปวส.)

2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill Education.

3. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์

9. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด เฉลยแบบทดสอบ ฯ)

1. จงเขียนความสัมพันธ์ของเอนทาลปี้ (H) ในรูปของพลังงานภายใน (U) และตัวแปรอื่น ๆ

คำตอบ: $\Delta H = U + PV$

2. ระบบก๊าซในกระบอกสูบ (ระบบปิด) ได้รับความร้อน Q = 15 kJ และระบบทำงานดันลูกสูบ W = 8 kJ จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ($\Delta U=Q-W$) ของระบบ

วิธีทำ: $\Delta U = Q - W = (+15\ kJ) - (+8\ kJ) = 7\ kJ$

3. หากพลังงานภายในของระบบในข้อ 2. เพิ่มขึ้น $\Delta U = 7$ kJ ความดันและปริมาตรรวมกันเปลี่ยนไปในรูปของ $P\Delta V + V\Delta P = 3$ kJ จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ ΔH

วิธีทำ: $\Delta H = \Delta U + \Delta(PV) = 7\ kJ + 3\ kJ = 10\ kJ$

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/. สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล, เอนทาลปี้		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถ**เขียนและประยุกต์ใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล (กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบปิด)** เพื่อวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนพลังงาน (ความร้อนและงาน) ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบเครื่องยนต์ และ**นิยามและเข้าใจความสำคัญของเอนทาลปี้** ในการวิเคราะห์การไหลของไอดีและไอเสีย

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของก๊าซในวัฏจักรเครื่องยนต์
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคที่ทำการวิเคราะห์สมรรถนะการใช้เชื้อเพลิง และออกแบบระบบท่อไอเสีย/เทอร์โบชาร์จเจอร์

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 อธิบายและเขียนสมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหลพร้อมทั้งระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และนำไปใช้ในการวิเคราะห์จังหวะอัดและกำลัง

3.2 นิยามความหมายของเอนทาลปี้ (H) และเชื่อมโยงความสำคัญของเอนทาลปี้กับกระบวนการไหลของไอดีและไอเสียในเครื่องยนต์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายความหมายและเขียนสมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล ($\Delta U = Q - W$) ได้อย่างถูกต้อง

4.2 ทักษะพิสัย (S) สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) จากค่า Q และ W ที่กำหนดให้ในสถานการณ์ของระบบปิด

4.3 จิตพิสัย (A) ให้ความสำคัญและสามารถเชื่อมโยงแนวคิดของเอนทาลปี้กับการทำงานของระบบที่มีการไหล (เช่น เทอร์โบชาร์จเจอร์) ได้

5. เนื้อหาสาระ (Learning Contents)

2.7 สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล (First Law for Closed System)

ระบบที่ไม่มีการไหล (Closed System) คือระบบที่มีการแลกเปลี่ยนพลังงาน (ความร้อนและงาน) กับสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ไม่มีมวลไหลเข้าหรือออก **กระบอกสูบเครื่องยนต์** ในช่วงที่วาล์วไอดีและไอเสียปิด (จังหวะอัดและจังหวะกำลัง) ถือเป็นตัวอย่างของระบบที่ไม่มีการไหล

1. **กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (การอนุรักษ์พลังงาน):** พลังงานที่ถูกถ่ายเท (ความร้อนและงาน) จะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของระบบ

1) สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล (Non-Flow Energy Equation):

$$\Delta U = Q - W$$

หรือเขียนในรูปปริมาณต่อหน่วยมวล (Specific Quantity)

$$\Delta u = q - w$$

เมื่อ:

1) ΔU (หรือ Δu การเปลี่ยนแปลง**พลังงานภายใน** (Internal Energy Change) ของระบบ

2) Q (หรือ q) ความร้อนที่ถ่ายเท (Heat Transfer)

3) W (หรือ w) งานที่ถ่ายเท (Work Transfer)

2) **ความสำคัญในเครื่องยนต์:** ใช้ในการวิเคราะห์เชิงความร้อนของ **วัฏจักรออตโต (Otto Cycle)** หรือ **วัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle)** ในจังหวะอัด (Compression) และจังหวะขยายตัว/กำลัง (Expansion/Power)

2.8 เอนทาลปี้ (Enthalpy, H)

เอนทาลปี้ เป็นสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่รวมเอาพลังงานภายในของระบบ และงานที่ต้องใช้ในการผลักดันระบบให้มีปริมาตร V ภายใต้ความดัน P (เรียกว่างานไหล, Flow Work)

1) นิยามสมการเอนทาลปี้:

$$H = U + PV$$

เมื่อ:

1. H (หรือ h) **เอนทาลปี้** (Enthalpy)
2. U (หรือ u) **พลังงานภายใน** (Internal Energy)
3. PV งานไหล (Flow Work)

2) การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้: มักจะถูกใช้ในการวิเคราะห์ ระบบที่มีการไหล (Open System หรือ Control Volume) เช่น $\Delta H = Q - W_{flow} + \sum(Energy_{in}) - \sum(Energy_{out})$

3) **ความสำคัญในเครื่องยนต์:**

1. **การไหลของไอดี/ไอเสีย:** ใช้ในการวิเคราะห์พลังงานที่ไหลเข้า (ไอดี) และพลังงานที่ถูกทิ้งไปกับไอเสีย ซึ่งเป็นระบบที่มีการไหลเข้าออก

2. **เครื่องเทอร์โบชาร์จเจอร์ (Turbocharger):** เอนทาลปี้ของไอเสียเป็นพลังงานหลักที่ใช้ในการขับเคลื่อนกังหัน (Turbine) ก่อนเข้าสู่ท่อไอเสีย

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำสั่ง: จงเติมคำตอบที่ถูกต้อง และแสดงวิธีทำสำหรับข้อที่เป็นการคำนวณ

1. จงเขียนสมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล ΔU = ...
2. สมการเอนทาลปี้ถูกนิยามให้เท่ากับ H = U + ...

3. ในจังหวะ **อัด** ของเครื่องยนต์ ความร้อนออกจากระบบ Q = 2 kJ และงานถูกทำบนระบบ W = 10 kJ จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) (อย่าลืมกำหนดเครื่องหมายที่ถูกต้อง)

4. เอนทาลปี้มีความสำคัญมากที่สุดในการวิเคราะห์ระบบที่ _____ (มีการไหล/ไม่มีการไหล)

5. หากพลังงานภายในของระบบ ΔU = 50 kJ และงานไหล PV = 10 kJ เอนทาลปี้ H มีค่าเท่าใด?

7. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราเรียนวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตรที่ใช้)

2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill Education.

3. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง พื้นฐานเทอร์โมไดนามิกส์

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด)

เฉลยแบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

1. ΔU = Q - W
2. H = U + PV
3. **คำนวณ ΔU**
    1) Q = -2 kJ (ความร้อนออก)
    2) W = -10 kJ (งานถูกทำบนระบบ)
    3) ΔU = Q - W = (-2 kJ) - (-10 kJ) = 8 kJ
4. ระบบที่มี **การไหล** (Control Volume)
5. H = U + PV = 50 kJ + 10 kJ = 60 kJ

ตัวอย่าง ทบทวน

	ใบงานที่ 3	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล, เอนทาลปี้		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้จากการปฏิบัติงาน

ผู้เรียนสามารถ**ใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล** ($\Delta U = Q - W$) ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในในกระบอกสูบ และ**สามารถคำนวณและอธิบายความหมายของเอนทาลปี้** ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของก๊าซในระบบไอดีและไอเสียของเครื่องยนต์

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของก๊าซในวัฏจักรเครื่องยนต์
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคที่ทำการวิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ (Thermal Efficiency Analysis)

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 ประยุกต์ใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานภายใน งาน และความร้อน ในจังหวะทำงานของเครื่องยนต์ได้อย่างถูกต้อง

3.2 นิยามและคำนวณหาค่าเอนทาลปี้ เพื่อใช้ในการอธิบายการถ่ายเทพลังงานในการไหลของก๊าซผ่านส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายความแตกต่างของระบบที่ไม่มีการไหล (กระบอกสูบ) กับระบบที่มีการไหล (ท่อไอเสีย) พร้อมนิยามเอนทาลปี้ได้อย่างชัดเจน

4.2 ทักษะพิสัย (S) สามารถแก้โจทย์คำนวณหาค่า ΔU และ ΔH จากสมการที่เกี่ยวข้องได้อย่างเป็นขั้นตอน

4.3 จิตพิสัย (A) แสดงความละเอียดรอบคอบในการวิเคราะห์ชนิดของระบบ (ปิด/เปิด) ก่อนเลือกใช้สมการพลังงาน

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์ (ตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 ใบความรู้ เรื่อง กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์และเอนทาลปี้

5.4 แผนภาพกระบอกสูบและเทอร์โบชาร์จเจอร์ (สำหรับอ้างอิง)

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. **ระบบที่ไม่มีการไหล (Closed System):** ใช้สมการ $\Delta U = Q - W$ (เน้นที่กระบอกสูบขณะวาล์วปิด)

2. **เอนทาลปี้ (H):** ใช้สมการ H = U + PV (เน้นที่ระบบที่มีการไหล เช่น ท่อไอเสีย เทอร์โบ)

3. ตรวจสอบการกำหนดเครื่องหมายของ Q และ W อย่างเคร่งครัด **Q เข้าเป็นบวก, Q ออกเป็นลบ; W ระบบทำเป็นบวก, W ถูกทำบนระบบเป็นลบ**

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (โจทย์ปัญหาและการวิเคราะห์)

ภารกิจที่ 1 การวิเคราะห์พลังงานในจังหวะกำลัง (ระบบที่ไม่มีการไหล)

พิจารณาก๊าซในกระบอกสูบ (ระบบ) ระหว่างจังหวะกำลัง:

1. ก๊าซได้รับความร้อนจากการสันดาปสูงมาก Q_{add} = 500 kJ
2. ก๊าซขยายตัวดันลูกสูบ (ระบบทำงาน) W_{output} = 300 kJ
3. ก๊าซสูญเสียความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบ Q_{loss} = 50 kJ

คำถาม 1.1 จงคำนวณ ความร้อนสุทธิ (Q_{net}) ที่เข้าสู่ระบบ

คำถาม 1.2 จงกำหนดเครื่องหมายที่ถูกต้องของ Q_{net} และ W_{output}

1. Q_{net} (เครื่องหมาย) และ (ค่า)
2. W_{output} (เครื่องหมาย) และ (ค่า)

คำถาม 1.3 จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงของ พลังงานภายใน (ΔU) ของก๊าซในจังหวะกำลังนี้ โดยใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล

ภารกิจที่ 2 การวิเคราะห์เอนทาลปี้ (ระบบที่มีการไหล)

พิจารณาไอเสียที่ไหลผ่านกังหัน (Turbine) ของเทอร์โบชาร์จเจอร์ (ระบบที่มีการไหล)

1. **สถานะเริ่มต้น (ก่อนเข้า Turbine)** พลังงานภายใน U1 = 300 kJ/kg งานไหล P1 V1 = 150 kJ/kg

2. **สถานะสุดท้าย (หลังออกจาก Turbine):** พลังงานภายใน U2 = 250 kJ/kg งานไหล P2 V2 = 100 kJ/kg

คำถาม 2.1 จงคำนวณ เอนทาลปี้เริ่มต้น (H1) และ เอนทาลปี้สุดท้าย (H2) (หน่วย kJ/kg)

คำถาม 2.2 จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ (ΔH = H2 - H1)

คำถาม 2.3 การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ (ΔH) ที่เป็น ลบ แสดงถึงอะไรในแง่ของพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนกังหัน?

ศูนย์วิทยทรัพยากร

8. สรุปและวิจารณ์ผล

1. ในระบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน เหตุใดการวิเคราะห์จังหวะอัดและกำลังจึงใช้ ΔU เป็นหลัก ในขณะที่การวิเคราะห์การไหลของไอเสียมักใช้ ΔH เป็นหลัก?

.....

.....

2. จากการคำนวณในภารกิจที่ 1 ค่า ΔU ที่ได้มีความสอดคล้องกับความเป็นจริงที่อุณหภูมิของก๊าซในกระบอกสูบต้องเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังการสันดาปหรือไม่? จงให้เหตุผล

.....

.....

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
ภารกิจ 1: การคำนวณ Qnet, การกำหนดเครื่องหมาย Q และ W, และการหา ΔU ถูกต้อง	15
ภารกิจ 2: การคำนวณ H1, H2, ΔH และการอธิบายผลถูกต้อง	15
สรุปและวิจารณ์ผล: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์อย่างมีเหตุผลและชัดเจน	10
รวมคะแนน	**40**

10. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ประกอบการสอน เรื่อง สมการพลังงานและเอนทาลปี้
2. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน และวิชาเทอร์โมไดนามิกส์
3. เว็บไซต์ค้นคว้าเกี่ยวกับ First Law of Thermodynamics for Closed/Open Systems

	ใบกิจกรรมที่ 3	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล, เอนทาลปี้		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้การปฏิบัติกิจกรรม

ผู้เรียนสามารถ**จำแนก**ระบบที่ไม่มีการไหล (กระบอกสูบ) และระบบที่มีการไหล (ท่อไอเสีย) และสามารถ**วิเคราะห์**การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) และเอนทาลปี้ (ΔH) ในแต่ละระบบ โดยใช้สมการกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์อย่างถูกต้อง

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์
2. **สมรรถนะย่อย** คำนวณและวิเคราะห์การถ่ายโอนพลังงานในส่วนประกอบของเครื่องยนต์
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ** ช่างเทคนิคที่ทำการตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงของยานยนต์

3. สมรรถนะประจำกิจกรรม

3.1 วิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนด และเลือกใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล ($\Delta U = Q - W$) เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในในกระบอกสูบ

3.2 นิยามและคำนวณเอนทาลปี้ ($\Delta H = U + PV$) และนำไปใช้อธิบายการถ่ายโอนพลังงานในระบบที่มีการไหล (เช่น ไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์)

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายความสัมพันธ์และหน้าที่ทางคณิตศาสตร์ของ U, P, V ในการเกิดเอนทาลปี้ (H) ได้

4.2 ทักษะพิสัย (S) กำหนดเครื่องหมายของ Q และ W ได้อย่างถูกต้องเพื่อใช้ในสมการ $\Delta U = Q - W$ และสามารถคำนวณ ΔH จากค่าที่เกี่ยวข้องได้

4.3 จิตพิสัย (A) และ ประยุกต์ใช้ (P) แสดงความละเอียดรอบคอบในการคำนวณ (A) และสามารถสรุปการประยุกต์ใช้ ΔU และ ΔH ในการวิเคราะห์ระบบเครื่องยนต์ (P)

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์สมมติ (ตามตารางและโจทย์)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 กระดาษและปากกาสำหรับแสดงวิธีทำ

5.4 แผนภาพเปรียบเทียบระบบปิด (กระบอกสูบ) และระบบเปิด (เทอร์โบ)

6. ขั้นตอนการทำกิจกรรม (เวลาปฏิบัติ: 90 นาที)

กิจกรรม 1: "Non-Flow Analysis" (วิเคราะห์ระบบที่ไม่มีการไหล) (40 นาที)

1. นักเรียนในกลุ่มทบทวนหลักการของ **ระบบที่ไม่มีการไหล** (ระบบปิด) และสมการ $\Delta U = Q - W$

2. กลุ่มร่วมกันวิเคราะห์สถานการณ์ต่อไปนี้ (จังหวะกำลัง)

สถานการณ์ ก๊าซในกระบอกสูบ (ระบบ) ถูกเผาไหม้ทำให้ได้รับความร้อน Q = 80 kJ ในขณะเดียวกันก๊าซขยายตัวดันลูกสูบทำให้ระบบทำงาน W = 60 kJ และมีการสูญเสียความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบ Q_{loss} = 5 kJ

3. **คำถาม 1.1** กำหนดเครื่องหมายของ Qin (ความร้อนจากการเผาไหม้), Qloss (ความร้อนที่สูญเสีย), และ W (งานที่ทำโดยระบบ)

1. Q_{in} = kJ
2. Q_{loss} = kJ
3. W = kJ

4. **คำถาม 1.2** คำนวณ ΔU โดยใช้สมการ $\Delta U = Qnet - W$ และสรุปว่าพลังงานภายในเพิ่มขึ้นหรือลดลง

กิจกรรม 2: "Enthalpy Application" (การประยุกต์ใช้เอนทาลปี้) (40 นาที)

1. กลุ่มทบทวนนิยามเอนทาลปี้ $\Delta H = U + PV$ และการใช้เอนทาลปี้ในการวิเคราะห์ระบบที่มีการไหล (เช่น ไอเสียผ่านเทอร์โบ)

2. **สถานการณ์:** ไอเสียมวล 1 kg กำลังจะเข้าสู่กังหันเทอร์โบ (ระบบที่มีการไหล)

สถานะ 1 (ทางเข้า): พลังงานภายใน u1 = 400 kJ/kg งานไหล P1 v1 = 120 kJ/kg

สถานะ 2 (ทางออก): พลังงานภายใน u2 = 300 kJ/kg งานไหล P2 v2 = 60 kJ/kg

3. **คำถาม 2.1** คำนวณเอนทาลปี้จำเพาะที่ทางเข้า h1 และทางออก h2

4. **คำถาม 2.2** คำนวณการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ $\Delta h = h2 - h1$ และอธิบายว่าพลังงานส่วนนี้เปลี่ยนเป็นอะไรในเทอร์โบชาร์จเจอร์

7. สรุปและอภิปราย

1. จากกิจกรรมที่ 1 และ 2 การเปลี่ยนแปลงพลังงานส่วนใด (พลังงานภายใน ΔU หรือเอนทาลปี้ (ΔH) ที่นักศึกษาคิดว่ามีความสำคัญที่สุดในการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของเครื่องยนต์โดยรวม? จงให้เหตุผล

.....

.....

2. หากเครื่องยนต์ไม่มีเทอร์โบชาร์จเจอร์ การวิเคราะห์เอนทาลปี้ (ΔH) ของไอเสียยังคงมีความจำเป็นอยู่หรือไม่? อธิบาย

.....

.....

ศูนย์วิทยทรัพยากร

8. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
กิจกรรม 1 การกำหนดเครื่องหมาย Q, W และการคำนวณ ΔU ถูกต้อง	15
กิจกรรม 2 การคำนวณ h1, h2, Δh และการอธิบายผลถูกต้อง	15
สรุปและอภิปราย: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และเข้าร่วมการนำเสนออย่างมีเหตุผล	10
รวมคะแนน	**40**

9. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ เรื่อง สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล และเอนทาลปี้
2. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 2)
3. แผนภาพแสดงการไหลของก๊าซในเทอร์โบชาร์จเจอร์

ศรายุทธ ทบเนตร

	ใบมอบหมายงาน	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/ สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล, เอนทาลปี้		

1. ผลงานหรือผลการปฏิบัติงาน

1. **รายงานการวิเคราะห์และคำนวณ** ปริมาณพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) ในกระบอกสูบเครื่องยนต์ (ระบบปิด)

2. **แผนภาพแสดงการไหลของพลังงาน** ในระบบที่มีการไหล (เทอร์โบชาร์จเจอร์) พร้อมทั้งคำนวณและอธิบายความหมายของการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ (ΔH)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์

2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์

3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** วิศวกร/ช่างเทคนิควิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์ (Engine Performance Analyst) ที่ต้องคำนวณ Heat Balance และ Flow Analysis

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 วิเคราะห์สถานการณ์สมมติเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนพลังงานในกระบอกสูบ (ระบบปิด) โดยใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหลอย่างถูกต้อง

3.2 แสดงวิธีคำนวณหาค่าเอนทาลปี้ ($\Delta H = U + PV$) และอธิบายการนำไปใช้ในบริบทของระบบที่มีการไหล (เช่น การไหลของไอเสีย)

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายและจำแนกความแตกต่างของการประยุกต์ใช้ ΔU และ ΔH ในส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ได้

4.2 ทักษะพิสัย (S) สามารถแก้โจทย์คำนวณเชิงปริมาณเกี่ยวกับ $\Delta U = Q - W$ และ ΔH ได้อย่างแม่นยำและเป็นระบบ

4.3 จิตพิสัย (A) แสดงความละเอียดรอบคอบในการกำหนดเครื่องหมายของความร้อนและงานในการคำนวณ

5. รายละเอียดของงาน (โจทย์สถานการณ์จำลอง)

นักศึกษาต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาต่อไปนี้ โดยแสดงวิธีทำอย่างละเอียดในแต่ละขั้นตอน:

ส่วนที่ 1: การวิเคราะห์กระบอกสูบ (ระบบที่ไม่มีการไหล)

โจทย์: ในจังหวะกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล ก๊าซในกระบอกสูบ (ระบบ) ได้รับพลังงานความร้อนจากการสันดาป Qin = 1500 J และสูญเสียความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบ Qloss = 150 J ในขณะเดียวกัน ก๊าซขยายตัวดันลูกสูบเพื่อทำงาน W = 600 J

1. **กำหนดเครื่องหมาย:** ให้ระบุเครื่องหมาย (+ หรือ -) ของ Qin, Qloss, และ W
2. **คำนวณ Qnet** คำนวณความร้อนสุทธิที่ถ่ายเทเข้า/ออกจากระบบ
3. **คำนวณ ΔU** ใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล (ΔU = Qnet - W) เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน และสรุปว่าอุณหภูมิของก๊าซเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ระบบไอเสีย (เอนทาลปี้และการไหล)

โจทย์ ไอเสียมวล 1 kg ไหลผ่านท่อไอเสียไปยังกังหันเทอร์โบ (ระบบที่มีการไหล)

สภาวะ	พลังงานภายใน (u) (kJ/kg)	งานไหล (pv) (kJ/kg)	เอนทาลปี้ (h=u+pv) (kJ/kg)
1 (ทางเข้า)	450	120	
2 (ทางออก)	380	70	

1. **คำนวณ h1 และ h2** คำนวณเอนทาลปี้จำเพาะของไอเสียที่ทางเข้าและทางออก
2. **คำนวณ Δh** คำนวณการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ (Δh = h2 - h1)
3. **วิเคราะห์:** อธิบายว่าพลังงาน (Δh) ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นลบนี้ ส่งผลต่อการทำงานของเทอร์โบชาร์จเจอร์อย่างไร

6. กำหนดเวลาส่งงาน

วันที่: ..... (สัปดาห์หน้า/ตามที่ตกลง)

7. แนวทางในการปฏิบัติงาน

1. ทบทวนเนื้อหาจากใบความรู้และเอกสารอ้างอิง
2. แยกแยะว่าสถานการณ์ใดเป็นระบบที่ไม่มีการไหล (Closed System) และสถานการณ์ใดเป็นระบบที่มีการไหล (Control Volume)
3. แสดงวิธีการกำหนดเครื่องหมายของ Q และ W อย่างชัดเจนในส่วนที่ 1
4. จัดทำรายงานในรูปแบบที่อ่านง่าย มีการแสดงวิธีทำเป็นขั้นตอน และขีดเส้นใต้คำตอบสุดท้าย

8. แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน บทที่ว่าด้วยเทอร์โมไดนามิกส์
2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** (หัวข้อ First Law of Thermodynamics and Enthalpy)
3. เว็บไซต์/วิดีโอการทำงานของเทอร์โบชาร์จเจอร์เพื่อทำความเข้าใจการไหลของไอเสีย

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	**เกณฑ์การให้คะแนน (คะแนนเต็ม)**
ส่วนที่ 1 ความถูกต้องของการกำหนดเครื่องหมายและการคำนวณ ΔU	15 คะแนน
ส่วนที่ 2 ความถูกต้องของการคำนวณ h1, h2, Δh และการวิเคราะห์ผล	15 คะแนน
การจัดทำรายงาน: ความเป็นระเบียบเรียบร้อย, การแสดงวิธีทำที่เป็นขั้นตอน, การส่งงานตรงเวลา	10 คะแนน
รวมคะแนน	**40 คะแนน**

ศรายุทธ ทบเนตร

	แผนการจัดการเรียนรู้ 5	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/สมการพลังงานของระบบเปิดที่มีการไหลสม่ำเสมอ, ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (Cv) ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (Cp) ค่าคงที่เฉพาะของก๊าซ (R) และค่าคงที่ของสารตัวกลาง (k)		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถนำความรู้และทักษะการคำนวณจาก **สมการพลังงานของการไหลสม่ำเสมอ (SFEE)** และความสัมพันธ์ของ **ค่าความร้อนจำเพาะ (Cp, Cv)** ไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของส่วนประกอบเครื่องยนต์ที่เป็น **ระบบเปิด** เช่น เทอร์โบชาร์จเจอร์ (Turbine, Compressor), การไหลในท่อร่วมไอดี/ไอเสีย หรือการระบายความร้อนหม้อน้ำ อันเป็นพื้นฐานสำคัญในการ **ปรับปรุงและแก้ไขปัญหาด้านสมรรถนะและความร้อนเกิน** ในงานอาชีพช่างเทคนิคยานยนต์

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ: ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างซ่อมเครื่องยนต์

1. **สมรรถนะย่อย** วิเคราะห์การถ่ายโอนพลังงานเชิงความร้อนและสมบัติของก๊าซในระบบเครื่องยนต์

1) **เกณฑ์การปฏิบัติงาน** สามารถใช้ SFEE และความสัมพันธ์ของ (C_v , C_p) คำนวณหาอัตราการถ่ายโอนความร้อน งาน หรือการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ของไหลได้อย่างถูกต้อง

2) **วิธีประเมิน** ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณและรายงานการวิเคราะห์ (จากใบงาน)

3) **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence)** ใบงานการคำนวณ SFEE และการวิเคราะห์การไหลของพลังงาน

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence) แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่อง SFEE, (C_v , C_p), R และอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (k)

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ วิศวกร/ช่างเทคนิคที่เชี่ยวชาญด้านเทอร์โบชาร์จเจอร์และระบบระบายความร้อน (Cooling System Specialist)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 ประยุกต์ใช้ สมการพลังงานของการไหลสม่ำเสมอ (SFEE) เพื่อหาอัตราการถ่ายโอนพลังงานในส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่เป็นระบบเปิด เช่น คอมเพรสเซอร์ของเทอร์โบชาร์จเจอร์

3.2 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (C_p) ค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (C_v)และค่าคงที่เฉพาะของก๊าซ (R) ในการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. **พุทธิพิสัย (K)** อธิบายความหมายและเขียนสมการ SFEE ได้อย่างสมบูรณ์ รวมถึงนิยาม cp, cv, R และอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (k)

2. **ทักษะพิสัย (S)** สามารถใช้สมการ SFEE และความสัมพันธ์ cp - cv = R ในการแก้โจทย์ปัญหาการคำนวณการไหลของก๊าซได้อย่างเป็นขั้นตอน

3. **จิตพิสัย (A)** ให้ความสนใจและเห็นความสำคัญของการใช้หน่วยวัดที่ถูกต้องในการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์

4. **ประยุกต์ใช้ (P)** จำแนกและเชื่อมโยงสมการ SFEE กับส่วนประกอบเครื่องยนต์ที่เป็นระบบเปิดได้อย่างเหมาะสม

5. สาระการเรียนรู้

2.9 สมการพลังงานของระบบเปิดที่มีการไหลสม่ำเสมอ (Steady-Flow Energy Equation: SFEE)

1. **ระบบเปิด (Open System/Control Volume):** ระบบที่มีมวลไหลเข้าและออก (เช่น ท่อ, คอมเพรสเซอร์, เทอร์ไบน์)

2. สมการ SFEE: เป็นการประยุกต์กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบเปิดที่มีสภาวะคงที่

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}\left[(h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right]$$

เมื่อ

Q, W อัตราการถ่ายเทความร้อนและงาน

m อัตราการไหลเชิงมวล

h เอนทาลปี้จำเพาะ ($h = u + pv$)

$V^2/2$ พลังงานจลน์จำเพาะ, g, z พลังงานศักย์จำเพาะ

3. **การประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์** การวิเคราะห์เทอร์โบชาร์จเจอร์ (โดยละเลย ΔKE และ ΔPE)

2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะ

1. **ค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (cv)** อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ($\Delta u = C_v \Delta T$)

2. **ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (C_p)** อัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ($\Delta h = C_p \Delta T$)

3. **ความสัมพันธ์ของ Meyer:** $C_p - C_v = R$ (ค่าคงที่เฉพาะของก๊าซ)

4. **อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Ratio)** $k = C_p/C_v$ (สำคัญในการวิเคราะห์จังหวะอัด/ขยายตัวแบบ Adiabatic ในเครื่องยนต์)

6. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นตอน	กิจกรรมครู	กิจกรรมผู้เรียน	เวลา (นาที)
ขั้นนำ	ทบทวนระบบปิด ($\Delta U = Q - W$) และนำเข้าสู่ระบบเปิด (การไหล)	ทบทวนความรู้เดิมและตั้งคำถาม	10
ขั้นสอน	**2.9 SFEE** นำเสนอสมการ SFEE และอธิบายความหมายของแต่ละเทอม (h, V, z, Q, W) พร้อมยกตัวอย่างการละเลยเทอม KE, PE ในเทอร์โบชาร์จเจอร์	ตั้งใจฟัง, บันทึกสาระ, ถามข้อสงสัย	30
	2.10 ความสัมพันธ์ C_p, C_v อธิบายความสัมพันธ์ $C_p - C_v = R$ และความสำคัญของ $k = C_p/C_v$ ต่อการวิเคราะห์วัฏจักรเครื่องยนต์	ทำความเข้าใจความแตกต่างของ C_p และ C_v และสูตรความสัมพันธ์	20
ขั้นปฏิบัติ	**ใบงานกลุ่ม:** มอบหมายโจทย์การคำนวณ SFEE (เช่น หา W ของ Compressor) โดยให้ใช้ความสัมพันธ์ $h = C_pT$ และโจทย์การหา C_p เมื่อทราบ C_v และ R	ทำงานกลุ่ม/เดี่ยว, แสดงวิธีทำอย่างละเอียดในใบงาน	30
ขั้นสรุป	สรุปประเด็นหลักของ SFEE และความสำคัญของ k ในการออกแบบเครื่องยนต์และให้การบ้าน	นำเสนอคำตอบกลุ่ม, ร่วมสรุป, ซักถามประเด็นสุดท้าย	10

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

1. ใบความรู้และเอกสารประกอบการสอน (เรื่อง SFEE และความสัมพันธ์ c_p, c_v)
2. โปรเจกเตอร์/กระดานดำ/ไวท์บอร์ด สำหรับการนำเสนอสมการและตัวอย่าง
3. เครื่องคิดเลข
4. รูปภาพ/วิดีโอแสดงการทำงานของเทอร์โบชาร์จเจอร์

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1 หลักฐานความรู้:

1. แบบทดสอบย่อย (Quiz) เรื่อง SFEE, c_p, c_v, R และ k
2. การตอบคำถามในชั้นเรียนและการนำเสนอผลงานกลุ่ม

8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน:

1. ใบงานการคำนวณ SFEE และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนจำเพาะ (พร้อมแสดงวิธีทำ)

9. การวัดและประเมินผล

9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน:

1. การคำนวณ SFEE เพื่อหาตัวแปรที่ต้องการ (เช่น งานหรือความร้อน) ถูกต้องไม่น้อยกว่า 70%
2. การใช้ความสัมพันธ์ $c_p - c_v = R$ และ $k = c_p/c_v$ ในการแก้โจทย์ถูกต้อง

ตัวอย่าง ไม่มีขาย

9.2 วิธีการประเมิน:

1. การตรวจใบงาน (ปฏิบัติงาน)
2. การตรวจแบบทดสอบย่อย (ความรู้)
3. การสังเกตพฤติกรรมการมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมกลุ่ม

9.3 เครื่องมือประเมิน:

1. แบบประเมินใบงานการคำนวณ (Rubric)
2. แบบทดสอบ (ข้อกา/เติมคำ/แสดงวิธีทำ)

ศรายุทธ ทบเมือง

	ใบความรู้ที่ 5	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 1 ชม.
ชื่อเรื่อง/สมการพลังงานของระบบเปิดที่มีการไหลสม่ำเสมอ, ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะ		ปฏิบัติ 2 ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถ**ใช้สมการพลังงานของการไหลสม่ำเสมอ (SFEE)** เพื่อ**คำนวณและวิเคราะห์**การแลกเปลี่ยนพลังงาน (ความร้อนและงาน) ในระบบเครื่องยนต์ที่เป็นระบบเปิด เช่น **คอมเพรสเซอร์** และ **เทอร์ไบน์** ของเทอร์โบชาร์จเจอร์ รวมถึงสามารถ**ใช้ความสัมพันธ์ของค่าความร้อนจำเพาะ (cp, cv, k)** ในการประมาณค่าคุณสมบัติก๊าซที่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะต่าง ๆ อย่างถูกต้อง เพื่อเป็นพื้นฐานในการประเมินสมรรถนะของเครื่องยนต์ในงานอาชีพ

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์การถ่ายโอนพลังงานเชิงความร้อนและสมบัติของก๊าซในระบบเครื่องยนต์
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคซ่อมบำรุงระบบอัดอากาศ (Turbocharger/Supercharger Technician) และวิศวกรวิเคราะห์สมรรถนะความร้อน

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 ประยุกต์ใช้ สมการพลังงานของการไหลสม่ำเสมอ (SFEE) เพื่อหาอัตราการทำงานที่ใช้หรือผลิตได้ในส่วนประกอบที่มวลมีการไหลเข้าออก

3.2 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (cp) ค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (cv) และค่าคงที่เฉพาะของก๊าซ (R) ในการคำนวณ

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายความหมายของ SFEE และสามารถเขียนความสัมพันธ์ของค่าความร้อนจำเพาะ ($c_p - c_v = R$) ได้อย่างถูกต้อง

4.2 ทักษะพิสัย (S) สามารถใช้สมการ SFEE ในรูปแบบที่ลดรูปแล้ว (เช่น การละเลย ΔKE และ ΔPE) เพื่อคำนวณอัตราการทำงาน (W) หรืออัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) ของอุปกรณ์ได้

4.3 จิตพิสัย (A) ให้ความสำคัญกับการใช้ค่าคงที่ของก๊าซและอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (k) ที่เหมาะสมกับชนิดของก๊าซ (อากาศ, ไอเสีย) ในการวิเคราะห์

5. เนื้อหาสาระ (Learning Contents)

2.9 สมการพลังงานของระบบเปิดที่มีการไหลสม่ำเสมอ (Steady-Flow Energy Equation: SFEE)

1. **ระบบเปิด (Control Volume):** คือระบบที่มีมวลไหลเข้าและออกจากขอบเขตควบคุมอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างในเครื่องยนต์ ได้แก่ **คอมเพรสเซอร์/เทอร์ไบน์ของเทอร์โบชาร์จเจอร์, ท่อร่วมไอดี/ไอเสีย, หม้อน้ำ**

2. สมการ SFEE (ในรูปอัตรา) เป็นกฎการอนุรักษ์พลังงานที่ใช้กับระบบเปิดภายใต้สภาวะการไหลที่สม่ำเสมอ (ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}\left[(h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right]$$

เมื่อ

- $\dot{Q}$: อัตราการถ่ายเทความร้อน
- $\dot{W}$: อัตราการทำงาน (กำลัง)
- $\dot{m}$: อัตราการไหลเชิงมวล
- h: เอนทาลปี้จำเพาะ (Specific Enthalpy)
- V: ความเร็วของไหล (พลังงานจลน์จำเพาะ)
- z: ความสูง (พลังงานศักย์จำเพาะ)

3. การประยุกต์ใช้ในเทอร์โบชาร์จเจอร์: โดยทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์กังหัน (Turbine) หรือเครื่องอัด (Compressor) จะสามารถละเลยการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ (ΔKE) และพลังงานศักย์ (ΔPE) ได้ ทำให้สมการลดรูปเหลือเพียง

$$\dot{Q} - \dot{W} \approx \dot{m}(h_2 - h_1) = \dot{m}c_p(T_2 - T_1)$$

(หากถือว่าเป็นการไหลแบบอะเดียแบติก Q=0 จะทำให้คำนวณงาน W ได้ง่ายขึ้น)

2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Relations)

- **ค่าความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (c_v):** ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของสาร $1\ \text{kg}$ ไป $1\ \text{K}$ โดยที่ปริมาตรคงที่ (เกี่ยวข้องโดยตรงกับ ΔU)

$$\Delta u = c_v \Delta T$$

- **ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (c_p):** ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของสาร $1\ \text{kg}$ ไป $1\ \text{K}$ โดยที่ความดันคงที่ (เกี่ยวข้องโดยตรงกับ ΔH)

$$\Delta h = c_p \Delta T$$

- **ความสัมพันธ์ของ Meyer (Meyer's Relation):** แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง c_p, c_v และค่าคงที่เฉพาะของก๊าซ $(\boldsymbol{R})$

$$c_p - c_v = R$$

- **อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ $(\boldsymbol{k})$:** หรือเรียกว่า **ดัชนีอะเดียแบติก** (Adiabatic Index) เป็นค่าที่สำคัญมากในการวิเคราะห์กระบวนการอัดและขยายตัวของก๊าซในเครื่องยนต์

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

- สำหรับอากาศ (และก๊าซไอดี) ค่า k มักประมาณเป็น $\mathbf{1.4}$

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

คำสั่ง: จงตอบคำถามและแสดงวิธีทำ

คำสั่ง: จงตอบคำถามและแสดงวิธีทำ

1. จงเขียนสมการพลังงานของการไหลสม่ำเสมอ (SFEE) ในรูปอัตรา พร้อมระบุตัวแปรหลัก 3 ตัวที่รวมอยู่ในวงเล็บ (นอกจาก h)
2. จงเขียนความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงระหว่าง c_p, c_v และ R
3. ไอเสียไหลผ่านกังหันเทอร์โบด้วยอัตราการไหลเชิงมวล $\dot{m} = 0.5\ \mathrm{kg/s}$ หากอุณหภูมิลดลงจาก $T_1 = 800\ \mathrm{K}$ เป็น $T_2 = 700\ \mathrm{K}$ สมมติให้ c_p ของไอเสียคือ $1.15\ \mathrm{kJ/kg \cdot K}$ และละเลย Q, KE, PE จงคำนวณ **กำลัง** $(\dot{W})$ ที่ผลิตได้โดยกังหัน (แสดงวิธีทำโดยใช้ SFEE ที่ลดรูปแล้ว) (Hint: $\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}c_p(T_2 - T_1)$ และ $\dot{Q} \approx 0$)
4. ถ้าค่าคงที่เฉพาะของก๊าซ $(\boldsymbol{R})$ คือ $0.287\ \mathrm{kJ/kg \cdot K}$ และอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ $(\boldsymbol{k})$ คือ 1.4 จงคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ $(\boldsymbol{c_p})$ ของก๊าซนี้ (แสดงวิธีทำ) (Hint: $c_p - c_v = R$ และ $c_p = kc_v$)

7. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตร ปวช./ปวส.)
2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill Education.
3. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด)

เฉลยแบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

1. $\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}\left[(h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right]$ ตัวแปรหลัก 3 ตัว: เอนทาลปี้จำเพาะ $(\boldsymbol{h})$, พลังงานจลน์จำเพาะ $\left(\frac{\boldsymbol{V^2}}{\boldsymbol{2}}\right)$, พลังงานศักย์จำเพาะ $(\boldsymbol{gz})$
2. $c_p - c_v = R$
3. **คำนวณ $\dot{W}$:**
   - $\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} c_p (T_2 - T_1)$
   - $0 - \dot{W} = (0.5\ \text{kg/s}) \times (1.15\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}) \times (700\ \text{K} - 800\ \text{K})$
   - $-\dot{W} = 0.5 \times 1.15 \times (-100) = -57.5\ \text{kJ/s}$
   - $\dot{W} = **57.5\ \text{kW}**$
4. **คำนวณ c_p:**
   - จาก $c_p - c_v = R$ และ $c_p = k c_v$ จะได้ $c_p = k(c_p - R)$
   - $c_p = k c_p - kR$
   - $kR = c_p(k - 1)$
   - $c_p = \frac{kR}{k-1} = \frac{(1.4)\times(0.287\ \text{kJ/kg·K})}{1.4-1} = \frac{0.4018}{0.4}$
   - $c_p = **1.0045\ \text{kJ/kg}\cdot\text{K}**$ (ใกล้เคียงค่า c_p ของอากาศ)

	ใบงานที่ 5	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 1 ชม.
ชื่อเรื่อง/สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล, เอนทาลปี้		ปฏิบัติ 2 ชม.

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้จากการปฏิบัติงาน

ผู้เรียนสามารถ**ใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล** ($\Delta U = Q - W$) ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในในกระบอกสูบ และ**สามารถคำนวณและอธิบายความหมายของเอนทาลปี้** ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของก๊าซในระบบไอดีและไอเสียของเครื่องยนต์

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของก๊าซในวัฏจักรเครื่องยนต์
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคที่ทำการวิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ (Thermal Efficiency Analysis)

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 ประยุกต์ใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานภายใน งาน และความร้อน ในจังหวะทำงานของเครื่องยนต์ได้อย่างถูกต้อง

3.2 นิยามและคำนวณหาค่าเอนทาลปี้ เพื่อใช้ในการอธิบายการถ่ายเทพลังงานในการไหลของก๊าซผ่านส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายความแตกต่างของระบบที่ไม่มีการไหล (กระบอกสูบ) กับระบบที่มีการไหล (ท่อไอเสีย) พร้อมนิยามเอนทาลปี้ได้อย่างชัดเจน

4.2 ทักษะพิสัย (S) สามารถแก้โจทย์คำนวณหาค่า ΔU และ ΔH จากสมการที่เกี่ยวข้องได้อย่างเป็นขั้นตอน

4.3 จิตพิสัย (A) แสดงความละเอียดรอบคอบในการวิเคราะห์ชนิดของระบบ (ปิด/เปิด) ก่อนเลือกใช้สมการพลังงาน

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์ (ตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 ใบความรู้ เรื่อง กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์และเอนทาลปี้

5.4 แผนภาพกระบอกสูบและเทอร์โบชาร์จเจอร์ (สำหรับอ้างอิง)

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. **ระบบที่ไม่มีการไหล (Closed System):** ใช้สมการ $\Delta U = Q - W$ (เน้นที่กระบอกสูบขณะวาล์วปิด)

2. **เอนทาลปี้ (H):** ใช้สมการ H = U + PV (เน้นที่ระบบที่มีการไหล เช่น ท่อไอเสีย เทอร์โบ)

3. ตรวจสอบการกำหนดเครื่องหมายของ Q และ W อย่างเคร่งครัด **Q เข้าเป็นบวก, Q ออกเป็นลบ; W ระบบทำเป็นบวก, W ถูกทำบนระบบเป็นลบ**

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (โจทย์ปัญหาและการวิเคราะห์)

ภารกิจที่ 1 การวิเคราะห์พลังงานในจังหวะกำลัง (ระบบที่ไม่มีการไหล)

พิจารณาก๊าซในกระบอกสูบ (ระบบ) ระหว่างจังหวะกำลัง:

1. ก๊าซได้รับความร้อนจากการสันดาปสูงมาก Q_{add} = 500 kJ
2. ก๊าซขยายตัวดันลูกสูบ (ระบบทำงาน) W_{output} = 300 kJ
3. ก๊าซสูญเสียความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบ Q_{loss} = 50 kJ

คำถาม 1.1 จงคำนวณ ความร้อนสุทธิ (Q_{net}) ที่เข้าสู่ระบบ

คำถาม 1.2 จงกำหนดเครื่องหมายที่ถูกต้องของ Q_{net} และ W_{output}

1. Q_{net} (เครื่องหมาย) และ (ค่า)
2. W_{output} (เครื่องหมาย) และ (ค่า)

คำถาม 1.3 จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงของ พลังงานภายใน (ΔU) ของก๊าซในจังหวะกำลังนี้ โดยใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล

ภารกิจที่ 2 การวิเคราะห์เอนทาลปี้ (ระบบที่มีการไหล)

พิจารณาไอเสียที่ไหลผ่านกังหัน (Turbine) ของเทอร์โบชาร์จเจอร์ (ระบบที่มีการไหล)

1. **สถานะเริ่มต้น (ก่อนเข้า Turbine)** พลังงานภายใน U1 = 300 kJ/kg งานไหล P1 V1 = 150 kJ/kg

2. **สถานะสุดท้าย (หลังออกจาก Turbine):** พลังงานภายใน U2 = 250 kJ/kg งานไหล P2 V2 = 100 kJ/kg

คำถาม 2.1 จงคำนวณ เอนทาลปี้เริ่มต้น (H1) และ เอนทาลปี้สุดท้าย (H2) (หน่วย kJ/kg)

คำถาม 2.2 จงคำนวณการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ (ΔH = H2 - H1)

คำถาม 2.3 การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ (ΔH) ที่เป็น ลบ แสดงถึงอะไรในแง่ของพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนกังหัน?

ศูนย์วิทยทรัพยากร

8. สรุปและวิจารณ์ผล

1. ในระบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน เหตุใดการวิเคราะห์จังหวะอัดและกำลังจึงใช้ ΔU เป็นหลัก ในขณะที่การวิเคราะห์การไหลของไอเสียมักใช้ ΔH เป็นหลัก?

.....

.....

2. จากการคำนวณในภารกิจที่ 1 ค่า ΔU ที่ได้มีความสอดคล้องกับความเป็นจริงที่อุณหภูมิของก๊าซในกระบอกสูบต้องเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังการสันดาปหรือไม่? จงให้เหตุผล

.....

.....

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
ภารกิจ 1: การคำนวณ Qnet, การกำหนดเครื่องหมาย Q และ W, และการหา ΔU ถูกต้อง	15
ภารกิจ 2: การคำนวณ H1, H2, ΔH และการอธิบายผลถูกต้อง	15
สรุปและวิจารณ์ผล: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์อย่างมีเหตุผลและชัดเจน	10
รวมคะแนน	**40**

10. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ประกอบการสอน เรื่อง สมการพลังงานและเอนทาลปี้
2. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน และวิชาเทอร์โมไดนามิกส์
3. เว็บไซต์ค้นคว้าเกี่ยวกับ First Law of Thermodynamics for Closed/Open Systems

ตัวอย่าง ไม่ใช่ของจริง

	ใบกิจกรรมที่ 5	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ.....ชม.
ชื่อเรื่อง/สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล, เอนทาลปี้		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้การปฏิบัติกิจกรรม

ผู้เรียนสามารถ**จำแนก**ระบบที่ไม่มีการไหล (กระบอกสูบ) และระบบที่มีการไหล (ท่อไอเสีย) และสามารถ**วิเคราะห์**การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) และเอนทาลปี้ (ΔH) ในแต่ละระบบ โดยใช้สมการกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์อย่างถูกต้อง

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ** ช่างซ่อมเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้าเครื่องยนต์
2. **สมรรถนะย่อย** คำนวณและวิเคราะห์การถ่ายโอนพลังงานในส่วนประกอบของเครื่องยนต์
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ** ช่างเทคนิคที่ทำการตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงของยานยนต์

3. สมรรถนะประจำกิจกรรม

3.1 วิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนด และเลือกใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล ($\Delta U = Q - W$) เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในในกระบอกสูบ

3.2 นิยามและคำนวณเอนทาลปี้ ($\Delta H = U + PV$) และนำไปใช้อธิบายการถ่ายโอนพลังงานในระบบที่มีการไหล (เช่น ไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์)

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายความสัมพันธ์และหน้าที่ทางคณิตศาสตร์ของ U, P, V ในการเกิดเอนทาลปี้ (H) ได้

4.2 ทักษะพิสัย (S) กำหนดเครื่องหมายของ Q และ W ได้อย่างถูกต้องเพื่อใช้ในสมการ $\Delta U = Q - W$ และสามารถคำนวณ ΔH จากค่าที่เกี่ยวข้องได้

4.3 จิตพิสัย (A) และ ประยุกต์ใช้ (P) แสดงความละเอียดรอบคอบในการคำนวณ (A) และสามารถสรุปการประยุกต์ใช้ ΔU และ ΔH ในการวิเคราะห์ระบบเครื่องยนต์ (P)

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์สมมติ (ตามตารางและโจทย์)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 กระดาษและปากกาสำหรับแสดงวิธีทำ

5.4 แผนภาพเปรียบเทียบระบบปิด (กระบอกสูบ) และระบบเปิด (เทอร์โบ)

ตัวอย่าง ไม่ใช่ตัวจริง

6. ขั้นตอนการทำกิจกรรม (เวลาปฏิบัติ: 90 นาที)

กิจกรรม 1: "Non-Flow Analysis" (วิเคราะห์ระบบที่ไม่มีการไหล) (40 นาที)

1. นักเรียนในกลุ่มทบทวนหลักการของ **ระบบที่ไม่มีการไหล** (ระบบปิด) และสมการ $\Delta U = Q - W$

2. กลุ่มร่วมกันวิเคราะห์สถานการณ์ต่อไปนี้ (จังหวะกำลัง)

สถานการณ์ ก๊าซในกระบอกสูบ (ระบบ) ถูกเผาไหม้ทำให้ได้รับความร้อน Q = 80 kJ ในขณะเดียวกันก๊าซขยายตัวดันลูกสูบทำให้ระบบทำงาน W = 60 kJ และมีการสูญเสียความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบ Q_{loss} = 5 kJ

3. **คำถาม 1.1** กำหนดเครื่องหมายของ Qin (ความร้อนจากการเผาไหม้), Qloss (ความร้อนที่สูญเสีย), และ W (งานที่ทำโดยระบบ)

1. Q_{in} = kJ
2. Q_{loss} = kJ
3. W = kJ

4. **คำถาม 1.2** คำนวณ ΔU โดยใช้สมการ $\Delta U = Qnet - W$ และสรุปว่าพลังงานภายในเพิ่มขึ้นหรือลดลง

กิจกรรม 2: "Enthalpy Application" (การประยุกต์ใช้เอนทาลปี้) (40 นาที)

1. กลุ่มทบทวนนิยามเอนทาลปี้ $\Delta H = U + PV$ และการใช้เอนทาลปี้ในการวิเคราะห์ระบบที่มีการไหล (เช่น ไอเสียผ่านเทอร์โบ)

2. **สถานการณ์:** ไอเสียมวล 1 kg กำลังจะเข้าสู่กังหันเทอร์โบ (ระบบที่มีการไหล)

สถานะ 1 (ทางเข้า): พลังงานภายใน u1 = 400 kJ/kg งานไหล P1 v1 = 120 kJ/kg

สถานะ 2 (ทางออก): พลังงานภายใน u2 = 300 kJ/kg งานไหล P2 v2 = 60 kJ/kg

3. **คำถาม 2.1** คำนวณเอนทาลปี้จำเพาะที่ทางเข้า h1 และทางออก h2

4. **คำถาม 2.2** คำนวณการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ $\Delta h = h2 - h1$ และอธิบายว่าพลังงานส่วนนี้เปลี่ยนเป็นอะไรในเทอร์โบชาร์จเจอร์

7. สรุปและอภิปราย

1. จากกิจกรรมที่ 1 และ 2 การเปลี่ยนแปลงพลังงานส่วนใด (พลังงานภายใน ΔU หรือเอนทาลปี้ (ΔH) ที่นักศึกษาคิดว่ามีความสำคัญที่สุดในการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ของเครื่องยนต์โดยรวม? จงให้เหตุผล

.....

.....

2. หากเครื่องยนต์ไม่มีเทอร์โบชาร์จเจอร์ การวิเคราะห์เอนทาลปี้ (ΔH) ของไอเสียยังคงมีความจำเป็นอยู่หรือไม่? อธิบาย

.....

.....

ศูนย์วิทยทรัพยากร

8. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
กิจกรรม 1 การกำหนดเครื่องหมาย Q, W และการคำนวณ ΔU ถูกต้อง	15
กิจกรรม 2 การคำนวณ h1, h2, Δh และการอธิบายผลถูกต้อง	15
สรุปและอภิปราย: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และเข้าร่วมการนำเสนออย่างมีเหตุผล	10
รวมคะแนน	**40**

9. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ เรื่อง สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล และเอนทาลปี้
2. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 2)
3. แผนภาพแสดงการไหลของก๊าซในเทอร์โบชาร์จเจอร์

ศรายุทธ ทบเนตร

	ใบมอบหมายงานที่ 5	หน่วยที่ 2
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 1 ชม.
ชื่อเรื่อง/ สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล, เอนทาลปี้		ปฏิบัติ 2 ชม.

1. ผลงานหรือผลการปฏิบัติงาน

1. **รายงานการวิเคราะห์และคำนวณ** ปริมาณพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) ในกระบอกสูบเครื่องยนต์ (ระบบปิด)

2. **แผนภาพแสดงการไหลของพลังงาน** ในระบบที่มีการไหล (เทอร์โบชาร์จเจอร์) พร้อมทั้งคำนวณและอธิบายความหมายของการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ (ΔH)

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์

2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์

3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** วิศวกร/ช่างเทคนิควิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์ (Engine Performance Analyst) ที่ต้องคำนวณ Heat Balance และ Flow Analysis

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 วิเคราะห์สถานการณ์สมมติเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนพลังงานในกระบอกสูบ (ระบบปิด) โดยใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหลอย่างถูกต้อง

3.2 แสดงวิธีคำนวณหาค่าเอนทาลปี้ ($\Delta H = U + PV$) และอธิบายการนำไปใช้ในบริบทของระบบที่มีการไหล (เช่น การไหลของไอเสีย)

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 พุทธิพิสัย (K) อธิบายและจำแนกความแตกต่างของการประยุกต์ใช้ ΔU และ ΔH ในส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ได้

4.2 ทักษะพิสัย (S) สามารถแก้โจทย์คำนวณเชิงปริมาณเกี่ยวกับ $\Delta U = Q - W$ และ ΔH ได้อย่างแม่นยำและเป็นระบบ

4.3 จิตพิสัย (A) แสดงความละเอียดรอบคอบในการกำหนดเครื่องหมายของความร้อนและงานในการคำนวณ

5. รายละเอียดของงาน (โจทย์สถานการณ์จำลอง)

นักศึกษาต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาต่อไปนี้ โดยแสดงวิธีทำอย่างละเอียดในแต่ละขั้นตอน:

ส่วนที่ 1: การวิเคราะห์กระบอกสูบ (ระบบที่ไม่มีการไหล)

โจทย์: ในจังหวะกำลังของเครื่องยนต์ดีเซล ก๊าซในกระบอกสูบ (ระบบ) ได้รับพลังงานความร้อนจากการสันดาป Qin = 1500 J และสูญเสียความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบ Qloss = 150 J ในขณะเดียวกัน ก๊าซขยายตัวดันลูกสูบเพื่อทำงาน W = 600 J

1. **กำหนดเครื่องหมาย:** ให้ระบุเครื่องหมาย (+ หรือ -) ของ Qin, Qloss, และ W
2. **คำนวณ Qnet** คำนวณความร้อนสุทธิที่ถ่ายเทเข้า/ออกจากระบบ
3. **คำนวณ ΔU** ใช้สมการพลังงานของระบบที่ไม่มีการไหล (ΔU = Qnet - W) เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน และสรุปว่าอุณหภูมิของก๊าซเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ระบบไอเสีย (เอนทาลปี้และการไหล)

โจทย์ ไอเสียมวล 1 kg ไหลผ่านท่อไอเสียไปยังกังหันเทอร์โบ (ระบบที่มีการไหล)

สภาวะ	พลังงานภายใน (u) (kJ/kg)	งานไหล (pv) (kJ/kg)	เอนทาลปี้ (h=u+pv) (kJ/kg)
1 (ทางเข้า)	450	120	
2 (ทางออก)	380	70	

1. **คำนวณ h1 และ h2** คำนวณเอนทาลปี้จำเพาะของไอเสียที่ทางเข้าและทางออก
2. **คำนวณ Δh** คำนวณการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี้ (Δh = h2 - h1)
3. **วิเคราะห์:** อธิบายว่าพลังงาน (Δh) ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นลบนี้ ส่งผลต่อการทำงานของเทอร์โบชาร์จเจอร์อย่างไร

6. กำหนดเวลาส่งงาน

วันที่: ..... (สัปดาห์หน้า/ตามที่ตกลง)

7. แนวทางในการปฏิบัติงาน

1. ทบทวนเนื้อหาจากใบความรู้และเอกสารอ้างอิง
2. แยกแยะว่าสถานการณ์ใดเป็นระบบที่ไม่มีการไหล (Closed System) และสถานการณ์ใดเป็นระบบที่มีการไหล (Control Volume)
3. แสดงวิธีการกำหนดเครื่องหมายของ Q และ W อย่างชัดเจนในส่วนที่ 1
4. จัดทำรายงานในรูปแบบที่อ่านง่าย มีการแสดงวิธีทำเป็นขั้นตอน และขีดเส้นใต้คำตอบสุดท้าย

8. แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน บทที่ว่าด้วยเทอร์โมไดนามิกส์
2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** (หัวข้อ First Law of Thermodynamics and Enthalpy)
3. เว็บไซต์/วิดีโอการทำงานของเทอร์โบชาร์จเจอร์เพื่อทำความเข้าใจการไหลของไอเสีย

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	**เกณฑ์การให้คะแนน (คะแนนเต็ม)**
ส่วนที่ 1 ความถูกต้องของการกำหนดเครื่องหมายและการคำนวณ ΔU	15 คะแนน
ส่วนที่ 2 ความถูกต้องของการคำนวณ h1, h2, Δh และการวิเคราะห์ผล	15 คะแนน
การจัดทำรายงาน: ความเป็นระเบียบเรียบร้อย, การแสดงวิธีทำที่เป็นขั้นตอน, การส่งงานตรงเวลา	10 คะแนน
รวมคะแนน	**40 คะแนน**

ศรายุทธ ทบเมตร

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 7
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/วัฏจักรคาร์โนต์ อัตราส่วนของงาน, วัฏจักรออตโต		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน (Learning Outcome)

ผู้เรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการเทอร์โมไดนามิกส์ของวัฏจักรมาตรฐานอากาศ (คาร์โนต์, ออตโต, ดีเซล) และการคำนวณอัตราส่วนของงาน เพื่อ **วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องยนต์** ในสถานการณ์จริง การประยุกต์ใช้ในงานอาชีพ

ผู้เรียนสามารถอธิบายความแตกต่างพื้นฐานระหว่างเครื่องยนต์เบนซิน (ที่ทำงานใกล้วัฏจักรออตโต) และเครื่องยนต์ดีเซล (ที่ทำงานใกล้วัฏจักรดีเซล) ได้อย่างมีหลักการ สามารถระบุได้ว่าเหตุใดเครื่องยนต์ดีเซลจึงมักมีประสิทธิภาพสูงกว่าและใช้ในงานที่ต้องการแรงบิดสูง (เช่น รถบรรทุก) ในขณะที่เครื่องยนต์เบนซินมักใช้ในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ทักษะนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการ วินิจฉัยปัญหาเครื่องยนต์ และ การเลือกใช้เครื่องยนต์ ให้เหมาะสมกับประเภทของงาน

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ (อ้างอิงแนวทางสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน) - TPQI)

มาตรฐานอาชีพ สาขาวิชาชีพบริการยานยนต์ (Automotive Service)

สมรรถนะย่อย มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานและโครงสร้างของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: สามารถอธิบายหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ (คาร์โนต์, ออตโต, ดีเซล) ได้

2) วิธีประเมิน: การทดสอบข้อเขียน, การสัมภาษณ์เชิงเทคนิค, การนำเสนอผลการวิเคราะห์

3) หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence): ใบงานการคำนวณประสิทธิภาพ หรือ รายงานการวิเคราะห์เปรียบเทียบวัฏจักร

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการในแต่ละวัฏจักร, กราฟ P-V และ T-S, สูตรการคำนวณประสิทธิภาพและอัตราส่วนของงาน

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ:

1. ช่างเทคนิคยานยนต์ (Automotive Technician)
2. วิศวกรเครื่องกล (Mechanical Engineer)
3. ผู้ประกอบการอู่ซ่อมบำรุง (Garage Owner/Manager)
4. พนักงานขายและบริการด้านเทคนิคยานยนต์ (Technical Sales and Service)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 **วิเคราะห์** กราฟ P-V และ T-S **ของวัฏจักรคาร์โนต์, ออตโต และดีเซล**

3.2 **คำนวณ** ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราส่วนของงาน **จากข้อมูลและเงื่อนไขของวัฏจักรที่กำหนดให้**

3.3 **เปรียบเทียบ** ข้อดี, ข้อเสีย, และการประยุกต์ใช้งาน **ระหว่างวัฏจักรออตโตและวัฏจักรดีเซล**

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายกระบวนการทำงาน (4 กระบวนการ) ของวัฏจักรคาร์โนต์ (3.1), วัฏจักรออตโต (3.3) และวัฏจักรดีเซล ได้ถูกต้อง

4.2 จำแนกความแตกต่างของกราฟ P-V และ T-S ระหว่างวัฏจักรทั้งสามได้

4.3 อธิบายความหมายและความสำคัญของอัตราส่วนของงาน (3.2) ได้

4.4 เขียนกราฟ P-V และ T-S ของวัฏจักรคาร์โนต์, ออตโต และดีเซล ได้อย่างถูกต้อง

4.5 คำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราส่วนของงาน (3.2) จากโจทย์ที่กำหนดให้ได้

4.6 ตระหนักถึงความสำคัญของประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน โดยการมีส่วนร่วมในการอภิปรายและตอบคำถาม

4.7 ประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องวัฏจักร เพื่ออธิบายหลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องยนต์เบนซิน (ออตโต) และเครื่องยนต์ดีเซลในชีวิตจริงได้

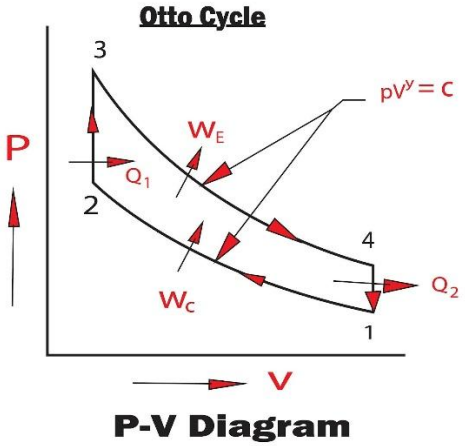
5. สาระการเรียนรู้ (Learning Content)

5.1 วัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot Cycle) (3.1)

1. กระบวนการ 4 อย่าง (Isothermal 2, Adiabatic 2)
2. ประสิทธิภาพของวัฏจักรคาร์โนต์ (ประสิทธิภาพสูงสุดที่เป็นไปได้)
3. การเป็นวัฏจักรมาตรฐานเพื่อการเปรียบเทียบ

5.2 วัฏจักรออตโต (Otto Cycle or constant volume cycle) (3.3)

1. กระบวนการ 4 อย่าง (Adiabatic 2, Constant Volume 2)
2. กราฟ P-V และ T-S

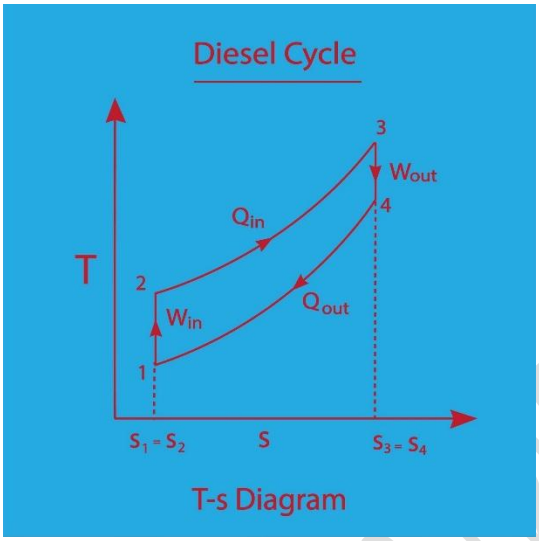


P-V Diagram

3. การวิเคราะห์ (อัตราส่วนการอัด, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน)
4. การประยุกต์ใช้ (เครื่องยนต์เบนซิน)

5.3 วัฏจักรดีเซล (Air standard diesel cycle) (หัวข้อหลัก)

1. กระบวนการ 4 อย่าง (Adiabatic 2, Constant Pressure 1, Constant Volume 1)
2. กราฟ P-V และ T-S



3. การวิเคราะห์ (อัตราส่วนการอัด, อัตราส่วนการตัดน้ำมัน, ประสิทธิภาพ)
4. การประยุกต์ใช้ (เครื่องยนต์ดีเซล)
5. การเปรียบเทียบวัฏจักรออตโตและดีเซล

5.4 อัตราส่วนของงาน (Work Ratio) (3.2)

1. ความหมาย (อัตราส่วนระหว่าง งานสุทธิ ต่องานที่ได้จากกังหัน/ลูกสูบ)
2. ความสำคัญต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์
3. การคำนวณอัตราส่วนของงาน

6. กิจกรรมการเรียนรู้ (Learning Activities)

ขั้นที่ 1: ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (Warm-up) (20 นาที)

1. ผู้สอนทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับกฎของเทอร์โมไดนามิกส์และกระบวนการต่าง ๆ (Isothermal, Adiabatic, Isobaric, Isochoric)
2. ผู้สอนใช้คำถามกระตุ้นความคิด: "ทำไมเครื่องยนต์รถกระบะถึงเสียงดังและสั่นกว่าเครื่องยนต์รถเก๋ง? ทำไมรถบรรทุกถึงต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซล?"
3. ผู้สอนแจ้งวัตถุประสงค์การเรียนรู้ของหน่วยนี้ ว่าจะได้เรียนรู้ "หัวใจ" ของการทำงานของเครื่องยนต์เหล่านี้ผ่านวัฏจักรทางอุดมคติ

ขั้นที่ 2 ขั้นให้ความรู้ (Presentation) (90 นาที)

(3.1) บรรยายวัฏจักรคาร์โนต์: อธิบายว่าเป็น "วัฏจักรที่ดีที่สุด" ในทางทฤษฎี แต่สร้างจริงได้ยาก ใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmark)

(3.3) บรรยายวัฏจักรออตโต:

1. อธิบาย 4 กระบวนการ (อัด-จุดระเบิด(Vคงที่)-ขยายตัว-คาย(Vคงที่))
2. แสดงกราฟ P-V และ T-S ชี้ให้เห็นจุดเด่น "การรับความร้อนที่ปริมาตรคงที่"
3. เชื่อมโยงว่าเป็นหลักการของ "เครื่องยนต์เบนซิน"

ศูนย์วิทยทรัพยากร

(หัวข้อหลัก) บรรยายวัฏจักรดีเซล

1. อธิบาย 4 กระบวนการ (อัด-จุดระเบิด(Pคงที่)-ขยายตัว-คาย(Vคงที่))
2. แสดงกราฟ P-V และ T-S ชี้ให้เห็นจุดเด่น "การรับความร้อนที่ความดันคงที่" (การฉีดน้ำมัน)
3. เชื่อมโยงว่าเป็นหลักการของ "เครื่องยนต์ดีเซล"

(3.2) บรรยายอัตราส่วนของงาน: อธิบายความหมายและสูตรการคำนวณเบื้องต้น ชี้ให้เห็นว่าค่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมอย่างไร

ขั้นที่ 3 ขั้นฝึกปฏิบัติ (Practice) (50 นาที)

1. แบ่งกลุ่มผู้เรียน (3-4 คน)
2. แจก "ใบงานที่ 3 วิเคราะห์วัฏจักรเครื่องยนต์"
3. ในใบงานประกอบด้วย
   1) ส่วนที่ 1 ให้ผู้เรียนวาดและติดป้ายกราฟ P-V และ T-S ของวัฏจักรออตโตและดีเซล
   2) ส่วนที่ 2 โจทย์คำนวณอย่างง่าย เพื่อหาประสิทธิภาพและอัตราส่วนของงาน (3.2) ของวัฏจักรที่กำหนด (อาจเป็นออตโต หรือ ดีเซล)
   3) ส่วนที่ 3 ตารางเปรียบเทียบความเหมือนและความต่าง (3.1, 3.3, และดีเซล)
4. ผู้สอนเดินสังเกตและให้คำแนะนำ (Coaching) ระหว่างการทำกิจกรรมกลุ่ม

ขั้นที่ 4 ขั้นสรุปและประเมินผล (Wrap-up) (20 นาที)

1. ผู้สอนสุ่มกลุ่มออกมานำเสนอคำตอบในใบงาน (ส่วนที่ 1 และ 3)
2. ผู้สอนและผู้เรียนร่วมกันเฉลยโจทย์คำนวณ (ส่วนที่ 2) บนกระดาน
3. ผู้สอนสรุปประเด็นสำคัญ: ความแตกต่างที่สำคัญที่สุดระหว่าง Otto (V คงที่) และ Diesel (P คงที่) และเหตุผลที่ Carnot (3.1) มีประสิทธิภาพสูงสุด
4. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนซักถามข้อสงสัย

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

1. **สื่อ**
   1) สไลด์ Powerpoint เรื่อง "วัฏจักรเครื่องยนต์สันดาปภายใน"
   2) คลิปวิดีโอแอนิเมชัน แสดงการทำงาน 4 จังหวะของเครื่องยนต์ออตโตและดีเซล
   3) กระดานไวท์บอร์ด/โปรเจคเตอร์
2. **แหล่งการเรียนรู้**
   1) หนังสือเรียนวิชา "เครื่องยนต์สันดาปภายใน"
   2) เอกสารประกอบการสอน (ใบความรู้, ใบงานที่ 3)
   3) เว็บไซต์ด้านวิศวกรรมเครื่องกล (เช่น HowStuffWorks, Engineering Toolbox)
   4) เครื่องคิดเลข (สำหรับผู้เรียน)

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1 หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence):

1. การตอบคำถามระหว่างการบรรยาย

2. ผลการทดสอบย่อย (Quiz) หรือ แบบฝึกหัดท้ายบท

8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):

1. ใบงานที่ 3: วิเคราะห์วัฏจักรเครื่องยนต์ (ฉบับที่ทำเสร็จสมบูรณ์)

9. การวัดและประเมินผล

9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน: (เชื่อมโยงจากข้อ 4)

1. (K) อธิบายกระบวนการและเปรียบเทียบวัฏจักรได้ถูกต้องอย่างน้อย 70%
2. (P) คำนวณประสิทธิภาพและอัตราส่วนของงานในใบงานได้ถูกต้องอย่างน้อย 70%
3. (A) มีส่วนร่วมในการทำงานกลุ่มและแสดงความคิดเห็นเชิงสร้างสรรค์

9.2 วิธีการประเมิน:

1. การตรวจใบงานที่ 3
2. การสังเกตพฤติกรรมการมีส่วนร่วมในชั้นเรียนและการทำงานกลุ่ม
3. การทดสอบข้อเขียน (หากมี)

9.3 เครื่องมือประเมิน:

1. แบบประเมินรูบริคสำหรับใบงานที่ 3
2. แบบสังเกตพฤติกรรมกลุ่ม
3. แบบทดสอบ (Test Paper)

ศรายุทธ ทบเนตร

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 7
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/การผสมเชื้อเพลิง (Fuel Mixing)		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน (Learning Outcome)

ผู้เรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการเทอร์โมไดนามิกส์ของวัฏจักรมาตรฐานอากาศ (คาร์โนต์, ออตโต, ดีเซล) และการคำนวณอัตราส่วนของงาน เพื่อ **วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องยนต์** ในสถานการณ์จริง การประยุกต์ใช้ในงานอาชีพ

ผู้เรียนสามารถอธิบายความแตกต่างพื้นฐานระหว่างเครื่องยนต์เบนซิน (ที่ทำงานใกล้วัฏจักรออตโต) และเครื่องยนต์ดีเซล (ที่ทำงานใกล้วัฏจักรดีเซล) ได้อย่างมีหลักการ สามารถระบุได้ว่าเหตุใดเครื่องยนต์ดีเซลจึงมักมีประสิทธิภาพสูงกว่าและใช้ในงานที่ต้องการแรงบิดสูง (เช่น รถบรรทุก) ในขณะที่เครื่องยนต์เบนซินมักใช้ในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ทักษะนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการ วินิจฉัยปัญหาเครื่องยนต์ และ การเลือกใช้เครื่องยนต์ ให้เหมาะสมกับประเภทของงาน

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ (อ้างอิงแนวทางสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน) - TPQI)

มาตรฐานอาชีพ สาขาวิชาชีพบริการยานยนต์ (Automotive Service)

สมรรถนะย่อย มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานและโครงสร้างของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

1) เกณฑ์การปฏิบัติงาน: สามารถอธิบายหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ (คาร์โนต์, ออตโต, ดีเซล) ได้

2) วิธีประเมิน: การทดสอบข้อเขียน, การสัมภาษณ์เชิงเทคนิค, การนำเสนอผลการวิเคราะห์

3) หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence): ใบงานการคำนวณประสิทธิภาพ หรือ รายงานการวิเคราะห์เปรียบเทียบวัฏจักร

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการในแต่ละวัฏจักร, กราฟ P-V และ T-S, สูตรการคำนวณประสิทธิภาพและอัตราส่วนของงาน

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ:

5. ช่างเทคนิคยานยนต์ (Automotive Technician)
6. วิศวกรเครื่องกล (Mechanical Engineer)
7. ผู้ประกอบการอู่ซ่อมบำรุง (Garage Owner/Manager)
8. พนักงานขายและบริการด้านเทคนิคยานยนต์ (Technical Sales and Service)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 **วิเคราะห์** กราฟ P-V และ T-S **ของวัฏจักรคาร์โนต์, ออตโต และดีเซล**

3.2 **คำนวณ** ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราส่วนของงาน **จากข้อมูลและเงื่อนไขของวัฏจักรที่กำหนดให้**

3.3 **เปรียบเทียบ** ข้อดี, ข้อเสีย, และการประยุกต์ใช้งาน **ระหว่างวัฏจักรออตโตและวัฏจักรดีเซล**

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายกระบวนการทำงาน (4 กระบวนการ) ของวัฏจักรคาร์โนต์ (3.1), วัฏจักรออตโต (3.3) และวัฏจักรดีเซล ได้ถูกต้อง

4.2 จำแนกความแตกต่างของกราฟ P-V และ T-S ระหว่างวัฏจักรทั้งสามได้

4.3 อธิบายความหมายและความสำคัญของอัตราส่วนของงาน (3.2) ได้

4.4 เขียนกราฟ P-V และ T-S ของวัฏจักรคาร์โนต์, ออตโต และดีเซล ได้อย่างถูกต้อง

4.5 คำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราส่วนของงาน (3.2) จากโจทย์ที่กำหนดให้ได้

4.6 ตระหนักถึงความสำคัญของประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน โดยการมีส่วนร่วมในการอภิปรายและตอบคำถาม

4.7 ประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องวัฏจักร เพื่ออธิบายหลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องยนต์เบนซิน (ออตโต) และเครื่องยนต์ดีเซลในชีวิตจริงได้

5. เนื้อหาสาระ (Learning Contents)

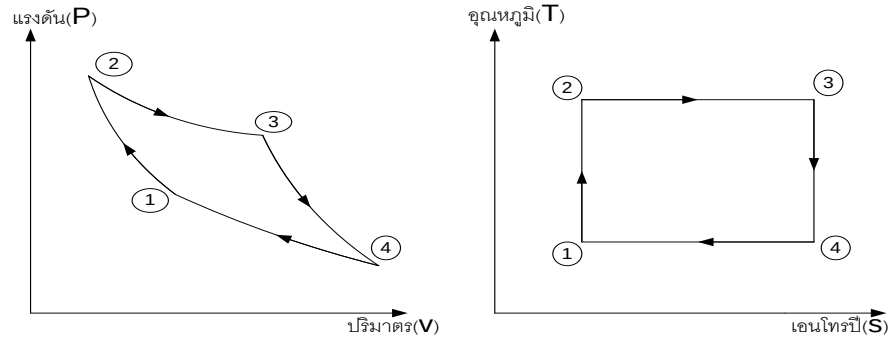
1. วัฏจักรคาร์โนต์ เป็นกลวัฏที่คิดโดยวิศวกรรมชาวฝรั่งเศสชื่อ Sadi Carnot เมื่อปี ค.ศ. 1824 วัฏจักรคาร์โนต์ เป็นวัฏจักรที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าวัฏจักรอื่น ๆ ถ้าวัฏจักรเหล่านั้นทำงานในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน วัฏจักรคาร์โนต์ใช้เป็นพื้นฐานของเครื่องยนต์ความร้อนแทบทุกชนิด สารตัวกลางที่ใช้ในวัฏจักรคาร์โนต์อาจเป็นก๊าซอุดมคติ หรือ ของไหลชนิดอื่น ๆ ก็ได้ วัฏจักรคาร์โนต์จะประกอบด้วย 4 กระบวนการ

2. อัตราส่วนของงาน (Work ratio) คือตัวเลขอีกตัวหนึ่งที่บอกสมรรถนะในการทำงานของวัฏจักร อัตราส่วนของงานหาได้จากอัตราส่วนระหว่างงานสุทธิของวัฏจักรต่องานทั้งหมดจากการขยายตัวของวัฏจักรดังนั้นอัตราส่วนของงานวัฏจักรคาร์โนต์

5.1 วัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot cycle)

วัฏจักรคาร์โนต์ เป็นกลวัฏที่คิดโดยวิศวกรรมชาวฝรั่งเศสชื่อ Sadi Carnot เมื่อปี ค.ศ. 1824วัฏจักรคาร์ โนต์เป็นวัฏจักรที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าวัฏจักรอื่นๆถ้าวัฏจักรเหล่านั้นทำงานในช่วงอุณหภูมิเดียวกันวัฏจักรคาร์โนต์ใช้เป็นพื้นฐานของเครื่องยนต์ความร้อนแทบทุกชนิด สารตัวกลางที่ใช้ในวัฏจักรคาร์โนต์ อาจเป็นก๊าซอุดมคติหรือของไหลชนิดอื่น ๆ ก็ได้ วัฏจักรคาร์โนต์จะประกอบด้วย 4 กระบวนการ ซึ่ง

กระบวนการ 1 $\rightarrow$ 2 เป็นการขยายตัวแบบไอเซนทรอปิก ***หรือ*** แอเดียแบติก(isentropic or reversible adiabatic expansion process)



วัฏจักรคาร์โนต์

ความดันลดลงจาก P_1 เป็น P_2

ปริมาตรเพิ่มขึ้นจาก V_1 เป็น V_2

อุณหภูมิลดลงจาก T_1 เป็น T_2

เนื่องจากเป็นกระบวนการไอเซนทรอปิก ดังนั้นจะได้ $Q_{12} = 0$,หางาน W_{12} จาก

$W_{12} = (P_2V_2 - P_1V_1)/1-k$ หรือ $= \{mR(T_2 - T_1)\} /1-k$

กระบวนการ 2 $\longrightarrow$ 3 เป็นการอัดตัวแบบอุณหภูมิคงที่ (reversible isothermal process)

ความดันเพิ่มจาก P_2 เป็น P_3

ปริมาตรลดลงจาก V_2 เป็น V_3

อุณหภูมิคงที่ $T_2 = T_3$

งานที่กระทำ $W_{23} = P_2 V_2 \ln (V_3 / V_2) = -mRT_2 \ln (V_2 / V_3)$

และการอัดแบบอุณหภูมิคงที่ $T_2 = T_3$; $T = C$, $Q_{23} = W_{23}$

ความร้อนที่ถ่ายเทออก

$$Q_R = Q_{23} = -mRT_2 \ln (V_2 / V_3)$$

จากสมการคายความร้อนของกระบวนการ 2$\longrightarrow$3 จะเห็นว่าเนื่องจากอุณหภูมิ $T_2 = T_3$ ดังนั้นจะเป็นกระบวนการคายความร้อนที่อุณหภูมิคงที่

กระบวนการ 3 $\longrightarrow$ 4 เป็นการอัดตัวแบบไอเซน – ทรอปิก โดยที่

ความดันเพิ่มจาก P_3 เป็น P_4

ปริมาตรลดลงจาก V_3 เป็น V_4

อุณหภูมิเพิ่มจาก T_3 เป็น T_4

งานที่กระทำ $W_{34} = (P_3V_3 - P_4V_4) / k-1$

หรือ $W_{34} = (P_4V_4 - P_3V_3) / 1-k$

$= -(P_4V_4 - P_3V_3) / k-1$

หรือ $W_{34} = -mR(T_4 - T_3) / k-1$

เนื่องจาก เป็นกระบวนการไอเซนทรอปิก จึงไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างกระบวนการ

ดังนั้น $Q_{34} = 0$

กระบวนการ 4⟶1เป็นการขยายตัวแบบอุณหภูมิคงที่ (isothermal expansion process) หรือ เป็นการ รับความร้อนเข้าสู่ระบบที่อุณหภูมิคงที่

ความดันลดลงจาก P_4 เป็น P_1

ปริมาตรเพิ่มขึ้นจาก V_4 เป็น V_1

อุณหภูมิคงที่ T_4 เป็น T

งานที่กระทำ $W_{41} = P_4V_4 \ln (V_1/V_4)$

$= -mRT_4 \ln (V_1/V_4)$

แต่เนื่องจากเป็นกระบวนการอุณหภูมิคงที่ ดังนั้น

$$Q_{41} = W_{41} = Q_A$$

ความร้อนที่ได้รับ ; $Q_A = -mRT_4 \ln(V_1/V_4)$

จากรูปมีการรับความร้อน Q_A ระหว่างกระบวนการ 4⟶1 ปริมาณความร้อนที่ได้รับคือ

$Q_A =$ พื้นที่ 4 – 1 - B - A - 4

$= T_1 (S_B - S_A)$

ความร้อนที่ถ่ายเทออก $Q_A =$ พื้นที่ 2 – 3 – A – B – 2

$= T_2(S_B - S_A)$

ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์หาได้ดังนี้

$$\eta_{th.Carnot} = T_1(S_B-S_A)-T_2(S_B-S_A)/T_1(S_B-S_A)$$

$$\eta_{th.Carnot} = 1 - (T_2 / T_1)$$

ส่วนงานของวัฏจักรคาร์โนต์หาได้จาก กฎข้อที่ –หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ดังนี้

$$\Sigma Q = \Sigma W$$

$W_{net} = Q_A - Q_R$

$= T_1 (S_B-S_A) - T_2 (S_B-S_A)$

ดังนั้นงานของวัฏจักรของคาร์โนต์สามารถหาได้จากสมการ $\mathbf{W_{net} = (T_1 - T_2)(S_B - S_A)}$

5.2 อัตราส่วนของงาน (Work ratio) คือตัวเลขอีกตัวหนึ่งที่บอกสมรรถนะในการทำงานของวัฏจักร อัตราส่วนของงานหาได้จากอัตราส่วนระหว่างงานสุทธิของวัฏจักรต่องานทั้งหมดจากการขยายตัวของวัฏจักร ดังนั้นอัตราส่วนของงานวัฏจักรคาร์โนต์คือ

$$\mathbf{W_r = W_{net} / W_{41} + W_{12}}$$

จากสมการที่ผ่านมาจะเห็นว่าประสิทธิภาพเชิง-ความร้อนจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ T_1 และ T_2 ซึ่ง T_1 คืออุณหภูมิสูงสุดของระบบ และ T_2 คืออุณหภูมิต่ำสุดของระบบ

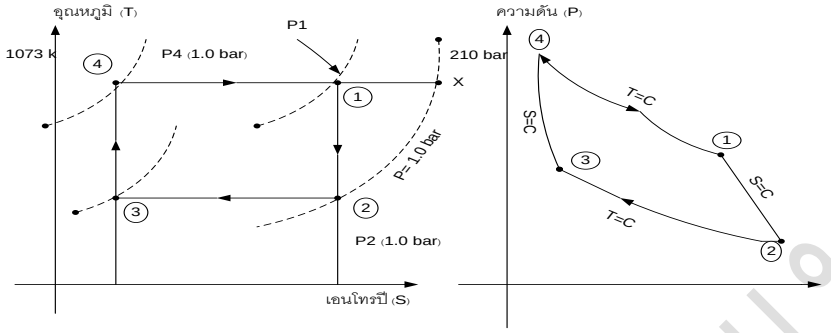
จากสมการ $\eta th = 1 - T_2 / T_1$

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ T_2 และ T_1 ได้ดังนี้

1. ถ้าให้ T_2 หรืออุณหภูมิต่ำสุดคงที่ จะได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเมื่อ T_1 มีค่ามากที่สุดแต่ในทางปฏิบัติ ค่า T_1 จะถูกจำกัดด้วยความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิสูงของวัสดุที่นำมาสร้างเครื่อง

2. ถ้าให้ T_1 หรืออุณหภูมิสูงสุดคงที่ จะได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของวัฏจักรจะเกิดขึ้นเมื่อ T_2 มี ค่าน้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะทำได้เพราะสารตัวกลางที่ใช้ในระบบจะเกิดการแข็งตัว

ตัวอย่างที่ 1 มีแหล่งรับความร้อน(hot reservoir) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และ แหล่งคายความร้อน (cold reservoir) ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จงคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน ถ้าระบบดังกล่าวนี้เป็นวัฏจักรคาร์โนต์ และ จงหางานสุทธิพร้อมทั้งอัตราส่วนของงานเมื่อสารตัวกลางที่ใช้ในระบบเป็นอากาศ โดยมีความดันสูงสุดเป็น 210 บาร์ และความดันต่ำสุดเป็น 1 บาร์



วิธีทำ

จากสมการ $\eta th = 1 - (T_2 / T_1)$

$= 1 - 15+273/800+273$

$= 0.732$

$= 73.2$ เปอร์เซ็นต์

จากสมการ

$$W_{net} = (T_1 - T_2)(S_1 - S_4)$$

ค่า $S_1 - S_4$ หาได้โดยวิธีพลิกแพลงดังนี้

ขั้นที่ 1 กระบวนการจาก 4⟶X เป็นกระบวนการอุณหภูมิคงที่ (T = C)

$$S_x - S_4 = mR \ln (V_x / V_4)$$

$$= mR \ln (P_4 / P_2)$$

เนื่องจาก $P_x = P_2$ เพราะว่าอยู่บนเส้นความดันเดียวกัน

ดังนั้น $S_x - S_4 = mR \ln(P_4 / P_2)$

หรือ $S_x - S_4 = 1 \times 0.287 \ln(210/1)$

$= 1.538$ kJ/kg-K .....(1)

ขั้นที่ 2 จากกระบวนการ X⟶2 เป็นกระบวนการความดันคงที่ (P = C)

$$S_x - S_2 = mC_p \ln(T_x / T_2)$$

เนื่องจาก $T_x = T_1$ เพราะว่าอยู่บนเส้นอุณหภูมิคงที่เดียวกัน

ดังนั้น $S_x - S_2 = mC_p \ln(T_1 / T_2)$

หรือ $S_x - S_2 = S_x - S_1 = 1 \times 1.005 \ln(1073/288)$

$S_x - S_1 = 1.3821$ kJ/kg-K .....(2)

แล้วเอาสมการ (2) ลบ สมการ (1) จะได้

$S_1 - S_4 = 1.535 - 1.3821$ kJ/kg-K

$= 0.214$ kJ/kg-K

ดังนั้น งานสุทธิของวัฏจักรจะหาได้จาก

$W_{net} = (T_1 - T_2)(S_1 - S_4)$

$= (1073\text{-}288) \times 0.214$ kJ/kg-K = 168 kJ/kg-K

จากรูปจะเห็นว่า งานจากการขยายตัวทั้งหมดคือ $W_{41} + W_{12}$

W_{41} เป็นงานในช่วงของอุณหภูมิคงที่ (T = C) ดังนั้น

$W_{41} = Q_{41}$ = พื้นที่ใต้เส้น $4 \rightarrow 1$ ของแผนภาพอุณหภูมิ-เอนโทรปี

$\therefore W_{41} = T_1 (S_1 - S_4)$

ดังนั้น $W_{41} = 1073 \times 0.214$

W_{12} เป็นงานในช่วงแอเดียแบติก(S=C ; dQ=0)

ดังนั้นจาก $dQ = dU + dW$

หรือ $W_{12} = -\Delta U$

$= -mC_v (T_2 - T_1)$

$= -1 \times 0.718(288\text{-}1073)$ = 563.6 kJ/kg-K

งานจากการขยายตัวทั้งหมด = $W_{41} + W_{12}$

$= (1073 \times 0.214) + 563.6$

$= 793.6$ kJ/kg-K

อัตราส่วนของงาน = งานสุทธิ / งานจากการขยายตัวทั้งหมด

$= 168 / 793.2$

$= 0.212$ = 21.2 เปอร์เซ็นต์

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

แบบทดสอบ

เรื่องวัฏจักรคาร์โนต์

คำสั่ง จงแสดงวิธีทำ

มีแหล่งรับความร้อน(hot reservoir) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และ แหล่งคายความ ร้อน (cold reservoir) ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จงคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน ถ้าระบบดัง กล่าวนี้เป็นวัฏจักรคาร์โนต์ และ จงหางานสุทธิพร้อมทั้งอัตราส่วนของงานเมื่อสารตัวกลางที่ใช้ในระบบเป็นอากาศ โดยมีความดันสูงสุดเป็น 210 บาร์ และความดันต่ำสุดเป็น 1 บาร์

จงหา 1 PV และTS Diagram

2 งานสุทธิของวัฏจักร

3 ประสิทธิภาพความร้อน

4 ความดันเฉลี่ยของวัฏจักร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ศรายุทธ พบเหตุ

7. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตร ปวช./ปวส.)

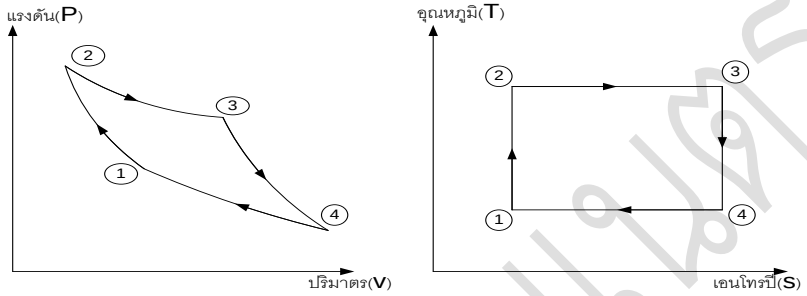
2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill Education.

3. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด)

เฉลยแบบทดสอบ

เรื่องวัฏจักรคาร์โนต์



วัฏจักรคาร์โนต์

จากสมการ $\eta th = 1 - (T_2 / T_1)$

$= 1 - 15+273/800+273$

$= 0.732$

$= 73.2$ เปอร์เซ็นต์

จากสมการ

$W_{net} = (T_1 - T_2)(S_1 - S_4)$

$S_x - S_4 = mR \ln (V_x / V_4)$

$= mR \ln (P_4 / P_2)$

$P_x = P_2$ เพราะว่าอยู่บนเส้นความดันเดียวกัน

$S_x - S_4 = mR \ln(P_4 / P_2)$

หรือ $S_x - S_4 = 1 \times 0.287 \ln(210/1)$

$= 1.538$ kJ/kg-K

$S_x - S_2 = mC_p \ln(T_x / T_2)$

$T_x = T_1$

ดังนั้น $S_x - S_2 = mC_p \ln(T_1 / T_2)$

หรือ $S_x - S_2 = S_x - S_1 = 1 \times 1.005 \ln(1073/288)$

$S_x - S_1 = 1.3821$ kJ/kg-K

$S_1 - S_4 = 1.535 - 1.3821$ kJ/kg-K

$= 0.214$ kJ/kg-K

ศูนย์วิทยทรัพยากร

$W_{net} = (T_1 - T_2)(S_1 - S_4)$

$= (1073\text{-}288) \times 0.214$ kJ/kg-K

$= 168$ kJ/kg-K

$\therefore W_{41} = T_1 (S_1 - S_4)$

ดังนั้น $W_{41} = 1073 \times 0.214$

$dQ = dU + dW$

หรือ $W_{12} = - \Delta U$

$= -mC_v (T_2 - T_1)$

$= -1 \times 0.718(288\text{-}1073)$

$= 563.6$ kJ/kg-K

งานจากการขยายตัวทั้งหมด $= W_{41} + W_{12}$

$= (1073 \times 0.214) + 563.6$

$= 793.6$ kJ/kg-K

อัตราส่วนของงาน = งานสุทธิ / งานจากการขยายตัวทั้งหมด

$= 168 / 793.2$

$= 0.212$ $= 21.2$ เปอร์เซ็นต์

ศรายุทธ พันธุ์เดช

	ใบงานที่	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 7
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/การวิเคราะห์วัฏจักรมาตรฐานอากาศ (Air Standard Cycles)		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้จากการปฏิบัติงาน

ผู้เรียนสามารถ**เขียนและวิเคราะห์**แผนภาพ P-V และ T-S ของ **วัฏจักรคาร์โนต์** และ **วัฏจักรออตโต** รวมถึงสามารถ**คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน**ของวัฏจักรออตโต ($\eta_{th,\,Otto}$) และ**เปรียบเทียบ**ประสิทธิภาพกับวัฏจักรคาร์โนต์ เพื่อทำความเข้าใจขีดจำกัดสูงสุดของประสิทธิภาพเครื่องยนต์ในทางทฤษฎี

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ของเครื่องยนต์
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคปรับแต่งเครื่องยนต์ (Tuner) ที่ต้องเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการอัดและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (Engine Performance Optimization)

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 วาดและระบุกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ในแผนภาพ P-V และ T-s ของวัฏจักรคาร์โนต์และวัฏจักรออตโตได้อย่างถูกต้อง

3.2 คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโต ($\eta_{th,\,Otto}$) เมื่อทราบอัตราส่วนการอัด (r) และอัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (k)

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความแตกต่างของกระบวนการเพิ่มความร้อนในวัฏจักรคาร์โนต์ (Isothermal) และวัฏจักรออตโต (Isochoric) ได้

4.2 สามารถใช้สูตรประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโต โต $\left(\eta_{th,Otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}\right)$ในการคำนวณได้

4.3 แสดงความกระตือรือร้นในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรที่แตกต่างกันเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องยนต์

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์จำลอง (ตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน)

5.2 เครื่องคิดเลข (ที่สามารถยกกำลังได้)

5.3 ใบความรู้เรื่อง วัฏจักรคาร์โนต์ วัฏจักรออตโต และสูตรประสิทธิภาพ

5.4 ดินสอ/ปากกา และไม้บรรทัด สำหรับวาดแผนภาพ

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. **วัฏจักรคาร์โนต์** คือขีดจำกัดสูงสุดของประสิทธิภาพเชิงความร้อน (ตามหลักกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์)

2. **วัฏจักรออตโต** คือ วัฏจักรมาตรฐานอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์เครื่องยนต์เบนซิน (Constant Volume Heat Addition)

3. ในการคำนวณ ให้ใช้ค่า k = 1.4 สำหรับอากาศมาตรฐาน (Air Standard Assumption) เว้นแต่โจทย์จะกำหนดค่าอื่น

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (โจทย์ปัญหาและการวิเคราะห์)

ภารกิจที่ 1 การวิเคราะห์และวาดแผนภาพวัฏจักร

1. **วัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot Cycle):**

วาดแผนภาพ P-V และ T-s ของวัฏจักรคาร์โนต์

ระบุ 4 กระบวนการ (Process) ที่ประกอบเป็นวัฏจักร:

1 → 2 การอัดแบบ _____

2 → 3 การเพิ่มความร้อนแบบ _____

3 → 4 การขยายตัวแบบ _____

4 → 1 การคายความร้อนแบบ _____

2. **วัฏจักรออตโต (Otto Cycle):**

วาดแผนภาพ P-V และ T-s ของวัฏจักรออตโต

ระบุ 4 กระบวนการ

1 → 2 การอัดแบบ _____

2 → 3 การเพิ่มความร้อนแบบ _____

3 → 4 การขยายตัวแบบ _____

4 → 1 การคายความร้อนแบบ _____

ภารกิจที่ 2 การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน

สถานการณ์: เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะเครื่องหนึ่งถูกออกแบบมาให้มีอัตราส่วนการอัด (r) เท่ากับ 8:1

1. จงคำนวณ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดตามทฤษฎี ($\eta_{th,Carnot}$) ของเครื่องยนต์นี้ หากอุณหภูมิสูงสุดที่วัฏจักรทำงานคือ T_H = 1500 K และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม T_L = 300 K

$$\eta_{th,Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

2. จงคำนวณ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโต ($\eta_{th,\,Otto}$) ของเครื่องยนต์นี้ โดยใช้อัตราส่วนการอัด r = 8 และกำหนดให้ k = 1.4

$$\eta_{th,Otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

3. อัตราส่วนของงาน (Work Ratio): หากงานที่ผลิตได้สุทธิ (W_{net}) คือ 100 kJ และงานที่ได้จากการขยายตัว (W_{exp}) คือ 250 kJ จงคำนวณอัตราส่วนของงาน

$$W_{ratio} = \frac{W_{net}}{W_{exp}}$$

8. สรุปและวิจารณ์ผล

1. จงเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากวัฏจักรคาร์โนต์และวัฏจักรออตโตในภารกิจที่ 2 และอธิบายว่า เหตุใดวัฏจักรคาร์โนต์จึงให้ประสิทธิภาพสูงกว่า

.....

.....

2. ในมุมมองของช่างปรับแต่งเครื่องยนต์ การเพิ่ม อัตราส่วนการอัด (r) มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เบนซินอย่างไร (อ้างอิงจากสูตร $\eta_{th,\,Otto}$)

.....

.....

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
ภารกิจ 1: การวาดแผนภาพ P-V และ T-s และการระบุกระบวนการถูกต้อง	15
ภารกิจ 2: การคำนวณ ($\eta_{th,Carnot}$), ($\eta_{th,\,Otto}$) และ (W_{net}) ถูกต้อง	15
สรุปและวิจารณ์ผล: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และให้เหตุผลถูกต้อง	10
รวมคะแนน	**40**

10. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ประกอบการสอน เรื่อง วัฏจักรคาร์โนต์ และวัฏจักรออตโต
2. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน
3. แหล่งข้อมูลการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรมาตรฐานอากาศ

	ใบกิจกรรมที่ 5	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 7
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ.....ชม.
ชื่อเรื่อง/การวิเคราะห์และเปรียบเทียบวัฏจักรมาตรฐานอากาศ		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้การปฏิบัติกิจกรรม

ผู้เรียนสามารถ**วาดและเปรียบเทียบ**แผนภาพ P-V และ T-s ของวัฏจักรคาร์โนต์และวัฏจักรออตโตได้อย่างชัดเจน และสามารถ**คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน**ของวัฏจักรออตโตจากอัตราส่วนการอัด (r) เพื่อเป็นพื้นฐานในการประเมินขีดจำกัดด้านประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เบนซิน

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ของเครื่องยนต์
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคที่ทำการปรับปรุงอัตราส่วนการอัด หรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มสมรรถนะ (เช่น ลูกสูบที่มีโดมสูงขึ้น)

3. สมรรถนะประจำกิจกรรม

3.1 วาดและจำแนกกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่แตกต่างกันของวัฏจักรคาร์โนต์และวัฏจักรออตโตในแผนภาพ P-V และ T-s

3.2 ใช้สูตรประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโต $(\boldsymbol{\eta_{th, Otto}})$ และคำนวณอัตราส่วนของงาน $(\boldsymbol{W_{ratio}})$ เพื่อประเมินผลกระทบของอัตราส่วนการอัด

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการอัด (r) กับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโตได้

4.2 สามารถคำนวณ $\eta_{th, Otto}$ และ W_{ratio} จากค่าที่กำหนดให้ได้

4.3 ประยุกต์ใช้ แสดงความละเอียดรอบคอบในการคำนวณ (A) และสามารถสรุปความสำคัญของการเพิ่มอัตราส่วนการอัดต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ (P)

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์จำลอง (ตามขั้นตอนการทำกิจกรรม)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 ใบความรู้/ตำราเรียน เรื่อง วัฏจักรคาร์โนต์และวัฏจักรออตโต

5.4 อุปกรณ์วาดภาพ (ดินสอ, ไม้บรรทัด)

6. ขั้นตอนการทำกิจกรรม (เวลาปฏิบัติ: 90 นาที)

กิจกรรม 1: การเปรียบเทียบแผนภาพวัฏจักร (40 นาที)

1. นักเรียนในกลุ่มทบทวนความแตกต่างของกระบวนการในวัฏจักรคาร์โนต์ (Isothermal Heat Transfer) และวัฏจักรออตโต (Isochoric Heat Transfer)

2. **มอบหมาย:** วาดแผนภาพ P-V และ T-s ของ **วัฏจักรคาร์โนต์** และ **วัฏจักรออตโต** โดยใช้กระบวนการ 4 กระบวนการของแต่ละวัฏจักร

3. **วิเคราะห์:** ระบุข้อดีและข้อเสียทางทฤษฎีของวัฏจักรคาร์โนต์เมื่อนำมาใช้จริงในเครื่องยนต์ (เช่น การถ่ายเทความร้อนแบบ Isothermal ยากในทางปฏิบัติ)

กิจกรรม 2: การคำนวณและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (40 นาที)

สถานการณ์: บริษัทผลิตเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 2 บริษัท มีการออกแบบอัตราส่วนการอัดดังนี้:

บริษัท A: อัตราส่วนการอัด $r_A = 8:1$

บริษัท B: อัตราส่วนการอัด $r_B = 10:1$

กำหนดให้ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ $\boldsymbol{k = 1.4}$

1. **คำถาม 2.1** คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโตของ **บริษัท A** $\eta_{th,\ A}$

2. **คำถาม 2.2** คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโตของ **บริษัท B** $\eta_{th,\ B}$

3. **คำถาม 2.3 (อัตราส่วนของงาน)** ในการทำงานจริง งานที่ได้จากการขยายตัว W_{exp} ของเครื่องยนต์เท่ากับ 120 kJ และงานที่ต้องใช้ในการอัด W_{comp} เท่ากับ 30 kJ จงคำนวณ **อัตราส่วนของงาน** $W_{ratio} = W_{net} / W_{exp}$

7. สรุปและอภิปราย

1. อภิปรายผล: ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของบริษัทใดดีกว่ากัน? (A หรือ B) และการเพิ่มอัตราส่วนการอัด (r) ส่งผลต่อการออกแบบเครื่องยนต์จริงอย่างไร (เช่น ปัญหาการน็อคของเครื่องยนต์)?

.....

.....

2. อธิบายความแตกต่างหลักระหว่างการเพิ่มความร้อนในวัฏจักรออตโต (ปริมาตรคงที่) และวัฏจักรดีเซล (ความดันคงที่) ในแง่ของการใช้งานจริง

.....

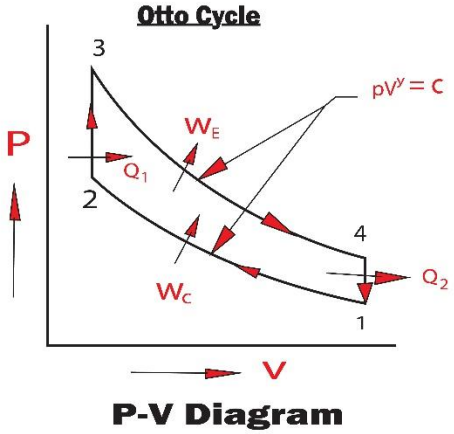
.....

8. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
กิจกรรม 1: ความถูกต้องของการวาดแผนภาพ P-V, T-s และการระบุกระบวนการ	15
กิจกรรม 2: ความถูกต้องของการคำนวณ $\eta_{th,\ Otto}$ ทั้งสองกรณี และ W_{ratio}	15
สรุปและอภิปราย: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และเข้าร่วมการนำเสนออย่างมีเหตุผล	10
รวมคะแนน	**40**

9. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ประกอบการสอน เรื่อง วัฏจักรมาตรฐานอากาศ
2. ตารางค่า k สำหรับก๊าซต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง



ตัวอย่าง ไม่ใช่ของจริง

	ใบมอบหมายงาน	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 7
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้. วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/การวิเคราะห์และเปรียบเทียบวัฏจักรมาตรฐานอากาศ		

1. ผลงานหรือผลการปฏิบัติงาน

1. **รายงานการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน** ของวัฏจักรคาร์โนต์และวัฏจักรออตโต

2. **แผนภาพประกอบการวิเคราะห์** แสดง P-V และ T-s ของวัฏจักรออตโต พร้อมระบุจุดและกระบวนการ

3. **ผลการคำนวณ** หาประสิทธิภาพของวัฏจักรออตโต และอัตราส่วนของงาน (Work Ratio) ตามโจทย์ที่กำหนด

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์

2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการอัดกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์

3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคผู้ประเมินและปรับปรุงสมรรถนะเครื่องยนต์เบนซิน (Gasoline Engine Performance Specialist)

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 วิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อจำกัดทางทฤษฎี (วัฏจักรคาร์โนต์) กับวัฏจักรเครื่องยนต์เบนซินจริง (วัฏจักรออตโต) ในแง่ของประสิทธิภาพเชิงความร้อน

3.2 คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโต $\eta_{th,\,Otto}$ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการอัด (r)

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความหมายและองค์ประกอบของวัฏจักรออตโตและวัฏจักรคาร์โนต์ในแผนภาพ P-V และ T-s ได้

4.2 สามารถใช้สูตร $\eta_{th,\,Otto}$ = 1 - 1/r^k-1 และสูตรอัตราส่วนของงานในการแก้โจทย์ได้อย่างถูกต้อง

4.3 แสดงความละเอียดรอบคอบในการคำนวณ และสรุปความสัมพันธ์ระหว่าง r กับ η_{th} ได้อย่างมีเหตุผล

5. รายละเอียดของงาน (โจทย์สถานการณ์จำลอง)

นักศึกษาต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาต่อไปนี้ โดยแสดงวิธีทำอย่างละเอียดและแนบแผนภาพประกอบ

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์วัฏจักรออตโตและคาร์โนต์ (ภาคบรรยายและแผนภาพ)

1. **การวิเคราะห์วัฏจักรออตโต**

1) วาดแผนภาพ P-V ของวัฏจักรออตโต (แสดง 4 กระบวนการ: อัด Isoentropic, เพิ่มความร้อน Isochoric, ขยาย Isoentropic, คายความร้อน Isochoric)

2) อธิบายว่า เหตุใดวัฏจักรออตโตจึงถูกเรียกว่าเป็น **วัฏจักรปริมาตรคงที่**

2. **การวิเคราะห์วัฏจักรคาร์โนต์:**

1) อธิบายว่าวัฏจักรคาร์โนต์เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องยนต์อย่างไร และเหตุใดจึงไม่สามารถนำมาใช้จริงในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้

ส่วนที่ 2: การคำนวณประสิทธิภาพและการเปรียบเทียบ (ภาคคำนวณ)

สถานการณ์ เครื่องยนต์เบนซินเครื่องหนึ่งทำงานระหว่างอุณหภูมิ T_H = 1200 K และ T_L = 300 K และมีอัตราส่วนการอัด r = 9:1 (กำหนดให้ k = 1.4)

1. คำนวณ $\eta_{th,\ Carnot}$ คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์ที่ทำงานระหว่างอุณหภูมิเหล่านี้

$$\eta_{th,\ Carnot} = 1 - T_L/T_H$$

2. คำนวณ $\eta_{th,\ Otto}$ คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโตของเครื่องยนต์นี้

$$\eta_{th,\ Otto} = 1 - 1/r\text{^}k\text{-}1$$

3. คำนวณอัตราส่วนของงาน หากทราบว่างานสุทธิที่ได้ W_{net} คือ 150 kJ/kg และงานที่ใช้ในการอัด W_{comp} คือ 50 kJ/kg จงคำนวณอัตราส่วนของงาน W_{ratio}

$$W_{ratio} = \frac{W_{net}}{W_{exp}}$$

(Note: Wexp = Wnet + Wcomp)

6. กำหนดเวลาส่งงาน

วันที่: ..... (สัปดาห์หน้า/ตามที่ตกลง)

7. แนวทางในการปฏิบัติงาน

1. ใช้ค่า k = 1.4 ในการคำนวณวัฏจักรออตโตเสมอ เว้นแต่จะระบุเป็นอื่น
2. การวาดแผนภาพ P-V ควรใช้แกนและระบุทิศทางของกระบวนการให้ถูกต้อง
3. แสดงวิธีคำนวณทุกขั้นตอน และขีดเส้นใต้คำตอบสุดท้าย

8. แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 3)
2. เว็บไซต์/วิดีโออธิบายการทำงานของ Carnot Cycle และ Otto Cycle

3. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** (หัวข้อ Air Standard Cycles)

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	**เกณฑ์การให้คะแนน (คะแนนเต็ม)**
ส่วนที่ 1: ความถูกต้องของการวาดแผนภาพ P-V และการอธิบายหลักการ	15 คะแนน
ส่วนที่ 2: ความถูกต้องของการคำนวณ $\eta_{th,\ Carnot}$, $\eta_{th,\ Otto}$ และ W_{ratio}	15 คะแนน
การจัดทำรายงาน: ความเป็นระเบียบเรียบร้อย, การแสดงวิธีทำที่เป็นขั้นตอน, การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล	10 คะแนน
รวมคะแนน	**40 คะแนน**

ตัวอย่าง ทบทวน

	แผนการจัดการเรียนรู้ 1	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถนำความรู้และทักษะการคำนวณจาก **วัฏจักรดีเซล** และ **วัฏจักรผสม** ไปประยุกต์ใช้ในงานอาชีพเพื่อ **ประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ** ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล/เชื้อเพลิงทางเลือก (เช่น เครื่องยนต์ Dual Fuel) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถ **วิเคราะห์ผลกระทบของอัตราส่วนการตัดจ่าย (r_c) และอัตราส่วนความดัน (r_p)** ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน อันเป็นทักษะสำคัญในการ **ปรับปรุงการฉีดเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง** ในเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ: ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างซ่อมเครื่องยนต์ดีเซล

1. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์วัฏจักรผสม

1. **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:** สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมได้อย่างถูกต้องไม่น้อยกว่า 70%

2. **วิธีประเมิน:** ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณและการวิเคราะห์ในใบงาน

3. **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):** ใบงานการคำนวณวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสม พร้อมแผนภาพ P-V และ T-s

4. หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่ององค์ประกอบของวัฏจักร และความสัมพันธ์ของ r, r_c, r_p

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ: ช่างเทคนิคซ่อมบำรุงระบบเชื้อเพลิงดีเซล (Diesel Fuel Injection Specialist) และผู้ประเมินผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงคู่ (Dual Fuel Analyst)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 วาดและจำแนกกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่แตกต่างกันของวัฏจักรดีเซล (เพิ่มความร้อนแบบความดันคงที่) และวัฏจักรผสม (เพิ่มความร้อนแบบความดันคงที่และปริมาตรคงที่) ในแผนภาพ P-V และ T-s

3.2 คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซล $\eta_{th,\,Diesel}$ และวัฏจักรผสม $\eta_{th,\,Dual}$ จากอัตราส่วนการอัด r อัตราส่วนการตัดจ่าย r_c และอัตราส่วนความดัน r_p

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความหมายและเขียนสมการประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมได้

4.2 สามารถแก้โจทย์คำนวณเชิงปริมาณเกี่ยวกับประสิทธิภาพของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสม เมื่อทราบค่า r, r_c, r_p ได้อย่างแม่นยำ

4.3 ให้ความสนใจและเห็นความสำคัญของการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเพื่อทำความเข้าใจการทำงานจริงของเครื่องยนต์

4.4 เปรียบเทียบผลกระทบของอัตราส่วน r_c ที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพของวัฏจักรดีเซลได้อย่างมีเหตุผล

5. สาระการเรียนรู้

3.4 วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล (Air Standard Diesel Cycle)

องค์ประกอบ 4 กระบวนการ

1) อัด Isoentropic,

2) เพิ่มความร้อนแบบ **ความดันคงที่ (Isobaric)**,

3) ขยาย Isoentropic,

4) คายความร้อนแบบปริมาตรคงที่ (Isochoric)

อัตราส่วนการตัดจ่าย (Cutoff Ratio, r_c) อัตราส่วนปริมาตรที่จุดสิ้นสุดของการเพิ่มความร้อนต่อปริมาตรที่จุดเริ่มต้นของการเพิ่มความร้อน ($r_c = V_3 / V_2$)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน $\eta_{th,\ Diesel}$

$$\eta_{th,Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]$$

3.5 วัฏจักรผสม (Dual Combustion Cycle)

องค์ประกอบ: เป็นวัฏจักรที่รวมลักษณะของ Otto (ปริมาตรคงที่) และ Diesel (ความดันคงที่) โดยแบ่งการเพิ่มความร้อนเป็น 2 ส่วน

1) ปริมาตรคงที่ Q_{in}, V และ

2) ความดันคงที่ Q_{in}, P

อัตราส่วนความดัน (Pressure Ratio, r_p) อัตราส่วนความดันที่จุดสิ้นสุดของ Q_{in}, V ต่อความดันที่จุดเริ่มต้น ($r_p = P_3 / P_2$)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน $\eta_{th,\ Dual}$

$$\eta_{th,Dual} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_p r_c^k - 1}{r_p - 1 + r_p k(r_c - 1)} \right]$$

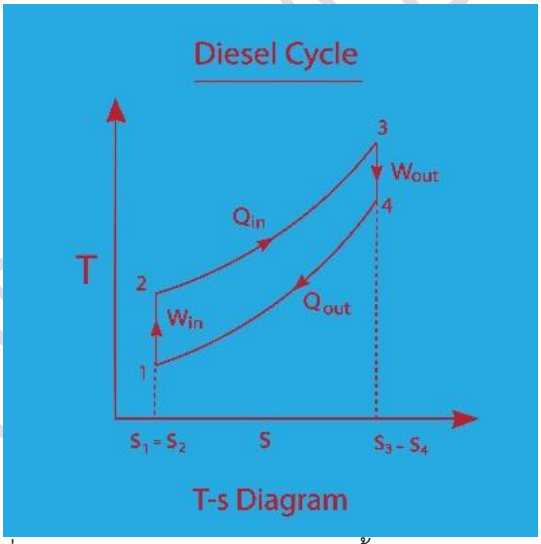
6. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นตอน	กิจกรรมครู	กิจกรรมผู้เรียน	เวลา (นาที)
ขั้นนำ	ทบทวนวัฏจักรออตโตและนำเข้าสู่เครื่องยนต์ดีเซล (Compression Ignition) และลักษณะการเพิ่มความร้อนที่แตกต่างกัน	ทบทวนความรู้เดิมและตั้งคำถาม	10

ขั้นสอน	**3.4 วัฏจักรดีเซล:** นำเสนอแผนภาพ P-V/T-s, นิยาม r_c และสมการ $\eta_{th,\ Diesel}$ พร้อมยกตัวอย่างคำนวณ	ทำความเข้าใจกระบวนการ isobaric และสูตร $\eta_{th,\ Diesel}$	30
	3.5 วัฏจักรผสม: อธิบายการเพิ่มความร้อน 2 ส่วน, นิยาม r_p และนำเสนอสูตร $\eta_{th,\ Dual}$ พร้อมเน้นย้ำว่าเป็นวัฏจักรที่ใกล้เคียงเครื่องยนต์ดีเซลจริงที่สุด	ทำความเข้าใจกระบวนการ Isochoric/Isobaric และสูตร $\eta_{th,\ Dual}$	30
ขั้นปฏิบัติ	**ใบงานกลุ่ม:** มอบหมายโจทย์คำนวณเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซล 2 เครื่อง ที่มี r เท่ากัน แต่ r_c ต่างกัน (รวมถึงโจทย์วัฏจักรผสมเบื้องต้น)	ทำงานกลุ่ม, แสดงวิธีทำและวิเคราะห์ผลในใบงาน	45
ขั้นสรุป	สรุปประเด็นสำคัญของวัฏจักรทั้งสอง และอภิปรายผลกระทบของ r_c ที่สูงขึ้นต่อ η_{th} ของวัฏจักรดีเซล	นำเสนอคำตอบกลุ่ม, ร่วมสรุป, ซักถาม	15

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

1. ใบความรู้และเอกสารประกอบการสอน (เรื่อง วัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสม)
2. โปรเจกเตอร์/ไวท์บอร์ด สำหรับนำเสนอแผนภาพ P-V และ T-s



3. เครื่องคิดเลขและตารางค่า k สำหรับอากาศมาตรฐาน (ใช้ k=1.4)
4. วิดีโอแสดงการฉีดเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อเชื่อมโยงกับกระบวนการเพิ่มความร้อน

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1 หลักฐานความรู้:

1. แบบทดสอบย่อย (Quiz) เรื่อง องค์ประกอบของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสม
2. การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์ในชั้นเรียน

8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน:

1. ใบงานการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสม (พร้อมแผนภาพ)

9. การวัดและประเมินผล

9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน:

1. สามารถวาดและระบุกระบวนการในแผนภาพ P-V และ T-s ของวัฏจักรดีเซลได้ถูกต้อง
2. คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมถูกต้องไม่น้อยกว่า 70%

9.2 วิธีการประเมิน:

1. การตรวจใบงานการคำนวณ (ปฏิบัติงาน)
2. การตรวจแบบทดสอบย่อย (ความรู้)

9.3 เครื่องมือประเมิน:

1. แบบประเมินผลการปฏิบัติงาน (Rubric)
2. แบบทดสอบ (ข้อกา/แสดงวิธีทำ)

ศรายุทธ ทบเมตร

	ใบความรู้ที่ 2	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถนำความรู้และทักษะการคำนวณจาก **วัฏจักรดีเซล** และ **วัฏจักรผสม** ไปประยุกต์ใช้ในงานอาชีพเพื่อ **ประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ** ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล/เชื้อเพลิงทางเลือก (เช่น เครื่องยนต์ Dual Fuel) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถ **วิเคราะห์ผลกระทบของอัตราส่วนการตัดจ่าย (r_c) และอัตราส่วนความดัน (r_p)** ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน อันเป็นทักษะสำคัญในการ **ปรับปรุงการฉีดเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง** ในเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ: ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างซ่อมเครื่องยนต์ดีเซล

2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์วัฏจักรผสม

5. **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:** สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมได้อย่างถูกต้องไม่น้อยกว่า 70%

6. **วิธีประเมิน:** ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณและการวิเคราะห์ในใบงาน

7. **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):** ใบงานการคำนวณวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสม พร้อมแผนภาพ P-V และ T-s

8. หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่ององค์ประกอบของวัฏจักร และความสัมพันธ์ของ r, r_c, r_p

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ: ช่างเทคนิคซ่อมบำรุงระบบเชื้อเพลิงดีเซล (Diesel Fuel Injection Specialist) และผู้ประเมินผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงคู่ (Dual Fuel Analyst)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 วาดและจำแนกกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่แตกต่างกันของวัฏจักรดีเซล (เพิ่มความร้อนแบบความดันคงที่) และวัฏจักรผสม (เพิ่มความร้อนแบบความดันคงที่และปริมาตรคงที่) ในแผนภาพ P-V และ T-s

3.2 คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซล $\eta_{th,\,Diesel}$ และวัฏจักรผสม $\eta_{th,\,Dual}$ จากอัตราส่วนการอัด r อัตราส่วนการตัดจ่าย r_c และอัตราส่วนความดัน r_P

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความหมายและเขียนสมการประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมได้

4.2 สามารถแก้โจทย์คำนวณเชิงปริมาณเกี่ยวกับประสิทธิภาพของวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซลและวัฏจักรผสม เมื่อทราบค่า r, r_c, r_p ได้อย่างแม่นยำ

4.3 ให้ความสนใจและเห็นความสำคัญของการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเพื่อทำความเข้าใจการทำงานจริงของเครื่องยนต์

4.4 เปรียบเทียบผลกระทบของอัตราส่วน r_c ที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพของวัฏจักรดีเซลได้อย่างมีเหตุผล

5. เนื้อหาสาระ (Learning Contents)

หลักการของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การวิเคราะห์วัฏจักรนี้ ก็เช่นเดียวกับการวิเคราะห์วัฏจักรออตโต คือ ไม่คิดงานที่สูญเสียระหว่างการดูด และ การคายอากาศออกจากกระบอกสูบ เพราะถือว่าเป็นระบบปิด วัฏจักรดีเซลประกอบด้วยกระบวนการ 4 กระบวนการ

5.4 วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล (Air standard diesel cycle)

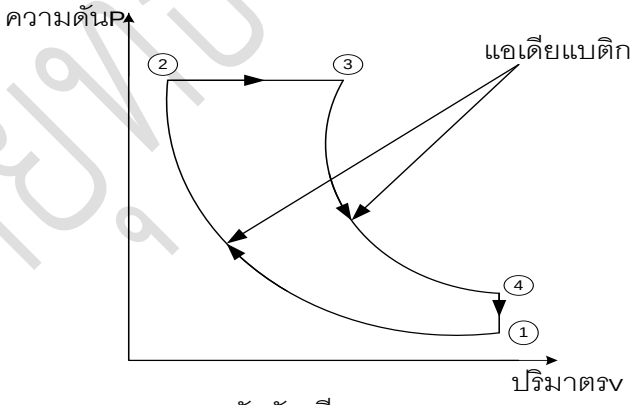
วัฏจักรนี้ ใช้เป็นหลักการของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การวิเคราะห์วัฏจักรนี้ ก็เช่นเดียวกับการวิเคราะห์วัฏจักรออตโต คือ ไม่คิดงานที่สูญเสียระหว่างการดูด และ การคายอากาศออกจากกระบอกสูบ เพราะถือว่าเป็นระบบปิด วัฏจักรดีเซลประกอบด้วยกระบวนการ 4 กระบวนการ

กระบวนการ 1⟶2 เป็นการอัดตัวแบบไม่มีการสูญเสียความร้อน(reversible adiabatic ompression)

กระบวนการ 2⟶ 3 เป็นการรับความร้อนที่ความดันคงที่ (heat added at reversible constant pression)

กระบวนการ 3⟶4 เป็นการขยายตัวแบบไม่มีการสูญเสียความร้อน (reversible adiabatic expansion pression or isentropic expansion process)

กระบวนการ 4⟶1 เป็นการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่ (heated rejected at contsant volume process)



วัฏจักรดีเซล

จะเห็นว่าวัฏจักรของดีเซลแตกต่างกับวัฏจักรออตโตที่กระบวนการรับความร้อนจาก 2⟶ 3 ของออตโตเป็นการรับความร้อนที่ปริมาตรคงที่**แต่**ของวัฏจักรดีเซลเป็นการรับความร้อนที่ความดันคงที่ ส่วนกระบวนการอื่น ๆ เหมือนกันหมด การเปลี่ยนแปลงของความดัน ปริมาตรและ อุณหภูมิในวัฏจักรของดีเซล

กระบวนการ 1 ⟶ 2 เป็นการอัดแบบไอเซนทรอปิก_ (isentropic compression) ***หรือ*** (reversible adiabatic compression) ; $Pv^k = C$

มีความดันสูงขึ้นจาก P_1 เป็น P_2 ปริมาตรลดลงจาก V_1 เป็น V_2

อุณหภูมิสูงขึ้นจาก T_1 เป็น T_2 เอนโทรปีคงที่$S_1 = S_2 = C$

กระบวนการ 2 ⟶ 3 เป็นกระบวนการความดัน –คงที่ (reversible constant pressure) ; P = C

ความดันคงที่ P_2 เท่ากับ P_3

อุณหภูมิเพิ่มจาก T_2 เป็น T_3

เอนโทรปีเพิ่มจาก S_2 เป็น S_3

กระบวนการ 3 ⟶ 4 เป็นการขยายตัวแบบบไอ –เซนทรอปิก (reversible adiabatic expansion) ;$Pv^k = C$

ความดันลดลงจาก P_3 เป็น P_4

ปริมาตรเพิ่มจาก V_3 เป็น V_4

อุณหภูมิลดลงจาก T_3 เป็น T_4

เอนโทรปีคงที่ $S_3 = S_4$

<u>กระบวนการ 4 ⟶ 1 เป็นกระบวนการปริมาตรคงที่ </u>(reversible constant volume) V = C

ความดันลดลงจาก P_4 เป็น P_1

ปริมาตรคงที่ V_4 เท่ากับ V_1

อุณหภูมิลดลงจาก T_4 เป็น T_1

เอนโทรปีลดลง S_4 เป็น S_1

ในการวิเคราะห์วัฏจักรของดีเซลเพื่อหาค่าต่าง ๆ ที่ต้องการทราบ ***เช่น***ประสิทธิภาพทางความร้อน ,งานสุทธิ ถ้าพิจารณาจากรูปที่ จะเห็นว่าที่สภาวะที่ 1 ก่อนสารตัวกลางจะถูกอัดตัว สารตัวกลางที่สภาวะที่ 1 นี้คือ อากาศที่เครื่องยนต์ดูดจากบรรยายกาศ ซึ่งก็หมายความว่า เราทราบค่าความดัน อุณหภูมิ และ ปริมาตรของสารตัวกลางที่สภาวะที่ 1 ***และ*** สมมติว่าทราบค่าอัตราส่วนปริมาตร ***หรือ*** กำลังอัด r_v

จากกระบวนการ 1⟶2 ซึ่งเป็นการอัดแบบแอเดียแบติก (S = C)

$$PV^k = C$$

$$P_1V^k = P_2V^k = C$$

$$\underline{P_1/P_2 = (V_1 / V_2)^k} \qquad \text{.....(ก)}$$

จากสมการของอุดมคติ

$$PV / T = \text{ค่าคงที่}$$

ดังนั้น $P_1V_1 / T_1 = P_2V_2 / T_2$

จะได้ $\underline{P_2 / P_2 = V_1T_2 / V_2T_1}$ .....(ข)

สมการ (ก) เท่ากับสมการ (ข)

$$V_1T_2 / V_2T_1 = (V_1 / V_2)^k$$

$$T_2 / T_1 = (V_1 / V_2)^{k-1}$$

$$T_2 = T_1(V_1 / V_2)^{k-1}$$

$$\underline{T_2 = T_1(r)^{k-1}} \qquad \text{.....(ค)}$$

จากสมการ (ก) $P_2 = P_1(V_1 / V_2)^k$

$$= P_1(r)^k$$

จากกระบวนการ 2⟶3 ซึ่งให้ความร้อนที่ความดันคงที่

ดังนั้น $P_2 = P_3$

จากสมการของก๊าซอุดมคติ

$$V_3 / T_3 = V_2 / T_2$$

$$T_3 = T_2 (V_3 / V_2)$$

จากสมการ (ค)

$$T_3 = (V_3 / V_2) T_1 (r_v)^{k-1}$$

$$T_3 = (r_c) T_1 (r)^{k-1} \quad \text{.....(ง)}$$

กำหนดให้ r_c = **cut-off ratio** = V_3 / V_2

จากกระบวนการ 3⟶4 ซึ่งเป็นการขยายตัวแบบแอเดียแบติก

ดังนั้น $T_4 = T_3 (V_3 / V_4)^{k-1}$

$V_3 / V_4 = V_3 / V_1 \quad ; (v_4 = V_1)$

$V_3 / V_1 = (V_3 / V_2)(V_1 / V_2)$

$= (V_3 / V_2)(V_1 / V_2)$

$= r_c / r$

$T_4 = T_3 (r_c / r)^{k-1}$

แทนค่า T_3 ลงในสมการ

$$\underline{T_4 = T_1 (r_c)^k} \quad \text{.....(จ)}$$

ประสิทธิภาพความร้อน

η_{th} = 1 – (heat rejected / heat added)

= 1- {$mc_v (T_4 - T_1) / mc_P (T_3 – T_2)$}

แทนค่า T_1, T_2, T_3, T_4 จากสมการ (ค) , (ง) , (จ)

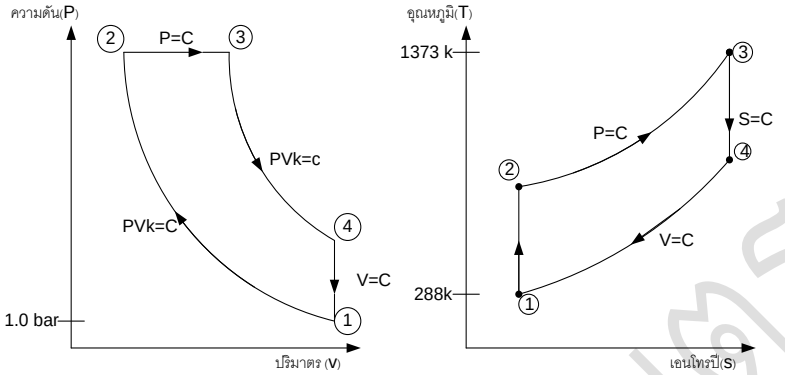
$$\eta_{th} = 1 - [1 / r)^{k-1}][1(r_c^{k-1})/k(r_c-1)]$$

ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรออตโต

$$\eta_{th} = 1 - \{1 / [(r)^{k-1}]\}$$

จากสมการ ประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรออตโต และ ประสิทธิภาพความร้อนของวัฏจักดีเซล ถ้านำมาเปรียบเทียบกันเห็นว่า **ถ้า**กำลังอัดเท่ากันวัฏจักรของออตโตจะมี ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าวัฏจักรดีเซล แต่เพราะเหตุว่า เครื่องยนต์ดีเซล เราสามารถออกแบบให้มีกำลังอัดได้สูงกว่าวัฏจักรของออตโต ดังนั้นจะเห็นว่า ประสิทธิภาพทาง ความร้อนของวัฏจักรดีเซลจึงสูงพอ ๆ กับ วัฏจักรของออตโต (**เมื่อ**ไม่มีถึงกำลังอัด)

ตัวอย่างที่ 1 เครื่องยนต์ดีเซลเครื่องหนึ่ง ดูดอากาศที่ความดัน 1 บาร์ และ อุณหภูมิ 15.0 องศาเซลเซียส เข้าไปด้วยกำลังอัด 12 : 1 ถ้าอุณหภูมิสูงของวัฏจักรเป็น 1100 องศาเซลเซียส จงคำนวณหา งานสุทธิความร้อนที่ได้รับ **และ** ประสิทธิภาพความร้อน



วิธีทำ $V_2 / T_2 = V_3 / T_3$

$T_3 = 1100 + 273$

$= 1373$ K

$V_3 / V_2 = T_3 / T_2 = r_c$

$r_c = 1373 / 778$

$= 1.765$

จากกระบวนการ 4 $\longrightarrow$ 1 ซึ่งเป็นปริมาตรคงที่

$T_4 = T_1 (r_c)^k$

$= (15.0 + 273) (1.765)^{1.4}$

$= 638$ K

ความร้อนที่ได้รับ

$Q_{23} = Q_A = mc_P (T_3 - T_2)$

$= (1)(1.005)(1373 - 788)$

$= 598$ kJ / kg

ความร้อนที่คายออก

$Q_{41} = Q_R = mc_V (T_1 - T_4)$

$= (1) (0.718) (288 - 638)$

$= -251$ kJ / kg

$W_{net} = \Sigma Q = Q_A + Q_R$

$= (598 - 251)$

$= 347$ kJ / kg **ตอบ**

ประสิทธิภาพทางความร้อน

$\eta_{th} = W_{net} / Q_A$

$= 347 / 598$

$= 0.58 = 58\ \%$ **ตอบ**

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

แบบทดสอบ

เรื่อง วัฏจักรดีเซล

คำสั่ง จงแสดงวิธีทำ

1. เครื่องยนต์ทำงานตามวัฏจักรดีเซล โดยมีปริมาตรหัวสูบเท่ากับ 0.00025 m^3 ถ้าd=152.5 mm. ระยะชัก 200mm. ก่อนการอัดตัวอากาศมีความดัน 100 kN / m^2 อุณหภูมิ 20°C หลังจากได้รับความร้อนแบบ P =C อุณหภูมิเป็น 1090 °C จงหาอุณหภูมิ และความดันหลังการอัดตัว และก่อนการขยายตัว และหาประสิทธิภาพของความร้อน และความดันเฉลี่ยของวัฏจักรนี้ K = 1.4 Cv = 0.718 kJ / kg-k Cp = 1.005 kJ / kg-k

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตร ปวส.)

2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill Education.

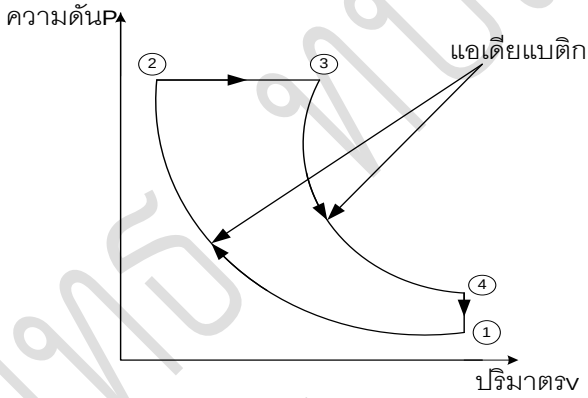
3. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด)

เฉลยแบบทดสอบ

เรื่อง วัฏจักรดีเซล

1. เครื่องยนต์ทำงานตามวัฏจักรดีเซล โดยมีปริมาตรหัวสูบเท่ากับ 0.00025 m^3 ถ้าd=152.5 mm. ระยะชัก 200mm. ก่อนการอัดตัวอากาศมีความดัน 100 kN / m^2 อุณหภูมิ 20°C หลังจากได้รับความร้อนแบบ P =C อุณหภูมิเป็น 1090 °C จงหาอุณหภูมิ และความดันหลังการอัดตัว และก่อนการขยายตัว และหาประสิทธิภาพของความร้อน และความดันเฉลี่ยของวัฏจักรนี้ K = 1.4 Cv = 0.718 kJ / kg-k Cp = 1.005 kJ / kg-k



วัฏจักรดีเซล

<u>วิธีทำ</u>

$$1 \rightarrow 2 \quad S = C$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left[\frac{V_1}{V_2}\right]^{k-1}$$

$$V_1 = V_D + V_2$$

$$V_D = \frac{\pi}{4}\left[0.1525\right]^2 \times 0.2$$

$$= 3.653 \times 10^{-3} \ m^3$$

$$V_1 = V_D + V_2$$

$$= 3.653 \times 10^{-3} + 0.25 \times 10^{-3}$$

$$= 3.903 \times 10^{-3} \ m^3$$

$1 \rightarrow 2$ S =C หา T_2

$$T_2 = T_1 \left[\frac{V_1}{V_2}\right]^{k-1}$$

$$= 293 \left[\frac{3.903 \times 10^{-3}}{2.5 \times 10^{-4}}\right]^{0.4}$$

$$= 879.531 \text{ k}$$

หา P_2 จาก $1 \rightarrow 2$ S = C

$$P_2 V_2^{\,k} = P_1 V_1^{\,k}$$

$$P_2 = P_1\left[\frac{V_1}{V_2}\right]^k$$

$$=100\left[\frac{3.903 \times 10^{-3}}{2.5 \times 10^{-4}}\right]^{0.4}$$

$$= 686.428 \text{ kN / m}^2$$

$$3 \rightarrow 4 \quad S = C$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left[\frac{V_3}{V_4}\right]^{k-1} ; V_4 = V_1$$

หา V_3 จาก $2 \rightarrow 3$ P = C

$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

$$V_3 = V_2 \frac{T_3}{T_2}$$

$$0.00025 \left[\frac{1363}{879.531}\right]$$

$$= 3.874 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left[\frac{V_3}{V_4}\right]^{k-1}$$

$$T_4 = 1363 \left[\frac{3.874 \times 10^{-4}}{3.903 \times 10^{-3}}\right]^{0.4}$$

$$= 541.004 \text{ k}$$

$$4 \rightarrow 1 \quad V = C$$

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1}$$

$$P_4 = \frac{T_4 P_1}{T_1}$$

$$= \frac{541.004 \times 100}{293}$$

$$= 184.643 \ \text{kN / m}^2$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_A}$$

$$Q_A = Q_{23} = mCp\,(T_3 - T_2)$$

$$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1}$$

$$= \frac{100 \times 3.903 \times 10^{-3}}{0.278 \times 293}$$

$$= 4.641 \times 10^{-3} \ \text{kg}$$

$$\underline{Q_A = Q_{23}} = mCp\,(T_3 - T_2)$$

$$= 4.641 \times 10^{-3} \times 1.005\,(1363 - 879.531)$$

$$= 2.255 \ \text{kJ}$$

$$\underline{Q_R = Q_{41}} = mCv\,(T_1 - T_4)$$

$$= 4.641 \times 10^{-3} \times 0.718\,(293 - 541.004)$$

$$= -0.826 \ \text{kJ}$$

$$|Q_R| = 0.826 \ \text{kJ}$$

$$\underline{W_{net}} = Q_A - |Q_R|$$

$$= 2.255 - 0.826$$

$$= 1.429 \ \text{kJ}$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_A}$$

$$= \frac{1.429}{2.255}$$

$$= 0.6337$$

$$= 63.37 \ \%$$

$$\underline{Pm} = \frac{W_{net}}{V_D}$$

$$= \frac{1.429}{3.653 \times 10^{-3}}$$

$$= 391.185 \ \text{kN / m}^2$$

$$= 3.912 \ \text{bar}$$

	ใบงานที่ 1	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล, วัฏจักรผสม		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้จากการปฏิบัติงาน

ผู้เรียนสามารถ**วาดและจำแนก**กระบวนการเพิ่มความร้อนที่แตกต่างกันใน **วัฏจักรดีเซล** (ความดันคงที่) และ **วัฏจักรผสม** (ปริมาตรคงที่ + ความดันคงที่) พร้อมทั้งสามารถ**คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน**ของวัฏจักรทั้งสอง เมื่อทราบอัตราส่วนการอัด (r}) อัตราส่วนการตัดจ่าย (r_c) และอัตราส่วนความดัน (r_p) เพื่อประเมินผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ดีเซล ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เชื้อเพลิงคู่
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคระบบหัวฉีดและวิศวกรวิเคราะห์การประหยัดเชื้อเพลิง (Fuel Economy Analyst)

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 วาดและระบุองค์ประกอบของกระบวนการในวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมบนแผนภาพ P-V และ T-s ได้อย่างถูกต้อง

3.2 คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซล ($\eta_{th,\ Diesel}$) และวัฏจักรผสม ($\eta_{th,\ Dual}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วน (r), (r_c, r_p) ที่กำหนดให้

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความหมายของอัตราส่วนการตัดจ่าย r_c, และอัตราส่วนความดัน r_p ในวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมได้

4.2 สามารถใช้สูตรประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมในการคำนวณหาค่าได้อย่างถูกต้อง

4.3 ให้ความสนใจในการวิเคราะห์ผลการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรที่แตกต่างกัน

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์จำลอง (ตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 ใบความรู้/ตำราเรียน เรื่อง วัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสม

5.4 ดินสอ/ปากกา และไม้บรรทัด สำหรับวาดแผนภาพ

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. ใช้ค่า k = 1.4 สำหรับอากาศมาตรฐาน (Air Standard Assumption) เว้นแต่โจทย์จะกำหนดค่าอื่น

2. การเพิ่มความร้อนในวัฏจักรดีเซลเกิดขึ้นที่ **ความดันคงที่**, ในขณะที่วัฏจักรผสมแบ่งเป็น **ปริมาตรคงที่** และ **ความดันคงที่**

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (โจทย์ปัญหาและการวิเคราะห์)

ภารกิจที่ 1: การวาดแผนภาพและการวิเคราะห์วัฏจักร (3.4 และ 3.5)

1. **วัฏจักรดีเซล:**
   1) วาดแผนภาพ P-V ของวัฏจักรดีเซล (แสดง 4 กระบวนการ)
   2) ระบุจุดที่เกิด **อัตราส่วนการตัดจ่าย** r_c บนแผนภาพ P-V
2. **วัฏจักรผสม:**
   1) วาดแผนภาพ P-V ของวัฏจักรผสม (แสดง 5 กระบวนการ)
   2) ระบุจุดที่เกิด **อัตราส่วนความดัน** r_p และ **อัตราส่วนการตัดจ่าย** r_c บนแผนภาพ P-V

ภารกิจที่ 2: การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน

สถานการณ์: เครื่องยนต์ดีเซล 2 เครื่อง มีอัตราส่วนการอัดเท่ากัน r = 18:1 และใช้ k = 1.4$**เครื่องยนต์ A (วัฏจักรดีเซล):** มีอัตราส่วนการตัดจ่าย r_c, A = 2.0

คำนวณ $\eta_{th,\ Diesel}$ หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ A

$$\eta_{th,Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}\left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)}\right]$$

1. **เครื่องยนต์ B (วัฏจักรดีเซล)** มีอัตราส่วนการตัดจ่าย r_c, B = 2.5
   1) **คำนวณ ηth, Diesel** หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ B
2. **เครื่องยนต์ C (วัฏจักรผสม)** เครื่องยนต์ C มี r = 18, k = 1.4 โดยมีอัตราส่วนความดัน r_p = 1.2 และอัตราส่วนการตัดจ่าย r_c = 1.8
   1) คำนวณ $\eta_{th,\ Dual}$ หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ C

$$\eta_{th,Dual} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}\left[\frac{r_p r_c^k - 1}{r_p - 1 + r_p k(r_c - 1)}\right]$$

8. สรุปและวิจารณ์ผล

1. จากผลการคำนวณในภารกิจที่ 2 (ข้อ 1 และ 2) จงสรุปผลกระทบของ อัตราส่วนการตัดจ่าย r_c ที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซล

ศูนย์วิทยทรัพยากร

.....

.....

2. อธิบายว่าทำไม วัฏจักรผสม จึงถูกพิจารณาว่าใกล้เคียงกับการทำงานจริงของเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่มากกว่าวัฏจักรดีเซลมาตรฐาน

.....

.....

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	**เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)**
ภารกิจ 1: การวาดแผนภาพ P-V และการระบุกระบวนการและอัตราส่วนต่าง ๆ ถูกต้อง	15
ภารกิจ 2: การคำนวณ η_{th} ของวัฏจักรดีเซล (2 ค่า) และวัฏจักรผสม ถูกต้อง	15
สรุปและวิจารณ์ผล: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และให้เหตุผลถูกต้อง	10
รวมคะแนน	**40**

10. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ประกอบการสอน เรื่อง วัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสม
2. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน

ศรายุทธ ทาบุตร

	ใบกิจกรรมที่ 2	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้จากการปฏิบัติงาน

ผู้เรียนสามารถ**วาดและจำแนก**กระบวนการเพิ่มความร้อนที่แตกต่างกันใน **วัฏจักรดีเซล** (ความดันคงที่) และ **วัฏจักรผสม** (ปริมาตรคงที่ + ความดันคงที่) พร้อมทั้งสามารถ**คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน**ของวัฏจักรทั้งสอง เมื่อทราบอัตราส่วนการอัด (r}) อัตราส่วนการตัดจ่าย (r_c) และอัตราส่วนความดัน (r_p) เพื่อประเมินผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

4. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ดีเซล ช่างเทคนิคยานยนต์
5. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เชื้อเพลิงคู่
6. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคระบบหัวฉีดและวิศวกรวิเคราะห์การประหยัดเชื้อเพลิง (Fuel Economy Analyst)

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 วาดและระบุองค์ประกอบของกระบวนการในวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมบนแผนภาพ P-V และ T-s ได้อย่างถูกต้อง

3.2 คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซล ($\eta_{th,\ Diesel}$) และวัฏจักรผสม ($\eta_{th,\ Dual}$) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วน (r), (r_c, r_p) ที่กำหนดให้

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความหมายของอัตราส่วนการตัดจ่าย r_c, และอัตราส่วนความดัน r_p ในวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมได้

4.2 สามารถใช้สูตรประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมในการคำนวณหาค่าได้อย่างถูกต้อง

4.3 ให้ความสนใจในการวิเคราะห์ผลการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัฏจักรที่แตกต่างกัน

4.3 ให้ความสนใจและเห็นความสำคัญของการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเพื่อทำความเข้าใจการทำงานจริงของเครื่องยนต์

4.4 เปรียบเทียบผลกระทบของอัตราส่วน r_c ที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพของวัฏจักรดีเซลได้อย่างมีเหตุผล

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์จำลอง (ตามขั้นตอนการทำกิจกรรม)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 ใบความรู้/ตำราเรียน เรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล

5.4 อุปกรณ์วาดภาพ (ดินสอ, ไม้บรรทัด)

6. ขั้นตอนการทำกิจกรรม (เวลาปฏิบัติ: 90 นาที)

กิจกรรม 1: การเปรียบเทียบแผนภาพวัฏจักร (40 นาที)

1. นักเรียนในกลุ่มทบทวนความแตกต่างของกระบวนการในเรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล

2. **มอบหมาย:** วาดแผนภาพ P-V และ T-s ของ **เรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล** และ **วัฏจักรผสม**โดยใช้กระบวนการ 4 กระบวนการของแต่ละวัฏจักร

3. **วิเคราะห์:** ระบุข้อดีและข้อเสียทางทฤษฎีเรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อนำมาใช้จริงในเครื่องยนต์ (เช่น การถ่ายเทความร้อนแบบ Isothermal ยากในทางปฏิบัติ)

กิจกรรม 2: การคำนวณและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (40 นาที)

สถานการณ์: บริษัทผลิตเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 2 บริษัท มีการออกแบบอัตราส่วนการอัดดังนี้:

บริษัท A: อัตราส่วนการอัด r_A = 8:1

บริษัท B: อัตราส่วนการอัด r_B = 10:1

กำหนดให้ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ k = 1.4

1. **คำถาม 2.1** คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโตของ **บริษัท A** η_{th}, A)

2. **คำถาม 2.2** คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโตของ **บริษัท B** η_{th}, B)

3. **คำถาม 2.3 (อัตราส่วนของงาน)** ในการทำงานจริง งานที่ได้จากการขยายตัว W_{exp} ของเครื่องยนต์เท่ากับ 120 kJ และงานที่ต้องใช้ในการอัด W_{comp} เท่ากับ 30 kJ จงคำนวณ **อัตราส่วนของงาน** $W_{ratio} = W_{net} /W_{exp}$

7. สรุปและอภิปราย

1. อภิปรายผล: ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของบริษัทใดดีกว่ากัน? (A หรือ B) และการเพิ่มอัตราส่วนการอัด (r) ส่งผลต่อการออกแบบเครื่องยนต์จริงอย่างไร (เช่น ปัญหาการน็อคของเครื่องยนต์)?

.....

.....

2. อธิบายความแตกต่างหลักระหว่างการเพิ่มความร้อนในวัฏจักรออตโต (ปริมาตรคงที่) และวัฏจักรดีเซล (ความดันคงที่) ในแง่ของการใช้งานจริง

....

.....

8. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
กิจกรรม 1: ความถูกต้องของการวาดแผนภาพ P-V, T-s และการระบุกระบวนการ	15
กิจกรรม 2: ความถูกต้องของการคำนวณ ($\eta_{th,\ Diesel}$) ทั้งสองกรณี และ W_{ratio}	15
สรุปและอภิปราย: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และเข้าร่วมการนำเสนออย่างมีเหตุผล	10
รวมคะแนน	**40**

9. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ประกอบการสอน เรื่อง เรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล
2. ตารางค่า k สำหรับก๊าซต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง

ศรายุทธ ทบเนตร

	ใบมอบหมายงาน	หน่วยที่ 3
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 8
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล	ทฤษฎี 1 ชม. ปฏิบัติ 2 ชม.
ชื่อเรื่อง/วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถนำความรู้และทักษะการคำนวณจาก **วัฏจักรดีเซล** และ **วัฏจักรผสม** ไปประยุกต์ใช้ในงานอาชีพเพื่อ **ประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ** ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล/เชื้อเพลิงทางเลือก (เช่น เครื่องยนต์ Dual Fuel) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถ **วิเคราะห์ผลกระทบของอัตราส่วนการตัดจ่าย (r_c) และอัตราส่วนความดัน (r_p)** ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน อันเป็นทักษะสำคัญในการ **ปรับปรุงการฉีดเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง** ในเครื่องยนต์ดีเซลสมัยใหม่

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ: ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างซ่อมเครื่องยนต์ดีเซล

3. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์วัฏจักรผสม

9. **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:** สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมได้อย่างถูกต้องไม่น้อยกว่า 70%

10. **วิธีประเมิน:** ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณและการวิเคราะห์ในใบงาน

11. **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):** ใบงานการคำนวณวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสม พร้อมแผนภาพ P-V และ T-s

12. หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่ององค์ประกอบของวัฏจักร และความสัมพันธ์ของ r, r_c, r_p

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ: ช่างเทคนิคซ่อมบำรุงระบบเชื้อเพลิงดีเซล (Diesel Fuel Injection Specialist) และผู้ประเมินผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงคู่ (Dual Fuel Analyst)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 วาดและจำแนกกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่แตกต่างกันของวัฏจักรดีเซล (เพิ่มความร้อนแบบความดันคงที่) และวัฏจักรผสม (เพิ่มความร้อนแบบความดันคงที่และปริมาตรคงที่) ในแผนภาพ P-V และ T-s

3.2 คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซล $\eta_{th,\,Diesel}$ และวัฏจักรผสม $\eta_{th,\,Dual}$ จากอัตราส่วนการอัด r อัตราส่วนการตัดจ่าย r_c และอัตราส่วนความดัน r_P

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความหมายและเขียนสมการประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสมได้

4.2 สามารถแก้โจทย์คำนวณเชิงปริมาณเกี่ยวกับประสิทธิภาพของวัฏจักรดีเซลและวัฏจักรผสม เมื่อทราบค่า r, r_c, r_p ได้อย่างแม่นยำ

4.3 ให้ความสนใจและเห็นความสำคัญของการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเพื่อทำความเข้าใจการทำงานจริงของเครื่องยนต์

4.4 เปรียบเทียบผลกระทบของอัตราส่วน r_c ที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพของวัฏจักรดีเซลได้อย่างมีเหตุผล

5. รายละเอียดของงาน (โจทย์สถานการณ์จำลอง)

นักศึกษาต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาต่อไปนี้ โดยแสดงวิธีทำอย่างละเอียดและแนบแผนภาพประกอบ

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์เรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล(ภาคบรรยายและแผนภาพ)

1. **การวิเคราะห์วัฏจักรออตโต**
   1) วาดแผนภาพ P-V ของวัฏจักรออตโต (แสดง 4 กระบวนการ: อัด Isoentropic, เพิ่มความร้อน Isochoric, ขยาย Isoentropic, คายความร้อน Isochoric)
   2) อธิบายว่า เหตุใดวัฏจักรออตโตจึงถูกเรียกว่าเป็น **วัฏจักรปริมาตรคงที่**
2. **การวิเคราะห์เรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล**
   1) อธิบายเรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซลเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องยนต์อย่างไร และเหตุใดจึงไม่สามารถนำมาใช้จริงในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้

ส่วนที่ 2: การคำนวณประสิทธิภาพและการเปรียบเทียบ (ภาคคำนวณ)

สถานการณ์ เครื่องยนต์เบนซินเครื่องหนึ่งทำงานระหว่างอุณหภูมิ T_H = 1200 K และ T_L = 300 K และมีอัตราส่วนการอัด r = 9:1 (กำหนดให้ k = 1.4)

คำนวณ $\eta_{th,\ Diesel}$ หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ A

$$\eta_{th,Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}\left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)}\right]$$

(วัฏจักรดีเซล) มีอัตราส่วนการตัดจ่าย r_c, B = 2.5

ηth, Diesel หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ B

3. **เครื่องยนต์ C (วัฏจักรผสม)** เครื่องยนต์ C มี r = 18, k = 1.4 โดยมีอัตราส่วนความดัน r_p = 1.2 และอัตราส่วนการตัดจ่าย r_c = 1.8

1) คำนวณ $\eta_{th,\ Dual}$ หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ C

$$\eta_{th,Dual} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}\left[\frac{r_p r_c^k - 1}{r_p - 1 + r_p k(r_c - 1)}\right]$$

6. กำหนดเวลาส่งงาน

วันที่: ..... (สัปดาห์หน้า/ตามที่ตกลง)

7. แนวทางในการปฏิบัติงาน

1. ใช้ค่า k = 1.4 ในการคำนวณวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซลเสมอ เว้นแต่จะระบุเป็นอื่น
2. การวาดแผนภาพ P-V ควรใช้แกนและระบุทิศทางของกระบวนการให้ถูกต้อง
3. แสดงวิธีคำนวณทุกขั้นตอน และขีดเส้นใต้คำตอบสุดท้าย

8. แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 3)
2. เว็บไซต์/วิดีโออธิบายการทำงานของ Diesel Carnot Cycle และ Duel Cycle
3. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** (หัวข้อ Air Standard Cycles)

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	**เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)**
กิจกรรม 1: ความถูกต้องของการวาดแผนภาพ P-V, T-s และการระบุกระบวนการ	15
กิจกรรม 2: ความถูกต้องของการคำนวณ ($\eta_{th,\ Diesel}$) ทั้งสองกรณี และ W_{ratio}	15
สรุปและอภิปราย: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และเข้าร่วมการนำเสนออย่างมีเหตุผล	10
รวมคะแนน	**40**

ศรายุทธ พุทธเสาร์

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 9-12
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	ทฤษฎี 4 ชม. ปฏิบัติ 8 ชม.
ชื่อเรื่อง/ตัวชี้วัดสมรรถนะและการวัดกำลังของเครื่องยนต์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถนำหลักการและสูตรการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะเครื่องยนต์ เช่น **กำลังม้าเบรก (Brake Horsepower, BHP)**, **ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption, SFC)** และ **ประสิทธิภาพทางกล η_m)** ไปประยุกต์ใช้ในงานอาชีพเพื่อ **ประเมินสภาพและสมรรถนะจริง** ของเครื่องยนต์ที่กำลังซ่อมบำรุง หรือกำลังปรับแต่ง โดยสามารถระบุได้ว่าพลังงานที่สูญเสียไปเกิดจาก **กำลังม้าเสียดทาน (η_{FHP})** หรือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (ประสิทธิภาพทางความร้อน) ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในการ **วินิจฉัยและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง**

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ: ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ (Engine Performance Tester)

สมรรถนะย่อย: ทดสอบและคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะหลักของเครื่องยนต์

1. **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:** สามารถคำนวณค่า BHP, IHP, FHP, SFC, ηm และ η_{th} ได้อย่างถูกต้องเมื่อมีข้อมูลพื้นฐานจากการทดสอบ

2. **วิธีประเมิน:** ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณในแบบฝึกหัดและการวิเคราะห์

3. **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):** ใบงานการคำนวณสมรรถนะเครื่องยนต์จากข้อมูลสมมติที่ได้จากเครื่องวัดกำลัง (Dynamometer)

4. หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): แบบทดสอบวัดความเข้าใจในความหมายของกำลังแต่ละประเภทและประสิทธิภาพ

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ: ช่างทดสอบกำลังเครื่องยนต์ด้วย Dynamometer, วิศวกรควบคุมคุณภาพยานยนต์ (Quality Control Engineer)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 อธิบายและคำนวณ กำลังม้าทั้งสามชนิด (BHP, IHP, FHP) และใช้ความสัมพันธ์ของกำลังเหล่านี้ในการประเมินประสิทธิภาพทางกล (η_m)

3.2 วิเคราะห์และคำนวณ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC / ISFC) และประสิทธิภาพทางความร้อน (η_{th}) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานความร้อนเป็นงานกล

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความหมายและความแตกต่างระหว่าง กำลังม้าเบรก กำลังม้าชี้บ่ง กำลังม้าเสียดทาน และประสิทธิภาพทั้งสองชนิดได้อย่างชัดเจน

4.2 สามารถใช้สูตรในการคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่างๆ ของเครื่องยนต์ได้อย่างแม่นยำให้ความสนใจและเห็นความสำคัญของการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์ในเชิงปริมาณเพื่อการบำรุงรักษาและการปรับปรุง

4.3 เปรียบเทียบผลการคำนวณ FHP กับเครื่องยนต์ที่มีสภาพแตกต่างกันเพื่อระบุการสึกหรอหรือปัญหาการหล่อลื่น

5. เนื้อหาสาระ

5.1 ความหมายของสมรรถนะของเครื่องยนต์: การวัดผลลัพธ์ของพลังงานที่ผลิตได้และการใช้เชื้อเพลิง

5.2 การวัดกำลังม้าเบรก (Brake Horsepower, BHP/BP): กำลังที่วัดได้ที่เพลาข้อเหวี่ยง (Power Output) โดยใช้เครื่องวัดกำลัง (Dynamometer)

$$\boldsymbol{BHP} = \frac{2\pi NT}{k}$$

(เมื่อ T คือแรงบิด, N คือความเร็วรอบ)

5.3 การวัดกำลังม้าชี้บ่ง (Indicated Horsepower, IHP/IP): กำลังที่ผลิตได้ภายในกระบอกสูบ (ไม่รวมการสูญเสีย)

5.4 กำลังม้าเสียดทาน (Friction Horsepower, FHP/FP): กำลังที่สูญเสียไปกับความเสียดทานและการขับเคลื่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ

$$\boldsymbol{IHP = BHP + FHP}$$

5.5 ความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption, FC): อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง

$$\boldsymbol{BSFC} = \frac{\dot{m}_f}{BHP}, \boldsymbol{ISFC} = \frac{\dot{m}_f}{IHP}$$

5.6 ความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption, SFC): อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ผลิตได้

$$\boldsymbol{BSFC} = \frac{\dot{m}_f}{BHP}, \boldsymbol{ISFC} = \frac{\dot{m}_f}{IHP}$$

5.7 ประสิทธิภาพทางกล (Mechanical Efficiency, $\boldsymbol{\eta_{m}}$): ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนกำลังภายในเป็นกำลังส่งออก

$$\boldsymbol{\eta_m} = \frac{BHP}{IHP} \times 100$$

5.8 ประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal Efficiency, η_{th}) ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนในเชื้อเพลิงเป็นงานกล

(เมื่อ Qhv คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิง)

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

1. **แบบฝึกหัดคำนวณ:** โจทย์สถานการณ์จำลองเกี่ยวกับการทดสอบเครื่องยนต์ (เช่น การวัดแรงบิดและความเร็วรอบจาก Dyno) เพื่อให้นักเรียนคำนวณหา BHP, FHP, BSFC และ eta_m
2. **แบบทดสอบปรนัย:** ทดสอบความเข้าใจในความหมายและสูตรที่ใช้สำหรับตัวชี้วัดสมรรถนะต่างๆ
3. **คำถามวิเคราะห์:** ถามเพื่อเปรียบเทียบว่าเมื่อ BSFC ลดลง จะส่งผลต่อ ηth อย่างไร

7. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 4)
2. คู่มือการใช้งานเครื่องวัดกำลัง (Dynamometer)
3. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

8. ภาคผนวก (ตัวอย่างโจทย์แบบฝึกหัด)

เครื่องยนต์ 4 สูบเครื่องหนึ่ง ให้กำลังม้าเบรก (BHP) เท่ากับ 50 kW และใช้เชื้อเพลิงในอัตรา เท่ากับ 12 kg/h หากทราบว่ากำลังม้าชี้บ่ง (IHP) มีค่าเท่ากับ 65 kW และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Q_{hv}) คือ 42,000 kJ/kg จงคำนวณหา

1. กำลังม้าเสียดทาน (FHP) (หน่วย kW)
2. ความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) (หน่วย kW-h)
3. ประสิทธิภาพทางกล (ηm)
4. ประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก ($\eta_{th,\ brake}$)

	ใบความรู้ที่ 1	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 9-12
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	ทฤษฎี 6 ชม. ปฏิบัติ 12 ชม.
ชื่อเรื่อง/ตัวชี้วัดสมรรถนะและการวัดกำลังของเครื่องยนต์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถนำหลักการและสูตรการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะเครื่องยนต์ เช่น **กำลังม้าเบรก (Brake Horsepower, BHP)**, **ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption, SFC)** และ **ประสิทธิภาพทางกล η_m)** ไปประยุกต์ใช้ในงานอาชีพเพื่อ **ประเมินสภาพและสมรรถนะจริง** ของเครื่องยนต์ที่กำลังซ่อมบำรุง หรือกำลังปรับแต่ง โดยสามารถระบุได้ว่าพลังงานที่สูญเสียไปเกิดจาก **กำลังม้าเสียดทาน (η_{FHP})** หรือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (ประสิทธิภาพทางความร้อน) ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในการ **วินิจฉัยและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง**

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ: ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ (Engine Performance Tester)

สมรรถนะย่อย: ทดสอบและคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะหลักของเครื่องยนต์

5. **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:** สามารถคำนวณค่า BHP, IHP, FHP, SFC, ηm และ η_{th} ได้อย่างถูกต้องเมื่อมีข้อมูลพื้นฐานจากการทดสอบ

6. **วิธีประเมิน:** ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณในแบบฝึกหัดและการวิเคราะห์

7. **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):** ใบงานการคำนวณสมรรถนะเครื่องยนต์จากข้อมูลสมมติที่ได้จากเครื่องวัดกำลัง (Dynamometer)

8. หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): แบบทดสอบวัดความเข้าใจในความหมายของกำลังแต่ละประเภทและประสิทธิภาพ

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ: ช่างทดสอบกำลังเครื่องยนต์ด้วย Dynamometer, วิศวกรควบคุมคุณภาพยานยนต์ (Quality Control Engineer)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 อธิบายและคำนวณ กำลังม้าทั้งสามชนิด (BHP, IHP, FHP) และใช้ความสัมพันธ์ของกำลังเหล่านี้ในการประเมินประสิทธิภาพทางกล (η_m)

3.2 วิเคราะห์และคำนวณ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC / ISFC) และประสิทธิภาพทางความร้อน (η_{th}) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานความร้อนเป็นงานกล

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความหมายและความแตกต่างระหว่าง กำลังม้าเบรก กำลังม้าชี้บ่ง กำลังม้าเสียดทาน และประสิทธิภาพทั้งสองชนิดได้อย่างชัดเจน

4.2 สามารถใช้สูตรในการคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ได้อย่างแม่นยำให้ความสนใจและเห็นความสำคัญของการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์ในเชิงปริมาณเพื่อการบำรุงรักษาและการปรับปรุง

4.3 เปรียบเทียบผลการคำนวณ FHP กับเครื่องยนต์ที่มีสภาพแตกต่างกันเพื่อระบุการสึกหรอหรือปัญหาการหล่อลื่น

5. เนื้อหาสาระ (Learning Contents)

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

การเลือกใช้เครื่องยนต์เพื่อเป็นต้นกำลังในงานต่าง ๆ หรือภายหลังที่มีการ Rebuilt เครื่องยนต์ก็ดี ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือความต้องการในการทราบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ในการทดลองเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์หรือกำลังงานทางกล (Mechanical Power) ที่ใช้ขับเครื่องกลหรือกำลังงานที่เครื่องยนต์ผลิตมาได้นั้น โดยปกติจะวัดออกมาเป็นแรงบิด (Torque) เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแรงบิดดังกล่าวมีหมายแบบด้วยกัน

แบบต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

9.1 เบรคเชือก

เบรคเชือก (Rope brake) เป็นอุปกรณ์สำหรับทดสอบหาสมรรถะของเครื่องยนต์แบบหนึ่งที่มีใช้ในอดีต ซึ่งประกอบด้วยเชือกหนังหรือวัสดุที่มีคุณภาพใกล้เคียง และที่ปลายข้างหนึ่งของเชือกจะยึดติดกับตาชั่งสปริง และตาชั่งสปริงจะยึดติดกับพื้นตามรูป ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเป็นที่สำรับแขวนน้ำหนักที่สามารถเพิ่มและลดได้ ในการทดลองเพื่อต้องการให้เครื่องยนต์รับภาระมากก็โดยการเพิ่มน้ำหนักและในทางตรงกันข้ามในกรณีที่ต้องการทดลองที่ภาระต่ำ ก็ลดน้ำหนักลง

m_s = มวลที่อ่านได้จากตาชั่วสปริง kg.

แรง F นี้กระทำที่รัศมี $= \frac{D + d}{2}$

เมื่อ D = เส้นผ่าศูนย์กลางของพลูเลย์ m

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของเชือก m

$\therefore$ แรงระเบิด (T) $= g\,(m - m_s)\,\frac{D + d}{2}$

แต่ถ้าขนาดของเชือกมีขนาดเล็กมาก อาจไม่ต้องคิดขนาดของเชือกจะได้สมการดังนี้

$T = \frac{D}{2}\, g\,(m - m_s)$

9.2 โพรนี่เบรค

โพรนี่เบรค (Prony brake) เป็นอุปกรณ์เพื่อทดสอบหาแรงบิดอีกปบบหนึ่งที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแบบเบรคเชือก โดยประกอบไปด้วยพูลเลย์ใหญ่ และมีชุดเบรคที่มีด้ามต่อยาวประกอบอยู่ และที่ปลายด้ามต่อจะมีน้ำหนักถ่วงซึ่งสามารถเพิ่มและลดน้ำหนักดังกล่าวได้ การปรับความฝืดเพื่อลดหรือเพิ่มความฝืดเพื่อการทดสอบโดยการเปลี่ยนภาระของเครื่องยนต์ กระทำได้โดยขันสกรูที่มีสปริงรองรับอยู่ ในขณะทดลองคานเบรคจะต้องอยู่ในแนวระดับตลอดเวลา โดยที่แรงบิด (T) จะหาได้จากสมการ

$$T = gmr$$

เมื่อ T = แรงบิด N – m

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก m/s^2

m = มวลของน้ำหนักที่ปลายคาน kg

r = ระยะจากศูนย์กลางของพูลเลย์ไปยังตำแหน่งที่แขวนน้ำหนัก m.

เครื่องทดสอบแบบ Prony brake เหมาะสำหรับใช้กับเครื่องยนต์รอบค่ำเช่นกัน

9.3 ไดนาโมมีเตอร์

ไดนาโมมีเตอร์ (Dynamometer) เป็นอุปกณ์สำหรับทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยที่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดแรงบิดและความเร็วเชิงมุม ลักษณะของภาระที่กระทำต่อเครื่องยนต์ซึ่งมีผลต่อแรงบิดที่วัดได้เหมือนกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลของภาระที่มีต่อ Stress และ Deflection ในชิ้นส่วนของเครื่องกลด้วย

Dynamometer แบ่งเป็น 3 แบบ คือ

1. Absorption dynamometer
2. Driving dynamometer
3. Transmission dynamometer

Absorption dynamometer แบบนี้ใช้เครื่องต้นกำลังขับแล้วหาค่าแรงบิดออกมาเลย เหมาะสำหรับวัดกำลังหรือแรงบิดของเครื่องต้นกำลังต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า ฯลฯ

Driving dynamometer แบบนี้จะใช้เครื่องต้นกำลังมาเป็นตัวขับเพื่อวัดแรงบิด หรือกำลังของเครื่องต้นกำลังนั้น ๆ ก็ได้ (เช่นเดียวกับ Absorption dynamometer) แต่ Driving dynamometer ยังสามารถนำไปใช้ขับ Machinery ต่าง ๆ ได้ด้วย โดยมีจุดประสงค์ที่จะหาสมรรถนะของ Machinery แต่ละชนิดนั้น ๆ เช่นในกรณีที่เราต้องการหาสมรรถนะของปั๊มหรือเครื่องอัดอากาศ เราก็ใช้ Driving dynamometer มาเป็นตัวขับปั๊มหรือเครื่องวัดอากาศ เป็นต้น

Transmission dynamometer แบบนี้อาจติดตั้งอยู่ใน Machine หรือติดตั้งอยู่ระหว่าง Machine 2 Machine เพื่อต้องการหาต่างของแรงบิด เฉพาะที่นั้น ๆ โดยที่ Transmission dynamometer ไม่ช่วยในการลดหรือเพิ่ม Energy แต่อย่างใด บางทีเรียกว่า Torque meter

1. เบรคเชือกเป็นอุปกรณ์สำหรับทดสอบหาสมรรถะของเครื่องยนต์แบบหนึ่งที่มีใช้ในอดีตซึ่งสามารถเขียนสมการได้ คือ $F = g, (m-m_s)$

2. โพรนี่เบรกเป็นอุปกรณ์เพื่อทดสอบหาแรงบิดอีกปบบหนึ่งที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแบบเบรคเชือก สมการคือ

T = gmr

3. ไดนาโมมิเตอร์เป็นอุปกณ์สำหรับทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยที่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดแรงบิดและความเร็วเชิงมุมลักษณะของภาระที่กระทำต่อเครื่องยนต์ซึ่งมีผลต่อแรงบิดที่วัดได้เหมือนกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลของภาระที่มีต่อ Stress และ Deflection ในชิ้นส่วนของเครื่องกลด้วย

ไดนาโมมีเตอร์ (Dynamometer) เป็นอุปกณ์สำหรับทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยที่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดแรงบิดและความเร็วเชิงมุม ลักษณะของภาระที่กระทำต่อเครื่องยนต์ซึ่งมีผลต่อแรงบิดที่วัดได้เหมือนกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลของภาระที่มีต่อ Stress และ Deflection ในชิ้นส่วนของเครื่องกลด้วย

Dynamometer แบ่งเป็น 3 แบบ คือ

1 Absorption dynamometer
2. Driving dynamometer
3. Transmission dynamometer

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

แบบทดสอบ

เรื่อง การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

คำสั่ง ตอบคำถามดังต่อไปนี้

1. เบรกเชือกคืออะไร และมีสมการว่าอย่างไร

.....

.....

.....

2. โพรนี่เบรกคืออะไร และมีสมการว่าอย่างไร

.....

.....

.....

3. ไดนาโมมิเตอร์คืออะไร และมีแบบใดบ้าง

.....

.....

.....

4. Fan brakes Propcllers มีลักษณะการใช้งานอย่างไร

.....

.....

.....

7. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตร ปวส.)

2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill Education.

3. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด)

เฉลยแบบทดสอบ

เรื่อง การทดสอบสมรรถณะของเครื่องยนต์

1. **เบรคเชือก (Rope brake)** เป็นอุปกรณ์สำหรับทดสอบหาสมรรถะของเครื่องยนต์แบบหนึ่งที่มีใช้ในอดีต ซึ่งประกอบด้วยเชือกหนังหรือวัสดุที่มีคุณภาพใกล้เคียง และที่ปลายข้างหนึ่งของเชือกจะยึดติดกับตาชั่งสปริง และตาชั่งสปริงจะยึดติดกับพื้นตามรูป ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเป็นที่สำรับแขวนน้ำหนักที่สามารถเพิ่มและลดได้ ในการทดลองเพื่อต้องการให้เครื่องยนต์รับภาระมากก็โดยการเพิ่มน้ำหนักและในทางตรงกันข้ามในกรณีที่ต้องการทดลองที่ภาระต่ำ ก็ลดน้ำหนักลงเบรคเชือกเป็นเครื่องทดสอบสมรรถณะของเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบต่ำในการหาแรงบิด เพื่อนำไปคำนวณหากำลังของเครื่องยนต์ จะได้แรงในแนวสัมผัสที่เครื่องยนต์ ถูกต้านโดยความฝืดที่ขอบของพูลเลย์ ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$F = g, (m-m_s)$$

เมื่อ F = แรงในแนวสัมผัส N

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก m/s^2

m = มวลของน้ำหนักถ่วง kg.

m_s = มวลที่อ่านได้จากตาชั่วสปริง kg.

แรง F นี้กระทำที่รัศมี $= \frac{D + d}{2}$

เมื่อ D = เส้นผ่าศูนย์กลางของพลูเลย์ m

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของเชือก m

$\therefore$ แรงระเบิด (T) $= g\,(m - m_s)\,\frac{D + d}{2}$

แต่ถ้าขนาดของเชือกมีขนาดเล็กมาก อาจไม่ต้องคิดขนาดของเชือกจะได้สมการดังนี้

$$T = \frac{D}{2}\, g\,(m - m_s)$$

2. โพรนี่เบรค (Prony brake) เป็นอุปกรณ์เพื่อทดสอบหาแรงบิดอีกปบบหนึ่งที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแบบเบรคเชือก โดยประกอบไปด้วยพูลเลย์ใหญ่ และมีชุดเบรคที่มีด้ามต่อยาวประกอบอยู่ และที่ปลายด้ามต่อจะมีน้ำหนักถ่วงซึ่งสามารถเพิ่มและลดน้ำหนักดังกล่าวได้ การปรับความฝืดเพื่อลดหรือเพิ่มความฝืดเพื่อการทดสอบโดยการเปลี่ยนภาระของเครื่องยนต์ กระทำได้โดยขันสกรูที่มีสปริงรองรับอยู่ ในขณะทดลองคานเบรคจะต้องอยู่ในแนวระดับตลอดเวลา โดยที่แรงบิด (T) จะหาได้จากสมการ

T = gmr

เมื่อ T = แรงบิด N – m.

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก m/s^2

m = มวลของน้ำหนักที่ปลายคาน kg.

r = ระยะจากศูนย์กลางของพูลเลย์ไปยังตำแหน่งที่แขวนน้ำหนัก m.

เครื่องทดสอบแบบ Prony brake เหมาะสำหรับใช้กับเครื่องยนต์รอบค่ำเช่นกัน

3. ไดนาโมมีเตอร์ (Dynamometer) เป็นอุปกณ์สำหรับทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยที่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดแรงบิดและความเร็วเชิงมุม ลักษณะของภาระที่กระทำต่อเครื่องยนต์ซึ่งมีผลต่อแรงบิดที่วัดได้เหมือนกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลของภาระที่มีต่อ Stress และ Deflection ในชิ้นส่วนของเครื่องกลด้วย

Dynamometer แบ่งเป็น 3 แบบ คือ

1. Absorption dynamometer
2. Driving dynamometer
3. Transmission dynamometer

4. Fan brakes Propcllers หรือ Fan ใช้กับงานทดลองที่ต้องการทดลองเป็นเวลานาน ๆ และไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก เพื่อใช้หา Breading in period ของเครื่องยนต์ใหม่

แต่ Fan brake ไม่สะดวกหลายอย่างในการปรับ Load เพราะการเปลี่ยนต้องเปลี่ยนความยาวใบพัด ขนาดและมุมของใบพัด ซึ่งต้องมีการดับเครื่องเสียก่อนจึงจะทำได้

การเปลี่ยนความหนาแน่นของอากาศขณะทำการทดลองทำให้ Load เปลี่ยนได้เช่นกัน โดยทั่วไป Fan brake จะต้องปิดต้นจากบรรยากาศภายนอกที่อยู่รอบ ๆ ซึ่งเราสามารถทำการเบรค Fan ได้โดยการค่อย ๆ ปิดท่อทางออกหรือเข้าของอากาศ

Out put ของเครื่องยนต์ที่ใช้ขับ Fan ก็หาได้โดยจัดแรงพยายามบิดตัวของเครื่องยนต์โดยเอาเครื่องยนต์ที่จะทดสอบนั้นมาติดตั้งอยู่บนเครื่อง ซึ่งรองรับหัวท้าย ขณะที่เครื่องส่งถ่ายแรงปิดให้แก่ใบพัดตัวเครื่องยนต์ก็จะถูกแรงบิดกระทำด้วย เมื่อวัดแรงบิดได้ ก็คำนวณออกมาเป็นแรงม้าได้

	ใบงานที่ 1	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 9-12
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	ทฤษฎี 6 ชม. ปฏิบัติ 12 ชม.
ชื่อเรื่อง/ตัวชี้วัดสมรรถนะและการวัดกำลังของเครื่องยนต์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้จากการปฏิบัติงาน

ผู้เรียนสามารถคำนวณและแปลผลตัวชี้วัดสมรรถนะหลักของเครื่องยนต์ ได้แก่ กำลังม้าเบรก (BHP), กำลังม้าชี้บ่ง (IHP), กำลังม้าเสียดทาน (FHP), ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC), ประสิทธิภาพทางกล (η_m), และ ประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก (η_{th}) เพื่อใช้ในการ ประเมินความสมบูรณ์และประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง ของเครื่องยนต์ในการใช้งานจริง

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณค่าสมรรถนะเครื่องยนต์จากข้อมูลการทดสอบด้วยเครื่องวัดกำลัง (Dynamometer)
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างซ่อมบำรุงที่ต้องวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ และผู้เชี่ยวชาญด้านการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 คำนวณ กำลังม้าทั้งสามชนิด (BHP, IHP, FHP) และประสิทธิภาพทางกล (η_m) จากข้อมูลที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง

3.2 วิเคราะห์และคำนวณ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก ($\eta_{th,b}$) เพื่อหาความสัมพันธ์กับสมรรถนะเครื่องยนต์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 สามารถระบุและอธิบายความหมายของตัวชี้วัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้อย่างชัดเจน

4.2 สามารถใช้สูตรและทำการแปลงหน่วยที่จำเป็นในการคำนวณหาค่าสมรรถนะต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ได้อย่างแม่นยำ

4.3 มีความละเอียดรอบคอบในการวิเคราะห์ตัวเลขและแปลผลข้อมูลเพื่อทำการสรุปผลเชิงวิศวกรรม

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์จำลอง (ข้อมูลจากการทดสอบ Dynamometer สมมติ)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 ใบความรู้สรุปสูตรการคำนวณสมรรถนะเครื่องยนต์

5.4 ปากกา/ดินสอ

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. ตรวจสอบ **หน่วย (Units)** ในการคำนวณทุกครั้ง โดยเฉพาะการแปลงจาก (kW) เป็น (kJ/h) หรือ (kJ/s) เพื่อให้การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนถูกต้อง

2. ค่า FHP ไม่สามารถเป็นลบได้ หากคำนวณได้เป็นลบ แสดงว่าสูตรที่ใช้หรือหน่วยผิดพลาด

3. ใช้ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Q_{hv}) เป็น 42,000 kJ/kg เว้นแต่จะกำหนดเป็นอย่างอื่น

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (โจทย์สถานการณ์วิเคราะห์สมรรถนะ)

ภารกิจ จงคำนวณและวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์เบนซิน 4 สูบ ที่ทำการทดสอบ ณ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2500 rpm โดยมีข้อมูลจากการทดสอบดังนี้

รายการทดสอบ	**ค่าที่วัดได้**	**หน่วย**
กำลังม้าชี้บ่ง (IHP)	85	kW
แรงบิดเบรก (T)	200	N-m
อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (mf)	18.5	kg/h
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Q_{hv})	42,000	kJ/kg

ส่วนที่ 1: การคำนวณกำลังและประสิทธิภาพทางกล

1. คำนวณกำลังม้าเบรก (BHP) (หน่วย kW)

$$\boldsymbol{BHP} = \frac{2\pi NT}{60 \times 1000}$$

(เมื่อ N คือ rpm, T คือ N-m)

2. **คำนวณกำลังม้าเสียดทาน (FHP)** (หน่วย kW)

สูตร: $\boldsymbol{FHP} = IHP - BHP$

3. **คำนวณประสิทธิภาพทางกล (ηm)** (หน่วย %)

$$\boldsymbol{\eta_m} = \frac{BHP}{IHP} \times 100$$

ส่วนที่ 2: การคำนวณความสิ้นเปลืองและประสิทธิภาพทางความร้อน

4. **คำนวณความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC)** (หน่วย kg/kW-h)

$$\boldsymbol{BSFC} = \frac{\dot{m}f}{BHP}$$

5. **คำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก ($\eta_{th,b}$)** (หน่วย %)

$$\boldsymbol{\eta_{th,b}} = \frac{BHP \times 3600}{\dot{m}f \times Q_{hv}} \times 100$$

8. สรุปและวิจารณ์ผล

1. จากผลการคำนวณ กำลังม้าเสียดทาน (FHP) จงให้ข้อเสนอแนะ 2 ข้อ ในฐานะช่างเทคนิค เพื่อลดการสูญเสียกำลังส่วนนี้

.....

2. การที่เครื่องยนต์มีค่า BSFC ต่ำ มีความหมายอย่างไรต่อการทำงานของเครื่องยนต์ และส่งผลดีต่อผู้ใช้งานอย่างไร

.....

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	**เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)**
ส่วนที่ 1: ความถูกต้องของการคำนวณ BHP, FHP, และ η_m	15
ส่วนที่ 2: ความถูกต้องของการคำนวณ BSFC และ $\eta_{th,b}$ (รวมการแปลงหน่วย)	15
สรุปและวิจารณ์ผล: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และให้เหตุผลถูกต้อง	10
รวมคะแนน	**40**

10. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้สรุปสูตรการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์
2. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน
3. ตารางค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมาตรฐาน

	ใบกิจกรรมที่ 1	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 9-12
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	ทฤษฎี 6 ชม. ปฏิบัติ 12 ชม.
ชื่อเรื่อง/ตัวชี้วัดสมรรถนะและการวัดกำลังของเครื่องยนต์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้การปฏิบัติกิจกรรม

เมื่อสิ้นสุดกิจกรรมนี้ ผู้เรียนจะสามารถ**วิเคราะห์และคำนวณ**ค่าสมรรถนะที่สำคัญของเครื่องยนต์ เช่น กำลังม้าเบรก BHP กำลังม้าเสียดทาน FHP, ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC), และประสิทธิภาพทางกล (ηm) จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจริง (จำลอง) และสามารถ **แปลผล** ตัวชี้วัดเหล่านั้นเพื่อประเมินสภาพเครื่องยนต์ได้

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

มาตรฐานอาชีพ ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

สมรรถนะย่อย ใช้เครื่องมือวัดกำลัง (Dynamometer) และคำนวณค่าสมรรถนะหลักของเครื่องยนต์เพื่อวินิจฉัยปัญหา

บูรณาการกลุ่มอาชีพ ช่างวิเคราะห์ปัญหาเครื่องยนต์ (Diagnostic Technician) ที่ใช้ข้อมูลทางวิศวกรรมในการระบุความผิดปกติ เช่น การสึกหรอที่ทำให้ FHP สูงขึ้น หรือปัญหาการเผาไหม้ที่ทำให้ BSFCสูงขึ้น

3. สมรรถนะประจำกิจกรรม

3.1 คำนวณ กำลังม้าทั้งสามชนิด (BHP, IHP, FHP) และใช้ความสัมพันธ์ของกำลังเหล่านี้ในการประเมินประสิทธิภาพทางกล ηm ได้

3.2 วิเคราะห์และคำนวณ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก (ηth,b) และนำเสนอผลการวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องยนต์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความแตกต่างของความหมายและสูตรที่ใช้ในการคำนวณ BHP, IHP, และ FHP ได้

4.2 สามารถคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะทั้งหมดจากข้อมูลตารางได้อย่างถูกต้องและเป็นขั้นตอน

4.3 มีความร่วมมือในการทำงานกลุ่มและแสดงความละเอียดรอบคอบในการใช้หน่วยคำนวณ

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์จำลอง (ข้อมูลตารางการทดสอบ Dynamometer)

5.2 เครื่องคิดเลข (Calculator)

5.3 ใบกิจกรรม/กระดาษสำหรับแสดงวิธีทำ

5.4 สูตรการคำนวณสมรรถนะเครื่องยนต์

6. ขั้นตอนการทำกิจกรรม (โจทย์วิเคราะห์สมรรถนะ)

ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ (สมมติ)

เครื่องยนต์ 6 สูบ เครื่องหนึ่งถูกทดสอบ ณ จุดทำงานที่ 4000 rpm ได้ผลการวัดดังนี้:

ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่าที่วัดได้	หน่วย
แรงบิดเบรก	T	300	N-m
กำลังม้าชี้บ่ง	IHP	145	kW
อัตราการไหลของเชื้อเพลิง	m.f	35	kg/h
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	Q_{hv}	42,000	kJ/kg
ค่าคงที่	pi	3.14159	-
ตัวแปลงหน่วย	1 kW	3600	kJ/h

ให้นักศึกษาคำนวณตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

1. **คำนวณกำลังม้าเบรก (BHP)** (หน่วย kW)

$$\boldsymbol{BHP} = \frac{2\pi NT}{60\times 1000}$$

2. **คำนวณกำลังม้าเสียดทาน FHP** kW

$$\boldsymbol{FHP} = IHP - BHP$$

3. **คำนวณประสิทธิภาพทางกล (η_m)** หน่วย %

$$\boldsymbol{\eta_m} = \frac{BHP}{IHP} \times 100$$

4. **คำนวณความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC)** (หน่วย kg/kW-h)

$$\boldsymbol{BSFC} = \frac{\dot{m}_f}{BHP}$$

5. **คำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก (ηth,b)** (หน่วย %)

สูตร: $$\boldsymbol{\eta_{th,b}} = \frac{BHP\times 3600}{\dot{m}_f \times Q_{hv}} \times 100$$

7. สรุปและอภิปราย

1. จงเปรียบเทียบค่า BHP และ IHP ที่คำนวณได้ และอธิบายว่ากำลังส่วนที่ต่างกันนั้น (คือ FHP) จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อใด

.....

.....

2. สมมติว่าเครื่องยนต์อีกเครื่องมี BSFC เท่ากับ 0.2 kg/kW-h (ต่ำกว่าผลการคำนวณของคุณ) การที่ BSFC ต่ำกว่า หมายความว่าอย่างไรในแง่ของ ประสิทธิภาพทางความร้อน

.....

.....

3. ในฐานะช่างเทคนิค หากพบว่า η_m ต่ำกว่า 80% อย่างชัดเจน (จากเครื่องยนต์สมมติในโจทย์) คุณจะมุ่งเน้นการตรวจสอบชิ้นส่วนใดเป็นอันดับแรก

.....

.....

8. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
ส่วนที่ 1 ความถูกต้องของการคำนวณ BHP, FHP, และ η_m	15
ส่วนที่ 2 ความถูกต้องของการคำนวณ BSFC และ $\eta_{th,b}$ (รวมการแปลงหน่วย)	15
สรุปและอภิปราย การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และให้เหตุผลถูกต้อง	10
ความร่วมมือในการทำงานกลุ่มและนำเสนอผล	10
รวมคะแนน	**50**

9. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้สรุปสูตรการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์
2. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 4)
3. บทความ/วิดีโอ การทำงานของเครื่องวัดกำลัง (Dynamometer)

	ใบมอบหมายงาน	หน่วยที่ 4
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 9-12
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์	ทฤษฎี 6 ชม. ปฏิบัติ 12 ชม.
ชื่อเรื่อง/ตัวชี้วัดสมรรถนะและการวัดกำลังของเครื่องยนต์		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้การปฏิบัติกิจกรรม

เมื่อสิ้นสุดกิจกรรมนี้ ผู้เรียนจะสามารถ**วิเคราะห์และคำนวณ**ค่าสมรรถนะที่สำคัญของเครื่องยนต์ เช่น กำลังม้าเบรก BHP กำลังม้าเสียดทาน FHP, ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC), และประสิทธิภาพทางกล (ηm) จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจริง (จำลอง) และสามารถ **แปลผล** ตัวชี้วัดเหล่านั้นเพื่อประเมินสภาพเครื่องยนต์ได้

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

มาตรฐานอาชีพ ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

สมรรถนะย่อย ใช้เครื่องมือวัดกำลัง (Dynamometer) และคำนวณค่าสมรรถนะหลักของเครื่องยนต์เพื่อวินิจฉัยปัญหา

บูรณาการกลุ่มอาชีพ ช่างวิเคราะห์ปัญหาเครื่องยนต์ (Diagnostic Technician) ที่ใช้ข้อมูลทางวิศวกรรมในการระบุความผิดปกติ เช่น การสึกหรอที่ทำให้ FHP สูงขึ้น หรือปัญหาการเผาไหม้ที่ทำให้ BSFCสูงขึ้น

3. สมรรถนะประจำกิจกรรม

3.1 คำนวณ กำลังม้าทั้งสามชนิด (BHP, IHP, FHP) และใช้ความสัมพันธ์ของกำลังเหล่านี้ในการประเมินประสิทธิภาพทางกล ηm ได้

3.2 วิเคราะห์และคำนวณ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก ($\eta th,b$) และนำเสนอผลการวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องยนต์

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความแตกต่างของความหมายและสูตรที่ใช้ในการคำนวณ BHP, IHP, และ FHP ได้

4.2 สามารถคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะทั้งหมดจากข้อมูลตารางได้อย่างถูกต้องและเป็นขั้นตอน

4.3 มีความร่วมมือในการทำงานกลุ่มและแสดงความละเอียดรอบคอบในการใช้หน่วยคำนวณ

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์จำลอง (ข้อมูลตารางการทดสอบ Dynamometer)

5.2 เครื่องคิดเลข (Calculator)

5.3 ใบกิจกรรม/กระดาษสำหรับแสดงวิธีทำ

5.4 สูตรการคำนวณสมรรถนะเครื่องยนต์

6. ขั้นตอนการทำกิจกรรม (โจทย์วิเคราะห์สมรรถนะ)

ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ (สมมติ)

นักศึกษาจะต้องวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์เบนซิน 4 สูบ ที่มีการทดสอบด้วยเครื่องวัดกำลัง (Dynamometer) โดยใช้ข้อมูลจากตารางและสูตรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่าที่วัดได้	หน่วย
ความเร็วรอบเครื่องยนต์	N	3000	rpm
แรงบิดเบรกที่วัดได้	T	180	N-m
กำลังม้าชี้บ่ง (IHP)	IHP	70	kW
อัตราการไหลของเชื้อเพลิง	$\dot{m}_f$	14.5	kg/h
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	Qhv	44,000	kJ/kg

ให้นักศึกษาคำนวณตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

6. **คำนวณกำลังม้าเบรก (BHP)** (หน่วย kW)

$$\boldsymbol{BHP} = \frac{2\pi NT}{60\times 1000}$$

7. **คำนวณกำลังม้าเสียดทาน FHP** kW

$$\boldsymbol{FHP} = IHP - BHP$$

8. **คำนวณประสิทธิภาพทางกล (η_m)** หน่วย %

$$\boldsymbol{\eta_m} = \frac{BHP}{IHP} \times 100$$

9. **คำนวณความสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC)** (หน่วย kg/kW-h)

$$\boldsymbol{BSFC} = \frac{\dot{m}_f}{BHP}$$

10. **คำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนเบรก ($\eta_{th,b}$)** (หน่วย %)

สูตร:
$$\boldsymbol{\eta_{th,b}} = \frac{BHP\times 3600}{\dot{m}_f \times Q_{hv}} \times 100$$

7. สรุปและอภิปราย

4. จงเปรียบเทียบค่า BHP และ IHP ที่คำนวณได้ และอธิบายว่ากำลังส่วนที่ต่างกันนั้น (คือ FHP) จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อใด

.....

.....

5. สมมติว่าเครื่องยนต์อีกเครื่องมี BSFC เท่ากับ 0.2 kg/kW-h (ต่ำกว่าผลการคำนวณของคุณ) การที่ BSFC ต่ำกว่า หมายความว่าอย่างไรในแง่ของ ประสิทธิภาพทางความร้อน

.....

.....

6. ในฐานะช่างเทคนิค หากพบว่า ηm ต่ำกว่า 80% อย่างชัดเจน (จากเครื่องยนต์สมมติในโจทย์) คุณจะมุ่งเน้นการตรวจสอบชิ้นส่วนใดเป็นอันดับแรก

.....

.....

8. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
ส่วนที่ 1 ความถูกต้องของการคำนวณ BHP, FHP, และ ηm	15
ส่วนที่ 2 ความถูกต้องของการคำนวณ BSFC และ $\eta th,b$ (รวมการแปลงหน่วย)	15
สรุปและอภิปราย การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และให้เหตุผลถูกต้อง	10
ความร่วมมือในการทำงานกลุ่มและนำเสนอผล	10
รวมคะแนน	**50**

9. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

4. ใบความรู้สรุปสูตรการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์
5. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 4)
6. บทความ/วิดีโอ การทำงานของเครื่องวัดกำลัง (Dynamometer)

	แผนการจัดการเรียนรู้	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 13-15
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การสันดาป	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ 9 ชม.
ชื่อเรื่อง/การวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถนำความรู้และทักษะการคำนวณจาก **การวิเคราะห์การสันดาป** (โดยมวลและปริมาตร) ไปประยุกต์ใช้ในการงานอาชีพเพื่อ **ประเมินอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (Actual Air-Fuel Ratio)** และการใช้ **อากาศส่วนเกิน (Excess Air)** ของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการ **วินิจฉัยปัญหาเครื่องยนต์ทำงานบาง (Lean) หรือหนา (Rich)** และการ **ปรับแต่งระบบควบคุมไอเสีย** (เช่น การทำงานของ Catalytic Converter) ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ: ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างซ่อมเครื่องยนต์

1. **สมรรถนะย่อย:** วิเคราะห์การสันดาปและคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเพื่อการปรับตั้งเครื่องยนต์

1) **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:** สามารถคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Stoichiometric AFR) และอัตราส่วนจริง (Actual AFR) ได้อย่างถูกต้อง

2) **วิธีประเมิน:** ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณและการสรุปผลในใบงาน/แบบทดสอบ

3) **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):** ใบงานการคำนวณองค์ประกอบการสันดาปและการหาค่า AFR

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องปฏิกิริยาเคมีพื้นฐานของการสันดาปและแนวคิดของอากาศส่วนเกิน (Excess Air)

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ: ช่างเทคนิคระบบควบคุมไอเสียและเซ็นเซอร์ออกซิเจน (Exhaust & O2 Sensor Specialist) ช่างปรับแต่ง ECU (Engine Control Unit)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 เขียนและดุลสมการเคมีพื้นฐานสำหรับการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน เพื่อหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Stoichiometric Air-Fuel Ratio)

3.2 คำนวณและแปลงการวิเคราะห์การสันดาปจากฐาน มวล ไปเป็นฐาน ปริมาตร และในทางกลับกัน รวมถึงวิเคราะห์ผลของการใช้ อากาศส่วนเกิน ในการสันดาป

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความรู้พื้นฐานทางเคมีสำหรับการสันดาป (Law of Conservation of Mass) และนิยามอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีได้

4.2 สามารถดุลสมการเคมีและคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทั้งโดยมวลและโดยปริมาตร รวมถึงคำนวณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน/อากาศขาดได้

4.3 ให้ความสำคัญต่อความแม่นยำในการดุลสมการเคมีและการใช้ค่ามวลโมเลกุลที่ถูกต้องในการวิเคราะห์

4.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ AFR ทางทฤษฎีกับการปรับจูนเครื่องยนต์เพื่อลดมลพิษในงานจริงได้

5. สาระการเรียนรู้

5.1 ความรู้พื้นฐานทางเคมี

1. **ความรู้พื้นฐานทางเคมี** เทอร์โมไดนามิกส์ซึ่งทำงานตามขบวนการทางเทอร์โมไดนามิคส์
2. **ธาตุ – สารประกอบ – สารประสม**อนุภาคของสสารที่ไม่อาจแบ่งแยกออกไปได้อีก เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ฯลฯ
3. **อะตอมและโมเลกุล**อนุภาคที่เล็กที่สุดของสสาร อะตอมจะมีคุณสมบัติและมวลแตกต่างกันตามชนิดของสสาร
4. **สมการการสันดาป** (Combustion Equation) คือ ขบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นจากการสันดาปโดยเขียนออกมาในรูปสมการ
5. **การสันดาปคาร์บอนอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion)**
6. **การสันดาปคาร์บอนอย่างไม่สมบูรณ์** (Incomplete Combustion) ในกรณีที่การสันดาปคาร์บอนเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ จะเกิดคาร์บอนมอนน๊อกไซด์ที่ไม่สมบูรณ์เพราะว่า คาร์บอนมอนน๊อกไซด์เป็นเชื้อเพลิง

6. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นตอน	กิจกรรมครู	กิจกรรมผู้เรียน	เวลา (นาที)
ขั้นนำ	ทบทวนกฎการอนุรักษ์มวลและองค์ประกอบอากาศ นำเสนอความสำคัญของ AFR ต่อประสิทธิภาพและไอเสีย	ทบทวนความรู้เดิมและตั้งคำถาม	15
ขั้นสอน	สอนการเขียน/ดุลสมการเคมีของ C8H18 (Octane) และการคำนวณ AFR_{Stoich} (โดยมวลและปริมาตร)	ตั้งใจฟัง, บันทึกสาระ, ถามข้อสงสัย	40
	5.5-5.7: สอนเทคนิคการแปลงหน่วยระหว่างมวลและปริมาตร และการคำนวณ AFR_{Actual} และ Excess Air%	ทำความเข้าใจการใช้มวลโมเลกุลในการแปลงหน่วยและสูตร Excess Air	35

ขั้นปฏิบัติ	**ใบงานกลุ่ม:** มอบหมายโจทย์การวิเคราะห์การสันดาปเชื้อเพลิงอื่น (เช่น Methane) เพื่อหา AFR_{Stoich} และโจทย์ที่มีอากาศส่วนเกิน	ทำงานกลุ่ม/เดี่ยว, แสดงวิธีทำอย่างละเอียดในใบงาน	50
ขั้นสรุป	สรุปความเชื่อมโยงระหว่างค่า AFR กับการปรับจูนเครื่องยนต์ (Lean/Rich) และให้การบ้าน	นำเสนอคำตอบกลุ่ม, ร่วมสรุป, ซักถามประเด็นสุดท้าย	10

7. สื่อและแหล่งการเรียนรู้

1. ใบความรู้และเอกสารประกอบการสอน (เรื่องการสันดาปและการวิเคราะห์ AFR)
2. โปรเจกเตอร์/กระดานดำ/ไวท์บอร์ด สำหรับการนำเสนอสมการเคมีและการคำนวณ
3. ตารางมวลโมเลกุลของธาตุ/สารประกอบหลัก C, H_2, O_2, N_2, CO_2, H_2O
4. วิดีโอแสดงการทำงานของเซ็นเซอร์ออกซิเจน (O2 Sensor) เพื่อเชื่อมโยง AFR กับการควบคุมเครื่องยนต์

8. หลักฐานการเรียนรู้

8.1 หลักฐานความรู้:

1. แบบทดสอบย่อย (Quiz) เรื่อง ปฏิกิริยาเคมีและนิยาม AFR
2. การตอบคำถามในชั้นเรียน

8.2 หลักฐานการปฏิบัติงาน:

1. ใบงานการคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีและอากาศส่วนเกิน (พร้อมแสดงวิธีทำและดุลสมการ)

9. การวัดและประเมินผล

9.1 เกณฑ์การปฏิบัติงาน:

1. สามารถดุลสมการเคมีของการสันดาปได้อย่างถูกต้อง
2. คำนวณ AFR (โดยมวล/ปริมาตร) และเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน/ขาดได้ถูกต้องไม่น้อยกว่า 70%

9.2 วิธีการประเมิน:

1. การตรวจใบงาน (ปฏิบัติงาน)
2. การตรวจแบบทดสอบย่อย (ความรู้)
3. การสังเกตพฤติกรรมการมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมกลุ่ม

9.3 เครื่องมือประเมิน:

1. แบบประเมินใบงานการคำนวณ (Rubric)
2. แบบทดสอบ (ข้อกา/แสดงวิธีทำ)

	ใบความรู้ที่ 3	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 13-15
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การสันดาป	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ 9 ชม.
ชื่อเรื่อง/วัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับหน่วยการเรียน

ผู้เรียนสามารถนำความรู้และทักษะการคำนวณจาก **การวิเคราะห์การสันดาป** (โดยมวลและปริมาตร) ไปประยุกต์ใช้ในการงานอาชีพเพื่อ **ประเมินอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (Actual Air-Fuel Ratio)** และการใช้ **อากาศส่วนเกิน (Excess Air)** ของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการ **วินิจฉัยปัญหาเครื่องยนต์ทำงานบาง (Lean) หรือหนา (Rich)** และการ **ปรับแต่งระบบควบคุมไอเสีย** (เช่น การทำงานของ Catalytic Converter) ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

2.1 มาตรฐานอาชีพ: ช่างเทคนิคยานยนต์ ช่างซ่อมเครื่องยนต์

2. **สมรรถนะย่อย:** วิเคราะห์การสันดาปและคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเพื่อการปรับตั้งเครื่องยนต์

1) **เกณฑ์การปฏิบัติงาน:** สามารถคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Stoichiometric AFR) และอัตราส่วนจริง (Actual AFR) ได้อย่างถูกต้อง

2) **วิธีประเมิน:** ตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณและการสรุปผลในใบงาน/แบบทดสอบ

3) **หลักฐานการปฏิบัติงาน (Performance Evidence):** ใบงานการคำนวณองค์ประกอบการสันดาปและการหาค่า AFR

4) หลักฐานความรู้ (Knowledge Evidence): แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องปฏิกิริยาเคมีพื้นฐานของการสันดาปและแนวคิดของอากาศส่วนเกิน (Excess Air)

2.2 บูรณาการกลุ่มอาชีพ: ช่างเทคนิคระบบควบคุมไอเสียและเซ็นเซอร์ออกซิเจน (Exhaust & O2 Sensor Specialist) ช่างปรับแต่ง ECU (Engine Control Unit)

3. สมรรถนะประจำหน่วย

3.1 เขียนและดุลสมการเคมีพื้นฐานสำหรับการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน เพื่อหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Stoichiometric Air-Fuel Ratio)

3.2 คำนวณและแปลงการวิเคราะห์การสันดาปจากฐาน มวล ไปเป็นฐาน ปริมาตร และในทางกลับกัน รวมถึงวิเคราะห์ผลของการใช้ อากาศส่วนเกิน ในการสันดาป

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความรู้พื้นฐานทางเคมีสำหรับการสันดาป (Law of Conservation of Mass) และนิยามอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีได้

4.2 สามารถดุลสมการเคมีและคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทั้งโดยมวลและโดยปริมาตร รวมถึงคำนวณเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน/อากาศขาดได้

4.3 ให้ความสำคัญต่อความแม่นยำในการดุลสมการเคมีและการใช้ค่ามวลโมเลกุลที่ถูกต้องในการวิเคราะห์

4.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ AFR ทางทฤษฎีกับการปรับจูนเครื่องยนต์เพื่อลดมลพิษในงานจริงได้เหตุผล

5. เนื้อหาสาระ (Learning Contents)

5.1 ความรู้พื้นฐานทางเคมี

เทอร์โมไดนามิกส์ซึ่งทำงานตามขบวนการทางเทอร์โมไดนามิคส์ ได้พลังงานความร้อนจากการสันดาปเชื้อเพลิง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons) ซึ่งอาจจะอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ เมื่อเกิดการสันดาปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานทางเคมีที่เกี่ยวข้อง

ความรู้พื้นฐานทางเคมีที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเทอร์โมไดนามิกส์ที่น่าจะทำความเข้าใจ
ได้แก่

5.2 ธาตุ – สารประกอบ – สารประสม

ธาตุ คือ อนุภาคของสสารที่ไม่อาจแบ่งแยกออกไปได้อีก เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ฯลฯ

สารประกอบ คือ สารที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุ แล้วทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม โดยมีการรวมตัวกันทางเคมี เช่น ไฮโดรเจนรวมตัวกับอ๊อกซิเจนเป็นน้ำ คือ ของเหลว ซึ่งแต่เดิมเป็นก๊าซ

สารประสม คือ สารที่เกิดธาตุหรือสารประกอบผสมกันโดยไม่เกิดเป็นสารใหม่ขึ้น เช่น อากาศเป็นสารประสมของไนโตรเจน, ออกซิเจน, อาร์กอน, ฮีเลียม เป็นต้น

5.3 อะตอมและโมเลกุล

อะตอม คือ อนุภาคที่เล็กที่สุดของสสาร อะตอมจะมีคุณสมบัติและมวลแตกต่างกันตาม ชนิดของสสาร ความแตกต่างกันของมวลได้มีการกำหนดการเปรียบเทียบ ซึ่งเรียกว่า มวลอะตอมสัมพัทธ์ หรือน้ำหนักอะตอม เช่น ธาตุที่เบาที่สุด คือ ไฮโดรเจน ซึ่งถือว่ามีน้ำหนักอะตอมเท่ากับหนึ่ง ดังนั้น มวลของธาตุอื่น ๆ จึงใช้เปรียบเทียบกับมวลของไฮโดรเจน เช่น มวลของอะตอมคาร์บอน ซึ่งมีมวลเป็น 12 เท่าของอะตอมไฮโดรเจน ดังนั้น น้ำหนักอะตอมของคาร์บอนจึงเท่ากับ 12 และในทำนองเดียวกัน น้ำหนักอะตอมของอ๊อกซิเจน ซึ่งมีมวลเป็น 16 เท่า ของมวลอะตอมไฮโดรเจน ก็ถือว่า อ๊อกซิเจนมีน้ำหนักอะตอม 16

โมเลกุล คือ อนุภาคที่เล็กที่สุดของสสารที่สามารถอยู่ได้อย่างอิสระ อย่างเช่น ออกซิเจน ไม่อาจอยู่ได้อย่างอิสระ เมื่อมีอะตอมเพียงอะตอมเดียว จะต้องอยู่รวมกัน 2 อะตอมหรือมากกว่า หรืออาจจะกล่าวว่า โมเลกุล คือ สารประกอบที่มากกว่า 1 อะตอม และเนื่องจากโมเลกุลประกอบด้วยอะตอม ดังนั้นในการจัดมวลของ

โมเลกุล ก็ถือเช่นเดียวกับมวลของอะตอม คือ เรียกว่า มวลโมเลกุลสัมพัทธ์หรือน้ำหนักโมเลกุล เช่น น้ำหนักโมเลกุลของอ๊อกซิเจน ซึ่งมีอะตอม 2 ตัว จะมีค่าเท่ากับ 16 x 2 เป็น 32

ในการวิเคราะห์ขบวนการทางเคมี จำเป็นจะต้องใช้สัญลักษณ์แทนสารต่าง ๆ เช่น

อ๊อกซิเจน	เขียนสัญลักษณ์แทนด้วย	O_2
ไฮโดรเจน	“ “ “	H_2
คาร์บอน	“ “ “	C
ซัลเฟอร์	“ “ “	S

สำหรับสัญลักษณ์ที่ไม่มีตัวเลขกำกับ หมายถึง สารที่แต่ละโมเลกุลมีเพียงอะตอมเดียว ส่วนที่มีเลขกำกับ คือ ตั้งแต่ 2 ขึ้นไป หมายความว่า ในแต่ละโมเลกุลจะมีจำนวนอะตอมเท่ากับตัวเลขที่กำกับ ประกอบด้วยอ๊อกซิเจน 1 อะตอม และไฮโดรเจน 2 อะตอม และตามที่กล่าวแล้วว่าอ๊อกซิเจนจะอยู่อย่างอิสระ หรือสมดุลย์ได้ จะต้องมี 2 อะตอม แต่ในกรณีเมื่ออ๊อกซิเจนรวมตัวกับสารอื่น อาจใช้เพียงอะตอมเดียวก็สามารถอยู่ได้อย่างอิสระหรือสมดุลย์ และในการแสดงจำนวนโมเลกุลนั้นกำหนดให้ใช้ตัวเลขนำข้างหน้า เช่น $4H_2O$ หมายถึง น้ำจำนวน 4 โมเลกุล

ในการสันดาปของเทอร์โมไดนามิกส์ เชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับอ๊อกซิเจนซึ่งมีอยู่ในอากาศ ดังนั้น จึงต้องศึกษาให้เข้าใจเกี่ยวกับส่วนประกอบ และคุณสมบัติของอากาศ

อากาศนอกจากจะมีอ๊อกซิเจนแล้วยังมีก๊าซอย่างอื่นอีก เช่น ไนโตรเจน อาร์กอน ฮีเลียม นีออน คริปตอน ซีนอน คาร์บอนไดอ๊อกไซด์ และละอองไอน้ำ แต่ส่วนประกอบหลักที่มีจำนวนมาก ได้แก่ ไนโตรเจน และอ๊อกซิเจน ดังนั้นในการวิเคราะห์ จึงถือว่าอากาศประกอบด้วยก๊าซสองชนิดนี้เท่านั้น

อ๊อกซิเจนเป็นก๊าซที่ทำให้การสันดาปเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยและเป็นตัวทำให้ปฏิกิริยาของการสันดาปของเชื้อเพลิงช้าลง และยังเป็นตัวดูดเอาพลังงานบางส่วนในขณะสันดาปออกไป ทำให้อุณหภูมิของการสันดาปต่ำลง ดังนั้นในอากาสที่เข้าไปสันดาปกับเชื้อเพลิงของเทอร์โมไดนามิกส์จะต้องวิเคราะห์จากอ๊อกซิเจนและไนโตรเจนในหน่วยของมวลและปริมาตร ดังนี้

5.4 สมการการสันดาป

สมการการสันดาป (Combustion Equation) คือ ขบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นจากการสันดาปโดยเขียนออกมาในรูปสมการ เช่น การสันดาปของคาร์บอนและอ๊อกซิเจน ซึ่งจะได้คาร์บอนได อ๊อกไซด์ เมื่อการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จะได้สมการดังนี้

$$C + O_2 = CO_2$$

แสดงว่าอ๊อกซิเจนทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้ คาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากเขียนเป็นสมการแล้ว จะต้องพิจารณาว่าจำนวนอะตอมของอ๊อกซิเจน และคาร์บอนทางซ้ายมือเท่ากับทางขวามือหรือไม่ จากสมการข้างบนพบว่า จำนวนอะตอมเท่ากัน แสดงว่าสมการนี้สมดุลย์ สมการเคมีที่สมดุลย์เรียกว่า“ Complete Combustion Equation“หรือ“ Stoichiometric Equation “

หรือการสันดาประหว่างก๊าซไฮโดรเจนกับอ๊อกซิเจนจะได้น้ำ เมื่อการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์จะได้สมการดังนี้

$$H_2 + O_2 \quad 2H_2O$$

แสดงว่าไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับอ๊อกซิเจนได้น้ำ เมื่อสมดุลย์สมการจะได้

$$2H_2 + O_2 \quad 2H_2O$$

หรือการสันดาปสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซมีเทนกับอ๊อกซิเจน เมื่อการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จะได้สมการดังนี้

$$CH_4 + O_2 \quad CO_2 + H_2O$$

เมื่อสมดุลย์สมการจะได้

$$CH_4 + 2O_2 \quad CO_2 + 2H_2O$$

และ

$$S + O_2 \quad SO_2$$

พื้นฐานอโวคาโด (Avogadro's Hyperthesis)

$\frac{v}{n}$, M^3 / Mole ของ gas ทุกชนิดที่ P และ T เดียวกัน จะมีค่าเท่ากับ

$C + O_2 \quad CO_2$

1 โมล + 1 โมล 1 โมล

$1\ m^3 + 1\ m^3 \quad 1\ m^3$

∴C $1m^3$ ใช้ O_2 ในการเผาไหม้สมบูรณ์ = $1m^3$ ได้ CO_2 = $1m^3$

$2H_2 + O_2 \quad 2H_2O$

2 โมล + 2 โมล 2 โมล

$2m^3 + 1m^3 \quad 2m^3$

$S + O_2 \quad SO_2$

1 โมล + 1 โมล 1 โมล

$1m^3 + 1m^3 \quad 1m^3$

∴ H_2 $1m^3$ 1ใช้ O_2 ในการเผาไหม้สมบูรณ์ = $0.5m^3$ ได้ H_2O = $1m^3$

ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ = $Vo_2 \times \frac{100}{21}$

$= \frac{V_{O2}}{0.21} m^3$

Vo_2 = ปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ (Volume)

อากาศประกอบด้วย O_2 = 21 % N_2 = 79 % by Volume

O_2 = 21 m^3 อยู่ในอากาศ = 100 m^3

$O_2 = Vo_2\ m^3$ อยู่ในอากาศ $= Vo_2 \times \frac{100}{21} m^3$

$\therefore$ S $1m^3$ ใช้ O_2 ในการเผาไหม้สมบูรณ์ = $1m^3$ ได้ $SO_2 = 1m^3$

5.5 การสันดาปคาร์บอนอย่างสมบูรณ์ (Complete Combustion)

วิเคราะห์โดยมวล

สมการการสันดาป ; $C + O_2 = CO_2$

สัดส่วนโดยมวล ; $12 + 32 = 44$

12 หารตลอด ; $1 + 2\frac{2}{2} = 3\frac{2}{3}$

ใส่หน่วยของมวลลงในสมการจะได้

$$1\ kg\ C + 2\frac{2}{3}\ kg\ O_2 = 3\frac{2}{3}\ kg\ CO_2$$

$2\frac{2}{3}$ kg O_2 เป็นมวลจากการคำนวณน้ำหนักของธาตุ O_2 (Stoichiometric mass of O_2)

$2\frac{2}{3}$ - kg O_2 เป็น 22.20 % ของอากาศ

$\therefore$ จำนวนอากาศจาก O_2 จำนวน $2\frac{2}{3}$ kg จะได้ $= \frac{2\frac{2}{3}}{0.232}$ kg

$= 11.50$ kg

$\therefore$ จำนวนไนโตรเจนจะได้ $= 11.50 - 2\frac{2}{3}$ kg

$= 8.84$ kg

ดังนั้นจะได้สมการในการคำนวณมวลของอ๊อกซิเจนหรืออากาศดังนี้

1 kg C + 2.66 kg O_2 + 8.84 kg N_2 = 3.66 kg CO_2 + 8.84 kg N_2

หรือ 1 kg C + 11.5 kg Air = 3.66 kg CO_2 + 8.84 kg N_2

วิเคราะห์โดยปริมาตร

สมการสันดาป : $C + O_2 = CO_2$

หมายเหตุ เนื่องจากโดยธรรมชาติของคาร์บอนเป็นของแข็ง จึงใช้ทฤษฎีของอาโวกาโดรไม่ได้

$C + 1\ m^3\ O_2 = 1\ m^3\ CO_2$

$1\ m^3\ O_2$ เป็น 21 % ของอากาศ

$\therefore$ จำนวนอากาศที่ใช้ $= \frac{1}{0.21} = 4.76\ m^3$

ศูนย์วิทยทรัพยากร

และจำนวนไนโตรเจน = 4.76 - 1 = 3.76 m^3

∴ อากาศ 4.76 m^3 ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนโดยการสันดาปอย่างสมบูรณ์จะได้

CO_2 + 3.76 m^3 N_2

5.6 การสันดาปคาร์บอนอย่างไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) ในกรณีที่การสันดาปคาร์บอนเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ จะเกิดคาร์บอนมอนน๊อกไซด์ที่ไม่สมบูรณ์เพราะว่า คาร์บอนมอนน๊อกไซด์เป็นเชื้อเพลิงและสามารถสันดาปได้อีก ซึ่งจะทำให้เกิดงานอีก

วิเคราะห์โดยมวล

สมการการสันดาป ; 2C + O_2 = 2 CO

สัดส่วนโดยมวล ; 24 + 32 = 56

24 หารตลอดจะได้ 1 + 1.33 = 2.33

แทนค่าด้วยหน่วยมวล ; 1 kg C + 1.33 kg O_2 = 2.33 kg CO

1.33 kg O_2 เป็น 23.20 % ของอากาศ

∴ จำนวนอากาศที่ใช้ = $\frac{1.33}{0.232}$ = 5.76 kg

และจำนวนไนโตรเจน = 5.76 - 1.33 = 4.43 kg

ดังนั้นสมการที่ได้จากการวิเคราะห์โดยมวลจะเป็นดังนี้

วิเคราะห์โดยปริมาตร

สมการการสันดาป ; 2C + O_2 = 2 CO

สัดส่วนโดยปริมาตร 2C + 1 m^3 O_2 = 2 m^3 CO

1 m^3 O_2 เป็น 21 % ของอากาศ

∴ จำนวนอากาศที่ใช้ = $\frac{1}{0.21}$ = 4.76 m^3

และจำนวนไนโตรเจน = 4.76 - 1 = 3.76 m^3

ดังนั้น อากาศ 4.76 m^3 ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนโดยการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์จะได้

สรุปเนื้อหา

พื้นฐานทางเคมี ในเรื่องของการสันดาป 8 nv ความรู้พื้นฐานที่ต้องศึกษาคือ ธาตุ สารประกอบ สารประสม อะตอม โมเลกุล และสัญลักษณ์ทางเคมีที่ใช้ในการสันดาป

สมการการสันดาปเป็นสมการที่ได้จากเชื้อเพลิงที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสันดาป เมื่อสันดาปกับออกซิเจนโดยสมบูรณ์ จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีสมการคือ C + O_2 = CO_2

สมการการสันดาป (Combustion Equation) คือ ขบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นจากการสันดาปโดยเขียนออกมาในรูปสมการ เช่น การสันดาปของคาร์บอนและอ๊อกซิเจน ซึ่งจะได้คาร์บอนได อ๊อกไซด์ เมื่อการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์ จะได้สมการดังนี้

C + O_2 = CO_2

ตัวอย่าง ห้ามจำหน่าย

แสดงว่าออกซิเจนทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้ คาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากเขียนเป็นสมการแล้ว จะต้องพิจารณาว่าจำนวนอะตอมของออกซิเจน และคาร์บอนทางซ้ายมือเท่ากับทางขวามือหรือไม่ จากสมการข้างบนพบว่า จำนวนอะตอมเท่ากัน แสดงว่าสมการนี้สมดุลย์ สมการเคมีที่สมดุลย์เรียกว่า " Complete Combustion Equation " หรือ " Stoichiometric Equation "

หรือการสันดาประหว่างก๊าซไฮโดรเจนกับออกซิเจนจะได้น้ำ เมื่อการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์จะได้สมการดังนี้

$$H_2 + O_2 \quad 2H_2O$$

แสดงว่าไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้น้ำ เมื่อสมดุลย์สมการจะได้

$$2H_2 + O_2 \quad 2H_2O$$

หรือการสันดาปสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซมีเทนกับออกซิเจน เมื่อการสันดาปเป็นไปอย่างสมบูรณ์จะได้สมการดังนี้

$$CH_4 + O_2 \quad CO_2 + H_2O$$

6. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ

แบบทดสอบ

เรื่อง ความรู้พื้นฐานทางเคมีและสมการการสันดาป

คำสั่ง จงตอบคำถามดังต่อไปนี้

1. จงบอกความหมายของ ธาตุ – สารประกอบ และ สารประสม

.....

.....

.....

2. จงบอกความหมายของอะตอมและโมเลกุล

.....

.....

.....

3. สมการการสันดาป (Combustion Equation) คืออะไร และมีสมการว่าอย่างใรบ้าง

.....

.....

.....

4. จงเขียนสมการการสันดาปคาร์บอนอย่างสมบูรณ์โดยวิเคราะห์โดยมวล

.....

.....

.....

.....

ตัวอย่าง ฉบับเต็ม

7. เอกสารอ้างอิง

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ตามหลักสูตร ปวส.)

2. Cengel, Yunus A., and Boles, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill Education.

3. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง พื้นฐานทางเทอร์โมไดนามิกส์

8. ภาคผนวก (เฉลยแบบฝึกหัด)

เฉลยแบบทดสอบ

เรื่อง ความรู้พื้นฐานทางเคมีและสมการการสันดาป

1.**ตอบ** ความหมายของ ธาตุ – สารประกอบ และ สารประสม

ธาตุ คือ อนุภาคของสสารที่ไม่อาจแบ่งแยกออกไปได้อีก เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ฯลฯ

สารประกอบ คือ สารที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุ แล้วทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม โดยมีการรวมตัวกันทางเคมี เช่น ไฮโดรเจนรวมตัวกับอ๊อกซิเจนเป็นน้ำ คือ ของเหลว ซึ่งแต่เดิมเป็นก๊าซ

สารประสม คือ สารที่เกิดธาตุหรือสารประกอบผสมกันโดยไม่เกิดเป็นสารใหม่ขึ้น เช่น อากาศเป็นสารประสมของไนโตรเจน, ออกซิเจน, อาร์กอน, ฮีเลียม เป็นต้น

2. **ตอบ** ความหมายของอะตอมและโมเลกุล

อะตอม คือ อนุภาคที่เล็กที่สุดของสสาร อะตอมจะมีคุณสมบัติและมวลแตกต่างกันตามชนิดของสสาร ความแตกต่างกันของมวลได้มีการกำหนดการเปรียบเทียบ ซึ่งเรียกว่า มวลอะตอมสัมพัทธ์ หรือน้ำหนักอะตอม เช่น ธาตุที่เบาที่สุด คือ ไฮโดรเจน ซึ่งถือว่ามีน้ำหนักอะตอมเท่ากับหนึ่ง ดังนั้น มวลของธาตุอื่น ๆ จึงใช้เปรียบเทียบกับมวลของไฮโดรเจน เช่น มวลของอะตอมคาร์บอน ซึ่งมีมวลเป็น 12 เท่าของอะตอมไฮโดรเจน ดังนั้น น้ำหนักอะตอมของคาร์บอนจึงเท่ากับ 12 และในทำนองเดียวกัน น้ำหนักอะตอมของอ๊อกซิเจน ซึ่งมีมวลเป็น 16 เท่า ของมวลอะตอมไฮโดรเจน ก็ถือว่า อ๊อกซิเจนมีน้ำหนักอะตอม 16

โมเลกุล คือ อนุภาคที่เล็กที่สุดของสสารที่สามารถอยู่ได้อย่างอิสระ อย่างเช่น ออกซิเจน ไม่อาจอยู่ได้อย่างอิสระ เมื่อมีอะตอมเพียงอะตอมเดียว จะต้องอยู่รวมกัน 2 อะตอมหรือมากกว่า หรืออาจจะกล่าวว่า โมเลกุล คือ สารประกอบที่มากกว่า 1 อะตอม และเนื่องจากโมเลกุลประกอบด้วยอะตอม ดังนั้นในการจัดมวลของโมเลกุล ก็ถือเช่นเดียวกับมวลของอะตอม คือ เรียกว่า มวลโมเลกุลสัมพัทธ์หรือน้ำหนักโมเลกุล เช่น น้ำหนักโมเลกุลของอ๊อกซิเจน ซึ่งมีอะตอม 2 ตัว จะมีค่าเท่ากับ 16 x 2 เป็น 32

	ใบงานที่	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 13-15
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การสันดาป	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ 9 ชม.
ชื่อเรื่อง/การวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้จากการปฏิบัติงาน

ผู้เรียนสามารถ**ดุลสมการเคมี**สำหรับการสันดาปของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน เพื่อ**คำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Stoichiometric AFR)** และสามารถคำนวณ**เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน** ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นทักษะพื้นฐานในการวิเคราะห์การทำงานของระบบจ่ายเชื้อเพลิงและระบบควบคุมมลพิษของเครื่องยนต์

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์องค์ประกอบของการสันดาปในเชิงมวลและปริมาตร
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคที่ทำการปรับจูนระบบจ่ายเชื้อเพลิง (Fuel Injection System Tuner) และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดค่าไอเสีย

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 ดุลสมการเคมีของการสันดาปสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน (เช่น C8H18 หรือ CH4) กับอากาศได้อย่างถูกต้องตามหลักเคมี

3.2 คำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AFR) โดยมวลและปริมาตร และวิเคราะห์ผลกระทบของอากาศส่วนเกิน หรือ อากาศขาด

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความหมายของ Stoichiometric AFR และ Excess Air รวมถึงการแปลงหน่วยการวิเคราะห์ระหว่างมวลและปริมาตรได้

4.2 สามารถใช้ค่ามวลโมเลกุลในการแปลงระหว่างโมลและมวล เพื่อคำนวณหาอัตราส่วน AFR ได้อย่างแม่นยำ

4.3 แสดงความละเอียดรอบคอบในการดุลสมการและใช้ค่าตัวเลขในการคำนวณ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์จำลอง (ตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 ใบความรู้/ตำราเรียน เรื่อง การสันดาปและการวิเคราะห์ AFR

5.4 ตารางมวลโมเลกุลโดยประมาณ: (C=12, H=1, O=16, N=14)

6. คำแนะนำ/ข้อควรระวัง

1. ยึดหลักว่าอากาศประกอบด้วยออกซิเจน (O2) **21%** และไนโตรเจน (N2) **79%** โดยปริมาตร (หรือ **23.3% O2 และ 76.7% N2 โดยมวล**)

2. ต้อง **ดุลสมการเคมี** ให้ถูกต้องก่อนเริ่มการคำนวณใด ๆ

3. ตรวจสอบการแปลงหน่วยระหว่าง **โมล (ปริมาตร)** และ **มวล** โดยใช้มวลโมเลกุลทุกครั้ง

7. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (โจทย์ปัญหาและการวิเคราะห์)

ภารกิจที่ 1: การวิเคราะห์การสันดาปตามทฤษฎี (Stoichiometric Analysis) □

กำหนดให้เชื้อเพลิงคือ **มีเทน ($\boldsymbol{CH_4}$)** และเกิดการสันดาปสมบูรณ์กับอากาศตามทฤษฎี

1. ดุลสมการเคมี: จงดุลสมการเคมีสำหรับการสันดาปสมบูรณ์ของมีเทนกับอากาศ:

CH_4 + a(O2 + 3.76 N2) to b CO2 + c H2O + d N2

2. **คำนวณ Stoichiometric AFR โดยมวล:** จงคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (AFR) โดยใช้ฐานมวล

3. **คำนวณ Stoichiometric AFR โดยปริมาตร:** จงคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (AFR) โดยใช้ฐานปริมาตร (โมล)

4. **แปลงหน่วย:** จงแสดงการแปลงผลลัพธ์ AFR จากฐานมวล (ข้อ 2) ไปเป็นฐานปริมาตร (ข้อ 3) โดยใช้มวลโมเลกุลรวมของอากาศ (M_{air} x 28.97) และเชื้อเพลิง

ภารกิจที่ 2: การวิเคราะห์อากาศส่วนเกิน (Excess Air)

เครื่องยนต์สันดาปภายในเครื่องหนึ่งใช้เชื้อเพลิง **CH4** และจากการวัดพบว่า **อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (AFR_{Actual})** โดยมวล คือ **19:1**

1. คำนวณ Excess Air จงคำนวณหา เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (%Excess Air) ที่ใช้ในการสันดาปของเครื่องยนต์นี้

$$\%ExcessAir = \left(\frac{AFR_{Actual} - AFR_{Stoich}}{AFR_{Stoich}} \right) \times 100$$

(โดยใช้ AFR_{Stoich} จากภารกิจที่ 1 ข้อ 2)

2. **วิเคราะห์** จงระบุว่าการสันดาปนี้เป็นการทำงานแบบ **หนา (Rich)**, **บาง (Lean)** หรือ **ตามทฤษฎี (Stoichiometric)**

8. สรุปและวิจารณ์ผล

1. ในทางปฏิบัติ การจ่ายเชื้อเพลิงให้เครื่องยนต์ดีเซลมักใช้ อากาศส่วนเกิน สูงกว่าเครื่องยนต์เบนซินอย่างมาก จงอธิบายว่าทำไม

.....

.....

2. การที่เครื่องยนต์ทำงานแบบ หนา (Rich) ส่งผลกระทบต่อค่าไอเสียหลักอะไรบ้างที่ช่างเทคนิคจะต้องระวัง?

.....

.....

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	**เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)**
ภารกิจ 1: ความถูกต้องของการดุลสมการและการคำนวณ Stoichiometric AFR (มวล/ปริมาตร)	15
ภารกิจ 2: ความถูกต้องของการคำนวณ % Excess Air และการวิเคราะห์การทำงาน (Rich/Lean)	15
สรุปและวิจารณ์ผล: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และให้เหตุผลถูกต้อง	10
รวมคะแนน	**40**

10. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ประกอบการสอน เรื่อง การสันดาปและการวิเคราะห์ AFR
2. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 5)
3. ตารางมวลโมเลกุลของธาตุ

ศรีกรุงพาณิชการ

	ใบกิจกรรมที่ 5	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 13-15
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การสันดาป	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ 9 ชม.
ชื่อเรื่อง/การวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิง		

1. ผลลัพธ์การเรียนรู้จากการปฏิบัติงาน

ผู้เรียนสามารถ**ดุลสมการเคมี**สำหรับการสันดาปของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน เพื่อ**คำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Stoichiometric AFR)** และสามารถคำนวณ**เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน** ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นทักษะพื้นฐานในการวิเคราะห์การทำงานของระบบจ่ายเชื้อเพลิงและระบบควบคุมมลพิษของเครื่องยนต์

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

4. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
5. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณและวิเคราะห์องค์ประกอบของการสันดาปในเชิงมวลและปริมาตร
6. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคที่ทำการปรับจูนระบบจ่ายเชื้อเพลิง (Fuel Injection System Tuner) และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดค่าไอเสีย

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 ดุลสมการเคมีของการสันดาปสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน (เช่น C8H18 หรือ CH4) กับอากาศได้อย่างถูกต้องตามหลักเคมี

3.2 คำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AFR) โดยมวลและปริมาตร และวิเคราะห์ผลกระทบของอากาศส่วนเกิน หรือ อากาศขาด

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 อธิบายความหมายของ Stoichiometric AFR และ Excess Air รวมถึงการแปลงหน่วยการวิเคราะห์ระหว่างมวลและปริมาตรได้

4.2 สามารถใช้ค่ามวลโมเลกุลในการแปลงระหว่างโมลและมวล เพื่อคำนวณหาอัตราส่วน AFR ได้อย่างแม่นยำ

4.3 แสดงความละเอียดรอบคอบในการดุลสมการและใช้ค่าตัวเลขในการคำนวณ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

5. เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์

5.1 โจทย์สถานการณ์จำลอง (ตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน)

5.2 เครื่องคิดเลข

5.3 ใบความรู้/ตำราเรียน เรื่อง การสันดาปและการวิเคราะห์ AFR

5.4 ตารางมวลโมเลกุลโดยประมาณ: (C=12, H=1, O=16, N=14)

6. ขั้นตอนการทำกิจกรรม (เวลาปฏิบัติ: 90 นาที)

กิจกรรม 1: การเปรียบเทียบแผนภาพวัฏจักร (40 นาที)

1. นักเรียนในกลุ่มทบทวนความแตกต่างของกระบวนการในเรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล

2. **มอบหมาย:** วาดแผนภาพ P-V และ T-s ของ **เรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล** และ **วัฏจักรผสม**โดยใช้กระบวนการ 4 กระบวนการของแต่ละวัฏจักร

3. **วิเคราะห์:** ระบุข้อดีและข้อเสียทางทฤษฎีเรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อนำมาใช้จริงในเครื่องยนต์ (เช่น การถ่ายเทความร้อนแบบ Isothermal ยากในทางปฏิบัติ)

กิจกรรม 2: การคำนวณและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (40 นาที)

สถานการณ์: บริษัทผลิตเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ 2 บริษัท มีการออกแบบอัตราส่วนการอัดดังนี้:

บริษัท A: อัตราส่วนการอัด $r_A = 8:1$

บริษัท B: อัตราส่วนการอัด $r_B = 10:1$

กำหนดให้ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ $k = 1.4$

1. **คำถาม 2.1** คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโตของ **บริษัท A** $\eta_{th,}$ A)

2. **คำถาม 2.2** คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรออตโตของ **บริษัท B** $\eta_{th,}$ B)

3. **คำถาม 2.3 (อัตราส่วนของงาน)** ในการทำงานจริง งานที่ได้จากการขยายตัว W_{exp} ของเครื่องยนต์เท่ากับ 120 kJ และงานที่ต้องใช้ในการอัด W_{comp} เท่ากับ 30 kJ จงคำนวณ **อัตราส่วนของงาน** $W_{ratio} = W_{net} /W_{exp}$

7. สรุปและอภิปราย

1. อภิปรายผล: ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของบริษัทใดดีกว่ากัน? (A หรือ B) และการเพิ่มอัตราส่วนการอัด (r) ส่งผลต่อการออกแบบเครื่องยนต์จริงอย่างไร (เช่น ปัญหาการน็อคของเครื่องยนต์)?

.....

2. อธิบายความแตกต่างหลักระหว่างการเพิ่มความร้อนในวัฏจักรออตโต (ปริมาตรคงที่) และวัฏจักรดีเซล (ความดันคงที่) ในแง่ของการใช้งานจริง

.....

8. การประเมินผล

รายการประเมิน	เกณฑ์ (คะแนนเต็ม)
กิจกรรม 1: ความถูกต้องของการวาดแผนภาพ P-V, T-s และการระบุกระบวนการ	15
กิจกรรม 2: ความถูกต้องของการคำนวณ ($\eta_{th, Diesel}$) ทั้งสองกรณี และ W_{ratio}	15
สรุปและอภิปราย: การตอบคำถามเชิงวิเคราะห์และเข้าร่วมการนำเสนออย่างมีเหตุผล	10
รวมคะแนน	**40**

9. เอกสารอ้างอิง /เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ใบความรู้ประกอบการสอน เรื่อง เรื่องวัฏจักรเครื่องยนต์ดีเซล
2. ตารางค่า k สำหรับก๊าซต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง ฉบับสอบ

	ใบมอบหมายงาน	หน่วยที่ 5
	รหัสวิชา 30101-2003 ชื่อวิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน	สอนครั้งที่ 13-15
	ชื่อหน่วยการเรียนรู้ การสันดาป (Combustion)	ทฤษฎี 3 ชม. ปฏิบัติ 9 ชม.
ชื่อเรื่อง/การวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิง		

1. ผลงานหรือผลการปฏิบัติงาน

1. **รายงานการคำนวณและวิเคราะห์การสันดาป:** ครอบคลุมการดุลสมการเคมี, การคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AFR) ทั้งโดยมวลและปริมาตร, การแปลงหน่วย, และการวิเคราะห์อากาศส่วนเกิน

2. **ผลการคำนวณ:** แสดงวิธีทำโจทย์สถานการณ์จำลองตามที่กำหนดในข้อ 5 อย่างละเอียดและเป็นขั้นตอน

2. อ้างอิงมาตรฐาน/เชื่อมโยงกลุ่มอาชีพ

1. **มาตรฐานอาชีพ:** ช่างซ่อมเครื่องยนต์ ช่างเทคนิคยานยนต์
2. **สมรรถนะย่อย:** คำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AFR) และปริมาณอากาศส่วนเกินของเครื่องยนต์
3. **บูรณาการกลุ่มอาชีพ:** ช่างเทคนิคผู้เชี่ยวชาญด้านการปรับจูนเครื่องยนต์ (ECU Mapping/Tuning) ที่ต้องควบคุม AFR อย่างแม่นยำเพื่อสมรรถนะและการลดมลพิษ

3. สมรรถนะการปฏิบัติงาน

3.1 ดุลสมการเคมีของการสันดาปสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนกับอากาศเพื่อหาปริมาณสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่แน่นอนตามหลัก Stoichiometry

3.2 คำนวณและแปลงหน่วยอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง AFR ระหว่างฐานมวลและฐานปริมาตร รวมถึงวิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์จากปริมาณ อากาศส่วนเกิน (Excess Air)

4. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

4.1 สามารถอธิบายหลักการของ Stoichiometric AFR และความสำคัญของการใช้ มวลโมเลกุล ในการแปลงหน่วยระหว่างการวิเคราะห์โดยมวลและโดยปริมาตรได้

4.2 สามารถแก้โจทย์คำนวณที่เกี่ยวข้องกับการสันดาปของเชื้อเพลิงและอากาศส่วนเกินได้อย่างครบถ้วนและแม่นยำ

4.3 ให้ความสำคัญกับความละเอียดรอบคอบในการทำงานทางคณิตศาสตร์และเคมีเพื่อหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์องค์ประกอบการสันดาป

5. รายละเอียดของงาน (โจทย์สถานการณ์จำลอง)

นักศึกษาต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาต่อไปนี้ โดยใช้ค่ามวลโมเลกุลโดยประมาณ C=12, H=1, O=16, N=14

ภารกิจหลัก การสันดาปของออกเทน (Octane, C8H18)

สถานการณ์: เครื่องยนต์เบนซินทำงานโดยใช้เชื้อเพลิงหลักคือ Octane (C8H18) และมีอากาศเข้าสู่กระบวนการสันดาป

1. **การวิเคราะห์ Stoichiometric AFR:**

1.1 ดุลสมการเคมี จงดุลสมการเคมีของการสันดาปสมบูรณ์ของ C8H18 กับอากาศ (สมมติให้อากาศประกอบด้วย O2 และ N2)

1.2 คำนวณ AFR_{Stoich} โดยมวล จากสมการที่ดุลแล้ว จงคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี **โดยมวล**

1.3 คำนวณ AFR_{Stoich} โดยปริมาตร: จงคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี **โดยปริมาตร (โมล)**

2. **การวิเคราะห์อากาศส่วนเกิน**

2.1 คำนวณ หากเครื่องยนต์ใช้ C8H18 แต่มีการจ่ายอากาศเข้าสู่การสันดาปในอัตราส่วน AFR_{Actual} **เท่ากับ 20:1 โดยมวล** จงคำนวณหา **เปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (% Excess Air)** ที่ใช้

2.2 ผลกระทบ อธิบายว่าการใช้ % Excess Air ที่คำนวณได้ ส่งผลต่ออุณหภูมิการสันดาปและมลพิษ NOx อย่างไรบ้าง

6. กำหนดเวลาส่งงาน

วันที่: ..... (โปรดส่งในรูปแบบรายงานการคำนวณ)

7. แนวทางในการปฏิบัติงาน

1. เริ่มจากการเขียนสมการเคมีตั้งต้นและใช้กฎการอนุรักษ์มวลในการ **ดุลสมการ** อย่างระมัดระวัง
2. ใช้หลักการที่ว่า **ปริมาตร (โมล) แปรผันตรงกับตัวเลขดุลสมการ** ในการวิเคราะห์โดยปริมาตร
3. ใช้ **มวลโมเลกุล** ในการแปลงตัวเลขดุลสมการ (โมล) ให้เป็น **มวล** เพื่อหาอัตราส่วน AFR โดยมวล

8. แหล่งข้อมูลค้นคว้าเพิ่มเติม

1. ตำราวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (บทที่ 5: การสันดาป)
2. หนังสือ/เอกสารวิชาเทอร์โมไดนามิกส์ (หัวข้อ Combustion Chemistry)
3. แหล่งข้อมูลออนไลน์เกี่ยวกับ **Stoichiometric Ratio** และ **มวลโมเลกุล** ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ

ศรียุทธ พิบูลศิริ

9. การประเมินผล

รายการประเมิน	**เกณฑ์การให้คะแนน (คะแนนเต็ม)**
ภารกิจ 1.1: การดุลสมการเคมีถูกต้อง	10 คะแนน
ภารกิจ 1.2-1.3: ความถูกต้องของการคำนวณ AFR_{Stoich} โดยมวลและปริมาตร	10 คะแนน
ภารกิจ 2.1: ความถูกต้องของการคำนวณ % Excess Air	10 คะแนน
ภารกิจ 2.2 และความเรียบร้อย: การวิเคราะห์ผลกระทบ และความเป็นระเบียบเรียบร้อยของรายงาน	10 คะแนน
รวมคะแนน	**40 คะแนน**

ศรายุทธ ทบเมือง

ข้อสอบปลายภาค

วิชา เครื่องยนต์สันดาปภายใน รหัสวิชา 30101-2003

ระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาเทคนิคเครื่องกลเรือ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2568

ตอนที่ 2 เป็นข้อสอบแบบอัตนัย

คำชี้แจง

1. **ไม่อนุญาต**ให้นักศึกษานำหนังสือ ตำราสมุดเข้าในห้องสอบ
2. **อนุญาต**ให้นักศึกษานำกระดาษเนื้อหารายวิชาเข้าห้องสอบได้ 1 แผ่น
3. **ไม่อนุญาต**ให้นักศึกนำเครื่องมือสื่อสารเข้าในห้องสอบ
4. เวลาในการทำข้อสอบ 2 ชั่วโมง

คำสั่ง ให้นักศึกษาแสดงวิธีทำและหาคำตอบให้ถูกต้อง

ข้อ 1 แก๊สจำนวนหนึ่งมีความดัน 180 KPa ปริมาตร 0.02 m อุณหภูมิ 28 K เปลี่ยนแปลงสภาวะจนความดันเป็น 850 kPa ปริมาตร 0.01 m^3 ถ้าค่า R = 0.285 KJ/kg.K จงหามวลของแก๊สและอุณหภูมิสุดท้าย **(3 คะแนน)**

ข้อ 2 เครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะให้กำลังงานเบรกเท่ากับ 95 kW และกำลังงานชี้บ่ง เท่ากับ 110 kW ในขณะที่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสิ้นเปลืองไป 0.4 kg/min จงคำนวณหาประสิทธิทางความร้อนเครื่องยนต์เมื่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เท่ากับ 46,000 kJ/kg **(4 คะแนน)**

ข้อ 3 วัฏจักรออตโตใช้อากาศเป็นสารตัวกลางโดยอากาศที่ความดัน 1.035 kPa และอุณหภูมิ 15.5 ^{0}C ถูกอัดตัวแบบไอเซนทรอปิก (k= 1.4) จนมีความดันเป็น 12.68 KPa ถ้าความดันสูงสุดของวัฏจักรเป็น 34.47 kPa จงคำนวณหาอัตราส่วนการอัด ประสิทธิภาพทางความร้อนและความร้อนที่ถ่ายเทให้กับระบบ เมื่อ C_V มีค่า 0.718 kJ/kg.K และ R = 0.287 KJ/kg.K **(6 คะแนน)**

ข้อ 4 สารเชื้อเพลิงมีส่วนประกอบโดยปริมาตรดังนี้ มีเทน 14 % คาร์บอนไดออกไซด์ 13 % ไฮโดรเจน 25 % คาร์บอนไดออกไซด์ 3 % ออกซิเจน 2 % และไนโตรเจน 43 % จงคำนวณหาอากาศที่ต้องการสำหรับการสันดาปเชื้อเพลิงจำนวน 1 m^3 ได้อย่างสมบูรณ์ และหาผลิตผลที่ได้จากการสันดาปโดยปริมาตรเป็นเปอร์เซนต์ **(7 คะแนน)**

“ข้อให้ทุกคนมีความสุขกับการสอบ” ครับ!