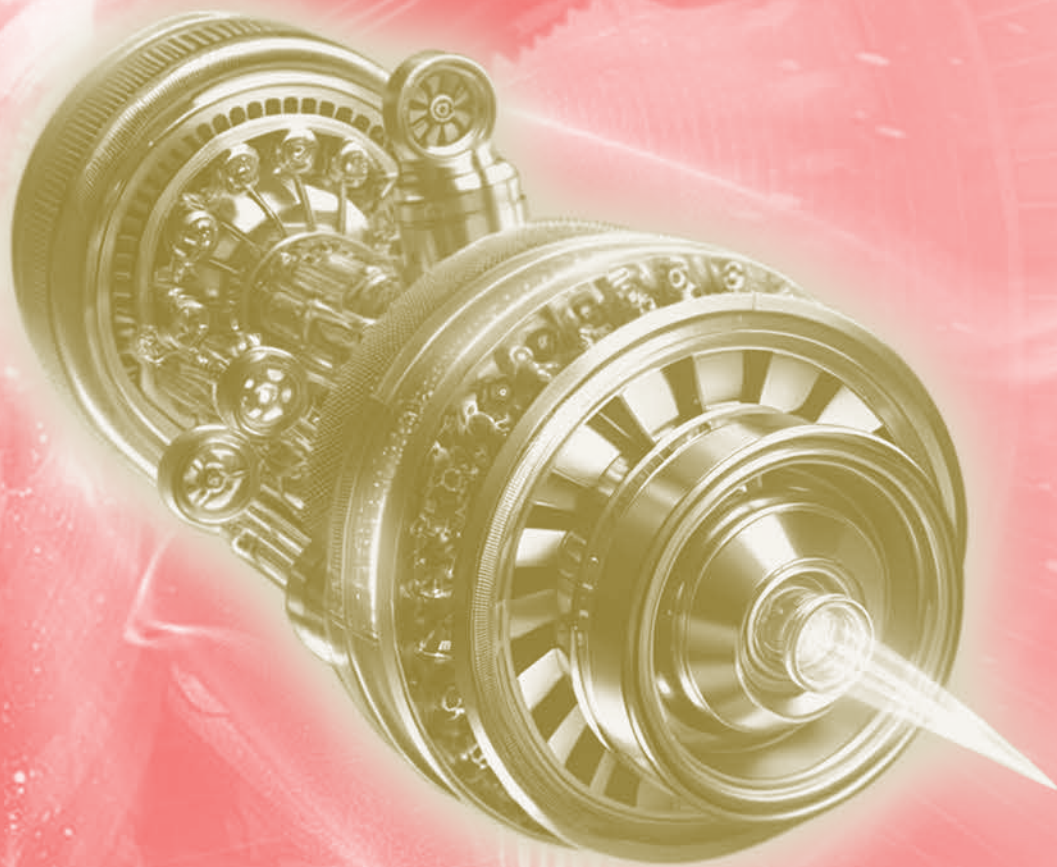


เทอร์โมไดนามิกส์

(Thermodynamics)



ผศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศรี

120.-

เทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics)

กลุ่มอาชีพเครื่องกลและยานยนต์

ISBN 978-616-495-295-9

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2568

จำนวนพิมพ์ 2,000 เล่ม

เรียบเรียงโดย

ผศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศร

จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย โดย...



วังอักษร

บริษัท วังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ

เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

โทร. 0-2472-3293-4

มือถือ 08-8585-1521

e-mail : wangaksorn9@gmail.com

Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร

www.wangaksorn.com

Line ID : wangaksorn



FREE

e-book



เนื้อหาในเล่ม
ในรูปแบบ QR Code

บริษัท วังอักษร จำกัด ขอสงวนลิขสิทธิ์

ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์เพิ่มเติม พ.ศ. 2565
ห้ามมิให้ทำการคัดลอก ตัดแปลง แก้ไขเนื้อหา หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนไม่ว่ารูปแบบใด
ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือฉบับนี้ เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมาย
ของเจ้าของแต่ละราย บริษัทฯ มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด

คำนำ

บริษัท วังอักษร จำกัด ได้จัดทำหนังสือวิชา **เทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics)** เพื่อใช้
บูรณาการและประกอบการเรียนการสอน ตามหลักสูตรอาชีวศึกษา (สอศ.) หลักสูตรส่งเสริมการเรียนรู้
(สกร.) และหลักสูตรอุดมศึกษา ผู้สนใจในการพัฒนาการเรียนรู้และทักษะ

หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วยเนื้อหาสาระ แบบฝึกหัด มีจุดประสงค์ในการยกระดับผู้เรียนให้เรียนทฤษฎี
และปฏิบัติ เพื่อเสริมสร้างทักษะ ประสบการณ์ และการประยุกต์ใช้ได้จริง โดยเน้นกระบวนการเรียนรู้
ที่มีคุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ และกิจนิสัยในการทำงาน เพื่อสร้างสมรรถนะตามความ
ต้องการของสถานประกอบการ เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น 6 บทเรียน คือ **บทที่ 1 แนวคิด
พื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์ บทที่ 2 สารบริสุทธิ์และแก๊สอุดมคติ บทที่ 3 กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โม
ไดนามิกส์สำหรับระบบปิด บทที่ 4 กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับปริมาตรควบคุม บทที่ 5
เครื่องจักรความร้อน ป้อนความร้อน เครื่องทำความเย็นและกฎข้อที่สอง และบทที่ 6 กฎข้อที่สองของ
เทอร์โมไดนามิกส์และเอนโทรปี**

หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหาที่ทันสมัย ตามแผนการพัฒนาศึกษาด้านอาชีพเครื่องกลและยานยนต์
สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติและแผนการศึกษาแห่งชาติ เพื่อให้ผู้เรียนมีผลลัพธ์การเรียนรู้และสมรรถนะ
ตามหลักสูตร

ผศ. น.อ. รามจิตติ ฤทธิศร



สารบัญ

บทที่ 1 แนวคิดพื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์

นิยามของเทอร์โมไดนามิกส์ (Definition of Thermodynamics)	2
การประยุกต์ใช้เทอร์โมไดนามิกส์ (Application Areas of Thermodynamics)	3
กฎของเทอร์โมไดนามิกส์ (Laws of Thermodynamics)	4
การวิเคราะห์ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์	4
มิติและหน่วย (Dimensions and Units)	4
ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics System)	5
คุณสมบัติและสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics Properties and State)	7
อุณหภูมิและกฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์ (Temperature and Zeroth Law of Thermodynamics)	8
กระบวนการและวัฏจักร (Process and Cycle)	8
รูปแบบของพลังงาน (Forms of Energy)	10
ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)	10
ความดัน (Pressure)	11
แบบทดสอบท้ายบท	15

บทที่ 2 สารบริสุทธิ์และแก๊สอุดมคติ

19

นิยามของสารบริสุทธิ์	20
สถานะของสารบริสุทธิ์	21
อุณหภูมิอิ่มตัวและความดันอิ่มตัว	23
แผนภาพคุณสมบัติในการเปลี่ยนสถานะ	24
ตารางแสดงคุณสมบัติ	30
สมการสภาวะของแก๊ส	33
ไอน้ำกับการเป็นแก๊สอุดมคติ	36
แบบทดสอบท้ายบท	39

บทที่ 3 กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ สำหรับระบบปิด

43

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับระบบปิด	44
ความร้อน	45
งาน	46
คุณลักษณะของความร้อนกับงาน	47
งานและพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ	48
กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์	51
การแก้ปัญหาเทอร์โมไดนามิกส์	52
พลังงานภายใน เอนทัลปีและความร้อนจำเพาะ	55
ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนจำเพาะของแก๊สอุดมคติ	57
พลังงานภายใน เอนทัลปี และความร้อนจำเพาะของของแข็ง	59
แบบทดสอบท้ายบท	60

บทที่ 4 กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ สำหรับปริมาตรควบคุม

64

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับปริมาตรควบคุม	65
กฎทรงมวลสำหรับปริมาตรควบคุม	66
กฎอนุรักษ์พลังงานสำหรับปริมาตรควบคุม	67
งานของของไหล	67
การวิเคราะห์พลังงานแบบการไหลคงตัว	69
การวิเคราะห์กฎทรงมวลของการไหลคงตัว	69
อุปกรณ์การไหลทางวิศวกรรม	70
แบบทดสอบท้ายบท	79

บทที่ 5 เครื่องจักรความร้อน ป้อนความร้อน เครื่องทำความเย็นและกฎข้อที่สอง

86

กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์	87
คำจำกัดความ	88
เครื่องจักรความร้อน (Heat Engine)	89
ปั๊มความร้อน (Heat Pump)	90
ถ้อยแถลงของกฎข้อที่สอง (Second Law Statements)	92
เครื่องจักรนิรันดร์กาล (Perpetual - Motion Machines)	94
กระบวนการย้อนกลับได้ (Reversible Processes)	96
วัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot Cycle)	97
เครื่องจักรความร้อนคาร์โนต์ (Carnot's Heat Engine)	98
ปั๊มความร้อนและตู้เย็นคาร์โนต์ (Carnot's Heat Pump and Refrigerator)	101
แบบทดสอบท้ายบท	105

บทที่ 6 กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ และเอนโทรปี

112

ความไม่เท่ากันของเคลาสีอุส (Inequality of Clausius)	113
นิยามของเอนโทรปี (Entropy Definition)	116
เอนโทรปีกับกระบวนการต่าง ๆ (Entropy with Some Processes)	119
นิยามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์	120
เอนโทรปีในนิยามคุณสมบัติ	125
การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีและความสัมพันธ์ไอเซนทรอปิก สำหรับกระบวนการต่าง ๆ	128
ประสิทธิภาพของชุดกังหัน คอมเพรสเซอร์ (ปั๊ม) และนอสเซลล์	131
วัฏจักรอากาศมาตรฐาน (Air - Standard Cycle)	135
แบบทดสอบและกิจกรรมฝึกทักษะ	146

คำถามเพื่อการทบทวน

153

คำศัพท์

158

บรรณานุกรม

165

(Basic Concept of Thermodynamics)

บทที่ 1

แนวคิดพื้นฐาน ทางอุณหพลศาสตร์

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

หลังจากศึกษาบทเรียนนี้แล้วนักศึกษาจะมีความสามารถดังนี้

1. บอกนิยามและการประยุกต์เทอร์โมไดนามิกส์
2. อธิบายระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์
3. อธิบายคุณสมบัติและสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์
4. อธิบายอุณหภูมิจากกฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์
5. อธิบายเรื่องกระบวนการและวัฏจักร
6. อธิบายเรื่องรูปแบบของพลังงานและปริมาณจำเพาะ
7. บอกความหมายและคำนวณหาค่าความดันเกจ

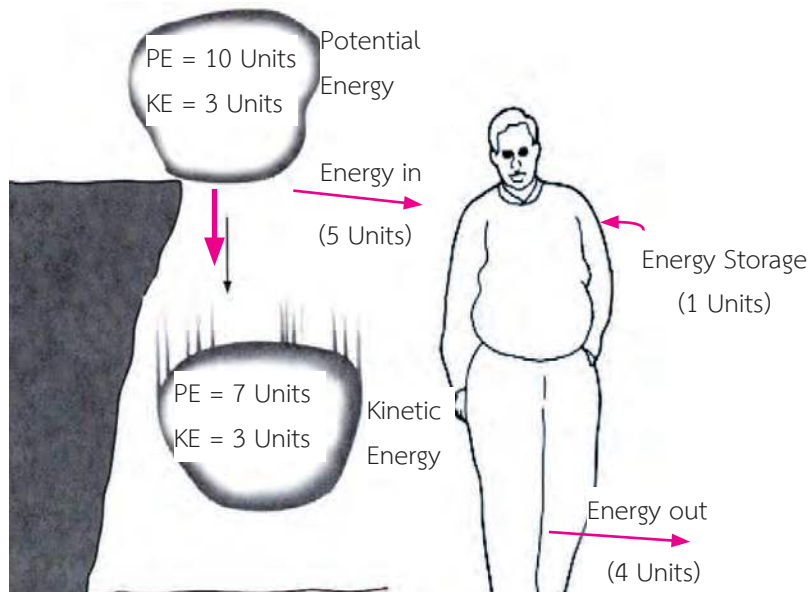
บทที่ 1

แนวคิดพื้นฐาน ทางอุณหพลศาสตร์ (Basic Concept of Thermodynamics)

เทอร์โมไดนามิกส์เป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางด้าน พลังงาน, ความร้อน, งาน, รวมไปถึงทั้งกลไกการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน ซึ่งจะช่วยให้เราสามารถอธิบายหรือทำนายการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ได้ เช่น การเปลี่ยนสถานะของสาร การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและอื่น ๆ ซึ่งเราสามารถให้หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์มาอธิบายได้

นิยามของเทอร์โมไดนามิกส์ (Definition of Thermodynamics)

เทอร์โมไดนามิกส์ เป็นศาสตร์เกี่ยวกับเรื่องพลังงาน โดยหลักการพื้นฐานของพลังงาน คือ กฎทรงพลังงาน (Conservation of Energy) หมายถึง พลังงานจะไม่สูญหายแต่สามารถเปลี่ยนรูปได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กฎทรงพลังงาน

การประยุกต์ใช้เทอร์โมไดนามิกส์ (Application Areas of Thermodynamics)

หลักการและการวิเคราะห์ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถนำมาใช้งานได้หลากหลาย โดยอุปกรณ์หรือระบบหลัก ๆ ที่ประยุกต์ใช้หลักการของระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่พบได้บ่อย ๆ ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ ระบบปรับอากาศ โรงไฟฟ้า และอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 อุปกรณ์ที่ประยุกต์ใช้ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์

กฎของเทอร์โมไดนามิกส์ (Laws of Thermodynamics)

กฎหลักๆ ทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่นำมาใช้งานมี ดังนี้

1. **กฎข้อที่ศูนย์ (The Zeroth Law)** หมายถึง กฎแห่งความสมดุลทางอุณหภูมิ (Thermal Equilibrium)
2. **กฎข้อที่หนึ่ง (The First Law)** หมายถึง กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)
3. **กฎข้อที่สอง (The Second Law)** หมายถึง กฎที่ว่าด้วยคุณภาพของพลังงานและกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงในทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Quality of Energy and Actual Process)

การวิเคราะห์ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์

โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์สามารถแยกเป็น 2 ระดับ ดังนี้

1. **การวิเคราะห์แบบมหภาค (Macroscopic Analysis)**
วิเคราะห์ที่ผลลัพธ์หรือผลกระทบทั้งหมดที่มีต่อระบบหรือวัตถุ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหรือถ่ายเทพลังงานโดยมิได้พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลในระบบ
2. **การวิเคราะห์แบบจุลภาค (Microscopic Analysis)**
เป็นการวิเคราะห์ที่คำนึงถึงการเคลื่อนที่ พฤติกรรมของโมเลกุลในระบบ

มิติและหน่วย (Dimensions and Units)

มิติ (Dimensions)

มิติ หมายถึง คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุหรือระบบซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. **หน่วยหลัก (Primary Dimensions)** เป็นหน่วยพื้นฐาน ไม่สามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก เช่น มวล (Mass) ความยาว (Length) เวลา (Time) และอุณหภูมิ (Temperature)
2. **หน่วยรอง (Secondary Dimensions)** เป็นหน่วยที่เกิดจากการสร้างความสัมพันธ์โดยหน่วยหลัก เช่น ความเร็ว (Velocity) ซึ่งเกิดจากความยาวหารด้วยเวลา หรือแรง (Force) อันเกิดจากมวลคูณความยาวหารด้วยเวลายกกำลังสอง เป็นต้น

หน่วย (Units)

หน่วย หมายถึง ขนาดของมิติ หน่วยที่ใช้ในด้านวิศวกรรมมีหลายระบบ เช่น ระบบ SI ระบบอังกฤษ และระบบเมตริก โดยระบบ SI เป็นหน่วยที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

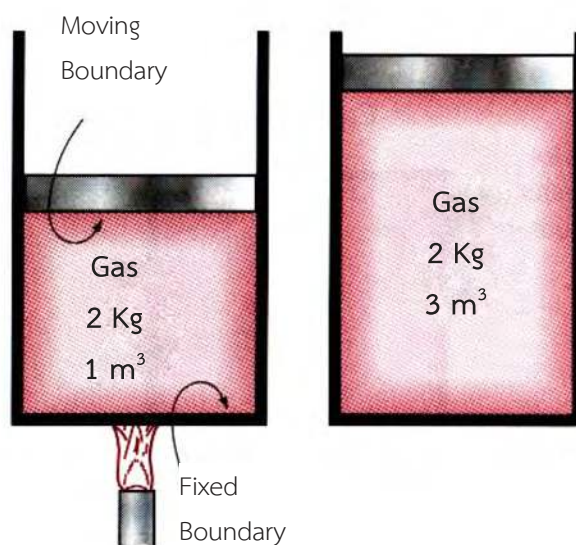
ปริมาณ	มิติ สัญลักษณ์	ระบบ SI		ระบบอังกฤษ		ระบบเมตริก	
		หน่วย	สัญลักษณ์	หน่วย	สัญลักษณ์	หน่วย	สัญลักษณ์
ความยาว	L	เมตร	M	ฟุต	ft	เมตร	m
เวลา	T	วินาที	S	วินาที	S	วินาที	S
มวล	M	กิโลกรัม	Kg	ปอนด์	lb	กิโลกรัม	Kg
แรง	F	นิวตัน	N	ปอนด์	lb	กิโลกรัม	Kg

ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics System)

ระบบ (System) หมายถึง กลุ่มหรือส่วนของมวลที่ถูกเลือกพิจารณาในการวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ระบบจะถูกแบ่งแยกจากสิ่งแวดล้อม (Surrounding) โดยขอบเขต (Boundary) โดยระบบที่วิเคราะห์ในทางเทอร์โมไดนามิกส์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

ระบบปิด (Closed System)

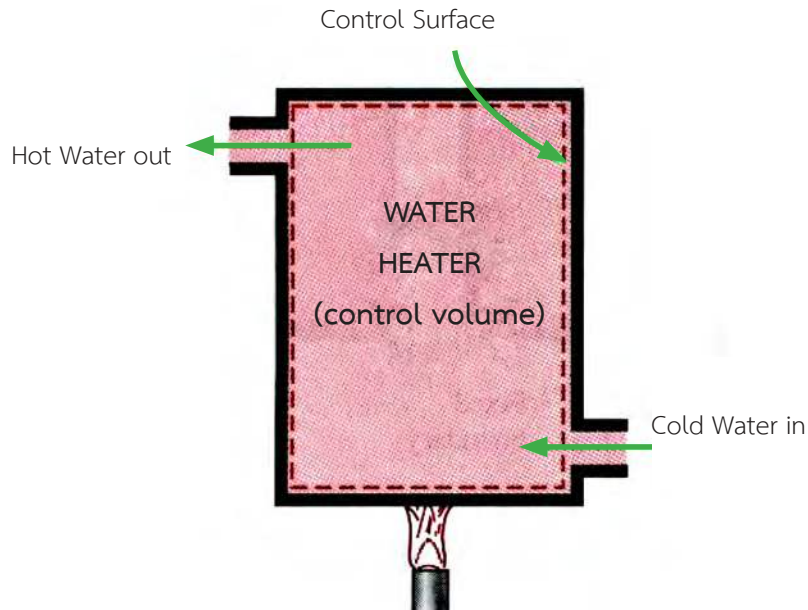
ระบบปิด (Closed System) หมายถึง ระบบที่ไม่มีการถ่ายเทมวล แต่ยอมให้มีการถ่ายเทพลังงานผ่านขอบเขตของระบบ ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ระบบปิด

ระบบเปิด (Open System)

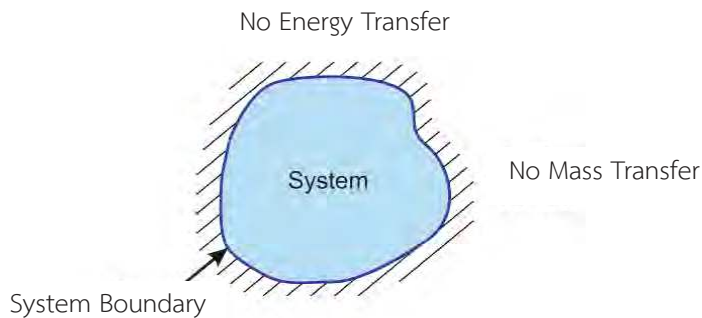
ระบบเปิด (Open System) หมายถึง ระบบที่ยอมให้มีการถ่ายเทมวล และมีการถ่ายเทพลังงานผ่านขอบเขตของระบบ ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ระบบเปิด

ระบบโดดเดี่ยว (Isolated System)

ระบบโดดเดี่ยว (Isolated System) หมายถึง ระบบที่ไม่มีการถ่ายเทมวลและไม่มีการถ่ายเทพลังงานผ่านขอบเขตของระบบ



รูปที่ 1.5 ระบบโดดเดี่ยว



คุณสมบัติและสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics Properties and State)

คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์

คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

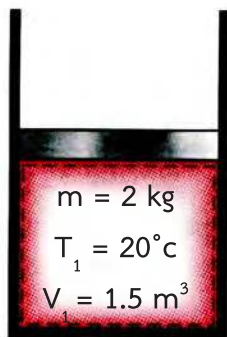
1. **คุณสมบัติอิงมวล (Extensive Properties)** หมายถึง คุณสมบัติที่ขึ้นหรือแปรผันตามขนาดมวลของระบบ ตัวอย่างเช่น มวล (m) ปริมาตร (V) และพลังงานทั้งหมด (E) เป็นต้น

2. **คุณสมบัติเฉพาะตัว (Intensive Properties)** หมายถึง คุณสมบัติที่มีความอิสระและไม่ขึ้นหรือแปรผันตามขนาดของมวลของระบบ ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ (T) ความดัน (P) และความหนาแน่น เป็นต้น

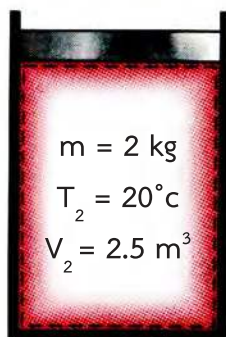
ทั้งนี้คุณสมบัติอิงมวลสามารถแปลงให้เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวได้โดยการหารคุณสมบัตินั้น ๆ ด้วยมวล เช่น ปริมาตรจำเพาะ $v = V/m$ หรือ พลังงานรวมจำเพาะ $e = E/m$

สภาวะ

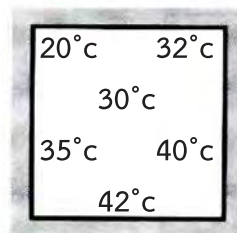
สภาวะ หมายถึง คุณสมบัติทุกคุณสมบัติที่จุด ๆ หนึ่งของระบบ โดยสภาวะของระบบสามารถบ่งบอกได้โดยคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ไม่ขึ้นต่อกันจำนวน 2 คุณสมบัติ ที่สภาวะสมดุล (Equilibrium) นั้นระบบจะมีคุณสมบัติคงที่และไม่มีแรงขับเคลื่อนใด ๆ ทั้งด้านความร้อนทางกล และทางเคมี ดังรูปที่ 1.6



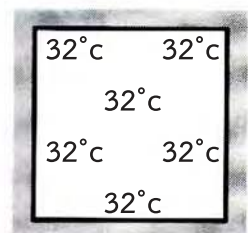
(a) State 1



(b) State 2



(a) Before



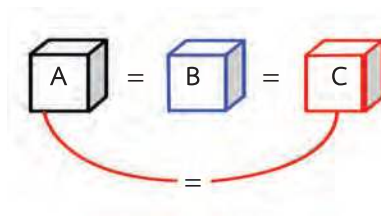
(b) After

 **รูปที่ 1.6** คุณสมบัติ ณ สภาวะของระบบที่เปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิและกฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์ (Temperature and Zeroth Law of Thermodynamics)

กฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์กล่าวเอาไว้ว่า “ถ้าวัตถุสองชิ้นมีอุณหภูมิเท่ากัน จะมีความสมดุลทางความร้อน กล่าวคือ จะไม่ถ่ายเทความร้อนให้แก่กัน”

จากรูปที่ 1.7 ใช้กฎข้อที่ศูนย์อธิบายได้ว่า ถ้าวัตถุ A ไม่ถ่ายเทความร้อนให้วัตถุ B และวัตถุ C ก็ไม่ถ่ายเทความร้อนให้วัตถุ B เช่นกันแล้ว วัตถุ A และ C จะมีอุณหภูมิเท่ากัน ซึ่งจะเท่ากับกับ B ด้วย



รูปที่ 1.7 แสดงความสมดุลทางอุณหภูมิของวัตถุ 3 ชิ้น

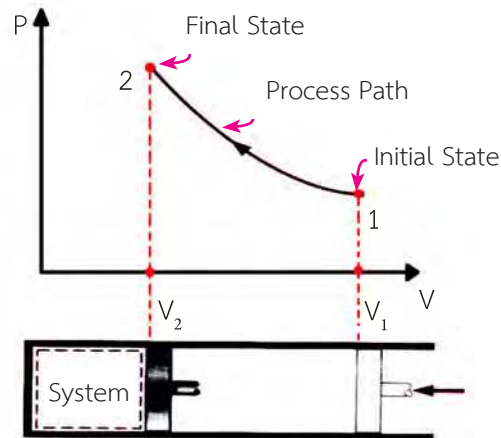
กระบวนการและวัฏจักร (Process and Cycle)

กระบวนการ (Process)

กระบวนการ หมายถึง การที่สารในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะหนึ่งไปสู่อีกสถานะหนึ่ง กระบวนการมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติตลอดเส้นทางเดินของกระบวนการ เช่น

- Adiabatic Process : กระบวนการที่สารในระบบไม่มีการถ่ายเทความร้อน
 - Isothermal Process : กระบวนการที่สารในระบบมีอุณหภูมิคงที่ตลอดกระบวนการ
 - Isobaric Process : กระบวนการที่สารในระบบมีความดันคงที่ตลอดกระบวนการ
 - Isometric Process : กระบวนการที่สารในระบบมีปริมาตรคงที่ตลอดกระบวนการ
 - Isentropic Process : กระบวนการที่สารในระบบมีเอนโทรปีคงที่ตลอดกระบวนการ
- เมื่อกล่าวถึงกระบวนการจะมีคำจำกัดความที่ควรทราบดังต่อไปนี้

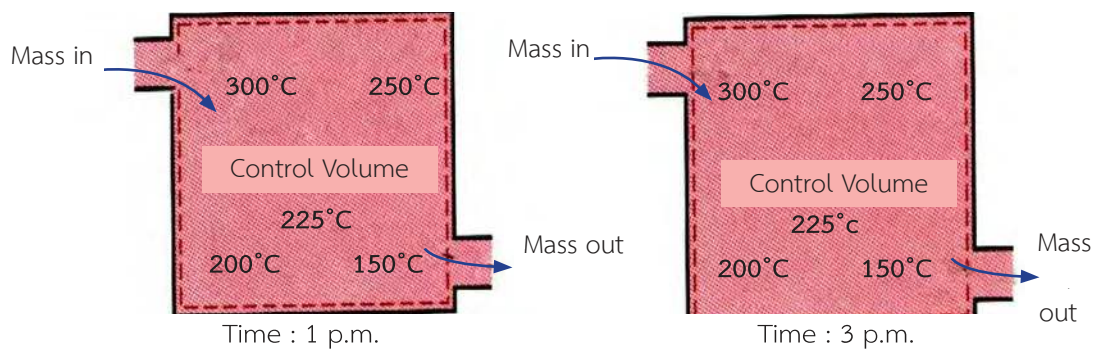
เส้นทางเดินของกระบวนการ (Process Path) หมายถึง สถานะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการ ดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 เส้นทางเดินของกระบวนการ (Process Path)

สมดุลควาไซ (Quasi-equilibrium Process) หมายถึง กระบวนการที่การเปลี่ยนแปลงของสถานะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการนั้น ๆ มีค่าเข้าใกล้สมดุล ทั้งนี้การเกิดกระบวนการต้องช้าเพียงพอ

คงตัว (Steady) คือ กระบวนการที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 กระบวนการที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Steady)

คงรูป (Uniform) คือ กระบวนการที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามสถานที่ (Location)

วัฏจักร (Cycle)

วัฏจักร หมายถึง การที่สารในระบบเกิดการเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะกี่กระบวนการ และกี่สถานะก็ตาม สุดท้ายจะย้อนกลับมาสู่สถานะเริ่มต้นอีกครั้ง

รูปแบบของพลังงาน (Forms of Energy)

พลังงานสามารถคงอยู่ได้หลายรูปแบบ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานศักย์ พลังงานจลน์ หรือพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น โดยการวิเคราะห์พลังงานทั้งหมดของระบบแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

1. พลังงานแบบมหภาค (Macroscopic Energy) หมายถึง พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ พลังงานเนื่องจากการไหล เป็นต้น

2. พลังงานแบบจุลภาค (Microscopic Energy) หมายถึง ผลรวมของพลังงานแบบจุลภาค ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในระบบ เป็นต้น

โดยผลรวมของพลังงานในระบบ (Total Energy, E) มีค่าดังนี้

$$E = U + KE + PE$$

$$E = U + \frac{1}{2}mv^2 + mgZ \quad (1.1)$$

โดยที่ E หมายถึง พลังงานรวม

U หมายถึง พลังงานภายในทั้งหมด

$\frac{1}{2}mv^2$ หมายถึง พลังงานจลน์

mgZ หมายถึง พลังงานศักย์

นอกจากนี้เพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ หากสมการของพลังงานรวมด้วยมวลจะได้ พลังงานรวมต่อหน่วยมวล (e) ซึ่งมีค่าดังนี้ (มีหน่วยเป็น kJ/kg)

$$E = \frac{E}{m}$$

$$e = u + \frac{v^2}{2} + gZ \quad (1.2)$$

ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)

ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, v) หมายถึง ปริมาตรของสารต่อหนึ่งหน่วยมวล ดังนี้ (หน่วยเป็น m^3/kg)

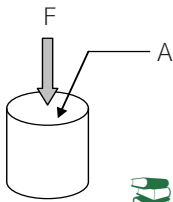
$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (1.3)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่น



ความดัน (Pressure)

ความดัน (Pressure, P) เป็นคุณสมบัติหนึ่งของระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงในแนวตั้งฉากที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ดังรูปที่ 1.10



$$P = \frac{F}{A} \quad (1.4)$$

 **รูปที่ 1.10** วัตถุภายใต้แรงกระทำที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด

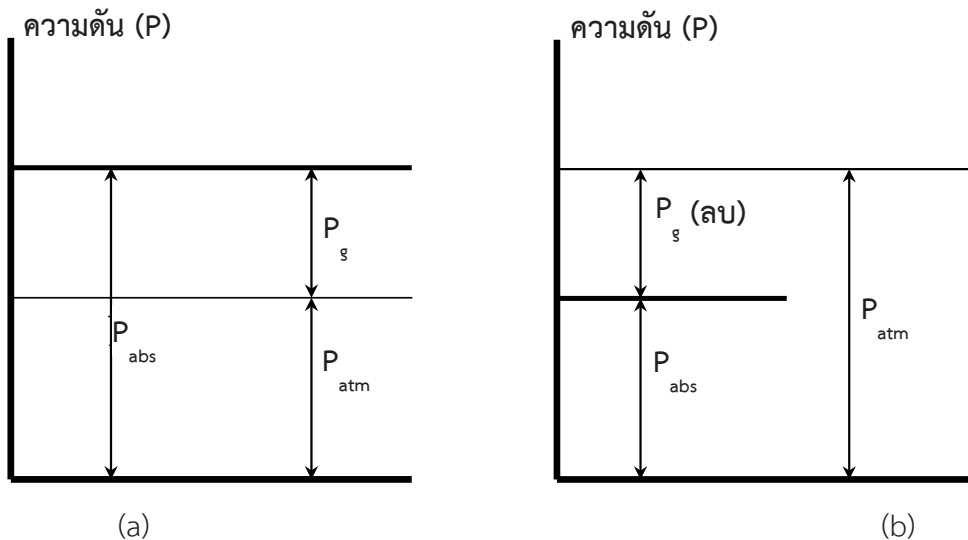
หน่วยของความดันที่นิยมใช้ในทางวิศวกรรมมีหลายชนิด เช่น

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \text{ bar} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

การเรียกและแยกประเภทของความดันในทางวิศวกรรมนิยมแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ ความดันเกจ (Gauge Pressure) ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) และความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure)



 **รูปที่ 1.11** แสดงความสัมพันธ์ของความดัน