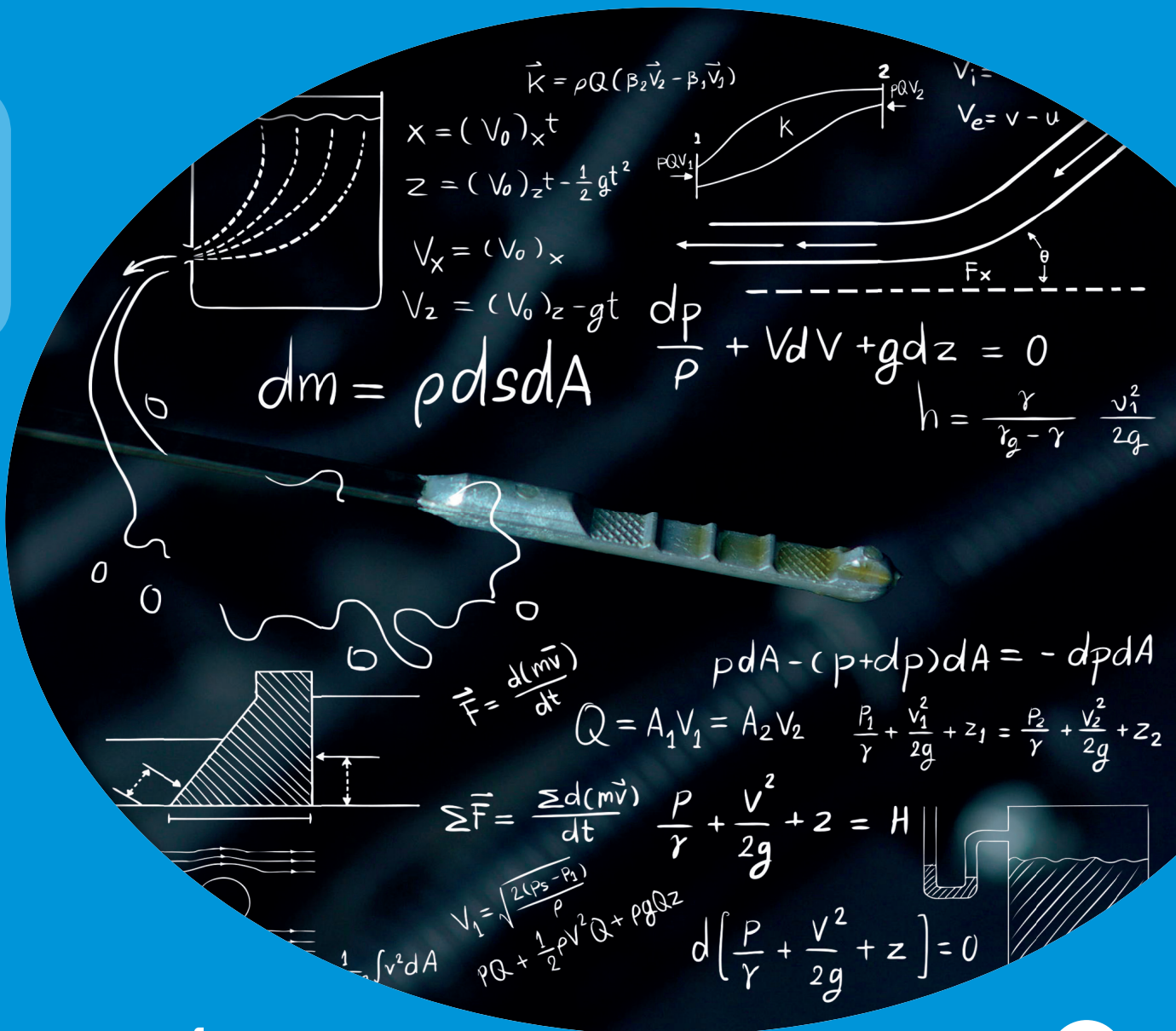




กลศาสตร์ของไหล

ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชาของ
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557

3100-0102





**กลศาสตร์
ของไหล
3100-0102**

หมวดวิชาทักษะวิชาชีพ
กลุ่มวิชาชีพพื้นฐาน
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
พุทธศักราช 2557

เรืองฤทธิ์ ลำมะยศ

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

เรื่องฤทธิ์ ลำมะยศ.

กลศาสตร์ของไหล. -- กรุงเทพฯ : แม็คเ็ดดูเคชั่น, 2559.

220 หน้า.

1. กลศาสตร์ของไหล. I. ชื่อเรื่อง.

532

ISBN 978-616-274-740-3

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย

MAC EDUCATION

ผู้เขียน : เรื่องฤทธิ์ ลำมะยศ
การสั่งซื้อ : ส่งธนาคิตสั่งจ่าย ไปรษณีย์ลาดพร้าว ในนาม บริษัท แม็คเ็ดดูเคชั่น จำกัด
เลขที่ 9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว แขวงจันทระเกษม
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
☎ : 0-2938-2022-7 FAX : 0-2938-2028
www.MACeducation.com
ราคาจำหน่าย : 125 บาท
สงวนลิขสิทธิ์ : มิถุนายน 2559
พิมพ์ที่ : บริษัท พิมพ์ดี จำกัด

(สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร)

คำนำ

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการได้ประกาศใช้หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 เพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ แผนการศึกษาแห่งชาติ และแผนปฏิบัติการเตรียมความพร้อมเมืองเพื่อเข้าสู่ประชาคมอาเซียน ทั้งนี้หลักสูตรดังกล่าวมุ่งผลิตและพัฒนากำลังคนระดับเทคนิคให้มีความทักษะและสมรรถนะในงานอาชีพตามมาตรฐานวิชาชีพ มีคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพ สามารถประกอบอาชีพอิสระ เป็นผู้ประกอบการที่มีคุณภาพ หรือประกอบอาชีพอื่นๆ ได้ตรงความต้องการของสถานประกอบการทั้งในประเทศและภูมิภาคอาเซียน

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด ผู้ผลิตและจำหน่ายหนังสือเรียน สื่อการเรียนรู้ วารสารทางการศึกษาทั้งในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานและระดับอาชีวศึกษา ตระหนักถึงภารกิจสำคัญในการมีส่วนร่วมในการสนับสนุนส่งเสริมการศึกษาระดับอาชีวศึกษาให้บรรลุผลสัมฤทธิ์ตามเจตนารมณ์ที่ตั้งไว้ จึงได้แต่งตั้งคณะทำงานซึ่งประกอบด้วยนักวิชาการ และผู้สอนทั้งในระดับอาชีวศึกษาและระดับอุดมศึกษาที่มีความเชี่ยวชาญด้านหลักสูตร การจัดการเรียนรู้ รวมทั้งการวัดและประเมินผล ดำเนินการวิเคราะห์หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2557 ในแต่ละประเภทวิชาและสาขาวิชาเพื่อจัดทำสื่อการเรียนรู้ อันประกอบด้วยหนังสือเรียนที่จัดทำให้ตรงกับจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา ทั้งนี้โดยคำนึงถึงความสอดคล้องกับมาตรฐานการศึกษาระดับอาชีวศึกษาทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์ ด้านสมรรถนะหลักและสมรรถนะทั่วไป และด้านสมรรถนะวิชาชีพ รวมทั้งแผนการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นการพัฒนาสมรรถนะของผู้เรียนผ่านกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้สอนนำไปปรับให้เหมาะสมกับธรรมชาติของผู้เรียนและจุดเน้นตามบริบทของสถานศึกษา

จุดเด่นของหนังสือเรียนชุดนี้ประกอบด้วย

1. การนำเสนอเป็นรูปแบบหน่วยการเรียนรู้ ที่มีเนื้อหาง่ายต่อการเรียนรู้แต่ยังคงไว้ซึ่งความเข้มข้นและทันสมัย ทั้งนี้เนื้อหาในหนังสือเรียนมุ่งเน้นให้สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้ สมรรถนะ หลักการเรียนรู้ตามสภาพจริง (Authentic Learning) และการประเมินผลตามสภาพจริง (Authentic Assessment)
2. สอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบความเข้าใจ กิจกรรมการฝึกกระบวนการคิด (Thinking Skills) และกิจกรรมเตรียมความพร้อมสู่ประชาคมอาเซียนให้แก่ผู้เรียน
3. พัฒนาสมรรถนะหลักและสมรรถนะวิชาชีพผ่านกระบวนการปฏิบัติงานโดยใช้ใบช่วยสอนเป็นสื่อสำหรับการฝึกกระบวนการเรียนรู้ที่สำคัญ เช่น การเรียนรู้จากโครงงาน (Project-Based Learning) การพัฒนาเทคโนโลยีให้เป็นเทคโนโลยีสะอาด (Green Technology) และการสร้างสรรค์นวัตกรรมหรือผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์ (Creative Economy) เป็นต้น

4. มีแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยจัดทำแบบทดสอบให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ประจำหน่วยการเรียนนั้นๆ ท้ายหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วย

บริษัท แม็คเอดูเคชั่น จำกัด ขอขอบพระคุณสถานศึกษา ผู้สอน ผู้เรียน และผู้ที่สนใจทุกท่านที่ให้ความไว้วางใจในสื่อการเรียนรู้นี้ บริษัทหวังเป็นอย่างยิ่งว่าสื่อการเรียนรู้ในชุดนี้จะมีส่วนช่วยให้การจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณภาพทัดเทียมระดับสากลต่อไป

บริษัท แม็คเอดูเคชั่น จำกัด

รหัส 3100-0102

วิชากลศาสตร์ของไหล

ทฤษฎี 3 ชั่วโมง ปฏิบัติ - ชั่วโมง 3 หน่วยกิต

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจหลักสถิติศาสตร์และหลักของพลังงานของไหล
2. สามารถประยุกต์ใช้หลักของพลังงานของไหลในงานอาชีพ
3. มีเจตคติที่ดีในการสืบค้นความรู้และการใช้เหตุผลของกลศาสตร์ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับของไหล มีความตระหนักถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน
4. มีเจตคติและกิจนิสัยที่ดีในการใช้สารสนเทศเพื่อพัฒนาการเรียนรู้และการปฏิบัติงาน

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการสถิติศาสตร์และพลังงานของไหล
2. ประยุกต์ใช้หลักการของพลังงานของไหลในงานอาชีพ

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของของไหล ความหนืด การสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง การหาแรงกระทำกับวัตถุที่จม แรงพยุง และแรงลอยตัว สมการโมเมนตัมและพลังงาน สมการการไหลต่อเนื่อง สมการการไหลสม่ำเสมอ การไหลในท่อโค้ง และการวัดอัตราการไหล

ตารางวิเคราะห์สมรรถนะประจำหน่วย

หน่วยการเรียนรู้ที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	สมรรถนะประจำหน่วย
1	สมบัติของของไหล	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับสมบัติของของไหล 2. คำนวณหาสมบัติต่างๆ ของของไหล ความหนืด ความตึงของผิว
2	สถิตศาสตร์ของไหล	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับสถิตศาสตร์ของไหล 2. ใช้เครื่องมือวัดความดัน ณ จุดต่างๆ ของของไหล
3	แรงกระทำกับวัตถุที่จมในของไหล	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวัตถุที่จมในของไหล 2. แสดงการคำนวณขนาดและตำแหน่งของแรงกระทำบนผนังราบในแนวตั้ง แนวเอียง และผนังโค้ง
4	แรงพยุ่งและการลอยตัว	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับแรงพยุ่งและการลอยตัว 2. คำนวณการหาขนาดจุดศูนย์กลางของแรงพยุ่งและระยะเมตาเซนตริก
5	พลศาสตร์ของไหล	แสดงความรู้เกี่ยวกับพลศาสตร์ของไหล
6	การไหลในท่อ	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการไหลในท่อ 2. คำนวณหาค่าการสูญเสียขนาดของท่อสมมูลและอัตราการไหลในท่อแบบต่างๆ
7	โมเมนตัมของการไหล	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับโมเมนตัมของการไหล 2. คำนวณหาแรงปฏิกิริยาของใบพัดและแรงบิด
8	การวัดการไหล	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการวัดการไหล 2. คำนวณอัตราการไหลและพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการไหล

สารบัญ

หน้า

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 สมบัติของของไหล	1
1. ความหมายของของไหล	2
2. หน่วยการวัด	3
3. สมบัติของของไหล	6
4. กฎของก๊าซสมบูรณ์	8
5. ความหนืด	11
6. ความตึงผิวและความตึบ	17
7. ความดันไอของของไหล	18
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	25
 หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 สถิติศาสตร์ของไหล	 27
1. สมการพื้นฐานของของไหลสถิต	28
2. กฎของปาสคาล	31
3. การวัดค่าความดัน	31
4. เครื่องมือวัดความดัน	34
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	46
 หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 แรงกระทำกับวัตถุที่จมในของไหล	 49
1. การคำนวณโดยใช้วิธีการอินทิเกรต	50
2. การคำนวณโดยใช้โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่	51
3. แรงกระทำกับผนังราบในแนวเอียง	57
4. แรงกระทำกับผนังโค้ง	59
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	71

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 แรงพยุ่งและการลอยตัว	74
1. แรงพยุ่งและศูนย์กลางของแรงพยุ่ง	75
2. กฎของการลอยตัว	81
3. เมตาเซนเตอร์และความสูงเมตาเซนตริก	81
4. เสถียรภาพของวัตถุลอยในของไหล	82
5. การหาคะยะสูงเมตาเซนตริก	83
6. การหาคะยะสูงเมตาเซนตริกโดยการทดลอง	84
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	91
 หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 พลศาสตร์ของไหล	 94
1. ความเร็วของอนุภาคของของไหล	95
2. ชนิดการไหลของของไหล	96
3. รูปแบบของการไหล	98
4. อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย	100
5. การวิเคราะห์การไหล	101
6. สมการสภาพต่อเนื่อง	101
7. สมการออยเลอร์	103
8. สมการแบร์นูลลี	104
9. ไฮดรอลิกส์เกรดไลน์และเอนเนอร์ยีไลน์	105
10. แรงยก	111
11. กำลังงานในการไหล	112
12. การประยุกต์สมการแบร์นูลลี	112
13. สมการพลังงาน	114
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	121

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 การไหลในท่อ	123
1. เรย์โนลด์สจำนวนเบอร์	124
2. การสูญเสียพลังงานการไหลในท่อ	126
3. การต่อท่อแบบอนุกรม	141
4. ท่อสมมูล	141
5. การต่อท่อแบบขนาน	142
6. การต่อท่อแบบบายพาส	143
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	149
หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 โหมดเต็มของการไหล	151
1. แรงกระทบ	152
2. สมการโมเมนตัมเชิงเส้น	156
3. แรงกระทบของลำของไหลต่อใบพัด	158
4. สมการโมเมนตัมเชิงมุม	163
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	169
หน่วยการเรียนรู้ที่ 8 การวัดการไหล	171
1. การวัดความดัน	172
2. การวัดความเร็ว	173
3. การวัดอัตราการไหล	178
แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้	192
บรรณานุกรม	194
ภาคผนวก	195
อภิธานศัพท์	206
ดัชนี	209

สมบัติของของไหล

สาระการเรียนรู้

1. ความหมายของของไหล
2. หน่วยการวัด
3. สมบัติของของไหล
4. กฎของก๊าซสมบูรณ์
5. ความหนืด
6. ความตึงผิวและความตึบ
7. ความดันไอของของไหล

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกคำนิยามเกี่ยวกับสมบัติต่างๆ ของของไหลได้
2. จำแนกประเภทของของไหลได้
3. คำนวณหาสมบัติต่างๆ ของของไหลได้
4. คำนวณเกี่ยวกับความหนืด ความตึงผิว และความตึบ และความดันไอของของไหลได้

สมบัติของของไหล

สมรรถนะประจำหน่วย

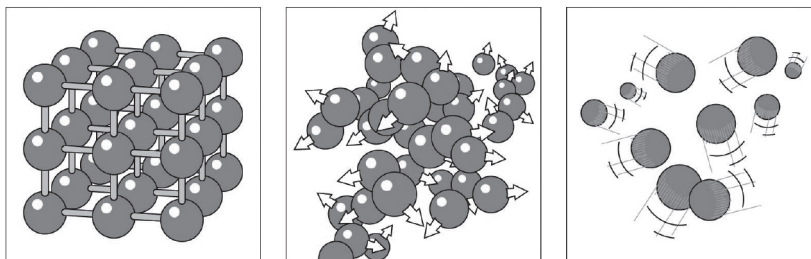
1. แสดงความรู้เกี่ยวกับสมบัติของของไหล
2. คำนวณหาสมบัติต่างๆ ของของไหล ความหนืด ความตึงผิวและความตึบ และความดันไอของของไหล

สมบัติของของไหล

วิชากลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics) เป็นวิชาที่ว่าด้วยกลศาสตร์ของของเหลวและก๊าซทั้งในสภาวะที่อยู่นิ่งและเคลื่อนที่โดยรวมเอาหลักการและกฎต่าง ๆ เช่น กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's Law of Motion) กฎอนุรักษ์มวลสาร (Conservation of Mass) กฎของอุณหพลศาสตร์ (Law of Thermodynamics) กฎความหนืดของนิวตัน (Newton's Law of Viscosity) เป็นต้น ซึ่งการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 3 สาขาด้วยกัน คือ สถิตศาสตร์ของไหล (Fluid Static) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับของไหลที่อยู่นิ่ง จลนศาสตร์ของไหล (Fluid Kinematics) ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่โดยไม่คำนึงถึงแรงกระทำ และพลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของของไหลที่เกิดจากการกระทำของแรงและพลังงานที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายของของไหล

ของไหล (Fluid) หมายถึง สสารที่มีการเรียงตัวของโมเลกุลหลวม ๆ จึงมีแรงยึดเกาะของโมเลกุลน้อย ไม่สามารถต้านทานต่อแรงกระทำได้ จึงเปลี่ยนรูปร่างไปตามทิศทางของแรงหรือเปลี่ยนรูปทรงไปตามลักษณะของภาชนะที่บรรจุ ของไหลนั้นแบ่งออกเป็นของเหลว (Liquid) และก๊าซ (Gas) โมเลกุลของของเหลวจะเคลื่อนที่ไปสู่อะตอมที่ต่ำกว่า แต่โมเลกุลของก๊าซจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกทิศทางทุกทาง ส่วนสสารที่เป็นของแข็ง (Solid) นั้นจะมีโมเลกุลหนาแน่นกว่าของไหล จึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมาก จนกระทั่งสามารถต้านทานต่อแรงกระทำภายนอกและรักษารูปร่างของมันไว้ได้ การยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลของของแข็ง ของเหลว และก๊าซนั้น แสดงไว้ดังรูปที่ 1.1



(ก) ของแข็ง

(ข) ของเหลว

(ค) ก๊าซ

รูปที่ 1.1 แสดงการยึดเกาะโมเลกุลของสสารในสถานะต่างๆ (Cengel, 2006)

2. หน่วยการวัด

หน่วยการวัด (Unit of Measurement) เดิมมี 2 ระบบ คือ ระบบเมตริกและระบบอังกฤษ ระบบเมตริก ปัจจุบันมีใช้ในประเทศแถบยุโรปและเอเชียบางประเทศ เช่น ฝรั่งเศส เยอรมัน อิตาลี สวีเดน ญี่ปุ่น เป็นต้น ระบบเมตริกนั้นได้ถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งปารีส ประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1791 (พ.ศ. 2334) ส่วนระบบอังกฤษนั้นมีใช้ในประเทศอังกฤษและประเทศที่สัมพันธ์กับอังกฤษ เช่น สหรัฐอเมริกา ซึ่งปัจจุบันยังใช้กันอยู่ทั่วไป

ตารางที่ 1.1 ชื่อหน่วยและสัญลักษณ์ในระบบเมตริกและอังกฤษ

ปริมาณ	ชื่อหน่วยและสัญลักษณ์			
	ระบบเมตริก		ระบบอังกฤษ	
	ทางวิศวกรรม	ทางฟิสิกส์	ทางวิศวกรรม	ทางฟิสิกส์
ความยาว	เมตร (m)	เซนติเมตร (cm)	ฟุต (ft)	ฟุต (ft)
มวล	เมตริกสลัก (msl)	กรัมมวล (g)	สลัก (slug)	ปอนด์มวล (lb _m)
เวลา	วินาที (s)	วินาที (s)	วินาที (s)	วินาที (s)
แรง	กิโลกรัม (kg _f)	ไดน์ (dyne)	ปอนด์ (lb _f)	เพานด์ล (pdl)
อุณหภูมิ	เซลเซียส (°C)	เซลเซียส (°C)	ฟาเรนไฮต์ (°F)	ฟาเรนไฮต์ (°F)
อุณหภูมิสัมบูรณ์	เคลวิน (K)	เคลวิน (K)	แรนคิน (R)	แรนคิน (R)

นอกจากนี้ระบบเมตริกยังแบ่งย่อยได้อีกเป็นระบบเซนติเมตร - กรัม - วินาที (CGS) และระบบเมตร - กิโลกรัม - วินาที (MKS) และทั้ง 2 ระบบยังแบ่งออกเป็นระบบทางวิศวกรรมกับระบบทางฟิสิกส์ ระบบทางฟิสิกส์นั้นใช้หน่วยของมวลเป็นพื้นฐาน แต่ระบบทางวิศวกรรมจะใช้หน่วยของแรงเป็นพื้นฐาน โดยหาแรงได้จากกฎข้อที่สองของนิวตัน ($F = ma$) เขียนได้ดังนี้

$$\text{ระบบเมตริกทางวิศวกรรม หาแรงได้จาก } 1 \text{ kg}_f = 1 \text{ msl} \times \text{m/s}^2$$

$$\text{ระบบเมตริกทางฟิสิกส์ หาแรงได้จาก } 1 \text{ dyne} = 1 \text{ g} \times \text{cm/s}^2$$

$$\text{ระบบอังกฤษทางวิศวกรรม หาแรงได้จาก } 1 \text{ lb}_f = 1 \text{ slug} \times \text{ft/s}^2$$

$$\text{ระบบอังกฤษทางฟิสิกส์ หาแรงได้จาก } 1 \text{ pdl} = 1 \text{ lb}_m \times \text{ft/s}^2$$

เนื่องจากในแต่ละประเทศมักจะใช้ระบบการวัดที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดปัญหาในการสื่อสาร จึงได้มีการประชุมเกี่ยวกับระบบการชั่ง ตวง วัดระดับนานาชาติที่กรุงปารีสในปี ค.ศ. 1960 (พ.ศ. 2503) และได้

กำหนดระบบการวัดมาตรฐานสากล (International System of Units) เรียกว่า หน่วย SI ระบบนี้ยังแบ่งออกเป็นหน่วยพื้นฐานและหน่วยอนุพัทธ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 หน่วย SI พื้นฐาน

หน่วยในระบบ SI นั้นเป็นหน่วยที่ดัดแปลงมาจากหน่วยในระบบเมตริกทางวิศวกรรม สัญลักษณ์ในหน่วย SI นั้นจะนิยมใช้อักษรอังกฤษตัวเล็กเป็นสัญลักษณ์ เช่น หน่วยของเวลาเขียนเป็น “h” หน่วยของความยาว เขียนเป็น “m” ยกเว้นสัญลักษณ์ที่ตั้งตามชื่อคน เช่น N (Newton) Pa (Pascal) W (Watt) เป็นต้น จะไม่มีจุดต่อท้ายและไม่เติม s ในกรณีที่เป็นพหูพจน์ สำหรับหน่วยของอุณหภูมิไม่มีหน่วยองศา เช่น 1300 K หน่วยพื้นฐานในระบบ SI นี้มีอยู่ 7 ตัวด้วยกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ปริมาณต่างๆ ของหน่วย SI พื้นฐานและสัญลักษณ์

ลำดับ	ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์
1	ความยาว	เมตร	m
2	มวล	กิโลกรัม	kg
3	เวลา	วินาที	s
4	กระแสไฟ	แอมแปร์	Am
5	อุณหภูมิ	เคลวิน	K
6	จำนวนสาร	โมล	mol
7	ความเข้มของการส่องสว่าง	แคนเดลา	cd

2.2 หน่วยอนุพัทธ์

หน่วยอนุพัทธ์ (Derived Unit) คือ หน่วยที่ได้จากการรวมกันของหน่วยพื้นฐานนั้น เช่น หน่วยของความเร็ว ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนระหว่างระยะทางต่อเวลา ดังนั้นการเขียนหน่วยของความเร็วจึงเขียนได้จากหน่วยของความยาว (m) ต่อหน่วยของเวลา (s) เขียนได้เป็น m/s หรือหน่วยของแรงในระบบ SI ที่เป็นหน่วยอนุพัทธ์มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) ซึ่ง $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ หน่วยอนุพัทธ์ของปริมาณต่างๆ ที่มีใช้ในระบบ SI แสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 1.3 หน่วยอนุพัทธ์ในระบบ SI

ลำดับ	ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์	รูปในหน่วยพื้นฐาน
1	แรง	นิวตัน	N	$\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$
2	ความดัน ความเค้น	ปาสคาล	Pa	N / m^2
3	งาน พลังงาน	จูล	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
4	กำลัง	วัตต์	W	J / s
5	ความถี่	เฮิรตซ์	Hz	s^{-1}
6	มุม	เรเดียน	rad	m/m (ส่วนโค้ง/รัศมี)
7	ปริมาณไฟฟ้า	คูลอมบ์	C	$\text{A} \cdot \text{s}$
8	ศักย์ไฟฟ้า	โวลต์	V	$\text{J} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
9	ความจุไฟฟ้า	ฟารัด	F	$\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}^{-1}$
10	ความต้านทานไฟฟ้า	โอห์ม	Ω	$\text{V} \cdot \text{A}^{-1}$

ในกรณีที่บางครั้งจำนวนของตัวเลขมีจำนวนมากหรือน้อยจนเกินไป เช่น ระยะทาง 3,000 m เราสามารถเขียนแทนด้วย 3 km จะเห็นได้ว่า เขียนได้สั้นกว่าเดิม ซึ่งเป็นการนำเอาสัญลักษณ์ $10^3 = \text{k}$ มาใส่ไว้ที่ด้านหน้าของหน่วย เรียกว่า ตัวนำหน้าหน่วย (Prefix) ตัวนำหน้าหน่วย คือ วิธีเพิ่มหรือลดค่าดัชนีของสิบที่ใช้กับหน่วยพื้นฐานและเขียนเป็นตัวย่อ การเขียนตัวนำหน้าหน่วยนั้น จะต้องเขียนไว้ด้านหน้าหน่วยเท่านั้น หากผิดตำแหน่งจะทำให้ความหมายของสัญลักษณ์นั้นเปลี่ยนไป เช่น 10^{-3} N จะต้องเขียนแทนด้วย mN อ่านว่า มิลลินิวตัน หากเขียนเป็น Nm จะอ่านว่า นิวตันเมตร หมายถึง หน่วยของแรงบิด หรือหากเขียนห่างกันความหมายจะผิดไป เช่น m N จะเข้าใจผิดเป็น เมตรนิวตัน เป็นต้น ตัวนำหน้าหน่วย อาจเขียนด้วยอักษรตัวใหญ่ เช่น 10^6 W เขียนเป็น MW ตัวนำหน้าหน่วยในระบบ SI แสดงไว้ในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 ตัวนำหน้าหน่วยและสัญลักษณ์

ตัวนำหน้าหน่วย	สัญลักษณ์	ตัวคูณ	ตัวนำหน้าหน่วย	สัญลักษณ์	ตัวคูณ
กิโล (kilo)	k	10^3	มิลลิ (milli)	m	10^{-3}
เมกะ (mega)	M	10^6	ไมโคร (micro)	μ	10^{-6}
จิกะ (giga)	G	10^9	นาโน (nano)	n	10^{-9}
เทระ (tera)	T	10^{12}	พิโก (pico)	p	10^{-12}
เพตะ (peta)	P	10^{15}	เฟมโต (femto)	f	10^{-15}
เอกซะ (exa)	E	10^{18}	อัตโต (atto)	a	10^{-18}

3. สมบัติของของไหล

ในการศึกษาวิชากลศาสตร์ของไหลนั้นจำเป็นต้องทำการศึกษาสมบัติของของไหล (Properties of Fluids) นิยามและความหมายของสมบัติต่างๆ ของของไหล เช่น มวล น้ำหนัก ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะ เป็นต้น สมบัติต่างๆ เหล่านี้เป็นสมบัติทางฟิสิกส์ ซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1 มวล (Mass) ใช้สัญลักษณ์ m หมายถึง ปริมาณเนื้อสารของของไหลหรือปริมาณที่ใช้วัดค่าความเฉื่อยของสสาร มวลจะมีสมบัติในการดึงดูดซึ่งกันและกัน เป็นปริมาณที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งที่ตั้ง มีหน่วยวัดเป็น kg

3.2 น้ำหนัก (Weight) ใช้สัญลักษณ์ W หมายถึง แรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อมวลสารนั้น น้ำหนักจะขึ้นกับตำแหน่งที่ตั้ง ดังนั้นวัตถุที่อยู่ห่างจากแกนกลางของโลกมาก จะมีน้ำหนักน้อยลงเรื่อยๆ เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีค่าน้อยลง เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$W = mg \quad (1.1)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของสาร (N)

m คือ มวลของสาร (kg)

g คือ แรงโน้มถ่วงโลก (m/s^2)

3.3 ความหนาแน่น (Density) ใช้สัญลักษณ์ ρ (อ่านว่า โรห์; Rho) หมายถึง ปริมาณมวลของของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของไหล เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.2)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

V คือ ปริมาตร (m^3)

โดย ρ ของน้ำ (ที่ $4^\circ C$) = 1000 kg/m^3

3.4 น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight) ใช้สัญลักษณ์ γ (อ่านว่า แกมมา; Gamma) หมายถึง น้ำหนักของของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของของไหล เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\gamma = \frac{w}{V} \quad (1.3)$$

โดย γ ของน้ำ (ที่ 4°C) = 9,810 N/m³

3.5 ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) ใช้สัญลักษณ์ ν หมายถึง ปริมาตรของของไหลต่อหนึ่งหน่วยมวลของของไหลหรือเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น โดยทั่วไปแล้วปริมาตรจำเพาะจะนิยมใช้กับของไหลที่เป็นก๊าซ เนื่องจากก๊าซเป็นของไหลที่ยุบตัวได้มากเมื่อถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลงด้วยความดัน ดังสมการ

$$\nu = \frac{V}{m} \quad (1.4)$$

หรือ

$$\nu = \frac{1}{\rho} \text{ มีหน่วยเป็น m}^3/\text{kg}$$

ตารางที่ 1.5 สมบัติของก๊าซบางชนิดที่ 15°C ความดันบรรยากาศ (Fox, 1994)

ก๊าซ	ค่าคงที่ R (J/kg·K)	น้ำหนักโมเลกุล M	ความจุความร้อน จำเพาะ C _p (J/kg·K)	ดัชนีอะเดียบาติก k
Air	286.9	29.8	1,004	1.40
CO ₂	188.9	44.01	840.4	1.29
CO	296.8	28.01	1,039	1.40
H ₂	4124	2.016	14,180	1.41
N ₂	296.8	28.01	1,039	1.40
O ₂	259.8	32.00	909.4	1.40
CH ₄	518.3	16.04	2190	1.31

3.6 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ใช้สัญลักษณ์ S บางครั้งเรียกว่า ความหนาแน่นสัมพัทธ์ เนื่องจากคำว่า “จำเพาะ” นั้นหมายถึง “ปริมาณต่อมวล 1 kg” ความหนาแน่นสัมพัทธ์ คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของของไหลต่อความหนาแน่นของของไหลที่ใช้เป็นมาตรฐาน ในกรณีที่ เป็นของเหลวนิยมใช้น้ำเป็นมาตรฐาน แต่ถ้าของไหลเป็นก๊าซจะใช้ออกซิเจนเป็นมาตรฐานดังสมการ

$$S = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{\gamma}{\gamma_w} \quad (1.5)$$

เมื่อ S คือ ความถ่วงจำเพาะ

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของสาร (N/m³)

γ_w คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m³)

ตารางที่ 1.6 สมบัติของเหลวต่างๆ ที่ความดันบรรยากาศ (Fox, 1994)

ของเหลว (ที่ 20 °C)	ความถ่วง จำเพาะ S	ความหนืด $\mu \times 10^4$ N·s/m ²	ความตึงผิว σ N/m	มอดูลัสความ ยืดหยุ่น $E \times 10^{-6}$	ความดันไอ P_v Pa·abs
น้ำมันดิบ	0.86	72.00	0.03	-	-
เบนซิน	0.90	6.50	0.029	1,030	10,005
ก๊าซโซลีน	0.68	2.90	-	-	55,000
น้ำมันก๊าด	0.81	19.20	0.025	-	3,200
เอทิลแอลกอฮอล์	0.79	12.02	0.0223	1,210	5,865
น้ำ	1.00	10.10	0.073	2,070	2,340
กลีเซอริน	1.26	149,000.00	0.063	4,350	0.0138
ปรอท	13.56	15.60	0.51	26,200	0.1725

ตัวอย่างที่ 1.1 น้ำมันชนิดหนึ่งมีปริมาตร 1.2 m³ มีมวล 900 kg จงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

- ความหนาแน่น
- น้ำหนักจำเพาะ
- ปริมาตรจำเพาะ
- ความถ่วงจำเพาะ

วิธีทำ

- $\rho = \frac{m}{V} = \frac{900}{1.2} = 750 \text{ kg/m}^3$ ตอบ
- $\gamma = \rho g = 750 \times 9.81 = 7,357.5 \text{ N/m}^3$ ตอบ
- $v = \frac{V}{m} = \frac{1.2}{900} = 0.00133 \text{ m}^3/\text{kg}$ ตอบ
- $S = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{7357.5}{9810} = 0.75$ ตอบ

4. กฎของก๊าซสมบูรณ์

กฎของก๊าซสมบูรณ์ (Perfect Gas) เป็นกฎที่ครอบคลุมกฎของชาร์ล (Charles's Law) ที่ว่า เมื่อความดันคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ($V \propto T$) และกฎของ

บอยล์ (Boyle's Law) กล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรผกผันกับความดันสัมบูรณ์ ($V \propto \frac{1}{P}$) นำสมการจากกฎของบอยล์และชาร์ลมารวมกัน จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$V \propto \frac{T}{P} \quad (1.6)$$

จัดสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{PV}{T} = C_n \quad (1.7)$$

เมื่อ C_n เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนโมลของก๊าซ เรียกว่า สมการสถานะของก๊าซ ถ้าเขียน C_n ใหม่โดยให้ R_0 ซึ่งเป็นค่าคงที่ และ n เป็นจำนวนโมลของก๊าซจะได้ $C_n = nR_0$ ดังนั้นสมการสถานะจะเขียนได้เป็น

$$PV = n R_0 T \quad (1.8)$$

R_0 คือ ค่าคงที่สากลของก๊าซ (Universal Gas Constant) มีค่า = 8,314.3 J/kg·K ซึ่งไม่ขึ้นกับความดันหรือปริมาตรหรืออุณหภูมิ จากสมการ (1.8) เราแทนด้วย $n = \frac{m}{M}$ จะได้

$$PV = \left(\frac{m}{M} \right) R_0 T \quad (1.9)$$

จากสมมุติฐานของอาโวกาโดรที่ว่า “ก๊าซทุกชนิดที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ถ้ามีปริมาตรเท่ากันจะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากันด้วย” ซึ่งสรุปได้ว่า

$$R = \frac{R_0}{M} \quad (1.10)$$

เมื่อ R คือ ค่าคงที่ของก๊าซใดๆ ดังนั้นเขียนสมการ (1.9) ได้

$$PV = mRT \quad (1.11)$$

เมื่อ P คือ ความดันสัมบูรณ์ (Pa)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (J/kg·K)

ค่าคงที่ของก๊าซใดๆ สามารถหาได้จากสมการที่ 1.10 เช่น ค่าคงที่ของอากาศ คือ

$$R_{\text{air}} = \frac{R_0}{M_{\text{air}}}$$

เมื่อ M_{air} = น้ำหนักโมเลกุลของอากาศ = 28.97 kg/kg·mol

$$\text{ดังนั้น } R_{\text{air}} = \frac{8.3143}{28.97} = 0.287 \text{ kJ/kg·K}$$

ตัวอย่างที่ 1.2 ก๊าซ CO_2 มีอุณหภูมิ 30°C ที่ความดันสมบูรณ์ 660 kPa มีน้ำหนักโมเลกุล $M = 44$ จงคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

- ก. ความหนาแน่น
- ข. น้ำหนักจำเพาะ
- ค. ปริมาตรจำเพาะ

วิธีทำ

ก. $\rho = \frac{P}{RT}$

แต่ $R = \frac{R_0}{M} = \frac{8314.3}{44}$

$= 188.96\text{ J/kgK}$

ดังนั้น $\rho = \frac{660 \times 10^3}{188.96(30+273.15)}$

$= 11.52\text{ kg/m}^3$

ตอบ

ข. $\gamma = \rho g = 11.52 \times 9.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$= 112.896\text{ N/m}^3$

ตอบ

ค. $\nu = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{11.52}$

$= 0.0868\text{ m}^3/\text{kg}$

ตอบ

ตารางที่ 1.7 เปรียบเทียบสมบัติของของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

สาร	สัญลักษณ์	ความหนาแน่น (kg/m^3)	จุดหลอมเหลว ($^\circ\text{C}$)
ไฮโดรเจน	H	0.0898	-259.16
ออกซิเจน	O	1.429	-218.79
เอทานอล	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	789	-114.1
น้ำ	H_2O	1,000	0
ปรอท	Hg	13,580	-38.72
แมกนีเซียม	Mg	1,740	650.0