
2

การวัด

- 2.1 สสาร มวลและน้ำหนัก
- 2.2 การวัดมวลและน้ำหนัก
- 2.3 การวัดความยาวและปริมาตร
- 2.4 ระบบเมตริก
- 2.5 ระบบอังกฤษ
- 2.6 ระบบ SI unit
- 2.7 การเปลี่ยนจากระบบเมตริกเป็นระบบอังกฤษ
- 2.8 อุณหภูมิ
- 2.9 พลังงานความร้อนและความร้อนจำเพาะ
- 2.10 ความหนาแน่น
- 2.11 ความตึงจำเพาะ

บทนำ

การวัด (Measurement) มีความสำคัญต่อการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ การวัดจำเป็นต้องมีความถูกต้องและแม่นยำเสมอ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้วัดจะต้องความละเอียดด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดในการทดลองต่างๆ ต้องมีความแม่นยำและแน่นอนเป็นอย่างมาก การวัดเป็นเครื่องมือพื้นฐานสำหรับงานวิจัย ออกแบบ และพัฒนา

ความเป็นมาของมาตราวัด มาตราวัดในยุคแรกๆ จะคิดเทียบมาจากร่างกายของมนุษย์ คือใช้มนุษย์เป็นศูนย์กลางในการวัด ใช้ร่างกายเป็นตัวเทียบ เรียกว่าหน่วยร่างกาย

- 4 นิ้ว (*digit*) เป็น 1 ฝ่ามือ (*palm*) ฝ่ามือก็คือความกว้างของนิ้วทั้งสี่ที่เรียงชิดติดกัน
- 3 ฝ่ามือ (*palm*) เป็น 1 คืบ (*span*) หรือเมื่อกางนิ้วขยายออกเต็มที่ วัดจากปลายนิ้วหัวแม่มือ ไปยังปลายนิ้วก้อย เรียกว่า คืบ
- 2 คืบ (*span*) เป็น 1 ศอก (*cubit*) หรือวัดแขนจากปลายนิ้วกลางไปยังข้อศอก เรียกว่า ศอก
- 4 ศอก (*cubit*) เป็น 1 ความสูงของคน (*stature*) หรือระยะที่กางแขนเหยียดออกทั้งสองข้าง (ความยาวที่ได้จากการวัดจากปลายนิ้วกลางซ้าย ผ่านไปยังปลายนิ้วกลางขวา)

การเชื่อมโยงของชื่อหน่วย ทำให้มีเรื่องราวที่เกี่ยวข้องระหว่างมนุษย์กับกิจกรรมของมนุษย์ หน่วยในยุคนั้นจึงมีลักษณะเป็นเทียบมาจากตน (อัตภาวะ (*subjective*)) นอกจากนี้ในเรื่องของการชั่งและตวง ยังสัมพันธ์กับสิ่งใกล้ตัวที่สุด คือ อาหาร อันได้แก่ข้าว ข้าวยังเป็นส่วนสำคัญของการวัดระยะอย่างละเอียดลึกลงไปจากร่างกายของมนุษย์อีกด้วย การชั่งตวงวัด เพื่อหาปริมาณและขนาดในแต่ละถิ่นฐาน มีความแตกต่างกันออกไปตามลักษณะความหลากหลายของพืชพันธุ์ธัญญาหารนั้น ดังเช่น ในอังกฤษโบราณใช้ข้าวบาร์เลย์ (*barleycorn*) เป็นตัววัด ไม่เฉพาะต่างท้องถิ่นเท่านั้น แม้ในท้องถิ่นเดียวกัน ต่างหมู่บ้าน ต่างที่กันก็ใช้แตกต่างกัน สังคมและชุมชนหนึ่งๆ มีสิ่งกำหนดหมายใช้สืบทอดต่อกันมาเป็นประเพณี เรียกว่าเป็น "หน่วยตามวิธีประเพณี" หรือ "หน่วยตามประเพณี" (*Customary units*) ไม่ว่าจะเป็นโรมัน อียิปต์ กรีก อินเดีย ฯลฯ หน่วยที่วัดจากร่างกายมนุษย์ ก็ถือเป็นหน่วยตามวิธีประเพณี ผูกพันกับวิถีชีวิตในยุคเกษตรกรรมและอารยธรรมข้าวอย่างแน่นแฟ้น ทุกอารยธรรมพยายามหาเทคนิคการวัดให้เพียงพอต่อความจำเป็นในขณะนั้น มีการหยิบยืมความคิดแลกเปลี่ยนกันระหว่างอารยธรรม เมื่ออารยธรรมได้ขยายตัว มีอิทธิพลครอบครองอาณาบริเวณมากขึ้น ความจำเป็นในการหาหน่วยมาตรฐาน (*Standard units*) ก็เพิ่มมากขึ้น จากเดิมที่ใช้เทียบวัดระยะจากขนาดของร่างกาย ใช้ความสามารถในการทำงานในไร่นาของสัตว์เลี้ยง เช่น วัว ควาย เป็นตัววัดพื้นที่ ใช้ก้อนหินเป็นตัววัดน้ำหนัก และใช้ผิวที่ห่อหุ้ม เป็นต้น

การวัด ต้องประกอบด้วย

1. วิธีการวัดที่ถูกต้อง
2. เครื่องมือวัดที่เหมาะสม

3. ผู้วัด ที่มีความรู้ความสามารถ

4. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

เครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์มีการแสดงผลการวัด 2 แบบ คือ

2.1 การแสดงผลด้วยขีดสเกล เป็นการแสดงผลที่ใช้กันมานานแล้วจนถึงปัจจุบัน เช่น สเกลไม้บรรทัด สเกลของตาชั่ง สเกลบนกระบอกตวง สเกลบนหน้าปัดนาฬิกาแบบเป็นเข็ม สเกลเครื่องวัดทางไฟฟ้าแบบเข็ม เป็นต้น ผู้วัดจะต้องมีความชำนาญจึงจะอ่านค่าได้รวดเร็วและถูกต้อง

2.2 การแสดงผลด้วยตัวเลข เนื่องจากเทคโนโลยีด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ได้พัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้เครื่องมือวัดหลายชนิดแสดงผลเป็นตัวเลข เพื่อความสะดวกรวดเร็ว และราคาก็ไม่แพงมากนักจึงได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น นาฬิกาข้อมือ เครื่องชั่ง เทอร์มอมิเตอร์ เป็นต้น

การแสดงผลการวัด ต้องแสดงตัวเลขที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดทุกตัวที่สามารถอ่านได้และเพิ่มค่าที่ปริมาณหรือค่าเดาที่ตัวเลขสุดท้ายอีก 1 ตำแหน่ง

2.1 สสาร มวลและน้ำหนัก

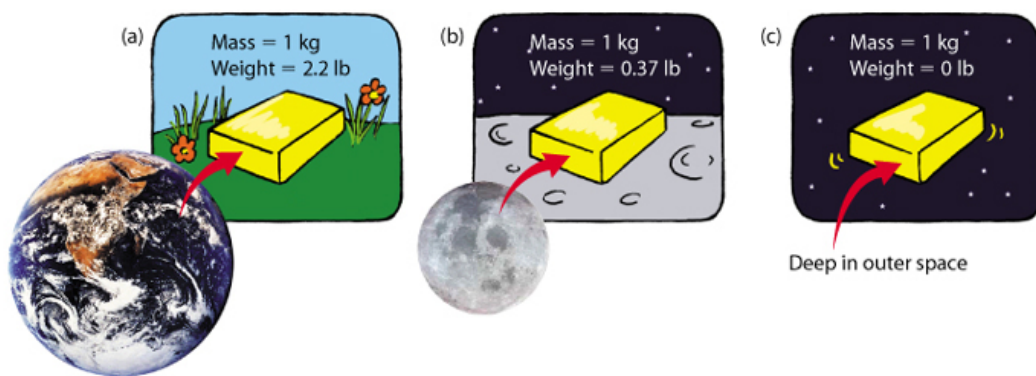
สสาร เป็นสิ่งที่มีมวลและต้องการที่อยู่ ไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ เช่น อากาศ น้ำ ดิน เป็นต้น **มวล** (mass, m) ของสสารใดๆ วัดได้จากปริมาณที่บอกสมบัติของสสาร จะมีค่าคงที่และไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีรูปร่างอย่างไรก็เหมือนเดิม ไม่ว่าจะเป็นอยู่ที่ใดๆ ก็ตาม ดังรูปที่ 2.1 มวลของสารยังคงเป็นหนึ่งในกิโลกรัมเสมอ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุบนโลก บนดวงจันทร์หรือแม้แต่ในอวกาศก็ตาม

น้ำหนัก (weight, W) ของสสารใดๆ คือวัดได้จากแรงโน้มถ่วงระหว่างวัตถุกับดวงดาวที่ตั้ง มีหน่วยเป็นนิวตัน ดังตัวอย่างข้างล่าง เมื่ออยู่บนโลก จะมีน้ำหนักมากกว่าบนดวงจันทร์ ทั้งนี้เพราะบนดวงจันทร์มีแรงโน้มถ่วงน้อยกว่าบนโลก และจะอยู่ในสภาพไร้น้ำหนักเมื่ออยู่ในอวกาศ ยังมีแรงโน้มถ่วงมากยังมีน้ำหนักมาก

น้ำหนักและมวลมีความสัมพันธ์กันคือ

$$W = mg$$

โดยที่ w คือน้ำหนัก มีหน่วยเป็นนิวตัน
 m คือมวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม
 g คือแรงโน้มถ่วง



From *Conceptual Chemistry* by John Suchocki. Copyright © 2001 by Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley

รูปที่ 2.1 มวลและน้ำหนักของสารบนโลก ดวงจันทร์และอวกาศ ตามลำดับ



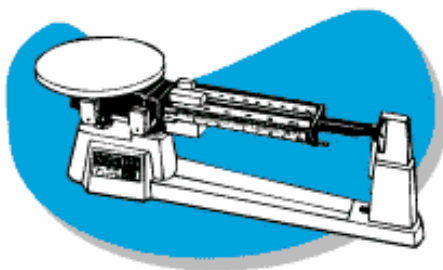
แผนภูมิที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของสาร มวล และน้ำหนัก

2.2 การวัดมวลและน้ำหนัก

(Measuring mass and weight)

เครื่องชั่ง (balance) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมวลของวัตถุนั้นๆ ซึ่งมีอยู่หลายประเภท ตามลักษณะของสารที่ต้องการทราบค่ามวล นอกจากนี้ยังมีความละเอียดและแม่นยำแตกต่างกันอีกด้วย เครื่องมือวัดได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เพื่อให้การวัดมีความถูกต้อง ความเที่ยง ใช้งานได้สะดวกและอ่านค่าได้รวดเร็ว

เครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมีหลายชนิด แต่ละชนิดสามารถชั่งมวลได้มากน้อยและละเอียดต่างกัน ไม่ควรชั่งวัตถุเกินขีดจำกัดของแต่ละเครื่องเพราะจะทำให้เครื่องชำรุด การชั่งและการเก็บรักษาเครื่องชั่งอย่างถูกวิธีจะทำให้เครื่องชั่งมีอายุการใช้งานได้นานและมี



รูปที่ 2.2 เครื่องชั่ง Ohaus triple beam และ Electronic Balance ตามลำดับ

1. เครื่องชั่งชนิดจานเดียว (Sliding Mass Balance)

เครื่องชั่งชนิดจานเดียว เครื่องชั่งนี้มีจานวางสารเพียงด้านเดียว อาจเป็นแบบที่จานวางอยู่ในเสาแทรกซึ่งห้อยจากคาน ได้แก่ เครื่อง Ohaus Cent-O-Gram ซึ่งสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม หรือเป็นแบบที่มีจานวางอยู่บนคานด้านซ้ายมือ ได้แก่ เครื่อง Ohaus triple beam ซึ่งสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2. เครื่องชั่งชนิดสองจาน

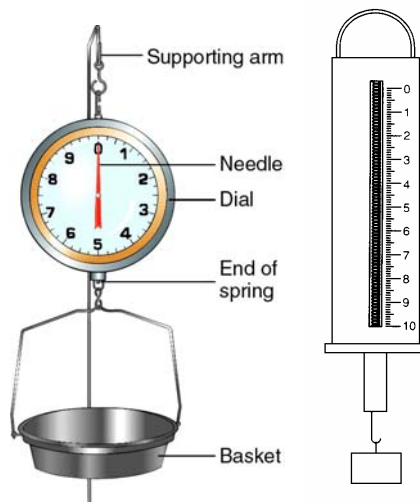
เครื่องชั่งชนิดสองจานเป็นเครื่องชั่งที่มีจานอยู่ทั้ง 2 ด้านของเครื่องชั่ง โดยวางอยู่ด้านบนของคาน จานด้านซ้ายใช้สำหรับวางวัตถุที่จะชั่ง ส่วนด้านขวาสำหรับวางตุ้มน้ำหนัก สิ่งที่จะวางบนจานทั้งสองข้าง ควรวางตรงบริเวณกึ่งกลางของจานเสมอ เครื่องชั่งแบบนี้วัดได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม มีวิธีการใช้คล้ายคลึงกับชนิดจานเดียว แต่ต่างกันตรงมีจานสำหรับวางตุ้มน้ำหนักและเข็มชี้จุดศูนย์เพื่อแสดงว่าคานสมดุล และปุ่มหมุนสำหรับปรับสมดุลจะอยู่ตรงกลางของเครื่องชั่ง ตุ้มน้ำหนักจะเป็นชุด มีหลายขนาดรวมอยู่ในกล่องเดียวกัน ต้องใช้คีมหยิบตุ้มน้ำหนักเหล่านี้ทุกครั้งอย่าใช้มือหยิบ เพราะจะทำให้เกิดสนิมหรือมวลผิดไปได้ มวลของวัตถุที่ชั่งอ่านได้จากผลรวมของตุ้มน้ำหนักบนจานทางขวามือกับน้ำหนักที่ใช้ปรับบนคาน เมื่อใช้เสร็จ



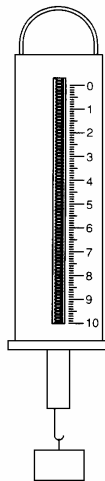
รูปที่ 2.3 เครื่องชั่งชนิดสองจาน

เครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนัก

น้ำหนักของสสารไม่คงที่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วง น้ำหนักมีทั้งขนาดและทิศทาง ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักจะเรียกว่า **ตาชั่ง (scale)** น้ำหนักมีหน่วยเป็นนิวตัน



Spring Balance



Compression Balance

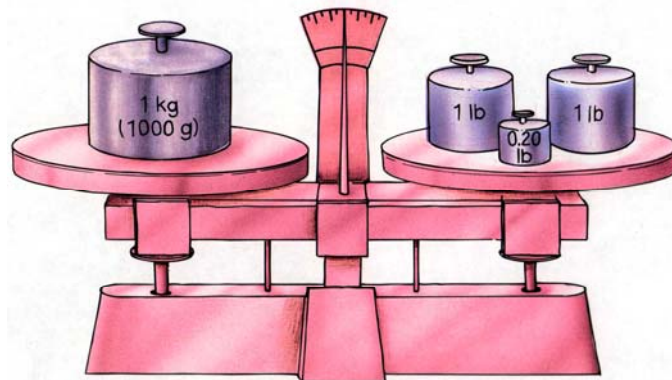
รูปที่ 2.4 ตาชั่งที่วัดน้ำหนัก โดยใช้สปริง

ปอนด์* เป็นหน่วยที่คนอังกฤษใช้ในการวัดน้ำหนักของวัตถุ ปัจจุบันทั่วโลกนิยมใช้ระบบเมตริก จึงนิยามให้ 1 ปอนด์เป็นค่าคงที่มีขนาดเท่ากับ 453.59237 กรัม หน่วยปอนด์เป็นหน่วยโบราณ มีมาก่อน นักฟิสิกส์สำคัญของโลก คือ กาลิเลโอ (1564-1662) เซอร์ไอแซคนิวตัน (1642-1727) และโจฮาน เคปเลอร์ (1571-1630) หลังจากที่มีการกำหนดสนามแรงโน้มถ่วงขึ้น หน่วยของมวลกับแรงจึงแยกออกจากกัน เป็นผลให้หน่วยปอนด์ถูกเรียกเป็นสองแบบ คือ **ปอนด์มวล (lbmass)** และ **ปอนด์แรง (lbforce)**

ปอนด์แรง ได้มาจาก มวลขนาด 1 ปอนด์คูณกับความเร่งโน้มถ่วงของโลก ดังสมการ

$$a = F_{\text{net}} / m \quad \text{หรือ} \quad F_{\text{net}} = m a$$

1 ปอนด์มวล (1 lbm) : ความเร่งของโลกเขียนเป็นหน่วยอังกฤษได้ 32.2 ft/sec^2
 เพราะฉะนั้น 1 ปอนด์แรง = $32.2 \text{ lbm} \times \text{ft/sec}^2$ ($1 \text{ lbf} = 32.2 \text{ lbm} \cdot \text{ft/sec}^2$)
 ในระบบ SI : 1 lbm คือ 0.45 กิโลกรัม และความเร่งของโลก $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 ดังนั้น $1 \text{ lbf} = 1 \text{ lbm} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = (0.45 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2) = 4.41 \text{ N}$
 (หน่วย นิวตัน ใช้สัญลักษณ์เป็น "N" ในระบบ SI : $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$)

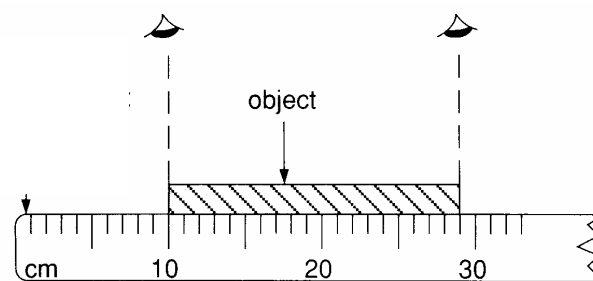


รูปที่ 2.5 หน่วยวัด 1 กิโลกรัม เท่ากับ 2.2 ปอนด์

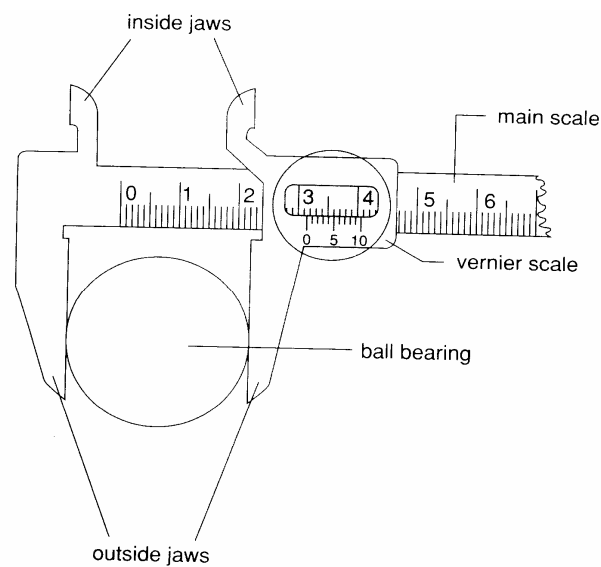
* ซึ่งมาจากภาษาโรมันว่า "libra pondo" แปลว่า น้ำหนัก สมัยก่อนหน่วยปอนด์มีอยู่หลายมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน Troy กับ Saxon สองมาตรฐานนี้ไม่เท่ากัน กล่าวคือ หน่วย Troy มากกว่า Saxon อยู่ 6.25 % เหตุผลเป็นเพราะ ช่วงนั้น ผู้มีอำนาจเก็บภาษีจากประชาชนเพิ่มขึ้น จึงกำหนดปอนด์ให้มากขึ้น

2.3 การวัดความยาวและปริมาตร (Measuring length and volume)

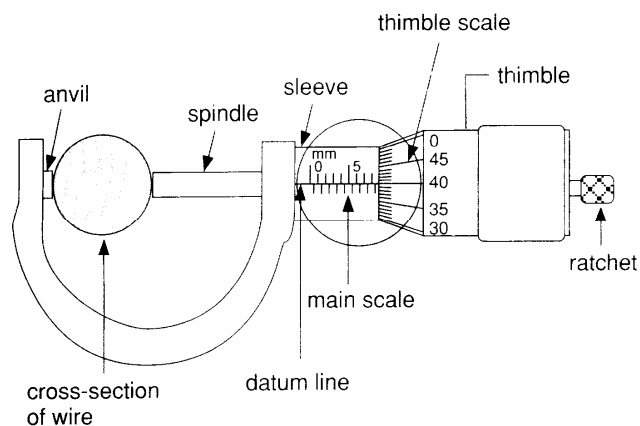
ความยาวเป็นระยะระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่ง การวัดความยาวของวัตถุสามารถใช้เครื่องมือได้หลายชนิด เช่น ไม้บรรทัด สายวัด เวอร์เนีย (Vernier) ซึ่งมีหน่วยทั้งที่เป็นนิ้วและเป็นเซนติเมตร



ก. การวัดความยาวของวัตถุ โดยใช้ไม้บรรทัด



ข. การวัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุ โดยใช้เวอร์เนีย



ค. การวัดความยาวของวัตถุ โดยใช้ไมโครสกรู

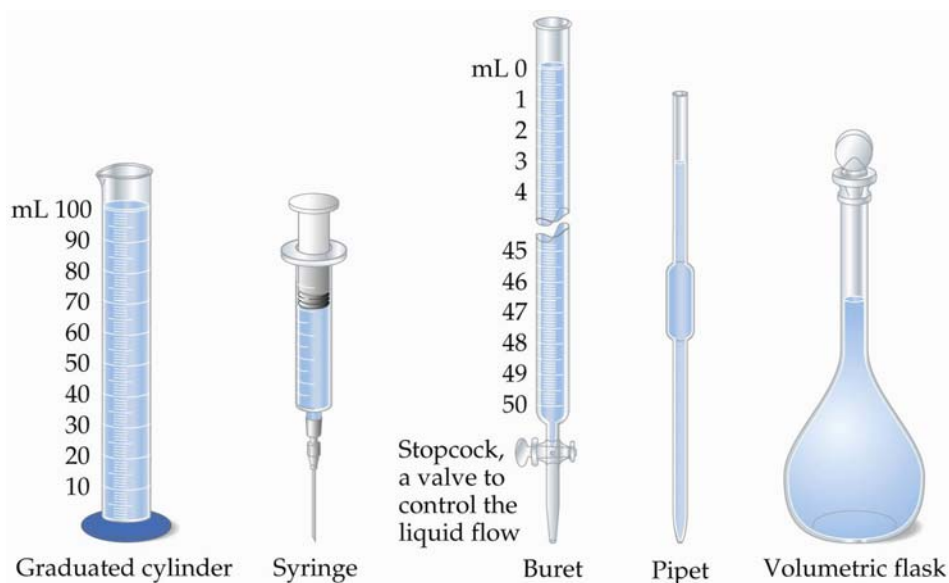
รูปที่ 2.6 การวัดความยาวของวัตถุ

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการวัดของอุปกรณ์วัดความยาวแต่ละชนิด

อุปกรณ์	ความยาวที่วัดได้	ความแม่นยำในการวัด
สายวัด	มากกว่า 1 m	1 cm
ไม้บรรทัด	10 cm to 1 m	1 mm
Vernier Callipers	~2 cm to ~10 cm	0.1 mm
Micrometer Screw Gauge	น้อยกว่า 2 cm	0.01 mm

การวัดปริมาตรของสาร

ปริมาตร (volume) หมายถึงจำนวนที่บอกขนาดของสารในรูป 3 มิติ ของทางคณิตศาสตร์ โดยทั่วไปมักจะกล่าวถึงปริมาตรของของแข็งที่มีรูปทรงเรขาคณิต ส่วนปริมาตรของของเหลวจะวัดต้องอาศัยภาชนะในการตวง ปริมาตรมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (m^3) เช่น กระบอกตวง หลอดฉีดยา บีกเกอร์ ปีเปต บิวเรต



รูปที่ 2.7 เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาตรในทางวิทยาศาสตร์

สำหรับการหาปริมาตรของของแข็ง มีวิธีการหา 2 วิธี ดังนี้

1. วัตถุที่มีรูปทรงเรขาคณิต หาปริมาตรได้จากการวัดส่วนต่างๆ แล้วนำมาคำนวณหาโดยใช้สูตร ดังนี้

ปริมาตรรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก = กว้าง x ยาว x สูง

ปริมาตรรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ = ด้าน x ด้าน x ด้าน

ปริมาตรรูปทรงกระบอก = $r^2 h$ (r = รัศมี, h = ความสูง)

2. วัตถุไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ทำการหาปริมาตรได้โดยนำวัตถุชนิดนั้นไปแทนที่น้ำในถ้วยยูริกา แล้วตวงหาปริมาตรของน้ำที่ล้นออกมา ซึ่งจะมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัตถุนั้นตามหลักของอาร์คิมิดีส

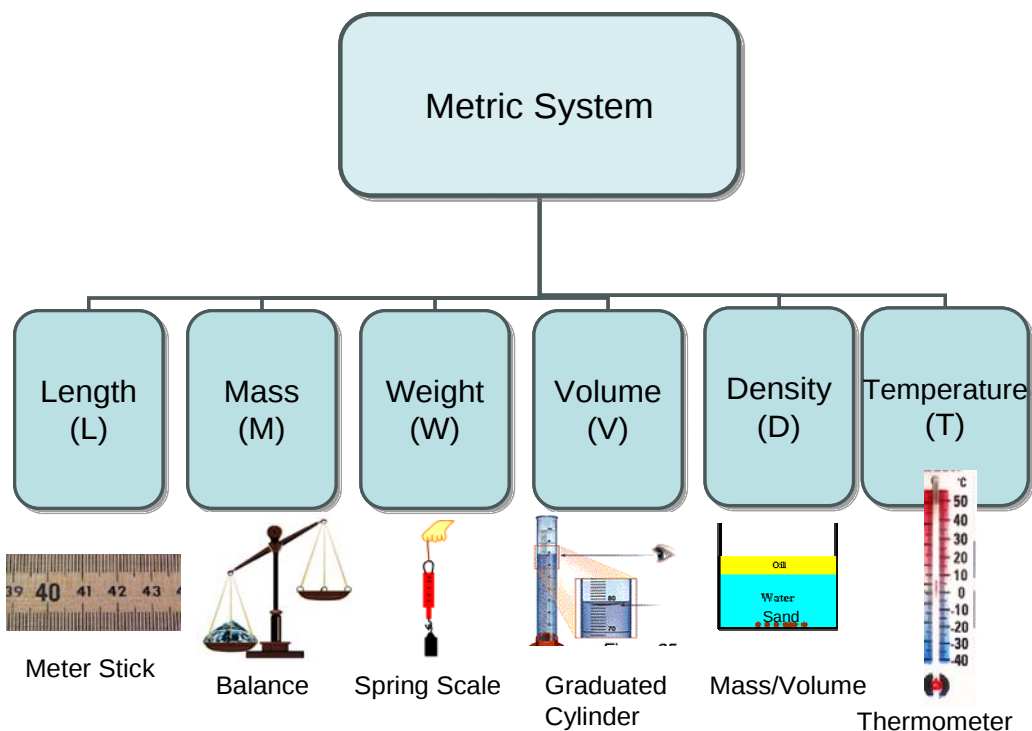
2.4 ระบบเมตริก (The Metric System)

ระบบเมตริกเป็นหนึ่งในระบบการวัดสากล ที่ใช้ในทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ระบบเมตริก ถือกำเนิดขึ้นที่ประเทศฝรั่งเศส เมื่อปี พ.ศ. 2334 (ค.ศ. 1791) เกิดขึ้นภายหลังการปฏิวัติทางการค้า ที่มีการแลกเปลี่ยนสินค้าที่เกิดขึ้น ส่งอิทธิพลในการ

1. เป็นระบบของเลขฐานสิบ หมายถึง การเพิ่มค่าจากหน่วยหนึ่งขึ้นไป หรือลดค่าลงมาอีกหน่วยหนึ่งนั้น เพิ่มโดยขนาดของ 10 เท่า เช่นจาก หนึ่งเมตร แบ่งเป็น 10 ส่วน เรียก เดซิเมตร และเดซิเมตร แบ่งเป็น 10 ส่วน เรียกแต่ละส่วนเป็น เซนติเมตร ในขณะที่ระบบของหน่วยตามเดิม (เช่น คืบ ศอก) นั้นไม่มีตัวเลขที่แน่นอนและคงที่

2. ในระบบเมตริกนั้นมีหน่วยพื้นฐาน (Basic unit) เพียงแค่ 7 หน่วยพื้นฐานเท่านั้น ในขณะที่หน่วยเดิมมีมากกว่า 20 หน่วยพื้นฐาน หน่วยวัดพื้นฐาน 7 หน่วยซึ่งวัดค่าต่างๆ ตามหน่วยในแผนภูมิที่ 2.2 ได้แก่

แผนภูมิที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของการวัดและหน่วยวัด



2.1 เมตร (meter) เป็นหน่วยพื้นฐานของความยาว

2.2 กิโลกรัม (kilogram) เป็นหน่วยพื้นฐานของมวล

2.3 วินาที (second) เป็นหน่วยพื้นฐานของ เวลา

2.4 เคลวิน (kelvin) หรือเซลเซียส (Celsius) เป็นหน่วยพื้นฐานของอุณหภูมิ

2.5 แอมแปร์ (ampere) เป็นหน่วยพื้นฐานของไฟฟ้า

2.6 โมล (mole) เป็นหน่วยพื้นฐานของปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี

2.7 แคนเดลา (candela) เป็นหน่วยพื้นฐานของปริมาณความเข้มของการส่องสว่าง

นอกจากหน่วยพื้นฐานทั้ง 7 แล้ว ยังมีหน่วยเสริม (supplementary units) เช่น หน่วยวัดมุมระนาบ เรียกว่าเรเดียน (radian) และหน่วยวัดมุมตัน เรียกว่า สเตอเรเดียน (steradian)

หน่วยพื้นฐานในระบบเมตริกสามารถเปลี่ยนหน่วยได้ เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดที่วัดได้ โดยการเติมคำอุปสรรค (prefix) ที่หน้าหน่วยพื้นฐาน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงคำอุปสรรคที่ใช้กับหน่วยพื้นฐาน

Prefix	Symbol	Meaning	x10 for Scientific Notation
<i>tera</i>	T	1,000,000,000,000	10^{12}
<i>giga</i>	G	1,000,000,000	10^9
<i>mega-</i>	M	1,000,000	10^6
<i>kilo-</i>	k	1,000	10^3
<i>deci-</i>	d	0.1	10^{-1}
<i>centi-</i>	c	0.01	10^{-2}
<i>milli-</i>	m	0.001	10^{-3}
<i>micro-</i>	μ	0.000001	10^{-6}
<i>nano-</i>	n	0.000000001	10^{-9}
<i>pico-</i>	p	0.000000000001	10^{-12}
<i>femto-</i>	f	0.000000000000001	10^{-15}

หน่วยพื้นฐานของความยาวและปริมาตร ในระบบเมตริกนั้น หนึ่งลิตรจะเท่ากับปริมาตรของลูกบาศก์ที่มีขนาด $10 \times 10 \times 10$ เซนติเมตร³ ดังนั้นปริมาตรของลูกบาศก์นี้คือ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในความหมายก็คือ 1 มิลลิลิตรเท่ากับ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

$$1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$$

ความสัมพันธ์ของหน่วยพื้นฐานของปริมาตรและน้ำหนักนั้น หนึ่งกรัมเป็นหน่วยมวลของน้ำ 1 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 4 เซลเซียส

$$1 \text{ g} = 1 \text{ mL H}_2\text{O} \text{ ที่ } 4^\circ \text{C}$$

สำหรับขนาดของอะตอมใช้หน่วยอังสตรอม (angstrom, Å) ซึ่งเมื่อเทียบกับหน่วยนาโนเมตร (nm) แล้วพบว่า สิบอังสตรอมเท่ากับหนึ่งนาโนเมตร

2.5 ระบบอังกฤษ (English System)

ระบบอังกฤษเป็นหน่วยมาตรฐานอีกหน่วยหนึ่ง หน่วยนี้ยังนิยมใช้กันในหลายประเทศ แต่ในไทยเรามักไม่ค่อยเคยนักเพราะไม่ได้ใช้เป็นหน่วยมาตรฐาน หน่วยวัดที่เป็นที่นิยมใช้กันมานานคือ วัดความยาวเป็นนิ้ว ฟุต หลา ไมล์ วัด น้ำหนักเป็นออนซ์ ปอนด์ วัดอุณหภูมิเป็น ฟาเรนไฮต์ ดังตารางข้างล่าง

หน่วยวัดปริมาตร	หน่วยวัดความยาว	หน่วยวัดมวล
8 ออนซ์ = 1 ถ้วย	1 ฟุต = 12 นิ้ว	16 ออนซ์ = 1 ปอนด์
2 ถ้วย = 1 ไพน์ท	1 หลา = 3 หลา	2000 ปอนด์ = 1 ตัน
2 ไพน์ท = 1 ควอท	1 ไมล์ = 5280 ฟุต	
4 ควอท = 1 แกลลอน	1 ไมล์ = 1760 หลา	

2.6 ระบบ SI unit (The International System of Unit)

จากการที่มีระบบหน่วยใช้ปนกันทั้ง 2 ระบบ ก่อให้เกิดความสับสนขึ้นบ่อยครั้ง ที่ต้องคำนวณหน่วย กลับไปกลับมา หลายชาติจึงมีการประชุมร่วมกันที่ฝรั่งเศส มี 17 ชาติเข้าร่วมประชุม รวมทั้งสหรัฐอเมริกาด้วย ในที่สุด ปี พ.ศ. 2503 องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization หรือชื่อย่อ ISO) ได้กำหนดให้มีระบบการวัดใหม่ขึ้น เพื่อใช้ในการวัดทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้เป็นระบบเดียวกันทั่ว

หน่วยฐาน (Base units) เป็นหน่วยหลักของเอสไอ มีทั้งหมด 7 หน่วย

หน่วยฐาน			
ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์	ปริมาณ	นิยาม
กิโลกรัม	kg	มวล	หน่วยของมวลซึ่งเท่ากับมวลต้นแบบระหว่างชาติของกิโลกรัม (ทรงกระบอกแพลตินัม-อิริเดียม) เก็บไว้ที่ Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), Sèvres, Paris (1st CGPM (1889), CR 34-38)
วินาที	s	เวลา	หน่วยของช่วงเวลา 9 192 631 770 เท่าของคาบการแผ่รังสีที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะระดับไฮเพอร์ไฟน์ของสถานะพื้นของอะตอมซีเซียม-133 ที่อุณหภูมิ 0 เคลวิน (13th CGPM (1967-1968) Resolution 1, CR 103)
เมตร	m	ความยาว	หน่วยของความยาวที่แสงเดินทางได้ในสุญญากาศ ในช่วงเวลา 1/299 792 458 วินาที (17th CGPM (1983) Resolution 1, CR 97)
แอมแปร์	A	กระแสไฟฟ้า	หน่วยของกระแสไฟฟ้าคงตัวซึ่งเมื่อให้อยู่ในตัวนำตรงและขนานกัน 2 เส้น ที่มีความยาวไม่จำกัดและมีพื้นที่หน้าตัดน้อยจนไม่ต้องคำนึงถึง และวางห่างกัน 1 เมตรในสุญญากาศแล้ว จะทำให้เกิดแรงระหว่างตัวนำทั้งสองเท่ากับ 2×10^{-7} นิวตันต่อความยาว 1 เมตร (9th CGPM (1948) Resolution 7, CR 70)
เคลวิน	K	อุณหภูมิ-อุณหภูมิวัด	หน่วยของอุณหภูมิอุณหพลวัต (หรืออุณหภูมิสัมบูรณ์) มีค่าเท่ากับ 1/273.16 ของอุณหภูมิอุณหพลวัตของจุดรวมสามสถานะของน้ำ (13th CGPM (1967) Resolution 4, CR 104)
โมล	mol	ปริมาณของสาร	หน่วยของปริมาณของสารซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบมูลฐานที่มีจำนวนเท่ากับจำนวนของอะตอมคาร์บอน-12 ปริมาณ 0.012 กิโลกรัม (14th CGPM (1971) Resolution 3, CR 78) (องค์ประกอบมูลฐาน ซึ่งอาจเป็นอะตอม, โมเลกุล, ไอออน, อิเล็กตรอน, หรืออนุภาค) มีค่าประมาณ $6.02214199 \times 10^{23}$ หน่วย (เลขอาโวกาโดร)
แคนเดลา	cd	ความเข้มของการส่องสว่าง	หน่วยของความเข้มส่องสว่างในทิศที่กำหนดของแหล่งกำเนิดที่แผ่รังสีของแสงความถี่เดียวที่มีความถี่ 540×10^{12} เฮิรตซ์ และความเข้มของการแผ่รังสีในทิศทางนั้นเท่ากับ 1/683 วัตต์ต่อสเตอเรเดียน (16th CGPM (1979) Resolution 3, CR 100)

และยังมีหน่วยวัดย่อยอื่นๆ ที่สำคัญอีก ที่เรียกว่า หน่วยอนุพันธ์ (Derived units) เป็นหน่วยซึ่งมีหน่วยฐานหลายหน่วยมาเกี่ยวข้องกัน เช่น หน่วยของอัตราเร็วเป็น

* ย่อมาจากภาษาฝรั่งเศสว่า Systeme International d' Unite's

หน่วยอนุพันธ์

ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์	ปริมาณ	การแสดงออกในรูปหน่วยฐาน
เฮิรตซ์	Hz	ความถี่	s^{-1}
นิวตัน	N	แรง	$kg\ m\ s^{-2}$
จูล	J	พลังงาน	$N\ m = kg\ m^2\ s^{-2}$
วัตต์	W	กำลัง	$J/s = kg\ m^2\ s^{-3}$
พาสคัล	Pa	ความดัน	$N/m^2 = kg\ m^{-1}\ s^{-2}$
ลูเมน	lm	ฟลักซ์ส่องสว่าง	$cd\ sr = cd$
ลักซ์	lx	ความสว่าง	$cd\ m^{-2}$
คูลอมบ์	C	ประจุไฟฟ้า	$A\ s$
โวลต์	V	ความต่างศักย์	$J/C = kg\ m^2\ A^{-1}\ s^{-3}$
โอห์ม	Ω	ความต้านทานไฟฟ้า	$V/A = kg\ m^2\ A^{-2}\ s^{-3}$
ฟารัด	F	ความจุ	$\Omega^{-1}\ s = A^2\ s^4\ kg^{-1}\ m^{-2}$
เวเบอร์	Wb	ฟลักซ์แม่เหล็ก	$kg\ m^2\ s^{-2}\ A^{-1}$
เทสลา	T	ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก	$Wb/m^2 = kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
เฮนรี	H	ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า	$\Omega\ s = kg\ m^2\ A^{-2}\ s^{-2}$
ซีเมนส์	S	ความนำ	$\Omega^{-1} = kg^{-1}\ m^{-2}\ A^2\ s^3$
เบกเคอเรล	Bq	กัมมันตภาพของรังสี	s^{-1}
เกรย์	Gy	ขนาดกำหนดของการดูดกลืนรังสี	$J/kg = m^2\ s^{-2}$
ซีเวิร์ต	Sv	ขนาดกำหนดของกัมมันตภาพรังสี	$J/kg = m^2\ s^{-2}$
องศาเซลเซียส	$^{\circ}C$	อุณหภูมิอุณหพลวัต	$K - 273.15$

2.7 การเปลี่ยนจากระบบเมตริกเป็นระบบอังกฤษ

ในการเปลี่ยนหน่วยจากระบบเมตริกเป็นระบบอังกฤษ หรือเปลี่ยนจากระบบอังกฤษเป็นระบบเมตริก โดยใช้ความสัมพันธ์การเปลี่ยนหน่วย ดังนี้

การวัด	SI unit -> English system
ความยาว	2.54 cm = 1 in.
	1 m = 39.4 in.
	1.6 km = 1 mi
ปริมาตร	946 mL = 1 qt
	29.57 mL = 1 fluid ounce (fl oz)
	1 L = 1.06 qt
	3.785 L = 1 gal
มวล	454 g = 1 lb
	1 kg = 2.20 lb
	28.35 g = 1 ounce (oz)

2.8 อุณหภูมิ (Temperature)

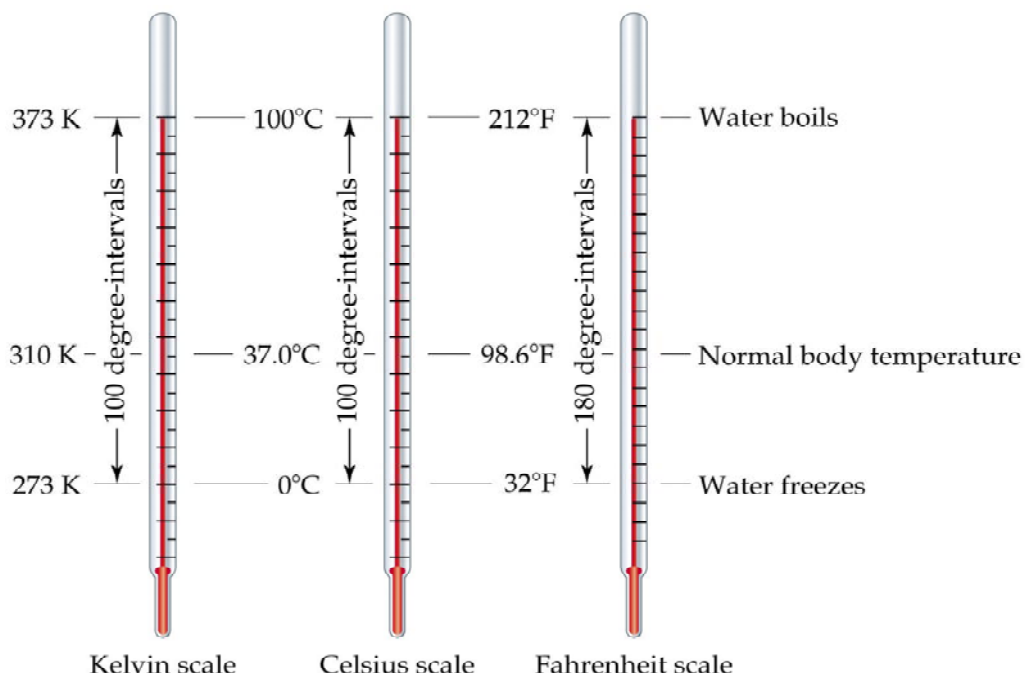
อุณหภูมิใช้บอกระดับพลังงานความร้อนของสสารได้ ได้มีการกำหนดมาตรา (scale) การวัด แต่เดิมใช้น้ำบริสุทธิ์เป็นมาตรฐานสำหรับกำหนดมาตราของอุณหภูมิ กล่าวคือ ถ้าเป็นน้ำแข็งจะมีมาตราเป็น 0 และน้ำเดือดเป็น 100 ในหน่วยองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) แต่ในหน่วยองศาฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$) น้ำแข็งจะมีมาตราเป็น 32 ส่วนน้ำเดือดมีมาตราเป็น 212 แต่มีสารบางชนิดที่จุดเยือกแข็งต่ำมากจนมีค่าเป็นลบทำให้เกิดปัญหาในการคำนวณทางอุณหพลศาสตร์ จึงมีการกำหนดอุณหภูมิที่มีค่าไม่เป็นลบขึ้นมาใหม่เรียกว่า **อุณหภูมิสัมบูรณ์** (absolute temperature) มีหน่วยเป็นเคลวิน (K) ณ 0 เคลวิน (-273.18°C) เป็นอุณหภูมิที่โมเลกุลของสารทุกชนิดไม่มีพลังงานภายในเกิดสภาวะที่หยุดนิ่ง มีปริมาตรเป็นศูนย์

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสัมบูรณ์กับอุณหภูมิที่เป็น $^{\circ}\text{C}$ ดังนี้

$$\text{อุณหภูมิ(K)} = \text{อุณหภูมิ} (^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

สำหรับในระบบหน่วย SI อุณหภูมิองศาสัมบูรณ์จะใช้ เคลวิน (kelvin, K) ส่วนอุณหภูมิสัมพัทธ์จะใช้หน่วยเป็นองศาเซลเซียส (Celsius, °C) และสำหรับหน่วยในระบบอังกฤษใช้ แร็งคิน (Rankine, R) และ ฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit, °F) ตามลำดับ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในระบบต่างๆ เป็นดังนี้

$$\begin{aligned}\text{อุณหภูมิ} (^{\circ}\text{F}) &= 9/5 \text{ อุณหภูมิ} (^{\circ}\text{C}) + 32 \\ \text{อุณหภูมิ} (^{\circ}\text{C}) &= 5/9 \times (\text{อุณหภูมิ} (^{\circ}\text{F}) - 32) \\ \text{อุณหภูมิ} (\text{R}) &= \text{อุณหภูมิ} (^{\circ}\text{F}) + 459.69\end{aligned}$$



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละหน่วยของอุณหภูมิ

Celsius Scale(°C) เป็นมาตรวัดอุณหภูมิในหน่วย SI ที่นิยามโดยนักอวกาศชาวสวีเดนชื่อ A. Celsius ในช่วงปี ค.ศ. 1701 – 1744 และมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Centigrade Scale มีจุดเยือกแข็งของน้ำที่ 0°C และจุดการกลายเป็นไอน้ำที่ 100°C

Fahrenheit Scale(°F) เป็นมาตรวัดอุณหภูมิในหน่วยอังกฤษที่นิยามโดยนักสร้างเครื่องมือวัดชาวเยอรมันชื่อ G. Fahrenheit ในช่วงปี ค.ศ. 1686 – 1736 มีจุดเยือกแข็งของน้ำที่ 32°F และจุดการกลายเป็นไอน้ำที่ 212°F

Kelvin Scale(K) เป็นมาตรวัดอุณหภูมิทางเทอร์โมไดนามิกส์ในหน่วย SI ที่นิยามโดย Lord Kelvin ในช่วงปี ค.ศ. 1824 – 1907 มีจุดเยือกแข็งของน้ำที่ 273.15 K และจุดการกลายเป็นไอน้ำที่ 373.15 K ส่วนอุณหภูมิต่ำที่สุดของ Kelvin Scale คือ 0 K

Rankine Scale(R) เป็นมาตรวัดอุณหภูมิทางเทอร์โมไดนามิกส์ในหน่วยอังกฤษ ที่นิยามโดย William Rankine ในช่วงปี ค.ศ. 1820 – 1872 มีจุดเยือกแข็งของน้ำที่ 491.67 R และจุดการกลายเป็นไอน้ำที่ 671.67 R ส่วนอุณหภูมิต่ำที่สุดของ Rankine Scale คือ 0 R

2.9 พลังงานความร้อนและความร้อนจำเพาะ (Heat energy and specific heat)

ความร้อน (heat) เป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงาน ซึ่งสสารหรือวัตถุทุกชนิดจะมีพลังงานความร้อนสะสมอยู่ เมื่อวัตถุได้รับความร้อนทำให้องค์ประกอบต่างๆ ภายในที่เราเรียกว่าอนุภาค ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าอะตอม มีการเคลื่อนที่เร็วขึ้น วัตถุจึงร้อนขึ้น แต่ถ้าวัตถุสูญเสียความร้อน อนุภาคต่างๆ จะเคลื่อนที่ช้าลง วัตถุจึงเย็นลง มักวัดพลังงานความร้อนในรูปของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้มีพลังงานความร้อนมากขึ้น พลังงานความร้อนจะเคลื่อนผ่านจากวัตถุที่ร้อนกว่าไปยังวัตถุที่เย็นกว่าเสมอ พลังงานในรูปอื่นๆ สามารถเปลี่ยนมา เป็นความร้อน เช่น เตาไรต์ เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานความร้อน หลอดไฟสามารถให้พลังงานความร้อนและยังให้พลังงานแสงอีกด้วย แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนมาจากหลายแห่งด้วยกัน เช่น ดวงอาทิตย์ ความร้อนใต้พื้นผิวโลก การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า พลังงานนิวเคลียร์ ความร้อนจากการขัดสีหรือการเสียดทาน ฯลฯ ผลของความร้อนทำให้สสารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพได้ เช่น อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ปฏิกิริยาเร็วขึ้นหรือการเปลี่ยนสถานะ

หน่วยที่ใช้วัดปริมาณความร้อน ในการวัดปริมาณความร้อน ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า แคลอรีมิเตอร์

ปริมาณความร้อน 1 แคลอรี (1 cal) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ให้น้ำมวล 1 กรัมมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส

ปริมาณความร้อน 1 บีทียู (1 BTU) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ให้น้ำมวล 1 ปอนด์มีอุณหภูมิสูงขึ้น

ปริมาณความร้อน 1 จูล (1 J) คือ ปริมาณความร้อนที่มีขนาดเท่ากับงานที่เกิดจากแรง 1 นิวตัน (N)

ระบบเมตริก	ระบบเอสไอ	ระบบอังกฤษ
แคลอรี (cal)	จูล * (Joule)	บีทียู (BTU)
กิโลแคลอรี (kcal)	กิโลจูล (kJ)	

$$1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J}$$

$$1 \text{ BTU} = 252 \text{ Cal}$$

ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุหนึ่งหน่วยน้ำหนักมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศา เป็นสมบัติทางฟิสิกส์ของวัตถุ มีหน่วยเป็น จูลต่อกรัม-องศาเซลเซียส ($\text{J/g} \cdot ^\circ\text{C}$) แคลอรีต่อกรัม-องศาเซลเซียส ($\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) หรือ บีทียูต่อปอนด์-องศาฟาเรนไฮต์ ($\text{BTU/lb} \cdot ^\circ\text{F}$) ดังตารางที่ 2.3 น้ำมีความจุความร้อนจำเพาะ $4.186 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่า Specific Heat Capacity

Substance	Specific Heat Capacity at 25°C in J/g°C
H ₂ gas	14.267
H ₂ O _(l)	4.184
ethyl alcohol	2.460
Substance	Specific Heat Capacity at 25°C in J/g°C
steam @ 100°C	2.010
vegetable oil	2.000
magnesium	1.020
aluminum	0.900
Concrete	0.880

* จูล (joule, J) เป็นหน่วยเอสไอ ของพลังงาน หรือ งาน ชื่อนี้เป็นเกียรติแก่นักฟิสิกส์ที่ชื่อ เจมส์ เพรสคอตต์ จูล (James Prescott Joule-พ.ศ. 2361-2432)

Substance	Specific Heat Capacity at 25°C in J/g°C
glass	0.840
potassium	0.75
sulphur	0.73
calcium	0.650
iron	0.444
nickel	0.440
zinc	0.39
copper	0.385
brass	0.380
sand	0.290
silver	0.240
tin	0.21
lead	0.160
mercury	0.14
gold	0.129

2.10 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น (density) เป็นสมบัติทางกายภาพของสสาร ความหนาแน่นคือมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมาก มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง (เช่น เหล็ก) จะมีปริมาตรน้อยกว่าวัตถุความหนาแน่นต่ำ (เช่น น้ำ) ที่มีมวลเท่ากัน หน่วยเอสไอของความหนาแน่นคือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

ความหนาแน่นเฉลี่ย (average density) หาได้จากผลหารระหว่างมวลรวมกับปริมาตรรวม ดังสมการ

$$D = \frac{M}{V}$$

โดยที่

D คือความหนาแน่นของวัตถุ (หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

M คือมวลรวมของวัตถุ (หน่วย กิโลกรัม)

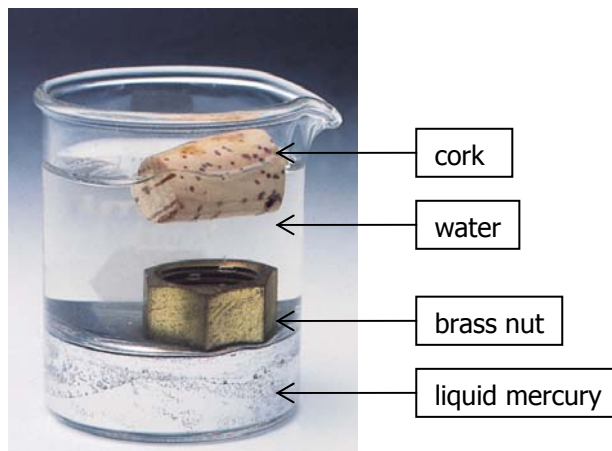
V คือปริมาตรรวมของวัตถุ (หน่วย ลูกบาศก์เมตร)

เครื่องมือที่ใช้วัดความหนาแน่นของของเหลว คือ พิกโนมิเตอร์ ส่วนเครื่องมือวัดความหนาแน่นของก๊าซคือ แก๊สปิกโนมิเตอร์

สสารที่หนาแน่นที่สุดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติบนโลก คือ ธาตุอิริเดียม มีความหนาแน่นประมาณ 22650 kg/m^3

ตารางที่ 2.4 ตารางความหนาแน่นของสสารชนิดต่าง ๆ:

สสาร	ความหนาแน่นในหน่วย kg/m^3
อิริเดียม	22650
ออสเมียม	22610
แพลตินัม	21450
ทองคำ	19300
ทังสเตน	19250
ยูเรเนียม	19050
ปรอท	13580
แพลเลเดียม	12023
ตะกั่ว	11340
เงิน	10490
ทองแดง	8960
เหล็ก	7870
ดีบุก	7310
ไทเทเนียม	4507
เพชร	3500
อะลูมิเนียม	2700
แมกนีเซียม	1740
น้ำทะเล	1025
น้ำ	1000
น้ำแข็ง	917
เอทิลแอลกอฮอล์	790
แอโรเจล	3.0

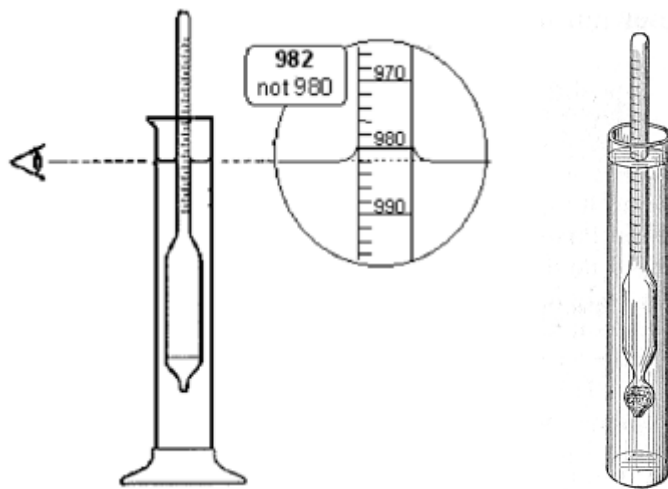


รูปที่ 2.9 แสดงความหนาแน่นของสารชนิดต่าง ๆ
(จุกคอร์ก < น้ำ < ทองเหลือง <ปรอท)

2.11 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะของสารใดๆ คือ อัตราส่วนความหนาแน่นของสารนั้นต่อความหนาแน่นของน้ำที่ 4°C น้ำมีความหนาแน่นเท่ากับ $1,000\text{ kg/m}^3$ หรือ 1 g/cm^3 เครื่องมือสำหรับวัดค่าความถ่วงจำเพาะ คือ ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการทำงานง่ายๆ ในการวัดความหนาแน่นของเหลวที่ใช้กันแทบทุกอุตสาหกรรมที่ทำงานเกี่ยวกับของเหลว เช่น ในอุตสาหกรรมไวน์ ความหนาแน่นของน้ำหมักที่เปลี่ยนไปนั้น จะบ่งบอกถึงความคืบหน้าของกระบวนการหมัก ในอุตสาหกรรมนม ความหนาแน่นของน้ำนมดิบจะบ่งบอกคุณภาพของนม

ไฮโดรมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์วัดความหนาแน่นของของเหลว ที่มีลักษณะเป็นกระเปาะกลวงยาว ปิดทุกด้าน ส่วนปลายด้านล่างมีน้ำหนักถ่วงไว้เพื่อให้ลอยตั้งตรง ด้านบนมีลักษณะเป็นหลอดยาวแคบๆ มีขีดบอกระดับที่จม หลักการของไฮโดรมิเตอร์มีอยู่ว่า ระดับความลึกที่จมจะแปรผกผันกับความหนาแน่นของของเหลว อุปกรณ์นี้จึงสามารถใช้วัดความหนาแน่นของของเหลวได้โดยการเทียบค่า (calibration) การจมในของเหลวที่ทราบความหนาแน่นแล้ว อ่านค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิมาตรฐาน



รูปที่ 2.10 ลักษณะของไฮโดรมิเตอร์และการอ่านค่าบนสเกลเมื่อลอยอยู่ในของเหลว

สเกลของไฮโดรมิเตอร์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้บอกค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลว ถ้าใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดความถ่วงจำเพาะของน้ำบริสุทธิ์ เราจะได้ค่า 1 และถ้าเราวัดของเหลวที่มีความหนาแน่นเป็นสองเท่าของน้ำเราก็จะได้ความถ่วงจำเพาะเป็น 2 ในทำนองเดียวกันเราก็สามารถหาความถ่วงจำเพาะกับของแข็งได้ เช่น โลหะทั่วไป อลูมิเนียม = 2.55 ทองแดง = 8.88 เหล็ก = 7.2 และ ตะกั่ว = 11.3