บทที่ 1
หลักการเบื้องต้นทางอุณหพลศาสตร์

อุณหพลศาสตร์เป็นสาขาหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ที่ศึกษาเกี่ยวกับพลังงาน (energy)และเอนโทรปี(entropy)ของระบบซึ่งกล่าวถึงระบบ คุณสมบัติของระบบ และอันตรกิริยา(interaction)ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม กฎต่างๆ และพื้นฐานทางอุณหพลศาสตร์ได้มาจากการสังเกตการณ์จากการทดลอง วิชาอุณหพลศาสตร์แบ่งได้เป็นสองประเภทคือ

1. อุณหพลศาสตร์ทางเคมี (Chemical Thermodynmamics) ซึ่งกล่าวถึงปฏิกิริยาและผลที่ได้ทางเคมี

2. อุณหพลศาสตร์เชิงคลาสิก (Classical Thermodynamics) ซึ่งกล่าวถึงพฤติกรรมของระบบในระดับมหภาค(macroscopic scale) เท่านั้น ไม่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ในระดับจุลภาค(microscopic scale)

1.1 ระบบทางอุณหพลศาสตร์ (Themodymamics system)

ระบบทางอุณหพลศาสตร์หมายถึงปริมาณที่แน่นอนของสสารที่เราให้ความสนใจที่จะศึกษาหรือหมายถึงสิ่งที่มีขอบเขต ซึ่งขอบเขตนั้นสามารถกำหนดขึ้นได้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการศึกษา ทุกสิ่งทุกอย่างที่อยู่ภายนอกระบบเรียกว่า **สิ่งแวดล้อม** (Surrounding) ระบบสามารถเคลื่อนที่หรืออยู่กับที่ก็ได้ระบบสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1.1.1 ระบบโดดเดี่ยวหรือระบบอิสระ (Isolated System)

ระบบโดดเดี่ยวหรือระบบอิสระหมายถึงระบบที่แยกออกจากสิ่งแวดล้อมโดยสิ้นเชิง ไม่ถูกรบกวนจากสิ่งแวดล้อม กล่าวได้ว่า ไม่มีมวลสารความร้อน และงานข้ามขอบเขตของระบบนั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าระบบโดดเดี่ยวหรือระบบอิสระก็คือระบบที่ไม่มีอันตรกิริยา(interaction)กับสิ่งแวดล้อม

1.1.2 ระบบปิดหรือระบบมวลคงที่ (Closed system or fixed mass system)

ระบบปิดหรือระบบมวลคงที่หมายถึงระบบที่ไม่มีมวลสารไหลผ่านขอบเขตของระบบ (มวลของสารตัวกลางคงที่) แต่พลังงานความร้อนและงานไหลผ่านขอบเขตของระบบได้

1.1.3 <u>ระบบเปิดหรือปริมาตรควบคุม</u> (Open system or control volume)

ระบบเปิดหรือปริมาตรควบคุมหมายถึงระบบที่ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงานความร้อน มวลของสารตัวกลางจะมีการเคลื่อนที่ผ่านของเขตของระบบด้วยอัตราคงที่หรือไม่คงที่ก็ได้ และพลังงานจะมีการเคลื่อนที่ผ่านขอบเขตของระบบได้โดยเคลื่อนที่ไปโดดเดี่ยวหรือไปพร้อมกับมวลของสารตัวกลาง ระบบเปิดแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1.1.3.1 <u>ระบบที่มีการไหลสม่ำเสมอ</u> (Steady flow system)

ระบบที่มีการไหลสม่ำเสมอหมายถึงระบบเปิดชนิดที่มีมวลของสารตัวกลางที่เข้าและออกจากระบบในช่วงเวลาหนึ่งไม่เท่ากันและในระบบนั้นพลังงานที่ สะสมอยู่ภายในระบบไม่เปลี่ยนแปลง

1.1.3.2 <u>ระบบที่มีการไหลไม่สม่ำเสมอ</u> (Unsteady flow system)

ระบบที่มีการไหลไม่สม่ำเสมอหมายถึงระบบเปิดที่มีมวลของสารตัวกลางที่เข้าและออกจากระบบในช่วงเวลาหนึ่งไม่เท่ากันและในระบบนี้มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่สะสมอยู่ภายในระบบ

1.2 <u>คุณสมบัติและสภาวะของสาร</u> (Properties and State of a substance)

สารในทางอุณหพลศาสตร์ปกติหมายถึงสารทำงาน (Working substance) ซึ่งสารทำงานที่กล่าวถึงได้แก่ ไอน้ำในกังหันไอน้ำ (Steam turbine), อากาศในเครื่องอัดอากาศ, สารผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (internal combestion engine) เป็นต้น ถ้าสังเกตุแล้วสารทำงานก็คือของไหลที่สามารถรับและส่งถ่ายพลังงานจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้

พิจารณาน้ำที่กำหนดมวลให้ค่าหนึ่งซึ่งเราทราบกันดีว่าน้ำนั้นสามารถปรากฏอยู่ได้ในหลายรูปแบบ (เป็นของแข็ง, ของเหลวหรือไอ) ถ้าเริ่มแรกน้ำอยู่ในสภาพของเหลวเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำแล้วของเหลวบางส่วนจะกลายเป็นไอและเช่นเดียวกันถ้าน้ำถูกทำให้เย็นลงของเหลวบางส่วนก็จะกลายเป็นของแข็ง ในแต่ละรูปแบบของน้ำที่ปรากฏให้เห็นนั้นเรียกว่า **เฟส** (Phase)

1.2.1 เฟส (Phase)

เฟส หมายถึงปริมาณของสารที่เป็นเนื้อเดียวกัน(Homogeneous) ตลอด เมื่อสารปรากฏมากกว่าหนึ่งเฟส เฟสเหล่านั้นจะแยกออกจากกันโดยมีของเขต ของเฟสโดยแต่ละเฟสนั้นสารสามารถเกิดขึ้นได้ในหลายสภาวะ(State)

1.2.2 สภาวะ (State)

สภาวะหมายถึงฐานะที่สารแสดงคุณสมบัติออกมาและถูกกำหนดขึ้นด้วยคุณสมบัติทางมหภาค(macroscopie properties) และสามารถวัดค่าได้โดยตรง ได้แก่ อุณหภูมิ ความกดดันและปริมาตรจำเพาะ เป็นต้น คุณสมบัติแต่ละตัวของสารที่สภาวะหนึ่งนั้นมีค่ากำหนดแน่นอนเพียงค่าเดียวเท่านั้น ที่สภาวะใดสภาวะหนึ่งคุณสมบัติเหล่านั้นจะมีค่ากำหนดแน่นอนเป็นค่าเดียวเสมอ โดยไม่คำนึงถึงว่าสารนั้นจะมาถึงสภาวะดังกล่าวได้อย่างไร

1.2.3 คุณสมบัติ (Properties)

คุณสมบัติหมายถึงปริมาณใดๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะของระบบและไม่ขึ้นอยู่กับเส้นทาง(path) ของระบบ คุณสมบัติที่ใช้กำหนดสภาวะของระบบได้ต้องเป็นคุณสมบัติอิสระ (independent properties)ซึ่งคุณสมบัติอิสระก็คือคุณสมบัติที่ไม่ขึ้นต่อกัน ถ้าเป็นคุณสมบัติที่ขึ้นต่อกันจะใช้กำหนดสภาวะของระบบไม่ได้ เช่น ความหนาแน่น และปริมาณจำเพาะ ไม่ถือเป็นคุณสมบัติอิสระเนื่องจากความหนาแน่นเป็นส่วนกลับของปริมาตรจำเพาะ ดังนั้นเราจะใช้ความหนาแน่นและปริมาตรจำเพาะกำหนดสภาวะของระบบไม่ได้

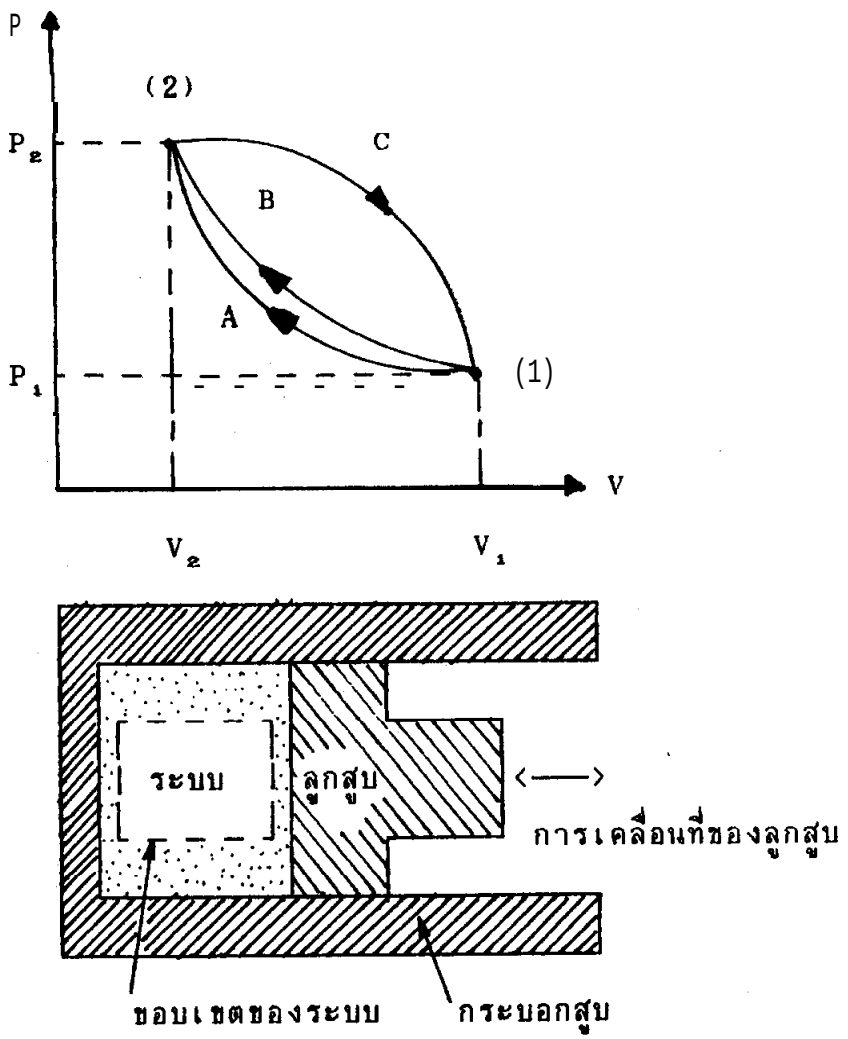
คุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ คุณสมบัติที่ไม่ขึ้นกับปริมาณ(intensive properties) และคุณสมบัติที่ขึ้นกับปริมาณ(extensiveproperties)

1.2.3.1 คุณสมบัติที่ไม่ขึ้นกับปริมาณ หมายถึงคุณสมบัติที่ไม่ขึ้นกับมวลของสารที่สภาวะหนึ่งๆ ของสารหรือระบบนั้น ตัวอย่างเช่น ความกดดัน อุณหภูมิ และความหนาแน่น พบว่าปริมาตรจำเพาะนั้นเป็นคุณสมบัติไม่ขึ้นกับปริมาณด้วย

1.2.3.2 <u>คุณสมบัติที่ขึ้นกับปริมาณ</u> หมายถึงคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับมวลของสารโดยที่สภาวะหนึ่งๆ ของสารหรือระบบจะแปรเปลี่ยนโดยตรงกับมวล ตัวอย่าง เช่น มวล, ปริมาตรทั้งหมดและพลังงาน

1.3 <u>กระบวนการและวัฏจักร</u> (Process and Cycle)

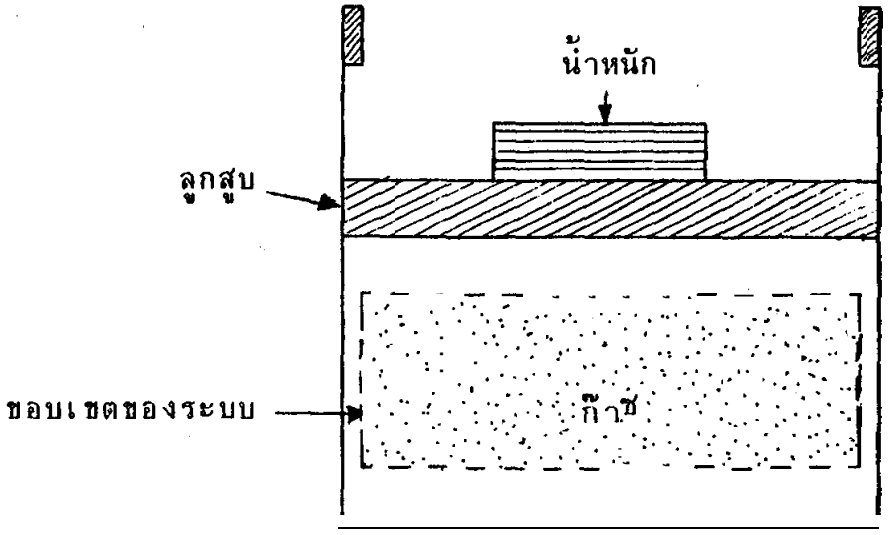
เมื่อใดก็ตามคุณสมบัติหนึ่งอย่างหรือมากกว่าของระบบหนึ่งๆ เปลี่ยนแปลง เราอาจกล่าวได้ว่าระบบนั้นมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ ถ้าระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะเริ่มต้นหนึ่งไปสู่สภาวะสุดท้ายใดๆ เส้นทางที่กำหนดสภาวะทั้งหมดที่ระบบผ่านมานั้นเราเรียกว่า <u>กระบวนการ</u> (process)



รูปที่ 1.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบบนเส้นทางหรือกระบวนการ

พิจารณาจากรูปที่ 1.1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะจากสภาวะ(1)ไปสู่สภาวะ (2) ของก๊าซหรือระบบในกระบอกสูบ โดยระบบได้ผ่านสภาวะต่าง ๆ บนเส้นทาง B หรือ C(กระบวนการ B หรือ C) ซึ่งมีคุณสมบัติอิสระสองอย่างคือ **ความกดดัน**(P) และ **ปริมาตรจำเพาะ** (v) ที่ใช้กำหนดสภาวะต่างๆ ของระบบกระบวนการ B หรือ C (โดยยังไม่คำนึงถึงกระบวนการ A) จะพบว่าที่สภาวะ (1) นั้นระบบมีความกดดันเป็น P_1 และปริมาณจำเพาะเป็น V_1 เมื่อระบบผ่านกระบวนการ B หรือ C สภาวะของระบบจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (p_1,v_1) โดยจะเห็นว่าก๊าซหรือระบบภายในกระบอกสูบนั้น กำลังถูกลูกสูบอัดให้มีปริมาตรน้อยลงและมีความกดดันเพิ่มขึ้น นั่นคือ ระบบได้มีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะ (1) ไปสู่สภาวะใด ๆ บนกระบวนการ B หรือ C ในที่สุดระบบจะดำเนินกระบวนการมาถึงสภาวะ (2) ซึ่งเป็นภาวะสุดท้าย โดยมีความกดดันเป็น P_2 และปริมาตรจำเพาะเป็น V_2 ลูกสูบจึงหยุด พบว่า V_2 มีค่าน้อยกว่า V_1 และ P_2 มีค่ามากกว่า P_1 สรุปก็คือ **เมื่อใดก็ตามที่คุณสมบัติหนึ่งอย่างหรือมากกว่าของระบบหนึ่งๆ เปลี่ยนแปลง ระบบนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะบนเส้นทางหรือกระบวนการที่ระบบผ่าน**

เนื่องจากคุณสมบัติที่ใช้กำหนดสภาวะของระบบได้นั้นต้องคำนึงถึงสภาวะสมดุลย์ของระบบ ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะกำหนดสภาวะของระบบหนึ่งๆขณะดำเนินกระบวนการภายใต้สภาวะความเป็นจริง จึงต้องอาศัยคำนิยามของกระบวนการทางอุดมคติ (ideal process) ซึ่งเรียกว่า **กระบวนการสมดุลย์ควอไซ** (Quasi equilibrium process) เพื่อใช้ในการอธิบายการดำเนินกระบวนการของระบบภายใต้ภาวะสมดุลย์ กระบวนการสมดุลย์ ควอไซเป็นกระบวนการทางอุดมคติซึ่งแตกต่างจากสมดุลย์ทางอุณหพลศาสตร์น้อย3มาก สภาวะทั้งหมดที่ระบบผ่านขณะดำเนินกระบวนการสมดุลย์ควอไซนั้นอาจจะพิจารณาให้เป็นสภาวะสมดุลย์ (equilibrium state) ได้ ในกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงนั้นสามารถสมมติให้เข้าใกล้กระบวนการสมดุลย์ควอไซได้โดยไม่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดมากนัก



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างของระบบที่ดำเนินกระบวนการควอไซ

พิจารณาจากรูปที่ 1.2 ถ้าแบ่งน้ำหนักบรรทุกบนลูกสูบออกเป็นชิ้นน้ำหนักที่มีขนาดเล็กมากๆ นำชิ้นน้ำหนักดังกล่าวออกที่ละชิ้นอย่างช้าๆ ก๊าซจะขยายตัวดันลูกสูบขึ้นอย่างช้าๆ ระบบจะดำเนินกระบวนการอย่างค่อยเป็นค่อยไป ดังนั้นกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้สามารถพิจารณาให้เป็นกระบวนการสมดุลย์ควอไซได้ แต่ถ้าหากนำน้ำหนักออกทั้งหมดทันที ก๊าซภายในกระบอกสูบจะขยายตัวดันลูกสูบขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งลูกสูบกระแทกและยันติดกับที่กั้นในกระบอกสูบจะพบว่ากระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เป็น **กระบวนการไม่สมดุลย์** (Non-equilibrium) และระบบจะไม่อยู่ในสภาวะสมดุลย์ตลอดช่วงระหว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ

สำหรับระบบที่ดำเนินกระบวนการไม่สมดุลย์นั้น คุณสมบัติของระบบจึงไม่เป็นค่ากำหนดแน่นอนค่าเดียวที่สภาวะหนึ่ง ๆ ดังนั้นจึงไม่อาจใช้กำหนดสภาวะในแต่ละสภาวะที่ระบบผ่านในกระบวนการไม่สมดุลย์นี้ได้ ในกระบวนการไม่สมดุลย์หนึ่งๆ นั้นเพียงแต่สามารถกำหนดสภาวะสมดุลย์เริ่มต้น (initial equilibrium state) และสภาวะสมดุลย์สุดท้าย (final equilibrium state) ของระบบได้เท่านั้น

กระบวนการ (process) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างดังนี้

1.3.1 <u>กระบวนการย้อนกลับได้</u> (Reversible process)

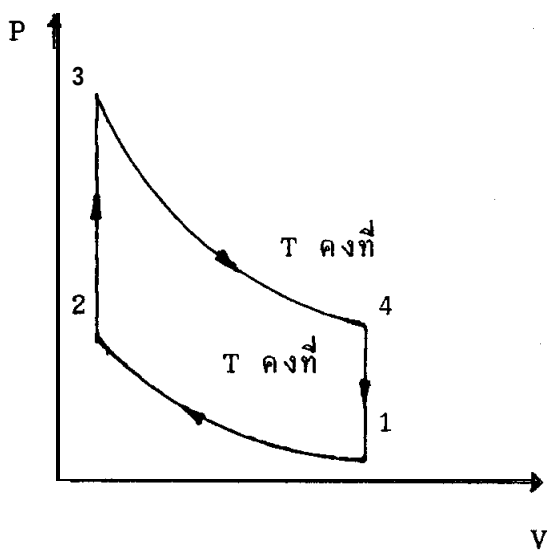
กระบวนการย้อนกลับได้หมายถึง กระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง

สภาวะจากจุดเริ่มต้นไปจนถึงจุดสุดท้ายแล้วสามารถกลับจากจุดสุดท้ายมาให้มีสภาวะเหมือนจุดเริ่มต้นได้ และไม่เหลือหลักฐานที่แสดงว่าได้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะหรือกระบวนการขึ้น

1.3.2 <u>กระบวนย้อนกลับไม่ได้</u> (Irreversible process)

กระบวนการย้อนกลับไม่ได้หมายถึง กระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะจากจุดเริ่มต้นไปจนถึงจุดสุดท้าย แล้วยังเหลือหลักฐานที่แสดงว่าได้เกิดกระบวนการขึ้นและจุดต่างๆ จะไม่คงที่ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติไม่สามารถทำให้เหมือนเดิมได้ครบทุกตัว

เมื่อระบบที่สภาวะเริ่มต้นหนึ่ง ๆ ดำเนินกระบวนการไปสู่สภาวะต่าง ๆ และระบบกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นเดิมได้อีกนั้นเรียกว่า ระบบดำเนินกระบวนการวัฏจักร (Cycle) ดังในรูปที่ 1.1 เมื่อระบบเปลี่ยนแปลงจากสภาวะ (1)ไปสู่สภาวะ (2)โดยกระบวนการ B หรือ C ก็ได้ แล้วระบบสามารถกลับเข้าสู่สภาวะ(1) เดิมโดยกระบวนการ (A)ได้นั้นเรียกว่า ระบบดำเนินครบวัฏจักรและเมื่อระบบกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นเดิมนั้นคุณสมบัติทั้งหมดของระบบจะเป็นค่าเดียวกันกับคุณสมบัติของระบบนั้นที่สภาวะเริ่มต้น



รูปที่ 1.3 แสดงวัฏจักรสเตอร์ลิง (Stirling Cycle)

พิจารณาระบบหรือสารทำงานที่สภาวะเริ่มต้น(1) ตามรูปที่ 1.3 ซึ่งถูกอัดด้วยกระบวนการอัดตัวแบบอุณหภูมิคงที่ (Isothermal compression process) ซึ่งได้แก่กระบวนการ 1->2 ทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงจากสภาวะ (1) ไปสู่สภาวะ (2) และเมื่อให้ความร้อนแก่ระบบทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงจากสภาวะ (2) ไปสู่สภาวะ (3) โดยกระบวนการที่มีปริมาตร 2->3 พบว่าที่สภาวะ (3) นี้มีความกดดันและอุณหภูมิสูงสุด ดังนั้นระบบจึงขยายตัวจากสภาวะ (3) ไปสู่สภาวะ (4) โดยกระบวนการขยายตัวแบบอุณหภูมิคงที่(Isothermal expansion process) ซึ่งได้แก่กระบวนการ 3->4 และระบบที่สภาวะ (4) นี้ยังคงมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ ดังนั้นจึงมีการถ่ายเทความร้อนจากระบบออกสู่บรรยากาศ ทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงจากสภาวะ(4) กลับเข้าสู่สภาวะ (1) ดังเดิมด้วยกระบวนการปริมาตรคงที่ 4->1 การที่ระบบสามารถดำเนินกระบวนการต่าง ๆ จากสภาวะเริ่มต้นหนึ่ง ๆ และระบบสามารถกลับเข้าสู่สภาวะเริ่มต้นเดิมได้อีกนั้นเราเรียกว่าระบบดำเนินครบวัฏจักร

1.4 ค่าจำเพาะ (Specific values)

1.4.1 ค่าความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นหมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ใช้ตัวย่อเป็น d และสามารถบอกได้ในหน่วยของ กรัม/ลบ.ซม., สลั๊ก/ลบ.ฟุต หรือ ปอนด์/ลบ.ฟุต ดังนั้นจะได้

$$d = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \qquad \text{.....(1.1)}$$

1.4.2 น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight)

น้ำหนักจำเพาะหมายถึง แรงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกซึ่งกระทำต่อมวลสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ใช้ตัวย่อเป็น sp.wt

$$Sp.wt = \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{ปริมาตร}} \qquad \text{.....(1.2)}$$

น้ำหนักจำเพาะมีหน่วยเป็น ปอนด์/ลบ.ฟุต,กรัม/ลบ.ซม เป็นต้น

น้ำหนักจำเพาะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น ดังต่อไปนี้

$$Sp.wt = d.g \qquad \text{.....(1.3)}$$

เมื่อ sp.wt เป็นน้ำหนักจำเพาะ

d เป็นความหนาแน่น

และ g เป็นอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

1.4.3 <u>ปริมาตรจำเพาะ</u> (Specific volume)

ปริมาตรจำเพาะของสารเป็นคุณสมบัติที่ไม่ขึ้นกับปริมาณ (intensive properties) โดยกำหนดให้เป็นปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยมวล ใช้ตัวย่อเป็น v

ปริมาตรจำเพาะของระบบหนึ่ง ๆ ภายใต้สนามความโน้มถ่วงนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งในระบบ ตัวอย่างเช่น ถ้าพิจารณาให้บรรยากาศเป็นระบบจะพบว่าปริมาตรจำเพาะของระบบนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นกับระดับความสูง ดังนั้นการให้นิยามของปริมาตรจำเพาะจะต้องเกี่ยวข้องกับปริมาตรจำเพาะของสารที่ตำแหน่งหนึ่ง ๆ ในระบบนั้น

ถ้าให้ dv เป็นปริมาตรเล็ก ๆ ของระบบหนึ่ง ๆ โดยมีมวลเป็น dm ดังนั้นจะได้ปริมาตรจำเพาะดังนี้

$$V = \lim_{dv \to dv'} \frac{dv}{dm} \qquad \text{..... (1.4)}$$

เมื่อ dv เป็นปริมาตรที่เล็กที่สุดซึ่งยังสามารถพิจารณาให้ระบบอยู่ในสภาวะต่อเนื่องได้

ปริมาตรจำเพาะจะมีหน่วยเป็น ลบ.ฟุต/ปอนด์, ลิตร/กิโลกรัม เป็นต้น

1.5 **หน่วย** (Units)

เนื่องจากคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์นั้นพิจารณามาจากการวิเคราะห์ในระดับมหาภาค การวัดค่าของคุณสมบัติเหล่านี้จะบ่งบอกเป็นปริมาณ ดังนั้นการกำหนดหน่วยของปริมาณจึงนับว่ามีความจำเป็น สำหรับหน่วยที่ใช้ในวิชาอุณหพลศาสตร์จะใช้หน่วย SI ซึ่งเป็นหน่ายระหว่างชาติ (International system of units)

หน่วย SI เป็นการวัดปริมาณต่างๆ โดยใช้เป็นระบบมาตรฐานระหว่างชาติโดยได้มีการประชุมของ CGPM (The General Conference of Weights and measures) ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในปี พ.ศ.2503 และกำหนดให้ใช้หน่วย SI ในการวัดปริมาณต่างๆ ในทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หน่วย SI ประกอบด้วย **หน่ายฐาน** (Basic units) **หน่ายเสริม**(Supplimentary units) **หน่วยอนุพัทธ์** (Derived units) และคำนำหน้าหน่วยแสดงปริมาณตัวเลขซึ่งบางครั้งเรียกว่า **คำอุปสรรค**(Prefixes)

1.5.1 **หน่วยมูลฐาน** (Basic units)

หน่วยมูลฐานที่ใช้ในหน่วย SI มี 7 หน่าย ดังตาราง 1.1 ดังนี้

นดับ	ปริมาตร	หน่วย	สัญญลักษณ์
1	ความยาว	เมตร (metre)	m
2	มวล	กิโลกรัม (Kilogram)	kg
3	เวลา	วินาที (Second)	S
4	กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์ (ampere)	A
5	อุณหภูมิทางอุณหพลศาสตร์	เคลวิน (Kelvin)	K
6	ความเข้มการส่องสว่าง	แคนเดลา (candela)	cd
7	ปริมาตรของสาร	โมล (mole)	mol

1.5.2 หน่วยเสริม (Supplementary units)

หน่วยเสริมของหน่วยระหว่างชาติมีอยู่ 2 หน่วย ดังตาราง 1.2 ดังนี้

อันดับ	ปริมาณ	หน่วย	สัญญลักษณ์
1	มุมระนาบ	เรเดียน(radian)	rad
2	มุมตัน	สเตอเรเดียน (Steradian)	S r

ตารางที่ 1.2 แสดงหน่วยเสริมของหน่วย SI

1.5.3 หน่วยอนุพัทธ์ (Derived units)

หน่วยอนุพัทธ์เป็นหน่วยที่เกิดจากการนำหน่วยมูลฐานหลาย ๆ หน่วยมาเกี่ยวเนื่องกันเช่น ความเร็วมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที ซึ่งเมตรและวินาทีเป็นหน่วยมูลฐาน หน่วยอนุพัทธ์นี้มีชื่อหน่วยและสัญญลักษณ์ซึ่งตั้งขึ้นตามข้อกำหนดของ CGPM ดังนี้

1.5.3.1 หน่วยอนุพัทธ์ที่ปรากฏอยู่ในเทอมของหน่วยมูลฐานเดิม ดังตาราง 1.3 ดังนี้

อันดับ	ปริมาณ	หน่วย	สัญญลักษณ์
1	พื้นที่	ตารางเมตร	m^2
2	ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร	m^3
3	ความเร็ว, อัตราเร็ว	เมตรต่อวินาที	m/s
4	ความเร่ง	เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง	m/s^2
5	ความหนาแน่น	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	kg/m^3
6	ปริมาตรจำเพาะ	ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม	m^3/k
7	ความหนาแน่นกระแส	แอมแปร์ต่อตารางเมตร	

ตารางที่ 1.3 แสดงหน่วยอนุพัทธ์ที่ตั้งขึ้นตามหน่วย

1.5.3.2 <u>หน่วยอนุพัทธ์ที่ตั้งขึ้นเป็นพิเศษ</u> ตามตาราง 1.4 ดังนี้

อันดับ	ปริมาณ	หน่วย	สัญญลักษณ์	เทียบหน่วยมลฐาน
1	ความถี่	เฮิรตซ์(hertz)	HZ	1/S
2	แรง	นิวตัน(newton)	N	$m.kg/s^2$
3	พลังงาน, งาน, ความร้อน	จูล(joule)	j หรือ N.m	$m^2.kg/s^2$
4	ความดัน, ความเค้น	พาสคาล(pascal)	ɔa หรือ N/m^2	$kg/(m.S^2)$
5	กำลัง	วัตต์(watt)	w หรือ j/S	$m^2.kg/s^3$
6	ประจุไฟฟ้า	คูลอมบ์(coulomb)	C	S.A
7	ศักย์ไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลต์(volt)	V หรือ W/A	$m^2.kg/(S^3.A)$
8	ความต่างศักย์	โวลต์(volt)	V หรือ W/A	$m^2.kg/S^3.A)$
9	ความจุไฟฟ้า	ฟารัต(farad)	F หรือ C/V	$S.A^2/(m^2.kg)$
10	ความต้านทานไฟฟ้า	โอห์ม(ohm)	Ω หรือ V/A	$n^2.kg/(S^3.A^2)$
11	ความนำไฟฟ้า	ซีเมนส์(siemens)	S หรือ A/V	$S^3.A^2/(m^2.kg)$
12	ฟลั๊กแม่เหล็ก	เวเบอร์(weber)	Wb หรือ v/S	$m^2.kg/S^2.a$
13	ความหนาแน่นของฟลั๊กแม่เหล็ก	เทสลา(tesla)	T หรือ Wb/A	$kg/(S^2.A)$
14	ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า	เฮนรี่(henry)	H หรือ Wb/A	$n^2.kg/(S^2.A^2)$
15	ฟลั๊กการส่องสว่าง	ลูเมน(lumen)	lm	cd.Sr
16	การส่องสว่าง	ลักซ์(lux)	lx	$cd.Sr/m^2$
17	กัมตภาพรังษี	เบ็กเคอเรล (becquerel	bq	
18	อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	C	

ตารางที่ 1.4 แสดงหน่วยอนุพัทธ์พิเศษของหน่ ย SI

1.5.4 **ค่าอุปสรรค** (Prefixes)

ถ้าปรากฏว่าค่าในหน่วยมูลฐานหรือหน่วยอนุพัทธ์มีค่ามากหรือน้อยเกินไป เพื่อความสะดวกจะเปลี่ยนเป็นตัวเลขคูณด้วยสิบยกกำลังลบหรือบวกแทน เช่น 0.002 A หรือ $2x10^{-3}$A เราสามารถเปลี่ยนเป็น 2mA ได้ ค่า m เราเรียกว่า **คำอุปสรรค** (Prefixes) ค่าอุปสรรคที่นิยมใช้ทั่ว ๆ ไป มีดังตาราง 1.5 นี้

ตัวคูณ	ชื่อ	ญญลักษณ์
10^{-18}	อัตโต (atto)	a
10^{-15}	เฟมโต (femto)	f
10^{-12}	Pin (pico)	P
10^{-9}	นาโน (nano)	n
10^{-6}	ไมโคร(micro)	μ
10^{-3}	มิลลิ (milli)	m
10^{-2}	เซนติ (centi)	c
10^{-1}	เดซิ, (deci)	d
10	เดคา (deca)	da
10^{2}	เฮกโต (hecto)	h
10^{3}	กิโล (kilo)	k
10^{6}	เมกะ (mega)	M
10^{9}	จิกะ (giga)	G
10^{12}	เทระ (tera)	T
10^{15}	เพตะ (peta)	P
10^{18}	เอกซะ (exa)	E

ตารางที่ 1.5 แสดงค่าต่าง ๆ ของค่าอุปสรรคของหน่วย SI

องค์การมาตรฐานระหว่างชาติ (International Organization of Standard) หรือที่ใช้ตัวย่อว่า ISO ได้แนะนำให้พยายามใช้ตัวคูณเฉพาะที่เป็นจำนวนเท่าของ 10^{3}ได้แก่ G,M,K,m และ μ เป็นต้น

1.6 ความกดดัน (Pressure)

ความกดดันหมายถึงปริมาณของแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ในหน่วย SI เรากำหนดให้ความกดดัน 1 พาสคาล(Pascal) หมายถึงแรงขนาด 1 นิวตัน กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ดังนี้

หน่วยของความกดดันที่ไม่ใช่หน่วย SI แต่ก็ยังนิยมใช้กันอยู่ ได้แก่ บาร์ (bar) และบรรยากาศมาตรฐาน (Standard atmosphere) หรือ atm โดยที่

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{pa} = 0.1 \text{ Mpa} = 14.50 \text{ lb/n}^2$$

และ $$1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{pa}$$

1.6.1 ความกดดันเกจ (Gage pressure)

ความกดดันเกจหมายถึง ความกดดันแตกต่างระหว่างความกดดันภายในภาชนะกับความกดดันของบรรยากาศ ความกดดันที่วัดได้โดยใช้เครื่องมือวัดความกดดันนี้เรียกว่า **ความกดดันเกจ** (Gage pressure)

1.6.2 ความกดดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure)

ความกดดันบรรยากาศในแต่ละแห่งไม่เท่ากัน แต่โดยปกติจะถือเอาความกดดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลเป็นมาตรฐาน ความกดดันบรรยากาศดังกล่าวสามารถวัดได้โดยใช้บารอมิเตอร์ (barometer) ความกดดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลที่หาได้จากบารอมิเตอร์หาค่าได้ดังตาราง 1.6 ดังต่อไปนี้

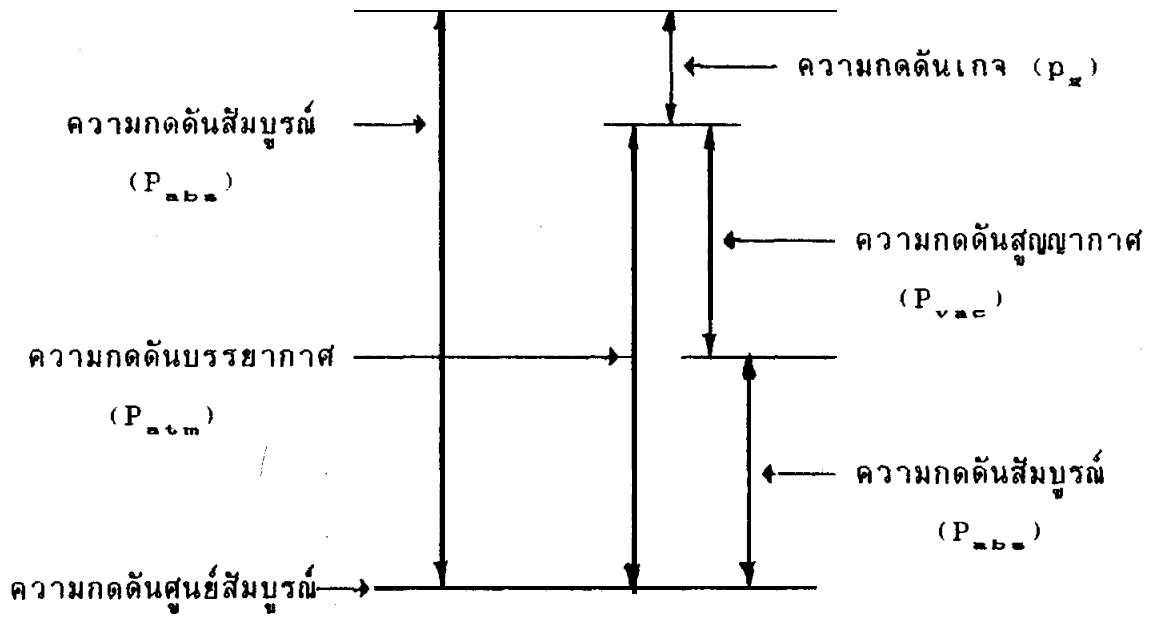
ความกดดันอากาศ	ระบบอังกฤษ	ระบบเมตริก	ระบบในรปSI
ความกดดัน	14.696 ปอนด์/ตร.นิ้ว	1.033 กก/ตร.ซม	1.013 bar. 101.3 kN/m^2
ความสูงของลำปรอท	29.92 นิ้ว	760 มม.	760 มม.
ความสูงของลำน้ำ	33.9 นิ้ว	10.33 เมตร	10.33 เมตร

ตารางที่1.6 แสดงความกดดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลที่หาได้จากบารอมิเตอร์

1.6.3 <u>ความกดดันสัมบูรณ์</u> (Absolute pressure)

ความกดดันสัมบูรณ์หมายถึง ความกดดันที่วัดเทียบกับความกดดันที่มีค่าเป็นศูนย์ ความกดดันในวิชาอุณหพลศาสตร์ที่มีหน่วยเป็น Pa (พาสคาล) นั้นจะหมายถึงความกดดันสัมบูรณ์นั่นเอง

โดยปกติแล้วมาตรวัดหรือเกจความกดดันจะอ่านออกมาเป็นค่าความแตกต่างระหว่างความกดดันสัมบูรณ์กับความกดดันบรรยากาศ ถ้าความกดดันของระบบที่พิจารณานั้นมี <u>ค่าสูงกว่า</u> ความกดดันบรรยากาศเราจะอ่านค่าความแตกต่างของความกดดันบนมาตรวัดเป็น <u>ความกดดันเกจ</u> (Gage pressure) ถ้าความกดดันของระบบที่พิจารณานั้นมี <u>ค่าต่ำกว่า</u> ความกดดันบรรยากาศเราจะอ่านค่าความแตกต่างของความกดดันบนมาตรวัดเป็น <u>ความกดดันสูญกาศ</u> (Vacuum pressure) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงการใช้นิยามของความกดดัน

ความกดดันสัมบูรณ์ (P_{abs}), ความกดดันเกจ (P_g), ความกดดันสูญญากาศ (P_{vac}) และความกดดันบรรยากาศ (P_{atm}) มีความสัมพันธ์กันดังนี้

เมื่อความกดดันของระบบมีค่าสูงกว่าความกดดันบรรยากาศ จะได้

$$P_{abs} = P_{atm}+P_{g} \qquad .....(1.5)$$

เมื่อความกดดันของระบบมีค่าต่ำกว่าความกดดันบรรยากาศ จะได้

$$P_{abs} = P_{atm}-P_{vac} \qquad .....(1.6)$$

ค่าความกดดันสูญญากาศ (P_{vac}) ในสัมการ (1.6) นั้น เป็นค่าความแตกต่างของความกดดันบนมาตรวัดสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$P_{vac} = \rho gh \qquad .....(1.7)$$

เมื่อ ρ เป็นค่าความหนาแน่นของของเหลวในมานอมิเตอร์

g เป็นความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง

และ h เป็นระดับความแตกต่างระหว่างผิวของของเหลวในมานอมิเตอร์

ดังนั้นสมการ (1.6) และ (1.7) จึงเขียนใหม่เป็นดังนี้

$$P_{abs} = P_{atm}-\rho gh \qquad .....(1.8)$$

<u>ตัวอย่าง</u> มานอมิเตอร์บรรจุปรอทที่ใช้สำหรับวัดความกดดันสูญญากาศปรากฏว่าอ่านระดับความสูงแตกต่างกันได้ h = 700 มม. และอ่านความกดดันบรรยากาศจากบารอมิเตอร์ได้ 97 kpa จงคำนวณหาความกดดันสัมบูรณ์

<u>วิธีทำ</u> เนื่องจากความหนาแน่นของปรอทที่ค่าเท่ากัน 13600 kg/m^3

ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง (g) มีค่าเท่ากับ 9.81 N/m^2 หรือ Pa และเมื่อวัดความกดดันของระบบหรือสารที่มีความกดดันต่ำกว่าความกดดันบรรยากาศ

จากสมการ (1.8)

$$P_{abs} = P_{atm}-\rho gh$$

ดังนั้น

$$P_{abs} = 97- 13600x9.81x700x10^{-3}$$

$$= 3.64 \text{ kpa}$$

นั่นคือ ความกดดันสัมบูรณ์มีค่า เ ป็น 3.64 kpa

1.7 ความสมดุลย์ทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics in equilibrium)

ระบบที่มีความสมดุลย์ทางอุณหพลศาสตร์จะคงสภาวะเดิมตลอดไปโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น คุณสมบัติของระบบจะมีค่าคงที่ ระบบจะมีความสมดุลย์ทางอุณหพลศาสตร์ก็ต่อเมื่อมีความสมดุลย์ในทุกทิศทาง ตัวอย่างเช่น ความสมดุลย์ทางความร้อน ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิมีค่าคงที่และเท่ากันทั่วทั้งระบบ ความสมดุลย์ทางกล หมายถึงสภาวะที่ความดันมีค่าคงที่และแรงภายในสมดุลย์กัน (ความกดดันเปลี่ยนแปลงในแนวดิ่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง โดยทั่วไปมีผลน้อยมากจึงมักถือว่าความกดดันคงที่)

ในการกล่าวถึงสภาวะหรือคุณสมบัติของระบบจะหมายถึงคุณสมบัติของระบบภายใต้ความสมดุลย์ทางอุณหพลศาสตร์เท่านั้น

1.8 กฎข้อที่ศูนย์ทางอุณหพลศาสตร์ (The Zeroth law of Thermodynamics)

กฎข้อที่ศูนย์ทางอุณหพลศาสตร์กล่าวว่า "ถ้าระบบ A,B และ C เป็นระบบทางอุณหพลศาสตร์และระบบ A กับระบบ B ต่างก็อยู่ที่สมดุลย์ความร้อนกับระบบ C แล้ว ระบบ A กับระบบ B จะอยู่ที่สมดุลย์ทางความร้อนซึ่งกันและกันด้วย" หรืออาจจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า "ถ้าระบบ A มีอุณหภูมิเท่ากับระบบ B และระบบ A มีอุณหภูมิเท่ากับระบบ C ระบบ B กับระบบ C จะมีอุณหภูมิเท่ากันซึ่งอาจกล่าวได้ว่าระบบทั้งสามจะอยู่ที่สมดุลย์ทางความร้อนซึ่งกันและกัน "ตัวอย่างเช่น สมมติว่ามีน้ำเย็นแก้วหนึ่งมีอุณหภูมิ 20°C(ถือว่าเป็นระบบ A)วัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์อันหนึ่ง(ถือเป็นระบบ B) เมื่อระดับปรอทในเทอร์โมมิเตอร์หยุดนิ่งที่ 20°C เราอาจกล่าวได้ว่าระบบ A (น้ำเย็น) กับระบบ B (เทอร์โมมิเตอร์) มีสภาวะหรืออยู่ที่สมดุลย์ทางความร้อนซึ่งกันและกัน แต่ถ้านำเทอร์โมมิเตอร์อันนี้ไปวัดอุณหภูมิของน้ำเชื่อมแก้วหนึ่ง (ระบบ C) ถ้าปรากฏว่าอ่านอุณหภูมิได้ 20°C เราสามารถกล่าวได้ว่าน้ำเย็นกับน้ำเชื่อมมีอุณหภูมิเท่ากัน และระบบทั้งสามก็อยู่ที่สมดุลย์ทางความร้อนซึ่งกันและกัน

สรุปได้ว่า ระบบใด ๆ จะอยู่ที่สมดุลย์ทางความร้อนกับระบบอื่น ๆ หรือไม่นั้น เราดูที่ว่าระบบเหล่านั้นมีอุณหภูมิเท่ากันหรือไม่ นั่นเอง

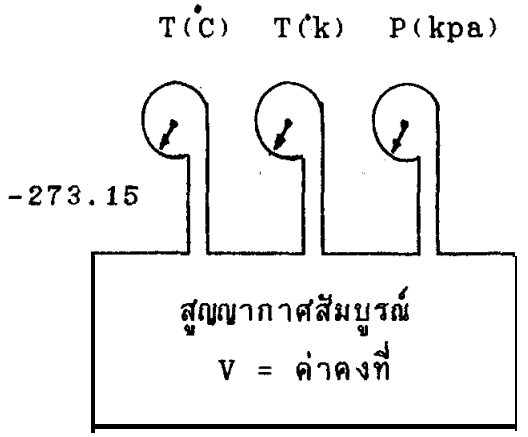
1.9 อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute temperature)

อุณหภูมิสัมบูรณ์เป็นตัวแปรที่สำคัญซึ่งจะปรากฏอย่างเห็นได้ชัดเมื่อใช้ในการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ หรือในการทดสอบความสัมพันธ์ตามสมการสภาวะ PV = NkT และตามสมการ Susceptibility χ ของสารแม่เหล็ก

$$\chi = \frac{N_o \cdot \mu_o^{\,2}}{kT}$$

การใช้สมการ PV = NRT เป็นพื้นฐานในการวัดค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ ดำเนินการโดยการบรรจุก๊าซปริมาณน้อยลงในกระเปาะและทำให้ปริมาตรของก๊าซคงที่โดยไม่ต้องคำนึงถึงความกดดันของมันเลย วิธีนี้นับว่าเป็นการสร้างเทอร์โมมิเตอร์แบบที่มีปริมาตรคงที่ (Constant volume gas thermometer) ซึ่งค่า Thermometric parameter θ ก็คือค่าความกดดันเฉลี่ยของก๊าซนั่นเอง

ในระหว่างปี ค.ศ. 1824-1907 ลอร์ด เคลวิน (Lord Kelvin) ชาวสก๊อตแลนด์เป็นผู้ประดิษฐ์เทอร์โมมิเตอร์ชนิดอุณหภูมิสัมบูรณ์ขึ้นโดยอาศัยหลักที่ว่าสารใดที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิได้นั้นสารนั้นสามารถใช้เป็นเทอร์โมมิเตอร์ได้



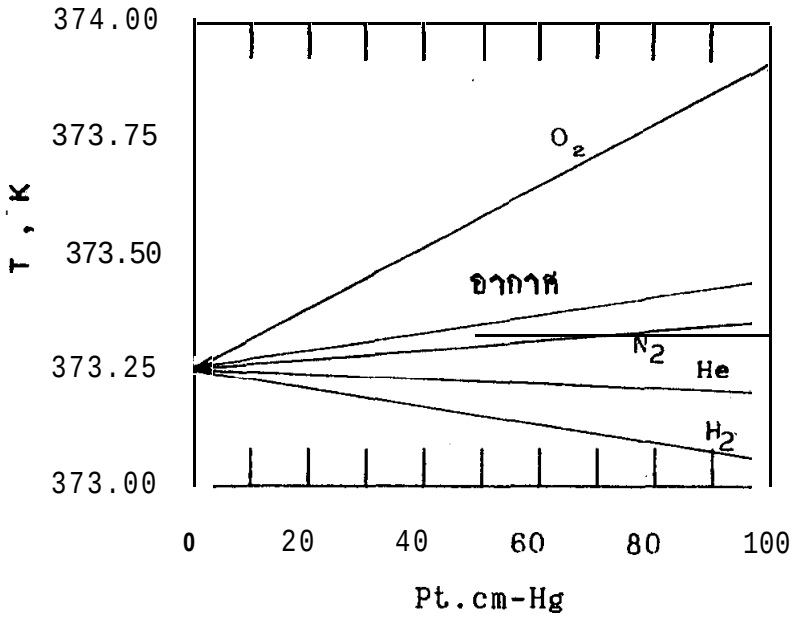
รูปที่ 1.5 แสดงเทอร์โมมิเตอร์ก๊าซปริมาตรคงที่

เทอร์โมมิเตอร์ก๊าซแบบปริมาตรคงที่นี้ใช้ความกดดันที่ปริมาตรคงที่ของก๊าซเป็นคุณสมบัติใช้วัดอุณหภูมิซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังรูปที่ 1.5 ภายในกระเปราะแก้วบรรจุก๊าซบางชนิดซึ่งจุ่มอยู่ในสิ่งแวดล้อมหรือของไหลที่ต้องการทราบอุณหภูมิ ปรับระดับปรอทในหลอดแก้วรูปตัวยูให้อยู่ที่ขีดศูนย์โดยอาศัยเลื่อนหลอดปรับระดับ R ขึ้นลง ทำให้ก๊าซที่อยู่ในกระเปาะมีปริมาตรคงที่อันหนึ่ง จากนั้นให้อ่านความสูงของปรอทอีกด้านหนึ่งแล้วคำนวณหาอุณหภูมิจาก

$$T = 273.16 \quad \lim \frac{P_A}{P_t} \quad \text{องศาเคลวิน} \qquad \ldots\ldots\ldots (1.9)$$

เมื่อ P_t เป็นความกดดันของก๊าซในกระเปาะที่นำไปวัดอุณหภูมิของน้ำที่จุดร่วมสาม (Triple point)

นำเทอร์โมมิเตอร์ก๊าซแบบปริมาตรคงที่ไปทดลองบรรจุก๊าซชนิดต่างๆ เช่น O_2, อากาศ, N_2, He และ H_2 ซึ่งแต่ละก๊าซที่ใช้ทำให้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิได้ค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซและความกดดันของก๊าซในกระเปาะ แนวโน้มของการวัดที่จะได้ค่าอุณหภูมิแตกต่างกันน้อยลงก็คือจะต้องนำก๊าซในเทอร์โมมิเตอร์ออกให้เหลือในปริมาณน้อยเท่าที่จะทำได้ (ค่า P_t จะน้อยลงตามปริมาณก๊าซในเทอร์โมมิเตอร์)



รูปที่ 1.6 แสดงการวัดอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ก๊าซแบบปริมาตรคงที่

พิจารณาจากรูปที่ 1.6 จะเห็นว่าเส้นกราฟแต่ละเส้นจะออกไปตัดแกนที่มี $P_t=0$ นั้น เทอร์โมมิเตอร์ก๊าซแต่ละชนิดจะวัดอุณหภูมิของไอน้ำเดือดได้เป็นค่าเดียวกัน ในสภาวะเช่นนี้ก๊าซทุกชนิดในเทอร์โมมิเตอร์จะมีพฤติกรรมเข้าใกล้ก๊าซอุดมคติ และอุณหภูมิที่เป็นค่าเดียวกันนั้นเรียกว่า อุณหภูมิก๊าซอุดมคติ(Ideal gas temperature) นั้นคือ

$$T = 273.16 \lim_{P_t \to 0} \frac{P_A}{P_t} \text{ องศาแคลวิน} \qquad \ldots\ldots\ldots (1.10)$$

เมื่อ P_A เป็นความกดดันเฉลี่ยของระบบ A

1.10 สเกลอุณหภูมิ (Temperature scale)

สเกลที่ใช้วัดอุณหภูมิในหน่วย SI คือ สเกลเซลเซียส (Celsius scale) โดยมีสัญญลักษณ์คือ C ซึ่งค้นพบโดย อันเดอรส์ เซลเซียส (Anders Celsius) นักดาราศาสตร์ชาวสวีเดน ในปี ค.ศ. 1701-1744

จนกระทั่งในปี ค.ศ.1954 สเกลเซลเซียสยังคงถูกกำหนดให้ใช้อยู่ระหว่างจุดกำหนดอิงสองหลักคือ จุดน้ำแข็ง (Ice point) และจุดไอน้ำ (Steam point) โดยที่อุณหภูมิของจุดน้ำแข็งถูกกำหนดให้เป็นอุณหภูมิของสารสมระหว่างน้ำแข็งกับน้ำ 2ซึ่งอยู่ในสมดุลย์ภายใต้อากาศอิ่มตัวที่ความกดดัน 1 บรรยากาศ (0.101325 MPa) และอุณหภูมิของจุดไอน้ำเป็นอุณหภูมิของน้ำและไอน้ำซึ่งอยู่ในสมดุลย์ที่ความกดดัน 1 บรรยากาศ สำหรับจุดน้ำแข็งและจุดไอน้ำได้จัดให้เป็นจำนวนเท่ากับ 0 และ 100 บนสเกลเซลเซียสตามลำดับ

ในปี ค.ศ. 1954 ได้มีการประชุมของ CGPM ครั้งที่ 10 โดยได้กำหนดสเกลเซลเซียสใหม่โดยระบุสเกลไว้บนจุดอ้างอิงหลักจุดเดียว และได้มีการกำหนดขนาดขององศาไว้ในสเกลอุณหภูมิของก๊าซอุดมคติด้วย สำหรับจุดอ้างอิงหลักจุดเดียวนี้คือ จุดร่วมสาม(Triple point) ของน้ำ(จุดร่วมสามเป็นสภาวะซึ่งเฟสของแข็งของเหลวและไอของน้ำอยู่ร่วมกันอย่างสมดุลย์) สำหรับขนาดขององศานั้นถูกกำหนดไว้ในเทอมของอุณหภูมิของก๊าซอุดมคติ จุดร่วมสามของน้ำอยู่ที่อุณหภูมิ 0.01°C และจากการทดลองพบว่าจุดไอน้ำอยู่ที่ 100.00°C

อีกสเกลหนึ่งก็คือสเกลอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute temperature scale) สเกลนี้ถูกสร้างขึ้นมาโดยอาศัยพื้นฐานของกฎข้อที่ 2 ทางอุณหพลศาสตร์ และสเกลอุณหภูมิสัมบูรณ์นี้เป็นสเกลอุณหภูมิที่ไม่ขึ้นอยู่กับสารที่ใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์ และถูกกำหนดให้เป็นสเกลทางอุณหพลศาสตร์ สเกลอุณหภูมิสัมบูรณ์ที่ใช้กันอยู่ก็คือ สเกลเคลวิน(Kelvin scale) ใช้สัญญลักษณ์เป็น K สเกลอุณหภูมิสัมบูรณ์กับสเกล-เซลเซียสมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$T(^{\circ}K) = T(^{\circ}C)+273.15 \qquad .....(1.11)$$

ในปี ค.ศ.1967 CGPM ได้กำหนดให้ว่า เคลวิน (K) มีค่าเท่ากับ 1/273.16 ของอุณหภูมิที่จุดร่วมสามของน้ำและสเกลเซลเซียสกำหนดตามสมการข้างต้นแทนข้อกำหนดเดิม

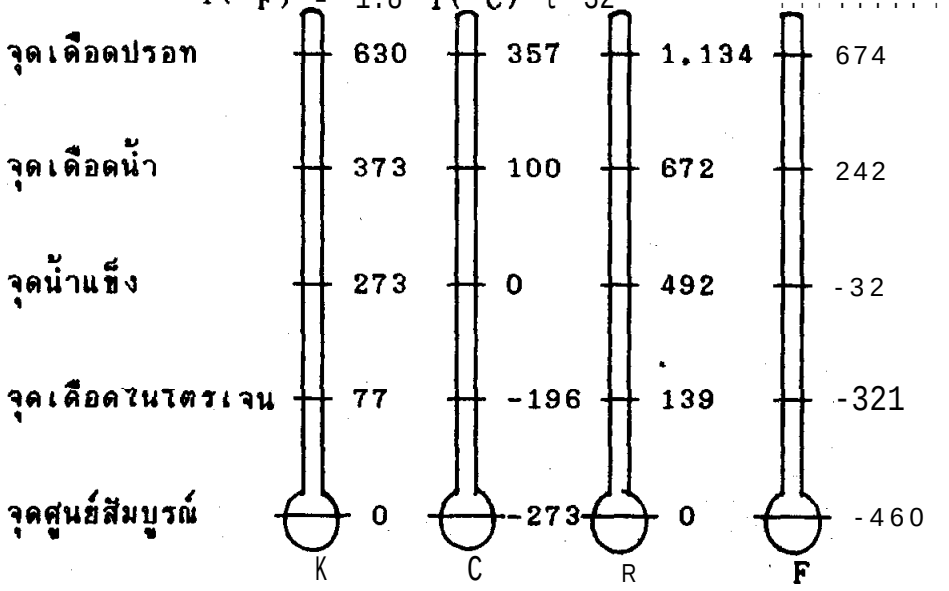
ในหน่วยอังกฤษ สเกลอุณหภูมิสัมบูรณ์คือ สเกลแรงคิน (Rankin scale) ซึ่งตั้งสเกลตามชื่อของ W.J.M.Rankin ในปี ค.ศ.1820-1872 โดยมีความสัมพันธ์กับสเกลฟาเรนไฮต์ดังนี้คือ

$$T(^{\circ}R) = T(^{\circ}R) + 459.67 \qquad .....(1.12)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลในหน่วย SI และหน่วยอังกฤษทั้งสอง คือ

$$T(^{\circ}R) = 1.8\ T(^{\circ}K) \qquad .....(1.13)$$

$$T(^{\circ}F) = 1.8\ T(^{\circ}C)\ t\ 32 \qquad .....(1.14)$$



รูปที่ 1.7 แสดงการเปรียบเทียบสเกลอุณหภูมิแบบต่าง ๆ

พิจารณาจากรูปที่ 1.7 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบสเกลอุณหภูมิทั้ง 4 สเกล (K, °C, °R, และ °F) ในพิสัย(Range) ต่าง ๆ ค่าตัวเลขที่แสดงบนแต่ละสเกลนั้นเป็นจุดหลักมาตรฐานทั้งสิ้น NBP (Normal Boiting point) คือจุดเดือดปกติและใช้เป็นจุดหลอมละลายที่ความดัน 1 atm. และ NMP (Normal melting point) คือจุดหลอมละลายปกติหรือจุดแข็งตัวปกตินั่นเอง

1.11 <u>สเกลอุณหภูมิทางปฏิบัติสากล</u> (Interational Practical Temperature Scale)

ในปี ค.ศ. 1968 หน่วยงานชื่อ International Committee on Weights and Measures (IPTS-68) ได้กำหนดสเกลปฏิบัติสากลเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมและงานทางวิทยาศาสตร์ทั้งนี้ IPTS-68 ได้กำหนดจุดหลักตามช่วงหรือพิสัยของอุณหภูมิซึ่งมีแนวทางปฏิบัติใกล้เคียงกับสเกลอุณหภูมิทางอุณหพลศาสตร์มาก เช่น NMP ของทองที่ 1064.45°C (1337.65°K) และจุดร่วมสามของน้ำหรือ Triple point ของน้ำที่ 0.61°C (273.16°K) หรือ NBPของอ๊อกซิเจนที่ -183 C เป็นต้น

จุดอยู่กับที่ (Fixed point) สำหรับ IPTS-68 แบ่งออกเป็นจุดหลักปฐมภูมิ (Primary Fixed point) และจุดหลักทุติยภูมิ (Secondary fixed point) สำหรับอุณหภูมิจุดหลักปฐมภูมิ คือ

1. จุดร่วมสามของไฮโดรเจนสมดุลย์	-259.34°C
2. จุดเดือดของไฮโดรเจนสมดุลย์ที่ 25/76 atm(33.33(Kpa)	-256.108°C
3. จุดเดือดปกติ (NBP) ของไฮโดรเจนสมดุลย์ (ที่ 1 atm)	-252.87°C
4. จุดเดือดปกติ (NBP) ของนีออน	-246.048°C
5. จุดร่วมสามของอ๊อกซิเจน	-218.789°C
6. จุดเดือดปกติ (NBP) ของอ๊อกซิเจน	-182.962°C
7. จุดร่วมสามของน้ำ	0.01°C
8. จุดเดือดปกติ (NBP) ของน้ำ	100°C
9. จุดแข็งตัวปกติของสังกะสี	419.58°C
10. จุดแข็งตัวปกติของเงิน	961.93°C
11. จุดแข็งตัวปกติของทอง	1064.43°C

เครื่องมือวัดมาตรฐานจะเทียบมาตรฐานที่อุณหภูมิจุดหลักปฐมภูมิเหล่านี้ เครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ตั้งแต่-259.34 ถึง 630.74°C จะใช้เป็นเทอร์โมมิเตอร์ชนิดความต้านทานของพลาตินั่ม ตั้งแต่ 630.74 ถึง 1064.43°C ใช้เป็นเทอร์โมคัป-เปิลแบบพลาตินั่มกับโรเดียมและสูงกว่า 1064.43°C อุณหภูมิถูกกำหนดด้วยกฎการแผ่รังสีของแพลงค์(Planck's radiation law) การกำหนดจุดหลักของ IPTS-68 นี้เป็นมาตรฐานที่ใช้ในเกือบทุกประเทศในโลก

1.12 แหล่งความร้อน

แหล่งความร้อนเป็นระบบที่มีมวลใหญ่มากจนกระทั่งการถ่ายความร้อนเข้าหรือออกจากแหล่งความร้อนมีผลทำให้อุณหภูมิของมันเปลี่ยนไปน้อยมากจึงถือได้ว่าแหล่งความร้อนมีอุณหภูมิคงที่ในขณะที่มีการถ่ายความร้อน แหล่งความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1.12.1 แหล่งจ่ายความร้อน

1.12.2 แหล่งรับความร้อน

บทสรุปและคำจำกัดความที่ควรรู้

1. ระบบปิดหรือมวลควบคุม หมายถึง ปริมาณที่แน่นอนของสสารหนึ่งๆ ที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมทางอุณหพลศาสตร์ ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1.1 มวลควบคุมจะแยกออกจากสิ่งแวดล้อมโดยขอบเขตของระบบ

1.2 มวลควบคุมมีเพียงความร้อนและงานที่สามารถถ่ายเทข้ามขอบเขตของระบบ

1.3 มวลสารภายในระบบไม่เปลี่ยนแปลง และไม่มีมวลสารไหลข้ามขอบเขตของระบบ

1.4 ขอบเขตของระบบสามารถเคลื่อนที่ได้ (หดหรือขยายตัว)

2. ระบบเปิดหรือปริมาตรควบคุม หมายถึง ปริมาณของสารหนึ่ง ๆ ที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมทางอุณหภูมิศาสตร์โดยขณะนั้นมีมวลสารไหลข้ามผิวควบคุมซึ่งมีลักษณะอื่น ๆ ดังนี้

2.1 ปริมาตรควบคุมจะแยกออกจากสิ่งแวดล้อมโดยผิวควบคุม

2.2 ปริมาตรควบคุมมีความร้อน งาน และ มวลสารที่สามารถถ่ายเทข้ามผิวควบคุม

2.3 มวลสารภายในปริมาตรควบคุมเปลี่ยนแปลง

3. ระบบโดดเดี่ยว หมายถึง ระบบที่แยกออกจากสิ่งแวดล้อมโดยสิ้นเชิง ไม่มีปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อม กล่าวคือไม่มีมวลสาร ความร้อน และงานถ่ายเทข้ามขอบเขตของระบบ

4. ~~ระบบมหภาค~~ (macroscopic system) หมายถึง ระบบที่มีขนาดใหญ่มากมีขนาดตั้งแต่ 10^{-8} ซม. ขึ้นไป

5. ~~Intensive properties~~ หมายถึง คุณสมบัติที่ไม่ขึ้นกับปริมาณ เช่น อุณหภูมิและความหนาแน่น

6. ~~Extensive properties~~ หมายถึง คุณสมบัติที่ขึ้นกับปริมาณ เช่น มวล,ปริมาตร เป็นต้น

7. ~~Quasi-equilibrium process~~ หมายถึง กระบวนการในอุดมคติซึ่งแตกต่างจากสมดุลย์ทางอุณหพลศาสตร์น้อยมาก สภาวะทั้งหมดที่ระบบผ่านบนกระบวนการสมดุลย์ควอไซนั้นพิจารณาให้เป็นสภาวะสมดุลย์

8. Isothermal process หมายถึง กระบวนการทำงานของระบบเพื่อให้อุณหภูมิคงที่

9. Irreversible process หมายถึงกระบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้

10. International Organization of Standard หมายถึงองค์การมาตรฐานระหว่างชาติ ใช้ตัวย่อว่า ISO

11. International Practical Temperdtuer Scale หมายถึงสเกลอุณหภูมิทางปฏิบัติสากล เป็นหน่วยงานที่ตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1968 ใช้ตัวย่อว่า IPTS-68

12. The Zeroth Law of Thermodynamics กล่าวว่า "เมื่อวัตถุทั้งสองมีสมดุลย์ทางความร้อนกับวัตถุอันที่สาม วัตถุทั้งสองนั้นจะมีสมดุลย์ทางความร้อนซึ่งกันและกัน"

13. SI units หมายถึง ระบบหน่วยระหว่างชาติ ย่อมาจาก International systemof units ซึ่งประกอบไปด้วย

13.1 หน่วยเสริมมูลฐาน (Basic units) เช่น เมตร,กิโลกรัม, แอมแปร์ ฯลฯ

13.2 หน่วยเสริม (Supplementary units) เช่น เรเดียน, สเตอเรเดียล

13.3 หน่วยอนุพัทธ์ (Derived units) เช่นตารางเมตร,เมตรต่อวินาที ฯลฯ

14. ความกดดัน (Pressure) หมายถึง แรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย แบ่งออกได้ดังนี้

14.1 ความกดดันเกจ(Gage pressure)

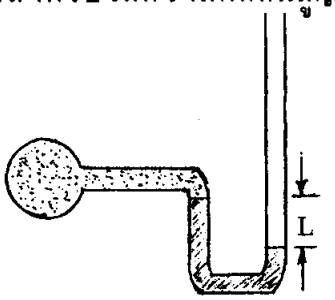
14.2 ความกดดันบรรยากาศ(Atmospheric pressure)

14.3 ความกดดันสัมบูรณ์(Absolute pressure)

แบบฝึกหัดบทที่ 1

1. ถ้าปริมาตร 3 ลบ.ฟุต หนัก 350 ปอนด์ จงคำนวณหา
   ก. ความหนาแน่นของสารนี้
   ข. น้ำหนักจำเพาะของสาร
2. ในการทดลองอันหนึ่งปรากฏว่าเลขที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ในองศาฟาเรนไฮต์และองศาเซลเซียสที่ใช้วัดอุณหภูมิของของไหลเดียวกันมีค่าเท่ากัน จงหาอุณหภูมิของของไหลในหน่วยเคลวิน
3. เกจวัดสูญญากาศที่ติดอยู่กับหม้อดับไอของเครื่องกังหันไอน้ำ อ่านค่าได้ 0.66 m.Hg. จงคำนวณหาความกดดันสัมบูรณ์ของหม้อดับไอนี้ในหน่วย bar ถ้าความกดดันบรรยากาศขณะนั้นเท่ากับ 1.013 bar
4. มานอมิเตอร์บรรจุน้ำ (Water manometer) อ่านค่าความแตกต่างความกดดันได้ 400 มม. ซึ่งต่ำกว่าบรรยากาศ ถ้าความดันบรรยากาศเป็น 736 มม. ของปรอท จงหาความกดดันสัมบูรณ์ในหน่วยของ KN/m^2
5. ความกดดันเกจ (P_g) อ่านได้ 2.10 MPa และอ่านความกดดันบรรยากาศจากบารอมิเตอร์ได้ 98 kpa จงคำนวณหาความกดดันสัมบูรณ์

36. ลูกสูบมีพื้นที่หน้าตัด 500 มม.^{2} ภายในกระบอกสูบบรรจุด้วยก๊าซซึ่งมีความกดดัน 50 kpa กำหนดให้ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงมาตรฐาน g_o = 9.80665 เมตร/(วินาที)^2 จงหามวลของลูกสูบ
7. มานอมิเตอร์ปรอทใช้สำหรับวัดความกดดันสูญญากาศ ดังรูป



ปรากฏว่าค่านระดับความสูงแตกต่าง L = 700 mm. และอ่านความกดดันบรรยากาศจากบารอมิเตอร์ได้ 97 kpa จงหาความกดดันสมบูรณ์ของของไหลภายในภาชนะ

เฉลยคำตอบแบบฝึกหัดบทที่ 1

1. ก. 3.36 Slug/ft^3

   ข. 117 lb/ft^3

2. 233 ^oK

3. 0.133 bar

4. 97.86 KN/m^2

5. 2.198 Mpa

6. 2.55 kgs

7. 3.64 kpa