สภาวะของผสมอิ่มตัวระหว่างของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัว

ในระหว่างที่สารตัวกลางระเหยกลายเป็นไอ สารตัวกลางจะมี 2 สถานะ ผสมกันอยู่ภายในระบบ เป็นของผสมระหว่างของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัว การวิเคราะห์สารตัวกลางที่มี 2 สถานะ จะพิจารณาว่าคุณสมบัติของสารตัวกลาง เป็นของผสมระหว่างของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัว โดยมีการกำหนดสัดส่วนระหว่างของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัว สามารถคำนวณหาสัดส่วนนั้นได้ โดยกำหนดคุณสมบัติขึ้นมาใหม่ และเรียกว่า **คุณภาพไอ** (quality หรือ dryness fraction) มีสัญลักษณ์เป็น 2 โดยค่าคุณภาพไอมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของมวลของสารตัวกลาง ที่มีสภาวะเป็นไออิ่มตัวต่อมวลทั้งหมดของสารตัวกลาง ที่มีสภาวะเป็นของผสมอิ่มตัว นั่นคือ

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}}$$

โดยที่ $m_{\text{total}} = m_{\text{liquid}} + m_{\text{vapor}} = m_f + m_{\text{g}}$

ค่าคุณภาพไอจะมีความสำคัญมากเมื่อสารตัวกลางที่มีสภาวะเป็นของผสมอิ่มตัว และจะไม่มีความหมายใดเมื่อสารตัวกลางมีสภาวะเป็นของเหลวไม่อิ่มตัวหรือเป็นไอดง ค่าคุณภาพไอจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยถ้าสารตัวกลางเป็นของเหลวอิ่มตัวจะมีค่าคุณภาพไอเป็นศูนย์ หรือ 0% และจะมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100% เมื่อ สารตัวกลางเป็นไออิ่มตัว

การวิเคราะห์ปัญหาทางเทอร์โมไดนามิกส์ เมื่อสารตัวกลางมีสภาวะเป็นของผสมอิ่มตัว จะพิจารณาว่าของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัว มีการผสมรวมกันอยู่ ดังนั้นคุณสมบัติของของผสมในระบบจะเป็นคุณสมบัติเฉลี่ยของของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัว

กำหนดให้ภาชนะหนึ่งเป็นระบบภายในบรรจุของผสมระหว่างของเหลวอิ่มตัว กับไออิ่มตัว โดยที่ของเหลวอิ่มตัวครอบครองปริมาตรภายในระบบเท่ากับ V_f และไออิ่มตัวมีปริมาตรเป็น V_g ดังนั้น ปริมาตรทั้งหมดของของผสมอิ่มตัวภายในระบบคือ

$$V = \text{V}_f + \text{V}_{\text{g}}$$

เพราะว่า V = mv ดังนั้น $m_t v_{av} = m_f v_f + m_{\text{g}} v_{\text{g}}$

แต่ $m_f = m_t - m_g$ จะได้ $m_t v_{av} = (m_t - m_{\text{g}}) v_{\text{f}} + m_{\text{g}} v_{\text{g}}$

หารตลอดด้วย m_t ได้ $v_{av} = (1 - \text{x}) v_{\text{f}} + x v_{\text{g}}$

เพราะว่า $x = \dfrac{m_g}{m_t}$ ดังนั้น $v_{av} = v_{\text{f}} + x v_{\text{fg}}$

และ $v_{fg} = v_g - v_f$ จะได้ $$x = \frac{v_{av} - v_f}{v_{fg}}$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น พลังงานภายใน และเอนธาลปีของของผสมอิ่มตัว สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$u_{av} = u_f + xu_{fg}$$
$$h_{av} = h_f + xh_{fg}$$

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติต่างๆ กับคุณภาพไอ สรุปได้ดังนี้

$$y_{av} = y_f + xy_{fg}$$

โดยที่ y แทนคุณสมบัติใดๆ เช่น ปริมาตรจำเพาะ (v) พลังงานภายใน (u) หรือ เอนธาลปี (h) และตัวห้อย av ปกติแล้วจะละไว้ไม่เขียนห้อย ค่าคุณสมบัติเฉลี่ยของของผสมจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าคุณสมบัติของของเหลวอิ่มตัวกับไออิ่มตัว

ตัวอย่าง จงคำนวณหาคุณภาพไอของของผสมระหว่างของเหลวและไอ เมื่อระบบมีปริมาตรเท่ากับ 0.01 m^3 และมีมวลเป็น 2.0 kg กำหนดให้ v_f = 0.00101 m^3 /kg และ v_g = 0.00526 m^3 /kg

ตัวอย่าง An 80-L vessel contains 4 kg of refrigerant 134a at a pressure of 160 kPa. Determine (a) the temperature of the refrigerant, (b) the quality, (c) the enthalpy of the refrigerant, and (d) the volume occupied by the vapor phase.

สภาวะไอดง

เนื่องจากเป็นบริเวณไอดงสารตัวกลางจะมีสถานะเป็นไอเพียงอย่างเดียว ดังนั้น อุณหภูมิและความดันจะเป็นคุณสมบัติอิสระของสารตัวกลางที่เป็นไอดง จากตัวอย่างของตารางคุณสมบัติของสารเมื่อเป็นไอดงดังรูป

T,°C	v, m³/kg	u, kJ/kg	h, kJ/kg
	P = 0.1 MPa (99.63°C)		
Sat.	1.6940	2506.1	2675.5
100	1.6958	2506.7	2676.2
150	1.9364	2582.8	2776.4
⋮	⋮	⋮	⋮
1300	7.260	4683.5	5409.5
	P = 0.5 MPa (151.86°C)		
Sat.	0.3749	2561.2	2748.7
200	0.4249	2642.9	2855.4
250	0.4744	2723.5	2960.7

ตารางคุณสมบัติบางส่วนของสารที่มีสภาวะเป็นไอดง

การพิจารณาว่าสารตัวกลางที่อุณหภูมิและความดันที่กำหนดให้มีสภาวะเป็นไอดงนั้น มีหลักการที่ใช้ในการพิจารณาดังนี้

1. กำหนดอุณหภูมิและความดัน ถ้าความดันที่กำหนดให้มีค่าน้อยกว่าความดันอิ่มตัวที่อ่านจากอุณหภูมิที่กำหนดให้ แสดงว่าสารตัวกลางมีสภาวะเป็นไอดง นั่นคือ

P< P อิ่มตัวที่ T ที่กำหนดให้ แสดงว่าสารตัวกลางจะมีสภาวะเป็นไอดง หรือพิจารณาจากอุณหภูมิที่กำหนดให้มีค่ามากกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวที่อ่านได้จากความดันที่กำหนดให้ แสดงว่าสารตัวกลางจะมีสภาวะเป็นไอดง นั่นคือ

T > T อิ่มตัวที่ P ที่กำหนดให้ แสดงว่าเป็นไอดง

2. กำหนดอุณหภูมิหรือความดันและปริมาตรจำเพาะ ถ้าปริมาตรจำเพาะที่กำหนดให้มีค่ามากกว่าปริมาตรจำเพาะของสารเมื่อเป็นไออิ่มตัว (v_g) ที่อ่านได้จากอุณหภูมิหรือความดันที่กำหนดให้ แสดงว่าสารตัวกลางมีสภาวะเป็นไอดงนั่น คือ

$v > v_g$ ที่อุณหภูมิหรือความดันที่กำหนดให้ แสดงว่าเป็นไอดง

3. กำหนดอุณหภูมิหรือความดัน และพลังงานภายใน ถ้าพลังงานภายในจำเพาะที่กำหนดให้มีค่ามากกว่าพลังงานภายในจำเพาะเมื่อเป็นไออิ่มตัว (u_g) โดยอ่านจากอุณหภูมิหรือความดันที่กำหนดให้ แสดงว่าสารตัวกลางมีสภาวะเป็นไอดง นั่นคือ

$u > u_g$ ที่อุณหภูมิหรือความดันที่กำหนดให้ แสดงว่าเป็นไอดง

4. กำหนดอุณหภูมิหรือความดัน และเอนธาลปี ถ้าเอนธาลปีจำเพาะที่กำหนดให้มีค่ามากกว่าเอนธาลปีจำเพาะของสารเมื่อเป็นไออิ่มตัว (h_g) ที่อ่านได้จากอุณหภูมิหรือความดันที่กำหนดให้ แสดงว่าสารตัวกลางมีสภาวะเป็นไอดง นั่นคือ

$h > h_g$ ที่อุณหภูมิหรือความดันที่กำหนดให้ แสดงว่าเป็นไอดง

ตัวอย่าง Determine the temperature of water at a state of P = 0.5 MPa and h = 2890 kJ/kg