โครงสร้างของฉนวนความร้อนกับความเหมาะสมในการใช้งาน

ภวัฒน์ วิทูรปกรณ์ *
ชำนาญ วิทูรปรกรณ์**

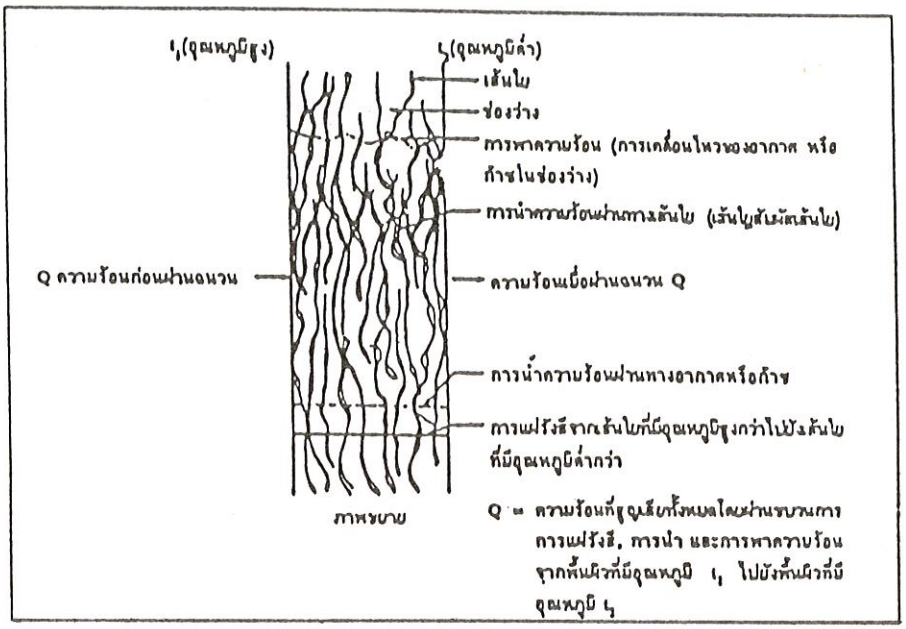
ในปัจจุบันการประหยัดพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ มีความจำเป็นมากยิ่งขึ้นทุกขณะที่เชื้อเพลิงมีราคาสูงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่สามารถลดการสูญเสียได้มากเพียงแต่หุ้มด้วยฉนวนความร้อน (Thermal insulation) ชนิดที่เหมาะสม และความหนาที่ถูกต้อง อาทิเช่น การหุ้มท่อน้ำร้อนโดยระบบเครื่องทำความร้อนแบบต่าง ๆ ท่อนำความเย็นในระบบปรับอากาศทั้งในอาคาร บ้านที่อยู่อาศัย และในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ วัสดุที่ใช้เป็นฉนวนความร้อน ได้แก่ ไม้คอร์ค (cork) โพลีสไตรีนโฟม (polystyrene foam, ps.foam) ใยแก้ว (glass fiber) ใยหิน (rock wool) แคลเซี่ยมซิลิเกต (calcium silicate) ยูรีเทนโฟม (urethane foam, pu.foam) และฉนวนชนิดเซลปิด (flexible closed cell rubber insulation)

ฉนวนความร้อนเป็นวัสดุที่ป้องกันไม่ให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้โดยสะดวก ฉนวนความร้อนส่วนมากจะอาศัยหลักการที่ว่าอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว ดังนั้นฉนวนส่วนใหญ่จะมีอากาศแทรกอยู่มากมายภายในเนื้อวัสดุ อากาศเหล่านี้เกิดขึ้นได้โดยการอัดเส้นใยหรือเม็ดวัสดุเล็ก ๆ เข้าด้วยกัน หรือเป็นช่องว่างเล็ก ๆ (cell) ซึ่งเกิดจากเนื้อเยื่อของวัสดุเอง ช่องว่างเหล่านี้จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะต้านทานต่อการไหลของอากาศภายในทำให้การสูญเสียความร้อนโดยวิธีการพา (convection) ลดลง การสูญเสียโดยการนำความร้อนของเนื้อวัสดุฉนวนน้อยลงเมื่อเนื้อฉนวนมีขนาดเล็ก หรือผนังของช่องว่างเบา ๆ ทำให้มีระยะทางยาวและวกวนไปมาในเนื้อฉนวนมากขึ้น นอกจากนี้เนื้อวัสดุของฉนวนเองต้องมีการนำความร้อนต่ำและมีสีทึบ หรือสะท้อนแสง เพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อนโดยวิธีการแผ่รังสี รูปที่ 1 แสดงลักษณะการสูญเสียพลังงานความร้อนโดยวิธีการต่าง ๆ กันดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน (thermal conductivity, K.value) นั้นได้มาจากการสูญเสียความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งหมดรวมกัน

อย่างใดก็ตามก่อนจะเลือกใช้ฉนวนชนิดใดชนิดหนึ่งนั้น ความเข้าใจถึงปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเมื่อหุ้มอุปกรณ์ หรือท่อนำความร้อน ความเย็นด้วยฉนวนความร้อนนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง การศึกษาลักษณะปรากฏการณ์ต่าง ๆ นั้น แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

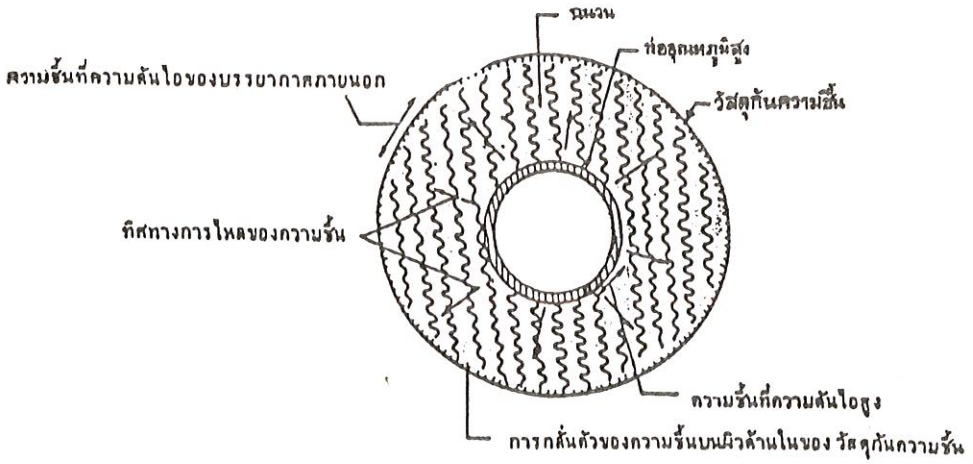
1. **เมื่อหุ้มอุปกรณ์ หรือท่อนำความร้อน** ฉนวนความร้อนหลายประเภท เช่น ใยแก้ว ใยหิน จะมีความชื้นปริมาณหนึ่งที่อยู่ภายในเนื้อฉนวน เมื่อนำไปหุ้มอุปกรณ์หรือท่อนำความร้อนสูง อากาศส่วนที่ติดกับผิวของอุปกรณ์หรือทอนำความร้อนจะขยายตัว ความดันของไอน้ำจะเพิ่มสูงขึ้น ทำให้อากาศพยายามซึมผ่านออกจากเนื้อฉนวนไปยังสิ่งแวดล้อม ถ้าฉนวนให้ความชื้นออกไปได้ทำให้เนื้อฉนวนแห้งยังผลให้มีความเป็นฉนวนเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของน้ำมีค่าสูงมาก (K=4.0 Btu.-in / ft².hr.°F) ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 75°F

* กรรมการผู้จัดการ บริษัท ตะวันออกโปลีเมอร์ อุตสาหกรรม จำกัด
** ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายวิจัย และค้นคว้า บริษัท ตะวันออกโปลีเมอร์ อุตสาหกรรม จำกัด



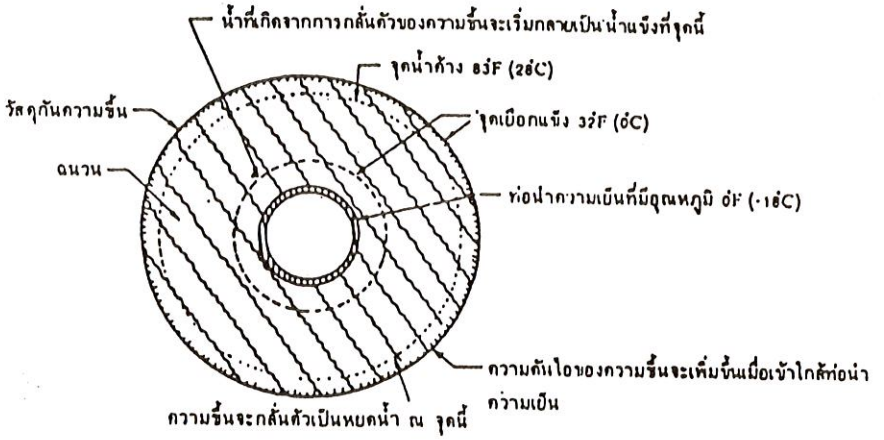
รูปที่ 1 แสดงลักษณะการสูญเสียความร้อนโดยวิธีต่าง ๆ ของฉนวนชนิดเส้นใย

ขณะที่ฉนวนส่วนใหญ่จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ระหว่าง (0.2-0.5 Btu.-in / ft^2.hr.$^\circ$F) ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 75°F แต่ถ้าใช้วัสดุกันความชื้นหุ้มฉนวนไว้ (ดังรูปที่ 2) เมื่ออากาศซึมผ่านเนื้อฉนวนไปถึงวัสดุกันความชื้น ความดันของไอน้ำจะชื้นมากที่ผิววัสดุกันความชื้นทำให้ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำที่ผิวของวัสดุกันความชื้นด้านที่ติดกับฉนวน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้วัสดุกับความชื้นประเภทโลหะผุกร่อนเร็วกว่าปกติมาก วัสดุกันความชื้นที่ดีต้องเป็นวัสดุทนต่อการผุกร่อนได้ดี



รูปที่ 2 ลักษณะปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนท่อนำความร้อนเมื่อหุ้มฉนวนแล้ว (ฉนวนชนิดเส้นใย)

2. **เมื่อหุ้มอุปกรณ์ หรือท่อนำความเย็น** เนื่องจากความดันของไอน้ำส่วนที่อยู่ใกล้ผิวของอุปกรณ์หรือท่อนำความเย็นลดต่ำลง อากาศภายนอกฉนวนพยายามแทรกซึมไปในเนื้อฉนวนจนกระทั่งถึงจุดสมดุลย์ของความดันไอระหว่างอากาศภายนอกและอากาศภายในเนื้อฉนวน อากาศที่แทรกซึมผ่านเนื้อฉนวนเข้าไปจนถึงความหนาระดับหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดกลั่นตัว ไอน้ำในอากาศจะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ น้ำเหล่านี้จะเข้าไปแทนที่อากาศภายใน ยิ่งกว่านั้นในกรณีที่อุปกรณ์หรือท่อนำความเย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง น้ำจะกลายเป็นน้ำแข็ง (รูปที่ 3) ค่าการนำความร้อนของน้ำแข็งมีค่าสูงถึง (15.5 Btu.-in / ft².hr.°F) ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 32°F วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์หรือท่อนำความเย็นถ้าใช้ฉนวนที่อากาศภายในเนื้อฉนวนติดต่อกันถึงตลอดความหนาของฉนวน เช่น ฉนวนประเภทเส้นใยต่างๆ หรือฉนวนชนิดเซลอัด จะทำให้ท่อนำความเย็นผุกร่อนเร็วกว่าปกติ ซึ่งพบเสมอเมื่อซ่อมแซมท่อน้ำเย็นที่หุ้มด้วยฉนวนชนิดใยแก้ว หรือโฟม เป็นต้น



ท่อนำความเย็น	สภาวะสิ่งแวดล้อม
อุณหภูมิ 0°F (-18°C) ความชื้นสัมพัทธ์ 100%	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม = 90°F (32°C) ความชื้นสัมพัทธ์ = 80%
ความดันไอของความชื้น = 0.037 นิ้วปอนด์ หรือ 2.67 ปอนด์/ฟุต²	ความดันไอของความชื้น = 1.10 นิ้ว/ปอนด์ หรือ 77.8 ปอนด์/ฟุต²

รูปที่ 3 ลักษณะปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนท่อทำความเย็นเมื่อหุ้มฉนวนแล้ว (ฉนวนชนิดเส้นใย)

การเลือกชนิดของฉนวนให้เหมาะสมกับการใช้งาน

การเลือกชนิดของฉนวน ให้เหมาะกับการใช้งานและขั้นตอนการติดตั้งมีความสำคัญมาก ฉนวนชนิดที่อากาศแทรกซึมได้ทั่วฉนวนเมื่อนำไปหุ้มท่อนำความเย็นแล้ว ควรทาสารกันความชื้นป้องกันการผุกร่อนของท่อนำความเย็นมากเป็นพิเศษจำเป็นต้องใช้วัสดุกันความชื้นของฉนวน เป็นชนิดที่ทนต่อความชื้นได้ดี และต้องรัดแน่นกับเนื้อฉนวนตลอดจนการติดตั้งต้องระวังไม่ให้เกิดช่องว่าง (air gap) ขึ้น เนื่องจากเมื่อเกิดการควบแน่นของความชื้นจะทำให้เกิดหยดน้ำ และจะเกิดบนผิวฉนวนท่อนำความเย็นเป็นบริเวณแรกเมื่ออากาศมีความชื้นสูงขึ้น ถ้าใช้ฉนวนเซลปิด ก็ควรคำนึงถึงลักษณะผิวฉนวน ต้องมีผิวที่หนาทั้งด้านในและด้านนอก วัสดุที่ใช้ทำฉนวนต้องมีความยืดหยุ่นพอควรเพื่อป้องกันการแตกหรือฉีกขาดของผนังเซล เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงขณะใช้งานรวมทั้งชนิดของก๊าซที่อยู่ภายในช่องว่างเล็กๆ ของฉนวน ถ้าเป็นก๊าซที่มีจุดเดือด หรือความดันไอต่ำอยู่ในช่วงอุณหภูมิของน้ำเย็นกับสิ่งแวดล้อม เช่นก๊าซฟรีออน ก๊าซที่มีจุดเดือดอยู่ในอุณหภูมิช่วงนี้จะเกิดการกลั่นตัว

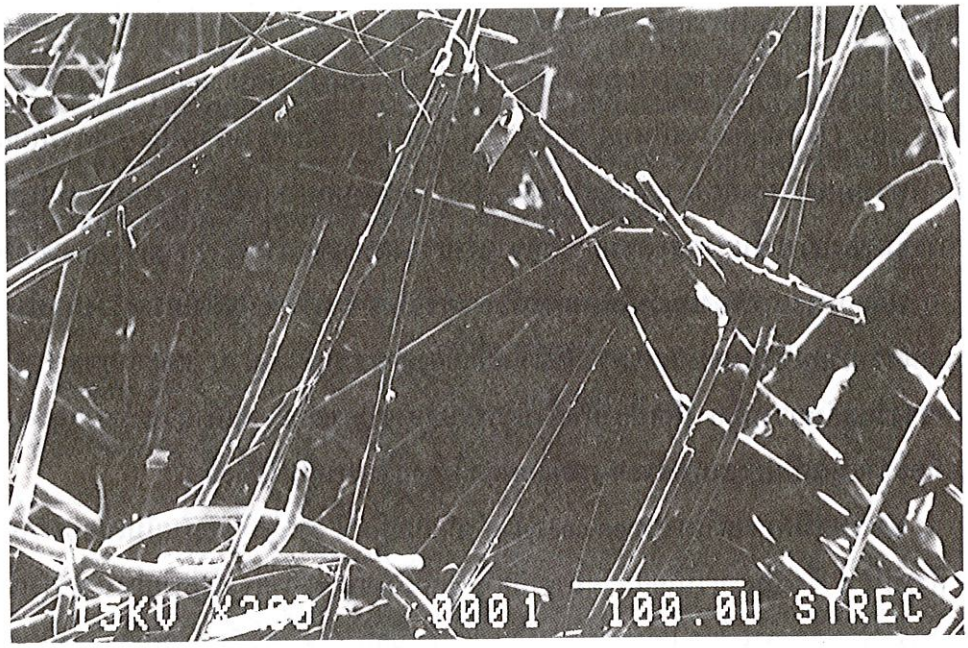
ขึ้นทำให้ ความดันไอของก๊าซในช่องว่างลดลง อากาศและความชื้นจากภายนอกจะแทรกซึมเข้าได้มากกว่าปกติ และที่ความหนาของฉนวนระดับหนึ่งจะมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของก๊าซทำให้เกิดการพาความร้อนเข้าสู่ท่อน้ำเย็นเร็วขึ้น ฉนวนที่ใช้ก๊าซเหล่านี้มักจะนิยมใช้กับท่อนำความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงนัก (50 °C -150 °C) เป็นส่วนใหญ่ เพราะไม่มีผลต่อความดันไอของก๊าซในอุณหูมิดังกล่าว ฉนวนเซลปิดที่ใช้กับท่อนำความเย็นในปัจจุบันใช้ฉนวนที่มีก๊าซอากาศแห้งอาทิ เช่น ก๊าซไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ แม้ว่ามีก๊าซหลายประเภทที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าอากาศแห้งก็ตาม แต่มีความดันไอต่ำหรือมีจุดเดือดอยู่ในช่วงใช้งาน (-40 °C ถึง 30 °C) ทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น นอกจากนี้ผนังของช่องว่างต้องมีความหนาที่เหมาะสม (โดยปกติความหนาอยู่ในช่วง 2-6 ไมครอน) ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของฉนวนนั้น (ความหนาแน่นที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4-6 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต) ความหนาแน่นที่ต่ำเกินไปผนังจะบางมาก การซึมของความชื้นสูงตลอดจนการฉีกขาดง่ายของผนังเซลทำให้ค่าความเป็นฉนวนลดต่ำลง

การเลือกประเภทของฉนวนให้เหมาะกับการใช้งานนั้น ควรเข้าใจถึงโครงสร้างภายใน (micro-structure) ของฉนวนความร้อนซึ่งมีผลมากต่อความสม่ำเสมอของค่าความเป็นฉนวน และอายุของการใช้งาน รวมทั้งการเลือกชนิดของวัสดุกันความชื้น เพื่อป้องกันการผุกร่อนของอุปกรณ์หรือท่อนำความร้อนและความเย็น ฉนวนความร้อนพอที่จะจำแนกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามลักษณะโครงสร้างภายในได้ดังนี้

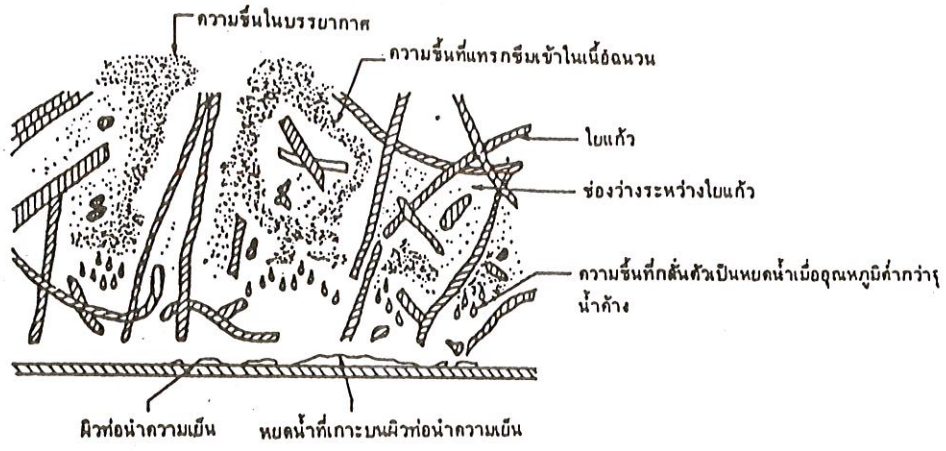
1. **ฉนวนชนิดเซลเปิด** (Open-cell type) ฉนวนชนิดนี้ อากาศที่อยู่ภายในเนื้อฉนวนจะเชื่อมโยงต่อกันได้ตลอด ดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นฉนวนใยแก้วขนาดเล็ก ๆ อัดกันแน่น อากาศจะอยู่ภายในระหว่างเส้นใยแก้ว รูปที่ 5 แสดงการแทรกซึมของความชื้น และกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่อถึงระดับความหนาที่มีอุณหภูมิเท่ากับจุดกลั่นตัว รูปที่ 6 และรูปที่ 7 แสดงลักษณะเซลปิด และภาพสองมิติของฟองน้ำที่ใช้กรองอากาศตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายกับฟองน้ำที่ทำจากโพลียูรีเทนและฉนวนแคลเซี่ยมซิลิเกต ฉนวนเซลเปิดนี้เหมาะสมที่จะใช้หุ้มอุปกรณ์หรือท่อที่มีความร้อนสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ (100 °C) น้ำที่อยู่ภายในฉนวนจะระเหยออกสู่ภายนอกทำให้อากาศที่มีอยู่ในเนื้อฉนวนแห้งยังผลให้มีความเป็นฉนวนค่อนข้างสม่ำเสมอ ถ้าใช้ฉนวนชนิดนี้หุ้มท่อน้ำเย็นจำเป็นต้องใช้วัสดุกันความชื้นหุ้มทับฉนวนซึ่งถ้าเกิดหยดน้ำ (condensation) ขึ้น น้ำจะแทรกซึม และกระจายไปทั่วเนื้อฉนวนทำให้การซ่อมแซมเฉพาะช่วงที่เสียไม่อาจจะทำได้ (ดูรูปที่ 5 ประกอบ) ถ้าต้องการใช้ฉนวนประเภทนี้ต้องใช้วัสดุกันความชื้นและการติดตั้งที่พิถีพิถัน เพราะรอยฉีกขาดของวัสดุกันความชื้นเพียงเล็กน้อยอาจทำให้ฉนวนเสื่อมคุณภาพได้ง่าย

2. **ฉนวนชนิดเซลอัด** (Interconnection cell) ฉนวนชนิดนี้ทำจากการนำเม็ดโฟมหรือไม้คอร์เล็ก ๆ มาอัดเชื่อมเข้าด้วยกันทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดโฟม หรือชิ้นไม่คอร์ดขึ้นดังรูป 8 และ 9 ซึ่งแสดงลักษณะเซลอัด และภาพแสดงการแทรกซึมของความชื้น ฉนวนประเภทนี้ได้แก่ ไม้คอร์ค และโพลีสไตรีนโฟม ซึ่งใช้กับท่อน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำว่า 100°C การแทรกซึมของความชื้นในอากาศเข้าไปในเนื้อฉนวนได้ยากกว่าฉนวนชนิดเซลเปิด แต่อย่างไรก็ตามช่องว่างที่เกิดจากการนำเม็ดโฟม (cell) เล็ก ๆ มาติดกันนั้นทำให้ความชื้นแทรกซึมผ่านเข้าไปได้ การแทรกซึมมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการอัดติด เช่น ถ้าความหนาแน่น 2 ปอนด์/ฟุต^3 ก็จะมีการแทรกซึมน้อยกว่าโฟมที่มีความหนาแน่น 1 ปอนด์/ฟุต^3 ซึ่งทำให้การใช้วัสดุกันความชื้นหุ้มท่อฉนวนนั้นมีความจำเป็นมากโดยเฉพาะท่อน้ำเย็น และฉนวนโฟมมักจะทาด้วย ฟลิ้นโคท และใช้ผ้าดิบพัน ฟลิ้นโคทมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปในเนื้อฉนวนเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าสูงขึ้น ในบางประเทศจะใช้ยางมะตอยร้อนทาจึงต้องใช้ช่างที่ชำนาญมากแต่ก็อาจทำให้โฟมเกิดการหลอมตัวทำให้ความหนาลดลงไป

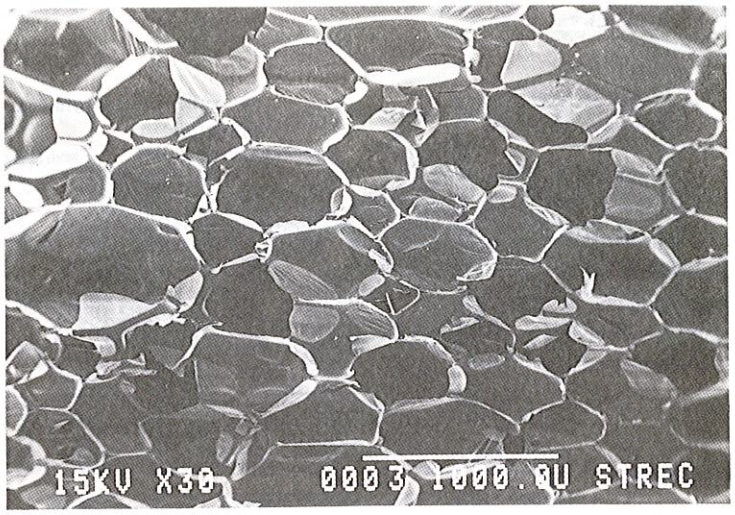
นอกจากนี้โฟมยังมีโอกาสหดตัวซึ่งทำให้ฟลิ้นโคทเกิดการหลุดร่อนหรือแตกได้ เมื่อวัสดุกันความชื้นประเภทอื่น เช่น อะลูมิเนียมฟอยล์ หรือสังกะสีซึ่งไม่สามารถหดตัวตามโฟมได้ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นได้ถ้าต้องการใช้ฉนวนประเภทนี้ต้องใช้ช่างที่มีความสามารถติดตั้งได้อย่างประณีตทำให้ฉนวนเสื่อมช้าลง



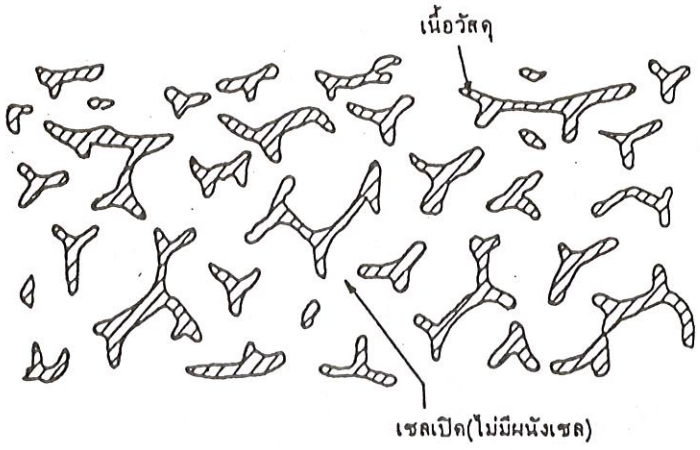
รูปที่ 4 ภาพขยายของฉนวนใยแก้วซึ่งจัดเป็นฉนวนเซลเปิด



รูปที่ 5 ภาพแสดงการแทรกซึมของความชื้นเข้าไปในเนื้อฉนวนใยแก้วเมื่อหุ้มท่อน้ำเย็น

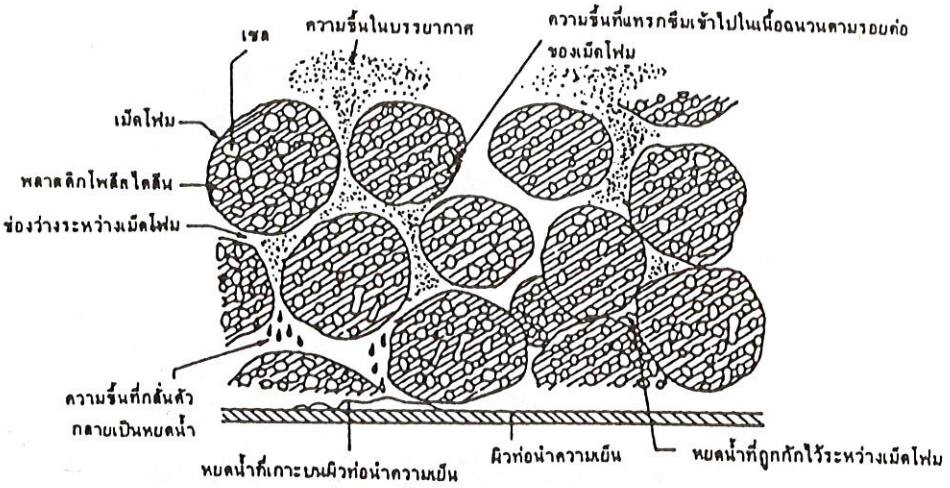


รูปที่ 6 ภาพขยายของฟองน้ำที่ใช้กรองอากาศซึ่งมีลักษณะเป็นเซลเปิด



รูปที่ 7 ภาพแสดงลักษณะเซลเปิดของฟองน้ำที่ใช้กรองอากาศ

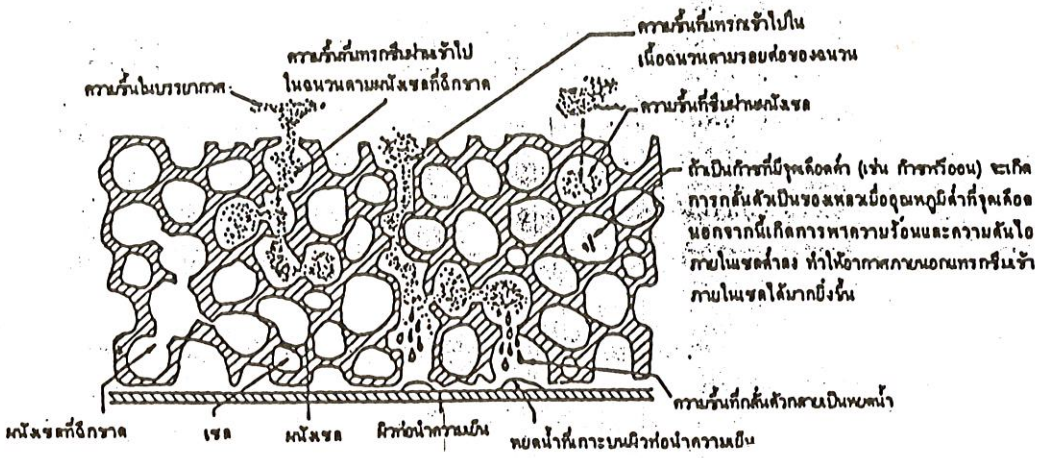
รูปที่ 8 ภาพขยายของฉนวนโฟมซึ่งจัดเป็นฉนวนชนิดเซลอัด



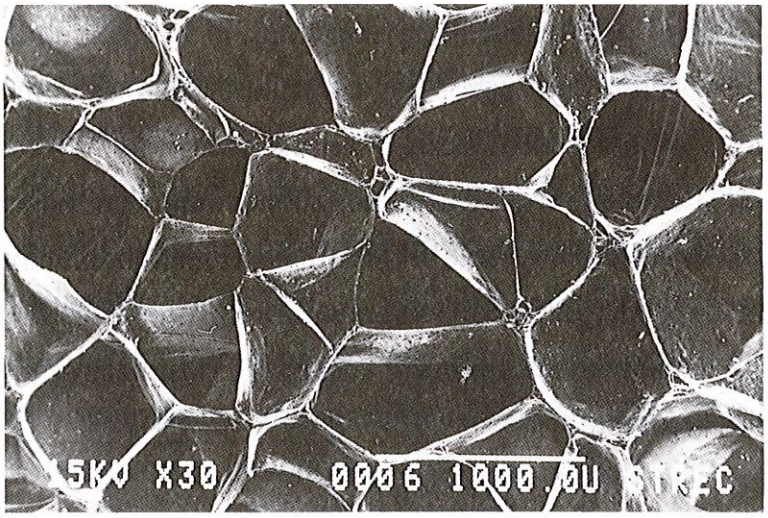
รูปที่ 9 ภาพแสดงการแรกซึมของความชื้นเข้าไปในเนื้อฉนวนโฟม

3. **ฉนวนชนิดเซลกึ่งปิด** (Semi-closed cell type) ฉนวนชนิดนี้มีลักษณะเป็นเซลอิสระเล็ก ๆ อยู่เป็นจำนวนมาก แต่ละเซลมีผนังเซลกั้นแต่กั้นไม่สมบูรณ์นัก ซึ่งทำให้มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า 10% ตาม ASTM D 1056 ฉนวนชนิดนี้ได้แก่ โพลีเอทิลีนโฟมที่มีจำหนักเบา (PE.foam) โพลียูรีเทนโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำดังรูปที่ 10 ส่วนรูปที่ 11 เป็นภาพแสดงการแทรกซึมของความชื้นผ่านฉนวนด้วยขบวนการต่าง ๆ เมื่อใช้ฉนวนประเภทนี้หุ้มท่อนำความเย็น จากปรากฏการณ์ดังกล่าว ฉนวนเซลกึ่งปิดมักจะใช้หุ้มท่อนำความร้อนเป็นส่วนใหญ่ ฉนวนชนิดนี้มีความหนาแน่นต่ำมากอยู่ในช่วง 1-3 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต การที่มีความหนาแน่นต่ำก็เนื่องจากผู้ผลิตต้องการผลิตฉนวนที่มีราคาไม่แพงนัก และมีคุณภาพพอสมควร ซึ่งเป็นผลให้ผนังเซลบางมาก ทำให้การซึมผ่านของความชื้นมีค่าสูงขึ้น ประกอบกับวัสดุที่ผลิตมีความยืดหยุ่นได้น้อย เมื่อมีการขยายตัวระหว่างขบวนการผลิต ทำให้ความแข็งแรงของผนังลดลง การฉีกขาดของผนังเซลง่ายขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจึงมีค่าสูงขึ้นมากกว่าฉนวนชนิดปิดเมื่อมีการใช้งานนานขึ้น โดยเฉพาะในสภาวะของอากาศที่มีความชื้นสูง เช่นในภูมิภาคเขตร้อนชื้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 70-90% ค่อนข้างประจำตลอดทั้งปี

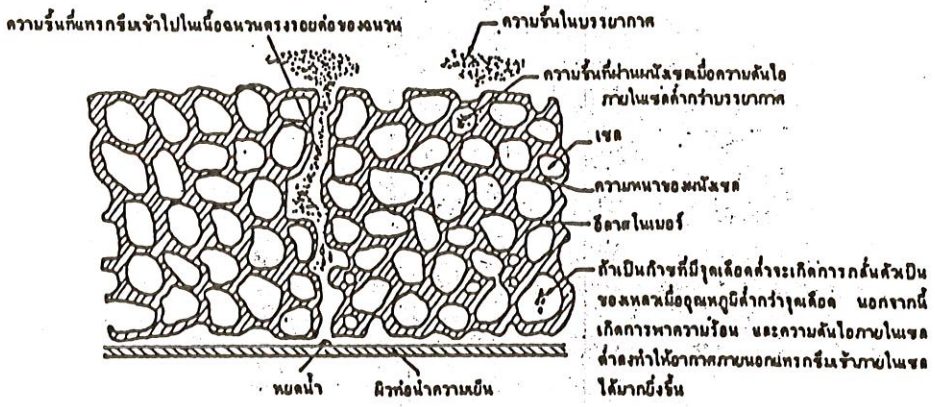
รูปที่ 10 ภาพขยายของฉนวนโพลียูรีเทนซึ่งจัดเป็นฉนวนเซลกึ่งปิด



รูปที่ 11 ภาพแสดงการแทรกซึมของความชื้นเข้าไปในเนื้อฉนวนเซลกึ่งปิดทั้งผ่านผนังเซล และตรงรอยต่อของฉนวน

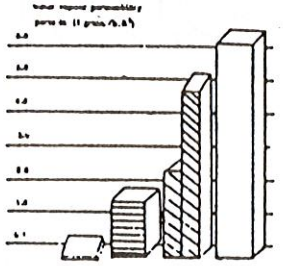


รูปที่ 12 ภาพขยายของฉนวนยางซึ่งจัดเป็นฉนวนเซลปิด



รูปที่ 13 ภาพแสดงการแทรกซึมของความชื้นเข้าไปในเนื้อฉนวนเซลปิดทั้งผ่านผนังเซล และตรงรอยต่อของฉนวน

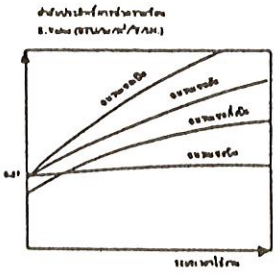
4. **ฉนวนชนิดเซลปิด** (Closed-cell type) ฉนวนชนิดนี้มักจะผลิตจากยางสังเคราะห์ หรือยางสังเคราะห์ผสมพลาสติก (มักจะเรียกว่าเป็นสารพวกอีลาสโตเมอร์) ที่มีเซลอิสระเล็กๆ อยู่เป็นจำนวนมาก แต่ละเซลมีผนังกั้นไม่ทะลุถึงกัน และภายในเซลมีก๊าซแห้งซึ่งเกิดจากการแตกตัวของเคมี (blowing agent) ที่ผสมอยู่ในเนื้ออีลาสโตเมอร์ในขั้นตอนการผลิตที่ต้องอาศัยการควบคุมอย่างดีซึ่งทำให้ได้เซลอิสระ ฉนวนชนิดที่ทำจากยางสังเคราะห์ผสมพลาสติก มีความยืดหยุ่นดีจึงได้สภาพเซลอิสระ (closedcell) ค่อนข้างสมบูรณ์ ซึ่งผนังเซลของแต่ละเซลเปรียบเสมือนเป็นวัสดุกันความชื้น ดังรูปที่ 12 และรูปที่ 13 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในฉนวนยางและการแทรกซึมของความชื้นเข้าไปในฉนวนตามลำดับ ฉนวนยางที่ใช้หุ้มท่อน้ำร้อน และน้ำเย็นโดยทั่วไปจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 4-6 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ถ้ามีความหนาแน่นต่ำกว่านี้สภาพเป็นเซลเปิดจะมีมากขึ้น และมีผนังเซลที่บางจะมีลักษณะเป็นฉนวนเซลกึ่งปิด ถ้าผนังเซลหนาเกินไปทำให้ความหนาแน่นสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะมีค่าสูงขึ้น ฉนวนชนิดเซลปิดจะมีค่าการดูดซึมน้อยกว่า 10% ตาม ASTM D 1056 ค่าแทรกซึมความชื้นมีค่าต่ำสุดเปรียบเทียบกับฉนวนชนิดอื่นๆ (แผนภูมิที่ 1) ซึ่งมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดอายุงานดังแผนภูมิที่ 2 ฉนวนชนิดเซลปิดจึงเป็นฉนวนที่สมบูรณ์แบบสำหรับหุ้มท่อนำความเย็น เช่น ท่อฟรีออนก๊าซสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ท่อน้ำเย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบศูนย์กลาง (chilled water pipe system) ในอาคารแบบต่างๆ นอกจากนี้ยังมีการใช้หุ้มท่อน้ำร้อนของท่อภายในและภายนอกอาคาร เป็นต้น โดยผู้ผลิตฉนวนชนิดนี้ส่วนใหญ่จะทำให้ผิวฉนวนหนาที่เป็นเนื้อทึบ และหนาแน่นจนความชื้นซึมผ่านไม่ได้ จึงไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุกันความชื้นอื่นๆ มาหุ้มฉนวนแม้ท่อจะเดินอยู่ภายนอกอาคารก็ตาม อนึ่ง แม้ว่าฉนวนยางชนิดเซลปิดจะสามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว แต่ทั้งนี้ควรคำนึงถึงรอยต่อหรือบริเวณที่ติดกาวควรจะแน่นสนิท เพื่อป้องกันอากาศที่จะแทรกซึมเข้าไปถึงตัวท่อนำความเย็นจนเกิดหยดเหงื่อตรงรอยต่อได้



หมายเหตุ : ค่าแทรกซึมความชื้น (water vapour permeability) เป็นค่าเฉลี่ย คิดจากสภาพที่ไม่มีวัสดุกันความชื้นหุ้มห่อ (novapour borrier)

- ฉนวนยางเซลปิด ความหนาแน่น 4-6 ปอนด์/ฟุต^3
- PU.FOAM ฉนวนชนิดเซลกึ่งปิด ความหนาแน่น 2-4 ปอนด์/ฟุต^3
- ฉนวนโฟมชนิดเซลอัด ความหนาแน่น 1-2 ปอนด์/ฟุต^3
- ฉนวนใยแก้วเซลเปิด ความหนาแน่น 2-4 ปอนด์/ฟุต^3

แผนภูมิที่ 1 แสดงค่าการแทรกซึมความชื้นของฉนวนประเภทต่างๆ



หมายเหตุ : ระยะเวลาการใช้งานขึ้นกับสภาพความชื้น อุณหภูมิห้อง และท่อนำความเย็น แม้กระทั่งมีมือการหุ้มฉนวนสภาพความชื้นสูงในเขตร้อนชื้น (tropical area) ฉนวนที่มีค่าการดูดซึมและการแทรกซึมความชื้นต่ำเท่านั้นที่เหมาะกับการหุ้มท่อนำความเย็น ทั้งนี้เพราะน้ำหรือความชื้นที่แทรกซึมเข้าไปในฉนวนทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงขึ้น (ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าเท่ากับ 4) เป็นผลให้อุณหภูมิบนผิวฉนวนลดต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (dew point) ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดปัญหาหยดเหงื่อ (condensation) ขึ้นในที่สุด

แผนภูมิที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับอายุการใช้งานของฉนวนประเภทต่าง ๆ เมื่อใช้หุ้มท่อนำความเย็น

ในปัจจุบันมีฉนวนความร้อนอยู่มากมายหลายประเภทด้วยกัน แต่ละประเภทก็เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละอย่าง จากการศึกษาโครงสร้างภายในของฉนวนความร้อนแล้วพอจะสรุปได้ว่า ฉนวนที่ใช้หุ้มท่อ หรืออุปกรณ์นำความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า. 100°C เป็นส่วนมากหรือเป็นประจำในช่วงการใช้งานมักจะเป็นฉนวนเซลปิด และวัสดุที่ใช้ทำฉนวนประเภทนี้จะมีความคงทนต่ออุณหภูมิที่ใช้งานได้เป็นอย่างดี ฉนวนประเภทนี้จะต้องมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้การพาความร้อน และการนำความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้มีค่าความเป็นฉนวนต่ำ แต่ฉนวนที่ใช้หุ้มท่อหรืออุปกรณ์ทำความเย็นนั้น ต้องคำนึงถึงโครงสร้างที่สามารถป้องกันการแทรกซึมความชื้นเป็นหลักสำคัญ ฉนวนที่ได้รับความนิยมสำหรับใช้หุ้มท่อ หรืออุปกรณ์นำความเย็นจะเป็นฉนวนที่มีโครงสร้างภายในเป็นเซลปิดค่อนข้างสมบูรณ์และภายในเซลจะมีก๊าซแห้งที่มีความดันไอใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน ทั้งนี้เนื่องจากผนังเซลของแต่ละเซลเปรียบเสมือนเป็นวัสดุกันความชื้น ดังนั้นความชื้นจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อฉนวนด้านใน จะต้องผ่านผนังเซลนับหมื่นนับแสนผนังเซล ประกอบกับความแตกต่างของความดันไอของก๊าซที่อยู่ภายในเซล และสิ่งแวดล้อมมีค่าต่ำเป็นเหตุให้ฉนวนเซลปิดมีอายุการใช้งานได้นานกว่าฉนวนที่มีโครงสร้างภายในแบบอื่น ๆ มาก โดยเฉพาะในเขตร้อนชื้นที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงอยู่ในระหว่าง 70-90% ตลอดปี

เอกสารอ้างอิง

1) Turner, Mallay, "Handbook of Thermal Insulation Design Economics for Pipcs and Equipment", Mcgraw-Hill, 1981

2) T.H. Ferrigno, "Rigid Plastics Foams", Reinhold Publishing Corporation, 1967

3) N.C. Hilyard, "Mechanics of Cellular Plastics", Applied Science Publishers, 1982

4) Armstrong Armaflex Insulation 15 Mechanical System 1972

5) Aeroflex Closed Cell Insulation Bulletin No. EP 80D, 1983

6) Aeroflex Closed Cell Insulation Technical Report 1981-1983