

ทฤษฎีฉนวนในงานเย็น

อาร์มาเซล จีเอ็มบีแอนด์ซี
แปลและเรียบเรียงโดย อาร์มาเซล (ประเทศไทย) จำกัด

บทความต่อไปนี้เป็นหลักการของฉนวนในงานเย็น ซึ่งมีทั้งหมด 6 ส่วน ในแต่ละส่วนจะมุ่งให้ความรู้เกี่ยวกับฉนวนในงาน เย็น และฉนวนซับเสียง และป้องกันการลามไฟ ซึ่งบทความเหล่านี้สามารถนำไปใช้และง่ายต่อการทำความเข้าใจ

บทความส่วนที่ 1 กล่าวถึงการเกิดหยดน้ำ และการป้องกัน หยดน้ำ (Formation and prevention of condensation) ส่วนที่ 2 จะอธิบายตัวแปรทางกายภาพที่ส่งผลต่อการเลือกใช้ความหนาของฉนวน และส่วนที่ 3 จะกล่าวถึง “สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient)” ในส่วนที่ 4 เป็นเรื่องคุณสมบัติการป้องกันไอน้ำซึมผ่านของวัสดุชนิดต่างๆ ในส่วนที่ 5 กล่าวถึงการติดตั้งที่ถูกต้อง ส่วนสุดท้ายของบทความ จะกล่าวถึงการเดินท่อของงานเย็น และจุดต่างๆ ที่ควรให้ความสำคัญในงานติดตั้งฉนวน โดยสรุปการทำงานเกี่ยวกับฉนวนจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีของการถ่ายเทความร้อน จึงจะนำไปสู่ความเป็นมืออาชีพในการอนุรักษ์พลังงาน

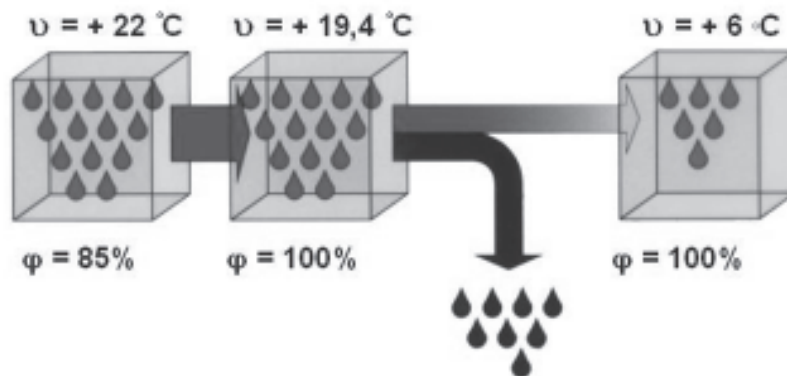
ส่วนที่ 1 การเกิด และการป้องกัน การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (formation and prevention of condensation)

พวกเราทุกคนเคยเห็นปรากฏการณ์การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้เป็นอย่างดี เช่น หลังจากเลิกงาน ในหน้าร้อน บางท่านอยากหาเครื่องดื่มเย็นๆ มาดื่มเพื่อดับกระหาย เช่น น้ำเย็น โค้ก หรือแม้กระทั่งเบียร์ หยดน้ำที่อยู่บนแก้วน้ำ เป็นตัวอย่างหนึ่งของการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ มันแสดงให้เห็นว่า อากาศภายนอกร้อนมากพอที่จะทำให้เห็นปรากฏการณ์ดังกล่าว ในงานติดตั้งฉนวน ปรากฏการณ์การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ก็เกิดได้ในงานระบบท่อน้ำ ท่อน้ำยา หรือท่อลม ซึ่งเมื่อเกิดหยดน้ำขึ้น ค่าเสียหายไม่เพียงเฉพาะค่าซ่อมฉนวนเท่านั้น แต่มันยังอาจรวมไปถึงค่าซ่อมผ้า หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่เสียหายจากการที่มีน้ำหยดด้วยเช่นกัน

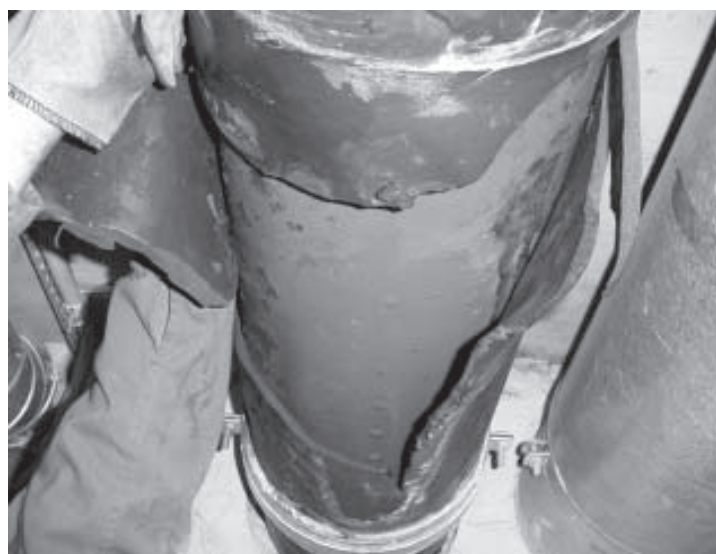
อากาศที่อยู่รอบๆ ตัวเราประกอบไปด้วยแก๊สหลายชนิด ซึ่งรวมๆ กันเรียกว่าอากาศแห้ง (dry air) และ ไอน้ำ (water vapor) ดังนั้น ในชั้นบรรยากาศที่อยู่รอบตัวเราและสูงขึ้นไปบนฟ้า นั้น จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบสองส่วนผสมกัน ซึ่งเราเรียกว่าอากาศชื้น (humid air) ปริมาณไอน้ำที่อยู่ในอากาศชื้นเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาวะแวดล้อม เช่น โรงแรมในจังหวัดภูเก็ต ปริมาณไอน้ำในอากาศจะสูงกว่า ปริมาณไอน้ำในตึกออลซีซั่น ถนนวิทย์

อากาศในที่ต่างๆ จะมีความสามารถในการดูดซับความชื้นในอากาศได้ต่างกัน เช่น อากาศที่ร้อน จะสามารถดูดซับความชื้นได้มากกว่า อากาศเย็น เมื่ออากาศดูดซับความชื้นอุณหภูมิของอากาศที่อยู่รอบๆ ท่อน้ำจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งไอน้ำอึดตัว หรือมีความชื้นเป็น 100% ซึ่งเรียกจุดนี้ว่า จุดน้ำค้าง (dew point temperature) อุณหภูมิของอากาศจะลดต่ำกว่านี้ไม่ได้แล้ว ในที่สุดไอน้ำที่อึดตัวก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 1

Air cannot absorb an infinite amount of water vapour



ภาพที่ 1 อากาศดูดซับความชื้นได้จำกัด



ภาพที่ 2 ผลของการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำในฉนวนยางทำให้เกิดสนิม

ในฉนวนของงานตู้เย็น หรือตู้แช่ หรือระบบ ซิลเลอร์ การเลือกใช้ความหนาของฉนวนต้อง ออกแบบมาเพื่อให้อุณหภูมิที่ผิวฉนวน ไม่ต่ำกว่า อุณหภูมิของจุดน้ำค้าง ในส่วนของการติดตั้ง จึงหมายถึง รอยต่อหรือตะเข็บทุกจุดต้องไม่แตก หรือร้าว ไม่เช่นนั้น อุณหภูมิที่ผิวฉนวน จะต่ำกว่า อุณหภูมิของจุดน้ำค้าง และในที่สุดก็จะเกิดการกลั่น ตัวเป็นหยดน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 2

สิ่งที่ควรจำ

การป้องกัน condensation หรือการเกิดหยดน้ำ ต้องแน่ใจว่าอุณหภูมิที่ผิวฉนวน ต้องมีค่าอย่างน้อย เท่ากับ หรือสูงกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ที่อุณหภูมินั้นๆ

การพิจารณาหาความหนาที่ถูกต้องของฉนวน ขึ้นกับ หลายตัวแปร ในส่วนต่อไปจะอธิบายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อการควบคุมการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ในฉนวน

ส่วนที่ 2 ตัวแปรที่มีผลต่อการควบคุมการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (condensation control)

ในส่วนที่ 1 กล่าวถึงการเกิด และ การป้องกัน Condensation หรือการเกิดหยดน้ำ หลักการสำคัญ คือ ต้องแน่ใจว่าอุณหภูมิที่ผิวฉนวน ต้องอย่างน้อย เท่ากับ หรือ สูงกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ที่อุณหภูมินั้นๆ ในทุกๆ อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องมีการป้องกันการกลั่นตัว เป็นหยดน้ำ สูตรต่อไปนี้เป็นคำนิยาม ความหนา ของฉนวนบนพื้นผิวเรียบ เช่น ถังบรรจุน้ำเย็น ผิวที่อลม เป็นต้น

$$S_F = \frac{\lambda}{\alpha_s} \left[\frac{v_a - v_i}{v_a - v_k} - 1 \right]$$

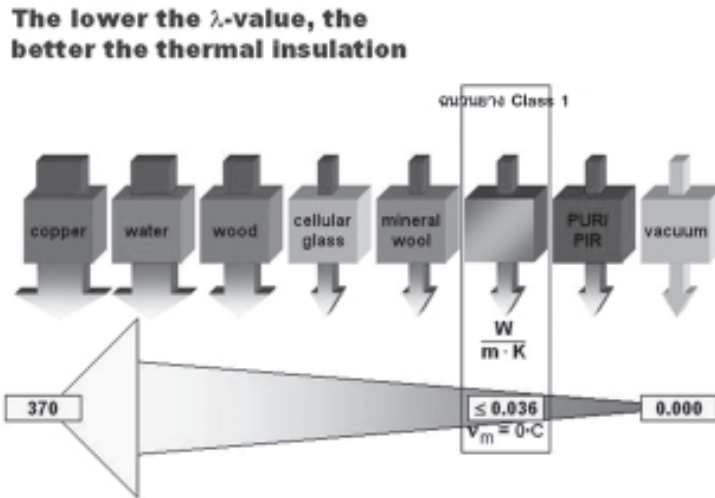
สูตรข้างต้น มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวดังนี้

อุณหภูมิของตัวกลาง หรืออุณหภูมิห้อง (Medium temperature and ambient temperature) ในกรณี ของงานตู้แช่ หรือตู้เย็น อุณหภูมิของตัวกลาง หาได้จากอุณหภูมิของชนิดน้ำยาที่ใช้ในระบบตู้แช่ หรือ ตู้เย็นนั้นๆ ในส่วนของอุณหภูมิห้อง เราไม่สามารถ ที่จะวัดได้ชัดเจน แต่สามารถประมาณได้ เมื่อมีการ ติดตั้งฉนวนนอกอาคาร เราสามารถดูได้จากอุณหภูมิจนเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยา ที่พยากรณ์อากาศ ในแต่ละวัน แต่อุณหภูมิห้องของฉนวนที่ติดตั้ง ในอาคารมักไม่สามารถดูได้จากอุณหภูมิจากกรมอุตุนิยมวิทยา แต่สามารถประมาณการได้ ตัวอย่างเช่น ความหนา ของฉนวนจะไม่แตกต่างกันมากที่อุณหภูมิห้อง ในช่วง 23-25 องศาเซลเซียส

ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal conductivity of the insulation material)

ค่าการนำความร้อนของวัสดุ คือ ความสามารถ ของวัสดุในการนำความร้อนผ่านเนื้อวัสดุนั้นๆ ซึ่ง แสดงผลออกมาในรูปของปริมาณความร้อน ซึ่งถูกนำ ผ่านชั้นของวัสดุที่มีพื้นที่ผิว 1 ตารางเมตร ความหนา 1 เมตร ในเวลา 1 วินาที เมื่ออุณหภูมิของผิววัสดุ ทั้งสองด้านต่างกันที่ 1 องศาเคลวิน (1 Kelvin หรือ 1 K) หน่วยของค่าการนำความร้อนจึงเป็น วัตต์ ต่อ เมตร ต่อ เคลวิน [W/(m.K)] สัญลักษณ์ ที่ใช้ในทางยุโรปเป็น λ หรือในทางสหรัฐอเมริกา ใช้เป็น K ส่วนในประเทศไทย นิยมใช้หน่วยเหมือน ทางสหรัฐอเมริกา

มีวัสดุที่นำความร้อนได้ดี เช่น เหล็ก หรือวัสดุ ที่นำความร้อนได้ต่ำ เช่น ฉนวนยาง Class 1 ยิ่งค่า K ต่ำเท่าใด ความสามารถในการเป็นฉนวนก็ดีขึ้น ค่าการนำความร้อนจะอยู่ในช่วง 0.030-0.060 W/(m.K) ดังแสดงในภาพที่ 1

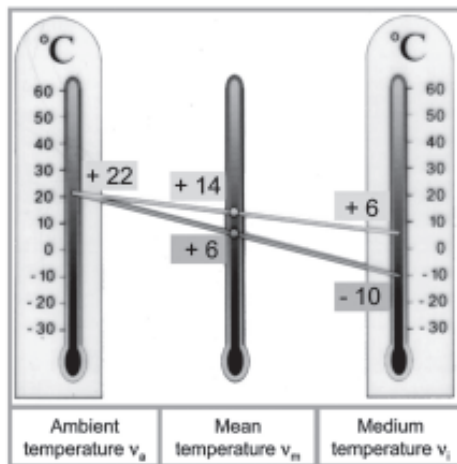


ภาพที่ 1 แสดงคุณสมบัติของสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K-value or λ) ของวัสดุชนิดต่างๆ ยิ่งค่า λ ต่ำ ความเป็นฉนวนยิ่งดี

ตัวแปรที่มีผลต่อค่าการนำความร้อนของวัสดุ คือ อุณหภูมิของวัสดุ จากสูตรการคำนวณ ค่า λ ที่ใช้ จะเป็นค่าเฉพาะในอุณหภูมิหนึ่งๆ ซึ่งมักจะใช้อุณหภูมิเฉลี่ย ซึ่งคำนวณจากอุณหภูมิเฉลี่ยทางสถิติ

(arithmetic mean) ของอุณหภูมิของตัวกลาง และอุณหภูมิห้อง แต่ในทางปฏิบัติ เราเพียงแค่นำค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตัวกลาง และอุณหภูมิห้อง มาคำนวณเท่านั้น (ภาพที่ 2)

Example showing hoe the mean temperature is determined



$$v_m = \frac{v_a + v_l}{2}$$

$$v_m = \frac{22 + 6}{2} = 14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$v_m = \frac{22 + (-10)}{2} = 6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิของตัวกลาง

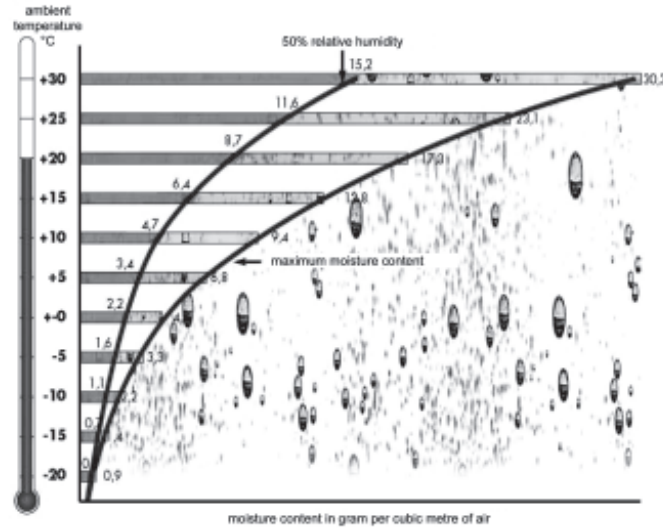
ในกรณีของฉนวนยาง Class 1 ค่า K จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อการเลือกใช้ความหนาของฉนวน เพราะว่าเราใช้ฉนวนที่บางลงได้ ถ้าวัสดุนั้นๆ มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่า ดังนั้น ผู้ผลิตฉนวนที่มีชื่อเสียง จะเลือกผลิตฉนวนที่มีค่า K ที่ต่ำ และเหมาะกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงอุณหภูมินั้นๆ

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative Humidity)

ในส่วนของ 1 ของบทความนี้ เราได้อธิบายถึงอากาศที่อยู่รอบๆ ตัวเรานั้น ประกอบด้วยแก๊สและไอน้ำ ซึ่งเรียกว่า อากาศชื้น ปริมาณไอน้ำที่อยู่ในอากาศนั้นจะหมายถึง ปริมาณความชื้น มีหน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร (g/m^3) ความชื้นสูงสุดหรือปริมาณไอน้ำสูงสุดที่สามารถถูกดูดซับไว้ในอากาศปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จะขึ้นกับอุณหภูมิ คือที่อุณหภูมิเย็นจะมีปริมาณไอน้ำน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง เช่น อากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับความชื้นเป็นไอน้ำที่น้ำหนัก 30.3 กรัม ในขณะที่อากาศที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับความชื้นได้ถึง 6.8 กรัม อากาศถูกทำให้เย็นลงจาก 30 ไปเป็นที่ 5 องศาเซลเซียส จะต้องมีความชื้นไอน้ำถึง 23.5 กรัม ถูกดูดซับเข้าไป โดยทั่วไปความชื้นสัมพัทธ์ จึงเป็นตัวแปรตั้งสมการข้างล่างนี้คือ อัตราส่วนของ ความชื้น ที่อ่านได้ ต่อความชื้นสูงสุด คูณด้วย 100 จึงเป็น เปอร์เซนต์ แทนด้วยสัญลักษณ์กรีก ϕ (อ่านว่า ไพน์)

$$\phi = \frac{\text{absolute moisture content}}{\text{maximum moisture content}} = \frac{X_{\text{abs}}}{X_{\text{max}}} \cdot 100\%$$

ถ้าอากาศที่อิมตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ถูกอุ่นให้ร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงจาก 100% เป็น 22% เนื่องจากอากาศจะสามารถดูดซับความชื้นได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อพิจารณาถึงความหนาของฉนวนที่จะใช้ในการป้องกันการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมาใช้ในการพิจารณา ยิ่งความชื้นมากยิ่งเท่าใด ความหนาของฉนวนยิ่งต้องมากขึ้น เมื่อค่าของตัวแปรอื่นๆ คงที่ ดังนั้นที่อุณหภูมิของตัวนำ (น้ำ หรือน้ำยา) อยู่ที่ 6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิห้องอยู่ที่ 22 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ จะเป็น 65% ความหนาของฉนวนที่ต้องการหุ้มพื้นที่ผิวแบนราบต้องหนาน้อยกว่า 5.5 มิลลิเมตร จึงจะไม่ส่งผลต่อการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ แต่ถ้าความชื้นเพิ่มขึ้น 10% ความหนาของฉนวนของหนาเพิ่มขึ้นเป็น 10.2 มิลลิเมตร ในทางปฏิบัติ เราต้องเพิ่มความหนาเป็นสองเท่า ยิ่งความชื้นเพิ่มขึ้นอีก 10% เราต้องเพิ่มความหนาของฉนวนขึ้นเป็น 21.0 มิลลิเมตร ดังนั้นตัวแปรเรื่อง Relative humidity หรือความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ จึงมีผลอย่างมากต่อความหนาของฉนวน ในหลายๆ กรณี การหาค่าอุณหภูมิของตัวนำ เช่น น้ำ หรือน้ำเย็น ไม่สามารถอ่านได้แน่ชัด หรือค่าการนำความร้อน ของตัววัสดุเองก็ตามอาจจะไม่ชัดเจนที่อุณหภูมินั้นๆ ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีข้อมูลของพื้นที่ ที่จะติดตั้งฉนวนในส่วนของอุณหภูมิ ความชื้น เพื่อที่จะได้นำสถานการณ์นั้นๆ มาประมาณการหาความหนาของฉนวนได้อย่างถูกต้องมากที่สุด



ภาพที่ 3 แสดงปริมาณความชื้นที่อุณหภูมิต่างๆ และจุดที่ความชื้นเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

ส่วนที่ 3 ตัวแปรสัมประสิทธิ์การถ่ายเท

ความร้อน “Heat transfer coefficient”

ในส่วนที่ 2 ความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวแปรที่ผลอย่างมากต่อความหนาของฉนวน ซึ่งมีผลต่อการป้องกันการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำในที่สุด ค่า**สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน “Heat transfer coefficient”** ก็มีผลอย่างมากเช่น คำว่า การถ่ายเทความร้อนคือการถ่ายเทความร้อนระหว่างของเหลว และของแข็ง (ของแข็ง หมายถึง ท่อน้ำ หรือแท่งค้ำน้ำ)

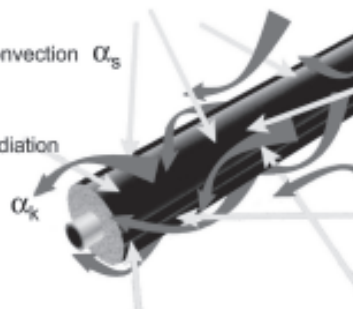
การถ่ายเทความร้อน ภายใน (ถ่ายเทระหว่างตัวกลางภายในท่อ หรือแท่งค้ำกับตัวท่อหรือแท่งค้ำ) และภายนอก (ถ่ายเทระหว่างตัวท่อหรือแท่งค้ำกับอุณหภูมิของฉนวน และอุณหภูมิห้อง) ดังแสดงในภาพที่ 1 ในการคำนวณความหนาเพื่อป้องกันการเกิดหยดน้ำ เราสามารถหึงการถ่ายเทความร้อนภายในได้ เนื่องจากมีค่าต่ำมาก ดังนั้น เราจะพิจารณาเฉพาะการถ่ายเทความร้อนภายนอก

Heat transfer coefficient

$$\alpha_{\text{a}} = \alpha_{\text{k}} + \alpha_{\text{g}}$$

α_{k} = heat transfer through convection α_{g}

α_{g} = heat transfer through radiation



ภาพที่ 1 แสดงคุณสมบัติของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในรูปแบบการพา และการแผ่รังสี

เมื่อความร้อนถูกถ่ายเท ความร้อน จะเคลื่อนผ่านเป็นสัดส่วนกับพื้นผิว ของวัสดุ ที่อุณหภูมิต่างๆ ตัวแปรของการถ่ายเทเรียกว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเท ความร้อน $\alpha_{outside} (\alpha_a)$ มีหน่วยเป็น $W/(m^2.K)$ ซึ่งค่านี้ขึ้นกับ ชนิดของตัวกลาง และความเร็วในการถ่ายเทบนพื้นผิวของวัสดุ (หยาดหรือลื่นหรือสะท้อนแสงหรือทึบแสง) นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนยังขึ้นกับการพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน radiation) อีกด้วย

การพาความร้อน (Convection)

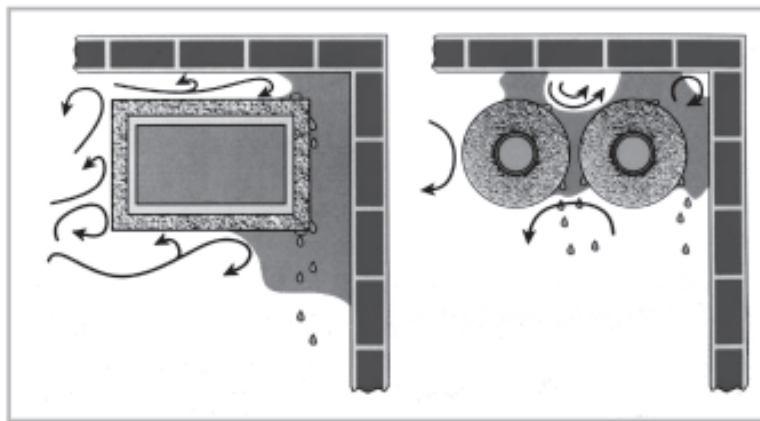
การพาความร้อน มีผลอย่างมากต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ยิ่งอากาศมีการไหล

ในบริเวณ build up zone ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ การพาความร้อน จึงลดลง ในมาตรฐาน DIN 4140 ต้องมีระยะระหว่างฉนวนหุ้มท่อหรือระหว่างท่อ กับผนังหรือเพดานอย่างน้อย 100 มิลลิเมตร เพื่อและต้องการระยะห่างในถังหรือ อุปกรณ์ในระบบ เย็นอย่างน้อย 1000 มิลลิเมตร

การแผ่รังสี (Thermal Radiation)

การแผ่รังสีเป็นการถ่ายเทความร้อน โดยผ่านทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งพลังงานที่ถ่ายเท โดยการแผ่รังสี ไม่จำเป็นต้องมีตัวกลาง ซึ่งต่างกับการนำความร้อน (Conductivity) และการพาความร้อน (Convection) การแผ่รังสียังสามารถเกิดได้ในระบบสุญญากาศ ซึ่งขบวนการแผ่รังสีเกิดได้สองแบบ

Build-up zones stop convective heat transfer



ภาพที่ 2 แสดงจุดที่มีการถ่ายเทความร้อนต่ำ หรือจุดที่มีการพาน้อย จะสามารถเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ง่าย

หรือถ่ายเทมากเท่าใด (ลมแรงมากเท่าใด) ความร้อน ยิ่งมีการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ในทางปฏิบัติ เราจึง จำเป็นที่จะต้องพิจารณาว่าท่อ น้ำ หรือ ท่อลมต่างๆ ที่อยู่ในระบบ ต้องไม่ติดตั้งชิด หรือ แน่นหนาเกินไป เพราะต้องมีพื้นที่ส่วนหนึ่งพอที่ติดตั้งฉนวน ระบบยัง อาจเกิดอุณหภูมิร้อนขึ้นเฉพาะจุด (build up zone) และทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ เนื่องจาก

การกระจายรังสี (emission) จากพื้นผิวที่มี อุณหภูมิสูงถ่ายเทไปยังพลังงานที่แผ่รังสี

การดูดกลืนรังสี (absorption) การแผ่รังสี ซึ่ง ทำให้อุณหภูมิของวัสดุ ลดต่ำลงกลายเป็นความร้อน ในวัสดุที่สีเข้มจะมีการกระจายรังสี ได้มากกว่า วัสดุสีอ่อน และในทางตรงข้ามวัสดุสีเข้มก็สามารถ ดูดกลืนพลังงานได้มากกว่าวัสดุสีอ่อนเช่นกัน

การวัดปริมาณพลังงานที่กระจาย วัดได้เป็นค่าสัมประสิทธิ์การกระจายพลังงาน Emission coefficient (ϵ) ส่วนการวัดค่าการดูดกลืนวัดได้เป็นค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงาน Absorption coefficient (a) ปริมาณพลังงานของการกระจายและการดูดกลืน ของวัสดุเดียวกัน จะมีค่าเท่ากัน ในถึงบรรจุที่มีสีดำสนิท จะมีค่าการดูดกลืน และกระจายพลังงานมากที่สุด ในตารางที่ 1 แสดงค่าการกระจาย และค่าการดูดกลืน พลังงานของพื้นผิวของฉนวนชนิดต่างๆ จะเห็นว่าค่าจะสูงมากเมื่อพื้นผิวมีการหุ้มด้วยแจ็กเก็ต นอกจากนี้การสะท้อนแสงของพื้นผิว ก็มีผลต่อการแผ่รังสีเช่นกัน α_s ในทางปฏิบัติ ฉนวนที่มีสีดำ จะมีค่าการดูดกลืน พลังงานมากกว่าวัสดุอย่างอลูมิเนียมฟอยล์ ซึ่งมีผลดี ต่อการลดความหนาในการป้องกันการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ กล่าวคือ ยิ่งมีการดูดกลืนพลังงานมากขึ้น ความหนาของฉนวนก็จะน้อยลง

จากคำอธิบายข้างต้นจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ขึ้นกับตัวแปรหลายตัว ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้เป็นกฎได้ แต่ก็สำคัญเพียงพอที่จะนำมาใช้พิจารณาการถ่ายเทความร้อนในระบบหนึ่งให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงให้มากที่สุด สูตรในการคำนวณค่าต่างๆ เป็นเพียงการตัดทอนการถ่ายเทความร้อนบางส่วนออกไป เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณในส่วนของฉนวนยางดำ ดังตัวอย่างในภาพที่ 3 เราทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

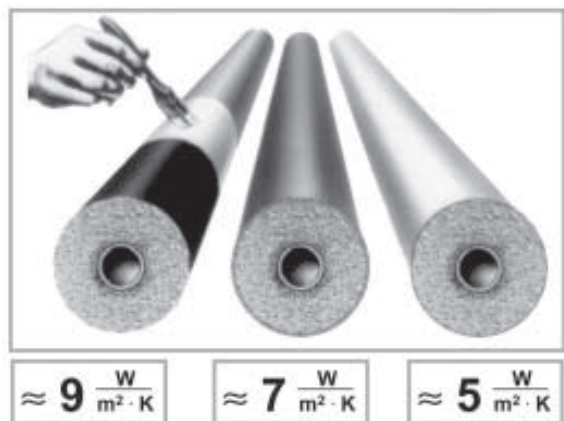
วัสดุสีดำ ไม่ทาสี หรือมีสีทาบ	9 W/(m ² .K)
วัสดุที่หุ้มด้วยแจ็กเก็ตที่ทำด้วยโลหะกัลวาไนท์	7 W/(m ² .K)
วัสดุที่หุ้มด้วยแจ็กเก็ตที่ทำด้วยอลูมิเนียม หรือ สแตนเลส	5 W/(m ² .K)

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเป็นตัวแปรสุดท้ายที่มีผลต่อการควบคุมการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า ตัวแปรต่างๆ ต้องเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุดเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการคำนวณหาความหนาของฉนวน นอกจากนี้ระบบฉนวนควรเป็นระบบที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะเวลาหนึ่ง ไม่ใช่ติดตั้งเพียงระยะเวลาสั้นๆ แล้วเกิดหยดน้ำสะสมอยู่ภายในฉนวน ซึ่งค่าการซึมผ่านไอน้ำ (Water vapor transmission) มีผลต่อเวลาการใช้งาน ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย และการดูดกลืนพลังงานของฉนวนที่มีพื้นผิวแบบต่างๆ

พื้นผิวต่างๆ (การแผ่รังสีในแนวตั้ง)	$\epsilon = a$
Aluminium foil, shiny	0.05
Aluminium, oxidized	0.13
Steel, galvanized, shiny	0.26
Steel, galvanized, dusty	0.44
Alu-zinc, smoothly polished	0.16
Steel Austenitic steel	0.15
Paint-coated sheet metal	0.90
Cellular glass	0.90
Synthetic rubber	0.90
Plastic Jacket	0.90

Typical values for heat transfer coefficients for ฉนวนยาง



ภาพที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในพื้นที่ผิววัสดุที่แตกต่างกัน

ส่วนที่ 4 ค่าการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor transmission)

ในกรณีของงานเขียนที่มีอุณหภูมิต่ำ อันตรายที่เกิดจากความชื้นแทรกซึมผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุเป็นสิ่งสำคัญอันดับหนึ่งในการพิจารณาการออกแบบในระบบเขียน ฉนวนที่เลือกใช้ไม่ใช่เพียงแค่พิจารณาความหนาเพื่อป้องกันการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่ผิวฉนวนเท่านั้น แต่ยังคงต้องป้องกันวัสดุจากการแทรกซึมของความชื้นอีกด้วย ถ้าไม่ได้พิจารณาในจุดนี้ น้ำหรือน้ำแข็งจะเกิดขึ้นในตำแหน่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า จุดน้ำค้าง (Dew point temperature) ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียพลังงาน และเกิดหยดน้ำ ทำลายท่อน้ำ และอุปกรณ์ต่างๆ

สาเหตุห้ามไม่ให้เกิดน้ำ และ น้ำแข็งในระบบฉนวนในงานเขียน

- เมื่อมีน้ำ หรือ น้ำแข็งในฉนวน ความสามารถในการทำงานของฉนวนจะลดลงอย่างมาก เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศมีค่าต่ำกว่า ของน้ำถึง 24 เท่า ($K_{air} = 0.026 \text{ W/m.K}$, $K_{water} = 0.56 \text{ W/m.K}$) และต่ำกว่าของน้ำแข็งถึง 100 เท่า ($K_{ice} = 2.2 \text{ W/m.K}$) ซึ่งเมื่อมีน้ำหรือน้ำแข็งเกิดขึ้นในฉนวน ไม่เพียงแต่นำไปสู่การสูญเสียพลังงานไฟฟ้า แต่ยังหมายถึงความหนาของฉนวนที่หุ้มอยู่นั้นไม่เพียงพอที่ทำให้ฉนวนแห้งและนำไปสู่การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ในที่สุด
- น้ำเป็นต้นเหตุของการกัดกร่อนอุปกรณ์ไม่ว่าจะเป็นท่อ น้ำ ปั๊ม ซิลิโคน และอุปกรณ์ที่เป็นโลหะอื่น ๆ ที่มีการหุ้มฉนวน หรือแม้กระทั่ง แจ็คเก็ตโลหะที่หุ้มตัวฉนวนเอง ในที่สุด สนิทก็จะลามไปทั่วทั้งระบบเขียน ซึ่งเป็นผลให้ต้องทำการซ่อมและเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก

- นอกจากนี้ น้ำและน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระบบยังเป็นผลทำให้น้ำหนัก ของฉนวนที่หุ้มท่อหรืออุปกรณ์ต่างๆ มากขึ้น และนำไปสู่ปัญหาเครื่องจักรกลวน

การเคลื่อนผ่านของความชื้น โดยการแทรกซึมของไอน้ำ

ความชื้นแทรกซึมผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้อย่างไร?

อากาศเป็นส่วนประกอบของแก๊สหลายชนิดที่ระดับน้ำทะเล อากาศบริสุทธิ์จะประกอบไปด้วย แก๊สไนโตรเจน 78.1% โดยปริมาตร แก๊ส ออกซิเจน 20.9% โดยปริมาตร แก๊สอาร์กอน 0.9% โดยปริมาตร แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03% โดยปริมาตร แก๊สไฮโดรเจน 0.01% โดยปริมาตร และแก๊สเฉื่อยๆ อื่นๆ อีกเล็กน้อย นอกจากส่วนประกอบดังกล่าวแล้ว ในอากาศยังมีไอน้ำที่เราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ตามที่ได้กล่าวในส่วนที่ 1 ว่า อากาศชื้น คือ ส่วนประกอบของอากาศแห้ง และไอน้ำ ดังนั้น ทุกๆ ส่วนของแก๊ส ที่อยู่ในอากาศจะมีความดันย่อยๆ ของแก๊สชนิดต่างๆ ภายใต้สภาวะปกติ เพื่อดันให้อนุภาคของแก๊สแต่ละตัวอยู่ได้ในอากาศ ดังนั้น ความดันความของแก๊สทุกตัว สามารถคำนวณได้จากผลรวมของความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิด ซึ่งอ่านได้จากเครื่องวัดความดัน (บารอมิเตอร์) ของอากาศชื้น

$$P = P_L + P_D$$

P_a , hPa (หน่วยของความดัน เป็น Pascal, Hectopascal)

P_L คือ ความดันย่อยของอากาศแห้ง

P_D คือ ความดันย่อยของไอน้ำ

ความดันย่อยของไอน้ำจำเป็นต่อการเลือกวัสดุในงานก่อสร้างค่าความดันย่อยจะเปลี่ยนไปที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ตามที่ได้กล่าวแล้วใน

ส่วนที่ 2 ซึ่งขึ้นกับปริมาณไอน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปใน
อุณหภูมิต่างๆ ค่าความดันย่อยของไอน้ำมีเพียงค่า
สูงสุดเท่านั้น ค่าความดันย่อยสูงสุด หมายถึงความดัน
ไอน้ำอิ่มตัว (Saturated partial pressure) P_s

ถ้ามีอุณหภูมิและความชื้นที่แตกต่างกันที่สอง
ด้านของวัสดุ ความดันไอ ที่แตกต่างกัน จะเป็นผล
ทำให้ค่าการดันของไอน้ำต่างกันด้วย (ภาพที่ 1)
การแทรกซึมผ่านของไอน้ำ เกิดจากความดันที่ต่าง
ต่าง เป็นผลมาจากความดันของไอน้ำที่แตกต่าง
ตลอดทั้งอาคาร หรือ ฉนวนนั้นๆ เนื่องจากอุณหภูมิ
และความชื้นที่ต่างกัน ทิศทางการแทรกซึม

ความชื้นจะผ่านจากภายนอกเข้าไปในเนื้อฉนวน
ถ้าความชื้นมีอุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง จะ
เกิดกลั่นตัวเป็นหยดน้ำสะสมอยู่ในเนื้อฉนวน

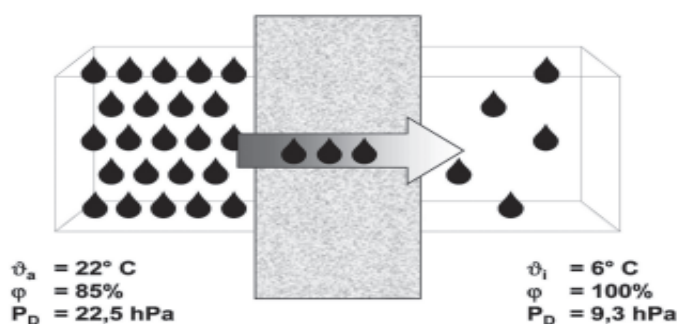
ในอาคารที่มีวัสดุแตกต่างกันใช้อยู่นั้น การเคลื่อนที่
ของไอน้ำเกิดขึ้นตามปัจจัยดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมไอน้ำ (Water vapor diffusion coefficient) δ (อ่านว่า เดลต้าเล็ก)
- ค่าความต้านทานการแทรกซึมไอน้ำ (Resistance to water vapor diffusion) μ factor (อ่านว่า มิว)
- ค่าการซึมผ่านไอน้ำ เทียบเท่าที่ความหนาหนึ่ง S_d

ตารางที่ 1 รูปแบบการคำนวณความดันย่อยของไอน้ำ

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ความชื้นสัมพัทธ์ เปอร์เซ็นต์	ความดันไอน้ำอิ่มตัว P_s hPa	ความดันไอน้ำย่อย P_D hPa
6	100	9.35	9.35
22	85	26.47	22.45

The driving force behind water vapour diffusion



ภาพที่ 1 แสดงถึงจุดที่มีอุณหภูมิต่างกันมาก จะเกิดแรงดันความชื้น
จากภายนอกเข้าไปสูงภายในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ค่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมไอน้ำ (Water vapor diffusion coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมไอน้ำ เป็นปริมาณไอน้ำ (กิโลกรัม) ซึ่งผ่านเข้าไปในชั้นของวัสดุที่หนา 1 เมตร และมีพื้นที่ผิว 1 ตารางเมตร ที่ความดันย่อยของไอน้ำต่างกัน 1 Pa ในเวลา 1 ชั่วโมง (ภาพที่ 2)

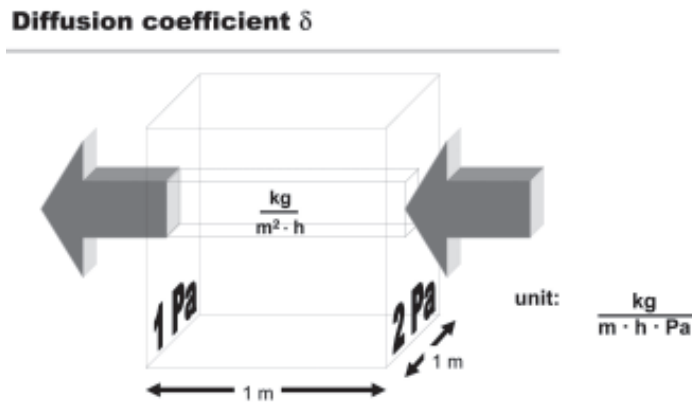
ค่าความต้านทานการแทรกซึมไอน้ำ (Resistance to water vapor diffusion) μ factor

คือ ความต้านทานไอน้ำแทรกซึมของวัสดุ ซึ่งเรียกสั้นๆ ว่า μ factor อธิบายถึงสัมประสิทธิ์การแทรกซึมไอน้ำในอากาศ δ_{air} ต่อ $\delta_{material}$ ของวัสดุนั้นๆ ตามภาพที่ 3

ค่ามิว เป็นตัววัดความสามารถในการต้านทานไอน้ำในเนื้อวัสดุ ซึ่งบอกเป็นจำนวนเท่าของวัสดุที่สามารถต้านทานไอน้ำ เทียบกับชั้นอากาศที่ความหนาเดียวกัน

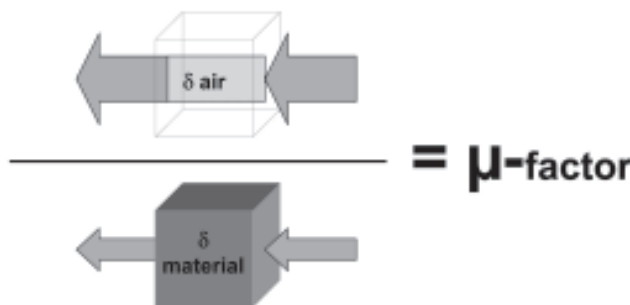
ค่าการซึมผ่านไอน้ำ เทียบเท่าที่ความหนาหนึ่ง Sd

ค่า Sd คือความหนาของชั้นอากาศ มีหน่วยเป็นเมตร แสดงให้เห็นถึงที่ความหนาของวัสดุเดียวกัน S ความต้านทานไอน้ำ m ดังตารางที่ 4 อากาศต้องหนาถึง 195 มิลลิเมตร จึงสามารถมีความต้านทานความชื้นได้เท่ากับ ฉนวนยาง class 1 ที่ความหนา 19 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2 แสดงสัมประสิทธิ์การซึมผ่านไอน้ำ

Resistance to water vapour diffusion factor μ



ภาพที่ 3 แสดงความต้านทานการซึมผ่านไอน้ำของวัสดุ ซึ่งแทนได้ด้วยค่ามิว

ตารางที่ 2 ค่า Sd ของฉนวนชนิดต่างๆ

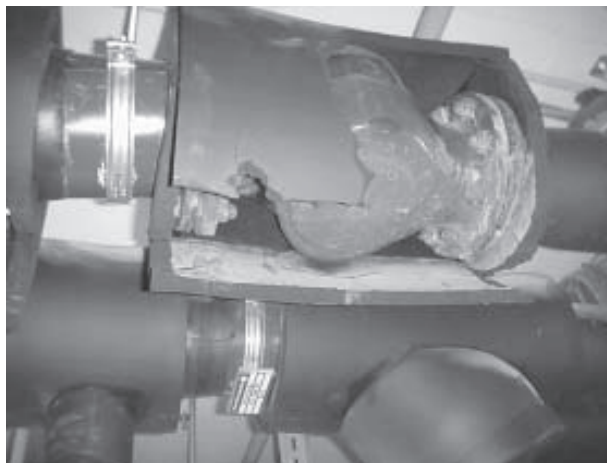
วัสดุ	ค่าการซึมผ่านไอน้ำ เทียบเท่าที่ความหนา หนึ่ง Sd
ใยหิน μ 3, S = 100 mm	Sd = 0.3 m
พอลิยูรีเทน μ 100, S = 100 mm	Sd = 10 m
Class 1 ฉนวนยาง μ 5000, S = 19 mm	Sd = 95 m

ตามที่ได้อธิบายในบทความข้างต้น ความหนาฉนวนในระบบเย็นต้องคำนวณและพิจารณาถึงปัจจัยหลายตัวก่อน เพื่อให้สามารถป้องกันการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ และเลือกใช้ฉนวนอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ตามสภาพอากาศต่างๆ ในระยะยาวในการพิจารณาเลือกใช้ฉนวน คุณสมบัติทางกายของวัสดุเป็นส่วนประกอบหนึ่งของการออกแบบระบบฉนวนที่ดี แต่เราจะพบว่าถึงแม้วัสดุฉนวนที่ดีที่สุด ก็สามารถเกิดปัญหาได้ ถ้าการติดตั้งไม่ดี

ในส่วนต่อไป เราจะไปศึกษาหลักการเบื้องต้นของการติดตั้งฉนวน โดยเฉพาะฉนวนยาง ซึ่งการติดตั้งของเนื้อฉนวนมีผลอย่างมาก

ส่วนที่ 5 การติดตั้งฉนวนยางให้มีประสิทธิภาพการใช้งานยาวนาน

ตามที่ได้อธิบายไปข้างต้น การเลือกใช้ฉนวนขึ้นกับหลายปัจจัยในงานระบบเย็น ในการเลือกใช้ฉนวนเพื่อป้องกันการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำในเนื้อวัสดุให้ได้ประสิทธิภาพในระยะยาว ยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงการติดตั้งฉนวนให้ถูกต้อง การติดตั้งฉนวนที่ดีจำเป็นต้องติดตั้งที่หน้างาน ซึ่งคุณสมบัติของฉนวนยาง Class 1 เป็นฉนวนที่เหมาะสมกับสภาพการติดตั้งหน้างาน เนื่องจากคุณสมบัติความยืดหยุ่นตัวสูง เชื่อมติดกันได้ง่าย และติดตั้งง่าย อย่างไรก็ตามผู้ผลิตฉนวนไม่สามารถที่จะรับประกันคุณภาพงานทั้งหมดได้ เนื่องจากการติดตั้งที่ไม่ดี โดยเฉพาะในงานเย็น ซึ่งในอนาคตอาจมีผลทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเมื่อใช้งานฉนวนที่มีการติดตั้งไม่ดี (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การติดตั้งที่ไม่ดีมีผลต่อฉนวนในระยะยาว

ในการติดตั้งฉนวนยางสิ่งที่สำคัญมากที่สุด คือ การเชื่อมต่อของฉนวน ซึ่งถือเป็นหัวใจหลักของงานติดตั้ง

ทำอย่างไรให้กาวยึดกับฉนวนได้แน่นและยาวนาน?

ตามมาตรฐาน DIN-EN 923 กาวยที่ใช้ทาติดกับฉนวนยางต้องเป็นกาวที่ไม่มีส่วนผสมของโลหะ และยังคงยึดแน่นระหว่างกาวกับฉนวน (adhesion) ระหว่างเนื้อกาวเองด้วย (cohesion)

Adhesion การยึดแน่นระหว่างวัสดุสองชนิด

คำว่า Adhesion มีรากศัพท์จากภาษาละตินว่า adhaerere เราจะพบปรากฏการณ์ adhesion อยู่ทุกวัน เช่น การทา กาวติดกระดาษกับเนื้อไม้ เป็นต้น ระยะห่างของโมเลกุลของวัสดุที่ติดกันห่างกันในระดับ นาโนเมตร (1 นาโนเมตร เท่ากับ 0.000000001 เมตร) ซึ่งเป็นระยะที่เราแทบจะไม่สามารถรู้สึกได้ด้วยตาคน เมื่อโมเลกุลของกาวและวัสดุมาอยู่ใกล้กันมาก มันจะชิดและติดกัน แต่มันก็ยังขึ้นพื้นผิวมันจะถูกกาวทำให้เปียกได้หรือไม่ถ้ามองผิวของวัสดุด้วยแว่นขยาย หรือกล้องจุลทรรศน์ เราพบว่าพื้นผิวที่เราเห็นว่าเรียบ กลับขรุขระเหมือนภูเขาซึ่งมีผลต่อการยึดติดของพื้นผิวเป็นอย่างมาก ยิ่งกาวสามารถไหลแทรกเข้าไปในพื้นที่ขรุขระนี้ได้มากเท่าใด การยึดติดแน่นก็จะมีมากขึ้นเท่านั้น

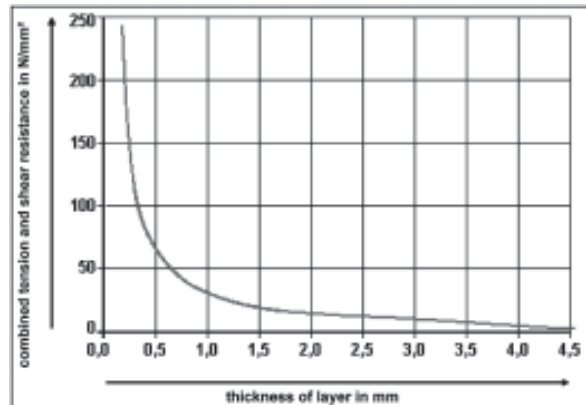
นอกจากนี้ เรายังต้องกล่าวถึงความสะอาดของพื้นผิวที่ยึดติดกัน เพราะการยึดติดแน่นจะเกิดขึ้นไม่ได้ถ้าวัสดุสองชนิดมีได้อยู่ใกล้กันมากเท่าที่ควร

Cohesion การยึดแน่นระหว่างวัสดุเนื้อเดียวกัน

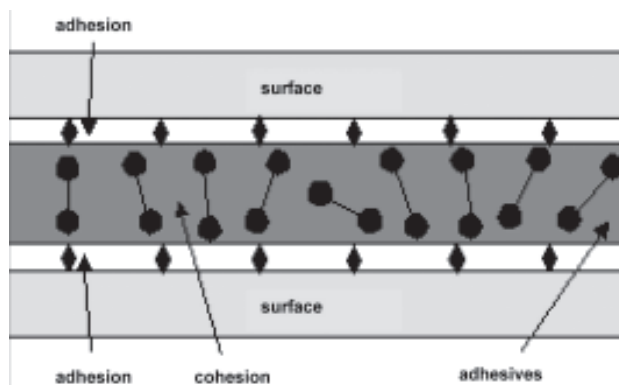
การยึดแน่น Adhesion ระหว่างกาวและพื้นผิวที่ติดกัน ไม่ได้รับประกัน การยึดแน่นของพื้นผิว

เราต้องพิจารณามากลงไปถึงการยึดแน่นของเนื้อกาวเอง คำว่า cohesion มีรากศัพท์ มาจากภาษาละตินคำว่า coherere ซึ่งแปลว่า ถูกเชื่อมกันไว้ (อาจกล่าวได้ว่า Cohesion คือ การติดภายในของ adhesive หรือกาว) ซึ่งจะเชื่อมโมเลกุลของกาวไว้ด้วยกัน (internal molecular force) เนื่องจากแรงยึดติดของโมเลกุลจะมีมากขึ้น เมื่อกาวเริ่มเหนียวมากขึ้น ค่าการยึดติดสูงสุด optimal cohesion จะเกิดขึ้นได้เมื่อกาวนั้นเกิดการ cure ขึ้นยิ่งค่า cohesion มีมากเท่าใด ความแข็งแรงในการยึดติดของกาวก็จะมีมากขึ้นเท่านั้น

สิ่งที่ต้องจำไว้ในกาวยึดติดตั้งเบื้องต้น คือ ต้องทา กาวให้บาง และเรียบทั่วพื้นผิวที่จะติดตั้ง ผู้ติดตั้งหลายรายคิดว่าการทา กาวจำนวนมาก จึงจะทำให้การยึดติดของกาวดี ซึ่งเป็นการเข้าใจที่ผิด ในภาพที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความเครียดที่เกิดจากการติดกาว (combined tension) และความต้านทานแรงเฉือนของกาวที่ทำไว้หนายังชั้นของกาวที่ทาหนา มากขึ้นเท่าใดค่า cohesion ก็จะมีค่าและไม่แข็งแรง ต้องทา กาวลงบนพื้นผิวทั้งสองด้านของวัสดุที่จะยึดติดกัน หรือทั้งกาวไว้ จนกระทั่งไม่เหนียวติดมือ (dry tacking time) วัสดุที่ทา กาวทั้งสองด้านสามารถยึดติดแน่นได้ด้วยการใช้แรงกดเข้าหากันให้มากที่สุด ซึ่งทำให้ตัวทำละลายกาวระเหยออก และเหลือไว้แต่โมเลกุลของกาวที่จะยึดติดแน่น กับเนื้อวัสดุทั้งสองด้าน โมเลกุลของวัสดุจะถูกเปลี่ยนรูปไปและค่า adhesion จะมากกว่าค่า cohesion นอกจากนี้แรงกดที่อัดวัสดุทั้งสองด้านเข้าหากันช่วยเพิ่มแรง adhesion เพื่อที่จะทำให้ การยึดแน่นมีได้มากขึ้น ต้องเพิ่มแรงอัดเข้าไป เป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งทำให้การยึดติดดีและกาวที่ติดแน่นยังยืดหยุ่นได้เพื่อรับแรงต่าง ๆ ได้ดีมากขึ้น



ภาพที่ 2 แสดงความเครียดที่เกิดจากการติดกาว (combined tension) และความต้านทานแรงเฉือนของกาวที่ทำไว้หนา



ภาพที่ 3 ภาพอย่างง่ายแสดงคุณสมบัติ ของ Adhesion และ Cohesion

กาวที่ดีคืออย่างไร ?

การยึดติดที่ดีเกิดได้เมื่อมีการเลือกใช้กาวที่เหมาะสมกับพื้นผิวและวัตถุประสงค์การใช้งานในงานติดตั้งฉนวนยางดำ กาวที่เชื่อมติด (contact adhesive) เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งขึ้นกับชนิดของตัวทำละลายกาว พอลิเมอร์ที่ผสมอยู่ในเนื้อกาว และยางสังเคราะห์ที่ผสมอยู่ในกาว กาวที่ใช้เชื่อมติด อาจจะไม่เหมาะสมกับ วัสดุ เช่น ไม้ ผนัง พลาสติก ยาง หรือ โฟม ความเหมาะสมของกาวที่เชื่อมติด เหมาะกับพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุน ซึ่ง contact adhesive เป็นกาวชนิดที่ ต้องการการ cure หรือทำปฏิกิริยาการอัดแน่นก่อน จึงจะติดแน่น ระยะเวลาที่กาวไม่เหนียวติดมือ **dry tacking time** และ เวลาที่ใช้ในการยึดติด **adhesion time** และเวลาที่กาว **cure, curing time**

Dry tacking time คือ เวลาที่ตัวทำละลายใน

กาวระเหยออกจากเนื้อกาว ทำให้เกิดเป็นฟิล์มของกาวติดอยู่บนพื้นผิวของวัสดุทั้งสองด้าน เวลา **dry tacking time** ขึ้นกับปริมาณกาวที่กาวลงไปบนเนื้อวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้น เราสามารถทดสอบ **dry tacking time** ได้โดยเอาปลายเล็บแตะกับกาว ถ้ากาวไม่เหนียวติดเล็บ แสดงว่า ตัวทำละลายได้ระเหยไปแล้ว ในช่วงเวลานี้เราสามารถที่จะเพิ่มแรงอัดเข้าไป และเนื้อกาวจะติดกันด้วยแรง **adhesion** เรียกว่า **open time** ซึ่งเวลาช่วงนี้จะสั้นหรือยาว ขึ้นกับอุณหภูมิภายนอก ซึ่งโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที แต่อย่างไรก็ตามรอยต่อจะแน่นขึ้น ถ้ากาวได้ **cure** ซึ่งใช้เวลาประมาณ 36 ชั่วโมง ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรอให้กาว **cure** ก่อนที่จะเริ่มการใช้งานระบบเย็น

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งานกา

ช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการตากกาอยู่ในช่วง 15-20 องศาเซลเซียส แต่ในทางปฏิบัติ เราไม่สามารถทำงานในช่วงดังกล่าวได้ ซึ่งเรามักพบว่า อุณหภูมิที่เราต้องทำงานมักอยู่ในช่วง 5 องศาเซลเซียส ซึ่งในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ความร้อนแฝงของการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำของกา จะทำให้เกิดหยดน้ำที่พื้นผิวของกาที่ทาไว้ ซึ่งทำให้การยึดติดแบบ **adhesion** เกิดขึ้นได้ยากมาก การยึดติดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ซึ่งการทำงานเป็นไปได้อย่าง กับระบบที่ไม่สามารถหยุดได้

Partition Bonding การยึดติดบางส่วน

เมื่อมีการทำงานกับฉนวนยาง เราต้องเพิ่มความระมัดระวังเกี่ยวกับการยึดติดของกาบางส่วน **partition bonding** ที่ปลายสุดของฉนวน จำเป็นที่จะต้องมีการตากกาติดกับเนื้อท่อทุกๆ ช่วง 2 เมตร เป็นอย่างน้อย เพื่อให้มั่นใจว่า ถึงแม้จะมีความชื้นบางส่วนแทรกซึมเข้ามากระหว่างรอยตะเข็บหน้าแปลนหรือรอยต่อส่วนต่างๆ ความชื้นนี้จะไม่ลามต่อไปยังส่วนอื่นๆ ของระบบ ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้ทำให้สามารถซ่อมแซมงานฉนวนเฉพาะส่วนที่มีปัญหาเท่านั้น และไม่ส่งผลกระทบต่อส่วนอื่นๆ นอกจากนี้ ยังทำให้สามารถหาสาเหตุของจุดที่มีการรั่วซึม หรือหรือรอยตะเข็บในส่วนต่างๆ ได้ง่ายกว่า ด้วย ซึ่งจุดที่เกิดจะเป็นได้ง่ายกับจุดที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ ในระบบ ตัวกรองฝุ่น หรือบริเวณที่เกิด **thermal bridge** ได้ง่าย ซึ่งการทำ **partition bonding** จะช่วยลดปัญหาจุดอ่อนเหล่านี้ได้เป็นอย่างมาก นอกจากนี้ เรายังอาจใช้เทปฉนวนที่มีกาติดอยู่ในตัวติดยึดกับรอยตะเข็บ เพื่อป้องกันความชื้นแทรกซึมได้อีกด้วย



ภาพที่ 4 การทำ Partition bonding เพื่อป้องกันความชื้นแทรกซึมผ่านเข้าในระบบท่อ

การมีเทคนิคของฉนวนที่ดี ประกอบกับการติดตั้งที่ถูกต้อง ถือเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยทำให้ระบบการทำงานของฉนวนดีขึ้น ในส่วนสุดท้ายจะได้กล่าวถึง ข้อมูลเบื้องต้นอื่นๆ ที่ทำให้การติดตั้งดีขึ้น

ส่วนที่ 6 จุดสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการติดตั้งฉนวนยาง

ในส่วนที่ 5 ได้กล่าวถึงเทคนิคในการติดตั้งฉนวนในระบบเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อให้ระบบฉนวนสามารถมีอายุการใช้งานที่ยาวนานได้ การเลือกใช้กาที่ถูกต้อง การเลือกใช้กาให้เหมาะสมกับการใช้งาน วิธีการยึดติดที่ถูกหลัก ฯลฯ เรื่องเหล่านี้มีรายละเอียดปลีกย่อยจำนวนมาก เทคนิคการติดตั้งไม่ได้ขึ้นกับการตัดต่อช่องอวาล์ว หรือปั๊ม เท่านั้น ในส่วนสุดท้ายนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดปลีกย่อยต่อไปนี้

Engineered Wall Thickness

การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ จะไม่เกิดถ้าทุกจุดที่ผิวฉนวนอย่างน้อยมีอุณหภูมิเท่ากับ หรือไม่สูงกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อุณหภูมิห้องนั้นๆ และความหนาของฉนวนที่ถูกต้องก็จะสามารถป้องกันการเกิดหยดน้ำได้เช่นกัน

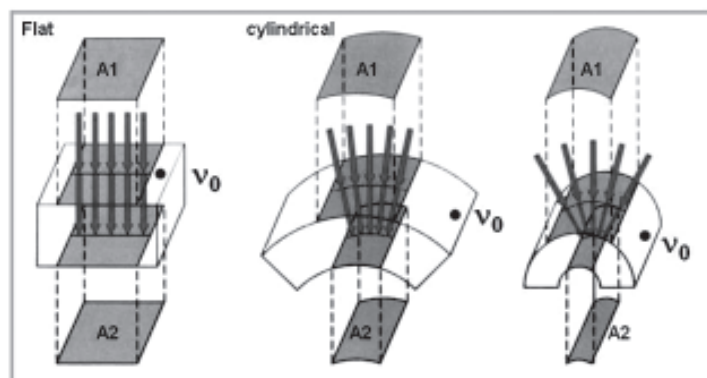
ในภาพที่ 1 ที่พื้นที่ผิวชนิดต่างๆ ที่มีอุณหภูมิที่พื้นผิวเท่ากัน ดังในภาพที่ 1 $U_{01} = U_{02} = U_{03}$ ซึ่งความหนาแน่นของปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทไปยังพื้นผิวมีหน่วยเป็น ปริมาณความร้อนต่อตารางเมตรของพื้นผิวฉนวน ต้องเท่ากันเช่นกัน ในกรณีนี้ที่ฉนวนเป็นรูปทรงกระบอก ความหนาแน่นของความร้อนที่ถ่ายเทไปยังพื้นผิวย่อมลด ($A1 > A2$) จึงเป็นสาเหตุว่าทำไมความร้อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ผิวทรงกระบอกจึงต่ำกว่า ในพื้นผิวแบนราบ และความหนาของฉนวนที่หุ้มท่อจึงต่ำกว่าความหนาของฉนวนที่หุ้มบนผิวเรียบต่างๆ ที่ปริมาณความหนาแน่นของความร้อนที่ผ่านลงมามีค่าเท่ากัน ในการคำนวณหาอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก และภายในของฉนวนท่อ จึงจำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางมากำหนดหาความหนาของฉนวนเสมอ

แนวความคิดเกี่ยวกับ Engineered Wall Thickness ซึ่งความหนาของฉนวนเป็นไปตามชนิดที่กำหนดเป็นตัวอักษร เช่น series D, M, R, T, U หรือ V เป็นต้น

ทำไมจึงต้องการความหนาของฉนวนแตกต่างกันในท่อขนาดแตกต่างกัน ?

ในขณะที่ฉนวนที่ใช้หุ้มท่อที่มีความหนาเปลี่ยนไปตามลักษณะของ Engineered wall thickness แต่ในการติดตั้งฉนวนชนิดแผ่นลงบนท่อรูปทรงกระบอก ต้องมีการคำนึงของรูปทรงของท่อด้วย โดยทั่วไปฉนวนที่เป็นท่อจะมีขนาดใหญ่สุดที่เส้นผ่าศูนย์กลาง 160 mm ดังในการหุ้มท่อที่มีขนาดใหญ่กว่านั้น ต้องใช้ฉนวนชนิดแผ่นมาหุ้มซึ่งความหนาที่ใช้ต้องมีการคำนึงถึงรูปร่างของฉนวนด้วย

Why different insulation thicknesses for different pipe diameters?



ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นถึงรูปทรงของท่อ และพื้นแบนราบ จะเกิดความร้อนสะสมที่พื้นผิวแตกต่างกัน

อย่างไรก็ตาม มีผู้ผลิตฉนวนไม่กี่ราย ที่คำนึงถึงลักษณะการถ่ายเทความร้อนตามความหนาแน่นของพื้นที่ผิวทรงกระบอก และพื้นผิวราบ ดังนั้นความร้อนที่ผ่านลงในพื้นผิวของฉนวนจะมีค่าเท่ากันทุกทิศทาง ซึ่งหมายความว่า ความหนาของฉนวนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ใหญ่ขึ้น

ในบางกรณีมีการใช้ฉนวนแผ่นกับงานท่อ เช่น ในกรณีของห้อง ซึ่งนิยมใช้ฉนวนที่เป็นแผ่นมาหุ้มมากกว่า ในบทความนี้เรายังเน้นถึงการใช้ฉนวนแผ่นหุ้มท่อขนาดใหญ่เพื่อลดความเครียดของยางที่บริเวณรอยตะเข็บที่อาจเกิดขึ้นขณะที่หุ้มท่อ ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติฉนวนแผ่นจะเรียบ เมื่อต้องมีการงอฉนวน

ให้เป็นไปตามรูปทรงกระบอกของท่อ จะเป็นผลทำให้เกิดรูปทรงที่ไม่เป็นไปตามธรรมชาติของฉนวนแผ่น ดังนั้นเมื่อมีการหุ้มท่อจึงเกิดแรงดึงแผ่นยางที่บริเวณรอยตะเข็บตามแนวยาว ซึ่งกาวที่ใช้ต่อรอยตะเข็บจะเป็นตัวรับแรงดังกล่าวนี้ ดังนั้นจึงต้องใส่ใจในเรื่องรายละเอียดความเรียบร้อยในการทากาวบริเวณรอยตะเข็บโดยสังเกตว่าทุกครั้งที่มีการติดกาวต้องติดหลังจากกาวแห้งแล้วไม่เหนียวติดมือ จึงจะกดฉนวนเข้าหากัน แรงเครียดที่เกิดขึ้น จะเพิ่มตามความหนาของฉนวนที่เพิ่มขึ้น แต่เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลดลง จึงแนะนำให้ใช้ฉนวนแผ่นที่มีความหนาเพิ่มขึ้นกับท่อที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ อุณหภูมิในระหว่างการติดตั้งเป็นสิ่งที่สำคัญต่อแรงเครียดของยางยิ่งอุณหภูมิในระหว่างการติดตั้งต่ำเท่าใหร่ยังมีแรงเครียดเกิดขึ้นมากเท่านั้น ในตารางที่ 1 แสดงถึงความหนาของฉนวนแผ่นที่มีการติดตั้งบนท่อขนาดต่างๆ

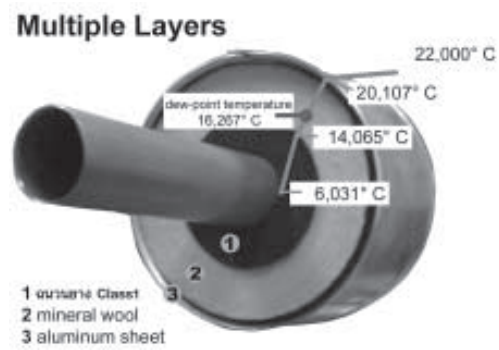
ตารางที่ 1 การติดตั้งฉนวนแผ่นบนพื้นผิวโค้ง (ท่อ)

Ø	ชนิดของฉนวนยาง ฉนวนยาง							
	O.D.	F	H	K	M	R	T	V
mm.	10±1mm	13±1mm	16±1mm	19±1mm	25±1mm	32±1mm	50±1mm	
≥ 80
≥114
≥134
≥160
≥600

การหุ้มฉนวนยางกับแฉีกเก็ทชนิดอื่นๆ

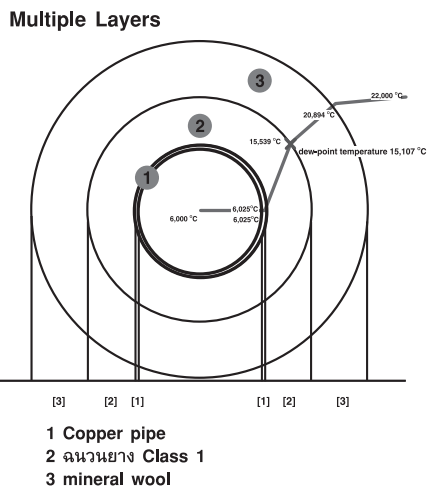
ในบางกรณี เช่นการป้องกันไฟไหม้ เพื่อให้อุปกรณ์เครื่องมือกลต่างๆ ได้รับการป้องกัน หรือป้องกันสารอื่นๆ ในระหว่างการทำความสะอาด การหุ้มแฉีกเก็ทโลหะ จะเป็นตัวช่วยป้องกันผิวของฉนวนยางได้อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นผลทำให้สัมประสิทธิ์

การถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนไป ตามที่ได้กล่าวไว้ในส่วนที่ 4 ความหนาของฉนวนของเพิ่มขึ้น เพื่อให้หมุดที่ใช้ติดตัวแฉีกเก็ทโลหะเจาะทะลุเข้าไปในเนื้อฉนวนทั้งนี้ จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากเนื้อหมุดที่เป็นโลหะไปยังฉนวนได้มากขึ้น ในบางกรณีเพื่อไม่ให้เกิดค่าใช้จ่ายของฉนวนเพิ่มสูงขึ้น อาจใช้ฉนวนชนิดเซลเปิด เช่น ฉนวนใยหินมาหุ้ม เพื่อลดผลของการถ่ายเทความร้อนจากหมุด แต่ผลที่ตามมา คือ อุณหภูมิที่ผิวฉนวนจะลดต่ำลงมาก ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิจุดน้ำค้างเปลี่ยนไปตามค่าของ ฉนวนเซลเปิดตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อุณหภูมิในส่วนต่างๆของฉนวนอุณหภูมิจุดน้ำค้าง จะเปลี่ยนจากของฉนวนยางเป็นของฉนวนเซลเปิด

มีทางเลือกในการติดตั้งฉนวนโดยการมีช่องอากาศ โดยเจาะรูผ่านแฉีกเก็ทตามมาตรฐาน DIN4140 Abs 4.3 กล่าวไว้ว่าสามารถที่จะแยกแฉีกเก็ทกับฉนวนออกจากกันได้โดยการเจาะช่องระบายอากาศ เพื่อให้ความชื้นที่อยู่ระหว่างชั้นฉนวนกับแฉีกเก็ทสามารถระบายออกได้ และเกิดหยดน้ำน้อยลง แต่ทั้งนี้การทำงานดังกล่าวต้องมีพื้นที่สำหรับการทำช่องระบายอากาศด้วยในบางงาน ฉนวนยางต้องการการป้องกันไฟ แต่ต้องมั่นใจว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างต้องเป็นค่าของฉนวนยางเซลปิด แต่ทั่วไปการติดตั้งฉนวนหลายชั้น ก็จำเป็นต้องเพิ่มความหนาของฉนวนยางตามไปด้วย



ภาพที่ 3 เพื่อให้อุณหภูมิจุดน้ำค้างยังคงเป็นค่าของฉนวนยางเซลลูลาร์ ต้องเพิ่มความหนาของฉนวนเป็นสามเท่าจึงจะทำเช่นนั้นได้

ฉนวนยางเซลลูลาร์ป้องกันการกัดกร่อนได้หรือไม่

ในการก่อสร้างงานระบบ อุปกรณ์หลายตัวเช่น วาล์ว บั๊ม ตัวกรอง และอุปกรณ์ที่มีช่องอากาศอยู่ในฉนวนที่หุ้มนั้น วิศวกรผู้ออกแบบมักจะเกรงว่าเกิดการกลั่นตัวของอากาศกลายเป็นหยดน้ำได้จึงพยายามที่จะมีการใส่วัสดุฉนวนลงในช่องอากาศเหล่านั้นซึ่งโดยทั่วไปวัสดุที่เลือกใช้ คือ โยหิน ในทางปฏิบัติถ้ามีการทำงานต่อรอยต่ออย่างถูกต้อง ไม่มีความจำเป็นต้องใส่วัสดุฉนวนเพื่ออุดช่องอากาศในอุปกรณ์ดังกล่าว ในทางตรงข้าม อากาศที่อยู่ภายในช่องว่าง เช่น ในการหุ้มวาล์ว ช่องอากาศ ดังกล่าว ดังสามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนการความร้อนได้ในตัว และอีกประการหนึ่ง ปริมาณอากาศที่อยู่ในช่องฉนวนนั้นมีปริมาณน้อยมาก จึงไม่สามารถที่จะทำให้เกิดการกัดกร่อนหรือเกิดหยดน้ำได้ภายในอุปกรณ์

ตัวอย่างแสดงอุณหภูมิของฉนวนที่หุ้ม

อุณหภูมิของอากาศที่อยู่ภายในอุปกรณ์ที่หุ้มฉนวน 20°C
ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 100%
ปริมาณความชื้นสูงสุดในอากาศ 17.3 g/m³
ที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ 70% จะมีปริมาณความชื้นอยู่ที่ 12.1 g/m³ ปริมาตรของอากาศที่อยู่ภายในหน้าแปลนขนาดกลางจะมีน้ำอยู่ประมาณ

0.03 g ซึ่งน้ำปริมาณดังกล่าว ไม่สามารถที่จะกัดกร่อนโลหะให้เสียหายได้ แม้จะมีอยู่ในเวลานาน

ในบทความส่วนที่ 6 นี้ เป็นบทสุดท้าย ซึ่งในบทก่อนหน้านั้น เราได้กล่าวถึงความสำคัญและหลักการในการเลือกฉนวนในการใช้งานเพื่อให้ได้อายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่ทั้งนี้ เรายังไม่ได้กล่าวครบทุกจุด เช่น ระบบฉนวนที่ดีต้องมีการเตรียมพื้นผิวที่จะติดตั้งก่อนการทำงานต่อ และอุปกรณ์ที่อาจเสี่ยงต่อการกัดกร่อน ต้องมีการหุ้มฉนวนที่ออกแบบมาสำหรับที่อุณหภูมิต่ำ และที่ขาดไม่ได้คือ กาวที่ดีย่อมมีผลต่อการป้องกันการกัดกร่อนได้ในอนาคตเช่นกัน

เอกสารประกอบการเขียน

- 1) DIN 4140, Ausgabe 11/96: Dämmarbeiten an betriebs- und haustechnischen Anlagen-Ausführung von Wärme- und Kälte-Dämmung, Beuth-Verlag, Berlin
- 2) AGI Q 03, Ausgabe 06/97: Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen-Ausführung von Wärme- und Kälte-Dämmungen, (Hg.): Arbeitsgemeinschaft Industriebau e.V.
- 3) Technischer Brief Nr. 7, Ausgabe 04/96: Grundlagen der Kälteisolierung, (Hg.): Bundesfachabteilung WKSB im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.
- 4) Horst Herr: Wärmelehre-Technische Physik, Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten 1989
- 5) Dipl.-Ing. Michaela Störkmann: Kälteisolierung mit flexiblen Dämmstoffen, Isoliertechnik 4/98, Lambda Verlag Gars
- 6) Dipl.-Ing. Hubert Helms und Michael Weber: Richtige Verarbeitung von elastomeren Dämmstoffen. Isoliertechnik 3/99, Lambda Verlag, Gars
- 7) Technical documents of Armacell GmbH, Münster, Germany