

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างเครื่องทดสอบความคืบ โดยแบ่งออกเป็น 1) ทฤษฎีการคืบ (creep theory) 2) ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (heat transfer theory) และ 3) ทฤษฎีการควบคุมแบบพีไอดี (PID control theory) ตามลำดับ

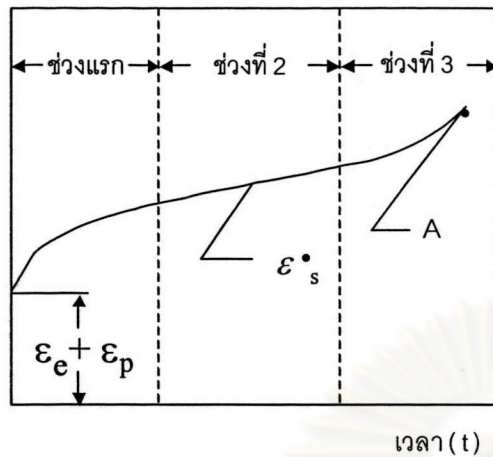
2.1 ทฤษฎีการคืบ

การคืบ หมายถึง การเสียรูปอย่างถาวรของวัตถุที่ขึ้นกับเวลา (time-dependent deformation) ภายใต้ภาระสถิต (static load) ที่ทำให้เกิดความเค้นซึ่งมีขนาดน้อยกว่าความต้านแรงดึงคราก (yield strength) ของวัสดุ การเสียรูปเนื่องจากการคืบจะเริ่มมีความสำคัญที่อุณหภูมิตั้งแต่ 0.4 เท่าของอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวโดยประมาณ^[1,2] การศึกษาพฤติกรรมการคืบของวัสดุมีความสำคัญสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากการคืบของวัสดุอาจเป็นเงื่อนไขที่จำกัดอายุใช้งานของชิ้นส่วน ยกตัวอย่างเช่น ใบพัดของกังหัน (turbine blade) ที่อยู่ในอุณหภูมิสูงและรับความเค้นเนื่องจากภาระหนีศูนย์กลาง จะมีความยาวเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการคืบ ในกรณีนี้จะต้องมีการเปลี่ยนใบพัดตามช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อมิให้ปลายของใบพัดแตะกับผนังด้านในของตัวเรือน (housing) ของกังหัน เป็นต้น

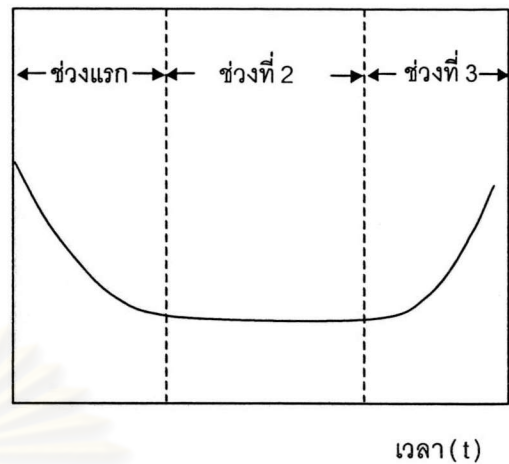
2.1.1 กราฟพฤติกรรมการคืบ

ปริมาณพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการคืบ ประกอบด้วย ความเครียด (strain) ϵ , ความเค้น (stress) σ , เวลา t และอุณหภูมิ T

การทดสอบการคืบโดยทั่วไป ทำโดยให้ภาระสถิตกับชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิคงที่ จากนั้นบันทึกระยะเคลื่อนตัวของชิ้นงานทดสอบที่เวลาต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบแตกหัก ระยะเคลื่อนตัวที่ได้จะถูกนำมาคำนวณหาความเครียดคืบของชิ้นงานขณะเวลาใด ๆ ซึ่งเมื่อพล็อตเทียบกับเวลาจะได้ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก) กราฟรูปนี้จะแสดงพฤติกรรมการเสียรูปคืบ (creep deformation behavior) ของวัสดุ จากกราฟในรูปที่ 2.1(ก) จะสามารถพล็อตกราฟอัตราการคืบกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ข) ได้

ความเครียด(ϵ)

(ก)

อัตราการคืบ($d\epsilon/dt$)

(ข)

รูปที่ 2.1 พฤติกรรมการคืบ

(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและเวลา

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคืบและเวลา

โดยทั่วไปเส้นกราฟจะแบ่งออกเป็น 3 บริเวณ^[1] คือ 1) การคืบช่วงแรก (primary creep) 2) การคืบช่วงที่สอง (secondary creep) และ 3) การคืบช่วงที่สาม (tertiary creep) ตามลำดับ และในช่วงที่สามนี้จะถือว่าชิ้นงานจะเสียหาย หรือขาดจากกันที่จุด A (fracture point) ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ก)

จากรูปที่ 2.1(ข) จะเห็นว่า อัตราการคืบ (creep rate) ในช่วงแรก จะมีค่าสูง ณ ตอนเริ่มต้น แต่จะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จนกระทั่งมีค่าคงที่ในการคืบช่วงที่สอง หลังจากนั้นจะเข้าสู่การคืบช่วงที่สาม อัตราการคืบจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งชิ้นงานทดสอบเสียหาย ตารางที่ 2.1 สรุปผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการคืบในบริเวณต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการคืบในบริเวณต่าง ๆ

| บริเวณการคืบ | อุณหภูมิ | พฤติกรรม |
|--------------|-----------------------------------|--|
| ช่วงแรก | $T > 0.4T_m$ หรือ $T \leq 0.4T_m$ | $\dot{\epsilon}$ ลดลงเมื่อเวลา และความเครียดเพิ่มขึ้น |
| ช่วงที่สอง | $T \geq 0.4T_m$ | $\dot{\epsilon}$ มีค่าคงที่ |
| ช่วงที่สาม | $T \geq 0.4T_m$ | $\dot{\epsilon}$ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลา และความเครียดเพิ่มขึ้น |

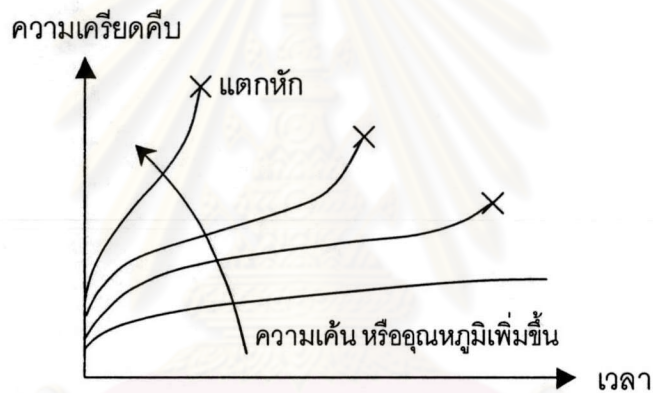
โดยที่ T_m คือ อุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวของวัสดุ

$\dot{\epsilon}$ คือ อัตราการคืบของวัสดุ

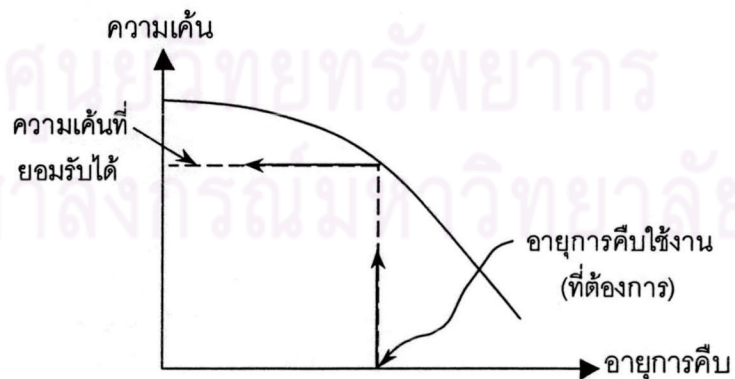
2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการคืบ

ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมการคืบ ได้แก่ ความเค้น และอุณหภูมิ รูปที่ 2.2 แสดงผลของตัวแปรทั้งสองต่อพฤติกรรมการคืบ จากรูปจะเห็นว่าอายุการคืบ (creep rupture life หรือเรียกย่อ ๆ ว่า creep life)¹ ลดลงเมื่ออุณหภูมิหรือความเค้นที่กระทำเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 2.2 ถ้านำความเค้น และอายุการคืบ (ที่ความเค้นต่าง ๆ ณ อุณหภูมิเดียวกัน) มาพล็อตจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2.3 กราฟรูปนี้มีชื่อเรียกว่า กราฟการเสียหายคืบ (creep rupture curve) กราฟรูปนี้มีบทบาทในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ที่อุณหภูมิสูง เพราะสามารถใช้หาความเค้นที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ โดยชิ้นส่วนไม่เสียหายเนื่องจากการคืบในระยะเวลาที่กำหนด (อายุใช้งานที่ต้องการ)



รูปที่ 2.2 พฤติกรรมการคืบที่อุณหภูมิ และความเค้นต่าง ๆ



รูปที่ 2.3 กราฟการเสียหายคืบ

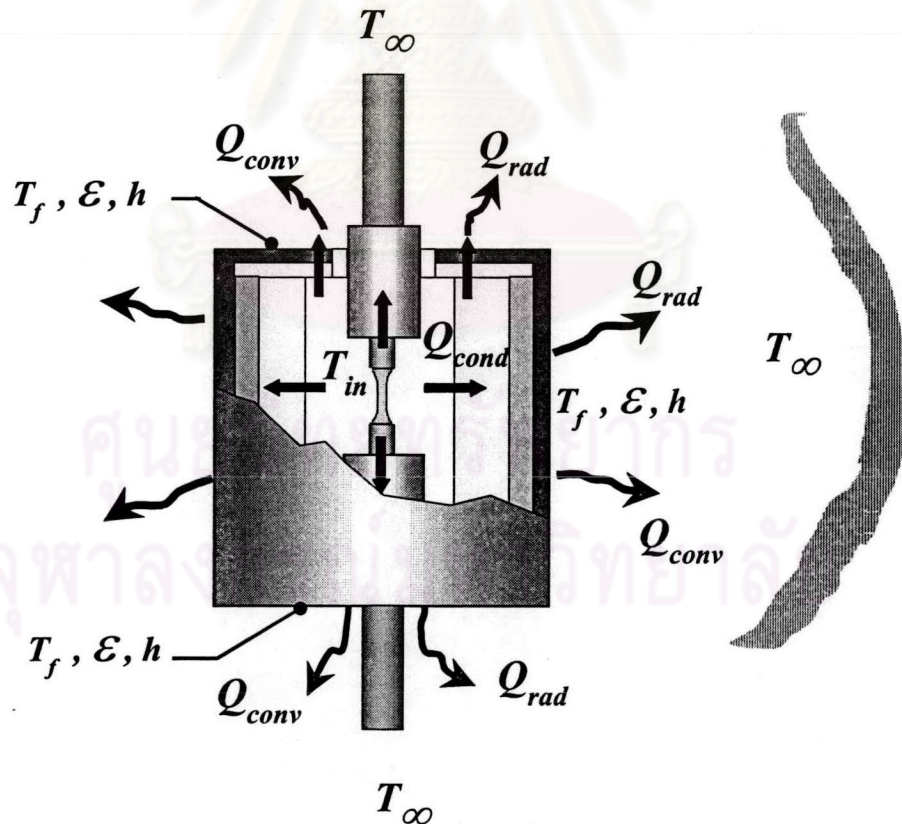
¹ ระยะเวลา นับจากเริ่มทดสอบถึงตอนที่ชิ้นงานขาดจากกัน

2.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนที่จะกล่าวในหัวข้อนี้ เป็นพื้นฐานสำหรับการคำนวณหากำลังงานของเตาความร้อนที่ต้องใช้เพื่อสร้างอุณหภูมิในเตาให้ได้ตามที่ต้องการ

รูปที่ 2.4 แสดงการสูญเสียความร้อนจากเตารูปทรงกระบอกวางตั้งที่มีฉนวน และเปลือกเตาหุ้มอยู่ โหมดการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นมีดังนี้

- 1) การนำความร้อน (heat conduction) ผ่านผนังราบหลายชั้น
- 2) การนำความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกหลายชั้น
- 3) การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (natural convection) ของแผ่นแบนวางตั้ง
- 4) การพาความร้อนแบบธรรมชาติของแผ่นแบนวางนอน
- 5) การนำความร้อนผ่านครีบทรงกระบอก
- 6) การแผ่รังสีระหว่างวัตถุขนาดเล็กกับวัตถุขนาดใหญ่ (โดยวัตถุขนาดใหญ่ล้อมรอบวัตถุขนาดเล็ก)



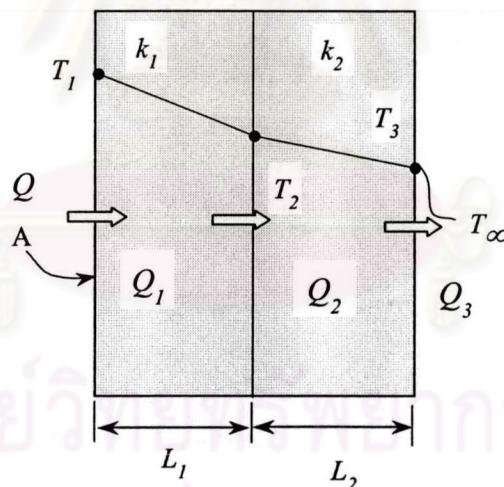
รูปที่ 2.4 โหมดการสูญเสียความร้อนของเตาความร้อน

2.2.1 การนำความร้อนผ่านผนังราบหลายชั้น

ผิวด้านบน และด้านล่างของเตาความร้อนสามารถจำลองเป็นกรณีการนำความร้อนผ่านผนังราบสองชั้นได้ (รูปที่ 2.5) หากพิจารณาการถ่ายเทความร้อนในสถานะคงตัว (steady state) จะได้ อัตราการนำความร้อน Q คือ ^[4,5]

$$Q = \frac{A(T_1 - T_3)}{\left(\frac{L_1}{k_1}\right) + \left(\frac{L_2}{k_2}\right)} \quad (\text{วัตต์}) \quad (2.1)$$

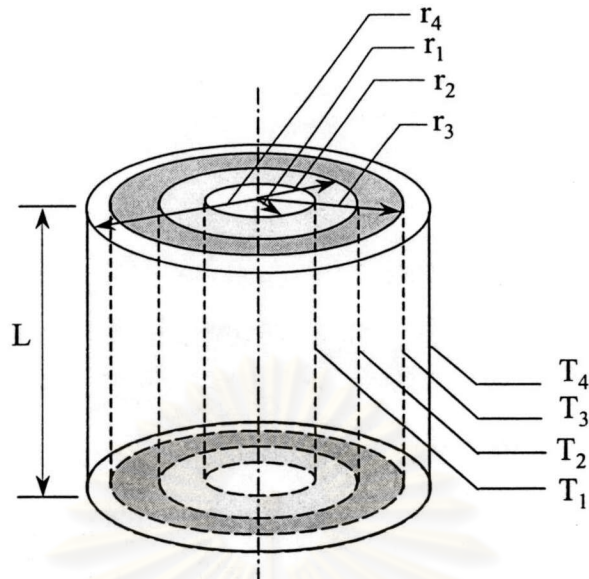
- โดย T_i คือ อุณหภูมิที่ผิวที่ i ($^{\circ}\text{C}$)
 A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับทิศการนำความร้อน (m^2)
 k_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (heat conduction coefficient) ในตัวกลางชั้นที่ i ($\text{W/m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
 L_i คือ ความหนาของผนังชั้นที่ i (m)



รูปที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังราบหลายชั้น

2.2.2 การนำความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกหลายชั้น

เปลือกด้านข้างของเตาความร้อนที่เป็นเหล็ก และฉนวนที่หุ้มด้านใน สามารถจำลองเป็นกรณีการนำความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกหลายชั้นได้ (รูปที่ 2.6) หากพิจารณาการถ่ายเทความร้อนในสถานะคงตัว จะได้ อัตราการนำความร้อน Q คือ ^[4,5]



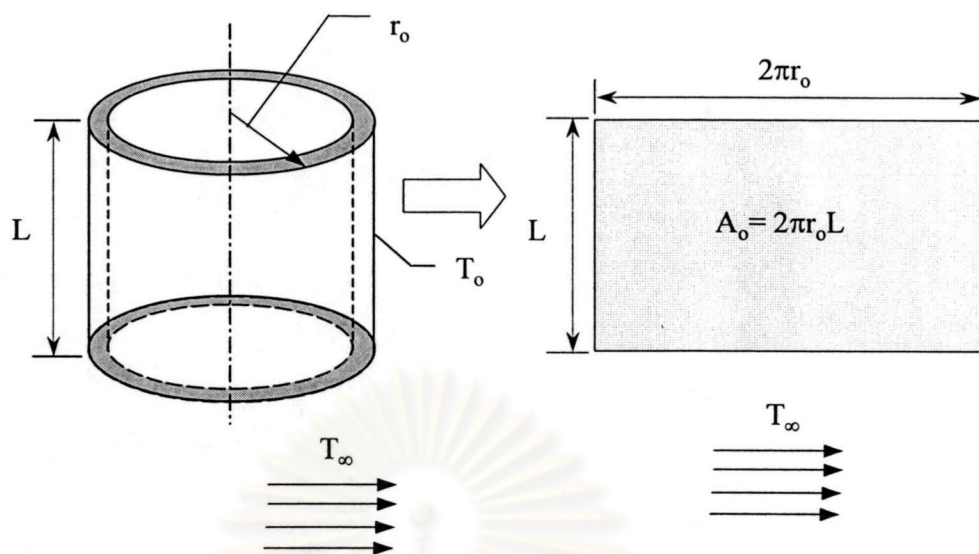
รูปที่ 2.6 การนำความร้อนใน 1 มิติผ่านผนังทรงกระบอกหลายชั้น

$$Q = \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_2 L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_3 L}} \quad (\text{วัตต์}) \quad (2.2)$$

- โดย T_i คือ อุณหภูมิที่ผิวที่ i ($^{\circ}\text{C}$)
 A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับทิศการนำความร้อน (m^2)
 L คือ ความสูงของเตาความร้อน (m)
 k_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวกลางชั้นที่ i ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$)
 r_i คือ รัศมีด้านในของชั้นที่ i (m)

2.2.3 การพาความร้อนแบบธรรมชาติของแผ่นแบนวางตั้ง

สมมติว่าการพาความร้อนที่ผนังเตาด้านนอกสามารถหาได้โดยประมาณให้ผนังด้านนอกของเตาความร้อนเป็นแผ่นแบนวางตั้งไว้ในอากาศ (รูปที่ 2.7) และก่อนจะคำนวณหาอัตราการพาความร้อนจำเป็นต้องหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convection heat transfer coefficient ; h) เสียก่อน ซึ่งโดยทั่วไปค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน จะขึ้นกับ ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด และ ความเร็ว ของของไหล จึงมีรูปความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงประจักษ์ (empirical relation) ในกรณีที่ไม่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับของไหล อาจต้องใช้ค่าประมาณ เช่น ในกรณีของการพาแบบธรรมชาติ มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน อยู่ในช่วง $3.5\text{-}50 \text{ W}/\text{m}^2$ [5]



รูปที่ 2.7 การประมาณผนังเตาด้านนอกให้เป็นเสมือนแผ่นแบนตั้งฉากในแนวตั้ง

ในกรณีต้องการหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนให้แม่นยำแล้ว จะต้องมีการหาค่าพารามิเตอร์ไร้มิติ (dimensionless parameter) ต่าง ๆ สำหรับกรณีแผ่นแบนวางตั้งในสถานะคงตัวจะได้^[4]

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (2.3)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.4)$$

$$Ra = \frac{\frac{g}{T}(T - T_{\infty})L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (2.5)$$

$$h = Nu \frac{k}{L} \quad (2.6)$$

และปริมาณความร้อนสูญเสียที่ผิว Q_s คือ

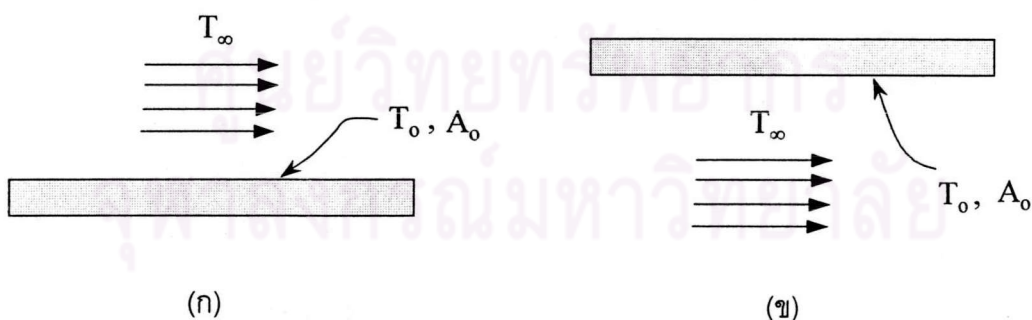
$$Q_s = hA_o(T_o - T_{\infty}) \quad (2.7)$$

- โดย Nu คือ Nusselt number
 Pr คือ Prandtl number
 Ra คือ Rayleigh number
 L คือ ความยาวคุณลักษณะ (characteristic length)
 ν คือ Kinematic viscosity ของอากาศ
 k คือ Thermal conductivity ของอากาศ
 α คือ Thermal diffusivity ของอากาศ
 g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก
 h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (ที่ผิวบน)
 A_o คือ พื้นที่ตั้งฉากกับการนำความร้อน
 T_o คือ อุณหภูมิด้านนอกของชั้นนอกสุด
 r_o คือ รัศมีด้านนอก
 T_∞ คือ อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

2.2.4 การพาความร้อนแบบธรรมชาติของแผ่นแบนวางนอน

1) สำหรับแผ่นแบนวางนอนและมีการพาความร้อนที่ผิวบน (รูปที่ 2.8(ก)) จะได้ Nusselt number ดังนี้

$$Nu = \begin{cases} 0.54Ra^{1/4} & 10^4 \leq Ra \leq 10^7 \\ 0.15Ra^{1/3} & 10^7 \leq Ra \leq 10^{11} \end{cases} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.8 การพาความร้อนสำหรับแผ่นแบนบางในแนวระดับ

(ก) ผิวบน (ข) ผิวล่าง

2) สำหรับแผ่นแบนวางนอนและมีการพาความร้อนที่ผิวล่าง (รูปที่ 2.8(ข)) จะได้ Nusselt number ดังนี้

$$Nu = 0.27Ra^{1/4} \quad (2.9)$$

ทั้งสองกรณี สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h ได้จากสมการที่ (2.6) และ อัตราการพาความร้อน (ที่ผิว) Q_s ได้จากสมการที่ (2.7)

2.2.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านครีบทรงกระบอก

จากรูปที่ 2.4 สามารถจำลองก้านดึงชิ้นงานทดสอบที่ไหลออกมาจากเตาความร้อนทั้งด้านบน และด้านล่างนั้น ว่าเป็นครีบทรงกระบอก (รูปที่ 2.9) ในกรณีนี้ ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น

$$Q_f = \sqrt{hPkA_c} \theta_b \tanh mL \quad (2.10)$$

โดยที่ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของครีบทรงกระบอก (m)

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของครีบทรงกระบอก (m^2) ซึ่ง $A_c = \frac{\pi D^2}{4}$

A_s คือ พื้นที่ผิวรอบครีบทรงกระบอกวัดจากฐานถึงตำแหน่ง x (m^2) ซึ่ง $A_s = Px$

P คือ เส้นรอบวงของครีบทรงกระบอก (perimeter ; m) ซึ่ง $P = \pi D$

T_b คือ อุณหภูมิที่ฐาน ($^{\circ}C$) ซึ่ง $T(0) = T_b$

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของครีบทรงกระบอก (W/m^2)

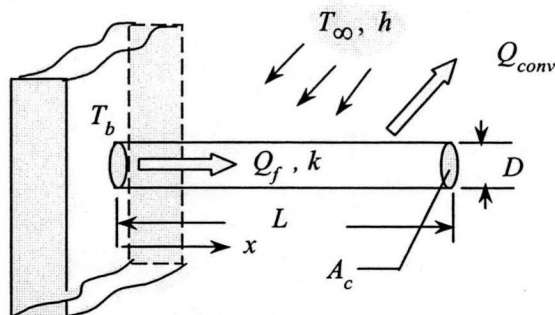
T_{∞} คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}C$)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^{\circ}C$)

L คือ ความยาวของครีบทรงกระบอก (m)

$$m = \sqrt{\frac{hp}{kA_c}}$$

θ_b คือ อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ($^{\circ}C$) โดย $\theta_b = T(0) - T_{\infty}$



รูปที่ 2.9 การถ่ายเทความร้อนผ่านครีบกกลม

2.2.6 การแผ่รังสีระหว่างวัตถุขนาดเล็กกับวัตถุขนาดใหญ่

การแผ่รังสีระหว่างวัตถุขนาดเล็กกับวัตถุขนาดใหญ่ (ดูรูปที่ 2.10 โดยวัตถุขนาดใหญ่ล้อมรอบวัตถุขนาดเล็ก) เช่นกรณีเตาความร้อน ในที่นี้การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจะสมมติให้เตาความร้อนมีอุณหภูมิที่ผิวเท่ากันทุกจุด

ในกรณีที่ต้องการหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุสองชิ้นที่มีอุณหภูมิต่างกัน ต้องใช้การคำนวณที่ซับซ้อน แต่สำหรับการแผ่รังสีระหว่างวัตถุขนาดเล็กที่มีพื้นที่ผิว A และมีค่าการแผ่รังสีความร้อน ϵ กับวัตถุขนาดใหญ่ซึ่งล้อมรอบวัตถุขนาดเล็กอยู่ ถ้าอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุขนาดเล็กคือ T_o และของวัตถุขนาดใหญ่คือ T_∞ แล้วอัตราการแผ่รังสีความร้อนคือ

$$Q = \epsilon \sigma A (T_o^4 - T_\infty^4) \quad (2.11)$$

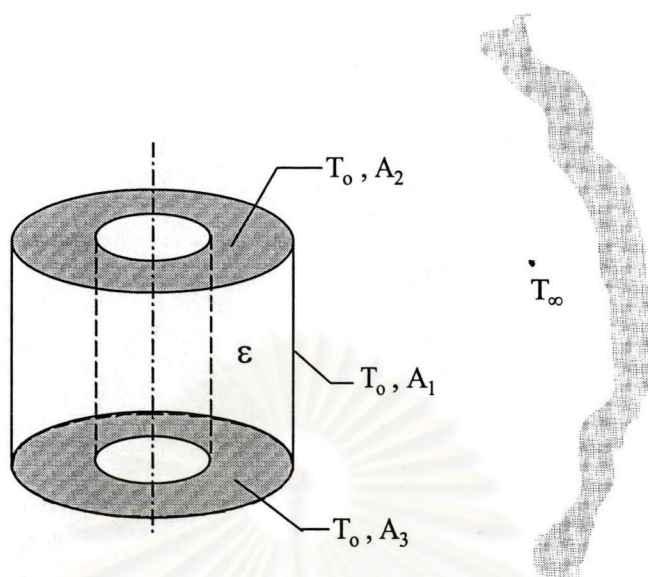
โดย σ คือ Stefan-Boltzmann constant ซึ่งมีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

ϵ คือ ค่าการแผ่รังสี (emissivity) ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการแผ่รังสี เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดำ ซึ่งมีค่า ϵ เท่ากับ 1 ดังนั้น $0 \leq \epsilon \leq 1$

A คือ พื้นที่รับการแผ่รังสี (m^2)

T_o คือ อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุขนาดเล็ก (K)

T_∞ คือ อุณหภูมิที่ผิวของวัตถุขนาดใหญ่ (K)



รูปที่ 2.10 การแผ่รังสีระหว่างวัตถุใหญ่ที่ล้อมรอบวัตถุเล็ก

2.3 ทฤษฎีการควบคุมแบบพีไอดี

ในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานทดสอบที่ติดตั้งในเตาความร้อน ตัวแปรสำคัญที่จะต้องควบคุมให้คงที่ คือ อุณหภูมิที่ผิวของชิ้นงานทดสอบ อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงอุณหภูมิจะมีการแกว่งขึ้นลงตามเวลา ซึ่งพิสัยของการแกว่งขึ้นลงนี้เป็นพารามิเตอร์บ่งชี้ความแม่นยำของการควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมแบบพีไอดี (PID : Proportional-integral-derivative control) เป็นวิธีหนึ่งในการควบคุม ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่าการควบคุมแบบเปิด-ปิด (on-off control) ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้แกว่งในขอบเขตที่แคบพอจะยอมรับได้ว่าอุณหภูมิมีค่าคงที่

รายละเอียดของการควบคุมแบบพีไอดีที่จะกล่าวต่อไปนี้จะใช้ในการเลือกอุปกรณ์ควบคุมที่มีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ และใช้ในการปรับแก้ค่าของชุดควบคุมเพื่อให้การควบคุมอุณหภูมิมีความแม่นยำสูงสุด

2.3.1 หลักการทั่วไป

การควบคุมแบบพีไอดี เป็นการควบคุมระบบที่มีกระบวนการต่อเนื่อง โดยการควบคุมดังกล่าวจะประกอบด้วยหน้าที่หลักสองอย่าง คือ

1) รักษาเอาต์พุต (output) ไว้ที่ค่าที่กำหนด (set-point) ตลอดเวลา แม้ว่าพารามิเตอร์ของกระบวนการจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจมีแนวโน้มทำให้เอาต์พุตเปลี่ยนแปลง

2) รักษาสภาพพร้อมที่จะเปลี่ยนแปลงระดับของพารามิเตอร์ในกระบวนการจากค่ากำหนดค่าหนึ่งไปสู่ค่ากำหนดอีกค่าหนึ่ง^[6]

การควบคุมแบบพีไอดี ประกอบด้วย การควบคุมหลักสามส่วน ดังนี้ 1) การควบคุมแบบเป็นสัดส่วน (proportional control) 2) การควบคุมแบบอินทิเกรต (integrated control) 3) การควบคุมแบบอนุพันธ์ (derivative control)

การควบคุมแบบเป็นสัดส่วน เป็นการควบคุมที่มีเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับค่าแตกต่างระหว่าง ค่าที่วัดได้จากกระบวนการ (measured value) และค่าที่กำหนดไว้ การควบคุมแบบเป็นสัดส่วน สามารถเรียกได้อีกชื่อหนึ่งคือ การควบคุมแบบอัตราส่วน (ratio control) เป็นระบบที่แก้ไขความผิดพลาด (error) ของกระบวนการจากระดับอ้างอิง กลับไปยังค่ากำหนด โดยค่าแก้ไขเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ตัวอย่าง เช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิภายในเตาความร้อน ซึ่งมีค่ากำหนดเป็น 550°C ถ้าอุณหภูมิของกระบวนการเป็น 551.5°C (Error = 1.5°C) สัญญาณปรับแก้ที่ส่งไปจะควบคุมให้อุณหภูมิของกระบวนการลดลงไปเป็น 550°C ยิ่งถ้าสัญญาณปรับแก้ที่ได้มีขนาดใหญ่จะทำให้การกลับสู่ค่าที่กำหนดเป็นไปได้ช้า เพราะเสียเวลาในการควบคุมเพื่อให้ได้เอาต์พุตตามต้องการ แต่การกลับสู่ค่ากำหนดที่ค่อนข้างเร็วก็มีข้อเสีย คือ การควบคุมจะไม่แม่นยำและการทำงานดังกล่าวอาจเกิด offset error ขึ้นได้

การควบคุมแบบอินทิเกรต เป็นการควบคุมที่สร้างเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับ ขนาดของสัญญาณความผิดพลาด และระยะเวลาที่ความผิดพลาดนี้ปรากฏ การควบคุมแบบอินทิเกรตจะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการควบคุมแบบเป็นสัดส่วน การควบคุมแบบนี้เรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า reset control เพื่อให้เข้าใจได้ดีขึ้น ขอให้พิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้ สมมติว่าอุณหภูมิของกระบวนการที่ต้องการคือ 550°C ถ้าอุณหภูมิที่วัดจากกระบวนการ เท่ากับ 551.5°C แล้วการควบคุมแบบอินทิเกรตจะได้รับสัญญาณความผิดพลาด เท่ากับ 1.5°C และระยะเวลาที่ความผิดพลาดนี้ปรากฏอยู่ จากนั้นระบบควบคุมจะสร้างสัญญาณปรับแก้จากข้อมูลทั้งสองส่วนนี้โดยวิธีการควบคุมแบบอินทิเกรต และนำไปรวมกับสัญญาณปรับแก้ที่เกิดจากการควบคุมแบบเป็นสัดส่วน (proportional corrective signal) ผลที่ได้คือ สัญญาณความผิดพลาดมีขนาดลดลง นั่นคือเอาต์พุตคลาดเคลื่อนจากค่าที่ต้องการน้อยลง เมื่อวนลูบการควบคุมลักษณะนี้หลาย ๆ รอบความผิดพลาดจะลดลงจนถึงค่าต่ำสุด แต่การควบคุมแบบนี้ก็มีข้อเสีย คือ การควบคุมต้องใช้เวลานาน จนกว่าจะเข้าสู่ค่าที่ต้องการ

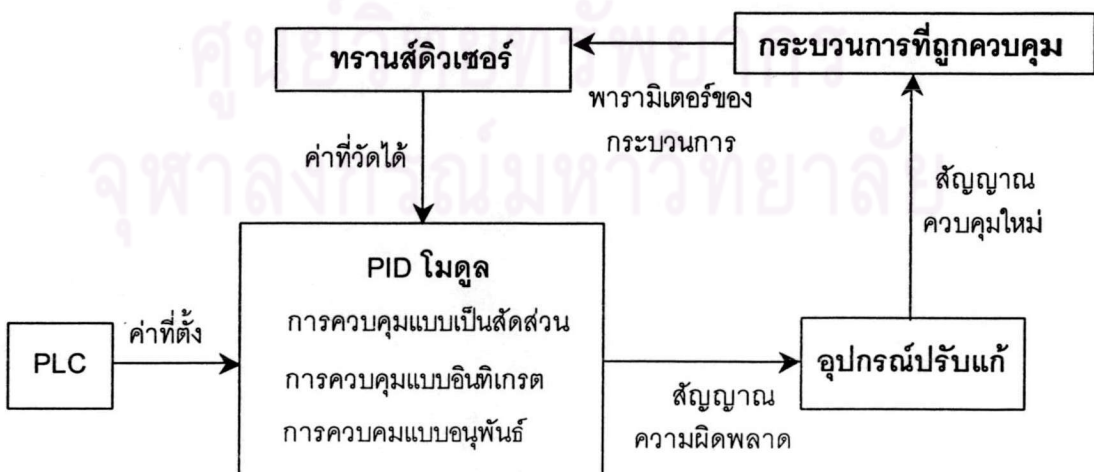
การควบคุมแบบอนุพันธ์ เป็นการควบคุมที่สร้างสัญญาณเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณความผิดพลาด จากปัญหาที่เกิดขึ้นในการควบคุมแบบอินทิเกรต

เรื่องระยะเวลาในการควบคุมจึงจำเป็นต้องแก้ไขเรื่องดังกล่าวโดยเพิ่มการควบคุมแบบอนุพันธ์เข้าไปในระบบ เพื่อให้การควบคุมตอบสนองได้ทันต่อกระบวนการที่ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว การควบคุมแบบอนุพันธ์ หรือ การควบคุมแบบอัตรา (rate control) ซึ่งจะผลิตสัญญาณปรับแก้จากอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณความผิดพลาด โดยทั่วไปถ้าการเปลี่ยนแปลงจากค่ากำหนดเร็วกว่า สัญญาณปรับแก้จะต้องใหญ่กว่า ดังนั้นเมื่อเพิ่มสัญญาณปรับแก้จากการควบคุมแบบอนุพันธ์เข้าไปในระบบควบคุมแบบอินทิเกรต การควบคุมจะกระทำได้เร็วขึ้น

2.3.2 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของระบบควบคุมแบบพีไอดี

จากรายละเอียดหลักการทำงานของแต่ละส่วนที่กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.3.1 ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทำงานของระบบควบคุมที่ใช้การควบคุมแบบพีไอดี (รูปที่ 2.11) ซึ่งมีส่วนประกอบ 4 ส่วน คือ :- 1) พีไอดี โมดูล (PID module) ซึ่งประกอบด้วยวงจรต่าง ๆ ดังนี้ :- วงจรควบคุมแบบเป็นสัดส่วน, วงจรควบคุมแบบอินทิเกรต, วงจรควบคุมแบบอนุพันธ์, 2) อุปกรณ์ปรับแก้ (corrective device), 3) กระบวนการ และ 4) ทรานส์ดิวเซอร์ (transducer)

การทำงานของระบบควบคุมในรูป เริ่มจากพีไอดีโมดูลถูกตั้งค่าที่ต้องการด้วย PLC ขณะเดียวกันทรานส์ดิวเซอร์จะรับสัญญาณอินพุตจากกระบวนการ (process) ซึ่งกำลังดำเนินไป (และถูกควบคุมอยู่) แล้วแปลงสัญญาณอินพุตที่ได้เป็นสัญญาณเอาต์พุต หรือ ค่าที่วัดได้ (measured value) ค่าที่วัดได้นี้จะถูกป้อนเข้าสู่อินพุตของพีไอดีโมดูล เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ด้วย PLC ความแตกต่างของสัญญาณจะถูกพีไอดีโมดูลประมวลผลหาสัญญาณความผิดพลาด สัญญาณนี้จะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์ปรับแก้เพื่อหาสัญญาณควบคุมใหม่สำหรับส่งต่อไปยัง ระบบ รอบการควบคุมจะดำเนินไปเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง จนกว่าจะสั่งหยุดการควบคุม



รูปที่ 2.11 รูปจำลองของระบบควบคุมแบบพีไอดี