

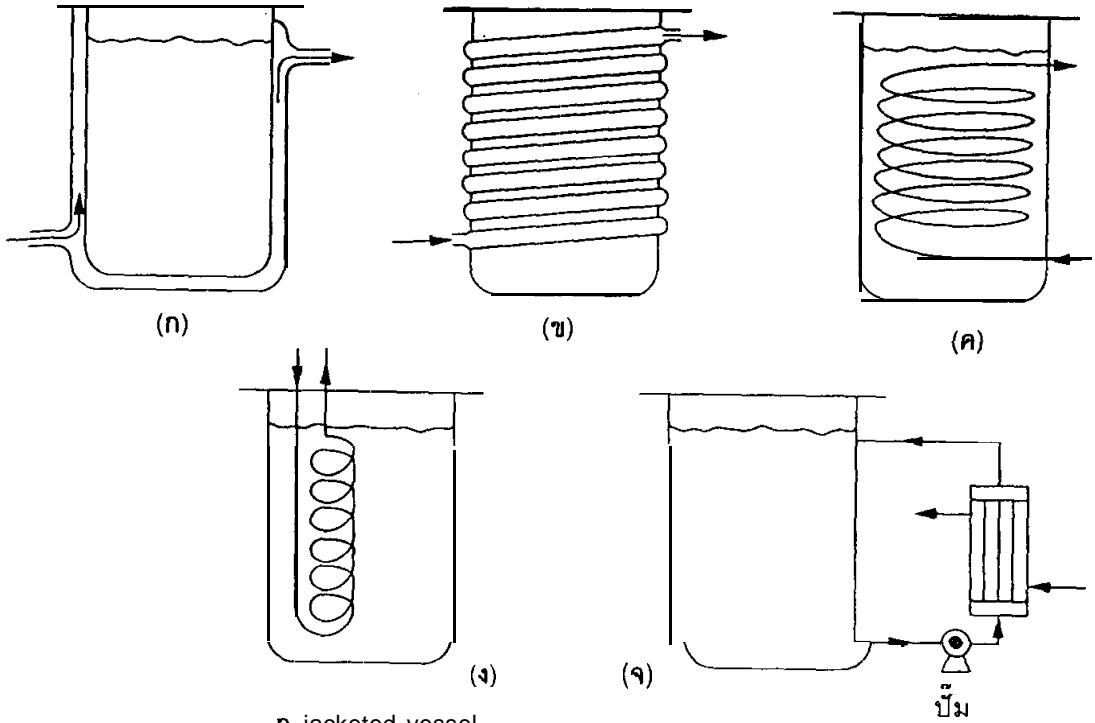
บทที่ 6

การถ่ายเทความร้อนในระบบการทางชีวภาพ

โดยทั่วไปกระบวนการทางเคมีมักเป็นกระบวนการของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงๆ ในขณะที่กระบวนการทางชีวภาพนั้นจะเป็นการเกิดปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิห้อง แต่อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการต่างๆทางเทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อการควบคุมให้กระบวนการนั้นมีอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้ หรือเพื่อการทำลายเซลล์ปนเปื้อน โดยการถ่ายเทความร้อนนั้นอาจเป็นการทำให้อุณหภูมิลดลงหรือการทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำลายเซลล์ที่ปนเปื้อนมาในอาหารเลี้ยงเชื้อ การทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นขึ้น โดยกระบวนการระเหย หรือการระเหิด และในบางกระบวนการที่มีการถ่ายเทความร้อนในปริมาณมาก อาจต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ต้องใช้ในการถ่ายเทความร้อน หรืออาจต้องพิจารณาและคำนึงถึงการออกแบบกระบวนการนั้นให้เหมาะสม การถ่ายเทความร้อนในระบบการทางชีวภาพเพื่อการทำลายเชื้อที่ปนเปื้อนในอาหารเลี้ยงเชื่อนั้นพบว่ากระบวนการดังกล่าวจะประกอบด้วยช่วงของการเพิ่มอุณหภูมิ ช่วงการคงอุณหภูมิและช่วงการลดอุณหภูมิ เพื่อให้อุณหภูมิจากอาหารมีอุณหภูมิลดลงที่อุณหภูมิของการเพาะเลี้ยง นอกจากนี้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น ยังเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาถึงในกระบวนการควบคุมสภาวะแวดล้อมของถังหมักให้มีอุณหภูมิที่คงที่ตามที่กำหนด เนื่องจากชีวสารไม่ว่าจะเป็นเซลล์หรือเอนไซม์ต่างมีช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานที่แตกต่างกัน ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปกิจกรรมที่ได้จากชีวสารนั้นจะเกิดขึ้นได้น้อย แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปอาจมีผลในการทำลายเซลล์หรือเอนไซม์นั้นได้ ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ความร้อนที่เกิดขึ้นมักมาจากการหมุนของไบโควนกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) หรือปฏิกิริยาคายความร้อนของเซลล์ ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าคงที่ที่เหมาะสมกับการทำงานของชีวสาร จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการเพื่อที่จะการลดหรือระบายความร้อนเหล่านั้น

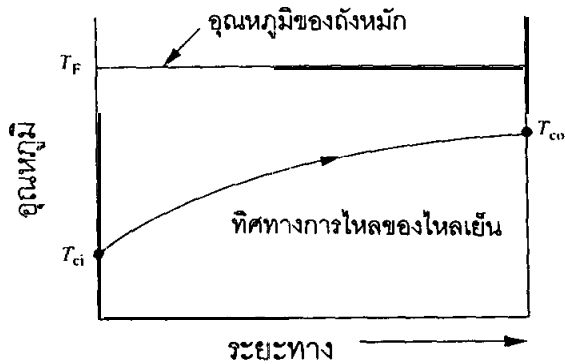
การถ่ายเทความร้อนเพื่อการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสม

ในกระบวนการทางชีวภาพจะพบว่าเมแทบอลิซึมต่างๆ มักทำให้เกิดความร้อนซึ่งโดยทั่วไปพบว่าช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 30 ถึง 37 องศาเซลเซียส โดยระบบที่ใช้เพื่อการถ่ายเทความร้อนนั้นมีได้หลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 1 ในกรณีของถังหมักที่มีขนาดเล็ก พบว่าสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวภายนอกถังหมักต่อปริมาตรน้ำหมักจะเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านผนังได้มาก ดังนั้นในกรณีนี้การให้ความร้อนจึงมีความจำเป็นในการควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ตามที่ต้องการ ในขณะที่ถังหมักที่มีขนาดใหญ่พบว่าต้องการระบบทำความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของน้ำหมักมากกว่า โดยการมีถังหล่อเย็นไว้รอบนอก หรือการมีท่อที่ขดไปมารอบถังหรือภายในถังนั้น เพื่อเพิ่มพื้นที่ของการถ่ายเทความร้อน หรือแม้แต่การใช้ปั๊มพาของไหลจากถังหมักผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ตั้งอยู่ภายนอก ในกรณีของการใช้ถังหล่อเย็นนอกหรือการใช้ขดท่อหล่อเย็นนอกถังนั้น จะพบว่าพื้นที่ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนจะน้อยกว่าการใช้ขดท่อที่ขดไปมาภายในถัง ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนลักษณะนี้ จึงเหมาะกับการถ่ายเทความร้อนในระดับห้องปฏิบัติการ ในขณะที่การติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไว้ภายนอกนั้นมักใช้ในระดับอุตสาหกรรม ในกรณีระบบที่เป็นขดท่อภายในจะมีข้อจำกัดเนื่องจากลักษณะของท่อที่ขดอยู่ภายในถังนั้น จะทำให้ผิวของท่อสัมผัสกับอาหารและการเจริญของเชื้อที่อาจมาเกาะอยู่ตามผิวท่อต่างๆ ทำให้ยากต่อการดูแลและการทำความสะอาด เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ใช้เพื่อการควบคุมอุณหภูมิในถังหมักนั้น แสดงได้ดังรูปที่ 26 พบว่าน้ำเย็นที่อุณหภูมิ T_{co} เมื่อผ่านเข้าไปยังน้ำหมักจะได้รับความร้อน จนทำให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามระยะทางของขดท่อ และจะไหลออกจากถังหมักที่อุณหภูมิ T_{co} ในขณะที่อุณหภูมิของน้ำหมักในถังหมักจะถูกควบคุมไว้ที่อุณหภูมิ T_f ในกรณีของการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไว้ภายนอก จะสามารถทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นได้ง่ายกว่ากรณีอื่น ในการเพาะเลี้ยงที่ต้องการอากาศนั้น จะพบว่าระยะเวลาที่น้ำหมักอยู่ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะเป็นช่วงที่สั้น และไม่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนที่น้ำหมักจะไม่ได้รับ แต่ต้องคำนึงถึงสภาพปลอดภัย และความสามารของเชื้อในการทนต่อแรงเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างการขนถ่ายน้ำหมักผ่านปั๊ม



- n. jacketed vessel
- ข. external coil
- A. Internal helical coil
- ง. Internal baffle-type coil
- จ. external heat exchanger

รูปที่ 25 แสดงระบบที่ใช้เพื่อการถ่ายเทความร้อน



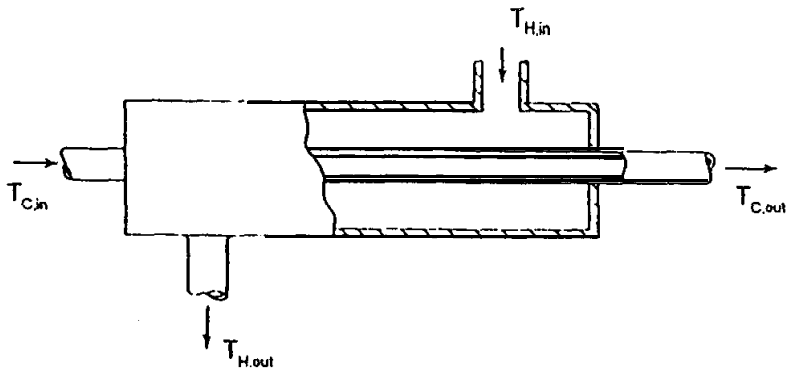
รูปที่ 26 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น เพื่อการควบคุมอุณหภูมิในน้ำหมักให้คงที่

อุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน

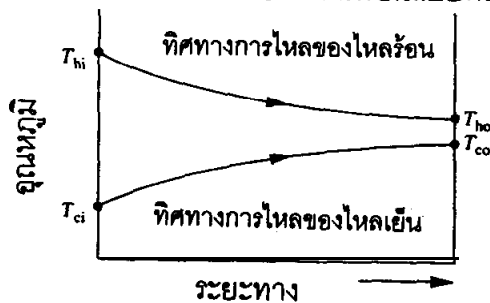
อุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในระดับอุตสาหกรรม มักเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double-pipe heat exchanger) และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and tube heat exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

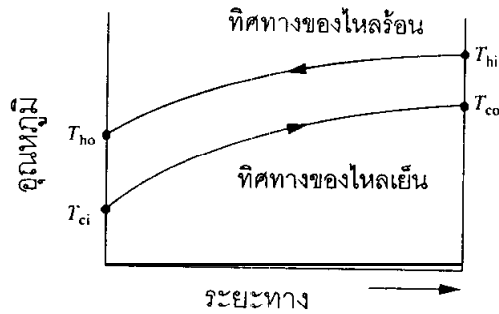
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นจะมีลักษณะเป็นท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกลางที่แตกต่างกัน โดยมีแกนกลางของท่อร่วมกัน ดังแสดงในรูปที่ 27 เมื่อของไหลชนิดหนึ่งไหลอยู่ภายในท่อด้านใน ส่วนของไหลอีกชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในช่องว่างรูปวงแหวนระหว่างท่อภายในและท่อภายนอก โดยลักษณะการไหลของของไหลทั้งสอง จะมีได้ 2 แบบ คือ การไหลที่ของไหลทั้งสองไหลในทิศทางเดียวกัน (co-current flow) หรือการไหลสวนทางกัน (countercurrent flow) ซึ่งลักษณะของทิศทางการไหลที่ต่างกันนี้ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 28 และรูปที่ 29



รูปที่ 27 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น



รูปที่ 28 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ของไหลไหลทางเดียวกัน



รูปที่ 29 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ของไหลไหลสวนทางกัน

เมื่อ อักษร h หมายถึง ของไหลร้อน

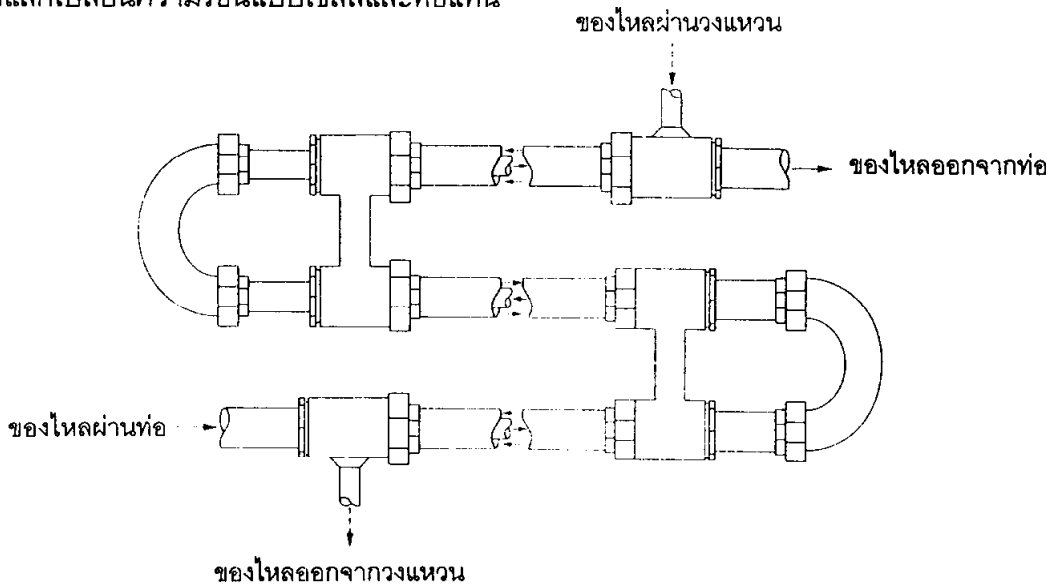
c หมายถึง ของไหลเย็น

i หมายถึง สภาพของไหลที่ไหลเข้าเครื่อง

o หมายถึง สภาพของไหลที่ไหลออกจากเครื่อง

นอกจากนี้ลักษณะของท่อยังสามารถจัดให้ขดไปมา ได้ดังแสดงในรูปที่ 30

และแม้ว่าการเพิ่มพื้นที่ของท่อจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้ ในกรณีที่ต้องใช้ความยาวของท่อที่มากกว่า 10-15 เมตร เพื่อการถ่ายเทความร้อนจะทำให้ใช้พื้นที่มากในการติดตั้ง ในกรณีนี้มักใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อแทน



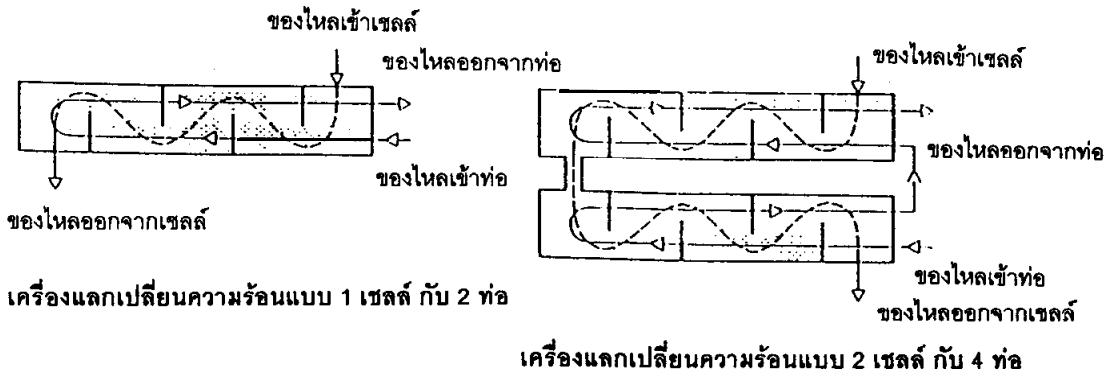
รูปที่ 30 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นที่มีการขดของท่อไปมา

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ เป็นการให้ของไหลชนิดหนึ่งไหลในท่อ ส่วนของไหลอีกชนิดหนึ่งจะถูกบังคับให้ไหลในเซลล์ ซึ่งจะไหลผ่านด้านนอกของกลุ่มท่อที่อยู่ในเซลล์โดยมีแผ่นกั้น (baffle) ทำหน้าที่กำหนดทิศทางการไหลของของไหลในเซลล์ให้มีการไหลวนกลับไปมาเหนือกลุ่มท่อภายในเซลล์ ทำให้ระยะเวลาของการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลภายในท่อกับของไหลภายในเซลล์มีเวลานานยิ่งขึ้น นอกจากนั้นแผ่นกั้นนี้ยังทำหน้าที่พองท่อเพื่อสร้างความแข็งแรงและเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนในระหว่างการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 31 ส่วนลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเนื่องจากทิศทางกการไหลของไหลร้อนและของไหลเย็นนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 32



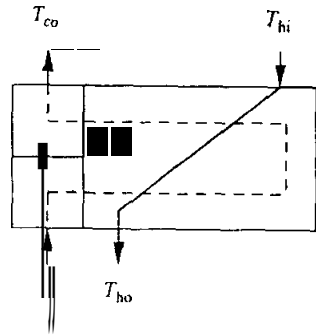
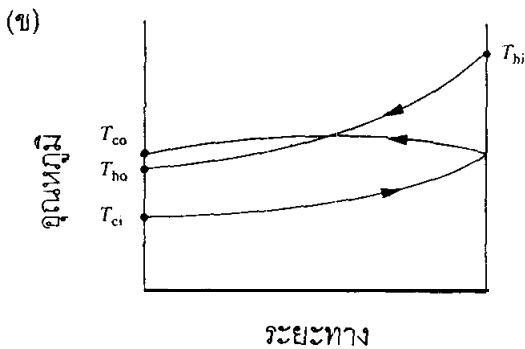
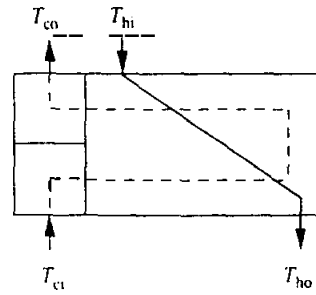
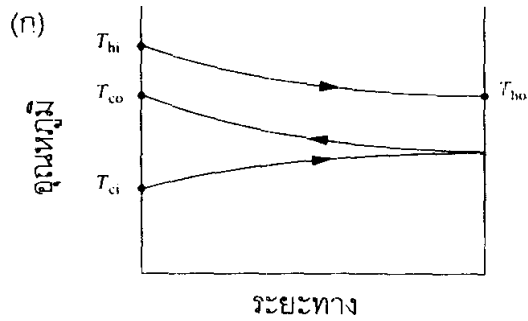
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ



เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 1 เซลล์ กับ 2 ท่อ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 2 เซลล์ กับ 4 ท่อ

รูปที่ 31 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ



รูปที่ 32 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเนื่องจากทิศทางการไหลของไหลร้อนและของไหลเย็นในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

การถ่ายเทความร้อน

ลักษณะของการถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction) การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Convection) และการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ

จากกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's Law of Conduction) ที่ว่าอัตรา การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Q) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิต่อระยะทาง (dT) กับพื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (A) ในทิศทางตั้งฉาก

dy

โดยที่

$$Q = -kA \frac{dT}{dy}$$

สมการที่ 62

- เมื่อ Q เป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (วัตต์)
 A เป็นพื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่านในทิศทางตั้งฉาก (ตารางเมตร)
 T เป็นอุณหภูมิ (เคลวิน)
 y เป็นระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (เมตร)
 k เป็นสภาพการนำความร้อน (thermal conductivity) (วัตต์ต่อเมตรต่อเคลวิน)

สภาพการนำความร้อนเป็นค่าที่เฉพาะตัวของสารแต่ละชนิดที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 22 โดยทั่วไปสภาพการนำความร้อนของโลหะ จะมีค่าที่สูงกว่าสภาพการนำความร้อนของก๊าซ

ตารางที่ 22 แสดงค่าการนำความร้อน

สาร	อุณหภูมิ (K)	k (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	k (Btuh ⁻¹ ft ⁻¹ F ⁻¹)
ของแข็ง : โลหะ			
อลูมิเนียม	573	230	133
ทองบรอนซ์		189	109
ทองแดง	373	377	218
เหล็กพืด	291	61	35
ของแข็ง ที่ไม่ใช่โลหะ			
ใยหิน	273	0.16	0.09
อิฐก่อสร้าง	293	0.69	0.4
ของเหลว			
กรดอะซิติค (50%)	293	0.35	0.20
เอทานอล (80%)	293	0.24	0.137
กลีเซอรอล (40%)	293	0.45	0.26
น้ำ	303	0.62	0.356

การนำความร้อนที่ผ่านผนังราบ

เมื่อพิจารณาการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังหรือแผ่นบางที่มีอุณหภูมิคงที่ และมีขนาดสม่ำเสมอ เมื่อระบบอยู่ในสภาวะที่คงที่ (steady state) จะพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) จะมีค่าที่คงที่ เมื่ออินทิเกรตสมการที่ 62 จะได้

$$Q dy = -kA dT$$

$$Q dy = -kA dT$$

$$QB = -kA T_2 + K \quad \text{สมการที่ 63}$$

เมื่อ K เป็นค่าคงที่

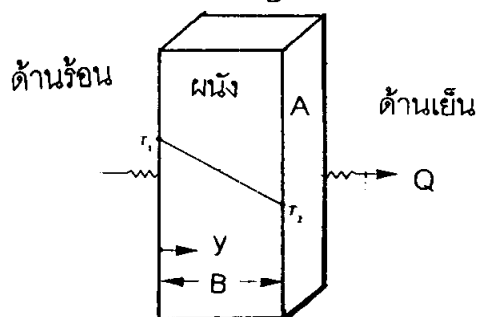
โดยที่ $K = kA \cdot T_1$ สมการที่ 64

แทนค่า K ในสมการที่ 63 จะได้

$$QB = -kA (T_1 - T_2)$$

หรือ $Q = \frac{kA (T_1 - T_2)}{B}$ สมการที่ 65

หรือ $Q = \frac{kA (\Delta T)}{B}$ สมการที่ 66



รูปที่ 33 แสดงการนำความร้อนผ่านผนังราบ

จากสมการที่ 65 สามารถเปรียบเทียบได้กับการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยที่

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R}$$

สมการที่ 67

$$\text{เมื่อ } R = \frac{B}{kA}$$

R = ความต้านทานความร้อน (thermal resistance)

B = ระยะทาง

การนำความร้อนผ่านผนังรวมที่เรียงซ้อนกัน

ในกรณีที่เป็นผนังที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น โดยแต่ละชั้นนั้นมีความต้านทานที่แตกต่างกัน

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } Q &= \frac{\Delta T}{R_w} \\ &= \frac{\Delta T}{(R_1 + R_2 + R_3)} \end{aligned}$$

$$\text{เมื่อ } \Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$$

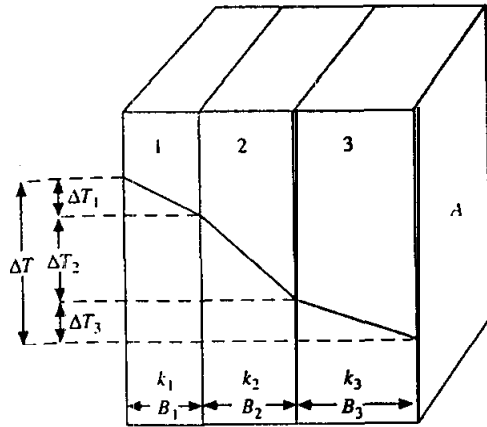
R_w เป็นค่าความต้านทานรวม

ΔT เป็นผลต่างของอุณหภูมิในแต่ละชั้นของวัสดุ

$$\text{โดยที่ } R_1 = \frac{B_1}{k_1 A}$$

$$R_2 = \frac{B_2}{k_2 A}$$

และ $R_3 = \frac{B_3}{k_3 A}$



รูปที่ 34 แสดงการนำความร้อนผ่านผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น

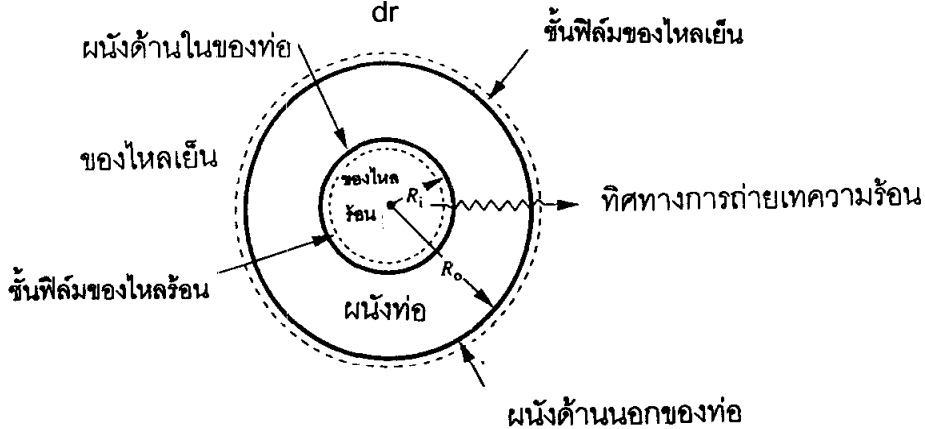
การนำความร้อนผ่านพื้นที่ผิวทรงกระบอก

จาก $Q = -k A \frac{dT}{dy}$

เมื่อการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นในแนวรัศมี ดังนั้น $dy = dr$

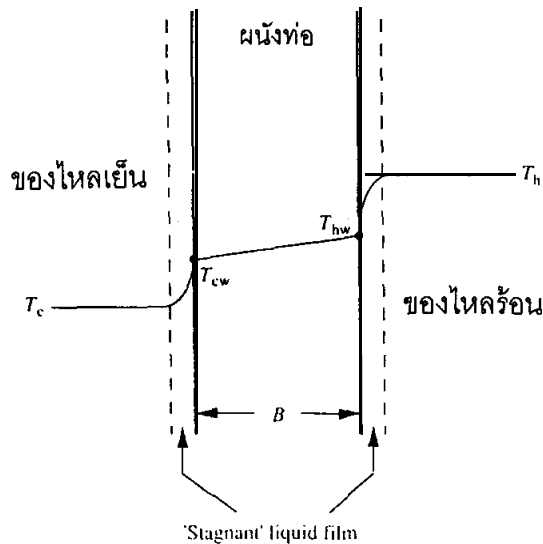
และ $A = 2 \pi r L$

ดังนั้น $Q = -k (2 \pi r L) \frac{dT}{dr}$



รูปที่ 35 แสดงการนำความร้อนผ่านพื้นที่ผิวทรงกระบอก

ในกรณีที่การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นตรงผนังของท่อ ซึ่งมีของไหลร้อนและของไหลเย็นอยู่ระหว่างผนังของท่อ จะพบว่าลักษณะการไหลของของไหลทั้งสองที่ตำแหน่งผิวท่อจะเป็นฟิล์มบาง หรือเรียกว่า stagnant film ซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 36



รูปที่ 36 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมื่อฟิล์มบางที่ผิวท่อ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) เป็นค่าที่ขึ้นกับลักษณะของไหล ความเร็วของการไหล วัสดุที่ใช้เป็นท่อหรือผนังแลกเปลี่ยนความร้อนตลอดจนลักษณะของสิ่งสกปรกที่มาเกาะ หรือที่เรียกว่าเฟอวล์ลิงแฟคเตอร์

$$\text{จาก } Q = UA \Delta T$$

$$= UA (T_h - T_c)$$

$$R_T = \frac{1}{UA}$$

$$R_T = R_h + R_w + R_c$$

- เมื่อ R_T เป็นความต้านทานรวม
 R_h เป็นความต้านทานของของไหลร้อน
 R_C เป็นความต้านทานของของไหลเย็น
 R_w เป็นความต้านทานความร้อนของผนังท่อ
 T_h เป็นอุณหภูมิของของไหลร้อน
 T_c เป็นอุณหภูมิของของไหลเย็น

ดังนั้น
$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_h A} + \frac{B}{kA} + \frac{1}{h_c A}$$

หรือ
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_h} + \frac{B}{k} + \frac{1}{h_c}$$

- เมื่อ h_h เป็นสัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านของไหลร้อน
 h_c เป็นสัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านของไหลเย็น

ตารางที่ 23 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในกระบวนการต่างๆ

กระบวนการ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h)	
	(Wm ⁻² K ⁻¹)	(Btu ft ⁻² h ⁻¹ °F ⁻¹)
การควบแน่นของไอน้ำ	6,000 - 115,000	1,000 - 20,000
การกลั่นน้ำ	1,700 - 50,000	300 - 9,000
การควบแน่นไอของสารอินทรีย์	1,100 - 2,200	200 - 400
การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของน้ำ	300 - 17,000	50 - 3,000
การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของน้ำมัน	60 - 1,700	10 - 300
การเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำยิ่งยวด	30 - 110	5 - 20
การเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของอากาศ	1 - 60	0.2 - 10

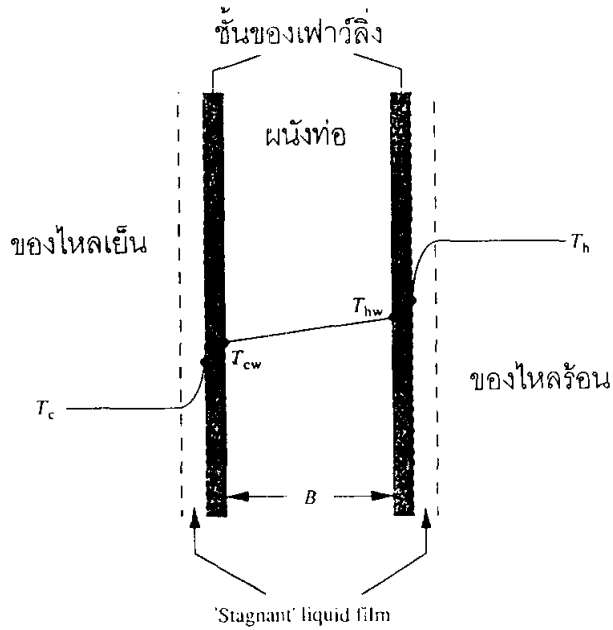
เฟวว์ลิงแฟคเตอร์ (Fouling Factor)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทุกชนิด เมื่อใช้งานไปได้ระยะหนึ่ง จะมีสิ่งสกปรกมาเกาะติดบนผิววัสดุที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน สิ่งสกปรกเหล่านี้จะมีลักษณะใดขึ้นอยู่กับลักษณะของไหลที่ใช้ และลักษณะของการใช้งาน ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนลดลงเรื่อยๆ และมีผลทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้น หรืออัตราการผลิตในกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องเปลี่ยนแปลงไปหรือต้องหยุดชงักลง ในกรณีเช่นนี้ต้องทำความสะอาดในส่วน of ผิววัสดุที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนนั้น ดังนั้นการคำนึงถึงผลที่เกิดจากสิ่งสกปรกที่เกาะติดบนผิวของวัสดุการถ่ายเทความร้อน หรือค่าเฟวว์ลิงแฟคเตอร์ไว้ก่อนล่วงหน้าตั้งแต่การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จึงนับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นและมีความสำคัญยิ่ง ค่าเฟวว์ลิงแฟคเตอร์จะมีผลต่อสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวม โดยที่

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_m} + \frac{1}{h_h} + \frac{B}{k} + \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_{fc}}$$

เมื่อ h_m เป็นเฟวริลิ่งแพคเตอร์ด้านของไหลร้อน

h_{fc} เป็นเฟวริลิ่งแพคเตอร์ของของไหลเย็น



รูปที่ 37 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีผลจากเฟวริลิ่ง

ตารางที่ 24 แสดงค่าเฟวริลิ่งแพคเตอร์

ชนิดของของไหล	ค่าเฟวริลิ่งแพคเตอร์	
	($Wm^{-2} K^{-1}$)	($Btu ft^{-2} h^{-1} ^\circ F^{-1}$)
<u>น้ำ</u>		
น้ำกลั่น	11,000	2,000
น้ำทะเล	11,000	2,000
น้ำจากแม่น้ำ	4,800	800
<u>ไอน้ำ</u>		
ไอน้ำที่ปราศจากน้ำมัน	19,000	3,000