제 10장 열 교환기

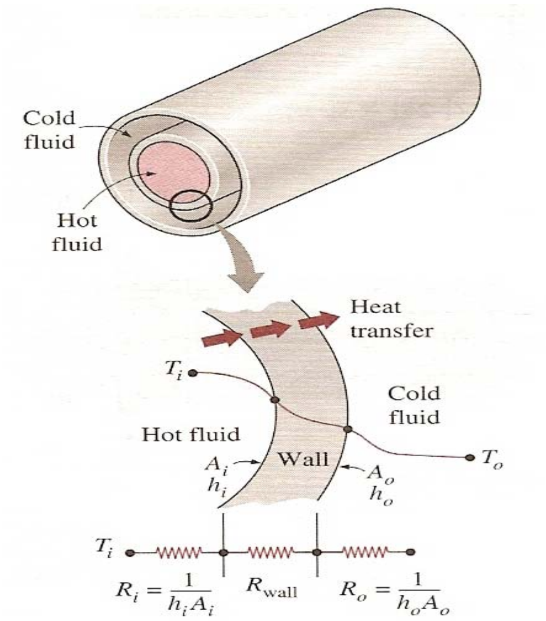
10-1 열 교환기의 형식

두 유체가 서로 섞이지 않게 하면서 열을 교환하는 장치

이중관 열 교환기 : ┬평행류
└대향류

밀집형 열 교환기 : ┬직교류
├각-관 열교환기
└평판형

10-2 열관류율



$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_0 A_0} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{wall} + \frac{1}{h_o A_o}$$

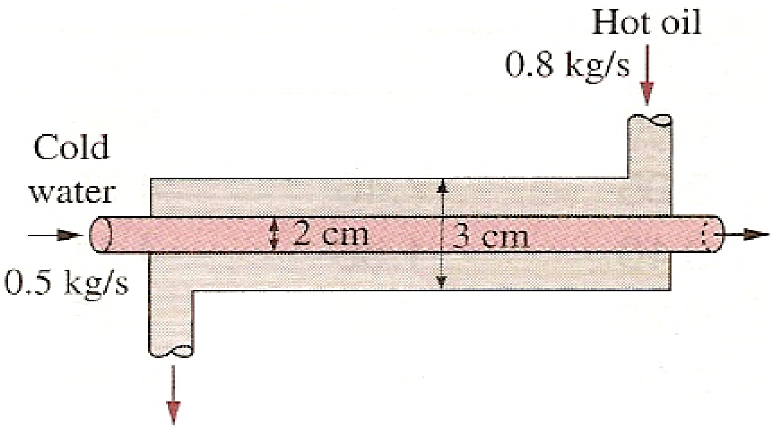
U: 열관류율

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA\Delta T$$

오염계수 R_f가 있다면

$$R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + R_{wall} + \frac{R_{f,0}}{A_0} + \frac{1}{h_0 A_0}$$

(Ex 10-1) 열 교환기의 열 관류율



(해) 45$^\circ C$물의 물성치 $(A-9)$

$e = 990 kg/m^3, \Pr = 3.91, K = 0.637 W/m \bullet {}^\circ C, \nu = \frac{\mu}{e}$

80$^\circ C$기름의 물성치 $(A-10)$

$e = 852 kg/m^3, P_r = 490, K = 0.138 W/m \bullet {}^\circ C, \nu = \frac{\mu}{e}$

관벽의 두께가 작고 관 재료의 열전도도가 클 때

$$\frac{1}{U} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_0}$$

$i) h_i$를 계산하기 위하여

$$V_m = \frac{\dot{m}}{eA_c} = 1.61 m/\sec$$

$$Re = \frac{V_m D_i}{\nu} = 53,490 > 4000 \text{ 난류}$$

$$Nu = \frac{hD_i}{k} = 0.023 Re^{0.8} \Pr^{0.4} = 240.6$$

$$h_i = \frac{k}{D_i} Nu = 7663$$

$ii) h_0$를 계산한다.

10-3 열 교환기의 해석

단열이 잘된 열 교환기에서 고온 유체와 저온 유체의 출구온도를 예측

$$\dot{Q} = \dot{m}_c C_{pc}(T_{c,out} - T_{c,in})$$

$$= \dot{m}_h C_{ph}(T_{h,in} - T_{c,out})$$

$\dot{m} C_p = C$: 열 용량률

10-4 대수 평균 온도차법

입·출구 온도가 주어졌을 때 열 교환기의 크기를 결정하는데 적당

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{\ln}$$

$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$i)$ 평행류 : $\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,in}$
$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,out}$

$ii)$ 대항류 : $\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$
$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$

$iii)$ 다통로 및 직교류

$$\Delta T_{\ln} = F \Delta T_{\ln, CF}$$

$\Delta T_{\ln, CF}$: 대항류 $\Delta T_{\ln}$

F: 수정계수

그림 6-18

보통의 외각통관 열교환기와 직교류 열교환기에 대한 수정계수 F의 차트

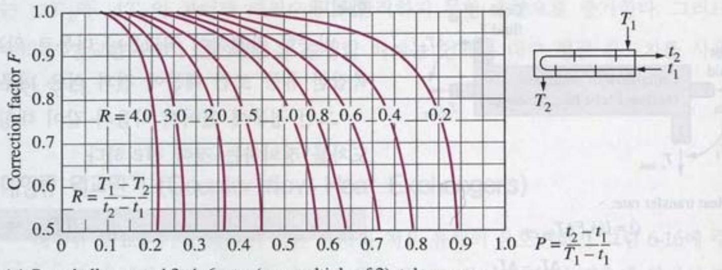
(Bowman, Mueller and Nagle, 참고문헌2)

(a) 1 외각통 통로 와 2,4,6관 통로

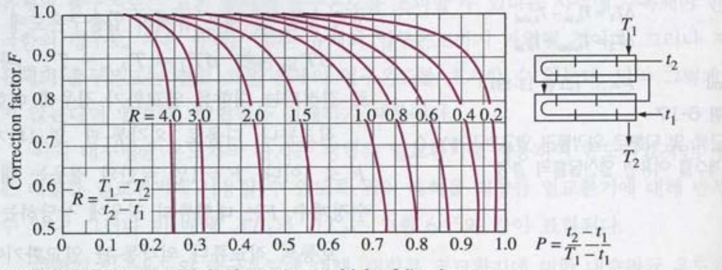
(b) 2 외각통 통로 와 4,8,12관 통로

(c) 비혼합인 외통로 직교류

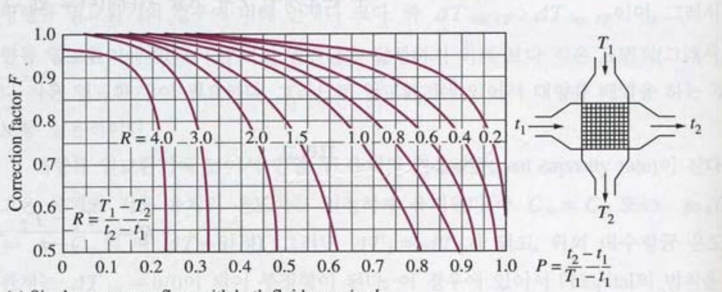
(d) 하나는 혼합 다른 하나는 비혼합 인 외통로 직교류



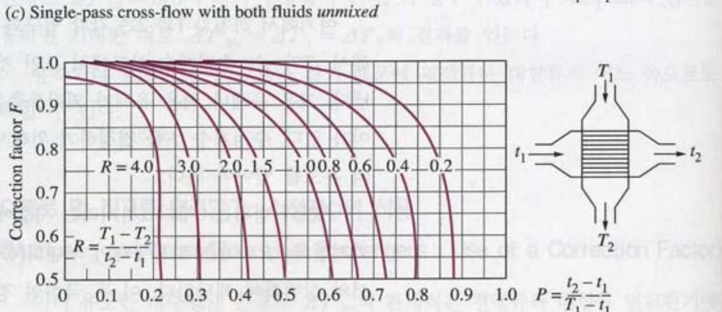
(*a*) One-shell pass and 2, 4, 6, etc. (any multiple of 2), tube passes



(*b*) Two-shell passes and 4, 8, 12, etc. (any multiple of 4), tube passes



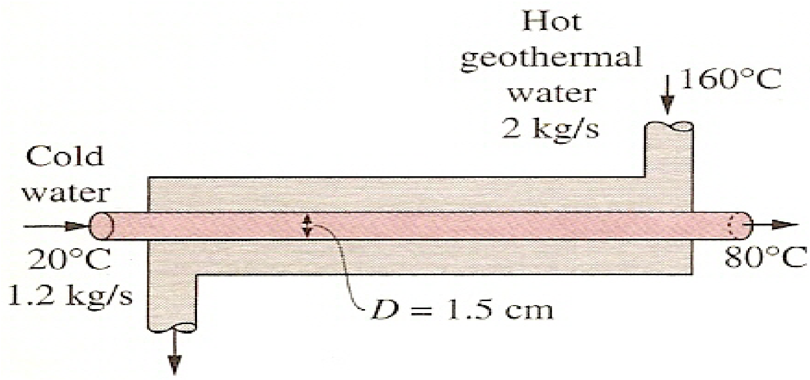
(*c*) Single-pass cross-flow with both fluids *unmixed*



(*d*) Single-pass cross-flow with one fluid *mixed* and the other *unmixed*

(Ex 10-4) 대항류 열 교환기의 난방수

(해)



$C_{pc} = 4.18,\ C_{ph} = 4.31$

$\dot{Q} = \dot{m}_c C_{pc}(T_{c,out} - T_{c,in})$

$= \dot{m}_h C_{ph}(T_{h,in} - T_{h,out})$

$$\therefore \Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$$

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{\ln} \rightarrow A = \frac{\dot{Q}}{U\Delta T_{\ln}} = \pi DL$$

10-5 유용도 - NTU법

규정된 열 교환기에서 고온과 저온유체의 출구온도 예측시

<u>열전달 유용도</u>

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\text{실제열전달률}}{\text{최대가능열전달률}}$$

$\dot{Q}_{\max} = C_{\min}(T_{h,in} - T_{c,in})$

$C_{\min} = \min(\dot{m}_h C_{ph}, \dot{m}_c C_{pc})$

열 교환기의 유용도는 흐름의 배열뿐 아니라 열 교환기의 기하학적 형상에 의존함.

평행류의 경우

$$\epsilon = \frac{1-\exp[-\frac{UA}{C_{\min}}(1+\frac{C_{\min}}{C_{\max}})]}{1+\frac{C_{\min}}{C_{\max}}}$$

전달 단위수(NTU)

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}}$$

용량율

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}}$$

일반적으로 $\epsilon =$ 함수(NTU, C)

표 6-4

열교환기에 대한 유용도 관계식 :

($\mathrm{NTU} = UA/C_{\min}$ and $C = C_{\min}/C_{\max} = (\dot{m}C_p)_{\min}/(\dot{m}C_p)_{\max}$)

Heat exchanger type	Effectiveness relaation
1 Double pipe :	
Parallel-flow	$\varepsilon = \frac{1-\exp[-\mathrm{NTU}(1+C)]}{1+C}$
counter-flow	$\varepsilon = \frac{1-\exp[-\mathrm{NTU}(1-C)]}{1-C\exp[-\mathrm{NTU}(1-C)]}$
2 Shell and tube : One-shell pass 2, 4, ... tube passes	$\varepsilon = 2\left\{1+C+\sqrt{1+C^2}\frac{1+\exp[-\mathrm{NTU}\sqrt{1+C^2}]}{1-C\exp[-\mathrm{NTU}\sqrt{1+C^2}]}\right\}^{-1}$
3 Cross-flow (single-pass)	
Both fluids unmixed	$\varepsilon = 1-\exp\left\{\frac{\mathrm{NTU}^{0.22}}{C}[\exp(-C\,\mathrm{NTU}^{0.78})-1]\right\}$
$C_{\max}$ mixed, $C_{\min}$ unmixed	$\varepsilon = \frac{1}{C}(1-\exp\{1-C[1-\exp(-\mathrm{NTU})]\})$
$C_{\min}$ mixed, $C_{\max}$ unmixed	$\varepsilon = 1-\exp\left\{-\frac{1}{C}[1-\exp(-C\,\mathrm{NTU})]\right\}$
4 All heat exchangers with $C=0$	$\varepsilon = 1-\exp(-\mathrm{NTU})$

표 6-5

열교환기들에 대한 NTU 관계식

($NTU = UA/C_{min}$ and $C = C_{min}/C_{max} = (\dot{m}C_p)_{min}/(\dot{m}C_p)_{max}$)

Heat exchanger type	NTU relation
1 Double pipe :	
Parallel-flow	$NTU = \frac{\ln[1-\varepsilon(1+C)]}{1+C}$
counter-flow	$NTU = \frac{1}{C-1}\ln\left(\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon C_1}\right)$
2 Shell and tube : One-shell pass 2, 4, ... tube passes	$NTU = -\frac{1}{\sqrt{1+C^2}}\ln\left(\frac{2/\varepsilon-1-C-\sqrt{1+C^2}}{2/\varepsilon-1-C+\sqrt{1+C^2}}\right)$
3 Cross-flow (single-pass)	
C_{max} mixed, C_{min} unmixed	$NTU = -\ln\left[1+\frac{\ln(1-\varepsilon C)}{C}\right]$
C_{min} mixed, C_{max} unmixed	$NTU = -\frac{\ln[C\ln(1-\varepsilon)+1]}{C}$
4 All heat exchangers with $C=0$	$NTU = -\ln(1-\varepsilon)$

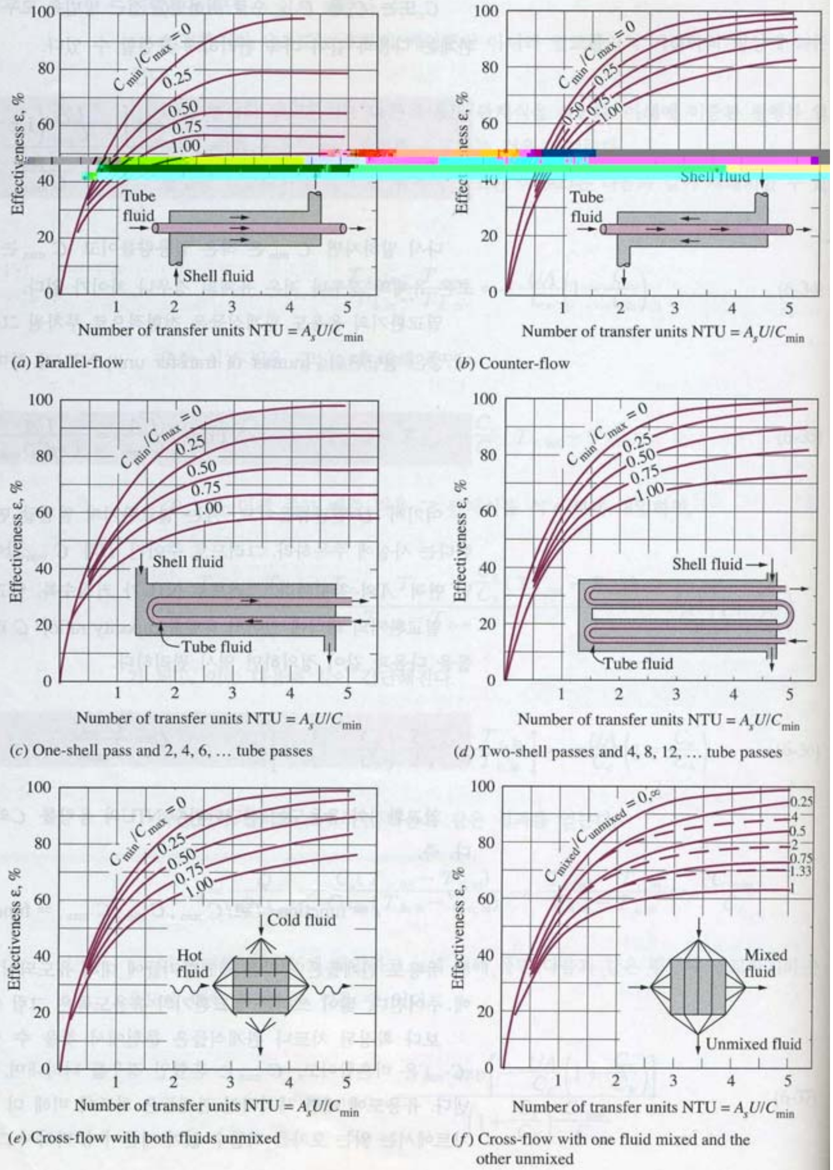


그림 6-26
열교환기에 대한 유용도 (출처 참고자료.7)

(Ex 10-8) 예제 10-4

$$C_h = \dot{m}_h C_{ph} = 8.62$$

$$C_c = \dot{m}_c C_{pc} = 5.02$$

$$C_{\min} = C_c$$

$$C_{\max} = C_h$$

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} = 0.583$$

$$\dot{Q}_{\max} = C_{\min}(T_{h,in} - T_{c,in}) = 702.8$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_c C_{pc}(T_{c,out} - T_{c,in}) = 301.0$$

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} = 0.428$$

대향류이므로 그림 10-26b나 표 10-5에서 식 사용

$$NTU = \frac{1}{C-1} ln(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon C - 1}) = 0.651$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}} \rightarrow A = \frac{NTU C_{\min}}{U} = 5.11 = \pi DL$$