



열전달 (Heat Transfer)

2012년도 1학기(제 12주)



기계자동차공학부
박승운



제8장 복사열전달(1) (Radiation)

◆ 학습목표

- 다표면에서의 복사열교환에 대한 이해
- 형태계수와 이와 관계되는 법칙들에 대해 토의

◆ 학습성과

- 다표면 복사열교환에 대해 설명할 수 있어야 함.
- 생활 주변에서 발생하는 다표면 복사열교환 기구 또는 현상에 대해 설명할 수 있어야 함.

강의 내용 및 순서

- 형태계수
- 형태계수 관계
- 복사열전달 : 흑체 표면
- 종합요약

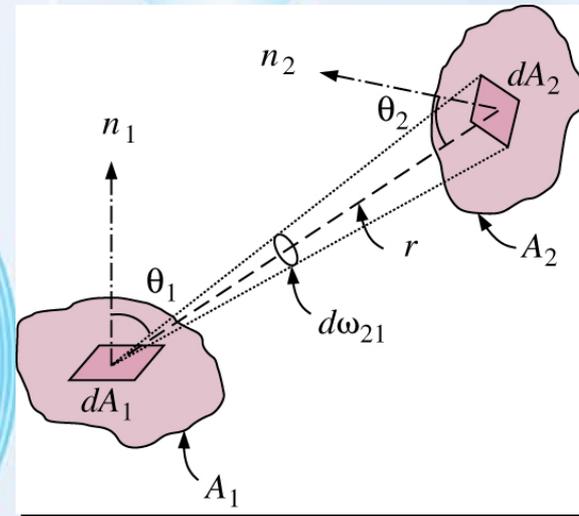
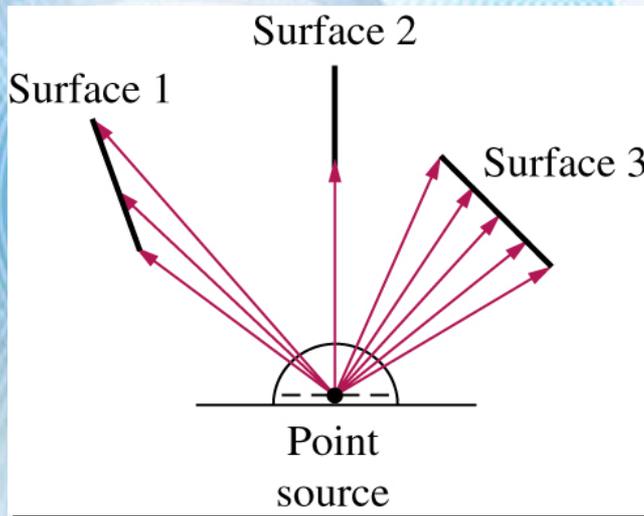
■ 형태계수(view factor)

; 두 표면 사이의 복사열전달에서 방향의 영향을 고려하기 위해 표면특성과 온도에 무관한 순수 기하학적인 값.

- 형상계수(shape factor), 윤곽계수(configuration factor), 각도계수(angle factor)
- 확산형태계수(diffuse view factor) : 표면이 확산방사체이고 확산반사체로 가정한 경우
- 산란형태계수(specular view factor) : 표면은 확산방사체이지만 산란반사체로 가정한 경우

※ 형태계수의 정의

$F_{i \rightarrow j}$ 또는 F_{ij} : 표면 i 를 떠나서 표면 j 에 곧바로 부딪히는 복사의 분률



■ 형태계수(view factor)

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{dA_1 \rightarrow dA_2} &= I_1 \cos\theta_1 dA_1 d\omega_{21} \\ &= I_1 \cos\theta_1 dA_1 \frac{dA_2 \cos\theta_2}{r^2}\end{aligned}\quad (8-1)$$

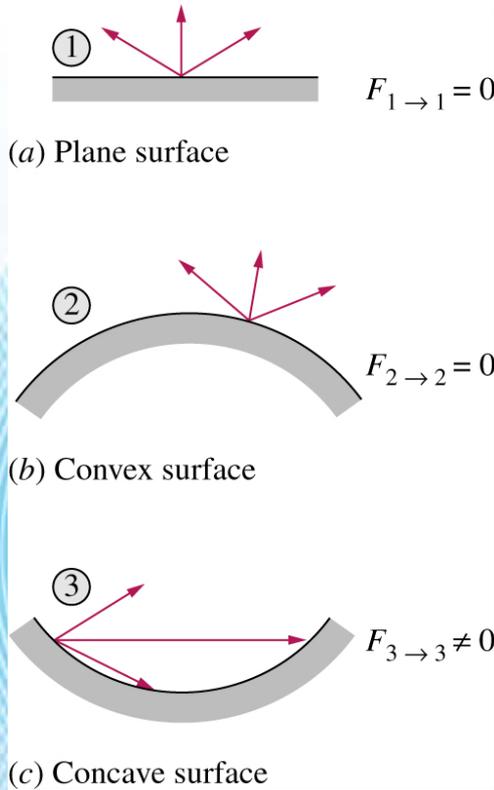
$$\dot{Q}_{dA_1} = J_1 dA_1 = \pi I_1 dA_1 \quad (8-2)$$

J : 복사도, 모든방향에서 dA 를 떠나는 복사의 총비율($=\pi I$)

$$\begin{aligned}dF_{dA_1 \rightarrow dA_2} &= \frac{\dot{Q}_{dA_1 \rightarrow dA_2}}{\dot{Q}_{dA_1}} \\ &= \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{\pi r^2} dA_2\end{aligned}\quad (8-3)$$

$$F_{dA_1 \rightarrow A_2} = \int_{A_2} \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{\pi r^2} dA_2 \quad (8-4)$$

■ 형태계수(view factor)



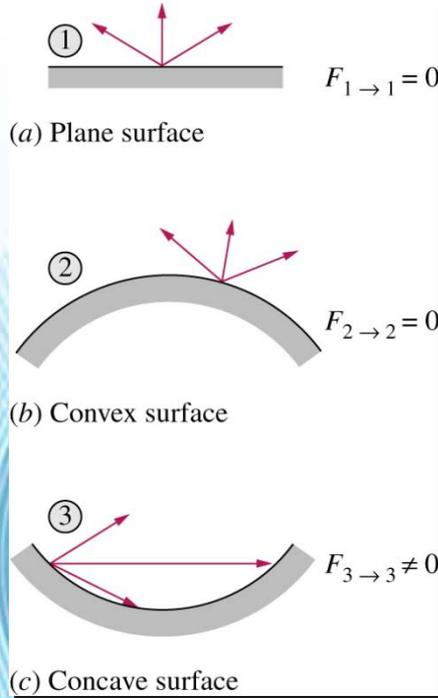
$$\dot{Q}_{A_1} = J_1 A_1 = \pi I_1 A_1 \quad (8-5)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{A_1 \rightarrow dA_2} &= \int_{A_1} \dot{Q}_{dA_1 \rightarrow dA_2} \\ &= \int_{A_1} \frac{I_1 \cos\theta_1 \cos\theta_2}{r^2} dA_1 dA_2 \end{aligned} \quad (8-6)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{A_1 \rightarrow A_2} &= \int_{A_2} \dot{Q}_{A_1 \rightarrow A_2} \\ &= \int_{A_2} \int_{A_1} \frac{I_1 \cos\theta_1 \cos\theta_2}{r^2} dA_1 dA_2 \end{aligned} \quad (8-7)$$

$$\begin{aligned} F_{12} = F_{A_1 \rightarrow A_2} &= \frac{\dot{Q}_{A_1 \rightarrow A_2}}{\dot{Q}_{A_1}} \\ &= \frac{1}{A_1} \int_{A_2} \int_{A_1} \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2 \end{aligned} \quad (8-8)$$

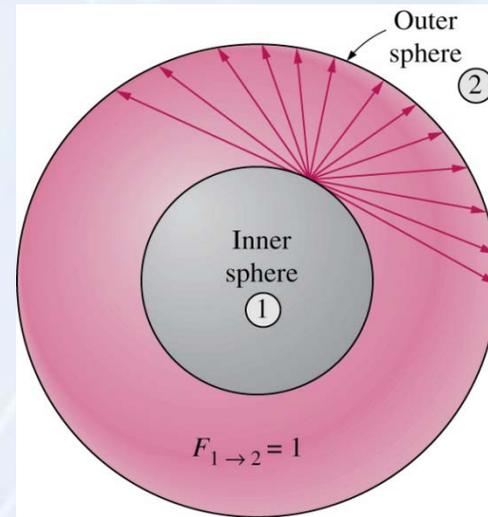
■ 형태계수(view factor)



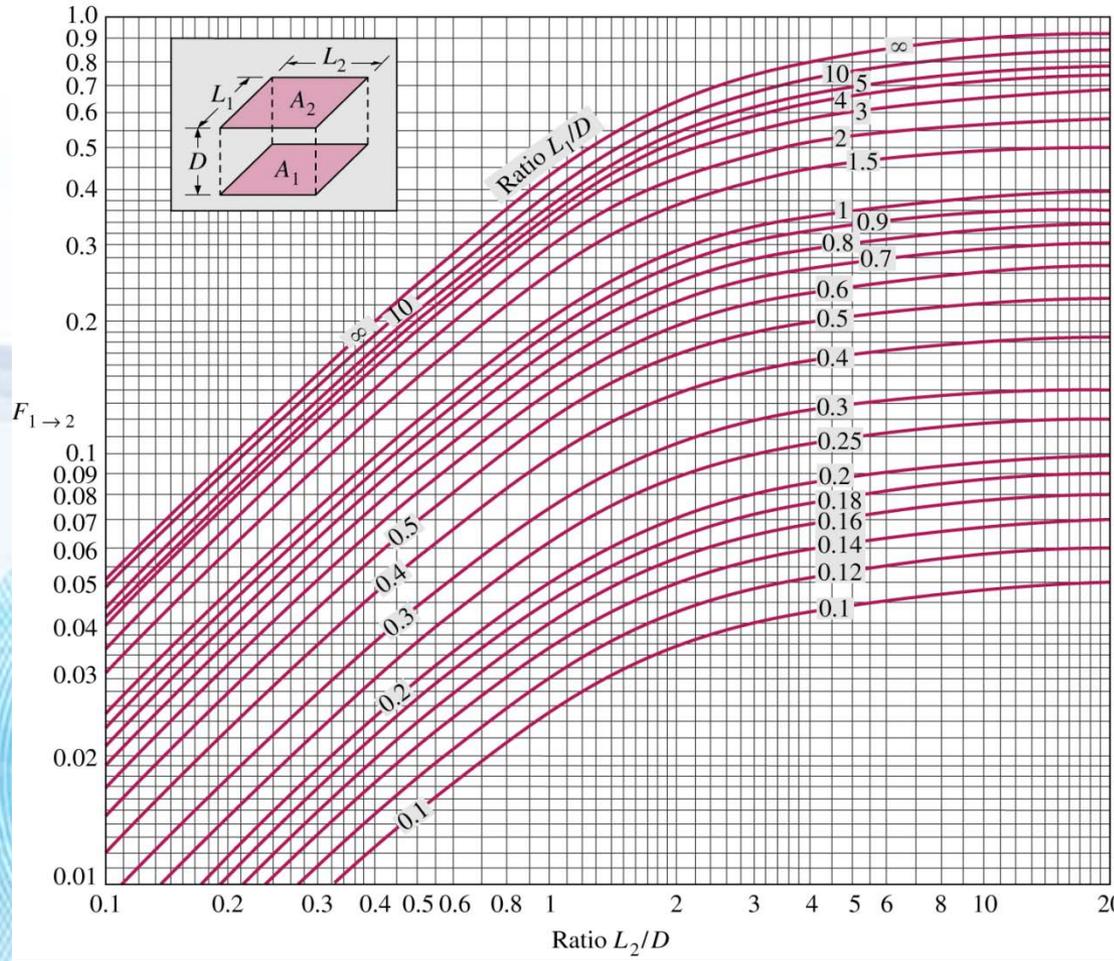
$$F_{21} = F_{A_2 \rightarrow A_1} = \frac{\dot{Q}_{A_2 \rightarrow A_1}}{\dot{Q}_{A_2}}$$

$$= \frac{1}{A_2} \int_{A_2} \int_{A_1} \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2 \quad (8-9)$$

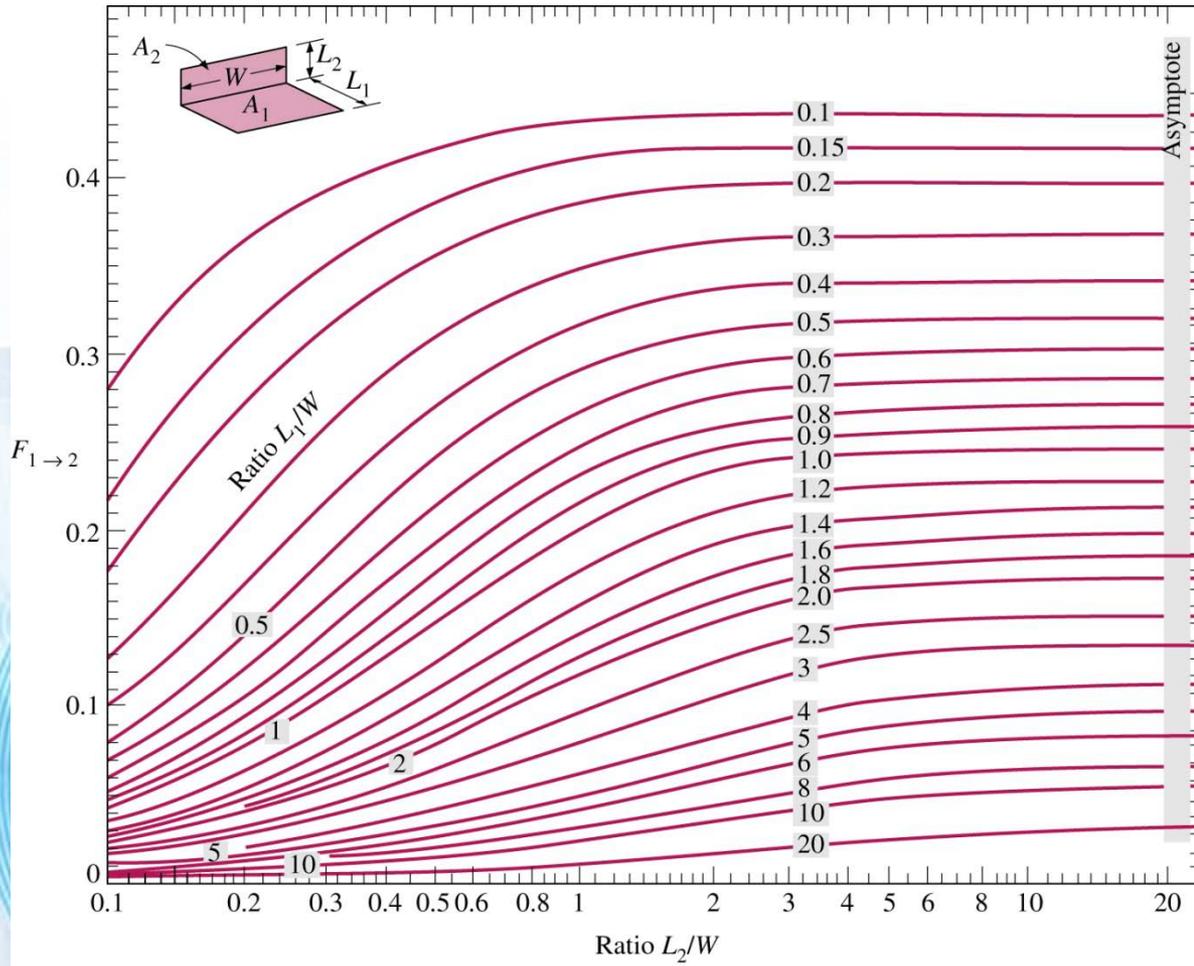
$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21} \quad (8-10)$$



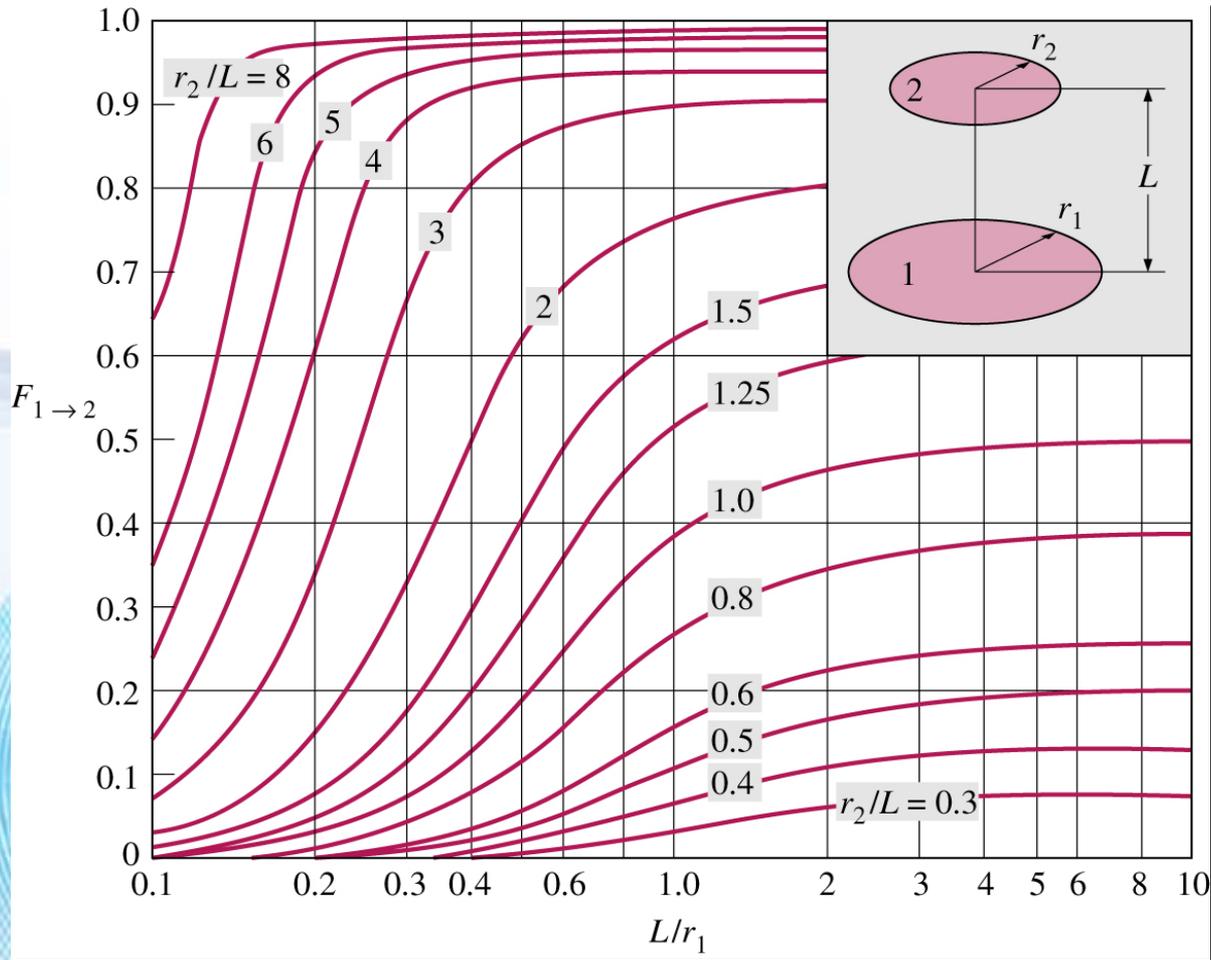
■ 형태계수(view factor)



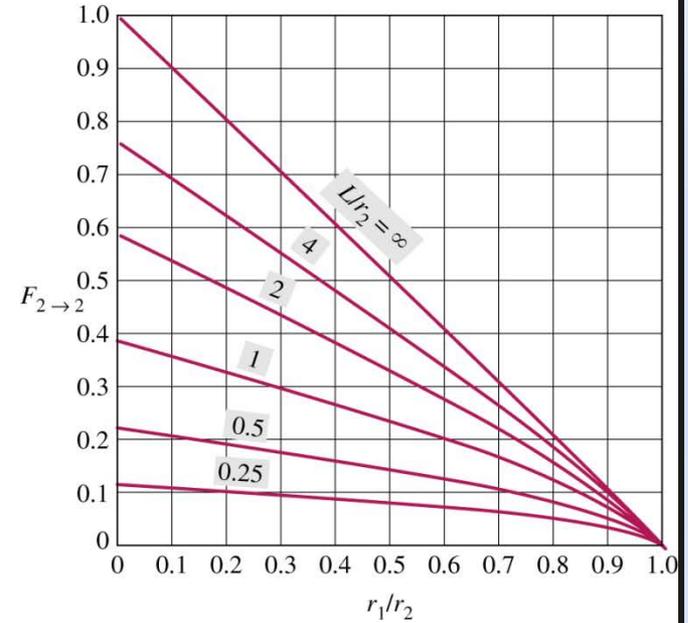
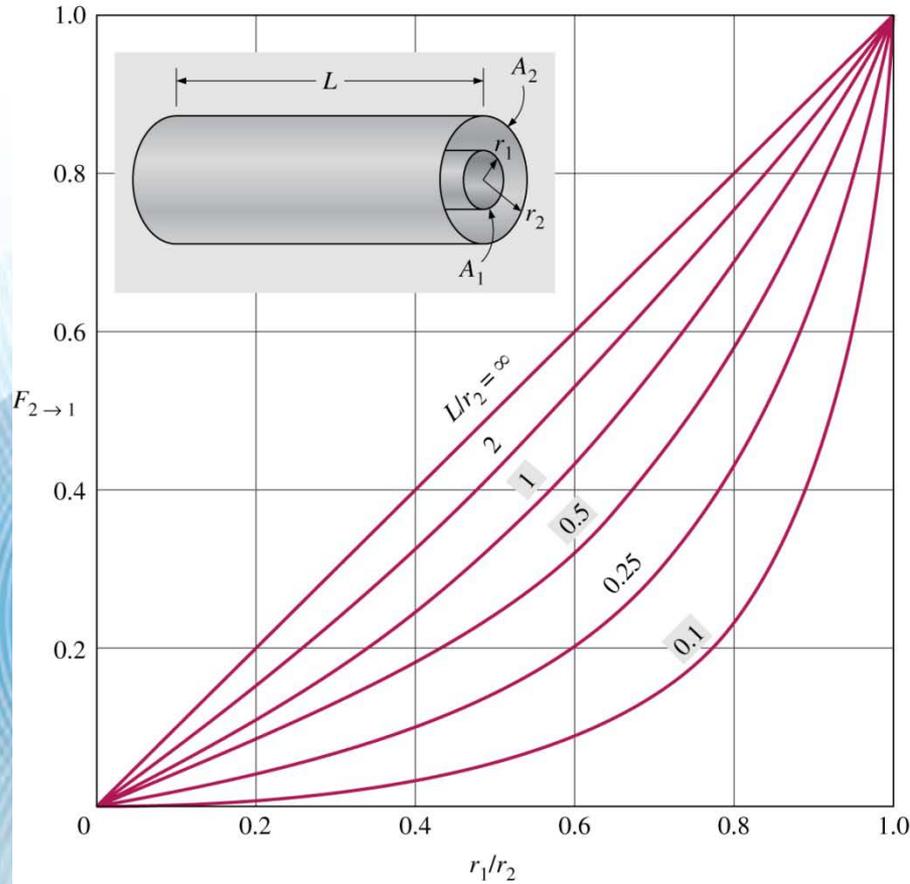
■ 형태계수(view factor)



■ 형태계수(view factor)



■ 형태계수(view factor)



■ 형태계수 관계

○ N개의 평면을 가진 밀폐용기의 복사해석을 위해서는 N^2 의 형태계수를 계산하여야 함.

1. 상호성 법칙(reciprocity rule) 또는 상호성 관계(reciprocity relation)

$$F_{j \rightarrow i} = F_{i \rightarrow j} \quad \text{when } A_i = A_j$$

$$F_{j \rightarrow i} \neq F_{i \rightarrow j} \quad \text{when } A_i \neq A_j$$

$$A_i F_{i \rightarrow j} = A_j F_{j \rightarrow i} \quad (8-11)$$

2. 합의 법칙(summation rule)

$$\sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} = 1 \quad (8-12)$$

$$\sum_{j=1}^3 F_{1 \rightarrow j} = F_{1 \rightarrow 1} + F_{1 \rightarrow 2} + F_{1 \rightarrow 3} = 1$$

$$N^2 - \left[N + \frac{1}{2} N(N-1) \right] = \frac{1}{2} N(N-1)$$



■ 형태계수 관계

3. 중첩 법칙(superposition rule)

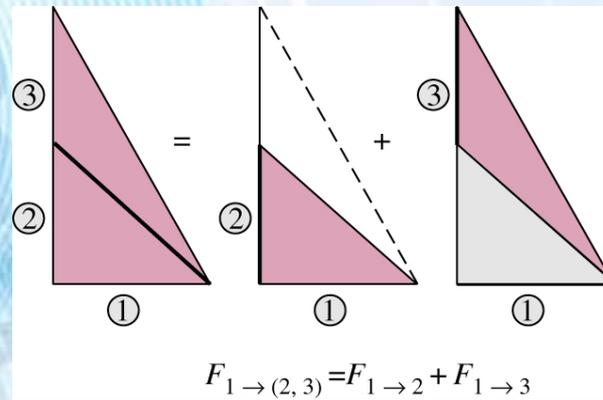
$$F_{1 \rightarrow (2,3)} = F_{1 \rightarrow 2} + F_{1 \rightarrow 3} \quad (8-13)$$

$$A_1 F_{1 \rightarrow (2,3)} = A_1 F_{1 \rightarrow 2} + A_1 F_{1 \rightarrow 3}$$

$$(A_2 + A_3) F_{(2,3) \rightarrow 1} = A_2 F_{2 \rightarrow 1} + A_3 F_{3 \rightarrow 1}$$

or

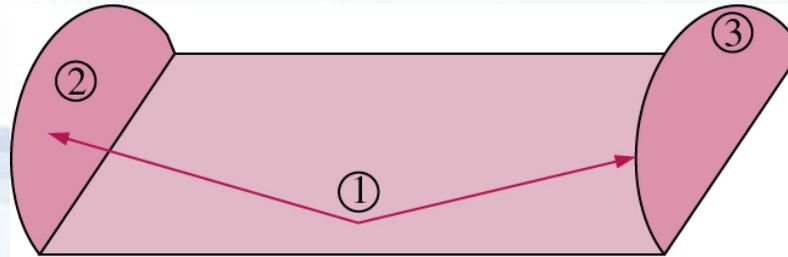
$$F_{(2,3) \rightarrow 1} = \frac{A_2 F_{2 \rightarrow 1} + A_3 F_{3 \rightarrow 1}}{A_2 + A_3} \quad (8-14)$$



■ 형태계수 관계

4. 대칭 법칙(symmetry rule)

$$F_{i \rightarrow j} = F_{i \rightarrow k}, \quad F_{j \rightarrow i} = F_{k \rightarrow i}$$

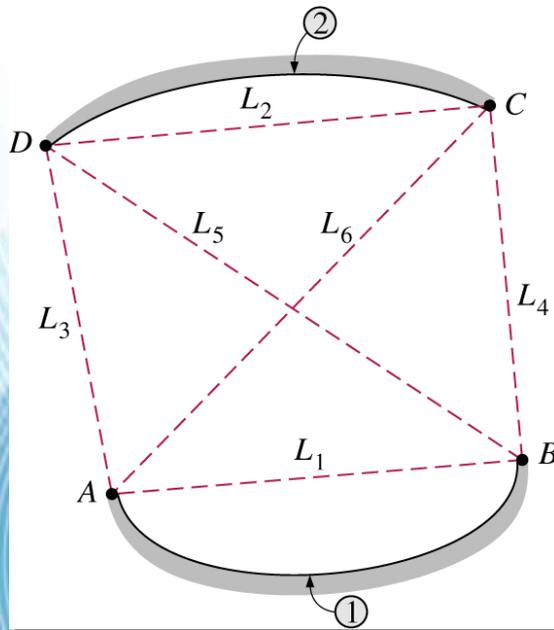


$$F_{1 \rightarrow 2} = F_{1 \rightarrow 3}$$

$$\text{(Also, } F_{2 \rightarrow 1} = F_{3 \rightarrow 1}\text{)}$$

■ 형태계수 관계

○ 교차선법(crossed string method)



$$F_{12} = \frac{A_1 + A_2 - A_3}{2A_1} = \frac{L_1 + L_2 - L_3}{2L_1} \quad (8-15a)$$

$$F_{13} = \frac{A_1 + A_3 - A_2}{2A_1} = \frac{L_1 + L_3 - L_2}{2L_1} \quad (8-15b)$$

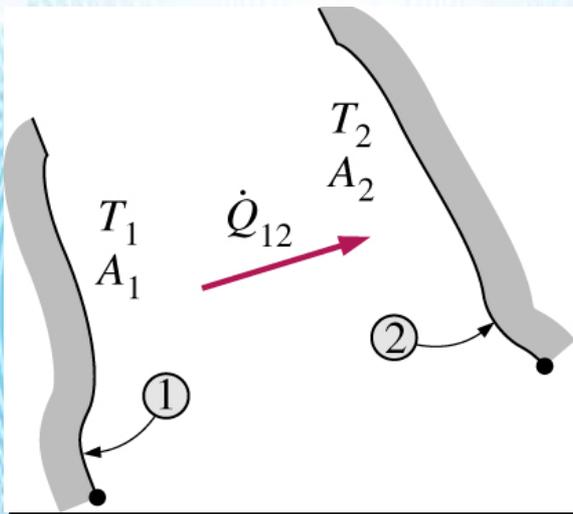
$$F_{23} = \frac{A_2 + A_3 - A_1}{2A_2} = \frac{L_2 + L_3 - L_1}{2L_2} \quad (8-15c)$$

$$F_{1 \rightarrow 2} = \frac{(L_5 + L_6) - (L_3 + L_4)}{2L_1} \quad (8-16)$$

$$F_{i \rightarrow j} = \frac{\sum(\text{교차선}) - \sum(\text{비 교차선})}{2 \times (\text{표면 } i \text{ 위의 교차선})} \quad (8-17)$$

■ 복사열전달 ; 흑체표면

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{1 \rightarrow 2} &= \left(\begin{array}{c} \text{표면2에 부딪히는} \\ \text{완전한 표면1을} \\ \text{떠나는 복사} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{표면1을 부딪히는} \\ \text{완전한 표면2를} \\ \text{떠나는 복사} \end{array} \right) \\ &= A_1 E_{b1} F_{1 \rightarrow 2} - A_2 E_{b2} F_{2 \rightarrow 1} \end{aligned} \quad (8-18)$$



$$\dot{Q}_{1 \rightarrow 2} = A_1 F_{1 \rightarrow 2} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (8-19)$$

$$\dot{Q}_i = \sum_{j=1}^N \dot{Q}_{i \rightarrow j} = \sum_{j=1}^N A_i F_{i \rightarrow j} \sigma (T_i^4 - T_j^4) \quad (8-20)$$

■ 종합요약

◆ 온도측정에서 복사효과

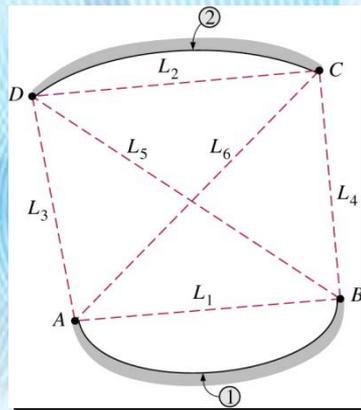
$$A_i F_{i \rightarrow j} = A_j F_{j \rightarrow i} \quad (8-11) : \text{상호성 법칙}$$

$$\sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} = 1 \quad (8-12) : \text{합의 법칙}$$

$$F_{1 \rightarrow (2,3)} = F_{1 \rightarrow 2} + F_{1 \rightarrow 3} \quad (8-13) : \text{중첩 법칙}$$

$$F_{i \rightarrow j} = F_{i \rightarrow k}, \quad F_{j \rightarrow i} = F_{k \rightarrow i} \quad : \text{대칭 법칙}$$

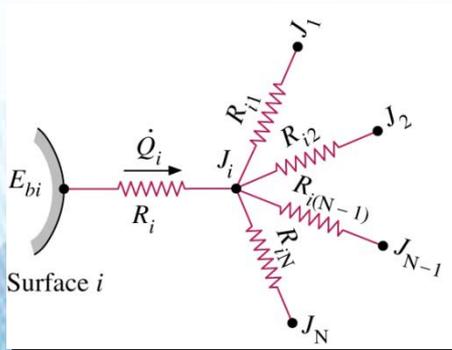
$$F_{i \rightarrow j} = \frac{\sum(\text{교차선}) - \sum(\text{비 교차선})}{2 \times (\text{표면 } i \text{ 위의 교차선})} \quad (8-17) : \text{교차선 법}$$



□ 종합요약

◆ 복사열전달(회체)

○ 두 표면 사이의 복사열전달



$$\begin{aligned} \dot{Q}_i &= \sum_{j=1}^N \dot{Q}_{i \rightarrow j} = \sum_{j=1}^N A_i F_{i \rightarrow j} (J_i - J_j) \\ &= \sum_{j=1}^N \frac{J_i - J_j}{R_{i \rightarrow j}} \end{aligned} \quad (8-32)$$

$$\frac{E_{bi} - J_i}{R_i} = \sum_{j=1}^N \frac{J_i - J_j}{R_{i \rightarrow j}} \quad (8-33)$$

○ 복사문제의 해석방법

- \dot{Q}_i 또는 T_i 가 주어진 경우

$$\dot{Q}_i = A_i \sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} (J_i - J_j) \quad (8-34)$$

$$\sigma T_i^4 = J_i + \frac{1 - \epsilon_i}{\epsilon_i} \sum_{j=1}^N F_{i \rightarrow j} (J_i - J_j) \quad (8-35)$$

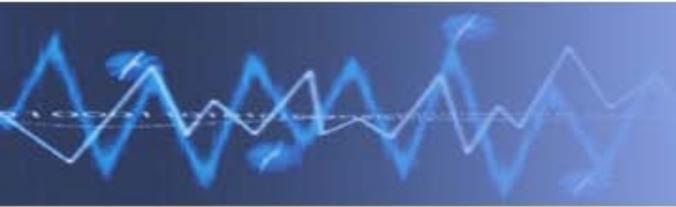


◆ 다음강의(예고)

- 복사열전달(2)

* 확산 회체 표면

* 복사차폐막과 복사효과



감사합니다.

