

과목명: 열 및 물질 전달

교재: 단위조작 (Unit Operations of Chemical Engineering)

by Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott

7th Edition, McGraw-Hill Korea

교재의 구성

Section I 입문 (Introduction)

Section II 유체 역학 (Fluid Mechanics)

Section III 열전달 및 그 응용 (Heat Transfer and Its Applications)

Section IV 물질 전달 및 그 응용 (Mass Transfer and Its Applications)

Section V 입상 고체 처리 조작

→ 본 과목에서는 Section III 및 Section IV의 일부를 학습함

Section I 입문 (Introduction)

- * 화학공학(chemical engineering)의 정의: 원료를 변화시키거나 분리하여 유용한 제품을 만드는 공업 프로세스(industrial process)를 다루는 학문
- * 화학공학 엔지니어(chemical engineer)의 업무
 - 완전한 공정과 관련 장치를 개발, 설계, 건설
 - 적절한 원료를 선정하여 플랜트(plant)를 효율적이고 안전하며 경제적으로 운영
 - 제품이 구매자의 요구에 맞는지 판별
- * 화학공학은 과학(science)인 동시에 기예(art)
 - 문제 해결을 위하여 과학과 경험/판단력을 총동원
 - 문제를 실질적으로 해결할 수 있는 기량을 갖추었느냐에 따라 전문 기술자로서의 위상이 달라짐
- * 화학공학 엔지니어가 다룰 수 있는 공정과 산업
 - 과거: 설탕, 정유, 황산/메탄올, 폴리프로필렌 등 중화학 제품 및 유기 약품의 제조
 - 근래: 전자 산업의 리소그래피(lithography) 용 고분자 재료, 고강도 복합 재료, 식품 가공 분야의 유전자 수식 생화학 제제, 의약품 제조 및 약물 수송

Section I 입문 (Introduction)

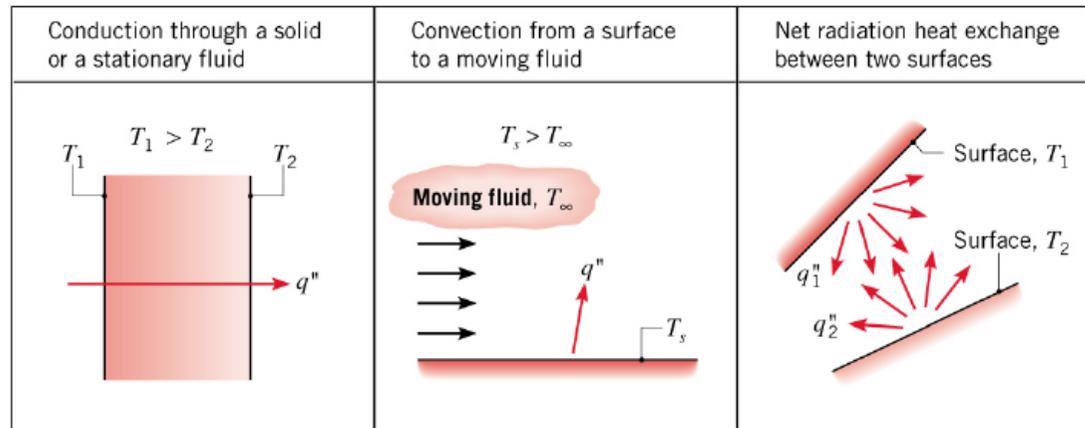
- * 단위 조작(unit operation)의 개념: '산업이나 공정의 종류에 관계 없이 공통적으로 필요하며, 체계적이고 통일적으로 다룰 수 있는 구성 단계'
 - 개별 공정은 무수히 많지만 어떤 공정이던 기본 구성 단계인 단위 조작으로 분할 가능
 - 각 단위 조작은 과학적 기초 원리가 동일함
 - 예 1) 고체와 유체의 수송, 열 등의 에너지를 한 물체에서 다른 물체로 전달, 건조/분쇄/증류/증발 등의 조작을 수행
 - 예 2) 반응 속도론(reaction kinetics): 반응물의 준비, 생성물의 분리 정제, 미반응물의 순환, 반응 장치에서 에너지 전달의 제어

- * 단위 조작(unit operation)의 예
 - 식염 제조 공정 → 고체와 액체의 수송, 열전달, 증발, 결정화, 건조, 스크린 분리 등 물리적 조작으로만 구성됨
 - 원유의 열분해 → 대규모 화학 반응과 함께 유체와 고체의 수송, 증류, 기계적 분리 등 단위 조작이 수반됨

- * 단위 조작(unit operation)의 과학적 기초
 - 질량 및 에너지의 보존
 - 물리적 평형
 - 반응 속도론
 - 물성

Section III 열전달 및 그 응용 (Heat Transfer and Its Applications)

- 화학 공정의 모든 단위 조작에서 에너지의 생성과 흡수: 열의 형태로 발생함
→ 본 section의 주된 내용: 열의 전달에 관련된 법칙과 열흐름의 제어를 위한 전열 장치
- 열흐름의 성질: 열의 순흐름(net flow)은 고온에서 저온으로 항상 온도 감소 방향으로 발생 (열역학 제 2 법칙과 관련)
- 열흐름의 세 가지 기구(mechanism): 전도, 대류, 복사



- 열(heat): 어떤 시간 동안 전달된 열에너지의 양 (단위: J)
- 열 전달 속도(heat transfer rate): 단위 시간당 전달되는 열에너지의 양 (단위: J/s = W)
- 열 플럭스(heat flux): 단위 시간당 단위 면적당 전달되는 열에너지의 양 (단위: J/s•m² = W/m²)

Section III 열전달 및 그 응용 (Heat Transfer and Its Applications)

- * 전도(conduction): 연속체 내에 온도 구배(gradient)가 존재할 때 구성 성분이 가시적 이동 없이 열이 흐르게 되는 기구를 전도라 정의
 - Fourier 법칙: 열 플럭스(heat flux, 열속)는 온도 구배에 비례하며 구배의 부호는 음임. 1차원 열흐름에서 Fourier 법칙은 다음과 같은 수식으로 표현 가능

$$\frac{dq}{dA} = -k \frac{dT}{dx}$$

q: 표면에 직각 방향으로의 열유량(열 흐름 속도)

A: 표면의 면적

T: 온도

x: 표면에서 직각 방향으로의 거리

k: 비례 상수 → 열전도도 (thermal conductivity)로 정의됨

- * 고체, 액체, 기체에서 열전도의 원인
 - 금속 고체 등 전도체: 자유 전자의 운동에 기인, 열전도도와 전기 전도도(electrical conductivity)가 거의 일치
 - 부도체나 액체: 이웃 진동 분자들이나 원자들 간에 운동량 전달에 기인
 - 기체: 분자들의 무작위 운동에 의해 발생하며 열이 고온 영역에서 저온 영역까지 확산
- * 전도의 예: 노벽 및 열교환기 등 금속 벽을 통한 열 에너지의 전달

Section III 열전달 및 그 응용 (Heat Transfer and Its Applications)

* 대류(convection): 유체의 흐름과 관련된 열의 전달로 정의됨

- 대류 플럭스(convective heat flux)와 열전달 계수의 도입: 대류에 의한 열전달의 플럭스는 표면 온도와 유체의 온도 차에 비례하며, 비례 상수는 열전달 계수(heat transfer coefficient)로 정의됨

$$q/A = h(T_s - T_f)$$

q: 표면에 직각 방향으로의 열유량(열 흐름 속도)

A: 표면의 면적

T_f : 표면으로 부터 떨어진 유체의 본체 온도

T_s : 표면 온도

h: 열전달 계수

* 열전달 계수: 열전도도와 달리 유체의 고유한 물성(physical property)가 아니며, 유체 역학적으로 결정되는 흐름 형태에 의존하여 변할 수 있는 값임

* 자연 대류와 강제 대류

- 자연 대류(natural convection): 유체의 흐름이 밀도차 또는 온도차에 의해 발생하여 열이 전달되는 경우 자연 대류에 해당. 예) 냄비에 물을 끓일 때

- 강제 대류(forced convection): 유체의 흐름이 밀도 차에 무관하여 발생하는 경우에 해당. 예) 펌프나 교반기에 의해 강제적으로 유체가 이동하여 발생하는 열전달

Section III 열전달 및 그 응용 (Heat Transfer and Its Applications)

- * 복사(radiation): 매질이 없이 공간을 통한 전자기파에 의해 에너지가 전달되는 경우
 - 전자기파 또는 복사선: 공간을 통과할 때 열이나 다른 에너지로 형태를 바꾸지 않음. 경로를 바꾸지 않으나, 경로에 존재하는 물질에 의해 흡수, 반사, 투과됨.
 - 흡수된 전자기파 만이 열의 형태로 변형될 수 있음
 - 예) 용융 석영(fused quartz): 대부분의 전자기 복사를 투과시킴
 - 연마된 불투명 표면 또는 거울: 대부분의 전자기파를 반사시킴
 - 흑색 표면 또는 매트(matt) 표면: 대부분의 복사를 흡수하며 열로 변환됨
- 흑체 복사: 흑체에 의해 방출되는 에너지는 절대 온도의 4 승에 비례함

$$W_b = \sigma T^4$$

W_b : 단위 면적 당 복사 에너지의 방출 속도

σ : Stefan-Boltzmann 상수

T : 절대 온도

- * 복사와 전도-대류는 분리하여 연구 가능
 - 복사는 고온 조건에서 중시됨
 - 전도-대류는 유체의 흐름 조건에 민감