

열 및 물질 전달 야간 중간고사 (2013.10.29. 화요일)

1. 다음 정상 상태 흐름은 층류인가 난류인가?

(a) 2 in 관에 비중 0.78, 점도 20 cP인 기름이 5 ft/s로 흐른다.

(b) 15 mm 관에 밀도 900 kg/m³, 점도 1 Pa·s인 고분자 용융물이 0.2 m/s로 흐른다.

2. (a) 15 mm 관에 섭씨 60 도의 100 % 글리세롤(밀도 1,240 kg/m³)이 0.3 m/s로 흐를 때, 관 입구의 전이 길이를 구하라.

(b) 1.5 cm 원관에 3 atm, 섭씨 100 도의 공기가 1 cm/s로 흐른다. 이 공기는 층류로써 Reynolds 수는 임계치에 가깝다. 온도를 섭씨 200 도로 올리는 경우에 이 흐름이 난류가 될 수 있는가? 물 흐름은 일정하다고 가정한다.

3. (a) 간격 B 만큼 떨어진 두 수직 평행판 사이에 뉴턴 유체가 들어 있다. 왼쪽 판은 고정되어 있고, 오른쪽 판은 일정한 속도 v_0 로 수직 상방으로 움직인다. 층류라 가정하고, 유체의 정상 상태 속도 프로필을 나타내는 식을 구하여라. Navier-Stokes 식은 다음과 같음을 활용할 수 있다.

$$\rho \frac{DV}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 V + \rho g$$

(b) 위 문제에서 간격이 1 mm인 판 사이에 밀도 900 kg/m³, 점도 50 mPa·s인 유분이 있다고 하자. 중력에 비해 압력 강하는 무시할 수 있다고 보고, 유체가 위로 흐르는데 필요한 이동 판의 최소 상향 속도를 구하라.

4. 노벽이 200 mm 두께의 내화벽돌, 100 mm 두께의 카오린 벽돌, 그리고 6 mm의 강철판으로 구성되었다. 내화벽돌의 화염 쪽은 섭씨 1150 도, 강철판의 외부 표면 온도는 섭씨 30 도이다. 노에 대한 정밀 열 수지에 의해 노벽으로부터 열손실이 300 W/m² 임을 알았다. 벽돌층과 강철 사이에는 얇은 공기층이 존재하는 것으로 알려졌다. 이 공기층은 카오린 벽돌의 몇 mm에 상당하는가? (열전도도 값은 다음과 같다. 내화 벽돌 = 1.7 W/m·K, 카오린 벽돌 = 0.11 W/m·K, 강철판 = 45 W/m·K)

5. 내경 r_1 , 외경 r_2 인 구형 각을 통과하는 정상상태 열전달식(steady state heat conduction)을 유도하라. 그 결과를 두꺼운 원통에 대한 해와 쉽게 비교되도록 재정리하라.

6. (a) 반경 r_m 인 구에 대한 비정상상태 열전도(unsteady state heat conduction)에 대한 지배 방정식을 유도하라. 경계 조건은 다음과 같다. $T(r, t = 0) = T_a$, $T(r = r_m, t) = T_s$

위 지배방정식의 해는 다음과 같다.

$$\frac{T_s - \bar{T}_b}{T_s - T_a} = 0.608e^{-9.87Fo} + 0.152e^{-39.5Fo} + 0.0676e^{-88.8Fo} + \dots$$

(b) 화씨 700 도까지 가열된 지름 3 in의 강철구가 화씨 125 도의 기름조에 잠겨져 냉각된다. 기름과 강철 표면간 열저항이 무시될 때, 미달 온도 변화가 초기 온도차의 1 %까지 감소되는 데 걸리는 시간은 얼마인가? (위의 무한 급수해에 대한 근사식을 활용하라.)

7. 19,000 kg/h로 흐르는 사염화탄소가 섭씨 20도의 냉각수 13,500 kg/h에 의해 섭씨 85 도에서 섭씨 40 도까지 냉각된다. 사염화탄소의 관 외부에 경막계수는 1,700 W/m²K 이다. 벽저항은 무시되나 물이 흐르는 쪽의 h_i 는 오염인자를 포함하여 1,100 W/m²K 이다. (a) 역류 교환기에서 필요한 면적은 얼마인가? (b) 병행류를 사용하여 사염화탄소의 초기 냉각을 더 빠르게 할 때 면적은 몇 배로 증가되는가? (사염화탄소의 비열은 0.26 cal/g·K이다.)

8. 열전달에 있어서 강제 대류와 자연 대류 현상이란 무엇인지 각각 아는 대로 설명하라.

9. 난류로 흐르는 섭씨 200 도의 공기에 대한 열전달 계수를 예측하기 위하여 다음 Sieder-Tate 식을 활용한다면, $\Delta T = 100$ °C 일 때 가열의 경우와 냉각의 경우 그 계수들은 얼마의 차이가 있을 것인가?

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{1/3}\Phi_v, \Phi_v = (\mu/\mu_w)^{0.14} \text{ (Sieder-Tate 식)}$$

단, 절대온도 T에서 공기의 점도를 추정하기 위하여 다음 식을 활용할 수 있다.

$$\mu/\mu_0 = (T/273)^{0.65}, \mu_0 = 0.017 \text{ cP (섭씨 0 도에서 공기의 점도)}$$

10. 다음 무차원수의 정의에 대해 기술하라. 이 중 Re, Pr, Nu는 물리적 의미에 대해 설명하라.

(a) Re (b) Fo (c) Bi (d) Nu (e) Pr (f) Gz (g) Gr