

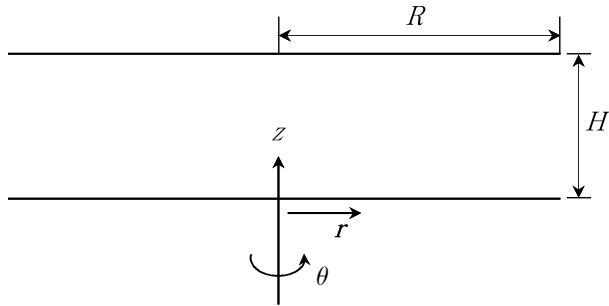
전달현상

2016년 시행 5급 공채(기술) 제2차시험

응시번호 :

성명 :

제 1 문. 점도 μ 인 비압축성 뉴턴(Newtonian) 유체가 그림과 같이 반지름 R 인 상단과 하단의 두 수평 원판 사이에 담겨 있다. 두 원판 사이의 거리는 H 이다. (단, $H/R \ll 1$) 상단 원판은 움직이지 않게 고정되어 있으며, 하단 원판은 일정한 각속도 ω (rad/s)로 회전한다. 두 원판 사이에 담긴 유체의 흐름은 정상 상태의 미동 흐름(creeping flow)이며, 유체는 원통좌표계의 θ 방향으로만 흐른다고 가정한다. 뉴턴 유체에 대한 원통좌표계 운동방정식의 각 성분식은 다음과 같다. 다음 물음에 답하시오. (총 30점)



r -성분

$$\rho \left(\frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} - \frac{u_\theta^2}{r} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial r} + \rho g_r + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r u_r) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \right]$$

θ -성분

$$\rho \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_r u_\theta}{r} + u_z \frac{\partial u_\theta}{\partial z} \right) = - \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \rho g_\theta + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r u_\theta) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial z^2} \right]$$

z -성분

$$\rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right]$$

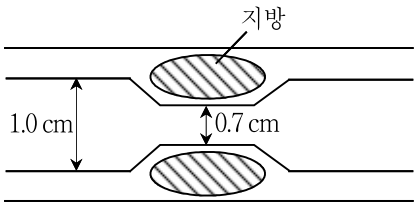
- 1) θ 방향의 속도를 $u_\theta = r f(z)$ 과 같이 나타낼 수 있을 때, $f(z)$ 를 구하시오. (20점)
- 2) 하단 원판을 각속도 ω 로 회전시키는데 필요한 토크(torque)를 구하시오. (단, z 평면에서 u_θ 에 의한 전단응력 $\tau_{z\theta}$ 은 $\tau_{z\theta} = \mu \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} \right)$ 이다) (10점)

제 2 문. 콜레스테롤이나 지방이 혈관벽에 축적되는 경우 혈관이 협소해짐으로써 동맥경화 등의 혈관 질환이 발생할 수 있다. 지름 1.0cm인 대동맥 혈관이 과도한 지방의 축적에 의하여 부분적으로 혈관지름이 0.7cm로 줄어들었을 경우, 아래의 가정들을 이용하여 다음 물음에 답하시오. (총 20점)

i. 전단응력(shear stress, τ_s)은 마찰계수(friction factor) f 와 유체의 단위 부피당 운동에너지의 곱으로 정의한다.

$$\tau_s = f \frac{\rho u^2}{2}$$

- ii. 혈관은 항상 원통 형태를 가진다고 가정하며 혈액과 마찰이 있다고 가정한다.
- iii. 심장은 1분당 72회, 1회당 10 ml의 혈액을 펌프질하고, 혈류는 정상 상태이다.
- iv. 혈액의 점도(μ)와 밀도(ρ)는 각각 0.01 g/cm·s와 1.06 g/cm³으로 일정하다고 가정한다.
- v. 혈관 단면적의 축소나 확대에 의한 에너지 손실은 무시한다.



- 1) 정상(협소해지기 전) 대동맥의 혈관벽과 협소해진 대동맥의 혈관벽에 작용하는 전단응력크기의 비율을 구하시오. (10점)
- 2) 정상 혈관을 흐르는 혈액과 협소해진 혈관을 흐르는 혈액 사이의 압력차(Pa)를 구하시오. (단, 중력과 마찰에 의한 에너지 손실은 무시한다) (10점)

제 3 문. 열교환기(heat exchanger)는 두 유체 사이의 열에너지의 이동을 목적으로 사용되는 화학공정장치 중 하나이다. 일회 통과형 열교환기에서는 각 흐름의 방향에 따라 흐름이 동일한 방향인 병류(parallel flow)와 다른 방향인 향류(counter flow)로 나눌 수 있으며, 이러한 흐름의 열전달적인 특성을 이해하는 것은 화학공정 설계시 매우 중요하다. 일회 통과형 열교환기에 비열이 0.5 kcal/(kgK)인 윤활유가 1 kg/s의 질량유속으로 400 K로 유입된 후 열교환기를 거쳐 370 K로 냉각되며, 비열이 1 kcal/(kgK)인 물이 0.4 kg/s의 질량유속으로 300 K로 유입되고 있으며, 총괄열전달계수(overall heat transfer coefficient)가 250 W/(m²K)일 때 다음 물음에 답하시오. (총 20점)

- 1) 물의 출구 온도를 구하시오. (6점)
- 2) 로그평균 온도차(log mean temperature difference)를 사용하여 병류 및 향류 흐름을 가지는 열교환기에 필요한 단면적을 각각 구하시오. (14점)

제 4 문. 고온 상태에서 부드러운 철판(steel plate)의 표면을 더욱 단단하게 만들기 위하여 밀도가 일정하게 유지되는 탄소 분위기에 철판을 급속히 노출시키는 탄화(carburizing) 공정을 거친다. 이 공정에서 육면체 철판은 너비의 길이들이 두께보다 매우 커서 탄소의 확산은 철판의 두께 방향(z 방향)으로만 일어난다고 가정한다. 노출 전 철판에서 탄소의 농도(C_{A0})는 0.1 wt%이고 노출공정 중 철판 표면의 탄소 농도(C_{As})는 0.7 wt%를 유지한다. 이때 철에 대한 탄소의 확산 계수(D_{AB})는 $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ 이다. 다음 물음에 답하시오. (총 30점)

- 1) 이 탄화공정에서 철판 내 반무한(semi-infinite) 확산에 의한 탄소 농도 ($C_A = C_A(z, t)$)의 지배 방정식, 초기 및 경계조건을 쓰시오. (5점)
- 2) 1)에서 나타낸 철판 내 탄소 농도(C_A)의 지배 방정식, 초기 및 경계조건을 무차원 탄소 농도($Y = \frac{C_{As} - C_A}{C_{As} - C_{A0}}$)와 유사변수($\eta = \frac{z}{2\sqrt{D_{AB}t}}$)로 나타내시오. (5점)
- 3) 철판 내 무차원 탄소 농도(Y)를 유사변수 η 의 식으로 구하시오. (10점)
- 4) 근사식 $\int_0^\eta e^{-x^2} dx \approx \eta - \eta^3/3$ 을 이용하여 노출시간 2시간 후 철판 표면에서 0.03 cm 깊이에서 탄소 농도[wt%]를 구하시오. (10점)

인사혁신처 시험출제과장