Chap 9. 자연대류

자연대류는 팬, 송풍기와 같은 외부 유동에 의한 강제대류와는 달리 온도차에 의한 부력의 변화에 의한 흐름이 그 메커니즘이다.

9-1. 기본 개념

수직 벽에서의 자연대류는 수평 평판에서의 강제대류와 같이 층류 경계층이 난류 경계층으로 전이하는 모습을 보여준다. 하지만 경계층 밖에서의 속도가 0이 된다는 것이 다르다. 벽면에서는 no-slip 조건에 의하여 속도가 0이 되고, 경계층 밖에서는 부력이 존재하지 않기 때문에 속도가 0이 되므로 경계층 내부 영역에 속도가 최대가 되는 점이 존재한다. 자연대류는 온도 차에 의한 부력에 의하여 유발되므로 속도 경계층 깊이와 온도 경계층 깊이가 같게 된다.

자연대류에서는 강제대류에서 Reynolds 수의 역할을 하는 무차원 수는 Grashof 수로 다음과 같이 정의된다.

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TX^3}{\nu^2}$$

자연대류에 의한 열전달 상관식은 다음과 같은 형태를 갖게 된다.

$$Nu = f(Gr, Pr)$$

강제대류와 자연대류가 동시에 존재하는 경우에는, 강제대류에 대한 자연대류의 상대적 크기는 다음과 같은 매개인자에 의하여 지배된다.

$$\frac{Gr}{Re^2}$$

이 매개인자가 1보다 아주 크면 자연대류가 지배적이고, 반대이면 강제대류가 지배적이다.

9-2 평판에서의 자연대류

보통은 $Nu = c(Gr\,Pr)^n = cRa^n$ 의 형태로 열전달 상관식이 주어진다. 지수 n의 값은 층류와 난류의 경우에 다른 값을 갖는다.

수직 평판

1. 균일한 벽 온도

$$Nu = c(Gr\,Pr)^n = cRa^n$$

n은 층류일 경우에는 1/4, 난류일 경우에는 1/3인다. 난류일 경우에는 열전달 계수 h는 평판의 높이 L에 무관하다($h \sim (1/L)Ra^{1/3} \sim (1/L)(L^3)^{1/3}$).

2. 균일한 벽 열속

$$Nu = f(Ga^*, Pr)$$

$$Gr^* = \frac{g\beta q_w d^4}{\nu^2}$$

수평평판

1. 균일한 벽 온도

$$Nu = c(Gr\,Pr)^n$$

2. 균일한 벽 열속

$$Nu = c(Gr\,Pr)^n$$

$$Nu = \frac{hL}{k} = \frac{q_w L}{k\Delta T}$$

경사진 평판

$$Nu = c(Gr\,Pr\cos\theta)^n$$

경사각에 따라 층류에서 난류로 천이되는 Gr수의 값이 다르다.

9-3 긴 원통에서의 자연대류

수직 원통

Pr>0.7, $\frac{L/D}{(Gr_D)^{1/4}} < 0.025$ 인 경우에는 수직 원통을 수직 평판으로 볼 수 있다.

수평 원통

$$Nu = cRa^n$$

9-4 구에서의 자연대류

$$Nu = 2 + cRa^n$$

상수 2의 의미는 자연대류가 존재하지 않을 때, 즉 전도 만이 존재하는 영역에서의 Nusselt수로 이미 8장에서 유도하였다.

9-5. 공기에 대한 단순화된 식

공기에 대한 자연대류 상관식을 표 9-5에 정리되어 있다.

9-6 밀폐 공간에서의 자연대류

두 수평판 사이에 위치한 유체에서 자연대류는 온도차만 존재한다고 항상 존재하는 것은 아니다. 이 경우에는 자연대류는 Ra>1708인 경우에만 존재한다.