

비균일계에서의 열전달계수의 특성에 관한 연구

김 위경
한국원자력연구소

Study on characteristic of the heat transfer coefficients for inhomogenous system

W.K. Kim
Korea Atomic Energy Research Institute

1. 서론

증습, 추출, 증류공정과 같이 기상과 액상사이에 형성되는 경계면에서 일어나는 전달현상이나, 충전탑이나 유동층에서 일어나는 촉매, 흡수, 건조공정들은 일반적으로 particle의 크기 또는 流路의 크기가 상이하여 전달현상이 일어나는 경계면이 불균일하게 형성되는 공통점을 가지고 있다. 이러한 계의 열 및 물질전달 계수는 상당 particle 크기 혹은 상당직경을 사용하여 예측하나, Peclet 상수 (또는 Graetz 상수)가 매우 작을 경우에는 실험값이 예측값보다 매우 낮게 분포하는 것을 많은 문헌에서 찾아볼 수 있다. /1/.

Schluender /2/는 $n+1$ 개의 평행한 관으로 이루어진 모델에서 관들의 직경의 비를 사용하여 보다 정확히 실험값을 예측하는 방법을 제시하였고, Martin /3/은 확장된 Schluender의 모델을 사용하여 공극율이 서로 다른 충전물에서의 실험값을 예측하였다.

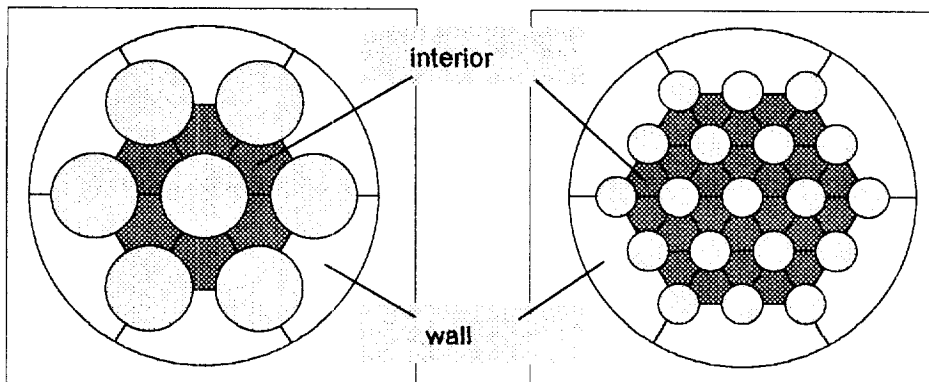


그림 1 Cross sectional area of the shell-and-tube heat exchangers

Kim /4/은 장애판이 없는 관다발 열교환기에서 유체의 흐름이 층류인 경우 유한미분법을 사용하여 열전달계수를 계산하였다. 관다발 열교환기의 열전달계수는 관의 배열에 따라 서로 다른 비균일계의 특성이 나타난다 (그림 4 참조). 관다발 열교환기의 구조는 그림 1에서 보여 주는 바와 같이 관으로 이루어진 삼각

또는 사각구조의 부수로(副水路)와 관과 동체사이의 부수로로 이루어져 있기 때문에 Schluender와 Martin이 사용한 모델을 사용할 수 없다. 즉 유체가 완전 확립되었을 경우 Nu값은 유로의 크기뿐만 아니라 유로의 모양에 따라 서로 다른 값을 가지므로 유로의 모양에 따른 변화를 고려한 모델의 개발이 필요하다.

2. 모델소개 및 적용

본 연구에서 사용된 모델은 그림 2에 개략적으로 표시하였듯이 크기와 길이가 동일한 이중관으로 이루어진 다발과 원관으로 이루어진 다발이 서로 병렬로 배열되어 있다. 각 부수로의 열전달계수값은 VDI- Waermeatlas /5/에 제시된 관계식으로부터 계산하였다. 이중관의 tube-to-shell 직경비와 이중관과 원관의 전열면적비가 0.1이고, 이중관 다발과 관다발의 상당직경비가 (D) 0.5, 0.79 (각부수로의 NTU값이 같음) 그리고 2인 경우에 모델 전체의 열전달계수를 (Symbols) 그림 3에 표시하였다.

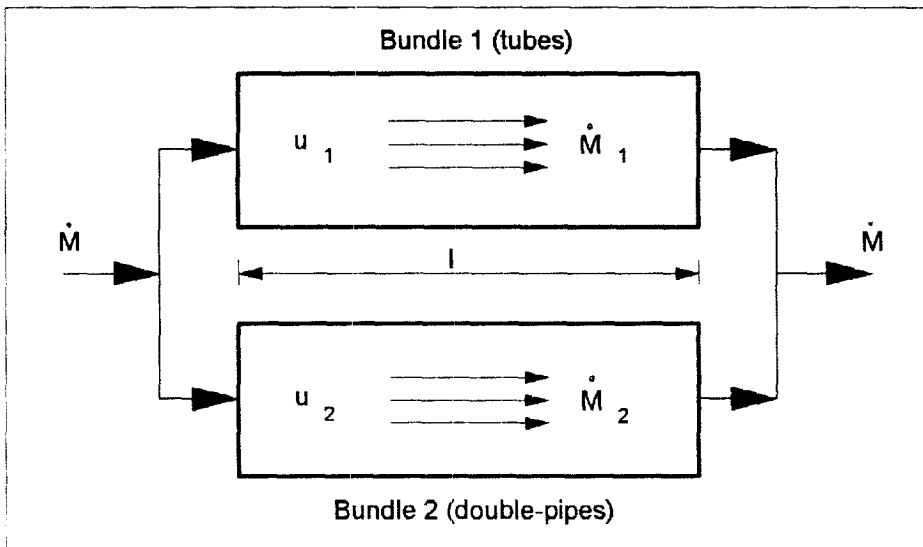


그림 2 Schematic diagram of the model system containing two bundles

이 그림에서는 비균일한 장치의 열전달계수는 원관이나 이중관의 관계식과 같이 두개의 점근식 (Nu_E : Nusselt number of thermal entrance region, Nu_∞ : Nusselt number of hydrodynamical and thermal developed flow) 으로 표시할 수 없음을 알 수 있다. 본 연구에서는 비균일계의 열전달계수를 예측하기 위하여 또 하나의 점근식을 추가한 다음과 같은 형태의 관계식을 유추하였다.

$$Nu = \left[Nu_\infty^3 + \frac{1}{Nu_M^{-3} + Nu_E^{-3}} \right]^{1/3} \tag{1}$$

여기에서 Nu_M 은 중간부분의 열전달계수를 예측하는 하나의 점근식이며, 하나의 부수로가 열수력적으로 완전 확립되었고 다른 부수로에서는 단지 수력적으로만 확립되었다고 가정하여 계산하였다. 모델에서 각 부분의 Nusselt number를 계

산하는 방법은 문헌 /6/에 상세히 설명되어져 있다. 그림 3에는 식 (1)로부터 계산값이 실선으로 나타나 있다.

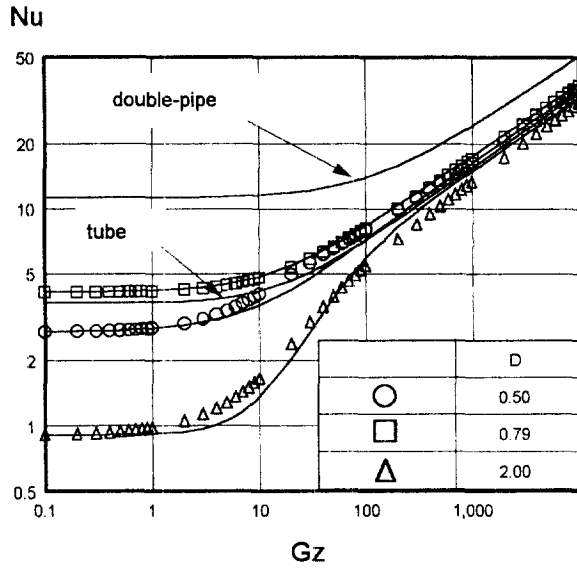


그림 3 Comparison between the Nusselt number of the modell system (symbols) and the correlation eqn. (1)

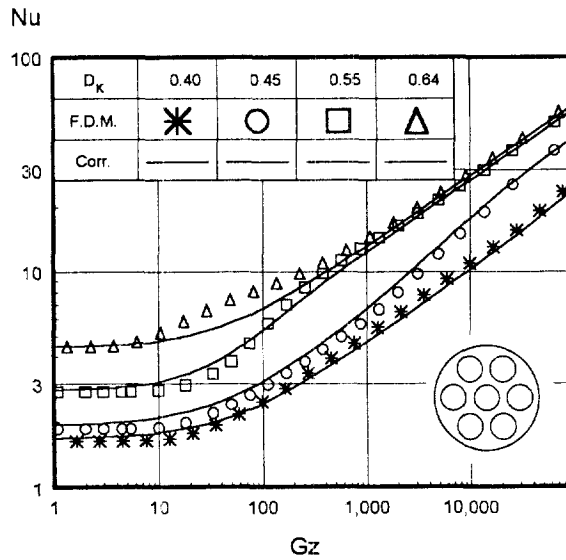


그림 4 Comparison of the Nusselt number between calculated /4/ (symbols) and predicted by the correlation eqn. (1) (curves); ratio of the tube-to-shell diameter = 0.2, D_k : ratio of the pitch-to-shell radius

1970년대 이후 원자력의 사용이 증가함에 따라 판다발 구조를 가지는 열교환

기의 열수력에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으며, Rehme /7/는 실험 및 계산결과를 요약 및 정리하여 발표하였다. 이러한 부수로의 열수력에 관한 정보를 이용하면 식 (1)로부터 열전달계수를 예측할 수 있으며 Kim /4/의 계산결과를 그림 4에 비교하였다. 관다발 열교환기의 부수로들은 본 연구에서 제시된 모델과 다르게 서로 연결이 되어 있다 (그림 1). 인접한 부수로의 상호 영향은 관간격이 크지 않을 경우 무시할 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 비균일계의 전달현상을 예측하기 위한 관계식에는 원관이나 이중관과 같은 균일계의 전달현상을 예측할 수 있는 두개의 점근식 (Nu_E : Nusselt number of thermal entrance region, Nu_∞ : Nusselt number of hydrodynamical and thermal developed flow) 이외에 비균일계의 특성을 나타내는 또 하나의 점근식이 필요하다는 것이 제시되었으며, 각각의 부수로의 열수력적 특성에 대한 정보가 알려져 있을 때 본 연구에서 제시한 관계식으로부터 예측할 수 있는 것을 보여 주었다.

4. 참고문헌

1. Kunii D. and Suzuki M., Int. J. Heat Mass Transfer, 1967,10,845
2. E.U.Schluender, On the Mechanism of mass transfer in heterogenous systems - In particular in fixed beds, fluidized beds and on bubble trays, Chem.Eng.Sci.,32(1977) 8 845-851
3. H. Martin, Low Peclet number particle-to-fluid heat and mass transfer in packed beds, Chem.Eng. Sci.,33(1978) 913-919
4. W.K.Kim, H.Martin and V.Gnielinski, Pressure drop and heat transfer in shell-and-tube heat exchangers without baffles, Part I. The Graetz- Nusselt problem in a cylindrical shell containing a bundle of seven tubes, Chem.Eng. Proc.,32,2 (1993) 99-110
5. VDI- Waermeatlas, 6. Auflage, 1991 VDI-Verlag, D sseldorf
6. W.K.Kim, Waermeuebergang und Druckverlust in laengsdurchstroemten Rohrbuendelwaermeuebertragern, Dr.-Ing. Thesis, Uni. Karlsruhe, Germany, VDI-Verlag GmbH, Duesseldorf (1994).
7. Rehme, Convective heat transfer over rod bundles, Handbook of single- phase convective heat transfer, Chap 7, ed. S.Kakac, R.K.Shah and W.Aung (1987).