방사율에 따른 진공유리 열관류율 수치해석 연구

황일선*, 이영림*
*공주대학교 기계자동차공학부
e-mail:ylee@kongju.ac.kr

A Study on Numerical Analysis of Overall Heat Transmission Coefficient of Vacuum Glazing with Emissivity

Il-Sun Hwang*, Young Lim Lee*
*Division of Mechanical and Automative Engineering, Kongju National University

요 약

인구증가와 지속적인 산업발전으로 인하여 건축이 매우 활발해지고 냉난방으로 인한 에너지 소비가 급증하게 되면서 효율적인 에너지 사용의 필요성이 크게 대두되었다. 건물에서 손실되는 에너지의 약 20~40%가 창문을 통해 손실이 일어나며 이를 해결하고자 현재 Low-E 유리, 복층유리등 다양한 방법들이 개발되어 사용하고 있으며 에너지 손실을 더욱 낮추기 위하여 진공유리가 개발 중이나 아직 보급은 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 진공유리의 열관류율 측정 장치와 진공에서의 중요한 열전달 요인인 복사열전달이 진공유리 성능에 미치는 영향을 3차원 수치해석을 통하여 알아보았다.

1. 서론

인구증가와 지속적인 산업발전으로 인하여 건축이 매우 활발해지고 냉난방으로 인한 에너지 소비가 급증하게 되면서 효율적인 에너지 사용의 필요성이 크게 대두되었다. 건물에서 손실되는 에너지의 약 20~40%가 창문을 통해 손실되며 이는 건물 외벽에 비해 약 6배의 수준으로 열적으로 가장 취약한 부분이기 때문이다. 따라서 일반 유리의 경우 단열효과가 높지 않으므로 최근 들어 에너지 손실을 줄일 수 있는 유리에 대한 연구가 진행되고 있다. 현재 유리의 방사율을 낮춰 복사에너지를 차단하는 Low-E 유리[1], 여러 장의 유리사이에 공기보다 열전도율이 낮은 기체를 주입해 열관류율을 낮춘 복층유리, 두 장의 유리사이에 진공을 만들어 열전도를 차단시키는 진공유리 등이 개발 및 연구가 진행되고 있으며 이중 Low-E 유리, 복층유리는 개발 완료된 상태로 복층유리에 Low-E 코팅을 한 형태로 출시되고 있다. 진공유리 사이 공간에 진공을 형성하기 위해서는 두 장의 유리를 접합해야 하는데 현재 레이저 빔을 이용한 유리용접과, 저융점 유리인 Frit를 사용한 유리접합이 사용되고 있으며[2] 기계적 진공펌프와 확산펌프, 이온펌프[3]를 이용하여 진공을 만든다.

따라서 본 연구에서는 진공유리의 단열성능 측정 장치[4]에 대한 수치해석과 단열성능을 예측하기 위해 주요 인자인 방사율에 따른 열관류율 변화를 3차원 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용하여 고찰하였다. 이를 위해 전도, 대류 및 복사를 포함하는 복합 열전달 현상을 고려하였다.

2. 수치해석

2.1 수치해석

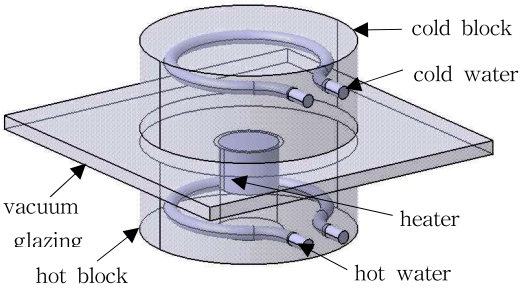
본 연구에서 고려된 유체유동은 3차원, 정상상태, 압축성, 층류유동을 가정하였고 복사열전달은 DO(Discrete Ordinate)모델[5]을 사용하였다. 표 1은 방사율의 변화에 따른 수치해석 모델의 설정 조건을 보여준다. 그림 1은 열관류율 측정 장치 해석모델을 보여주며 그림 2는 방사율의 변화에 따른 진공유리 성능 예측을 위한 모델을 나타낸다.

열관류율 측정 장치 모델에서 냉수의 온도는 3 ℃로 고정하였으며 히터의 공급열량과 온수 온도를 변화시키며 해석을 진행하였다.

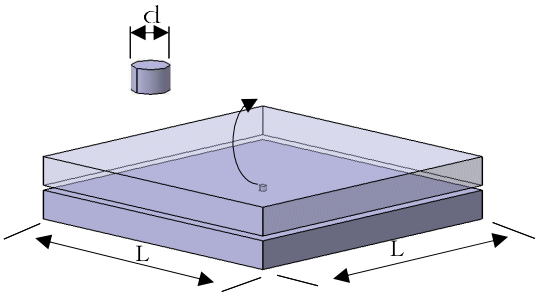
방사율 변화에 따른 열관류율 모델의 수치해석 정확도

[표 1] 방사율에 따른 수치해석 모델 설정 조건

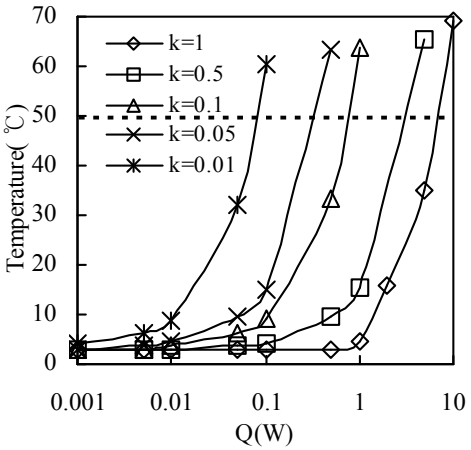
glass gap (mm)	0.2
pressure (torr)	10^{-4}
spacer interval (mm)	23
spacer diameter(mm)	0.2



[그림 1] 열관류율 측정 장치 모델



[그림 2] 방사율 변화에 따른 열전달 해석 모델



[그림 3] 유리 열전도율에 따른 열관류율 측정 장치의 적정 히터 열량

를 높이기 위해 육면체 격자를 사용하였고 격자수를 줄이기 위하여 임의 계면(arbitrary interface)을 사용하였다. 또한, 전형적인 국내 동절기 상황을 모사하기 위해 실내 유리표면에는 20 ℃와 대류열전달계수 7 W/m^2K를 가정하였고, 실외 유리표면에는 3 ℃와 대류열전달계수 13 W/m^2K를 주었다.

열관류율 실험장치 해석에 사용된 격자수는 약 20만개, 방사율 변화에 따른 모델의 수치해석에 사용된 격자수는 약 35만개이고 3차원 형상 설계에는 Catia[6], 격자 생성에는 Gambit[7], 3차원 수치해석에는 상용 프로그램인 Ansys CFX[4] 를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

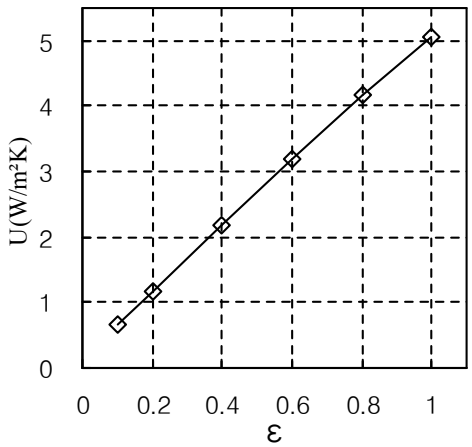
3.1 열관류율 측정 장치의 히터 공급열량

진공유리의 내부압력이 낮아질수록 열관류율 및 열전도율이 낮아지게 되고 단열성능이 우수해져 같은 크기의 열량에도 히터의 온도가 상승하게 된다. 열관류율 측정 장치를 사용할 때 적정 공급열량보다 과도하게 크거나 적다면 온수의 온도가 너무 높게 상승하거나 혹은 온도 변화가 미미하게 된다. 이러한 시행착오를 줄이기 위하여 수치해석을 통해 열전도율에 따른 열관류율 측정 장치의 적정 히터 열량을 그림 3에 나타냈다. 여기에서 점선은 적정 히터 공급열량의 상한선을 나타내며 공급열량은 k=1일 때 약 1~8.4 W이고 k=0.01일 때 약 0.001~0.08 W로 예측되었다.

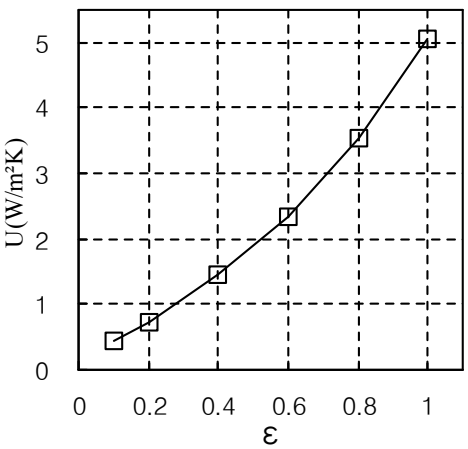
3.2 방사율에 따른 열관류율

복사효과에 의한 열전달은 압력이 낮아질수록 공기층에 의한 열전달이 줄어들어 복사효과에 의한 열전달이 상대적으로 증가해 진공유리 단열성능에 큰 영향을 미친다. 따라서 방사율이 다른 물질을 유리표면에 코팅할 때 열관류율 변화를 알아보았다. 그림 4는 한쪽 면에만 코팅을 한 결과를 보여준다. 이 때 ε은 방사율을 의미하며 진공유리 내부압력은 10^{-4} torr이다. 방사율 코팅을 한쪽 면에만 적용하였을 경우 ε이 1일 때 열관류율은 약 5 W/m^2K, ε이 0.1일 때 열관류율은 약 0.67 W/m^2K로 예측되었다. 이는 저방사율 코팅으로 방사율을 낮출 경우 열관류율이 획기적으로 낮아져 진공유리의 단열성능 향상에 효과적이라는 것을 알 수 있다.

그림 5는 저방사율 코팅을 양쪽 면에 적용한 결과를 보



[그림 4] 한 면 코팅시 방사율에 따른 열관류율 변화



[그림 5] 양면 코팅시 방사율에 따른 열관류율 변화

여준다. 양쪽 면에 저방사율 코팅을 적용하여 ε이 0.1일 경우 열관류율은 약 0.43 W/m^2K로 낮아져 한쪽 면만 코팅을 하는 것에 비해 더 효과적이라는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 진공유리 열전달 장치의 적정 히터 공급열량 및 진공유리의 방사율 변화에 따른 열관류율 변화를 3차원 수치해석 모델을 이용하여 예측하였다. 이러한 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다

1) 히터의 공급열량 변화에 따른 히터온도 변화를 고찰한 결과 진공유리의 열관류율 측정 시 적정 히터 공급열량이 존재함을 확인 할 수 있었다.

2) 방사율이 1인 경우 열관류율은 약 5 W/m^2K인데 방사율 0.1인 물질을 한쪽 면에 적용하면 열관류율이 0.67 W/m^2K, 양쪽 면에 적용하면 열관류율이 0.47 W/m^2K로 크게 감소한다. 따라서 방사율이 낮은 물질을 진공유리 양쪽 면에 코팅하면 열관류율을 획기적으로 낮출 수 있다.

후 기

본 연구는 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업을 통해 연구된 결과임

참고문헌

[1] C. Schaefer, G. Bräuer, J. Szczyrbowski, "Low emissivity coatings on architectural glass," Surface and Coatings Technology, Vol. 93, pp 37~45, 1997

[2] Lee, H. C., "Characteristics of H2/O2 gas mixture fabricated by water electrolysis," Journal of the New science Research., Vol. 1, pp. 43~55, 1998.

[3] Hall. D, Rev. Sci. Instrun., 29, 367, 1958.

[4] R. E. Collins, C. A. Davis, C. J. Dey, S. J. Robinson, J. -Z.Tang and G. M. Turner, Measurement of local heat flow in flat evacuated glazing, Heat Mass Transfer, Vol.36, No.10, pp. 2553-2563, 1993.

[5] Ansys CFX version 12.1, User's Manual version 12.1, Ansys inc., 2009.

[6] Catia, Catia V5 R17, Dassault Systems, 2006.

[7] Gambit, Fluent Inc., Lebanon, NH 2005.