

진공단열재를 위한 다중왕복 지지대의 모델링 및 형상 최적화 Shape Modeling and Optimization of Multipath Supports for Vacuum Insulator Panel

*장신우¹, #조성욱¹

*S. W. Jang¹, #S. W. Cho(scho@cau.ac.kr)¹

¹중앙대학교 기계공학부

Key words : Thermal Resistance, Heat Transfer, Shape Optimization

1. 서론

대체 에너지의 부족과 지구 온난화 예방을 위한 이산화탄소의 총 배출량을 억제해야 하는 상황에서 인류가 소비하는 에너지를 줄여야 하는 것은 자명한 사실이다. 현재 소비 에너지 총량의 절반은 주거 및 상업용 냉난방에 소비되고 있는바 냉난방 에너지의 절감은 현재의 에너지 위기를 타개할 수 있는 가장 효과적인 방안이라고 할 수 있다. 냉난방에는 열손실이 따르기 마련인데, 많은 에너지가 냉난방에 소비되는 이유는 바로 열손실량을 줄여주는 단열재의 열전도계수가 지난 일세기 동안 $30 \text{ m}\cdot\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ 라는 한계치에서 조금도 발전하지 못하고 있기 때문이다. 다시 말해서 현재의 단열재를 가지고 에너지 소비를 절반으로 줄이고자 한다면 단열재의 두께가 너무 두꺼워져서 경제적으로 타당성이 있는 건축이 불가능하고, 더욱이 기존의 건물의 경우에는 벽을 허물지 않고는 달리 도리가 없다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 진공단열재의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 진공단열재에는 다양한 열전달 매커니즘이 존재하는데, 내부지지체를 통한 전도 열전달, 잔류가스에 의한 전도 열전달, 고온부와 저온부사이의 복사 열전달 등이 그 예이다. 본 연구의 목적은 다중왕복 경로를 적용하여 진공단열재 내부지지체를 통한 열전도를 최소화 하고 허용하중을 견디는 구조물을 설계하는 것이다. 이를 위해 다양한 형태의 내부지지체 형상을 제안하고 이들의 응력분포, 열전달 특성을 고려하였다.

2. 형상 모델링

그림 1의 (a)는 수학적 모델에서 얻은 변수를 기준으로 형상최적화를 수행 후 반경방향으로의

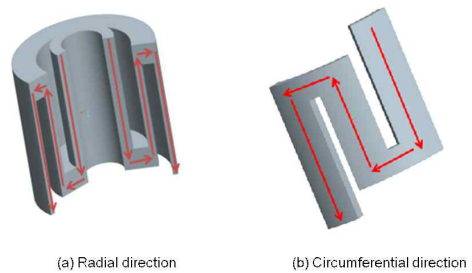


Fig. 1 Shape of heat transfer path

다중왕복 열전달 경로를 갖는 형상을 모델링하여 균일한 응력의 분포와 열전달률을 낮추는 내부지지체를 개발하였다.^[1] 본 연구에서는 이를 개량하여 원주 방향으로의 다중왕복 열전달 경로를 갖는 진공단열재의 내부지지체로서, 단열재 상하면에 작용하는 대기압을 견디며 내부 진공간극을 보호하는 기능을 가진다. 그림 1에서 보이듯이 열은 고온 면(상부면)에 닿은 외부기둥을 통해 원통면에 형성되어있는 경로를 따라서 저온 면(하부면)에 닿은 외부기둥으로 열이 흐르는 열전달경로가 왕복이 되는 구조이다. 이 구조는 일반적인 형상의 원기둥에 비해 열전달경로가 길 뿐 아니라 열전달면적이 작기 때문에 열전도저항이 훨씬 커지게 되고 균일한 응력분포를 가지게 된다.

3. 해석결과

그림 2는 내부지지체의 분할 개수에 따른 형상의 모습이다. 1/8, 1/16, 1/32 총 세 가지의 형상으로 해석을 수행하였으며 Table 1을 통해 알 수 있듯이 형상이 분할 될수록 열저항과 열전달 계수는 큰 변화가 없으나, 모멘트 암의 감소로 분할된 파트의 면에 작용하는 응력값이 줄어들면서 그 크기가 균일해 지는 것을 확인할 수 있다. 그러나

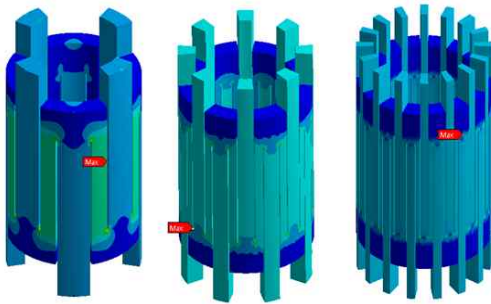


Fig. 2 1/8, 1/16, 1/32 shapes

Partition Geometry	1/8	1/16	1/32
Stress (MPa)	375	212	200
Thermal Resistance (°C/W)	48,612	48,514	48,460
Heat Transfer Coefficient (m ² ·W/m ² ·K)	0.15	0.15	0.15

Table 1 Comparison of measured stress, thermal resistance and heat transfer coefficient

형상의 지름이 3 mm 이하인 지지대 형상의 제작은 현실적으로 어려움이 따른다. 그림 3 은 1/8 형상의 분할된 한 파트의 단면모습이다. 진공단열재를 통해 가해지는 외력에 의해 분할된 파트의 가운데 기둥에 굽힘응력이 발생하였고, 이 굽힘응력이 발생하는 외측 면에는 인장으로 인한 큰 응력이 발생하고, 그에 반해 내측 면에는 압축으로 인한 작은 응력이 발생하였다. 굽힘응력을 억제하고 균일한 응력분포를 형성하기 위해 형상 내부에 지지대로 보강함을 가정하여 해석을 진행하였고, 그림 4 에서 분할된 파트의 각 면에 균일한 응력이

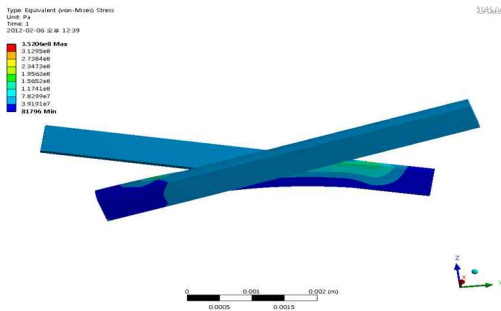


Fig. 3 Cross-section of 1/8 shape

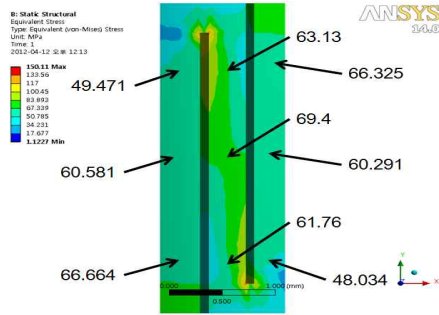


Fig. 4 Stress of external surface

분포됨을 확인할 수 있다. 하지만 노치부분에 재료의 항복응력인 65 MPa 을 넘는 최대응력이 발생하였다. 이 최대응력을 줄이기 위해 노치부분에 원주 방향의 보강과 라운딩 처리 그리고 분할된 파트의 사이각의 변화를 주었고 그 결과 응력값이 줄어든 것을 알 수 있다.

4. 결론

1/8, 1/16, 1/32 형상들의 노치부분에 집중응력이 발생하였고, 1/16과 1/32형상은 제작의 어려움 또한 있다. 이러한 문제점을 해결하고 실제 제작을 고려한 방법으로 1/8, 1/16, 1/32 형상의 열저항, 열전달 계수의 값에 큰 차이가 없음을 감안하여, 1/8 형상을 기반으로 형상의 최적화를 이용한 보강 작업을 통해 노치부 최대응력 감소를 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

후기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0025958)

참고문헌

1. 이기욱, 조성욱, 김종민, 김승욱, 송태호, "진공 단열체 지지대의 모델링 및 형상 최적화", 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, 1113-1114, 2011
2. J. Fricke, H. Schwab and U. Heinemann., International Journal of Thermophysics, Vol. 27, 1123-1139, 2006
3. 홍경진, 전광기, 조영석, "최적설계를 위한 반응 표면의 생성에 관한 연구," 한양대학교, 1999