

# 진공단열체 다중왕복지지체의 응력 및 열저항을 고려한 최적설계

## Optimal structure design in consider of stress and thermal resistance of the inner structure in the vacuum insulator

\*장신우<sup>1</sup>, #조성욱<sup>1</sup>

\*S. W. Jang<sup>1</sup>, #S. W. Cho(scho@cau.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>중앙대학교 기계공학부

Key words : Thermal Resistance, Heat Transfer, Optimum design, Optimization

### 1. 서론

진공 단열체의 대부분은 벌크한 물질들이 내부 심재로 사용되고 있고, 이로 인해 발생한 랜덤구조는 외부 대기압을 지지하지 못하고 잉여의 재료를 발생시킨다. 또한 내부에서 발생하는 다양한 열전달 작용으로 인해 단열성능의 척도인 유효열전도계수를 상승시켜 단열성능을 저하시킨다. 따라서 내부심재가 벌크재료가 아닌 구조체를 이용하면 단열체 상하면에 작용하는 대기압을 견디고, 내부 진공 간극을 보호하며 높은 열저항을 발생시켜 단열체의 유효열전도계수를 감소시킬 수 있다. 진공단열체에서 발생하는 열전달은 크게 내부지지체를 통한 전도열전달, 잔류가스에 의한 전도열전달, 고온부와 저온부 사이의 복사열전달로 구분된다.

본 연구에서는 진공단열체의 다중왕복내부지지체를 통한 전도열전달을 감소시키기 위해 형상의 최적설계를 제안하였다. 다중왕복지지체에 발생하는 응력분포, 열전달 특성 및 좌굴의 발생여부를 고려하고, 최적설계의 목적함수인 높은 열저항 그리고 제약조건인 항복강도를 만족하는 내부지지체 개발을 통해 기존 단열체들보다 높은 단열성을 나타내는 슈퍼단열체를 개발하고자 한다.

### 2. 수학적 모델링 형상의 설계

실제 제작을 고려한 설계조건과 형상의 제약조건인 재료의 항복응력 그리고 목적함수인 열저항을 만족시키는 형상의 개발을 위해 수학적 모델링을 수행하였다. 그림 1은 수학적 모델링을 통해 나타난 다중왕복지지체 형상이다. 형상의 내 반경과 외 반경을 설계변수로 설정 하고, 열저항과 응력조건을 각각 목적함수와 제약조건으로 설정하여 라그랑지 승수법을 통해 설계변수를 찾을 수 있었다. 따라서



Fig. 1 Mathematical modeling of multipath heat transfer structure

설계변수를 이용하여 형상의 설계조건인 내 반경 7 mm 이상, 폴리카보네이트의 항복강도 65 MPa 이하의 응력, 그리고 높은 열저항을 갖는 기초형상을 설계하였다. Table 1은 외반경의 변화에 따른 수학적 모델과 수치해석 모델간의 열저항과 응력의 비교 값이다. 내 반경 7 mm와 외 반경 9 mm의 형상이 기준 항복강도를 만족하며, 높은 열저항을 나타낼 수 있다.

Table 1 Comparison of math and ansys model

	MATH $\sigma$ (MPa)	ANSYS $\sigma$ (MPa)
r1=0.007 r2=0.008	79	83
r1=0.007 r2=0.009	40	49
r1=0.007 r2=0.010	27	37
	MATH $R_t$ (K/W)	ANSYS $R_t$ (K/W)
r1=0.007 r2=0.008	181,053	186,000
r1=0.007 r2=0.009	86,054	88,400
r1=0.007 r2=0.010	54,876	56,300

Table 2 Comparison of 5×5 and 6×6 array

	5×5 ARRAY	6×6 ARRAY
Pillar angle	4° / 6.25°	3° / 7.5°
Inner-outer radius	9 mm / 10.1 mm	10 mm / 10.9 mm
Stress	127 MPa	124 MPa
Thermal resistance	$5.643 \times 10^{-5}$ W	$3.812 \times 10^{-5}$ W

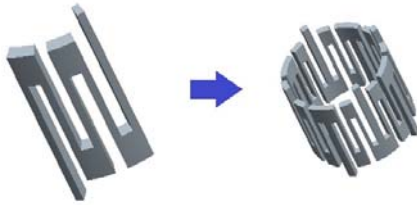


Fig. 2 Detail optimization of 5-path heat transfer model

### 3. 내부지지체의 최적설계

3-Path 형상은 10×10 배열기준으로 진공단열체 내부에 총 100개의 형상이 들어가게 된다. 이는 다중왕복지지체의 제작난이도뿐만 아니라 비용증가의 원인이 되기 때문에 배열을 절반으로 감소시켰다. 그러나 5×5와 6×6 배열기준으로 보강과 최적화를 시도했지만 3-Path 형상은 기준 항복응력과 열저항을 만족시키지 못하였다. 따라서 응력집중부의 보강으로 인한 열저항의 감소를 막기 위해, 경로가 증가한 그림 2의 5-Path 형상을 제안하게 되었다. 성능에 영향을 미치는 다양한 설계조건인 각 경우에 대한 해석을 수행하여, Table 2의 최적 결과를 도출하였다. 이 결과를 바탕으로 ANSYS를 이용한 세부최적화를 통해 최적설계된 다중왕복지지체의 구조해석 및 열전달 해석을 완료하였다.

### 4. 해석결과 및 결론

Table 3은 최적설계된 5-path 형상의 해석 결과이다. 기준 항복응력인 65 MPa 이하를 만족하고 있다. 또한, 진공단열체의 목표 유효열전도계수인 1 mW/m·K 이하를 만족시키기 위한 다중왕복내부지지체의 목표 유효열전도계수 0.2 mW/m·K 을 만족

Table 3 Analysis result of 5-path model

Stress (MPa)	Thermal R. (W)	Keff (mW/m·K)
62.9	33,100	0.206

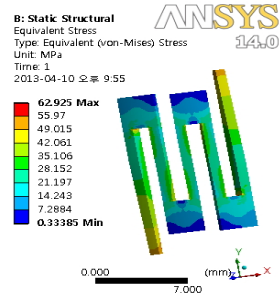


Fig. 3 Structure and thermal transfer analysis of 5-path model

함을 알 수 있다.

현재 해석된 형상을 기준으로 실험을 위한 샘플 형상을 제작하였고, 압축실험을 통해 구조적인 안정성을 검증하였다. 향후계획으로 다중왕복지지체를 진공단열체에 적용하여 단열 성능이 어떻게 변화하는지를 유효열전도계수를 가지고 비교하며 실험 결과를 토대로 다중왕복지지체 설계에 최적화할 여지가 남아 있을 경우 세부최적화를 통해 개선할 것이다.

### 후기

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

### 참고문헌

1. J. Fricke, H., Schwab and U. Heinemann, International Journal of Thermophysics, Vol. 27, 1123-1139, 2006
2. P. P. Gervais and D. Goumy, Insulating Material with Low Thermal Conductivity, formed of a Compacted Granular Structure, US-Patent, 1979
3. 이기욱, 조성욱, 김종민, 김승욱, 송태호, "진공단열체 지지대의 모델링 및 형상 최적화", 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, 1113-1114, 2011