

진공패널의 지지대 배열에 따른 응력분석 및 평가

김재경*, 전의식*
*공주대학교 기계자동차공학부
e-mail:osjun@kongju.ac.kr

Analysis and Estimation for Stress Distributions under the Spacer Arrangement in a Vacuumed-Panel

Jae-Kyung Kim*, Euy-Sik Jeon*
*Department of Mechanical & Automotive Engineering,
KongJu National University

요 약

세계적인 에너지 자원 무기화와 더불어 에너지 효율이 높은 창호개발이 지속적으로 진행되고 있다. 이중 진공패널은 단열성능이 우수하여 건물에서의 에너지 절약 측면에서 미래의 창호소재로 각광 받고 있으나 구조 및 제조공법에 관한 규명이 되어 있지 않다. 진공패널은 대기압 및 외력에 견딜 수 있도록 구조를 형성해야 하며, 이를 위하여 진공간극을 유지하기 위한 지지대를 사용한다. 본 논문에서는 진공패널에서 지지대의 배열에 따른 진공패널의 응력분석과 이 데이터 평가를 통한 허용응력 내에서의 유리지지대 배열방안을 제시하고 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

1. 서론

세계적인 에너지 자원 무기화와 더불어 에너지 효율이 높은 창호개발이 지속적으로 진행되고 있다. 일반적으로 건물에서 발생하는 에너지 손실은 건물의 벽체나 지붕, 그리고 창문 등을 통하여 이루어지고, 이 중에서 창문을 통한 열손실량은 주택의 경우 전체 열손실량의 20~40% 정도를 차지하고 일반 사무소 건물인 경우에는 15~35% 정도를 차지할 정도로 큰 비율이다. 이는 창문의 열관류율이 벽체나 지붕의 6~7배 정도로 커서 건물외피 중 열적으로 가장 취약한 부위이기 때문이다. 이에 대하여 실내의 냉난방 에너지 손실을 최소화 할 수 있는 창호에 대한 연구개발이 지속되어 왔고, 그 결과로 단열유리창, 진공유리창, 저방사 유리창, 전기유리창, 투광조절 유리창 등의 고단열 첨단 유리창이 개발되었거나 실용화 연구 중에 있기도 한다. 냉난방 에너지 손실을 낮추기 위한 대표적인 창문으로는 두 장의 유리를 소정의 간격을 갖게 하는 이중창이 있고, 이중진공패널은 단열성능이 우수하여 건물에서의 에너지 절약 측면에서 미래의 창호소재로 각광받고 있으나

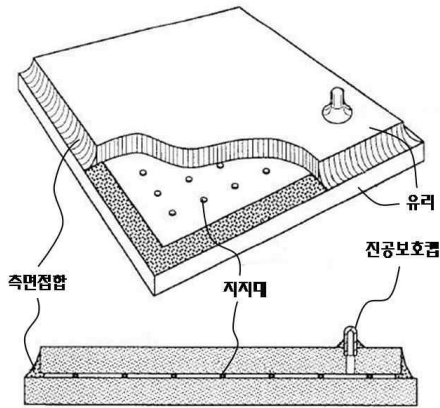
구조 및 제조공법에 관한 규명이 되어 있지 않다. 진공패널은 대기압 및 외력에 견딜 수 있도록 구조를 형성해야하며, 이를 위하여 진공간극을 유지하기 위한 지지대를 사용한다. 본 논문에서는 실내 난방열이 창문을 통해 손실되는 것을 방지하기 위한 진공패널에서 진공 작업 시 발생하는 대기압과 내부진공과의 압력차를 극복할 수 있는 이중유리의 간격을 유지할 목적으로 유리와 유리 사이에 위치하게 되는 지지대에 관한 것으로, 진공 작업 시 진공력에 의한 쏠림현상을 해소함과 동시에 불균형에 따른 유리자체의 스트레스로 인한 크랙(Crack)발생을 방지함에 목적을 두고 있다. 진공패널에서 지지대의 배열에 따른 진공패널의 응력분석과 이 데이터 평가를 통한 허용응력 내에서의 유리지지대 배열방안을 제시하고 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하였다.

2. 모델링

2.1 진공패널의 구성 및 특징

진공패널은 [그림 1]과 같이 두 장의 패널사이에

진공간극을 유지할 수 있는 지지대가 배치되며 패널의 측면 부분을 접합하게 된다. 접합 후 진공보호캡부를 이용하여 진공을 형성하게 되고, 진공을 형성한 후에 진공패널의 내부 진공압력과 외부에서 형성되는 대기압과의 차이로 패널에서 인장응력이 발생하게 된다. 본 논문에서는 패널에서 발생하는 인장응력은 지지대의 배치 형태에 따라 발생되고 또한 그 정도가 크면 패널에서 자체파괴가 일어 날수 있기 때문에 이 문제에 대해서 다루고자 한다.

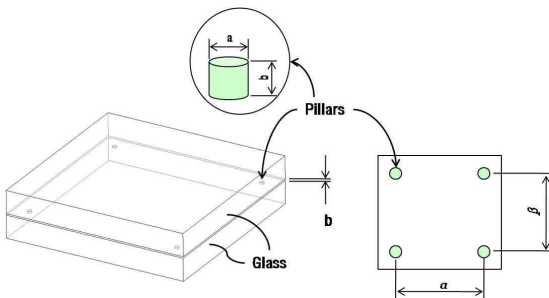


[그림 1] 진공패널의 구성

2.2 진공패널 지지대 및 배치

일반적인 진공패널의 형태는 [그림 2]와 같이 두 장의 패널과 그 사이를 유지할 수 있는 지지할 수 있도록 지지대가 배열되어 있다.

지지대는 면적 a 와 높이 b 를 갖는 원기둥의 형태를 하며, α 와 β 의 간격으로 배치된다. 진공패널의 배치 유형은 기본적으로 사각패턴을 하고 있으며, 지지대의 간격에 따라 패널에서 발생하는 인장응력은 커지게 된다. 이때 패널에서 발생하는 인장허용응력은 8 MPa⁽¹⁾로 제한하며 이 값을 넘어서게 되면 높은 응력으로 인해 패널에서 자체파괴가 일어나게 된다. 이러한 자체파괴가 일어나지 않도록 우선적으로 사각패턴을 갖는 진공패널에 대하여 모델링 하였다.

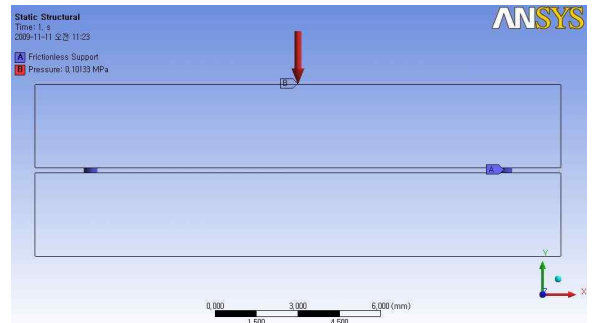


[그림 2] 진공패널의 지지대 배치

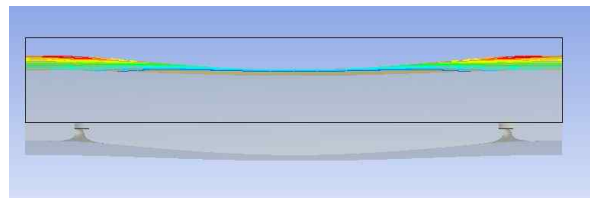
3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

3.1 지지대 형상에 따른 배치방법

진공패널 형성 시 패널의 내부진공과 대기압에 의하여 [그림 4]와 같이 지지대와 지지대 사이가 처지는 현상이 발생하고 처지는 부분의 내부 면과 지지대가 지지하고 있는 부분의 외부 면에 인장 응력이 발생한다. 진공패널에서 지지대의 개수를 줄임과 동시에 패널에서 발생하는 인장응력을 줄이고자 지지대의 넓이를 설계 변수를 놓고 시뮬레이션을 수행하였다.

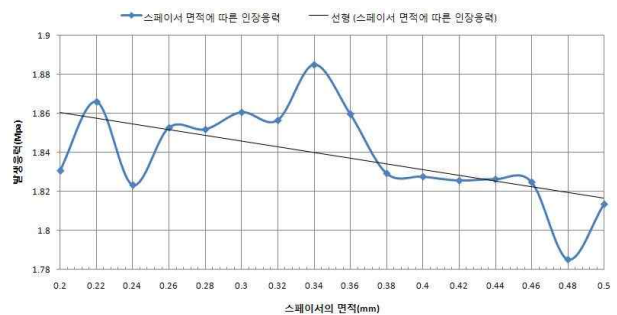


[그림 3] Boundary Condition



[그림 4] 대기압에 의한 패널형상

[그림 5]에서 보는 것과 같이 지름이 200 μ m~500 μ m의 값을 가지는 지지대를 15mm의 간격으로 배치시킨 후 시뮬레이션 한 결과 값의 범위가 0.3MPa 안쪽인 것을 확인 할 수 있었고, 패널의 외부 인장응력에는 크게 영향을 미치지 않는 것을 확인 할 수 있었다.



[그림 5] 지지대 면적에 따른 응력 비교

3.2 패널 두께에 따른 배치 방법

닛폰 이타가라스 가부시키가이샤⁽²⁾ 등이 진공패널 형성 시 지지대로 인한 패널의 인장 응력을 시험적으로 증명하였으며 그 설계 방안을 다음 식(1)로 제시하였다.

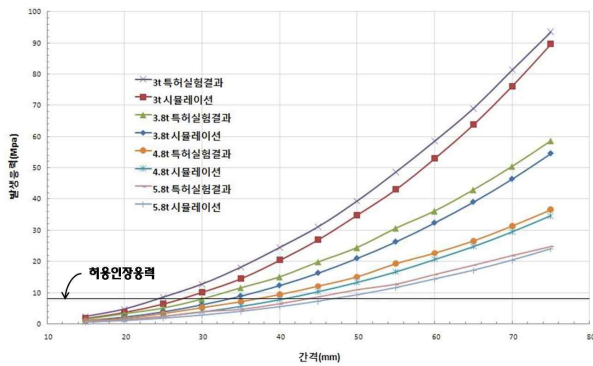
$$D \leq 6d + 5.58 \quad (1)$$

여기서,

D(mm) = 평균 배열 간격

d(mm) = 패널의 두께

위 식(1)에 의한 시험적 결과 값과 본 논문에서 실시한 시뮬레이션 결과 값을 비교해 본 결과 [그림 6]에서 보는 것과 같이 패널 두께에 따른 결과 값은 시험을 통한 데이터와 일정오차 범위 내에서 일치함을 확인 할 수 있었다. [표 1]은 식(1)을 적용한 배치 간격의 한계 값과 시뮬레이션의 결과상으로 8MPa 이 넘는 값에 따라 한계 값을 정의 하였다.



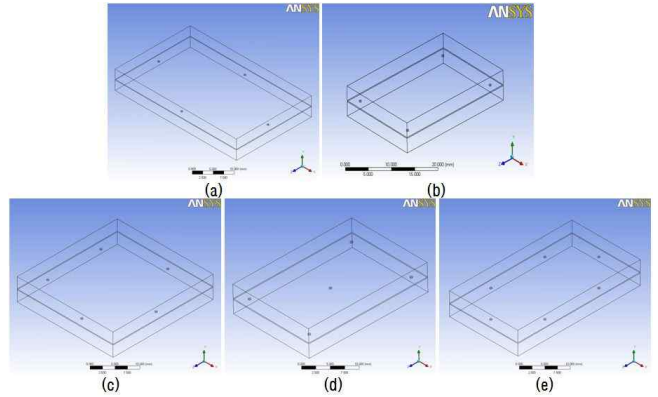
[그림 6] 패널 두께에 따른 응력 비교

[표 1] 사각패턴에서의 제한간격

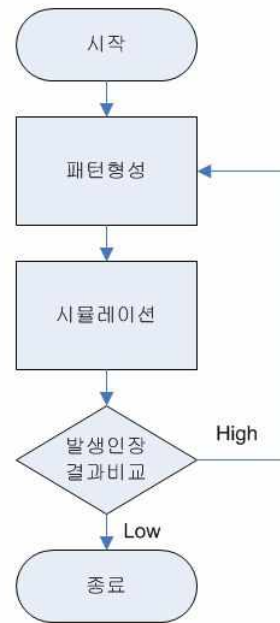
패널 두께(mm)	식(1)의 제한 간격(mm)	시뮬레이션 결과(mm)
3	23.58	25
3.8	28.38	30
4.8	34.38	35
5.8	40.38	40

3.3 패턴 유형에 따른 배치방법

사각 패턴 구성 외에 더 안정적이고 지지대의 개수를 줄이기 위하여 [그림 7]과 같이 다른 패턴으로 모델을 구성하였으며, [그림 8]의 Flow Chart의 형식에 따라서 시뮬레이션을 하였다.



[그림 7] 여러 배치형태의 패널



[그림 8] Flow Chart

다른 패턴으로 시뮬레이션 결과 패턴이 차지하는 면적과 지지대의 개수를 비교해봤을 경우 [표 2]와 같이 정사각형의 모형과 오각형의 패턴이 적은수의 지지대와 작은 인장응력이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

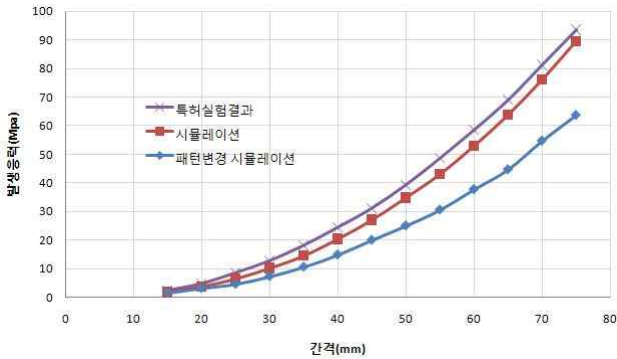
[표 2] 배치 형태에 따른 발생 응력

	스페이서 개수	면적(mm ²)	발생응력(Mpa)
직사각	4	364.05	3.95
삼각	4	389.70	5.81
사각	4	400.00	3.75
오각	5	387.11	2.85
육각	6	384.00	2.72

작은 인장응력이 발생한 사각 패턴과 오각 패턴에 대하여 동일한 면적에 시뮬레이션을 실행 하였다.

[그림 9]는 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.

참고문헌



[그림 9] 패턴 변경에 따른 응력 비교

4. 결론

본 논문에서는 지지대의 배열에 따른 진공패널의 응력분석과 이 데이터 평가를 통한 허용응력 내에서의 유리 지지대 배열방안을 제시하고 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

첫 째로 지지대의 크기에 따른 시뮬레이션 결과 지지대가 지지하고 있는 패널 외부표면에서 발생하는 인장응력에는 크게 영향을 크게 미치지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 패널의 단순 인장응력을 고려 설계할 경우 스페이스의 넓이는 제외해도 될 것이다.

두 번째로 식(1)에 의한 실험적 결과 값과 시뮬레이션 결과 값을 비교해본 결과 일정오차 범위 내에서 일치함을 확인하였다. 이는 시뮬레이션의 결과 값으로 지지대의 간격을 제한하는 것이 어느 정도 신뢰성을 가질 수 있다고 말할 수 있다.

세 번째로 패턴유형에 따른 지지대의 배치는 사각패턴과 오각패턴의 유형이 적은 인장응력을 발생하고 두 패턴의 시뮬레이션 결과 값을 비교해본 결과 오각 패턴의 형태가 다소 낮은 인장응력 값을 가진다. 그러나 넓은 면적의 패널에서 배치할 경우 여러 패턴을 생성 시 규칙적이지 못한 오각 패턴에 비해 사각패턴이 규칙적으로 배치가 되며 배치되는 지지대의 수량이 많아질수록 사각 패턴이 지지하는 면적이 오각 패턴보다 더 많은 면적을 지지 할 수 있었다. 결과적으로 사각 패턴의 형상이 진공패널에서 적합한 구조를 갖는 형태임을 확인하였다.

[1] Standards Association of Australia, Glass in building - selection and installation. Australian Standard AS 1288-1989(1989)

[2] 닛폰 이타가라스 가부시키가이샤, “투광성 유리패널”, 출원번호 - 10-2004-7017711

[3] H. Manz and S. Brunner and L. Willschleger, “Triple vacuum glazing : Heat transfer and basic mechanical design constraints”, Solar Energy, 80, pp. 1632-1642, 2006.

[4] A. C. Fischer-Cripps, R. E. Collins, G. M. Turner, E. Bezzel, “Stresses and Fracture Probability in Evacuated Glazing”, Building and Environment, vol. 30, No.1, pp. 41-59, 1995

[5] R. E. Collins, A. C. Fischer-Cripps and J.-Z. Tang, Transparent evacuated insulation. Solar Energy 49, 333-350(1992).

[6] H. Weinlader, H.-P Ebert, J.Fricke, “VIG - Vacuum Unslulation Glass”, Bavarian Center for Applied Energy Research(ZAE Bayern), Am Hubland, D-97074 Wurzburg

[7] Martin Tenpierik and Hans Cauberg, “Vacuum Insulation Panel : friend or foe?”, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2006.

[8] 이보화, 윤일섭, 송태호, 곽호상, “단열 진공유리의 제작 및 열전달계수 측정에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회 논문지, 제30권, 제8호, pp. 772-779, 2006.

[9] 초단열 첨단 진공창의 설계 및 제조기반 기술 개발, 과학기술부, 1998.