

FEM 응력해석에 의한 진공유리 지지대의 최적배열방안

The Optimal Array Method of Support Pillars in Vacuum Glazing by FEM Stress Analysis

*김재경¹, #전익식²

*J. K. Kim¹, #E. S. Jeon²(osjun@kongju.ac.kr)

^{1,2} 공주대학교 기계공학과

Key words : FEM, Vacuum glazing, Support pillar, Optimal array method

1. 서론

한국에서 건물에너지 분야는 2007년 기준 전체 에너지 소비의 약 20% 정도를 차지하고 있어 이 분야의 에너지 소비량 절감은 반드시 고려되어야 할 사항이다. 일반적으로 건물에서 발생하는 에너지 손실은 건물의 벽체나 지붕, 창문 등을 통하여 이루어지고, 이 중 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.¹⁾ 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 있다. 이러한 고단열 첨단 유리창에 사용되는 진공 유리는 단열능력이 우수하여 미래의 창호소재로 각광받고 있으나 구조 및 제조공법에 관한 연구가 부족한 실정이다.

진공유리는 좁은 진공 공간에 의해 분리된 두 장의 판유리로 이루어져 있다. 이러한 구조는 대기압의 영향 때문에 발생하는 압력과 내·외부 온도차이, 그리고 바람 등 복합적인 스트레스를 지니게 된다. 이러한 외력으로부터 판유리의 간격을 유지하기 위해서 지지대의 배치가 반드시 필요하다. 지지대 설계 및 배치 과정에서 고려해야 하는 제한요소로는 첫째 진공유리 외부표면 중 지지대 부근에서 발생하는 인장응력, 둘째 지지대를 통한 열전도계수가 있다. 지지대의 배열은 거리에 따라 발생응력이 급격하게 달라지기 때문에 매우 밀집한 배열의 사용을 필요로 한다.

본 논문에서는 진공력에 의한 쏠림 현상을 해소함과 동시에 불균형에 따른 유리자체의 스트레스로 인한 크랙(Crack)발생을 방지함에 목적으로 지지대의 최적배열 방안에 대해서 연구하고자 한다. FEM을 이용한 응력분석을 하여 진공유리가 갖는 지지대의 최대 배열 간격과 그 구조를 시뮬레이션 하고, 지지대의 배열에 따른 진공유리의 응력분석과 결과데이터 평가를 토대로 최대한 인장응력 내에서의 지지대 최적배열방안을 제시하고 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하고자 한다.

2. 진공유리의 구성 및 모델링

Fig. 1은 진공유리의 구성을 나타낸 것이다. 지지대는 원기둥의 형상을 가정하며, 동일 패턴으로 배열된다.²⁾ 지지대간 간격이 커질수록 유리외부표면에서 발생하는 인장응력의 값이 커지게 되며, 인장응력이 유리가 갖는 허용인장강도인 8MPa를 초과할 경우 유리에서 자체파괴가 일어나게 된다.³⁾

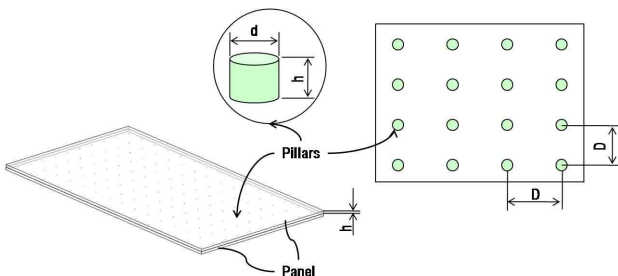


Fig. 1 Structure of vacuum glazing

3. 진공유리 지지대의 최적배열

진공유리에서 지지대 최적배열을 위하여 FEM 응력해석을 사용하였다. 시뮬레이션은 일정 패턴을 갖는 진공유리의 발생응력, 지지대 크기에 따른 발생응력, 지지대 간격과 유리 두께에 따른 발생 응력분석 및 평가를 수행하였다. 하나의 패턴에서 발생하는 응력은 나머지 동일 패턴에 대해 동일한 정보를 제공하므로 이러한 원리를 적용하여 배열의 한 부분을 모델링하여 시뮬레이션 하였다.

3.1 패턴 유형에 따른 최적배열

지지대의 배치 형태를 사각형, 마름모형, 오각형, 육각형의 패턴으로 응력분석을 하였다. 그 결과 오각형의 패턴은 연속적으로 형성이 불가하여 지지대의 배열에 적합하지 못하였으며, 정사각형과 마름모형의 패턴이 발생응력과 지지대의 간격 면에서 우수하게 나타났다. 배치되는 유리의 크기를 300mm×300mm에서 패턴을 형성해본 결과 정사각형의 패턴이 가장 적은 수의 지지대가 배치됨을 확인할 수 있었으며, 이를 바탕으로 진공유리에 배열되는 지지대의 패턴은 정사각형의 형태가 가장 적합할 것으로 사료된다. Fig. 2는 정사각형의 패턴이 갖는 진공유리 인장응력에 대해서 나타낸다. Table 1은 패턴 유형에 따른 지지대의 간격과 발생응력, 배치되는 지지대 개수를 나타낸 것이다.

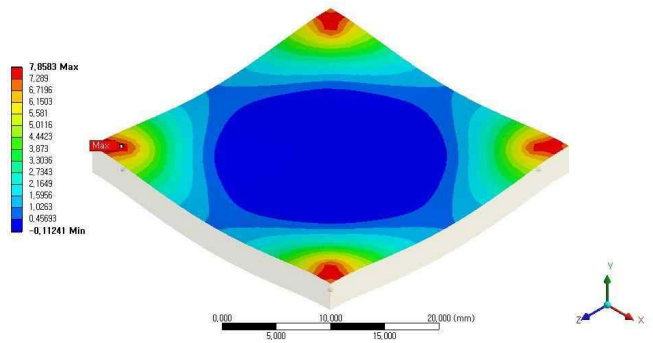


Fig. 2 The stress distribution of vacuum glazing by the atmospheric pressure

Table 1. The results according to the pillar array on the glass.

Pattern type	Panel size(mm)	Maximum tensile stress(MPa)	Distance of pillars(mm)	Number of pillars
rectangle	300×300	7.85	21×31.5	150
rhombus		7.64	27	150
square		7.86	27	144
hexagon		7.20	22	153

3.2 지지대 크기에 따른 최적배열

지지대의 크기가 진공유리에 미치는 영향을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 하였다. 변수로 지지대의 높이와 지름을 설정하였으며, 지지대의 높이는 선행 연구에 따라 200μm로 선정하였다.^{2,4)} 지름은 10μm~500μm의 범위 내에서 20μm씩 지름을 증가시켰으며, 최적형태인 정사각형의 패턴에서 15mm의 간격으로 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션을 수행한 결과 진공유리에서 발생하는 인장응력의 값의 범위가 0.3MPa 안쪽인 것을 확인 할 수 있었으며, 이에 따라서 지지대의 지름은 진공유리에서 발생하는 인장응력에는 크게 영향을 미치지 않는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 3은 지지대의 지름에 따른 진공유리에서 발생하는 인장응력을 나타낸 것이다.

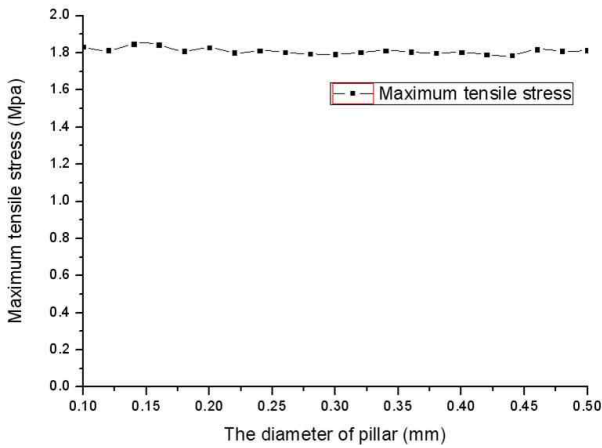


Fig. 3 The stress comparison according to the support stands area.

3.3 유리두께에 따른 최적배열

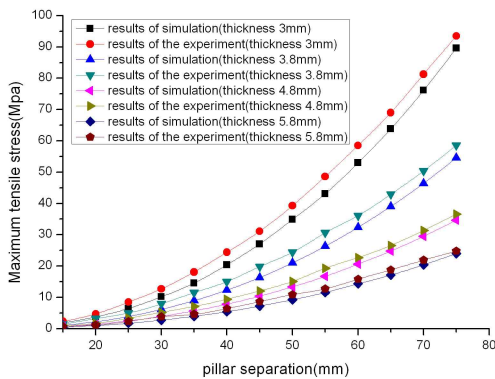


Fig. 4 The results on the comparison of simulations and experiments in square pattern

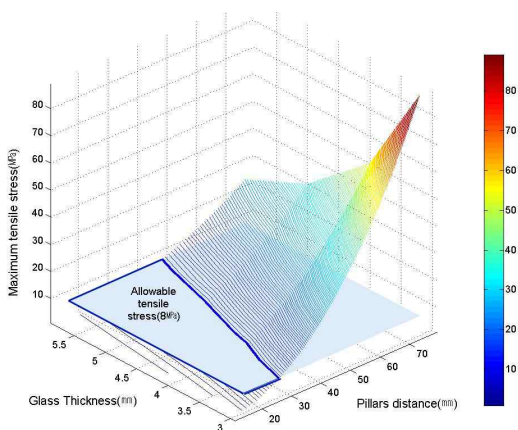


Fig. 5 The optimal distance in square pattern

Table 2. The pillars distance according to optimal arrangement

Glass Thickness (mm)	Allowable tensile stress (MPa)	Pillars distance (mm)
3	8	27.23
3.8		33.41
4.8		40.35
5.8		47.00

앞서 실시한 시뮬레이션의 결과를 토대로 지지대의 패턴은 정사각형, 지지대의 크기는 지름 500 μ m 두께 200 μ m의 조건으로 두께에 따른 최적 배열을 실시하였다. 유리의 두께는 3, 3.8, 4.8, 5.8mm로 시뮬레이션 하였으며 Fig. 4는 선행으로 이루어진 실험적 결과 값과 비교한 것을 나타낸다.5) 그림에서 나타나는 일정 오차율은 선행으로 이루어진 실험에 사용된 강화유리와 시뮬레이션에 사용된 유리의 물성치가 다른 것임에 의해 발생된 것으로 사료된다. Fig. 5와 Table 2는 유리두께에 따른 진공유리 지지대의 최적 배열방안을 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 지지대의 배열에 따른 진공 유리의 응력분석을 실시하였으며 이를 바탕으로 유리가 갖는 허용응력 내에서 지지대의 최적 배열 방안을 제시하고 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

1) 패턴유형에 따른 지지대의 배치 형태는 정사각형의 패턴이 가장 적은 수로 배치가 가능하며 지지대간 간격이 가장 크게 배열되었다. 따라서 진공유리의 진공간극을 유지하기 위한 지지대의 패턴은 정사각형이 가장 적합할 것으로 사료된다.

2) 지지대의 지름은 진공유리에서 발생하는 응력에 크게 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 진공유리를 통한 열손실 및 제조공법을 고려하여 최소 치수로 설정하는 것이 타당할 것으로 사료 된다.

3) FEM 해석 결과와 실험 데이터 비교를 통하여 그 타당성을 검증하였으며, 유리두께에 따라 진공유리 지지대의 최적 배열방안을 제안하였다.

후기

본 연구는 중소기업기술혁신사업의 지원을 받아 연구된 결과임.

참고문헌

1. 초단열 첨단 진공창의 설계 및 제조기반 기술개발, 과학기술부, 1998.
2. R. E. Collins, A. C. Fischer-Cripps, "Design of Support Pillar Arrays in Flat Evacuated Windows", Australian Journal of Physics, 44, pp.545-563, 1991
3. Standards Association of Australia, Glass in building-selection. Australian Standard AS1288-1989, 1989
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. 닛폰 이타가라스 가부시킴이샤, "투광성 유리 유리", 출원번호 10-2004-7017711.