

초단열 진공창

벽체와 유사한 열관류율을 갖도록 개발되어 건물 에너지 절감에 기여할 수 있는 진공창의 원리와 개념, 열성능에 대해서 소개하고자 한다.

조 성 환

한국에너지기술연구원 (shcho@kier.re.kr)

장 철 용

한국에너지기술연구원 (cyjang@kier.re.kr)

우리 나라의 건물분야에서 소비되는 에너지는 국내 총 에너지사용량의 약 25 %를 차지한다.

이중에서 창을 통한 에너지손실은 건물 전체에너지 사용량의 약 10 ~ 30 %를 차지하고 있는데 이는 건물의 여러 요소 중에서 창이 열적으로 가장 취약(일반적으로 벽체의 6 ~ 7배의 열관류율)하기 때문이다. 따라서 건물에서의 에너지절약은 물론 국가전체의 에너지절약 측면에서도 벽체와 유사한 열관류율을 갖는 진공창(열관류율 1.0 W/m²K이하)의 개발이 절실히 요구되고 있다.

1893년 Dewar 보온병이 고안된 이후로, 높은 단열효과를 갖는 원통형이외의 새로운 형태를 갖는 단열재를 개발하는데 많은 관심을 가져왔다. 불과 20년이 지난 1913년, Zoller는 평판유리구조에 적용되는 진공평판단열재에 대한 특허를 발표하였고, 1947년에 Whattan and Myer, 1976년에 Chalons, 1980년에 Coppola and Kenny, 1992년에 Collins 등이 진공창의 성능개선 방법과 제조기술에 관한 새로운 방법을 제시함으로써 실용화 단계에 한층 더 바짝 다가섰다.

진공유리의 제조는 Dewar 보온병에서 요구된 것이지만, 장치들의 설계상의 적절한 요건들이 다음과 같이 주어질 수 있다.

첫째, 적절한 구조물로서 유리를 사용한다. 중합체 또는 플라스틱이 아닌 것들은 적절한 불침투성을 가지므로 진공유지성을 확보하기에 좋다.

둘째, 두 장의 유리판의 주위에는 진공이 새는 것을 방지하기 위하여 기밀 봉입을 할 필요가 있다.

셋째, 0.1 Pa 이하의 작고 높은 안정적인 진공이 장치내에서 이루어져야만 한다.

넷째, 한쪽 또는 양쪽표면은 저방사코팅이 되어져서 복사열전달의 수준을 낮추고 상대적으로 투명한 구조를 형성할 필요가 있다.

그러나, 진공평판단열재는 유효한 설계선택을 위해서 적어도 두 개의 추가적인 제약을 만족해야한다.

첫째 대기압의 영향을 견딜 수 있는 구조를 형성해야하는데, 전형적인 접근법은 두 유리판사이에는 작은 지지기둥들을 배열하는 것에 연관되어 있다. 두번째로는 두 유리판 사이의 열확산에 관계된 것이다. 이는 대기압과 온도차에 의한 인장변형력의 수준을 결정해야 할 필요가 있다는 것이다.

진공창의 원리

진공창 (vacuum glazing)은 유리창 사이의 좁은 공간을 진공상태로 유지하는 것에 의하여 유리창 사이에 존재하는 가스(gas)나 공기에서 발생하는 대류나 전도 열손실을 원천적으로 방지함으로써 열관류율을 거의 벽체 수준인 1.0 W/m²K 이하까지 떨어뜨릴 수 있는 획기적인 단열창이라고 할 수 있다.

일반적으로 유리창 사이에 존재하는 기체를 통한



전도열손실은 아래식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{Q}{S} = \frac{1}{2} \frac{r+1}{r-1} \sqrt{\frac{R}{2\pi MT}} \cdot P(T_1 - T_2) \quad (1)$$

Q/S: 단위 면적당 전열량

r: 기체의 비열비

R: 기체상수

T: 유리창 사이의 기체온도

M: 기체의 분자량

P: 기체의 압력

T₁, T₂: 유리창 내표면 온도

즉, 유리창을 통한 전열량은 유리창 사이에 존재하는 기체의 압력에 직접적인 영향을 받기 때문에 압력을 낮추면 낮출수록 열손실을 완벽하게 차단할 수 있는 것이다.

그림 1은 진공창의 개요도를 나타낸 것이다.

그림에서 볼 때 이중창 내부는 진공상태를 유지하여야 하고 실내외 온도차에 의한 응력을 견디도록 설계 및 제작이 되어야 하기 때문에 유리창의

모서리 부분이 적절히 용접되어야 하고 창 내부에 대기압과의 압력차를 견딜 수 있도록 유리 받침대가 설치되어야 한다. 그리고 창을 통한 복사에너지를 차단할 수 있도록 Low-ε 코팅이 창 내부에 되어야 한다. 이렇게 함으로써, 진공창은 U값이 거의 벽체 수준과 같이 열관류율을 낮출 수 있는 것이다.

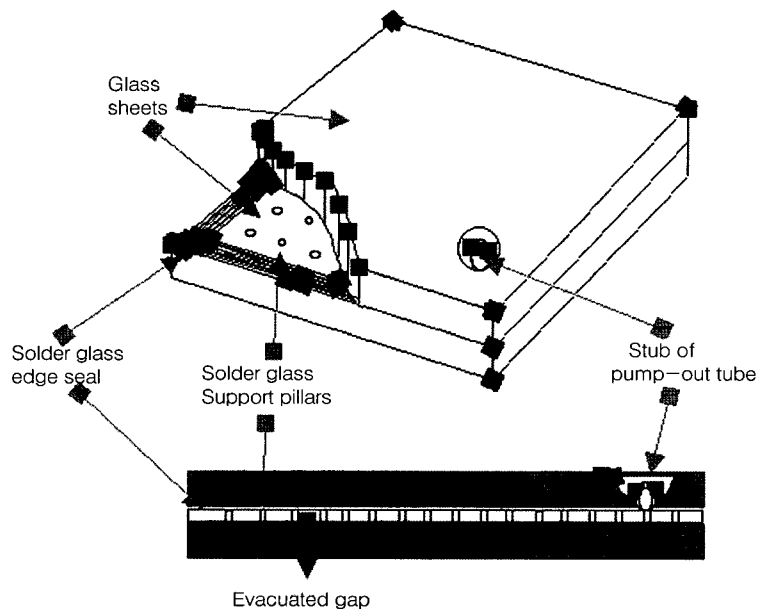
진공의 형성

진공용기는 약 100년의 역사를 가지고 있다. 현재 이러한 진공용기는 수 십년정도 진공이 거의 높은 수준으로 오랜시간 유지하도록 할 수 있는 기술이 확보되어 있다. 이것은 기술적 개발에 있어서 진공단열 유리창에 적용이 될 수 있음을 보여준다. 또한, 이러한 장치들은 내부의 큰 단면/용적비와 비정상적인 형상을 갖는 것에 대해서도 알맞은 새로운 종류의 장치들이 만들어 질 수 있다는 것을 알게 한다.

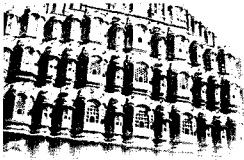
이중유리창 내부의 진공형성에 대해서 두 가지의 서로 다른 방법이 제안되어져 왔다. 잘 알려진 방법

으로는 두 유리판이 봉입되기 바로 직전에 작은 오리피스나 튜브를 통하여 두 장의 유리사이의 가스 또는 공기를 뽑아내는 것이다.

이것은 Dewar보온병, 진공관 모양의 태양집광기, 전자튜브 등과 같이 진공이 필요한 장치들은 거의 완벽하게 돌레를 밀폐하듯이 밀봉하는 방법이다. 진공을 형성하는 과정동안에 이와 같은 구조물들은 자체의 표면에 묻어있는 물이나 가스입자를 제거하기 위하여 일정 온도까지 가열된다. 일반적으로 이때 사용되는 진공배출 튜브는 구조물들이 가열된 후 진공을 형성하고 어느 정도 나머지 부분들이 식혀진 다음에 봉입된다. 이러한 배출작업은 매우 복잡한 과정이 될 수 있기 때문에,



[그림 1] 진공창의 개요도



값이 비싼 이온 펌프나 불활성 혼합물을 형성하는 구조물에서 잔류가스를 화학적으로 결합시켜주는 효과적인 “getter”를 사용함으로써 간단해질 수도 있다. Getter들은 내부표면을 매우 높은 온도로 가열함으로써 불활성 혼합물을 증발시켜 제거할 수 있게끔 해준다. 궁극적으로 Getter는 보호력이 있는 산화피막을 제거하거나 진공하에서 아주 낮은 온도가 아닌 온도에서 구조물의 표면을 가열함으로써 진공의 형성과 유지를 좋게 한다. 그러나 이러한 많은 서로 다른 봉입된 형태에서 비워진 장치들은 높고 안정적인 진공을 유지하면서 내부적인 활성 getter들 없이도 제공되어졌다.

진공창의 응력

응력은 진공단열창에서 고려해야하는 중요한 인자이다. 응력들과 변수들 사이의 관련에 대한 이해를 돕기 위해서 외부적인 영향들을 먼저 다룰 수 있을 것이다. 외부적인 영향들은 중요한 응력발생의 원인이 될 수 있고 유리의 갈라짐을 일으키는 가능성에 대한 분석도 외부영향으로 인한 기조합된 응력들의 면에서 보아야 한다. 실제로, 유리라는 재질에 있어서 헨디캡은 항상 인장 변형력의 영역에 들어가 있다는 것이다. 유리의 응력결핍은 여러 가지 표본을 통하여 다양함을 알 수 있다. 진공창에 걸리는 응력들은 바람이 간헐적으로 부는 것으로

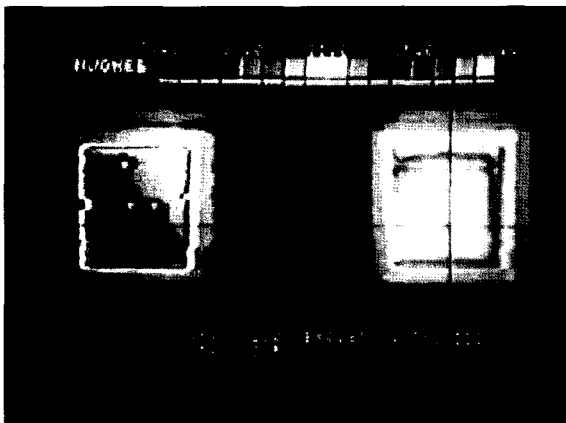
기인한 상황과 진공창 전체에 걸쳐있는 대기압과 관련되어 있다. 그러나 응력들은 확실히 시간함수이며, 수명상의 큰 비율을 갖을지도 모르지만 적절한 설계 안전율을 이루기 위하여 모든 시간동안에 대해 고려되어야만 할 것이다. 비워진 단열재에서 나타나는 응력들의 대부분은 설계표준에 의해 계산된 값보다 더 크게 나타날 수 있는 것들이다. 진공창과 같은 특별한 구조에서는 내부의 유리판들에 대해서 원형 인장변형력이 지지기둥들에 가까울수록 매우 크게 나타나게 된다. 이러한 지지기둥들과 유리판들 사이의 원형 인장변형력과 같은 응력형태는 깨지기 쉬운 고체의 표면에 움푹 들어간 흠집의 영향을 고려해야만 함을 알려주는 것이다. 비록 실제 응력값이 설계표준에 기술된 응력보다도 더 작은 값을 가질지라도 유리판의 파손을 이끌지 않는다는 보장은 없다.

진공창의 열성능

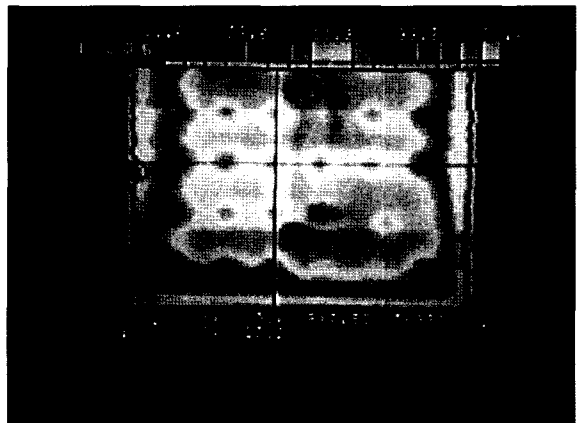
창의 열성능을 가지적으로 나타내기 위하여 적외선 열상 측정기기(thermal video system)를 이용하여 열상촬영한 결과를 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

이 열상은 표면온도 분포를 나타내는 것으로서 직접 폴라로이드 카메라(polaroid camera)로 촬영하여 열손실의 상대적인 차이를 파악할 수 있다.

진공창의 열상측정을 위해서 진공창을 제작한 후,



[그림 2] Low-ε 코팅 진공창과 일반 이중창의 열상비교



[그림 3] Low-ε 코팅 진공창의 열상



진공창의 응력분포를 확인하고 열성능 시험장치에 부착하여 일반창과의 열성능 비교를 한것으로 **그림 2**는 거시적으로 유리표면의 온도를 측정하여 창 의 열손실을 나타내는 모습이고 **그림 3**은 진공창의 열손실 모습을 근접 촬영한 결과이다.

시험장치 내부의 온도를 55 °C로 하고 유리를 통한 열손실이 정상상태를 나타낼 수 있도록 2 ~ 3시간 가열한 후 장치의 내부 및 외부에 부착된 열전대를 이용하여 장치의 내외부 온도차를 30 °C 내외로 유지시켜서 적외선 열상 측정기로 촬영하였다.

이 경우는 유리크기가 300 mm×300 mm인 경우에 관한 결과인데 이 크기를 500 mm×50 mm나 또는 그 이상으로 확대시킬 경우 유리전체면적에 대한 모서리 면적의 비가 감소됨으로써 열손실이 발생할 수 있는 비율이 상대적으로 감소되므로 에너지 절약 효과는 더욱 증대될 것이다.

그림 2에서는 진공창과 복층유리의 열성능을 비교하기 위하여 TVS로 촬영한 열상이다. 좌측의 붉은색이 많이 분포되어 있는 것은 복층유리인데, 이 유리창이 외부로 열손실이 많이 뿜을 나타내는 것을 알 수 있고 전체적인 평균 표면온도가 38 °C로 높게 나타났다.

열전달 매체인 공기가 들어있는 복층유리의 경우 가운데 부분이 높은 온도를 나타내고 있는데 이는

모서리 뿐만 아니라 유리면 전체에 걸쳐 많은 열손실이 발생된다고 볼 수 있다. 우측의 노랑색 부분이 많은 것은 low-ε 유리를 양쪽으로 설치한 진공창으로 평균표면온도가 32 °C로 복층유리보다 6 °C 낮은 것으로 나타났다. low-ε 진공창의 경우 복사열을 차단하므로 열손실은 주로 지지대 및 모서리를 통해서 발생되기 때문에 유리의 바깥 부분에 붉은색이 약간 형성되어 있음을 알 수 있다.

그림 3은 low-ε 진공창에서 지지대 및 모서리를 통하여 열손실이 일어남을 자세하게 나타낸 열상이다. 바둑판 형태의 붉은색은 지지대를 통한 열손실을 보여주는 것인데 지지대의 실제 크기보다 더 크게 나타나 상당한 열손실이 있음을 알 수 있다. 바깥부분의 흰색은 모서리를 통한 열손실을 보여주는 것인데 바깥부분에서 안쪽으로 열이 전도되어 지지대까지 열전도가 이루어진 것을 볼 수 있다.

이것을 열관류율 개념으로 나타내면 일반 이중창은 3.0 W/m²K, 진공창은 1.0 W/m²K 정도를 나타내어 진공창은 일반 이중창에 비하여 3배정도의 열차단효과가 있음을 보여주고 있다. (☉)