

# 단열성을 향상시킨 고효율 첨단창호

건물 창호의 열손실 취약부위 개선을 위한 에너지 절약형 창호개발 및 단열성 강화에 대한 국내외 창호개발 현황을 소개하고자 한다.

장철용

한국에너지기술연구원 (cyjang@kier.re.kr)

창호는 조망과 주광 기능을 갖는 투과체로서 열손실과 동시에 불필요한 열취득이 발생하는 건물 외피의 경로가 된다. 일반적으로 건물 창호의 단열성능은 외벽의 단열성능에 비해 6~10배 정도 낮은 열손실 취약부위로, 건물의 에너지성능에 매우 큰 영향을 미치는 핵심인자이다. 따라서 선진국을 중심으로 지난 수십년간 에너지 절약형 창호개발을 위해 많은 기술적 발전이 이루어져 왔으며, 현재도 진공창, 에어로겔 유리, 투명단열유리 등 각종 첨단기술을 이용한 고효율 초단열 창호시스템 개발 연구가 활발히 진행중에 있다.

## 열전달의 개요

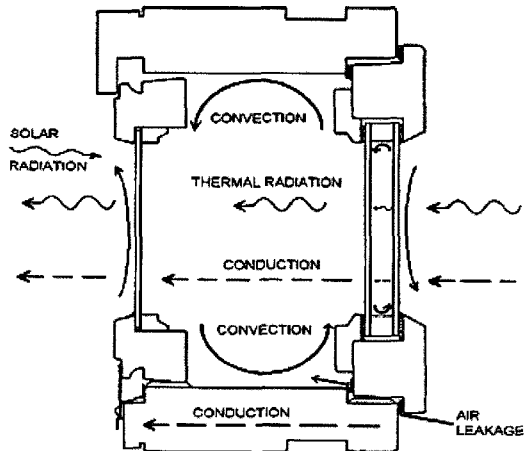
그림 1은 창문을 통한 열전달 개요도를 나타내는데 그림에 보인바와 같이 일반적으로 창문을 통한 열전달은 대류, 복사 및 전도열전달에 지배를 받으며 틈새를 통한 환기 열손실도 큰 비율을 차지한다.

## 창문의 단열성을 개선시키는 방법

창문의 단열성을 증가시키기 위해서는 그림 1에 있는 창문에서의 열전달 현상 즉, 전도, 대류 및 복사열전달을 억제시키면 되는데 이를 위한 아래와 같은 방법이 있다.

- 1) 유리창의 방사율을 줄여주는 방법(low-ε coating)
- 2) 이중 유리창 사이에 저방사 필름을 사용하는

- 방법(super window)
- 3) 이중 유리창 내부에 고밀도 가스를 주입하는 방법(double pane glazing)
- 4) 이중 유리창 사이를 진공으로 하는 방법(vacuum glazing)
- 5) 유리창의 투과율을 조절하는 방법(electrochromic glazing)
- 6) 이중 유리창 내부에 투명 단열재를 주입하는 방법(aerogel glazing)
- 7) 유리창의 수를 늘이는 방법(multiple window)
- 8) 창틀의 기밀 및 단열성을 강화 방법



[그림 1] 창문을 통한 열전달

(high tightness insulation window)

9) 창문의 시스템화 방법 (airflow window system, electric glazing)

위의 여러 단열성 강화방법을 두 가지로 분류하면 유리창의 열적 특성을 개선시키는 방법(첨단 유리창)과 창문 전체의 효율을 개선시키는 방법(시스템 창문)으로 연구개발이 진행되고 있는데 이를 분류하면 첨단 유리창과 시스템 창문으로 나눌 수 있다.

- 첨단 유리창 (advanced glazing)
  - 저방사 유리창 (low- coating)
  - 투명 단열창 (aerogel glazing)
  - 전기창 (electric glazing)
  - 투광 조절창 (electrochromic glazing)
  - 진공창 (vacuum glazing)

- 시스템 창문 (system window)
  - 고기밀성 단열창 시스템 (high tightness insulation window)
  - 공기식 집열창 시스템 (airflow window system)
  - 다중창 시스템 (multiple window system)
  - 슈퍼 윈도우 시스템 (super window system)

**첨단 유리창**

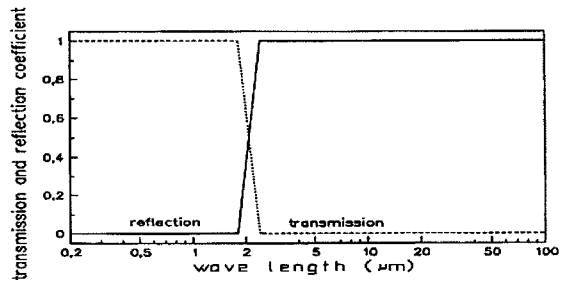
- 저방사 유리창 (low-ε coating)

그림 2는 low-ε 코팅 유리창의 열적 특성을 단적으로 나타내고 있다. 일반적으로 코팅이 안된 일반적인

유리창은 장파장 영역의 복사열은 거의 흡수시키는 반면에 코팅된 유리창은 가시광선 영역과 근적외선 (NIR) 영역의 복사열은 대부분 투과시키고 장파장 영역의 복사열은 반사시키게 된다. 따라서 low-ε 코팅 유리창은 실내의 물체들로 부터 방사된 열이 유리창을 통하여 실외로 유출되는 것을 코팅 면에서 재반사시켜 막아주며 또한 여름철에는 실외의 뜨거운 복사열이 실내로 유입되는 것을 막아주기 때문에 복사열의 차단에 효과적으로 이용할 수 있는 창이다.

Low-ε 코팅은 일반적으로 여러 층으로 구성되는데 코팅의 열적 특성은 코팅재료나 코팅층의 두께에 영향을 받는다.

코팅재료는 금, 은, 텅스텐, 산화 주석 계통의 금속인데 표 1과 표 2에 코팅이 안된 유리창과 코팅된 유리창의 열적 특성을 나타내었다. 즉, 코팅된 유리창은



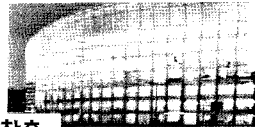
[그림 2] Low-ε 코팅 유리창의 열적 특성

<표 1> 유리창의 Emissivity 와 Transmission

Coating	Solar Transmission	Solar Absorption	Light Transmission	Emissivity (Long-Wave)
Uncoated	0.90	0.02	0.91	0.84
Tin Oxide				
Medium Emissivity	0.76	0.10	0.80	0.40
Low Emissivity	0.68	0.10	0.75	0.19
Silver(Thin)	0.70	0.10	0.83	0.12

<표 2> Low-ε 유리와 일반 유리의 비교

제품	유리두께 (mm)	공기층두께 (mm)	공칭두께 (mm)	투과율(%)		열관류율 (Kcal/m <sup>2</sup> hr°C)
				가시광선	태양방사열	
Low-ε 유리	6	12	24	74	52	2.0
일반 유리	6	12	24	80	65	3.1



단과장 영역의 태양 복사열이나 가시광선의 투과율은 거의 유사한 반면에 장파장 영역의 방사율은 대폭적(거의 14% 수준)으로 감소되는 것을 알 수 있다.

Low-ε 코팅 유리창은 지금까지 개발된 기술 중에서 복사열을 차단시킬 수 있는 유일한 방법으로써 대부분의 국내외 고단열성 첨단 창들은 Low-ε 코팅 유리창을 채택하고 있다.

• 투명 단열창 (aerogel glazing)

이중창에서 창사이의 전도 및 대류 열전달 현상을 억제하기 위한 방법으로써 1931년 스웨덴의 Kistler가 투명 실리카 에어로젤(silica aerogel)을 창 사이에 주입한 투명 단열창(aerogel glazing)을 개발한 후 지금까지 실리카 에어로젤의 투명도를 높일 수 있는 방향으로 연구를 진행하였다.

그림 3은 에어로젤 투명단열창의 열상촬영 결과를 나타낸 것이다. 붉은색으로 나타나는 부분은 열손실이 많은 것을 의미하며 파란색은 열손실이 적음을 나타낸다. 왼쪽창은 내부에 투명한 실리카 에어로젤 재료를 주입함으로써 창을 통한 열손실이 적음을 알 수 있다.

실리카 에어로젤 투명 단열창은 Kistler가 처음 발명한 후 50년 뒤에 대규모 생산 공장이 스웨덴에 세워졌다. 이후 1984년에 대형 폭발사건 후 생산공장이 폐쇄되었다.

미국에서는 Lawrence Berkeley Laboratory에서 실리카겔(silicagel)과 약간 다른 아밀 아세테이트 겔(amy acetate gel)의 생산방법 개발에 성공하여 제조공장을 운영하였다. 그러나 제조단가가 상당히 고가여서 경제성 확보에 문제가 되어 생산라인이 임시



[그림 3] 에어로젤 투명단열창의 전경과 열상분포

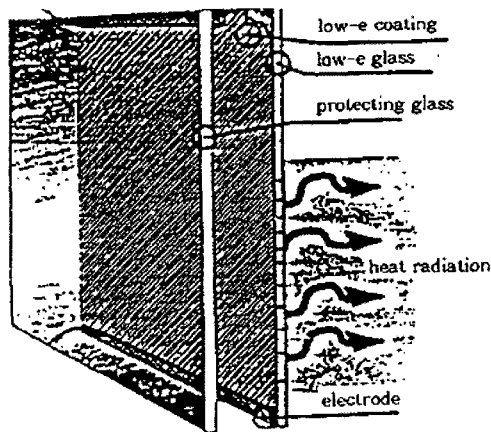
중단되었다가 최근에 다시 생산하고 있다.

• 전기창 (electric glazing)

Low-ε 코팅 기술의 발전과 더불어 개발된 새로운 창이 전기창(electric glazing) 이라고 할 수 있다. 그림 4는 전기창의 개요도를 나타내는데 전기창은 Low-ε 코팅한 유리의 아래위 가장자리에 Electrode(전극)을 부착시켜서 이들을 전선으로 연결한 것이다. 이렇게 함으로써 Low-ε 코팅한 유리창 부분이 전기발열을 하게되어 유리창이 따뜻해짐으로써 가시광선은 통과시키고 겨울철에 외부의 차가운 열을 차단시키는 역할을 한다.

전기창은 유리창 자체가 히터(heater)의 역할을 하기 때문에 라디에이터가 필요 없는 장점이 있으며 또한 동절기에 유리창에서의 냉기를 막아주기 때문에 실내환경을 개선시킬 수 있는 장점이 있다.

전기창은 시스템적인 역할을 하기 때문에 창문의 성능을 일정한 열관류율로 나타내는 것은 무리가 따를 수 있다. 그러나 실제 건물에 적용하여 실험한 결과에 의하면 창문이 따뜻하게 유지되기 때문에 실내의 가열온도를 약 1℃ 정도 하향시켜도 실내환경은 거의 같기 때문에 이의 영향으로 일반 이중창에 비하여 약 5% 정도의 에너지를 절약할 수 있다. 전기창은 1980년대 초부터 핀란드에서 연구개발을 시작하여 1989년에 제품화하였으며 현재 약 50여개 건물에 적용하였다.



[그림 4] Electric glazing 개요도

• 투광 조절창 (electrochromic glazing)

건물의 냉난방과 채광의 상반성을 충족시킬 수 있는 바람직한 기술은 태양복사, 투과율의 가변 조절과 파장대별 선택적 조절이 가능한 가변 일사조절 재료를 들 수 있다.

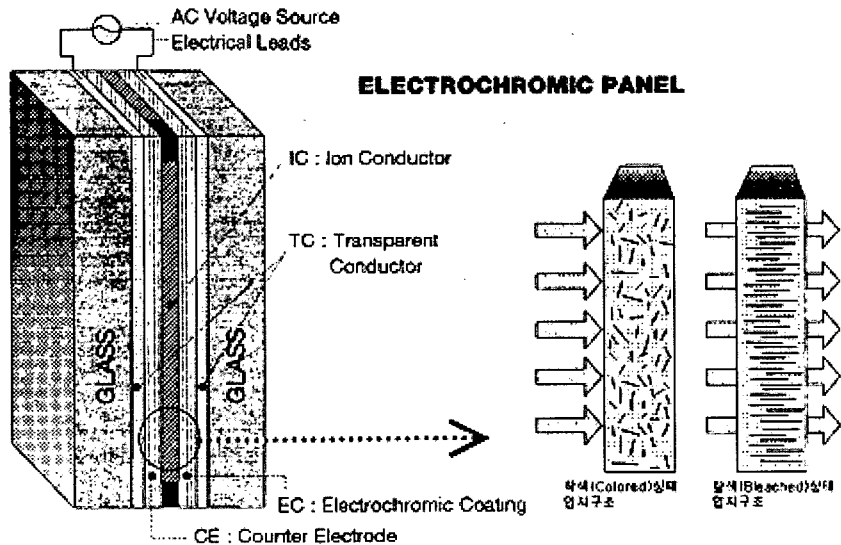
가변일사 조절재료는 현재 3가지 유형으로 연구개발 되고 있는데 광에 반응하는 포토크로믹(photochromic)코팅과 열에 반응하는 일렉트로크로믹(electrochromic)코팅으로 구분할 수 있는데 이들 재료는 조명과 냉방에너지에 미치는 영향이 다르게 나타난다.

포토크로믹(photochromic) 방식의 재료들은 광학적 성질이 빛의 강도에 따라 변하게 된다. 일반적으로 이러한 재료들은 에너지 흡수적인데 그것은 각기 다른 흡수 스펙트럼들을 가진 두개의 에너지 상태 사이에서 화학적 가역변화에 기인하는 것으로, 이러한 변화는 조도(illuminance)에 의해 유도된다. 소량의 Cu<sup>+</sup>를 포함한 silver halides가 유리에 사용되는 가장 일반적 소재이나 아직 건축적 적용을 위해서는 많은 연구가 필요한 분야이다.

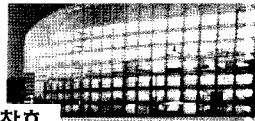
써모크로믹(thermochromic) 재료는 특정온도에서 색 변이(color transition)가 이루어지는 것으로 코팅이 특정 변이온도 이하일 때는 태양일사를 투과시키

지만, 코팅이 가열됨에 따라 코팅 내부가 금속적 상태로 전환되어 태양일사의 적외선을 반사시키게 된다. 따라서 투과체를 통한 태양일사의 실내 유입량을 감소시키는 효과를 나타낸다. 써모크로믹의 예로는 cloud gel이 일반적이다. cloud gel은 투명한 플라스틱 필름으로 공간난방에 적용될 경우 실내온도에만 반응한다. 실내조건이 쾌적온도 이상으로 과열될 때 불투명한 흰색으로 변하여 태양 스펙트럼의 90%를 반사시키며, 냉각되면 다시 태양 투과율 90%의 투명한 상태로 변한다. 전이온도, 최대 반사율, 주광 반응도 등은 제조과정에서 사람이나 식물들의 실내기후 변화를 창조하기 위해 모두 조절될 수 있다. cloud gel은 두개의 플라스틱 필름사이에 끼워져 있는 고분자(polymers)물질과 수용액으로 구성된다. 고분자들은 짧은 범위의 온도범위에 대해서도 그들 연결고리의 형상과 길이를 쉽게 변화시킬 수 있어 유입일사를 가변적으로 조절할 수 있는 것이다.

일부 재료들은 얇은 층을 중심으로 양쪽에 미량의 전압을 가할 경우 가역적인 색변화를 일으키는 데 이것이 일렉트로크로믹(electrochromic) 코팅이다. 그림 5는 일렉트로크로믹 코팅이 적용된 유리의 구조 및 작동원리를 설명한 것이다. 일렉트로크로믹 코팅은 전형적으로 유리기판에 5개의 코팅층이 부



[그림 5] 일렉트로크로믹 유리의 구조 및 작동원리



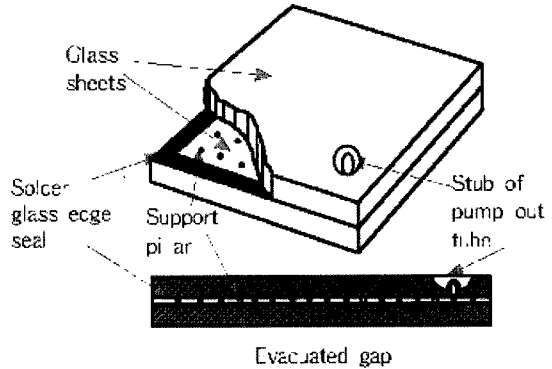
가되는데 그림 5에 나타난 바와 같이 TC(transparent conductor), CE(counter electrode), EC(electrochromic), IC(ion conductor)로 구성된다. 낮은 전압이 양측의 TC층에 가해지면 이온들이 TC층으로부터 EC층으로 이동되어 투과율의 변화를 일으킨다. 일반적으로 일렉트로크로믹 장치들은 자연상태에서는 색을 띠게 되며 이온들이 전달됨에 따라 투명해지게 된다. 전달되는 이온들의 수를 조절함으로써 일렉트로크로믹 창호의 투과율을 지속적으로 변화시킬 수 있으며 그 범위는 최소 10%에서 최대 80%까지 가능하다. 전원을 끄게 되면 EC층은 그 상태의 투과율을 유지하게 되며 따라서 EC코팅은 매우 소량의 전력소비만을 요구한다. 전압을 반대로 가하면 원래상태의 코팅상태로 복귀하게 된다. Tungsten trioxide(WO<sub>3</sub>)는 이 계열의 재료중 가장 광범위하게 연구되고 있는 재료이다. 그것은 주로 태양 적외선 영역 내에서 전환되며 양쪽상태에서 모두 높은 가시광 투과율을 유지한다.

최근의 결과에 의하면 일렉트로크로믹 재료는 태양에너지를 조절하기 위한 응용방법중 가장 잠재력이 뛰어난 것으로 나타났다. 단일형태의 써모크로믹 또는 포토크로믹 코팅은 냉방 및 조명에 대해 요구되는 모든 반응을 제공하지 못하는 반면, 일렉트로크로믹 코팅은 적절히 조절할 수 있는 능력을 가지고 있다. 일렉트로크로믹 창호는 일부 시제품이 제작되고 있으나 국내외적으로 아직 개발이 완료된 기술은 아니며 경제성 및 내구성과 코팅 가능면적 등의 이유로 인해 현재도 계속 연구가 진행되고 있다.

• 진공창(vacuum glazing)

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 Kcal/m<sup>2</sup>hr°C 까지 떨어뜨릴 수 있는 단열창이다. 그림 6은 진공창의 개요도를 나타낸 것이다.

그림 6에서 볼 때 이중창 내부는 10<sup>5</sup> torr의 진공상태를 유지하여야 하고 실내의 온도차에 의한 응력을 견디도록 설계 및 제작이 되어야 하기 때문에 유리창의 모서리 부분이 적절히 용접되어야 하고 창



[그림 6] 진공창의 개요도

내부에 대기압과의 압력차를 견딜 수 있도록 유리 받침대가 설치되어야 한다. 그리고 창을 통한 복사 에너지를 차단할 수 있도록 Low-ε coating이 창 내부에 되어야 한다.

주로 연구를 하는 곳은 호주의 Sydney 대학, 미국의 NREL, 일본의 NEG Glass 등이 있는데 이들은 진공창의 저가생산에 의한 실용화를 위하여 새로운 제조방법을 제안 후 실제 시제품생산에 성공하였고 보급 추진 중에 있다. 국내는 한국에너지기술연구원에서 시제품 수준의 진공창 제작에 성공하였다.

시스템 창문(system window)

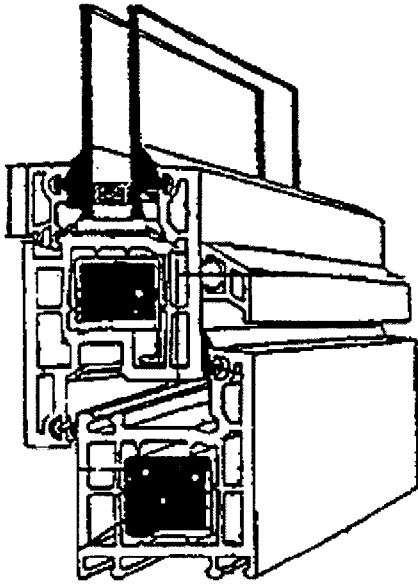
최근 창문과 관련된 연구들은 앞에서 처음 유리창 자체의 단열성 강화를 위한 연구외에 유리창(glazing)과 창틀(frame)을 포함한 창문 전체의 단열성, 기밀성, 방음성 등의 성능개선을 위한 연구를 수행하고 있다. 따라서 이러한 창문전체의 성능을 개선시키는 방법 중의 하나가 시스템 창문이라고 할 수 있는데 국내에서 연구개발이 수행되고 있거나 현재 개발 완료되어 시판되고 있다.

• 고기밀성 단열창문 시스템 (high air tightness insulation window)

독일식 시스템 창문으로서 창틀 재질을 다격질 구조로 되어 있는 고강도 플라스틱을 채택하여 단열성을 높이고 창틀에 고정할 수 있는 Gasket를 사용함으로써 밀폐를 유지할 수 있도록 하였다(그림 7).

고기밀성 단열창문 시스템은 1935년 독일의

ROTO사가 특허를 취득하여 창호전문 연구소인 Roseheim 연구소와 공동으로 고기밀 기술의 실용화에 성공하였다. 이후 프레임(Frame)재료로써 내후성 및 내충격성이 우수한 고강도 플라스틱을 독일의 Hoechst사가 개발하여 창문에 적용하고 있다.



[그림 7] 고기밀성 단열창문 시스템의 개요도

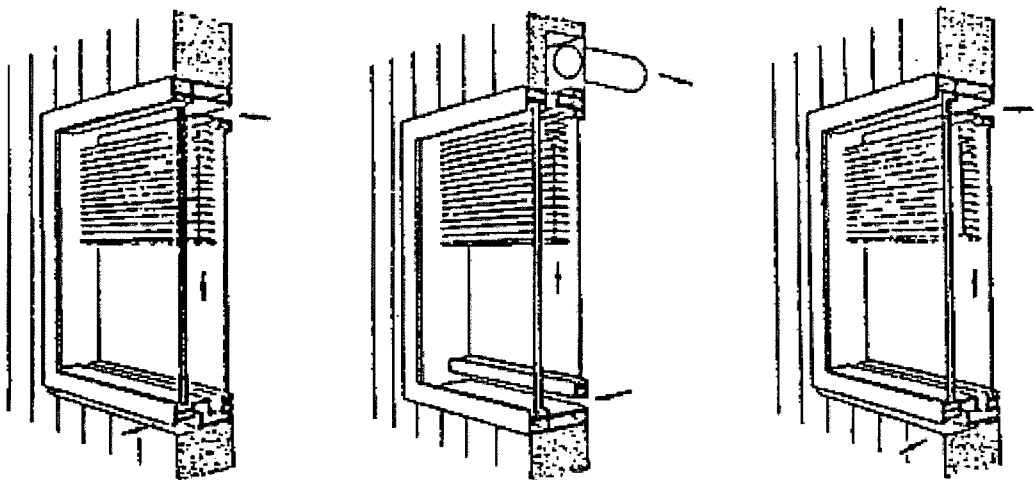
• 공기식 집열창 시스템 (air flow window system)

공기식 집열창시스템은 에너지 효율적인 창과 태양열 집열기의 조합으로서, 이중유리창과 단유리의 내창 및 이들 사이에 설치된 베네티치안 블라인드로 구성되어 있다(그림 8). 실내로부터 배기되는 공기가 집열창시스템의 내창아래에 있는 공기유입구를 통하여 집열창 내부로 유입된 후 내외창 사이의 유동공간을 지나면서 태양열에 의하여 뜨거워진 베네티치안 블라인드와 열교환을 일으킴으로써 창문에 입사된 태양열을 집열한 후, 냉방기에는 외부로 배기하고 난방기에는 HVAC시스템의 예열원으로 활용함으로써 건물에 소요되는 에너지를 절약하는 시스템이다. 공기식 집열창 시스템은 1967년 핀란드를 중심으로 채택되기 시작하여 현재 스칸디나비아반도와 중부유럽을 중심으로 약 100여개의 대형건물에 채택되어 있는 것으로 알려졌다. 국외적으로 주로 핀란드의 EKONO사를 중심으로 설치, 제작이 이루어지고 있다.

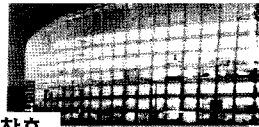
• 다중창 시스템 (multiple glazing window)

창문의 단열성을 높이기 위하여 유리창의 수를 2중, 3중, 4중, 5중으로 늘리는 것은 일반적인 방법이라 할 수 있다.

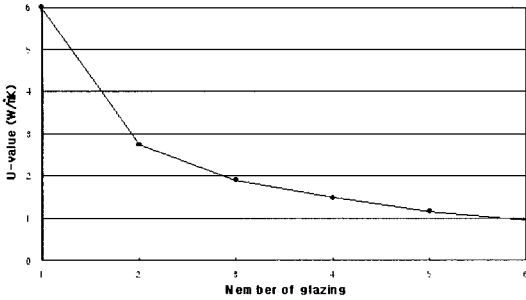
그림 9는 유리창의 두께가 3 mm이고 창 사이의 간격을 12 mm로 하였을 때 유리창의 수를 늘리는



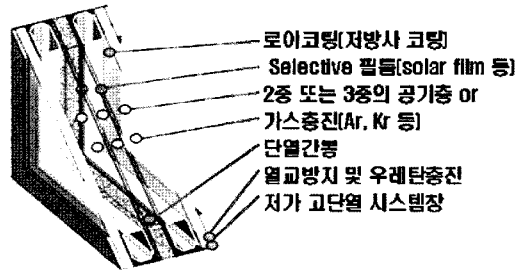
[그림 8] 공기식 집열창 시스템의 개요도



단열성을 향상시킨 고효율 첨단창호



[그림 9] 유리창 수의 증가에 따른 열관류율



[그림 10] 슈퍼윈도우의 개념도

것에 따른 열관류율을 나타낸 것이다.

그림 9로부터 유리창의 수를 늘림에 따라 창 의 열관류율을 1.0 W/m²k 이하까지 줄 수 있음을 알 수 있다. 그러나 유리창의 수를 늘리게 되면 창 의 무게가 늘어나고 창간격이 증가할 뿐만 아니라 광투과율이 낮아지기 때문에 비효율적인 것으로 알려져 있다. 따라서 현재 최적의 유리창 수는 3중, 특수한 경우에는 4중창 정도가 최선의 선택이 될 수 있을 것이다. 유리창의 수를 4중 이상으로 한 경우는 국내에서는 선택하지 않고 있고, 캐나다, 핀란드 등에서는 일부 에너지 절약형 특수건물에 선택한 경우가 있다.

• 슈퍼 윈도우 (super window)

이중창 내부에 장파장의 복사열을 차단할 수 있는

플라스틱 판이나 필름이 설치된다면 이러한 창문은 가볍고 가격이 낮으면서도 열적인 단열성이 우수하게 될 것이다. 이것이 슈퍼윈도우(super window)의 기본적인 개념이다.

슈퍼윈도우는 그림 10에서와 같이 내외의 유리창에는 low-ε 코팅을 하고 두장의 필름이나 플라스틱 판이 창 내부에 설치된다. 그리고 내부에는 argon gas나 krypton gas를 주입 후 밀봉을 완벽하게 한다. 이렇게 함으로써 유리창의 열관류율을 1.5 W/m²k 이하까지 떨어뜨릴 수 있는 열적으로 우수한 창이다.

현재 코팅 필름은 미국에서 생산되고 있으며 미국을 제외한 외국에서 기술제휴 또는 수입해서 사용하고 있다. 슈퍼윈도우의 생산은 미국, 캐나다, 핀란드 등에서 이루어지고 있다. (3)