



광투과율을 조절이 가능한 스마트 유리

인위적으로 가시광선 전 파장에 대한 투과율을 조절할 수 있는 유리로서, 광이나 전계의 인가 유무에 따라 광 투과율을 인위적으로 조절할 수 있는 첨단 기능성 유리를 소개하고자 한다.

유 병 석

(주)에스피디아아이 (bsyu@spdi.co.kr)

스마트유리란 ?

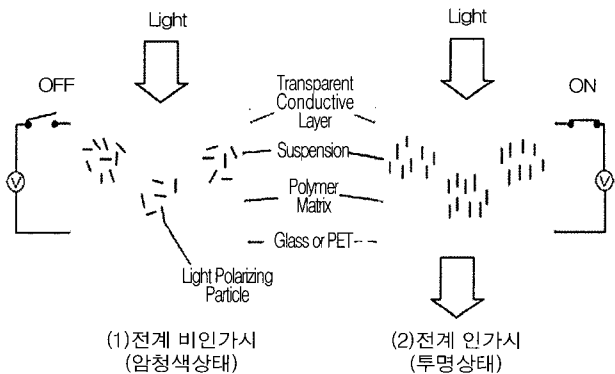
일반유리를 통해 들어오는 태양광의 투과율을 조절하는 방법에 대한 연구는 화학증착법(CVD)이나 스퍼터링(sputtering) 공법을 이용하여 유리 표면에 금속 산화물을 증착하는 방법과 착·소색 특성을 나타내는 물질을 유리의 조성내에 혼입시키는 방법을 이용하여 진행되어 왔다.

그러나 이런 방법으로 제작된 유리는 태양광에 대한 능동적인 조절기능이 없고 일정한 광과장영역에 대한 선택적인 차폐 또는 투과 능력만 지닌 수동형으로서 소비자의 요구를 충족시키는데 한계가 있었다.

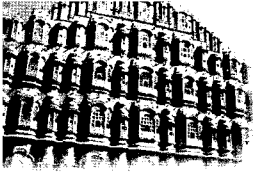
따라서 이러한 한계를 극복하여 인위적으로 가시광선 전파장에 대한 투과율을 조절할 수 있는 유리의 제작 필요성이 대두되었으며, 이와 같은 필요성은 최근에 다양한 기능을 갖는 박막재료의 개발과 액정재료에 대한 연구가 진전됨에 따라 실현 가능하게 되었다. 그 한 예가 투과도 가변유리(smart window, 조광유리)로서 광이나 전계의 인가 유무에 따라 투과율을 인위적으로 조절할 수 있는 것을 말한다. 이와 같은 유리는 기능성을 나타내는 재료의 종류에 따라 액정(liquid crystal display), 분극입자분산(suspended particles display), 일렉트로크롬(electrochromic glass), 포토크롬(photochromic glass) 및 써모크롬(thermo-chromic glass) 등으로 크게 구분할 수 있으며, 차세대의 고기능성·고

부가가치의 제품으로 구분되어 외국의 여러 회사 및 관련연구기관에서 막대한 예산을 투입하여 개발을 추진하고 있다.

이러한 스마트유리 중 현재 실용화되고 있는 것은 액정을 이용한 것과 일렉트로크롬 유리 및 포토크롬유리 등이 있는데, 최근 액정을 이용한 것과 함께 분극입자분산형 스마트유리가 국내에서 세계최초로 상업생산을 개시하였다. 그러나 그 외 제품은 제조방법과 제품가격 및 제품보증기간의 문제로 인해 일부 제한적인 용도로 사용되고 있는 상태이다. 여기서 특히 주목하고 싶은 분야는 분극입자를 이용한 지적기능의 스마트 유리이다. 이 기술에 의해 제조된 제품은 전계(electric field)의 인가 유무에 따라 가시광선의 평균 투과율을 자유롭게 조절



[그림 1] 분극성 광편광입자를 사용한 스마트유리의 일반적인 동작원리



할 수 있는 유리로서, 그림 1에 나타낸 것과 같이 전계를 인가하지 않은 정상상태에서는 짙은 청색을 띠는 착색상태로 유지되다가 전계를 인가함에 의해 투명상태로 전환되는 기능성 유리이다. 즉 전계가 인가되지 않은 상태에서는 미세액적내에 존재하는 광편광입자가 불규칙분산(random brownian) 운동을 하기 때문에 입사되는 광이 흡수, 산란되어 짙은 청색을 나타내며, 전계가 인가되면 전극양단에 형성되는 electric field에 의해 광편광입자가 전계방향으로 배열되기 때문에 투명한 상태로 전환된다.

이 기술은 1934년 Polaroid™의 창시자인 Edwin Land 박사에 의해 처음으로 개발되었다. 그후 1965년 창업된 Research Frontiers Incorporated(RFI)에 의해 이 기술이 지속적으로 연구되었으며 국내 기업인 한국유리공업(주)에서 이 기술의 원천기술을 도입하여 건축용 창호로의 대형제품의 제조기술의 개발에 성공하였다. 분극입자를 이용한 스마트 유리는 다른 스마트 유리 분야와 비교해서 많은 장점을 지니고 있다. 먼저 액정을 이용한 분야와 비교하면 ① haze가 낮고, ② 가격이 상대적으로 저렴하며, ③ 빛 투과도가 커서 선명성이 좋으며, ④ 에너지보존 측면에서도 장점을 지니고 있으며 특히 가시광선영역에 대한 투과율의 조절이 가능한 이점이 있다. 둘째로 일렉트로크로믹유리와 비교하면 ① 응답속도가 빠르며, ② 대비효과와 감응속도가 좋고, ③ 생산수율이 높고, ④ 가격 면에서 저렴하며, ⑤ 넓은 온도범위에서 사용이 가능하다는 점 등 많은 장점을 지니고 있다는 것이다. 그러나 무엇보다도 분극입자를 이용한 기술의 가장 큰 장점이라 할 수 있는 것은 새로운 큰 설비투자가 필요없이 간단하게 높은 수율로 제품화 할 수 있는 이점을 지니고 있다는 것이다. 이와 같은 여러 가지 장점과 거대 시장 때문에 최근에 와서는 외국의 많은 회사에서 큰 관심을 보이고 있다.

스마트유리의 시장 동향

현재 실용화되고 있는, 액정을 이용한 제품의 주 용도는 실내 칸막이와 건축물의 창호로서 일본의

Nippon Sheet Glass사(UMU), 프랑스의 Saint Gobain사(PRIVA-LITE)등에서 제품이 생산되어 US\$1,000 ~ 1,500/m²의 가격으로 시판되고 있으며 일렉트로크로믹유리를 이용한 자동차의 실내 후사경이 미국의 Gentex사에서 제작되어 수만원/개의 가격으로 수입 판매되고 있다. 이러한 스마트유리는 가시광선영역의 투과율 변화특성은 물론이고 근적외선 영역의 반사기능과 자외선에 대한 차단특성(99% 이상 차단) 등의 복합적인 기능으로 인해 제품가격이 고가임에도 불구하고 수요가 지속적으로 증가하고 있으며 전세계의 잠재적인 시장은 82억 US\$/year를 상회할 것으로 예측하고 있다(미국의 일렉트로크로믹 제조업체인 SAGE electronic사 1997년 자료).

그러나 현재까지 개발된 스마트유리(특히 액정제품)는 제품기능의 단순성, 즉 전압의 인가유무에 따른 시계차단특성만 있을 뿐 인가되는 전압의 세기에 따른 투과율의 연속적인 변화가 불가능하며 색상이 우유빛 계통으로 단순한 문제와 가격적인 문제(액정제품의 경우, 약 100만원/m²이상, 자동차용 일렉트로크로믹 미러의 경우 12만원/개), 그리고 내구성의 문제로 인해 사용분야에 많은 제한을 받고 있는 상태로서 분극입자분산형의 스마트유리가 다양한 용도로 시장을 급격히 확장해나가는 추세이다.

현재 세계 각국에서 수행하고 있는 스마트유리관

<표 1> 각종 조광유리의 종류 및 기능 비교

조광기술	분극입자 (SPD)	액정(LCD)		일렉트로크로믹 (ECD)	포토크롬 (PCD)	써모크롬 (TCD)
		PDLG	G-H			
원리	분극입자 배향	분극분자 배향	분극분자 배향	전하이동	광여기	상전이
대표 예	분극입자	Nematic 액정	Nematic + 2액성 색소	WO/EL /PB유기물	AgCl, 유기물	Mo doped VOx
구동전압	전압 AC 30-100V	전압 AC 30-100V	전압 AC 3V	전류 1.5V	광(UV)	열 30-40°C
응답속도 (30x30cm)	100 msec	10 msec	10 msec	~ 1 min	~ 5 min	~ 3 min
태양광 평균 투과율(%)	5~70	70~80	40~70	5~80	60~80	10~30
광차단성	◎	△	●	◎	●	●
차단성	○	◎	○	○	△	△
최대크기 (m x m)	1 x 2	1 x 2	0.3 x 0.3	0.3 x 0.6	0.5 x 1	0.3 x 0.3
제조비용	○	●	△	△	◎	◎
용도제한성	◎	●	○	○	△	△
개발회사	HGI, RFI	NSG, SaintGobain	Display panel 제작 업체	PB Asahi, SaintGobain	PB, Schott	Hoya

◎: 우수, ○: 양호, ●: 보통, △: 미약.



런 기술의 종류와 기본적인 특성을 다음의 표 1에 나타내었다. 즉, 액정을 이용한 제품과 일렉트로크로믹을 이용한 제품이 상업화되어 시판되고 있을 뿐 나머지 기술은 제조비용과 제조기술력의 한계를 극복하지 못하여 상업화되지 않고 있는 상태이나, 특성향상을 위한 연구를 지속적으로 추진하고 있다. 특히 일본과 미국 및 유럽을 중심으로 판매가 이루어지고 있는 액정을 이용한 제품의 경우에는 색상을 다양화하기 위한 연구와 사용분야를 확대하기 위한 시도가 이루어지고 있으며 일렉트로크로믹유리의 경우에도 응답시간의 극복과 전해질의 종류를 다양화하기 위한 연구를 수행하고 있다.

그 외에 써모크로믹이나 포토크로믹과 같은 물질에 의한 제품은 기능성은 입증되었으나 대면적으로 진행되었을 때의 국부적인 광학밀도의 차이와 제조가격 등의 문제로 인해 상업화는 이루어지지 않은 상태이다.

분산 분극입자 (SPD; Suspended Particle Display) 스마트유리 기술개요

(주)에스피디아이(www.spdi.co.kr)에서는 미국의 RFI(Research Frontiers Incorporated)사로부터 분극입자(dipole particles) 제조를 위한 원천기술을 도입한 후 제품화 연구를 수행하여 폭 1,000mm 이상의 대형 제품을 제조할 수 있는 기술을 세계 최초로 독자 개발하였다. 특히 원료물질인 광편광입자의 제조기술

을 포함한 모든 공정, 특히 기능성물질을 투명전도막이 코팅된 PET 필름상에 도포하는 기술과 필름상태의 제품접합기술 및 접합유리형태의 최종제품의 제조에 이르는 전체 공정을 개발 미국, 유럽을 비롯한 세계 수십 개국의 특허를 획득하였으며 2002년 3월부터 SPD 스마트유리를 상업생산을 개시하여 현재 미국과 유럽의 우수 자동차업체와 미국 항공기 업체에 제품을 공급하고 있다. 또한 건축용 창호재료로 국내외 업체에 공급을 개시하였으며 3년내 그 시장규모는 수천억대에 이를 것으로 전망하고 있다.

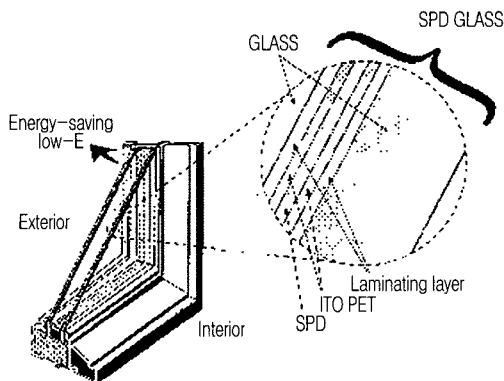
SPD의 구조

SPD의 형태는 그림 2와 같이 조광기능의 교체 필름이 두 장의 투명전도성 기판(ITO glass 혹은 ITO PET)사이에 삽입된 구조로써 최종 제품의 형태는 상하에 유리를 접합시킨 접합유리구조이다. 즉, 광편광입자가 포함된 현탁액이 고분자수지내에 미세액적상태로 분산되어 있는 기능성물질을 투명전도성 기판상에 도포한 후 두 장을 접합한 다음, 접합필름을 이용하여 유리와 접합시킨 구조이다.

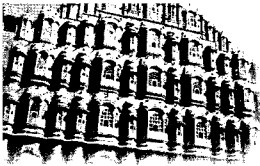
특성 및 주요성능

SPD는 전계(electric field)의 인가 유·무에 따라 가시광선의 평균 투과율을 자유롭게 조절할 수 있는 조광유리(switchable glass 혹은 smart glass)로써, 전계를 인가하지 않은 정상상태에서는 짙은 청색을 띠는 착색상태로 유지되다가 전계를 인가함에 의해 투명상태로 전환되는 기능성 제품이다. 즉 이러한 제품의 투과율은 정상상태(T_{OFF} : 전계인가 전)에서는 1 ~ 20 %, 가변상태(T_{ON} : 전계인가 후)에서는 35 ~ 60 % (T_{OFF} 2 % - T_{ON} 35 %, T_{OFF} 10 % - T_{ON} 60 %)로써 투과율 변화폭($\Delta T = T_{ON} - T_{OFF}$)이 30 ~ 50 %정도이다. 이와 같은 내용을 포함하는 제품의 특성을 표 2에 나타내었다.

즉, 소비자는 이 범위 내에서 제품을 선택하여 인가 전압의 조절에 의해 투과율을 임의로 조절하는 것이 가능하다. 또한 가시광선영역에 대한 투과율의 조절과 같은 기본적인 기능 이외에 최종 제품을 구성하는 구성부품들의 조합에 의한 자외선 차단 기능이



[그림 2] SPD를 사용한 일반 건축용 창호.



있으며 근적외선 영역의 에너지반사 기능이 있다.

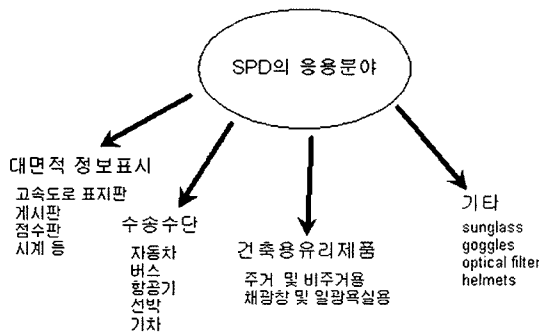
용도

스마트유리의 효과

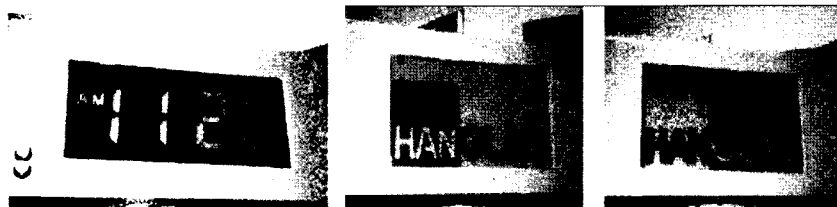
창호를 통해 실내로 유입되는 태양광의 투과율을 인위적으로 조절할 수 있는 스마트유리는, 제품이 갖는 가시광선영역의 투과율조절기능 외에 자외선 차단특성(99 % 이상)과 근적외선 영역의 반사특성으로 인한 냉난방 부하절감(약 30 % 절약가능) 기능으로 인해 제품의 가격이 고가임에도 불구하고 수요가 점진적으로 증가하는 추세이다. 이 유리의 시장은

<표 2> SPD 스마트유리의 특성

Items	Properties	
	High OD type	Low OD type
광투과율 조절범위(%) (Visible range)	2 ~ 35	10 ~ 60
응답시간	Rise : <0.5 sec, Decay : <1.0 sec	
동작전압	50 ~ 200 VAC(60Hz)	
소비전력	< 2 W/m ²	
사용온도범위	-30 ~ 90 °C	
연속동작횟수	>10 ⁶	



[그림 3] 투과도 가변유리(SPD)의 응용분야



(a) Digital clock

(b) Logograph

[그림 4] 표시소자용으로 제작한 제품의 예.

일상생활의 다양한 분야에 사용가능하기 때문에 아직은 상품화 초기단계이지만 분극입자(dipole particle)를 이용한 스마트유리가 상품화 되었기 때문에 LCD에 준하는 거대시장을 형성하고 세계시장을 주도할 것이 기대되며 또한 엄청난 부가가치를 창출할 것으로 기대되고 있다.

건축용으로는 건축용 창문유리, 채광창, 스카이라이트 등의 커튼이 필요없는 유리로서와 함께 실내 칸막이로 활용되고 있다. 자외선의 완벽한 차단과 함께 근적외선의 빛을 반사함에 의한 실내의 냉·난방 부하 절감의 효과가 있다. 특히 건축창호의 경우 그 특유의 흡수특성에 따라 낮에도 조명을 해야하는 문제가 있는데 스마트 유리를 사용한 경우는 투과율이 마음대로, 그리고 실내 조도에 따라 조절되므로 별도의 조명없이도 실내의 밝기를 유지할 수 있기 때문에 조명부하를 획기적으로 줄일 수 있다. 또한 외부로부터의 시계를 차단시키는 프라이버시 보호 및 쾌적한 환경을 유지할 수 있는 고부가가치의 첨단제품이다.

자동차 용도로 자동차용 창문유리, 선루프, 후사경(rear view mirrors), 스포츠용으로 스키용 고글 및 안경 제품 등 폭넓은 사용범위를 가지고 있다.

응용분야

위에서 언급한 제품의 다양한 기능으로 인해, 건물의 창호용은 물론이고 3차원 곡면구조의 응용분야 즉, 자동차용 sunroof와 sidelite 등에도 사용할 수 있으며 특히 빠른 응답시간을 이용하여 static 구동에 의한 표시소자 분야에도 사용이 가능하다. 그림 3은 본 제품을 사용할 수 있는 응용분야를 나타낸 것이다.

대면적 정보표시용 제품

SPD를 사용한 표시소자는 대형 필름형태가 가능하기 때문에 각종 정보의 표시에 사용할 수 있다. 또한 제품의 응답시간(response time)이 1초 이하로 빠르기 때문에



대형 문자표시시계 등의 제조가 가능하다. 그림 4에는 SPD로 제작한 로고표시와 문자 표시시계의 예를 나타내었다.

수송수단용 제품

SPD의 장점인 자외선 차단특성과 가시광선의 조절기능 및 적외선의 반사특성을 이용하여 자동차를 비롯한 각종 수송수단의 창호용으로의 사용이 가능하다. 특히 자동차의 선루프로 사용할 경우, 2% ~ 40%까지 가시광선 투과율 조절이 가능하고 더욱이 태양열을 충분히 차단할 수 있는 장점 때문에 운전자에게 보다 쾌적한 환경을 만들어 준다. 그림 5에 승용차에 장착된 선루프를 나타내었다.

건축용 창호제품

대형의 창호제조가 가능하기 때문에 사생활보호나 태양열의 차단목적으로 사용하던 커튼과 블라인드의

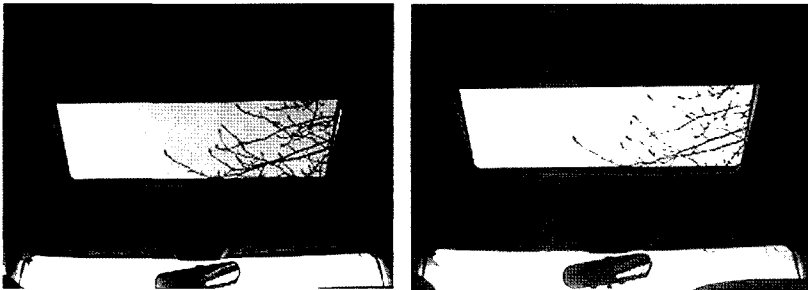
기능을 대체할 수 있어 건축물의 창호용으로의 사용이 가능하다. 가시광선영역의 투과율조절기능 외에 99%이상의 자외선이 차단되기 때문에 가구나 섬유제품의 변색기간을 연장시킬 수 있으며 근적외선 영역의 반사특성으로 인한 냉난방 부하절감(약 30% 절감가능)에도 탁월한 효능을 발휘한다. 그림 6에는 건축물의 창호용으로 제작한 제품의 예를 나타내었다.

시장현황

태양광의 투과율을 인위적으로 조절하기 위한 스마트유리에 대한 연구는 차세대의 고기능성 부가가치 제품으로 구분되어 외국의 여러 회사 및 관련 연구기관에서 막대한 예산을 투입하여 개발을 추진하고 있다. 이러한 연구결과, 액정을 사용한 실내 칸막이와 건축물의 창호용 제품이 일본의 Nippon Sheet Glass사 및 프랑스의 Saint-Gobain사 등에서 제작되어 시판되고 있

으며, 일렉트로크로믹 유리를 이용한 자동차 실내후사경이 미국의 Gentex사에서 제작된 것이 수입·판매되고 있다.

국내에서는 최첨단의 기술력을 바탕으로 한 스마트유리가 세계최초로 상업화되어 시장을 확대해나가고 있다. 이 제품은 가시광선영역에 대한 투과율을 인위적으로 조절할 수 있는 기본적인 기능 외에, 자외선 차단기능(99% 이상)과 근적외선영역의 반사기능이 있기 때문에 기존의 액정제품(주로 일본의 NSG사 UMU)의 대체와 함께 새로운 수요, 즉 건축용 창호로서 커튼이 필요 없는 유리로서 그리고 조명부하를 줄일 수 있고 아울러 냉, 난방부하를 줄여 전체적인 에너지를 획기적으로 절약할 수 있는 소재이다. 이 제품의 시장규모는 수년내에 연간 수십억 US\$에 이를 것으로 기대되고 있다. (☉)



[그림 5] 자동차용 선루프에 적용된 스마트유리의 예.



[그림 6] 건축물의 창호용으로 제작한 스마트유리의 예.