

# 모바일 기기용 커버유리 기술 동향

김형준<sup>1</sup>, 한윤수<sup>2</sup>(<sup>1</sup>한국세라믹기술원 연구기획실, <sup>2</sup>한국세라믹기술원 엔지니어링세라믹센터)

## 1. 서 론

2007년 애플이 아이폰용 커버유리에 코닝의 고릴라 유리를 적용하면서부터 화학강화유리가 주목받기 시작하였다. 화학강화유리는 유리 가공기술의 하나로 일반적인 유리와 같이 유리 용융과 성형과정을 통해 얻어지는 것이 아니라, 성형이 완료된 유리를 화학 처리하여 기계적 물성을 증진 시킨 기능성 유리이다. 코닝의 고릴라 유리처럼 특정 조성의 유리만이 화학강화 가공법이 적용될 수 있는 것이 아니라 대부분의 알칼리 함수 유리는 화학강화가 가능하다. 즉, 일반적인 창유리로 사용되는 소다석회 유리도 화학강화처리를 하면 화학강화유리가 된다. 유리 중에서도 화학강화 처리 후의 효과가 매우 높은 일부 유리를 협의의 화학강화 유리라 표현하기도 하지만, 화학강화처리가 가능한 유리 전체를 광의의 의미에서 화학강화유리라 칭할 수 있다. 이 글은 광의의 화학강화유리를 중심으로 한 커버유리 관련 기술 동향에 대해 기술한다.

## 2. 화학강화유리일반

화학강화유리를 설명하기 전에 유리를 강화시키기 위한 방법을 구분하면, 두 가지의 물리적 방법(Physically strengthening method)과 세 가지의 화학적 강화 방법이 있으며, 화학강화유리는 화학적 강화 방법(chemically

strengthening method)에 의한 것이 있다. 물리적 강화 방법의 첫 번째는 유리를 연화점 이상으로 열처리 한 후 차가운 바람으로 급격히 냉각시켜 유리 표면에 압축응력을 형성시키는 방법이 있다. 두 번째 방법은 열팽창계수가 다른 유리 2개를 접합하는 것으로, 표면에 낮은 열팽창 계수를 갖는 유리를 오게 하여 표면층에 압축응력을 형성시키는 방법으로 코닝사의 코렐 식기 그릇이 대표적인 예이다. 이와 같은 물리적 강화는 복잡하거나 얇은 유리에는 적용하기 어려운 단점이 있다. 한편 복잡한 형태, 또는 얇은 판유리 등 물리강화방법으로 처리가 곤란한 유리 제품을 화학적 치환법을 이용하여 그 표면의 화학조성을 변화시킴으로써 강도를 부여하는 기술을 화학적 강화방법이라 한다. 유리를 화학적으로 강화시키는 방법은 아래 3가지 방법이 있다.<sup>[1]</sup>

- 1) 이황산가스에 의한 표면의 탈 알칼리 처리에 의한 표면 강화(링거병)
- 2) 열팽창계수가 낮은 유리에 의한 피복(범랑형 유리 타일 등 냉장고에 사용)
- 3) 알칼리염 용탕의 금속이온과 유리 내 알칼리 이온 간의 상호 교환

화학강화유리는 방법 3)을 말하며, 알칼리 금속이온의 유리 내 알칼리 이온과의 교환방법에 의해 얻어진 유리를 칭하며, 이 알칼리 금속 교환 방법도 2가지로 구분된다. Chemcor법이라 불리는 고온형 이온 교환법과 일반적인 저온형 이온교환법으로 구분한다. 고온형의 경우 유리의 전이온도 이상의 온도에서 열처리하며 Li이온이 Na이온

자리로 치환 후 재 열처리에 의해 표면에 낮은 열팽창계수를 갖는 결정화 층을 유도하여 강도를 얻는 방법이다. 저온 화학강화는 유리의 서냉온도(Annealing Temp.) 또는 전이온도(Transition Temp.) 이하인 약 400~500°C로 유지되고 있는 질산칼륨염 용융 액에 유리를 수 시간 담가 두면, 유리 내부에 있는 나트륨 이온과 용융 액 내의 칼륨 이온 간의 교환이 이루어져 유리 표면에 압축응력을 형성시키는 방법이다.

### 2.1. 저온 화학강화법

저온형 이온 교환법은 Kistler에 의해 1962년 처음 소개되었고,<sup>[2]</sup> Nordberg 등에 의해 [그림 1]과 같은 개념이 처음 도출되어 있다<sup>[3,4]</sup>. 이온 교환은 [그림 1]의 일반 유리 구조 내에 들어 있는 Na<sup>+</sup> 이온과 질산칼륨염 용융 액에 들어 있는 K<sup>+</sup> 이온 간의 농도구배에 의한 상호 확산이 발생한다.

유리 구조 속에 있던 Na<sup>+</sup>이온의 크기는 1.9Å 이고 그 자리에 들어온 K<sup>+</sup> 이온의 크기는 2.66Å이므로 이온반경의 차로 인한 유리 구조에 상대적인 압축응력이 발생한다. 예를 들면 만원 전철에 문이 열리고 초등학생이 내리고 해비급 역도선수가 그 자리를 차지한 후 전철 문이 닫히면 주변 사람들은 상대적으로 압축을 받는 것과 같은 원리이다.

저온 화학강화유리 제조를 위해서는 2가지 조건이 필요하다. 첫째로 유리 내의 1가 양이온을 갖는 알칼리산화물 함량이 높아야 한다. 두 번째, 이온 교환 온도가

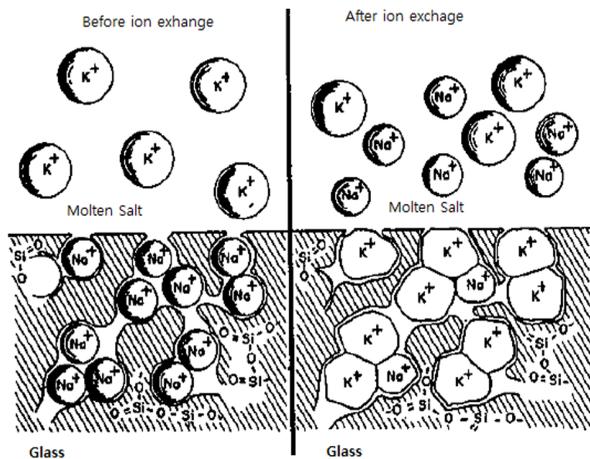


그림 1. K<sup>+</sup>와 Na<sup>+</sup> 이온 치환에 의한 저온 화학강화 개념도<sup>[3]</sup>

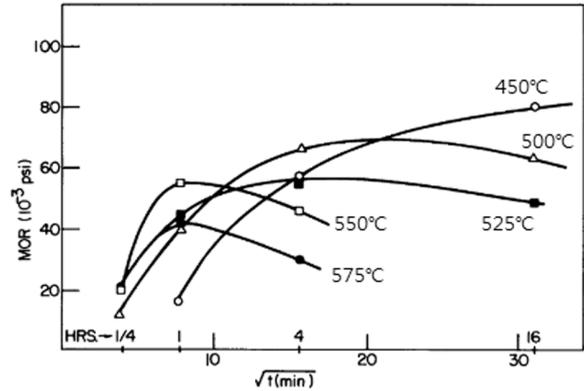


그림 2. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 25%와 Na<sub>2</sub>O 16%를 함유한 유리의 화학강화 온도 및 시간에 따른 강도 변화<sup>[3]</sup>

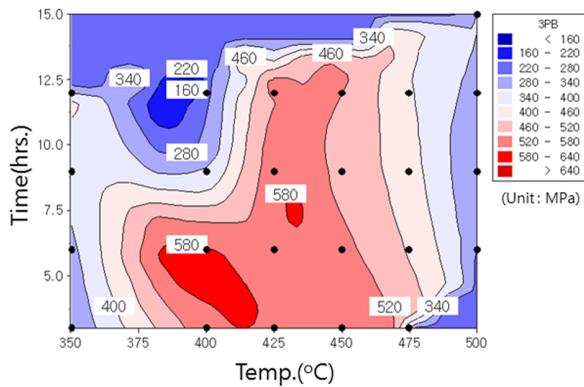


그림 3. 소다석회유리의 화학강화 처리온도 및 시간에 따른 3점곡강도의 변화

유리내의 잔류응력을 제거할 수 있는 온도인 서냉온도보다 낮아야 한다. 만일 서냉온도 보다 높을 경우는 칼륨이온에 의해 발생한 응력이 해소가 된다. 전철의 예를 들면 해비급 역도선수가 들어오더라도 전철이 이리저리 흔들리기 시작하면 주변의 스트레스를 받은 사람들은 최적의 자리를 만들며 스트레스는 완화되고 안정을 찾는다. 즉 서냉온도 보다 높은 열처리 온도는 칼륨 이온에 의해 생성된 응력을 받은 유리 골격이 점성거동을 일으키며 그 응력을 해소한다고 보면 이해하기 쉽다. 이러한 온도 효과는 실제 서냉온도 이하에서 강화를 하더라도 강화시간을 길게 하면 마찬가지로의 효과를 나타낸다. 이러한 현상을 [그림 2]와 [그림 3]에 나타내었다. [그림 2]는 1.1 Na<sub>2</sub>O · 1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 4SiO<sub>2</sub> 조성 유리에 대한 Nordberg의 실험결과를 인용한 것이고,<sup>[3]</sup> [그림 3]은 본 저자들이 소다석회유리에 대해 실험한 결과이

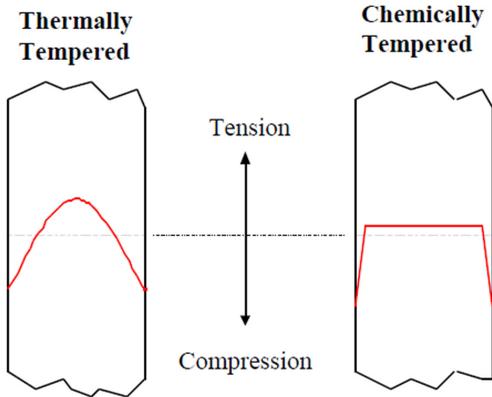


그림 4. 열 및 화학강화유리의 단면 잔류 응력 분포 개념도

다. 두 가지 조성 모두 비슷하게 특정온도에서 일정 시간에서 곡강도 측면에서 최고값을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

화학강화유리의 파괴강도는 약 500MPa 이상으로 일반 유리의 50~100MPa보다 매우 높으며, 화학강화유리는 유리의 두께가 얇거나 복잡한 형상을 갖는 유리를 강화하는데 매우 유용하다.

[그림 4]은 화학강화 이후의 유리 표면에 잔류응력을 일반 열강화법으로 만든 것과 비교한 것이다. 그림에서 처럼 화학강화는 열강화 경우와는 달리 표면에만 압축 응력이 발생하고 내부에 인장이 매우 낮다. 열강화 유리의 내부 잔류 인장응력은 유리 파손 시 파괴에너지의 표면에너지 전환으로 인해 수많은 파편을 유발하게 된다. 따라서 화학강화유리는 일반 열강화유리와는 달리 파손의 방식이 일반 유리 깨지듯 파손된 조각이 큰 경향이 있다.

### 2.2. 화학강화유리의 구조적 특징

화학강화용 유리는 앞서 기술한 바와 같이 강화 메커니즘에 따라 알칼리 성분을 많이 함유하고 있다. 유리 조성에 차이가 있기는 하지만, 코닝사의 고릴라유리로 널리 알려진 제품은 알칼리 알루미늄 실리케이트 계열 유리로서 [그림 5]에 나타난 바와 같이 타 유리들에 비하여 원자간 결합강도가 높아 분자구조가 매우 단단하며 경도와 탄성계수가 매우 높은 유리이다.

Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>계 유리에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 도입되면 Na<sup>+</sup>성분에 의해 끊어졌던 비가교산소(Non-bridging Oxygen)을

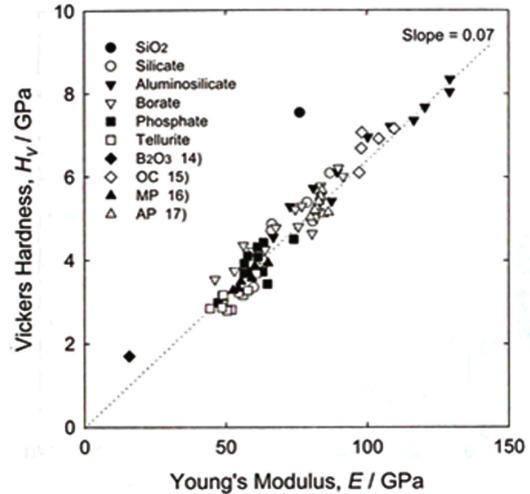


그림 5. 각종유리의 경도와 영률<sup>[5]</sup>

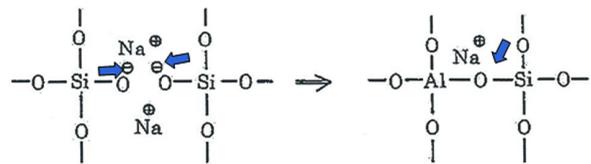


그림 6. Na<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 유리의 SiO<sub>2</sub>를 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 치환시의 구조의 변화<sup>[6]</sup>

연결하게 되어 유리의 골격이 완성되어 강도 증진된다. 즉 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 도입에 의한 유리구조 변화가 단단해 진다. 한편 [그림 6]에서 보여주듯이, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>치환에 의해 Na<sup>+</sup> 이온을 구속하던 비가교산소에 기인한 정전기적 효과도 약해지게 된다. 이러한 구조적 요인이 소다석회유리와 알칼리 알루미늄 실리케이트유리의 화학강화정도(깊이 및 확산속도 등)의 차이를 유발하게 되는 원인이 된다.

창유리 소재인 소다석회 유리의 경우도 서냉온도 보다 낮게 이온교환을 하면, 이온교환으로 형성된 압력응력 층이 약 10 $\mu$ m 내외로 얇다. 실용적으로 사용되는 열강화유리(압축응력 층이 약 100 $\mu$ m 이상)와 비교하면 강도와 경도 등이 상대적으로 낮은 값을 갖는다. 내열유리와 같이 알칼리 산화물 함량이 4% 이하인 유리는 이온강화 효과가 적은 것으로 알려져 있다.

### 2.3. 화학강화용 유리조성과 제품

[표 1]는 각종 유리와 알루미늄 실리케이트 유리의 화학강화 후의 강도를 비교한 것으로 강화 후 강도 값

표 1. 각종유리의 화학강화 및 강화 후 가상 강도<sup>1)</sup>

Comp. (Wt%)	Bulb Glass	Sheet Glass	Borosilicate glass1	Lead glass	Borosilicate glass2	Alumino-Silicate Glass
SiO <sub>2</sub>	73	72.5	81	56	75	54.5
Na <sub>2</sub> O	16.5	15	4	4	15	16
K <sub>2</sub> O						2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	1	2			19
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			12	10	10	2
CaO	5	9				2
MgO	3.5	2.5				
PbO				30		
TiO <sub>2</sub>						4.5
K <sup>+</sup> amount substituted (mg/cm <sup>3</sup> )	0.5	0.15	0.04	0.2	0.16	0.5
Strength <sup>†</sup>	69±28	49±21	29±8	12±3	34±13	87±2
Strength after wearing <sup>**</sup>	17.5	8±3	10±1	6±1	16±8	68±5

\* unit : psi, \*\* wearing with 150grit

표 2. 상용화학강화유리 제품의 물성

Glass	Alumino-silicate (Na <sub>2</sub> O-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> )			Soda-lime (Na <sub>2</sub> O-CaO-SiO <sub>2</sub> )		
	Thermal Expansion Coef. (x10 <sup>-7</sup> /°C)	84.5	81.4	88	98	102
Annealing point (°C)	613	653	635	606	580	510
Softening Point (°C)	852	895	880	831	790	720
Depth of Strengthened Layer (μm)	40↑	50↑	50↑	20~80	20~80(?)	~10
Young's modulus (GPa)	71.7	71.5	74	74	75	73
Forming	Fusion (polishing-less)			Float		
Company (product name)	Corning (Gorilla1)	Corning (Gorilla2)	Schott (Xensation)	Asahi (DragonTrail)	NEG (CX-01P)	-

의 차도 클 뿐 아니라 가상(加傷)강도(표면손상 입힌 후 강도)에 있어서 현격한 강도 차이를 보여주고 있다.

Bulb 유리나 판유리의 경우 강화 후 손상을 주게 되면 급격한 강도 저하가 일어나나, 알루미늄노 실리케이트 유리는 강도의 저하가 크지 않다. 이는 2.2절에서 설명하였듯이 유리 종류에 따른 K<sup>+</sup>이온 치환량(치환 깊이)의 차이를 나타낸다. 특히 Bulb유리의 경우 치환량과 강화직후 강도는 알루미늄노실리케이트에 근접하지만, 강화 후 상처를 주게 되면 강도의 저하가 심하게 일어난다. 이는 두 유리간의 알루미늄 함량 차이로 인해 화학 강화 깊이의 차이 존재하기 때문이다. 통상적으로 유리 중의 Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 비율은 약 1보다 약간 적은 것이 제안된다.<sup>[6]</sup>

[표 2]는 여러 회사에서 생산하는 화학강화용 유리들

의 특성을 보여주고 있다. 일반적인 소다 석회유리 대비 하여 알루미늄노 실리케이트 계 유리의 표면 응력 층의 깊이가 4~5배 정도 깊다. 2016년 코닝사는 고릴라SR Plus란 제품을 새롭게 출시하였고 기존 제품 대비 월등한 성능을 발휘할 수 있다고 주장하고 있다.<sup>[8]</sup>

한편으로, 플렉시블 디스플레이의 등장으로 인해 초박형 유리가 2012년 즈음부터 주목 받기 시작하였다. [그림 7]은 독일 Schott, 미국 코닝, 일본 Asahi와 NEG 등에서 나오는 초박형 유리를 보여 주고 있다. 이들 초박형 유리들의 공통점은 모두 돌돌 말 정도로 얇은 100μm 이하라는 점이다; Schott는 25μm, NEG 50 μm 제품 공개한 바 있음. 이들 유리는 etching에 의한 sliming에 의한 후가공 방식이 아닌 down-draw 또는 over-flow법에 의해 용해 후 성형 방식에 의해 제조된



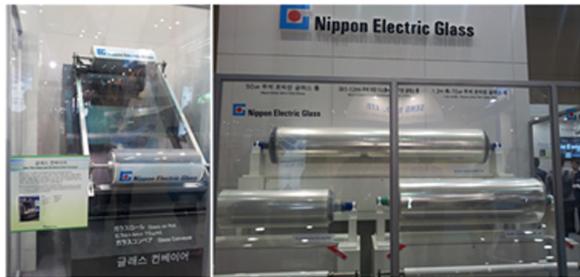
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 7. 플렉시블 유리제품 (a) Schott, (b) Corning, (c) Asahi, and (d) NEG

것이다. Over-flow법은 코닝이나 NEG에서 기존의 디스플레이 유리를 생산하는 fusion process를 말한다. Down-draw방식은 일종의 slit casting 방식으로 이해하면 쉽다.

이러한 플렉시블 글라스는 처음에 flexible OLED 봉지 용으로 기대하였으나, 우선은 반도체 패키지용 interposer와 커버 글라스 소재로 주목받았다. 이 유리 소재에 대해 기대만큼의 명확한 응용처가 나타나고 있지는 않으나, 유리가 갖는 투명성, 기밀성, 강성 등을 이유로 디스플레이

및 인쇄전자 분야의 중요 소재화 할 가능성은 항상 열려 있을 것으로 판단한다.

### 3. 커버유리 가공기술 동향

최근 커버유리 분야에서 유리 자체보다는 강화 장비와 가공하는 설비 기술에 업체들의 관심이 높아져 있다. 지금까지 중국의 값싼 인건비를 바탕으로 이루어지던 커버 유리 강화 및 가공 작업이 이제는 고효율 장비로 이전해 가고 있다. 특히 삼성전자에서 시작된 커브드 커버유리로 인해 대부분의 스마트폰 업체에서 입체형상의 유리를 중심으로 디자인이 변화하고 있어 이를 생산하기 위한 보다 효율적 시스템 개발이 요구되고 있다.

한편으로 커버유리에서 적용하던 화학강화유리가 자동차유리에 적용이 검토됨에 따라 대형 유리기관의 화학강화 기술이 주목 받고 있다. 또한 태양전지나 건축용 로이글라스 제품 등에서도 화학강화유리가 경량화 이슈로 관심이 많다. 특히 BMW에서 화학강화유리를 적용하여 경량화를 시도한 유리 제품이 나와 있어 이에 대한 기대가 매우 높다.<sup>[9]</sup>

#### 3.1. 강화기술의 변화

화학강화로는 보편적 기술이 된 상태이다. 현재 화학강화유리의 생산의 90%이상이 중국에서 이루어지고 있기 때문에 중국내 생산 장비의 경우 중국산 화학강화장비가 대부분이라고 해도 무방하다.

커버유리 화학강화기술은 크게 연속화와 대형유리강화가 주목 받고 있다. 물론 화학강화 촉진을 위한 첨가제 도입<sup>[10,11]</sup>과 공정의 효율화가 진행되고 있으나, 이는 기업들의 노하우로 숨기는 경우가 대부분이다. 본고에서는 대표적 장치 기술과 그 예를 소개하고자 한다.

##### 3.1.1. 단속식 화학강화장치

이탈리아의 LEMA사는 40년간 화학강화유리로 전문 메이커이다. 테블릿PC, 스마트폰 커버 유리, 기타 특수 유리 강화 등을 할 수 있는 장비이다. 장비의 구성 상태로 보면 장비 상부에서 예열을 하고, 하단부에서 화학강화 후 제품이 담긴 지그를 상부로 올려 다시 서냉까지의 공정을 수행한다. 세정시스템은 별도로 요구된다. 전



그림 8. 이탈리아 LEMA사 화학강화장비

형적인 단속식 장비로 국내에서는 2008년 12월 대구대 허성관교수가 4각 화학강화 장치를 개발하였다고 대한 설비관리학회지에 발표한 바 있다.<sup>[12]</sup>

### 3.1.2. 반연속식 대형유리강화장비

[그림 9]은 Xinology사의 화학강화로를 보여주고 있다. 예열 및 냉각 장치를 상부에 2대를 두고 가운데 아래에 화학강화로를 두어 생산효율을 올리는 방식을 사용하고 있다. 이 회사의 제품의 특징 중 하나는 대형 유리를 생산할 수 있다고 규격에 내세우고 있는 것이다. 특히 규격으로 보면 12세대급 이상의 크기를 갖는 유리를 화학강화 처리할 수 있다고 되어 있다. 그러나 한편으로 보면 그 폭이 1m 정도 밖에 되지 않아 넣을 수 있는 수량의 다소 적다는 단점이 있으나, 중국에서도 초대형의 생산 능력 우수한 장비를 생산하고 있다는 점은 주목할 만하다.

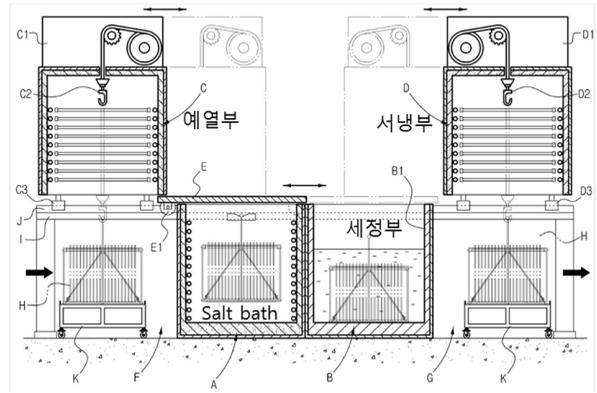
[그림 10]는 국내 화학강화로 제조사인 카라사 제품



그림 9. 중국 Xinology사 화학강화장비<sup>[13]</sup>



(a)



(b)

그림 10. 카라사 화학강화장비<sup>[14,15]</sup>

을 보여주고 있다.<sup>[14,15]</sup> 예열 및 냉각 장치를 상부에 2대를 두고 가운데 아래에 화학강화로와 세정 장치를 두어 생산효율을 올리는 방식을 사용하고 있다.

카라사 외에도 국내에는 P&Tech, 엔앤시글라스텍 등이 대형 유리까지 화학강화 가능한 장비를 생산하고 있다. P&Tech사의 경우는 전체 화학강화시스템에 강화로를 여러 대 두고 있는 점<sup>[16]</sup>과 엔앤시글라스텍은 전체 시스템에 예열장치가 여러 대 배치하여 생산성을 높였다.<sup>[17]</sup> 그 외에도 한국세라믹기술원<sup>[18]</sup>, 도우인시스<sup>[19]</sup> 등에서도 생산효율 및 고품질화를 위한 다양한 기술을 보유하고 있는 것으로 확인되고 있다.

### 3.1.3. 연속장비

독일 JSJ Jodeit사는 2015년 6월 제21회 유리기술인 모임에서 국내에서는 처음으로 [그림 11]의 스프레이 방식의 연속식 화학강화 장비와 기술에 대해 공개하였다.<sup>[20]</sup> 그림에서 볼 수 있는 것처럼 각 단계별로 공정 시간이 요구되는 단속식에 비하여 연속적으로 공정이 진행되기 때문에 높은 생산효율을 높을 수 있다고 주장

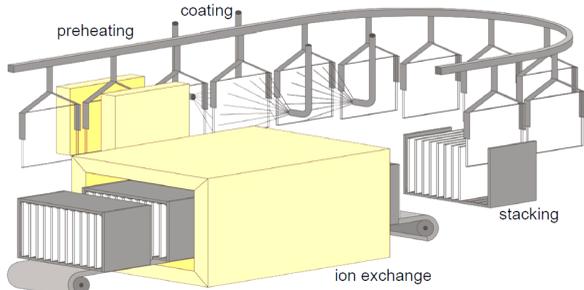


그림 11. JS Jodeit사 신개념 화학강화장비<sup>[20]</sup>

하고 있다. 적용되는 스프레이용 염에 대한 의문 및 높은 초기 투자비가 문제점으로 대두되고 있으나, 본 기술이 생산성 향상에 있어서 매우 혁신적인 점이 있기 때문에 이에 대한 국내의 관심은 매우 높다.

### 3.2. 커버유리 가공

[그림 12]는 커버유리 가공공정을 정리하여 보여주고 있다. 유리 가공 공정은 절단, 면취, 외형가공, 세정, 건조, 표면 연마 등 일련의 가공 장비들로 구성된다. 협의의 유리 기판 가공장치는 절단, 면취 및 외형가공을 위한 장비로 분류할 수 있으며, 최근에는 유리 기판 보관을 위한 카세트, 유리 이송부, 카메라 부, 가공부로 구성된 일종의 전자동 CNC(Computerized Numerical Control) 가공 장비가 도입되고 있다.

앞서 짧게 설명했지만, 스마트폰에 커브드 커버유리를 사용하기 시작하면서 관련 장비의 개발도 진행되고 있어 이에 대한 기술 동향도 간단히 설명하고자 한다.



그림 12. 커버유리 공정도

#### 3.2.1. 가공형상

유리 가공형상은 [그림 13] 보여 주고 있다. 최근에는 2D 유리에서 2.5D 또는 3D 유리쪽으로 기술수요가 증가하고 있다.

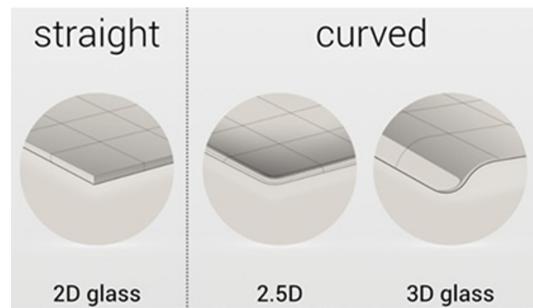


그림 13. 커버유리 가공형상<sup>[21,22]</sup>

#### 3.2.2. 형상 가공장비

형상가공장비는 앞서 설명하였듯이 최근에는 curved 커버유리가 제품화하고 있어 수동 장비보다는 물류가 자동화된 CNC 장비들이 선호되고 있다. 이러한 자동 설비는 일본의 나카무라 토메 정밀공업과 Hallys사 제품 그리고 우리나라의 휘닉스디지털테크, 하림기공사 등의 제품이 있다. Hallys와 휘닉스디지털테크 장비는



(a)



(b)



(c)

그림 14. 커버유리 완전자동 형상 가공장비<sup>[22]</sup>  
(a)나카무라 토메, (b) Hallys, (c) 휘닉스디지털테크

5대 이상의 CNC장비를 병렬 배치하여 생산성을 매우 높은 장비들로 최근 커버유리 가공장비의 주류를 형성하고 있다.

### 3.2.3. 절곡장비(3D Glass 열성형기)

엣지 디스플레이 확대 적용으로 3D 커버 유리 수요가 확대되고 있다. 국내에서 JNTC, 대호테크와 대흥정밀 등에서 유리기관 절곡장비를 개발되어 국내의 수요를 대응하고 있다. 유리기관 절곡장비는 비구면광학렌즈 성형장비에서 기술이 변형된 것으로 금형, 코팅소재, 가열 및 냉각 등의 기술과 노하우를 기보유하고 있던 회사들이 관심을 가지고 있다. 유리의 연화점을 부근까지 온도를 상승시키고 낮추는 작업을 해야 하므로 실제 제품의 생산속도를 높이는데 제약이 있어 많은 수의 장비를 동시 운영해야 한다. 현재 이러한 절곡장비의 대부분은 베트남과 중국 등지로 수출되고 있다. [그림 15]에 대호테크사에서 제작하는 커버유리 절곡장치이며, [그림



그림 15. 대호테크의 커버유리 절곡장비<sup>[23]</sup>

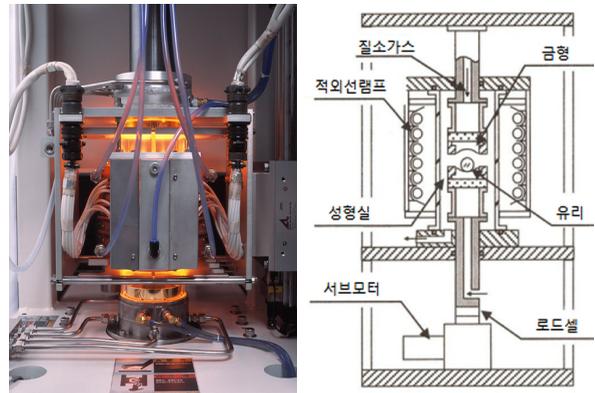


그림 16. 비구면광학렌즈 성형장치<sup>[24]</sup>

16]은 커버유리 절곡장치와 기본 원리가 같은 비구면광학렌즈 성형장치를 보여준다.

### 3.2.4. 면취부 연마

면취부 가공은 사용자의 안전 때문에 반드시 필요하지만, 실제 커버유리 파손의 기점은 면취부 가공부위에서 발생한다. 면취 가공부에는 수  $\mu\text{m}$  정도의 눈에 보이지 않는 다양한 방향으로의 균열이 존재한다. 이러한 다양한 방향의 균열 줄 수직 방향의 미세 균열은 디스플레이의 충격이나 변형 시 발생하는 인장력에 의해 균열원으로 작용한다. 이러한 면취부 균열을 없애기 위해 현재 연마포와  $\text{CeO}_2$  연마재를 이용한 기계식 수작업 연마를 진행하고 있다. 이 면취부 연마가 2.5D와 3D 타입의 커버유리가 되면서 더욱 자동화가 어려워진 상태이다. 이 수작업 연마는 연마 부족, 연마 중 디스플레이면 스

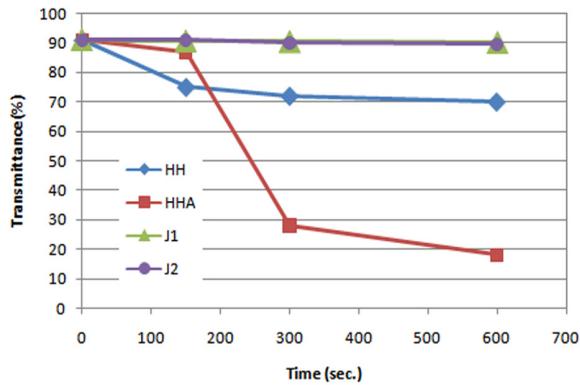


그림 17. Chemical 연마액별 처리 시간에 따른 투과율 변화

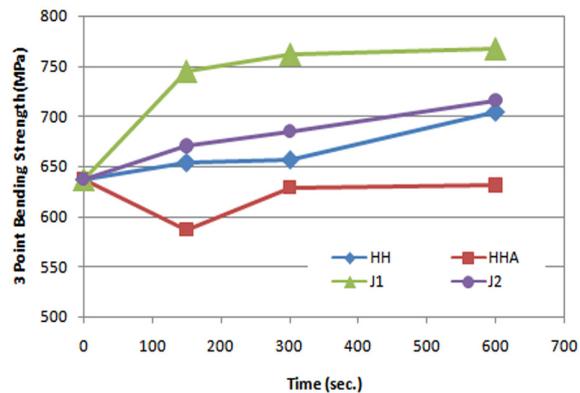


그림 18. Chemical 연마액별 처리 시간에 따른 3점 곡강도 변화

크래치 발생 등 연마와 직간접적인 불량과 수율 저하의 원인이 되고 있다.

이러한 기계적 면취부 연마 대신 유리 제조시 사용하는 Fire polishing, Chemical polishing 등이 검토된 바 있다. Fire polishing은 유리 연화 온도 이상으로 가열하다 보면 화염이 닿는 부위 주변으로 표면장력에 의해 기관 두께 보다 두꺼워지는 조절하기 어려운 문제가 있다. 이러한 예를 쉽게 볼 수 있는 것이 얇은 와인잔 끝을 보면 아령모양으로 둥글게 형성된 것을 볼 수 있다.

다른 예인 Chemical polishing은 크리스탈 유리잔에 적용되던 기술로 Maeng 등은 최근 이에 대한 연구를 수행한 결과를 논문으로 보고한 바 있다. 아래 [그림 17]과 [그림 18]은 그 결과를 보여 주는 것으로 특정 약액(J1과 J2)을 사용하는 경우 디스플레이면의 투과율은 손상 주지 않고 면취부 연마만 가능하여 강도를 20% 이상 상승시킬 수 있다.<sup>[25,26]</sup>

## 4. 결 론

현재의 스마트 폰의 디자인이 디스플레이면이 계속 노출되는 스타일을 유지할 경우, 스크래치나 충격 등에 OLED나 LCD와 같은 디스플레이 디바이스를 보호하기 위한 투명하고 강화된 소재가 필요할 것이다. 최근 사파이어와 같은 고가의 소재가 대체재로 나타난 바 있으나, 3D형상 등과 같은 절곡과 가격 측면에서 현재의 화학 강화유리를 지속적으로 사용할 수 밖에 없을 것으로 기대된다. 플렉시블 디스플레이가 나오더라도 내스크래치 등의 문제로 화학강화유리가 계속 사용될 것으로 기대되지만, 폴리머에 내스크래치 코팅 등으로 극복될 수도 있어서 커버 유리의 미래는 그 시효가 있을 수도 있다는 예측도 가능하다.

커버 유리는 미래 보다 현재의 절곡과 연마 등에서 제조시의 문제가 많기 때문에 이를 극복하기 위한 기술적인 노력이 요구된다. 그간 이러한 문제 해결을 위해 소재 기술자의 참여가 부족한 면이 있었다. 그리고 수조 원대 시장에 참여하기 위한 커버유리 국산화하기 위한 노력이 조만간 시작될 것으로 본다.

## 참고문헌

- [1] 김병호, 유리공학 3판, p154, 청문각(2009).
- [2] S.S. Kistler, *J. Am. Cer. Soc.* **45**, 59 (1962).
- [3] M.E. Nordberg, E.L. Mochel, H.M. Garfinkel, and J. S. Olcott, *J. Am. Cer. Soc.* **47**, 215 (1964).
- [4] A.K. Varshneya, *J. Non-Cry. Sol.* **356**, 2289 (2010).
- [5] S. Inaba, S. Fujino, *New glass* **23**, (2008).
- [6] Y. Nagashima, *New glass* **26**, 5 (2011).
- [7] S.Saka et al, *Glass Handbook*, 朝倉書店 p.495 (1975).
- [8] 배옥진, *전자신문*, 9.01일자 (2016).
- [9] T. Leonhard, T. Cleary, M. Moore, S. Seyler, and W.K. Fisher, *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst.* **8**, 95 (2015).
- [10] X. Zhang, O. He, C. Xu, and Y. Zheng, *J. Non-Cryst. Sol.* **80**, 313 (1986).
- [11] Y. Jiang, and L. Jiang, *J. Non-Cryst. Sol.* **80**, 300 (1986).
- [12] 허성관, 조재룡, *대한설비관리학회지*, **14**, 87 (2009).
- [13] <http://www.xinology.com/>, 2016. 9.01 스크린샷
- [14] <http://www.caraco.co.kr/>, 2016. 9.02 스크린샷

[15] 노은자, 양태수, *대한민국발명특허* 10-0937225 (2010).  
 [16] 신재명, 강동규, *대한민국발명특허* 10-1076394 (2011).  
 [17] 김호권, *대한민국발명특허* 10-1413626 (2014).  
 [18] 김형준, *대한민국발명특허* 10-1469508 (2014).  
 [19] 구본기, 손영진, *대한민국발명특허* 10-1143303 (2012).  
 [20] R. Rolo, *유리기술인 모임* (2015).  
 [21] 태백GDS IR자료(2010. 6월).  
 [22] 김형준, 맹지현, *세라믹코리아*(2016, 2월호), 42 (2016).  
 [23] <http://www.daehoteck.co.kr/>, 2016. 09.10 스크린샷  
 [24] 임태영, 황종희, 김형준, 김정은, 스마트유리 산업경쟁력조사, 무역위원회 (2010).  
 [25] J. Maeng, D. Kim, S. Park, H. Kim, *Int. J. Prec. Eng and Manu.*, 15 1779 (2014).  
 [26] 김형준, 대한민국발명특허 10-1469506 (2014).

## 저 자 약 력

### 김 형 준



- 1989년 : 한양대학교 무기재료공학과 (공학학사)
- 1991년 : 한양대학교 무기재료공학과 (공학석사)
- 1991년~1998년 : 두산유리기술연구소 대리
- 2000년 : 한양대학교 무기재료공학과 (공학박사)
- 2000년~2001년 : 독일 아헨공대 세라믹연구소 방문연구원
- 2001년~2007년 : 삼성SDI PDP사업부 차장
- 2010년~2015년 : 한양대학교 겸임교수
- 2011년 : 지경부(현, 산업부) R&D전략기획단 전문위원
- 2007년~현재 : 한국세라믹기술원 수석연구원 연구기획실장
- 관심분야 : Glass, Glass-Ceramics, Display-용 소재

### 한 윤 수



- 1992년 : 한양대학교 무기재료공학과 (공학학사)
- 1995년 : KAIST 재료공학과(공학석사)
- 2000년 : KAIST 재료공학과(공학박사)
- 2000년~2007년 : 삼성SDI PDP사업부 책임연구원
- 2007년~2008년 : 미국 UIUC 연구원
- 2008년~2011년 : 미국 노스웨스턴대 연구원
- 2013년 지경부(현, 산업부) R&D전략기획단 전문위원
- 2012년~현재 : 한국세라믹기술원 책임연구원
- 관심분야 : 엔지니어링세라믹, MEMS, Display-용 소재