

# 유리성형시스템의 힘측정기반 가압장치를 이용한 곡면유리 성형조건

## Forming Conditions of Curved Glass using Force Applying System of Glass Molding System

홍태경<sup>1</sup>, 김갑순<sup>1,✉</sup>  
Tae Kyeong Hong<sup>1</sup> and Gab Soon Kim<sup>1,✉</sup>

<sup>1</sup> 경상대학교 제어계측공학과 (Department of Control & Instrumentation Engineering, ERI, Gyeongsang National Univ.)  
✉ Corresponding author: gskim@gsnu.ac.kr, Tel: +82-55-772-1745

Manuscript received: 2013.12.19 / Revised: 2014.3.24 / Accepted: 2014.3.25

*This paper describes the forming conditions of smart-phone curved glass using the glass molding system with force applying system. The force applying system is composed of a body, a motor and gear, a rectilinear movement structure, a force sensor, a LVDT sensor (Linear Variable Differential Transformer), a up and down moving block, and so on. The glass molding system for characteristic test to find the forming conditions consists of the force applying system and a chamber, a metallic mold, a upper heater, a lower heater and so on. The characteristic test for forming conditions of smart-phone curved glass was carried out at forming temperature 620 °C and 650 °C using the glass molding system. As a result of the characteristic test, the forming conditions of curved glass could be found, and it is thought that the conditions can be used to apply to the system for producing in large quantities.*

Key Words: Plane Glass (평면유리), Curved Glass (곡면유리), Glass Molding System (유리성형시스템), Force Sensor (힘센서), Forming conditions (성형조건)

### 1. 서론

스마트폰은 전세계적으로 기능면에서 급속히 발전하고 있고, 외형면에서는 인체공학적으로 설계되지 못해 통화시 얼굴피부에 접촉하는 등 불편함이 존재한다. 최근에 이를 해결하기 위해서 국내의 S사에서는 평면모양을 새로 방향의 골곡을 갖는 곡면모양으로 설계하여 제작하였고, L사에서는 가로 방향의 골곡을 갖는 곡면 모양으로 설계하여 제작하였다. 이와 같은 모양의 스마트폰은 액정화면, 전자부품의 기판, 곡면덮개유리(곡면유리) 등이 곡면으로 제작되어야 한다. 액정화면과

전자부품의 기판은 개발에 성공하여 양산할 수 있으나 곡면유리는 양산이 매우 어렵다. 현재 스마트폰의 곡면유리는 평면유리를 기계 가공한 후 연마처리하는 제조공정을 거치므로 깨지기 쉬워 가공성공률이 매우 낮다. 그러므로 새로운 제조방식의 곡면유리 성형시스템의 개발이 필요하다.

유리는 성형 가능온도까지 가열한 후 힘을 가하여 변형시키는 방법으로 성형에 의해 새로운 모양으로 변형이 가능하다. 이와 같이 유리를 성형해서 만드는 제품이 휴대폰, 스마트폰 등의 카메라 렌즈이다. 이들 렌즈는 렌즈 크기와 모양이 일치하는 상하급형을 제작하고, 그 속에 원통유리를

삽입하고, 이것을 챔버 안에 넣고 상부와 하부히터를 이용하여 전도열 혹은 복사열로 가하는 방식으로 성형 가능온도까지 가열한다. 그리고 공기압 램프와 실린더로 제작한 가압장치를 이용하여 금형에 압력을 가하여 렌즈를 성형한다.<sup>1-3</sup> 이와 같은 렌즈 성형시스템은 소형렌즈를 성형할 수 있고, 스마트폰의 곡면유리와 같이 넓은 평면유리를 곡면유리로 성형할 수 없다. 따라서 스마트폰의 곡면유리 성형을 위한 새로운 형태의 유리성형시스템이 설계되었다.<sup>4,10</sup> 이 시스템에서 가장 중요한 것 중의 하나가 성형 가능온도에서 금형에 힘을 가하여 유리를 구부리는 가압장치이다. 현재 설계된 유리성형시스템의 가압장치는 공기압으로 제어되는 램프와 실린더로 구성되었으므로 선형적으로 압력을 가할 수 없어 유리의 파손을 방지하기 위해 압력을 여러 단계로 나누어 계단형식으로 가하는 방식이다. 이 방식은 단위계단형식으로 압력이 갑자기 증가하므로 유리가 깨지기 쉬운 단점을 가지고 있다. 그러므로 선형적으로 유리에 힘을 가할 수 있는 가압장치가 필요하다.

그리고 이와 같은 가압장치가 포함된 유리성형시스템을 이용하여 평면유리를 성형하기 위해서는 성형조건인 유리의 성형 가능온도, 이 온도에서의 유리를 구부리기 위해 가하는 힘, 힘을 가한 후 유지시간 등을 찾기 위한 특성실험이 필요하다.

본 논문에서는 선형적으로 힘을 가하여 곡면유리를 성형할 수 있는 가압장치를 구성하였고, 이것이 포함된 유리성형시스템을 이용하여 스마트폰의 곡면유리 성형조건, 즉 성형 가능온도 650℃와 620℃에서 초기 유지시간, 가하는 힘, 힘을 가하는 동안의 시간, 힘을 가한 후 유지시간 등의 조건을 찾는 특성실험을 실시하였다.

## 2. 힘측정기반 가압장치 구성

가압장치(force applying system)는 상부금형과 하부금형 사이에 있는 평면유리에 성형 가능온도에서 힘을 가할 때 가하는 힘, 힘을 가하는 시간 등을 조절하는 장치이다. Fig. 1은 가압장치의 정면과 측면사진을 나타내고 있다. 가압장치는 몸체(body), 모터 및 감속기(motor and gear), 직선운동기구(rectilinear movement structure), 변위센서(LVDT: Linear Variable Differential Transformer), 힘센서(force sensor), 상하이동블록 등으로 구성되었다. 모터 및 감속기는 몸체의 상부에 고정되었고, 직선운동기

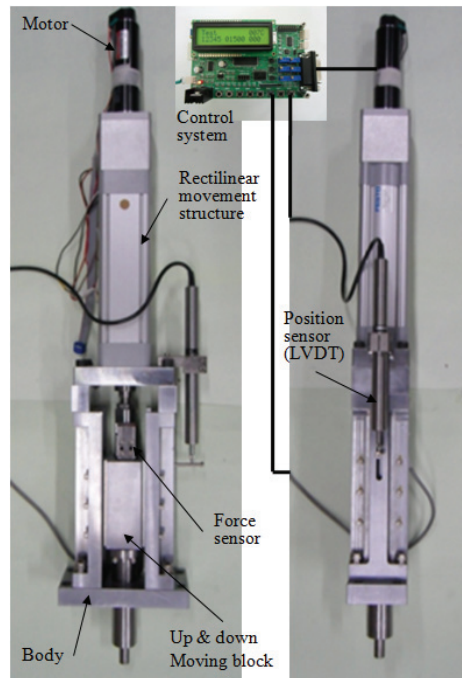


Fig. 1 Manufactured force applying system

구의 상부와 연결되어 상부금형에 힘을 가할 때 사용된다. 사용된 모터는 맥슨(Maxon)사에서 제작한 모델 DC148867이고, 용량은 150W, 펄스수는 모터축 1회전당 2000펄스(2000pulse/turn)이다. 감속기는 GP 3-15Nm 모델, 감속비는 53대 1로 모터와 감속기가 발생할 수 있는 최대토크는 15Nm이다. 직선운동기구에는 모터 및 감속기의 회전운동을 직선운동으로 바꾸어 힘센서에 힘을 가하고, 이것은 페스토(Festi)사에서 제작한 모델(ESBF-BS-63-100-5P)로 최대 누르는 힘은 7000N, 반복정확도는 0.015mm, 최대 이동거리는 100mm, 나사피치는 5mm이다. 변위센서(LVDT)는 가압장치의 몸체에 센서의 몸체를 고정하고 센서의 축은 상하이동블록의 핀과 고정되어 상하이동블록이 이동하는 변위를 측정하며, 이것은 소니(Sony)사가 제작한 모델(DG50BN)로 정확도가 2um, 분해능이 0.5um, 측정범위가 50mm이다.

힘센서는 성형 가능온도에서 평면유리를 구부리기 위해 상부금형에 가해지는 힘측정에 사용되며, 스마트폰의 유리성형시스템에 부착하기 적합하도록 설계 및 제작되었다. 힘센서는 전체 크기가 73mm×30mm×45.5mm이고, 힘센서의 상부는 직선운동기구가 장착되도록 설계되었으며, 하부는

상부 히터블록의 걸이를 걸 수 있도록 오목하게 설계되었다. 제작된 힘센서의 정격용량은 1000N, 최대 재현도오차와 최대 비직선성오차는 각각 0.02%와 0.03 % 이내로 매우 우수하다.

가압장치는 제어장치로 모터에 펄스를 입력하면, 모터 및 감속기가 회전되어 직선운동기구가 모터의 회전운동을 직선운동으로 변경해 주며, 직선운동기구에 연결되어 있는 상하이동블록이 상하로 이동된다. 모터의 1펄스당 상하이동거리는 모터 1회전당 펄스수가 2000펄스, 감속비가 53대 1, 직선운동기구의 나사피치가 5mm이므로 47.17nm/pulse이고, 상하이동블록이 5mm이동하기 위한 직선운동기구의 축이 1회전하기 위해서는 106,000개의 펄스를 모터에 입력해야 한다. 그리고 가할 수 있는 속도의 범위는 100um/s~1mm/s이다.

제어장치는 DSP(digital signal processor), 증폭기부(amplifier), 통신부, 전원부, 스위치부 등으로 구성되었다. DSP는 힘센서의 출력을 받고 모터를 제어해야 하고 직선변위센서(LVDT)로부터 위치를 측정해야 하므로 빠른 속도의 제어를 위해 사용되었다. 이것은 내장된 A/D 컨버터를 이용하여 힘센서로부터 측정된 값을 LCD에 표시함과 동시에 컴퓨터로 보내고, 증폭부는 힘센서로부터 출력되는 값을 증폭하는 역할을 하며, 통신부는 제어프로그램을 롬에 다운로드 혹은 컴퓨터와 인터페이스하는 역할을 한다. 그리고 전원부는 DSP와 다른 주변장치들에 전압 5V, 3.3V, 1.8V를 각각 공급하고, 스위치부는 리셋 혹은 전원을 끄는데 사용된다.

힘센서는 가압장치에 가해지는 힘을 정확하게 측정하기 위해서 교정되어야 한다. 교정은 힘센서를 다축 힘/모멘트센서 교정기<sup>11</sup>에 고정하고 힘센서를 제작한 제어장치에 연결한 후 제어장치의 LCD에 1500mV가 출력되도록 증폭기를 조절하였고, 교정기를 이용하여 힘센서의 정격힘을 힘센서에 가하고 제어장치의 출력을 정격힘 1000N일 때 2500mV가 되도록 조정하였다. 이것은 힘센서에 (+)힘을 가할 때와 (-)힘을 가할 때가 있고, DSP의 아날로그/디지털컨버터의 최대측정범위가 3000mV이기 때문이다.

Fig. 2는 가압장치를 이용하여 상부금형에 힘을 가하고 제어하기 위한 제어흐름도를 나타내고 있다. 먼저 제어장치를 전원을 입력하면, 프로그램이 동작되어 DSP의 모든 기능을 초기화하고, 유리성형시스템 본체의 제어장치의 제어에 의해 성형 가능온도까지 온도가 상승하며, 그 후에 힘센서 및

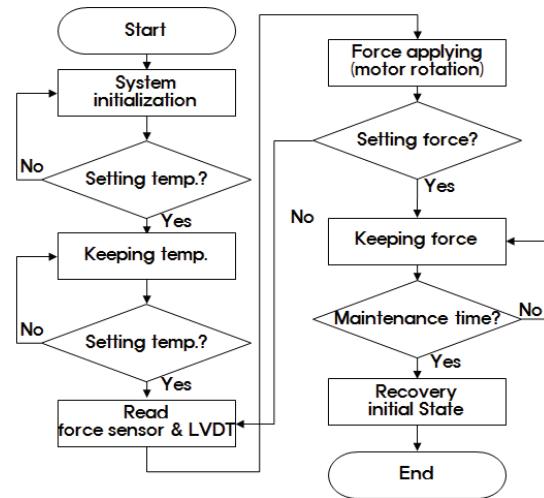


Fig. 2 Flow chart of force applying system

변위센서로부터 각각의 값을 읽어 저장 혹은 컴퓨터에 보낸다. 그리고 성형 가능온도에서의 설정한 초기 유지시간 동안 머무른 후, 가압장치를 동작시켜 유리를 설정한 가하는 힘까지 누르고, 설정한 힘을 가한 후 유지시간 동안 머무른 후 초기상태로 돌아간다.

### 3. 성형조건 특성실험 및 고찰

성형조건 특성실험은 곡면유리를 제조할 때 유리성형시스템에 설정하기 위한 중요 변수인 성형 가능온도, 성형 가능온도에서의 초기 유지시간, 가하는 힘, 힘을 가하는 동안의 시간, 힘을 가한 후 유지시간을 알기 위해 실시된다.

Fig. 3은 곡면유리 제조 특성실험을 위해 구성된 가압장치를 가진 유리성형시스템의 사진을 나타내고 있다. 이 실험장치는 본 논문에서 구성한 가압장치와 상부금형, 하부금형, 챔버, 상부히터블록, 하부히터블록, 컴퓨터 및 모니터 등으로 구성된 렌즈성형시스템이 조합되었다. 유리성형시스템의 챔버는 곡면유리 성형시 주입된 질소가스가 누설되지 않도록 밀폐되어 있고, 상부히터블록, 하부히터블록, 금형을 내장할 수 있으며, 외부로 온도가 전달되지 않도록 제작되었다. 상부금형과 하부금형은 크기가 120mmx60mmx2.8mm인 평면유리가 내장되어 반경 R1000mm로 굽혀질 수 있도록 하부금형의 내부는 반경 R1000mm로 오목곡면 홈형상으로 가공되었고, 상부금형은 반경 R1000mm로 볼

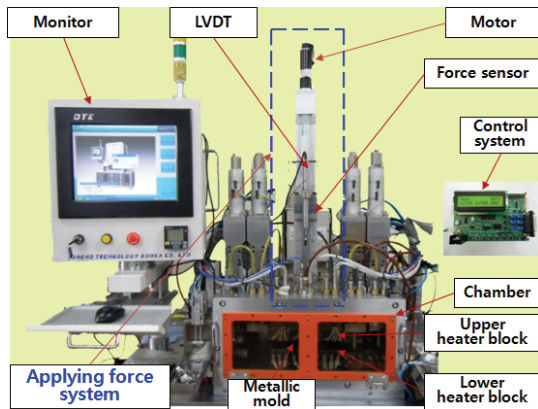
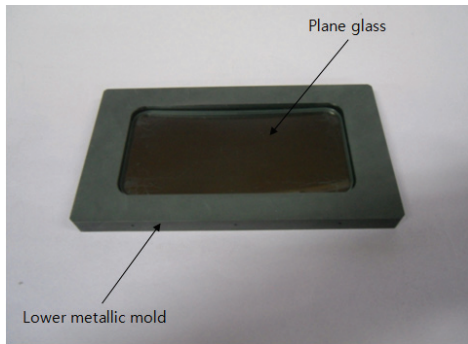
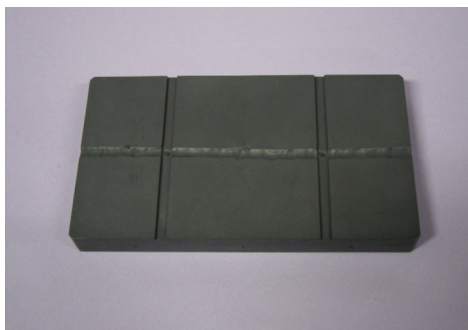


Fig. 3 Glass molding system with the force applying system for characteristic test



(a)



(b)

Fig. 4 Metallic mold with plane glass

록곡면 홈형상으로 가공되었다. 상부히터블록은 가압장치의 상하이동블록의 하부축과 연결되어 있고 약 700℃까지 온도를 올릴 수 있고, 히터블록 평판의 온도편차는 5℃이내로 매우 정밀하다. 그리고 하부히터블록은 챔버내의 하부베이스에 고정되어 있고, 상부히터블록의 성능을 가지고 있다.

Table 1 Results and conditions of the characteristic test at temperature 650℃

No.	Maintenance time under 0 force at 650℃(s)	Force applying time at 650℃(s)	Maintenance time under applied force at 650℃(s)	Applied force (N)	Result
1	90	50	40	500	Good
2	80	50	30	500	Good
3	70	50	20	500	Good
4	60	35	10	500	Badness
5	60	25	20	500	Good
6	60	25	20	450	Badness
7	50	20	20	500	Badness

스마트폰의 곡면유리 성형을 위한 특성실험 순서는 Fig. 4(a)와 같이 먼저 평면유리를 하부금형 안에 넣은 후 상부금형을 덮은 Fig. 4(b)와 같은 금형을 하부히터블록 위에 놓고 상부히터블록을 상부금형과 근접시키며, 그 이후 챔버내에 질소가스를 주입한 후 성형 가능온도까지 올린다. 성형 가능온도에서 무부하로 적당한 시간을 유지한 후 가압장치를 이용하여 서서히 힘을 평면유리에 가한 후 적당한 시간을 유지하며, 그 후 온도를 상온으로 내린다. 즉, 특성실험에서 중요한 변수는 성형 가능온도, 성형 가능온도에서의 초기 유지시간, 가하는 힘, 힘을 가하는 동안의 시간, 힘을 가한 후 유지시간이다.

곡면유리 특성실험에 사용된 평면유리 소재는 소다석회유리(soda-lime glass)이고, 이 소재는 온도표에 따르면 성형가능 온도가 600℃이상, 700℃이하이다. 따라서 본 특성실험에서는 먼저 사용된 유리성형시스템의 성능 및 간단한 기초실험의 결과를 고려하여 성형가능온도를 650℃와 620℃로 각각 설정하였고, 성형 가능온도에서의 초기 유지시간, 가하는 힘, 힘을 가하는 동안의 시간, 힘을 가한 후 유지시간을 찾는 특성실험을 실시하였다.

Table 1은 성형 가능온도를 650℃에서 특성실험 결과를 나타낸 것이다. 성형 가능온도 650℃에서 소다석회유리 소재의 성형조건은 초기 유지시간이 60s, 힘을 가하는 동안의 시간이 25s, 가하는 힘이 500N, 힘을 가한 후 유지시간이 20s로 나타났다. 이 결과로 볼 때, 650℃에서의 곡면유리를 성형하는데 소요되는 시간, 즉 초기 유지시간부터 힘을 가한 후 유지시간까지 105s 소요됨을 알 수 있었다. 따라서 성형 가능온도 650℃에서 가장 빠르고 양호한 곡면유리를 제조하기 위해서는 위의 조건을 따라야 하는 것으로 판단된다. 초기 유지시간



Table 2 Results and conditions of the characteristic test at temperature 620°C

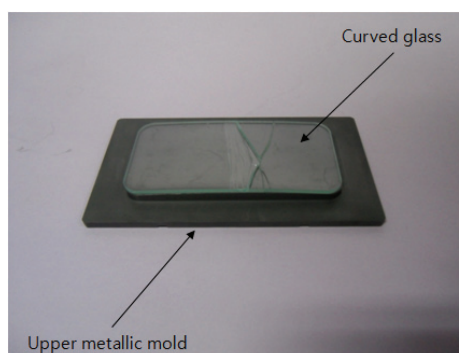
No.	Maintenance time under 0 force at 620°C (s)	Force applying time at 620°C (s)	Maintenance time under applied force at 620°C (s)	Applied force (N)	Result
1	90	70	50	500	Badness
2	100	70	50	500	Good
3	100	60	50	500	Good
4	100	60	50	450	Badness
5	100	60	45	500	Badness
6	100	50	50	500	Breakdown

이 60s 이하, 힘을 가하는 동안의 시간은 25s 이하, 가하는 힘이 500N 이하, 힘을 가한 후 유지시간이 20s 이하인 경우에는 각각 곡면의 반경이 금형의 곡률반경보다 커지는 불량 발생하였다.

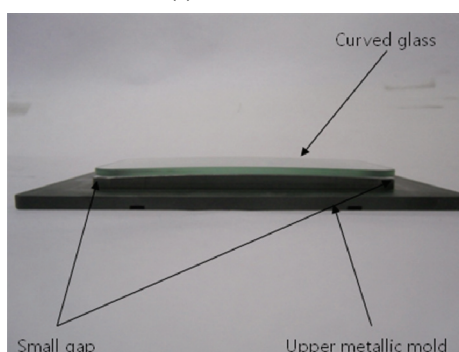
Table 2는 성형 가능온도 620°C에서 특성실험한 결과를 나타낸 것이다. 성형 가능온도 620°C에서 소다석회유리 소재의 성형조건은 초기 유지시간이 100s, 힘을 가하는 동안의 시간이 60s, 가하는 힘이 500N, 힘을 가한 후 유지시간이 50s로 나타났다. 이 결과로 볼 때, 620°C에서의 곡면유리를 성형하는데 소요되는 시간, 즉 초기 유지시간부터 힘을 가한 후 유지시간까지 210s 소요됨을 알 수 있었다. 따라서 성형 가능온도 620°C에서 가장 빠르고 양호한 곡면유리를 제조하기 위해서는 위의 조건을 따라야 하는 것으로 판단된다. 초기 유지시간이 100s 이하에서는 곡면의 반경이 금형의 곡률반경보다 커지는 불량 발생하였고, 힘을 가하는 동안의 시간은 60s 이하일 경우에는 유리가 파손되었으며, 가하는 힘이 500N 이하이거나 힘을 가한 후 유지시간이 50s 이하인 경우에는 곡면의 반경이 금형의 곡률반경보다 커지는 불량 발생하였다.

Fig. 5는 성형한 곡면유리를 나타내고 있다. Fig. 5(a)는 Table 2의 6번째 실험조건인 성형 가능온도 620°C에서의 초기 유지시간이 100s, 힘을 가하는 동안의 시간이 50s, 가하는 힘이 500N, 힘을 가한 후 유지시간이 50s일 때 성형한 곡면유리를 나타낸 사진이고, 이것은 유리가 깨져 불량이다.

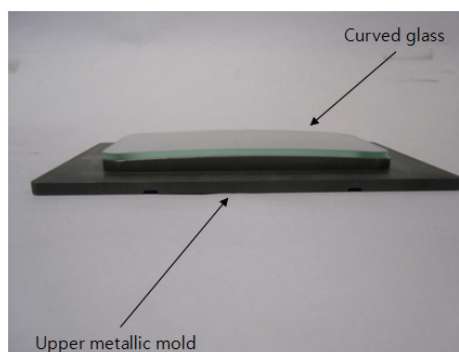
Fig. 5(b)는 성형 가능온도 650°C에서의 성형조건인 Table 1의 4, 6, 7번째와 성형 가능온도 620°C에서의 성형조건인 Table 2의 1, 4, 5번째로 특성실험하였을 때 성형한 곡면유리를 나타낸 사진이고, 이것은 유리가 완전히 구부러지지 않은 곡률불량



(a) Breakdown



(b) Badness

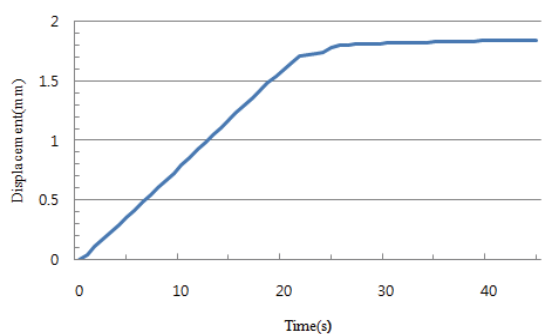


(c) Good

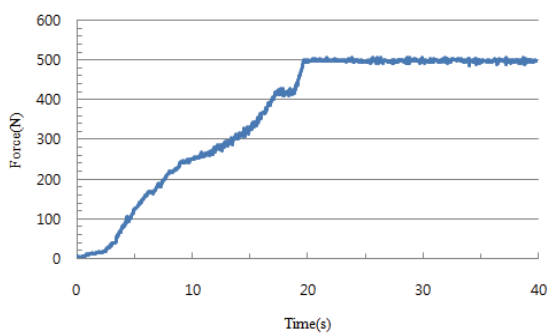
Fig. 5 Upper metallic mold and manufactured curved glass (when the force which is from 0N to 500N is applied to glass)

이다. 즉, 상부금형의 내부 곡률과 곡면유리를 접촉시켰을 때 양쪽 모서리부분이 공차가 있어 덜 구부러진 것이다.

Fig. 5(c)는 성형 가능온도 650°C에서의 성형조건인 Table 1의 1~3, 5번째와 성형 가능온도 620°C에서의 성형조건인 Table 2의 2, 3번째로 특성실험하였을 때 성형한 곡면유리를 나타낸 사진이고,



(a) Displacement



(b) Force

Fig. 6 Graph of displacement (LVDT value) of glass and applied force in characteristic test at temperature 650°C (when maintenance time is 20s after the force which is from 0N to 500N is applied to glass for 20s)

이것은 상부금형의 내부 곡률과 곡면유리를 접촉시켰을 때 일치하므로 우수한 곡면유리이다.

Fig. 6(a)는 Table 1의 7번째 실험조건인 성형 가능 온도 650°C에서 초기 유지시간 50s 후, 가압장치를 이용하여 힘을 가하는 시간 20s 동안 0N에서 500N까지 누른 후, 20s동안 유지하였을 때 유리의 처짐과, (b)는 힘의 그래프를 나타내고 있다.

Fig. 6(a)의 유리처짐은 1.65mm까지는 직선으로 증가하였고, 그 후 1.5s 정도는 유지한 후 1.8mm까지 다시 직선으로 증가하였다. 가압장치의 제어는 20s 동안에 일정한 속도로 1.8mm의 유리처짐이 발생되도록 수행하였다. 유리처짐이 1.65mm까지 직선으로 증가한 것은 일체로 조립된 상부히터블록과 상하이동블록의 무게에 의한 것이고, 약 1.5s 동안 일정한 힘을 유지한 것은 상부히터블록과 상하이동블록의 무게가 금형의 상부를 누른 상태에서 가압장치의 구조에서 힘센서와 상하이동장치가

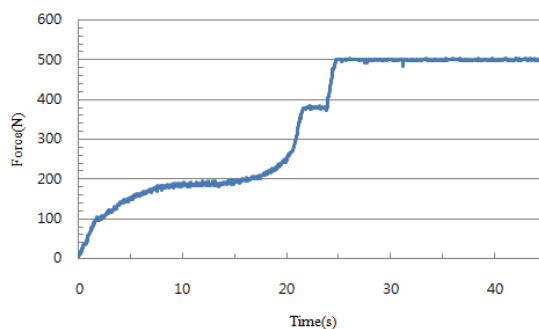


Fig. 7 Graph of applied force in characteristic test at temperature 620°C (when maintenance time is 20s after the force which is from 0N to 500N is applied to glass for 25s)

조립부분에서 미소한 공차가 있어 그 공차의 길이만큼 있으므로 이동하는데 시간이 소요되었기 때문이다.

Fig. 6(b)에서 나타낸 것과 같이 유리에 가해지는 힘은 가압장치의 제어에 일정한 속도로 금형의 상부를 누를 때, 즉 상부히터블록과 상하이동블록의 무게가 금형에 누를 때까지는 곡선으로 증가하고, 힘센서와 상하이동장치가 조립부분에서 미소한 공차가 있는 구간에서는 일정하게 유지되었으며, 그 이후에는 모터의 힘으로 500N이 될 때까지 늘었다. 그 후 20s 동안은 유리에 500N이 가해질 수 있도록 안정하게 제어를 실시하였다. 이들 그래프는 유리가 완전히 구부러지지 않은 곡률불량을 나타낸 것인데, 전체적으로는 특이사항이 없으나 500N을 힘을 가한 후 유지시간이 짧아 미소한 복귀현상이 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 7은 Table 1의 5번째 실험조건인 성형 가능 온도 650°C에서 초기 유지시간 60s 후, 가압장치를 이용하여 힘을 가하는 시간 25s 동안 0N에서 500N까지 누른 후, 20s동안 유지하였을 때 힘 그래프를 나타내고 있다. 이 그래프는 정상적으로 유리가 성형되는 과정을 나타내고 있어 매우 우수한 곡면유리를 제조하는 모습을 나타내고 있다.

Fig. 8은 Table 2의 6번째 실험조건인 성형 가능 온도 620°C에서 초기 유지시간 100s 후, 가압장치를 이용하여 힘을 가하는 시간 50s 동안 0N에서 500N까지 누른 후, 50s동안 유지하였을 때 힘 그래프를 나타내고 있으며, 42s 근처에서 힘이 갑자기 하강했다 다시 증가한 것은 유리가 깨졌기 때문이다.

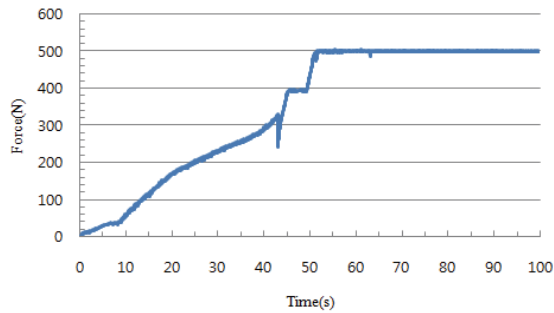


Fig. 8 Graph of applied force in characteristic test at temperature 620°C (when maintenance time is 50s after the force which is from 0N to 500N is applied to glass for 50s)

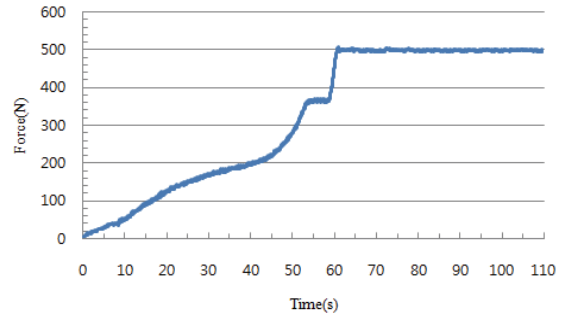


Fig. 10 Graph of applied force in characteristic test at temperature 620°C (when maintenance time is 50s after the force which is from 0N to 500N is applied to glass for 60s)

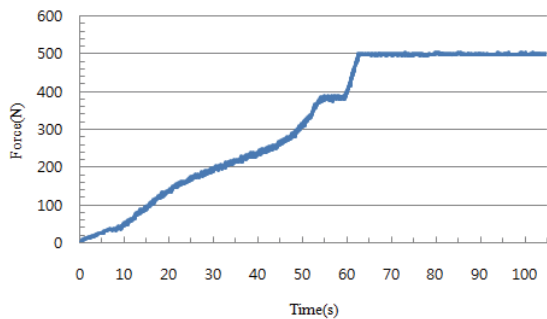


Fig. 9 Graph of applied force in characteristic test at temperature 620°C (when maintenance time is 45s after the force which is from 0N to 500N is applied to glass for 60s)

Fig. 9는 Table 2의 5번째 실험조건인 성형 가능 온도 620°C에서 초기 유지시간 100s 후, 가압장치를 이용하여 힘을 가하는 시간 60s 동안 0N에서 500N까지 누른 후, 45s동안 유지하였을 때 힘 그래프를 나타내고 있다. 이 그래프는 유리가 완전히 구부러지지 않은 곡률불량을 나타낸 것인데, 전체적으로는 특이사항이 없으나 500N을 힘을 가한 후 유지시간이 짧아 미소한 복귀현상이 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 10은 Table 2의 3번째 실험조건인 성형 가능 온도 620°C에서 초기 유지시간 100s 후, 가압장치를 이용하여 힘을 가하는 시간 60s 동안 0N에서 500N까지 누른 후, 50s동안 유지하였을 때 힘 그래프를 나타내고 있다. 이 그래프는 정상적으로 유리가 성형되는 과정을 나타내고 있어 매우 우수한 곡면유리를 제조하는 모습을 나타내고 있다.

Fig. 7~10에서 나타낸 것과 같이 파손될 경우의 힘 그래프는 갑자기 떨어지는 현상이 나타났고, 곡면유리가 곡률불량인 경우는 양호한 것보다 직선에 가까운 곡선을 나타내고 있다. 따라서 Fig. 7~11의 힘 그래프를 보면 곡면유리의 불량 및 양호를 성형 중에 판단할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 힘센서를 포함한 가압장치를 구성하여 유리성형시스템에 부착하여 실험장치를 구성하였으며, 이 장치를 이용하여 소다석회유리 소재로 곡면유리를 성형하는 성형조건을 찾기 위한 특성실험을 실시하였다. 특성실험 결과, 성형 가능 온도 650°C와 620°C에서의 성형조건을 찾을 수 있었으며, 성형 가능온도가 650°C인 경우가 620°C보다 성형시간(초기 유지시간, 가하는 힘, 힘을 가하는 동안의 시간, 힘을 가한 후 유지시간)을 반으로 줄일 수 있었다. 그리고 각 성형 가능온도에서의 힘 그래프로 곡면유리 성형의 성공여부를 판단할 수 있을 것으로 생각되며, 본 논문에서 얻은 성형 조건은 양산시 유리성형시스템에 적용시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### REFERENCES

1. Kuk, K. H., Kim, K. S., and Jung, D. Y., "Temperature Analysis of the Production System for Aspherical Lens and Optimization of Production Conditions," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 51-52, 2008.

2. Kuk, G. H., Jung, D. Y., and Kim, G. S., "Development of Molding System for Manufacturing a Small Lens and Its Force Control," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 25, No. 2, pp. 57-64, 2008.
3. Kuk, K. H., Kim, G. S., and Jung, D. Y., "Development of a Convective Sequential Production System for Aspheric Lens," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 28, No. 2, pp. 2002-2010, 2011.
4. Jung, D. Y. and Lee, Y. H./Daeho Technology Korea Co. LTD, "Moulding Device of Curved Glass," KOR Patent, No. 10-2013-0126308, 2013.
5. Jung, D. Y., Lee, Y. H., and Daeho Technology Korea Co. LTD, "Pre-heating Device of Curved Glass Moulding Device," KOR Patent, No. 10-2013-0126312, 2013.
6. Kim, G. S., Kim, H. M., Song, Y. W., Jung, D. Y., Jung, Y. H., and et al., "Development of Force and Position Measuring System of the Pressure System for Manufacturing a Smart Phone's Curved," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 773-774, 2013.
7. Shin, H. J., Lee, J. K., Bang, Y. J., Lee, K. G., Jung, D. Y., and et al., "Heat Flux Conditions for Uniform Temperature Distribution of Mobile Device Cover Glass Mold," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 763-764, 2013.
8. Kim, G. S., Kim, H. M., Song, Y. W., Jung, D. Y., Jung, Y. H., and et al., "Design of Pressurized System for Curved Glass Forming," Proc. of KSPE Autumn Conference, pp. 651-652, 2012.
9. Kim, S. B., Chung, W. J., Lee, D. S., Kim, M. S., Jung, D. Y., and Park, J. H., "Optimal Design of 2.5D Glass Manufacturing Automation Equipment's Molding Transfer Unit Using TRIZ," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 777-778, 2013.
10. Shin, H. J., Lee, J. K., Bang, Y. J., Lee, K. G., Jung, D. Y., and et al., "Thermal Analysis of Molding System for Mobile Device Cover Glass," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 765-766, 2013.
11. Kim, G. S. and Yoon, J. W., "Development of Calibration System for Multi-Axis Force/Moment Sensor and its Uncertainty Evaluation," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 24, No. 10, pp. 91-98, 2007.