

# 스마트폰 곡면유리 성형시스템의 가압장치 설계 및 곡면유리 성형특성실험

## Design of a Force Applying System for a Smart-phone Curved Glass Molding System and Its Characteristic Test

김현민, 홍태경, 정동연, 이연형, 박재현, 김갑순\*  
(Hyeon-Min Kim<sup>1</sup>, Tae-Kyung Hong<sup>1</sup>, Dong-Yean Jung<sup>2</sup>, Yeon-Hyeong Lee<sup>2</sup>, Jea-Hyun Park<sup>2</sup>, and Gab-Soon Kim<sup>1\*</sup>)

<sup>1</sup>Department of Control & Instrumentation Engineering, Gyeongsang National University

<sup>2</sup>Deaho Technology Korea, Co., Ltd.

**Abstract:** This paper describes the design of a force applying system for a smart phone curved glass molding system and its characteristic test. The force applying system is composed of a motor and gear, a rectilinear movement structure, a force sensor, an LVDT (Linear Variable Differential Transformer) sensor, an up and down moving block, and so on. The system precisely controls the applying force and time to the plane glass because the glass can be easily destroyed under applied force, and can be bent imperfectly. As a result of the characteristic test, the curved glass can be manufactured using this system, and the holding time under 0N force, the applying force to the plane glass, the time for applying from 0N to maximum force, and the holding time under maximum force at the manufacture feasible temperature 620 °C were found.

**Keywords:** plane glass, curved glass, molding system, force applying system, force sensor, LVDT sensor, rectilinear movement structure

### I. 서론

현재 스마트폰은 음성, 문자, 이메일 등 많은 통신과 컴퓨터에서 할 수 있는 대부분의 업무를 수행할 수 있을 정도로 기능적인 측면에서 급성장하게 되었다. 그러나 외형에서는 대부분 얇은 육면체 평면이므로 뒷 주머니에 넣기 등 휴대하기 불편할 뿐만 아니라 전화할 때 스마트폰의 평면유리가 얼굴에 닿아 불편함을 느끼는 등 외형 디자인 측면에서 인체공학적이 못했다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 스마트폰 전체가 가로(중)방향으로 곡면을 가지든지 혹은 세로(횡)방향으로 곡면을 가져야 한다. 그러기 위해서는 앞면을 덮는 평면유리를 곡면을 가지도록 제작해야 한다.

중방향 혹은 횡방향으로 곡면을 가지는 스마트폰을 제작하기 위하여 국내외 스마트폰 전문제작업체에서는 휘어지는 액정화면의 개발에 성공하였다. 또한 스마트폰의 앞면에 부착하는 평면유리를 곡면을 가지도록 제작하는데 성공하였다. 그래서 모 스마트폰 제조회사에서는 중방향으로 곡면을 가지는 스마트폰을 최근에 판매 중에 있다. 그러나 현재 평면유리 제조공정은 두꺼운 평면유리를 곡면으로 기계가공하여 제작하는 방식으로 가공 중에 파괴되기 쉬워 가공성공률이 매우 낮다. 따라서 중방향 혹은 횡방향으로 곡면을 가지는 스마트

폰을 대량생산하기 위해서는 앞면 평면유리를 쉽게 대량으로 제조하는 기술개발이 필요하다.

곡면유리는 평면유리를 성형 가능온도까지 가열한 후 힘을 가하여 구부리는 방법으로 제조가 가능하다. 이와 같이 유리를 성형해서 제조하는 대표적인 제품이 스마트폰 카메라 렌즈이고, 이것은 성형하고자 하는 렌즈의 형상과 같은 금형을 만들고, 그 속에 원통의 평면유리를 넣은 후, 챔버 안에서 히터를 이용하여 열을 직접 전도하거나 복사열로 전도하는 방식으로 유리 성형온도까지 가열한다. 그리고 공기압을 이용하여 금형에 압력을 가하여 렌즈를 성형한다[1-3]. 이와 같은 렌즈 성형시스템은 직경 10mm 정도의 소형렌즈를 성형할 수 있고, 스마트폰의 앞면 평면유리를 곡면으로 성형하지는 못한다. 그래서 스마트폰의 앞면 평면유리를 곡면으로 성형하기 위한 새로운 형태의 성형시스템을 설계하였다[4-11]. 곡면유리를 제조하는 성형시스템에서 매우 중요한 요소 중의 하나가 성형온도에서 금형에 힘 혹은 압력을 가하여 유리를 구부리는 가압장치이다. 현재 설계된 스마트폰 곡면유리 성형시스템의 가압장치는 공기압을 이용하여 유리의 파괴를 방지하기 위해 가압력을 여러 단계로 나누어 계단형식으로 설정된 압력까지 증가시키는 방식이다. 이 가압방식은 갑자기 큰 압력이 가해져 유리가 파손되기 쉽고 가압시간이 길어 생산성이 저하되는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 가압력을 힘으로 제어하여 스마트폰의 앞면 덮개유리를 곡면유리로 성형하는 곡면유리 성형시스템의 가압장치를 설계하였고, 특성실험을 통해 성형조건을 찾았다. 본 연구의 핵심부품인 가압력을 측정하는 힘센서를 설계 및 제작하였고, 힘을 측정하는 힘측정기를 설계 및 제작하였다. 그리고 힘측정장치가 포함되는 성형시스템의 가압시스템을

\* Corresponding Author

Manuscript received December 11, 2013 / revised March 14, 2014 / accepted March 31, 2014

김현민, 홍태경, 김갑순: 경상대학교 제어계측공학과, ERI

(jposab@nate.com/hk7504@naver.com/gskim@gsnu.ac.kr)

정동연, 이연형, 박재현: (주)대호테크 연구소

(dongyeon@daehotech.co.kr/mapsosa@daehotech.co.kr/park@daehotech.co.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 우수기술연구센터(ATC) 사업으로 수행된 연구결과임.

구성하였고, 평면유리를 곡면유리로 성형 가능온도 620℃에서 무부하 유지시간, 평면유리를 누르는 힘, 평면유리를 누를 때까지의 시간, 누른 후 유지시간 등의 조건을 찾는 특성실험을 실시하였다.

II. 가압시스템 설계 및 제작

1. 힘센서 설계 및 제작

힘센서는 성형온도에서 평면유리를 구부리기 위해 유리가 들어 있는 굽형을 누르는 힘을 측정하는데 사용되며, 스마트폰의 곡면유리 성형시스템에 부착하기 적합하도록 설계 및 제작되어야 한다. 그림 1은 힘센서의 구조 및 스트레인게이지 부착위치를 나타내고 있고, t는 보의 두께, b는 보의 폭, l은 보의 길이이다. 힘센서는 성형시스템에 부착할 수 있도록 전체 크기를 73 mm × 30 mm × 45.5 mm로 결정하였으며, 상부에는 힘을 가하기 위한 직선운동기구가 장착되도록 힘전달블록에 나사홀을 가공하였고, 하부에는 상부 히터블록의 걸이를 걸 수 있도록 고정블록에 오목하게 가공하였다. 그리고 힘센서를 제작하기 위한 감지부는 고정블록을 중심으로 좌우에 두 개의 평행판판보1과 2(PPB1과 PPB2, Parallel Plate Beam1과 2)가 한 몸체를 이루도록 구성하였다. 힘전달블록에 힘이 가해지면 감지부인 평행판판보1과 2가 굽힘이 발생되고, 그 위에 부착되어 있는 스트레인게이지가 변형률을 감지하여 힘을 측정한다. 이를 위해 감지부를 설계하여 힘센서를 제작해야 한다. 힘센서의 스트레인게이지 부착위치는 그림 1에서 나타난 것과 같이 S1~S4이다.

힘센서의 설계변수는 각 센서의 정격출력, 정격하중, 평행 평판보를 구성하는 평판보의 폭, 두께, 길이이다. 각 센서는 4개의 스트레인게이지로 휘스톤브리지를 구성한다. 힘센서를 설계하기 위한 설계변수의 정격출력은 약 0.5mV/V, 정격하중은 1000N, 스트레인게이지의 부착위치가 길이 방향으로는 1.5mm, 폭 방향으로는 1/2, 스트레인게이지의 부착위치에서의 변형률은 약 250um/m로 결정하였다. 힘센서의 감지부의 크기를 결정하기 위해 ANSYS 소프트웨어를 이용하여 유한

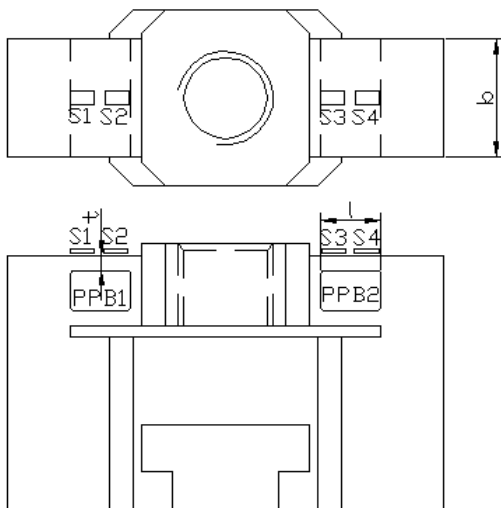


그림 1. 힘센서의 구조 및 스트레인게이지 부착위치.  
Fig. 1. Structure of force sensor and attachment locations of strain gages of force sensor.

요소(FEM: Finite Element Method) 해석을 실시하였다. 유한요소 해석을 위해 소프트웨어에 입력한 재료상수는 제작할 센서의 재질이 알루미늄이므로 종탄성계수가 70GPa, 프와송의비가 0.3이며, 8절점 6면체 블록을 선택하였다.

그림 2는 정격힘을 가했을 때의 유한요소 해석결과인 변형된 모습을 나타내고 있고, 예상한 것과 같이 좌우 대칭으로 변형되었다. 그림 3은 정격힘이 가해졌을 때 변형률을 나타내고 있고, 변형률이 0인 지점은 4.5mm 지점이며, 고정블록보다 힘전달블록에 가까운 부근에서 변형률이 크게 발생하였다. 그리고 보의 양끝 부근에서 변형률이 감소한 것은 유한요소 해석의 끝효과 때문이다.

유한요소해석 결과 스트레인게이지 S1의 부착위치에서의 변형률은 220um/m, S2의 변형률은 -275um/m, S3의 변형률은 -275um/m, S4의 변형률은 220um/m이었다. 유한요소해석으로 설계한 감지부(보)의 크기는 길이가 10mm, 폭이 20mm, 두께가 2.6mm이었다.

힘센서의 정격변형률은 정격 하중이 가해질 때 휘스톤브리지에서 출력되는 총 변형률을 의미하고 이것의 값은 다음과 같은 식으로부터 계산된다.

$$\epsilon = \epsilon_{T1} - \epsilon_{C1} + \epsilon_{T2} - \epsilon_{C2} \tag{1}$$

여기서  $\epsilon$ 은 휘스톤브리지의 총 변형률,  $\epsilon_{T1}$ 은 인장 스트레인게이지  $T_1$ 의 변형률,  $\epsilon_{C1}$ 은 압축 스트레인게이지  $C_1$ 의 변형률,  $\epsilon_{T2}$ 은 인장 스트레인게이지  $T_2$ 의 변형률,  $\epsilon_{C2}$ 은 압축 스트레인

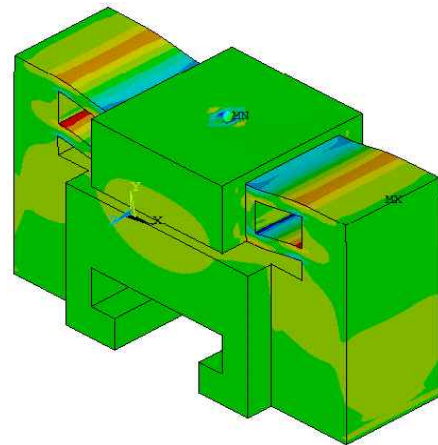


그림 2. 힘센서의 유한요소해석.  
Fig. 2. FEM analysis of force sensor.

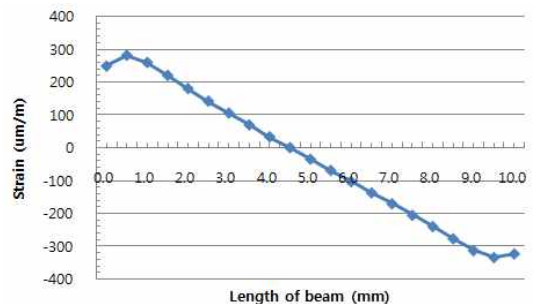


그림 3. 정격하중에서 보의 변형률 분포.  
Fig. 3. Strain distribution on the beam under rated force.

게이지  $C_2$ 의 변형률이다. 정격출력은 정격하중을 가했을 때 입력전압과 출력전압의 비로 나타내며, 다음과 같은 식에 의해 계산될 수 있다.

$$\frac{E_o}{E_i} = \frac{1}{4} K \varepsilon \tag{2}$$

여기서  $E_i$ 는 휘스톤브리지의 입력전압,  $E_o$ 는 휘스톤브리지의 출력전압,  $K$ 는 스트레인게이지의 상수(약 2.03),  $\varepsilon$ 는 식 (1)로부터 얻은 총 변형률이다.

본 논문에서 개발한 힘센서의 정격변형률은 식 (1)에 대입하여 계산한 결과 990um/m이었고, 설계시 기준값 1,000um/m를 기준으로 1.0% 오차를 보이고 있다. 이와 같은 오차는 설계시 가공의 가능성을 고려하여 감지부의 두께를 0.1mm 단위로 나타내었기 때문이다. 단위를 0.01mm 단위로 설계하면 매우 근접한 변형률을 얻을 수 있으나 실제 0.01mm 단위로 가공하기 어렵기 때문이다. 힘센서는 그림 1에 나타낸 각 게이지부착위치에 스트레인게이지 (N2A-13-S1452-350, Micro-Measurement Company사 제작, 게이지 상수 2.03, 크기 3x5.2mm)를 순간접촉제(M-200)를 이용하여 부착하고 휘스톤브리지[12]를 구성하여 제작하였으며, 그림 4는 제작된 힘센서의 사진을 보이고 있다.

제작한 힘센서는 특성을 파악하기 위한 재현도평가와 비직선성평가를 위한 특성실험을 실시해야 하고, 정확한 힘을 측정하기 위해서는 제어장치와 힘센서를 연결한 상태에서 교정을 실시해야 한다. 이를 위해 사용한 기기는 다축 힘/모멘트센서 교정기[13]이고, 측정은 고성능측정장치(DMP40)이다. 힘센서는 정격하중인 1000N을 가지고 정격출력을 측정하였고, 총 세 번을 실시하여 평균값을 센서의 정격출력으로 결정하였으며, 그것은 0.51084mV/V이었다. 유한요소해석 결과를 식 (2)에 의해 계산한 정격출력은 0.50242mV/V이었다. 유한요소해석 결과를 이용한 정격출력을 기준으로 실험에 의한 정격출력의 오차를 계산한 결과 1.68%이었다.

힘센서의 재현도오차와 비직선성오차를 산출하기 위해서 힘센서를 다축 힘/모멘트센서 교정기[13]에 고정하고, 센서의 정격하중인 1000N을 10등분하여 100N부터 1000N까지 증가순 및 감소순으로 힘을 가하고 센서의 출력을 고성능측정장치(DMP40)를 이용하여 측정하였다. 특성실험은 이 과정을 3번 반복하였다. 힘센서의 최대 재현도오차와 최대 비직선성오차는



그림 4. 제작된 힘센서.  
Fig. 4. Manufactured force sensor.

표 1. 제작된 힘센서의 특성.

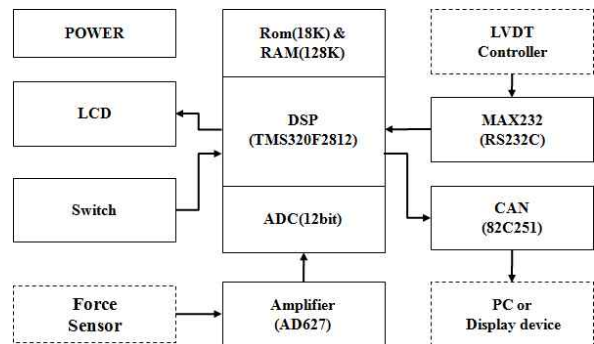
Table 1. Specific character of the manufactured force sensor.

Rated force (N)	Rated output (mV/V)	Repeatability error (%)	Nonlinearity (%)
1000	0.51084	0.02	0.03

각각 0.02%와 0.03% 이내이었다. 표 1에 제작된 힘센서의 특성을 나타냈다. 제작한 힘센서의 특성실험 결과 재현성오차와 비직선성오차가 이미 판매하고 있는 힘센서[12]의 그것과 비슷한 수준이었다. 그러므로 제작한 힘센서는 곡면유리 성형 시스템의 가압력을 측정하는데 적합한 것으로 판단된다.

2. 제어장치 설계 및 제작

그림 5(a)는 DSP를 이용한 가압장치의 제어장치의 블록도이고, (b)는 제작된 제어장치의 사진을 나타내고 있다. 제어장치는 힘센서의 출력을 받고, 모터를 상하이송제어할 수 있도록 설계 및 제작하였다. 제어장치는 DSP (Digital Signal Processor), 증폭기부(amplifier), 통신부, 전원부, 스위치부 등으로 구성되었다. DSP는 힘센서의 출력을 받아 모터를 제어해야 하며 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 켜는데 사용된다.



(a) Block diagram of control system.



(b) Manufactured control system.

그림 5. 제작된 가압시스템의 제어장치.

Fig. 5. Manufactured control system of force applying system.

힘센서의 교정은 힘센서를 이용하여 가압장치에 가해지는 힘을 정확하게 측정하기 위해 실시되어야 한다. 교정은 힘센서는 다축 힘/모멘트센서 교정기[13]에 고정하고 제작한 제어 장치에 연결한 후 제어장치의 LCD에 1500mV가 출력되도록 증폭기를 조절하였고, 교정기를 이용하여 힘센서의 정격힘을 힘센서에 작용시키고 제어장치의 출력을 정격힘 1000N일 때 2500mV가 되도록 조정하였다. 이것은 힘센서에 +힘을 가할 때와 -힘을 가할 때가 있고, DSP의 아날로그/디지털컨버터의 최대측정범위가 3000mV이기 때문이다.

3. 가압장치 구성

스마트폰 곡면유리 성형시스템의 가압장치(force applying system)는 금형 안에 들어 있는 평면유리가 가압시 파괴되거나 불완전한 곡면으로 성형되지 않도록, 즉 원하는 곡면으로 성형할 수 있도록 평면유리의 재질에 따른 성형온도에서 가하는 힘, 가압시간 등을 조절하는 장치이다. 그림 6은 가압장치의 사진을 나타내고 있다. 가압장치는 몸체(body), 모터(motor), 직선운동기구(rectilinear movement structure), 위치변위센서(LVDT: Linear Variable Differential Transformer), 상하이동블록 등으로 구성되었다. 모터 및 감속기는 직선운동기구의 상부와 연결되어 평면유리가 내장되어 있는 금형에 힘을 가하는 역할을 하고, 사용된 모터의 모델은 맥슨(Maxon)에서 제작한 DC148867, 용량은 150W, 펄스수는 모터축 1회전당 2000펄스(2000pulse/tum), 감속기의 모델은 (GP 3-15Nm), 감속비는 53대 1로 모터와 감속기가 발생할 수 있는 최대토크는 15Nm이다. 직선운동 기구는 몸체에 부착되어 모터의 회전운동을 직선운동으로 바꾸어 힘센서에 힘을 가하는 역할을 하고, 이것은 페스토(Festi) 회사에서 제작한 모델(ESBF-BS-63-100-5P)로 최대 누르는 힘은 7000N, 반복정확도는 0.015mm, 최대 이동거리는 100mm,

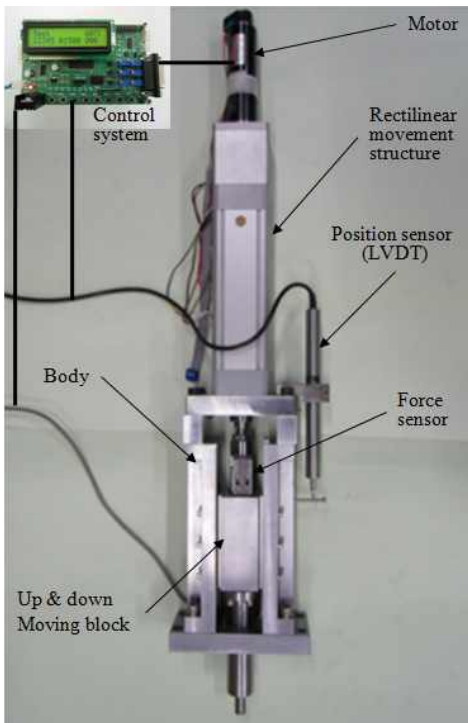


그림 6. 제작된 가압시스템.  
Fig. 6. Manufactured force applying system.

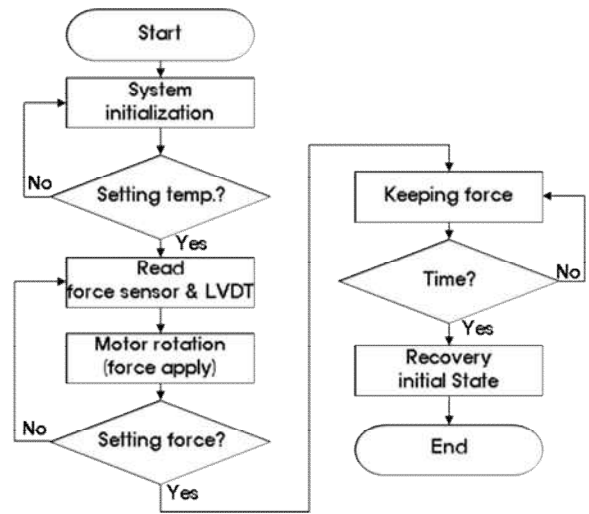


그림 7. 가압시스템의 제어흐름도.  
Fig. 7. Flow chart of force applying system.

나사피치는 5mm이다. 위치변위센서(LVDT)는 센서의 몸체를 가압장치의 몸체에 고정하고 변위측정축은 상하이동블록의 핀과 고정되어 모터의 회전에 의해 상하이동블록이 이동하는 변위를 측정하는 역할을 하며, 이것은 소니(Sony)회사가 제작한 모델(DG50BN)로 정확도가 2um, 분해능이 0.5um, 측정범위가 50mm이다.

가압장치는 제어장치를 이용하여 모터에 정방향 혹은 역방향 펄스를 입력하면, 모터 및 감속기가 회전되어 직선운동 기구가 모터의 회전운동을 직선운동으로 바꾸어 주며, 직선 운동기구에 연결되어 있는 상하이동블록이 상하로 이동된다. 모터의 1펄스당 상하이동거리는 펄스수가 2000 펄스, 감속비가 53대 1, 직선운동기구의 나사피치가 5mm이므로 47.17nm/pulse이고, 상하이동블록이 5mm 이동하기 위한 직선운동기구의 축이 1회전하기 위해서는 106,000개의 펄스를 모터에 입력해야 한다. 평면유리가 들어있는 금형에 가하는 힘은 제작한 힘센서의 정격용량인 최대 1000N이고, 가할 수 있는 속도의 범위는 100um/s~1mm/s이다.

그림 7은 가압장치의 제어흐름도를 나타내고 있고, 이것은 본 논문에서 설계 및 제작된 DSP를 이용한 제어장치를 이용하여 가압장치를 제어하는 순서도이다. 먼저 제어장치를 전원을 입력하면, 프로그램이 동작되어 DSP의 모든 기능을 초기화하고, 성형시스템 본체의 제어장치의 제어에 의해 성형 가능온도까지 온도가 상승하며, 그 후에 힘센서 및 위치 변위센서로부터 각각의 값을 읽어 저장 혹은 컴퓨터에 보낸다. 그리고 성형 가능온도에서 설정한 유지시간 동안 머무른 후, 가압장치를 동작시켜 설정한 누르는 힘까지 평면유리를 누른다. 그리고 설정한 유지시간 동안 머무른 후 초기상태로 돌아간다.

III. 곡면유리 성형 특성실험 및 고찰

그림 8은 가압장치가 포함된 실험장치를 나타내고 있고, 이것은 설계 및 제작한 가압장치와 이미 만들어진 챔버, 상부 히터블록, 하부히터블록, 금형, 컴퓨터 및 모니터 등으로 구성되어 있다. 기존에 제작된 챔버는 곡면유리 성형시 주입된

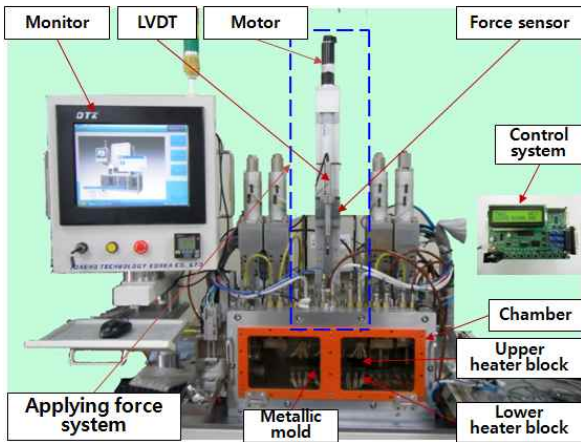


그림 8. 가압시스템이 포함된 실험장치.

Fig. 8. Experimental set up with the manufactured force applying system.

질소가스가 누설되지 않도록 밀폐되어 있고, 상부히터블록, 하부히터블록, 금형을 내장할 수 있으며, 외부로 온도가 전달되지 않도록 제작되었다. 금형은 크기가 120mm×60mm×2.8mm인 평면유리가 내장되어 반경 1000mm로 굽혀질 수 있도록 하부블록의 내부는 반경 1000mm 오목곡면 홈형상으로 가공되었고, 상부블록은 반경 1000mm 볼록곡면 홈형상으로 가공되었다. 상부히터블록은 가압장치의 상하이동블록의 하부축과 연결되어 있고, 약 700℃까지 온도를 올릴 수 있다. 히터블록 평판의 온도편차는 5℃이내로 매우 정밀하다. 그리고 하부히터블록은 챔버내의 하부베이스에 고정되어 있고, 상부히터블록의 성능을 가지고 있다.

곡면유리 성형을 위한 특성실험 순서는 먼저 평면유리를 넣은 금형을 하부히터블록 위에 놓고 상부히터블록을 상부 금형과 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 무부하 유지시간, 평면유리를 누르는 힘, 평면유리를 누를 때까지의 시간, 누른 후 유지시간이다.

사용된 평면유리 소재는 소다석회유리(soda-lime glass)이고, 주성분은 산화나트륨 18%, 산화칼슘 10%, 규산 72%이며, 이 소재를 제작하는 회사에서 작성한 자료에 의하면 성형가능온도가 600℃ 이상이다. 따라서 본 특성실험에서는 성형 가능온도는 기본실험에서 성형이 가능한 온도인 620℃로 설정하였고, 성형 가능온도에서의 무부하 유지시간, 평면유리를 누르는 힘, 평면유리를 누를 때까지의 시간, 누른 후 유지시간을 찾는 특성실험을 실시하였다. 표 2는 620℃에서 특성실험 결과를 나타낸 것이다. 성형 가능온도 620℃에서의 무부하 유지시간은 100s 이상, 평면유리를 누를 때까지의 시간은 60s 이상, 평면유리를 누르는 힘은 500N 이상, 누른 후 유지시간은 50s 이상으로 나타났다. 즉, 가장 빠르고 양호한 곡면유리를 제조하기 위해서는 위의 조건을 따라야 하는 것으로 판단된다. 무부하 유지시간이 100s 이하에서는 곡면의 반경이 금형의 곡률반경보다 커지는 불량이 발생하였고, 평면유리를 누를

표 2. 성형온도 620℃에서 특성실험의 조건과 결과.

Table 2. Results and conditions of the characteristic test at temperature 620℃.

No.	Holding time under 0 force at 620℃(s)	Force applying time at 620℃(s)	Holding time under applied force at 620℃(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

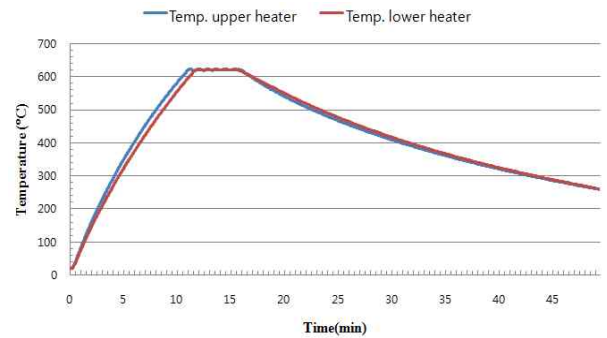


그림 9. 성형 가능온도 620℃에서 온도곡선 그래프.

Fig. 9. Graph of temperature curve in characteristic test at temperature 620℃.

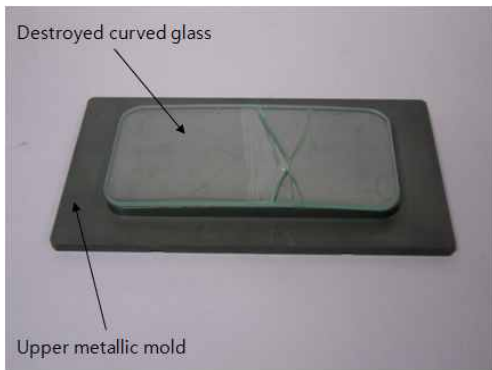
때까지의 시간은 60s 이하일 경우에는 유리가 파괴되었으며, 평면유리를 누르는 힘이 500N 이하이거나 누른 후 유지시간이 50s 이하인 경우에는 곡면의 반경이 금형의 곡률반경보다 커지는 불량이 발생하였다. 620℃에서의 유지시간부터 누른 후 유지시간까지 210s 소요됨을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제작한 가압장치는 평면유리를 곡면유리로 제조하는데 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

그림 9는 성형 가능온도 620℃에서 곡면유리 성형을 위한 특성실험을 실시하는 동안의 온도곡선을 그래프로 나타낸 것이다. 성형 가능온도인 620℃까지 온도를 올리는데 약 22분이 소요되었고, 성형 가능온도에서의 무부하 유지시간, 평면유리를 누를 때까지의 시간, 누른 후 유지시간 등이 약 4분정도 소요되었으며, 그 후 상온까지 냉각되는 시간이 104분정도 소요되어 총 소요된 시간은 130분정도이었다. 성형가능온도인 620℃까지 상부히터블록의 온도가 하부히터블록의 온도보다 미소한 차이로 빠르게 도달함을 보이고 있으나 전체적으로는 거의 유사하게 온도가 상승하고 하강하였다. 평면유리 성형시스템의 온도제어장치는 성형 가능온도 620℃까지 올리고 무부하 유지시간, 평면유리를 누를 때까지의 시간, 평면유리를 누른 후 유지시간 동안 안전하게 성형 가능온도 620℃를 유지한 후 냉각시킬 수 있었다. 따라서 성형시스템의 온도제어장치는 평면유리를 스마트폰의 곡면유리 제조에 있어 안전한 온도 제어할 수 있었다.

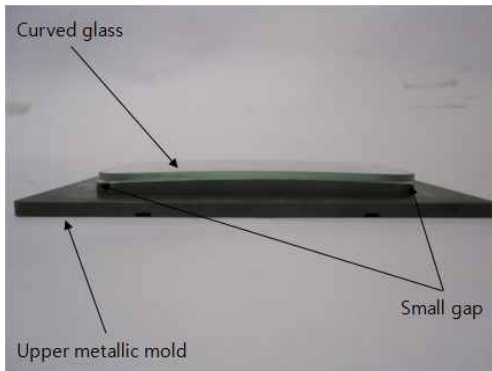
그림 10(a)는 표 2의 6번째 실험조건인 성형 가능온도 620℃에서의 무부하 유지시간이 100s, 평면유리를 누를 때까지의 시간이 50s, 평면유리를 누르는 힘이 500N, 누른 후

유지시간이 50s일 때 성형한 곡면유리를 나타낸 사진이고, 이것은 유리가 깨져 불량이다. 평면유리를 누를 때까지의 시간이 50s 동안의 제어는 금형의 상하면이 접촉할 수 있도록 일정한 속도로 모터를 동작시켰고, 누른 후 유지시간이 50s 동안의 제어를 페루프계를 구성하여 기준힘 500N을 기준으로 오차가 최소로 될 수 있도록 매우 작은 힘을 더하거나 빼는 방식으로 모터를 동작시켰다.

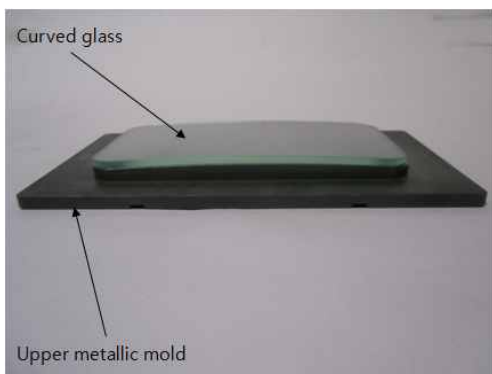
그림 10(b)는 표 2의 5번째 실험조건인 성형 가능온도 620℃에서의 무부하 유지시간이 100s, 평면유리를 누를 때까지의 시간이 60s, 평면유리를 누르는 힘이 500N, 누른 후 유지시간이 45s일 때 성형한 곡면유리를 나타낸 사진이고, 이것은 유리가 완전히 구부러지지 않은 곡률불량이다. 즉,



(a) Breakdown.



(b) Badness.



(c) Good.

그림 10. 상부 금형과 제작된 곡면유리(0N부터 500N의 힘이 가해질 때).

Fig. 10. Upper metallic mold and manufactured curved glass (when the force which is from 0N to 500N is applied to glass).

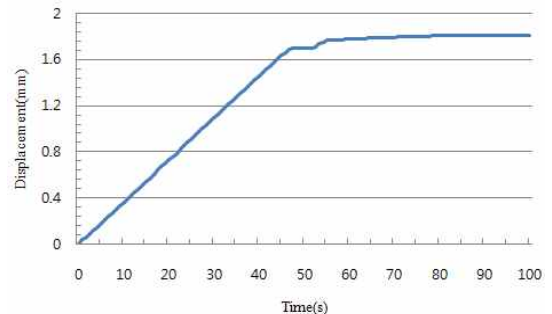
상부금형의 내부 곡률과 곡면유리를 접촉시켰을 때 양쪽 모서리부분이 공차가 있어 덜 구부러진 것이다.

그림 10(c)는 표 2의 3번째 실험조건인 성형 가능온도 620℃에서의 무부하 유지시간이 100s, 평면유리를 누를 때까지의 시간이 60s, 평면유리를 누르는 힘이 500N, 누른 후 유지시간이 50s일 때 성형한 곡면유리를 나타낸 사진이고, 이것은 상부금형의 내부 곡률과 곡면유리를 접촉시켰을 때 일치하므로 우수한 곡면유리이다.

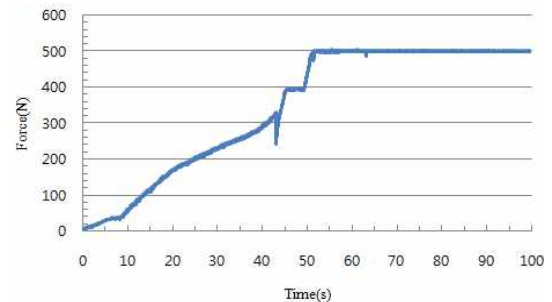
그림 11(a)는 표 2의 6번째 실험조건인 성형 가능온도 620℃에서 100s를 무부하 유지한 후 가압장치의 모터를 제어하여 상하이동블록이 상부금형을 50s 동안 0N에서 500N까지 누른 후, 50s동안 유지하였을 때 유리의 처짐과, (b)는 힘의 그래프를 나타내고 있다.

그림 11(a)의 유리처짐은 1.65mm까지는 직선으로 증가하였고, 그 후 2s정도는 유지한 후 1.8mm까지 다시 직선으로 증가하였다. 가압장치의 제어는 50s 동안에 일정한 속도로 1.8mm의 유리처짐이 발생되도록 수행하였다. 유리처짐이 1.65mm까지 직선으로 증가한 것은 일체로 조립된 상부히터블록과 상하이동블록의 무게에 의한 것이고, 약 2s 동안 일정한 힘을 유지한 것은 상부히터블록과 상하이동장치에 조립된 부분의 미소한 공차가 있어, 그 공차의 길이만큼 이동하는데 시간이 소요되었기 때문이다.

그림 11(b)에서 나타낸 것과 같이 유리에 가해지는 힘은



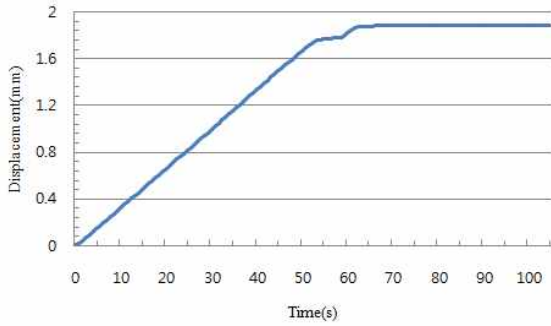
(a) Displacement.



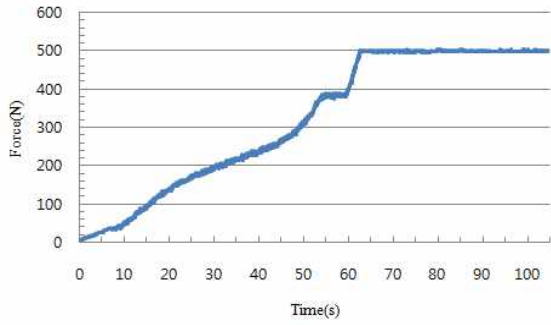
(b) Force.

그림 11. 성형 가능온도 620℃ 특성실험에서 곡면유리의 변위 및 가해지는 힘그래프 (0N부터 500N의 힘이 50s 동안 가하고, 50s 유지할 때).

Fig. 11. Graph of displacement (LVDT value) of glass and applied force in characteristic test at temperature 620℃ (when holding time is 50s after the force which is from 0N to 500N is applied to glass for 50s).



(a) Displacement.



(b) Force.

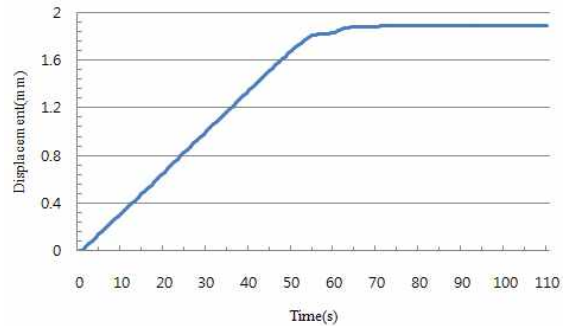
그림 12. 성형 가능온도 620℃ 특성실험에서 곡면유리의 변위 및 가해지는 힘그래프 (0N부터 500N의 힘이 60s 동안 가하고, 45s 유지할 때).

Fig. 12. Graph of displacement (LVDT value) of glass and applied force in characteristic test at temperature 620℃ (when holding time is 45s after the force which is from 0N to 500N is applied to glass for 60s).

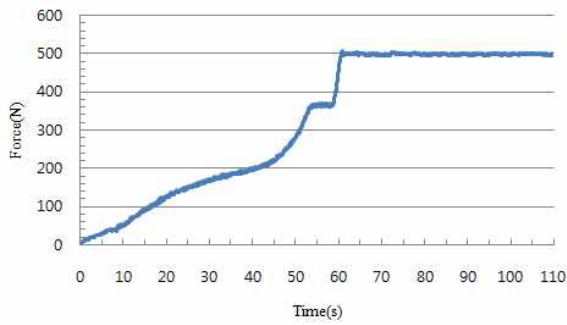
가압장치의 제어로 일정한 속도로 금형의 상부를 누를 때, 즉 상부히터블록과 상하이동블록의 무게가 금형에 누를 때 까지는 곡선으로 증가하고, 힘센서와 상하이동장치가 조립 부분에서 미소한 공차가 있는 구간에서는 일정하게 유지되었으며, 그 이후에는 모터의 힘으로 500N이 될 때까지 늘렸다. 그 후 50s 동안은 유리에 500N이 가해질 수 있도록 안정하게 제어를 실시하였다. 42s 근처에서 힘이 갑자기 하강했다 다시 증가한 것은 유리가 깨졌기 때문이다.

그림 12(a)는 표 2의 5번째 실험조건인 성형 가능온도 620℃에서 100s를 무부하 유지한 후 가압장치의 모터를 제어 하여 상하이동블록이 상부금형을 60s 동안 0N에서 500N까지 누른 후, 45s 동안 유지하였을 때 유리의 처짐과, (b)는 힘의 그래프를 나타내고 있다. 즉, 이들 그래프는 유리가 완전히 구부러지지 않은 곡률분량을 나타낸 것인데, 전체적으로는 특이사항이 없으나 500N을 누른 후 유지시간이 짧아 미소한 복귀현상이 발생한 것으로 판단된다. 이들 그래프는 정상적으로 유리가 성형되는 과정을 나타내고 있어 매우 우수한 곡면유리를 제조하는 모습을 나타내고 있다.

그림 13(a)는 표 2의 3번째 실험조건인 성형 가능온도 620℃에서 100s를 무부하 유지한 후 가압장치의 모터를 제어 하여 상하이동블록이 상부금형을 60s 동안 0N에서 500N까지 누른 후, 50s 동안 유지하였을 때 유리의 처짐과, (b)는 힘의 그래프를 나타내고 있다.



(a) Displacement.



(b) Force.

그림 13. 성형 가능온도 620℃ 특성실험에서 곡면유리의 변위 및 가해지는 힘그래프 (0N부터 500N의 힘이 60s 동안 가하고, 50s 유지할 때).

Fig. 13. Graph of displacement (LVDT value) of glass and applied force in characteristic test at temperature 620℃ (when holding time is 50s after the force which is from 0N to 500N is applied to glass for 60s).

유리의 처짐 그래프인 그림 11~13의 (a)중 최대로 처지는 구간에서 직선이 아닌 것으로 유리가 깨졌다는 것을 판단할 수 있다. 이와 같은 결과로부터 본 논문에서 설계 및 제작한 가압시스템은 곡면유리를 제조할 때, 유리의 깨짐 등을 유리의 처짐과 힘의 그래프를 통해 판단할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 논문에서는 가압장치를 설계 및 제작하였고, 유리성분인 소다석회로 제조된 평면유리의 성형조건을 위한 특성실험을 실시하였다. 특성실험 결과, 성형 가능온도 620℃에서의 무부하 유지시간은 100s 이상, 평면유리를 누를 때까지의 시간은 60s 이상, 평면유리를 누르는 힘은 500N 이상, 누른 후 유지시간은 50s 이상으로 나타났다. 제작된 가압장치는 휴대폰 곡면유리 성형시스템의 성형 가능온도에서 평면유리에 힘을 유연하게 가할 수 있었고, 상하이동블록의 제어를 일정한 속도로 원활하게 수행할 수 있었으며, 유리처짐과 힘 그래프를 통해 곡면유리의 성형상태를 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 그러므로 제작된 가압장치는 휴대폰 곡면유리 성형 시스템에서 평면유리를 성형하는데 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 추후 연구로는 설계 및 제작된 가압시스템을 이용하여 다양한 종류와 크기의 성형조건을 위한 특성실험을 실시할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] K. H. Kuk, G. S. Kim, and D. Y. Jung, "Development of a convective sequential production system for aspheric lens," *Journal of the Korea Society for Precision Engineering*, vol. 28, no. 2, pp. 2002-2010, 2011.
- [2] K. H. Kuk, K. S. Kim, and D. Y. Chong, "Temperature analysis of the production system for aspherical lens and optimization of production conditions," *Proc. of KSPE 2008 Spring Conference*, pp. 51-52, 2008.
- [3] G. H. Kuk, D. Y. Jung, and G. S. Kim, "Development of molding system for manufacturing a small lens and its force control," *Journal of the Korea Society for Precision Engineering*, vol. 25, no. 2, pp. 57-64, 2008.
- [4] D. Y. Jung and Y. H. Lee, "Moulding device of curved glass," The Korean Intellectual Property Office, the Application Number 10-2013-0126308, 2013.
- [5] D. Y. Jung and Y. H. Lee, "Pre-heating device of curved glass moulding device," The Korean Intellectual Property Office, the Application Number 10-2013-0126312, 2013.
- [6] D. Y. Jung and Y. H. Lee, "Moulding device," The Korean Intellectual Property Office, the Application Number 10-2013-0126307, 2013.
- [7] H. J. Shin, J. K. Lee, Y. J. Bang, K. G. Lee, D. Y. Jung, Y. H. Lee, W. J. Chung, and G. S. Kim, "Thermal analysis of molding system for mobile device cover glass," *Proc. of KSPE 2013 Spring Conference*, pp. 765-766, 2013.
- [8] H. J. Shin, J. K. Lee, Y. J. Bang, K. G. Lee, D. Y. Jung, Y. H. Lee, W. J. Chung, and G. S. Kim, "Heat flux conditions for uniform temperature distribution of mobile device cover glass mold," *Proc. of KSPE 2013 Spring Conference*, pp. 763-764, 2013.
- [9] G. S. Kim, H. M. Kim, Y. W. Song, D. Y. Jung, Y. H. Jung, Y. H. Lee, and J. H. Park, "Design of pressurized system for curved glass forming," *Proc. of KSPE 2012 Autumn Conference*, pp. 651-652, 2012.
- [10] G. S. Kim, H. M. Kim, Y. W. Song, D. Y. Jung, Y. H. Jung, Y. H. Lee, and J. H. Park, "Development of force and position measuring system of the pressure system for manufacturing a smart Phone's curved," *Proc. of KSPE 2013 Spring Conference*, pp. 773-774, 2013.
- [11] S. B. Kim, W. J. Chung, D. S. Lee, M. S. Kim, D. Y. Jung, and J. H. Park, "Optimal design of 2.5D glass manufacturing automation equipment's molding transfer unit using TRIZ," *Proc. of KSPE 2013 Spring Conference*, pp. 777-778, 2013.
- [12] ATI Industrial Automation, "Multi-Axis Force/Torque Sensor," ATI Industrial Automation, pp. 4-45, 2005.
- [13] G. S. Kim and J. W. Yoon, "Development of calibration system for multi-axis force/moment sensor and its uncertainty evaluation," *Journal of the Korea Society for Precision Engineering*, vol. 24, no. 10, pp. 91-98, 2007.

## 김 현 민

제어·로봇·시스템학회 논문지 제16권 제9호 참조.

## 홍 태 경

제어·로봇·시스템학회 논문지 제19권 제11호 참조.



## 정 동 연

1997년 경남대학교 기계설계학과(공학사). 2000년 경남대학교 대학원 기계설계학과(공학석사). 2004년 경남대학교 대학원 기계설계학과(공학박사). 2004년~현재 (주)대호테크 연구소장. 관심분야는 유리 열성형 시스템, 로봇 및 자동화 시스템.



## 이 연 형

2013년 경남과학기술대학교 자동차공과(공학사). 2013년~현재 경상대학교 융합과학대학원 기계시스템공학과(공학석사)재학중. (주)대호테크 연구소. 관심분야는 유리열성형 시스템, 자동화장치.



## 박 재 현

2002년 경남대학교 기계설계학과(공학사). 2014년 경상대학교 융합과학대학원 기계시스템공학과(공학석사). (주)대호테크 연구소. 관심분야는 유리열성형 시스템, 자동화장치.

## 김 갑 순

제어·로봇·시스템학회 논문지 제17권 제5호 참조.