

소형렌즈 성형시스템 개발 및 힘제어에 관한 연구

국금환*, 정동연**, 김갑순#

Development of Molding System for Manufacturing a Small Lens and Its Force Control

Gum-Hwan Kuk*, Dong-Yean Jung** and Gab-Soon Kim#

ABSTRACT

This paper describes the development of a small lens molding system for manufacturing the small lens like lens of a cellular phone, a small digital camera and so on. In order to manufacture a small lens, firstly, the raw material for lens with spherical shape should be manufactured by processing a glass material, secondly, the mold inserted the raw material for lens should be heated till its molding temperature in the electric furnace, finally, the small lens is manufactured by applying the force using pressuring control system. In this paper, the small lens molding system with the function of force control and velocity control was developed. It is composed of an electric furnace and its temperature control system, a pressuring control system, a body, and so on. The temperature characteristic test of the electric furnace, the force and velocity characteristic test of the pressuring control system were carried out. It was confirmed that the developed system had good functions for manufacturing a small lens.

Key Words : Small lens (렌즈), Small lens molding system (소형렌즈 성형시스템), Force control (힘제어), Speed control (속도제어)

1. 서론

산업이 발전함에 따라 소형 디지털 카메라, 핸드폰 카메라 등에 소형렌즈(small lens)의 사용이 급속히 증가하고 있는 추세이다. 소형렌즈를 성형하기 위해서는 렌즈재료(유리)를 구형으로 정밀하게 가공하여 렌즈초재를 제작하고, 이 렌즈 초재를 내부가 렌즈형태로 만들어진 금형(mold)에 넣은 후 파괴되지 않을 정도의 가열속도(약 3 °C/s 정도)로

압축하여 성형할 수 있을 정도의 온도(렌즈재료의 전이온도+60 °C)까지 열을 올리며, 렌즈재료(raw material)에 따라 성형에 적당한 힘(실험에 의해 결정됨)을 가하여 렌즈를 성형한다.^{1,2}

소형렌즈를 제작하기 위한 렌즈초재를 정밀하게 가공하는 장치를 렌즈초재 정밀가공기라고 하고, 이것은 렌즈재료인 유리를 절단하고 연마하는 전 과정을 자동으로 처리한다. 그리고 금형 안에 있는 렌즈초재에 열을 가하고 압축하여 렌즈를 제

☞ 접수일: 2007년 7월 4일; 게재승인일: 2007년 12월 3일

* 경상대학교 제어계측공학과

** ㈜대호테크

교신저자: 경상대학교 제어계측공학과, ERI

E-mail: gskim@gsnu.ac.kr Tel. (055) 751-5372

작하는 장치를 렌즈 성형시스템이라고 한다. 이 성형시스템은 렌즈초재가 손상되지 않을 속도로 열을 가하여 압축이 가능한 온도까지 빠르게 상승시켜야 하고, 렌즈초재 성형을 위해 정해진 힘으로 압축하여 소형렌즈를 제작해야 한다.

기존의 렌즈 성형시스템(small lens molding system)¹은 상부히터와 하부히터로 이루어진 직접 접촉식 열전달장치를 이용하여 렌즈초재에 2 개 단계에 걸쳐 열을 가하고, 상부히터, 하부히터 및 공기실린더로 구성된 압축장치에 의해 다시 열을 가한 다음 공기실린더의 압력으로 금형 안에 있는 렌즈초재에 힘을 가하여 렌즈를 압축한다. 그리고 2 개 단계의 냉각장치를 이용하여 성형된 렌즈를 냉각하여 소형렌즈를 제작한다. 이 시스템은 렌즈의 압축장치가 렌즈초재에 항상 일정한 압력으로 누르고 있기 때문에 계속되는 열의 전달에 의해 렌즈초재의 점성이 낮아지고, 이로 인해 렌즈초재가 빠른 속도로 압축되어 제작되므로 렌즈 표면에 흠집, 비틀림 등이 발생하여 제품의 불량률이 높아질 수 있다. 따라서 압축장치가 렌즈초재에 맞는 힘과 속도로 제어되는 시스템으로 구성되어야 한다.

본 연구에서는 렌즈재질에 따라 성형 초기는 일정한 힘으로 성형이 되도록 제어하고, 성형 소재의 점성이 감소하여 속도가 기준 값보다 커지는 시점부터는 일정한 속도로 성형할 수 있는 소형렌즈 성형시스템을 개발하였다. 여러 개의 렌즈초재를 넣은 다축 금형에 열을 가할 수 있는 전기로와 그의 온도 제어장치, 적당한 힘과 속도로 렌즈초재를 누를 수 있는 압축제어시스템, 몸체 등으로 구성되는 소형렌즈 성형시스템을 제작하였으며, 전기로의 온도특성실험 및 압축제어장치의 힘 및 속도 제어특성실험을 실시하였다. 또한 렌즈재질의 전이 온도 특성실험을 실시하였다.

2. 소형렌즈 성형시스템

Fig. 1 은 소형렌즈 성형시스템의 개략도를 나타내고 있으며, Fig. 2 는 여러 개의 렌즈초재를 고정할 수 있는 다축 금형과 그의 고정구를 나타내고 있다. 그리고 Fig. 3 은 본 연구에서 제작한 소형렌즈 성형시스템의 사진을 나타내고 있다. 본 시스템은 전기로와 그의 제어장치(electric furnace and its control system), 압축제어시스템(pressuring control

system), 다축 금형과 그의 고정구(multi-head mold and its fixture), 몸체(frame) 등으로 구성되었다.

이 시스템의 동작은 여러 개의 렌즈초재를 넣은 다축 금형과 그의 고정구를 전기로에 넣고 전기로와 그의 제어장치를 이용하여 열을 가하며, 렌즈제조온도가 렌즈초재에 가해졌을 때 압축제어시스템을 이용하여 렌즈초재를 압축하여 렌즈를 성형한다.

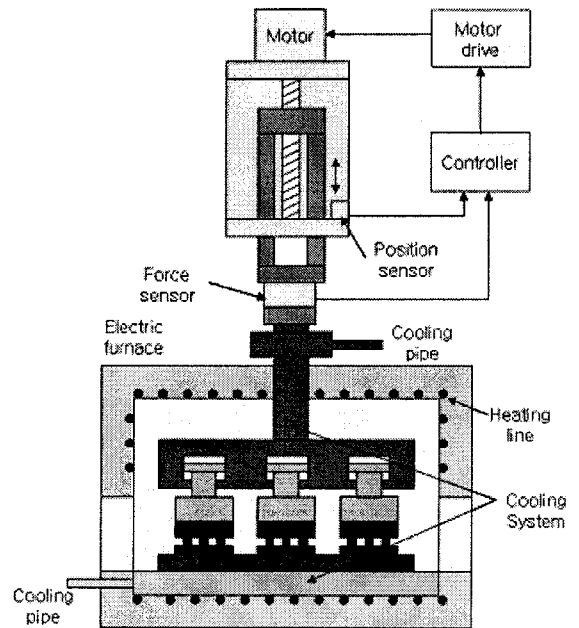


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set up for lens manufacture

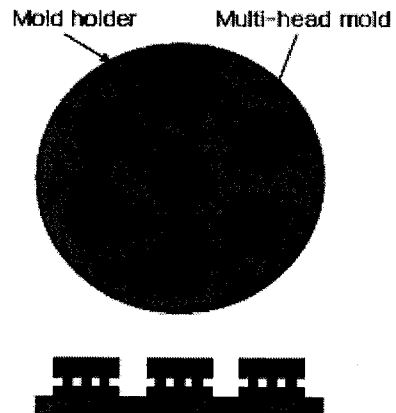


Fig. 2 Multi-head mold and its fixture

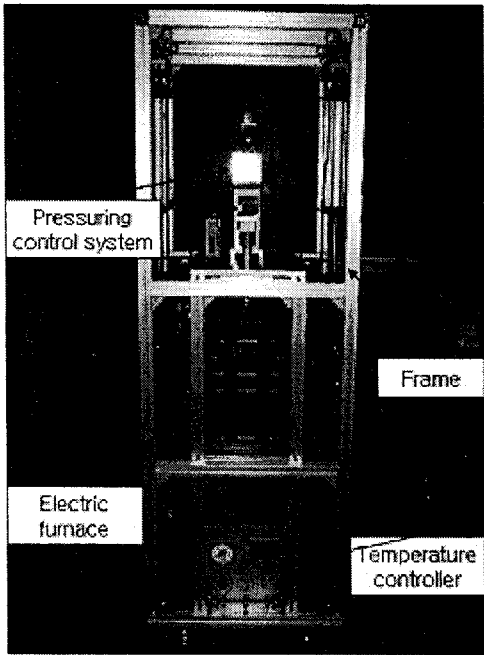


Fig. 3 Photograph of the manufactured small lens molding system

전기로와 그의 제어장치는 전기로(TPR-SERIES), 온도제어장치(LIP550E), 열전대(K1) 등으로 구성되었으며, 전기로는 다축 금형에 들어 있는 다수의 렌즈초재에 열을 가하는데 사용되고 내부의 크기가 200 mm×200 mm×200 mm이며 최대 1000℃까지 온도를 올릴 수 있다. 온도제어장치는 전기로 내부의 온도를 감지하는 열전대(서머커플)와 연결하여 전기로 내부의 온도를 자동으로 제어하고 자동으로 PID의 값을 얻을 수 있는 기능을 가지고 있으며, 열전대는 전기로 내부의 바닥으로부터 20 mm, 벽의 중앙, 벽으로부터 20 mm 떨어진 위치에 고정되어 있고 전기로 내부의 온도를 감지한다.

압축제어시스템은 전기로 및 그의 제어장치에 의해 렌즈초재가 성형될 수 있을 정도의 온도(렌즈재질의 전이온도+60℃)로 가열되었을 때 정해진 힘과 속도(렌즈재료와 크기에 따라 특성실험에 의해 결정됨)로 렌즈초재를 압축하는 역할을 하고, 이 시스템에 대해서는 다음 절에서 자세히 설명한다. 다축 금형과 그의 고정구는 다축 금형은 6개의 렌즈초재를 넣을 수 있고 고정구는 7개의 다축 금형을 고정시킬 수 있도록 되어 있다. 그러므로 한번에 총 42개의 렌즈초재를 넣을 수 있다. 몸체

는 전기로와 그의 제어장치, 압축제어시스템, 다축 금형과 그의 고정구 등을 지지하고 성형된 렌즈를 물로 냉각시킬 수 있도록 되어 있다.

냉각장치는 다축금형의 하부에 위치한 하부판(lower plate)과 상부에 위치한 압축블록(pressuring block)의 내부에 직경 6mm의 물 순환로가 지그체 크형으로 형성되어 있다. 이것들의 물 순환로의 가공은 1/2 두께의 판에 엔드밀을 이용하여 판의 한쪽 면에 지그체크형으로 홈을 가공하고, 내부에 홈이 형성되도록 두 판을 접촉시킨 후 용접하여 한 몸체로 제작되며, 이것을 다시 정확하게 가공하여 완성하였다. 렌즈의 냉각은 다축금형과 그의 고정구의 상하에 접촉되어 있는 압력블록과 하부판의 각각 한쪽 입구로 물이 들어가고 다른 쪽 출구로 물이 나감으로써 냉각되며, 이로 인해 성형된 렌즈들의 열을 낮추므로 이루어진다.

3. 압축제어시스템

압축제어시스템은 성형이 가능한 온도로 가열된 렌즈초재를 힘제어³ 및 속도제어로 소재에 따라 적당량의 힘과 속도로 압축하는 시스템이며, Fig. 4는 소형렌즈 성형시스템의 압축제어시스템, Fig. 5는 압축블록, Fig. 6은 모터 드라이브, Fig. 7은 압축제어시스템의 제어장치, Fig. 8은 제어장치의 증폭기를 각각 나타내고 있다. 시스템은 제어장치가 모터드라이브와 모터에 펄스 제어명령을 내리면 모터의 회전에 의해 압축블록이 하강 혹은 상승하는 기준힘을 기준으로 힘제어와 기준속도를 기준으로 속도제어를 동시에 수행함으로써 가열된 렌즈초재를 재질에 따라 정해진 힘과 속도로 압축하여 성형한다.

압축제어시스템은 직류모터와 감속기(DC motor and reduction gear), 모터 드라이브(motor drive), LM 가이드(LM guide), 압축블록(pressuring block), 힘센서(force sensor), 제어장치(controller) 등으로 구성되어 있으며, 직류모터(제작회사:maxon motor, 모델:RE40), 감속기(제작회사:maxon motor, 모델:GP52C) 및 모터 드라이브(제작회사:maxon motor, 모델:EPOS)는 렌즈초재가 들어있는 금형을 매우 정밀하게 압축하기 위하여 사용하고, 모터제어는 드라이브에 펄스를 입력하여 제어한다. 직류모터는 토크가 2.290 Nm, 용량이 150 W, 전원이 24V이며, 드라이브는 펄스로 모터를 제어할 수

있고 2000 개의 펄스를 입력시킬 때 모터를 1 회전 시키며, 감속기는 81:1, 즉 모터 축이 81 회전하면 감속기의 축은 1 회전한다. 그러므로 162,000 개의 펄스를 모터 드라이브에 입력하였을 때 감속기 축은 1 회전하며, 이것을 1 펄스당 감속기 축의 회전 각도로 나타내면 0.0000061 °/pulse 이다.

LM 가이드(KR3306B)는 수직으로 몸체에 고정되었고, 모터 및 감속기와 연결되어 있으며, 모터의 회전에 의해 압축블록을 수직으로 상하 이동하는 역할을 한다. 이것은 프레임, 볼스크류, 플렉시블 커플링으로 구성되었고, 볼스크류는 피치원직경이 10 mm, 리드가 5 mm 이고 이것에 연결되어 있는 블록은 압축 블록을 고정한다. 압축블록은 렌즈를 성형할 때 다축급형의 상부를 누르는 역할과 성형된 렌즈의 냉각하는 역할을 한다.

힘센서(SB-100L)는 렌즈를 성형할 때 정해진 힘 이상을 가하면 렌즈가 깨지는 경우가 있으므로 그 힘 이상으로 렌즈를 누르지 않도록 힘제어를 하는데 사용되며, 압축블록과 힘전달축 사이에 연결되어 있다. 사용된 힘센서의 정격출력은 2.0002 mV/V, 비직선성은 0.01 %이다.

제어장치(control system)는 모터드라이브와 모터에 명령을 내려 압출블록을 이동시키고 힘센서의 출력을 아날로그값을 디지털값으로 변환하여 입력하며, 이를 이용하여 시스템의 힘제어와 속도제어를 하는 역할을 한다. 이것은 Fig. 7 에 나타낸 DSPF2812 키트(DSP EDUKIT)⁴ 와 Fig. 8 에 나타낸 증폭기로 구분되고, DSPF2812 키트는 DSP (Digital Signal Processing, TI 사 DSP320F2812), 메모리(memory), 증폭기(amplifier), 통신 및 주변장치로 구성되었다. DSP 는 150 MHz 로 동작되고 플래쉬롬에 프로그래밍된 동작 프로그램을 램에 임시로 저장한 상태에서 각각의 명령을 처리하며, A/D 컨버터(12bit), 병렬 인터페이스, 직렬 통신 인터페이스 등을 동작시킨다. A/D 컨버터는 힘센서로부터 출력되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸기 위하여 사용된다. 그리고 병렬 인터페이스는 LCD 에 신호를 주기 위하여 사용되고, 직렬통신 인터페이스는 컴퓨터와 인터페이스하기 위해 사용된다.

증폭기는 힘센서의 출력신호(최대 2.0002 mV/V)인 아날로그 신호를 디지털로 변환할 때 사용되고, 증폭기 IC, 커패시터, 저항 등으로 구성되며, Fig. 8 에 나타내었다. 증폭기 IC 는 아날로그 디바이스사

(Analog Device)에서 제작한 AD627 이고, 저항 R18 을 조절하여 6~1000 배까지 증폭한다.

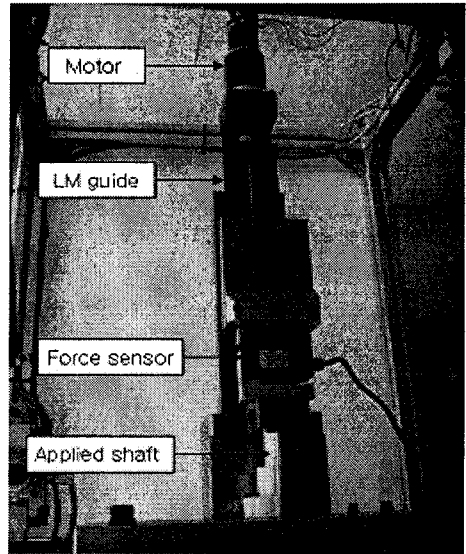


Fig. 4 Pressuring control system of experimental set up for lens manufacture

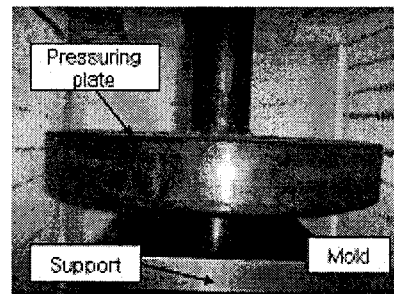


Fig. 5 Pressuring block

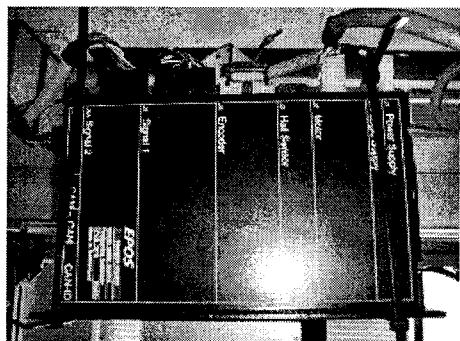


Fig. 6 Motor drive

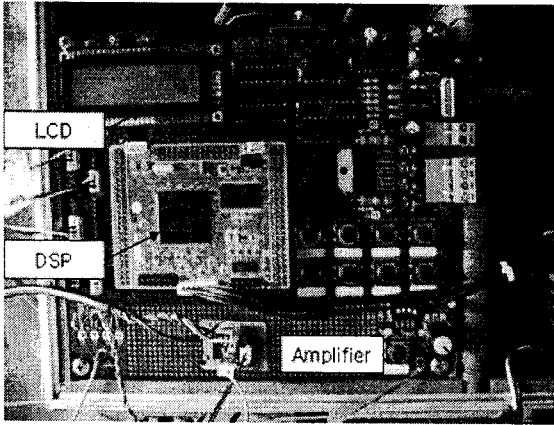


Fig. 7 Controller of pressuring control system

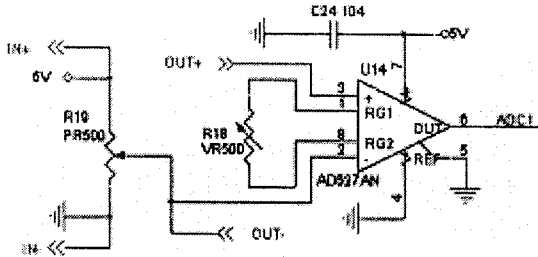


Fig. 8 Electric circuit of amplifier

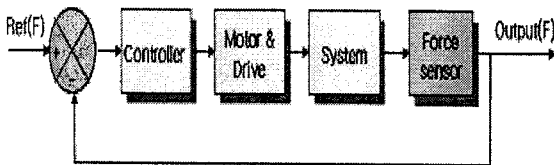


Fig. 9 Controller for pressuring control system

Fig. 8 의 IN+는 힘센서의 +입력단자, IN-는 힘센서의 -입력단자, OUT+는 힘센서의 +출력단자, OUT-는 힘센서의 -출력단자와 각각 연결되고, R19는 힘센서의 영점을 조정하기 위한 저항이며, ADC1는 DSP의 A/D 컨버터 1번과 연결된다는 의미이다. 본 연구에서 제작한 압축제어시스템은 압축블록을 최소 0.0305 um 단계로 상하 이동시킬 수 있으며, 이것은 1 펄스당 감속기 축의 회전각도가 0.0000061 %/pulse 이고 볼스크류의 리드가 5 mm 이기 때문이다.

Fig. 9는 압축제어장치의 제어장치를 나타내고 있다. 고품질의 렌즈를 성형하기 위해서는 렌즈재료의 종류에 따라 정해진 힘(기준힘)으로 렌즈초제

를 누르고, 누르는 속도가 렌즈성형온도에서 정해진 속도(기준속도) 이하이어야 한다. 따라서 제어는 힘제어와 속도제어를 동시에 실시해야 한다. 힘제어는 펄스 하나를 모터드라이브에 입력한 후 힘센서의 값을 입력 받아 기준힘과 비교하여 크거나 작으면 역회전 펄스 혹은 정회전 펄스를 보내 기준힘과 측정힘이 같을 때까지 실시한다. PID 제어, 퍼지제어 등을 사용하지 않고도 이와 같이 간단한 방법에 의해 제어를 할 수 있는 것은 DSP의 속도가 150 MHz로 매우 빠르고 모터 1대와 힘센서 1대만을 구성되는 간단한 시스템이기 때문에 가능하다. 속도제어는 힘제어를 모터드라이브에 하나의 펄스를 입력시키고 힘센서로부터 출력값을 받는 방식이므로 여기에 걸리는 시간을 이용하여 하나의 주기를 만들면 자동적으로 속도제어가 된다. 즉, 여기서 만들어진 주기 이상의 속도로는 제어가 되지 않으므로 다른 방식에 의해 속도제어를 할 필요가 없다.

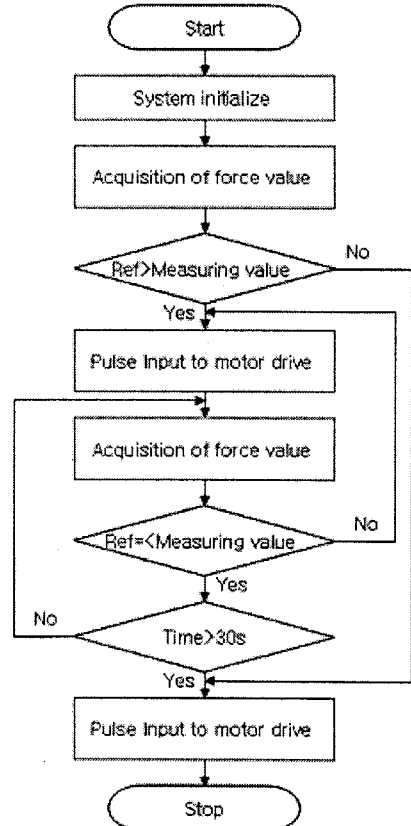


Fig. 10 Flow chart of pressuring control system

Fig. 10 은 제어장치의 제어 흐름도를 나타내고 있다. 우선 시스템의 초기화하고 힘센서로부터 힘 측정값을 읽어 기준값과 비교하여 압축블록이 성형준비 상태인지 아닌지를 확인한다. 그리고 성형준비 상태인 경우 모터드라이브에 펄스를 입력시키고 힘센서로부터 측정값을 읽어 기준값과 비교하여 기준힘으로 다축금형을 누르지 않은 상태인 경우에는 계속하여 힘을 가하는 방향으로 모터를 회전시킨다. 그리고 기준힘으로 30 s 이상 누르고 있었을 경우에는 제어를 마치고 모터를 역회전하여 제어를 종료한다.

4. 결과 및 고찰

4.1 시스템의 특성실험 및 결과

Fig. 11 은 전기로 내부의 온도를 측정하기 위한 실험장치를 나타내고 있고, 온도측정은 전기로 내부와 금형의 내부의 열전달 속도를 알아보기 위해 실시되었으며, 온도측정장치는 3 가지로 구분되어 있다. 첫 번째는 전기로에 부착된 온도측정장치이고 이것은 온도측정기(ST540), 열전대(K1)로 구성되어 있으며, 열전대(온도계)는 정면에서 볼 때 전기로 내부의 좌측면으로부터 20 mm 와 우측면에서 볼 때 중앙에 위치해 있다. 두 번째 온도측정장치는 온도측정기(ST540), 열전대(K1)로 구성되어 있으며, 열전대의 위치는 전기로 내부의 정 중앙에 위치하고 있다. 세 번째 온도측정장치는 온도측정기(ST540), 열전대(K1)로 구성되어 있으며, 초경합금 재질로 가공된 직경 40 mm, 높이 20 mm 인 블록의 정 중앙에 열전대가 위치하고 이 블록은 하부판 위의 정 중앙에 위치해 있다.

온도측정실험은 전기로에 열을 가하기 시작한 후 위에서 설명한 3 개의 온도측정장치로부터 20s 에 하나의 데이터를 각각 취득하여 실시하였다. 실험온도는 상온에서부터 렌즈의 성형온도 근처인 600 °C 까지이다. Fig. 12 는 렌즈성형시스템의 온도 특성실험 결과를 나타내고 있다. 여기서 "Contrl"은 전기로에 부착된 온도측정장치로부터의 측정결과, "Inside"는 전기로의 정 중앙위치 온도측정장치로부터의 측정결과, "Block"는 초경합금 내부 온도측정장치로부터 측정한 결과이다.

전기로 내부의 두 온도는 약 25 분 후에 600 °C 에 도달하였으나 초경합금 내의 온도는 40 분 이상이 소요된 후에 600 °C 에 도달하였다. 이와 같이

온도도달시간이 발생한 것은 전기로의 열이 비접촉식으로 블록에 전달되어 전달속도가 늦고, 또한 블록이 놓여 있는 하부판이 스테인레스강 판(200 mm×200 mm×20 mm)로 제작되었으므로 이 판에도 열의 도달속도가 늦기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 전기로의 정 중앙의 온도와 벽 부근의 온도가 20 °C 정도의 오차를 보이는 것은 벽면으로부터 발생된 열이 정 중앙에 배치된 압축블록, 하부판, 초경합금블록에 전달되기 때문인 것으로 생각된다.

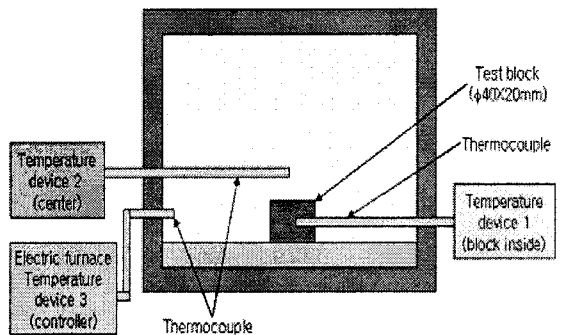


Fig. 11 Experimental set up for temperature measurement

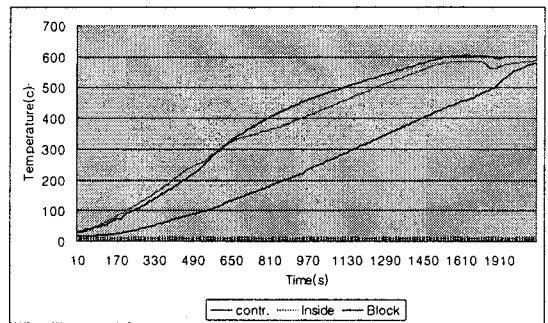
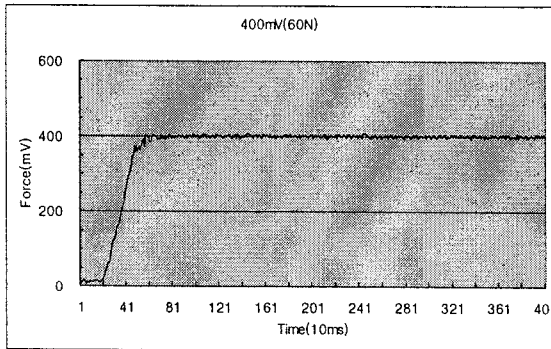


Fig. 12 Results of temperature test of the manufactured experimental set up

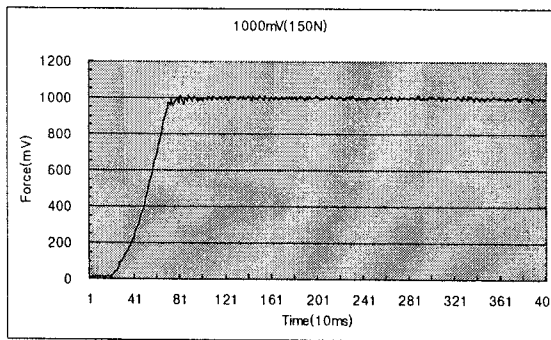
제어장치의 특성실험은 제작된 제어장치를 이용하여 렌즈를 성형할 때 힘제어를 안전하게 할 수 있는지를 확인하기 위해서 실시하였으며 두 개의 기준힘(400 mV, 1000 mV)에서 각각 실시되었다. 그리고 샘플링시간은 10 ms 이다. Fig. 13 의 (a)는 기준힘이 400 mV(60 N)일 때, (b)는 기준힘이 1000 mV(150 N)는 각각 렌즈성형시스템의 제어특성실험 결과를 나타내고 있다. 기준힘값이 400 mV 인

경우에는 상승시간(rising time)이 약 0.3 s, 정상상태의 오차는 5 mV 이내, 오버슈트는 0 이었으며, 기준힘값이 1000 mV 인 경우에는 상승시간(rising time)이 약 0.7 s, 정상상태의 오차는 5 mV 이내, 오버슈트는 0 이었다. 두 특성실험에서 상승시간이 다른 것은 1 개의 펄스를 모터드라이브에 입력하고 힘센서의 값을 측정하여 기준값과 직접비교하는 방법으로 제어하기 때문이다. 이와 같은 제어를 선택한 것은 고품질의 렌즈를 성형하기 위해서는 기준힘 이상의 초과힘을 가하지 않아야 하기 때문이다. 제어특성실험결과 오버슈트 없이 렌즈선형에 적당한 상승시간을 보이고 있으므로 실제 렌즈성형에 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 개발한 소형렌즈 성형시스템은 전기로의 온도도달시간이 40 분이고 다축금형과 그의 고정장치가 한번에 42 개의 렌즈초재를 넣을 수 있으므로 50 분에 42 개의 렌즈를 성형할 수 있을 것으로 사료된다.



(a) Reference value of 400 mV (60 N)



(b) Reference value of 1000 mV (150 N)

Fig. 13 Results of control characteristic test of the manufactured experimental set up

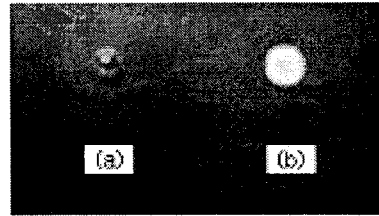


Fig. 14 First processed lens material and manufactured lens

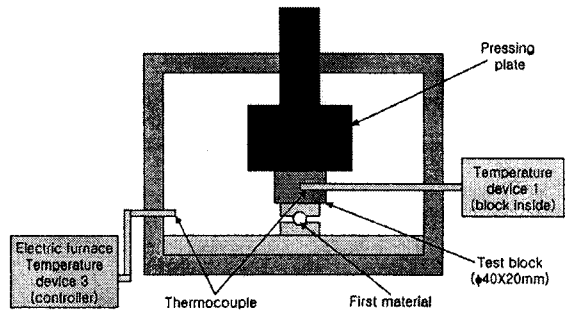


Fig. 15 Schematic diagram of the characteristic test experimental set up for spread temperature of lens material

4.2 렌즈재질의 전이온도 실험결과 및 고찰

렌즈성형을 위해서는 먼저 렌즈초재 정밀가공기를 이용하여 Fig. 14 의 (a)와 같이 직경이 3.94 mm 인 진구형태로 렌즈초재를 가공하고, 이것을 렌즈성형시스템과 렌즈형태로 가공된 1 개 렌즈 생산용 정밀금형을 이용하여 Fig. 14 의 (b)와 같은 렌즈(긴 직경:5.75 mm, 짧은 직경:1.63 mm)를 성형한다. 렌즈를 성형하기 위해서는 렌즈재질의 전이온도+60 ℃가 되도록 가열해야 하는데, 이를 위해서는 렌즈재질의 전이온도를 찾기 위한 특성실험이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 렌즈재질의 전이온도를 찾기 위한 특성실험을 실시하였으며, 그의 실험장치의 개략도를 Fig. 15 에 나타내고 있다. 실험장치는 소형렌즈 성형시스템, 실험블록과 그의 온도측정장치, 1 개 렌즈 생산용 렌즈성형 금형, 렌즈초재 등으로 구성되었다. 소형렌즈 성형시스템은 위에서 설명한 것과 같다. 실험블록과 그의 온도측정장치는 금형내부와 비슷한 온도를 측정하기 위하여 구성된 금형의 재질(초경합금)과 같은 재질로

직경이 40 mm 이고 높이가 20 mm 로 제작하였으며, 사용된 온도계는 열전대(K1)이고 온도측정기는 ST540 이다. 실험순서는 다음과 같다.

- (1)진구형태(직경:3.94 mm)로 가공된 렌즈초재를 금형에 넣는다.
- (2)전기로 내부의 하부판 위의 중앙 위치에 금형을 놓는다.
- (3)금형 위에 열전대가 고정된 실험블록을 놓는다.
- (4)압축제어시스템과 압축블록을 이용하여 실험블록을 150 N 으로 힘을 가한다.
- (5)전기로와 그의 제어장치를 이용하여 1 분에 4 °C 씩 온도를 증가시킨다.
- (6)렌즈초재의 변형이 시작될 때의 온도(전이온도)를 측정한다.
- (7)냉각장치를 이용하여 전기로의 온도를 낮춘다.

위와 같은 순서에 의해 렌즈재질의 전이온도를 측정한 결과 587 °C 이었다. 따라서 실제 렌즈를 생산하기 위해 사용되는 온도는 전이온도보다 60 °C 높은 647 °C 이다. 본 연구에서 제작한 소형렌즈 성형시스템과 1 개 생산용 금형을 이용하여 정확한 크기의 소형렌즈(긴 직경:5.75 mm, 짧은 직경:1.63 mm)를 생산할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 현재 6 개 생산용 다축금형이 개발되지 않은 관계로 본 연구에서 제작한 소형렌즈 성형시스템의 1 회 42 개 생산실험은 추후에 수행할 예정이다.

5. 결론

본 논문에서는 전기로와 그의 제어장치, 압축제어시스템, 다축금형과 그의 고정구, 몸체 등으로 구성되는 소형렌즈 성형시스템을 개발하였다. 렌즈초재에 열을 가하는 전기로의 온도특성실험을 실시한 결과, 렌즈성형 온도 근처인 약 600 °C 까지 약 40 분이 소요됨을 확인하였으며, 제어장치의 제어특성실험결과, 오버슈트 없이 안정된 힘과 속도로 제어할 수 있음을 확인하였다. 그리고 렌즈재질의 전이온도 특성실험결과, 전이온도는 587 °C 이었으며, 이를 근거로 계산한 성형압축온도는 647 °C 임을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 개발한 소형렌즈 성형시스템은 휴대폰 카메라 등에 사용되는 소형렌즈의 렌즈제조 조건분석을 위해 사용될 수 있을 뿐만 아니라 렌즈성형에도 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Dakagikath, A., "Molding method of optical elements and manufacturing system," Republic of Korea Patent, No. 10-0207170, pp. 1-21, 1999.
2. Kim, G. S., Kuk, G. H., Shin, H. J., Kim, H. M. and Jung, D. Y., "Force Control of Small Lens Molding System," Proceeding of KSME Spring Annual Meeting, pp. 1091-1096, 2007.
3. Molina, A. and Santaella, A. R., "Achieving e-Manufacturing: multihead control and web technology for the implementation of a manufacturing execution system," Autonomous Robots, pp. 715-724, 2006.
4. RealSYS, "DSP2812 Kit," RealSYS, pp. 25-198, 2004.