

전도방식 순차제조 비구면 렌즈 제조시스템 개발

Development of a Convective Sequential Production System for Aspheric Lens

국금환^{1,✉}, 김갑순¹, 정동연²

Kum Hoan Kuk^{1,✉}, Gab Soon Kim¹ and Dong Yean Jung²

1 경상대학교 제어계측공학과 (Department of Control and Instrumentation Engineering and ERI, Gyeong-sang National Univ.)

2 대호테크 (Daeho Tech)

✉ Corresponding author: kkh5367@naver.com, Tel: 010-5720-5367

Manuscript received: 2010.8.2 / Accepted: 2010.11.3

The fabrication method of aspheric lens is changed from machining to press molding so as to improve the productivity. In the case of the press molding method, the temperature control of the molding die is most important, because the temperature of each molding die determines the quality of lens. But any practical method for direct measuring of the lens temperature and the die internal temperature is yet unknown. Besides, in the case of the press molding system in which the heating and pressing and cooling of a die is done at separate work stations, the lens productivity of the system for small lens is yet too low. The paper shows an improved structure of convective sequential system, the lens productivity of which is three times as many as the conventional convective system. To know the die internal temperature, numerical results are given using ANSYS. A new convective sequential system is developed and tested. Finally, the Taguchi method is applied in order to optimize the setting conditions of individual work station of the system.

Key Words: Aspheric Lens (비구면 렌즈), Press Molding (프레스 성형), Sequential Production (순차제조), Convective Method (전도 방식), Radiant Method (복사 방식)

1. 서론

고화소용 비구면 렌즈는 고화소 휴대폰·카메라, 레이저 프린터, 프로젝터의 성능을 좌우하는 필수 요소이다. 비구면 렌즈는 렌즈 소재에 따라 크게 플라스틱과 글라스(Glass)로 나눌 수 있다. 플라스틱 렌즈의 장점은 재료비가 저렴하고 대량생산에 적합하다는 점이지만, 글라스 렌즈에 비해 흠이 생기기 쉽고 굽절률이 낮다. 비구면 글라스 렌즈 3 개는 플라스틱 렌즈 7 개의 효과를 낼 수 있다.

다양한 형상의 광학 렌즈를 프레스 성형방식으로 제조하기 위해서는 충분한 강도를 갖는 금형재료기술, 고정밀 금형가공기술,^{1,2} 정밀 프레스 성형

기술, 고정도 렌즈 형상·결함 측정기술³ 등이 요구된다. 그 동안 국내에서 렌즈나 금형 자체의 설계에 대한 연구는 있었으나, 일본으로부터 렌즈 성형용 시스템 자체의 전량 수입으로 성형 시스템 자체의 설계 및 개발에 대한 연구는 없었다.⁴

글라스 렌즈를 프레스로 성형하는 방식은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나의 작업단(Work Station)에서 렌즈 초재의 예열·압축·냉각이 모두 이루어지는 집중제조 방식과 초재의 예열·압축·냉각을 독립된 개별 작업단에서 순차적으로 수행하는 순차제조(Sequential Production) 방식이다. 집중제조 방식은 비교적 큰 글라스 렌즈의 성형에 적합하지만, 소형 렌즈 제조 시 순차제조 방식에 비해 사이클 타임이 너무 길다는 단점이 있다.

프레스 성형 작업의 경우 성형직전 렌즈 초재(구형 Glass 소재)를 일정온도까지 서서히 올려야 (예열) 하고, 성형(금형 압축)시 일정 온도를 유지한 후 일정온도까지 서서히 내려야(냉각) 한다. 이 온도설정 값들이 렌즈 품질을 좌우하기에 렌즈 초재에 인접한 금형 영역이 설정된 균일한 온도 분포를 가져야 한다. 그러나 상하 금형 코어와 금형 블록으로 둘러싸인 렌즈 초재의 온도를 직접 측정하는 것은 불가능하고 금형 자체 내부영역의 온도 분포 측정 역시 어렵다.

본 논문에서는 먼저 기존 렌즈 제조방식들의 장단점을 분석하여 하나의 고 생산성 순차제조 비구면 렌즈 제조방식을 결정하고, 이에 적합한 렌즈 제조시스템 구조를 제시한다. 나아가 열전달 수치해석결과를 활용하여 렌즈 금형 내부의 이상적인 대칭형 온도분포를 얻기 위한 방법을 제안한다. 또한 가열블록에서 렌즈 금형으로의 열전달 효율을 높이기 위한 가열블록 자세의 미세조정법을 보인다. 끝으로 개발한 전도방식 순차제조 비구면 렌즈 제조시스템의 주요 성능실험결과를 보이고, 다구찌기법을 적용하여 실제 현장적용 시 불량률 최소화를 위한 최적 제조조건을 제시한다.⁵

2. 렌즈 제조방식 결정과 제조시스템 구조

2.1 렌즈 제조방식 결정

기존 비구면 렌즈 제조방식은 렌즈 초재를 내장한 금형에 열에너지를 전달하는 방법에 의해 크게 전도방식과 복사방식 두 가지(Table 1)로 나눌 수 있다. 이 중 Matsushita(Panasonic) 방식⁶은 순차제조 방식이고, Toshiba 방식⁷은 집중제조 방식이다. 두 방식 모두 1999년에 국내 특허 출원되었으나 2009년에 소멸되었다. 두 방식에 대한 기술장벽은 제거되었으나 국내에서 신규 개발하는 렌즈 제조시스템은 브랜드 가치의 열세로 기존 제조시스템과 비교하여 경쟁력을 갖기 위해서는 생산성을 획기적으로 높이거나 시스템 가격을 절반 이상 낮추어야 한다.

본 연구를 통해 국내에서 신규 개발할 렌즈 제조시스템(Daeho Tech 방식⁴)의 경우 전도방식과 복사방식을 별도로 적용하여 비교하기로 하였다. 개발할 두 시스템의 핵심 차별화 방안은 기존 시스템에 비해 생산성을 3배 이상(3배: 1단계, 6배: 2단계) 높이는 것이다. 물론 생산성을 높이기 위해서는 이러한 렌즈 제조시스템뿐만 아니라 동시에

6개·12개 렌즈 생산이 가능한 렌즈 금형이 함께 개발되어야 한다. 이곳에서는 개발한 두 방식의 시스템 중 전도방식 렌즈 제조시스템에 한정하여 기술하고자 한다.

Table 1 Comparison of lens fabrication method

	Daeho Tech		Matsushita	Toshiba
Die Heating	Conduction	Radiation	Conduction	Radiation
Pressing Actuator	Servo Motor/ Pneumatic Cylinder	Pneumatic Cylinder	Pneumatic Cylinder	Servo Motor
Die Handling In Chamber	Pneumatic 3 Axis Robot	Steel Wire Conveyor	Pneumatic 3 Axis Robot	Electric 6 Axis Robot
Number of Lens per Cycle Time	6(1st step)/ 12(2nd step)	6(1st st.)/ 12(2nd st.)	2	1
System Price	Medium	Low	Medium	High

2.2 렌즈 제조시스템 구조

Table 1 내용을 기초로 설계한 전도방식 렌즈 제조시스템 구조(시스템 제어기를 제외한 챔버 본체)는 Fig. 1과 같다. Matsushita 시스템과는 달리 챔버와 제어기가 일체형이기에, 전체 시스템을 하나의 커버로 밀폐시켜 작업장 청정도(Clean Class)를 높여 렌즈 불량률을 보다 낮출 수 있다.

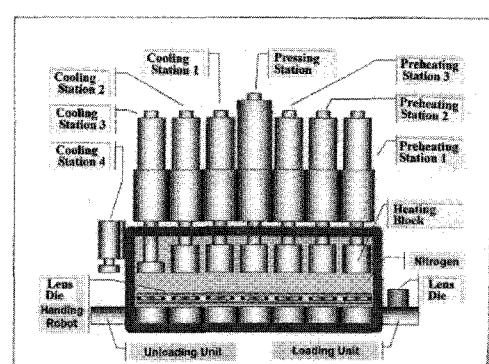


Fig. 1 Structure of lens production system

제조시스템(Fig. 1)을 구성하는 개별 작업단 구조는 거의 유사하며, 구체적으로 Fig. 2와 같다. Fig. 2 상부 그림의 A는 렌즈 금형(C) 상부 가열블

록이고, B 는 렌즈 금형(C) 하부 가열블록이다. Fig. 2 하부 그림은 렌즈 금형 상부 가열블록(A) 구조를 보다 구체적으로 보인 것이다.

7 개 작업단 중 중간위치의 렌즈 압축단에만 2 가지 액츄에이터(1 단계 개발 시에는 서보 모터, 2 단계 개발 시에는 특수 공압 실린더)를 적용하였다. 그 이유는 서보 모터의 정밀 힘제어에 의한 불량률 감소 효과가 서보 모터 자체 진동에 의한 렌즈 불량률 증가보다 작았기 때문이다.

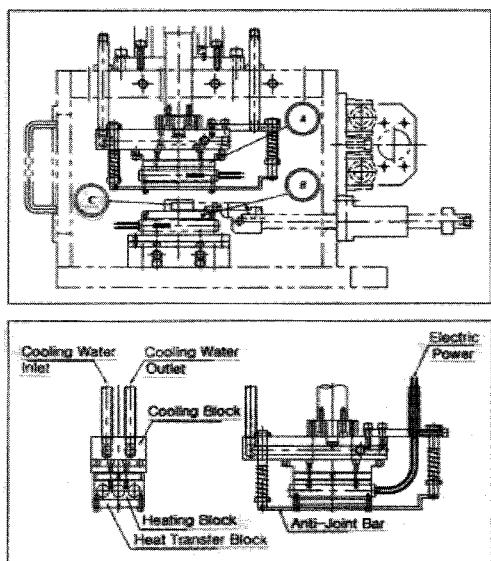


Fig. 2 Work station structure

렌즈 제조시스템은 고품질 렌즈 성형을 위해 위와 같이 금형 상하부로부터 렌즈 금형에 대칭으로 열에너지를 공급해야 하지만, 금형 가열블록의 열에너지가 챔버 케이스나 챔버 내 액츄에이터로 전달되는 것을 막아야 한다. 이를 위해 냉각수 순환라인(Fig. 3)을 모든 가열블록과 챔버 케이스에 내장시켰다. 또한 고온에 의한 챔버 내부 요소들의 산화를 방지하기 위해 챔버 밀폐성을 높이고 질소 가스를 계속 공급하였다.



Fig. 3 Heat shielding system

3. 렌즈 금형의 온도분포 해석

순차제조 렌즈 제조시스템에서 한 사이클 타임에 6 개(1 단계)/12 개(2 단계) 렌즈를 동시 성형하기 위하여 설계한 금형 형상은 Fig. 4 와 같다. 12 개 동시 성형 금형의 경우, 금형 내부에 상·하 코어를 배치하는 방법은 원주를 따라 등 간격으로 12 개를 배치하는 방식(금형 탑입 A: Fig. 4 상부)과 금형 내부에 4 개 원주를 따라 8 개를 배치하는 방식(금형 탑입 B: Fig. 4 하부)이다.

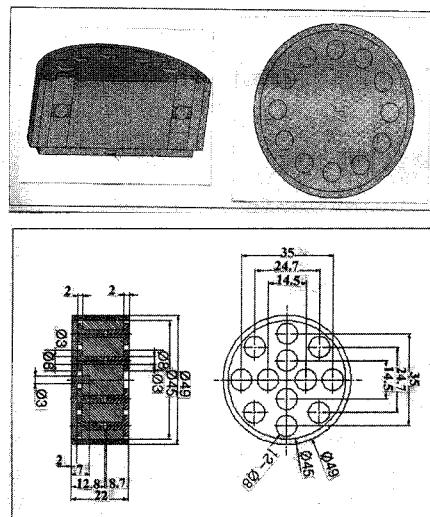


Fig. 4 Lens die

렌즈 금형의 열전달 해석을 위해 대칭성을 이용하여 금형 탑입 A 의 경우 1/24 솔리드 모델을, 금형 탑입 B 의 경우 1/8 솔리드 모델을 이용하였다. 또한 열전달에 크게 영향을 주지 않는 금형 측외곽 케이스 상부 내측에서 금형 블록 쪽으로 돌출한 림 형상을 제거하였다.

수치해석할 일반적인 비선형 과도상태 열전달 방정식은 다음과 같이 정상상태 식에 과도상태를 반영하는 첫 항이 추가된다.

$$[C(T)] \{T'\} + [K(T)]\{T\} = \{Q(T,t)\} \quad (1)$$

$[C(T)]$: 비열 행렬,

$[K(T)]$: 열 전달률 행렬,

$\{Q(T,t)\}$: 열 유동률 벡터,

$\{T\}$: 노드 온도 벡터, $\{T'\}$: $\{T\}$ 의 변화률.

3.1 열접촉 저항의 모델링

두 개의 고체 면이 접촉하고 있을 때 접촉면의 표면 거칠기로 두 면 사이에 공기나 유막이 채워진다. 이러한 접촉의 불완전으로 접촉된 양면의 온도가 다른 경우 열접촉저항이 존재한다. 상기 금형의 경우 챔버 하부 가열블록과 렌즈 금형 밑면 사이의 열 접촉저항, 챔버 상부 액츄에이터 축 끝에 부착된 가열블록과 렌즈 금형 윗면 사이의 열 접촉저항, 금형 내부 요소들(렌즈 초재, 상·하 코어, 금형 블록, 금형 케이스, 금형 베이스) 사이에 열 접촉저항이 존재한다.

ANSYS에서 열접촉 저항을 모델링하기 위해 conduction-convection LINK 요소, effective 요소를 이용하는 세 가지 방식이 가능하다.⁸ 2 차원 모델과 달리 3 차원 모델의 경우, 모델 구성 요소를 개별적으로 메싱(meshing)한 후 육안으로 확인하며 모델 구성 요소들 사이의 접촉면들 위에 생성된 수 많은 절점 번호들을 대응위치 절점번호와 일일이 연결시켜주는 작업은 많은 시간이 소요될뿐더러 작업 오류 발생 가능성도 크다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Fig. 5 와 같이 금형 요소들 사이의 열접촉저항을 일정 두께 접촉부로 모델링한 후, 이 미소 두께 접촉부의 열전도 계수에 반영시키는 방법을 이용하였다.

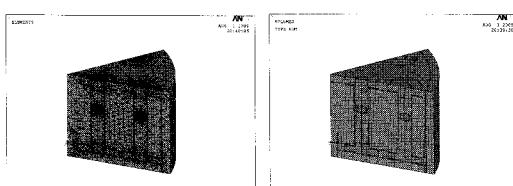


Fig. 5 Modeling of heat transfer resistance at surface contact

이를 통해 동일한 요소타입을 사용하여 모든 금형 구성요소와 접촉부들을 한 번에 메싱할 수 있으므로 메싱작업을 보다 신속히 수행할 수 있다.

3.2 두 금형 타입의 온도분포 해석

3.2.1 금형 타입 A의 온도분포

챔버 내 각 금형의 온도분포 해석을 위해 고려해 주어야 하는 경계조건으로, 먼저 각 작업단에서 금형 상하 표면에 직접 접촉하는 가열블록과의 전도 열전달을 모델링하기 위해 가열블록과 직접 접촉하는 금형 상하 표면에 일정온도(가열블록 온도가 제어기를 통해 일정 온도로 제어됨을 가정)

구속조건을 부여하였다.

또한 챔버 내 기체를 통한 대류 열전달 현상을 고려해 주었다. 렌즈 금형 자체의 경우 모든 구성 요소(금형 자체의 구성 요소인 상하 코어, 블록, 케이스, 베이스, 렌즈 초재, 이를 요소들 간의 접촉부)간의 전도 열전달 현상을 모델링 하였다. 수치해석을 위해 적용한 요소 타입은 블럭 형태 8 개 노드를 가진 3 차원 SOLID70이고, 각 재료의 열전도계수는 Table 2 와 같다.

Table 2 Thermal conductivity

Element	Thermal Conductivity(K) joul/(sec*Mm*°C)
Glass Lens	1.22E-3
N ₂ in Chamber	0.739E-3
Die (Upper,Lower,Block,Case,Base)	3.6E-3
Interface between Die Base and Lower Core	0.739E-3
Interface between Upper-Lower Core and Die Block	1.812E-3
Interface between Die Block and Die Case	1.097E-3

Fig. 6 은 렌즈 금형의 정상상태 온도분포 해석 결과이다. 해석을 위해 금형 전체의 초기 온도를 25° C, 가열블록과 직접 접촉하는 금형 상하 표면을 600° C로 지정하였다. 금형 내부 온도분포 중 최고 온도는 가열블록과의 접촉부에서 600° C이고, 최저온도는 금형 윗면 중심부에서 212° C이다. 이러한 온도분포는 금형이 가열블록을 통해 얻은 열에너지를 챔버 내 대류를 통해 주변 기체에

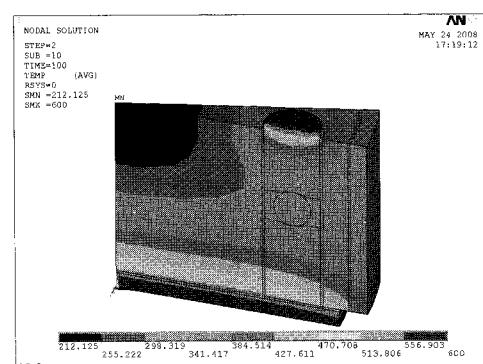


Fig. 6 Temperature distribution of the die type A

계속 빼앗기고, 챔버 내 기체가 갖는 열에너지는 챔버 벽을 통해 대기 중(혹은 챔버벽 내 냉각수)에 방출됨에 기인한다. 렌즈제조 시 가장 중요한 렌즈 초재의 온도는 $298\sim342^\circ\text{C}$ 임을 알 수 있다.

Fig. 7 은 Fig. 6에서 금형 내부 렌즈초재의 시간에 따른 온도변화(과도상태)로서, 렌즈 초재 온도는 100sec(목표 Cycle Time 이내)에 300°C 이며 렌즈 초재온도는 시간에 거의 직선비례하며 상승함을 알 수 있다. 이 결과를 통해 렌즈초재 온도 상승률을 허용범위 내에서 렌즈초재 온도상승률을 최대로 하는 것이(즉, 금형 상·하부 가열블록 온도를 상승시켜) 시스템 cycle time 을 단축하는 하나의 방법임을 알 수 있다.

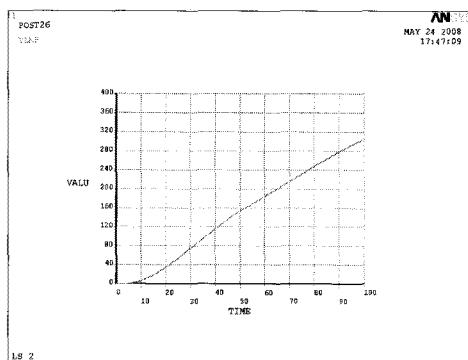


Fig. 7 Temperature variation at the lens center

Fig. 8 은 금형 전체의 초기 온도를 400°C 로 설정하고, 나머지는 동일한 조건에 대한 해석결과이다. 금형 최저온도는 렌즈 금형 윗면 중심부에서 470°C 로 앞의 경우에 비해 많이 상승했고, 렌즈초재 온도 역시 $499\sim513^\circ\text{C}$ 로 크게 상승했음을 알 수 있다.

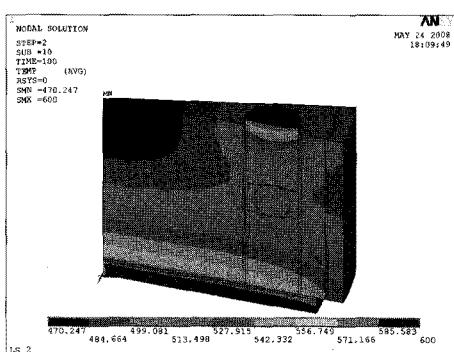


Fig. 8 Temperature distribution of the die type A

이를 통해 순차제조방식 시스템의 경우, 예열과 냉각 단을 2~3 개로 분할하여 각 단에서 작은 양(온도차)씩 순차적으로 온도를 올리고 냉각하는 것을 통해 전체 시스템 cycle time 을 줄일 수 있다.

현재 취급 중인 렌즈 초재 소재의 경우, 압축(성형) 단에서 일정 온도(597°C) 이상 600°C 이하 온도로 제한하고 있다. Fig. 9 는 가열블록과 직접 접촉하는 금형 상하 표면을 795°C 로 설정한 경우에 대한 수치 해석 결과로서, 해석 결과를 통해 렌즈 초재 온도를 100sec 에(Cycle Time 을 늘이지 않고) 정확히 600°C 로 제어할 수 있음을 보인다. 또한 초재 압축 직전 렌즈 초재를 중심으로 상하 대칭에 가까운 온도 분포를 얻는 것이 렌즈 품질향상에 중요한 경우에는 상부 가열블록의 온도를 하부 가열블록 온도보다 약간 높게 제어하거나 금형 상코어 윗면에 플랜지를 붙여 접촉 면적을 키워야 함(금형 타입 B)을 알 수 있다. 그리고 각 작업단의 렌즈온도를 일정하게 제어하기 위해서는 각 작업단의 온도제어뿐만 아니라 챔버 내부온도 역시 일정범위 내로 제어해야 함을 알 수 있다.

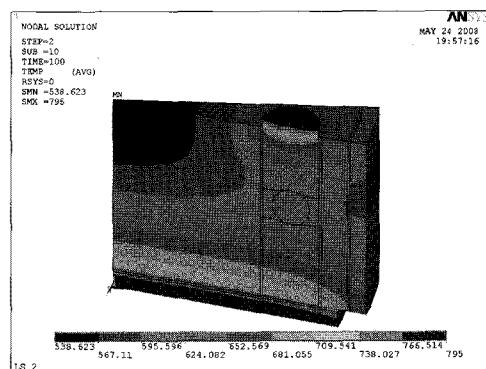


Fig. 9 Temperature distribution of the die type A

3.2.2 금형 타입 B의 온도분포

Fig. 10 은 동일한 열적 물성치에 대한 정상상태 온도분포 해석결과이다. 해석을 위해 챔버 내부 질소 온도를 400°C , 가열블록과 직접 접촉하는 상부코어 표면뿐만 아니라 그 외 금형 상부 표면을 모두 600°C 로 지정하였다. 금형 내부 온도분포 중 최고 온도는 가열블록과의 접촉부에서 600°C 이고, 최저온도는 금형 외곽 측면에서 595°C 이다. 정상상태에서 외곽 렌즈 초재의 온도는 597°C 로서 가열블록 온도보다 약 3°C 정도 낮다. 즉

가열블록 온도를 직접 제어하여 렌즈 초재 온도를 비교적 정확히 제어할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 내부 렌즈 초재의 온도는 598°C 로 외곽 렌즈 초재보다 1°C 높다. 따라서 1°C 정도까지 온도제어가 요구되는 렌즈 초재 소재의 경우, 금형 타입 B를 적용할 수 없다.

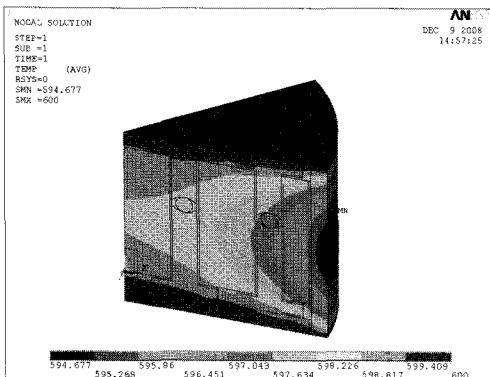


Fig. 10 Temperature distribution of the die type B

Fig. 11은 바로 위 경우에 대한 외곽 렌즈 초재의 시간에 따른 온도변화로서, 렌즈 초재 온도는 100sec(목표 Cycle Time 이내)에서 400°C 이며 렌즈 초재 온도는 금형 타입 A에 비해 비선형으로 상승함을 알 수 있다.

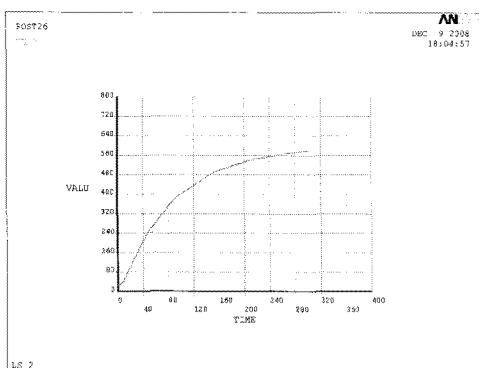


Fig. 11 Temperature variation at the lens center

4. 가열 블록 자세의 미세 조정

금형 상부 가열블록은 공압 실린더 피스톤 축(실린더 한쪽 끝 단 사각 블록 B에 의해 가이드됨)에 직결되어 있으며(Fig. 12), 공압 실린더 사각 블록 B는 챔버 케이스 외면에 볼트로 고정되어

있다. 현재 숙련자가 상부 가열 블록 A의 위치·자세를 미세 조정하기 위해 공압 실린더 사각 블록 B 네 곳의 볼트 체결 부위(블록 B 밑면 네 모서리)와 챔버 케이스 사이에 일정 두께의 얇은 스페이서(두께 0.01~1mm)를 추가로 삽입하는 방법을 사용하고 있다.

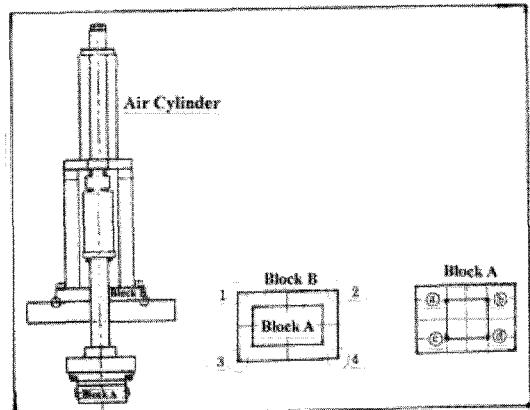


Fig. 12 Upper heating block and air cylinder

이 경우 스페이서를 삽입할 볼트 체결 부위와 삽입할 스페이서 두께를 결정하는 것이 모두 경험에 의해 이루어지기야, 원하는 가열블록 A의 위치·자세를 얻을 때까지 통상 많은 시행착오를 요구한다. 스페이서 삽입에 의한 가열블록 위치·자세의 미소 변화를 수학적으로 근사 계산하면 이러한 시행착오를 줄일 수 있다.

실린더 끝 단 사각 블록 B(블록 B 밑면 네 개 모서리 점 위치 1, 2, 3, 4)의 위치·자세 변화에 대한 가열블록 A(블록 A 밑면 네 개 내부점 위치 ①, ②, ③, ④) 밑면 내부점 ④의 새로운 위치(C^1P_d)는 균질 변환 행렬 $T(4 \times 4)$ 을 이용하여 다음과 같이 수학적으로 모델링을 할 수 있다.

$$C^1P_d = C^1_{C2}T \cdot C^2_{B2}T \cdot B^2_{B1}T \cdot B^1P_d \quad (2)$$

C^1P_d : 블록 A 밑면 내부점 ④의 좌표계 {C1}에 대한 위치벡터(가변)

B^1P_d : 블록 A 밑면 내부점 ④의 좌표계 {B1}에 대한 위치벡터(불변)

{B1} : 초경블록 밑면 중앙에 부착한 좌표계

{C1} : 챔버 케이스 윗면에 부착한 좌표계, 스페이서를 삽입하지 않았을 때 좌표계{B1}과 겹침

{B2} : 초경블록 모서리 1에 부착한 좌표계

{C2}: 챔버 케이스 윗면에 부착한 좌표계, 스 페이서를 삽입하지 않을 때 좌표계 {B2}와 겹침

5. 렌즈 제조시스템의 성능시험

개발한 순차제조 전도방식 비구면 렌즈 제조시스템의 성능시험결과는 Table 3 과 같다.

Table 3 Specifications of developed system

Test Items	Specifications	Test Method
Cycle Time	100 (sec)	Test Run
Pose Repeatability	± 1 (μm)	ISO9283
Deviation of Axis Z from a Right Angle	± 1 (μm)	ISO9283
Deviation of Heating Block Surface from a Plan	± 1 (μm /50mm)	ISO9283
Temp. Deviation of Heating Block Surface	± 2 ($^{\circ}\text{C}$)	Test Run
Oxygen Density in Chamber	3 (ppm)	Test Run

성능시험 항목 중 히터블록 온도를 정밀 제어하기 위해 카트리지 히터를 이용하여 1°C 씩 제어하였다. 또한 개별 온도 제어기는 PLC 와 RS-485 를 통해 제어하였다(Fig. 13).

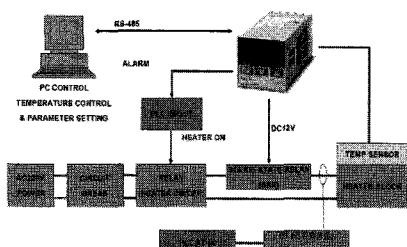


Fig. 13 Temperature control structure

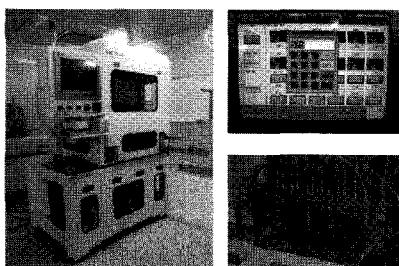


Fig. 14 Developed system

개발한 시스템(Fig. 14)은 기구부와 제어기 일체 형이며 터치방식으로 제어된다.

6. 렌즈 최적 제조조건 결정

6.1 렌즈 불량과 제조조건

고정도 양품 렌즈를 높은 생산성으로 제조하기 위해서는 금형 자체의 높은 가공정도 뿐만 아니라, 전체 제조공정을 구성하는 예열·압축·냉각 각 개별 공정에 요구되는 소요시간과 금형 온도·압축력의 상관관계를 만족시킬 수 있는 정밀한 금형 온도제어와 렌즈 압축력 제어가 요구된다.

현재 렌즈 불량과 렌즈 제조조건의 명확한 상관관계를 파악할 수 없고 신뢰할 수 있는 충분한 렌즈 제조관련 정보(통상 렌즈 제조회사의 경우 대외비로 취급)도 없기에, 렌즈 생산성을 높이고 동시에 렌즈 제조 조건에 의존하는 불량률을 낮추기 위해서는 오직 많은 실험(시행착오)을 통해 최적 제조조건을 구해야 한다. 최소 횟수 실험으로 최적조건을 구하기 위해 실험계획법 중 하나인 다구찌(Taguchi) 방법을 적용할 수 있다.

6.2 다구찌 방법에 의한 최적 제조조건 결정

다구찌 방법의 주요 단계별 작업은 Table 4 와 같다. 12 개 동시제조 금형을 적용하면 6 개 동시 제조 금형을 적용할 때보다 보다 높은 불량률이 예상된다. Table 4 에서 렌즈 불량률을 최소화(신호대 잡음비(SN 비)를 최소로 하는 망소 문제)를 위한 최적 제조조건을 찾기 위해 입력한 예상 실험 결과 중 불량률 데이터는 현 6 개 동시 제조시의 불량률 4.6%를 기준으로 결정하였다.

7. 결론

본 논문에서 하나의 고생산성(3 배 이상) 전도방식 순차제조 비구면 렌즈 제조시스템 개발 내용을 제시하였다. 구체적으로 기존 렌즈 제조시스템들을 분석하여 새로운 시스템의 사양과 구조를 결정하여 구현하였다. 또한 금형 개발 측면에서 효율적 열전달과 균일한 온도분포를 얻기 위해 금형 상코어 접촉면을 키워야 함을 알 수 있었다. 끝으로 개발한 렌즈 제조시스템을 현장에 적용하여 고생산성(3 배 이상)을 얻으면서도 수반되는 렌즈 불량률 상승을 억제하기(불량률 최소화) 위해 다구찌 방법을 적용하여 각 작업단의 최적온도 및 최적압

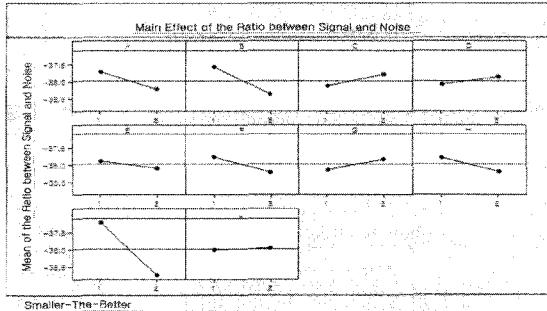
축력을 결정하였다. 이미 개발한 시스템을 좀더 개선하여 국내 카메라 품용 렌즈 제조업체와 관련 중국 업체에 공급·운전함으로써 시스템의 작동안정성이 입증되었다. 향후 풍부한 실제 렌즈 제조 관련 정보를 토대로 렌즈 제조조건과 렌즈 불량률의 상관관계를 밝히고 비구면 렌즈 품질검사 자동화 시스템을 추가 상품화할 계획이다.

Table 4 Work step of Taguchi method

Step	Work
Parameter Selection	<ul style="list-style-type: none"> Control parameter(10 elements, 2 levels): <ul style="list-style-type: none"> A: temp. of heating station 1(250°C, 300°C); B: temp. of heating station 2(400°C, 450°C); C: temp. of heating station 3(500°C, 550°C); D: temp. of pressing station (590°C, 610°C); E: temp. of cooling station 1(450°C, 500°C); F: temp. of cooling station 2(300°C, 350°C); G: temp. of cooling station 3(200°C, 250°C); H: press. force of pressing station(100Kgf, 120Kgf); I: press. force of cooling station 1 (50Kgf, 60Kgf); J: press. force of cooling station 2(30Kgf, 40Kgf) Noise parameter(1 element, 2 levels): <ul style="list-style-type: none"> N1, N2(die state: good, bad) Present conditions: A₁B₁C₂D₁E₁F₁G₁H₂I₁J₂ A(250°C), B(400°C), C(550°C), D(590°C), E(450°C), F(300°C), G(200°C), H(120Kgf), I(50Kgf), J(40Kgf)
Experiment Design	<ul style="list-style-type: none"> L₁₂(2¹¹) type of orthogonal matrix Internal side: experiment for two levels of control parameter External side: experiment for two levels of noise parameter
Experiment Execution	<ul style="list-style-type: none"> Defect: number of defective elem. per 1000 lens Recording all experi. results in orthogonal matrix
Optimum Conditions	<ul style="list-style-type: none"> SN ratio and average Optimum condi.: A₁B₁C₂D₂E₁F₁G₂H₁I₁J₂ (Table 5)

Table 5 Optimum lens production conditions

Control Parameters	Optimum Conditions
Temp. of heating station 1	250°C
Temp. of heating station 2	400°C
Temp. of heating station 3	550°C
Temp. of pressing station	610°C
Temp. of cooling station 1	450°C
Temp. of cooling station 2	300°C
Temp. of cooling station 3	250°C
Press force of pressing station	100kgf
Press force of cooling station 1	50kgf
Press force of cooling station 2	40kgf



후 기

본 논문은 지식경제부지원으로 지역산업기술개발사업으로 추진한 ‘글래스 렌즈 제조용 초정밀 힘·열 제어 로봇 시스템 개발’ 과제(1·2 단계)로부터 지원받아 수행한 연구결과이다.

참고문헌

- Kim, S. S., Lee, Y. C., Lee, D. G., Kim, H. J. and Kim, J. H., “Ultra-precision Grinding Optimization of Mold Core for Aspheric Glass Lenses using DOE and Compensation Machining,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 6, pp. 45-50, 2007.
- Kim, W. B., Lee, S. J., Kim, Y. J. and Lee, E. S., “Ultra-precision Polishing Technique for Micro 3-Dimensional Structures using ER Fluids,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 19, No. 12, pp. 134-141, 2002.
- Kim, S. H., Beak, K. Y., Kim, Y. N. and Yang, I. Y.,

- "Defect Evaluation of Optical Lens by Resonant Ultrasound Spectroscopy," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Autumn Conference, pp. 1491-1495, 2004.
4. Chong, D. Y. and Kuk, K. H., "Development of Robot System for Production of Glass Lens by Ultra-precise Control of Force and Temperature," Ministry of Knowledge Economy, pp. 6-9, 2009.
 5. Kuk, K. H., Kim, K. S., and Chong, D. Y., "Temperature Analysis of the Production System for Aspherical Lens and Optimization of Production Conditions," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Spring Conference, pp. 51-52, 2008.
 6. Takaki, K., Yonemoto, T., Inoue, T. and Nakamura, S., "A Method for Forming an Optical Element and an Apparatus for Manufacturing the Same," Panasonic Co., Ltd., No. 10-0207170, 1999.
 7. Tanioka, T., Masaki, H., Urusibata, K., Komiyama, Y., Kanamo, T. and Maszki, I., "Method and Apparatus for Press Forming Glass Products," Toshiba Machine Co., Ltd., No. 10-0193374, 1999.
 8. Kim, J. Y., "ANSYS Heat Transfer Analysis," TaeSung Software & Engineering INC., pp. 264-269, 2002.