

GMP 공정용 3 cavity 유리 렌즈 금형의 열변형에 관한 연구

장성호¹ · 허영무¹ · 신광호¹ · 정태성²

1 한국생산기술연구원 정밀금형팀

2 인하공업전문대학, 기계설계과

(2008. 7. 29. 접수 / 2008. 11. 21. 채택)

A study on the thermal deformation of 3 cavity GMP mold for glass lens

Sung-Ho Chang^{†,1} · Young-Moo Heo¹ · Gwang-Ho Shin¹ · Tae-Sung Jung²

1 Precision Molds & Dies Team, Korea Institute of Industrial Technology

2 Department of Machine Design, Inha Technical College

(Received July 29, 2008 / Accepted November 21, 2008)

Abstract : Recently, the demands of digital camera and miniature camera module for mobile-phone is increased significantly. Lenses which is the core component of optical products are made by the injection molding(plastic lens) or GMP(glass lens). Plastic lens is not enough to improve the resolution and performance of optic parts. Therefore, the requirement of glass lens is increased because it is possible to ensure the high performance and resolution. In this paper, the thermal stress analysis of 3 cavity GMP mold for molding glass lens was performed for estimating the thermal stress and amount of deformation. Finally, the modification plan based on the analysis results was deducted.

Key Words : GMP, Glass lens, Thermal deformation, Thermal stress analysis

1. 서 론

순차이송방식 GMP(Glass Molding Press) 성형공정에서 유리 렌즈 금형에는 성형 시 570℃, 냉각 시에는 상온까지의 온도변화가 발생되며, 이러한 온도변화에 금형 내에는 열응력과 열변형이 발생하게 된다. 이러한 열응력 및 열변형이 큰 경우에는 금형에 피로 파손이 발생되거나 유리 렌즈의 설계 치수를 만족시키지 못하는 유리 렌즈가 성형될 수 있어 유리 렌즈의 품질저하가 발생될 수 있다. 따라서 고품질의 유리 렌즈 생산과 금형의 손상 방지를 위해서는 성형 공정 내, 유리 렌즈 금형에서 발생하는 열응력 및 변형량을 예측하는 것이 중요하다.

Fig. 1.(a)에는 3 cavity 유리 렌즈 금형의 3D 모델을 나타내었다. 유리 렌즈 금형은 상/하부 코어(upper/lower core), 가이드 부쉬(guide bush), 가이드 링(guide ring), 언더 베이스(under base), 스페이서(spacer)로 이루어져 있다. 이 중 가이드 링은 유리 렌즈의 성형 높이를 결정하는 부분으로 가이드 링

의 높이에 따라 유리 렌즈의 성형 높이가 결정되어진다. 하지만 금형의 설계 과정에는 열팽창에 의한 금형의 열변형이 고려되지 않고 있어서 설계된 금형을 그대로 사용하게 되면 유리 렌즈가 설계된 치수까지 성형되지 못하는 현상이 발생하게 되며 이를 보정해 주기 위해 설계 치수를 만족하는 유리 렌즈가 성형될 때까지 금형에 대한 반복적인 수정을 가하게 된다. 따라서 이러한 금형의 열변형을 예측할 수 있다면 예측된 변형량을 금형 설계에 반영함으로써 금형의 수정작업을 거치지 않고 바로 렌즈 성형에 금형을 이용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 3 cavity 유리 렌즈 금형에 대한 열응력 해석을 수행하여 유리 렌즈 금형에 발생하는 열응력과 변형량을 구하였으며 예측된 변형량을 이용하여 설계된 금형의 수정량을 계산하였다.

2. 해석모델 및 해석조건

2.1 해석모델

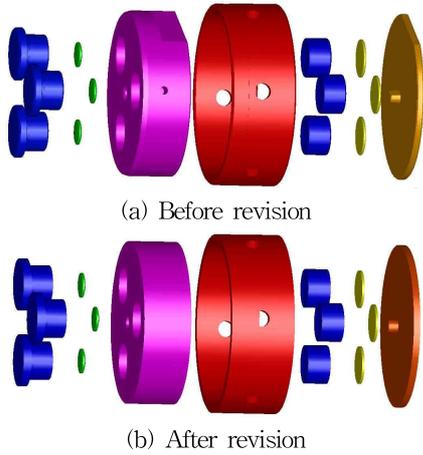
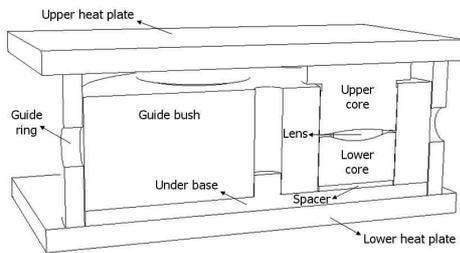
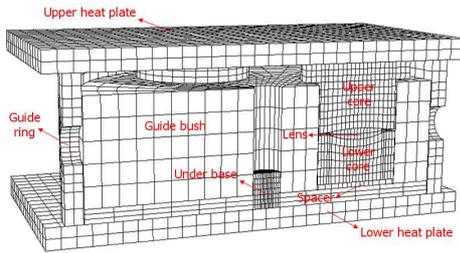


Fig. 1 3D model for 3 cavity glass lens molds



(a) A half model for molds



(b) FEM model for a half molds

Fig. 2 A half model for the molds and FEM model for the analysis

Fig. 1.(b)에는 수정된 유리 렌즈 금형의 3D 모델을 나타내었다. 수정전 모델은 많은 모따기와 홀 등이 있어 유한요소 모델을 구성하는데 어려움이 있기에 Fig. 1.(b)와 같이 모델을 단순화하였다. 또한, 수정된 모델이 좌우 대칭임을 감안하여 1/2 모델을 구성하였으며 이를 Fig. 2.(a)에 나타내었다. Fig. 2.(b)에는 열응력 해석을 위한 유한 요소 모델을 나타내었다. 해석 모델은 상/하부 가열플레

이트(upper/lower heat plate), 상/하부 코어, 가이드 링, 가이드 부쉬, 스페이서, 언더 베이스, 유리 렌즈 등 총 9개의 파트로 구성되어 있다. 유한 요소 모델에 대한 간략한 정보를 아래에 나타내었다.⁽¹⁾ Table 1에는 해석 모델의 물성을 나타내었다.⁽²⁾

- Element type : C3D8T(ABAQUS solid element for thermal stress analysis)
- The number of elements : 12,611
- The number of nodes : 17,695

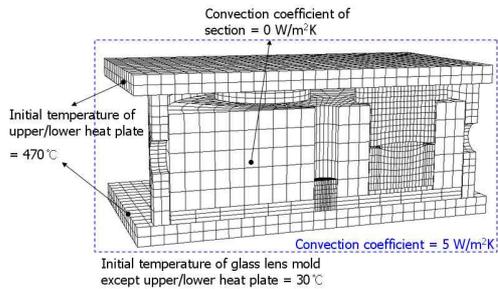


Fig. 3 Initial temperature and Convection boundary conditions

2.2 온도 및 대류경계조건

Table 2에는 GMP 성형 공정의 단계별 가열플레이트의 온도를 나타내었다. GMP 공정은 총 6단계(pre heat 1/2/3, main press, cooling 1/2)로 이루어져 있으며 각 단계별로 Table 2에 기재된 온도로 가열되어 있는 가열플레이트 위를 유리 렌즈 금형이 이동하면서 가열, 성형, 냉각과정이 순차적으로 이루어진다. 순차이송방식 GMP 공정의 한 사이클은 70 s로써 각 단계는 상부 가열플레이트가 상부코어에 접촉하는데 소요되는 시간(down time), 금형과 접촉하고 있는 시간(contact time) 그리고 금형이 다음 단계로 이동하는 시간(moving time)으로 이루어져 있다. 금형이 이동하는 시간 동안에는 금형 내에 온도 변화가 발생하지 않으며 각 단계별로 대기 온도는 가열플레이트의 온도보다 약 30°C 정도 낮다고 가정하였다. 대류경계조건의 경우, 성형이 이루어지는 공간이 밀폐된 공간으로 대류작용에 의한 열전달이 적을 것이라 판단하였고 자연대류 상에서 일반적인 기체가 가질 수 있는 대류열전달계수가 5 ~ 20 W/m²K임을 감안, 대

기와 접하는 접촉면들의 대류열전달계수를 $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 로 하였다.^{(1),(3),(4)} 1/2 모델 생성을 위한 절단면의 경우는 단열의 경계조건을 적용하였다. 금형과 렌즈의 초기 온도는 금형이 상온에서 대기한 후, preheat 1단계로 들어감을 감안하여 30°C 로 하였다.

Table 1 Material properties for the molds

| Part | Material | Elastic modulus (GPa) | Poisson's ratio | Density (10^3 kg/mm^3) | Thermal expansion ($10^{-6}/^\circ\text{C}$) | Thermal conductivity (W/mK) |
|------------------------|----------|-----------------------|-----------------|------------------------------------|--|-----------------------------|
| Upper/Lower heat plate | D-10 | 620 | 0.21 | 1.49 | 5 | 89 |
| Upper/Lower core | AE-60 | 560 | 0.25 | 1.4 | 6 | 70 |
| Guide bush | D-10 | 620 | 0.21 | 1.49 | 5 | 89 |
| Guide ring | SUS-316 | 210 | 0.3 | 0.785 | 12 | 60.5 |
| Spacer | D-10 | 620 | 0.21 | 1.49 | 5 | 89 |
| Under base | D-10 | 620 | 0.21 | 1.49 | 5 | 89 |
| Lens | CSK-120 | 93 | 0.25 | 0.299 | 0.095 | 1.86 |

Table 2 The progressive GMP process

| | Pre heat 1 | Pre heat 2 | Pre heat 3 | Main press | Cooling 1 | Cooling 2 |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|
| Cycle time(sec) | 70 | | | | | |
| Pressure (MPa) | 0.003270 | 0.003270 | 0.022073 | 0.298115 | 0.170313 | 0.079025 |
| Temperature of upper/lower heat plate | 470 | 525 | 570 | 570 | 560 | 400 |
| Down time(sec) | 18 | 18 | 18 | 15 | 18 | 18 |
| Contact time(sec) | 44 | 44 | 44 | 47 | 44 | 44 |
| Moving time(sec) | 8 | | | | | |

였다. Fig. 3에는 대류 경계조건을 나타내었다.

열전달이 고려된 해석의 경우, 해석 모델이 여러 개의 파트로 이루어졌을 시 각 파트 간의 열교류 정도를 정의해주어야 한다. 본 해석은 ABAQUS ver 6.5를 이용하여 수행되었으며 상기 소프트웨어의 경우, 접촉면 간의 열교류 정도를 나타내는 계수(ABAQUS key word : gap conductance)를 대류열전달계수의 값으로 정의하도록 되어있는데 본 해석에서는 1 cavity 유리 렌즈 금형의 열전달 해석 결과를 적용하여 각 파트간의 Gap conductance 값을 $4.7 \times 10^3 \text{ W/m}^2\text{K}$ 로 하였다.

3. 해석결과

Table 3에는 열응력 해석 결과를 나타내었다. Pre heat 1단계에서 렌즈 금형의 최대 Von Mises stress는 69.5 MPa로 가이드 링에서 나타났으며, 이후 감소하면서 main press단계에서는 12.3 MPa의 응력을 나타내었다. 이후 cooling 2단계에서 23.1 MPa로 다시 증가하였다. Table 4에는 각각의 금형 소재에 대한 인장강도 및 파트 별 최대 Von Mises 응력을 나타내었다. 전체 성형 공정에서 발생한 최대 응력은 pre heat 1단계에서 가이드 링에 발생한 69.5 MPa이며 이는 가이드 링 소재의 인장강도(560 MPa)의 약 11%에 해당하는 값으로

Table 3 Results of the thermal stress analysis

| | Max Von Mises stress of mold(MPa) | Max temp. / Min temp. ($^\circ\text{C}$) | Max. disp. of z-axis for guide ring(μm) | Max. disp. of z-axis for upper core(μm) |
|------------|-----------------------------------|--|--|--|
| Pre heat 1 | 65.9 | 423.7 / 321.5 | 82.1 | 46.5 |
| Pre heat 2 | 28.5 | 506.0 / 464.0 | 107.6 | 59.7 |
| Pre heat 3 | 14.1 | 560.4 / 539.3 | 122.5 | 67.6 |
| Main press | 12.3 | 567.3 / 561.2 | 125.7 | 69.3 |
| Cooling 1 | 7.0 | 560.9 / 560.3 | 124.8 | 69.1 |
| Cooling 2 | 23.1 | 458.9 / 418.4 | 96.6 | 68.2 |

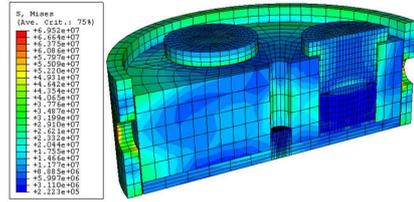
Table 4 Material properties(tensile stress) for the molds and analysis results of maximum Von Mises stress

| | Upper/lower core | Guide ring | Guide bush | Spacer | Under base |
|----------------------------|------------------|------------|------------|--------|------------|
| Material | AE-60 | SUS-316 | D-10 | D-10 | D-10 |
| Tensile strength (MPa) | 2,800 | 560 | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| Max. Von Mises stress(MPa) | 30.7 | 65.9 | 32.6 | 12.6 | 25.4 |

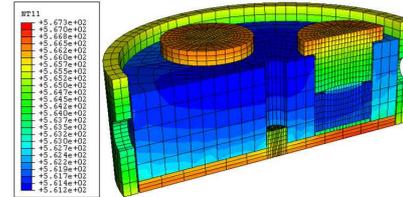
반복 성형 및 열응력에 의한 금형의 손상은 없을 것이라 판단된다. Main press 단계에서 567.3 °C 의 최고 온도가 언더 베이스에서 나타났으며 가이드 부쉬 및 하부 코어의 경우 다른 파트에 비하여 상대적으로 낮은 온도 분포를 보였다. Fig. 4에는 pre heat 1 단계와 main press 단계의 Von Mises 응력 및 변위, 온도 분포를 나타내었다. 가이드 링의 변형량은 pre heat 1 단계에서 main press 단계까지 진행되면서 온도가 증가함에 따라 수직방향(z-axis) 변형량이 증가하였으며 main press 단계에서 125.7 μm의 최대 변위를 보였다. 상부 코어의 경우, 가이드 링과 같은 변위의 변화를 보였으며 main press 단계에서 69.3 μm의 최대 변위를 보였다.

4. 가이드 링의 수정량

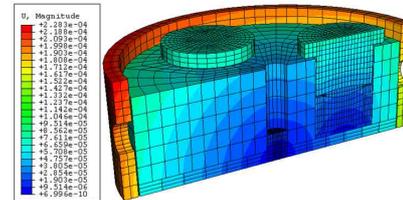
Fig. 5에는 유리 렌즈의 두께를 나타내는 절점 13373과 13375의 수직방향(z) 변위를 나타내었다. 절점 13373과 13375의 수직방향 변위의 차는 열팽창에 의한 유리 렌즈의 변형량을 나타낸다. 절점 13373과 13375의 수직방향 변위는 각각 35.7 μm과 27.6 μm로 열에 의해 유리 렌즈의 두께 방향으로 약 8.1 μm 팽창하였음을 알 수 있다. 또한 가이드 링과 상부 코어의 수직방향(z) 변위를 이용하면 가이드 링과 상/하부 코어, 렌즈, 스페이서, 언더베이스의 열변형에 의한 유리 렌즈의 미성형 높이 56.4 μm를 구할 수 있으며 유리렌즈의 열변형량을 적용하면 최종적으로 유리렌즈의성형 높이가 64.5 μm임을 알 수 있다. 이러한 미성형 높이와 가이드



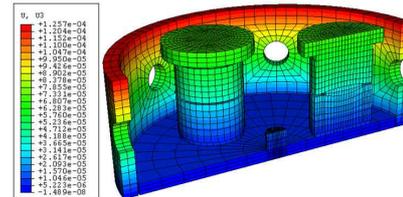
(a) Max. Von Mises stress = 65.9 MPa (Guide ring : Pre heat 1)



(b) Max. temperature = 567.3°C (Under base : Main press)



(c) Max. displacement = 228.3 μm (Guide ring : Main press)



(d) Max. displacement(z axis) = 125.7 μm (Guide ring : Main press)

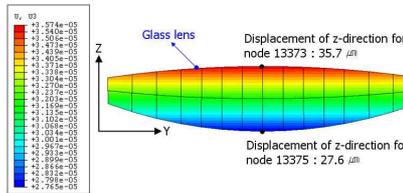


Fig. 5 Thickness variation of glass lens model by thermal deformation(z-direction)

링의 평균 온도 변화(약 534.1℃) 및 열팽창 계수 (Table 1)를 이용하면 기존에 설계된 가이드 링 높이가(19.61 mm)의 수정량을 계산할 수 있으며 계산된 가이드 링의 수정량은 64.1 μm 임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 순차이송방식 GMP 성형 공정에 이용되는 3 cavity 유리 렌즈 금형에 대한 열응력 해석을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 열응력 해석 결과, GMP 성형 공정에서 발생되는 최대 Von Mises 응력은 65.9 MPa로 가이드 링에서 발생하였으며 이는 가이드 링 소재 인장강도의 약 11%에 해당하는 값으로 반복적인 성형 및 열응력에 의한 금형의 손상은 없을 것이라 판단된다.
- (2) 열응력 해석 결과, 가이드 링 및 상/하부 코어, 유리 렌즈, 스페이서, 언더 베이스의 수직방향 (z) 변위를 구할 수 있었으며 이로부터 유리 렌즈의 미성형 량 64.5 μm 를 구할 수 있었으며 이를 이용하여 기존에 설계된 가이드 링 높이의 수정량 64.1 μm 를 예측할 수 있었다.

후 기

본 연구는 부품·소재기술개발사업의 일환으로 수행중인 [Progressive 방식의 GMP 공정을 위한 다수 cavity 금형·성형 기술개발(과제번호 : 10020636)]의 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) ABAQUS/Standard User Manual ver 6.4.
- (2) Sumita Optical Glass, Inc., 2002, "Optical Glass Data Book," Glass Data Ver. 3.03, pp. 195.
- (3) L., Rabiey., D., Flick., A., Duquenoy., 2007, "3D Simulations of Heat Transfer and Liquid Flow during Sterilization of Large Particles in a Cylindrical Vertical Can,"

- Journal of Food Engineering, Vol. 82, pp. 409 ~ 417.
- (4) Min,K. H., Son, Y. S., Kim, C. Y., Lee, Y. J., Hong, K. H., 2007, "Heat and Moisture Transfer from Skin to Environment through Fabrics: A Mathematical Model," International Journal of Heat and Mass Transfer, Proceeding.