

순차이송 GMP 공정의 3 캐비티 비구면 유리 렌즈 성형 해석에 관한 연구

A Study on the Forming Analysis of Aspheric Glass Lens for 3 cavity-molds in the Progressive GMP process

*장성호¹, #허영무¹, 신광호¹, 강정진¹, 정우철¹

*S. H. Chang(shchang@kitech.re.kr)¹, #Y. M. Heo(ymheo@kitech.re.kr)¹, K. H. Shin¹, J. J. Gang¹, W. C. Jung¹
¹ 한국생산기술연구원

Key words : Aspheric, Progressive, GMP(Glass Molding Press), 3 cavity-molds

1. 서론

Progressive 방식의 GMP 공정은 하나의 platform 위에서 다수 cavity의 금형을 놓고 가열과 압축, 냉각을 순차적으로 수행하는 방식과 다르게 GMP 공정에 따라 금형이 이송장치를 이동하며 순차적으로 가열과 압축, 냉각 과정을 수행하는 방식이다. 그림 1에는 progressive GMP 성형 공정의 개략도를 나타내었다. Progressive 방식의 GMP 성형공정에서 금형은 Fig. 1과 같이 이동경로를 따라 각 스테이지로 이동하게 된다. 또한 소재 가열 시, progressive 방식 GMP 공정은 heater block을 이용한 plate 가열방식(Fig. 2)을 이용하고 있다.

이러한 순차이송 방식의 GMP(Glass Molding Press) 장비를 이용한 비구면 유리 렌즈의 성형은 생산성 확보를 위해서는 다수 캐비티(cavity) 금형 개발이 필수이며 이러한 다수 캐비티 금형 개발을 위해 본 연구에서는 3 cavity 금형에 이용한 순차이송 GMP 성형/냉각 공정에 대한 렌즈 성형 해석을 수행하여 렌즈 성형 후 수축 정도를 예측하고자 하였다.

렌즈 성형 해석을 수행하기 위해 먼저 유리 소재(PBK40)에 대한 고온 유동 특성 및 냉각 특성 연구를 수행한 바 있으며, 금형의 열변형 예측을 위한 열변형 해석을 수행한 바 있다.^[1,2]

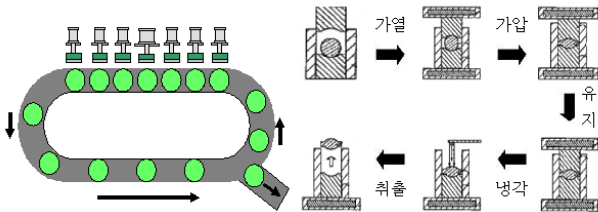


Fig. 1 Schematic of the progressive GMP process

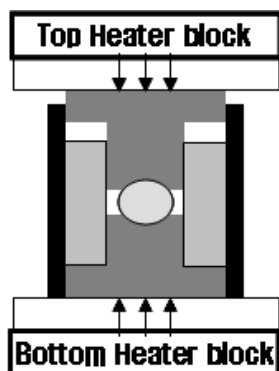


Fig. 2 Heating system for the progressive GMP machine

2. 해석 모델 및 공정 조건

Fig. 3은 3 cavity 유리 금형과 유리 Gob에 대한 GMP 공정 해석 모델이다. 보시는 그림과 같이 3D full 모델을 사용하였다. 사용한 상용 FEM code는 MSC Marc 2005 이고, 최초 Element type은 4-node isoparametric tetrahedral(Marc2005 element type No. = 134)이었으며, 요소 크기는 0.5 mm로 하였다. 이후 해석이

진행시에 유리 Gob 모델의 경우 Global adaptive remeshing method를 사용하여 새로이 생성되는 Element type은 4-node heat transfer tetrahedral(Marc2005 element type No. = 135)로 절점마다 온도에 대한 자유도가 1개 증가되는 요소 타입이다. 그리고 상/하 heat plate는 Surface 요소로 강체(rigid body)로 설정하였다.

Table 1에는 렌즈 금형 구성부품과 유리스재의 기계적 특성과 열적 특성에 나타내었다. 그리고 Table 2에는 순차이송 GMP 공정에서의 공정 조건을 나타내었다. 여기에서 금형과 유리 Gob의 온도가 3단계의 예열(preheat 1, 2 & 3) 공정을 겪으면서 Main press 단계의 온도인 577 °C로 일정하게 유지되었다고 가정하고 Main press 공정과 2 단계의 냉각 공정에 대해 렌즈 성형 해석을 수행하였다. 그리고 적용하중은 Upper heat plate에 의한 금형 상코어(upper core)에 가압되는 하중을 단계별로 나타낸 것이다.

■ 금형의 유한요소모델 정보

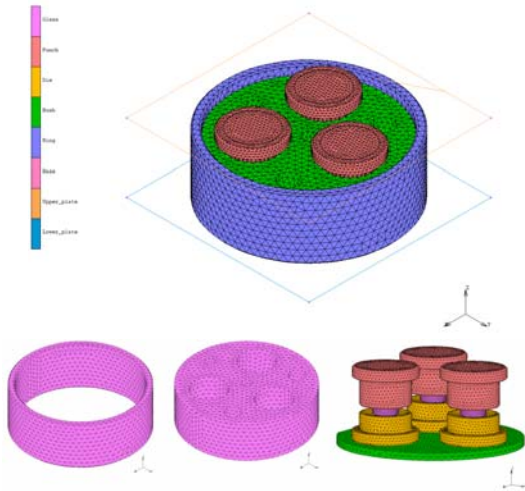
- Element type : C3D8T (ABAQUS element type : Coupled analysis[Quasi-static]을 위한 4-node isoparametric tetrahedral : type No. =134)
- Number of total elements: 96904
- Number of total nodes: 23400

Table 1 Material mechanical and thermal properties for lens molds and glass

Part	Material	Elastic modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density (10 ⁻⁵ kg/mm ³)	Thermal expansion (10 ⁻⁶ /°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
Glass	PBK 40	93	0.25	0.299	0.095	1.86

Table 2 Conditions of the progressive GMP process

	Pre-heat1	Pre-heat2	Pre-heat3	Main press	Cooling1	Cooling2
Temp. (°C)	450	520	577	577	504	430
Applied force(N)	11.8	11.8	79.5	1073	613	284.5



(a) Guide ring (b) Guide bush (c) Core, Gob & Base
Fig. 3 Simulation model for 3-cavity glass lens molds

Main press 단계 해석에서 유리 소재는 점소성 거동 모델로 Power law model을 적용하였다. 적용된 유동응력식은 아래와 같다.

$$\sigma = k(\dot{\epsilon})^m \quad (1)$$

식 (1)에서 k 는 응력계수이며, m 은 변형률민감도지수이다. 고온압축시험으로 Fig. 4와 같이 성형 온도에 따른 k, m 의 변화를 구하여 해석 모델에 적용하였다.

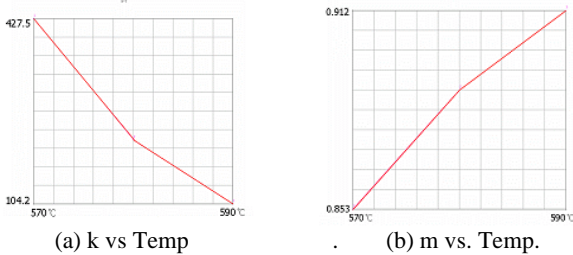


Fig. 4 Results of compression tests at various temperature (at 570 °C, 580 °C, 590 °C)

성형 후 냉각 단계 해석에는 점탄성 거동 모델로 Maxwell model을 사용하였다. 모델에 필요한 물성 특성 확보를 위해 strain relaxation 시험을 수행하여 시간에 따른 점탄성계수의 Master curve를 Fig. 5와 같이 구하였다.

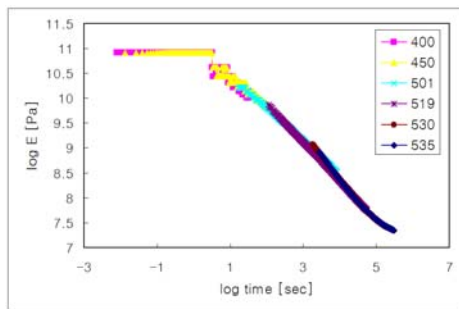


Fig. 5 The master curve of Young's modulus for PBK40. The reference temperature is 501 °C

3. 해석 결과

Fig. 6과 Fig. 7는 성형 시작점에서의 Gob가 처음 상 코어에 의해 온도와 변형 하중을 받기 직전과 렌즈 성형이 완료되고 냉각공정 전의 유리 Gob의 형상과 내부 단면에서의 온도 분포를 각각 나타내고 있다. Fig. 6에서와 같이 성형 직전부터 유리 렌즈

의 내부 온도는 상하 Core에 접촉되지 않는 유리 Gob 측면에서부터 외부로 열이 방출되기 시작한다는 것을 알 수 있다.

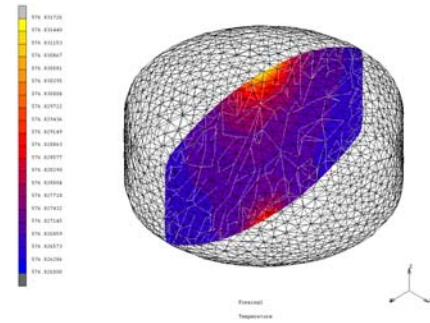


Fig. 6 Simulation result of lens shape and inner temp. distribution before main pressing

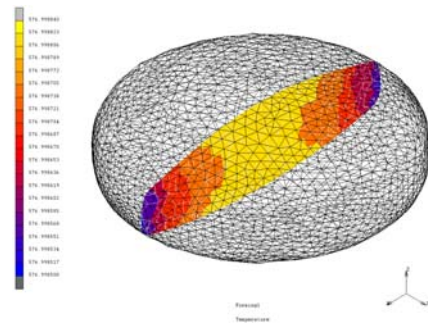


Fig. 7 Simulation result of lens shape and inner temp. distribution after main pressing

4. 결론

이상에서와 같이 순차이송 방식의 GMP 성형 공정에 이용되는 3 캐비티(cavity) 금형을 이용한 유리 렌즈 성형에 대한 해석을 수행하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

유리소재 물성시험을 통한 재료 물성 특성을 확보하여 유리 렌즈 성형 해석을 수행한 결과 렌즈 두께 방향 수축량이 약 1.2 μm 로 일정하게 수축되었다. 이러한 결과는 실제 유리 렌즈 순차이송방식 GMP 공정에서 금형 열변형에 의한 변형량^[2]과 함께 금형 설계시 고려하여 유용하게 활용되었다.

후기

본 연구는 부품소재기술개발사업(10020636)과 한국생산기술연구원 기본연구사업의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. S. H. Chang, Y. M. Heo, G. H. Shin, Y. M. Lee, J. J. Kang, T. S. Jung, "An Experimental Study on Flow Characteristics of PBK-40 for Glass Molding Press Simulation", Key Engineering Material, Vols. 364~366, pp. 476 ~ 481, 2008.
2. Y. M. Lee, S. H. Chang, Y. M. Heo, G. H. Shin, "A Study on Thermal Deformation of the 3 Cavity Glass Lens Mold used in Progressive GMP Process", Proceeding of the 9th ICTP, p. 485, 2008
3. M. Umetani, "Manufacturing of optical Glass Lens by Press-Molding Method", New Glass, Vol. 13, pp.32~37. 1998.
4. 나진욱, 임성한, 오수익, 전병희, "개방형 금형을 이용한 유리 렌즈 성형 해석", 한국소성가공학회지, 제12권, 제4호, pp. 296~301, 2003.
5. 전병희, 홍석관, 표창률, "마이크로 렌즈 성형시 형상예측을 위한 유한요소해석", 한국소성가공학회지, 제11권, 제7호, pp. 581~588, 2002.