

Chalcogenide유리를 이용한 Night Vision광학계용 비구면 유리렌즈 성형 Molding of Aspherical Lenses for Night Vision Using Chalcogenide Glasses

*차두환, 박흥수, 김혜정, #김정호

*D. H. Cha¹, H. S. Park², H. J. Kim³, #J. H. Kim(kimjh@kopti.re.kr)⁴

한국광기술원 초정밀광학팀

Key words : Chalcogenide Glass, Glass Molding Press (GMP), Night Vision, Aspherical Lens

1. 서론

열상광학장비에는 고가의 검출기 및 광학렌즈가 내장되어 주로 군수용으로 사용되어왔으나, 근래 저가의 비냉각식 적외선 검출기가 개발되어 상용화됨에 따라 자동차, 선박, 주차장 등의 민수분야에서도 그 수요가 급격히 증가하고 있는 추세이다 [1, 2]. 그러나 적외선 광학계용 광학렌즈는 아직도 고가의 게르마늄(Ge)과 같은 결정성 소재의 다이아몬드 터닝(DTM)가공을 통해 제작되고 있어 열상광학장비에서 높은 가격비중을 차지하고 있다. 최근 이러한 적외선 렌즈로 인한 가격부담을 해소하기 위해 칼코게나이드 유리를 고온압축성형하여 적외선 투과가 가능한 광학렌즈를 제작하는 방법이 제안되고 있다. 성형용으로 사용되는 칼코게나이드 유리는 고가의 Ge 성분을 약 20% 정도만 함유하고, 결정성 물질에 비해 생산이 용이하여 상대적으로 가격이 저렴하다. 더욱이, DTM가공 대신 고온압축성형법을 이용하므로 추가비용 없이 비구면과 같은 복잡한 형상의 렌즈 제작이 가능하고 대량생산 또한 용이하여 열상광학계용 적외선투과 렌즈의 단가를 크게 줄일 수 있다 [3]. 이러한 칼코게나이드 유리는 일반 광학렌즈와는 기계적·열적 특성에서 큰 차이점을 나타내므로 상용화를 위해서는 소재 Preform설계 및 성형변수 인자 결정 등 다양한 관련연구가 절실히 요구되고 있다.

본 논문은 야간감시 CCTV카메라용 비구면 칼코게나이드 유리렌즈의 제작을 위한 성형조건 설계 및 성형렌즈의 특성평가에 관한 연구이다.

2. 실험방법

본 연구에서 고온압축성형법을 이용하여 제작한 비구면 칼코게나이드 유리렌즈의 광학설계도를 Fig. 1에 나타냈다. 제작된 렌즈는 유효직경 12 mm의 비구면-구면 양면볼록렌즈이다. 렌즈의 비구면형상은 식 (1)의 비구면 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$z = \frac{Cx^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)Cx^2}} + \sum_{i=1}^n A_i x^i \quad (1)$$

여기서, Conic 상수 K 는 0이고 C 는 비구면 중심부 반경 (20.45 mm)의 역수이다.

성형을 위한 금형코어 제작을 위해 코발트(Co) 함량 1.0 wt.%의 텅스텐카바이드 (일본, DiJet社, FB01)를 초정밀 연삭 및 폴리싱하여 비구면과 구면 형상오차(PV)를 각각 0.165 μ m과 0.150 μ m으로 가공하였다. 성형용 칼코게나이드 유리소재로써는

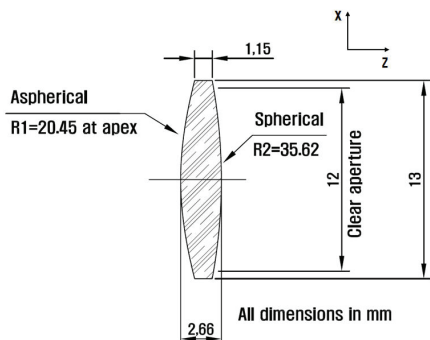


Fig. 1 Schematic cross-section of the molded lens

Table 1 Properties of the chalcogenide glass used in this study

| | |
|---|--------------------------------------|
| Refractive index | 2.6084@10 μ m |
| Dispersion | 176 (@10.6 μ m) |
| Transition temperature (T_g) | 225 $^{\circ}$ C |
| Softening temperature (SP) | 310 $^{\circ}$ C |
| Temperature coefficient of refractive index (dn/dT) | 3.6×10^{-5} /K@10.6 μ m |
| Thermal expansion | 20.4×10^{-6} /K |
| Thermal conductivity | 0.18 W/mK |
| Hardness (Knoop) | 1.12 GPa |

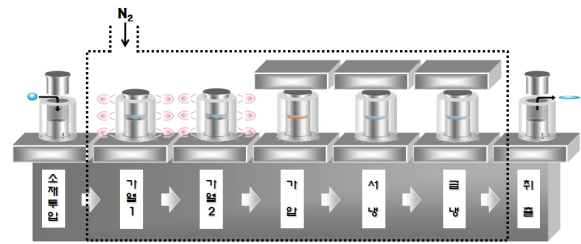


Fig. 2 Process illustration of the GMP machine used in this study

$Ge_{19}As_{40}Se_{50}$ (독일, Vitron사, IG4)를 직경 7.6 mm의 불타입 Preform으로 가공하여 사용하였으며, 소재의 광학적·열적·기계적 특성을 Table 1에 나타냈다.

칼코게나이드 유리렌즈의 성형에는 Fig. 2에 나타낸 것과 같은 Progressive방식 성형기(일본, Toshiba社, GMP54-5S)를 사용하였으며, 구체적인 성형조건을 Table 2에 나타냈다. 성형 온도는 칼코게나이드 유리의 연화점을 기준으로 330 $^{\circ}$ C와 340 $^{\circ}$ C, 서냉단계 가압력을 300 N과 400 N, 단위공정시간을 100초와 200초로 설정하였다.

Table 2 Molding conditions for fabrication of chalcogenide glass lens

| | Heating process (IR Lamp) | | Press process | Slow cooling process |
|-----------------------------|---------------------------|-----------|---------------|----------------------|
| | - | - | 330~340 | 230 |
| Temperature ($^{\circ}$ C) | Upper plate | | Upper plate | Upper plate |
| | Heating 1 | Heating 2 | - | - |
| | Lower plate | | Lower plate | Lower plate |
| | 330~340 | 330~340 | 330~340 | 230 |
| Press force (N) | - | - | 350 | 300~400 |
| Press speed (mm/sec) | - | - | 0.1 | - |
| Unit-process time (sec) | 100~200 | | | |

Table 3 Crack generation of the molded lens against molding conditions

| 성형 조건 | 성형온도 (°C) | 단위공정시간 (초) | 서냉 시 가압력 (N) | 깨짐현상 |
|--------|-----------|------------|--------------|------|
| 조건 I | 330 | 100 | 400 | 깨짐 |
| 조건 II | 330 | 100 | 300 | 깨짐없음 |
| 조건 III | 330 | 200 | 300 | 깨짐 |
| 조건 IV | 340 | 100 | 400 | 깨짐 |
| 조건 V | 340 | 100 | 300 | 깨짐없음 |
| 조건 VI | 340 | 200 | 300 | 깨짐 |

성형된 칼코게나이드 유리렌즈의 특성평가를 위해 성형조건에 따른 렌즈깨짐, 형상오차 (PV) 및 투과도를 확인하였다. 형상오차측정에는 3차원자유곡면형상측정기 (일본, Panasonic社, UA3P), 투과도측정에는 FT-IR Spectrophotometer (일본, Shimadzu社, IR Prestige-21)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 3에 나타낸 바와 같이 성형온도, 단위공정시간 및 서냉 시 가압력 값에 의존하여 성형렌즈의 깨짐현상이 관찰되었다. 서냉 시 가압력이 400 N일 경우와 단위공정시간이 200초일 때 성형렌즈가 깨짐을 알 수 있었고, 이는 Table 1에서와 같이 칼코게나이드 유리의 낮은 경도특성 때문인 것으로 생각된다.

성형온도 (330~340 °C)와 단위공정시간 (100~200초)의 변화가 성형된 렌즈의 적외선 투과도에 미치는 영향을 확인하기 위해 각 성형조건 (조건 II, III, V)에 따른 성형렌즈의 투과도를 Fig. 3에 비교하여 나타냈다. 파장 13 um과 20 um 부근에서 나타난 흡수대는 Ge-O 결합의 신축진동에 의한 외부흡수 피크이고, 2.6 um과 6.2 um 피크는 각각 O-H와 H-O-H 불순물에 기인한 것 이다 [4]. 성형조건 II, III, V에서 성형된 렌즈들의 적외선영역 투과도는 거의 동일하게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 4에 렌즈의 깨짐현상이 없었던 성형조건에서 성형된 렌즈의 양면 형상오차를 나타냈다. 성형온도 330 °C와 340 °C일 때 렌즈의 형상오차 (PV)는 상/하코어면에서 각각 1.7 um과 0.9 um로 거의 동일하게 나타났다. 이러한 형상오차는 냉각단계에서 칼코게나이드 유리렌즈의 수축으로 인한 열변형에 기인한 것으로 생각된다.

4. 결론

- 서냉단계 가압력 400 N 및 단위공정시간 200초에서 성형렌즈가 깨지는 현상이 발생되었으며, 이는 칼코게나이드 유리소재 (IG4, Ge₁₉As₄₀Se₃₀)의 낮은 경도에 기인한 것으로 생각된다.

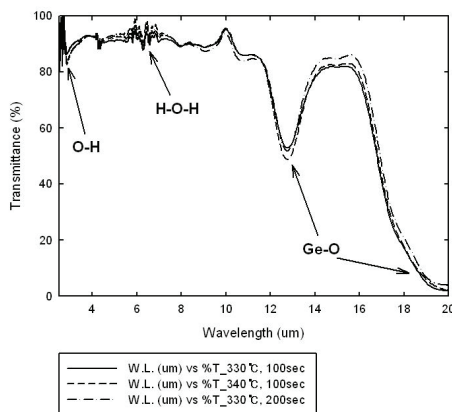


Fig. 3 Transmittance (%) of the molded lens against the molding conditions in IR range (Wavelength 2.5 um ~ 20 um)

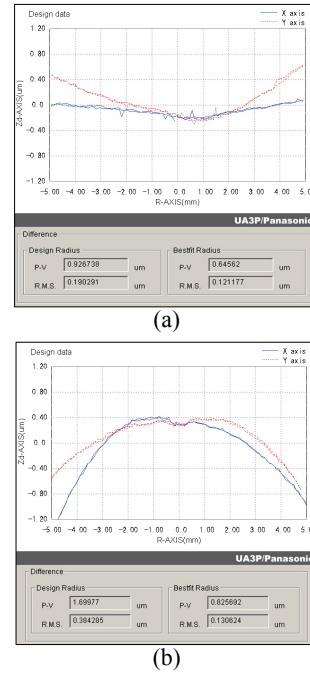


Fig. 4 Form error of the lens molded with molding condition II : (a) Spherical (Upper core), (b) Aspherical (Lower core).

- 성형온도 변화 (330~340 °C)와 단위공정시간 변화(100~200 초)는 성형된 칼코게나이드 유리렌즈의 투과도에 영향을 미치지 않음을 확인하였다.
- 성형온도 330 °C와 340 °C에서 성형된 렌즈이 형상오차는 거의 동일하게 나타났다.
- 냉각단계에서 칼코게나이드 유리의 수축으로 인해 하코어면의 곡률반경은 작아졌으나, 상코어면의 곡률반경은 증가함을 확인 할 수 있었으며, 이는 성형렌즈 상/하측면의 냉각속도 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Amy, G., Richard A. L. and Ray, H. S., "Low Cost Infrared Glass for IR Imaging Applications", Proceeding of SPIE Vol. 5078, 216-224, 2003.
2. A. Bourget, Y. Guimond, J. Franks and M. Van Bergh, "Moulded Infrared Optics Making Night Vision for Cars within Reach", Proceeding of SPIE Vol. 5663, 182-189, 2005.
3. X. H. Zhang, Y. Guimond and Y. Bellec, "Production of Complex Chalcogenide Glass Optics by Molding for Thermal Imaging", J. Non-Crystalline Solide, 326&327, 519-523, 2003.
4. Song, S. M. and Choi, S. Y., "Preparation and Characterization of Chalcogenide Glass with IR-Transmittance", J. Kor. Cera. Soc., 32, 1424-1432, 1995.