

칼코겐유리를 활용한 회절비구면렌즈 압축성형

김지관*, 최영수*, 안준형**, 손병래***, 황영국**,#

*광주대학교 기계·금형공학부, **조선이공대학교 자동화시스템학과, ***호남대학교 미래자동차공학부

Compression Molding of Diffractive-Aspheric Lenses Using Chalcogenide Glasses

Ji-Kwan Kim*, Young-Soo Choi*, Jun-Hyung Ahn**, Byeong-Rea Son***, Young-Kug Hwang**,#

*Division of Mechanical & Mold Engineering, Gwangju University.,

**Department of Automatic System, Chosun College of Science & Technology.,

***Department of Automotive Engineering, Honam University

(Received 23 April 2020; received in revised form 7 May 2020; accepted 21 May 2020)

ABSTRACT

This study explores the compression molding of diffractive-aspheric lenses using GeSbSe chalcogenide glasses. A mold core with diffractive structure was prepared and a chalcogenide glass lens was molded at various temperatures using the corresponding core. The effect of molding temperature on the transcription characteristics of diffractive structure was examined, by measuring and comparing the diffractive structure between the mold core and the molded chalcogenide glass lens using a microscope and a white light interferometer. In addition, the applicability of the molded lens for thermal imaging was evaluated, by measuring the form error.

Key Words : IR Optics(적외선광학), Chalcogenide Glass(칼코겐유리), Diffractive-aspheric Lens(회절비구면렌즈), Glass Molding Press(유리성형기)

1. 서 론

열화상카메라에 사용되고 있는 적외선광학렌즈는 주로 원적외선파장(8~12 um)이 투과되는 특수 광학소재(Ge, ZnSe, Chalcogenide glass 등)를 SPDT(single-point diamond turning) 공법으로 직가 공하여 제작해 왔기 때문에 매우 고가에 거래되고 있다. 이러한 가격문제를 해결하기 위해 최근 칼코

겐유리를 사용한 압축성형방식 적외선광학렌즈가 연구되고 있다^[1-3]. 칼코겐유리는 기존 결정질재료에 비해 가격이 저렴하고, 압축성형방식으로 대량생산 시 렌즈 생산단가를 크게 낮출 수 있다. 따라서 칼코겐유리를 활용한 압축성형은 저가보급형 적외선 광학렌즈 대량생산에 적합한 렌즈생산기술로 기대되고 있다. 그러나 칼코겐유리는 게르마늄 소재에 비해 높은 분산특성(Abber 상수 약 10배 낮음)을 갖기 때문에 렌즈로 제작될 경우 색수차가 크게 발생되는 단점이 있다. 이러한 칼코겐유리렌즈의 색수차 문제는 회절면을 적용할 경우 보정할 수 있다.

Corresponding Author : hyk@cst.ac.kr

Tel: +82-62-230-8294, Fax: +82-62-230-8291

회절렌즈는 음의 분산특성을 가짐으로 이중접합 렌즈를 사용하지 않아도 색수차 보정이 가능하다. 음의 분산특성을 가진다는 것은 회절면에서 단파장 광선보다 장파장 광선이 더 많이 굴절된다는 것을 의미한다. 따라서 압축성형방식으로 칼코젠유리소재 회절비구면렌즈를 제작할 경우 저렴하면서도 광학성능이 우수한 적외선광학렌즈를 제작할 수 있으나, 회절구조를 렌즈에 형성시키기 위해서는 압축성형공정 시 온도, 압력, 시간 등 다양한 파라미터에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 GeSbSe계 칼코젠유리를 활용한 회절비구면렌즈 압축성형에 관한 것이다. 회절구조를 갖는 금형코어를 제작하고 해당 코어를 이용하여 다양한 온도에서 칼코젠유리렌즈를 성형하였다. 금형코어의 회절구조와 성형된 칼코젠유리렌즈 표면의 회절구조를 현미경과 백색광간섭계를 이용하여 측정하고 비교분석 함으로써 회절구조의 전사특성에 미치는 성형온도의 영향을 연구하였다. 또한, 성형렌즈 양면 유효경의 형상오차를 측정하여 적외선 광학계에 적용 가능성을 확인하였다.

2. 실험 방법

2.1 회절비구면 렌즈 설계

본 연구에 사용된 렌즈는 그림 1에 나타난 바와 같이 직경 21 mm의 하이브리드렌즈로써 볼록면은 비구면, 오목면은 회절구조를 갖는 회절비구면 형상이다. 비구면 형상은 식 (1)에 나타난 바와 같이 원추형과 다항식항의 합으로 표현된다.

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

여기서, C는 비구면의 곡률반경의 역수이고, K와 A_i는 각각 Conic 상수와 비구면 계수이다.

회절구조의 위상방정식은 식 (2)와 같이 표현되는 회절대칭의 키노폼(Kinoform) 형태로 설계 되었다.

$$\Phi(r) = m \frac{2\pi}{\lambda_0} \sum_{n=1}^N C_n r^{2n} \quad (2)$$

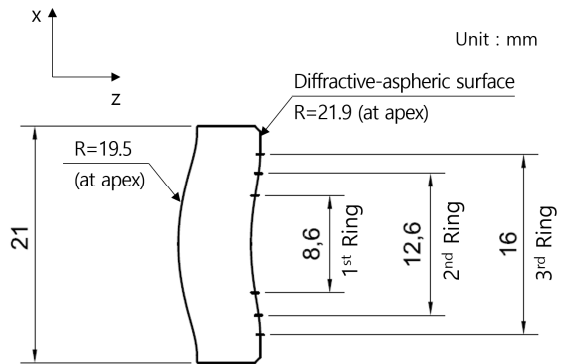


Fig. 1 Schematic design of the diffractive-aspheric lens

Table 1 Thermal and mechanical properties of chalcogenide glass (IRG25)

Thermal properties		
Thermal conductivity	W/m·K	0.25
Thermal expansion coefficient	10 ⁻⁶ /K	14
Transition temperature (T _g)	°C	285
Softening temperature (T _s)	°C	310
Mechanical properties		
Young's modulus	GPa	22.1
Knoop hardness	GPa	1.13

여기서, m은 회절수차, λ₀는 설계파장, C_n은 위상계수, r은 회절링의 반경이다.

본 연구에서는 m=1, λ₀=10 μm, 파장 10 μm에서 렌즈소재 굴절률 2.5858로 설계하여 그림 1에 나타난바와 같이 오목면에 블레이즈 깊이(blaze depth) 6.226 μm의 회절링이 3개 존재한다. 회절링 반경(r)은 각각 4.3 mm, 6.3 mm, 8 mm 이다.

2.2 금형코어제작 및 압축성형

칼코젠유리 성형용 금형소재로서 코발트(Co) 함량 1.0 wt.%의 초경합금 (FB01, DIJET Industrial Co., Japan)을 사용하였다. 초경합금을 초정밀 연삭 가공하여 회절비구면을 가공한 후 이형성 및 금형수명 향상을 위해 120 nm 두께의 DLC (diamond-like-carbon)코팅을 적용하여 금형코어를 제

작하였다. 압축성형에 사용한 칼코겐유리의 조성은 Ge28Sb12Se60 (IRG25, SCHOTT Co., Germany)로서 물성을 표 1에 나타냈다⁴⁾.

그림 2에 렌즈 성형에 적합하도록 설계된 프리폼 도면을 나타냈다. 압축성형 시 분위기 가스가 고립되어 렌즈표면에 에어갭이 발생되지 않도록 프리폼 곡률반경(18.5 mm)을 설계렌즈 블록면 곡률반경(19 mm) 보다 작게 설계하였다.

칼코겐유리 압축성형장비로 그림 3에 나타난 금형이송방식 유리렌즈 성형기(LMR-3300V2S, Daeho Technology Korea Co., Korea)를 사용하였다. 본 성형장비는 7축으로 구성되어있으며 상·하측 플레이트에 의한 전도방식으로 가열과 냉각이 이루어진다. 또한 압축성형공정 중 상측과 하측의 온도를 개별적으로 설정 할 수 있다.

표 2에 칼코겐유리 압축성형 시 회절구조 전사특성에 미치는 온도변수의 영향을 확인하기 위한 성형조건을 나타냈다. 본 성형조건은 칼코겐유리의 성형성에 미치는 온도의 영향에 대한 기존 연구를 참고하여 결정하였다⁵⁾. 압축성형 시 칼코겐유리의 깨짐현상을 방지하기 위해 예열단계 온도는 칼코겐

Table 2 Molding condition and process parameters used in this study

	Preheating	Heating	Press	Gradual cooling	
Temp. (°C)	Top plate	-	320	320~335*	200
	Bottom plate	280	320	320	200
Pressure (MPa)	-	-	0.2	0.05	
Unit-process time (s)	300				
* Temperature of top plate in Press step					
Condition no.	A	B	C	D	
Temp. (°C)	320	325	330	335	

유리소재의 전이온도(Tg) 285°C 보다 낮게 설정하였고, 가열과 압축단계 온도는 연화온도(Ts) 310°C 보다 높게 설정하였다. 또한 금형의 상측코어가 회절비구면 형상이므로 압축단계에서 하측 플레이트 온도는 320°C로 고정하고, 상측 플레이트의 온도를 320~335°C까지 5°C 간격으로 설정하였다. 그리고 각 성형조건 별로 5장의 렌즈를 성형하였다. 금형코어와 성형된 칼코겐유리렌즈 표면의 회절구조를 고배율 현미경과 백색광간섭계 (NewView 5000, Zygo Co., USA)를 활용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 4 (a)는 금형코어 표면의 회절링을 백색광간섭계로 측정한 3D 이미지를 보여준다. 코어면 회절링의 블레이즈 깊이는 약 6 μm으로 측정되어 코어의 회절비구면이 설계치(6.226 μm)와 거의 일치되도록 가공되었음을 확인 하였다.

그림 5에 표 2에서 성형조건 A (압축단계 상측 플레이트 온도 320°C)로 성형된 칼코겐유리렌즈의 회절비구면 표면을 나타냈다. 그림 5 (a)는 회절비구면의 표면 사진이다. 렌즈의 깨짐이나 유리의 융착 현상은 발견되지 않았으며, 미세한 표면 결함만이 관찰되었다. 이러한 표면결함은 칼코겐유리렌즈 성형 중 가열 및 가압 단계에서 Sb 등의 휘발성물질의 증발로 인해 발생하는 것으로 추정된다⁶⁾.

그러나 관찰된 표면결함은 원적외선 (8~12 μm)

Unit : mm

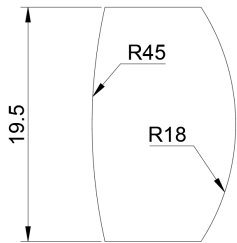


Fig. 2 Schematic design of the preform for diffractive-aspheric lens molding

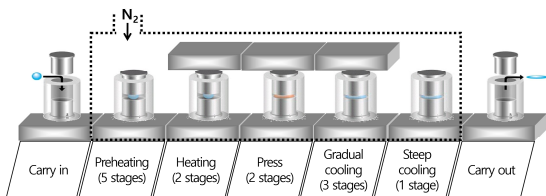
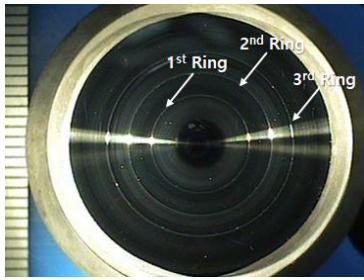
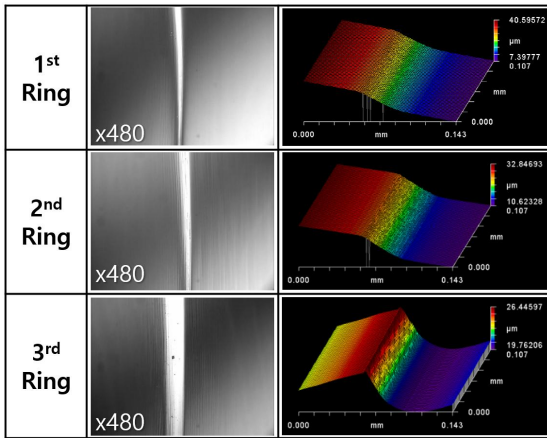


Fig. 3 Schematic of the molding part in LMR-3300V2S



(a)

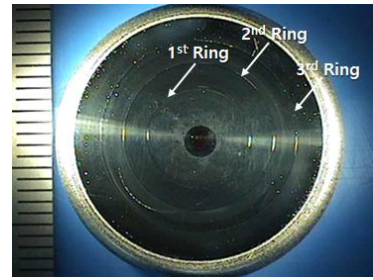


(b)

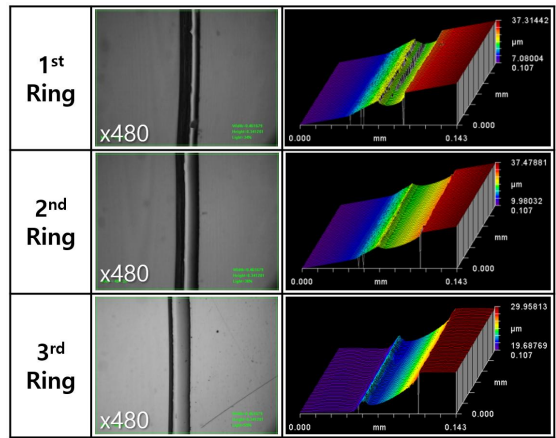
Fig. 4 (a) Diffractive-aspheric surface image and (b) microscopic image and 3D surface view of diffractive ring in the mold core

영역을 사용하는 광학계 특성 상 성능에 미치는 영향이 없을 것으로 판단된다. 그림 5 (b)는 3개의 회절링 각각에 대한 현미경 사진과 백색광간섭계로 측정된 3D 이미지를 보여준다. 코어면의 회절구조가 정상적으로 전사되지 않았음을 알 수 있고, 중심부에서 외곽부로 갈수록 전사성이 더욱 좋지 못함을 확인하였다. 이러한 전사성 불량은 그림 6에 나타낸바와 같이 가압단계에서 칼코젠유리 압축 시 회절링의 내측 모서리부에 에어갭이 발생 되어 나타난 현상으로 추정된다.

그림 7에 성형조건 A~D 까지 각 조건별로 성형된 칼코젠유리렌즈의 회절비구면 표면이미지와 회절링의 현미경사진을 비교하여 나타냈다. 압축단계 상측 플레이트 온도를 325°C (조건 B)로 5°C 올릴 경우 첫 번째 회절링이 정상적으로 전사되었고,



(a)



(b)

Fig. 5 (a) Diffractive-aspheric surface image and (b) microscopic image and 3D surface view of diffractive ring in the molded chalcogenide glass under the condition A

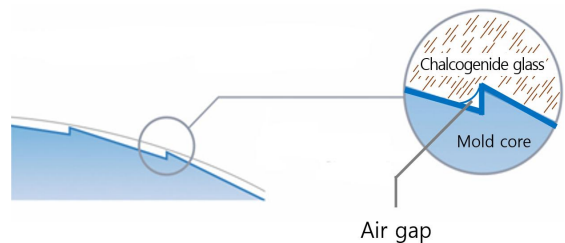


Fig. 6 Schematic interface between the mold core and the chalcogenide glass in the press step

330°C (조건 C)에서는 두 번째 회절링 까지 전사되었음을 확인 하였다. 그리고 압축단계 상측 플레이트 온도를 335°C (조건 D)까지 올릴 경우 3개의 모든 회절링이 완벽하게 전사됨을 확인 하였다. 프리

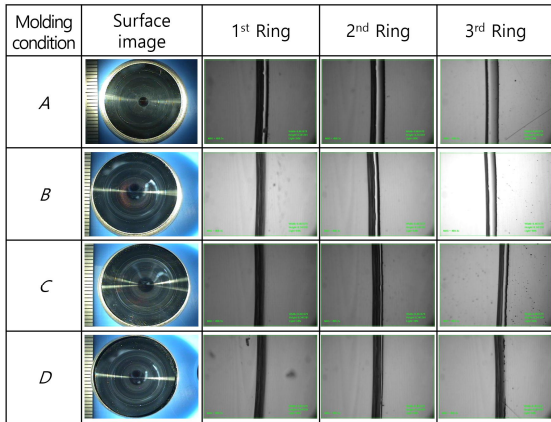
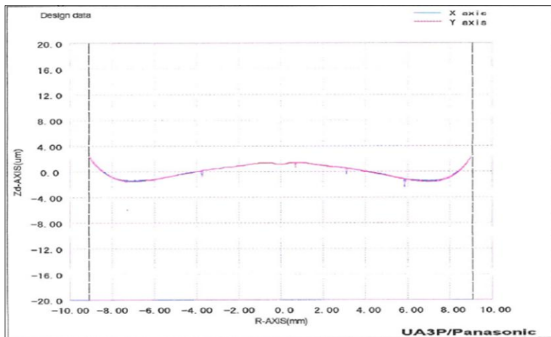
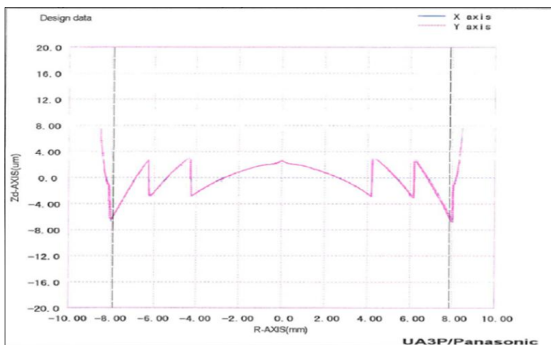


Fig. 7 Diffractive-aspheric surface image and microscopic image of diffractive ring in the molded chalcogenide glass under the condition A~D



(a) Surface A



(b) Surface B

Fig. 8 Form error of the chalcogenide glass lens molded under the condition D. (a) surface A and (b) surface B

폼 압축 시 중심부 부터 성형이 이루어짐으로 렌즈 소재가 받는 압력 및 하중이 가해지는 시간은 중심부에서 외곽부로 갈수록 줄어든다. 이러한 이유로 내측 첫 번째 회절링의 전사성이 가장 우수하고 외곽부로 갈수록 전사성이 낮아지는 것으로 추정된다. 또한, 실험결과는 압축단계에서 칼코겐유리가 충분히 연화될 경우 에어갭 없이 회절구조가 전사될 수 있음을 보여준다. 따라서 회절렌즈 성형 시 성형온도를 높여서 소재 점도를 낮출수록 회절구조의 전사성이 향상됨을 알 수 있다. 그러나 기존 연구를 고려할 때 성형온도가 너무 높을 경우 칼코겐 유리 소재에서 발생하는 휘발성 물질로 인해 렌즈 표면에 심각한 표면결함이나 금형코어 표면 소재용착 현상이 발생 될 수 있으므로 주의해야 한다. 그림 8은 성형렌즈 양면 유효경의 형상오차를 3차원 자유곡면형상측정기 (UA3P, Panasonic Co., Japan)로 측정한 결과이다. 렌즈 양면의 유효경 전체에서 전사가 잘 이루어졌음을 알 수 있다. 비구면과 회절 비구면의 형상오차(PV)가 각각 4.2 um와 9.4 um을 나타냈으나, 열변형보정을 통해 형상오차(PV) 1 um 이하로 보정이 가능하므로 적외선광학계에 적용 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

칼코겐유리 소재 회절비구면렌즈의 압축성형 시 회절구조의 전사특성에 미치는 온도의 영향을 확인하기 위해 다양한 온도에서 렌즈를 성형하였다. 성형된 칼코겐유리렌즈의 회절구조와 금형코어의 회절구조를 비교분석 함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 성형온도가 높을수록 칼코겐유리가 충분히 연화되어 금형코어의 회절구조의 전사성이 향상됨을 확인 하였다. 한편, 소재가 충분히 연화되지 않을 경우 회절링의 내측 모서리부에 에어갭이 발생되어 전사성이 좋지 않은 것으로 추정된다.
2. 프리폼 압축 시 중심부 부터 성형이 이루어짐으로 렌즈소재가 받는 압력 및 하중이 가해지는 시간은 중심부에서 외곽부로 갈수록 줄어든다. 따라서, 내측 회절링의 전사성이 가장 우수하고 외곽부로 갈수록 전사성이 낮아지는 것으로 추

정된다.

3. 성형온도를 적절히 조절할 경우 소재융착이나 심각한 표면결함 없이 칼코겐유리렌즈를 이용하여 회절비구면렌즈를 제작할 수 있음을 확인하였다.

후 기

“이 연구는 2020년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.”

REFERENCES

1. Cha, D. H., Kim, J. H., and Kim, H. J., “Experimental study of the fabrication of chalcogenide glass lenses by using precision glass molding,” *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 65, pp. 1675-1681, 2014.
2. Cha, D. H., Kim H. J., “Hwang, Y., Jeong, J. C., and Kim, J. H., Fabrication of molded chalcogenide-glass lens for thermal imaging applications,” *Applied Optics*, Vol. 51, pp. 5649-5656, 2012.
3. Curatu, G., “Design and fabrication of low-cost thermal imaging optics using precision chalcogenide glass molding,” *Proceedings of SPIE*, Vol. 7060, pp. 706008-1, 2008.
4. SCHOTT Advanced Optics, https://www.schott.com/advanced_optics/english/products/optical-materials/ir-materials/infrared-chalcogenide-glasses/index.html
5. Cha, D. H., Kim, H. J., Park, H. S., “Hwang, Y. Kim, J. H., Hong, J. H. and Lee, K. S., Effect of temperature on the molding of chalcogenide glass lenses for infrared imaging applications,” *Applied Optics*, Vol. 49, pp. 1607-1613, 2010.
6. Chien, H. H., Kuo, C. H. and Huang, S. W., “Molding of Al₂O₃-coated chalcogenide glass lenses,” *Optical Engineering*, Vol. 51, pp. 033401-1, 2012.