

열화상카메라 개발을 통한 의료용 체열진단 가능성 평가[†]

(Development and Possibility Evaluation of Thermal Imaging Camera for Medical Monitoring of Body Temperature)

유 성 미¹⁾, 김 혜 정^{2)*}
(Seong Mi Ryu and Hye-Jeong Kim)

요 약 최근 인체에서 방출되는 적외선을 감지하여 질병부위를 진단하는 의료기기로써 체열 촬영이 가능한 열화상카메라가 활용되고 있다. 본 연구에서는 칼코지나이드 소재 적외선 성형렌즈를 채용한 열화상카메라 시제품을 제작하고, 열영상 분석을 통해 체열진단 장비로써의 시제품 성능을 검증하였다. 열화상카메라 시제품은 20~50 °C에서 체열이 촬영됨을 확인 하였고, 온도분해능(NEDT) 측정결과 87.7mK의 우수한 결과를 나타냈다. 이를 통해 칼코지나이드 성형렌즈를 채용한 열화상카메라 시스템이 체열진단을 위한 의료기로 사용가능함을 확인 하였다.

핵심주제어 : 열상카메라, 의료기기, 체열진단, 적외선 광학부품, 정밀유리성형

Abstract Recently, thermography camera have been using for body-temperature monitoring. We report on fabrication of prototype thermography camera using the chalcogenide-glass lens and the camera test by analysis of thermal image. In this work, it was found out that thermography camera discerned body-temperature between 20 and 50 °C with noise equivalent temperature difference(NEDT) of 87.7mK. It is confirmed that thermography camera using the chalcogenide-glass lens is applicable to the body-temperature monitoring system.

Key Words : Thermography Camera, Medical Instrument, Body-temperature monitoring, Infrared Optics, Precision Glass Molding

1. 서 론

최근 인체에서 자연적으로 방출되는 적외선(파장 8~12um)을 감지하여 통증부위나 질병부위를 컬러 영상으로 나타내 주는 진단 의료기기로써 전신 체열촬영이 가능한 적외선 열화상카메라가 사용되고 있다. 적외선 체열촬영은 통증이나 질병에 의해 유발되는 피부의 온도 조절기능 변화를 검사하는 방법으로 기존의 x-선, CT나 MRI의 해부학적인 진단방사선법과는 전혀 다른 신체의 생리적인 변화를 검사하는

* Corresponding Author : kimhj@kopti.re.kr

† 본 논문은 2013년도 광주보건대학교 교내연구비의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 3013025)

Manuscript December 31, 2014 / Revised February 03, 2015 / Accepted February 17, 2015

1) 광주보건대학교 간호학과, 제1저자

2) 한국광기술원 초정밀광학연구센터, 교신저자

새로운 방법이다. 통증을 객관화시킬 수 있는 검사로서 기존의 검사로는 불가능한 자율신경계의 질환을 진단할 수 있다. 체온의 변화는 질병의 상태를 간접적으로 표현한 것으로 전자공학의 발달로 환자의 신체에 접촉이 없이 0.1℃까지 정확하게 인체에서 발산되는 전 영역의 온도를 측정할 수 있게 되었다. 적외선 열화상카메라는 이를 기초로 동통을 객관화하여 영상화해 주는 의료기기로 환자도 느낄 수 없는 통증을 나타낼 수 있다[1]. 이렇게 체열진단 분야에서 열화상카메라는 매우 용이하게 사용될 수 있으나, 고가의 광학모듈(센서 및 광학렌즈)이 채용됨에 따라 가격부담으로 인해 범용화를 위한 보급이 지연되고 있는 실정이다. 적외선 센서의 경우 비교적 저가의 비냉각식(Microbolometer) 센서가 개발되어 상용화되었으나, 광학렌즈는 아직까지 고가의 단결정소재 렌즈가 사용되고 있다. 그러나 최근 몰드성형이 가능한 칼코지나이드 유리소재를 활용한 저가형 적외선광학렌즈 가공기술이 개발되어 상용화가 시도되고 있어 향후 저가형 체열진단 시스템의 보급이 크게 확산될 것으로 전망된다. 본 연구에서는 몰드성형렌즈를 채용한 적외선 열화상카메라를 제작하여 열화상테스트를 수행함으로써 체열진단 시스템으로써의 적용가능성을 확인 하였다[2-6].

2. 실험 방법

2.1 적외선 광학계 설계

본 연구에서는 광학설계 및 분석 소프트웨어인 CODE V[®]를 사용하여 비냉각형 적외선센서(320x240 microbolometer array, 25 μm pixel) 기준으로 적외선 광학계를 설계하였다. Fig. 1과 같이 광학계는 양면 비구면 칼코지나이드 유리렌즈 2매로 설계되었으며, 세부 성능스펙은 Table 1에 나타났다. 25 μm 픽셀크기 센서 기준으로 Nyquist 공간주파수는 20 lp/mm를 의미한다. 본 연구에서는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 고해상도 구현을 위해 광학계의 해상도(MTF; Modulation Transfer Function)를 주축과 비축에서 Nyquist 공간주파수(20 lp/mm)까지 약 40%이상을 나타내도록 설계하였다. 설계렌즈의 각 비구면 형상은 식(1)에 나타난 바와 같이 원추항과 다항식항의

합인 비구면 식으로 표현된다.

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

여기에서 C 는 비구면 렌즈의 곡률반경의 역수이고, K 값과 A_i 는 각각 Conic 상수와 비구면 계수 값을 나타낸다.

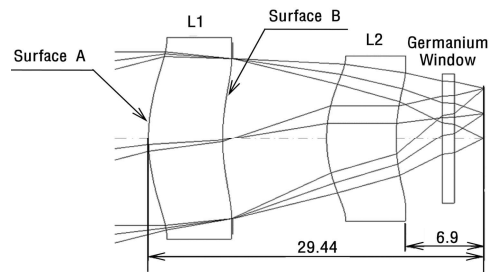


Fig. 1 Layout of optical system.

Table 1 Optical performance

Term	Specification
Fno.	1.0
FOV (Diagonal)	32.4 degree
Optical Distortion (@1F)	-2%
MTF (@ Center, 20lp/mm)	43% (Diffraction limit 75%)
Effective Focal Length	17.1 mm

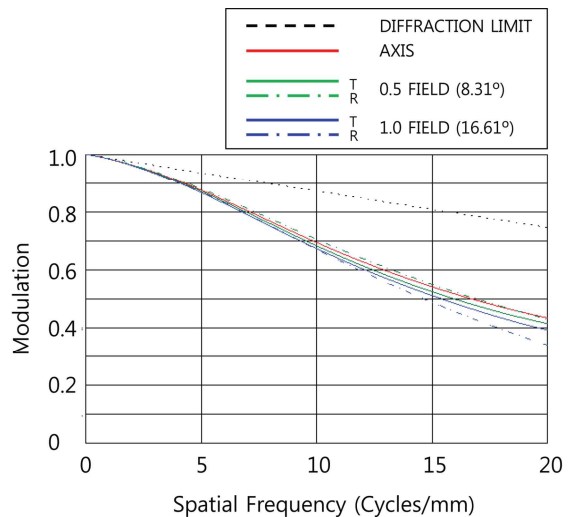


Fig. 2 Polychromatic MTF plots on-axis, 0.5 field, and 1.0 field at 25 °C

2.2 적외선렌즈 성형용 금형가공 및 렌즈성형

칼코지나이드 유리렌즈 성형용 금형소재로써 코발트(Co) 함량 0.8 wt.%의 초경합금(WC; N18, Namsun Co., Korea)을 사용하였다. 금형코어는 초경합금을 초정밀 연삭 및 폴리싱 가공 후 이형성 향상과 금형 수명향상을 위해 100 nm 두께의 DLC(Diamond-Like-Carbon)코팅을 적용하여 제작하였다. 적외선렌즈 성형용 광학소재는 칼코지나이드 유리($Ge_{20}Sb_{15}Se_{65}$; NBU-IR1, Ningbo Univ., China)로써 적외선(2~12 μm) 영역에서 약 70%의 투과율을 나타낸다. 칼코지나이드 유리렌즈의 성형을 위해 Fig. 3에 나타난 금형이송형 유리렌즈 성형기(GMP-54-5S, Toshiba Co., Japan)를 사용하였으며, Table 2의 성형조건을 적용하여 총 10장의 렌즈를 성형하고 특성을 평가하였다. 본 성형장비는 적외선(IR)램프 가열방식과 플레이트 냉각방식으로, 총 5개의 스테이션(가열 스테이션 2개, 가압 스테이션 1개, 냉각 스테이션 2개)으로 구성되어있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 적외선 광학렌즈 성형조건

일반적으로 유리렌즈 성형단계는 <Fig. 4>에 나타난 바와 같이 크게 가열, 가압, 냉각의 3개로 구분되며, 고정밀 광학렌즈 제작을 위해서는 각 단계의 공정 파라미터를 최적화 해야만 한다.



Fig. 3 Schematic of the molding part in GMP-54-5S

Table 2 Molding conditions and process parameters used in this study

		Heating		Pressing	Slow cooling
		1st	2nd		
Temp. (°C)	Upper plate	-	-	320	150
	Lower plate	250	320	320	150
Pressing force (N)		-	-	500	200
Unit-process time (s)		800			

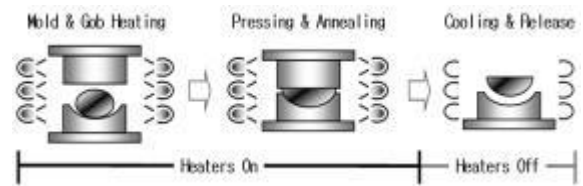


Fig. 4 Schematic diagram of precision glass molding process

Table 3의 성형조건은 칼코지나이드 유리의 성형성에 미치는 온도의 영향에 대해 보고한 사전연구를 기준으로 결정되었다[7]. 렌즈 깨짐을 방지하기 위해 첫번째 가열단계 온도는 칼코지나이드 유리(NBU-IR1)의 전이점(285°C) 보다 낮게 설정하였으며, 두번째 가열단계 온도는 연화점(309°C) 보다 높게 설정하였다. 가압과 서냉단계의 힘은 각각 500 N과 200 N으로 유지하였다.

3.2 적외선 광학렌즈 특성평가

칼코지나이드 유리렌즈 성형결과 렌즈 깨짐이나 유리용착 등의 불량현상은 발견되지 않았으며, 미세한 표면 결함만이 관찰되었다. 이러한 표면결함은 칼코지나이드 유리렌즈 성형 중 가열 및 가압 단계에서 Sb 등 휘발성 물질의 증발로 인해 발생하는 것으로 추정 된다[8]. 그러나 관찰된 표면결함은 원적외선(8~12 μm) 영역을 사용하는 카메라 특성상 광학계의 성능에는 영향이 없을 것으로 판단하였다.

성형결과 렌즈1(L1)의 형상오차(PV)는 렌즈 제작 공차(1 μm 이하)를 크게 벗어나는 약 12 μm 을 나타냈다. 이러한 성형렌즈의 형상을 개선하기 위해 렌즈의 변형량을 금형코어 형상에 반영하여 보정해주었다. 이를 통해 제작된 렌즈의 형상오차(PV)는 Fig. 5에

나타낸 바와 같이 A면, B면 각각 0.57 μm 과 0.38 μm 을 나타냈다. 이러한 수치는 원적외선(8~12 μm)영역의 파장을 사용하는 열화상카메라용 광학계에 적용 가능한 우수한 형상정밀도 이다.

표면거칠기는 측정된 형상오차에서 Cutoff 파장(λ_c) 0.8 mm의 고역필터(High pass filter)를 적용하여 얻었으며, A면, B면 각각 13 nm와 8 nm을 나타냈다. 렌즈2(L2)도 앞서 기술한 렌즈1(L1)과 동일한 공정으로 제작되었으며, 유사한 특성을 나타냈다.

Table 3에 설계렌즈의 중요 제작공차와 성형렌즈 측정치를 나타냈다.

Table 3 Lens design parameters, molding tolerance, and the measured values

Term		Form error (PV)	Roughness (Ra)
Fabrication tolerance		< 1.0 μm	< 20 nm
L1	Surface A	0.57	13
	Surface B	0.38	8
L2	Surface A	0.51	12
	Surface B	0.47	10

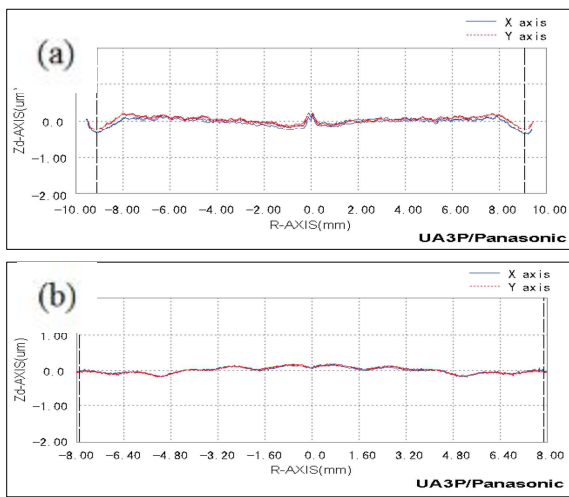


Fig. 5 Form error of the molded chalcogenide glass lens. (a) surface A and (b) surface B

열화상카메라용 적외선광학렌즈는 원적외선 영역(8~12 μm)에서 90%이상의 투과특성을 가져야 하지만, 칼코지나이드 유리소재는 표면반사 및 내부흡수로 인해 약 70%의 투과율을 나타낸다. 본 연구에서는 성형된 칼코지나이드 유리렌즈의 투과율을 향상시키기 위해 4층막 무반사코팅을 적용하였으며, Fig. 6과 같이 원적외선 영역(8~12 μm)에서 97%의 평균투과율을 나타냈다. Fig. 7과 Fig. 8은 각각 열화상카메라용 적외선광학렌즈 개발을 위해 제작된 금형코어와 성형렌즈를 나타낸다.

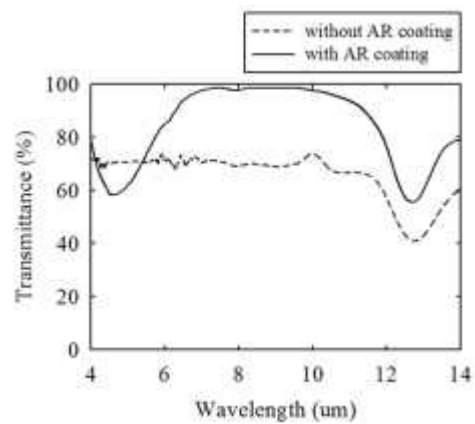


Fig. 6 Transmittance comparison of chalcogenide glass with and without anti-reflection coating

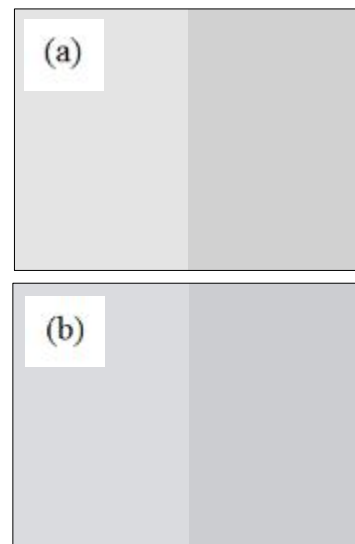


Fig. 7 Mold core for lens molding. (a) for L1 lens and (b) for L2 lens



Fig. 8 The finished lens and lens assembly

3.3 열화상카메라 특성평가 및 체열촬영

성형된 칼코지나이드 유리렌즈를 채용한 열화상카메라 시제품을 제작하고 적외선카메라 분해능 측정기(RTB 3000, Santa barbara infrared co., USA)를 이용하여 카메라의 온도분해능(NETD: noise equivalent temperature difference)을 측정한 결과 Fig. 9와 같이 87.7mK의 우수한 성능을 나타냈다. 또한, 인체 체열을 촬영한 결과 Fig. 10과 같이 일반적인 체열진단 카메라의 측정범위인 20~50°C 사이에서 정밀한 측정이 이루어짐을 확인 하였다.

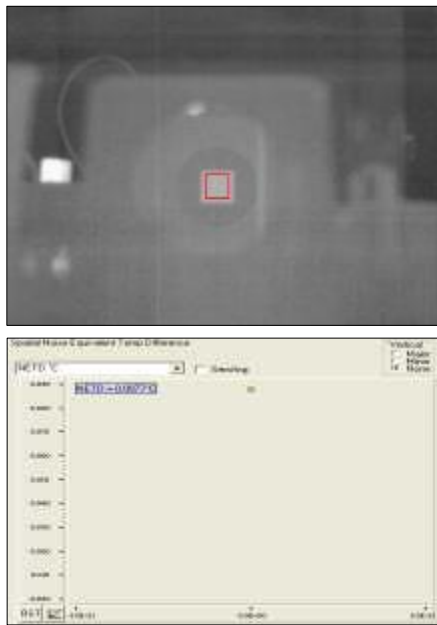


Fig. 9 NETD measurement results of prototype thermography camera

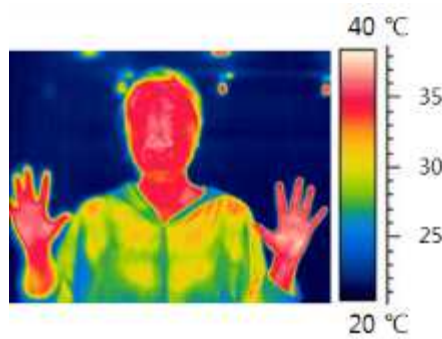


Fig. 10 Test image obtained from the thermography camera

4. 결 론

저가의 몰드성형 적외선 광학렌즈를 채용하여 보급형 열화상카메라 시제품을 제작하고, 열화상테스트를 통해 인체 체열을 촬영하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 칼코지나이드 유리($Ge_{20}Sb_{15}Se_{65}$)소재의 몰드성형을 통해 열화상카메라용 적외선광학렌즈를 제작하였으며, 렌즈 깨짐이나 소재용착 등의 불량현상은 발견되지 않았다.
- (2) 몰드성형 공정 중 냉각단계에서 발생하는 렌즈의 열변형 보정을 통해 열화상카메라에 채용 가능한 고정밀도(형상오차(PV) 1 μm 이하, 표면조도(Ra) 20 nm이하) 적외선 광학렌즈를 제작하였다.
- (3) 몰드성형된 칼코지나이드 유리렌즈에 무반사코팅을 적용하였으며, 코팅렌즈는 원적외선(8~12 μm) 영역에서 97%의 평균투과율을 나타냈다.
- (4) 제작된 적외선 광학렌즈를 채용하여 열화상카메라 시제품을 제작하고, 온도분해능 측정결과 87.7mK의 NETD값을 나타냈다.
- (5) 인체 체열 촬영을 통해 얻어진 이미지 분석 결과 일반적인 의료기기 체열진단 카메라의 측정범위인 20~50°C 사이에서 정밀한 측정이 이루어짐을 확인 하였고, 이를 통해 제작된 열화상카메라가

의료기기용 체열진단 시스템으로 적용 가능성을 확인 하였다.

2012.

References

[1] Medical Device Journal, http://www.komdj.com/default_board/list.asp?b_type=7

[2] D. H. Cha, H. J. Kim, H. S. Park, Y. Hwang, J. H. Kim, J. H. Hong and K. S. Lee, "Effect of temperature on the molding of chalcogenide glass lenses for infrared imaging applications," *Appl. Opt.*, Vol. 49, No. 9, pp. 1607-1613, 2010.

[3] X. H. Zhang, Y. Guimond and Y. Bellec, "Production of complex chalcogenide glass optics by modling for thermal imaging," *J. Non-Cryst. Solids* Vol. 326&327, pp. 519-523, 2003.

[4] G. Curatu, "Design and fabrication of low-cost thermal imaging optics using precision chalcogenide glass molding," *Proc. of SPIE*, Vol. 7060, pp. 706008-1-7, 2008.

[5] G. Curatu, B. Binkley, D. Tinch and C. Curatu, "Using molded chalcogenide glass technology to reduce cost in a compact wide-angle thermal imaging lens," *Proc. of SPIE*, Vol. 6206, pp. 62062M, 2006.

[6] B. Bureau, X. H. Zhang, F. Smektala, J.-L. Adam, J. Troles, H. Ma, C. Boussard-Pledel, J. Lucas, P. Lucas, D. L. Coq, M. R. Riley and J. H. Simmons, "Recent advances in chalcogenide glasses," *J. Non-Cryst. Solids*, Vol. 345&346, pp. 276-283, 2004.

[7] D. H. Cha, H. J. Kim, J. K. Lee, H. U. Kim, S. S. Kim and J. H. Kim, "A study of mold grinding and pressing conditions in the molding of aspheric glass lenses for camera phone module," *Mater. Manuf. Process.* Vol. 23, pp. 683-689, 2008.

[8] H. H. Chien, C. H. Kuo and S. W. Huang, "Molding of Al₂O₃-coated chalcogenide glass lenses," *Opt. Eng.* Vol. 51, No. 3, pp. 033401-1-7,



유 성 미 (Seong Mi Ryu)

- 정회원
- 경상대학교 간호학과 학사
- 경상대학교 간호학과 석사
- 부산대학교 간호학과 박사
- 광주보건대학 간호과 부교수
- 관심분야 : 의료정보, 병원경영, 감염관리



김 혜 정 (Hye-Jeong Kim)

- 전남대학교 화학과 학사
- 전남대학교 화학과 석사
- 전남대학교 화학과 박사
- 한국광기술원 책임연구원
- 관심분야 : 광학부품, 초정밀가공, 코팅