

열적외선 카메라용 광학계 생산성 향상에 관한 연구

김성용*, 현동훈⁺

(논문접수일 2009. 3. 6, 심사완료일 2009. 4. 20)

A Study on the Productivity Improvement of Thermal Infrared Camera an Optical Lens

Kim Sung-yong*, Hyun Dong-hun⁺

Abstract

Thermal infrared cameras have been conducted actively in various application areas, such as military, medical service, industries and cars. Because of their characteristic of sensing the radiant heat emitted from subjects in the range of long-wavelength(3~5 μm or 8~12 μm), and of materializing a vision system, when general optics materials are used, they don't react to the light in the range of long-wavelength, and can't display their optic functions. Therefore, the materials with the feature of higher refractive index, reacting to the range of long-wavelength, are to be used. The kinds of materials with the characteristic of higher refractive index are limited, and their features are close to those of metals. Because of these metallic features, the existing producing method of optical systems were direct manufacturing method using grinding method or CAD/CAM, which put limit on productivity and made it difficult to properly cope with the increasing demand of markets. GASIR, a material, which can be molded easily, was selected among infrared ray optics materials in this study, and the optical system was designed with two Aspheric lenses. Because the lenses are molded in the environment of high temperature and high pressure, they require a special metallic pattern. The metallic pattern was produced with materials with ultra hardness that can stand high temperature and high pressure. As for the lens mold, GMP(Glass Molding Press) of the linear transfer method was used in order to improve the productivity of optical systems for thermal infrared cameras, which was the goal of this paper.

Key Words : long-wavelength(3~5 μm or 8~12 μm) thermal infrared camera(열적외선카메라), Glass Molding Press(유리성형기), GASIR(가시어), aspheric(비구면), optic(광학)

* 한국산업기술대학교 기계공학과 지식기반기술·에너지대학원 (ksy57@smba.go.kr)
주소: 443-761 경기도 수원시 영통구 반달공원길 66(영통동 1012-2)
⁺ 한국산업기술대학교 나노광공학과

1. 서론

열적외선 카메라는 장파장(3~5 μ m 또는 8~13 μ m) 대역의 피사체가 방사하는 복사열을 감지하여 비전시스템을 구현한다. 광학계에 일반적인 Crown계열 및 Flint계열의 광학 유리 재료를 사용하면 장파장의 빛과 반응하지 않아 광학적 성능 발휘가 불가능하다. 따라서 고굴절 특성을 갖는 특수한 재료인 Ge, Si, ZnS, ZnSe 등을 사용하고 있다. 이 소재들은 두께에 민감하여 렌즈의 두께에 따라 빛의 투과율이 극히 낮아진다. 이러한 재료들은 금속의 특성에 가까워 제조성이 까다로우며, 제작 시 다량의 절삭 및 연삭재를 사용하게 된다. 또한 국내의 광학 제조업체들의 생산 환경이 광학계 생산성에 대한 경쟁력을 갖추지 못하여 수요에 적절히 대응하지 못하고 있다.

본 논문에서는 열적외선 카메라 광학계의 광학적 특성과 소재의 물성 특성을 비교분석하여 GASIR를 선택하였다. GASIR를 바탕으로 비구면을 적용한 2매 광학계를 설계 하였으며, 기존 연마, 절삭 등의 직접가공에 의한 제작방법을 배제하고, 유리 렌즈 성형법인 GMP를 이용하여 광학계를 성형하고자 한다.

따라서 본 논문에서는 GMP를 이용한 성형을 통해 열적외선 카메라 광학계의 생산성 향상을 연구하였고, 연삭 및 절삭재 사용에 따라 발생하는 환경 유해 물질의 감소로 환경 친화적 제조를 이루었다. 또한, GMP를 이용한 성형을 통해 광학계를 생산함으로써 소형화, 경량화, 제조원가 절감 등 여러 가지 이점을 얻을 수 있었다.

2. 열적외선 카메라

2.1 열적외선 카메라의 구성

열적외선 카메라의 구성은 사용하는 파장, 요구되는 성능, 검출기, 적외선 검출 방법 등에 따라서 달라진다. 기본적으로 열적외선 카메라는, 광학렌즈 부분(Optical Lens), 적외선감

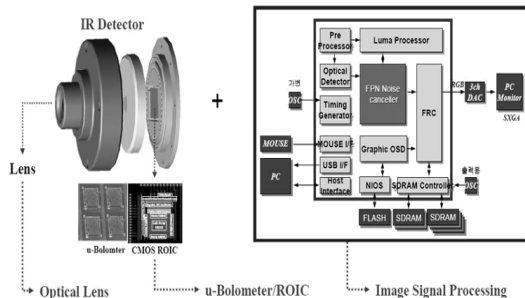


Fig. 1 Component of thermal infrared camera

지 센서 부분(μ -Bolometer/ROIC), 이미지 구현 부분(Image Signal Processing)으로 구성되어 있으며, Fig. 1은 열적외선 카메라의 구성도를 나타낸다.

2.2 열적외선 카메라 광학계의 특징

열적외선 카메라 광학계는 다음과 같은 특징을 갖는다. 우선, 단파장 대역이 아닌 장파장 대역의 빛에 반응한다. 두 번째, 일반 렌즈 재질을 사용하면 장파장의 빛과 반응을 하지 않는다. 세 번째, 열상을 비전 시스템으로 구현하기 위해서는 굴절률이 높은 소재를 사용해야 된다. 네 번째, 렌즈의 두께에 민감하여 렌즈 두께에 따라 빛의 투과율이 극히 낮아진다. 아래 Table 1은 열적외선 카메라 광학계가 갖는 광학적 특징을 정리하여 나타내었다.

2.3 가시광선 카메라와 열적외선 카메라 비교

가시광선 영역의 경우 일반적인 Visible 카메라를 통해 물

Table 1 Optical characteristics of thermal infrared camera

구분	특징	비고
광학계	장파장대역의 빛에 반응	8~13 μ m
	일반 렌즈 재질이용불가	장파장의 빛과 반응 안함
	열상을 비전 시스템으로 구현	굴절률이 높은 소재 사용
	렌즈 두께에 민감	두께에 따라 빛 투과율 극히 낮아짐



Fig. 2 Comparison of visible light and thermal infrared

체의 영상을 보게 된다. 그러나 광원(Light Source)이 없는 경우 Fig. 2와 같이 열적외선 카메라(Thermal Infrared Camera)와 다른 모습을 보이게 된다. 즉, 일반 가시광선 카메라로는 식별이 불가능한 물체를 열적외선 카메라를 통해 판단 수 있다.

2.4 열적외선 카메라 적용 분야

열적외선 카메라는 초기에 국방용에 국한되어 활용되고 있었으나, 센서 및 광학계 제작기술이 발달되어 산업용 및 의료용으로 확대되었다. 활용분야를 보면 교통통제/보안감시카메라 분야, 체열 영상진단기(Thermography), 자동차 나이트비전(night-vision), PCB 검사장비, 건축물 단열 상태, 유지보수용, 재난구조 소방헬멧, 군수용, 공정온도 모니터링 등에 적용되고 있다. 아래 Table 2는 이런 열적외선 카메라의 적용 분야들에 대해 정리하였다.

3. 프로세스

3.1 생산 프로세스

열적외선 카메라 광학계를 생산하기 위해서는 다음과 같은 과정을 거치게 된다. 우선, 카메라 사양을 분석하고, 분석된 데이터를 바탕으로 광학설계 및 기구설계가 진행된다. 광학설계가 완료되면 렌즈 성형을 위한 GMP용 코어 및 금형을 제작하고 렌즈 성형을 한다. 성형된 렌즈를 측정·평가하고 광학적 성능을 높이기 위한 코팅 등 일련의 과정을 거치게 된다. 다음 Fig. 3은 열적외선 카메라 광학계 생산 프로세스를 나타낸다.

3.2 비구면 코어 초정밀 가공 프로세스

비구면 렌즈 코어를 가공하기 위해서는 일련의 과정을 거

Table 2 Application of thermal infrared camera

구분	분야	활 용
열 적 외 선	보안감시	야간 감시, 산불 감시
	의료	인체 체열 영상진단
	자동차	야간주행 시야 확보
	PCB검사	비 접촉식 발열 진단
카 메 라	건축단열	건축, 배관, 내장 단열진단
	유지보수	케이블손상, 장비열화 진단
	재난구조	야간 인명구조 맨홀 등 작업시계확보
	군수	해안선 감시, 야간 조준경

치게 된다. 그 과정은 렌즈설계 데이터를 바탕으로 가공정보를 생성하고, 그에 따라 선삭, 황·중·정삭 등의 과정을 거쳐 코어가 생산된다. Fig. 4는 비구면 렌즈 코어를 가공하기 위한 비구면 코어 초정밀 가공 프로세스를 보여주고 있다.

3.3 순차이송방식 GMP의 렌즈 성형 프로세스

순차이송 방식의 GMP는 각 예열, 성형, 냉각 등의 공정으로 구분된다. 렌즈는 각각의 과정을 거치면서 성형 된다. 각 금형은 Mold Stocker에서 순차적으로 투입된다. 일괄처리

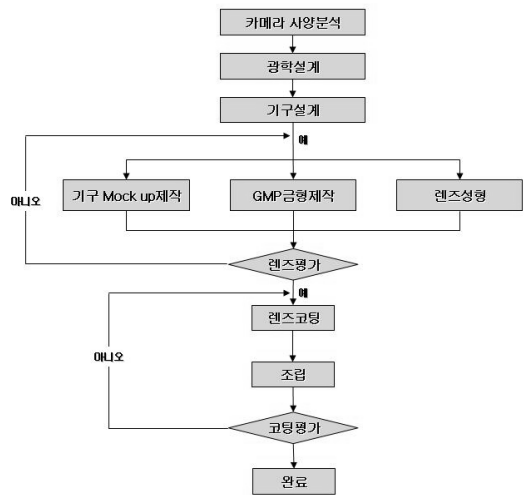


Fig. 3 Production process of thermal infrared camera optical system

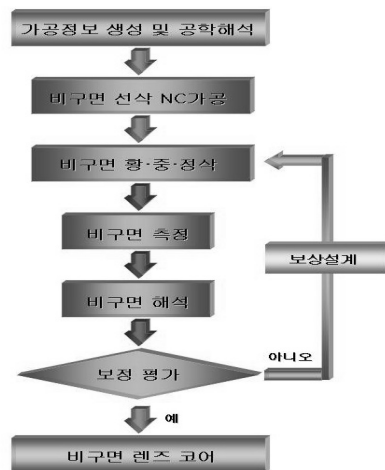


Fig. 4 Precision machining of aspheric core

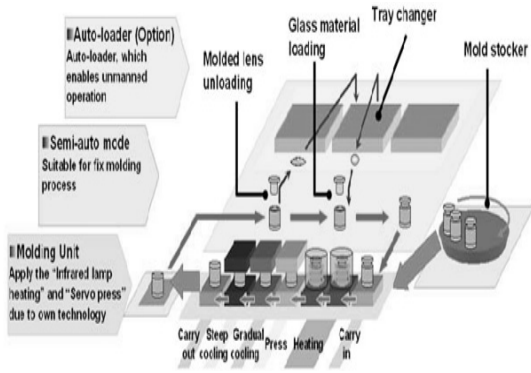


Fig. 5 Lens press flow of GMP

방식에 비해 순차이송 방식은 개별 금형별로 성형 과정이 진행되므로 생산성 향상의 이점을 볼 수 있다. 또한 GMP를 적용하여 열적외선 카메라용 광학계를 성형 생산 시 Ge, Si, ZnS, ZnSe 등의 소재를 직가공에 따라 사용하게 되는 연삭 및 절삭재의 사용이 제거되며, 가공 중 발생하는 유해 물질의 발생을 극도로 줄일 수 있어 환경적인 측면에서도 이득을 얻을 수 있었다. Fig. 5는 순차이송 방식의 GMP 렌즈 성형 흐름도이다.

4. 실험 및 고찰

4.1 광학설계 사양

본 논문에서 개발한 열적외선 카메라의 사양은 Table 3과 같다.

4.2 광학설계

Fig. 6은 2매로 구성된 열적외선 카메라 광학계 설계 그림이다. 3매 비구면 광학계에 비해 2매의 광학계는 다소 성능이

Table 3 Design specification of thermal infrared camera

Description	Specifications
Source Wavelength	8~13 μ m
Effective Focal Length	27mm
Image Height	7.6, 31°
Image NA	0.333
Magnification	0
Lens Construction	2AG

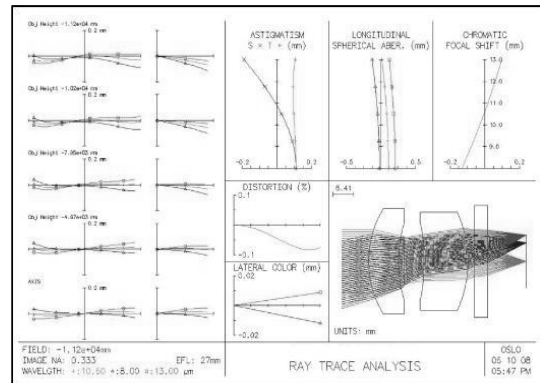


Fig. 6 Aspheric applied every two optical system

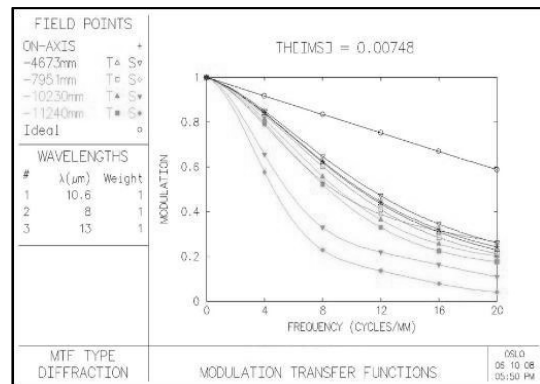


Fig. 7 MTF graph of every two optical system

떨어지지만 안정적인 광학계 형상과 영상이 전달됨을 알 수 있다. 비구면은 1번 렌즈의 두 번째 면 R2와 2번 렌즈 첫 번째 면 R1에 적용하였다.

Fig. 7은 2매 광학계의 MTF 그래프를 나타낸다. 20lp/mm에서 30% 정도의 해상력을 나타내고 있다.

4.3 금형 설계

금형의 설계는 CAD 프로그램인 Autodesk사의 Auto CAD와 Inventor를 이용하였다. Fig. 8~13은 금형의 설계도이다. 다음 Fig. 14는 렌즈1과 렌즈2의 상·하 코어, 가이드 링, 가이드 부시의 조립도를 나타낸다.

4.4 금형 가공

GMP용 금형 코어 재질은 초경(WC: Tungsten Carbide)

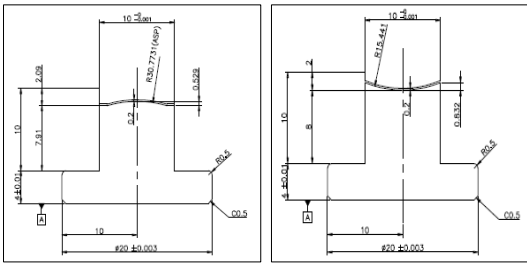


Fig. 8 Up core of Lens1 Fig. 9 Down core of lens1

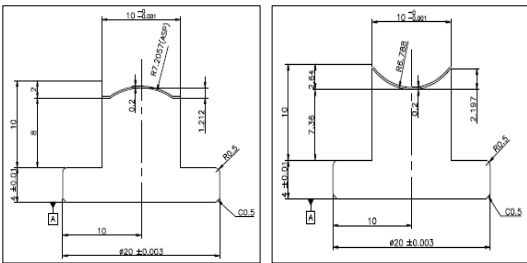


Fig. 10 Up core of Lens2 Fig. 11 Down core of lens2

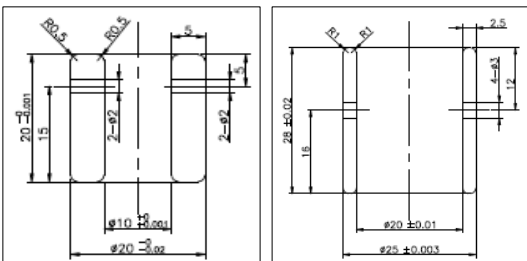


Fig. 12 Guide bush Fig. 13 Guide ring

을 사용하며, 일반 플라스틱 렌즈용 사출코어와 같이 무전해 니켈도금 후 천연다이아몬드바이트 가공이 불가능하다. 따라서 다이아몬드 휠을 사용하여 가공을 하게 된다. Fig. 15는 렌즈 성형 코어 가공 장면으로 습식 연삭으로 가공하게 된다.

Table 4는 성형용 코어의 연삭 가공조건이다. 코어의 재질은 초경을 사용하였고, 다이아몬드 휠의 규격은 #2000, Grinding spindle의 속도는 30,000rpm, 절입량은 0.1 μ m로 하였다.

다음은 순차이송방식 GMP용 금형의 제작품(Mock up) 사진이다. Fig. 16은 렌즈1의 17은 렌즈2의 가이드 링, 가이드 부시, 상·하 코어를 나열한 사진이다. 렌즈 소재가 금형의 위에 자리를 잘 잡을 수 있도록 하 코어를 오목형으로 제작하였으며, 성형 중 발생하는 가스의 배기를 원활히 하기 위해 배

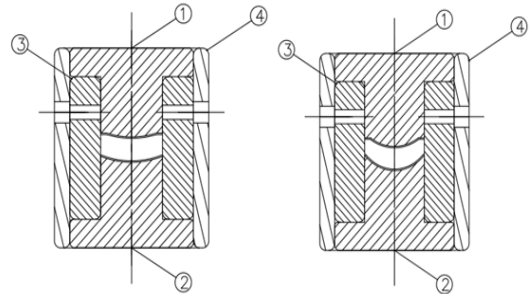


Fig. 14 Assembling



Fig. 15 Aspheric processing scene

Table 4 Processing condition

항 목	조 건
Material	WC, Co 0.5%
Diamond Wheel	#2000
Grinding Spindle Speed	30,000rpm
Feedrate	0.25mm / min
Depth of Cut	0.1 μ m

기구를 상측에 위치하였다.

4.5 광학계 소자

열적외선 카메라용 광학계에 사용되는 소재로는 Ge, ZnSe, ZnS 등이 사용되었다. 이 소재들은 물성이 금속에 가까워 광학계 제조에 어려움이 있으며, 연삭 및 절삭 시 사용되는 연삭·절삭재 등에 의해 환경 위해 물질이 배출 된다. 또한 유리 온도가 높아 성형엔 부적합하다. 따라서 성형을 통한 광학계를 제작한다고 해도 금형 및 사이클 타임 등 여러 가지 문제가 발생된다. 본 논문에서는 유리온도가 약 300 $^{\circ}$ C 이고 굴절

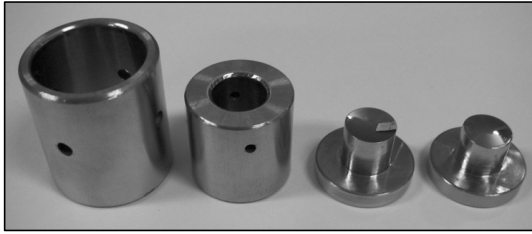


Fig. 16 Mold Mock-up of lens1

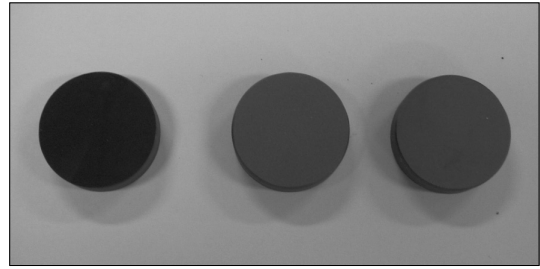


Fig. 18 GASIR



Fig. 17 Mold Mock-up of lens2

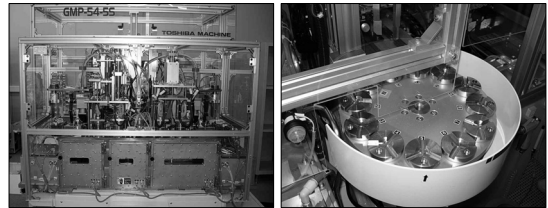


Fig. 19 Press console and mold stocker

Table 5 GASIR data

항 목		
Mechanical	Density(kg/m ³)	4.4(±0.01)×10 ³ 1
	Compression resistance(MPa)	61
	Young's modulus(GPa)	17.89
	Torsion modulus(GPa)	6.98
	Flexion resistance(MPa)	17.2
	Poisson's ratio	0.28
Thermal	Glass temperature/Melting Point(K)	565
	Upper use temperature(K)	523
	Specific heat(J.g ⁻¹ .K ⁻¹)	0.36
	Thermal expansion coefficient (300K)(K ⁻¹)	17×10 ⁻⁶
	Thermal conductivity (288-307K)(W/m.K)	0.28
	Optical	Refractive index(μm)
Temperature coefficient of refractive index dn/dt(K ⁻¹)		at 293K 5.5×10 ⁻⁵ at 373K 6.7×10 ⁻⁵
Refractive index variation between different lots(K ⁻¹)		< 6×10 ⁻⁴

률이 2.6정도이며, 성형이 가능한 재질인 GASIR를 선택하였고, Table 5에 데이터를 정리하였다.

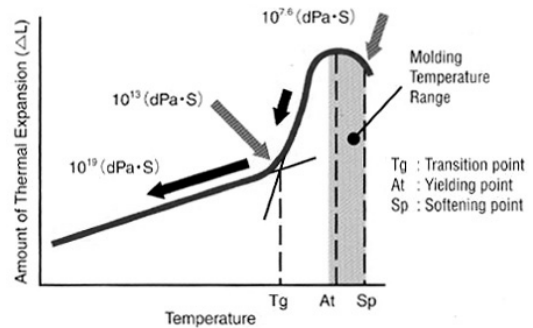


Fig. 20 Pressing temperature

4.6 렌즈 성형

열적외선 카메라용 광학계는 기존의 직가공 형태로는 생산성 향상을 달성하기가 어렵다. 따라서 유리 렌즈 성형기인 GMP(TOSHIBA MACHINE, High Precision Optical Glass Mold Press Machine(GMP-54-5S))를 적용하였다. Fig. 19는 성형기 본체 및 Mold stocker 부분별 사진이다.

렌즈의 성형 과정은 크게 가열단계와 냉각단계 두 단계로 나누어 진행되어 진다. 첫 번째 단계는 성형용 금형에 렌즈 소재가 투입되면 성형 온도까지 가열된다. Fig. 20과 같이 성형온도는 소재의 굴복점 이상에서 결정되며, 성형온도 까지 가열된 소재의 점도는 몰드의 형상 전사가 용이한 온도까지 된다. 두 번째 단계는 렌즈의 가압 성형이 수행된 후 서냉 과



Fig. 21 Pressing lens

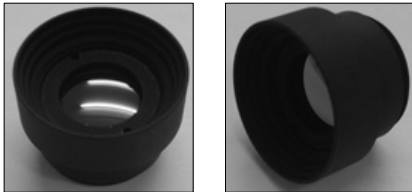


Fig. 22 Assembling

정을 거치게 된다. 가압 성형된 렌즈는 서냉 과정을 거치면서 소재의 수축으로 발생하는 형상 왜곡이 구면수차를 일으킴으로 이를 억제하고 전사성을 높이기 위해 가압이 동시에 진행된다. 서냉 구간은 Annealing point와 Strain point를 기준으로 설정되며, 소재의 낮은 열전도율로 인해 발생하는 잔류응력은 서냉을 통해 완화된다. 따라서 서냉 과정은 GMP의 필수 공정이다.

Fig. 21은 GMP를 이용하여 성형한 렌즈의 사진이며, 성형 렌즈는 눈으로 보기에 불투명하다. 또한 Fig. 22는 성형된 렌즈와 기구물의 조립상태를 나타낸다.

4.7 성형 렌즈 평가

본 연구에서는 형상 측정을 위하여 고정도의 3차원측정기



Fig. 23 Console of UA3P and other equipment

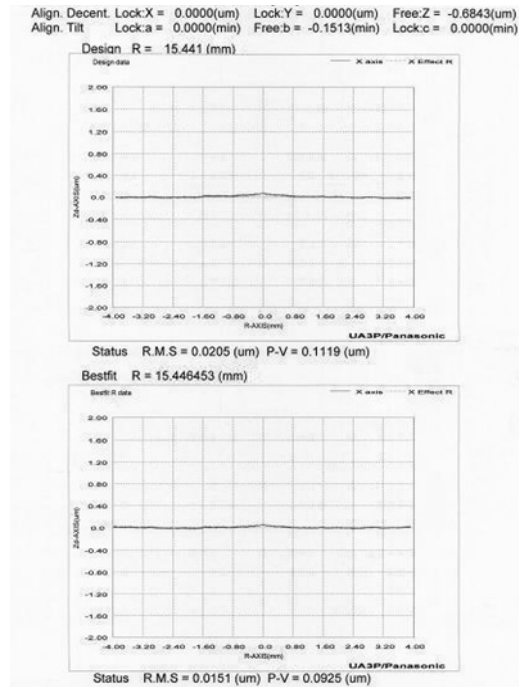


Fig. 24 Measurement result R1 of lens1

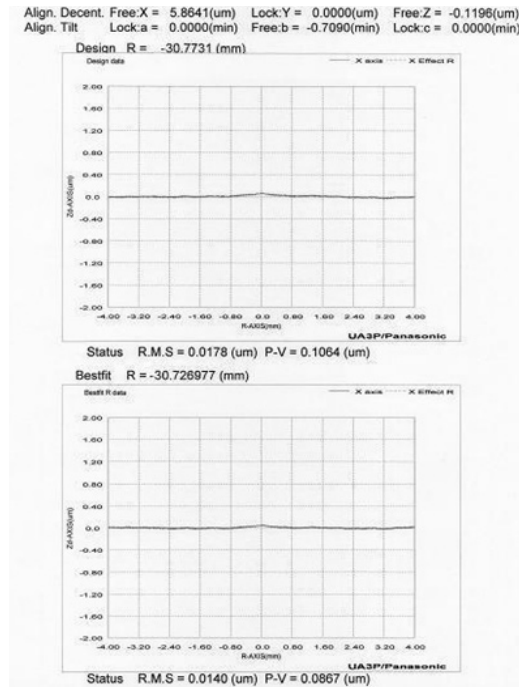


Fig. 25 Measurement result R2 of lens1

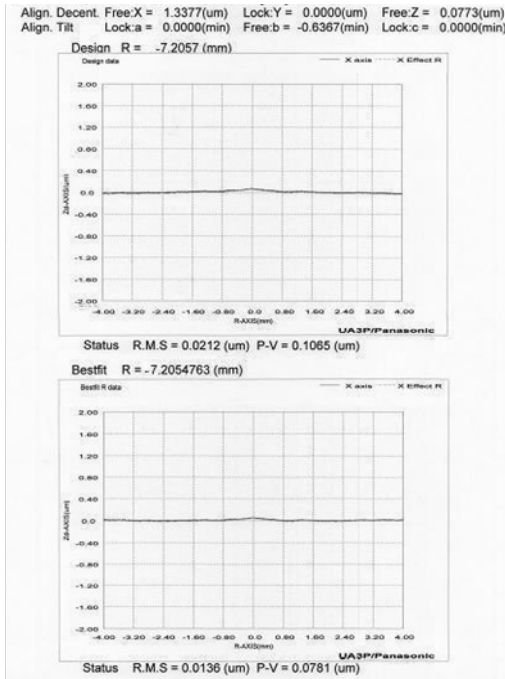


Fig. 26 Measurement result R1 of lens2

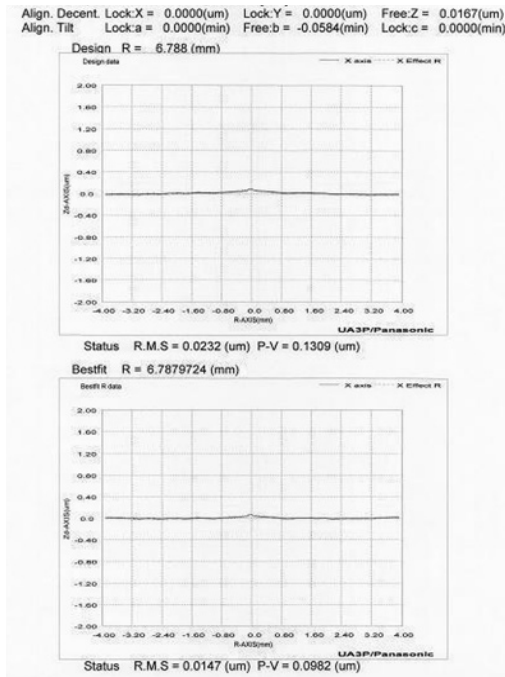


Fig. 27 Measurement result R2 of lens2

를 사용하였다. 3차원측정기는 일본 Panasonic사의 Ultrahigh Accurate 3-D Profilometer(UA3P)이다. Fig. 23은 UA3P의 본체와 기타 장비의 사진이다.

다음 Fig. 24~27은 측정 데이터로 렌즈의 형상정도와 표면조도의 측정값을 나타낸다.

열적외선 카메라 광학계는 고굴절 특성을 갖는 재료를 사용한다. 따라서 광학계의 두께와 R값에 따라 광학성능에 큰 영향을 준다. 그러므로 측정값 중 표면정도보다, 형상정도가 중요한 척도가 된다.

Table 6의 측정 데이터를 보면 광학계의 개발 목표치인 형상정도 0.5 μ m를 달성한 것을 볼 수 있다. 또한 표면정도 0.05 μ m보다 좋은 값을 보이는 것을 알 수 있다.

4.8 제작 카메라 및 열영상 이미지

Fig. 28은 성형된 렌즈를 가지고 제작된 카메라이며, 일반 캠 카메라와 열적외선 카메라를 듀얼로 구성하여 이미지를 비교가 가능하도록 제작하였다.

Fig. 29~31은 열적외선 카메라를 이용하여 촬영한 이미지이며, 일반 캠 카메라 이미지와 열상 이미지를 볼 수 있다. 온도가 높은 부분일수록 색이 진하게 나온 것을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 유리 성형기인 GMP를 이용하여 열적외선 카메라용 광학계를 성형함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

Table 6 Measurement data

평가항목	목표치	L1		L2	
		R1	R2	R1	R2
형상정도 (P-V)	0.5 (μ m)	0.092	0.086	0.078	0.098
표면정도 (R.M.S)	0.05 (μ m)	0.015	0.014	0.013	0.014



Fig. 28 Made thermal infrared camera



Fig. 29 Image 1



Fig. 30 Image 2



Fig. 31 Image 3

첫 번째, 열적외선 광학계 소재인 Ge, Si, ZnS, ZnSe 등을 가공하면서 사용되는 절삭 및 연삭재와 가공 중 발생하는 환경위해 물질의 배출을 GMP를 이용하여 성형함으로써 감소시킬 수 있었다.

두 번째, 기존 광학계 소재인 Ge보다 녹는점이 낮은 GASIR (녹는점 약300℃)를 선정함으로써 성형을 통한 광학계 생산성을 향상시킬 수 있었다.

세 번째, 순차 이송 방식 금형의 가이드 링과 가이드 부시를 일체화 시켜 금형의 단순화와 공차관리를 수월히 할 수 있었으며, 하 코어를 상 코어보다 길게 제작함으로써 성형된 렌즈의 취출을 쉽게 할 수 있었다.

네 번째, 광학계의 개발 목표치 형상정도 0.5 μ m, 표면정도 0.05 μ m보다 좋은 값을 얻을 수 있었다.

이와 같이 GMP를 이용하여 열적외선 카메라용 광학계를 성형함으로써 기존 직접 가공 방식보다 향상된 생산성을 볼 수 있었다. 또한 지속적인 코어 기술 개발, 렌즈의 소재 개발 등 생산 기술을 향상시키고 자동화를 접목시켜 지속적인 신규모델을 개발한다면 늘어나는 수요에 적절히 대처 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- (1) Hong, S. M. and Song, I. S., 1998, "Outline of Thermal Imaging System," *Physics and High Technology*, Vol. 7, No. 8, pp. 2~8.
- (2) Hong, S. M., Song, I. S., Kim, C. W., Yu, W. K., and Kim, H. S., 2004, "Thermal imaging sensor design using 320×240 IRFPA," *Optical Society of Korea*, Vol. 15, No. 5. pp. 423~428.
- (3) Kwon, Y. J., 2007, *Development Small and High Pixel Optical Lens a Thermal Sensing Device*, A Thesis for a Master's, Korea Polytechnic University, Republic of Korea.
- (4) Son, H. H., 2008, *A Study on Design Criteria and Image Correction of the Aspherical Glass Lens Mold*, A Thesis for a Master's, Korea Polytechnic University, Republic of Korea.
- (5) Kim, D. S., Park, K. S., and Jung, T. S., 2007, "Study on Aspheric Glass Lens Development Using Progressive GMP Process," *Korea Society of Machine Tool Engineers Autumn Conference 2007*, pp. 61~67.
- (6) Kim, H. J., Cha, D. W., and Kim, J. H., 2007, "Aspheric Glass Lens Mold and Optical Characteristics Evaluation for Mobile Phone Module," *Journal of the Korea of Industrial Information System Society*, Vol. 12, No. 3, pp. 124~131.
- (7) Crastes, A., Tissot, J. L., Guimond, Y., Antonello, P. C., Leleve, J., Lenz, H. J., Potet, P., and Yon, J. J., 2003, "Low cost uncooled IRFPA and molded IR lens for enhanced driver vision," *Optical systems design conference, SPIE5252*, Sep. 29~Oct. 03, Saint Etienne, France.
- (8) Warren, J. Smith, 1992, *Modern Lens Design: A Resource Manual*, The McGraw-Hill Professional Companies, New York.
- (9) Cheung, C. F. and Lee, W. B., 2003, *Surface Generation in Ultra-Precision Diamond Turning: Modelling and Practices*, Professional Engineering Publishing Limited, London.
- (10) Robert, E. F. and Biljana, T., 2000, *Optical System Design*, McGraw-Hill, New York.
- (11) Rudolf, H., and Warren, J. S., 1991, *Infrared Optical Design and Fabrication*, Proceeding of a Conference held 2-3 April 1991, Orlando, Florida.