

마주보는 대칭렌즈를 가지는 MWIR용 초점거리 24mm의 비구면 결상광학계 설계

이상길¹, 김부태², 이동희^{3*}

¹극동대학교 대학원 정보통신학과 박사과정, ²에이옵틱스 기술연구소 대표이사, ³극동대학교 안경광학과 교수

Design of Aspheric Imaging Optical System having 24mm Focal Length for MWIR with Facing Symmetric Lenses

Sang-Kil Lee¹, Boo-Tae Kim², Dong-Hee Lee^{3*}

¹Ph. D. Student, Department of Information & Telecommunication, Graduate School of Far East University

²CEO, Technical Research Center, Aoptics

³Professor, Department of Visual Optics, Far East University

요 약 본 연구는 마주보는 두 대칭렌즈를 가지는 초점거리 24mm 인 MWIR($3\sim 5\mu m$)용 결상광학계의 설계 개발에 관한 것이다. 광학계는 CodeV를 사용하여 설계하였으며, 사용자의 요구조건을 만족할 수 있는 분해능과 화각을 가지도록 최적화 과정을 진행하였다. 렌즈의 초차는 국내에서 개발된 $3\mu m$ 에서 굴절률 1.7589를 갖는 초차(KCIR035)를 포함하여 두 종류로 제한하였다. 이렇게 설계되어진 광학계는 같은 모양을 갖는 KCIR035 초차의 2장의 비구면 렌즈와 1장의 Si 초차의 구면 렌즈로 이루어져 있다. 여기서 2장의 비구면 렌즈의 배치는 마주보는 대칭구조를 이루고 있는 것이 특징이다. 그리고 이 광학계는 선폭 20lp/mm에서 MTF값이 0.35 이상인 분해능을 갖게 되었다. 따라서 이 광학계는 pixel의 크기가 $25\mu m$ 인 206×156 어레이 MWIR 검출소자를 사용하는 열영상 카메라에 적용할 수 있는 성능을 가진 것으로 판단된다.

주제어 : 마주보는 구조, MWIR, 열영상 카메라, 초점거리 24mm, 비구면

Abstract This study deals with the design and development of imaging optics having 24mm focal length for MWIR ($3\sim 5\mu m$) with two symmetrical lenses facing each other. We used CodeV in our optical design, and we performed the optimization process to have the resolution and angle of view satisfying the user's requirements. The materials of lenses were limited to two types, including KCIR035 with a refractive index of 1.7589, developed in Korea. The optical system designed in this way consists of two aspherical lenses made of KCIR035 material having the same shape and one spherical lens made of Si. Here, the arrangement of the two aspherical lenses is characterized by having a symmetrical structure facing each other. And this optical system has a resolution of MTF value of 0.35 or more at a line width of 20 lp / mm. Therefore, it is considered that this optical system has the capability to be applied to a thermal imaging camera using a 206×156 array MWIR detection device having a pixel size of $25\mu m$.

Key Words : Facing structure, MWIR, Thermal camera, Focal length 24mm, Aspheric surface

1. 서론

최근 광 기술과 메카일렉트로닉스 기술이 융합된 열

영상 소자의 가격이 저렴해지고 있다. 관련된 열영상 카메라가 현대생활 요소요소에 많이 사용되는데, 소비자들은 더욱더 저렴한 제품이 개발되어 다양한 분야에 적용

*Corresponding Author : Dong-Hee Lee (2013059@kdu.ac.kr)

Received June 26, 2018

Accepted September 20, 2018

Revised July 26, 2018

Published September 28, 2018

되기를 원하고 있다. 특히 열영상 카메라를 통해 열적 문제점을 찾아낼 수 있다면, 인체, 애완동물, 구동 전자 제품 및 기계 설비 등의 정상적인 상태에서의 벗어남을 쉽게 파악할 수 있게 된다. 이러한 열영상 카메라는 외부 물체로부터 방출되는 적외선을 결상시키는 광 결상 기술과 광 결상 기술에 의해 결상된 적외선 이미지를 검출하는 검출 기술이 잘 융합되어야만 좋은 성능을 갖게 되는 것이다.

대부분의 적외선용 초자로는 ZnSe, Si, Ge의 3 종류가 많이 사용되고 있고, Si(실리콘)는 MWIR용 렌즈 설계에 적절하고, Ge(게르마늄)은 LWIR용 렌즈 설계에 적절한 것으로 알려져 있다[1-3]. 그러나 이러한 초자의 공급은 각국에서 전략적으로 제한하기도 하는데 이에 각국에서는 적외선용 초자의 자체 공급뿐 만 아니라 검출소자[4-7]의 자체 개발을 서두르고 있다. 특히 초자는 대량생산을 위한 press molding용 초자의 개발을 선호하고 있다.

국내에서도 관련 초자의 자체개발이 최근에 이루어져 Table 1의 특성을 가지는 MWIR용 초자가 press molding용으로 개발되어졌다. 이에 본 연구에서는 Table 1에 나타나 있는 초자를 사용하고, Table 2와 같은 사용자 요구의 광학적 성능을 만족하는 3~5 μm 파장대역의 적외선 결상용 광학계를 개발해보고자 한다.

Table 1. Optical properties of KCIR035 developed for press molding in Korea.

Material Properties		
Thermal Expansion(50~100℃)		3.26E-6/K
Transition Temperature		368℃
AT		692℃
SP		732℃
Hardness (Knoop)		510
Dispersive power & Abbe Number		
nd(587nm)		1.7873
nF(486nm)		1.8005
nC(656nm)		1.7800
vd		31.6
Transmission Properties		
Wavelength	Refractive Index	Transmission
[nm]	(@22℃)	(1mm)
3000	1.7589	79.0
4000	1.7437	79.0
5000	1.7229	77.0

Table 2. Design specifications demanded by user

EFL	24mm
BFL	>5mm
OAL	< 30mm
F/#	≤ 1.1
Distortion	<0.7%
Image Diagonal(mm)	6.75
Wavelength Range	3~5 μm
MTF(∞ ~800mm WD)	>0.35 @ 20lp/mm
Notes) KCIR035 must be used.	

2. MWIR용 결상렌즈의 설계 초기조건 검토

Table 1에는 이번에 개발된 press molding용 MWIR 초자 KCIR035의 특성을 보여주고 있는데 가시영역에서 MWIR까지를 투과할 수 있는 초자이기 때문에 가시광선 영역에서의 굴절률과 아베수가 나타나 있다. glass-code를 살펴보면 (787316)으로 나타나는데, 같은 press molding용 MWIR 초자인 일본 스미타(SUMITA)광학(주)의 K-GIR140[8], K-GIR79[9]의 glass-code (751431), (856330)와 비교해보면 굴절률은 중간정도의 굴절률을 가지고 있으며, 아베수는 가장 작은 것으로 판단된다.

Table 2에서 광학계 설계 요구조건을 살펴보면 F/#가 1.1 이하이므로 입사동의 유효구경은 24mm/1.1에서 21.8mm이상이어야 함을 알 수 있다[10,11]. 결상면의 대각선 사이즈가 6.75mm 이므로 43 화면 비율이면 5.4mm × 4.05mm 결상면 사이즈로 판단되며 20lp/mm의 분해능은 25 μm 픽셀 사용을 의미하기 때문에 적외선 검출소자의 화소수는 216×162(표준은 206×156)로 계산된다. 일반적으로 206×156의 화소수[12]를 갖는 열영상 카메라는 스마트폰 장착용으로 최근 많이 개발되고 있다.

일반적으로 적외선 광학계에는 적외선에서 투과율이 우수한 Ge, ZnSe, Si의 3 종류[1-3]가 많이 사용되고 있는데 이는 모두 연마용 초자이다. 연마용 초자로는 렌즈를 저가적으로 대량 생산하기가 힘들고 따라서 생산 단가를 낮추기 어렵기 때문에 press molding용 초자를 사용하여 렌즈의 단가를 낮출 필요가 있다. 그런데 현재 색수차를 제거할 수 있는 여러 종류의 press molding용 초자가 개발되고 있지 않는 상황에서는 연마용 초자와 press molding용 초자를 혼용 사용하여 색수차를 줄일 수 있는 조합을 찾을 필요가 있다. 이에 이번 연구에서는

사용자 요구를 충족시키면서 생산단가를 낮추기 위해 국내 개발된 press molding용 초자 KCIR035를 반드시 사용한 MWIR용 결상 광학계의 설계를 완성하고자 한다.

3. MWIR용 결상광학계 설계 방법

먼저 대부분 색수차와 구면수차의 발생으로 나타나는 결상면에서의 spot의 번짐이 광학계의 분해능 약화를 초래하는 것을 막기 위한 Ge, ZnSe, Si초자와 KCIR035의 적절한 조합을 찾아내야 한다. 즉 색수차 구면수차를 최소화하는 초자의 조합을 찾아내어 최적화된 사용자의 요구조건에 맞는 결상광학계를 설계하여야 한다. 또한 설계 시 고려해야할 주요 수차는 왜곡수차인데, 왜곡수차를 제어하지 못하면 검출소자에 왜곡을 가지는 영상 정보가 결상되게 되고, 이를 다시 LCOS, OLED, LCD 등의 디스플레이 창에 전송하기 위해서는 왜곡보정 알고리즘이 적용되는 S/W가 사용되어야 한다. 광학계 설계 단계에서 이러한 왜곡수차의 발생을 제어한다면 왜곡보정 과정을 생략할 수 있게 되기 때문에 시스템의 단가를 줄일 수 있게 된다. 따라서 이번 광학계 설계에서는 색수차 구면수차 왜곡수차를 최소화하도록 merit function을 작성하여 최적화를 진행하였다.

광학계 구성은 처음에는 연마용 초자 한 종류와 press molding용 초자 KCIR035를 포함하는 2매의 렌즈 조합으로 시작하였다. 처음에는 구면 구성으로 최적화를 해보았으나 유한광선 수차량이 커서 원하는 분해능을 얻을 수 없었다. 이어 press molding용 초자인 KCIR035의 양면을 비구면으로 하여 최적화를 하였으나 Field angle 8° 에서 원하는 분해능을 얻을 수 없었다. 따라서 다음 구성은 3매 렌즈의 조합이 필요한데, 여러 가지 조합 중에서 연마용 초자와 양면 비구면이면서 같은 형상의 KCIR035로 이루어지는 것이 생산단가를 고려해보면 가장 적절한 것으로 판단된다. 즉 연마용 초자를 구면보다 비구면으로 한다면 생산가격이 아주 높아질 것이기 때문에 배제되어야 하고, press molding용 초자 사용에서 렌즈의 형상이 다르면 급형이 2종류가 사용되어 생산단가를 높일 수 있기 때문에 배제되어야 한다면, 남은 조합은 구면의 연마용 초자로 이루어진 렌즈 1개 + 비구면의 KCIR035 로 이루어진 같은 렌즈 2개 이어야함이 당연하다.

비구면 형상을 위해 사용한 비구면(aspherical surface) 방정식을 적어보면 아래와 같다[13-15].

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + A_4r^4 + A_6r^6 + A_8r^8 + A_{10}r^{10} \quad (1)$$

(단, c 는 근축영역에서의 곡률 즉 곡률반경의 역수이고, k 는 코닉(conic)계수이고 A_4, A_6, A_8, A_{10} 은 비구면 계수이다.)

4. MWIR용 초점거리 24mm 결상렌즈의 설계

설계는 상용 프로그램인 CodeV[16]를 사용하였다. 최적화에서의 설계 제한조건으로 Table 1에 정리된 사용자 요구조건인 EFL, BFL, OAL, F/#의 범위를 사용하였고, 수차에서는 색수차 구면수차 왜곡수차에 가중치를 둔 merit function을 사용하였다.

제1렌즈에서는 두께, 제1면과 제2면의 곡률반경을 변수로 사용하였고, 제2렌즈에서는 두께, 제1면과 제2면의 상기 식(1)의 코닉계수 및 비구면계수 4개를 변수로 사용하였고, 제3렌즈에서의 변수는 제2렌즈와 제3렌즈가 마주보는 대칭 형태로 존재하기 때문에 CodeV의 pickup 모드를 사용하여 제2렌즈의 변수를 그대로 사용하였다. 또한 각 렌즈 사이의 거리와 제1렌즈의 초자도 최적화 과정의 변수로 사용하였다. 이렇게 하여 설계되어진 광학계의 설계 데이터와 1차 광학량은 각각 Table 3와 Table 4에 제시되어 있다.

여기서 제1렌즈는 양면이 구면인 실리콘, 제2렌즈는 양면이 비구면인 KCIR035, 제3렌즈는 제2렌즈와 마주보는 대칭구조의 형상을 갖는 양면이 비구면인 KCIR035로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 즉 Table 1의 초자를 사용하여 Table 2의 제한조건에서는 마주보는 대칭구조의 형상이 서로 나란하게 배치된 대칭구조의 형상보다 최적화에서 유리했다는 것이 확인되는 것이다. 또한 이번 최적화에서 색수차 제거 및 유한광선 수차량의 최소화 과정에 KCIR035과의 가장 효과적인 조합은 Ge, ZnSe, Si중에서 Si가 가장 적절함을 확인할 수 있었다.

Table 3. Design data of the optimized MWIR imaging lens system

Surface #	Surface Type	Radius	Thickness	Glass	Semi-Aperture
Objective	Sphere	∞	∞	AIR	
Stop	Sphere	∞	-3.700	AIR	10.900
2	Sphere	16.864	2.75		
3	Sphere	19.878	9.411		
4	Asphere	795,092	4.000	Si	7.683
	$k : 4494.760257$ $A_4 : -0.122208E-03, A_6 : 0.734238E-06,$ $A_8 : 0.149593E-07, A_{10} : -0.124096E-19$				
5	Asphere	-124.995	2.213	KCIR035	6.879
	$k : 263.749225$ $A_4 : -0.716741E-04, A_6 : -0.426509E-05,$ $A_8 : -0.643895E-07, A_{10} : 0.706881E-09$				
6	Asphere	124.995	4.000		6.077
	$k : 263.749225$ $A_4 : 0.716741E-04, A_6 : 0.426509E-05,$ $A_8 : 0.643895E-07, A_{10} : -0.706881E-09$				
7	Asphere	-795,092	6.759	KCIR035	5.357
	$k : 4494.760257$ $A_4 : 0.122208E-03, A_6 : -0.734238E-06,$ $A_8 : -0.149593E-07, A_{10} : 0.124096E-19$				
Image	Sphere		-0.115		3.387

Table 4. 1st optical characteristics of the optimized MWIR imaging lens system

INFINITE CONJUGATES	
EFL	24.00
BFL	6.759
FNO	1.1
IMG DIS	-0.115
OAL	29.016
PARAXIAL IMAGE	
HT	3.3730
ANG	8.0000
ENTRANCE PUPIL	
DIA	21.800
THI	0.0000
EXIT PUPIL	
DIA	20.7726
THI	-18.2591

5. 최적화된 MWIR용 초점거리 24mm 결상렌즈의 성능분석 및 제작

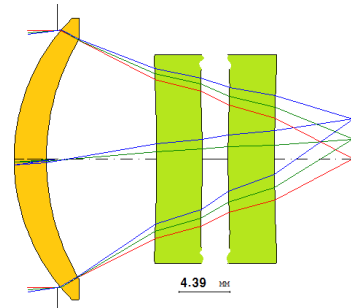


Fig. 1. Ray tracing drawing of the optimized MWIR imaging lens system

설계되어진 결상 광학계의 광선추적도 및 렌즈의 형상은 Fig. 1에 나타나 있는데 제1렌즈는 물체 방향으로 볼록한 +메니스커스 타입의 Si 초자로 구성되어 있고, 제2렌즈와 제3렌즈는 같은 형상과 재질로 구성되어 있지만 서로 마주보는 배치를 하고 있다. 제2렌즈와 제3렌즈는 국내에서 처음 개발된 press molding용 KCIR035를 사용하여 생산할 수 있기 때문에(press 성형된 동일한 렌즈를 사용해서 구성) 광학계 생산단가를 크게 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

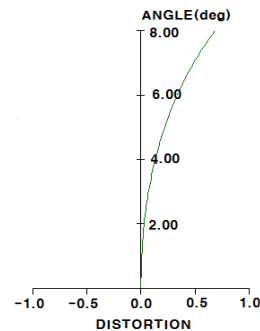


Fig. 2. Distortion diagrams of the optimized MWIR imaging lens system

Fig. 2에는 왜곡수치의 특성을 보여주는데 이는 Table 2의 사용자 요구조건을 충족하도록 Full-field (8°)에서 0.7% 이내로 잘 제어되고 있음을 보여준다. 8° 크기의 Field size는 유효 결상면의 직경이 $2 \times EFL \times \tan(8^\circ) = 6.75\text{mm}$ 로 계산되는데 이는 Table 2의 사용자의 요구조건을 충족시키고 있다.

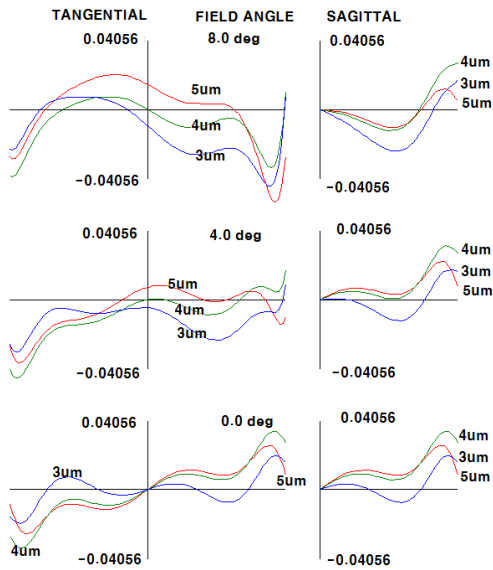


Fig. 3. Finite ray aberration of the optimized MWIR imaging lens system(unit : mm)

Fig. 3은 유한광선수차를 보여주고 있는데 Full-field(8°) 및 $3\sim 5\mu\text{m}$ 의 영역에서 광선수차량이 $40\mu\text{m}$ 이내에서 잘 제어되고 있음을 보여주고 있다.

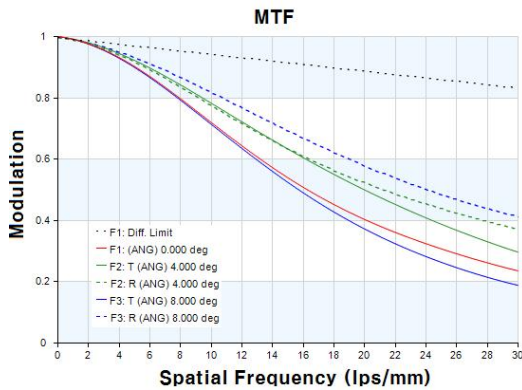


Fig. 4. MTF curves of the optimized MWIR imaging lens system

Fig. 4는 MTF 특성[17-18]을 보여주는데 20lp/mm 에서 0.35 이상의 MTF값을 29lp/mm 에서 0.20 이상의 MTF 값을 보여주는 설계로 사용자의 분해능 요구 조건을 잘 충족하고 있음을 확인할 수 있다.

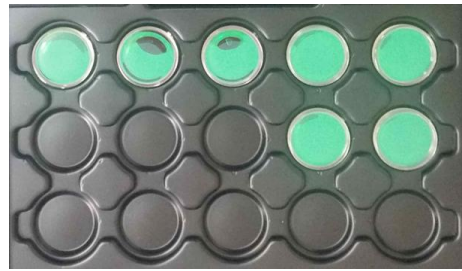


Fig. 5. External view of the Aspheric lens made by press molding

Fig. 5는 KCIR035를 press molding하여 제작한 성형 렌즈를 보여주는데, 이 렌즈는 제2렌즈와 제3렌즈에 사용한다. 이 렌즈 두 장을 마주보는 대칭구조로 배치하여 경통에 장착함으로써 열영상 카메라를 완성할 수 있게 된다. 이는 제1렌즈의 연마방식의 렌즈에 비해 양산시 가공시간과 비용을 절감할 수 있어 전체 광학계의 원가 절감에 크게 기여할 것으로 판단된다.



Fig. 6. External view of the assembled barrel with the optimized MWIR imaging lens system

Fig. 6는 실제 가공된 렌즈와 경통의 조립체의 외관을 보여주고 있다.

설계되어진 광학계를 구성하는 제1렌즈는 연마로 가공하였는데 연마 가공공차에서 Power/Irr는 3/1 Ring 이내로 하였고, 두께공차는 $\pm 0.03\text{mm}$ 이내로 하였다. 제2렌즈와 제3렌즈는 양면이 비구면이고 press molding용 KCIR035로 되어있기 때문에 press 성형용 금형의 코아가공이 필요하게 되는데, 코아의 면 가공은 DTM으로 가공하게 된다. 이때 비구면 코아면의 가공공차는 $P-V < 3.0\mu\text{m}$, $Ra < 0.05\mu\text{m}$, Eccentricity $< 10'$ (minutes)로 하였다.

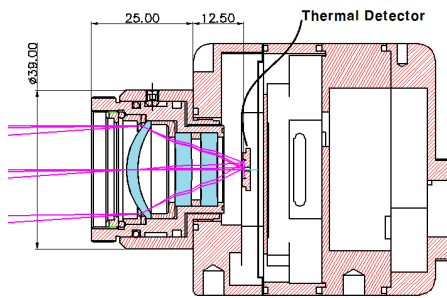


Fig. 7. Entire barrel sectional-view for showing the optimized MWIR imaging lens system with ray tracing

이렇게 해서 가공되어진 렌즈를 적외선 검출소자가 장착되는 하우징에 넣어 구성되는 결상광학계의 단면도를 Fig. 7에서 볼 수 있다.

6. 결론

본 연구에서 우리는 국내 처음 개발된 $3\mu\text{m}$ 에서 굴절률 1.7589를 갖는 초자(KCIR035)를 사용하여 상용화가 가능한 초점거리 24mm 인 MWIR($3\sim 5\mu\text{m}$)용 결상광학계를 설계 개발하였다. 이 광학계는 + 굴절력의 메니커스 타입의 Si 초자의 구면 렌즈와 같은 모양을 갖는 KCIR035 초자의 2장의 비구면 렌즈로 구성되어 있는데, 2장의 비구면 렌즈의 배치는 마주보는 대칭구조인 것을 특징으로 하고 있다. 또한 2장의 비구면 렌즈는 생산 원가 절감을 위해 프레스 성형이 가능한 초자를 사용하였기 때문에 기존 연마용 초자를 사용한 비슷한 성능의 시중의 광학계보다는 가격 경쟁력이 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발된 광학계는 선폭 20lp/mm에서 MTF값이 0.35 이상인 분해능과 Field size가 6.774mm를 갖게 되는데, 이는 pixel의 크기가 $25\mu\text{m}$ 인 206×156 어레이 MWIR 검출소자를 사용하는 열영상 카메라에 적용할 수 있는 성능을 가진 것으로 판단된다.

REFERENCES

[1] M. W. McDowell & H. W. Klee. (1984). Achromatization in thr 3 to $5\mu\text{m}$ spectral region with visible light transmitting materials. *Optical Engineering*, 23(2), 187-192.

DOI : 10.1117/12.7973409

- [2] M. Shen et al. (2014). Design of midwave infrared athermalization optical system with a large focal plane array. *Optik*, 125, 3085 - 3087.
DOI : 10.1016/j.ijleo.2013.12.024
- [3] A. Mann. (2001). *Infrared Optics and Zoom Lenses 2nd Ed* Bellingham : SPIE Press.
- [4] A. Rogalski. (2002). Infrared detectors: an overview Infrared. *Physics & Technology*, 43, 187 - 210.
DOI : 10.1016/S1350-4495(02)00140-8
- [5] M. Kopytko. (2014). Design and modelling of high-operating temperature MWIR HgCdTe nBn detector with n- and p-type barriers. *Infrared Physics & Technology*, 64, 47 - 55.
DOI : 10.1016/j.infrared.2014.01.015
- [6] E. L. Dereniak. & G. D. Boreman. (1996). *Infrared Detectors and Systems*. NY : John Wiley & Sons, Inc.
- [7] C. T. Elliott. (1981). New Detector for Thermal Imaging Systems. *Electron. Lett*, 17, 312-315.
DOI : 10.1049/el:19810218
- [8] SUMITA OPTICAL GLASS, Inc. (2015).
<http://www.sumita-opt.co.jp/en/products/optical/k-gir140.html>
- [9] SUMITA OPTICAL GLASS, Inc. (2015).
<http://www.sumita-opt.co.jp/en/products/optical/k-gir79.html>
- [10] Warren J. Smith. (2000). *Modern Optical Engineering 3rd Ed*. NY : McGraw-HILL.
- [11] R. Kingslake. (1983). *Optical System Design*. NY : Academic Press.
- [12] S. M. Hong et al. (2004). Thermal imaging sensor design using 320×240 IRFPA. *Hankook Kwanghak Hoeji*, 15(5), 423-428.
DOI : 10.3807/KJOP.2004.15.5.423
- [13] M. Laikin. (2007). *LENS DESIGN 4th Ed*. NY : CRC Press.
- [14] S. H. Park & D. H. Lee. (2008). Design of an Anamorphic Prism Lens for the Head Mount Display. *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.*, 13(4), 83-88.
- [15] D. H. Lee. (2001). Program Development for Extracting the Numerical Data of Aspherical Surface for the Core Manufacturing of Ophthalmic Lens. *J. Korean Ophthalmic Opt. Soc.*, 12(4), 87-90.
- [16] C. J. Richard. (1997). *Code V Reference Manual Version 8.20*. California : Optical Research Associates.
- [17] D. H. Han. (2016). Design and Characteristics of 6-60 Lens for CCTV. *Journal of Convergence Society for SMB*, 6(3), 85-91.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2016.6.3.085

- [18] R. E. Fischer. (2008). *Optical System Design*. NY : McGraw-HILL.
DOI : 10.1036/0071472487

이 상 길(Sang-Kil Lee)

[정회원]



- 1985년 2월 : KAIST 물리학과 (이학석사)
- 2003년 2월 ~ 2007년 1월 : (주)이오테크닉스 상무
- 2008년 7월 ~ 2017년 11월 : 에이옵틱스(주) 연구소장
- 2017년 12월 ~ 현재 : (주)유남옵틱스 이사
- 2015년 5월 : 한국광학기기산업협회 운영위원
- 관심분야 : 광학계 설계 및 평가, 레이저 가공장비, 3D 디스플레이광학계, 미세광학계
- E-Mail : sglee419@naver.com

김 부 태(Boo-Tae Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 한국산업기술대학교 나노광공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 한국산업기술대학교 지식기반기술·에너지대학원 광나노과정 (공학박사)
- 1982년 7월 ~ 2004년 3월 : 삼성전자주식회사 생산기술센터장
- 2005년 8월 ~ 현재 : 에이옵틱스(주) 대표이사
- 관심분야 : 초정밀 가공, 초정밀 금형, 비구면 광학계용 렌즈 금형, 사출성형렌즈
- E-Mail : btkim@aoptic.com

이 동 회(Dong-Hee Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : KAIST 물리학과 (이학석사)
- 1994년 2월 : KAIST 물리학과 (이학박사)
- 1994년 3월 ~ 1996년 3월 : 대우전자 중앙연구소 선임연구원
- 1996년 3월 ~ 2012년 2월 : 을지대학교 안경광학과 교수
- 2013년 3월 ~ 현재 : 극동대학교 안경광학과 교수
- 관심분야 : 광학계 설계 및 평가, 반도체 검사장비, 안광학 장비
- E-Mail : 2013059@kdu.ac.kr