

CCTV용 6-60 렌즈의 설계 및 특성

한두희*

청운대학교 중소기업기술융합연구소

Design and Characteristics of 6-60 Lens for CCTV

Doo-Hee Han *

ICTRI Chungwoon University

요 약 이 논문의 목적은 낮은 화소 수나 어두운 렌즈를 사용하는 CCTV는 자동차의 번호판이나 범죄자를 인식하기 어렵기 때문에 화소수를 높이고 밝은 렌즈를 사용하기 위함이다. 구면수차와 왜곡수차를 줄이기 위하여 2매의 비구면 렌즈를 적용하고 300만 화소에 적절한 줌렌즈의 설계와 이에 의한 특성을 제시하였다. 초점거리는 6-60mm를 적용하였고 F수는 1.2를 구현하였다. 적외선 보정을 실시하여 주야 초점거리가 같도록 설계하였다. 결과적으로 이 규격은 6-60mm 10배줌 렌즈의 규격 중 가장 우수하다. 이 렌즈를 적용한다면 50m거리에서 얼굴이나 차번호의 인식이 가능하다. 향후 이 렌즈의 자동화 구현이 필요하다.

키워드 : CCTV, 렌즈, 백만 화소, 줌, CS 마운트

Abstract It was difficult to verify the car number or face of inspector in the closed circuit television because of low CCD pixels and low brightness of lens. So CCTV lens should have higher pixels and brightness. In this paper, the design of zoom lens for mega pixel Closed-Circuit Television (CCTV) was introduced. We applied aspheric lens in order to reduce the spherical aberration and distortion aberration. And we applied focal length of 6-60mm, F number of 1.2, 3 million pixel resolution and magnifying power of 10 times. Also we applied infrared correction in order to use the CCTV camera in day and night effectively. These norms are the most powerful in CCTV zoom lens of focal length of 6-60mm. And if we apply this lens to the box style CCTV camera, we can verify the car number or face within 50m. Auto controlling system will be continued.

Key Words : CCTV, Lens, Mega Pixel, Zoom, CS mount

1. 서론

기업 활동의 새로운 패러다임으로 융합이 강조되고 있으며 이것이 중소기업의 발전에 한 대안이 될 수 있다 [1]. 최근 카메라 등의 기기를 활용한 학제 간 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 여기에는 성능 좋은 렌즈가 중요한 역할을 한다. 또한 사물인터넷이 발전되어 가고 있는 상황에서 물리보안이 강조되고 있으며 여기서도 렌

즈의 역할은 매우 중요하다[2,3].

일반적으로 화각이 넓은 렌즈를 광각렌즈라 하는데 최대 광각은 이상적으로 180도 까지 가능하다. 화각을 조절할 수 있는 렌즈에는 가변 초점 렌즈 (varifocal lens)와 줌렌즈가 있다. 일반적으로 화각이 크면 넓게 볼 수 있지만 물체가 작게 보여 작은 물체를 구별하기 어렵고, 화각이 작으면 전체적으로 볼 수는 없지만 상을 상대적으로 뚜렷하게 볼 수 있다. 이러한 장단점을 보완하기 위하여

만들어진 것이 가변초점렌즈이다. 이것은 초점거리를 변 화시켜 화각을 조절할 수 있도록 설계된다. 카메라의 역 사가 말해주듯 고정 초점 렌즈는 줌렌즈로 발전을 하여 화각을 자유자재로 바꿀 수 있는 시대가 되었듯이 감시 카메라도 사각지대 없이 감시할 수 있는 체계가 필요한 것이다. 국내에서 생산되고 있는 CCD 카메라용 렌즈의 유형을 살펴보면 마운트 형태에 따라 C-Mount와 CS-Mount 렌즈로 나눌 수 있다. C-Mount 렌즈와 CS-Mount 렌즈는 동일한 렌즈이지만 Flange back length(C-Mount 17.526mm, CS-Mount 12.5mm)가 틀리 다. 가변초점렌즈는 점차 확대되는 추세이며, 수동 방식 (manual)과 직접가동(direct drive) 방식이 있다. 또한 카 메라 장착된 휴대전화(cell phone)가 일반화되면서 고정 밀 마이크로 렌즈세트의 개발도 활발한 추세이다[4].

2. 관련연구

2.1 렌즈설계의 주안점

렌즈 세트의 설계는 그 용도에 따라 크기와 렌즈의 구 조에 있어서 많은 변화를 추구할 수 있다. 렌즈 세트의 성능은 구면수차, 색수차, 왜곡수차 등의 수차를 최소화 하고 빛의 투과율이 높을수록 성능이 좋은 렌즈로 알려 져 있다[5-7]. 빛을 많이 받아들이기 위하여 경통의 길이 에 비하여 렌즈의 직경을 크게 만드는 방법을 많이 사용 하며 상의 밝기에 관하여 F-수를 많이 사용한다. F-수는 렌즈의 밝기가 아니라 상의 밝기를 나타낸다.

$$F_{no} = \frac{d}{f} \quad (1)$$

d는 렌즈의 직경이고 f는 초점거리이다. 일반적으로 초점거리는 제2주점에서 초점까지의 거리이며 초점거리 가 짧을수록 넓은 범위를 볼 수 있다. 뒤초점거리(back focal lens)는 렌즈군의 마지막 렌즈의 위치에서 초점까지 의 거리이고 플랜지초점거리는 이음매에서 초점까지의 거리를 나타낸다. C 마운트와 CS 마운트는 전반적으로 동일한 모양이나 플랜지 뒷거리가 다르다. CCTV 카메라 의 결상 크기는 1", 2/3", 1/2", 1/3", 1/4"의 다섯 종류가 있으며, 렌즈는 결상크기에 따라 분류된다. 특정 크기로 설계된 렌즈는 더 작은 결상 크기의 기구에는 사용이 가

능하지만 더 큰 결상 크기의 렌즈에는 사용할 수 없다. 주어진 초점거리에 대하여 더 큰 화상은 더 큰 화각을 요 구한다.

물체를 잡기 위하여 화각을 아는 것은 중요하다. 화각 은 초점거리와 화상의 크기에 따라서 변한다. 물체를 잡 는 초점거리는 다음 식으로 계산된다.

$$f = v \times \frac{D}{V}, f = h \times \frac{D}{H} \quad (2)$$

이때 f는 초점 거리, V는 물체의 수직 크기, H는 물체 의 수평 크기, D는 물체와 렌즈의 거리, v는 상의 수직 크 기, h는 상의 수평 크기이다.

2.2 가변초점 렌즈와 줌렌즈

줌렌즈는 경통의 길이를 변화시켜 화각을 조절하는 것이 보통의 기능이다. 기본적으로 경통의 길이를 변화 시킬 때 초점 거리의 변화는 거의 없다. 일반적으로 렌즈 의 개수가 많을수록 공정이 많아지기 때문에 가격이 비 싸진다. 줌렌즈보다 단순하고 간단하다고 볼 수 있는 것 이 가변초점렌즈이다. 가변초점렌즈는 렌즈 군이 단순히 두 개로 분리된다. 일반적으로 렌즈의 조절 기능을 수동 (manual)으로 하는 경우와 자동으로 하는 경우의 두 가 지가 있다. 가변초점렌즈는 조절 레버가 두 개 있다. 한 개는 사물 쪽을 향하고 있고 다른 하나는 CCD 방향을 향 하고 있다. 이 두 개의 레버를 조절하여 초점과 화각을 맞춘다.

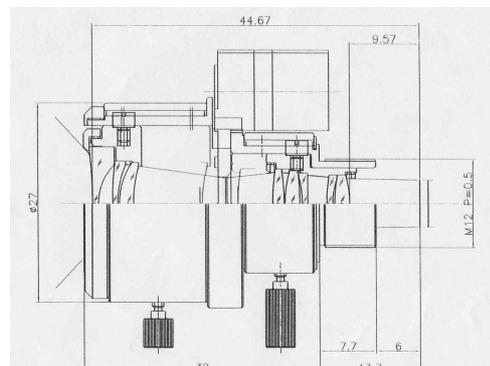


Fig. 1. The vari-focal lens

Fig. 1은 가변초점렌즈의 한 예를 보여준다. 렌즈는 8 개로 이루어져 있지만 실제로는 두 개의 렌즈처럼 행동 한다.

2.3 수차와 렌즈설계의 최적화

렌즈 설계에 있어서 중요한 것은 어떻게 정교한 상을 만들어내느냐 하는 것이다. 이를 위해서 정확한 초점평면을 만들어 주어야 하고 상이 왜곡되지 않아야 한다. 주어진 렌즈의 위치에 대하여 수차를 최소화하고 정교한 초점 평면을 얻기 위하여 렌즈의 곡률을 연속적으로 조정하는 과정을 최적화 과정이라 한다[8-11].

3. 렌즈의 설계

3.1 Code-V 입력

4군 줌 렌즈계의 궤적해석을 통하여 4군 줌렌즈의 원하는 해를 구한다. 4군 줌렌즈 수식의 경우 4차 방정식을 통해 16개의 해가 구해지므로 여기서 원하는 4개의 해를 가지고 초기설계에 적용한다. 4군 줌렌즈 궤적해석을 통한 초기설계가 끝나면 위 데이터를 이용하여 렌즈 설계 프로그램인 Code-V에 입력하여 최적화 설계를 진행하였다. Fig. 2는 Code-V 입력화면이다[12-14].

| Surface # | Surface Name | Surface Type | Y Radius | Thickness | Glass | Refract | Y Semi-Aperture |
|-----------|--------------|--------------|-----------|-----------|----------|---------|-----------------|
| Object | | Sphere | Infinity | Infinity | | Refract | |
| 1 | | Sphere | 97.1000 | 1.8000 | ELAF_NO | Refract | 15.7812 |
| 2 | | Sphere | 33.0000 | 4.4600 | FCD1_ROT | Refract | 15.2489 |
| 3 | | Sphere | -317.4000 | 0.1000 | | Refract | 15.1036 |
| 4 | | Sphere | 32.3300 | 3.3000 | IK7_CR18 | Refract | 14.6418 |
| 5 | | Sphere | 166.0600 | 4.3340 | | Refract | 14.5000 |
| 6 | | Sphere | 44.4000 | 1.1500 | ELAF_NO | Refract | 6.9450 |
| 7 | | Sphere | 10.4000 | 3.0030 | | Refract | 5.9350 |
| 8 | | Sphere | -23.1000 | 0.8000 | FCL_HO1A | Refract | 5.9025 |
| 9 | | Sphere | 12.1400 | 2.1000 | FDS90_NO | Refract | 4.9277 |
| 10 | | Sphere | 39.4000 | 28.3380 | | Refract | 3.9000 |
| Stop | | Sphere | Infinity | 1.0000 | | Refract | 3.9348 |
| 12 | | Sphere | 12.1100 | 2.7400 | FCD1_ROT | Refract | 3.2364 |
| 13 | | Sphere | -34.9800 | 0.1222 | | Refract | 4.1073 |
| 14 | | Sphere | 20.1400 | 1.4500 | LAK9_SCH | Refract | 4.0428 |
| 15 | | Sphere | 39.1000 | 0.1401 | | Refract | 3.9947 |
| 16 | | Sphere | 12.9200 | 1.8000 | LAK9_SCH | Refract | 3.9273 |
| 17 | | Sphere | 29.7000 | 0.3381 | | Refract | 3.9389 |
| 18 | | Sphere | -28.4200 | 2.8300 | ELAF_NO | Refract | 3.9103 |
| 19 | | Sphere | 8.4200 | 7.9140 | | Refract | 3.1758 |
| 20 | | Sphere | 21.3000 | 1.8000 | FCD1_ROT | Refract | 4.4098 |
| 21 | | Sphere | 435.1500 | 3.7060 | | Refract | 4.9359 |
| 22 | | Sphere | 11.7400 | 2.3000 | BACD5_NO | Refract | 5.1784 |
| 23 | | Sphere | 166.1200 | 0.1028 | | Refract | 5.0404 |
| 24 | | Sphere | 39.4900 | 1.9700 | LAK9_SCH | Refract | 5.0008 |
| 25 | | Sphere | -30.3000 | 1.2400 | FDS90_NO | Refract | 4.8214 |
| 26 | | Sphere | 43.2000 | 3.4820 | | Refract | 4.6042 |
| 27 | | Sphere | Infinity | 0.5000 | BSC7_ROT | Refract | 3.8119 |
| 28 | | Sphere | Infinity | 2.6002 | | Refract | 3.7779 |
| Image | | Sphere | Infinity | 0.0004 | | Refract | 3.8982 |

Fig. 2. Code-V input

3.2 Code-V 설계

Code-V를 사용하여 4군 6-60mm 줌렌즈를 설계하였다. 설계 F수는 1.2가 되도록 하였다. 이 수치는 CCTV 렌즈에서는 최고의 고급 사양이다. 그림 3, 4, 5는 각각 설계된 6-60mm 렌즈의 광각, 중간, 망원의 위치에서의 렌즈 모양이다.

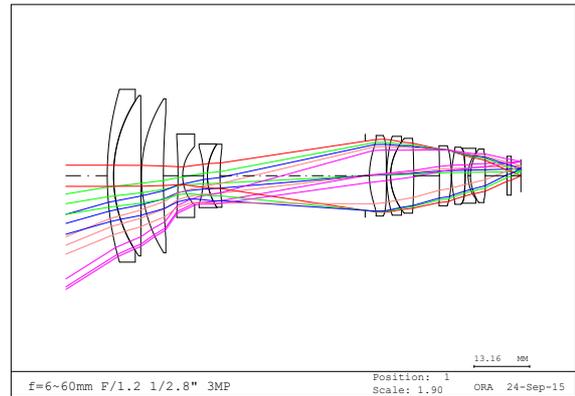


Fig. 3. f=6.05 Wide

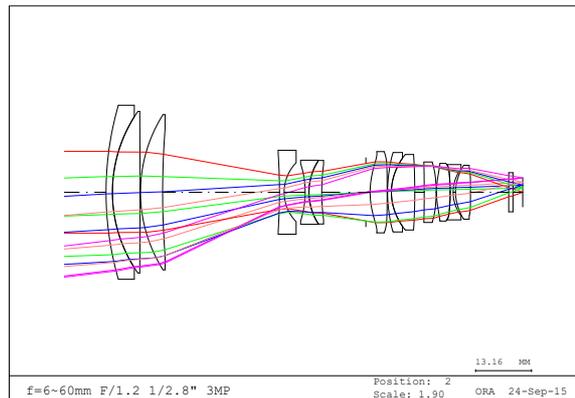


Fig. 4. f=28.7 Middle

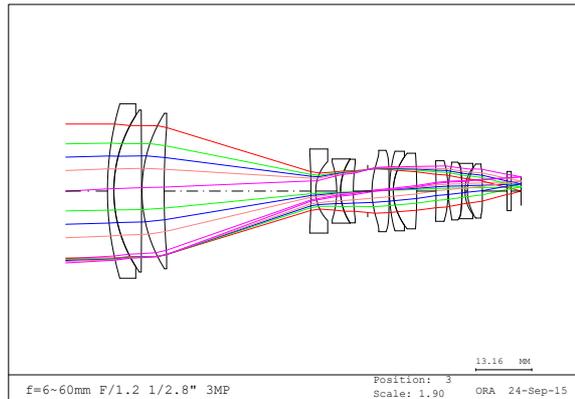


Fig. 5. f=60 Tele

3.3 렌즈 최적화

초기에 Fno를 작게 한 상태에서 Visible & Near IR과 장대역을 같이 설계하는 방식을 택했다. Fig. 6은 적외선 보정된 렌즈를 보여준다. 렌즈 재질 및 파장에 weight 값을 조정하면서 조금씩 MTF 값을 개선해 나갔다[15].

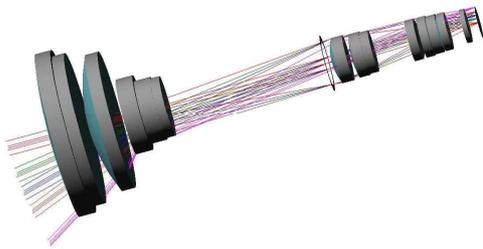


Fig. 6. IR-Correction

4. 렌즈세트 제작

4.1 렌즈실시설계

H기업과 함께 실제 렌즈를 제작하기 위한 설계를 실시하였다. Fig. 7은 실시설계의 일부이다.

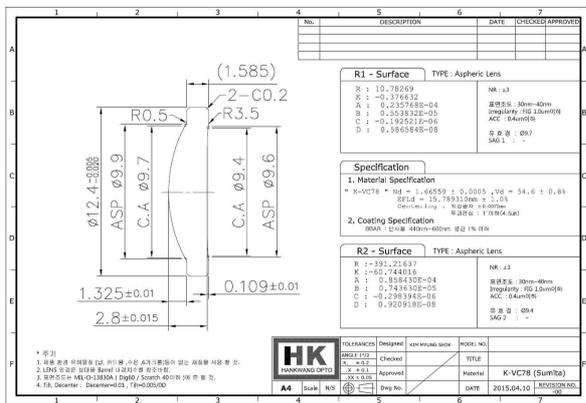


Fig. 7. Practical Design

4.2 비구면렌즈 제작

비구면 렌즈란 렌즈의 표면이 구면도 평면도 아닌 비구면인 렌즈를 말하며 구면렌즈의 경우 구면수차를 줄이기 위해 렌즈의 직경을 조절하거나 여러 개의 렌즈를 조합해야 하지만 비구면 렌즈는 입사되는 빛의 상면에 모을 수 있기 때문에 한 매만 사용하여도 구면수차를 줄일 수 있다. 비구면 렌즈 성형은 금형과 유리소재를 조합하여 GMP(Glass Mold Press)방식으로 성형한다. 사용된 비구면렌즈는 고정타입 GMP성형기로 작업하였으며 사용된 2장 비구면렌즈와 비구면 금형코어 사진은 Fig. 8과 Fig. 9와 같다.



Fig. 8. 1st lens(up) and mold core

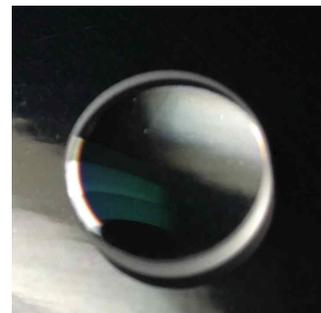


Fig. 9. 2nd lens(up) and mold core

4.3 유리렌즈 제작

굴절률이 상이한 유리를 사용하여 줌렌즈에 사용될 렌즈를 가공한다. 일반적으로 연마에 의한 구면렌즈를 제작한다. Table 1은 렌즈세트 조립공정을 순서별로 표

시한 것이다.

Table 1. The sequence of lens set construction

| Order | Work |
|-------|----------------------|
| 1 | Lens generating |
| 2 | Lens grinding |
| 3 | Lens polishing |
| 4 | Lens centering |
| 5 | Lens painting |
| 6 | Ultra sonic cleaning |
| 7 | Parts washing |
| 8 | Multilayer Coating |
| 9 | Lens assembly |

5. 렌즈 성능 검사

5.1 변조전달함수(MTF)측정

한국표준과학연구원에서 제작된 줌렌즈의 광각과 망원에서의 MTF(Modulation Transfer Function)를 측정하였다. 렌즈의 밝기를 알려주는 F수는 실험적으로 측정이 어렵고 일반적으로 설계치의 F수를 준용한다. 측정이 어려운 것은 조립된 렌즈내의 유효조리개 구경을 직접 정밀하게 측정할 수 없다는 것이다. 왜냐하면 렌즈에 의해 이미 축소되어 있거나 확대되어 있기 때문이다. Fig. 10은 한국표준과학연구원에 설치된 표준 MTF 측정기이다.

Table 2와 Table 3은 제작된 줌렌즈의 광각과 망원에서의 MTF값이다. 측정 위치의 초점거리는 6.7mm와 55.0mm이며 광원은 400-700nm의 파장 대를 갖는 백색광을 사용하였다. 비축상(0.5field)은 14.8를 사용하였다.



Fig. 10. Tester of MTF at KRISS

Table 2. MTF at wide

| space frequency (mm ⁻¹) | Sagital | 0.5 Field | |
|-------------------------------------|---------|------------|--------|
| | | Tangential | Radial |
| 20 | 0.931 | 0.878 | 0.881 |
| 40 | 0.846 | 0.693 | 0.746 |
| 60 | 0.744 | 0.515 | 0.607 |
| 80 | 0.639 | 0.384 | 0.486 |
| 100 | 0.539 | 0.295 | 0.385 |
| 120 | 0.450 | 0.230 | 0.302 |
| 140 | 0.369 | 0.181 | 0.224 |
| 160 | 0.299 | 0.145 | 0.160 |
| 180 | 0.235 | 0.118 | 0.113 |
| 200 | 0.182 | 0.100 | 0.076 |

Table 3. MTF at tele

| space frequency(mm ⁻¹) | axis | 0.5 Field | |
|------------------------------------|-------|------------|--------|
| | | Tangential | Radial |
| 20 | 0.897 | 0.844 | 0.891 |
| 40 | 0.750 | 0.630 | 0.728 |
| 60 | 0.612 | 0.443 | 0.568 |
| 80 | 0.499 | 0.304 | 0.432 |
| 100 | 0.406 | 0.202 | 0.324 |
| 120 | 0.332 | 0.131 | 0.237 |
| 140 | 0.269 | 0.080 | 0.172 |
| 160 | 0.212 | 0.049 | 0.120 |
| 180 | 0.165 | 0.031 | 0.085 |
| 200 | 0.129 | 0.017 | 0.055 |



Fig. 11. Graph of ESF and MTF(tele: sagital)

Fig. 11, 12, 13은 각각 ESF와 MTF의 연속 곡선이다.



Fig. 12. Graph of ESF and MTF(tele: tangential)



Fig. 13. Graph of ESF and MTF(tele: radial)

5.2 회절 한계 값과 MTF

MTF는 렌즈가 공간주파수를 통과시켜 상면으로 전달하는지를 나타내는 함수이다.

$$MTF = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (3)$$

이때 I_{max} 는 최대광도이고 I_{min} 은 최소광도이다. CMOS는 소니의 IMX103LAR-C를 사용하였으며 회절 한계는 $\frac{1}{2 \times 0.1125mm} = 200(lp/mm)$ 이다. IMX103센서의 Pixel Size는 $2.5\mu m(H) \times 2.5\mu m(V)$ 200lp/mm까지 회절한계이므로 160lp/mm에서 Modulation값이 0.1이상이면 300만화소를 만족한다. Fig.

14는 IMX103의 MTF한계를 나타내준다.

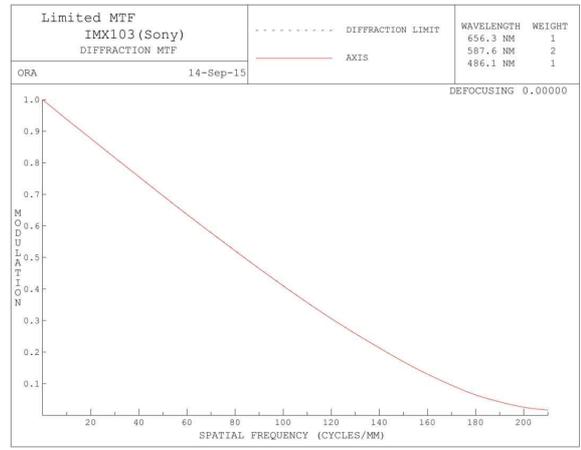


Fig. 14. MTF limit in IMX103(SONY)

5. 결론

3백만 화소급 F수 1.2의 초점거리 6-60mm 줌렌즈를 개발하였다. 야간에 필요한 적외선과 가시광선의 초점을 일치시키기 위하여 적회선보정을 설계에 적용하였다. 구면수차와 왜곡수차를 줄이기 위하여 2매의 비구면렌즈를 적용하였다. CS마운트를 적용하였으며 이상의 규격은 동종 렌즈 중 최고의 밝기 렌즈이다. 이 렌즈를 적용할 경우 50m거리에서 자동차 번호판과 얼굴을 구별할 수 있다. 공인인증기관에서 유의미한 MTF값을 얻었다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 논문은 2015학년도 청운대학교학술연구조성비에 의해 연구되어짐.

REFERENCES

- [1] K. I. Kim, "A Study on the plan for Consolidating the IT Convergency Capabilities of SMB," *Journal of Convergence Society for SMB*, Vol. 4, No. 3, pp. 41-46, Sep. 2014.
- [2] J. H. Cha, "Kinetic comparative analysis of tennis backhand stroke for interdisciplinary convergence research," *Journal of Digital Convergence*, Vol. 13, No.

- 7, pp. 373-380, Jul. 2015.
- [3] S. S. Shin, G. S. Chae and T. H. Lee, "An Investigation Study to Reduce Security Threat in the Internet of Things Environment," *Journal of Convergence Society for SMB*, Vol. 5, No. 4, pp. 31-36, Dec. 2015.
- [4] D. H. Han, "Development of wide view varifocal lens for CCD camera," *CCTV Journal. Techworld Ltd. Co.*, pp. 116 - 121, 2012.
- [5] Y. V. G. S. Murti, *Essentials of Nonlinear Optics*, Wiley, 2014.
- [6] Emil Wolf, *Progress in Optics*, Cambridge University Press, 2014.
- [7] Emil Wolf, *Progress in Optics*, Elsevier, 2013.
- [8] E. Hecht, *Optics*. Addison Wesley, pp. 253 - 276, 2002.
- [9] W. J. Smith, *Modern Optical Engineering. 4th ed.*, McGraw-Hill Professional; 2007.
- [10] W. J. Smith, *Modern Lens Design. 2nd ed.*, McGraw-Hill Professional; 2007.
- [11] M. Kyoung, D. Han, "Development of fine zoom lens for mega pixel camera by applying the aspheric lens," Proposal of Chungwoon Research Valley. 2014.
- [12] R. R. Shannon, *The Art and Science of Optical Design*, Cambridge University Press, pp. 116 - 121, 1997.
- [13] S. Lee, *Optical Design by CODE V*, Maegyeong Press, 2014.
- [14] J. Lee, *Optical Design Practice by CODE V*, Bookskill, 2005.
- [15] D. H. Han, "A Zoom Lens Set for Mega Pixel CCTV with an Aspheric Lens," *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 8, No. 34, Dec. 2015.

저 자 소 개

한 두 희(Doo-Hee Han)

[정회원]



- 1981년 2월: 경북대학교 물리교육과 학사
- 1987년 2월 : 경북대학교 물리학과 석사
- 1994년 2월 : 경북대학교 물리학과 박사

▪ 1996년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 교수

<관심분야> : 환경, 에너지, 융합