

주변부 상의 왜곡을 보정한 모바일 광각 카메라의 광학적 설계

김세진¹, 정혜정², 임현선^{3,*}

¹백석대학교 보건학부 안경광학과, 천안 330-704

²LG이노텍 광학솔루션 사업부, 안산 426-791

³강동대학교 안경광학과, 이천 467-900

투고일(2013년 11월 6일), 수정일(2013년 12월 3일), 게재확정일(2013년 12월 14일)

목적: 4매의 비구면 렌즈를 사용하여 optical distortion과 TV distortion을 감소시켜 주변부 상의 왜곡을 줄인 광각의 모바일 카메라를 설계하였다. **방법:** 광학적 설계는 화각 95°에서 ±1%내의 optical distortion을 만족하도록 하였으며, 광학계 전체길이는 모바일 카메라의 두께를 고려하여 4.5 mm 이내로 하였다. 센서는 1/3.2"의 5M급 CCD를 사용하였으며 MTF는 140 lp/mm에서 20% 이상을 만족하도록 설계 조건을 설정하였다. **결과:** 최적화 설계된 모바일 광각 카메라는 화각 95°의 full field에서 optical distortion은 모든 field에서 ±1%내의 결과를 보였으며 TV distortion도 0.46%로 주변부 상의 왜곡이 감소되었다. MTF 성능은 모든 field에서 20%이상으로 나타났다. 광선수차와 비점수차 모두 적은 양으로 안정된 성능을 보였다. **결론:** 기존의 모바일 카메라의 화각보다 더 큰 화각을 갖는 광각의 모바일 카메라의 distortion을 광학적으로 개선하여 주변부의 상의 왜곡을 감소시켜 보다 쾌적한 넓은 시야를 얻을 수 있었으며 소프트웨어로 보정할 때 발생하는 단점을 보완할 수 있었다. 이는 안경과 접목되는 카메라의 연구에 활용될 수 있으리라 사료된다.

주제어: 광각, 모바일 카메라, 왜곡수차

서 론

스마트폰의 보급률이 높아감에 따라 부가 기능의 일부로만 여겼던 모바일 카메라 기능이 기대 이상의 성과를 거두자 많은 기업들은 모바일 폰의 성능 업그레이드에 힘을 쏟고 있다. 이에 따라 모바일 카메라 생산 업체들은 다기능, 고화소의 제품의 출시로 경쟁력을 높이고 있다.^[1]

최근 출시되는 모바일 폰의 일반적인 카메라 모듈 FOV(field of view)는 60°~70° 가량을 선호하고 있다. 일반적인 모듈이 이와 같은 화각을 선호하는 이유는 가장 안정적인 성능을 내기 때문이다. 모바일 카메라에서 광각을 구현하게 되면 왜곡수차가 커지게 되어 화면의 가장자리의 휘어짐이 심해져서 주변부 상의 왜곡이 발생하여 보는 이로 하여금 불편함을 느끼게 할 수 있다.^[2,3] 광각의 모바일 카메라는 동일한 시야안에서 보다 넓은 영역의 이미지를 촬영할 수 있는 장점이 있지만, 영상의 중심으로부터 멀어질수록 주변부에서의 왜곡의 정도가 심하여 왜곡의 보정이 필요하다. 이는 다양한 광각 렌즈들의 특성과 초점거리로부터 나타나는 현상이다. 자동차 후방 카메라의 경

우 이러한 문제를 해결하기 위해 왜곡 영상에 대한 많은 보정 기술들이 연구되어 오고 있다.^[4]

모바일 카메라에서는 저전력을 위해 일반적으로 소프트웨어 보정을 지양하고 있다. 이에 반해 고객은 한 화면에 여러 명의 사람이나 넓은 시야각의 풍경을 담을 수 있기 때문에 광각을 선호하는 추세이다. 그러므로 본 연구에서는 광각에서 발생하는 왜곡수차를 최적화 설계로 감소시켜서 왜곡된 상의 소프트웨어 보정에 필요한 배터리의 전력 소모를 줄이는 모바일 카메라를 설계 하였다.

방 법

1. Distortion

모바일 카메라에서 찍힌 영상은 액정 화면을 통해서 확인된다. 이 때의 왜곡수차는 일반적인 왜곡수차가 아닌 TV distortion으로 상의 왜곡을 판단한다. TV 모니터에서의 상의 일그러진 정도를 TV distortion이라 하며, Fig. 2에서 나타내었다. TV distortion을 계산하는 식은 다음과 같다.

*Corresponding author: Hyeon-seon Lim, TEL: +82-43-879-3387, E-mail: limhyeonseon@gangdong.ac.kr

※본 논문의 일부내용은 2013년 DIOPS OPTOMETRY CONFERENCE에서 포스터로 발표되었음.

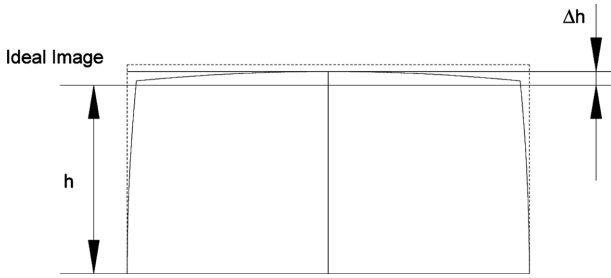


Fig. 1. TV distortion.

$$TV\ distortion(\%) = \frac{\Delta h}{2h} \times 100 \quad (1)$$

여기서 $\Delta h > 0$ 이면 pincushion이고 $\Delta h < 0$ 이면 barrel 형태의 TV distortion을 갖는다.

2. 설계 조건

본 논문에서 설계한 모바일 광각 카메라는 4개의 비구면을 사용하여 화각 95°에서 ±1% 내의 왜곡수차를 만족하도록 하였다. 1/3.2"의 5 M급 화소의 CCD(charge coupled device)의 이미지 센서(image sensor)를 사용하며, 광학계 전체길이는 현재 시장에서 주목받고 있는 슬림형 폰 카메라의 두께를 고려하여 전장을 최대한 콤팩트하게 4.5 mm 이내로 설정하였다.^[8] 또한 MTF는 140 lp/mm 에서 모든 field에서 20% 이상을 만족하도록 설정하였다. 파장은 656.28 nm, 587.56 nm, 546.07 nm, 486.13 nm, 435.84 nm 을 사용하였다. 설계에는 ORA사의 CODE V 설계 프로그램을 사용하였다.

결과 및 고찰

4개의 비구면으로 최적화 설계한 모바일 광각 카메라의 그림을 Fig. 2에서 나타내었고, 광학계의 설계 제원을

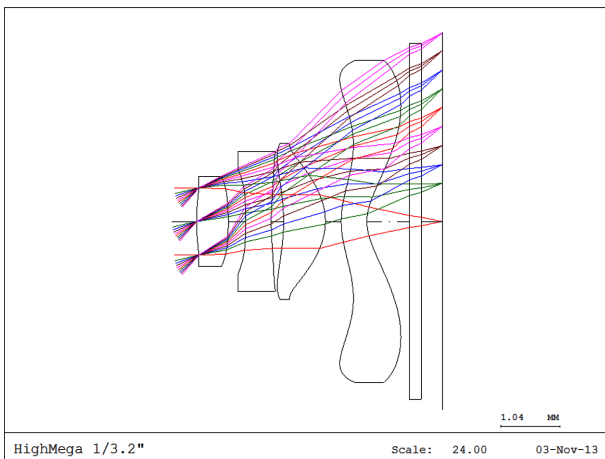


Fig. 2. Drawing of mobile camera.

Table 1. Design data of the optimized mobile camera

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Index	Abbe No.
1(stop)	3.0405	0.5544		
2	-5.4322	0.3010	1.5346	56
3	-92.0838	0.4519		
4	4.0904	0.2169	1.6355	23.9
5	-2.6903	0.7300		
6	-0.9448	0.2758	1.5346	56
7	1.2658	0.4500		
8	0.6886	0.7451	1.5311	56.5
9	Infinity	0.2100		
10	Infinity	0.3484	1.523	64.1
Image	Infinity	0.0165		

Table 2. 1st optical characteristics of the optimized mobile camera

Effective focal length	2.8493
Back focal length	0.3665
Front focal length	-2.5120
F number	2.6
Image distance	0.3649
Over all length	3.9351
Entrance pupil diameter	1.0959
Exit pupil diameter	1.2431

Table 1에서 나타내었다. 설계에 사용된 렌즈는 실제 모바일 카메라에 사용되고 있는 플라스틱 3종류로 총 4매를 사용하였다. 2번 렌즈는 고굴절률의 열가소성 수지로 복굴절의 발생이 적고, 성형가공성이 우수하며 광학설계의 자유도가 크므로 설계에 사용하였다.

Table 2에 제시한 것과 같이 최적화 설계한 모바일 광각 카메라의 초점거리는 2.8493 mm이며 전장길이는 4.3 mm로 설계 조건 4.5 mm를 만족하였고, F-number는 2.6으로 밝은 광학계의 성능을 갖도록 설계되었다.

본 논문에서 설계한 광학계의 화각 95° Full field를 10 등분 하여 광선수차(ray aberration)와 LSA(longitudinal spherical aberration), 비점수차(astigmatism) 및 왜곡수차(optical distortion)를 분석하였고, 그 결과를 Fig. 3와 Fig. 4에서 나타내었다. Fig. 3에서 보듯이 광선수차는 모든 field 에서 자오면과 구결면 모두 0.025 mm 이내에 들어오며 수차량이 적게 나타났다.

Fig. 4에서 보듯이 상의 선명도에 영향을 주는 LSA와 비점수차량도 모든 field에서 적게 나타났으며 이는 최적

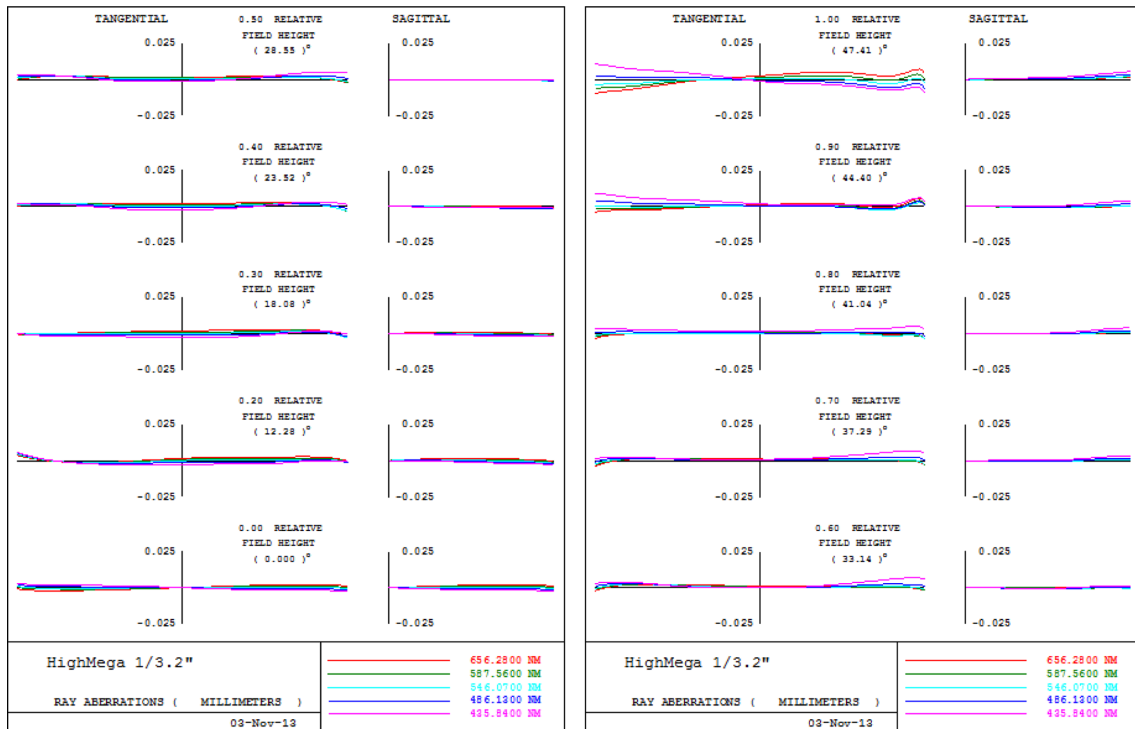


Fig. 3. Ray aberration of optimized mobile camera.

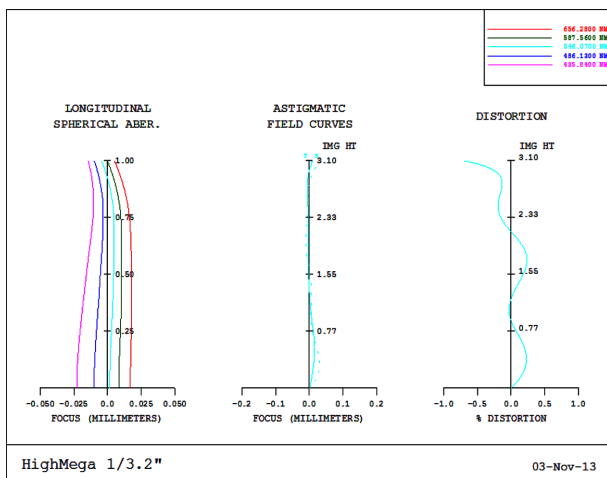


Fig. 4. Field curve of optimized mobile camera.

화 설계된 모바일 카메라의 광학적 성능이 우수하다는 것을 의미한다. 왜곡수차량을 정리하여 Table 3에 제시하였으며 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 왜곡수차는 모든 field에서 설계 조건 $\pm 1\%$ 이내를 만족하였다. 그러므로 최적화 설계된 모바일 카메라는 왜곡수차를 광학적으로 보정함으로써 주변부에서의 상의 왜곡을 방지하고, 이로 인해 주변부 상의 왜곡을 소프트웨어 보정할 때 소모되는 전력을 줄일 수 있을 것이다. 또한 휴대폰 화면을 보면서 불편함을 느낄 수 있는 TV distortion은 0.46%로 광각의 광학계에서

Table 3. Optical distortion of optimized mobile camera.

Relative field height	Optical distortion(%)
0.1	0.2177
0.2	0.1663
0.3	-0.0045
0.4	0.0090
0.5	0.1797
0.6	0.2146
0.7	-0.0354
0.8	-0.1965
0.9	-0.1285
1.0	-0.6995

발생하는 주변부 상의 왜곡을 감소시켰다.

Fig. 5과 Fig. 6에서 광학계의 분해능을 나타내는 MTF(modulation transfer function)를 나타내었다. 설계 조건으로 사용한 1/3.2" CCD image sensor의 pixel size를 $1.75 \mu\text{m}$ 로 봤을 때 Nyquist frequency인 140 lp/mm에서 MTF를 분석하였다. 모든 field에서 140 lp/mm의 MTF가 설계조건 20% 이상을 만족하였다. 이는 1 mm 안에 밝고 어두운 띠를 구분할 수 있는 해상력을 가졌다는 것을 의미한다.

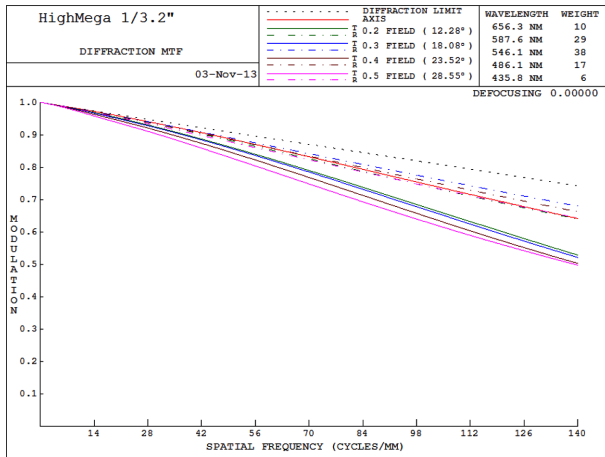


Fig. 5. MTF of optimized mobile camera (0.0~0.5 field).

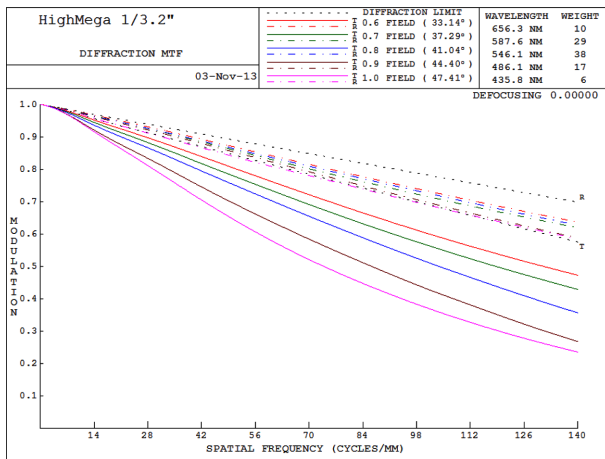


Fig. 6. MTF of optimized mobile camera (0.6~1.0 field).

결론

모바일 카메라의 기술은 스마트폰의 시장 확대로 점점 발전하여 디지털 카메라의 영역을 넘보고 있다. 박^[6]의 연구에 따르면 콤팩트 디지털 카메라 시장이 점유율은 하락세인 반면, 모바일 카메라 점유율은 증가하고 있다. 모바일 카메라의 선호 이유로는 편하게 업로딩이 가능하고 촬영한 사진을 손쉽게 보정할 수 있다는 점이였다. 이런 추세로 일반 사용자용으로써의 콤팩트 카메라 시장은 모바일 카메라로 대체되거나 완성품보다 카메라 모듈로서의 시장이 성장률이 높을 것이라는 연구를 제시하였다. 이렇듯 모바일 카메라에 대한 사용자의 요구는 점차 사람의 시야처럼 넓은 범위를 촬영할 수 있는 광각을 선호하고 있다. 그러나 광각의 광학계가 갖는 주변부에서의 왜곡수차의 영향으로 인한 상의 일그러짐의 문제를 해결해야 한다. 이를 해결하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있으며, 모바일 카메라에서는 왜곡된 주변부의 상을 소프트웨어로 보정하는 방법을 주로 택하고 있다.

본 연구에서는 주변부 상의 왜곡을 소프트웨어 보정으로 할 때 소모되는 전력을 줄일 수 있는 방안으로 왜곡수차를 광학적으로 보정하는 5 M급 고화소의 모바일 광각 카메라를 최적화 설계하였다. 설계 프로그램을 이용하여 화각 95°에서 $\pm 1\%$ 이내의 왜곡수차를 만족하도록 설계하였고, 성능을 분석한 결과, 광선수차 및 다른 수차들도 보정하여 모바일 카메라의 선명도를 높였다. MTF 성능은 모든 field에서 140 lp/mm에서 20%이상으로 설계 목표 성능을 만족하였다.

앞으로의 모바일 카메라 시장은 사용자의 더 많은 요구로 인해, 더 콤팩트 하면서 광학적으로 더 좋은 성능을 갖는 연구가 이뤄질 것으로 생각한다. 또한, 발전하는 스마트폰의 기술로 인해 손으로 들고 찍는 모바일 카메라가 아닌 안경에 장착한 카메라의 연구가 활발해 질것이라 생각한다. 이미 구글에서는 구글 안경이라는 제품을 상용화하고 있다. 이처럼 안경과 카메라가 접목되는 기기의 발전에는 반드시 사람의 시야처럼 넓은 광각을 촬영할 수 있는 카메라의 연구가 이루어져야 할 것이며. 또한 안경에 접목시키려면 본 연구에서 제시한 것처럼 가볍고 배터리의 소모를 줄이면서 주변부 상의 왜곡수차를 광학적으로 보정할 수 있는 광학계가 필요할 것이다.

그러므로 본 연구에서 설계한 모바일 광각 카메라의 활용으로 광각에서 발생하는 주변부 상의 왜곡을 광학적으로 보정하여 소프트웨어 보정으로 발생하는 전력 소모를 줄이고, 훗날 안경과 접목되는 카메라의 연구에 활용될 수 있으리라 사료된다.

REFERENCES

- [1] Hwang YS. Study on comparison of behavioral usage for camera: Focused on digital camera and camera phone. Graduate of Techno Design. Kookmin University, seoul. 2006;1-86.
- [2] Choi DJ. A study on correcting distortion and storing of video camera images. Graduate of Multi Media System Engineering, Incheon University, Incheon. 2009;1-52.
- [3] Cha HS, Park SJ. Driving assistance systems using wide angle lens camera. Transaction of KSAE. 2009;17(6):39-46.
- [4] Kim BI, Kim DH, Bae TW, Kim YC, Shim TE, Kim DG. An automatic mapping points extraction algorithm for calibration of the wide angle camera. Journal of Korea Multimedia Society. 2010;13(3):410-416.
- [5] Rahul Swaminathan, Michael D. Grossberg, Shree K. Nayar. A perspective on distortions. Proceeding of the 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003. http://www1.cs.columbia.edu/CAVE/publications/pdfs/Swaminathan_CVPR03.pdf

- (2013. 11. 01).
- [6] Robert EH. Optical Design: Military Standardization on Handbook. Washington D,C, USA, 1962:5.1-5.37.
- [7] Kim SJ, Lim HS. he performance analysis and design of selling spectacle lenses in domestic market. J Korean Oph Opt Soc. 2010;15(4);355-360.
- [8] Park SC, You BT. Ultra-Compact zoom lens design for phone camera using hybrid lens. Korean Journal of Optics and Photonics. 2008;19(5);349-359.
- [9] Park HW. Study on changes in use of digital cameras according to diffusion of smart phones and SNSs. Graduate of Photography. Chung-ang University, Seoul. 2011:1-89.

The Design of Wide Angle Mobile Camera Corrected Optical Distortion for Peripheral Area

Se-Jin Kim¹, Hye-Jung Jeong², and Hyeon-Seon Lim^{3,*}

¹Dept. of Visual Optics, Baekseok University, Cheonan 330-704, Korea

²Optical Solution Division, LG Innotek, Ansan 426-791, Korea

³Dept. of Optometry, Gangdong University, Icheon 467-900, Korea

(Received November 6, 2013; Revised December 3, 2013; Accepted December 14, 2013)

Purpose: This study was to design wide angle mobile camera corrected optical distortion for peripheral area, which were reduced optical distortion and TV distortion by using 4 aspherical lenses. **Methods:** The optical design was satisfied with $\pm 1\%$ optical distortion in viewing angle of 95° and total length of optical system was less than 4.5 mm which was considering a thickness of mobile camera. 1/3.2 inch (5M) CCD sensor was used in the optical system and set design condition to satisfy MTF which was over than 20% in 140 lp/mm. **Results:** Optimized wide angle mobile camera showed $\pm 1\%$ optical distortion in full field of 95° viewing angle and TV distortion was 0.46% so that distortion of peripheral area was reduce. MTF showed over than 20% in every field. Ray aberration and astigmatism were small amount so that it showed stable performance. **Conclusions:** Obtain wider and clearer view which is reduced image distortion of surrounding area via optical method in wide angle mobile camera which has wider view angle than current mobile camera. And it was able to fix a demerit when it occurred via software correction. It is able to apply to study of camera which is related to spectacles.

Key words: Wide angle, Mobile camera, Distortion