

2매 비구면 렌즈로 구성된 폰 카메라에서 미광 분포에 대한 연구

박광우 · 이종웅[†]

청주대학교 대학원 레이저광정보공학과

Ⓞ 360-764 충청북도 청주시 상당구 내덕동 36번지

(2009년 1월 15일 받음, 2009년 2월 9일 수정본 받음, 2009년 2월 11일 게재 확정)

2매의 비구면 렌즈로 구성된 카메라 폰 렌즈를 설계하고 상면에서 미광의 분포를 분석하였다. 미광분석에서는 렌즈 경통의 내면과 스페이스에서 대부분의 입사광은 흡수하고 일부만 균일하게 산란하는 것으로 가정하였으며, 경통과 스페이스에서 10%가 산란된다고 가정할 때, 미광의 최대치는 이상적인 상의 강도의 7.1%였다. 이 분석을 통하여 대부분의 미광은 렌즈 리브에서의 내부반사에 의하여 발생하며, 경통과 스페이스에 의한 산란의 기여는 상대적으로 작음을 알 수 있었다. 내부반사를 줄이기 위하여 렌즈사이애 얇은 흡광판을 삽입하고 스페이스의 모양을 수정하였으며, 경통의 재설계 후에는 산란광의 최대치가 이상적인 상의 강도의 1.1%로 감소하였다.

주제어: Stray light distribution, Lens design, Lambertian Scattering, Mobile phone camera

I 서 론

BT(bio technology), IT(information technology), NT(nano technology)등의 첨단산업의 발전에는 광기술의 발전과 활용이 큰 기여를 하고 있다. 노광렌즈, 고해상 현미경, 인공위성용 사진기 등과 같은 고성능 결상 광학계들은 첨단 산업의 요구에 발맞추어 비약적인 발전을 이루었으며, 이러한 발전의 중심에는 렌즈 설계 프로그램의 역할이 매우 컸다.^[1] 이러한 렌즈 설계 프로그램은 광학계의 성능을 spot size, 상면면곡, 왜곡수차, MTF 등 수차와 공간분해능을 기준으로 평가하고 있다. 하지만 최근 광학계들이 회절한계의 고해상 광학계로 발전해 오면서 렌즈 설계 프로그램은 실제 환경에서 광학계의 결상 성능을 저하시키는 큰 요인이 되는 미광(stray light)을 해석할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 여기서 미광은 상의 질이나 선명도를 떨어뜨리는 불필요한 잡음광을 말하며, 렌즈면과 경통내부에서 반사와 전반사에 의해 생기는 유령광(ghost light)과 렌즈면과 경통내부에서의 산란에 의하여 발생하는 산란광(scattering light)으로 나누어 볼 수 있다. 따라서 초 고해상 광학계에서 미광의 해석이 광학설계의 중요한 과정이 되고 있다.^[1,2,3,4]

과거 미광의 분석은 시간이 오래 걸리며, 그 과정이 어렵다는 이유로 소홀히 되어왔지만, 최근에는 분석 프로그램의 발전으로 시간을 절약할 수 있게 되어 매우 활발하게 사용되고 있다. 이러한 미광분석은 광학설계의 초기 단계에서 고려되어야 하며 미광 분석을 통하여 광학설계의 수정이나, 재설계가 이루어져야 한다. 설계과정에서 전산시뮬이나 실험을 통하여 발견된 광학계의 문제점은 미광분석을 통해 설계를 보완하여 해결할 수 있지만, 광학계가 완전히 설계되거나 제작된 후에는 결상성능에 영향을 주지 않고 미광을 줄이는 것이 매우 힘들 뿐만 아니라, 제작비용이 증가하는 문제가 발

생한다. 따라서 미광은 설계 단계에서 광학계의 수차나 해상력과 함께 분석되어야 할 중요한 사항이다.^[4,5,6] 국내에서 이루어지고 있는 광학설계에서 수차, 해상력, 공차는 분석하고 있으나 미광은 거의 분석되지 않고 있다. 최근에 들어서는 카메라 폰 광학계에서 미광에 의한 플레어(flare)의 발생이 문제가 되고 있고, 이를 방지하기 위하여 설계단계에서부터 미광을 분석하는 사례가 늘어나고 있다.

본 연구에서는 2매의 플라스틱 비구면 렌즈로 구성된 카메라 폰 광학계에서 표면반사에 따른 유령광과 경통산란에 따른 산란광이 합쳐진 미광의 분포를 분석하고, 미광의 발생을 억제하는 경통구조를 설계하였다. 카메라 폰 광학계의 설계에는 Code V^[7]를 사용하였고, 미광의 해석에는 LightTools^[8]가 사용되었다.

미광의 해석에서는 렌즈와 리브(rib)에서의 내부반사와 경통내면에서의 산란만을 고려하였다. 경통내면은 입사광의 대부분은 흡수하고 일부를 균일하게 산란시키는 람베르시안 면으로 가정하였고, 산란률에 따른 미광의 변화를 알아보기 위하여 산란률은 0%에서 16%까지 변화 시키면서 미광의 분포를 분석하였다. 실제 광학계에서 경통내면의 산란은 이렇게 크지 않다.

미광의 해석에서는 먼저 렌즈와 스페이스(spacer)만으로 구성된 단순한 구조의 경통을 설계하고(1차 설계), 파장 546.1 nm의 단색광에 대하여 발생한 미광의 크기와 분포를 분석하였다. 1차 설계된 경통에서는 대부분의 미광이 리브에서의 내부반사에 의한 유령광이었으며, 경통내면의 산란에 의한 미광은 크지 않았다. 물론 산란률을 높이면 미광도 증가하지만 그 증가율은 크지 않다. 2차 설계에서는 리브에서 발생한 유령광을 흡수하는 흡광판을 렌즈사이애 설치하였다. 균일한 밝기를 가지는 배경을 촬영하고, 경통내면과 스페이스에서 입사광의 10%가 산란된다고 가정하였을 때 1차 설계에서는 상면에서 미광의 비율이 가장 높은 곳에서는 이상적인 상의 조도의 7.89%에 상당하는 미광이 발생하였으나, 2차 설계에

[†]E-mail: julee@cju.ac.kr

서는 광학계에서 미광의 비율을 1.1%로 줄일 수 있었다.

광학계의 미광의 분포는 파장에 따라서도 달라진다. 이 연구에서는 486.1 nm(F-선)과 656.3 nm(C-선)에 대한 분석결과를 546.1 nm(e-선)과 비교해본 결과 상대적으로 적색영역(656.3 nm)에서 경통내면의 산란에 의한 미광이 크게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 새로 설계된 경통에서 파장에 따른 미광의 분포를 분석해 보면, e-선 보다는 F-선과 C-선의 미광이 크게 나타나기는 하였지만, 1차 설계와 비교하면 F-선과 C-선의 미광도 현저하게 감소하였음을 확인할 수 있었다.

II. 미광의 발생 원인과 해석 방법

미광은 광기구물(경통의 내면, 스페이서)에서의 산란, 렌즈면에서의 표면반사나 내부반사, 영상센서 표면에서의 산란 등의 원인에 의하여 생기는 잡음광이며 가장 단순한 조명 시스템에서부터 시작하여 가장 복잡한 우주 공간의 시각적인 장비까지 모든 광학계에서 발생되고 있다. 반사나 산란 이외에도 미광의 발생 원인으로는 광학면에서의 회절, 복굴절, 소재 내부의 기포와 결함, 또는 광기구물에서의 먼지 등을 들 수 있다.^[1,2,9] 본 연구에서는 광학계 내부의 오염이나 결함은 없다고 가정하고 반사나 산란 이외의 요인에서 생기는 미광은 산란광 분석에서 고려하지 않았다.

광학면에 광파가 입사하면 대부분 투과하지만 일부는 반사가 된다. 이 반사된 빛 중에서 일부는 광학면에서 다시 반사되거나 산란되며, 이 중에서 상면에 입사하는 빛이 미광이 된다. 렌즈면에서의 반사와 투과는 프레넬 방정식으로 계산하는 것이 가능하지만, 무반사 박막과 적외선 차단필터(IR-cutoff filter)의 경우는 전문적인 박막설계 프로그램의 도움이 필요하다. 이 연구에서는 Macleod 프로그램을 이용하여 무반사 박막과 적외선 차단필터의 반사율을 계산하여 미광해석에 사용하였다.

면에서의 산란의 세기와 각도분포는 빛의 파장, 면의 거칠기와 거칠기의 형태, 소재의 물성 등 여러 가지 요인에 의하여 다양하게 나타날 수 있다. 그리고 면의 속성에 따라 투과하면서 산란이 발생할 수 있고 반사하면서 산란이 발생할 수도 있다. 카메라 폰 광학계에서 투과하는 면은 렌즈면이며, 이 면은 아주 매끈한 광학면으로 볼 수 있으므로 산란이 없다고 볼 수 있다. 따라서 카메라 폰 렌즈의 미광해석에서 산란에 의하여 발생하는 미광은 모두 반사와 관련된 것으로 볼 수 있다. 면에서의 반사는 크게 정반사(specular reflection), 난반사(diffuse reflection), 전반사 특성을 가지면서 난반사를 하는 형태(semi-specular 또는 glossy reflection)가 있다. 정반사는 잘 연마된 광학면에서의 반사이다. 산란과 반사는 함께 결합되어 있고 난반사와 glossy reflection의 경우는 입사광에 대한 산란광의 각도분포를 BRDF(bidirectional reflection distribution function)로 일반화 시켜 표현하고 있다.^[10]

이 연구에서 경통내면과 스페이서는 대부분의 빛을 흡수하고 일부만 균일하게 산란시키는 램베르시안면으로 가정하였으며, 면의 BRDF는 다음과 같이 정의 되었다.

$$I = R_s L \cos \theta \tag{1}$$

(1) 식에서 L 은 입사하는 광파의 휘도이며, R_s 는 산란률이며 흡수되지 않고 산란되는 비율을 나타낸다. θ 는 면의 법선과 산란광이 이루는 각도이다. 일반적으로 렌즈의 경통과 스페이서는 산란이 크지 않게 제작되므로, 산란률은 작은 값을 가질 것으로 기대되지만 이 연구에서는 경통내부의 산란이 미광분포에 주는 영향을 분석하기 위하여 R_s 는 0.02~0.16값을 사용하여 산란률에 따른 미광의 변화를 분석하였다.

III. VGA급 카메라 폰 렌즈의 설계 및 미광해석

3.1 광학계 설계

본 연구에서는 카메라 폰 렌즈에 대한 미광을 분석하기 위해서 먼저 Magnachip^[11]사의 1/7.4" VGA급 영상센서를 사용하는 카메라 폰 렌즈를 설계하였다. 광학계는 F/3, 60.0°~62.0°의 화각에 적합하도록 설계사양을 설정하였다.^[12]

VGA급 카메라 폰 렌즈에 대한 설계 목표 사양과 센서 사양은 표 1에 정리하였으며, Code V^[7]를 이용하여 설계를 수행 하였다. 설계에서는 다음 네 가지를 고려하였다.

- 1) 렌즈의 최소 두께: 0.4 mm 이상, 최대 두께 0.9 mm 이하
- 2) 전체 광학계의 전장: 2.6 mm 이내
- 3) 주광선의 입사각: 27° 이내
- 4) optical distortion: ±1% 이내

그림 1, 2는 설계된 광학계의 형태와 MTF특성을 보여주고 있다.

이 광학설계를 토대로 하여 그림 3과 같은 간단한 구조의 경통을 설계 하였으며, 이것을 1차 설계로 명명하였다. 1차 설계된 경통의 구성요소는 6종류이며, ① 리브, ② 광학면 ③ 조리개, ④ 스페이서, ⑤ 적외선 차단필터, ⑥ 경통의 내면이다. ⑦은 546.1 nm의 단파장 램베르시안 광원이며, 광학

표 1. VGA급 카메라 폰 렌즈의 설계 목표 사양.

항목	설계 목표	
TTL	< 2.6 mm	
EFL	1.78~2.08 mm	
BFL	> 1.00 mm	
Relative Illumination	> 50% (at 1.0 Field)	
F/수	< 3.0	
Distortion	Optical	< ±1.0%
	TV	< ±1.0%
Field of view	60°~68°	
MTF	0.0 F	>30% R / T (at 120 lps/mm)
	0.4 F	>30% R / T (at 120 lps/mm)
	0.7 F	>30% R / T (at 120 lps/mm)
	1.0 F	>30% R / T (at 120 lps/mm)
Composition	2 Elements	
Sensor size	1/11" Pixel: 3 μm (Φ 2.4 mm)	

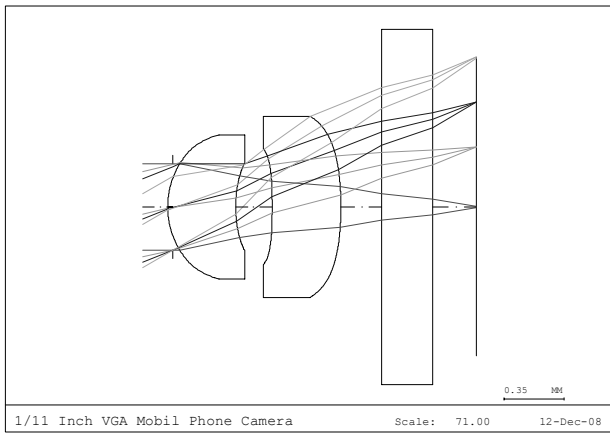


그림 1. 카메라 폰 렌즈의 단면도.

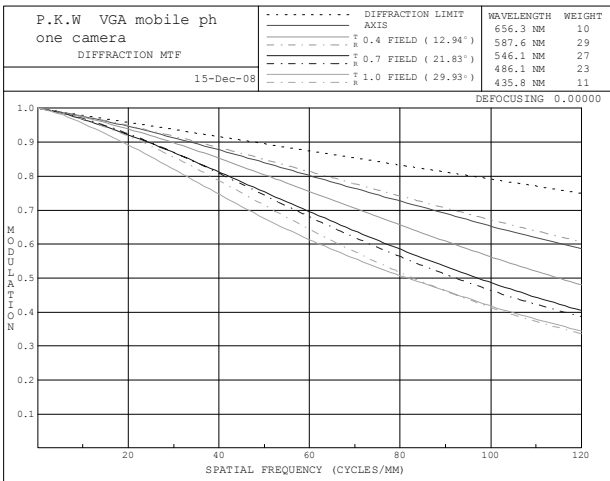


그림 2. 카메라 폰 렌즈의 MTF.

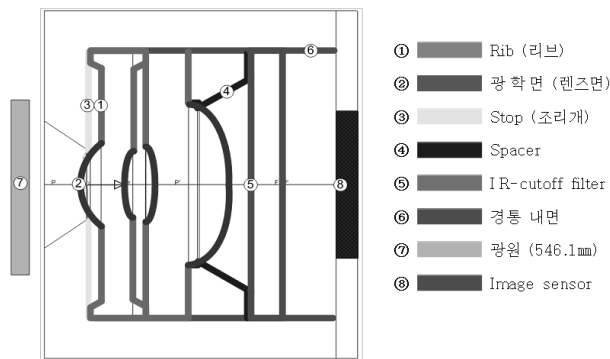


그림 3. 경통구조와 구성요소.

계로 입사하는 빛을 모델링한 것이다. 상면에서의 미광분포는 물체측에서 입사하는 광파의 분포에 따라 달라지지만, 현실적인 면에서 특별하게 타당성 있는 입사광의 각도분포를 가정하기 어렵다. 이 연구에서는 물체를 무한 크기의 균일한 램베르시안 광원으로 가정하여 미광의 분포를 분석하였고, 이것은 균일한 밝기의 백색 배경을 촬영하는 경우에 해당 된다.

3.2 미광해석 모델

이 연구에서는 미광의 발생 원인으로 렌즈와 적외선 차단 필터의 내부반사, 경통내면과 스페이스에 의한 산란을 고려하였으며, 다음 4가지 경우에 대한 조도를 계산하여 각각의 발생요인에 따른 미광의 크기와 분포를 분석하였다.

Case I. 이상적인 광학면(100% 투과)과 이상적인 경통(100% 흡수)

Case II. 무반사 코팅, 적외선 차단필터가 적용된 광학면과 이상적인 경통

Case III. 내부반사가 있는 실제의 광학면과 이상적인 경통

Case IV. 내부반사가 있는 광학면과 산란이 있는 실제 경통

위의 4가지 경우에서 Case I은 이상적인 광학계의 조도분포이며, 이 경우에는 광학계의 이론적 집광력에 따라 상면의 조도가 결정된다. Case II는 무반사 박막과 적외선 차단필터에 의한 투과율 저하만을 고려한 것이며, 반사되는 광파는 모두 흡수되는 것으로 가정하였다. 이때의 조도분포는 광학계의 유효 집광 능력을 나타내며, 미광이 없는 순수한 결상광선에 의한 이상적인 상의 강도이다. Case III는 광학면에서 투과와 반사를 모두 고려한 것이며, Case II와 비교하면 렌즈면, 렌즈의 리브, 적외선 차단필터에서의 내부반사에 의하여 발생하는 유효광이 추가된다. 따라서 Case III에서 계산된 조도 분포 I_3 와 Case II에서 계산된 조도분포 I_2 의 차 $\Delta I_R = I_3 - I_2$ 는 광학면의 내부반사에 의하여 발생하는 유효광이 된다. Case IV는 광학면에서 투과와 반사뿐만 아니라 경통의 안쪽면과 스페이스에서의 산란이 추가된 것이며, 이때의 조도분포 I_4 는 이 연구에서 가정한 모든 요인에 의한 미광이 모두 합쳐진 것이다. Case IV와 Case III에서 얻어진 조도분포의 차이 $\Delta I_S = I_4 - I_3$ 는 경통의 안쪽면과 스페이스에서의 산란에 의하여 발생한 산란광을 의미한다.

앞에서 설명된 4종류의 조도분포 I_1, I_2, I_3, I_4 를 이용하여 얻을 수 있는 광학계의 유효투과율과 미광의 비율은 다음과 같이 정리될 수 있다.

먼저, 광학계의 유효투과율 (T_{eff})는 이상적인 광학계의 조도 I_1 과 미광이 없는 광학계의 조도 I_2 의 비율로 정의할 수 있고, (2)식과 같이 나타낼 수 있다.

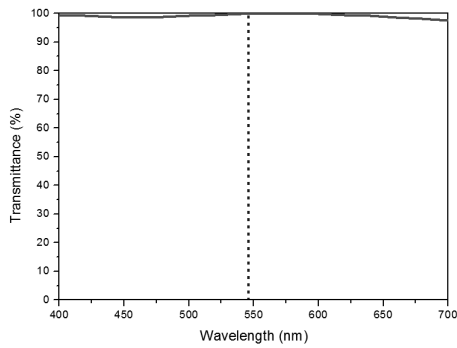
$$T_{eff} = \frac{I_2}{I_1} \quad (2)$$

광학면의 내부반사에 의하여 발생하는 유효광의 분포(I_R)와 유효광이 상면의 조도에서 차지하는 비율(R_R)은 (3), (4)식과 같이 나타낼 수 있다.

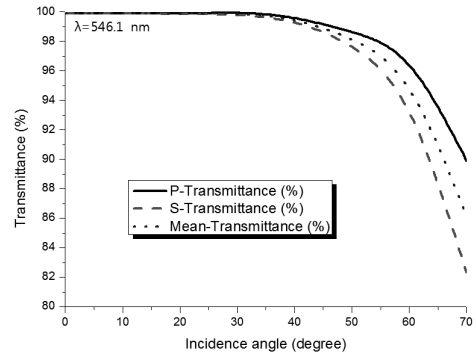
$$I_R = I_3 - I_2 \quad (3)$$

$$R_R = \frac{I_R}{I_2} \quad (4)$$

경통과 스페이스의 산란에 의해 발생하는 산란광의 분포 (I_S)와 비율(R_S)은 (5), (6)식과 같이 나타낼 수 있다.

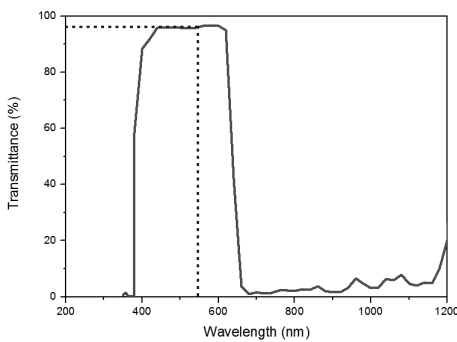


(a) 파장에 따른 박막의 투과율 변화(수직입사)

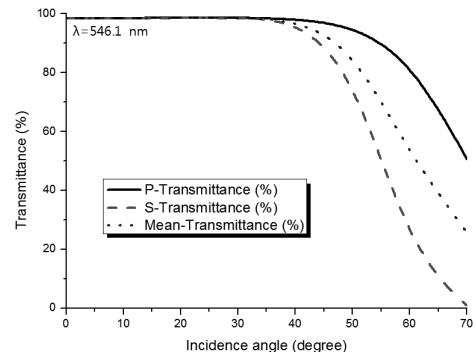


(b) 입사각도에 따른 박막의 투과율 변화(0°~70°)

그림 4. 무반사 박막의 투과율.



(a) 파장에 따른 박막의 투과율 변화(수직입사)



(b) 입사각도에 따른 박막의 투과율 변화 (0°~70°)

그림 5. 적외선 차단필터의 투과율

$$I_S = I_4 - I_3 \quad (5)$$

$$R_S = \frac{I_S}{I_2} \quad (6)$$

마지막으로, 전체 미광(유령광과 산란광)의 크기(I_T)와 비율(R_T)은 (7), (8)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_T = I_R + I_S = I_4 - I_2 \quad (7)$$

$$R_T = \frac{I_T}{I_2} \quad (8)$$

3.3 미광분석

이 연구에서 플라스틱 렌즈에 대한 무반사 박막과 적외선 차단필터는 Macleod 프로그램을 이용하여 설계하였으며, 546.1 nm에서 무반사 박막과 적외선 차단필터의 입사각에 따른 투과율은 그림 4, 5와 같다.

그림 4(a)에는 수직입사에 대하여 파장에 따른 투과율의 변화가 나타나 있으며, 그림 4(b)에는 공기에서 유리로 입사하는 경우에 대한 파장 546.1 nm에서 입사각에 따른 투과율의 변화를 보여주고 있다.

그림 5는 적외선 차단필터의 투과율을 파장과 입사각에 따라 분석한 것이며 그림 5(a)는 수직입사에 대하여 파장에 따른 투과율 변화, 그림 5(b)는 파장 546.1 nm에서 입사각에 따른 투과율의 변화이다. 박막의 투과율과 내부반사는 파장

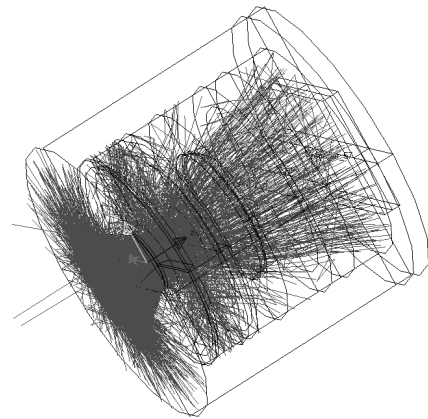


그림 6. 미광의 경로(5,000개의 광선이 추적됨).

에 따라 달라지므로, 미광의 분포는 파장에 따라 달라질 수 있다. 이 연구에서는 먼저 546.1 nm의 단파장에 대하여 미광의 분포를 조사 분석하여, 미광의 발생을 줄이는 경통구조를 설계하였다.

그림 6은 LightTools^[8]를 이용한 미광분석의 예로서, 5,000개의 광선의 경로를 보여주고 있다.

그림 7은 경통과 리브에서는 100% 흡수하고 광학면에서는 100% 투과하는 이상적인 광학계를 나타내는 Case I의 조도 분포를 보여주고 있다. 이 그림에서 조도분포는 최대값이 1이 되도록 규격화한 것이다. 그림 7의 점선은 센서의 이미지

측광 영역을 보여주고 있다.

그림 8은 파장 546.1 nm의 단파장에서 광학면의 투과율만을 고려하여 계산한 Case II의 규격화된 조도분포를 보여주고 있다. 광학면(플라스틱 렌즈면)의 무반사 박막과, 적외선 차단필터에 의하여 이상적인 광학계보다 조도가 줄어든 것을 확인할 수 있었으며, 여기에서 계산된 조도분포는 미광이 없는 순수한 상의 조도분포이다.

그림 9는 광학면에서 내부반사를 허용하고 경통내면에서는 100% 흡수를 하도록 설정한 Case III의 조도분포를 나타내고 있다. 여기서, 그림 8과 그림 9를 비교하면 상의 외곽쪽에서의 조도가 증가한 것을 확인할 수 있고, 이것이 내부반

사에 의해 발생한 유령광이다.

그림 10은 리브에서의 내부반사와 경통 내면에서의 산란을 모두 적용한 Case IV에서의 조도분포를 보여주고 있다. 경통내면과 스페이서의 산란에 따른 산란광의 변화를 보기 위하여 산란률을 2~16%까지 증가시키면서 8가지 경우에 대하여 산란광의 분포를 분석하였다. 그림 10에서 산란률이 증가하면 조도분포가 높아지는 것을 확인할 수 있으나, 내부반사에 의한 유령광보다는 크기가 작다.

그림 11(a)는 이상적인 광학계 Case I과 박막만 설정된 Case II의 조도분포를 비교한 것이며, 두 조도분포의 차이는 박막에 의한 손실을 나타낸다. 그림 11(b)는 Case II의 I_2 에 대하

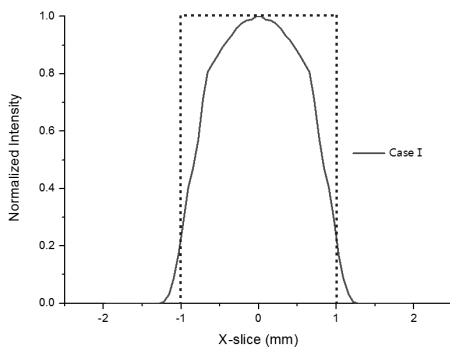


그림 7. 이상적인 광학계에서의 조도분포(Case I, 최대값을 1로 규격화).

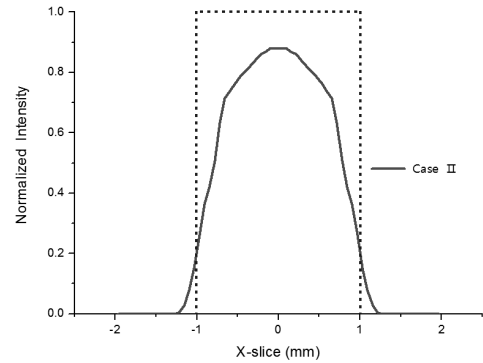


그림 8. 박막만 설정된 광학계의 조도분포(Case II).

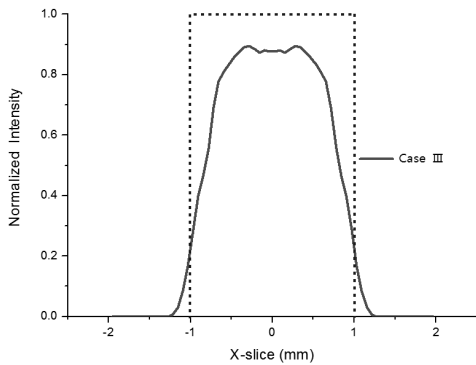


그림 9. 이상적인 경통의 광학계에서의 조도분포(Case III).

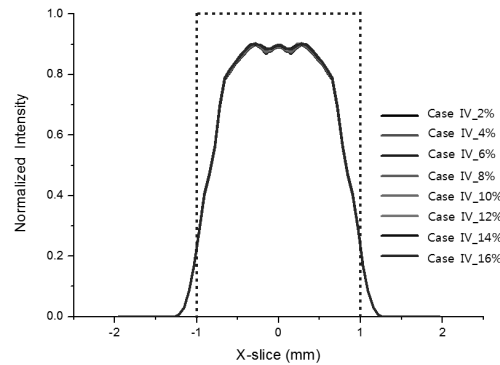
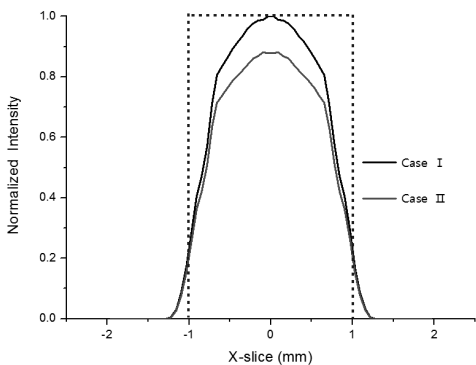
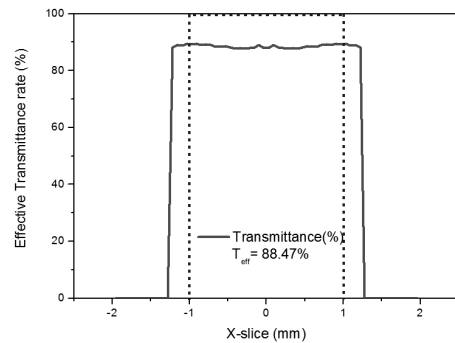


그림 10. 실제 광학계에서 상면의 조도분포(Case IV).



(a) 규격화된 조도분포 (Case I & Case II)



(b) 광학계의 유효 투과율

그림 11. 이상적인 상의 조도분포와 유효 투과율.

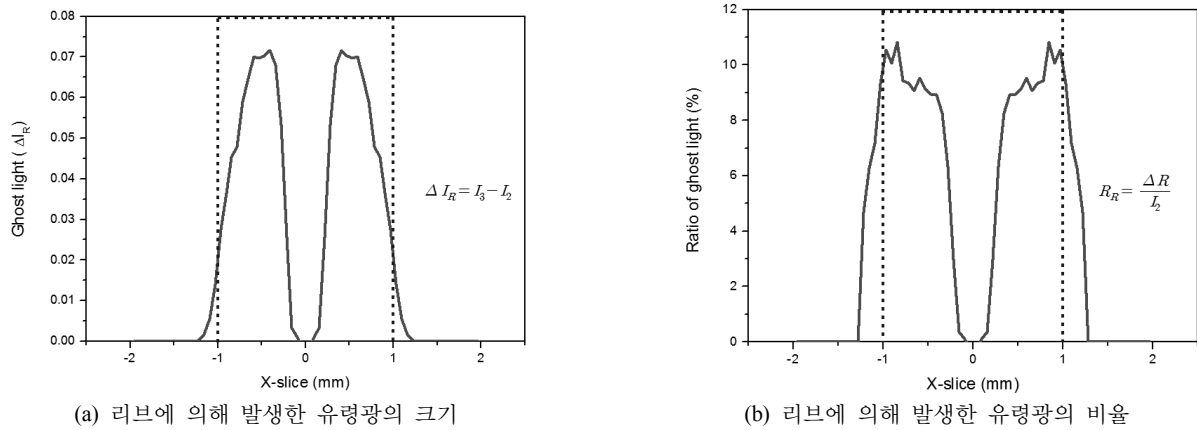


그림 12. 내부반사에 의한 유령광의 분포와 비율.

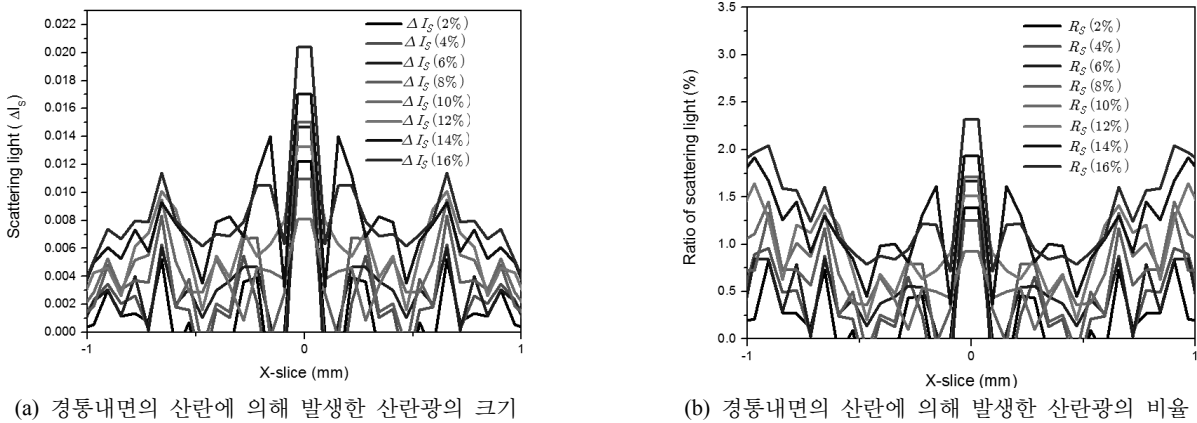


그림 13. 경통산란에 의한 산란광의 분포와 비율.

여 이상적인 렌즈 Case I의 I_1 의 비율이며, 이것은 광학계의 유효투과율에 해당한다. 이 분석에서 유효투과율의 평균치는 88.47%였으며, 이때 상높이에 따른 유효투과율의 변화는 거의 없었다.

그림 12는 광학면에서의 내부반사에 의해 발생한 유령광의 크기(ΔI_R)와 비율(R_R)을 보여주고 있다. 그림 12(a)에서 상의 중심에서의 유령광은 작지만 중간정도의 시야에서 최대가 되고, 다시 주변으로 가면 약간 작아지는 것을 볼 수 있다. 그림 12(b)는 Case III의 조도에서 유령광의 비율을 보여주고 있으며, 중간시야보다 상의 주변부에서 유령광의 비율이 더 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 12(a)에서 주변부의 조도가 낮기 때문에 유령광의 비율이 높아진 것이다. Case III에서 유령광이 조도에서 차지하는 비율은 평균치가 7.1%이고, 상의 중심에서는 0.00025%, 주변부에서는 최대 10.6%까지 발생하고 있다.

그림 13은 경통내면과 스페이스에서의 산란에 의해 발생한 산란광의 크기(ΔI_S)과 비율(R_S)을 보여주고 있다. 그림 13(a)에서 산란에 의하여 발생하는 산란광은 산란률에 무관하게 중심에서 가장 크며, 주변부로 가면서 0.2 시야와 0.65 시야 부근에서 최대값이 있다. 그림 13(b)는 미광이 없는 조도분포 I_2 를 기준으로 산란에 의하여 발생한 산란광의 비율

을 보여주고 있으며, 그림 12(b)의 경우와 마찬가지로 비율 면에서는 주변부의 산란광이 중심부에 못지않게 크게 나타남을 볼 수 있다.

표 2는 경통 내면의 산란에 의해 발생한 산란광의 비율을 나타내고 있다. 경통 내면의 산란률이 2%일 경우 산란광의 비율은 평균 0.21%이고, 최대 1.38%, 최소 0.0009% 정도로 나타났다. 경통 내면의 산란률이 16%로 매우 높게 설정된 경우에도 평균 산란비율이 1.3%, 최대 2.3%, 최소 0.7% 정도로써, 산란률의 증가에 따라 산란광도 증가하지만, 증가율은

표 2. 경통내면의 산란에 의해 발생한 산란광의 비율

Case IV	평균	최대	최소
2%	0.21%	1.38%	0.0009%
4%	0.35%	1.51%	0.013%
6%	0.48%	1.67%	0.0018%
8%	0.62%	1.71%	0.0038
10%	0.78%	1.85%	0.005%
12%	1%	1.91%	0.213
14%	1.2%	1.93%	0.37%
16%	1.3%	2.3%	0.7%

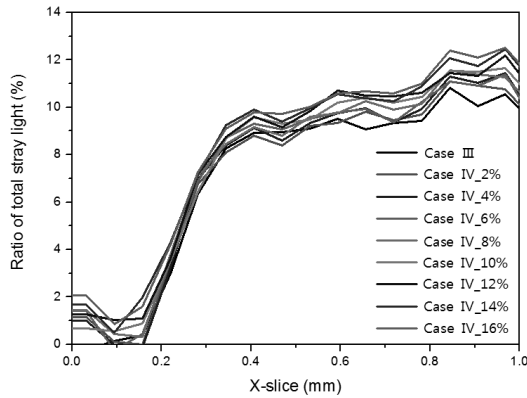


그림 14. 전체미광의 비율.

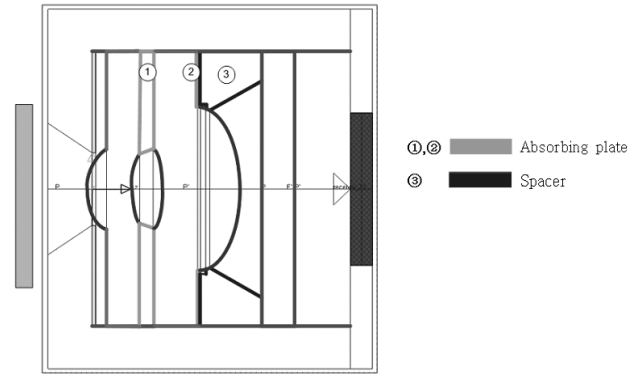


그림 15. 보완된 경통의 구조.

표 3. 광학계에서 산란비율에 따른 전체미광

경통 산란비율	상의 중심	상의 주변부
0%	0.0025%	10.6%
2%	1.14%	10.8%
4%	1.26%	11.02%
6%	1.42%	11.11%
8%	1.46%	11.27%
10%	1.60%	11.35%
12%	1.66%	11.4%
14%	1.68%	12.47%
16%	2.07%	12.52%

크지 않음을 볼 수 있다.

그림 14는 내부반사와 경통내면의 산란에 의해 발생한 유령광과 산란광이 합쳐진 전체 미광의 비율(R_T)을 보여주고 있으며, 중심에서 외각으로 갈수록 전체 미광의 비율이 커지는 것을 볼 수 있다.

표 3은 산란률의 변화에 따른 전체 미광(total stray light)의 변화를 정리한 것이다. 광학면에 의한 내부반사만을 고려하였을 때, 미광비율의 최대치는 10.6%이며, 경통내부의 산란률을 추가하고 산란률이 16%인 경우의 미광의 비율을 살펴보면, 미광의 최대비율이 12.52%까지 증가함을 볼 수 있다.

표 2, 3의 분석결과를 살펴보면 경통 내면과 스페이스에서의 산란광보다는 광학면의 내부반사에 의한 유령광이 미광 발생에 더 큰 영향을 미치는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 렌즈면과 리브면의 내부반사에 의해 발생한 유령광은 상의 주변부의 결상성능 저하에 영향을 줄 수 있으며, 경통내면의 산란에 의해 발생한 산란광은 상의 중심부분에서 상대적으로 큰 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있다.

3.4 설계보완

앞의 표 2와 표 3에서 알 수 있듯이 현재 설계된 광학계에서의 미광의 가장 큰 원인은 광학면의 내부반사의 효과가 가장 크다. 이중 렌즈면의 무반사 코팅에서 발생하는 내부반사는 제거할 수 없으며, 리브에 의한 내부반사는 적절한 흡광

판을 설치함으로써 미광발생을 줄일 수 있다.

설계 보완에서는 리브에 의한 미광을 줄이기 위하여 리브 바로 뒤에 그림 15의 ①, ②번과 같이 빛을 차단하는 얇은 필름을 삽입하였다. 필름의 두께는 양산이 가능한 두께인 0.03 mm 이상이 되도록 하였으며, 그림 15의 ③번과 같이 스페이스의 위치와 크기를 조절하여 산란에 의한 산란광이 최소화 할 수 있도록 설계하였다. 새로 설계된 경통을 산란률이 0%인 경우를 Case V, 산란률이 10%인 경우를 Case VI로 정의하고, 미광의 분포를 분석하였으며, 각각의 경우에 대한 조도분포를 I_5 , I_6 로 정의하였다.

보완 설계된 경통에서 리브에 의해 발생한 유령광의 분포와 비율은 (9), (10)식과 같이 쓸 수 있고,

$$\Delta I_R' = I_5 - I_2 \quad (9)$$

$$\Delta R_R' = \frac{\Delta I_R'}{I_2} \quad (10)$$

경통내면의 산란에 의해 발생한 산란광의 분포와 비율은 다음의 (11), (12)식으로 주어진다. 전체 미광의 비율은 (13)식과 같다.

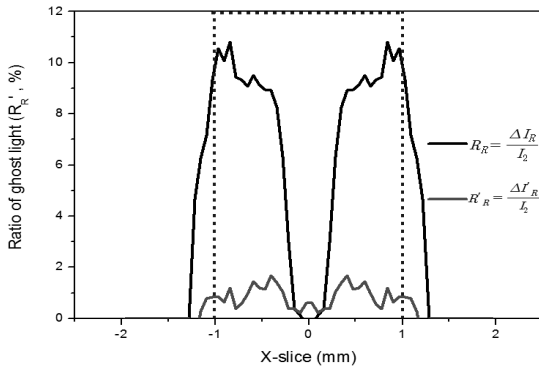
$$\Delta I_S' = I_6 - I_5 \quad (11)$$

$$R_S' = \frac{\Delta I_S'}{I_2} \quad (12)$$

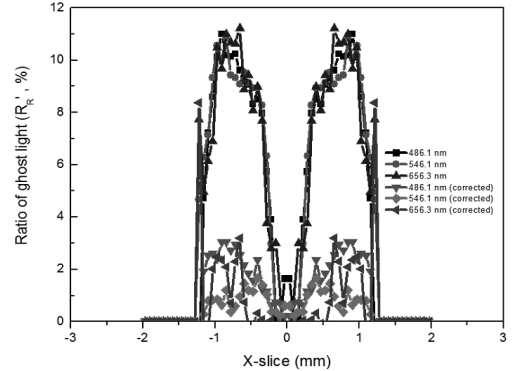
$$\Delta I_T = \Delta I_R + \Delta I_S$$

$$R_T' = \frac{\Delta I_T}{I_2} \quad (13)$$

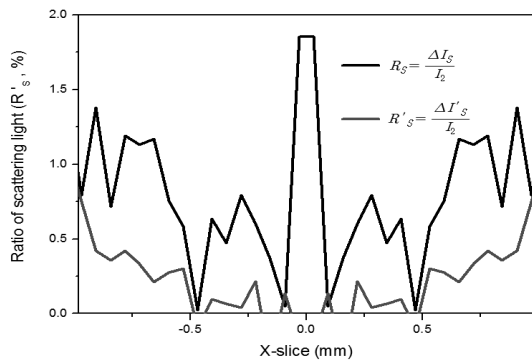
그림 16은 보완 설계 전과 후에 유령광의 비율을 비교한 것이다. 그림 16(a)는 광학면의 내부반사에 의하여 발생하는 유령광을 보여 주고 있으며, 1차 설계에서 유령광의 최대 비율이 7.1%였으나, 보완 설계 후에는 0.88%로 감소되었다. 그림 16(b)는 경통내면과 스페이스의 산란률을 10%로 하였을 경우에, 산란에 의해 발생한 산란광의 비율을 비교한 것이다. 산란에 의해 발생한 산란광의 평균 비율이 0.78%에서, 보완 설계 후 0.2%로 감소되었고, 최대 비율은 1.85%에서 1.32%,



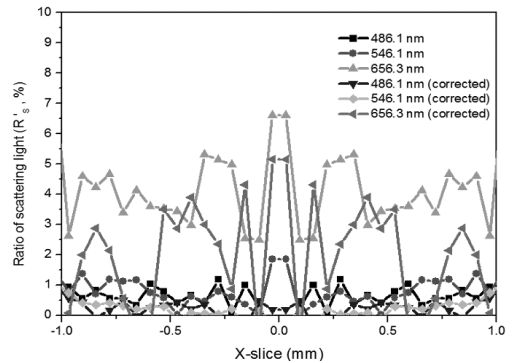
(a) 광학계에서 보완설계 후 리브에 의해 발생한 유령광의 분포



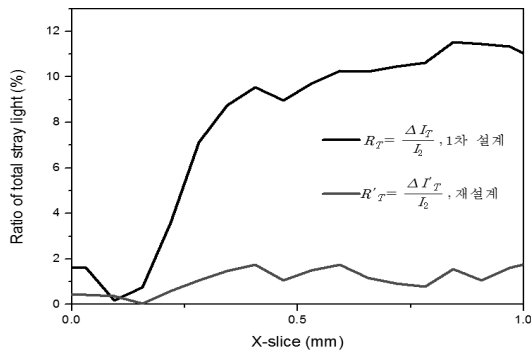
(a) C, e, F-선에서 보완 설계 전, 후의 리브에 의해 발생하는 유령광의 비율



(b) 광학계에서 보완설계 후 경통 내면의 산란에 의해 발생한 산란광의 비율

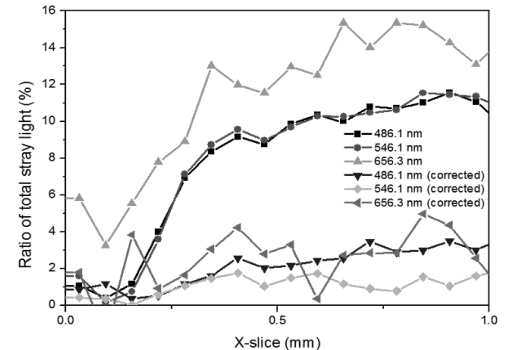


(b) C, e, F-선에서 보완 설계 전, 후의 경통내면의 산란에 의해 발생하는 산란광의 비율



(c) 광학계에서 전체미광의 비율

그림 16. 보완설계된 광학계에서 미광의 분포와 비율



(c) C, e, F-선에서 보완 설계 전, 후의 전체 미광의 비율

그림 17. 파장에 따른 미광의 분포와 비율.

최소 비율은 0.005%에서 0.002%까지 감소하였다. 특히 보완 설계 후 산란광의 분포가 이미지의 중심보다 외각부분에서 높게 나타나는 특징을 보였는데, 이는 경통내면 산란에 주된 원인이 되는 스페이서의 설계 변형에 의한 결과로 볼 수 있다. 그림 16(c)는 내부반사와 경통의 산란을 고려한 전체 미

표 4. 광학계에서 보완설계 전, 후의 미광비율

	보완설계 전	보완설계 후
리브에 의해 발생한 유령광	7.1%	0.88%
경통산란에 의해 발생한 산란광	0.78%	0.2%
전체 미광	7.89%	1.1%

광의 비율로써, 내부 산란률이 10%일 경우 중심에서는 1.6%, 외각에서는 11.35%이던 미광의 비율이 보완 설계 후 중심에서 0.01%, 외각에서 1.1%로 감소하였다. 지금까지의 분석 결과는 파장 546.1 nm의 단파장 광원에 대한 미광분석과 설계 개선 결과이며, 경통설계 이전과 이후의 결과를 표 4에 요약 정리하였다.

박막의 투과율이나 반사율은 파장에 따라 달라지므로, 미광의 분포 또한 파장의 영향을 받는다. 그림 17은 앞의 분석에 사용된 546.1 nm외에도 486.1 nm(F-선)과 656.3 nm(C-선)에 대하여 발생 원인에 따른 미광의 비율을 분석한 것이며, 경통 개선 이전과 이후의 결과를 비교하였다. 그림 17(a)는

내부반사에 의한 유령광의 비율을 비교한 것이다. 1차 설계된 경통에서는 유령광의 비율이 파장에 따라 크게 달라지지 않으나, 보완 설계된 경통에서는 파장에 따라 최대값의 위치가 달라지고, 486.1 nm와 656.3 nm에서 발생하는 유령광이 546.1 nm보다 조금 더 크게 나타난다. 이것은 546.1 nm에 대하여 유령광을 줄이는 설계를 하였기 때문으로 이해되며, 경통 재설계 전과 비교하면 유령광의 발생이 현저하게 줄어든 것은 486.1 nm와 656.3 nm의 경우도 마찬가지이다. 그림 17(b)는 산란에 의하여 발생한 산란광의 비율만을 비교한 것이다. 이 경우 내부반사에 의한 유령광과는 달리 656.3 nm에서 산란광이 크게 발생하고 있는 것을 볼 수 있고, 이 경향은 재설계한 경통에서도 마찬가지이다. 특히 0.4 시야 부근에서는 보완설계 이전과 같은 수준의 산란에 의한 산란광이 발생하고 있다. 이것은 이 연구에서 경통 내면과 스페이서에 의한 산란률은 10%로 의도적으로 크게 설정하였기 때문에 나타난 결과로 볼 수 있고 실제 광학계에서는 산란률이 이보다 낮기 때문에 실질적인 문제는 되지 않을 것으로 보고 있다. 그러나 이것은 미광의 해석이 여러 파장에 대하여 복합적으로 이루어져야 함을 시사하는 사례로 볼 수 있다. 그림 17(c)는 전체 미광의 비율을 비교한 것이며, 세 파장에서 모두 미광이 현저하게 개선되어 있는 것을 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 2매의 플라스틱 비구면을 적용한 VGA급 카메라 폰 렌즈를 설계하고, LightTools^[8]를 이용하여 렌즈, 필터, 경통의 내면에서 발생하는 미광의 분포를 분석하고, 미광발생을 줄이는 경통을 설계하였다.

미광의 해석에서는 네 가지 형태의 광학계 모델을 정의하고, 각각의 모델에 대한 546.1 nm 단파장의 조도분포를 비교하여 발생 원인에 따른 미광의 크기와 분포를 분석하였다.

처음 설계된 단순한 구조의 2매 구성 카메라 폰 광학계의 특성을 살펴보면 광학계의 유효 투과율은 88.45%이었으며, 내부반사에 의해 발생하는 유령광의 비율이 최대인 곳에서는 7.1%가 내부반사에 의한 유령광이었다. 경통과 스페이서에서의 산란에 의해 발생하는 산란광의 비율은 산란률이 증가할수록 증가하는 경향은 있었으나 평균 0.21~1.3% 정도로 비교적 완만하게 증가하였다. 전체미광은 7.89%이었다.

설계된 카메라 폰 광학계에서 미광의 가장 큰 원인은 리브에 의한 내부반사로 나타났다. 이렇게 발생한 유령광을 줄이기 위하여 광학계 사이에 빛을 차단시킬 수 있는 얇은 필름

을 삽입하고, 리브의 위치와 형태를 변화시켜 유령광을 줄이는 보완 설계를 하고, 유령광의 크기와 분포를 분석하였다. 새로 설계된 광학계에서는 리브에 의해 발생한 유령광의 비율이 7.1%에서 0.88%로 약 87%의 감소효과를 얻었으며, 경통산란(산란률 10%)에 의해 발생한 산란광의 비율은 0.78%에서 0.45%로 약 42%의 감소효과를 얻었다. 전체 미광은 7.89%에서 1.1%로 약 86%가 감소되었다. 미광의 분포와 크기는 파장에 따라 달라지므로 최종 설계된 경통에서 486.1 nm(F-선)과 656.3 nm(C-선)에 대하여서도 발생 원인에 따른 미광의 분포와 경통의 설계변경에 따른 개선효과를 분석해본 결과, 미광전체는 상당히 줄어들었음을 확인할 수 있었으나, 656.3 nm에 대해서는 산란에 의한 산란광은 개선효과가 크지 않았다. 이것은 미광해석이 여러 파장에 대하여 복합적으로 이루어져야 함을 시사하고 있다.

본 연구에서 이루어진 미광분석이 카메라 폰 광학계의 성능 개선에 많은 도움을 줄 수 있기를 기대한다.

참고문헌

- [1] <http://www.simuloptics.de/downloads/laserphotonik200705.pdf>.
- [2] www.lambdare.com/downloads/TracePro_TechNotes/TraceProStrayLightSimulation.pdf.
- [3] http://files.hanser.de/zeitschriften/docs/2732161652-95_eLP100418.pdf.
- [4] Susan H. C. P, Mc Call, "The importance of scatter in stray light analysis," *Proc. Optics & Photonics News*, vol. 12, pp. 40-47, 2001.
- [5] Duncan T. Moore, "Hand Book of Optics, vol I," (McGraw-Hill Inc., United States of America, 1995), Chap. 38.
- [6] <http://www.breault.com/k-base.php>.
- [7] Code-V Reference Manual, Optical Research Associates. Vol. 1, Chap. 7.
- [8] LightTools[®] (Ver. 6.0) Illumination Module User's Guide, Optical Research Associates. Chap. 6.
- [9] Jean-Claude Perrin, "Fast and accurate modeling of stray light in optical systems," in *International Conference on Space Optics-Toulouse-2000*.
- [10] LightTools[®] (Ver. 6.0) Core Module User's Guide, Optical Research Associates. Chap. 6.
- [11] <http://www.magnachip.co.kr/eng/download/MC501CB.pdf>
- [12] 이용선, 이종용, "1매의 구면 SELFOC 렌즈와 1매의 비구면 플라스틱 렌즈로 구성된 카메라폰용 광학계의 설계", *한국광학회지*, 제19권 제2호, pp. 110-111, 2008.

A Study for Stray Light Distribution of Mobile Phone Camera Consisting of Two Aspheric Lenses

Kwang-Woo Park and Jong-Ung Lee[†]

Department of Laser and Optical Information Engineering, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea

[†]*E-mail: julee@cju.ac.kr*

(Received January 15, 2009; Revised manuscript February 9, 2009; Accepted February 11, 2009)

A mobile phone camera consisting of two aspheric lenses is designed, and stray light distribution on the image plane is analyzed. We assume that most of the incident light is absorbed on the inner surfaces of the lens barrel and spacers, only a small fraction of the light is scattered uniformly. Assuming that 10% of the incident light is scattered on the barrel and spacers, the maximum value of stray light is 7.1% of the ideal image intensity. The result of analysis shows that stray light originated mostly from internal reflection on the ribs. The contributions of scattering by the barrel and spacers are relatively small. To reduce the internal reflection, thin absorbing plates are inserted between lenses, and the shapes of spacers are modified. After the redesigning of the lens barrel, the maximum value of stray light is reduced to 1.1% of the ideal image intensity.

OCIS codes: (080.3620) Lens design; (209.0290) Scattering; (120.4820) Optical System.