

회절광학소자를 이용한 디지털 카메라용 광학계 설계

Optical Design for Digital Camera Using Diffractive Optical Element

박 성 찬

단국대학교 첨단과학부

scpark@anseo.dankook.ac.kr

I. 서 론

1980년대 Garry Swanson과 Michael Morris에 의해 활성화된 회절광학소자(Diffractive Optical Element : DOE)에 관련한 연구는 오늘날 산업기술의 발전과 더불어, 미세 가공기술 및 금형에 의한 대량복제 기술이 가능함에 따라 회절광학소자에 관련된 기초기술과 응용부분이 크게 발전하였다. 특히, 광학 제품 및 부품의 차별화를 실현하기 위해서 새로운 기술인 회절광학소자를 이용한 광학계 설계, 제조 및 평가에 대한 연구가 활발히 시도되고 있다. 본 연구에서는 회절광학소자를 이용하여 콤팩트 디지털 스틸 카메라용 광학계를 설계하였으며, 광학계의 부피, 무게, 수차 특성 등을 향상시키기 위해 hybrid 플라스틱 렌즈 1매와 순수한 굴절광학소자 1매로 이루어진 telephoto 형태로 구성하였다.

II. 회절광학소자를 이용한 광학계의 최적설계.

컴팩트한 디지털 스틸 카메라용 광학계를 설계하는 것이 목적이므로, 광학계를 telephoto 형태로 구성하였으며, F/4이고, 주변광량비는 1.0 field에서 40% 이상, 그리고 공간 주파수 80 lp/mm에서 MTF 값이 30% 이상이 되도록 목표치를 정하였다. 그리고, 왜곡수차는 사람의 눈이 상의 왜곡을 구별할 수 없을 정도인 $\pm 2\%$ 이내로 설정했고, 촬상소자로서는 1/4 인치 CCD를 사용하므로 최대 상고는 ± 2.3 mm가 되도록 설정했다. 또한, 광학계의 전장은 가능한 한 짧도록 하였다.

Gauss 괄호를 이용한 근축 광선추적을 통해 초기 설계치를 수치 해석적인 방법으로 구하였다. 초기 설계된 광학계는 구면수차, 코마, Petzval 상면만곡만이 보정되고 나머지 Seidel 3차 수차인 비점수차와 왜곡수차, 그리고 고차수차 및 색수차는 보정되어 있지 않다. 초기설계 과정에서 고려하지 않은 고차 수차 및 색수차를 보정하기 위하여 최적화 설계과정에서는 제 1면을 일반적인 비구면으로 비구면화하고, 제 2면은 회절광학소자를 적용하여 색수차를 보정하였다.

그림 1은 최종적으로 설계된 콤팩트형 디지털 스틸 카메라용 광학계의 구성도 이다. 일반적으로 포토리소그래피 방법으로 회절소자를 제작할 때는 평판 위에다 미세 패턴을 새기는 방법이 널리 사용되고 있다. 그러나 본 연구에서는 그림 1에서 보듯이 회절소자가 볼록한 구면 위에 놓여 있는데, 이런 형태의 회절소자는 금형 제작으로 대량복제가 실제로 가능하다. 본 광학계의 전장은 5.19 mm로 매우 콤팩트하며, 주변광량비는 1.0 field에서 50%이상을 만족시킨다. 광학계의 MTF 특성은 공간 주파수 100 lp/mm에서 모든 field에 대해 30% 이상의 값을 갖고 있다. 마지막으로 공간주파수 40 lp/mm에서의 defocus에 따른 MTF 특성을 조사해본 결과, 좌우 대칭형태를 보여주고 있었다. defocus를 함에 따라 MTF 특성이 감소되는 것

이 일반적이지만, 이 때의 MTF 곡선은 최적 상점(best focus)을 기준으로 종 모양으로 대칭적이어야 초점 어긋남이 발생해도 안정된 특성을 갖을 뿐만 아니라 자동초점조절(AF)이 용이해진다.

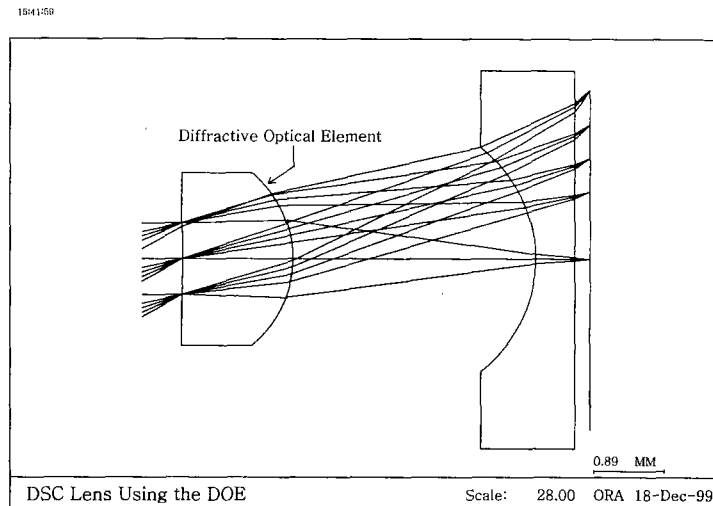


그림 1. 최적설계된 디지털 스틸 카메라용 광학계의 구성도

III. 결론

본 논문에서 설계한 디지털 스틸 카메라용 광학계는 부피, 무게, 수차 특성 등을 줄이기 위해 hybrid 플라스틱 렌즈 1매와 순수한 굴절광학소자 1매로 이루어진 telephoto 형태로 구성되었다. 최종적으로 설계된 디지털 스틸 카메라용 광학계의 초점거리는 3.89 mm로서 기존의 디지털 스틸 카메라용 광학계보다 컴팩트함을 알 수 있었다. 또한, 본 광학계의 주변광량비, 수차특성 및 MTF 특성이 디지털 스틸 카메라용 광학계에서 요구하는 성능을 충분히 만족함을 알 수 있었으며, 현재 소형화, 경량화가 요구되는 차세대 화상통신용 광학계에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 참고문헌

- [1] T. Stone, and N. George, Appl. Opt. 24, 2960-2972, (1988).
- [2] D. Faklis, and G. Michael Morris, J. Opt. Soc. Am 3, 53-57 (1986).
- [3] O. Arnon, A. Reichert, and A. Avnour, Proc. SPIE 554, 518-525 (1985).
- [4] W. C. Sweatt, Appl. Opt. 16, 1390-1391 (1977).
- [5] C. Londono, "Design and Fabrication of Surface Relief Diffractive Optical Elements or Kinoforms, with Example for Optical Athermalization", Ph.D dissertation, 26 (1992).
- [6] 박성찬, 정준호, 한국광학회지, Vol. 11(4), 239-245 (2000).