

비디오 입체영상녹화를 위한 광학계 설계

홍경희[†]

육군사관학교 물리학과

Ⓣ 139-799 서울특별시 노원구 공릉동 사서함 77호

(2002년 9월 19일 받음, 2002년 12월 2일 수정본 받음)

새로운 방법으로 간편하게 입체적으로 비디오 영상을 촬영할 수 있는 광학계를 설계하였다. 광학계의 전체 시야는 42°이고 유효경은 22 mm이다. 본 광학계를 비디오 카메라나 캠코더에 장착하여 정립 실상으로 입체 영상을 촬영하고 이를 입체 영상으로 재생할 수 있는 2중 무초점계 bi-ocular형이다. 광학계의 크기는 광로정을 광속분리기 및 평면경으로 접어서 compact하게 축소되었다. 광학계는 4개의 렌즈군으로 구성되며 각 렌즈군은 relay 렌즈 역할까지 겸하여 vignetting 효과를 최소화하였기 때문에 전체 시야에 걸쳐 거의 광 손실 없이 영상을 정립 실상으로 비디오 카메라나 캠코더 렌즈에 전달하고 있다. 전 시야에 걸쳐 양 쪽 눈에서 볼 수 있는 영상을 서로 수직한 방향의 편광자와 chopper를 이용하여 1초에 30개 이상 교대로 녹화한다. 재생할 때는 서로 수직한 방향의 편광자를 가진 입체시 안경을 쓰고 양쪽 눈으로 각각의 영상을 보게 되며 입체영화를 감상할 때와 같이 잔상효과로 인하여 연속적인 입체 동영상으로 감상할 수 있다.

주제어 : stereoscopic video-recorder, afocal system, relay lenses, afterimage effect, bi-ocular system.

I. 서 론

입체 영상의 기록 및 재생 기술로서 크게는 홀로그래픽 방법과 두 개의 카메라로 촬영한 영상의 조합 방법이 있다.^[1] 홀로그래픽 방법은 단 색광을 사용하며, 물체를 조명하지 않고 직접 홀로그램으로 가는 참고광과 물체에 의하여 회절된 광, 두 개의 광속을 중첩하여 간섭무늬를 기록하고 이를 재생하는 방법이다. 홀로그램의 분해능이 높아야 하며 광원 또한 매우 강도가 높아야 한다. 여러 가지 기술적으로 난해하고 비용이 크게 소요된다. 두 영상의 조합 방법은 현재 입체 영화 촬영에서 많이 이용하는 방법으로 두 개의 카메라가 다른 방향에서 하나의 영상을 촬영하여 이를 재생할 때 조합하는 것으로 그 구성이 복잡하고 매우 어렵다. 그리고 촬영 중에 잘 못하면 구성이 엉클어져 입체 영상 촬영이 불가능하거나 촬영한다고 해도 매우 조잡한 입체 영상이 되기 쉽다.

본 연구는 일반적인 캠코더에 부착하여 사용이 간편하고 적은 비용으로 생산 가능한 입체 영상 촬영 장치를 개발하기 위한 것이다. 동시에 양 쪽 눈으로 보는 영상을 하나의 테이프나 기록매체에 기록하여 시차적으로 녹화하고 또한 시차적으로 재생함으로써 입체 영상을 재현하는데 기술적으로 간단하며 완벽한 입체 영상을 기록 및 재생할 수 있도록 고안하였다. 즉, 전 시야에 걸쳐 양 쪽 눈에서 볼 수 있는 영상을 서로 수직한 방향의 편광자와 chopper를 이용하여 1초에 30개 이상 교대로 녹화한다. 재생할 때는 서로 수직한 방향의 편광자를 가진 입체시 안경을 쓰고 양쪽 눈으로 각각의 영상을 보게 되며 입체영화를 감상할 때와 같이 잔상효과로 인하여 연속적인 입체 동영상으로 감상할 수 있다. 개인적으로 촬영 가능한 일

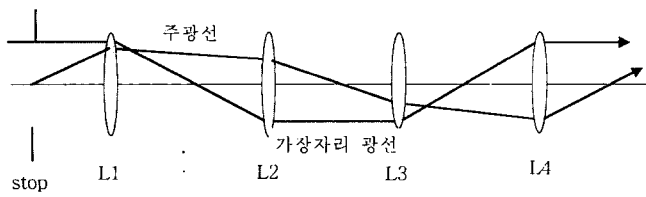
반적인 video camera 또는 캠코더에 부착하여 입체 영상을 촬영하고, TV monitor에 재생함으로써 저렴한 가격으로 손쉽게 입체 영상을 기록하고 재생할 수 있다. 입체 영상을 요구하는 무엇이나 입체영상으로 기록 보존하고 감상할 수 있다. 오락게임이나 시청각 교육매체 등 광범위하게 이용될 수 있으므로 3차원 영상 사업에 새로운 혁명을 일으킬 수가 있다.

II. 계통의 확립 및 초기 설계

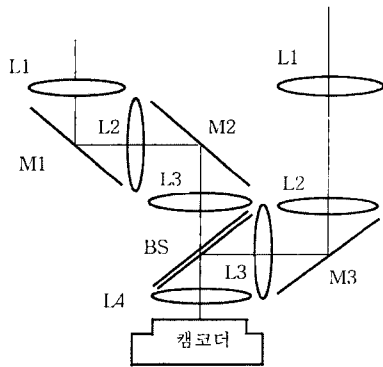
본 연구에서 설계한 광학계는 입체영상 비디오 촬영용 광학계로서 캠코더 렌즈 앞에 부착하여 전체 시야까지 정립실상으로 양쪽 눈에서 관찰되는 영상을 1초당 30번 이상 교대로 촬영, 녹화하고 이를 TV나 상 재생기에서 재생할 때는 같은 방법으로 양측 영상이 교대로 재생되며 눈의 잔상효과를 이용하여 입체적으로 동영상을 감상할 수 있도록 고안한 것이다. 광학계의 구조는 상하 좌우가 전도되지 않도록 2중 무 초점계로 되었으며 경통 길이를 단축하기 위해 반사경을 이용하였고, 각종 수차를 제거하기 위해 각 렌즈 뭉치는 triplet 형으로 module 화하였다.^[2] 갈릴레오형 무초점계를 사용하는 경우에는 vignetting effect 때문에 시야가 좁아져서 많은 제한이 있으나 케플러형 무 초점계를 이중으로 사용하여 각 렌즈 군이 relay 렌즈 역할을 겸하기 때문에 vignetting effect를 최소화할 수 있다. 따라서 전체 시야에 걸쳐 거의 광 에너지 손실 없이 정립 실상의 입체 영상 촬영이 가능하게 되었다.

본 연구에서는 소형 가정용 비디오 카메라에 장착할 수 있는 것으로 전체 시야를 42°, 유효경 22 mm인 이중 무초점계로 구성된 afocal bi-ocular형으로 camcorder 앞부분 첫 번째 렌즈에 부착하여 사용할 수 있도록 구성하였다. 물론 그 이상의 시야에 대해서도 설계가 가능하다. 평면경은 계통의 수차에는

[†]E-mail: khhong@jupiter.kma.ac.kr



(a) 주광선과 가장자리 광선의 진행 개요.



(b) 입체 촬영을 위한 광학계 구성도.

그림 1. 광학계통의 개략도.

영향을 주지 않으며 단순히 상을 전도하고 광로정을 접어서 경통의 크기를 줄이는데 기여한다. 그 중에서 하나는 광속분리기로서 양쪽의 영상을 하나로 묶어주는 구실을 한다.

그림 1의 (a)는 4개의 렌즈몽치로 이중 무초점계 이면서도 시야각(field angle)을 캠코더의 시야각 42° 그대로 유지하며 상을 바로 세우는 원리를 설명하고 있으며 (b)는 4개의 렌즈몽치와 3개의 평면경으로 구성되어 상이 전도되지 않고도 양쪽의 영상을 한 곳에 모아 입체적으로 기록할 수 있는 광학계에 원리를 나타내 주고 있다. 반사경을 이용하여 경통 길이를 축소하여 광계통의 크기를 compact하게 하였고 초퍼(chopper)를 적절하게 삽입할 수 있도록 공간을 확보하는 개념의 개략도이다. 전체 시야(field of view; FOV)가 42°이므로 반 시야각은 21°이다. 주 광선의 굴절 광축각이 $\tan 21^\circ = 0.383864$ 이며 입사각을 9 mm로 할 경우 각 렌즈 몽치의 굴절능을 이에 맞추어 $k = 0.04265$ 로 하였다. 따라서 유효초점거리는 23.45 mm이다. 광학초차는 가끔씩 구하기 쉽고 굴절능이 높은 것으로 구면수차 및 Petzval sum이 최소가 되도록 선택하였다. 크라운 계열에서는 Schott사 제품으로 LaK12, 프리트 계열에서는 SF6으로 선택하였다. 처음에는 모든 렌즈몽치를 동일한 triplet로 서로 대칭으로 배열하였다. 스톱이 렌즈 몽치 밖에 존재하므로 구면수차 및 Petzval sum이 최소가 되도록 하기 위해서 볼록-볼록-오목 순으로 굴절능을 배열하였다.^[3] 우선은 유효초점거리를 25.0 mm으로 하여 triplet렌즈 몽치를 설계한 결과 다음 표 1과 같은 초기 설계를 얻었다.

L1 렌즈와 L2 렌즈가 서로 대칭적으로 마주 보게 하였으며 또한 L3 렌즈와 L4 렌즈가 서로 대칭적으로 마주 보게 배열하였다. 따라서 L2 렌즈와 L3렌즈도 대칭적으로 마주 보게 되는 형태가 되며 L1과 L4도 대칭이 된다. 전체적으로는 4개

표 1. triplet 설계제원

면 번호	곡률 반경	두께	초 자
1	98.87307	24.0	공기
2	-46.37438	6.5	LaK12
3	32.8813	3.0	공기
4	-137.40655	6.5	LaK12
4	-28.72371	5.0	공기
6	-36.87748	4.0	SF6

의 렌즈 군으로 구성되며 각 렌즈 군은 triplet계로서 module화 방법으로 초기 설계를 실시였다.^[2]

III. 최적 설계

초기 설계제원을 가지고 그림 1(b)와 같이 광로를 접었을 때 렌즈가 서로 닿지 않게 하면서도 vignetting effect를 최소화하기 위하여 CODE V 프로그램의 최적설계 기능을 이용하여 광선들의 높이를 광축으로부터 11 mm 이하로 규제하며 경통 길이를 고려하여 렌즈의 glass thickness를 17.5 mm~20 mm로 규제하였고 렌즈 몽치와 렌즈 몽치간의 간격은 L1과 L2 사이는 28 mm, L2와 L3와 의 간격은 27 mm, 그리고 L3와 L4 간격은 28 mm로 고정하였다. 이와 같이 규제하여 최적화하는 동안 triplet로서 충분히 수차를 보정할 수 없어서 적어도 L1 하나는 4개의 볼록렌즈와 하나의 오목렌즈의 형태로 변경하였다. 모양도 대칭성을 유지하지 못하였고 계통이 복잡하게 되

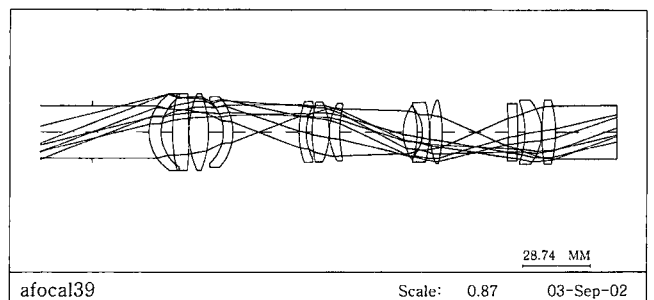


그림 2. 광학계의 광선추적도.

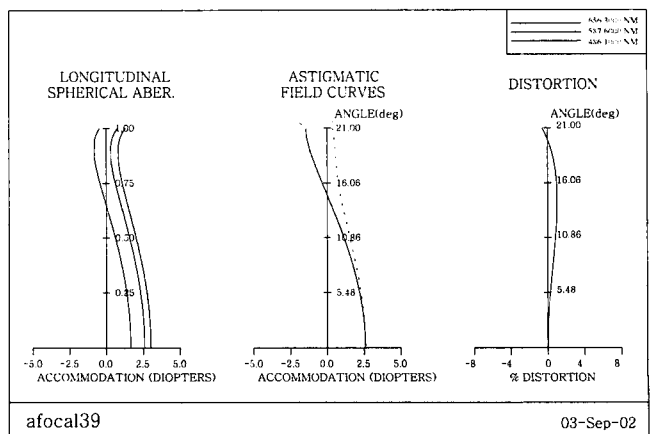


그림 3. 광선 수차.

었다. 마지막 렌즈 몽치 L4에서 렌즈 하나는 Schott 사 제품 LaK11로 변경하였다. 최적 설계 결과적으로 얻은 계통을 반시야 0°, 14° 그리고 21°에 대해서 광선추적을 한 것이 그림 2와 같다.

IV. 성능평가

그림 3은 실제적인 광학계의 성능평가로서 광선수차를 보여 주고 있으며 (a)는 구면수차, (b)는 반시야에 따른 만곡수차와 비점수차를 나타내고 있고 (c)는 반시야에 따른 왜곡 수차를 보여주고 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이 종구면수차는 -2.0 디오퍼터부터 +3디오퍼터 미만이며 곡면만곡도 모든 시야에 대해 ±3디오퍼터 미만이다. 왜곡수차는 ±2% 미만이다. 무초점계이므로 ray fan이나 spot diagram이 각도를 radian 단위로 하여 표시된다.

그림 4는 실제적인 광계통의 반시야 0°, 7°, 14°, 그리고 21°에 대한 angular aberration을 ray fan 형태로 나타내며 그림 상에서 Tan은 자오 각수차를, Sag는 구결 각 수차를 나타내고 있다. 구결 각수차 그림에서 수직 축 상의 숫자가 각수차의 척도를 의미한다. 그림에서 보는 바와 같이 전체 반시야에 대해서 모든 각수차의 최대, 최소 값은 ±0.05 rad에 미치지 못하므로 각수차가 잘 제거되고 있음을 알 수 있다.

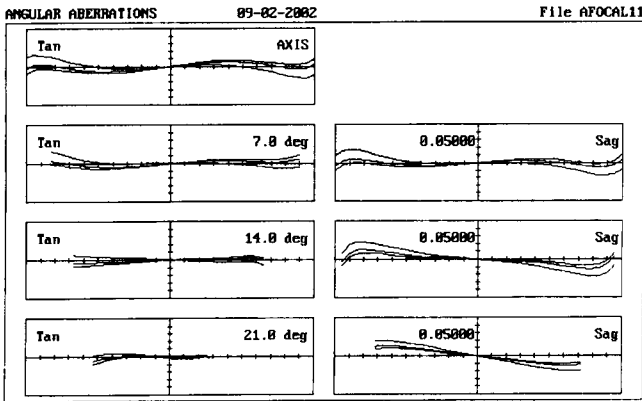


그림 4. angular aberration.

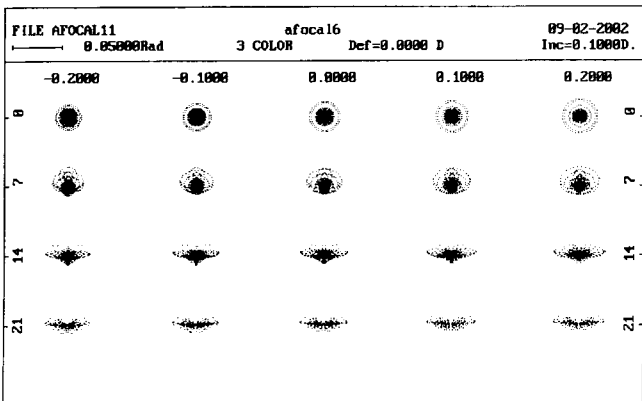


그림 5. spot diagram.

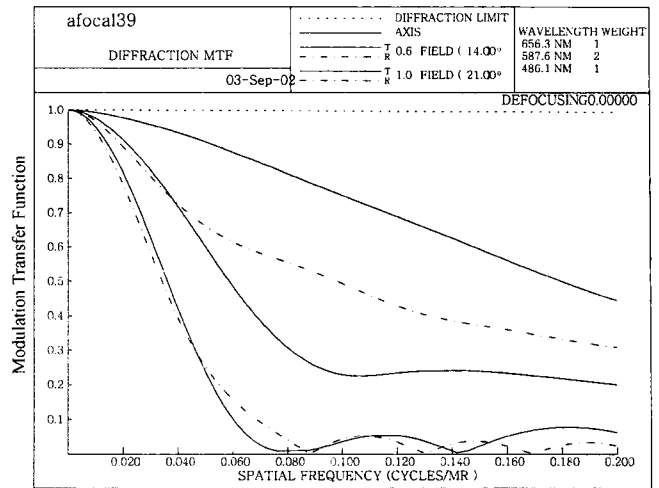


그림 6. 회절 광학적 MTF.

그림 5는 실제적인 광계통의 반시야 0°, 7°, 14°, 그리고 21°에 대한 spot diagram을 나타내며 그림 위의 척도가 0.05 rad이므로 완전한 렌즈로 결상 한다면 얼마큼의 각도 분포로 초점이 모일 수 있는가를 보여주고 있다. 반시야가 14°까지는 ±0.05rad 미만으로서 각 수차가 잘 제거되어 있고 21°에서는 다소 0.05 rad을 넘지만 그래도 이 정도면 상당히 좋은 편이라고 말할 수 있다.

그림 6은 실제적인 광계통의 반시야 0°, 14°, 그리고 21°에 대한 공간주파수를 mili radian로 하였을 때, 회절 광학적인 polychromatic MTF 값을 보여 주고 있다. 맨 위의 실선은 시야 0°의 MTF 곡선이며 공간주파수 200 lines/rad까지 MTF 값이 0.45 이상으로 좋은 특성을 보이고 있다. 중간은 반시야 14°의 MTF 값을 나타내는 곡선이다. 여기서 실선은 자오 MTF 값이고 점선은 구결(radial) MTF 값이다. 모두 공간주파수 180 lines/rad 까지 MTF 값이 0.2 이상을 유지하고 있다. 제일 아래의 곡선이 반시야 21°의 MTF 값이며 마찬가지로 실선은 자오 MTF 값, 점선은 구결 MTF 값이다. 반시야 21°에서는 공간 주파수 60 lines/rad 이상에서 MTF 값이 0.1이하로 떨어지지만 60 lines/rad 이상에서는 0.1 이상으로 높은 값을 가진다. 따라서 전반적으로 보아 좋은 MTF 특성을 보이고 있다.

V. 결 론

캠코더의 검출기 계통을 비롯한 모든 장치에 수정을 가하지 않고 다만 본 광학계를 부착하여 손쉽게도 완벽하게 모든 시야에 대해서 거의 광 에너지 손실 없이 입체 영상을 촬영 기록하고 재생할 수 있는 광학계를 설계하였다. 물론 처음부터 특수하게 본 원리를 이용하여 입체 촬영만 가능하도록 캠코더 광학계를 연결하여 하나의 광학계로 개발할 수 있으며 그렇게 되면 더 손쉽게 더 소형으로 제작할 수 있다. 그러나 2차원 영상과 3차원 영상을 임의 선택적으로 촬영할 수 있도록 하기 위해서는 본 연구와 같이 별개의 간단한 광학계로 구성하는 것이 필요하다. 본 연구결과를 광범위하게 활용하려면 캠코더 광학계가 표준화되는 것이 더 효과적이다.

참고문헌

- [1] 김은석, 김남, “홀로그래픽 스테레오그램에 관한 샘플링 이론과 관찰영역의 확대,” 한국광학회지, 제7권 4호, pp. 322-327, 1996.
- [2] 박성찬, 김영식, “렌즈모듈을 이용한 광학계 설계 I: 줌렌즈의 First Order 최적설계,” 한국광학회지, 제8권 2호, pp. 81-87, 1997.
- [3] 홍경희, “홍채인식용 광학계 설계,” 한국광학회지, 제11권 6호, pp. 390-394, 2000.

Optical system design for stereoscopic video-recorder

Kyung Hee Hong

Dept. of Physics, Korea Military Academy, Seoul 139-799, KOREA

(Received September 19, 2002, Revised manuscript December 2, 2002)

An optical system for a stereoscopic video recorder is designed with the field of view 42° and effective diameter 22 mm. We can use it by attaching it to the front lens of any video camera or camcorder to record a stereoscopic scene. This system is a double Kepler type afocal system to make the image erect and a bi-ocular type to record and display the stereoscopic scene. The optical tube length is folded with several flat mirrors and a beam splitter to be compact. This optical system is composed of 4 groups of lenses and each group serves as a relay lens for minimizing the vignetting effect. Whole field stereoscopic scenes may be captured by perpendicularly polarized alternated recording with a chopper and two perpendicular polarizers, without any loss of light energy. The displayed images may be seen stereoscopically with polarized spectacles and are kinetic because of an afterimage effect.

Classification codes : SM.010, SM.020.