

## 단일 CCD와 두개의 줌렌즈로 구성된 입체 카메라

이상은 · 조재흥<sup>†</sup>

한남대학교 이과대학 광 · 전자물리학과  
☎ 306-791 대전광역시 대덕구 오정동 133

정의민 · 이각현

범광기전(주)  
☎ 306-020 대전광역시 대덕구 대화동 40-28

(2005년 12월 19일 받음, 2006년 2월 13일 수정본 받음)

인간 양안의 자연스러운 작용들과 뇌의 영상과정을 토대로 단일 CCD와 두개의 줌렌즈로 구성된 교차식 입체 동영상 카메라를 설계하고 제작하였다. 50도의 넓은 시야각과 0도에서 16도까지 변하는 주시각을 갖는 이 카메라는 두 줌렌즈를 인간의 양안거리와 같은 65mm 간격을 두고 배열하여 인간과 같은 양안시차를 갖도록 설계하고 제작하였다. 그리고 입체 동영상을 촬영할 수 있도록 하기 위하여 좌우 영상을 차례로 보내주는 셔터 블레이드와 이 셔터 블레이드를 통하여 들어온 좌우 영상을 하나의 CCD로 보내는 X-cube 영상결합기 및 1초당 60 frame의 촬영이 가능한 하나의 CCD를 사용하였다.

주제어 : Stereoscopic camera, Zoom lens, X-cube images combiner.

### I 서 론

인간은 약 65 mm 떨어져 있는 두 눈을 통해, 즉 양안 시차(binocular parallax)에 의해서 좌측 눈과 우측 눈으로 서로 다른 시각으로 사물을 바라본다. 이로 인하여 좌측 상과 우측상이 망막에서 약간씩 다르게 결상하는데, 뇌가 그 미세한 차를 보는 방향에 따라 해석함으로써 사람은 자연스럽게 입체감을 느낀다<sup>[1]</sup>. 그러므로 인간은 2차원의 영상보다 3차원 입체영상을 볼 때가 더욱 자연스러운 현실감을 느낀다<sup>[2]</sup>.

이러한 3차원 입체영상의 기록 기술로는 홀로그래피 방법과 3차원 동영상 촬영법이 있다. 홀로그래피 방법은 분해능이 높고 정보보존력이 뛰어난 장점을 갖는 반면, 가격이 높고 휴대성이 나쁘며 취급이 어려운 단점이 있다. 그러나 3차원 동영상 촬영법은 홀로그래피 방법에 비하여 상대적으로 분해능이 낮고 정보 보존력이 나쁘지만 휴대성이 좋고 가격이 저렴하며 취급이 용이한 장점을 갖기 때문에 현재 입체영상 기록에 널리 사용하고 있다<sup>[3]</sup>.

3차원 동영상 촬영법으로는 사람의 두 눈과 같이 두 대의 카메라를 사용하는 방법<sup>[4]</sup>과 한 대의 카메라에 부착물을 설치하여 사용하는 방법<sup>[5]</sup>이 있다. 두 대의 카메라를 사용하는 방법은 고화질과 넓은 화각 촬영을 확보하기 위하여 렌즈의 크기가 커지므로 두 카메라의 광축 간격이 양안의 간격보다 커진다. 그리고 두 카메라의 광축을 서로 평행하게 맞추는 것이 어렵고, 특히 광학계로 줌렌즈를 사용하는 경우에는 좌측 광학계와 우측 광학계가 서로 별도로 조정해야 하기 때문

에 좌우 상의 배율을 일치시키는 것과 좌우 상의 중심을 일치시키는 것이 매우 어려워 촬영을 한다고 해도 조잡한 입체영상이 되기 쉽다. 그리고 하나의 카메라에 부착물을 설치하여 사용하는 방법은 반사광학계를 사용하여 광경로를 변경시키기 때문에 좌측 광경로와 우측 광경로 사이에 광경로차가 생겨서 좌우 상의 배율이나 결상 위치가 달라진다. 또한 무초점 광학계를 부착물로 사용하는 경우에 반사광학부품의 크기가 지나치게 커져 화각을 크게 하기 어렵다. 또한 이들 두 가지 방법에서는 구조상 좌우 입사상의 거리가 사람 눈의 평균 양안 간격인 65 mm와 다르기 때문에 이들 방식으로 촬영한 입체 영상을 장시간 시청하면 뇌의 자연스러운 입체영상 합성과정과는 다른 과정으로 인하여 두통이나 어지러움을 동반할 수 있다.

본 논문에서는 앞서 제안한 방식들의 단점을 극복하고자 인간 양안의 자연스러운 작용 원리들과 뇌의 영상 인지과정을 토대로 단일 CCD와 두개의 줌렌즈를 사용한 3차원 동영상 카메라의 설계하고 제작하고자 한다. 즉 인간 양안 간격과 같은 간격으로 설치한 두 개의 줌렌즈 광학계를 통하여 좌우측으로 보는 영상을 교대로 하나의 카메라로 촬영함으로써 사람 눈의 작동원리에 가장 근접한 3차원 입체 동영상 촬영장치를 제안하고 이를 제작한 결과를 보여주고자 한다.

### II 이 론

인간은 수정체의 조절로 거리에 따라 상의 초점을 맺는 양안이 서로 간에 약 65 mm 정도 떨어져 있어서 좌측 눈과 우

<sup>†</sup> E-mail: jhjo@hannam.ac.kr

측 눈이 사물을 다른 방향에서 바라 본다. 그러므로 연필깎기를 찍어놓은 그림 1에서 보듯이 좌측 눈의 결상(그림 1의 (a))과 우측 눈의 결상(그림 1의 (b))이 망막에서 약간 다르게 나타나게 되는 것이다. 이러한 형상을 양안 시차라 하고 인간이 입체감을 느끼게 되는 주된 원인이다. 그리고 인간이 사물을 바라 볼 때는 양안이 각기 코쪽으로 회전하여 좌측 눈과 우측 눈이 동일한 사물을 바라본다. 이 때 두 눈이 사물을 바라보는 각도를 주시각(그림 2(a)의  $\theta$ 표시)이라고 한다. 양안 사이의 중심에서부터 물체까지의 거리 L과 주시각  $\theta$ 는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$L = \frac{OD}{2 \tan(\frac{\theta}{2})} \quad (1)$$

여기에서 OD(ocular distance)는 양안거리로 본 논문에서는 이 값을 평균 양안 거리인 65 mm로 고정하였다. 주시각은 그림 2(a)에서처럼 멀리 있는 물체를 볼 때는 작아지고 가까운 물체를 볼 때는 그림 2 (b)와 같이 커지기 때문에 사물의 깊이와 거리감을 인지한다. 이러한 눈의 작동 원리에 따라 망막에 결상한 상에서 뇌는 좌우 영상의 미세한 차이를 시각 방향에 따라 해석한다. 그러므로 사람은 다른 모든 사물의 깊이와 거리감을 인지하여 자연스럽게 입체적인 영상을 보게 된다.

본 연구에서는 이러한 인간 양안의 자연스러운 작동 원리들과 뇌의 영상과정을 토대로 3차원 입체 동영상 카메라를

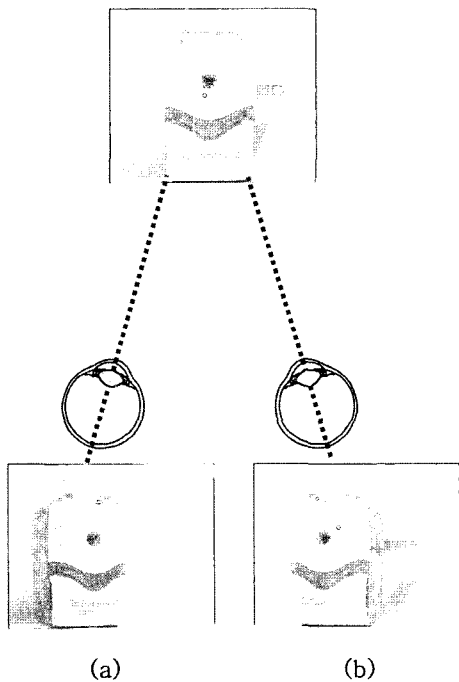


그림 1. 인간의 입체 시각 능력의 주된 원인인 양안시차를 설명하기 위하여 연필깎기를 좌안(a)사진과 우안(b)사진의 위치에서 촬영한 사진들.

고안하였다. 그림 3은 3차원 입체 동영상 카메라와 인간의 입체 영상 인지 과정을 비교하여 그려놓은 것이다. 그림 3에서와 같이 3차원 입체 동영상 카메라는 수정체를 포함한 양안(①)에 해당하는 좌우 줌렌즈부(Ⓐ), 안구 좌우 회전 운동(①)에 해당하는 주시각 조절부(Ⓑ), 광량 조절을 위한 동공 크기 조절 좌뇌와 우뇌(②)에 해당하는 좌우 영상을 하나의 영상으로 만들기 위한 좌우 영상 합성부(Ⓒ), 뇌(②)에 해당하는 하나의 촬상소자(CCD)(Ⓓ)로 구성한다. 그리고 인체에는 존재하지 않지만 좌우 상을 교대로 촬영하기 위한 좌우 영상 선택부(Ⓒ), 하나의 영상을 촬상소자에 결상 시키기 위한 결상 렌즈부(Ⓕ)를 추가하였다. 여기에서 그림 3의 (a)의 Ⓐ, Ⓑ, Ⓒ, Ⓓ의 역할은 양안인 그림 3의 (b)의 ①에 해당하고 그림 3의 (a)의 Ⓒ, Ⓕ, Ⓖ의 역할은 뇌인 그림 3의 (b)의 ②에 해당한다.

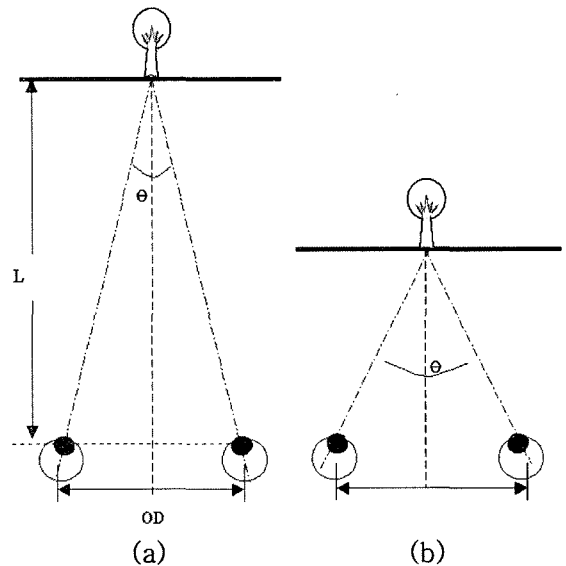


그림 2. 사람 눈의 작동원리 중 사물의 깊이와 거리를 인지하게 하는 주시각에 대한 그림으로써 (a) 멀리 있는 사물을 바라볼 때, (b) 가까이 있는 사물을 바라볼 때.

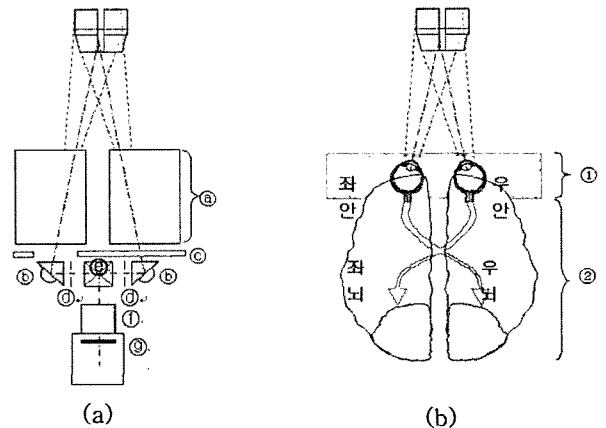


그림 3. 입체 카메라와 인간의 입체 영상 인지 과정 비교도.

### III. 3차원 동영상 카메라의 설계

본 논문에서는 입체 영상 카메라 구성 방식 중 동영상 촬영이 불가능한 순차식 카메라나 동영상 촬영이 가능하지만 주시각 조절이 불가능한 평행식 카메라<sup>16)</sup>와 달리 동영상 촬영이 가능하고 주시각 조절이 가능하여 깊이 있는 입체감을 표현할 수 있는 교차식 카메라를 채택하였다.

#### 3.1 광학계 설계

이 카메라에서 광학 부분은 그림 4의 (a)에서 보듯이 좌우 줌렌즈부(㉓), 주시각 조절부(㉔), 좌우 영상 합성부(㉕) 그리고 결상 렌즈부(㉖)로 구성한다. 광학 부분을 설계하는데 있어서 수차를 최소화하기 위하여 그림 4와 같이 이들을 하나의 광학계로 설계하였는데, 좌우 줌렌즈부와 결상 렌즈부는 하나의 줌렌즈로 주시각 조절부와 좌우 영상 합성부는 각각의 크기에 맞는 정육각의 유리 블록으로 가정하였다. 양안 거리가 65 mm이기 때문에 두 줌렌즈의 좌우 광축 간격을 65 mm로 정하였으며, F-수는 광량을 최대로 수광할 수 있는 F/2.8로 정하였다. 그리고 이 줌렌즈는 4군 14매의 광학계로 설계하였는데 그 결과 50도의 최대 화각을 갖으며 줌 배율은 3.6배로 설계되었다. 이러한 줌렌즈 설계는 기존의 3군 줌렌즈 설계<sup>7)</sup>와 배율이 비슷하지만 군수가 많다, 이는 줌렌즈 사이에 유리 블록을 삽입할 공간을 확보하기 위함이다. 또한 2/3" CCD(1,019,280 픽셀)의 크기인 실제 상 크기는  $\phi 11$  mm 이지만 주시각 조절을 고려하여 설계 상의 크기를 이보다 약간 크게 선택하였다. 그리고 주시각 제어 프리즘의 회전 공간과 좌우 영상 선택부의 셔터 블레이드 삽입 공간 및 스톱 위치의 조리개 삽입 공간을 고려하여 공간 크기들을 정해놓았다. 광량을 최대로 수광하면서 무게와 부피를 감소시키기 위하여 첫번째 렌즈의 테두리를 절단하고자 하는데, 이를 고려하여 첫번째 렌즈의 유효경을  $\phi 72$  mm로 설계하였다. 그림 4의 (a)는 이렇게 설계한 광학계의 줌렌즈가 position 1인 wide 상태인 경우를 보여주며, (b)는 position 2인 middle 상태

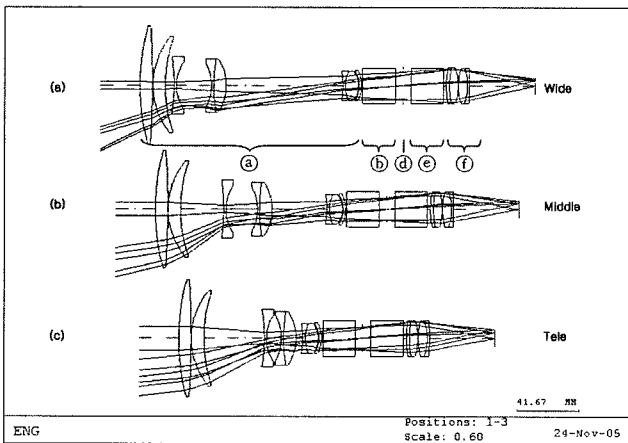


그림 4. 교차식 동영상 카메라용 줌렌즈의 구성도 및 (a) wide 상태, (b) middle 상태, (c) tele 상태의 비교

인 경우를, (c)는 position 3인 tele 상태인 경우를 보여 주고 있다. 또한 최종 설계된 렌즈계의 설계 사양과 줌렌즈 궤적을 표 1과 그림 5에서 각각 볼 수 있다. 표 1은 wide(position 1), middle(position 2), tele(position 3) 위치별 광학계 특성 데이터와 렌즈 군별 특성 데이터이다. 그림 5는 이러한 렌즈 군을 하나의 렌즈로 표시하여 (a)는 wide, (b)는 middle, (c)는 tele의 상태를 나타내고 이들의 궤적을 그린 것이다.

그림 6, 7, 8은 이 광학계의 줌렌즈 위치별 성능 평가에 대한 그림으로 그림 6은 wide 상태인 경우를 보여주며, 그림 7은 middle 상태인 경우를, 그림 8은 tele 상태인 경우를 보여 준다. 이들 광학계의 성능은 실제 CCD유효 크기인  $\phi 11$  mm, 즉 실제 상의 크기를 5.5 mm인 상태로 평가한다. 이들 그림의 (a)는 전체 수차를 보여주는 것으로, 좌측의 그래프는 자오면에 대한 것이고, 우측의 그래프는 구결면에 대한 것이다. 각 그림들 (a)의 상단 그래프는 1 field에 관한 것이고, 가운데 그래프는 0.7 field, 하단 그래프는 0 field에 관한 것들이다. (a)는 입사광의 파장별 (656.3 nm(.....), 587.6 nm(.....), 546.1 nm(.....), 486.1 nm(.....), 435.8 nm(.....))로 전체 수차를 보여준다. 그림 6, 7, 8의 (b)는 비점수차와 왜곡수차에

표 1. 최종 설계된 입체 카메라의 광학계 설계 사양

	wide (position 1)	Middle (position 2)	Tele (position 3)
EFL	12.5	25	45
Total Track	222.92	201.81	169.69
F/#		2.8	
Paraxial image height		6.0	
Wavelength range	Visible		
Num. Of element	4군 14매(유리 블록 포함)		
	1군	2군	3군
EFL	96.5521	-27.2584	175.4973
	4군		
EFL			30.4547

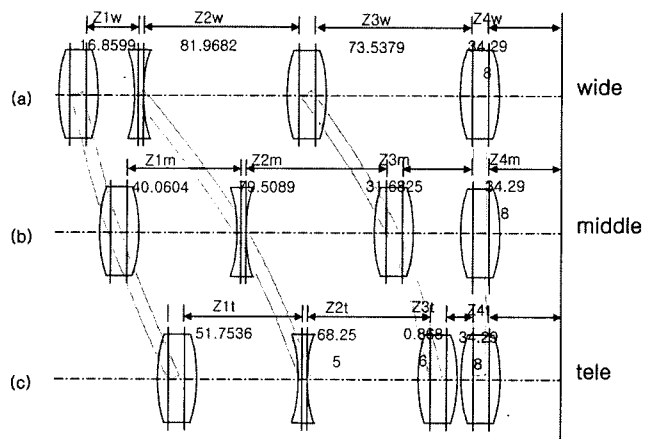


그림 5. 최종 설계된 입체 카메라 줌렌즈의 궤적도

관한 것으로 상단 그래프는 비점수차이고 하단 그래프는 왜곡수차를 나타낸 것이다. 이들 두 수차만을 살펴본 이유는 교차식 카메라에서 좌우측 상들 사이의 공간왜곡<sup>6)</sup> 때문이다. 비점수차 그래프에서 점선은 자오면이고 실선은 구결면에 대한 비점수차이다. 각 그림의 (c)는 설계된 광학계에 대한 field별(0 field MTF(—), 0.7 field의 자오면 MTF(---), 0.7 field의 구결면 MTF(.....), 1 field의 자오면 MTF(-----), 1 field의 구결면 MTF(.....)) MTF이다.

그림 8은 tele 상태에서의 전체 수차, 비점수차, 왜곡수차로 이들 수차량들은 tele 상태에서 매우 중요한 수차들이기 때문에 자세히 나타낸 것이다. 그림 8의 (a)에서 보듯이, position 3인 tele 상태에서 가시광 영역 전반에 걸쳐서 수차량이 1 field에서 0.035안에 들어오기 때문에 본 카메라에서 요구하는 조건을 충족함을 알 수 있다. 그리고 비점수차와 왜곡수차를 살펴보면, 최대 상 높이인 6 mm에서의 비점수차량이 0.189 이하이므로 비점수차가 적고 왜곡수차량이 -3% 미만이기 때문에 입체 영상을 보는 것에는 문제가 없다.

설계된 광학계의 MTF는 CCD의 장축에 해당하는 1 filed

구결면에서 사람 눈의 한계 분해능인 공간주파수 약 30 lp/mm에서 0.3을 기준으로 판단한다. 그림 6, 7, 8의 (c)의 그래프에서 1 field의 구결면(.....)이 공간주파수 30 lp/mm시 MTF가 0.3 이상이므로 영상을 보는데 문제가 없이 설계되었음을 알 수 있다.

주시각 조절부는 전반사 금속 코팅이 된 직각반사프리즘(주시각 제어 프리즘임)을 좌우에 사용하여 주시각을 조절하도록 설계하였다. 그리고 좌우 영상 합성부는 좌측 렌즈들과 우측 렌즈들을 통하여 들어온 후 주시각 제어 프리즘에 의하여 경로가 바뀐 각각의 상을 하나의 상으로 합쳐서 결상 렌즈에 보내는 부분으로써 그림 9의 (a)와 같은 X-cube 광축분할기를 역으로 사용하도록 설계하였으며 이를 X-cube 영상결합기라고 한다. X-cube 영상결합기는 그림 9의 (b)와 같이 4개의 직각 프리즘으로 이루어지며, 2개의 영상결합면인 50% 반투과 거울(half mirror)면을 갖는다. 이 그림에서 화살표의 수는 복사조도의 양에 비례하는 광량으로서 각 반투과 거울면을 지날 때마다 광량이 반으로 줄어드는 것을 나타낸 것이다. 영상결합면은 주시각 제어 프리즘의 회전으로 인하

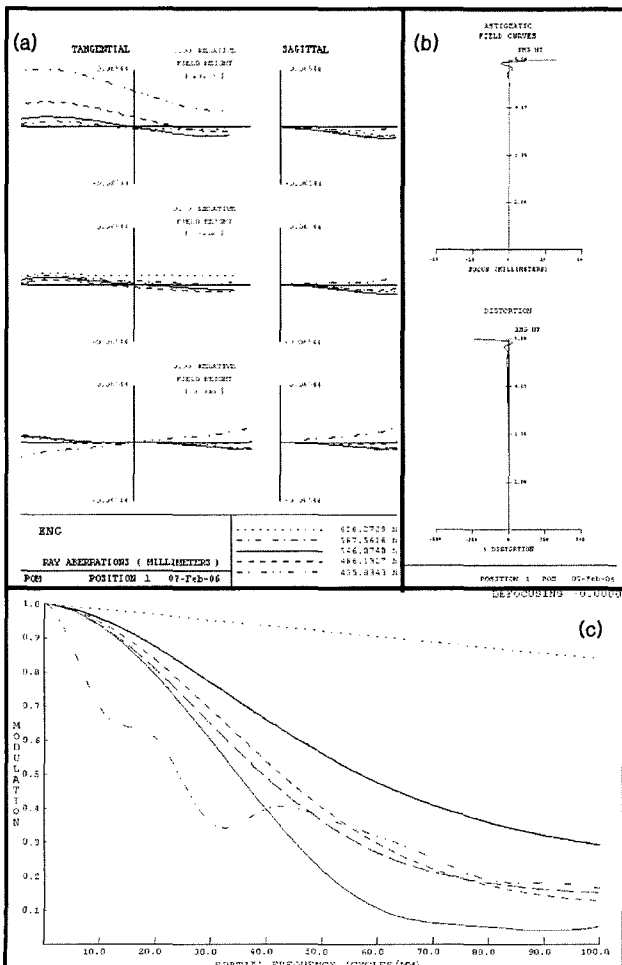


그림 6. 설계된 광학계의 wide (position 1)상태의 성능 평가도, (a)는 ray fan, (b)는 비점수차와 왜곡수차, (c) MTF.

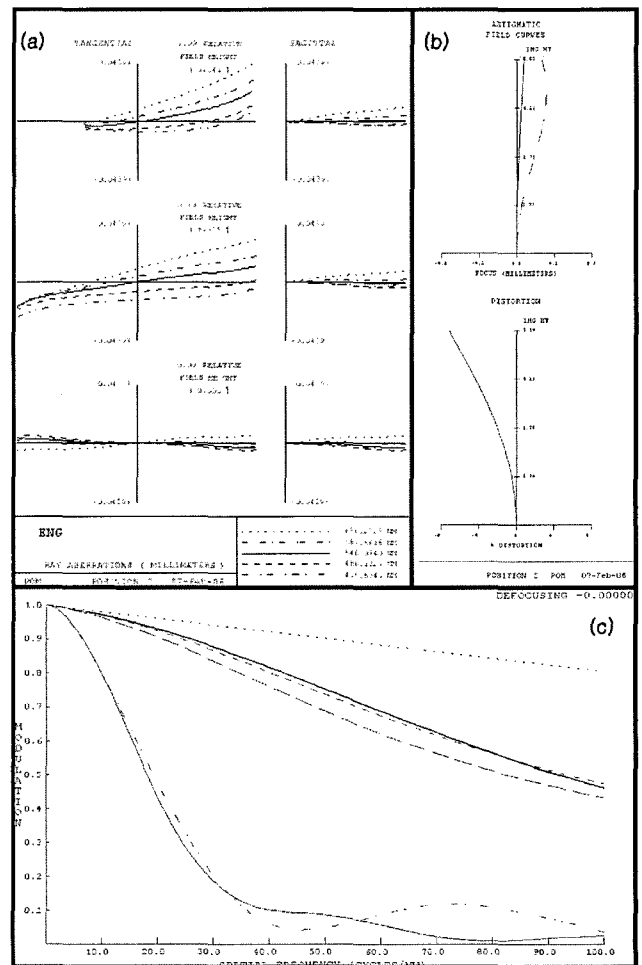


그림 7. 설계된 광학계의 middle (position 2)상태의 성능 평가도, (a)는 ray fan, (b)는 비점수차와 왜곡수차, (c) MTF.

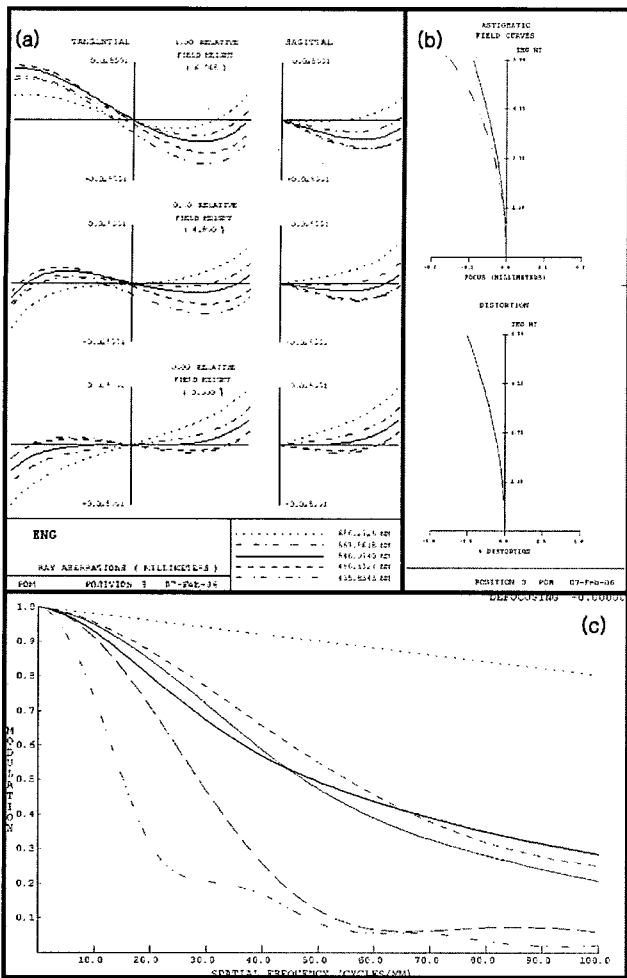


그림 8. 설계된 광학계의 tele(position 3)상태의 성능 평가도, (a)는 ray fan, (b)는 비점수차와 왜곡수차, (c) MTF.

여 입사하는 광의 입사각이 변함으로써 이에 따른 반사율과 투과율에 미치는 영향을 감소시키기 위하여 유전체 코팅이 아닌 얇은 알루미늄 금속 박막으로 설계하였다.

### 3.2 전자부와 기계부 설계

좌우 줌렌즈부는 좌측 줌렌즈와 우측 줌렌즈가 상대적으로 동일한 거리를 이동하면서 두 렌즈의 광축이 평행하도록 하기 위하여 줌렌즈를 구성하는 좌우 각각의 렌즈군들을 하나의 렌즈 홀더에 좌우 렌즈 한 쌍씩을 고정하도록 설계하였다. 본 카메라의 줌렌즈부 광학계는 3군 광학계로 설계되어 있으므로 1군의 좌측 렌즈군을 홀더의 좌측에, 우측 렌즈군을 같은 렌즈 홀더의 우측에 장착한다. 동일한 방법으로 2군과 3군의 렌즈들을 각각 또 다른 하나의 렌즈 홀더에 장착하기 때문에 총 렌즈 홀더가 3개가 된다. 이러한 렌즈 홀더들은 캠곡선을 수평이동하게 설계하였다.

좌우 영상 선택부는 사람의 영상 인지에는 해당하지 않으나 좌우 영상을 겹쳐진 상태로 양안으로 동시에 들어가지 않게 하기 위하여 좌우 영상이 교대로 보이도록 설계하였다.

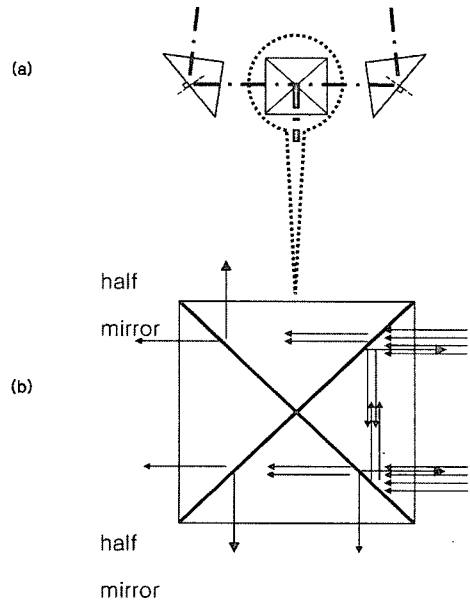


그림 9. 좌우 영상 합성부에 관한 (a) 개략도와 (b) 구조도.

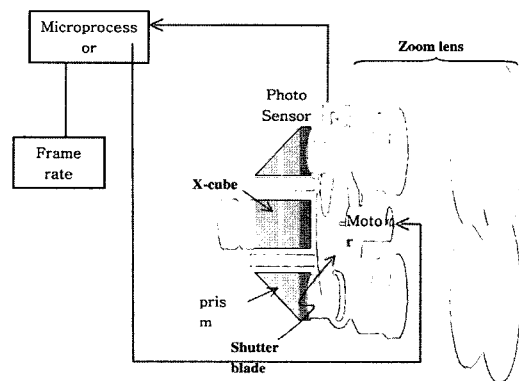


그림 10. 셔터 블레이드를 사용한 좌우 영상 선택부와 CCD 간의 시간 제어에 관한 그림.

이 부분은 원형 회전식 셔터를 사용하는데, 그림 10에서 보듯이 좌우 두 구경을 포함할 수 있는 크기의 얇은 판에 회전축을 중심으로 대칭적으로 빛을 통과시키는 부분과 빛을 차단시키는 부분을 만들어서 회전하게 한다. 이 얇은 판을 셔터 블레이드(shutter blade)라고 하며, 이는 좌우 상 중 하나의 상을 차단시키고 다른 상을 투과시키기 때문에 광량의 손실이 없다는 장점을 가지고 있다. 이러한 좌우 영상 선택부는 CCD와 연동시켜서 카메라의 frame rate에 맞추어 셔터 속도를 조절해야 한다. 본 논문에서 사용하는 CCD는 1초에 60 frame을 촬영할 수 있다. 이러한 CCD로 좌우 각각 초당 30 frame을 촬영하여 시차적으로 보여줌으로써 눈의 잔상효과를 이용한 동영상 효과를 느낄 수 있도록 하였다.

좌우 영상 선택부와 카메라 간의 연동 방법으로는 셔터 블레이드에 빛이 통과할 수 있게 표시한 출발점을 포토센서로 감지하여 그 신호를 카메라의 동기신호와 연결시키는 방법을 쓴다. 그림 11에서처럼 셔터 블레이드에 빛을 통과시키는

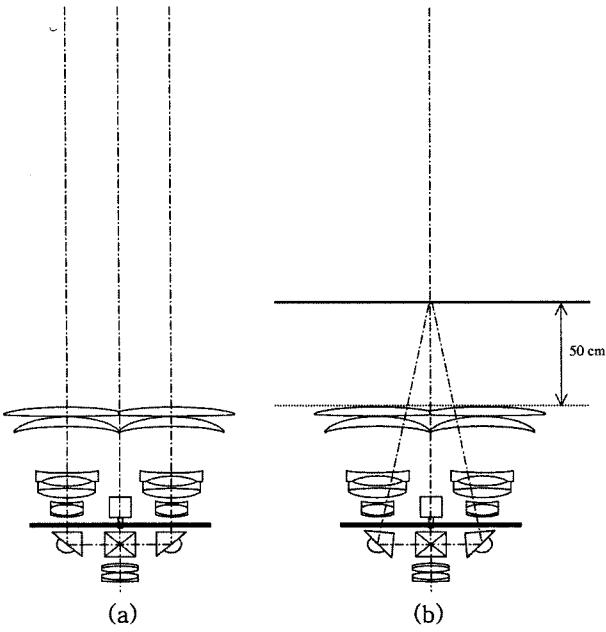


그림 11. 주시각 조절에 관한 그림. (a) 무한대, (b) 50 cm.

표식을 하고, 표식에 해당하는 위치에 포토센서를 설치하여 표식이 센서 부분에 왔을 때 빛을 보내는 부분에서 보낸 빛을 센서에서 받을 수 있도록 하여 회전을 감지한다. 포토센서로부터 감지한 좌우 영상 선택 신호와 카메라의 frame rate 신호를 마이크로프로세서(microprocessor)에서 비교하여 셔터 회전 모터(motor)의 속도를 frame rate에 맞추어 준다.

주시각 조절부는 하나의 주시각 제어 모터를 두 주시각 제어 프리즘 사이에 놓아서 두개의 주시각 제어 프리즘을 하나의 모터에 연동시키므로써 좌우 대칭으로 회전을 할 수 있게 설계하였다. 주시각 제어 프리즘을 회전시켰을 때, 좌우 상의 중심은 일치하지만 좌우에서 보는 시역(viewing zone)은 다르게 된다. 그림 9와 같이 물체 거리(L)를 무한대(그림 11의 (a))에서 50 cm(그림 11의 (b))로 선택함으로써 식 (1)에 따라 주시각 조절 범위가 좌우 각각 0도에서 4도까지이므로 그림 주시각 프리즘 회전 범위는 각각 0도에서 2도까지로 설계하였다.

광학계 설계에서 스톱 위치에 오는 조리개는 좌우 동시에 같은 광량의 빛을 받아 들여야 하기 때문에 좌우를 동시에 동일량만큼 열고 닫을 수 있도록 하나의 모터에 연결하여 설계하였다.

#### IV. 3차원 동영상 카메라의 제작

좌우 줌렌즈부의 광학계 부분은 3.1절에서 설명한 설계대로 제작하였다. 첫번째 렌즈는 양안거리에 맞추어 CCD의 가로와 세로 비율인 16:9에 따라 가로 65 mm, 세로 35.5 mm인 직사각형으로 가공하고, 그 외의 렌즈들은 원형 그대로 제작하여 좌우 한쌍의 렌즈를 하나의 렌즈 홀더에 각각 고정

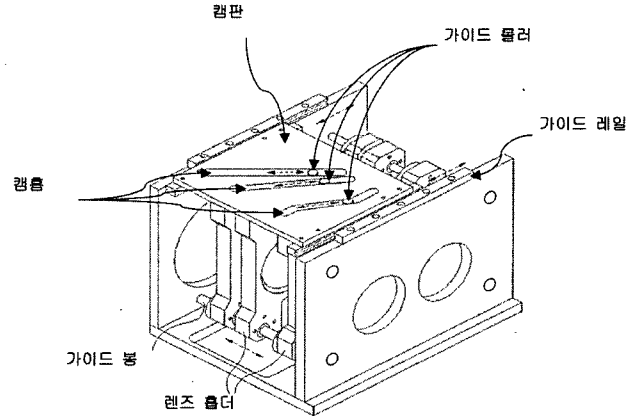


그림 12. 줌렌즈 경통의 구조 및 작동 원리.

하였다. 이들은 박스형 프레임의 안쪽 네모서리에 렌즈 홀더의 가이드봉을 설치하고, 렌즈 홀더의 상부 중심에는 캠홈에 끼울 가이드 롤러(guide roller)를 장착한 후 렌즈 홀더들을 가이드 봉에 일정 간격으로 조립하였다. 그리고 그 상부에 캠홈을 새긴 평판형 캠판을 장착하여 렌즈 홀더의 가이드 롤러들이 각각에 해당하는 캠홈에 끼워지도록 하였다. 줌의 작동 원리는 그림 12에서 보는 바와 같이 캠판을 양단에 설치한 가이드 레일을 따라 좌우로 이동시키면 렌즈 홀더의 가이드 롤러들이 캠홈들을 따라 앞뒤로 수평 이동하는 것이다. 이렇게 제작된 카메라는 양안거리를 65 mm로 정하였기 때문에 자연스런 입체감을 느낄 수 있으며 기존의 카메라에 비하여 양안거리가 짧으므로 접사 촬영이 가능해진다. 이 경우 줌렌즈가 수평 이동하기 때문에 렌즈가 회전하지 않고, 이로 인하여 좌우 줌렌즈의 광축들이 항상 평행하다. 또한 하나의 홀더로 좌우 렌즈들이 동일한 조건상에서 이동함으로써 좌측 상과 우측 상의 배율차가 최소화되고 좌우 동시 줌밍과 포커싱이 가능해진다.

좌우 영상 선택부의 셔터 블레이드는 빛을 차단하는 하나의 얇은 판에 빛을 통과하는 부분인 구멍을 원점대칭으로 세 군데에 뚫고 무게 중심을 회전축으로 선택한다. 그리고 스텝 모터를 이용하여 카메라의 frame rate와 셔터 블레이드의 회전 속도를 동기화시켰다. 주시각 조절부는 주시각 제어 프리즘의 회전 각도가 작기 때문에 기어비가 30:1인 모터에 100:1비를 갖는 기어를 부착하여 총 300:1의 기어비로 미세 조정할 수 있게 하였다. 조리개는 조리개의 모터를 좌우 조리개 사이에 설치하고 모터에 부착된 판과 조리개에 톱니를 만들어서 이들이 서로 맞물려 움직이도록 하였다. 모터에 나사를 연결하여 모터의 회전 운동을 상하 직선 운동으로 바꾸어 주어서 평판이 상하 운동을 하여 조리개를 열고 닫도록 하였다.

좌우 영상 합성부는 직각 프리즘으로 구성된 X-cube 영상 결합기의 영상결합면을 반투과 거울 코팅하여 제작한다. 이때, X-cube 영상결합기로 입사하는 모든 광이 접착제를 한번만 통과하도록 빛의 경로를 고려하여 그림 13과 같이 코팅면(.....로 표시된 면)을 선택하였다. 이 코팅시 투과를 50%로

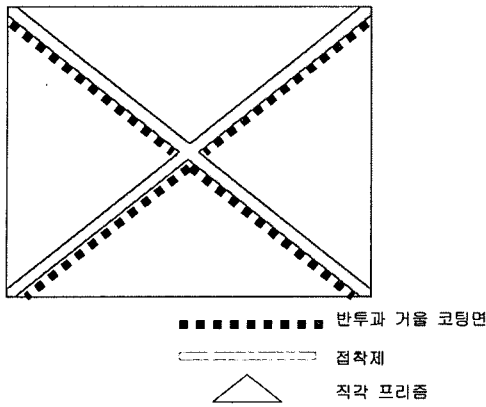


그림 13. 좌우 영상 합성부의 X-cube 영상결합기 코팅면.

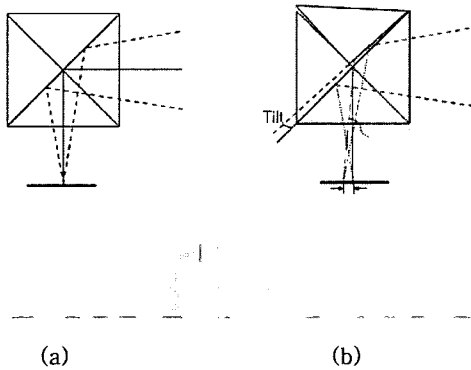


그림 14. X-cube 영상결합기의 정상 접합과 비정상 접합에 인한 상 비교. (a) 정상적으로 접합한 X-cube 영상결합기, (b) 잘못 접합한 X-cube 영상결합기에 대한 예.

설계하였으나 코팅 재료인 알루미늄의 흡수로 인하여 가시광 전영역에서 투과도가 2~3% 감소하였다. 그리고 프리즘을 접합할 때, 하나의 영상결합면이 되는 두 개의 프리즘을 잘못 접착함으로써 인하여 이중상이 발생하기도 한다. 그림 14의 (a)는 정상으로 접합한 X-cube 영상결합기(윗 그림)와 이로 인한 영문자 상(아랫 그림)이고, (b)는 잘못 접합한 X-cube 영상결합기(윗 그림)와 이로 인한 영문자 이중상(아랫 그림)이다.

본 카메라에서 사용한 초점 조절, 줌 조절, 조리개 조절, 주

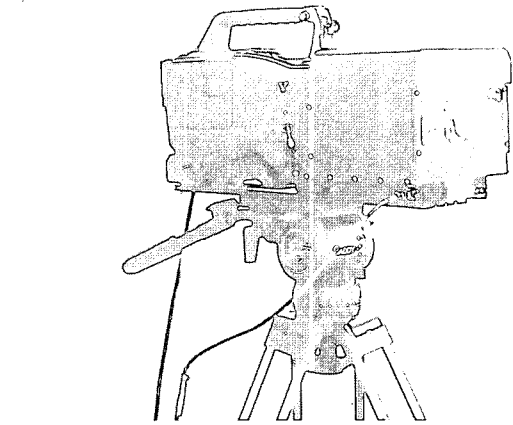
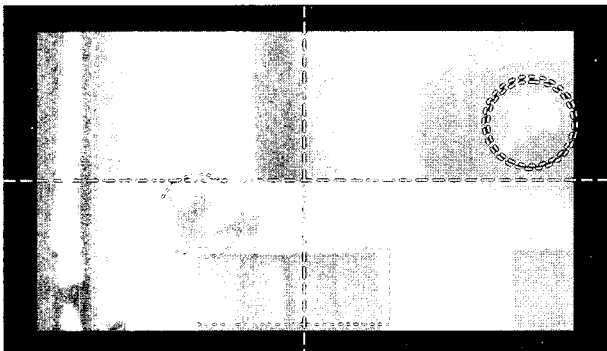


그림 15. 제작한 교차식 입체 동영상 카메라의 조립된 외관.

시각 조절, 셔터 블레이드 속도 조절용 모터들을 제어할 수 있는 회로를 구성하여 박스형 프레임 하단에 설치하였다. 그리고 결상렌즈부의 끝단에는 카메라와 연결할 수 있도록 마운트를 장착하였다.

그림 15는 이렇게 제작한 사람 눈의 작동원리와 같은 단일 CCD와 두개의 줌렌즈를 사용한 3차원 동영상 카메라의 조립된 외관을 보여주는 사진이다.

### V. 3차원 동영상 카메라의 실험 결과 및 토의

그림 16는 제작한 3차원 동영상 카메라로 촬영한 (a) 좌측상과 (b) 우측상이다. 이 사진은 카메라 가까운 곳에 나무가 있고 뒤에 건물이 있는 상으로 건물에 맞추어 촬영하였다. (a)와 (b)에서 보는 바와 같이 좌우 상의 중심은 +의 중심인데 이들 중심들은 서로 일치함을 알 수 있다. 그러나 그림 16 (a)의 오른쪽 상단부 ⊙ 표시부분의 나뭇잎에 살짝 가린 '제'자가 (b)에서는 시역이 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하면서 카메라에 가까이 위치한 나뭇잎은 그대로 보이나 '제'자는 나뭇잎에 완전히 가려 보이지 않는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 ○ 표시 부분과 □ 표시 부분을 비교하여 보아도 좌우의 시역이 다르다는 것을 알 수 있다. 이는 주시각을 바꿀 수 있는 교차식 카메라의 특징이다. 이에 반하여 평행식 카

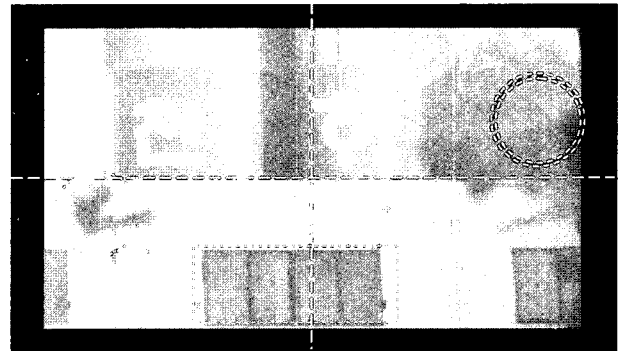


그림 16. 제작한 교차식 입체 동영상 카메라로 촬영한 (a) 좌측상과 (b) 우측상.

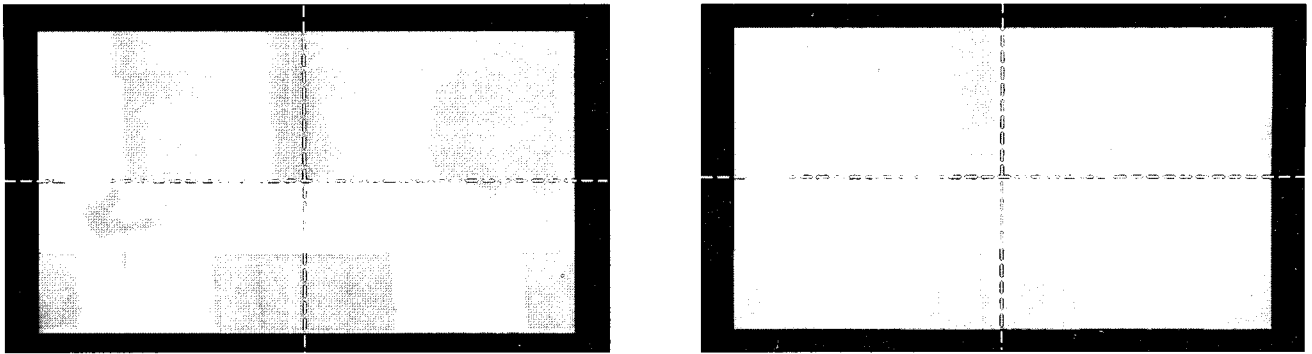


그림 17. 그림 15와 비교하기 위하여 촬영한 평행식 카메라의 (a) 좌측 상과 (b) 우측 상.

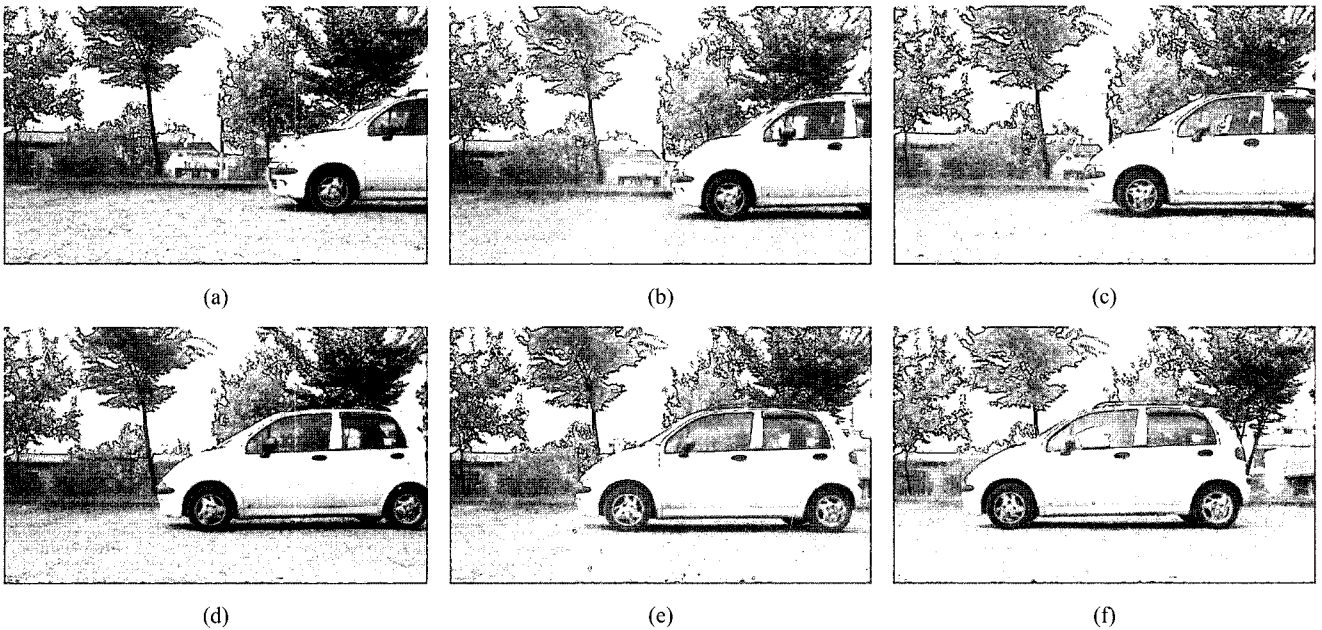


그림 18. 약 60 km/h로 지나가는 자동차를 제작한 카메라로 3차원 동영상으로 촬영한 결과. (a), (c), (e)는 좌측 상이고 (b), (d), (f)는 우측 상으로 좌우측 상이 교대로 촬영.

메라의 상은 그림 17에서 보는 바와 같이 (a) 좌측 상의 중심점과 (b) 우측 상의 중심점이 일치하지 않는 것을 알 수 있다. 그러므로 사람 눈의 가장 근접한 입체 영상을 교차식 카메라가 실현함을 알 수 있었다.

그림 18은 본 카메라로 3차원 동영상을 촬영한 결과이다. 그림 18의 (a)에서 (f)까지의 사진은 약 60 km/h로 지나가는 자동차를 본 카메라로 1/60초 간격으로 촬영한 것을 보여준다. (a), (c), (e)는 좌측 상이고 (b), (d), (f)는 우측 상으로 좌우측 상이 교대로 촬영됨을 알 수 있다. 그러므로 좌측 상끼리의 시간차는 1/30초이고 우측 상의 시간차도 역시 1/30초이므로 이를 재생하여 볼 때 좌측과 우측 눈에 1/30초 간격으로 각 눈에 해당하는 영상을 볼 수 있으며, 눈의 잔상효과에 의하여 이들에 의한 3차원 동영상이 재현된다.

## VI. 결 론

인간 양안의 작동원리와 뇌의 영상 합성과정을 기초로 하여 두 개의 줌 렌즈와 하나의 CCD를 사용한 교차식 입체 동영상 카메라를 설계하고 제작하였다. 특히 본 카메라에서는 하나의 카메라를 사용함으로써 렌즈의 양안거리를 인간의 양안인 65 mm와 같게 하여 생생하고 편안한 입체감을 실현하였다. 이 카메라의 전체 광학계는 하나로 설계하였기 때문에 수차 보정이 우수하다. 그리고 좌우 줌렌즈를 하나의 기구로 수평이동 시킴으로써 광축에 대한 회전오차가 없도록 하였으며, 이로 인하여 좌우 배울차와 초점차 등이 최소화되었다. 특히 좌측상과 우측상을 셔터 블레이드로 촬영함으로써 광량의 손실이 거의 없다는 장점이 있다. 또한 주시각 제어는 좌우 대칭적으로 함으로써 좌우 상의 수평이동이 안정적이고, 이 주시각을 0도에서 16도까지 가변이 가능하도록 하였기 때문에 무한대 거리에서 약 50 cm 앞까지의 깊이 있



는 입체감을 느낄 수 있었다. 하나의 카메라를 사용함으로써 렌즈의 양안거리를 실현하였고, 입체상을 얻을 때에 좌측상을 얻는 광경로와 우측상을 얻는 광경로를 광학적으로 같게 함으로써 근접한 물체를 촬영할 때에도 광로의 차이로 인한 상의 변화가 없도록 하여 촬영시 입체감을 더욱 높였다. 또한 기존의 입체식 카메라들과는 다르게 50도의 넓은 시야각을 갖는 이 카메라는 1초당 60 frame을 촬영할 수 있는 CCD를 사용하여 좌측 상과 우측 상을 교대 촬영함으로써 입체 동영상을 촬영할 수 있다. 이러한 사실적인 영상의 전달이 가능한 교차식 입체 동영상은 여러 가지 자료들의 기록, 보존, 전시, 그리고 교육과 엔터테인먼트 등에 널리 사용할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] 한운영, "3차원 입체 영상(3dimension stereoscopic)의 제작방법에 관한 연구", 홍익대학교 광고홍보대학원 석사학위 논문, 2001.
- [2] 감기택, 이주환, "동공간 거리가 입체시 지각에 미치는 영향", 한국인지과학회, 제14권, 3호, pp. 37-49, 2003.
- [3] 홍경희, "비디오, 입체영상녹화를 위한 광학계 설계", 한국광학회지, 제13권, 6호, pp. 506-509, 2002.
- [4] NHK 방송기술 연구소(공역; 김은수, 이승현), "3차원 영상의 기초"(기다리, 서울, 2000).
- [5] Woontack Woo, "Stereo Imaging Using a Camera with Stereoscopic Adapter", IEEE International Conference on Systems, Man, And Cybernetics, 제2권, pp.1512-1517, 2000.
- [6] 이연우, "고화질 입체 줌 카메라 개발과 동향조사", 방송공학회지, 제6권, 2호, pp. 102-110, 2001.
- [7] Ellis I. Betensky, "ZOOM LENS" U.S. Patent 4466708, 1984.

## Stereoscopic Camera with a CCD and Two Zoom Lenses

Sang-eun Lee and Jae Heung Jo<sup>†</sup>

*Dept. of Physics, Hannam University, Taejon 306-791, Korea*

<sup>†</sup>*E-mail: jhjo@hannam.ac.kr*

Eui Min Jung and Kag-Hyeon Lee

*Pan Opto Mecha Tronix, Taejon 306-020, Korea*

(Received December 19, 2005, Revised manuscript February 13, 2005)

The stereoscopic camera based on the image formation principle on human eyes and the brain is designed and fabricated by using a CCD and two zoom lenses. As two zoom lenses are separated as 65 mm of the human ocular distance with the wide angle of view of 50° and the variable convergence angle from 0° to 16°, the camera can be operated by the similar binocular parallax as human eyes. In order to take the dynamic stereoscopic picture, a shutter blade for the selection of the left and right images in turns, an X-cube image combiner for the composition of these two images through the blade, and a CCD with 60 frames per second are used.

OCIS Codes : 330.1400. 120.4570. 220.0220. 200.3620.