

논문-05-10-1-07

## 양안 줌 렌즈 모듈을 이용한 입체영상 획득 장치 구현

이행수<sup>a)\*</sup>, 권기철<sup>a)</sup>, 김정희<sup>a)</sup>, 김남<sup>a)</sup>

### Implementation of Stereo Image Acquisition System using the Stereo Zoom Lens Module

Haeng-Su Lee<sup>a)\*</sup>, Ki-Chul Kwon<sup>a)</sup>, Jung-Hoi Kim<sup>a)</sup> and Nam Kim<sup>a)</sup>

#### 요 약

양안 입체영상 카메라의 줌 기능을 사용한 입체영상 획득에서 발생하는 물체크기의 불일치와 줌렌즈 제어 시스템의 어려움을 극복하기 위해 양안 줌 렌즈 모듈을 이용한 새로운 방식의 입체영상 획득장치를 제안하였다. 이는 좌, 우 줌 렌즈를 분리하지 않고 하나의 줌 모듈로 통합한 방식으로써 회전식 레버를 통하여 줌 기능이 가능하도록 설계하였다. 제안된 시스템의 구조적 특성분석과 실험을 통하여 줌 기능 사용시 발생하는 두 영상에서의 물체의 크기 차이가 없음을 확인하고, 거리에 따른 영상을 획득 후, 주시각 제어가 잘 이루어질 뿐만 아니라 왜곡이 발생하지 않음을 확인하였다.

#### Abstract

We propose a new type of stereoscopic camera system with a zoom lens module to overcome the backlash for the stability of picture matching and the difficulty of zoom control. This system is designed to control a pair of zoom lens with a rotation lever. In this paper, we present the structural characteristics of our proposed system, and verify that there are no image mismatching at acquired stereo images and the zoom in · out is easy to control. In our experiments, we achieve good results that a convergence control is very simple and distortion of images is decreased.

Keywords : Stereoscopic camera, zoom lens module, toed-in method, horizontal-moving method.

## I. 서 론

입체영상 시스템은 관측자에게 기존의 일반적인 디스플레이 장치가 제공하는 평면 이미지가 아니라 실감 있는 3차원의 영상을 느낄 수 있도록 표시하는 기술을 말한다. 이러한 입체영상 기술은 크게 입체영상 획득장치와 디스플레이 장치로 구분된다. 입체영상 획득장치는 두 대의 카메라

를 이용한 양안 입체영상 획득방식, 렌즈 어레이와 카메라를 이용한 집적영상방식, 그리고 레이저를 이용한 홀로그래피방식으로 구분된다. 입체영상 디스플레이 장치는 특수 안경의 여부에 따라 안경식과 무안경식, 입체 표시방식에 따라 양안시차 디스플레이방식, 체적형 디스플레이방식, 홀로그래피방식으로 나눌 수 있다<sup>[1]</sup>. 입체영상 디스플레이 방식에 있어서 편광 안경식은 안경을 써야 하는 불편함이 있는 반면, 다른 디스플레이 장치에 비해 해상도가 높고 어지럼증이 적은 장점으로 인하여 원격진료/진단/시술 등의 의료분야, 시뮬레이터에 의한 교육훈련 분야, 가상현실 게임 등 많은 분야에서 응용 가능하다<sup>[2-4]</sup>. 이 방식에서 양질의 영상

a) 충북대학교

Chungbuk National University

\* 본 연구는 정보통신부 대학 IT연구센터 육성, 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.

을 얻기 위해서는 입체영상 디스플레이 장치 보다 두 대의 카메라를 이용한 양안 입체영상 획득 장치가 보다 중요하다.

대부분 입체영상 카메라 시스템은 좌·우 영상의 양안시차를 이용하여 인간이 좌, 우 눈으로 보는 것과 같은 기능을 갖게 하기 위해 두 대의 카메라를 사용하여 영상을 획득한다<sup>[5]</sup>. 자연스럽게 선명한 영상을 획득하기 위해서는 양안 카메라에 있어서 두 카메라를 동일화하기 위한 보정(calibration)작업이 무엇보다 중요하다. 양안 입체영상 카메라는 줌(zoom) 렌즈, 광축, 초점, 조리개 등 많은 오차를 포함하고 있기 때문에 두 카메라의 보정 없이는 원하는 영상을 획득할 수 없다. 이러한 문제점은 양안 입체영상 카메라를 사용하는데 많은 제약이 따르고, 광축의 어긋남은 수직 시차를 발생시켜 눈의 피로도를 증가하는 요인으로 작용하고 있다. 또한 줌의 정도에 따라 초점이 달라지고, 좌, 우 이미지 사이즈의 미세한 변화로 인하여 실질적인 양안 입체영상 카메라의 줌 렌즈 사용은 많은 어려움이 있다<sup>[6]</sup>. 그러나 아직 입체영상 카메라분야에서 줌에 대한 연구가 미흡한 상태이다.

양안 입체영상 카메라는 두 대의 영상센서의 배열에 따라 크게 평행방식(parallel), 교차방식(toed-in), 그리고 수평이동방식(horizontal-moving)으로 나눌 수 있다<sup>[7-9][13]</sup>. 평행방식은 가장 단순한 형태로 카메라 사이의 간격이 일정하게 고정되어 있어 관측하고자 하는 물체의 이동에 따른 양

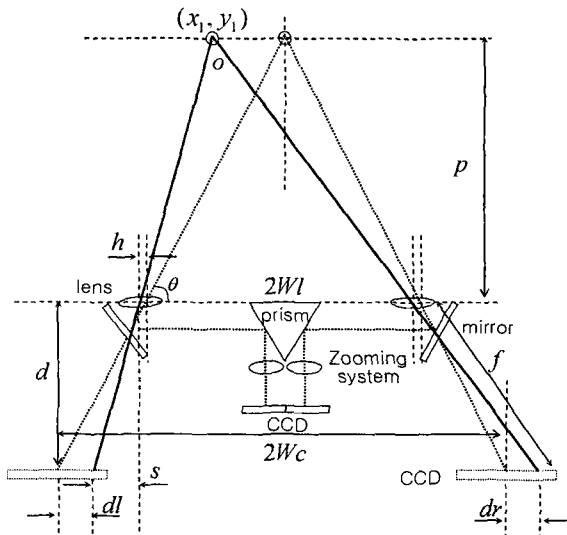
안시차를 조절하는 주시각 제어 기능이 없다. 수평이동방식과 교차방식은 카메라 또는 렌즈를 움직임으로써 주시각 제어를 할 수 있는 방식이다. 수평이동방식은 교차방식에 비해 기구적 구조가 복잡하지만 획득되는 입체영상에 대한 왜곡이 적고, 주시각과 초점간의 선형관계를 가지고 있어 입체영상 카메라의 사용에 유리한 장점이 있으나, 줌 사용이 어렵다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 줌 제어를 보다 쉽게 제어할 수 있는 새로운 입체영상 획득 장치를 제안하고, 실험을 통해 검증하였다. 2 장에서는 입체영상 획득장치에 대하여 기술하였으며, 3 장에서는 본 연구에 대한 실험 방법 및 결과에 대하여 설명하였다. 마지막으로 본 연구에 대한 결론 및 연구방향에 대해 4 장에서 기술하였다.

## II. 입체영상 획득 장치

### 1. 입체영상 획득 장치의 기하학적 구조

본 논문에서 제안한 시스템은 하나의 줌 모듈을 사용하여 줌을 자유롭게 조절 할 수 있는 입체영상 카메라 시스템으로써, 기하학적 구조는 그림 1과 같다. 이 방식의 영상 획득에 있어서 피사체 위의 점  $(x_1, y_1)$ 은 CCD 센서에



Parameters

$o$	물체
$p$	물체까지의 거리
$f$	렌즈의 초점거리
$d$	렌즈와 카메라의 수직거리
$s$	렌즈와 이미지면의 수평거리
$h$	렌즈의 수평 이동량
$Wl, Wc$	렌즈, 카메라 간의 거리
$dl, dr$	좌·우측 시차

그림 1. 하이브리드 입체영상 획득 시스템의 기하학적 구조  
Fig. 1. Geometric structure of the hybrid stereo image acquisition system

맞히게 되고, 이들 점과 CCD 센서의 중심까지 거리  $dl$ 과  $dr$ 은 그림 1에서 비례삼각법을 이용하여 나타낼 수 있다. 그림에서  $d$ 와  $s$ 는 식 (1)과 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$d = f \cos \theta \tag{1}$$

$$s = \frac{f \cos \theta (Wl + x_1 + h)}{p} \tag{2}$$

따라서,  $dl$ 과  $dr$ 은

$$dl = Wc - (Wl + h) - \frac{f \cos \theta (Wl + x_1 + h)}{p} \tag{3}$$

$$dr = Wc - (Wr + h) - \frac{f \cos \theta (Wr + x_1 + h)}{p} \tag{4}$$

로 표현할 수 있다.

여기서  $h$ 를 조절함으로써 입체 카메라의 주시각 거리를 제어할 수 있게 된다. 주시각 거리  $p$ 는 식 (5)와 같이 표현된다.

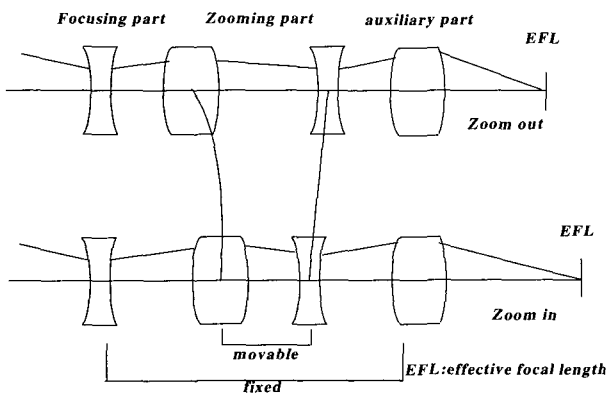
$$p = \frac{Wc - (Wl + h)}{f \cos \theta (Wl + x + h)} \tag{5}$$

앞부분의 두 렌즈는 초점 제어를 위하여 앞, 뒤로 움직일

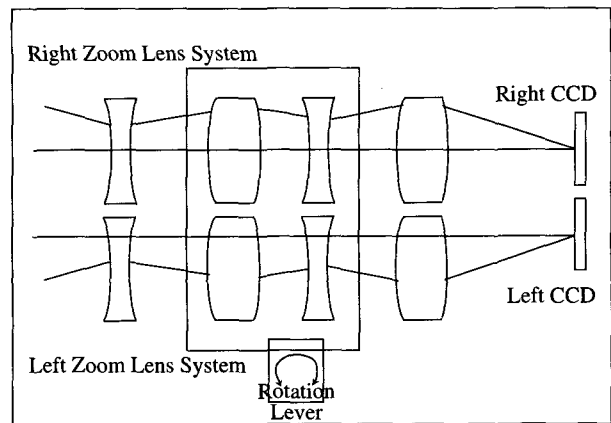
수 있게 설계하였고, 좌, 우의 렌즈와 미러는 입체영상 효과와 수평이동방식을 위해 선형 스테이지를 이용하여 좌, 우로 움직일 수 있도록 설계하였다. 또한 미러는 좌, 우 이동 뿐만 아니라 원형 스테이지를 이용하여 회전할 수 있게 함으로써 교차방식으로 사용할 수 있게 설계하였다. 관심물체의 거리에 따른 주시각 제어를 위해 두 미러와 렌즈가 서로 수평으로 이동하면 앞 단의 렌즈는 앞, 뒤로 움직여 초점을 제어하게 된다. 이는 렌즈와 CCD 모듈이 분리되어 있는 수평이동방식 시스템과 유사하게 해석이 가능하며 위의 수식으로 해석할 수 있다.<sup>[7]</sup>

### 2. 줌 모듈의 구조 및 특성

제안한 시스템의 줌 모듈은 4군 줌 렌즈로 구성되어 있으며 렌즈 하나의 내부 구성도는 그림 2(a)와 같다. 집속렌즈 부분은 줌 시스템 외부에 있는 렌즈와 함께 화상의 초점을 형성하는데 사용되는 렌즈로써 물체의 거리에 따라 초점을 맞추는데 사용된다. 주밍 부분은 주밍을 위하여 사용되고 회전식 레버에 의해 앞, 뒤로 이동하며 줌 기능을 수행한다. 집속렌즈 부분은 전체 광학계의 수차보정, 초점 거리, 그리고 주밍부를 통과하는 동안 발생하는 잉여수차를 보정하는 역할을 수행한다. 이러한 렌즈 시스템은 실체현미경의 줌 렌즈와 바디를 사용함으로써 특별한 조정 없이 사용가능하다. 그림 2(b)는 제안한 시스템에서 사용한 줌 모듈로써 좌, 우 줌 부분을 하나의 회전식 레버로 동작함을



(a) 줌렌즈의 기본 원리



(b) 제안한 시스템에서의 줌 모듈

그림 2. 줌 렌즈 모듈의 구조  
Fig. 2. Structure of a zoom lens module

보여준다. 줌 렌즈 시스템의 단일화로 인한 구조적 특성으로 인하여 두 CCD 카메라는 서로 붙여서 설계하였고, 카메라는 소니사의 XC-555를 사용하였다. 또한 3D 효과와 양안시차를 얻기 위해 하나의 프리즘과 두 개의 미러를 사용하여 설계하였다. 여기서 3D 효과란 좌, 우 렌즈(미러)의 간격을 조절할 수 있게 함으로써 3D 효과를 높이는 것을 말한다.

실험을 위한 입체영상 획득 장치와 전체 시스템 구성도는 그림 3과 그림 4와 같으며, 시스템의 기본 사양은 표 2에 나타내었다. 위에서 언급한 입체영상의 허용오차를 고려하여 줌을 사용하였을 때 두 이미지 크기 간의 차이 및 회전 전에 대한 오차가 있는지 여부와 거리에 따른 이미지를 획득 후 왜곡이 발생하는지 여부를 분석하고 기존의 시스템과 비교·분석 하였다. 양안 입체영상 카메라로부터 획득된 이미지는 영상획득보드와 편광방식 입체영상 모니터에 의해

### III. 실험 및 결과

본 논문에서 제안된 입체영상 카메라를 사용하여 입체영상의 품질을 평가하기 위해 입체영상 획득실험을 수행하였다. 획득된 입체영상의 기본 요구사항은 C. W. Smith<sup>[1)]</sup>에 의해 이미 설정된 바 있으며 그 내용은 표 1과 같다.

표 1. 이미지 매칭을 위한 오차 범위  
Table 1. Tolerance for picture matching

이미지 사이즈(수직, 수평)	< 0.5%
수 직	< 이미지간의 두 픽셀
수 평	< 스크린 너비의 1/200
회 전	< 0.25°

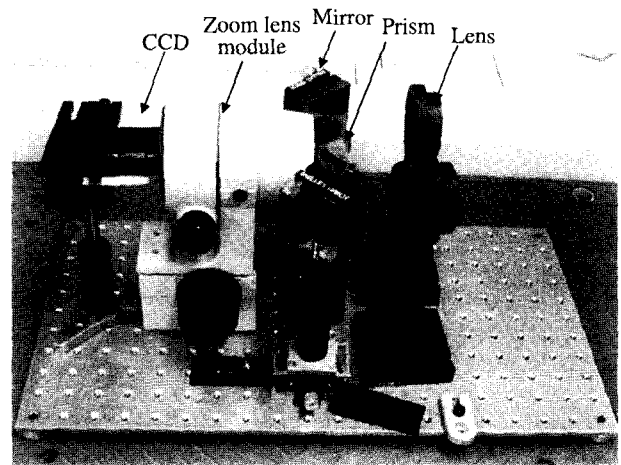


그림 3. 입체영상 획득 장치  
Fig. 3. Stereo image acquisition system

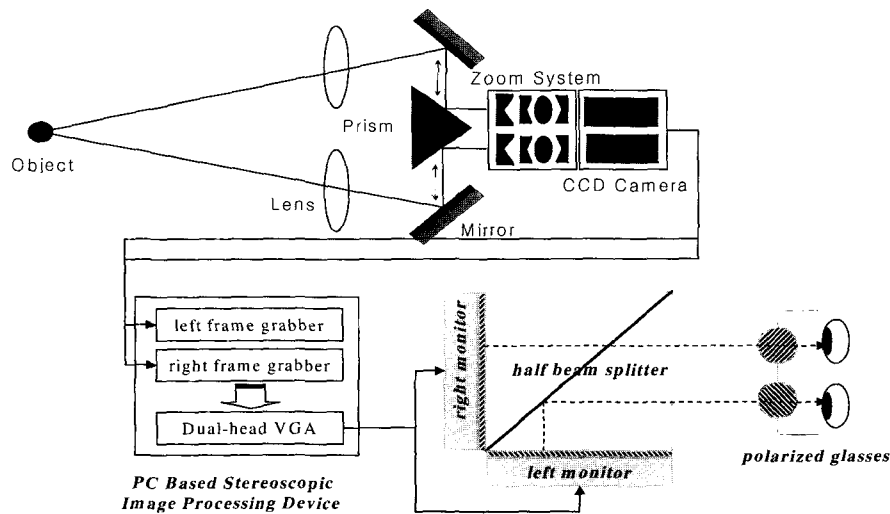


그림 4. 입체영상 획득 시스템과 디스플레이 시스템  
Fig. 4. Stereo image acquisition system and the display system

실시간으로 입체영상을 관측할 수 있도록 설계하였다.

표 2. 입체영상 획득장치의 기본사항

Table 2. Specifications of the stereo image acquisition system

CCD 사이즈	6.4×4.8 mm
CCD 해상도	640×480 pixels
컬러 필터	Complementary Color Mosaic
카메라 사이즈	22(H)×22(W)×75(D) mm
카메라 간격	22 mm
렌즈 간격	120 mm
렌즈 사이즈	2 inch
렌즈의 초점거리	250 mm

### 1. 줌을 사용한 입체영상 획득 및 분석

본 실험에서는 줌을 사용했을 경우 좌, 우 이미지 사이즈의 변화 여부를 분석하기 위하여 줌 아웃(zoom out)과 줌 인(zoom in)의 경우 이미지를 획득하고, 이미지 사이즈를 비교·분석하였다. 이미지 획득을 위해 줌을 1x에서 2.3x까지 확대하며 양안영상을 획득하였다. 그림 5(a)는 좌 영상을 그림 5(b)는 우 영상을 나타낸다. 이미지 사이즈의 변화를 분석하기 위해 좌 영상에는 원을 표시하고, 우 영상에는 사각형을 표시한 후 포토샵을 이용하여 두 영상을 겹쳐 두 이미지 간의 차이가 있는지 여부를 확인하였다. 그림 5(c)는 두 영상이 합성된 그림으로써 줌 사용 시 두 이미지의 사이즈가 변하지 않고 정확히 일치하는 것을 보여준다. 이는 두 개의 줌 렌즈를 각각 조절하는 것이 아니라 하나의

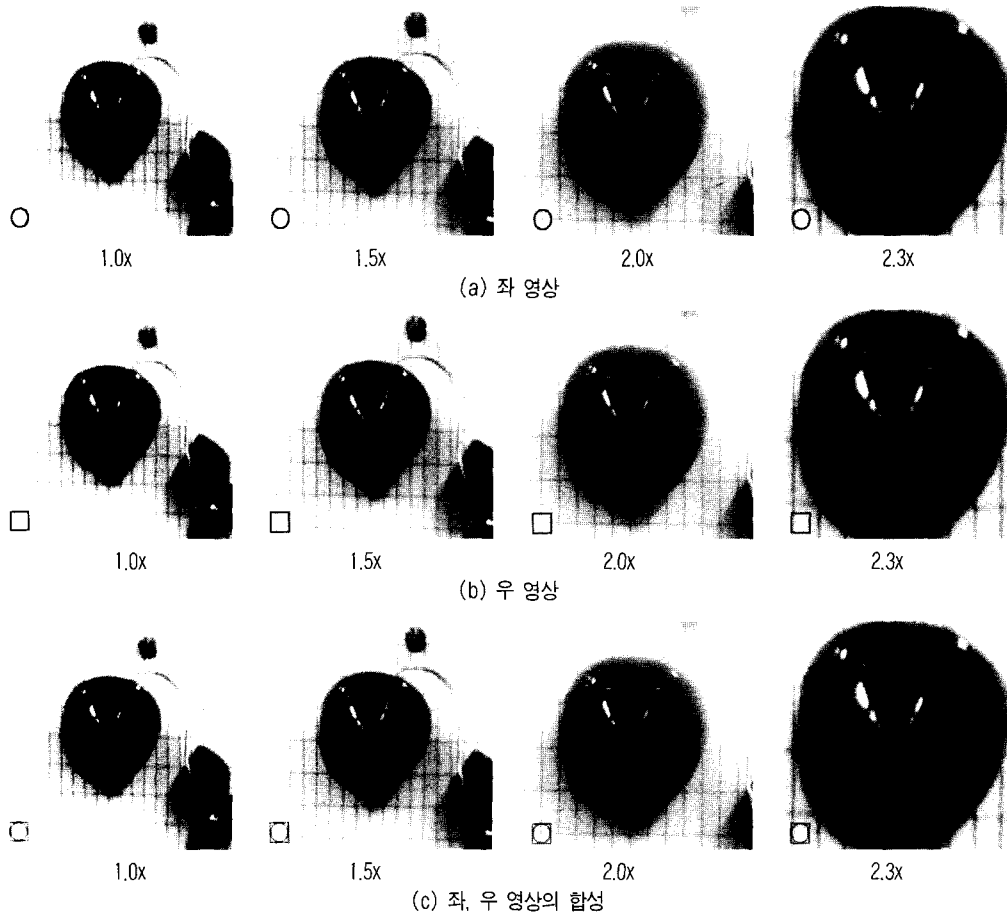


그림 5. 줌 기능을 사용하여 획득한 입체영상

Fig. 5. Acquired stereo images with a zoom lens module

회전식 레버로 줌 모듈을 조절하여 이미지를 획득하기 때문에 줌 렌즈 사용 시 항상 두 이미지의 사이즈가 같음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 줌을 사용했을 경우 두 이미지간의 미세한 크기 차이에 의한 눈의 피로도를 감소시킬 수 있으며, 서보모터와 같은 정확한 제어장치가 필요 없기

때문에 시스템이 간단해지는 장점을 가지고 있다.

## 2. 거리에 따른 영상 획득 및 분석

그림 6(a)는 물체의 거리에 따라 획득된 입체영상이며

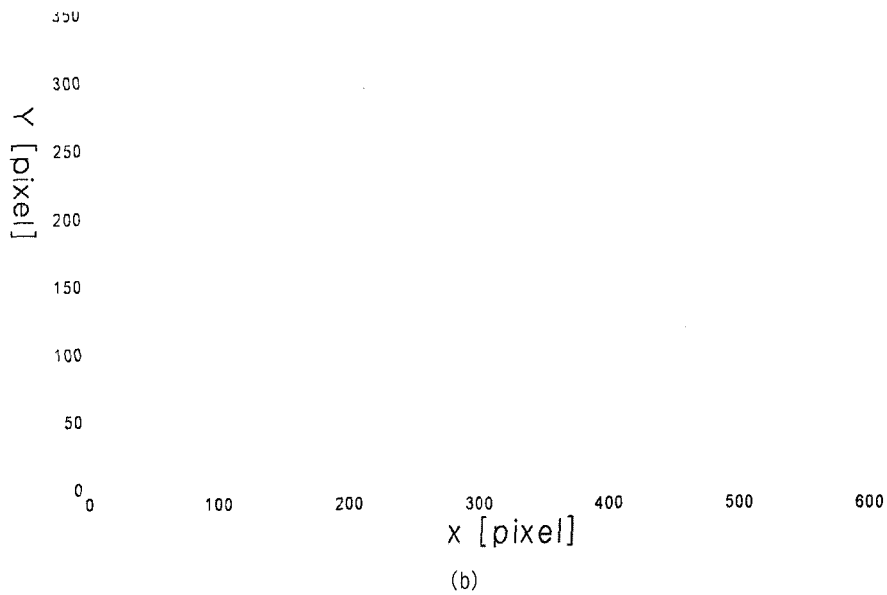
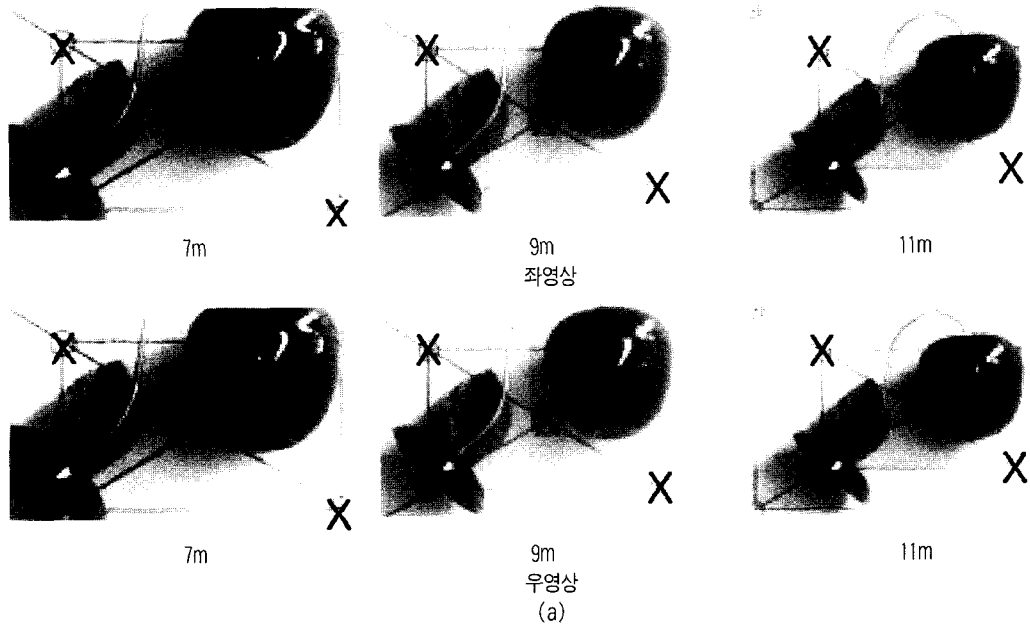


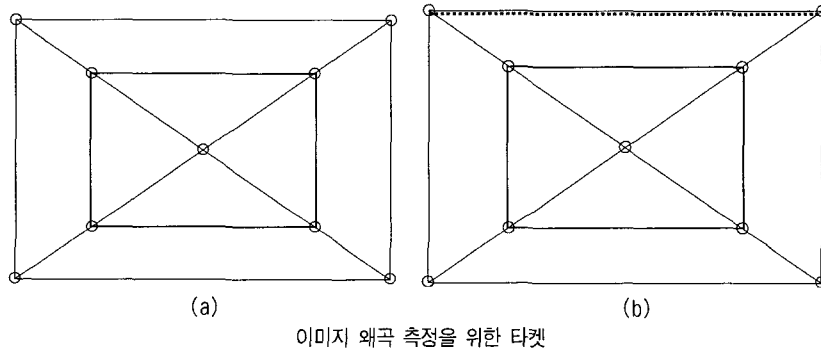
그림 6. 물체 거리에 따라 획득한 입체영상  
Fig. 6. Acquired stereo images according to the object distance

이미지 사이즈는 640×480이다. 물체와의 거리는 7m에서 11m까지 2m씩 변화하면서 입체영상을 획득하였다. 거리에 따른 주시각 제어를 위해 상대적으로 왜곡이 적게 발생하는 수평이동방식을 사용하기 위해 미러를 수평방향으로 이동하며 이미지를 획득하였다. 그림 6(b)는 획득된 좌, 우영상의 대각선 좌표가 일치하는 것으로써 회전이나 미세한 높이 차이가 없이 주시각 제어가 잘 이루어지는 것을 보여준다.

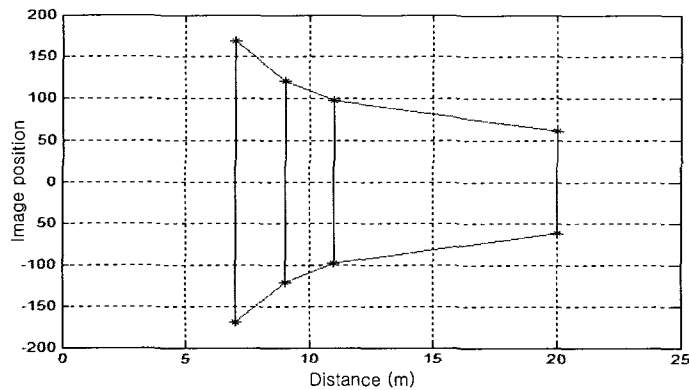
그림 7은 물체의 거리와 이미지의 왜곡을 실험적으로 분석한 그래프이다. 이미지 왜곡 실험을 위한 타겟은 그림 7(a)와 같으며, 이미지의 왜곡 발생 여부는 그림 7(b)와 같이 획득된 영상에 임의의 직선을 그은 후 획득된 영상의 직선이 어느 정도 휘는가를 분석하여 나타내었다. 그림 7(c)에서 y축은 타겟의 x축에 해당하는 부분으로써 왜곡이 발생하는 부분에 대해서는 직선이 아닌 곡선으로 나타내게 된다. 획득된 영상은 타겟을 7m에서 20m까지 이동하면서

영상을 획득하였다. 실험결과는 그림 7(c)와 같이 직선이 같은 거리에 있음을 확인함으로써 왜곡이 발생하지 않음을 알 수 있다. 양안 입체영상 카메라 시스템에 있어서 수평이동방식 시스템이 교차방식에 비해 왜곡이 적게 존재 한다는 것은 Andrew Woods<sup>[11]</sup>에 의해 증명되었다. 본 실험에서는 실험을 통한 검증을 실시하여 실질적으로 왜곡이 존재하지 않는 것을 확인하였다.

지금까지의 실험결과를 바탕으로 기존의 시스템과 비교하여 표 3에 나타내었다. 먼저 국내에서 KBS와 (주)후후<sup>[12]</sup>에 의해 공동 개발된 시스템은 휴먼 팩터를 고려하여 우리 눈으로 편안하게 볼 수 있는 입체영상을 용이하게 획득할 목적으로 2002년에 개발된 시스템이다. 주요기능으로는 수평이동방식을 사용하고, 줌 기능과 3D 효과 기능이 가능하다는 것이다. 수평이동방식의 경우 렌즈와 CCD 센서가 분리된 복잡한 구조로 주시각을 조절하지만, 왜곡이 적고, 소형화 및 제어가 단순해지는 장점이 있는 반면, 줌 제어를



이미지 왜곡 측정을 위한 타겟



(c) 물체 거리와 이미지의 왜곡

그림 7. 입체영상의 왜곡 분석  
Fig. 7. Distortion analysis of the stereo images

표 3. 기존의 시스템과의 비교 분석

Table 3. Comparison and analysis between the traditional systems and the proposed system

특 성	KBS, 후후(Korea)	P. M. Scheiwiller 외(UK)	제안한 시스템
방 식	수평이동방식	평행방식	하이브리드 방식
줌 사용여부	가능(개별 조절)	가능(통합 조절)	가능(통합 조절)
3D 효과	가능	불가능	가능
줌 사용의 난이도	어려움	쉬움	쉬움
줌 시스템의 복잡성	복잡	복잡	단순

위해 마이크로 컨트롤러를 사용하여 시스템이 복잡해지며, 초점과 줌의 비선형적인 특징으로 인해 줌 사용이 어렵다는 단점을 가지고 있다.

다음으로는 영국의 P.M Scheiwiller<sup>[6]</sup>에 의해 제안된 시스템으로써 양안 입체영상 카메라에서 줌 사용 시 이미지 크기의 불일치를 극복하기 위하여 줌을 하나로 통합한 시스템이다. 주요 기능으로는 평행방식을 사용하고 초점과 줌의 비선형적인 특성을 해결하기 위해 이들의 상관관계를 분석 후 데이터로 저장하여 처리하였다. 이러한 시스템은 줌 사용에 있어서 선처리 과정이 필요하며 하드웨어적으로 복잡하다는 단점과 렌즈와 카메라가 고정된 시스템이기 때문에 3D 효과가 없는 단점을 가지고 있다. 마지막으로, 본 논문에서 제안한 시스템은 양안 줌 렌즈 모듈을 사용하며 하드웨어적인 제어가 아니라 간단한 회전식 레버로 줌을 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 줌 제어 기능은 줌을 각각 조절할 경우 발생하는 이미지의 미세한 차이를 최소화하고, 줌 제어가 간편하며 왜곡이 적은 장점을 가지고 있다. 이러한 양안 입체영상 카메라의 비교·분석을 통하여 입체영상의 왜곡, 초점, 그리고 주시각의 동시제어가 가능할 뿐만 아니라 줌 제어 기능을 단순화 할 수 있는 제안된 시스템의 성능이 우수함을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 입체영상 획득 시스템에 있어서 줌 기능을 개선할 것을 목적으로 새로운 입체영상 획득 시스템을 제안하고, 줌 기능 사용 시 발생하는 이미지 사이즈의 미세한 차이와 획득된 영상의 왜곡에 대하여 분석하였다.

시스템은 하나의 프리즘과 두 개의 미러를 이용하여 설계하였고, 줌 기능을 개선하기 위해 양안 줌 모듈을 사용하

여 줌을 각각 조절하는 것이 아니라 하나의 회전식 레버를 통하여 조절 가능 하도록 설계하였다. 실험적 분석을 위하여 줌 인·아웃의 경우 좌, 우 이미지를 획득하였고, 주시각 제어여부를 확인하기 위하여 수평이동방식을 사용하였다. 실험결과, 줌 인·아웃 시 획득된 두 이미지간의 사이스가 변하지 않는 것과 주시각 제어가 잘 이루어지며, 거리에 따른 왜곡이 존재하지 않는 것을 확인하였다. 향후 제안된 시스템의 제작과 CCD 센서에서 각각의 센서 특성에 따른 센서의 불일치 문제에 대한 대책 및 보정 기법에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김은수, "3차원 입체 디스플레이 기술의 국내외 연구개발 동향 및 향후 발전방향," 한국 정보 디스플레이 학회지, vol. 5, no. 2, pp. 3-33, 2004.
- [2] I. P. Howard, and B. J. Rogers, "Oxford Psychology Serise No.29, Binocular vision and stereopsis," Oxford University press, 1995.
- [3] 손정영, 천유식, "3차원 영상기술 현황 및 전망," 광학과 기술, vol. 5, no. 2, 2001.
- [4] A. Dumbreck, C. Smith, and S. Murphy, "The development and evaluation of a stereoscopic television system for remote handling," Image Technology Journal of BKSTS, pp. 8-12, 1990.
- [5] D. J. Montgomery, C. K. Jones, James N. Stewart, and Alan Smith, "Stereoscopic camera design," Proceeding of SPIE, vol. 4660, pp. 26-37, 2002.
- [6] P. M. Scheiwiller, S. P. Murphy, and A. A. Dumbreck, "A compact zoom lens for stereoscopic television," SPIE Conference on Electronic Imaging, vol. 1457, 1991.
- [7] K. C. Kwon, J. K. Choi, and N. Kim, "Automatic control of horizontal-moving stereoscopic camera by disparity compensation," Journal of OSK, vol. 6, no. 4, pp. 150-155, 2002.
- [8] A. A. Durbreck and C. W. Smith, "The development and evaluation of a stereoscopic television system for use in unclear environment," Int. Workshop on Nuclear Robotics Tech. and Appl.



- Presence and Feature, 1987.
- [9] S. Y. Park, Y. B. Lee, and S. I. Chien, "Linear relation for vergence control of parallel stereo camera," IEE Electronics Letters, vol. 34, no. 3, pp. 254-256, 1998.
- [10] C. W. Smith, and A. A. Dumbreck, "3DTV: The practical requirement," Television, Journal of Royal Television Society, vol. 25, pp. 9-15, 1988.
- [11] A. Woods, T. Docherty, and R. Kock, "Image distortions in stereoscopic video systems," Proceedings of the SPIE, vol. 1915, pp. 36-48, 1993.
- [12] J. Lee, S. Nam, J. Lee, C. Park, Y. Joo, D. A. Petrov, Y. Kim, and Y. Lee, "Development of a reliable and practical HD stereoscopic camera system," Proceedings of SPIE, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI, vol. 5291, pp. 188-195, 2004.
- [13] 권기철, 김남, "시차정보를 이용한 수평이동방식 입체영상 카메라의 주시각 제어", 한국광학회, vol. 15, no. 2, pp. 123-129, 2004.

---

## 저 자 소 개

---



### 이 행 수

- 2003년 2월 : 순천대학교 공과대학 전자공학과(학사)
- 2003년 9월~현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 정보통신공학과 석사과정
- 주관심분야: : 스테레오 카메라 및 디스플레이, 3D 홀로그램



### 권 기 철

- 2000년 2월 : 충남대학교 공과대학 전자공학과(석사)
- 1998년~2001년 : (연)한국원자력 연구생
- 2005년 2월 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 정보통신공학과(박사)
- 주관심분야: : 스테레오 카메라 및 디스플레이, 영상처리



### 김 정 회

- 1997년 2월 : 순천대학교 공과대학 전자공학과(학사)
- 1999년 2월 : 충북대학교 전기전자컴퓨터 공학부 정보통신공학과(석사)
- 2005년 2월 : 충북대학교 본대학원 정보통신공학과(박사)
- 주관심분야: : 광신호처리, 광학설계, 광보안 시스템



### 김 남

- 1981년 2월 : 연세대학교 공과대학 전자공학과(학사)
- 1983년 2월 : 연세대학교 본대학원 전자공학과(석사)
- 1988년 8월 : 연세대학교 본대학원 전자공학과(박사)
- 1992년~1993년 : 미 Stanford 대학교 방문교수
- 2000년~2001년 : 미국 Caltech 방문교수
- 1989년~현재 : 충북대학교 정보통신공학과 교수
- 주관심분야: : 광통신, 광정보처리, 광보안 시스템, 입체영상