

논문 2009-46SC-2-10

# 일정간격의 두 능동마커를 이용한 저가형 단안 PSD 모션캡처 시스템 개발

(Development of a Low-cost Monocular PSD Motion Capture System  
with Two Active Markers at Fixed Distance)

서 평 원\*, 김 유 건\*, 한 창 호\*\*, 유 영 기\*\*\*, 오 춘 석\*\*\*\*

(Pyeong-Won Seo, Yu-Geon Kim, Chang-Ho Han, Young-Kee Ryu, Choonsuk Oh)

## 요 약

본 논문에서는 가정용 게임에 적용 가능한 저가이면서 컴팩트한 모션캡처 시스템을 목표로 하고 있다. 현재 영화나 게임에 이용되는 모션캡처 시스템은 장비가 크고 상당히 고가이기 때문에 간단한 가정용 게임에는 적용하기 어렵다. 요즘 흔히 사용되는 USB CCD카메라를 이용한 모션캡처 게임은 속도가 느리고 2차원 인식만 하는 단점을 가지고 있다. 하지만 최근 연구에서 저가이면서 속도가 빠른 PSD센서를 이용하여 3차원 측정이 가능한 시스템을 구현할 수 있게 되었다. 2차원 측정이 가능한 PSD센서를 이용한 3차원 모션캡처 시스템에는 2개 이상의 PSD를 사용하는 스테레오 비전 기반의 PSD 모션캡처 시스템과 빛의 세기와 거리와의 관계를 이용하여 하나의 PSD만으로도 3차원 측정이 가능한 광량보정 기반의 단일 PSD 모션캡처 시스템 등이 소개되었다. 하지만 현재 개발된 두 시스템을 가정용 게임에 적용하기에는 다음과 같은 문제가 있다. 두 개 이상의 PSD 센서를 사용해야 하기 때문에 고가이고 복잡하다. 광량보정 기반의 단일 PSD 모션캡처 시스템의 경우에는 측정된 마커의 광량을 이용하여 거리를 계산하기 하기 때문에 거리측정을 위해 전방향으로 균일한 광량을 가지는 마커를 만들어야 하므로 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결한 새로운 접근방법을 소개하고자 한다. 일정한 거리에 떨어져 있는 두 개의 마커가 광학적 특성만 동일하다면 두 마커 사이의 상대적 광량차이를 이용하여 3차원 측정을 할 수 있다는 것이다. 결과적으로 저가이며, 빠르고, 컴팩트하고, 광각이며, 게임에도 적용가능한 단일 PSD 모션 캡처 시스템을 개발했다. 이 개발된 시스템이 애니메이션이나 영화, 게임에도 사용되어질 것으로 기대한다.

## Abstract

In this paper, we propose a low-cost and compact motion capture system which enables to play motion games in PS2(Play Station 2). Recently, motion capture systems which are being used as a part in film producing and making games are too expensive and enormous systems. Now days, motion games using common USB camera are slow and have two-dimension recognition. But PSD sensor has a few good points, such as fast and low-cost. In recently year, 3D motion capture systems using 2D PSD (Position Sensitive Detector) optic sensor for motion capturing have been developed. One is Multi-PSD motion capture system applying stereo vision and another is Single-PSD motion capture system applying optical theory ship. But there are some problems to apply them to motion games. The Multi-PSD is high-cost and complicated because of using two more PSD Camera. It is so difficult to make markers having omni-direction equal intensity in Single-PSD. In this research, we propose a new theory that solves aforementioned problems. It can measure 3D coordination if separated two marker's intensity is equal to. We made a system based on this theory and experimented for performance capability. As a result, we were able to develop a motion capture system which is a single, low-cost, fast, compact, wide-angle and an adaptable motion games. The developed system is expected to be useful in animation, movies and games.

**Keywords :** Motion Capture System, Motion Games, 3D measurement, PSD sensor

\* 학생회원, \*\* 정회원, 선문대학교 전자공학과

(Dept. of Electronic Eng. Sunmoon University)

\*\*\* 정회원, \*\*\*\* 중신회원, 선문대학교 전자정보통신공학부

(Dept. of Infor. & Comm. Sunmoon University)

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 결과임.

접수일자: 2008년11월7일, 수정완료일: 2008년3월13일

### I. 서론

본 논문에서는 가정용 게임에 적용 가능한 저가이면서 컴팩트한 모션캡처 시스템을 목표로 하고 있다. 현재 영화나 게임에 이용되는 모션캡처 시스템은 장비가 크고 상당히 고가이기 때문에 간단한 가정용 게임에는 적용하기 어렵다. 요즘 흔히 사용되는 USB CCD카메라를 이용한 모션캡처 게임<sup>[17]</sup>은 속도가 느리고 2차원인식만 하는 단점을 가지고 있다.

하지만 최근 연구에서 저가이면서 속도가 빠른 PSD(Position Sensitive Detector)센서를 이용하여 3차원 측정이 가능한 시스템을 구현할 수 있게 되었다.<sup>[2]</sup> 2차원 측정이 가능한 PSD센서를 이용한 3차원 모션캡처 시스템에는 2개 이상의 PSD를 사용하는 스테레오 비전 기반의 PSD 모션캡처 시스템(Stereo vision based PSD motion capture system)<sup>[11]</sup>과 빛의 세기와 거리와의 관계를 이용하여 하나의 PSD만으로도 3차원 측정이 가능한 광량보정 기반의 단일 PSD모션캡처 시스템(Intensity calibration based single PSD motion capture system)<sup>[4]</sup> 등이 소개되었다.

하지만 현재 개발된 두 시스템을 가정용 게임에 적용하기에는 다음과 같은 문제가 있다. 스테레오 비전 기반의 PSD 모션캡처 시스템의 경우에는 두 개 이상의 PSD센서를 사용해야 하기 때문에 고가이고 카메라보정(Calibration)작업과 두 카메라의 간격을 유지하기 위한 공간이 필요하다. 광량보정 기반의 단일 PSD 모션캡처 시스템의 경우에는 측정된 마커의 광량을 이용하여 거리를 계산하기 하기 때문에 거리측정을 위해 전방향(全方向)으로 균일한 광량을 가지는 마커를 만들어야 하고 주변광이나 배터리 문제로 인한 마커의 광량이 변화에 대한 캘리브레이션이 매번 필요하다는 문제를 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결한 새로운 접근방법을 소개하고자 한다. 일정한 거리에 떨어져 있는 두 개의 마커가 광학적 특성만 동일하다면 두 마커 사이의 상대적 광량차이를 이용하여 3차원 측정을 할 수 있다는 것이다. 이 방법을 통하여 기존 시스템의 문제점인 두 개 이상의 PSD센서를 사용하고 전방향의 광량특성을 가지는 마커제작의 어려움 그리고 주변 환경에 따른 매번 캘리브레이션 해야 하는 문제점을 해결할 수 있게 되었다.

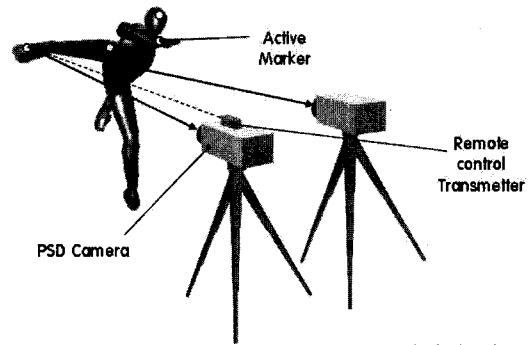


그림 1. 스테레오 비전 기반의 PSD 모션캡처 시스템.  
Fig. 1. Stereo vision based PSD motion capture system.

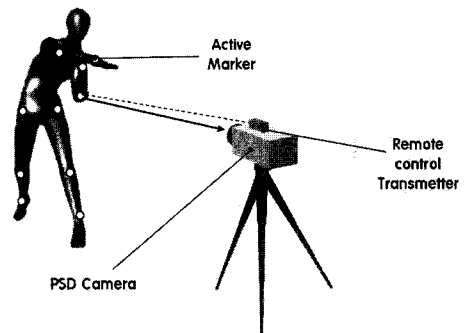


그림 2. 광량보정 기반의 단일 PSD 모션캡처 시스템.  
Fig. 2. Intensity calibration based single PSD motion capture system.

### II. 본론

#### 1. 시스템의 구성

##### 1.1 2차원 PSD의 원리

PSD 센서는 광반도체 소자로서 반도체 센서면(Active Area)에 빛을 받으면 반응하여 전하의 이동에 따라 전류가 흐르게 된다. 2차원 PSD센서의 경우, 그림 3에서 같이 스폿이 맺힌 측정위치에서 각각의 4개 전극

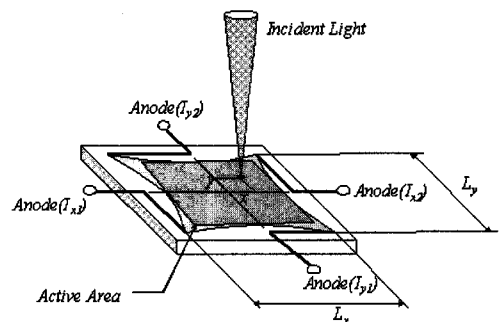


그림 3. 2차원 PSD 센서에 맺힌 스폿광  
Fig. 3. Incident light on 2 dimensional PSD sensor.

에 애노드(Anode)방향으로 전류  $I_{x1}, I_{y2}, I_{y1}, I_{y2}$ 가 흐르게 된다. 측정위치에 따라 각 전극에 흐르는 전류가 다르기 때문에 이 전류를 측정하여 PSD면에 맺힌 광의 위치를 구한다. 이 때 각 애노드에서의 전류 값에 따른 측정위치 계산식은 다음 식 (1), (2)와 같다.

$$\frac{(I_{x2} + I_{y1}) - (I_{x1} + I_{y2})}{I_{x1} + I_{x2} + I_{y1} + I_{y2}} = \frac{2x}{L_x} \quad (1)$$

$$\frac{(I_{x2} + I_{y2}) - (I_{x1} + I_{y1})}{I_{x1} + I_{x2} + I_{y1} + I_{y2}} = \frac{2y}{L_y} \quad (2)$$

### 1.2 일정거리의 두 능동마커를 이용한 단안 PSD 모션캡처 시스템

그림 4는 일정거리의 두 능동마커를 이용한 단안 PSD모션캡처 시스템을 나타내고 있고, 일정한 거리를 두고 두 개의 마커가 쌍을 이루며 모션연기자의 몸에 부착되는 것을 보이고 있다. 앞에서 언급하였듯이 동일 거리에 대해서 마커의 자세와 무관한 광량특성을 보여야 하므로 전방향으로 균일한 광량을 가지는 마커를 제작해야 하는 현실적으로 어려운 문제를 가지고 있고, 단순한 빛과 거리와의 관계를 고려한 보정식을 통한 3차원 측정이었다.

하지만 본 논문에서는 각 마커의 광학적 특성만이 같다는 조건만 만족한다면 두 마커의 광량을 이용한 3차원 공간좌표 연산 알고리즘에 의하여 3차원 위치로 추정하게 된다. 다음에서 본 논문 시스템에 대한 마커에 대한 가정과 연산 알고리즘에 대해서 알아보도록 하겠다.

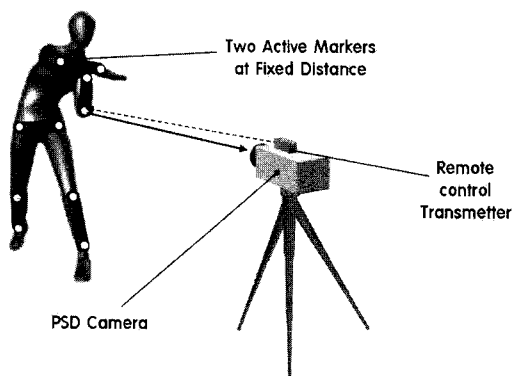


그림 4. 일정거리의 두 능동마커를 이용한 단안 PSD 모션캡처 시스템

Fig. 4. PSD motion capture system with two active markers at fixed distance.

### 1.3 차원 공간좌표 연산 알고리즘

3차원 공간좌표 연산 알고리즘 이론은 마커에 대하여 다음과 같은 네 가지 가정을 전제로 하고 있다.

#### 1.3.1 가정

I) PSD센서에서 측정되는 마커의 광량은 거리의 제곱에 반비례한다.

$$I = \frac{k}{d^2} + a \quad (3)$$

마커의 광량과 거리와 관계는 식 (3)과 같이 나타내어진다.  $I$ 는 PSD에서 측정된 빛의 세기이고,  $d$ 는 마커와 PSD 사이의 거리를 나타낸다.  $k$ 는 개인 값으로 캘리브레이션에 의한 측정광량과 거리 사이의 상수 값이고  $a$ 값은 주변광과 구동회로 등을 고려한 상수값이다.

II) 마커에서 방사되는 빛의 세기는 모든 방향에 대하여 완전한 모양의 밝기 변화를 가진다.

그림 5는 임의의 마커의 빛의 세기를 도시한 예이다. 이 그림에서 (a)는 빛의 세기에 대한 방사각  $I(\theta)$ 가 연속적인 함수로 표현되며 급격한 변화를 갖지 않는 예이다. 그러나 (b)는 그림과 같이  $I(\theta)$ 가 급격한 광량변화를 보이는 예이다. 본 연구에서는 이러한 급격한 광량변화를 갖는 마커를 고려하지 않는다.

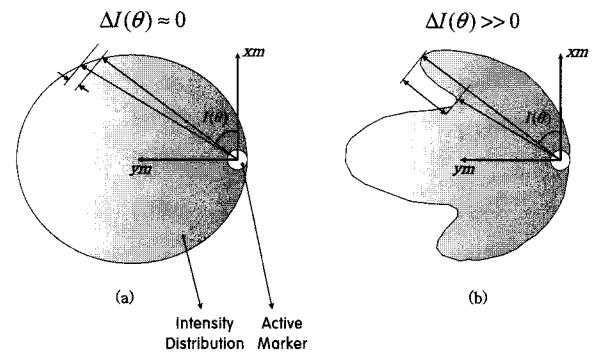


그림 5. 완전한 밝기 변화를 가지는 마커  
Fig. 5. A active marker with smooth intensity variation.

III) 각각의 마커는 동일한 광학적 특성을 갖는다.

그림 6은 두 마커의 방사광량을 도시한 예이다. 그림에서와 같이 두 마커는 동일한 광분포와 거리에 따른

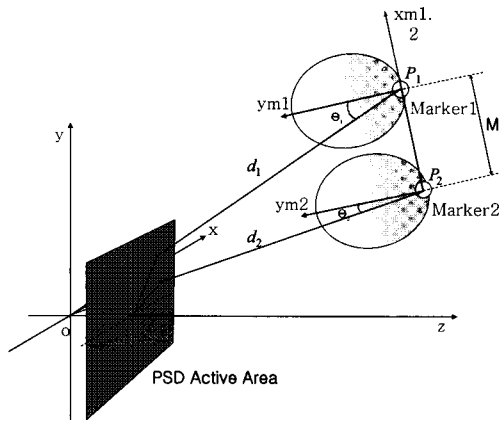


그림 6. 동일한 광학적 특성을 가지는 두 마커  
Fig. 6. Two markers with equal optical characteristic.

빛의 세기는 동일한 성질을 갖는다고 가정한다. 따라서 분리된 두 마커는 같은 k 상수(계인 값) 값을 가진다. 그 이유는 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>사이의 길이 M이 d에 비해 매우 작은 값을 가지고 있기 때문이다. 다시 말하면, PSD검출 위치와 M의 방향에 대해서 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>가 이루는 입사각 θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>의 차이가 무시할 수 있을 만큼 작기 때문에 θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>는 같다고 볼 수 있고 각각의 마커의 계인 k 값은 동일하다고 가정할 수 있다.

IV) 두 마커의 위치 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>사이의 거리 M은 마커 설계 시 결정되며 일정한 값을 갖는다.

다음에서는 위에서 언급한 네 가지 가정을 전제로 3차원 공간좌표 연산 알고리즘에 대해서 설명하겠다.

그림 7은 일정거리 M만큼 떨어진 두 마커를 나타낸

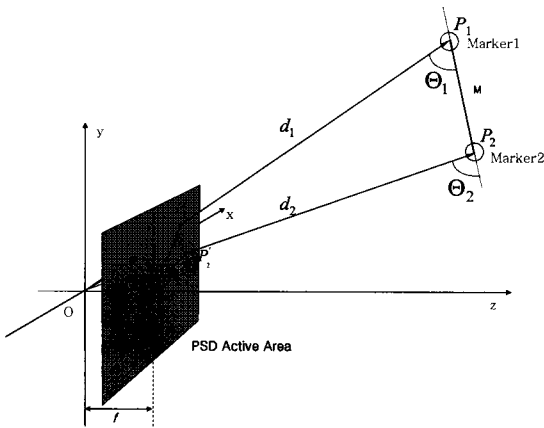


그림 7. 그림 7. 3차원 공간좌표 측정  
Fig. 7. The measurement of 3 dimensional space coordinates.

그림이다. 원점 O에 대해서 렌즈의 초점거리 f 만큼 떨어진 곳에 PSD센서면(PSD Active Area)이 위치해 있고, 원점에서 d<sub>1</sub>만큼 떨어진 마커1과 d<sub>2</sub>만큼 떨어진 곳에 마커2의 위치 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>라 하면 PSD센서면에 투영된 점은 P'<sub>1</sub>, P'<sub>2</sub>로 표시하였다. x, y 평면에 놓인 PSD 센서면의 중심에 대해서 각 투영점 이 x축과 이루는 각을 θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>로 표현하였고, Z축과 이루는 각을 φ<sub>1</sub>, φ<sub>2</sub>로 표시하였다. 3차원 공간상에 위치하는 두 개의 분리된 마커 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>의 위치는 식(4), (5)로 표시할 수 있고 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>사이의 거리 M의 각성분을 m<sub>x</sub>, m<sub>y</sub>, m<sub>z</sub>로 표시할 때 마커의 거리 M은 식(6)과 같이 표현된다.

$$\vec{P}_1 = \begin{bmatrix} d_1 \sin \theta_1 \cos \phi_1 \\ d_1 \sin \theta_1 \sin \phi_1 \\ d_1 \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\vec{P}_2 = \begin{bmatrix} d_2 \sin \theta_2 \cos \phi_2 \\ d_2 \sin \theta_2 \sin \phi_2 \\ d_2 \cos \theta_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\vec{m} = \begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{bmatrix}, \quad M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} \quad (6)$$

PSD 위 스폿광의 위치와 렌즈와 PSD사이의 거리(f)로부터 θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>, φ<sub>1</sub>, φ<sub>2</sub>의 값을 구할 수 있기 때문에 위 식 (4)와 (5)에서 d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>를 구할 수 있다면 마커의 위치 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>를 구할 수 있다. 가정 I 빛의 세기와 거리의 관계에 의해서 d<sub>1</sub>과 d<sub>2</sub>는 식(7)을 통하여 구할 수 있다.

$$d_1 = \sqrt{\frac{k_1}{I_1 - a_1}}, \quad d_2 = \sqrt{\frac{k_2}{I_2 - a_2}} \quad (7)$$

I<sub>1</sub>과 I<sub>2</sub>는 PSD에서 각각 마커1과 마커2의 측정된 광량을 나타낸다. 그리고 k<sub>1</sub>과 k<sub>2</sub>는 광학적 특성이 같다는 가정III에 의해서 같은 계인 값을 가진다. 따라서 k<sub>1</sub>과 k<sub>2</sub>를 k로 표시한다 (k = k<sub>1</sub> = k<sub>2</sub>). 오프셋 값 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> 또한 같은 이유로 a로 표시한다(a = a<sub>1</sub> = a<sub>2</sub>). 하지만 초기 실험장치 설치 시 광량의 오프셋값을 0으로 조절한다면 오프셋값 a=0으로 설정할 수 있기 때문에 앞으로 a는 제외시키고 계산하겠다.

마커의 위치 P<sub>1</sub>은 다음 식과 같이 나타내어진다.

$$\vec{P}_1 = \vec{P}_2 + \vec{m} \quad (8)$$

에 대해 식(8)을 정리하면,

$$\vec{m} = \vec{P}_1 - \vec{P}_2 \quad (9)$$

에 대하여 각 좌표성분으로 나누어 정리하면 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} m_x &= \sqrt{k} \left( \frac{\sin \theta_1 \cos \phi_1}{\sqrt{I_1}} - \frac{\sin \theta_2 \cos \phi_2}{\sqrt{I_2}} \right) = \sqrt{k} C_x \\ m_y &= \sqrt{k} \left( \frac{\sin \theta_1 \sin \phi_1}{\sqrt{I_1}} - \frac{\sin \theta_2 \sin \phi_2}{\sqrt{I_2}} \right) = \sqrt{k} C_y \\ m_z &= \sqrt{k} \left( \frac{\cos \phi_1}{\sqrt{I_1}} - \frac{\cos \phi_2}{\sqrt{I_2}} \right) = \sqrt{k} C_z \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, 식(6)에 식(10)을 대입하여 정리하면 다음 식(11)로 나타낼 수 있다.

$$M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} = \sqrt{k} \sqrt{C_x^2 + C_y^2 + C_z^2} \quad (11)$$

상수  $\sqrt{k}$ 에 대하여 정리하면,

$$\sqrt{k} = \frac{M}{\sqrt{C_x^2 + C_y^2 + C_z^2}} \quad (12)$$

식 (10)은 두 마커의 측정된 광량  $I_1, I_2$ 와 PSD에서 구할 수 있는  $\theta_1, \theta_2, \phi_1, \phi_2$ 에 대한 관계식으로 이 식을 통하여 두 마커의 위치를 알 수 있다. 즉 PSD에서 스폿광의 위치와 두 마커의 광량을 안다면 식 (12)으로부터 계인값  $k$ 를 구할 수 있고, 측정 광량  $I_1, I_2$ 와  $k$ 를 이용하여 식(7)에 대입하여 두 마커의  $d_1, d_2$  거리를 구할 수 있다. 결과적으로 식 (4)와 (5)에  $d_1, d_2$ 를 대입하면 식 (13)과 같이 두 마커의 3차원 위치를 구할 수 있다.

마지막으로 식을 정리하여 계인 값  $k$ 를 이용하여  $P_1, P_2$ 에 대해서 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_1 &= \sqrt{\frac{k}{I_1}} \begin{Bmatrix} \sin \theta_1 \cos \phi_1 \\ \sin \theta_1 \sin \phi_1 \\ \cos \theta_1 \end{Bmatrix} \\ P_2 &= \sqrt{\frac{k}{I_2}} \begin{Bmatrix} \sin \theta_2 \cos \phi_2 \\ \sin \theta_2 \sin \phi_2 \\ \cos \theta_2 \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (13)$$

## 2. 시스템 구현

본 시스템은 크게 PSD카메라, 능동마커, PC 세 가지 장치로 크게 나눌 수 있다. PSD카메라는 능동마커의 적외선 LED를 집광하여 PSD센서에 스폿을 맺히게 하

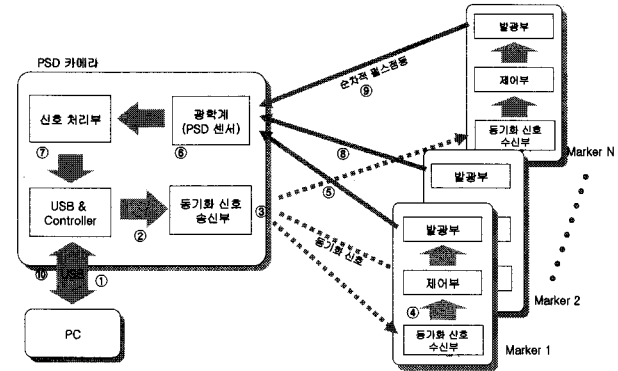


그림 8. 시스템 블록다이어그램  
Fig. 8. System block diagram.

는 광학계, 이 빛의 아날로그 신호를 알맞은 형태의 디지털 신호로 변화시켜주는 신호처리부, 모든 마커에 동기화신호를 부여하는 원격제어신호 송신부, 모든 부분의 제어 및 PC와 USB통신을 담당하는 USB & Controller로 구성되어 있다. 능동마커는 동기화 신호를 받는 원격제어신호 수신부, 순차적 펄스점등을 제어하는 제어부, 적외선LED를 포함하는 발광부로 구성되어 있다. 그리고 마지막으로 PSD카메라로부터 정보를 이용하여 각 마커의 3차원 위치를 계산하고 모니터링하는 PC로 구성된다.

본 시스템에 대한 이해를 더하기 위해 그림 8 시스템 블록 다이어그램을 참고로 하여 동작 순서에 대해서 설명하면 다음과 같다. 우선, ① PC에서 측정개시신호가 발생하면 ② USB&Controller를 통해 ③ 동기화 신호 송신부에서 모든 마커에 동기화 신호를 적외선통신 방식을 통해 알려준다. ④ 모든 마커의 동기화 신호 수신부에서 동기화 신호를 수신 후, ⑤, ⑧, ⑨ 동기화 신호 수신시간을 기준으로 일정한 지연시간 후에 각각의 마커의 순서에 따라 점등하게 된다. ⑥ PSD카메라에서는 각각의 마커의 펄스점등에 의한 신호를 광학계에 의해 PSD센서면에 집광된다. ⑦ 집광된 PSD의 광 신호는 신호처리부에 의해 적절한 형태의 디지털데이터로 변환되고, ⑩ USB 컨트롤러에 의해 PC전송하게 된다.

PSD센서는 동시에 여러 점에 대해 위치정보를 가져 오지 못하기 때문에 각 마커마다의 위치검출시간을 시분할하여 할당하게 된다. 즉 첫 번째 마커가 동기화신호를 받고나서 처음으로 점등하게 되면 PSD카메라에서 그 신호를 캡처하여 처리하게 되고, 두 번째 마커는 첫 번째 마커의 신호처리시간을 고려한 지연시간 후에 점

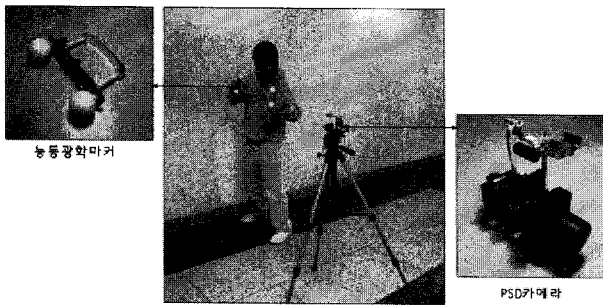


그림 9. 시스템 구현 모습  
Fig. 9. System implementation.

등하여 위치검출이 이루어진다. 다음 마커 역시 같은 방식으로 처리되어 마지막 순서인 N번째 마커의 위치 검출이 끝나는 시점이 모션캡처의 한 사이클을 이루게 된다.

그림 9는 실제 시스템을 구현한 모습으로 모션 연기가 능동광학마커를 가지고 PSD카메라 앞에서 모션을 취하고 있다.

### 3. 예비실험 및 성능평가

#### 3.1 능동마커 광량 분포 측정

3차원 공간좌표 연산 알고리즘에 언급되었던 마커의 밝기 변화는 완만한 모양을 이루고 있다는 가정Ⅱ와 각각의 마커는 동일한 광학적 특성을 가지고 있다는 가정Ⅲ을 뒷받침하기 위해서는 발광마커의 광량 분포에 대한 고찰이 필요하다. 따라서 이번 실험에서는 마커의 광량분포를 측정하여 마커의 광학특성을 알아보았다. 전방향에 대한 마커의 광량을 측정하기 어려움이 있기 때문에 마커의 중심에서 일정한 각도에 따라 마커의 광량을 측정하였다. 그림 10은 이 실험을 하기 위한 실험

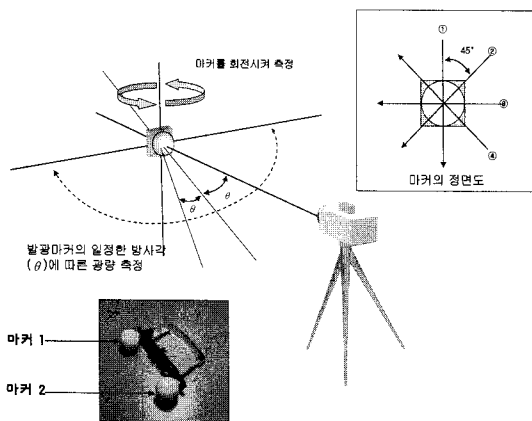


그림 10. 실험환경  
Fig. 10. Experimental setup.

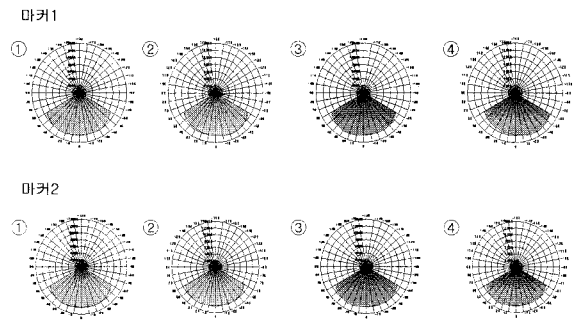


그림 11. 두 마커의 광량분포 측정결과  
Fig. 11. Experimental results of intensity distribution of two markers.

환경으로 PSD카메라가 마커를 수직으로 바라보고 있고, 마커는 카메라의 광축을 기준으로 체자리에서 회전하면서 일정한 회전각도에 따라 PSD카메라가 마커의 광량을 측정하게 된다. 이러한 방식으로 마커의 적도선을 따라 측정광량의 분포를 알 수 있다. 그림 10의 오른쪽 상단에 마커의 정면도를 보면 측정순서를 알 수 있다. 번호순서에 따라 측정하였고, 각 번호는 45°씩 시계 방향으로 적도선을 움직여가면서 측정하였다. 측정각도 ( $\theta$ ) 간격은 10°이다.

그림 11은 그림 10의 마커의 정면도의 번호순서로 화살표 방향을 따라서 각도별로 측정할 결과이다. 마커에서 방사되는 빛의 세기는 모든 방향에 대하여 밝기 변화는 완만한 모양을 이루고 있다는 가정Ⅱ 대해서 알아내기 위해 두 개의 마커를 가지고 각각 비교 측정하였다. 그림11 에서 두 마커의 광량분포의 변화가 급경사를 이루거나 불연속적이지 않고 완만한 모양을 이루고 있음이 확인되어 가정Ⅱ에 가깝도록 제작하였다.

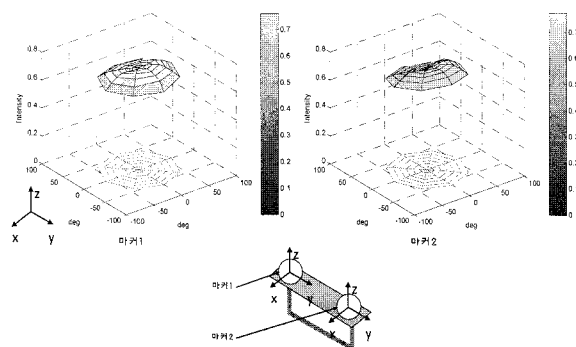


그림 12. 두 마커의 광량분포에 대한 3차원 그래프  
Fig. 12. 3 dimensional graph of intensity difference of two markers.

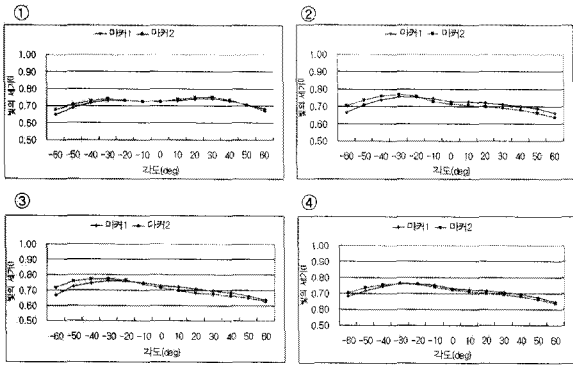


그림 13. 두 마커의 방사각에 따른 광량분포 측정결과  
 Fig. 13. The light distribution measurement result due to the radiation angle of two markers.

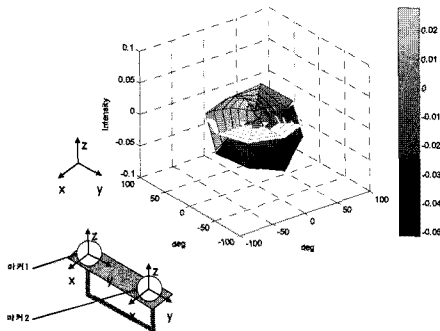


그림 14. 두 마커의 광량차에 대한 3차원 그래프  
 Fig. 14. 3 dimensional graph of intensity difference of two markers.

그림 12는 그림 11의 2차원 그래프를 3차원 그래프로 나타낸 것으로 실제 마커의 광량분포를 보여주고 있다. 그래프를 통해 두 마커가 비슷한 광량분포를 가지고 있는 것을 알 수 있다.

그림 13은 가정 III의 각각의 마커는 동일한 광학적 특성을 가져야 한다는 조건을 알아볼 수 있는 측정결과로 두 마커의 광량분포를 같은 그래프 선상에서 비교해 본 것이다. 측정된 그래프를 보면 약간의 차이가 있을 뿐 같은 위치에서 거의 비슷한 광량분포를 가지고 있는 것을 확인할 수 있고 가정III에 근접하게 제작되었음을 알 수 있다.

그림 14는 두 마커의 광량의 차를 구하고 3차원 그래프로 나타낸 것으로 실제 두 마커가 동일한 광학적 특성을 가진다면 광량의 차이가 없어야 하지만 결과 그래프에서 보이는 것처럼 약간의 차이가 있는 것을 알 수 있다.

### 3.2 PSD 카메라 캘리브레이션

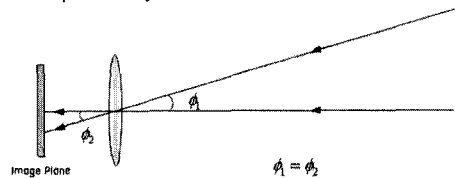
본 논문에서 제안된 3차원 모션캡처 시스템의 최종적인 목표는 PSD카메라에 입력된 2차원데이터와 두 마커의 광량의 데이터를 바탕으로 3차원 공간좌표를 복원하는데 있다.

카메라 보정의 대표적인 방법으로는 Tsai의 카메라 보정<sup>[4]</sup> 알고리즘을 이용하여 렌즈의 왜곡에 의한 비선형적인 기하학적 문제를 해결하고 보정된 3차원 데이터를 얻는 방법이 있다. 하지만 이 방법은 일반렌즈에 해당하는 방법으로 왜곡이 많이 생기는 어안렌즈(fisheye)형 렌즈를 사용한 본 시스템에서는 어안렌즈 투영 모델(Central Perspective Projection model)을 이용하여 캘리브레이션하는 방법을 이용하였다.

그림 15는 원근 투영 모델과 어안렌즈 투영 모델(Fisheye lens Projection model)에 대한 그림이다. 원근 투영 모델의 경우 입사각  $\phi_1$ 과 초점을 지나 이미지상에 투영되어  $\phi_2$ 가 같다. 하지만 어안렌즈 투영 모델의 경우에는 입사각  $\phi$ 에 대해서 이미지의 중심에서의 거리인  $r$ 의 관계가  $k$  비례관계를 가지고 있음을 볼 수 있다. 이때 이미지의 중심에서의 거리는 본 시스템에서의 PSD센서의 중심에서의 거리인  $r$ 이라고 보고  $\phi$ 는 PSD카메라와 측정마커 사이의 각이라고 볼 수 있다.

본 시스템의 3차원 공간좌표 측정이론을 적용하기 위해서는 PSD중심에서의 거리( $r$ )와 PSD중심에서의 각도( $\theta$ ) 그리고 PSD카메라와 마커사이의 각도( $\phi$ )를 구하여야 한다.  $r, \theta$ 의 경우에는 PSD에서 측정되는 2차원

> Central Perspective Projection model



> fisheye lens Projection model

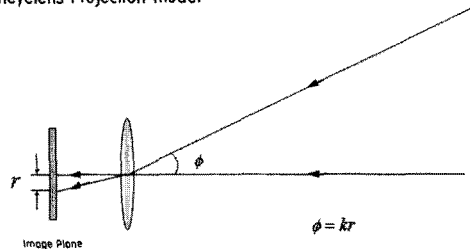


그림 15. 원근 투영 모델과 어안렌즈 투영 모델  
 Fig. 15. vsfisheye projection model.

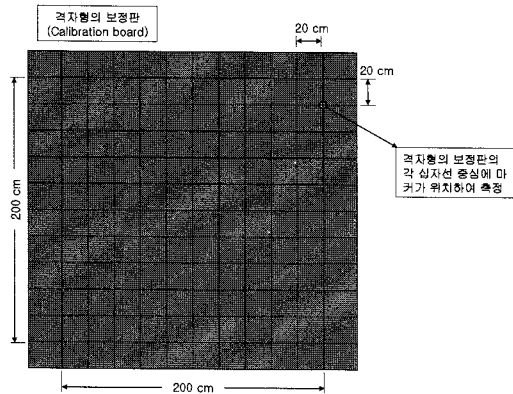


그림 16. 캘리브레이션 판  
Fig. 16. Calibration board.

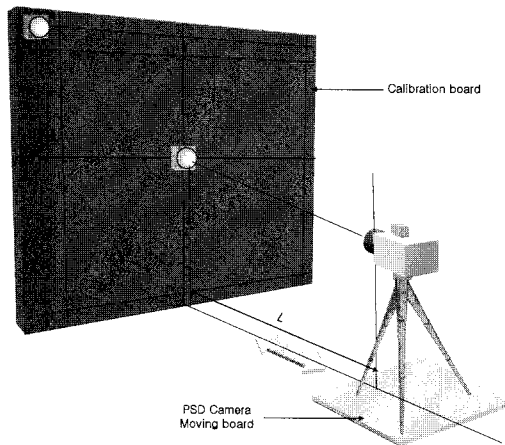


그림 17. 캘리브레이션 실험환경  
Fig. 17. Experimental setup for calibration.

위치  $x, y$ 를 가지고 구할 수 있다. 하지만  $\phi$ 의 경우에는 렌즈의 왜곡을 고려해야 한다. 따라서 이번 실험의 목적은 PSD의  $r$  값을 측정하고 이 데이터를 이용하여  $\phi$ 에 관한 투영식(projection equation)을 구하는 것이다.

카메라 캘리브레이션의 주된 과정은 알려진 3차원 좌표들과 그것의 영상으로 투영좌표 사이를 연결하는 투영식을 만들고, 카메라 파라미터(camera parameter) 값을 계산하는 것이다. 어떤 3차원 좌표를 알기 위해서 카메라 캘리브레이션 방법은 하나 이상의 캘리브레이션 패턴(calibration pattern)영상에 의지한다. 즉, 알고 있는 기하학상의 3차원 물체는 가능한 공간상에 알 수 있는 위치에 위치해야 하며, 위치를 정확하게 알 수 있는 영상에서의 특징을 생성할 수 있어야 한다.

따라서 다음과 같은 보정판(Calibration board)을 그림 16과 같이 200x200cm 사이즈에 격자간격 20cm로 제작하였다. 적외선의 반사의 영향을 최소화하기 위해 무광택의 검은색 시트지를 이용하여 제작하였다. 각 격

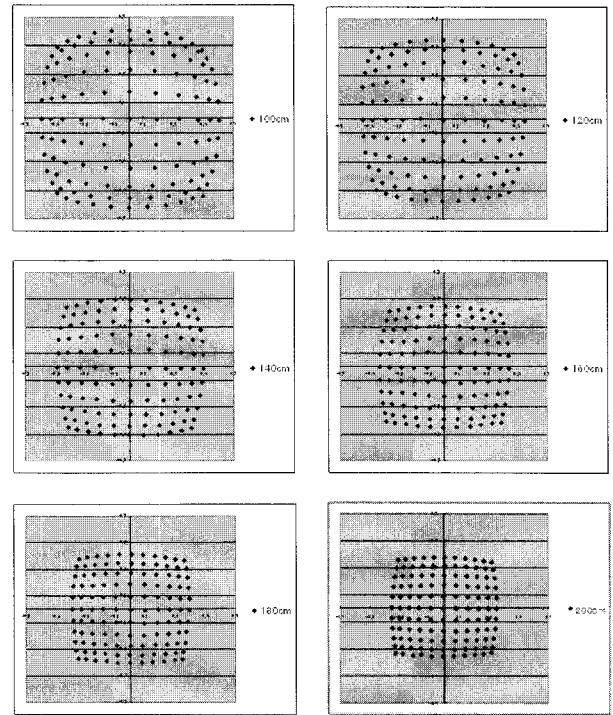


그림 18. 캘리브레이션 패턴 측정  
Fig. 18. The measurement of calibration pattern.

자가 만나는 십자선의 중심에 마커가 위치할 때 PSD카메라에서 마커의 위치를 측정하게 된다.

그림 17처럼 PSD카메라는 보정판과 수직으로 거리  $L$  만큼 떨어져서 위치하고 있고 PSD카메라 이동판(Moving board)위에 고정되어 있다. 이동판을 움직여서 거리( $L$ )를 1m와 2m 사이에 20cm 간격으로 두어서 각각의 캘리브레이션 패턴을 얻어내게 된다. 그리고 PSD 카메라를 통해 얻어낸 캘리브레이션 패턴을 이용하여 PSD중심에서의 거리  $r$ 에 대한 마커와 PSD카메라의 각도  $\phi$ 의 투영식을 얻어낼 수 있다.

그림 19는 그림 18의 캘리브레이션 패턴 데이터를 가지고 PSD중심에서의 측정거리  $r$ 를 구하고, 이미 알고 있는 보정판 위에 마커의 위치로부터 PSD카메라와의 각도  $\phi$ 를 구하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림 19의  $r, \phi$  데이터를 바탕으로 최소자승법에 의한 투영식을 구하면

$$\phi = 12.396 r_2 + 61.185 r \tag{14}$$

식(14)을 구할 수 있다. 이 식을 통하여 다음 장의 실제 3차원 데이터를 구할 때 거리  $r$ 에 대한 정보만을 가지고도  $\phi$  값을 구할 수 있다.

그림 18은 각 거리 100cm, 120cm, 140cm, 160cm,



180cm, 200cm에서 캘리브레이션 패턴을 측정하여 그래프로 나타내었다.

3.3 거리에 따른 3차원 공간좌표 복원

보정판의 캘리브레이션 패턴을 거리에 따른 2차원 좌표로 측정하여 실제 3차원 공간 좌표값과 오차가 얼마나 나는지 비교 실험을 하였다. 실험에 쓰이는 보정판은 앞장에서 쓰였던 간격이 20cm 이고 크기가 2m x 2m 보정판을 가지고 실험하였고 PSD카메라 이동판을 이용하여 각각의 거리에 대하여 측정하였다. 거리는 1m 에서 2m 사이에 20cm 간격으로 각각 100cm, 120cm, 140cm, 160cm, 180cm, 200cm에서 측정하였다. 캘리브레이션 패턴의 측정범위는 x (캘리브레이션판의 가로), y (캘리브레이션판의 세로), z (캘리브레이션판과 PSD 카메라와의 거리)의 거리가 200cm x 120cm x 200 cm 이다.

그림 20은 거리에 따라 캘리브레이션 패턴을 측정하

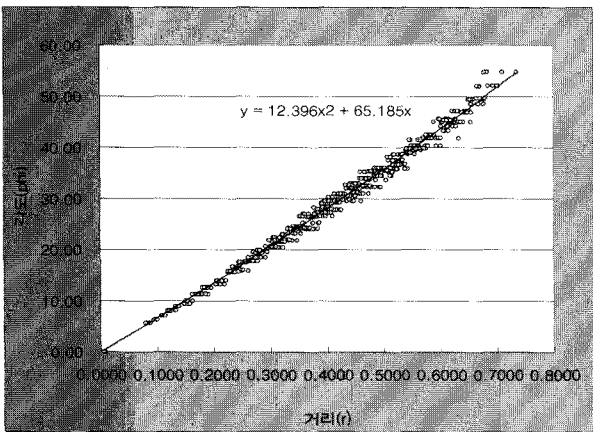


그림 19. 캘리브레이션 패턴 측정  
Fig. 19. The measurement of calibration pattern.

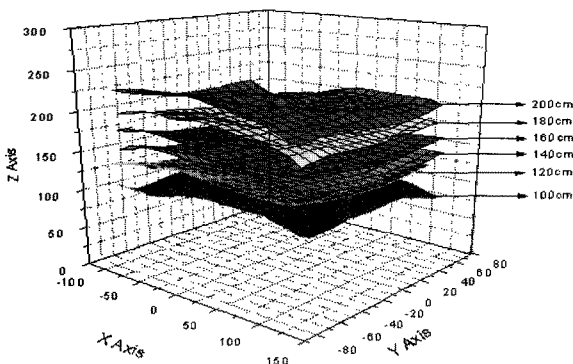


그림 20. 거리에 따른 캘리브레이션 패턴 복원  
Fig. 20. Restoration of calibration pattern in regular distance.

표 1. 실제위치와 측정위치의 오차  
Table 1. Error between real points and measurement points.

거리(cm)	오 차(cm)			
	$\bar{e}_x$	$\bar{e}_y$	$\bar{e}_z$	$\bar{e}_{xyz}$
100	4.0	3.9	5.2	8.5
120	3.3	3.8	5.0	7.7
140	2.9	3.3	4.9	7.1
160	2.5	2.9	5.2	7.0
180	2.7	2.9	7.1	8.7
200	2.8	2.9	9.6	10.9
평균	3.0	3.3	6.2	8.3

여 3차원 복원한 결과를 그래프화 한 것이다. 실제위치 ( $X_w, Y_w, Z_w$ )와 측정위치( $x, y, z$ ) 사이의 오차(error)는  $x, y, z$ 좌표를 고려하여 다음 식에 의해 구하였다.

$$e_x = |X_w - x|, e_y = |Y_w - y|, e_z = |Z_w - z|$$

$$e_{xyz} = \sqrt{(X_w - x)^2 + (Y_w - y)^2 + (Z_w - z)^2} \quad (15)$$

표 1은 각 거리에서 캘리브레이션 패턴에 대한 평균 오차를 모아 정리한 것이다. 각 거리에서의 평균오차에 대해 다시 평균을 계산하였다. 그 결과 측정영역에서의 평균오차  $\bar{e}_{xyz}$ 가 8.3 cm이 나타남을 알 수 있었다.

III. 결론 및 향후연구방향

이전 연구인 ‘단일 PSD 모션캡처 센서를 이용한 실시간 체감 시스템 개발’에서 언급되었던 마커의 광량을 측정하여 거리와 빛의 세기의 관계를 이용한 PSD 3차원 측정 시스템은 마커가 전방향으로 균일한 광량을 가져야 한다는 점과 모든 마커가 동일한 빛의 세기를 가져야 한다는 점 그리고 외부적, 내부적 요인에 의한 빛의 세기 변화에 대한 캘리브레이션이 매번 필요하다는 단점을 지니고 있었다.

이러한 절대적 광량을 가지고 거리를 측정하는 시스템은 현실적으로 제작이 불안정하기 때문에 가정용 비디오게임의 모션캡처장치로 적용하기 어려움을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결한 새로운 3차원 측정 이론을 소개하였다. 그리고 직접 구현하여 3차원 측정실험을 하였고, 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1 사전 광량에 대한 보정 없이 단지 일정간격의 두 개의 발광마커의 광량만을 이용하여 3차원 데이터를 측정할 수 있다.

1 마커의 광학적 특성을 가지고 측정하기 때문에 내부적, 외부적인 요인에 의한 마커의 밝기가 변하였을 때 캘리브레이션이 필요 없다.

1 하나의 PSD카메라를 사용하기 때문에 설치가 용이하고, 컴팩트하다.

1 측정범위 x, y, z축으로 200 x 120 x 200 cm 에서의 x, y, z 축에 대한 평균오차는 8.3cm 이다.

1 가정용 게임에 적용 가능한 모션캡처시스템을 개발하였다.

#### \* 향후연구 방향

이 시스템에는 마커의 광량의 분포가 균일하다는 문제에서는 벗어났으나, 광학적 특성이 같아야 한다는 가정이 존재하고 있다. 이 문제는 동일한 광학적 특성을 가지는 마커를 제작하기 어려운 문제를 가지고 있고, 측정실험에서 이상적인 마커를 만들지 못하였다.

향후에 광학적 특성이 동일한 마커에 대한 연구가 필요하다. 또한 PSD센서의 아날로그신호 처리에 대한 보다 안정적인 S/N(신호대잡음비)가 좋은 회로를 보안하여 제작한다면 더 정밀한 측정이 가능하고 성능이 좋은 시스템이 될 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] 이준호, "PSD를 이용한 실시간 3차원 모션캡처 시스템 개발", 전문 대학교 대학원 전자공학 석사학위 논문, 2003.

[2] 김안식, PSD 센서를 이용한 실시간 3D 모션캡처에 있어서 캘리브레이션 방법연구, 전문대학교 대학원 2003.

[3] 최훈일, PSD센서를 이용한 3D 모션캡처 시스템에서의 성능 향상을 위한 센서보정에 관한 연구, 전문대학교 대학원 2005.

[4] 조용준, 단일 PSD 모션 캡처 센서를 이용한 실시간 체감 시스템 개발, 전문대학교 대학원, 2005

[5] [http://www.ecircuitcenter.com / Circuits / opitov / opitov.htm](http://www.ecircuitcenter.com/Circuits/opitov/opitov.htm)

[6] 김상진, "실용 OP앰프로 디지털 회로", 성안당, 2002.

[7] 전자기술, "PSD에 의한 거리 센서의 설계와 제작", 3월호 p.49-59

[8] V.I. Pavlovic, R. Sharma, and T.S. Huang, "Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer Interaction: A Review", IEEE Trans. On PAMI, vol. 19, No. 7, p.677-695, July 1997.

[9] T.W Calvert, j. Chapman and A.Patla, "Aspects of the kinematic simulation of human movement," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.2.No.9, November 1982. pp.41-50

[10] Alberto Menache, "Understanding Motion Capture for Computer Animation and Video Games", p.1-11, 2000, ACADEMIC PRESS

[11] William Frey, Michael Zyda, Robert Mcghee, Bill Cockayne, "Off-the-Shelf, Real-Time, Human Body Motion Capture for Synthetic Environments" p.4-5

[12] Hamamatsutechnicaldata, Cat.No.KPSD1003E02 "Large-area PSD SERIES (LONG-AREA 1D PSD AND 2D PSD), JAN, 1994.

[13] Linda G. Shapiro, George C. Stockman, "Computer Vision", p.392-406, 2001, Prentice-Hall, Inc.

[14] Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G.Schunck, "MACHINE VISION", p.289-294, 1995, McGraw-Hill, Inc.

[15] X-IST Realtime Technologies GmbH, <http://www.x-ist.de>, Germany

[16] Ascension Technology Corporation, <http://www.ascension-tech.com>, USA

[17] Eyetoy, <http://www.eyetoyplay.co.kr/>

저 자 소 개



서 평 원(학생회원)  
2008년 신문대학교 전자공학부 졸업,  
2009년 신문대학교 대학원 전자공학과 석사과정  
2010년 2월 졸업예정.

<주관심분야: 모션캡처시스템, 아날로그 신호처리, 자동제어, 임베디드운영체제.>



김 유 건(학생회원)  
2005년 신문대학교 정보통신공학부 졸업,  
2007년 2월 신문대학교 대학원 전자공학과 석사졸업  
<주관심분야: 모션캡처시스템, 화상처리, 아날로그 신호처리, 머신비전, 자동제어, 로봇공학.>



한 창 호(정회원)  
1993년 청주대학교 전자공학과 졸업.  
1995년 동 대학원 석사.  
2005년~현재 신문대학교 대학원 전자공학과 박사 과정 재학 중.

<주관심분야 : 화상처리, 모션캡처, 머신비전>



유 영 기(정회원)  
1987년 한양대학교 기계공학과 졸업,  
1989년 한국과학기술원 생산공학 석사 졸업,  
1996년 한국과학기술원 자동화 및 설계공학 박사 졸업,

1996년 3월~현재 신문대학교 전자정보통신공학부 부교수.

<주관심분야: 정밀계측, 광 응용 계측기술, 화상처리, 컴퓨터 비전.>



오 춘 석(평생회원)  
1980년 서강대학교 전자공학과 학사,  
1986년 Marquette 대학 컴퓨터공학 석사,  
1992년 Univ. of Arizona 컴퓨터공학 박사,

1980년~1993년 전자통신연구원 선임연구원,  
1993년~현재 신문대학교 정보통신공학부 교수.

<주관심분야: 신호처리 및 화상처리, 머신비전>