

단안 PSD 카메라를 이용한 모션캡처 시스템을 위한 전방향성 능동마커 개발

\*서평원, \*\*유영기, \*\*\*오준석

\* 선문대학교 전자공학과, \*\* 선문대학교 정보통신공학부, \*\*\* 선문대학교 정보통신공학부

Development of Omnidirectional Active Marker for Motion Capture System with a Monocular PSD Camera

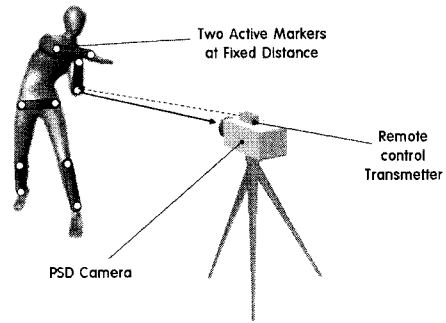
\*Pyeong-Won Seo, \*\*Young-Kee Ryu, \*\*\*Choonsuk Oh

\* Dept. of Electronics Engineering, Sunmoon University

\*\* Dept. of Information and Communication Engineering, Sunmoon University

\*\*\* Dept. of Information and Communication Engineering, Sunmoon University

**Abstract** - 본 논문에서는 가정용 비디오 게임에 사용 가능한 고속의 저가형 모션캡처 시스템에 사용되는 전 방향 특성을 갖는 IR 능동 마커의 개발을 목표로 하고 있다. 현재 영화나 게임에서 모션캡처를 응용한 시스템 및 컨트롤러들이 많이 선보이고 있으며, 인기를 모으고 있는 추세이다. 이러한 흐름에 맞추어 우리는 이미 저가이면서 속도가 빠른 PSD(Position Sensitive Detector) 센서를 이용한 스테레오 비전 기반의 PSD 모션캡처 시스템(Stereo vision based PSD motion capture system)과 광량 보정 기반의 단일 PSD 모션캡처 시스템(Intensity Calibration based single PSD motion capture system) 그리고 일정간격의 두 능동마커 기반의 단안 PSD 모션캡처 시스템(Two active markers at fixed distance based single PSD motion capture system)등을 소개한 바 있다. 본 논문에서 제안하는 전방향 특성을 갖는 IR 능동 마커는 일정간격의 두 능동마커 기반의 단안 PSD 모션캡처 시스템에 적용하여 보다 정밀한 3차원 좌표 측정을 할 수 있도록 한다. 이를 위해 본 논문에서는 동일 특성을 갖는 마커를 제작하고 평가하여 일정간격의 두 능동마커 기반의 단안 PSD 모션캡처 시스템에 적합한 마커의 제작 방법을 제안하였다.



<그림 1> 일정거리의 두 능동마커를 이용한 단안 PSD 모션캡처 시스템

1. 서 론

최근 가정용 비디오 게임이나 영화에 모션 인식을 통한 컨트롤러 및 영상 구현이 널리 사용되고 있다. 그러나 현재 영화나 게임에 사용되는 모션캡처 시스템은 장비가 크고 고가이기 때문에 가정용 게임에 적용하기 어렵다. 최근에 흔히 사용되는 USB CCD 카메라는 속도가 느리고 2차원 인식만 하는 단점을 가지고 있어 모션캡처 용으로 부적합하다. 하지만 최근 연구에서 저가이면서 속도가 빠른 PSD(Position Sensitive Detector) 센서를 이용하여 3차원 측정이 가능한 단안 PSD 카메라 시스템을 구현할 수 있게 되었다. 2차원 측정이 가능한 PSD 센서를 이용한 3차원 모션캡처 시스템에는 2개 이상의 PSD 센서를 이용하는 스테레오 비전 기반의 PSD 모션캡처 시스템(Stereo vision based PSD motion capture system)[1]과 빛의 세기와 거리와의 상관관계를 이용하여 하나의 PSD 만으로도 3차원 측정이 가능한 광량 보정 기반의 단일 PSD 모션캡처 시스템(Intensity Calibration based single PSD motion capture system)[3] 그리고 일정한 거리에 떨어져있는 광학적 특성이 동일한 두 마커 사이의 상대적인 광량차이를 이용하여 3차원 측정이 가능한 일정간격의 두 능동마커 기반의 단안 PSD 모션캡처 시스템(Two active markers at fixed distance based single PSD motion capture system)[4]등이 소개되었다.

현재 개발된 세 시스템들은 모두 능동마커(Active marker)를 이용하여 PSD 센서의 2차원 평면위의 스폿의 좌표와 측정된 광량을 통하여 3차원 좌표를 측정한다는 공통점을 갖고 있으나 능동마커의 제작에 있어서 IR 광이 전방향 특성을 갖는 능동마커와 능동마커의 광량이 동일한 마커를 제작하는 것이 어렵다는 문제를 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 일정간격의 두 능동마커 기반의 단안 PSD 모션캡처 시스템에 적용하기 위한 능동마커를 제작함에 있어 디퓨저(Diffuser)를 이용하여 전방향 특성을 향상시키고 동일한 특성의 마커를 제작하기 위한 효율적인 방법을 제안하고자한다.

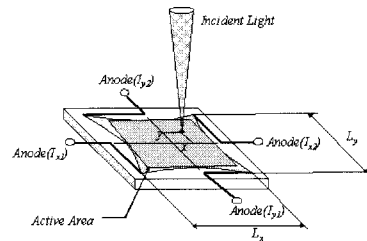
2. 본 론

2.1 일정간격의 두 능동마커 기반의 단안 PSD 모션캡처 시스템

그림 1 은 일정거리의 두 능동마커를 이용한 단안 PSD 모션캡처 시스템을 나타내고 있고, 일정한 거리를 두고 두 개의 마커가 쌍을 이루며 연기자의 몸에 부착되는 것을 보이고 있다. 본 시스템에서 각각의 마커는 동일한 광학적 특성을 가지고 있어야 한다는 조건을 만족할 때 두 마커의 상대적 광량 차이와 PSD 센서 면에 맺히는 스폿의 2차원 평면상의 위치, 그리고 렌즈의 중심과 PSD 센서 면간의 거리 등의 정보를 통하여 3차원 위치측정을 할 수 있다.

2.1.1 PSD 센서의 2차원좌표 측정 원리

PSD 센서는 광 반도체 소자로서 반도체 센서면(Active Area)에 빛을 받으면 반응하여 전하의 이동에 따라 전류가 흐르게 된다. 2차원 PSD 센서의 경우, 그림 2에서와 같이 스폿이 맺히면 4개의 전극에 전류  $I_{x1}, I_{x2}, I_{y1}, I_{y2}$  가 흐르게 된다. 스폿의 위치에 따라 각 전극에 흐르는 전류가 다르기 때문에 이 전류를 측정하여 PSD 면에 맺힌 스폿의 위치를 구한다.



<그림 2> 2차원 PSD 센서에 맺힌 스폿광

식 (1), (2)는 PSD 면에 맺힌 스폿의 위치를 각각의 전극에 흐르는 전류  $I_{x1}, I_{x2}, I_{y1}, I_{y2}$  를 이용하여 구하는 계산식이다.

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

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

2.1.2 3차원 공간좌표 연산 알고리즘

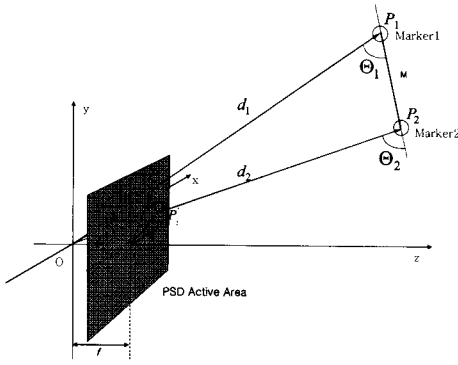
3차원 공간좌표 연산 알고리즘은 다음 4가지 가정을 전제로 하고 있다.

- 가정 1) PSD센서에서 측정되는 마커의 광량은 거리의 제곱에 반비례한다.
- 가정 2) 마커에서 방사되는 빛의 세기는 모든 방향에 대하여 완전한 모양의 밝기 변화를 가진다.

가정 3) 각각의 마커는 동일한 광학적 특성을 갖는다.

가정 4) 두 마커의 위치  $P_1, P_2$  사이의 거리  $M$ 은 마커 설계시 결정되며 일정한 값을 갖는다.

위 가정 1에서 4를 전제로 3차원 공간좌표 연산 알고리즘에 대해서 설명하겠다. 그림 3은 일정거리  $M$ 만큼 떨어진 두 마커를 나타낸 그림이다. 원점  $O$ 에 대해서 렌즈의 초점거리  $f$ 만큼 떨어진 곳에 PSD 센서면(PSD Active Area)이 위치해 있고, 원점에서  $d_1$ 만큼 떨어진 마커1과  $d_2$ 만큼 떨어진 곳에 마커2의 위치를  $P_1, P_2$ 라 하면 PSD 센서면에 투영된 점은  $P'_1, P'_2$ 로 표시하였다.  $x, y$  평면에 놓인 PSD 센서면의 중심에 대해서 각 투영점이  $X$ 축과 이루는 각을  $\theta_1, \theta_2$ 로 표현하였고,  $Z$ 축과 이루는 각을  $\phi_1, \phi_2$ 로 표시하였다. PSD 위 스폿광의 위치와 렌즈와 PSD 사이의 거리( $f$ )로부터  $\theta_1, \theta_2, \phi_1, \phi_2$ 의 값을 구할 수 있기 때문에  $d_1, d_2$ 를 구할 수 있다면 마커의 위치  $P_1, P_2$ 를 식 (3), (4)로부터 구할 수 있다.



<그림 3> 3차원 공간좌표 측정

$$\vec{P}_1 = \begin{bmatrix} d_1 \sin \theta_1 \cos \phi_1 \\ d_1 \sin \theta_1 \sin \phi_1 \\ d_1 \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\vec{P}_2 = \begin{bmatrix} d_2 \sin \theta_2 \cos \phi_2 \\ d_2 \sin \theta_2 \sin \phi_2 \\ d_2 \cos \theta_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

위의 가정 1 빛의 세기와 거리의 관계에 의해서 식 (5)를 통해  $d_1, d_2$ 를 구할 수 있다.

$$d_1 = \sqrt{\frac{k_1}{I_1 - a_1}}, \quad d_2 = \sqrt{\frac{k_2}{I_2 - a_2}} \quad (5)$$

결과적으로 식 (3), (4)에 거리  $d_1, d_2$ 를 대입하면 식 (6)과 같이 두 마커의 3차원 위치를 구할 수 있다.

$$P_1 = \sqrt{\frac{k}{I_1}} \begin{bmatrix} \sin \theta_1 \cos \phi_1 \\ \sin \theta_1 \sin \phi_1 \\ \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

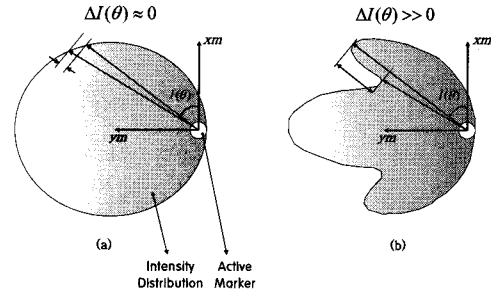
$$P_2 = \sqrt{\frac{k}{I_2}} \begin{bmatrix} \sin \theta_2 \cos \phi_2 \\ \sin \theta_2 \sin \phi_2 \\ \cos \theta_2 \end{bmatrix}$$

## 2.2 능동 마커의 조건 및 마커의 제작

3차원 공간좌표 연산 알고리즘에 언급되어진 마커의 밝기 변화는 완전한 모양을 이루고 있다는 가정 2와 각각의 마커는 동일한 광학적 특성을 가지고 있다는 가정 3을 뒷받침하기 위해서는 발광마커의 광량 분포에 대한 고찰이 필요하다.

### 2.2.1 능동마커의 조건

그림 4의 (a)는 완전한 밝기 변화를 갖는 마커의 예를 보이고, (b)는 완전한 밝기 변화를 갖지 않는 마커의 예를 보이고 있다.

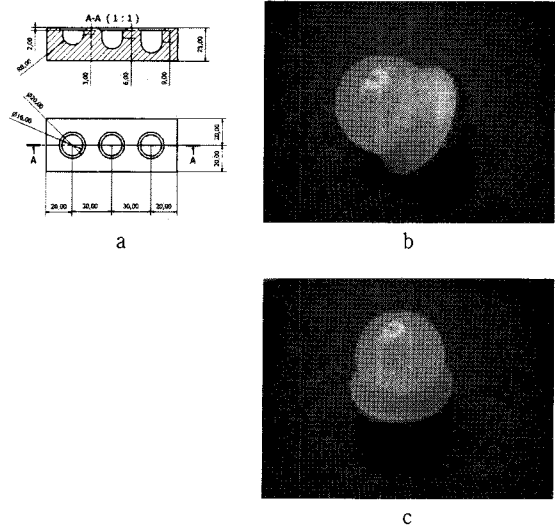


<그림 4> 완전한 밝기 변화를 가지는 마커

두 개의 마커가 각각 완전한 밝기 변화를 가지고 있다는 것은 마커의 방향에 따른 광량의 변화 폭이 적다는 것을 말하며, PSD 카메라로부터 동일한 거리에 있는 하나의 마커는 마커의 어느 방향으로도 유사한 광량 값을 가져야 측정된 3차원 좌표를 신뢰할 수 있다. 또한 일정한 거리  $M$ 을 갖는 두 개의 마커는 동일한 광량 특성을 가져야 하며, 이는 두 마커의 상대적 광량 차를 이용하여 능동마커의 기술기를 구할 수 있다.

### 2.2.2 능동마커의 제작

그림 5는 동일한 특성의 마커를 제작하기 위한 마커 제작용 금형(a)과 금형을 통해 제작된 마커(b, c)를 보여 준다. 본 연구에서는 동일한 특성을 갖는 마커의 제작을 위하여 그림 5 (a)와 같이 알루미늄 재질의 금형을 준비하고 확산 판을 열 성형하여 금형에 맞게 제작 하고 여기에 디퓨저(Diffuser)를 섞은 에폭시를 성형하여 그림 5의 (b)(c)와 같은 마커를 에폭시의 비율 및 확산 판의 유무에 따라 표 1과 같이 8종류의 마커를 제작하였다.



<그림 5> IR LED 마커의 외관

<표 1> 마커의 제작 스펙

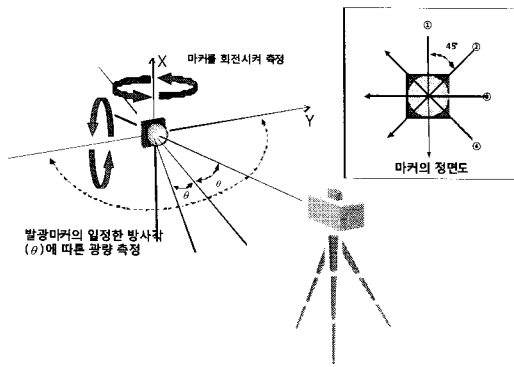
	마커의 번호							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
디퓨저 높이(mm)	13.6	13.8	10.8	10.9	10.6	14.1	0.0	10.1
에폭시 비율(%)	44.1	76.4	76.5	82.5	60.8	51.3	0.0	0.0

### 2.3 능동 마커의 IR 광분포 특성 실험

표 1과 같이 제작한 8종류의 마커를 이용하여 각 마커의 광학적 특성을 측정하는 실험을 아래의 실험 방법에 따라 수행 하였다.

#### 2.3.1 실험 방법

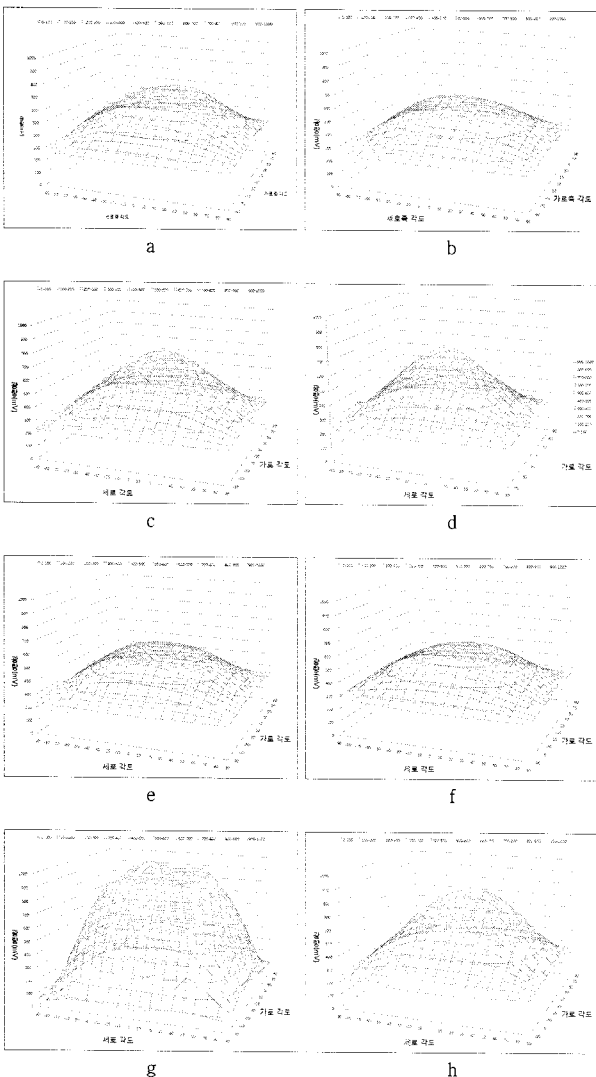
그림 6은 PSD 카메라와 마커사이의 거리를 일정거리  $d$ 로 설치하고 하나의 마커를 일정한 각도  $\theta$  간격으로  $X, Y$  축을 기준으로 각각 회전을 시켜가며 마커의 광량을 측정하는 것을 보여준다. 각 축을 기준으로  $10^\circ$ 의 간격으로  $0^\circ$ 에서  $\pm 90^\circ$ 까지 회전하며 측정하고 기록한다. 하나의 마커가 끝나면 다음 마커를 이용하여 M1에서 M8의 마커를 실험을 반복한다.



〈그림 6〉 실험 환경

**2.3.2 실험 결과 및 분석**

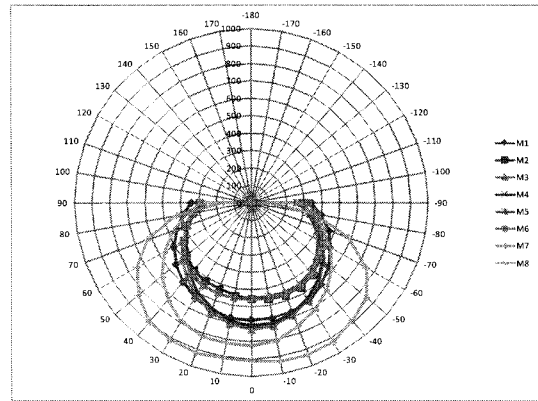
그림 7의 그림은 마커 M1에서 M8에 대하여 각 방향의 광량 분포도를 보여준다. 각각의 그래프의 X축은 마커의 세로 방향을 나타내며, Y축은 마커의 가로 방향을 나타낸다. 그래프의 Z축은 해당 마커를 각 방향에서 측정 한 전압 값을 나타낸다.



〈그림 7〉 마커의 3차원 광량분포

그림 7에서 보여지는바와 같이 각각의 마커는 확산 판의 유무 및 디퓨저

를 혼합한 에폭시의 비율에 따라서 전체적인 광량의 크기와 광량의 분포가 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다.



〈그림 8〉 마커의 2차원 광량분포

그림 8은 각 마커의 2차원 광량 분포를 보여준다. M1, M2, M4, M5, M6, M7 마커들은 0°에서 ±40°의 범위 내에서 비교적 완만한 광량의 변화를 보여 주고 있다. 하지만 M3과 M8의 경우 0°에서 ±40° 범위에서 다른 마커들에 비해 급격한 광량변화를 볼 수 있다. 그리고 M7의 경우 확산 판 및 디퓨저가 포함된 에폭시를 부착하지 않은 마커는 ±50° 이후 급격한 광량의 변화를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 급격한 광량의 변화는 마커와 PSD 사이의 각도에 따라 3차원 좌표 측정에 영향을 주어 정확하지 않은 좌표를 산출해 내도록한다.

〈표 2〉 제목을 적어주세요

항목	마커 번호							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
평균기울기	41.8	32.4	50.4	48.8	34	31	93.8	61.6
디퓨저 높이(mm)	13.6	13.8	10.8	10.9	10.6	14.1	0	10.1
에폭시비율(%)	44.1	76.4	76.5	82.5	60.8	51.3	0	0

위 실험을 통한 M1에서 M8의 마커들의 광량 값에 평균기울기를 구하여 각 마커의 제작 당시 특정 값들과 함께 표 2로 정리하였다. 여기에서 각 마커의 평균기울기는 각도에 따른 광량 변화율을 나타내는 것이기도 하다. 따라서 각 마커의 평균기울기가 작은 값을 가질수록 마커의 광량변화 속도 작다는 것이고, 따라서 평균기울기가 작은 마커가 광량 특성이 좋은 마커라고 볼 수 있다.

**3. 결론 및 향후 연구 방향**

본 연구를 통하여 일정거리의 두 능동마커를 이용한 단안 PSD 모션캡처 시스템에 사용하는 IR 마커의 광량특성을 파악하고 마커 제작시 고려되어야 할 사항들을 확인할 수 있었다. 그림 7, 8과 표 2의 실험값을 통하여 디퓨저의 높이가 높을수록, 디퓨저를 포함한 에폭시의 비율은 50% 전후로 할 때 마커의 광 분포 특성이 좋아 진다는 점을 알 수 있다. 또한 일정 크기로 가공된 알루미늄 금형을 이용하여 성형 하므로 유사 특성을 갖는 마커의 제작이 가능하게 되었다. 향후 연구에서는 일정거리의 두 능동마커를 이용한 단안 PSD 모션캡처 시스템에 본 연구에서 얻은 결과로 제작된 마커를 이용하여 3차원 좌표 측정하여 마커 성능을 테스트하고자 한다.

**4. 후 기**

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임.

**〔참 고 문 헌〕**

[1] 이준호, "PSD를 이용한 실시간3차원 모션캡처 시스템 개발", 선문대학교 대학원 전자공학석사학위논문, 2003  
 [2] 최훈일, "PSD센서를 이용한 3D 모션캡처 시스템에서의 성능 향상을 위한 센서보정에 관한 연구", 선문대학교 대학원, 2005  
 [3] 조용준, "단일 PSD 모션캡처 센서를 이용한 실시간 체감 시스템 개발", 선문대학교 대학원, 2005  
 [4] 김유진, "일정간격의 두 능동마커를 이용한 저가형 단안 PSD모션캡처 시스템 개발", 선문대학교 대학원, 2007  
 [5] 전자기술, "PSD에 의한 거리 센서의 설계와 제작", 3월호 p.49-59  
 [6] Hamamatsu technical data, Cat. No. KPSD1003E02 "Large-area a PSD SERIES(LONG-AREA 1D PSD AND 2D PSD), JAN,1994