

# Light Probe 를 이용한 제한된 실내 환경에 존재하는 점 광원 추정 기법

## Point Light Source Estimation from indoor environment from Light Probe

유재덕, Jae doug Yoo\*, 박정욱, Joung Wook Park, 조지호, Ji-Ho Cho, 이관행, K.H. Lee

\*광주과학기술원 정보기전공학과

**요약** 실제 영상과 가상의 오브젝트 또는 가상의 환경에 오브젝트를 합성하는 경우 등 사실적인 합성을 결과를 얻기 위해서는 실제 환경과 같은 배경 영상의 정확한 광원 정보가 필요하다. 본 논문에서는 실내 환경을 배경으로 영상을 합성하는 과정에 필요한 광원정보를 카메라와 Light Probe 를 이용하여 촬영된 단일 영상으로부터 추정하는 기법을 제안한다. 실내에 존재하는 광원들은 정확한 위치정보를 알 수 없는 실외환경에서와 달리 제한된 공간의 원점으로부터 3 차원 공간에 위치한 좌표로 나타낼 수 있다. 광원을 추정하기 위해 먼저 실내 공간에 반사도가 높은 Light Probe 를 위치하고 디지털 카메라의 적정 노출을 이용하여 광원 추정에 사용할 영상을 획득한다. 광원으로 존재하는 오브젝트의 경우 짧은 노출시간에도 카메라의 영상에 획득된다. 그렇기 때문에 단일 영상에서 광원의 영역을 추정하기 위해 영상처리를 통해 노출 시간을 짧게 하여 촬영한 영상과 비슷하게 밝은 영역만 표현되도록 처리를 한다. 전 처리된 영상으로부터 밝은 영역과 어두운 영역으로 구분을 하고 밝은 영역으로부터 광원의 정보를 추정한다. 추정된 광원들은 실제 렌더링에 곧바로 적용이 가능하며, 이를 통해 배경에 적합한 렌더링 결과를 얻을 수 있다.

**핵심어:** Image based lighting, Fuzzy c-means clustering, Environment Mapping

### 1. 서론

영화, 광고, VR, AR등 다양한 목적을 위해 실 세계 장면과 가상의 오브젝트를 합성하는 기술들이 많이 개발되고 있다. 보다 자연스러운 합성을 위해서는 각각의 배경에 적합한 광원의 정보가 요구된다. 영상 기반 라이팅 (IBL)은 현실 세계의 전역조명 정보를 전 방향을 포함할 수 있는 HDR 영상으로 표현하고, 이를 이용하여 사실적인 렌더링 결과를 획득하는 방법이다. 즉 실 세계 조명 정보를 획득하여 영상으로 표현하고, 이를 광원 정보로 사용함으로써 가상 객체와 실제 장면을 자연스럽게 합성할 수 있다. 하지만 일반적으로 HDR 영상을 실시간으로 획득하기 어려우며 모든 픽셀을 광원정보로 사용하기 때문에 영상 획득과 처리과정 및 렌더링을 실시간으로 수행하기는 어렵다.

본 논문에서는 디지털 카메라를 이용하여 획득한 한 장의 Light Probe 영상으로부터 실내환경과 같은 제한된 공간을 배경으로 자연스러운 영상 합성을 위해 실내에 존재하는 광원들의 공간좌표를 추정함으로써 점 광원을 이용할 수 있는 방법을 제안한다. 2장에서 광원추정과 관련된 연구에 대해 설명하고 3장에서 제안하는 광원추정 방법에 대해 설명한다. 4장에서 실험 및 결과를 보이고 5장에서 결론을 기술한다.

### 2. 관련 연구

광원 추정 연구와 관련하여 실제 영상으로부터 조명조건과 반사특성 등을 추정하는 기법에 대한 연구가 여러 곳에서 활발히 진행되고 있다. 1975년에 진행된 'Ullman'(MIT)의 연구는 광원의 위치를 찾는 최초의 연구로서 영상에서 보여지는 하나의 광원에 대해 추정하는 방법이다. 먼저 광원추정을 하려는 영상을 여러 개의 패치로 나누고 나누어진 패치 중 인접해 있는 패치간의 광량의 세기를 비교하여 그 차이가 급격하게 나타나는 곳을 광원의 위치라고 제안하였다[1]. 그림1.은 하나의 점 광원만을 적용한 렌더링 결과를 보여준다. 이와 더불어 초기의 광원추정 연구는 영상에 나타나는 가장 중요한 하나의 광원을 복원하는데 초점을 두고 있는데, 이는 음영정보를 이용한 모양추정 기법(Shape form shading)이다. 하지만 실 세계의 조명은 매우 복잡하기 때문에 하나의 광원만으로 영상에 나타나 있는 모든 광원을 포함할 수 없기 때문에 사실적인 렌더링 결과를 얻을 수 없다[2]. 다수의 광원을 복원하는 최초의 연구는 1991년에 'Yang & Yuille'에 의해 진행된 연구이다[3]. 'Hougen'과 'Abuja' 또한 다수의 광원을 추정하는 연구를 진행 하였다. 이들은 신호처리와 환경 맵 샘플링을 이용하여 여러 개의 광원을 추정하는 연구를 수행하였다[4]. 여러 장의 영상을 이용하여 다수의 점 광원 위치를 추정하는 방법은 2001년 'Mark W.Powell et al.'의 연구에서 찾아 볼 수 있다 [7]. 이들은 광원 추정을 위해 3개의 원형 오브젝트로 고

안된 특별한 장치를 이용하여 각 객체에 맺힌 반짝이는 부분을 추정하고 그 위치의 입사각과 반사각을 이용하여 임의의 광원의 위치를 추정하였다. 하지만 여러 장의 영상과 특수한 실험장비를 요구하기 때문에 그 방법과 사용 범위가 제한 된다.

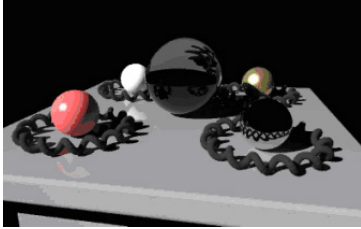


그림 1. 하나의 점 광원을 적용한 결과

가장 사실적인 결과를 얻을 수 있는 방법은 Paul Debevec이 제안한 HDRI (High Dynamic Range Image)를 이용한 'High Dynamic Radiance Map'을 이용하는 것이지만, 앞에서 언급한 것처럼 획득과 처리과정 및 렌더링에 일정시간이 필요 된다. HDRshop의 플러그인으로 제공되는 소프트웨어인 'Light Gen'을 이용하여 HDR 영상의 광원을 추정할 수 있는데 추정된 결과는 일관성이 없고 일부 영역에 국한되는 문제가 발생한다[5].

본 연구에서는 단일 영상(Low Dynamic Range Image)으로부터 일관성 있는 광원을 추정하기 위해 사용자의 개입을 최소화 하고 재귀적인 방법을 적용하지 않는 기법으로 소수의 광원을 추정하였다.

### 2.1 광원의 종류와 특성

현실 세계에 존재하는 광원은 방향성, 점 그리고 집중 (spotlight) 광원 등으로 구분할 수 있다. 자연현상에 존재하는 태양과 달 같이 무한대의 거리에서 빛을 발산하는 객체에 대한 광원을 방향성 광원이라 할 수 있고, 실내환경에 존재하는 백열등, 형광등의 경우 공간 좌표가 나타나는 점 광원으로, 야간 경기장과 무대에 설치되는 조명등을 집중광원이라 할 수 있다. 각각의 광원의 종류에 따라 영상에 음영을 주는 효과와 그림자 효과 등이 다르게 나타난다. 그림 2. 는 각각의 광원에 따른 효과를 보여준다.



그림 2. 광원의 종류

방향성 광원과 달리 점 광원과 집중 광원을 사용하기 위해서는 광원이 위치하는 공간 좌표를 알고 있어야 한다. 본 논문에서는 이러한 광원들의 좌표를 추정하기 위해 mirrored ball이 촬영된 단일 영상으로부터 제한된 실내

공간에 존재하는 광원들의 위치를 추정하기 위한 방법을 제안하고자 한다.

### 3. 광원추정 방법

광원의 정보를 추정하기 위해 일반적으로 배경영상의 광원 정보를 추정할 수 있는 객체를 사용한다. 본 실험에서는 광원 추정을 위한 객체로 전 방향의 모든 정보를 표현할 수 있는 Mirrored ball을 사용하였다. 광원을 추정하고자 하는 공간에 미리 객체를 설치하고 촬영을 통해 획득한 영상으로부터 광원의 정보를 추정한다. 설치된 객체로 입사되는 정확한 광원의 방향성을 추정하기 위해 사용되는 카메라와 객체는 평행하게 위치되어야 한다.

획득한 영상으로부터 광원의 정보를 포함하고 있는 Light Probe의 영역을 검출하고 이를 이용하여 광원의 방향성 벡터와 색 및 광원의 세기를 추정한다. 광원추정은 전처리 과정으로 배경영상으로부터 Light Probe 영역을 검출하고 영상처리를 한 후 영역내의 High Light 부분만을 분할 하여 광원의 방향성을 계산하고 방향성 벡터와 제한된 실내환경의 평면과의 교차점을 추정하여 3차원 공간 좌표를 계산한다. 광원 추정 과정은 그림 3에서 보여지는 것과 같다.

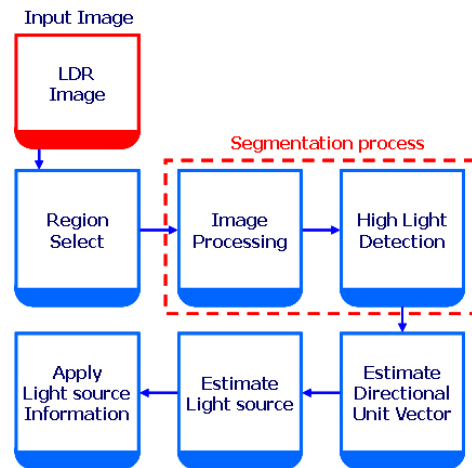


그림 3. 광원 추정 과정

#### 3.1 입력 영상 전처리

가장먼저 촬영된 배경영상에서 광원정보를 담고 있는 객체인 Mirrored ball영역을 검출해야 한다. 본 실험에서는 정확한 검출을 위해 사용자가 객체의 영역을 지정하여 검출하였다. 배경영상 촬영에 사용되는 장비의 해상도에 따라 검출된 영역의 크기가 다를 수 있고, 낮은 해상도에서 나타나는 객체의 크기가 작은 경우 정확한 정보를 얻을 수 없기 때문에 선택된 영역을 확대할 필요가 있다. 이를 위해 이중 선형보간 방법을 적용하여 확대한 후 광원추정에 이용하였다. 그림 4는 640x480 의 해상도의 영상에서 검출된 객체의 영역을 확대한 결과 보여준다. 본 실험에 사용된 영상에서 객체의 크기는 50x50 픽셀 정도로 작게 나타나기 때문에 상용가능한 한 크기로 확대하는 과정이 필요하다. 영상을 확대하기 위해 이중선형보간 알

고리즘을 적용하였다.

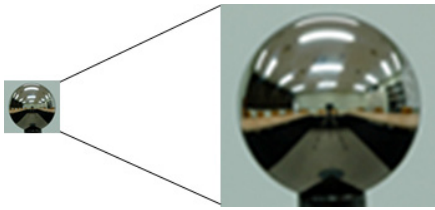


그림 4. 광원 추정을 위한 영상 확대

확대된 영상은 계산을 용이하게 할 수 있도록 위도/경도 맵으로 변형하여 사용한다. HDRshop을 이용하여 변형 할 수 있다[5]. 그림 5는 mirrored ball 영상을 위도/경도 맵과 cube 맵으로 변형한 결과를 보여준다.



그림 5. 변형된 영상 결과

### 3.2 영역 분할 및 클러스터링

영상에서 광원이 존재하는 부분은 밝게 나타나는 영역들이다. 그렇기 때문에 소수의 광원을 효율적으로 추정하기 위해 입력 영상을 밝은 영역과 어두운 영역으로 분할하고 밝은 영역으로부터 광원 정보를 추정한다. 밝은 영역과 어두운 영역을 분할하기 위해서는 경계 값이 필요하다. 하지만 각각의 영상에 대한 경계 값이 모두 다르기 때문에 사용자의 개입이 필요하게 된다. 이러한 개입을 제거 하기 위해 FCM (Fuzzy C-Mean Clustering) 기법을 적용하여 영상의 경계 값을 자동적으로 계산할 수 있다. FCM의 입력 값은 입력영상의 R,G,B 값이며 이를 기반으로 경계 값을 계산한다. 그림6은 FCM 알고리즘의 처리 과정을 보여준다[6].

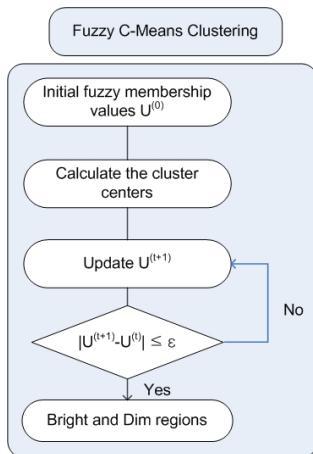


그림 6. FCM 처리 과정

( U : fuzzy membership function )

FCM 알고리즘을 이용하여 경계 값을 계산할 수 있지만 전체적으로 밝은 영상이나 광원으로 추정되는 부분과 비슷한 값을 갖는 영역들이 많이 존재하는 경우 그림 7과 같이 실제 광원이 위치하는 영역만을 추정할 수 없다.



그림 7. FCM 알고리즘을 이용한 밝은 영역 분할 결과

이러한 문제점을 해결하기 위해 FCM 입력 영상에 전처리 과정을 적용한다. 영상의 밝기 값을 나타내는 커브를 조절함으로써 밝은 영역에 대한 정보를 유지하고 광원이 존재하지 않는 어두운 영역들의 정보들을 낮출 수 있다. 전처리 과정을 거친 영상에 FCM 알고리즘을 적용한 결과를 그림 8에서 볼 수 있다.



그림 8. 전 처리를 거친 영상의 분할 결과

영역 분할을 위한 흐름도는 그림 9와 같다.

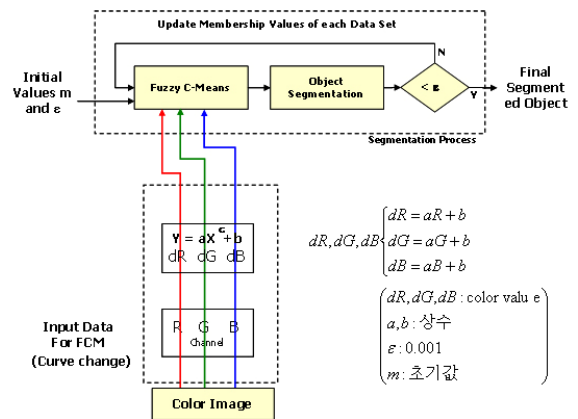


그림 9. 영상분할 흐름도

앞에서 언급한 방법들을 이용하여 밝은 영역들이 나타나는 위치 정보를 알 수 있지만 각 영역들에 대한 연결 정보가 포함되어 있지 않다. 분할된 각각의 영역들에 대

한 광원 정보를 추정하기 위해서는 연관성 있는 영역별로 그룹을 생성하기 위한 labeling 과정을 수행한다. 이를 위해 'Glass Fire' 알고리즘을 적용하였으며 그림 10은 이를 통해 그룹이 생성된 결과를 pseudo color를 이용하여 표시하고 있다[8].

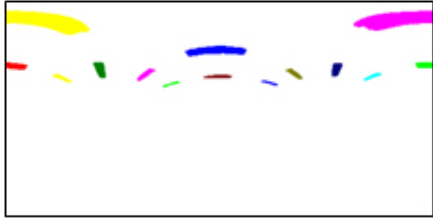


그림 10. 분할된 영역들의 Labeling 결과

### 3.3 광원 정보 추정

렌더링에 필요한 광원의 정보는 광원의 색과 세기, 그리고 방향성, 점, 집중 광원 등의 종류이다. 본 실험을 통해 각각의 광원에 관한 종류를 추정할 수는 없기 때문에 추정된 방향성을 기반으로 실내에 존재하는 대부분의 광원이 점 광원으로 존재한다는 가정을 두고 광원의 정보를 추정하였다. 먼저 광원의 색은 Labeling 된 영역의 평균 R,G,B 값을 이용하여 계산한다. 광원의 세기는 수식(1)을 통해 계산할 수 있다.

$$I = 0.2152R + 0.7154G + 0.0721B \quad (1)$$

광원의 위치는 선택된 영역의 각 픽셀의 밝기 정도에 따라 위치가 정해진다. 수식 (2)를 적용하여 각 픽셀에 대한 가중치 (w)를 계산하고 이를 기반으로 영역 안에 추정된 광원의 x, y좌표를 계산할 수 있다.

$$w_i^j = \frac{I_i^j - I_{\min}^j}{I_{\max}^j - I_{\min}^j}, (x, y)_j = \frac{\sum_{i=1}^N (x, y)_i \times w_i^j}{\sum_{i=1}^N w_i^j} \quad (2)$$

$\left( \begin{array}{l} I : \text{intensity, } j : \text{region, } i : \text{pixel} \\ I_{\max}^j : \text{maximum value of } j \text{ region} \\ I_{\min}^j : \text{minimum value of } j \text{ region} \end{array} \right)$

그림 11은 입력영상으로부터 추정된 광원들의 위치하는 나타낸다.

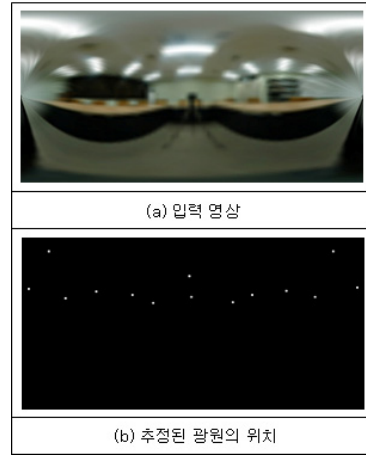


그림 101. 추정된 광원의 위치

영상 안에 나타나 있는 광원들의 위치가 추정되면 이를 이용하여 각각의 광원의 방향성을 추정할 수 있다. 3.1절에서 언급하였듯이 변형된 위도/경도 맵의 정보들은 mirrored ball의 정보와 일치 하기 때문에 추정된 좌표로부터 이에 해당하는 방향성을 계산할 수 있다. 그림 12는 원형 맵과 위도/경도 맵간의 관계를 나타내고 있다.

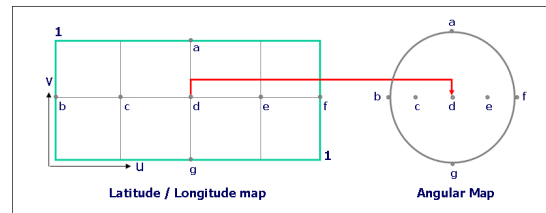


그림 11. 원형 맵과 위도/경도 맵

추정된 광원의 x,y 좌표로부터 수식 (3)을 이용하여 좌표에 해당하는 방향성을 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= \sin(\pi u) \cos(2\pi v) \\ y &= -\cos(\pi v) \\ z &= \sin(\pi v) \sin(2\pi u) \end{aligned} \quad (3)$$

### 3.4 광원 공간 좌표 추정

실내 환경에 적합한 광원을 이용하기 위해서는 점 광원에 관한 정보를 알아야 한다. 앞 절에서 추정된 광원의 방향성과 실내 환경의 공간 정보를 이용하여 점 광원의 좌표를 추정할 수 있다. 광원을 추정하는 실내환경이 모두 다르기 때문에 사용자가 실내환경의 공간 좌표를 입력하여 사용한다. 입력된 공간 좌표로부터 6면체 실내 공간의 평면을 생성할 수 있고 생성된 평면과 추정된 광원의 방향성의 교차점을 계산하여 광원의 공간 좌표를 추정한다. 그림 12를 통해 설명을 보충한다.

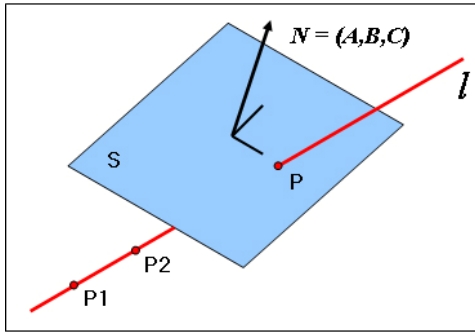


그림 12. 평면과 선의 교차 점

추정된 방향성 벡터를 라인 L이라 하고 평면 S를 실내의 한 면이라 하면 교차점 P는 수식 (3)과 같이 정의 될 수 있고, 미지수 u 는 수식 (4)에 의해 계산 할 수 있다. p<sub>1</sub> 은 mirrored ball의 원점을 나타내며 p<sub>2</sub>는 mirrored ball에 나타나는 광원의 위치이며 p<sub>2</sub> - p<sub>1</sub> 은 추정된 방향성 벡터로 계산한다.

$$p = p_1 + u(p_2 - p_1) \quad (3)$$

$$u = \frac{Ax_1 + By_1 + Cz_1 + D}{A(x_1 - x_2) + B(y_1 - y_2) + C(z_1 - z_2)} \quad (4)$$

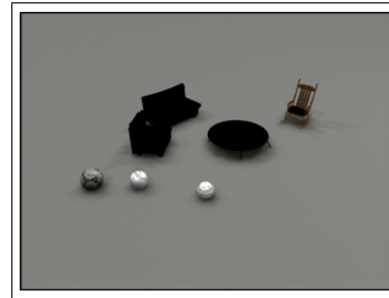
### 3.5 주변 광 계산

임의의 광원이 존재한다고 가정할 때 임의의 객체에 나타나는 광원 효과는 광원에 대한 직접 적인 효과와 난 반사 되어 나타나는 간접적인 효과로 구분 될 수 있다. 영상에 맺힌 모든 정보를 광원으로 생각하고 이를 적용할 수 있지만 많은 계산시간이 요구 되기 때문에 밝은 영역에서 직접적인 효과를 나타내는 주 조명을 추정하고 추가 적으로 어두운 영역으로 분할된 정보를 이용하여 주변 광에 대한 계산을 한다. 간접 적인 영향을 주는 주변광원은 수식 (5)에 의해 계산 하였다.

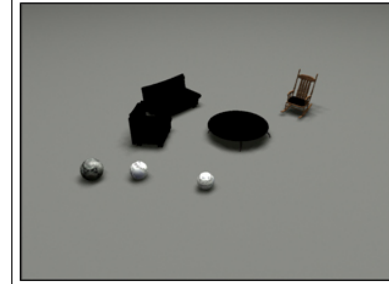
$$\text{ambient} = \sum_{i=0}^{N \times M} P_i(r, g, b) / N \times M \quad (5)$$

## 4. 실험 및 결과

3장 에서 설명한 광원 추정 방법으로 입력영상에 대한 소수의 방향성 광원과 점 광원을 추정하고 이를 가상의 환경에 적용하여 광원에 대한 효과를 실험 결과로 생성하였다. 광원의 수는 입력 영상에 나타나는 광원에 따라 다르게 나타날 수 있으며 사용자에게 의해 중요도에 따라 광원의 수를 제한할 수 있다. 상용 소프트웨어인 Maya 7.0 을 이용하여 결과를 생성하였으며 그림 13은 입력 영상으로부터 추정된 (a)방향성 광원과 (b)점 광원을 적용한 렌더링 결과를 보여준다.



(a) 방향성 광원을 적용한 결과



(b) 점 광원을 적용한 결과

그림 13. 추정된 광원정보를 이용한 렌더링 결과

방향성 광원과 점 광원의 효과에 따라 그림자가 생성 되는 결과가 다르게 나타나며 생성되는 그림자 효과의 차이는 그림 14를 통해 볼 수 있다.

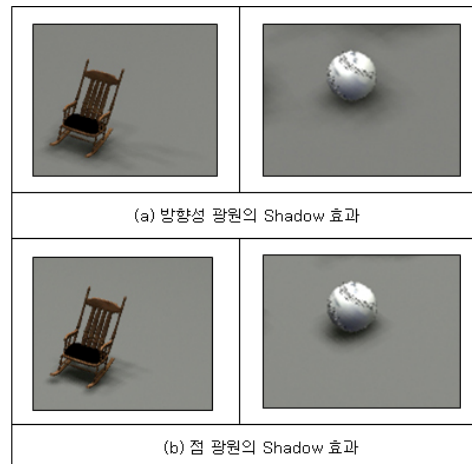


그림 14. 광원에 따른 Shadow 효과

## 5. 결론

본 논문에서는 단인 영상을 기반으로 제한된 실내 환경에 대한 조명 조건을 추정하는 기법을 제안하였다. 추정된 결과는 환경에 따라 방향성 광원과 점 광원의 정보를 나누어 사용할 수 있으며 가상의 환경에 적용하여 각 광원의 효과를 나타낼 수 있었다. 방향성 광원과 달리 점 광원을 이용할 경우 사용자가 입력하는 실내 환경의 크기에 따라 추정되는 결과가 크게 달라질 수 있기 때문에 광원 효과 또한 다르게 나타날 수 있다. 결과 영상에서 보여지듯이 추정된 점 광원을 이용하여 부드러운 그림자 효과를 생성할 수 있었다. 하지만 한 장의 LDR 영상의 정

보만을 이용하여 추정하였기 때문에 정확한 광원의 색과 세기를 추정할 수는 없었다. 실험에 사용된 영상에 나타난 형광등과 같이 가늘고 긴 광원에 대한 효과를 극대화하기 위해서 다양한 광원의 특성을 파악할 수 있다면 좀 더 좋은 결과를 생성할 수 있을 것이다.

## 6. 감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 실감방송 연구센터를 통한 정보통신부 대학 IT 연구센터(ITRC) 사업의 지원과 광주과학기술원 실감콘텐츠 연구센터(ICRC) 및 문화기술연구센터의 지원에 의한 것 입니다.

## 참고문헌

- [1] Ullman, S., On Visual Detection of Light Sources, Artificial Intelligence Memo 333, MIT (1975).
- [2] HORN B., BROOKS M.: Shape and source from shading. In IJCAI85(1985), pp. 932-936 .
- [3] Yang, Y., Yuille, A., Source from Shading, Proceedings of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (1991), pp.534-539.
- [4] HOUGEN D., ABUJA N.: Estimation of the light source distribution and its use in integrated shape recovery from stereo and shading. In IEEE 4th Int. Conf. On Computer Vision (1993), pp. 148-155.
- [5] P.E DEBEVEC, HDRshop a HDRI processing Tool : <http://www.debevec.org/HDRshop>
- [6] Y.W. Lim, S.U. Lee,: On the color image segmentation algorithm based on the thresholding and fuzzy C-means techniques, Pattern Recognition 23 (9) (1990) pp.935-952.
- [7] Mark W. Powell, : A Simple Strategy for Calibrating the Geometry of Light Sources, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (2001), Volume23, pp.1022-1027.
- [8] Harlick, Robert M., and L.G. Shapiro,: Computer and Robot Vision, Volume I, (1992) pp.22~48.