

# 공간 증강 현실 기반 교육용 콘텐츠 전시 시스템

## Spatial Augmented Reality for Educational Content Display System

김정훈, JungHoon Kim\*, 이영보, YoungBo Lee\*\*, 김기현, KiHyun Kim\*\*,  
윤태수, Taesoo Yun\*\*, 이동훈, DongHoon Lee\*\*\*

**요약** 본 논문에서는 사용자의 직관적인 상호작용을 통하여 효과적인 정보 획득이 가능하도록 하기 위한 방안으로 멀티터치스크린과 접목된 공간 증강 현실 기반 교육용 콘텐츠 전시 시스템을 제안한다. 기존 시스템의 경우 사용자와 시스템의 상호작용은 단순히 버튼 및 스위치 조작을 통하여 다음 단계로 넘어가는 것에 불과하여 실질적인 학습 효과는 기대하기 어려운 수준이었다, 하지만 본 논문에서 제안하는 교육용 콘텐츠 전시 시스템에서는 단순한 버튼 조작이 아닌 콘텐츠진행에 알맞은 사용자의 움직임을 통하여 진행을 함으로써 보다 효과적인 상호작용이 가능하도록 한다. 또한, 본 시스템은 영상을 출력하는 방법으로 공간 증강 현실 기법을 활용함으로써 사용자의 호기심을 유발 시키며, 사실감 있는 시각정보를 제공함으로써 효과적인 정보 전달이 이루어지도록 한다.

**Abstract** This paper proposes a educational content display system based on spatial augmented reality with a multi-touch screen for effective learning with intuitive interaction. It is hardly expected that the existing display systems have major learning effects because the user-system interaction can only be achieved through buttons or switches. In contrast, the system proposed by this paper ensures more effective interaction through the user's movement, not through buttons or switches. This system uses a spatial augmented reality method to display images, thereby attracting the users' attention. In addition, it ensures the effective dissemination of information by providing visual images that are more realistic.

**핵심어:** 증강 현실, 공간 증강 현실, 교육용 콘텐츠, 멀티터치스크린, 전시시스템

### 1. 서론

컴퓨터 그래픽스의 발전과 더불어서, 사용자는 보다 현실감 있는 영상을 통하여 정보를 획득하기를 원하게 되었다. 하지만 실사영상 및 3D 그래픽스영상을 2D로 구성된 일반 화면에 출력하는 것은 더 이상 효과적인 정보 전달 방법이 아니다. 더욱이 일반적으로 시스템과 사용자간의 상호작용을 위한 방법으로 단순한 버튼이나 스위치를 사용할 경우, 다양한 상호작용이 불가능 하며 일반적인 터치 패널의 경우 제어 가능한 입력 방법이 한정적이며, 터치 패널의 크기에 따른 큰 제약이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 멀티터치스크린과 접목된 공간 증강 현실 기반 교육용 콘텐츠 전시 시스템을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 반투명 거울 기반 공간 증강 현실 디스플레이 환경을 구축하여 사용자의 호기심을 유발 시키고 사실감 있는 시각정보를 제공함으로써 효과적인 정보 전달이 이루어지도록 한다. 빔 프로젝터와 적외선 LED를 사용하여 멀티 터치스크린 환경을 조성하여 별도의 장비를 사용하지 않고도 사용자가 직접 콘텐츠와 상호작용을 함으로써, 콘텐츠에 보다 몰입 할 수 있도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 제안하는 시스템을 위한 기본적인 구성과 필요 기술에 대하여 서술하고, 3장에서는 적용한 알고리즘에 대하여 자세히 설명한다. 4장에서는 구현 및 실험 결과에 대하여 살펴봄, 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 과제에 대해서 기술한다.

본 논문은 2007년 산학협동재단 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

\*주저자 : 동서대학교 디자인&IT 전문대학원 소프트웨어학과 석사과정 e-mail: melc81@gmail.com

\*\*공동저자 : 동서대학교 디자인&IT 전문대학원 영상콘텐츠학과 석사과정 e-mail: golyb@daum.net, khkim@dit.dongseo.ac.kr

\*\*공동저자 : 동서대학교 디지털콘텐츠 교수 e-mail: tsyun@dongseo.ac.kr

\*\*\*교신저자 : 동서대학교 디지털콘텐츠 교수 e-mail: dhl@dongseo.ac.kr

## 2. 시스템 구성

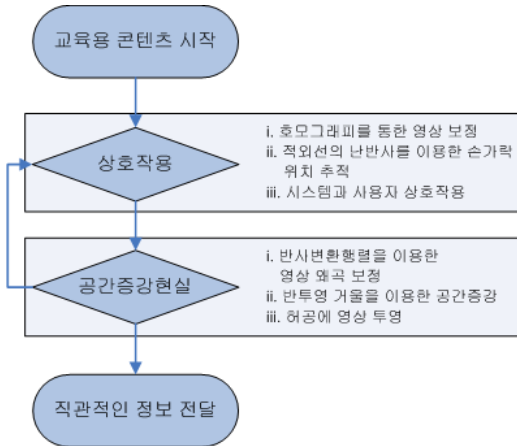


그림 1. 시스템 구성도

본 논문에서 제안하는 시스템의 전체적인 구성은 그림 1과 같다. 교육용 콘텐츠가 시작 되면, 테이블 형태로 제작되어진 멀티터치스크린을 통하여 사용자는 정보를 획득함과 동시에 콘텐츠 진행과 연관된 동작을 통하여 시스템과 상호작용을 할 수 있다. 시스템은 사용자 손가락의 움직임을 적외선 영역의 영상으로 입력 받는다. 이때 적외선 카메라를 통하여 입력되는 영상의 왜곡을 보정하기 위하여 호모그래피 행렬(Homography Matrix)을 사용한다. 이렇게 입력된 사용자의 명령에 해당하는 결과는 공간증강 기법을 통해서 확인한다. 이때, 공간증강 기법을 위해 사용되어지는 기울어진 반투명 거울로 인하여 발생하는 영상의 왜곡은 반사변환 행렬(Reflection Matrix)을 사용하여 보정한다. 그 결과 거울에 반사되어 보이는 영상을 관람자는 거울 속 실제 공간상에 존재하는 사물로 인지하게 되며, 자신의 직접적인 행동에 반응하여 실감나는 결과 영상을 보여주는 콘텐츠 전시 시스템을 통하여 직관적인 정보 전달이 가능해진다.

## 3. 구성 알고리즘

### 3.1 멀티터치스크린

기존의 터치스크린의 경우, 일반적으로 많이 사용되는 방법으로 스크린의 좌측면에서 적외선을 방출하고 우측면에서 손가락에 의해서 가려지는 곳을 인지하여 손가락과 스크린의 접촉이 이루어지는 곳의 y좌표를 설정하고, 같은 방법으로 x좌표를 설정하는 방식이다. 그 외에 일반적인 화면에 압력 센서를 설치하여, 손가락이 스크린을 접촉 시에 눌리는 압력이 발생하는 하는 곳의 좌표를 계산하는 방법이다. 이러한 기존의 두 가지 방법은 이미 많은 곳에서 사용되기 때문에 기술적으로 활용하기는 쉽지만, 스크린의 크기에 따라서 문제가 발생하거나 고가의 비용이 든다는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하기 위한 방법으로 손가락 대신에 팬 모양의

특수한 장치를 화면에 접촉 시에 전기신호를 발생하여 좌표를 획득하는 이용한 방법이 있다. 하지만 이러한 경우 다수의 사람들이 동시에 사용하기 힘들다는 단점이 있다.

이러한 문제점을 효과적으로 해결하기 위한 방법으로 별도의 특별한 도구 없이도 대형의 스크린에서 상호작용을 하기위한 방법으로 적외선의 난반사를 이용한 방법을 사용한다. 우선 스크린으로 활용할 투명한 아크릴판에 빔 프로젝터의 영상을 투영시키기 위한 방법으로 아크릴판의 한쪽 면에 후사투영이 가능한 스크린(Rear-Screen)을 완전히 밀착 되도록 부착한다. 스크린이 부착된 면이 테이블의 하단을 향하도록 설치하고 빔 프로젝터를 테이블 하단에서 아크릴판 방향으로 투영시킴으로써 사용자는 선명한 영상을 확인 할 수 있다.

적외선을 이용하여 시스템과 상호작용을 하기 위하여, 그림 2와 같이 아크릴판 측면에 적외선 LED를 설치한다.

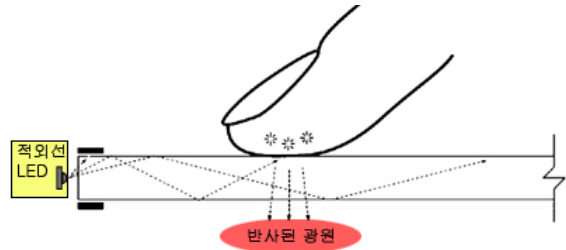


그림 2. 적외선이 난반사되는 아크릴의 단면

각각의 LED들은 아크릴 측면에 적외선을 방출하게 되고 그 결과 아크릴판의 두께에 해당하는 공간상에서 적외선은 난반사를 일으키게 된다. 이때, 사용자가 입력을 위하여 아크릴판에 손가락을 접촉하게 되면 해당 부위에 적외선들은 기존과 다른 난반사 형태를 띠게 되는데, 이런 형태를 테이블 하단에 설치된 적외선 카메라로 관찰 할 경우 뚜렷한 형태로 구분 지을 수 있다. 보다 확실하게 손가락 주변의 경계를 계산하기 위하여 본 논문에서는 적외선 카메라로 입력되는 영상을 2진화하여 각각의 영역을 Blob으로 처리 하고 해당 Blob을 Labeling하여 각각의 좌표를 계산한다.

하지만 이때 스크린을 바라보는 적외선 카메라를 스크린과 수직으로 설치하는 것은 사실상 무리가 따른다. 이런 경우 사실상 그림 3(a)와 같은 직사각형의 스크린영상은 그림 3(b)와 같이 사다리꼴의 형태로 입력이 된다.

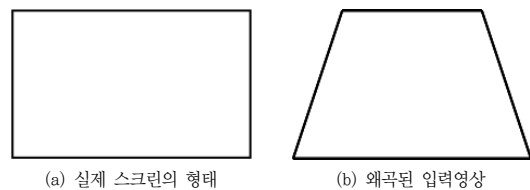


그림 3. 카메라로 인하여 발생한 영상 왜곡

이러한 경우 왜곡되어 입력된 영상을 기반으로 손가락의 위치 좌표를 계산하여 화면의 좌표로 적용하는 것은 올바른 결과를 얻을 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 호모그래피 행렬을 적용한다.

어느 한 평면에 대하여 그 평면 위에 있는 점과 다른 한 평면의 대응점은 3 x 3 행렬로 표현이 가능하다. 여기에서 3 x 3 행렬은 두 평면 사이의 사영 변환 관계를 나타내는데, 이것을 호모그래피라고 한다. 그러한 호모그래피 행렬을 사전식으로 배열한 9 x 1 벡터를 평면 위에 있는 점과 다른 한 평면의 대응점을 조합한 n x 9 행렬에 곱하면 0이 된다. 이 과정에서 호모그래피 행렬을 사전식으로 배열한 9 x 1 벡터는 SVD (Singular Value Decomposition)를 통해 구할 수 있다. 하지만 여기서 평면 위에 있는 점과 다른 한 평면의 대응점을 조합한 n x 9 행렬은 정방 행렬이 아니기 때문에 SVD를 바로 적용 할 수 없다. 이를 해결하기 위하여 유사역원을 이용한다.

$$X_i = (x_i, y_i, z_i)^T,$$

$$X_i = (x'_i, y'_i, z'_i)^T,$$

$$X'_i = HX_i,$$

(1)

$$X'_i = \frac{1}{z'_i} \begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \\ z'_i \end{pmatrix}, H = \begin{bmatrix} h1 & h2 & h3 \\ h4 & h5 & h6 \\ h7 & h8 & h9 \end{bmatrix}, X_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix},$$

(\*  $z_i = 1$ )

$$Ah = 0.$$

수식(1)과 같이  $Ah = 0$ 에서  $h$ 는  $H$ 행렬을 사전식으로 배열한  $9 \times 1$  벡터이며,  $A$ 는  $X$ 와  $X'$ 를 조합한  $n \times 9$  ( $n \geq 4$ ) 행렬이다. 여기서  $h$ 는 SVD를 통하여 계산을 하며, 호모그래피 행렬인  $H$ 는  $A^T A$ 의 가장 작은 고유값에 해당하는 고유벡터들로 구성된다.

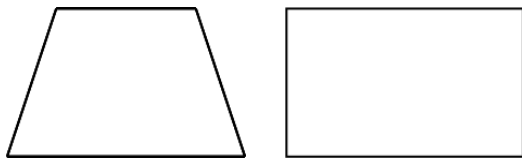


그림 4. 호모그래피 행렬을 이용한 왜곡 영상 보정

위와 같이 호모그래피 행렬을 사용하여 그림 4와 같이 영상의 왜곡을 보정하고, 사용자의 손가락이 스크린과 접촉하는 부분을 계산하여 스크린의 입력 좌표로 적용을 한다.

## 2.2 공간 증강 현실 디스플레이

본 시스템에서는 공간 증강 현실영상을 원하는 위치에 출력하기 위해 공간 증강 현실(Spatial Augmented Reality)의 기법 중 반투명 거울을 이용한 방법을 사용한다.

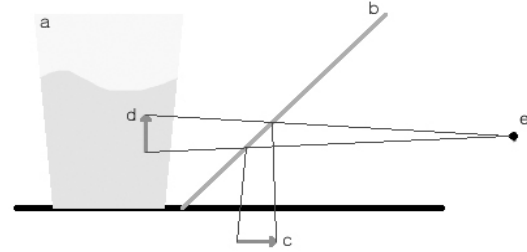


그림 5. 공간 증강 현실 시스템 구성

그림 5(e)위치의 관찰자는 그림 5(b)의 반투명 거울을 통해서 내부에 설치되어 있는 그림 5(a)의 수족관을 바라보게 되며, 이때 거울은 내부에 있는 수족관뿐만 아니라 하단에 설치되어 있는 모니터의 영상인 그림 5(c) 또한 보게 된다. 이때 모니터에서 출력되는 영상은 거울에 반사되어 관찰자의 시야에 들어오게 되는데, 관찰자의 입장에서 모니터의 영상이 그림 5(d)와 같이 거울 안쪽에 설치되어 있는 수족관 속에 존재하는 피사체로 인식하게 된다.

위와 같이 반투명 거울을 이용하여 공간 증강 현실 환경을 제작할 경우, 고려해야 하는 사항이 있다. 거울에 비춰진 영상은 설치되어 있는 거울이 특정 각도가 아닐 경우 기울기에 의한 왜곡이 발생 할 수 있다. 왜곡이 발생하지 않는 기울기는 실제로 영상이 디스플레이 되는 면과 거울의 면이 45도를 이룰 때 한해서 이기 때문에 일반적인 상황에서는 많은 제약이 따르게 된다. 소형 시스템의 경우 45도로 기울어져 설치되어 있는 거울은 큰 문제가 되지 않지만, 대형화될수록 45도로 기울어진 거울은 시스템 설계에 여러 가지 제약사항이 된다. 이와 같은 거울의 기울기와 관련된 문제를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 반사 변환 행렬 (Reflection Matrix)을 사용한다.

반사 변환 행렬을 사용할 경우, 시스템에 설치되는 거울의 기울기에 따른 왜곡을 사전에 미리 계산하여 영상을 출력 시에 왜곡될 영상을 반대로 보정하여 거울에 영상을 투영시킴으로써 사용자가 왜곡되지 않은 올바른 영상을 관람할 수 있도록 하는 것이다.

$$R = \begin{bmatrix} 1-2a^2 & -2ab & -2ac & -2ad \\ -2ab & 1-2b^2 & -2bc & -2bd \\ -2ac & -2bc & 1-2c^2 & -2cd \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

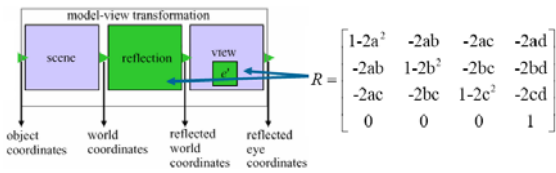


그림 6. 모델 뷰 변환 과정에 적용된 반사 변환 행렬

본 시스템에 적용한 반사 변환 행렬은 컴퓨터 그래픽스 분야에서 널리 사용되고 있는 OpenGL의 모델 뷰 변환 과정(Model-view Transformation)에서 적용되어 사용한다.

수식 2의  $a, b, c, d$ 는 일반적인 평면의 방정식을 통하여 계산할 수 있다. 반투명 거울이 바라보는 법선 벡터  $a, b, c$ 와 반투명 거울상에 존재하는 임의의 점  $x, y, z$ 와 원점  $0, 0, 0$ 이 있을 경우 평면의 방정식은  $ax + by + cz + d = 0$ 과 같다. 즉, 평면의 방정식을 이용하면 기울어진 거울로 인하여 생길 수 있는 왜곡을 보정하기에 알맞은 반사 변환 행렬을 구할 수 있다.

일반적인 OpenGL에서는 물체별로 모델링에 편하게 설정된 좌표계가 모델 좌표계(Object Coordinates)이다. 개별 물체를 모았을 때 이를 한꺼번에 아우를 수 있는 좌표계가 전역 좌표계(World Coordinates)이며, 물체를 바라보는 시점을 기준으로 표현한 것이 시점 좌표계(Eye Coordinates)이다. 하지만 반사 변환 행렬을 적용 시킬 경우 전역 좌표계와 시점 좌표계에 작은 변화가 생긴다.

앞에서 설명한 바와 같이 생성된 전역 좌표계에 반사 변환 행렬을 적용하여 반사된 전역 좌표계(Reflected World Coordinates)를 생성하고, 기존에 계산되어진 시점 좌표계 또한 새로운 반사된 시점 좌표계(Reflected Eye Coordinates)로 사용하게 된다.

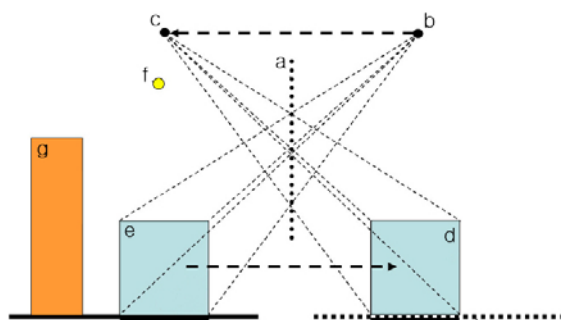


그림 7. 반투명 거울을 이용한 공간 증강의 원리

그림 7(a)에서와 같이 반투명 거울을 설치한 경우 관찰자는 그림 7(b)의 위치에서 사물을 관망하게 되는데 앞서 계산되어진 결과 값에 따라서 반사된 시점 위치인 그림 7(c)의 위치에서 바라보는 것으로 영상을 그림 7(d)의 위치에 출력한다. 그 결과 관찰자는 투영되는 영상이 그림 7(e)에 존재하는 것으로 느끼게 된다. 이때 실제 전시공간상에 설치되어 있는 그림 7(f)인 조명을 이용하여 실제 전시되어있는 사물

인 그림 7(g)와 가상의 사물간의 이질감을 줄일 수 있다.

#### 4. 구현 및 실험 결과

본 논문에서 제안하고 있는 시스템은 펜티엄IV 1,8GHz, 2GB 램이 설치된 시스템에서 Microsoft Visual C++, OpenCV 및 Adobe Flash를 이용하여 구현하였다. 적외선을 조명을 위해서 Osram 880NM 적외선 LED를 사용하였다. 그리고 적외선 영상만 입력 받기 위한 방법으로 850NM의 적외선 필터를 사용하였으며, 효과적으로 적외선 영역의 영상을 입력 받기 위하여 카메라 CCD전면에 부착되어 있는 적외선 차단 필터를 제거하여 실험에 사용하였다.

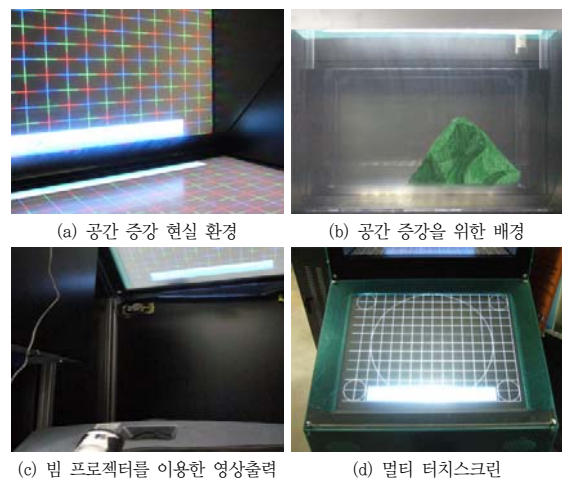


그림 8. 제안하는 시스템을 위한 디스플레이 구성

그림 8(a)와 같이 반투명 거울을 이용한 공간 증강 현실 환경을 조성하고, 그림 8(b)와 같이 거울 뒤에 실제 사물을 배치하여 공간 증강을 위한 배경환경을 생성한다. 멀티 터치스크린을 위하여 그림 8(c)와 같이 빔 프로젝터를 설치하고, 앞서 설명한 바와 같이 적외선 LED가 설치되어있는 아크릴 판을 부착 후 리어스크린을 이용하여 빔 프로젝터 영상이 투영되도록 한다. 이렇게 설치되어진 그림 8(d)의 멀티 터치스크린을 이용하여 본 시스템의 상호작용을 이루어 낸다.



그림 9. 적외선의 난반사를 이용한 손가락 접촉면 인식 및 해당 영역 Blob처리 결과

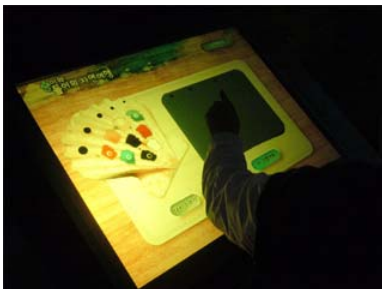
앞서 언급한 바와 같이 멀티 터치스크린을 통한 상호작용을 하기 위하여 우선적으로 손가락과 아크릴판의 접촉이 이

루어지는 곳의 좌표를 검출해야 한다. 이를 위하여 그림 9(a)와 같이 손가락을 아크릴 판에 접촉하면 손가락의 위치에서 적외선이 난반사 되어 카메라로 입력되는 모습을 볼 수 있다. 이렇게 검출된 영상을 이진화 하여 보다 정확한 영상을 생성하고, 그림 9(b)와 같이 Blob처리 하여 손가락의 좌표를 계산한다.

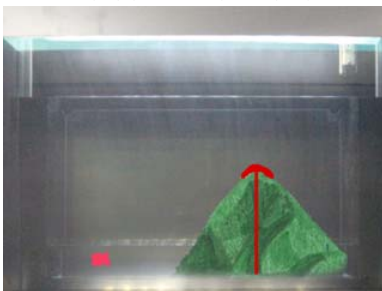


그림 10. 호모그래피 행렬을 이용한 왜곡된 영상 보정

앞에서 설명한 바와 같이 왜곡이 발생한 카메라 영상을 보정하기 위하여 호모그래피 행렬을 사용한다. 이때, 호모그래피 행렬을 계산하기 위하여 네 곳의 좌표입력이 필요하다. 이를 위해 그림 10에서와 같이 손가락을 이용하여 스크린의 각 모서리를 선택함으로써 계산이 이루어지고, 스크린의 형태에 알맞은 좌표 입력이 가능해진다.



(a) 멀티 터치스크린을 이용한 사용자 입력



(b) 사용자의 입력에 따른 결과를 보여주는 공간 증강 현실 환경

그림 11. 제안하는 시스템을 이용한 교육용 콘텐츠 진행 모습

본 논문에서 제안하는 시스템인 공간 증강 현실 기반 교육용 콘텐츠 전시 시스템을 통하여 학습을 하기 위해서는 우선 그림 11(a)와 같은 형태로 사용자의 입력을 받게 된다. 사용자는 자신과 전시 시스템의 상호작용에 대한 결과를 그림 11(b)와 같이 공간 증강 현실 환경으로 구성된 출력장치를 통하여 확인하게 됨으로써, 기존의 일반적인 형태의 학습 방법보다 효과적인 정보 전달이 가능해진다.

## 5. 결론

본 논문에서는 사용자의 측면에서 보다 흥미롭고 직접적인 방법으로 유용한 정보를 얻을 수 있는 방법으로 멀티터치스크린과 접목된 공간 증강 현실 기반 교육용 콘텐츠 전시 시스템을 제안하였다. 이를 위하여 빔 프로젝트의 영상을 스크린에 투영하고 적외선을 이용하여 사용자의 손가락 위치를 계산하여 좌표 값으로 연동하였으며, 공간 증강 현실 시스템과 접목하여 사용자에게 보여줌으로써, 사용자는 자신의 행동에 따라 진행되는 교육용 콘텐츠를 통하여 보다 흥미롭게 원하는 정보를 획득하는 것이 가능하게 되었다.

## 참고문헌

- [1] O. Bimber, B. Fröhlich, D. Schmalstieg, and L.M. Encarnação, "The Virtual Showcase," *IEEE Computer Graphics & Applications*, vol. 21, no.6, pp. 48-55, 2001.
- [2] Oliver Bimber and Ramesh Raskar, *Spatial Augmented Reality*, A K Peters, Ltd 2005.
- [4] Robert, T. C, "Mean-Shift Blob Tracking through Scale Space," *IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, vol.1, pp.234-240, 2003.
- [5] Dr. Krystian Mikolajczyk and Dr. Bastian Leibe, *Interest Point Detection and Matching*, Computer Vision Sommer semester 2005.
- [6] Richard Hartley and Andrew Zisserman, *Multiple View Geometry*, Cambridge 2000.