

감각형 증강현실 기반 상호작용 대안들의 비교

박상진 · 정호균 · 박형준[†]

조선대학교 산업공학과

Comparison of User Interaction Alternatives in a Tangible Augmented Reality Environment

Sang-Jin Park, Ho-Kyun Jung, and Hyungjun Park[†]

Department of Industrial Engineering, Chosun University

Received 31 August 2012; received in revised form 15 October 2012; accepted 22 October 2012

ABSTRACT

In recent years, great attention has been paid to using simple physical objects as tangible objects to improve user interaction in augmented reality (AR) environments. In this paper, we address AR-based user interaction using tangible objects, which has been used as a key component for virtual design evaluation of engineered products including digital handheld products. We herein consider the use of two types (product-type and pointer-type) of tangible objects. The user creates input events by touching specified parts of the product-type object with the pointer-type object, and the virtual product reacts to the events by rendering its visual and auditory contents on the output devices. The product-type object is used to reflect the geometric shape of a product of interest and to determine its position and orientation in the AR environment. The pointer-type object is used to recognize the reference position of the pointer (or finger) in the same environment. The rapid prototype of the product is employed as a good alternative to the product-type object, but various alternatives to the pointer-type object can be considered according to fabrication process and touching mechanism. In this paper, we present four alternatives to the pointer-type object and investigate their strong and weak points by performing experimental comparison of their various aspects including interaction accuracy, task performance, and qualitative user experience.

Key words: Augmented reality, Experimental comparison, Paper models, Rapid prototype models, Tangible objects, User-product interaction

1. 서 론

디지털 제품의 가상품평을 위해서는 가상환경에서 제품의 사실적인 시각화와 함께 다양한 평가

수단이 제공되어야 하며, 사용자와 가상제품 간의 직관적이고 자연스러운 상호작용 수단이 요구된다^[1]. 이를 위해 가상현실(virtual reality, VR) 기반 솔루션들이 적용되고 있으나^[2-4], 경제적 및 기술적 측면에서의 문제점들을 갖고 있으며, 이러한 문제점들을 해결하기 위한 시도로서 증강현실(augmented reality, AR) 기술^[5-9]이 대두되어 가상

[†]Corresponding Author, hzipark@chosun.ac.kr
©2012 Society of CAD/CAM Engineers

시작에 적용되고 있다. 그러나, AR 인터페이스가 공간 데이터의 시각화를 위한 자연스러운 환경을 제공하지만, AR 인터페이스만을 통해 가상 정보(모델 및 콘텐츠)와 상호작용하고 내용을 역동적으로 바꾸는 일이 어렵다. 따라서, AR과 TUI 접근방식의 장점들을 모두 채택한 감각형 증강현실(Tangible Augmented Reality)이 제안되고 있다^[7,8,10-12].

증강현실 상호작용 도구로서 RFID, 깊이 카메라(Depth Camera), 햅틱 장치 및 기타 기계적 장치가 이용되고 있으며^[6], Kato 등^[7]은 Table-Top 증강현실 환경에서 TUI(tangible user interface)를 이용한 가상모델을 다루는 방안을 제시하였다. 최근 Park 등^[10,11]은 저가의 비용으로 손쉽게 구축이 가능한 AR 기반 감각형 상호작용 방안을 개발하여 이를 휴대용 전자제품의 가상 디자인평정에 적용하였다. 그들이 제시한 상호작용 방안에서는 사용자가 제품용 오브젝트와 포인터용 오브젝트를 각각 양손에 쥐고, 포인터용 오브젝트 끝 부분을 제품용 오브젝트의 특정부위(즉, 가상제품의 입력장치)에 접촉함으로써 입력 이벤트를 발생시킨다. 이러한 이벤트에 반응하여 제품의 상태를 실시간으로 출력함으로써 제품의 디자인을 체험토록 하였다. 아울러, Park^[12]은 AR 기반 가상환경에서 손가락 고정구 형태의 포인터용 오브젝트를 이용하여 휴대용 전자제품을 손으로 조작하는 느낌을 제공하는 감각형 상호작용 방안을 제시하였다.

포인터용 오브젝트의 경우, 제작 방식 및 접촉 방식에 따라 다양한 대안이 고려될 수 있으며, 각 대안에 대한 정확도 및 장단점에 대한 비교 분석이 요구된다. 본 논문에서는 AR 기반 감각형 상호작용에 사용될 수 있는 포인터용 오브젝트에 대한 대안들을 제시하고, 제시된 대안들에 대한 상호작용 정확도를 산출한다. 그리고, 대안들을 AR 기반 전자제품 가상평정 테스트베드에 적용하여 기초적인 사용성 평가를 수행함으로써 대안들의 장단점을 비교한다.

본 논문은 Park의 선행연구^[10-12]에 대한 후속연구를 다루고 있으며, 선행연구를 포함한 후속연구의 접근방향이 증강현실 기반 TUI 방식에 해당하지만, 휴대용 전자제품과 같은 비교적 작은 크기의 제품에 대한 증강현실 기반 가상체험을 위해 제품용 오브젝트와 포인터용 오브젝트의 효과적인 병행을 통한 감각적 상호작용 방안을 제시한다

는 점에서 본 연구의 차별성을 찾을 수 있다.

2. 증강현실 기반 감각형 상호작용

Fig. 1은 AR 기반 감각형 상호작용을 이용한 휴대용 전자제품의 가상 디자인 품평 테스트베드를 나타낸다. 이러한 AR 환경에서는 제품용 및 포인터용 감각형 오브젝트가 상호작용 매체로서 이용된다. 사용자가 감각형 오브젝트들을 조작함으로써 모니터를 통해 실세계로 증강된 제품의 시각적 이미지를 보고, 스피커를 통해 제품 주변에서 흘러나오는 각종 소리를 들을 수 있으며, 궁극적으로 제품의 사실적인 시각화, 생생한 UI 기능 시뮬레이션, 그리고 제품 기능 평가 및 사용성 평가 등과 같은 가상시작 과정에서 요구되는 중요한 일들을 수행할 수 있게 된다. AR 기반 디자인 품평에 대한 구체적인 내용에 대해서는 기존 연구^[10-12]를 참고하기 바란다. 본 논문에서 오브젝트(또는 감각형 오브젝트)는 상호작용을 위해 사용되는 물리적인 물체를 의미하며, 오브젝트에 대한 가상모델은 증강현실 환경에서 오브젝트에 상응하는 3D 모델을 의미한다.

감각형 오브젝트에는 한 개 이상의 고유 AR 마커가 부착되며, 경우에 따라서는 특정 도형이 표기되기도 한다. 제품용 오브젝트는 AR 환경에서 제품의 위치와 자세 조작용을 위해 이용되며, 포인터용 오브젝트와 연동하여 입력 이벤트를 생성하기 위해 이용된다. 본 연구에서는 제품용 감각형 오브젝트 제작을 위해 쾌속시작(Rapid Prototyping, RP) 기술^[13]을 적용하였다. 여기서는 SLS RP 공정을 적용하였다. 제품의 STL 파일을 이용한 RP 모델을 생성한 후, RP 모델의 특정 부위에 AR 마커를 부착한다. 휴대용 전자제품은 한 개 이상의 LCD



Fig. 1 Design evaluation of a handheld product using AR-based tangible interaction



Fig. 2 Product-type object of a game phone

디스플레이를 가지고 있으므로 AR 마커를 각 LCD 디스플레이 중앙에 부착한다. Fig. 2는 게임폰에 대한 제품용 오브젝트(왼쪽)와 증강현실 환경에서 증강된 제품용 가상모델(오른쪽)을 나타낸다.

3. 포인터용 오브젝트에 대한 대안들

포인터용 감각형 오브젝트는 증강현실 환경에서 제품용 오브젝트의 특정 부위를 선택하기 위해 이용된다. 포인터용 오브젝트의 경우, 제작 방식 및 접촉 방식에 따라 다양한 대안이 고려될 수 있겠으나, 본 연구에서는 포인터용 감각형 오브젝트에 대한 4가지 대안 - 종이모델(paper model) 2가지와 RP 모델 2가지를 고려하였다. Fig. 3은 포인터용 오브젝트를 위한 종이모델을 나타낸다.

펜형 종이모델(Pen)은 Fig. 3(a)에서와 같이 육면체와 사각뿔이 합쳐진 형상의 다면체로 정의되며, 고리형 종이모델(Ring)은 손끝을 이용한 버튼 선택이 가능하도록 구상되어 Fig. 3(b)에서와 같이 삼각뿔 끝 부분을 제거하여 검지 손가락이 관통할 수 있는 고리 형상의 다면체로 정의된다. 종이모델 감각형 오브젝트 제작을 위해 다면체에 대한 전개도를 생성하고, 가위와 풀을 이용하여 종이 모델을 제작한 후, 특정 부위에 복수 개의 동일한 마커를 부착한다.

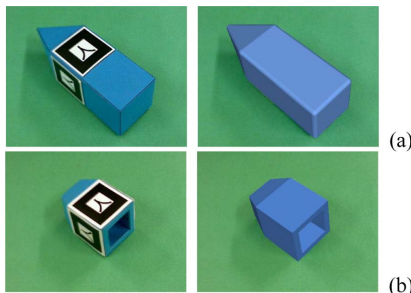


Fig. 3 Paper models for the pointer-type object: (a) Pen, (b) Ring

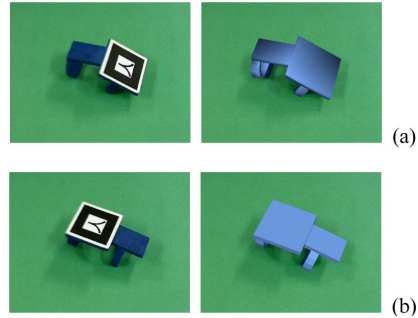


Fig. 4 RP models for the pointer-type object: (a) Fixture 1, (b) Fixture 2

Fig. 4는 포인터용 오브젝트를 위한 RP 모델을 나타내는데, RP 모델을 검지 손가락에 부착하여 손끝을 이용한 버튼 선택이 가능하도록 구상되었다. 손가락 고정구 설계를 위해 체계적 공학설계 접근 방식을 적용하여 손에 부하가 적게 걸리고, 자연스럽게 정직한 버튼 선택을 가능케 하는 개념을 창안하였으며, 이를 바탕으로 SLS RP 공정을 적용하여 RP 모델을 제작하였다. Fig. 4(a)은 AR 마커가 세 번째 마디에 부착된 손가락 고정구형 RP 모델(Fixture 1)을 나타내고, Fig. 4(b)은 AR 마커가 두 번째 마디에 부착된 손가락 고정구형 RP 모델(Fixture 2)을 나타낸다. 손가락 고정구 제작에 대한 구체적인 내용은 기존 연구^[12]를 참고하기 바란다.

Fig. 3(a)와 4(a)에서와 같이 제품용과 포인터용 오브젝트를 모두 파란색을 갖도록 하여 AR 증강 과정에서 종종 발생하는 손 가림 현상 해결^[13]에 도움이 되도록 하였다. 본 연구에서 고려되는 4가지 포인터 오브젝트의 차이는 AR 마커 중심점과 포인터 기준점(또는 손가락 끝점) 간의 거리, 그리고 오브젝트의 제작 방식에 있다.

3.1 감각형 오브젝트를 이용한 상호작용 원리

AR 기반 가상 환경에서는 실세계 이미지로부터 인식된 AR 마커 정보를 이용하여 카메라의 시점을 파악하여 가상객체에 대한 3D 렌더링 이미지를 실세계 이미지 위에 실시간으로 오버레이(overlay)함으로써 시각화를 수행한다. 아울러, 카메라 보정(camera calibration) 정보를 이용하여 3차원 공간에 위치한 마커와 카메라, 그리고 마커와 마커 간의 3차원 변환 정보(상대적 위치 및 자세)를 획득할 수 있다. 이를 통해 서로 다른 마커 좌표계

위에 놓인 두 개의 가상모델 간의 상대적인 위치 및 자세 정보를 파악할 수 있으며, 상대적인 거리 값도 구할 수 있다⁹⁾. 이를 토대로 가상공간과 상호작용을 한다.

감각형 오브젝트를 이용한 상호작용은 포인터용 오브젝트의 기준점 \mathbf{P} 와 제품용 오브젝트의 입력 요소들(예: 버튼 또는 슬라이더) 간의 거리 정보를 토대로 작동된다. Fig. 5는 4가지 포인터 오브젝트에 대한 형상 매개변수와 기준점 \mathbf{P} 의 계산식을 보여준다. 본 연구에서는 펜형(Pen)과 고리형(Ring) 종이모델들의 형상치수를 다음과 같이 지정하였다: $l_a=32$ mm, $l_b=56$ mm, $l_c=28$ mm, $l_d=20$ mm, $l_e=13$ mm.

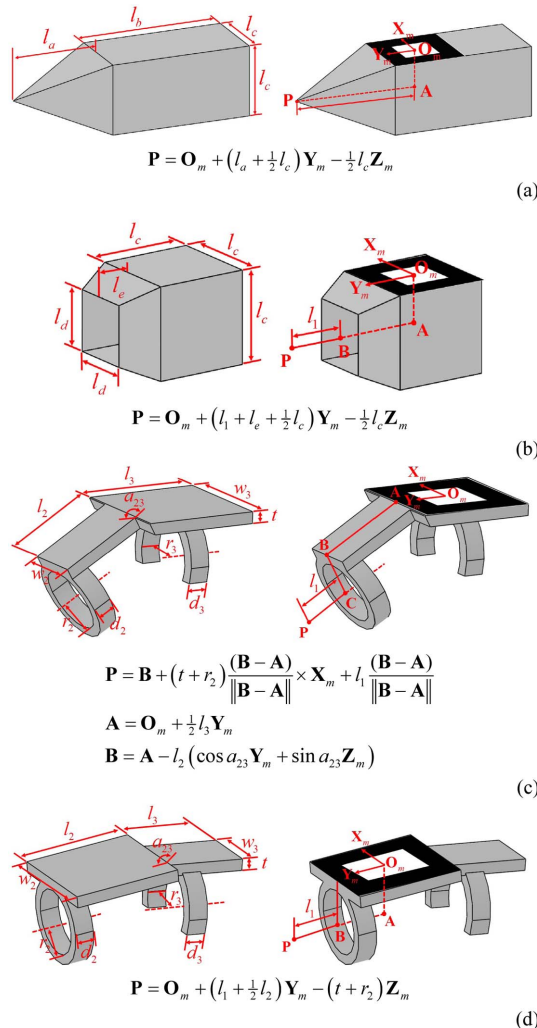


Fig. 5 Shape parameters of pointer-type objects and computation of their reference points: (a) Pen, (b) Ring, (c) Fixture 1, (d) Fixture 2

고정구형RP모델(Fixture 1)의 형상치수는 다음과 같이 지정하였다: $t=3$ mm, $a_{23}=150^\circ$, $d_2=d_3=5$ mm, $r_2=8.5$ mm, $r_3=10$ mm, $l_2=22$ mm, $w_2=14$ mm, $l_3=w_3=28$ mm. 그리고, 고정구형RP모델(Fixture 12)의 형상치수는 다음과 같이 지정하였다: $t=3$ mm, $a_{23}=170^\circ$, $d_2=d_3=5$ mm, $r_2=8.5$ mm, $r_3=10$ mm, $l_2=w_2=28$ mm, $l_3=21$ mm, $w_3=14$ mm.

Fig. 6에서와 같이 k 번째 AR 마커에 의해 정의되는 지역 좌표계 $OXYZ_k$ 상의 점 p_k 에 대한 카메라 좌표계 $OXYZ_c$ 상의 점 p_c 는 $p_c = R_c^k p_k + d_c^k$ 로 표현된다. 여기서, R_c^k 과 d_c^k 는 좌표계 $OXYZ_k$ 로부터 좌표계 $OXYZ_c$ 로의 회전변환과 이동변환을 나타내는 행렬이다. 따라서, 좌표계 $OXYZ_1$ 상의 점 p_1 과 좌표계 $OXYZ_2$ 상의 점 p_2 사이의 거리 $d(p_1, p_2)$ 는 $d(p_1, p_2) = \|R_c^1 p_1 + d_c^1 - R_c^2 p_2 - d_c^2\|$ 과 같이 계산된다^{11,12)}.

따라서, 포인터 오브젝트의 마커 좌표계에 정의된 기준점 \mathbf{P} 와 제품용 오브젝트의 마커 좌표계에 정의된 버튼 또는 스위치에 해당하는 점 사이의 거리를 구한 다음, 두 점 간의 거리가 임계거리 d 이하인 상태를 임계시간 t 이상을 유지할 때, 해당 버튼 또는 스위치가 선택되었다는 이벤트를 생성하게 된다.

3.2 상호작용의 정확도 개선

제품-사용자 간의 AR 기반 상호작용은 포인터용 오브젝트를 이용한 제품 특정 영역의 선택 작업을 통해 이루어진다. 이러한 선택 작업에서 발생하는 오차(E)는 다음과 같이 표현된다.

$$E = E_{a1} + E_{a2} + E_d \quad (1)$$

여기서, E_{a1} 는 제품 가상모델과 제품용 오브젝트

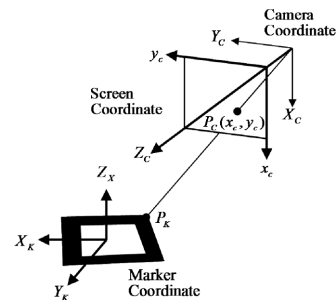


Fig. 6 Coordinate transformation between a camera and an AR marker

간의 정렬(alignment) 오차를 나타내고, E_{a2} 는 포인터 가상모델과 포인터용 오브젝트 간의 정렬 오차를 나타낸다. E_d 는 포인터 기준점 P 의 이론적 위치와 실제 위치 간의 차이를 나타낸다.

E_{a1} 와 E_{a2} 를 줄이기 위해서는 가상모델과 해당 감각형 오브젝트 간의 근사오차를 적절하게 줄여야 하고, 감각형 오브젝트 좌표계와 증강될 가상모델 좌표계가 정확히 일치되도록 해야 한다. 실세계의 감각형 오브젝트 좌표계와 증강될 가상모델 좌표계를 정확히 일치시키기 위해서는 AR 마커 인식을 향상과 카메라 보정 오차 감소를 통한 실세계 환경과 가상 환경 간의 기하학적 정합 오차를 줄이는 것이 요구된다. 카메라 보정이란 실세계 좌표계에 대해 카메라의 3차원 위치와 방향을 구하고 카메라의 기하학적, 광학적 특성을 결정하는 일련의 과정을 말한다.

본 연구에서는 마커 인식을 향상을 위해 적정 크기의 AR 마커를 적용하였다. 마커 크기와 카메라 해상도가 AR 기반 감각형 상호작용의 정확도 및 성능에 영향을 미친다. 마커가 너무 크면 마커 인식을 및 좌표계 정확도는 향상되지만 상호작용 중 마커가 가려져서 인식 실패를 초래하거나 포인터 종이모형이 너무 커지는 상황이 발생하며, 마커가 너무 작으면 포인터 종이모형의 크기를 줄일 수 있지만 마커 인식을 및 좌표계 정확도가 저하된다. 본 연구에서는 $24 \times 24 \text{ mm}^2$ (흰색 테두리 포함하는 경우, $28 \times 28 \text{ mm}^2$) 크기의 AR 마커가 연구진의 실험실에 구축된 AR 환경에서 대체적으로 잘 인식됨을 반복적인 실험과 경험을 통해 파악하였다.

또한, 본 연구에서는 ARToolKit에서 제공하는 카메라 보정 방식에 따라 카메라 보정을 수행하였는데, 카메라 보정 오차를 줄이기 위해 격자 간격이 정확한 격자판(grid plate)을 이용하였고, 다양한 자세에서 확보된 격자 이미지들을 카메라 보정에 적용하였으며, 세심한 수동 지정 방식을 통해 격자점을 선정하였다.

오차 E_d 는 펜형 종이모델(Pen)의 경우 0이 되지만, 나머지 3가지 대안의 경우에는 손가락의 움직임으로 인해 손가락 끝점 위치와 기준점 P 와의 거리가 발생하게 되어 E_d 가 0보다 크게 된다. 오차 E_d 를 줄이기 위해서는 검지에 포인터용 오브젝트가 잘 고정되어 손가락의 상대적인 움직임이 일어나게 않게 해야 하며, Fig. 7에서와 같이 포인터용

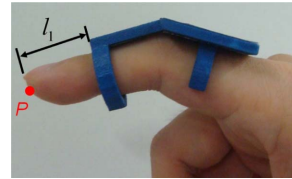


Fig. 7 Computation of the fingertip location

오브젝트의 끝부분에서부터 손가락 끝점에 이르는 거리, 즉 첫째 마디 길이(l_1)를 가능한 정확하게 측정해야 한다. 아울러, 기준점 P 에 작은 빨간색 구를 그려줌으로써 기준점 P 가 손가락 끝점에 잘 정렬되는지를 상호작용 과정에서 시각적으로 확인할 수 있도록 했다. 본 연구에서는 반지형 종이 모델(Ring)이나 고정구형 RP 모델(Fixture 1, Fixture 2)을 착용한 다음, 직선자 또는 T자를 이용하여 첫째 마디 길이(l_1)를 측정하는 방식을 취했다.

4. 대안들에 대한 정확도 산출

4.1 실험 환경 및 방법

제시한 4가지 포인터용 오브젝트들을 이용한 AR 기반 상호작용 정확도를 산출하기 위해 실험을 수행하였다. Fig. 8과 같이 AR 마커 근처에 숫자(1~25)가 적힌 5×5 격자들이 주어졌을 때, 피실험자에게 4개의 난수(1~25)들로 구성된 숫자열을 제시하고, 피실험자로 하여금 포인터 오브젝트를 이용하여 주어진 숫자열에 해당하는 격자들을 선택하도록 하였다. 각 격자는 버튼 역할을 하는 것으로 간주하여 이 작업을 버튼 선택 작업이라고 한다. AR 마커 근처에 가상 버튼 크기에 해당하는 사각 격자들을 인쇄하여 출력하였고, 사각격자

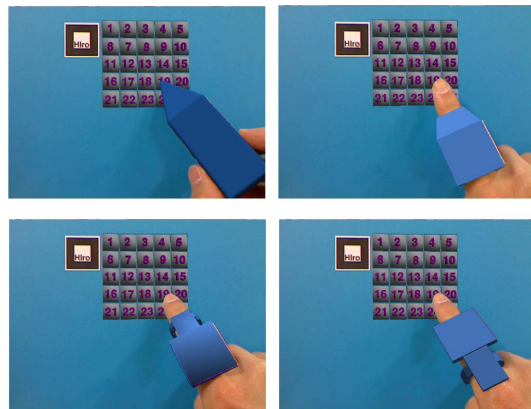


Fig. 8 Task of button selection (12 mm)

안에 1부터 25까지 고유 숫자를 각각 기입하였다.

피실험자는 각각의 포인터용 오브젝트를 이용하여 특정 숫자가 기입된 격자 중앙 근처에 접촉하게 하였다. 주어진 숫자에 해당하는 격자를 성공적으로 선택하는 경우와 그렇지 않은 경우를 구별하기 위해 각기 다른 버튼음성을 출력하였으며, 주어진 숫자 옆에 해당하는 격자들을 순서대로 선택 하면, 작업 성공을 알리는 음성정보를 출력하였다. 격자와 격자 사이의 간격은 1 mm로 고정하고, 격자 한 변의 크기를 20, 16, 12, 8, 6, 5, 4, 3 mm 순으로 감소시키면서 피실험자로 하여금 버튼선택 작업을 수행하도록 하였다.

본 연구에서는 피실험자로서 대학생 20명을 참여시켰다. 영상획득을 위해 Fig. 1에서와 같이 800 × 600 해상도를 갖는 PC 카메라를 이용하였으며, 출력장치로는 컴퓨터 LCD 모니터와 스테레오 스피커를 이용하고 있다. 카메라 보정, 마커 인식, 그리고 AR 증강을 위해 주로 ARToolKit(ver 2.72)을 이용하였으며, AR 시각화를 위해 OpenGL(ver 3.3), GLUT(ver 3.7)를 이용하였다. 아울러, AR 증강 과정에서 종종 발생하는 손 가림 현상에 대한 해결 방안^[13]을 적용하였다. 손 가림 현상 해결을 위해 ARToolKit/OpenGL/OpenCV(ver 1.0)을 병행하였다.

실험을 통해서 버튼 선택 작업에 소요되는 평균 시간을 측정하였으며, 버튼 선택 작업 당 버튼을 잘못 선택한 횟수를 측정하였다. 이를 통해 유효한 버튼 선택 작업이 가능한 최소 버튼 크기를 추정하였다.

4.2 실험 결과 및 분석

Fig. 9와 Fig. 10는 크기별 버튼을 선택한 평균 소요시간과 버튼 선택 작업 당 평균 잘못 선택한 횟수를 각각 나타낸다. 4가지 대안 모두에 대해 버튼 크기가 작은 경우에는 잘못 선택한 횟수가 증가하고 이에 따라 소요시간이 증가하는 현상이 발생하였다. 버튼 크기가 5 mm 보다 큰 경우에는 포인터 오브젝트 대안들의 정확도 간에 별다른 차이를 나타내지 않았으나, 버튼 크기가 5 mm 이하인 경우, 펜형 종이모델(Pen)의 정확도가 약간 높은 것으로 나타났으며, 고정구형 RP 모델(Fixture 1)의 정확도가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 펜형 종이모델(Pen)의 경우 E_d 가 0으로 가장 작고, 고정구 RP모델(Fixture 1)의 경우 마커 중심과 손

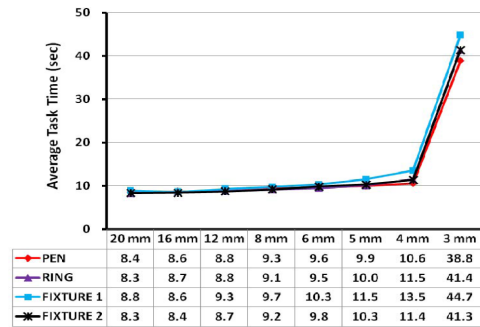


Fig. 9 Time required for each button selection task

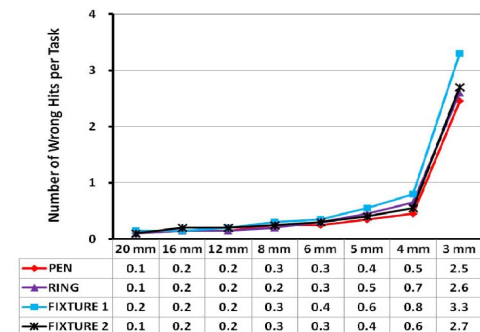


Fig. 10 Number of mistakes for each button selection task

가락 끝점 간의 거리가 상대적으로 크고, 손가락 마디 굽힘 각이 상대적으로 크므로 인해 오차 E_d 가 가장 크다. 따라서, 버튼 크기가 5 mm 이하인 경우, 포인터 기준점 오차(E_d)의 영향력이 작용한 것으로 사료된다.

그러나, 제안된 증강현실 기반 감각형 상호작용 환경에서는 크기 5 mm 이상의 버튼을 갖는 제품의 경우, 4가지 대안 모두 원활한 상호작용을 제공할 수 있음을 확인하였다. 버튼 간격이 큰 상황에서는 소요시간과 오류 횟수가 동시에 감소하리라 사료된다.

5. 사용성 평가를 통한 대안 비교

본 논문에서 제안하는 4가지 포인터용 오브젝트를 이용한 AR 기반 상호작용을 휴대용 전자제품의 가상품평에 적용할 수 있다. 본 연구에서는 휴대용 전자제품의 MP3 플레이어, 게임폰, PMP (Portable Multimedia Player)의 가상품평에 대하여 대학생 20명으로 구성된 피실험자들을 대상으로

기초적인 사용성 평가를 수행하였다. Fig. 11, 12, 13은 4가지 포인터 오브젝트를 이용한 MP3플레이어, 게임폰, 그리고 PMP 가상제품의 사용 장면을 각각 나타낸다. 적용된 전자 제품의 버튼들의 크기는 5~15 mm이며, 게임폰의 키패드(keypad)를 제외한 버튼 간격이 1 mm보다 훨씬 크다.

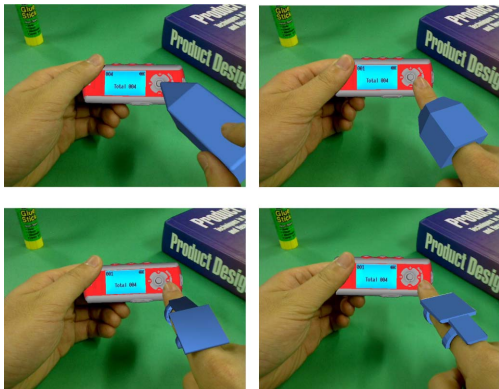


Fig. 11 User experience of the MP3 player

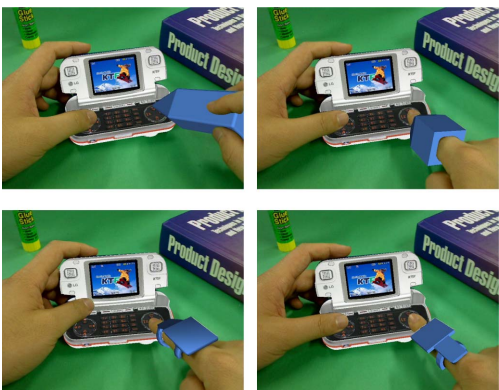


Fig. 12 User experience of the game phone

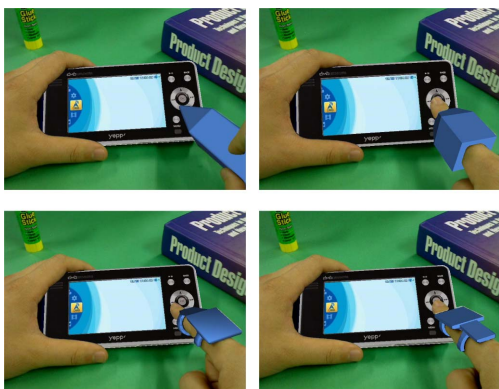


Fig. 13 User experience of the PMP

Table 1은 사용성 평가를 위한 3가지 제품에 대한 Task들을 나타낸다. 피실험자들은 4가지 포인터 오브젝트들을 이용하여 각 Task를 수행하였고, 실제 제품을 이용하여 해당 Task를 수행하였다. 그런 다음, 각 Task에 소요되는 시간을 기록하였다. Fig. 14는 평균 작업시간을 나타낸다.

모든 작업의 경우, 실제 제품을 사용하는 것이 가장 작은 시간이 요구되었다. 게임폰의 경우, Pen < {Ring, Fixture 2} < Fixture 1 순으로 작업시간이 증가함을 보였는데, 버튼들이 밀집되어 있기 때문에 포인터 기준점 오차(E_d)의 영향력이 작용한 것으로 사료된다. MP3 플레이어와 PMP의 경우, 4가지 대안 모두 비슷한 작업시간이 소요됨을 보여주었는데, 게임폰의 경우와 다르게 버튼 간의 간격이 비교적 커서 포인터 기준점 오차(E_d)의 영향력이 감소한 것으로 사료된다.

피실험자들은 작업을 마친 후, Table 2에 있는 설문지를 작성하였다. 설문 문항들의 최고점수는

Table 1 Task descriptions

제품	Task	Task 내용
MP3	Task 1	3번째 음악 틀기 → 볼륨 올림 → 음악 끄기
게임폰	Task 2	번호 입력(062-230-7968) → 통화
PMP	Task 3	메뉴 → 사진폴더 선택 → 2번째 사진보기

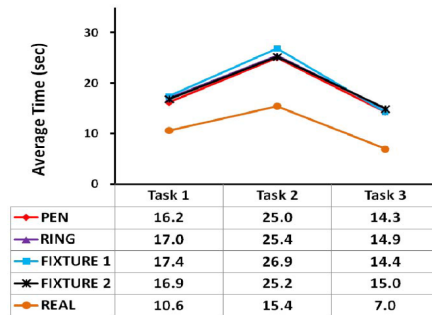


Fig. 14 Graphical plot of average task times

Table 2 Questionnaire contents

Q1	가상제품의 조작이 쉬운가?
Q2	버튼 선택이 용이한가?
Q3	실제 버튼을 누르는 것과 같은 느낌을 받는가?
Q4	실제 제품을 잡는 것과 같은 느낌을 받는가?
Q5	제품의 시야가 잘 확보되는가?

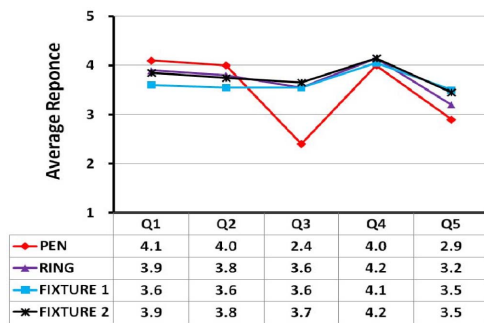


Fig. 15 Graphical plot of questionnaire results

5점 최소화점수는 1점으로 구성하여 이들 점수를 이용하여 각각의 포인터용 오브젝트들에 대한 정성적 평가를 분석하였다. Fig. 15는 4가지 포인터용 오브젝트 대안에 대한 항목별 설문 점수를 나타내고 있다.

조작의 용이성(Q1) 및 버튼 선택 용이성(Q2) 측면에서는 펜형 종이모델(Pen)이 상대적으로 높은 점수를 얻었으며, 고정구형 RP모델(Fixture 1)이 낮은 점수를 얻었다. 버튼 선택 시 촉감 제공(Q3) 측면에서 펜형 종이모델(Pen)이 상대적으로 크게 낮은 점수를 얻었으며, 나머지 세 가지 대안은 비슷하게 양호한 점수를 얻었다. 가상제품에 대한 촉감 제공(Q4) 측면에서는 동일한 RP모델을 제품용 오브젝트로 사용하므로 4가지 대안 모두 비슷한 점수를 얻었다. 제품에 대한 시야 확보성(Q5) 측면에서는 RP모델(Fixture 1,2)이 종이모델(Pen, Ring)보다 상대적으로 높은 점수를 얻었지만, 모든 대안이 대체로 중간 수준의 점수를 얻었다.

본 연구에서 사용된 AR 환경(Fig. 1)에서는 사용자의 시점과 카메라의 시점이 정확히 일치하지 않음에 따른 몰입도가 다소 저하되는 상황이 발생한다. 따라서, HMD를 도입하여 시점을 일치시킴으로써 몰입도 향상을 기대할 수 있으리라 사료된다.

6. 결 론

본 논문에서는 AR 기반 가상환경에서 감각형 상호작용에 사용될 수 있는 포인터용 오브젝트에 대한 4가지 대안들을 제시하였으며, 제시된 대안들에 대한 상호작용 정확도를 산출하였고, 사용성 평가를 통해 대안들을 평가하였다. 이를 통해 정확도, 조작 및 작업 용이성, 촉감 제공, 시야 확보성 등에 따라 대안들의 선호도가 달라질 수 있음

을 확인하였다. 정확한 조작을 위해서는 손끝으로 접촉하는 것 보다는 포인터 끝으로 접촉하는 방식인 펜형(Pen) 대안이 선호되며, 촉감 제공을 위해서는 손끝 접촉을 허용하는 대안(Ring 또는 Fixture)이 선호된다. 참고로, 제작비용 측면에서 종이모델이 RP 모델보다 저렴하게 제작할 수 있는 장점이 있다.

그러나, 제안된 4가지 대안 모두 포인터용 오브젝트의 크기가 커서 제품의 시야를 가리는 문제를 가지고 있음이 파악되었다. 따라서, 포인터용 오브젝트의 크기를 줄이거나 포인터용 오브젝트를 사용하지 않는 방안에 대한 후후 연구가 요구된다. 이를 위해서는 먼저, AR 마커 크기를 줄이면 마커 인식률 및 좌표계 정확도를 희생시키지 않는 방법을 우선적으로 개발하고자 한다. 아울러, 포인터용 오브젝트를 사용하지 않고 3차원 깊이 카메라와 손가락 끝점 인식(fingertip recognition)을 제품용 오브젝트와 함께 병행한 감각형 AR 상호작용 방법을 고려하고자 한다. 그러나, 현재 널리 이용되고 있는 Kinect 등 깊이 카메라의 정확도가 높지 않고^[14], 계산량이 크게 증가하여 이러한 시도를 곧바로 실현하기가 곤란하므로 본 연구에서 추구하는 용도에 적합하도록 3차원 깊이 카메라의 정확도를 확보하는 일과 함께 증가된 계산량 문제를 효율적으로 해결하는 일이 요구된다.

감사의 글

이 논문은 2010년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0021953).

참고문헌

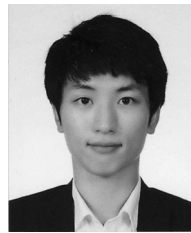
1. Lee, K., 1999, Principles of CAD/CAM/CAE Systems, Addison Wesley, Berkeley.
2. Burdea, G.C. and Coiffet, P., 2003, Virtual Reality Technology, John Wiley & Sons, USA.
3. Park, H., Bae, C.Y. and Lee, K.H., 2007, Virtual Prototyping of Consumer Electronic Products by Embedding HMI Functional Simulation into VR Techniques, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 12(2), pp. 87-94.
4. Bullinger, H.J., Breining, R. and Baucer, W., 1999, Virtual Prototyping – State of the Art in Product Design, *Proceedings of the 26th Inter-*

- national Conference on Computers & Industrial Engineering*, pp. 103-107.
5. Lee, S.G., 2007, Survey on Mixed Reality R&D, *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, 13(2), pp. 1-15.
 6. Azuma, R.T., 1997, A Survey of Augmented Reality, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), pp. 355-385.
 7. Kato, H., Billinghurst, M., Poupyrev, I., Imamoto, K. and Tachibana, K., 2000, Virtual Object Manipulation on a Table-top AR Environment, *Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, pp. 111-119.
 8. Billinghurst, M., Kato, H. and Poupyrev, I., 2001, Collaboration with Tangible Augmented Reality Interfaces, *Proceedings of HCI International*, pp. 234-241.
 9. ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/ARToolKit>
 10. Park, H. and Moon, H.C., 2008, Design Evaluation of Portable Electronic Products Using AR-Based Interaction and Simulation, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 13(3), pp. 209-216.
 11. Park, H., Moon, H.C. and Lee, J.Y., 2009, Tangible Augmented Prototyping of Digital Handheld Products, *Computers in Industry*, 60(2), pp. 114-125.
 12. Park, H. and Moon, H.C., 2011, AR-based Tangible Interaction Using a Finger Fixture for Digital Handheld Products, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 16(1), pp. 1-10.
 13. Moon, H.C. and Park, H., 2011, Resolving Hand Region Occlusion in Tangible Augmented Reality Environments, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 16(4), pp. 277-284.
 14. Khoshelham, K., 2011, Accuracy Analysis of Kinect Depth Data, *Proceedings of ISPRS Workshop on Laser Scanning*.



박 상 진

2010년 조선대학교 산업공학과 학사
 2012년 조선대학교 산업공학과 석사
 2012년~현재 조선대학교 산업공학과 대학원 박사과정
 관심분야: Tangible Augmented Reality, Dental Biometrics, 3D Model Construction Using Medical Images, CAD/CAM Applications



정 호 균

2011년 조선대학교 산업공학과 학사
 2011년~현재 조선대학교 산업공학과 대학원 석사과정
 관심분야: Tangible Augmented Reality, Marker Recognition and Tracking, CAD/CAM Applications



박 형 준

1991년 포항공대 산업공학과 학사
 1993년 포항공대 산업공학과 석사
 1996년 포항공대 산업공학과 박사
 1996년~2001년 삼성전자 중앙연구소 책임연구원
 2008년~2010년 UCLA 전산학과 방문교수
 2001년~현재 조선대학교 산업공학과 교수
 관심분야: Geometric Modeling and Processing, Virtual Prototyping of Engineered Products, 3D Shape Reconstruction and Understanding, Dental Engineering Applications, CAD/CAM/CG Applications