

손가락 고정구를 이용한 휴대용 전자제품의 증강현실기반 감각형 상호작용

박형준*, 문희철**

AR-based Tangible Interaction Using a Finger Fixture for Digital Handheld Products

Hyungiun Park* and Hee-Cheol Moon**

ABSTRACT

In this paper, we propose an AR-based tangible interaction using a finger fixture for virtual evaluation of digital handheld products. To realize tangible interaction between a user and a product in a computer-vision based AR environment, we use two types of tangible objects: a product-type object and a finger fixture. The product-type object is used to acquire the position and orientation of the product, and the finger fixture is used to recognize the position of a finger tip. The two objects are fabricated by RP technology and AR markers are attached to them. The finger fixture is designed to satisfy various requirements with an ultimate goal that the user holding the finger fixture in his or her index finger can create HMI events by touching specified regions (buttons or sliders) of the product-type object with the finger tip. By assessing the accuracy of the proposed interaction, we have found that it can be applied to a wide variety of digital handheld products whose button size is not less than 6 mm. After performing the design evaluation of several handheld products using the proposed AR-based tangible interaction, we received highly encouraging feedback from users since the proposed interaction is intuitive and tangible enough to provide a feeling like manipulating products with human hands.

Key words : Augmented reality, Design evaluation, Engineering design, Finger fixture, Handheld products, Tangible interaction

1. 서 론

21세기 디지털 제품 시장은 경쟁의 가속화, 고객 요구의 다양화, 기능의 컨버전스화 및 융합화, 그리고 사용 환경의 유비쿼터스화 등의 변화를 겪고 있으며, 제품 생명 주기가 점점 짧아지고, 다양한 미디어를 통한 제품 홍보 및 판매가 증가하고 있는 추세이다. 이러한 상황에서 디지털 제품의 성공적 시장진입을 위해서는 사용 편의성(case-of-use), 제품 특성(features)과 기능(functions) 등에 대한 고객요구를 효과적으로 수렴하여 제품 디자인에 빠르고 정확히 반영함으로써 제품

을 신속히 시장에 출시하는 것이 절실히 요구된다^[1,2].

이러한 요구에 대처하기 위한 노력의 일환으로 제품개발과정(product development process)에서 시작품(prototypes)의 효율적인 사용에 대한 연구가 부단히 지속되어 왔다. 컴퓨터 기술의 급속한 진보와 함께 대두된 가상시작(virtual prototyping, VP)은 기존 시작 방법들의 단점들을 극복하기 위한 해법으로 인식되고 있다^[3,4]. 가상시작 기술은 가상현실(virtual reality, VR)과 CAD/CAM/CAE/CG 기술을 바탕으로 물리적 시작품 생성 이전 단계에서의 제품의 평가, 시험, 해석 등과 밀접하게 관련된다. 가상시작과 관련된 많은 연구가 가상디자인평량(virtual design evaluation)에 초점을 두고 있는데, 이는 제품 개발 단계에서 초기 디자인에 대한 평가 및 의사결정의 중요성이 매우 크기 때문이다^[1,3,4]. 가상시작의 실현을 위해서는 가상환경에서 제품의 사실적인 시각화 기능과 함께 다양한

*교신저자, 종신회원, 조선대학교 산업공학과

**학생회원, 조선대학교 산업공학과 박사과정

- 논문투고일: 2010. 07. 06

- 논문수정일: 2010. 11. 04

- 심사완료일: 2010. 12. 06

평가수단이 제공되어야 하며, 사용자(개발자/경영자/고객)와 가상제품 간의 직관적이고 자연스러운 상호작용 수단이 요구된다.

전형적으로, CAVE 방식의 몰입형 가상환경 또는 입체영상출력(stereoscopic display) 시스템이나 HMD(Head Mounted Displays)를 이용한 가상환경에서 데이터 글로브(data glove), 햅틱 장비 등을 이용한 시각화 및 상호작용 방식이 제시되어 왔다^[5,6]. 그러나, 이러한 방식은 상당한 시간과 인력, 그리고, 고가 장비 등이 요구되며, 부피감 및 촉감을 제공하는 감각형(tangible) 상호작용을 구현하는 일이 쉽지 않기 때문에 대안적인 해법들이 많이 제시되고 있다.

Greenberg와 Fitchett^[7]은 인터랙티브한 제품디자인을 위한 감각형 사용자 인터페이스(Tangible User Interface, TUI)의 용이한 구축에 이용되는 Phigets이라는 툴킷을 발표하였다. Hartmann 등^[8]도 물리적 사용자 인터페이스의 시각적 프로토타이핑을 위한 d.tools라고 하는 툴킷을 발표하였다. TUI에서는 디지털 정보를 주고 받기 위해 물리적 오브젝트들과 주위 공간들이 함께 이용되며^[9], 전자부품들을 이용한 하드웨어적 연결이 수반되기도 한다. 물리적 오브젝트의 조작성을 구축하는 특성과 제약들로 인해 물리적 오브젝트의 특성들을 역동적으로 변화시키고 평가하는 것이 어렵기 때문에 감각형 인터페이스가 유용한 경우가 많다.

최근 증강현실(augmented reality, AR) 기술을 접목하여 기존 VR 기반 가상시각 방식의 단점을 극복하려는 시도가 보고되고 있다^[10,11]. AR 기술은 물리적 현실에 내재된 삼차원 정보 공간으로의 직관적인 인터페이스를 제공함으로써 물리적 오브젝트들이 갖는 한계를 자연스럽게 보완할 수 있다. 그러나 AR 인터페이스가 공간 데이터의 시각화를 위한 자연스러운 환경을 제공하지만, AR 인터페이스만을 통해 가상 콘텐츠와 상호작용하고 내용을 역동적으로 바꾸는 일이 어렵다. 따라서, AR과 TUI 접근방식의 장점들을 모두 채택한 감각형 증강현실(Tangible Augmented Reality)이 제안되고 있다^[13-17].

Verlinden 등^[14]은 래속시작(RP) 기술에 의해 만들어진 물리적 오브젝트 위에 제품의 원근영상(perspective images)을 투영하는 증강시작(augmented prototyping)의 개념을 제안하였다. AR 환경에서 하드웨어와 소프트웨어를 접목시키는 방식도 발표되었다^[15,16]. 기본적으로 이 방식은 입력 인터페이스로서 간단한 스위치들을 이용하고, 제품모델의 3차원 렌더링 이미지를 소프트 복업(soft mockup) 위에 증강시키는 방식이다.

하드웨어적 연결이 수반된 물리적 오브젝트 또는 프로토타입이 직관적이고, 정확한 인터페이스를 제공하지만, 구현과 제작을 위해 상당한 노력이 소요된다. 또한, 이러한 물리적 오브젝트들을 서로 다른 장소에 있는 많은 사람들이 접근하여 이용할 수 있게 하는 것이 현실적으로 어렵다. 최근, Park 등^[17]은 저가의 비용으로 손쉽게 구축이 가능한 AR 기반 감각형 상호작용 방안을 개발하여 이를 휴대용 전자제품의 가상디자인 플랫폼에 적용하였다. 그들이 제시한 상호작용에서는 사용자가 제품용 오브젝트와 포인터용 오브젝트를 각각 양손에 쥐고, 포인터용 오브젝트 끝 부분을 제품용 오브젝트의 특정부위(즉, 가상제품의 입력장치)를 접촉함으로써 HMI이벤트를 발생시킨다. 발생된 이벤트에 따른 제품의 상태가 실시간으로 출력함으로써 제품의 디자인을 체험토록 하였다. 이러한 상호작용이 저가의 비용으로 손쉽게 구축이 가능한 AR 기반 감각형 상호작용이라는 점에서 의미가 있지만, 포인터용 오브젝트 끝 부분으로 가상제품을 접촉하므로 손으로 제품을 조작하는 느낌을 제공할 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 Park 등^[17]의 연구를 바탕으로 AR 기반 가상환경에서 사용자가 휴대용 전자제품을 손으로 조작하는 느낌을 제공하는 감각형 상호작용 방안을 제시한다. 제시된 감각형 상호작용에는 제품용 오브젝트와 손가락 고정구가 이용되는데, 제품용 오브젝트는 제품의 위치와 자세 조작성을 위해 이용되고, 손가락 고정구는 제품용 오브젝트와 연동하여 사용자가 검지 손가락 끝으로 입력장치를 조작하여 이벤트를 발생시키는 매체로 이용된다. 제품용 오브젝트로는 제품에 대한 RP 모델을 이용하였다. 손가락 고정구 설계를 위해 체계적 공학설계 접근 방식을 적용하여 손에 부하가 적게 걸리고, 자연스러우면서 정확한 버튼 선택을 가능케 하는 설계 대안을 선택하였으며, 이를 바탕으로 RP 모델을 제작하였다. 실험을 통해 제시된 상호작용 방안이 사용자가 손가락 끝으로 가상제품의 입력장치를 조작할 수 있음을 보였고, 기초적인 사용성 평가를 통해 제시된 상호작용 방안이 직관적이고, 몰입감이 증대된 상호작용이라는 긍정적인 반응을 얻었다.

논문의 나머지는 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 제시된 AR 기반 감각형 상호작용에 대해 설명하고, 3장에서는 제시된 상호작용에서 이용되는 감각형 오브젝트들의 제작 방안에 대해 설명한다. 4장에서는 제시된 감각형 상호작용의 정확도 산출에 대한 실험 결과에 대해 설명한다. 5장에서는 제시된 감각형 상호작용 방안의 적용사례를 설명한다. 마지막으로 6장에서는 결론을 맺는다.

2. 증강현실 기반 감각형 상호작용

Park 등^[17]에 의해 제시된 상호작용 방식에서는 사용자가 종이모델로 만들어진 포인터용 오브젝트의 끝점을 RP 모델로 만들어진 제품용 오브젝트의 특정 부위에 접촉함으로써 사용자-제품 간의 상호작용이 이루어진다. 이 방식은 사용자가 제품모델을 손으로 만지는 것과 같은 느낌을 제공하지만, 손가락 끝으로 제품의 버튼이나 슬라이드를 직접 눌러서 HMI 이벤트를 발생시키는 느낌을 제공할 수 없다.

본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 간단한 형태의 손가락 고정구를 겹쳐 손가락에 부착시켜 손가락 끝 위치를 쉽게 파악하게 함으로써 손가락 끝을 제품용 오브젝트 특정 부위에 접촉하여 상호작용을 이루는 방식을 제안한다.

휴대용 전자제품의 사용을 위해 엄지와 검지 손가락이 주로 이용되고 있으나, 크기가 작은 버튼이 있는 제품의 경우에는 검지 손가락을 통한 상호작용이 선호된다. 본 논문에서는 보다 다양한 제품들에 적용될 수 있도록 검지 손가락에 고정구를 부착하는 방식을 이용하였다. 아울러, 논문에서 제시된 접근방식은 엄지손가락을 포함한 여러 손가락을 사용한 상호작용에 확장 적용될 수 있다.

Fig. 1은 본 연구에서 제시하는 AR 기반 사용자-제품 간 감각형 상호작용에 대한 개념을 보여준다. AR 엔진은 증강현실 기반 상호작용 관련 정보처리를 담당하는데, 마커 인식, HMI 이벤트 인식, 제품 시각적 상태정보 처리, 가상모델 렌더링, 가상이미지 증강, 음성 제어, 환경설정 등의 기능을 수행한다. 기본적으로 AR 엔진은 제품용 오브젝트에 부착된 마커 인식을 통

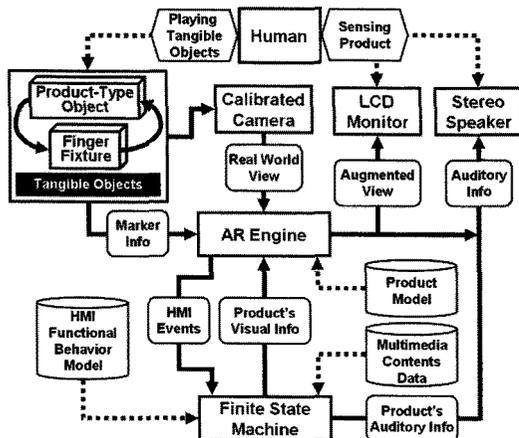


Fig. 1. Overall process of AR-based tangible interaction.

해 가상제품의 위치와 자세 정보를 파악하고, 손가락 고정구에 부착된 마커 인식을 통해 손가락 끝점의 위치를 파악한다. 제품용 오브젝트와 손가락 고정구의 조각을 통해 발생된 HMI 이벤트를 인식한 후, 유한상태기계에 해당 HMI 이벤트를 전달한다. 그런 다음, 제품의 시각적 상태정보를 제품의 가상모델에 반영하여 렌더링한 후, 실세계 영상에 증강된 이미지를 모니터에 출력한다. 동시에 현재 상태와 관련된 음성정보를 스피커에 출력한다.

2.1 감각형 오브젝트를 이용한 상호작용 원리

AR 기반 가상 환경에서는 3차원 공간에 위치한 카메라와 마커 간의 3차원 정보(상대적 위치 및 자세)를 이용하여 가상공간과 상호작용을 한다. ARToolKit^[10]의 카메라 보정(calibration) 작업을 통해 얻어진 카메라 보정 정보를 이용하여 마커와 카메라 간의 3차원 정보는 물론 마커와 마커 간의 3차원 정보를 획득할 수 있다. 따라서, 서로 다른 마커 좌표계 위에 놓인 두 개의 가상모델 간의 상대적인 위치 및 자세 정보를 파악할 수 있으며, 상대적인 거리 값도 구할 수 있다^[11].

AR 기반 감각형 상호작용에서는 제품용 오브젝트와 손가락 고정구가 상호작용 매체로서 이용된다. Fig. 2(a)는 증강현실 환경에서 마커와 카메라의 좌표계 간의 관계를 나타내고, Fig. 2(b)는 손가락 고정구가 부착된 검지 손가락 끝과 제품용 오브젝트의 상호작용을 나타낸다. k 번째 AR 마커에 의해 정의되는 지역 좌표계 $OXYZ_k$ 상의 점 p_k 가 카메라 좌표계 $OXYZ_c$ 상의 점 p_c 로 다음과 같이 표현된다고 하자: $p_c = R_c^k p_k + d_c^k$. 여기서, R_c^k 과 d_c^k 는 좌표계 $OXYZ_k$ 로부터 좌표계 $OXYZ_c$ 로의 회전변환과 이동변환을 나타내는 행렬이다. Fig. 2(b)에 있는 좌표계 $OXYZ_1$ 상의 점 p_1 과 좌표계 $OXYZ_2$ 상의 점 p_2 사이의 거리 $d(p_1, p_2)$ 는 다음의 식에 의해 계산된다.

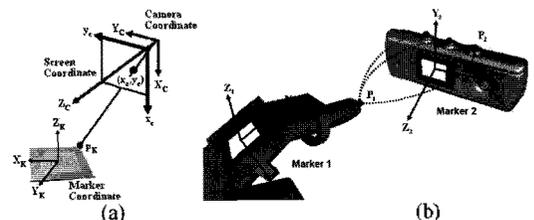


Fig. 2. Concepts of AR-based tangible interaction: (a) coordinate transformation between a camera and an AR marker, (b) distance between the finger tip and buttons of a handheld product.

$$d(p_1, p_2) = \|R_c^1 p_1 + d_c^1 - R_c^2 p_2 - d_c^2\| \quad (1)$$

손가락 고정구의 마커 좌표계에 정의된 손가락 끝 점과 제품용 오브젝트의 마커 좌표계에 정의된 제품의 버튼 또는 스위치에 해당하는 점 사이의 거리를 구한 다음, 두 점의 거리가 임계거리 d 이하인 상태를 임계시간 t 이상을 유지할 때, 해당 버튼 또는 스위치가 선택되었다는 이벤트를 생성시킨다.

2.2 감각형 상호작용을 이용한 가상 디자인 품평

Fig. 3은 제시된 AR 기반 감각형 상호작용을 이용한 휴대용 전자제품의 가상 디자인 품평 테스트베드를 나타낸다. 그림에서는 게임폰을 예로 들었다. 이러한 가상 디자인 품평에 필요한 주요 구성요소로는 제품 모델 생성, 멀티미디어 콘텐츠 데이터 획득, HMI 기능 정보 모델 생성, 유한상태기계 코드 생성, 그리고 AR 기반 감각형 오브젝트 등이 있다^[7]. AR 기반 가상 체험 환경에서는 사용자가 손가락 고정구를 착용한 손가락 끝 부분을 제품용 감각형 오브젝트의 특정 부위(예, 버튼, 슬라이드, LCD 패널 등)를 일정 시간 이상 접촉함으로써 가상제품의 해당부위의 누름이나 이동에 해당하는 HMI 이벤트가 발생된다. 이러한 이벤트가 유한상태기계로 전달되어 제품의 상태가 바뀌면서 정해진 활동이 수행되는 형태로 제품이 반응한다. 즉, 모니터를 통해 실세계로 증강된 제품의 시각적 이미지가 실시간 출력되고, 스피커를 통해 제품 주변에서 흘러나오는 각종 소리음이 출력된다. 이를 통해 사용자는 제품의 부피감 및 크기를 체험하게 하고, 제품의 외형, HMI 기능적 행동양태 등을 체험할 수 있다. 궁극적으로 제품의 사실적인 시각화, 생생한 HMI 기능 시뮬레이션, 그리고 제품 기능 평가 및 사용성 평가 등과 같은 가상디자인 품평 과정에서 요구되는 중요한 일들을 수행할 수 있게 된다.



Fig. 3. Virtual experience of a handheld product using AR-based tangible interaction.

3. AR 기반 감각형 오브젝트 제작

본 연구에서는 AR 기반 감각형 상호작용 매체로서 두 종류의 감각형 오브젝트(제품용 오브젝트와 손가락 고정구)를 이용한다. 이러한 감각형 오브젝트에는 한 개 이상의 고유의 AR 마커가 부착되며, 경우에 따라서는 특정 도형이 표기되기도 한다.

3.1 제품용 오브젝트 제작

제품용 감각형 오브젝트는 AR 환경에서 제품의 위치와 자세를 조작하고, 손가락 고정구와 연동하여 HMI 이벤트를 생성하기 위해 이용된다. 본 연구에서는 제품용 감각형 오브젝트 제작을 위해 패속시작(Rapid Prototyping, RP) 기술^[11]을 적용한다. 여기서는 SLS RP 공정을 적용하였다. 따라서, 제품의 STL 파일을 이용한 RP 모델을 생성한 후, RP 모델의 특정 부위에 AR 마커를 부착한다. 휴대용 전자제품은 한 개 이상의 LCD 디스플레이를 가지고 있으므로 AR 마커를 각 LCD 디스플레이 중앙에 부착한다. Fig. 4는 게임폰에 대한 감각형 오브젝트와 이를 이용하여 실세계에 증강된 제품모델을 나타낸다.

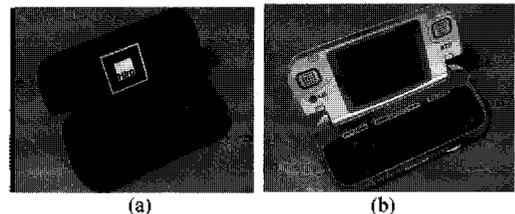


Fig. 4. Product-type tangible object for a game phone: (a) the RP model with an AR marker; (b) the augmented image of the game phone.

3.2 손가락 고정구 설계 및 제작

손가락 고정구 설계를 위해 체계적 공학설계 접근 방식을 적용하였다^[2,18]. 우선, 손가락 고정구가 충족시켜야 하는 요구조건들을 조사하였다. Table 1은 요구조건들을 나타낸다.

이러한 요구조건들을 고려하고, 사용자가 검지 손가락 끝을 이용하여 버튼 선택 작업을 수행한다는 점에 착안하여 손가락 고정구에 대한 개념설계들을 도출하였다. 그런 다음, 도출된 개념설계들 중에서 단일 부품으로 이루어진 일체형 오브젝트에 해당하는 개념설계들을 선별하였다. 일체형 오브젝트는 조립 및 체결문제를 고려하지 않아도 되며, RP 기술을 통해 저비용으로 빠르고 쉽게 제작할 수 있다. 이에 선별과정

Table 1. Requirements for the finger fixture

1	손가락 끝으로 제품용 오브젝트를 접촉할 수 있어야 한다.
2	AR 마커가 손가락 끝과 가까워야 한다.
3	버튼 선택 작업 중 손가락 끝 부위가 잘 보여야 한다.
4	부착된 AR 마커가 카메라로부터 잘 보여야 한다.
5	사용할 때 손가락에 걸리는 부하가 적어야 한다.
6	많은 사람들의 손가락에 잘 맞아야 한다.
7	가볍고 쉽게 부서지지 않아야 한다.
8	제작이 용이해야 한다.
9	제작 비용이 저렴해야 한다.

에서 이러한 일체형 오브젝트에 대한 개념이 중요하게 고려되었다. Fig. 5는 선별된 개념설계 3가지를 나타내는데, 이들은 일체형인 손가락 고정구를 검지 손가락에 착용하는 개념에 바탕을 두고 있다.

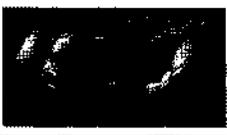
설계 대안	개념도	개념 설명
A		· 구성: 1개 고리+AR 마커 부착판 · 마커 위치: 첫째 마디 위 · 마커 가시성 때문에 손가락을 곧게 펴야 함.
B		· 구성: 2개 고리+ AR 마커 부착판 · 마커 위치: 둘째 마디 위 · 손가락을 어느 정도 구부리게 함.
C		· 구성: 2개 고리+ AR 마커 부착판 · 마커 위치: 셋째 마디 위 · 손가락을 어느 정도 구부리게 함.

Fig. 5. Conceptual designs for the finger fixture.

그런 다음, 요구조건들을 모두 고려하여 선별된 3가지 개념설계들을 평가 분석한 후, 최종적으로 1가지 개념설계를 선택하였다. 참고로, 검지 손가락의 세 마디 중 손톱이 있는 마디를 첫째 마디라고 한다. 손가락 굽힘 정도, AR 마커 위치, 손끝과 AR 마커 간의 거리는 요구조건 2, 3, 4, 5번 항목에 상대적으로 영향을 미친다. 예를 들어, 손가락을 곧게 펴 상태에서 버튼선택을 하게 되면, 손가락에 힘이 들어가지만, 카메라로부터 AR 마커의 가시성이 높아진다. 또한, 손끝과 마커 중심 간의 거리가 가까우면 선택 작업의 정확성은 높지만 손가락 끝부분이 사용자로부터 잘 보이지 않게 되어 버튼 선택과 같은 작업 성능이

저해된다.

Table 2는 설계대안들의 평가 결과를 나타낸다. 각 요구조건에 대해 설계대안이 요구조건을 충족하는 정도를 1점부터 3점을 부여하였으며, 요구조건들의 가중치를 고려하여 설계대안들의 점수를 산정하였다. 요구조건 1, 7, 8번 항목에서는 3가지 개념설계들이 동일한 수준에 있다고 판단하여 같은 값을 부여하였다. 요구조건별 가중치는 목적에 따라 다르게 부여될 수 있으나, 정확한 상호작용의 실현에 중요성을 두어 상호작용의 정확성에 직접 영향을 미치는 요구조건들(1,2,3,4번)의 가중치를 2로 부여하고, 나머지 요구조건들의 가중치는 1로 부여하였다. 이러한 평가를 통해 설계대안 C가 최종적으로 선택되었다.

Table 2. Evaluation of conceptual design alternatives

요구조건	가중치 (w)	설계대안 A	설계대안 B	설계대안 C
1	2	3	3	3
2	2	3	3	2
3	2	1	2	3
4	2	2	2	3
5	1	2	3	3
6	1	3	2	2
7	1	2	2	2
8	1	3	3	3
9	1	3	2	2
단순합산		22	22	23
가중치 고려한 합산		31	32	34

선택된 개념설계에서는 손가락 고정구가 2개의 고리와 AR 마커 부착판으로 구성되며, 손가락 마디 위에 AR 마커를 부착한다. 상호작용을 할 때, 네 손가락을 굽히고, 손가락 고정구를 착용한 검지 손가락을 편 상태에서 손가락 끝으로 제품용 오브젝트를 접촉한다. 부착된 AR 마커 정보를 바탕으로 손가락 끝의 위치를 파악한 다음, 2.1절에서 설명된 원리를 이용하여 버튼 선택 작업이 이루어진다.

이러한 개념설계를 구체화시켜 상세설계로 전환시킨 다음, 이를 토대로 손가락 고정구를 제작하였다. 손가락 고정 고리를 둘째 마디와 셋째 마디에 부착하도록 하였는데, 둘째 마디의 시직점에 고정 고리를 위치시키고, 셋째 마디 중간 지점에 다른 고정 고리를 위치시켰다. 개념설계의 구체화를 위해 결정되어야 하는 설계변수들(재료, 제조공법, 형상치수)은 Table 3에서와 같이 요약하였다.

Table 3. Design parameters of the finger fixture

재질	손가락 고정구의 재질
제조 공정	손가락 고정구의 제조 방안
주요 형상치수	t : 고정구 셸(shell) 두께 a_{23} : 둘째와 셋째 마디 사이 각도 l_2 : 둘째 마디의 길이 l_3 : 셋째 마디의 길이 w_2 : 둘째 마디의 폭 w_3 : 셋째 마디의 폭 r_2 : 둘째 마디의 고정 고리 반경 r_3 : 셋째 마디의 고정 고리 반경 d_2 : 둘째 마디의 고정 고리 폭 d_3 : 셋째 마디의 고정 고리 폭

이러한 설계변수들은 손가락 고정구의 요구조건들과 모두 연관됨을 상기하기 바란다. Fig. 6은 손가락 고정구의 형상을 결정짓는 주요 형상치수를 나타낸다.



Fig. 6. Shape dimensions of the finger fixture.

설계변수들의 결정은 다음과 같이 이루어졌다. 우선, 제조공정으로는 요구조건 8번 및 9번 항목에 잘 부합하는 RP 공법^[1]을 선정하였다. 재질로는 요구조건 7번 및 8번 항목에 잘 부합하는 SLS RP 공정에 이용되는 재질인 열가소성 소재로 선택하였다. 요구조건 4번 항목인 AR 마커의 원활한 인식을 위해 마커 부착판의 크기를 $28 \times 28 \text{ mm}^2$ 로 하였다($w_3 = 28 \text{ mm}$, $l_3 \geq 28 \text{ mm}$). 요구조건 7번 항목과 관련되는 고정구 셸의 두께(t)와 고정 고리 폭(d_2 , d_3)은 각각 $t = 3 \text{ mm}$, $d_2 = d_3 = 5 \text{ mm}$ 로 정하였다. 셸 두께(t)는 전체적으로 동일한 셸 두께를 적용하였다.

그리고, 요구조건 5, 6번 항목과 관련되는 손가락 고정구의 나머지 치수들(l_2 , l_3 , r_2 , r_3 , a_{23})의 결정은 연구자가 소속된 학과의 학생들 10명을 대상으로 선택작업에 이용하는 왼손 또는 오른손 검지 손가락의 해당 치수들을 측정하여 얻은 값들을 바탕으로 하였다.

둘째 마디와 셋째 마디 간의 각도(a_{23})의 결정을 위해 각 피실험자의 검지손가락에 힘을 주지 않은 자연스러운 상태에서의 해당 각도를 측정된 다음, 평균값

으로 정하였다. 치수(l_2 , l_3)의 결정은 각 피실험자의 해당 손가락 마디를 측정된 다음, 평균값으로 하였다. 마지막으로, 치수(r_2 , r_3)의 결정은 각 피실험자의 해당 손가락 마디를 측정된 다음, 최대값 + 여유값으로 하였다. 그러나, 고정 고리가 너무 커서 손가락에 잘 고정되지 않아 고정구가 쉽게 움직이는 경우나, 고정 고리가 너무 작아서 손가락이 잘 들어가지 않는 경우가 발생할 수 있다. 따라서, 고정 고리를 고무밴드 재질이나 후크패스너(hook fastener)와 같이 조절 가능한 것으로 대체하는 방안을 고려할 수 있다. 이상에서와 같이 결정된 손가락 고정구의 주요 형상치수 값들은 다음과 같이 요약된다.

$$t = 3 \text{ mm}, a_{23} = 150^\circ$$

$$l_2 = 22 \text{ mm}, w_2 = 14 \text{ mm}, r_2 = 8.5 \text{ mm}, d_2 = 5 \text{ mm}$$

$$l_3 = 28 \text{ mm}, w_3 = 28 \text{ mm}, r_3 = 10 \text{ mm}, d_3 = 5 \text{ mm}$$

언급된 손가락 고정구의 주요 형상치수를 매개변수로 이용한 특징형상 기반 파라메트릭 모델링을 이용하여 손가락 고정구의 CAD 모델을 생성할 수 있다^[1]. 이를 통해 매개변수 수치를 바꿈에 따라 다양한 치수의 손가락 고정구 CAD 모델을 쉽게 생성할 수 있다. 본 연구에서는 CATIA Version 5를 이용하여 결정된 형상치수 값들에 해당하는 손가락 고정구의 CAD 모델을 생성하였다^[1]. 손가락 고정구의 제작을 위해 생성된 CAD 모델의 STL 파일을 패속시작(RP) 기술에 적용하여 RP 모델을 생성한 후, RP 모델에 AR 마커를 부착한다. Fig. 7은 제작 완료된 손가락 고정구와 실제에 증강된 손가락 고정구 모델을 나타낸다.

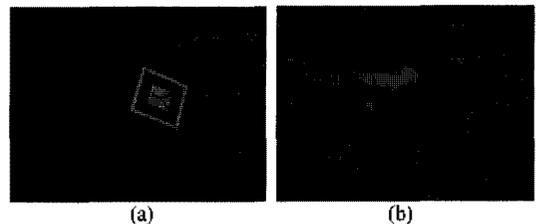


Fig. 7. AR-based finger fixture: (a) RP model of the finger fixture, (b) the augmented image of the finger fixture.

3.3 손가락 끝점 위치 계산

Fig. 8은 제품용 RP 모델과 손가락 고정구를 이용한 감각형 증강현실 기반 상호작용 사례를 나타낸다. 사용자는 고정구가 부착된 손가락의 끝점을 제품용

오브젝트의 특정 부위에 집중함으로써 HMI 이벤트를 발생시킨다. 손가락 고정구를 이용하여 손가락 끝점의 위치를 계산하고자 할 때, 손가락의 움직임으로 인해 끝점의 위치가 일정하지 않게 되는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 최소화하기 위해서는 검지손가락에 고정구가 잘 고정되어 손가락의 상대적인 움직임이 일어나게 않게 해야 하며, 고정구의 끝부분에서부터 손가락 끝점에 이르는 거리, 즉 첫째마디 길이(l_1)를 가능한 정확하게 측정해야 한다.

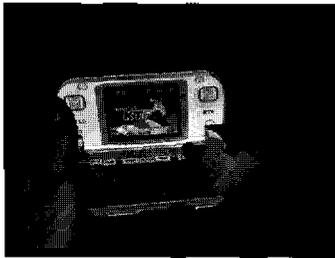


Fig. 8. Example of AR-based tangible interaction using the finger fixture.

사용자의 검지손가락 첫째마디 길이(l_1)가 정해지면, Fig. 9에서와 같이 AR 마커 좌표계 $OXYZ_m$ 을 기준으로 손가락 끝점(P)의 위치를 다음과 같이 산정한다.

$$P = C + l_1 \frac{(B - A)}{\|B - A\|} \quad (2)$$

여기서, 점 A, B, C 는 다음과 같이 정해진다.

$$\begin{aligned} A &= O_m + \left(\frac{l_3}{2}\right) Y_m \\ B &= A - l_2 (\cos a_{23} Y_m + \sin a_{23} Z_m) \\ C &= B - (l + r_2) \left(\frac{(B - A)}{\|B - A\|} \times X_m \right) \end{aligned} \quad (3)$$

그리고, O_m, X_m, Y_m, Z_m 는 AR 마커 좌표계 $OXYZ_m$ 의 원점, X축 단위벡터, Y축 단위벡터, Z축 단

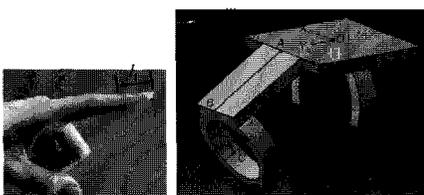


Fig. 9. Computation of the location P of the finger tip.

위벡터를 각각 나타낸다. 좌표계 $OXYZ_m$ 을 기준으로 할 경우, $O_m = (0,0,0), X_m = (1,0,0), Y_m = (0,1,0), Z_m = (0,0,1)$ 이 된다.

손가락 고정구에 부착된 AR 마커 정보를 바탕으로 식 (2)과 (3)을 이용하여 손가락 끝 부분의 위치 P 를 파악한 다음, 2.1절에서 설명된 원리와 식 (1)을 이용하여 버튼 선택 작업 및 상호작용이 이루어진다.

4. 감각형 상호작용의 정확도 산출

제시된 증강현실 기반 감각형 상호작용 방안에서는 검지손가락 끝점과 제품의 버튼의 거리를 도대로 상호작용이 일어난다. 그러나 버튼의 크기가 너무 작거나 버튼들이 서로 밀접해 있으면 버튼 선택 작업이 곤란해지고, 결국 상호작용의 정확성이 저하된다. 본 연구에서는 실험을 통하여 원활한 상호작용을 허용하는 가상 버튼의 크기를 도출함으로써 상호작용 방안의 정확도를 산출하였다.

4.1 실험 환경 및 방법

증강현실 기반 감각형 상호작용 방안의 유효영역 산출 실험을 위한 환경으로 Fig. 3에서와 같은 가상디자인 플랫폼 테스트베드를 이용하였다. 영상획득을 위해 640×480 해상도를 갖는 PC 카메라를 이용하였고, 눈과 카메라의 시점을 일치시키기 위해 스포츠용 모자에 카메라를 부착시켰다.

마커 크기와 카메라 해상도가 제시된 AR 기반 감각형 상호작용의 정확도 및 성능에 영향을 미친다. 마커가 너무 크면 마커 인식을 및 좌표계 정확도는 향상되지만 손가락 부위가 잘 보이지 않는 상황이 자주 발생하며, 마커가 너무 작으면 손가락 부위는 잘 보이지만 마커 인식을 및 좌표계 정확도가 저하된다. 고해상도 카메라를 사용하여 마커 크기를 줄일 수 있지만, 영상처리를 위한 계산량 증가에 따른 시스템 성능이 전체적으로 저하된다. 본 연구에서는 Fig. 3의 640×480 해상도 카메라가 사용되는 환경에서 대체적으로 잘 인식되는 $28 \times 28 \text{ mm}^2$ 크기의 마커를 채택하였다.

Fig. 10과 같이 AR 마커 근처에 숫자(1~25)가 적힌 5×5 격자들이 주어졌을 때, 피실험자에게 4개의 난수(random number, 1~25)들로 구성된 숫자열을 제시하고, 피실험자로 하여금 손가락 고정구를 이용하여 주어진 숫자열에 해당하는 격자들을 선택하도록 하였다. 각 격자는 버튼 역할을 하는 것으로 간주하여 이 작업을 버튼선택 작업이라고 칭한다. AR 마커 근

처에 가상 버튼 크기만큼의 사각 격자들을 인쇄하여 출력하였고, 사각 격자 안에 1부터 25까지 고유 숫자를 각각 기입하였다. 피실험자는 고정구가 부착된 손가락의 끝점을 특정 숫자가 기입된 격자 중앙 근처에 접촉하게 하였다. 주어진 숫자에 해당하는 격자를 성공적으로 선택하는 경우와 그렇지 않은 경우를 구별하기 위해 각기 다른 버튼 음성을 출력하였으며, 주어진 숫자열에 해당하는 격자들을 순서대로 선택하면, 작업 성공을 알리는 음성정보를 출력하였다.

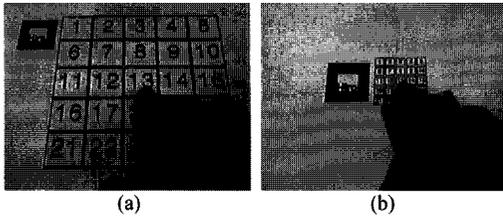


Fig. 10. Task of button selection: (a) $20 \times 20 \text{ mm}^2$ for each button, (b) $5 \times 5 \text{ mm}^2$ for each button.

손가락 끝점과 격자 중심과의 거리 비교를 바탕으로 버튼이 선택되었음을 판별한다. 즉, 두 점의 거리가 임계거리 d 이하인 상태를 임계시간 t 이상을 유지할 때 해당 버튼이 선택되었다고 판별한다. 이러한 판별 거리에 대한 임계거리 d 는 Fig. 11에서와 같이 격자 내접원의 반지름 $R_{\min} = D/2$ 를 최소값으로 하고, 격자 외접원의 반지름 $R_{\max} = \sqrt{2}D/2$ 를 최대값으로 고려할 수 있다. 본 실험에서는 R_{\max} 를 임계거리로 설정하였다. 또한, 임계시간을 0.5초로 두었다.

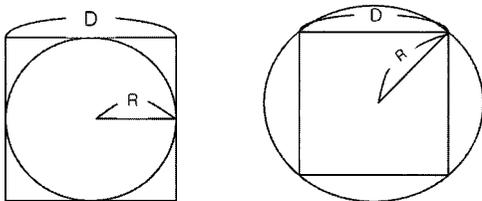


Fig. 11. Two kinds of threshold values for button selection.

격자와 격자 사이의 간격은 1 mm로 고정하였으며, 격자 한 변의 크기를 20, 16, 12, 8, 6, 5, 4 mm 순으로 감소시키면서 피실험자로 하여금 버튼선택 작업을 수행하도록 하였다. 실험 대상으로는 대학생 10명으로 하였다. 실험을 통해서 버튼선택 작업에 소요되는 평균시간을 측정하였으며, 버튼선택작업 당 버튼을 잘못 선택한 횟수를 측정하였다. 이를 통해 유효한 버튼선택작업이 가능한 최소 버튼 크기를 추정하였다.

4.2 실험 결과 및 분석

Fig. 12과 Fig. 13은 크기별 버튼을 선택한 평균 소요시간과 버튼선택작업 당 평균 잘못 선택한 횟수를 각각 나타낸다. 잘못 선택한 횟수는 6 mm 크기 버튼까지는 거의 일어나지 않았으나, 5 mm 이하 크기 버튼에서부터 증가하였다. 평균 소요시간은 6 mm 크기 버튼까지는 10초대를 유지하였으나, 5 mm 이하 크기 버튼에서부터 크게 증가하였다.

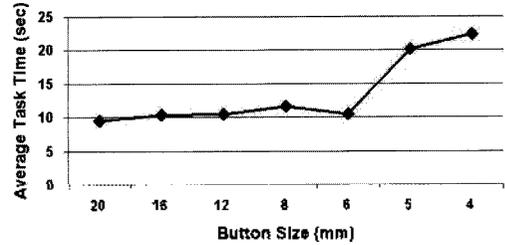


Fig. 12. Time required for each button selection task.

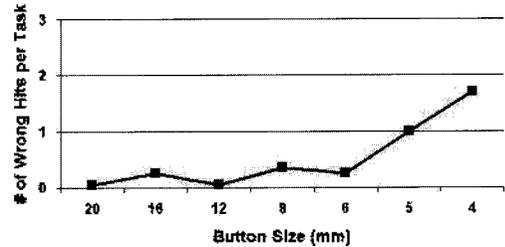


Fig. 13. Number of mistakes for each button selection task.

버튼 크기가 작은 경우에는 잘못 선택한 횟수가 증가하고 이에 따라 소요시간이 더욱 증가하는 현상이 발생하였다. 그러나, 버튼 간격이 훨씬 큰 상황에서는 소요시간과 잘못 선택한 횟수가 동시에 감소하리라 사료된다. 제시된 버튼 선택 알고리즘은 손가락 끝점에서 가장 가까운 버튼을 대상으로 적용되며, 최단거리 버튼까지의 거리가 임계거리 이하인 상태를 일정 시간 유지할 경우, 해당 버튼이 선택되게 된다. 그러나, 버튼 크기가 작은 경우, 손가락 끝점의 미세한 움직임에도 최단거리 버튼이 자주 바뀌게 되는 현상이 발생하여 선택 작업 실패 및 선택 시간 지연이 심해지게 된다. 본 연구의 경우, 버튼 크기 6 mm 미만에서부터 이러한 현상이 심해짐을 알 수 있다.

이상에서와 같이 제안된 증강현실 기반 감각형 상호작용 환경에서는 크기 6 mm 이상의 버튼에 대해 원활한 상호작용을 수행할 수 있다. 현재 시장에 판매되고 있는 휴대용 전자제품들 중 버튼 크기 6 mm 이상, 버튼 간격 1 mm 이상인 제품이 상당부분이라는

사실에 비추어 제안된 상호작용 방안이 휴대용 전자제품의 가상평평에 폭넓게 적용될 수 있다고 사료된다.

5. AR 기반 감각형 상호작용의 적용사례

본 논문에서 제안하는 증강현실 기반 상호작용 방안을 이용하여 현재 판매 중인 A사 MP3 플레이어와 B사 게임폰, C사 PMP(portable multimedia player)를 적용대상으로 하였다. 적용된 전자 제품의 버튼들의 크기는 5~15 mm이며, 키패드(keypad)를 제외한 버튼 간격이 1 mm보다 훨씬 크다. 실제 제품의 LCD 화면에 나타나는 이미지와 사운드 및 행동양태는 HMI (human-machine interaction, HMI) 기능 정보 모델^[17]을 이용하여 생성하였다. 제품 3D 기하 모델 생성을 위해 Rhino3D V3.0^[20]과 RapidForm 2004^[21]를 이용하였으며, 감각형 오브젝트로서 RP모델의 제품용 오브젝트와 손가락 고정구를 이용하였다. 제품 모델, HMI 기능 모델, 감각형 오브젝트를 이용하여 AR 기반 가상디자인평평 시스템을 구현하였다. 아울러, AR 증강 과정에서 가상 물체가 사용자의 손을 가려서 시각적으로 어색한 현상이 종종 발생하는 데, 이를 위해 손 가림 현상에 대한 해결 방안^[22]을 적용하였다.

Fig. 14는 AR 환경에서의 MP3 플레이어와 게임폰, PMP에 대한 가상디자인평평 장면을 보여준다. 제시된 가상디자인평평 시스템을 이용하여 사용자는 실제 영상과 함께 제품의 삼차원적 외형, 제품 기능을 체험할 수 있었으며 제품에 대한 빠른 이해와 용이한 평가를 할 수 있었다. 10명의 대학생들에게 실시한 기초적인 사용성 평가를 통해 제시된 상호작용 방안이

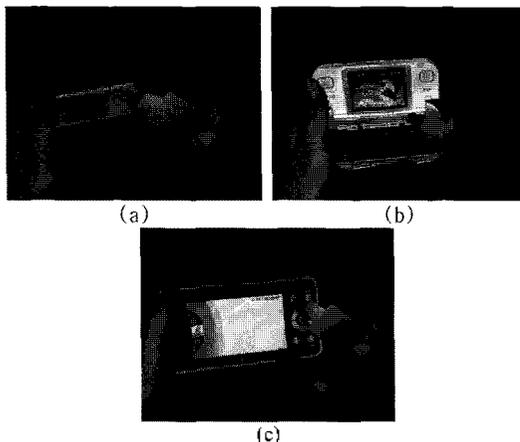


Fig. 14. Applications of AR-based tangible interaction: (a) MP3 Player, (b) Game Phone, (c) PMP.

매우 흥미로우며, 기존의 포인터용 오브젝트를 사용한 상호작용 방안^[17]에 비해 보다 직관적이고, 몰입감이 증대된 상호작용이라는 긍정적인 반응을 얻었다.

6. 결 론

가상공간에서 휴대용 전자제품을 원활하게 체험하기 위해서는 무엇보다도 사용자-제품 간의 직관적이고 감각적인 상호작용이 중요하다. 본 논문에서는 AR 기반 가상환경에서 사용자가 휴대용 전자제품을 손으로 조작하는 느낌을 제공하는 감각형 상호작용 방안을 제시하였다. 제시된 상호작용에는 손가락 고정구와 제품용 오브젝트를 함께 연동하여 사용자가 검지 손가락 끝으로 가상제품의 입력장치를 조작하여 이벤트를 발생시키면 제품은 이러한 이벤트에 따라 적절하게 반응한다. 제시된 상호작용 방안을 휴대용 전자제품에 대한 가상디자인평평 테스트베드에 적용함으로써 사용자가 검지 손가락 끝으로 가상제품의 입력장치를 조작할 수 있음을 보였고, 직관적이고, 몰입감이 증대된 상호작용 방안임을 보였다.

본 연구에서는 손가락 고정구에 한 개의 마커를 이용하였는데, 이로 인해 카메라 각도가 바뀔 때 마커를 인식하지 못하는 경우가 발생하고, 상호작용 시 손의 위치 및 방향에 대한 제약이 유발된다. 추후, 다중 마커를 고정구에 부착하는 방안을 시도하여 이러한 문제를 해소하고자 한다. 또한, 본 연구에서는 640 × 480 해상도 카메라가 사용되는 환경에서 28 × 28 mm²에 해당하는 다소 큰 마커가 사용되었다. 추후, 고해상도 카메라를 도입하여 마커 크기를 더욱 감소시켜 보다 자연스러운 상호작용을 구현하고자 한다. 또한, 양손의 엄지 및 검지를 포함한 여러 손가락을 사용하는 실제 휴대용 제품의 상호작용에서와 같이 여러 손가락을 사용하는 AR 기반 감각형 상호작용을 구현하고자 한다. 아울러, 개발된 방안이 인터넷을 통한 분산 개방형 플랫폼에서 구동되도록 가상 디자인 평평 테스트베드를 확장 및 발전시키고자 한다. 최근의 휴대용 전자제품에서는 제품-사용자 인터페이스가 터치스크린을 통해 상당 부분 이루어진다. LCD 디스플레이 부분이 터치스크린이 이용되는 경우, 손 부위가 AR 마커를 가리는 현상이 빈번하여 AR 마커 인식이 현저히 떨어지게 되어, AR 마커를 LCD 디스플레이 부위에 붙이기가 곤란한 상황이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 새로운 형태의 AR 마커를 고안 및 이용하거나 마커를 사용하지 않는 방안을 개발하고자 한다.

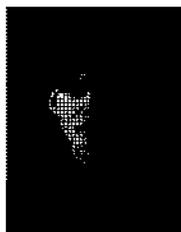
참고문헌

1. Lee, K., Principles of CAD/CAM/CAE Systems, Addison Wesley, Berkeley, 1999.
2. Ulrich, K. T. and Eppinger, S. D., Product Design and Development, McGraw Hill, New York, 2004.
3. Bullinger, H. J., Breining, R. and Baucer, W., "Virtual Prototyping - State of the Art in Product Design," *Proceedings of the 26th International Conference on Computers & Industrial Engineering*, pp. 103-107, 1999.
4. Zorriassantine, F., Wykes, C., Parkin, R. and Gindy, N., "A Survey of Virtual Prototyping Techniques for Mechanical Product Development," *Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 217, pp. 513-530, 2003.
5. Burdea, G. C. and Coiffet, P., Virtual Reality Technology, John Wiley & Sons, USA, 2003.
6. Ottosson, S., "Virtual Reality in the Product Development Process," *Journal of Engineering Design*, Vol. 13, No. 2, pp. 159-172, 2002.
7. Greenberg, S. and Fitchett, C., "Phidgets: Easy Development of Physical Interfaces Through Physical Widgets", *Proceedings of the ACM UIST*, pp. 209-218, 2001.
8. Hartmann, B., Klemmer, S. R., Bernstein, M. and Mehta, N., "d.tools: Visually Prototyping Physical UIs Through Statecharts," *Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, 2005.
9. Ishii, H. and Ullmer, B., "Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces Between People, Bits and Atoms," *Proceedings of Conference of Human Factors in Computing Systems (CHI)*, pp. 234-241, 1997.
10. ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/ARToolKit>.
11. Azuma, R. T., "A Survey of Augmented Reality," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385, 1997.
12. Kato, H., Billingham, M., Poupyrev, I., Imamoto, K. and Tachibana, K., "Virtual Object Manipulation on a table-top AR Environment," *Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, pp. 111-119, 2000.
13. Billingham, M., Kato, H. and Poupyrev, I., "Collaboration with Tangible Augmented Reality Interfaces," *Proceedings of HCI International*, pp. 234-241, 2001.
14. Verlinden, J., de Smit, A., Peeters, A. W. J. and van Gelderen, M. H., "Development of a Flexible Augmented Prototyping System," *Journal of WSCG*, Vol. 11, pp. 496-503, 2003.
15. Lee, W. and Park, J., "Augmented Foam: Touchable and Graspable Augmented Reality for Product Design Simulation," *Bulletin of Japanese Society for the Design Science*, Vol. 52, pp. 17-26, 2006.
16. Nam, T. J., "Sketch-based Rapid Prototyping Platform for Hardware-software Integrated Interactive Products," *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, pp. 1689-1692, 2005.
17. 박형준, 문희철, "증가현실 기반 상호작용과 시뮬레이션을 이용한 휴대용 전자제품의 설계평형," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 13, No. 3, pp. 209-216, 2008.
18. Thompson, B. S., Creative Engineering Design, Okeanos Press, USA, 1997.
19. CATIA Version 5, <http://www.ibm.com/catia>
20. Rhino3D, <http://www.rhino3d.com>
21. RapidForm, <http://www.rapidform.com>
22. 문희철, 박형준, "휴대용 제품의 증강현실 기반 가상시각에서의 손 가림 현상 해결 방안," 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 15-20, 2009.



박형준

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



문희철

2005년 조선대학교 산업공학과 학사
 2007년 조선대학교 산업공학과 석사
 2008년~현재 조선대학교 산업공학과 대학원 박사과정
 관심분야: Virtual Prototyping of Engineered Products, Tangible Augmented Reality, CAD/CAM Applications