

증강가소성: 물리적 오브젝트에 형태적 편집가능성 부여하기

Augmented Plasticity: Giving Morphological Editability to Physical Objects

주저자 : 이우훈 (Woohun Lee)

· KAIST 산업디자인학과

공동저자 : 강혜경 (Hyekyoung Kang)

프랑스 르노자동차 내장시스템기획팀

1. 서 론
2. 컴퓨터를 통한 조형적 편집가능성의 확장
3. 증강가소성(Augmented Plasticity)과 디지털스킨
(Digital Skin)
 - 3-1 증강가소성의 개념
 - 3-2 디지털스킨의 제안
 - 3-3 디지털스킨의 상세개념
4. 디지털스킨의 구현
 - 4-1 트래킹과 영상합성
 - 4-2 제시방법
5. 디지털스킨의 응용가능성
 - 5-1 제품 디테일 디자인과 부분수정 디자인
 - 5-2 디자인 소재 탐색
6. 디지털스킨에 대한 디자이너의 수용성 평가
7. 결론 및 향후연구과제

참고문헌

(要約)

디자인과정 후반에서 제품 디자이너는 전경형태(디테일 디자인)에 대한 다양한 아이디어를 스케치하고 배경형태(기본 조형)와의 수많은 조합을 테스트하게 된다. 이 때 디자이너들은 실제 제품과 거의 동일한 하이피델리티(high fidelity)의 디자인 모형을 제작해 세밀한 부분까지 점검하게 된다. 하지만 디자인 모형 제작에는 적지 않은 시간과 경비가 소요되기 때문에 배경형태와 전경형태에 대한 다양한 조합을 모두 평가해 보는 것은 사실상 불가능하다고 할 수 있다. 또한 물리적으로 구현된 아이디어는 화면 속의 디지털 모형과는 달리 편집가능성이 부족하기 때문에 “디자인과 평가”라는 순환적 작업과정이 제한적으로 이루어질 수밖에 없다.

이런 문제를 해결하기 위해 본 연구는 증강현실기술을 응용하여 물리적 오브젝트에 디지털적으로 조형적 편집가능성을 증강시킬 수 있는 증강가소성의 개념을 제안하고 이를 디지털스킨으로 구체화하였다. 디지털스킨은 ARToolKit의 비주얼 마커를 이용해 오브젝트 표면의 위치와 방향을 트래킹하고 차분렌더링기법을 활용하여 변형된 표면을 이음매 없이 덧붙일 수 있다. 본 연구는 구현된 디지털스킨을 제품 디테일과 부분수정 디자인 그리고 디자인 소재탐색 작업에 대한 적용해 보았다. 그 결과 디자인 과정 후반에서 효과적으로 디자인 아이디어를 구현하고 테스트하는데 상당한 도움을 줄 수 있을 것으로 평가되었다.

(Abstract)

Product designers sketch various ideas of foreground figures(detail design) onto background figures(basic form) and evaluate numerous combinations of them in the late stages of design process. Designers have to test their ideas elaborately with a high-fidelity physical model that looks like a real product. However, due to the requirements of time and expense in making high-fidelity design models, it is impossible to evaluate such a number of combinatorial solutions of background and foreground figures. Contrary to digital models, physical design models are not easily modifiable and so designers cannot easily develop ideas through iterative design-evaluation process.

To address these problems, we proposed a new concept 'Augmented Plasticity' that gives morphological editability to a rigid physical object using Augmented Reality technology and implemented the idea as Digital Skin system. Digital Skin system figures out the position and orientation of object surface with ARToolKit visual marker and superimposes a deformed surface image seamlessly using differential rendering method. We tried to apply Digital Skin system to detail design, redesign of product, and material exploration task. In consequence, it was found that Digital Skin system has potential to allow designers to implement and test their ideas very efficiently in the late stages of design process.

(Keyword)

Augmented Reality, Product Design, Augmented Plasticity

1. 서론

통상 디자이너들은 요구개념을 구체화하기 위해 기본적인 구조와 형태를 탐색한 다음 상세 형태를 정해가는 수순으로 작업을 진행한다. 기본형태는 제품의 외관을 이루는 배경형태이고 상세형태는 기본형태 위에 올려지는 전경형태라고 할 수 있다. 배경형태에 속하는 사물의 외곽은 구성부품을 감싸고 지지하는 역할을 하고 전경형태에 속하는 요철 패턴, 통기구, 조작용 버튼, 표시창, 부품간 조립지지부 등은 조형적 장식, 사용상의 계면, 물리적 형상구현 등의 기능을 수행한다. 경우에 따라 어떤 조형요소가 배경형태이고 전경형태인지 구분하기 어려울 수도 있지만 보편적으로 전경형태가 배경형태 위에 놓인다고 말할 수 있다.

전경형태를 구성하는 방법은 배경형태와의 관계에 따라 동질변형방식(그림1)과 이질부가방식(그림2)으로 구분할 수 있다. 동질변형방식은 배경형태에 조각, 부조, 판금과 같은 방법으로 요철을 가하여 전경형태를 생성하는 것이고 이질부가방식은 적층, 조립, 접착을 하듯 배경형태 위에 이질적 소재의 형태를 부가하는 것이다. 제품 디자인에서는 동질변형방식과 이질부가방식이 다양한 형태로 혼용된다. 예를 들어 기본형태에 버튼이라는 전경형태를 생성하는 경우 동질변형방식으로 버튼이 위치하는 자리를 형성하고 이질부가방식으로 버튼을 부착하게 된다.

디자인과정 후반에서 디자이너는 전경형태에 대한 다양한 아이디어를 스케치하고 배경형태와의 수많은 조합을 테스트하게 된다. 어떤 전경형태가 배경형태와 어울리는지, 또는 배경형태의 재질이나 색상에 따라 전경형태의 느낌이 어떻게 달라지는지 등에 대해 많은 실험을 하게 된다. 특히 디자인 마무리 단계에서는 전경형태와 배경형태의 어울리는 조합을 탐색하는 것이 핵심적인 작업이라고 해도 과언이 아니다. 이 때 디자이너들은 실제 제품과 거의 동일한 디자인 모형을 제작해 세밀한 부분까지 점검하게 된다. 하지만 하이피델리티(high fidelity)의 디자인 모형 제작에는 적지 않은 시간과 경비가 소요된다. 따라서 배경형태와 전경형태에 대한 다양한 조합을 모두 물리적인 디자인 모형으로 제작하여 평가해 보는 것은 사실상 불가능하다고 할 수 있다. 이럴 경우 디자이너는 자신의 경험칙에 의거해 여러 가지 조합 중에서 최적이라고 생각하는 안을 찾아낼 수밖에 없는데 경험이 부족한 디자이너들의 경우 제품화된 결과가 예상과 다른 상황을 자주 접하게 된다.

그런데 만약 배경형태와 전경형태를 분리하여 체계적으로 조합할 수 있다면 훨씬 적은 비용과 시간으로 다양한 디자인 시뮬레이션이 가능해질 것이다. 이런 접근방식 중 이론적으로 체계화된 것이 모폴로지컬 차트(morphological chart)¹⁾이다. 독립성이 있는 디자인 요소와 그 수준을 정의하고 이를 조합하여 수 많은 조형적 아이디어를 체계적으로 전개하여 평가하는 방법이다. 실제 디자인 작업에서도 배경형태와 전경형태를 분리하여 모형을 제작하는 경우가 많다. 예를 들면 제품본체(배경형태)와 조작부(전경형태)의 모형을 별도로 제작하여 조합해 보며 비교적 효과적으로 다양한 대안을 평가하기도 한다. 하지만 이때 디자인 모형 제작을 위해 적지 않은 비용과 노력을 투자해야 하고, 동질변형방식의 전경형태의 경우 배경형태와 이음매 없이 통합할 수 없다

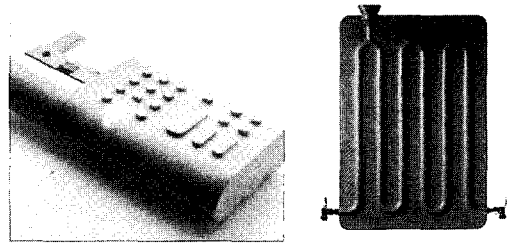


그림 1 동질변형방식의 전경형태생성법: 좌측은 Mario Bellini가 올리베티시를 위해 디자인한 전자계산기(1972), 우측은 Emma Quickenden이 디자인한 라디에이터(1999)

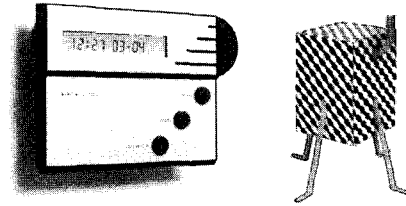


그림 2 이질부가방식의 전경형태생성법: 좌측은 Bang & Olufsen사의 BeoTalk 1200, 우측은 Michele De Lucchi의 Kristall(1981)

는 한계가 있다. 또한 평가를 통해 개선된 아이디어가 나오는 경우 이를 테스트하기 위해 부분적으로 전경형태를 교체해 새롭게 모형을 제작하게 되면 또 다시 상당한 시간이 요구된다. 따라서 디테일 디자인에 주력하는 디자인 과정 후반에서 디자이너들은 자신의 아이디어를 충분히 검토하기 위해 많은 제약을 경험할 수밖에 없다.

디자인 과정 후반에서 겪게 되는 이런 문제 상황은 아이디어를 평가하기 위해 하이피델리티의 물리적인 모형을 제작해야만 하는 데서 기인한다고 볼 수 있다. 물리적으로 구현된 아이디어는 화면 속의 디지털 모형과는 달리 편집가능성(Editability)을 상실하기 때문에 “디자인과 평가”라는 자연스러운 순환적 작업과정의 속도가 지연될 수밖에 없게 된다. 다시 말하면 아직까지 디테일 디자인에 대한 조형적 아이디어를 표현하고 시뮬레이션하기 위한 효과적인 도구가 부재한 상황이라고 말할 수 있다. 이러한 배경에서 본 연구는 증강현실기술을 기반으로 물리적 세계에 조형적 편집가능성을 부가할 수 있는 새로운 디자인 시뮬레이션 기법을 개발하고자 하였다.

2. 컴퓨터를 통한 조형적 편집가능성의 확장

컴퓨터를 기반으로 하는 초기 디지털 디자인 도구는 아이디어에 대한 기록과 표현의 목적으로 주로 사용되었다. 하지만 도구의 성능향상과 작업환경의 변화로 인해 점차 디지털 도구를 발상의 도구로 활용하게 되었다. 현재 많은 디자이너가 3차원 CAD 시스템을 활용하여 제품 형상에 대한 아이디어를 시뮬레이션하고 있으며 2차원 CAD 시스템을 활용해 디테일 디자인과 그래픽 작업을 수행하게 되었다. 조형뿐만 아니라 디자인 컨셉개발을 위한 조사분석 작업과 결과물에 대한 보고서 작성 또한 디지털 도구에 전적으로 의존하게 되었다.

이제 제품 디자인의 영역에서 CAD 시스템의 활용은 아주 일반적이 되었다. 디자이너들은 컴퓨터 기반 도구의 장점을 충분히 활용하게 되었고 대부분의 디자인 작업에서 불가결한 수단이 되어버렸다. CAD 시스템과 같은 디지털 디자인 도구는 기존의 전

1) Roozenburg, N.F., Eekels, J.: Product Design: Fundamentals and Methods, John Wiley & Sons, 202-210, (1995).

통적인 도구들과는 달리 표현한 아이디어에 대해 자유로운 조작이 가능하다는 특징이 있다. 컴퓨터와 CAD 시스템의 보급 이전에 디자이너들은 종이와 연필을 활용해 왔다. 이 때 종이 위에 그린 스케치나 도면은 복제나 편집에 한계가 있었다. 하지만 CAD 시스템의 도입으로 디자이너가 작성한 스케치나 도면 또는 모델은 얼마든지 복사하여 편집하고 출력할 수 있게 되었다. 디지털 디자인 도구의 등장에 따라 표현된 아이디어에 대한 “편집가능성”은 무한할 정도로 증대되었고 디자이너의 작업방식 또한 급격히 변화하였다. 하지만 컴퓨터를 기반으로 하는 디자인 작업은 현실세계와 단절되어 있기 때문에 감각적 실재성을 상실할 수밖에 없다.

컴퓨터 기반 디지털 디자인 도구의 가상성을 극복하기 위해 현실세계의 3차원 공간과 실제적 오브젝트를 매개로 하는 방식으로 확장하려는 다양한 시도가 있었다. 예를 들어 텐저블 브릭(Tangible brick)²⁾, 디지털 테이프(Digital tape)³⁾, 일루미네이팅 클레이(Illuminating clay)⁴⁾, D. Anderson 등의 연구⁵⁾ 등은 실제적 유저 인터페이스를 이용해 디자이너가 보다 직관적으로 컴퓨터에 디자인 아이디어를 표현할 수 있게 한 것이다. 이런 연구들은 디지털 도구를 통한 아이디어의 표현가능성(expressiveness)과 표현효율성(efficiency)을 향상하기 위한 시도라고 볼 수 있다. 또한 Built-it⁶⁾, MagicMeeting⁷⁾, Lee 등의 연구⁸⁾ 등은 증강현실기술을 활용하여 디자인 아이디어의 표현, 조작, 평가 등을 현실세계에서 가능하게 하려는 연구들이다. 이와 같이 텐저블 미디어나 증강현실기술을 기반으로 새로운 상호작용방식들은 유연한 편집가능성을 유지하면서 디자이너가 디자인 대상에 대해 느끼는 조작의 직접성과 감각적 실재성을 확보하려는 시도라고 할 수 있다. 공간상에서 보이는 것을 바로 조작하고 그 결과가 즉시 눈앞에 나타나기 때문에 조작계와 표시계의 이격이나 불일치가 없어질 수 있는 것이다.

Milgram이 제안한 실재성-가상성 연속선(reality- virtuality continuum)⁹⁾의 개념을 바탕으로 디자인 작업공간과 오브젝트

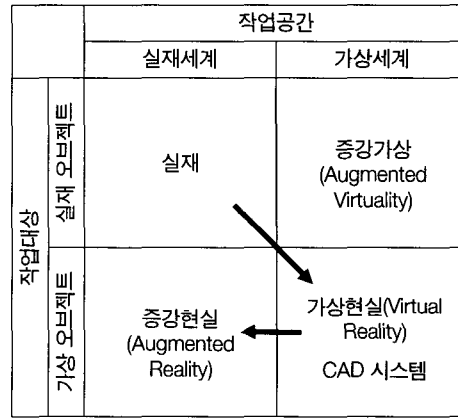


그림 3 실재성-가상성 차원에서 작업공간과 작업대상의 구분

를 직교하여 분류하면 상기한 디자인 도구의 발전의 흐름을 쉽게 정리해 볼 수 있다(그림3). 전통적인 디자인 작업환경은 현실세계에서 실재하는 오브젝트를 이용해 아이디어를 표현하고 발전시키는 방식이었다. 하지만 디자인 작업에 컴퓨터가 도입되면서 작업환경은 가상세계로 바뀌었고 화면 속의 가상 오브젝트를 조작하여 아이디어를 구체화하였다. 이로 인해 표현한 아이디어에 대한 편집가능성은 무한히 증가했지만 감각적 실재성은 현저히 감소하게 되었다. 3차원 CAD 시스템과 같은 가상적 환경에서 디자이너는 오브젝트의 크기를 가늠할 수 없어 디자인 결과가 적절한지 판단하기 어렵다. 컴퓨터 기반 디지털 디자인 도구의 가상성(virtuality)을 극복하기 위한 방법으로 증강현실을 활용할 수 있다. 분류표에 제시된 바와 같이 증강현실은 현실세계이라는 배경에 가상 오브젝트를 3차원적으로 정합시키는 방식으로 구현된다. 증강현실을 활용할 경우 현실세계라는 맥락에 가상 오브젝트를 정합함으로써 오브젝트에 대한 편집가능성을 유지하면서 감각적 실재성을 향상시킬 수 있을 것이다.

3. 증강가소성(Augmented Plasticity)과 디지털스킨(Digital Skin)

3.1 증강가소성의 개념

증강현실은 현실세계라는 배경에 전경으로서 가상 오브젝트를 추가하여 정합시킴으로써 부가적인 정보를 제공하자 하는 일종의 공간적인 정보시각화방법의 하나이다. 군사작전, 의료수술, 제품조립, 고장수리 등과 같이 작업자가 태스크 수행을 위해 필수적으로 요구되는 부가정보를 실시간으로 제공받아야 하는 상황에 적합하게 활용될 수 있다. 눈앞에 보이는 실시간 비디오 화면에 2차원 또는 3차원으로 정보를 부가하는데 이 때 부가할 위치를 정확히 트래킹해야만 한다. 증강현실을 통해 제공되는 3차원의 부가정보는 현실세계라는 맥락에서 가능한 한 실제로 존재하는 것처럼 느낄 수 있도록 계산하여 표시한다. 현재까지 시도된 대부분의 증강현실 기반 정보시각화방법은 가상 오브젝트를 부가하는 방식이었다. 작업자는 시야에 부가되는 오브젝트를 관찰하고 조작하여 태스크를 수행하였다.

Telepresence Technologies, 282-292, (1994).

2) Fitzmaurice, G.W., Ishii, H., Buxton, W.: Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces, Proceedings of ACM CHI 1995 Conference on Human Factors in Computing Systems, 442-449, (1995).

3) Grossman, T., Balakrishnan, R., Kurtenbach, G., Fitzmaurice, G. W., Khan, A., Buxton, W.: Creating Principal 3D Curves with Digital Tape Drawing, CHI 2002 Conference Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, 121-128, (2002).

4) Piper, B., Ratti, C., Ishii, H.: Illuminating Clay: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis, in Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '02), 355-362, (2002).

5) Anderson, D., Frankel, J.L., Marks, J.W., Agarwala, A., Beardsley, P.A., Hodgins, J.K., Leigh, D.L., Ryall, K., Sullivan, E., Yedidia, J.S.: Tangible Interactions and Graphical Interpretation: A New Approach to 3D Modeling, ACM SIGGRAPH, 393-402, (2000).

6) Fjeld, M., Lauche, K., Bichsel, M., Voorhorst, F., Krueger, H., Rauterberg, M.: Physical and Virtual Tools: Activity Theory Applied to the Design of Groupware, In B. A. Nardi & D. F. Redmiles (eds.) A Special Issue of CSCW: Activity Theory and the Practice of Design, Volume 11 (1-2), 153-180, (2002).

7) Regenbrecht, H., Wagner, M., Barattoff, G.: Magic Meeting - a Collaborative Tangible Augmented Reality System, Virtual Reality - Systems, Development and Applications, Vol. 6, No. 3, 15 1-166, (2002).

8) Lee, J., Hirota, G., State, A.: Modeling Real Objects Using Video See-Through Augmented Reality, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, MIT Press, Vol. 11, No. 2, 144-157, (2002).

9) Milgram, P., Takemura, H.: Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. SPIE Proceedings: Telematerial and

		작업공간	
		실세계	가상세계
작업대상	실제 오브젝트	실제 증강가소성	증강가상 (Augmented Virtuality)
	가상 오브젝트	증강현실 (Augmented Reality)	가상현실(Virtual Reality) CAD 시스템

그림 4 증강가소성의 의미

그런데, 만약 현실세계에 있는 실제 사물을 직접 조작할 수 있다면 어떨까? 본 연구는 증강현실기술을 응용하여 실제하는 오브젝트의 형상을 조작할 수 있는 새로운 시각화 기법을 제안하였고 이를 증강가소성(Augmented Plasticity)이라고 명명하였다. 일반적인 증강현실이 실제하지 않는 사물을 존재하는 것처럼 보여 주듯 증강가소성은 변형이 불가능한 실제의 물리적 오브젝트를 자유롭게 변형할 수 있게 한다. 컴퓨터를 매개로 실제하는 오브젝트의 형태를 실시간으로 조작 가능하게 하는 것이 증강가소성이다. 일견 증강가소성은 증강현실과 상당히 유사하지만 조작의 대상이 가상 오브젝트가 아닌 실제 오브젝트이고, 새로운 형태를 부가하는 것이 아니라 기존 형태를 변형한다는 측면에서 큰 차이가 있다(그림 4).

전통적인 증강현실은 이질부가방식의 전경형태 생성방식과 상통한다. 현실세계의 사물이라는 배경형태가 있고 그 위에 가상의 오브젝트를 전경형태로 부가하기 때문이다. 반면 동질변형방식의 전경형태 생성법은 본 연구에서 제안하는 증강가소성의 개념과 일치한다. 현실세계에 존재하는 배경 오브젝트를 직접 변형시켜 이음매 없이 동질적인 전경형태를 만들어 내는 것이다.

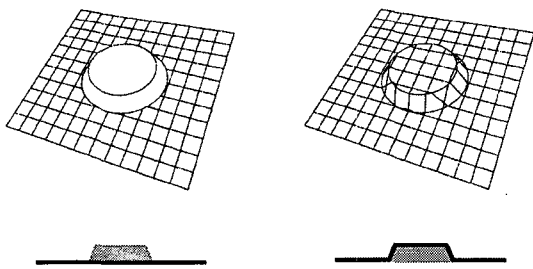


그림 5 증강현실(좌)과 증강가소성(우)의 차이

3.2 디지털스킨의 제안

본 연구는 증강가소성을 구현하는 방법의 하나로써 디지털스킨(Digital Skin)을 제안하였다. 디지털스킨은 현실세계에 존재하는 물리적 사물의 표면을 성형수술을 하듯이 변형함으로써 다른 형태를 제시하는 방법이다. 영화 "터미네이터2"에서 복도가 T-1000 로봇으로 변하여 올라오는 장면이 바로 디지털스킨의 개념과 유사하다(그림 6). 증강가소성의 개념에서 실시간으로 이러한 특수효과를 구현한 것이 디지털스킨이다. 우리는 디지털스킨

을 이용하여 물리적으로 강제인 사물의 형태를 성형수술을 하듯 디지털적으로 자유롭게 변형하여 제시할 수 있다. 디지털스킨이 제공하는 증강가소성은 디자이너들의 형태탐색방식을 변화시킬 수 있다. 기존의 증강현실은 이질부가방식의 조형작업에 적합하게 응용될 수 있었다. 하지만 본 연구에서 제안하는 디지털스킨은 동질변형방식의 조형작업을 지원할 수 있다. 배경조형을 손쉽게 변형하여 아이디어를 표현하고 검토해볼 수 있는 것이다.

3.3 디지털스킨의 상세개념

증강가소성의 개념을 바탕으로 증강현실기술을 응용해 디지털스킨을 구현하기 위해 우리는 현실세계에 대한 정보(world knowledge)를 상당히 알고 있어야 한다. 가소성을 증강시켜 변형시키려고 하는 물리적 오브젝트의 형상, 텍스처, 표면특성 등에 대해 충분한 정보를 알고 있어야 한다. 또한 오브젝트와 이를 바라보는 관찰시점과의 공간적 위치관계에 대한 정보도 알고 있어야 한다. 하지만 바로 눈 앞에 보이는 사물의 위치, 형상, 텍스처, 표면특성과 같은 정보를 실시간으로 파악하는 것은 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 몇 가지 가정을 전제로 하였다. 시스템은 오브젝트의 형상과 표면의 반사특성을 이미 알고 있고 주변 조명환경을 모델링하고 있어야 한다. 이 3가지 정보 중에서 특히 주변조명환경은 역동적으로 변할 수밖에 없기 때문에 디지털스킨을 사용하는 도중 통제된 상태를 유지할 수 있어야 한다. 디지털스킨 구현을 위해 시스템은 카메라와 비주얼 마커를 이용해 변형하고자 하는 표면의 공간적 위치와 방향을 파악한다(그림 7의 a). 그림 7의 b와 같이 기준표면에 대한 형상정보가 있다는 가정하고 그림 7의 c와 같이 변형된 모양을 실시간으로 렌더

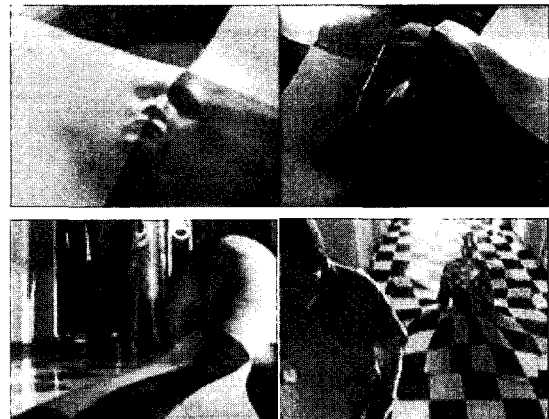


그림 6 디지털스킨의 개념과 유사한 영화 터미네이터의 특수효과

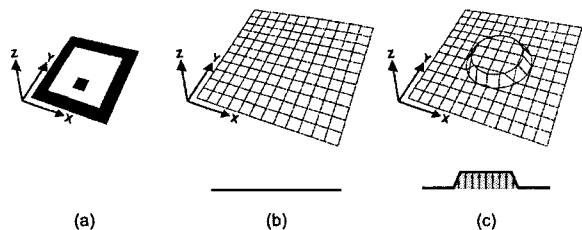


그림 7 디지털스킨 구현을 위한 표면: (a) 비주얼 마커를 이용한 기준면 설정, (b) 기준표면, (c) 변형표면과 텍스처 매개변수화 방법

링하여 정합시킨다. 이렇게 하여 변형된 영상은 CRT나 HMD를

통해 제시되고 이를 보는 사람은 변형된 표면의 형상만을 보라보게 된다.

디지털스킨은 기하학적으로 자유로운 변형이 가능하도록 고안되었지만 표면을 렌더링하여 시각화하는 과정은 그림 7의 c와 같이 Z축 방향으로 변위하는 단순한 방식으로 계산된다. 따라서 현실세계에 존재하는 오브젝트 표면(기준표면)의 텍스처어를 받아 들여 그 아래에 변형형태를 삽입하듯이 렌더링하면 된다. 이럴 경우 기준표면에서 변형표면으로의 텍스처어에 대한 매개변수화 방법(parameterization technique)은 변위 매핑(displacement mapping)과 유사하다. 변형표면상의 임의의 정점(x,y,z)에 대한 색상값은 기준표면상의 점 (x,y,0)의 색상값을 참조하도록 하였다. 또한 기준표면의 위치별 색상은 카메라로 캡처하는 동영상으로부터 기준표면의 위치와 방향을 계산하여 상응하는 값을 참조하도록 하였다.

디지털스킨을 구현하는 기준표면은 반드시 평면일 필요는 없다. 하지만 요철이 심한 곡면일 경우 구현이 간단하지 않아 본 연구에서는 평면 또는 비교적 단순한 곡면을 대상으로 하였다.

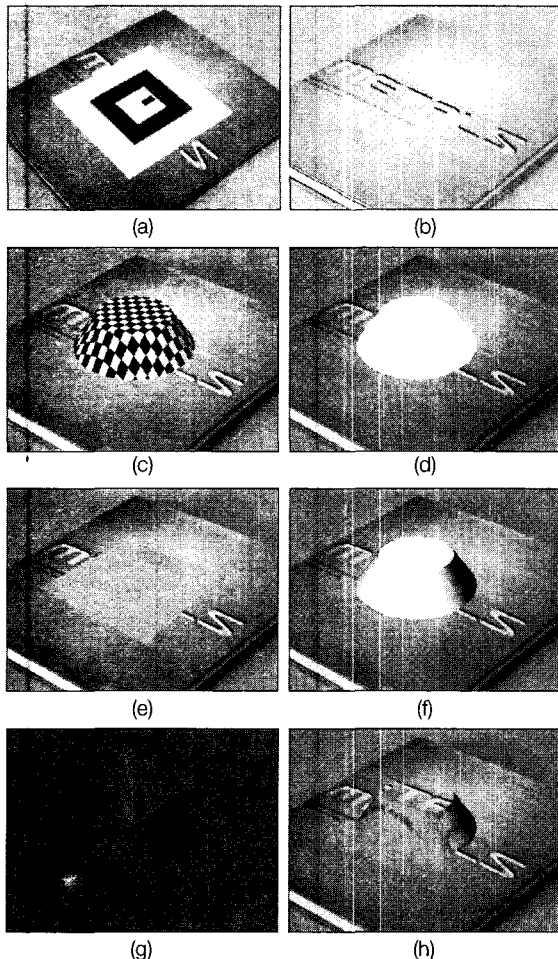


그림 8 차분렌더링기법을 이용한 디지털스킨의 구현: (a) ARToolKit을 이용한 트래킹, (b)기준표면, (c)기준표면에 변형형상 정합, (d)변형형상 영역 구하기, (e)평균색에 의한 기준표면의 렌더링, (f) 평균색에 의한 변형표면 렌더링, (g) 음영의 차분, (h) 입력영상의 텍스처어의 음영 차분을 합성하여 완성한 디지털스킨

4. 디지털스킨의 구현

4.1 트래킹과 영상합성

본 연구에서는 디지털스킨의 개념을 구현하기 위해 이에 적합한 트래킹 방법과 렌더링 기법을 탐색하였다. 트래킹이란 전술한 바와 같이 변형대상표면과 관찰시점간의 공간적 위치관계(변위와 방향)를 실시간으로 정확히 파악하기 위한 것이다. 본 연구에서는 그림 7의 a와 같이 구현이 간편하고 저렴한 ARToolKit¹⁰⁾을 활용하여 기준표면을 트래킹하도록 하였다.

구현을 위한 또 하나의 과제는 카메라를 통해 입력된 영상을 프레임 별로 가공하여 변형된 부분을 렌더링하여 이음매 없이 삽입하는 것이었다. 그림 8의 a와 같이 카메라로부터 입력된 영상 텍스처어로부터 변형표면의 각 점에 대한 색상값을 참조해 렌더링할 경우 조명의 영향이 중첩되므로 올바른 결과를 얻을 수 없다. 이런 문제를 해결하기 위해 본 연구는 Debevec이 제안한 차분렌더링기법(differential rendering method)¹¹⁾을 이용하였다. 차분렌더링기법이란 그림8의 e, f와 같이 기준표면과 변형표면을 각각 평균적인 표면색상을 이용해 렌더링하고 픽셀 별 음영차이(그림 8의 g)를 계산하여 그 결과를 기준표면의 색상에 가중하여 변형표면을 렌더링하는 기법이다. 이미 Kanbara 등의 연구에서도 동일한 방법으로 보다 현실감 있는 증강현실 제시기법에 대해 연구한 바 있다.¹²⁾

4.2 제시방법

증강가소성 제시방법에 따라 시스템은 HMD(video see-through display head-mounted display)를 착용하는 방식과 LCD 스크린(screen-based video see-through display)을 활용하는 방식으로 구현 가능하다. HMD는 몰입감을 제시할 수 있지만 착용이 번거롭다는 단점이 있다. 반대로 LCD 스크린을 통해 디지털 스킨을 제시하는 방법은 몰입감은 약하지만 사용이 간편하다는 장점이 있다. 또한 카메라의 위치를 고정시킬 경우 비주얼 마커를 이용해 기준표면의 위치와 방향에 대한 데이터를 한번만 기록해두면 마커를 제거해도 시스템이 동작하기 때문에 시각적으로 간결하게 디지털스킨을 구현할 수 있다.

두 가지 형태의 제시방식에 대해 일반 사용자의 수용태도를 알아보기 위해 그림9와 같이 실험환경을 조성하고 디지털스킨을 경험하게 한 다음 크기 인지의 정확성, 시각적 사실감, 사용편의성 측면에서 7점 척도를 이용하여 주관적 느낌을 평정하게 하였다. 총 30명의 산업디자인전공 대학생 및 대학원생을 참가자(남성 9명, 여성 21명 평균연령 23.8세)로 모집하여 실험을 실시하였다. 실험결과 크기인지의 정확성이라는 측면에서는 LCD 스크린(평균:5.18, 표준편차:1.04)이 HMD(평균:4.53, 표준편차:1.76)에 비해 유의하여 우수함을 확인할 수 있었다(p=0.030). 그러나 시각적 사실감이라는 차원에서는 LCD 스크린(평균:4.75, 표준편차:1.30)과 HMD(평균:4.80, 표준편차:1.65)사이에 유의미한 차이

10) ARToolKit2.65는 2003년 2월 23일 <http://www.ims.tuwien.ac.at/~thomas/artoolkit.php>로부터 다운로드하였음

11) Debevec, P.E.: Rendering Synthetic Objects into Real Scenes: Bridging Traditional and Image-Based Graphics with Global Illumination and High Dynamic Range Photography. Proc. SIGGRAPH 98, 189-198, (1998)

12) Kanbara, M., Yokoya, N.: Geometric and Photometric Registration for Real-Time Augmented Reality. ISMAR 2002, 279-280, (2002).

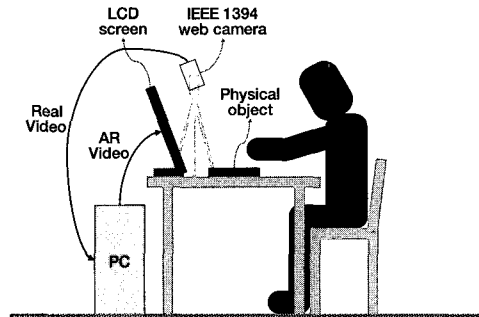
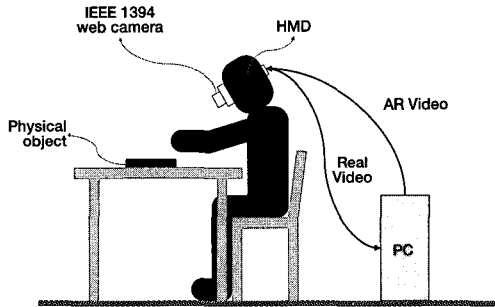


그림 9 디지털스킨의 제시방법: (좌상) HMD를 착용하고 디지털스킨 경험하는 장면, (우상) LCD 스크린을 이용하고 디지털스킨을 제시하는 장면 (중) HMD를 이용한 제시방법의 시스템 구성도, (하) LCD 스크린을 이용한 제시방법의 시스템 구성도

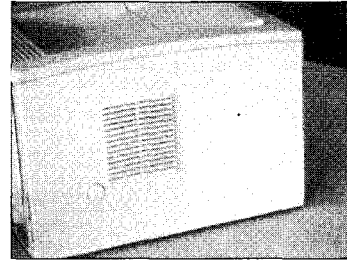
가 발견되지 않았다($p=0.808$). 마지막으로 사용편의성이라는 차원에서는 LCD 스크린(평균:5.27, 표준편차:1.34)이 HMD(평균:3.60, 표준편차:1.69)에 비해 월등히 우수함을 알 수 있었다($p<0.000$). 특히 크기인지의 정확성 차원에서 LCD 스크린이 우수하다고 느끼는 것은 HMD에 비해 주변의 정황정보를 풍부하게 관찰할 수 있기 때문인 것으로 추정된다.

이상의 결과를 바탕으로 LCD 스크린을 통해 증강가소성을 제시하는 시스템을 제안하게 되었고 이는 카피스탠드나 전자실물환 등기와 같은 유사한 구조를 갖는 시스템으로 발전시킬 수 있을 것이다.

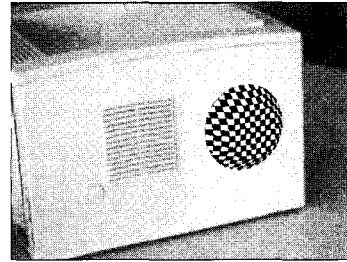
5. 디지털스킨의 응용가능성

5.1 제품 디테일 디자인과 부분수정 디자인

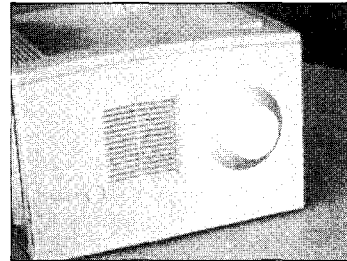
디지털 스킨은 물리적인 오브젝트를 시각적으로 변형시킬 수 있기 때문에 형태를 부분적으로 수정하여 신속하게 새로운 대안을 만들어 가는 작업에 폭넓게 활용될 수 있다. 적절한 작업 대상으로는 디자인과정 후반에 제작하는 디자인 모형이나 이미 생산된 기존 제품 등이 될 수 있다. 디자인 모형의 경우 상세 디자인을 다양하게 교체하며 대안을 평가하기 위해 디테일이 생략된 원시적 형태의 모형을 제작할 수 있다. 일종의 미분화된 형태의 모형에



(a)



(b)



(c)

그림 10 부분수정 디자인에 디지털 스킨을 응용한 사례: (a) 본래 형태, (b) 정합할 위치 트래킹, (c) 변형된 형태

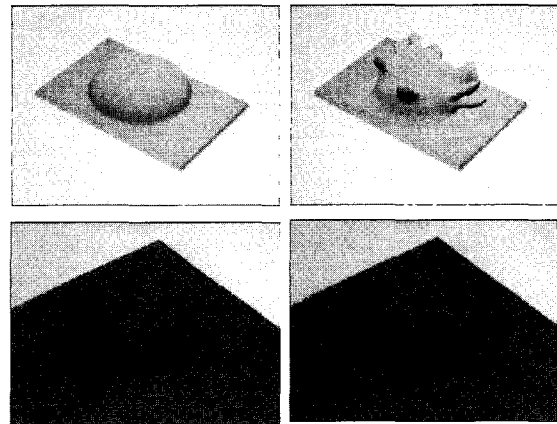


그림 11 디자인 소재와 형태의 다양한 조합: (위) 나무에 디지털스킨으로 형상을 매핑한 경우, (아래) 고무판에 형상을 매핑한 경우

디지털스킨을 적용하면 완성된 제품의 형태를 실재감 있게 관찰할 수 있는 것이다.

이와 유사한 응용중 하나가 그림 10과 같이 부분수정 디자인에 디지털스킨을 활용하는 것이다. 그림10의 a와 같이 프린터의 측면을 변형하는 경우 비주얼 마커로 위치를 트래킹하여 설정하고 디지털 스킨으로 이음매 없이 변형된 형태를 생성할 수 있다. 기업에서 디자인 작업중 적지 않은 비율을 차지하는 것이 부분수정 디자인이므로 이와 같은 방식으로 널리 활용될 수 있을 것이다.

5.2 디자인 소재 탐색

통상 디자인 과정에서 형태와 소재는 독립적으로 다루어진다. 디자이너들은 두 가지 속성을 통합하기 위해 주로 3차원 CAD 시스템을 활용한다. 하지만 CAD 시스템으로 형태를 모델링하고 원하는 소재감을 구현하기 위해 적지 않은 노력을 기울여야 한다. 디지털스킨을 활용하면 그림 11과 같이 주위에 있는 소재 샘플을 변형해 원하는 형상을 쉽게 만들 수 있다. 또한 소재와 형상을 다양하게 조합할 수 있으므로 조형적 탐색과정을 더욱 가속시킬 수 있을 것이다.

6. 디지털스킨에 대한 디자이너의 수용성 평가

이상 연구를 통해 구체화된 디지털스킨이 실제 디자인작업에 어느 정도 활용가능할지에 대해 디자이너의 수용성을 평가하였다. 디지털스킨에 대한 수용성 평가는 기업내 디자인부서와 디자인 전문회사 디자이너 21명(남성:16명/여성:5명, 평균연령:30.7세, 평균 디자인경력: 6.4년)을 대상으로 실시되었다. 조사 참가자 중 3명을 제외하고는 모두 3D CAD 프로그램을 사용하고 있거나 사용한 경험이 있었다.

수용성 조사방법은 우선 모든 참가자에게 디지털스킨의 개념과 응용사례 및 사용법에 대해 약 20 분간 설명을 실시한 후 각자 응용시스템을 체험하게 하고 평가항목에 응답하게 하였다. 각 조사 참가자는 그림9의 LCD 스크린을 기반으로 하는 디지털스킨 제시방법으로 제품 디테일 디자인 폼핑, 디자인 소재 탐색, 부분 수정 디자인과 같은 3 종류의 응용사례를 직접 체험하게 하였다. 각 응용사례에 대해 몇 가지 종류의 디지털스킨을 교체하며 면적, 높이, 방향, 위치 등을 자유롭게 조정하여 실시간으로 변형되는 형태를 감상하게 하였다. 조사에서 LCD 스크린을 기반으로 하는 제시방법을 택한 것은 1차 평가에서 HMD보다 전반적으로 우수한 수용성이 확인되었기 때문이었다. 2차 평가에서 디지털스킨에 대한 수용성은 사실감, 효용성, 활용가능성, 도입가능성이라는 차원에서 실시되었다.

사실감은 시각적 사실성, 크기인지 용이성, 시각적 존재감이라는 세부항목을 통해 평가되었다. 시각적 사실성의 경우 “디지털스킨이 어느 정도 시각적 사실성이 있다고 생각하는지”에 대해 7점 척도(1점: 전혀 사실성이 느껴지지 않는다, 4점: 보통이다, 7점: 물리적 모형과 같이 매우 사실성이 느껴진다)로 평정하게 하였다. 크기인지 용이성에 대해서는 “디지털스킨을 활용하여 디테일 디자인을 제시했을 경우 크기를 가늠하기 용이했는지”에 대

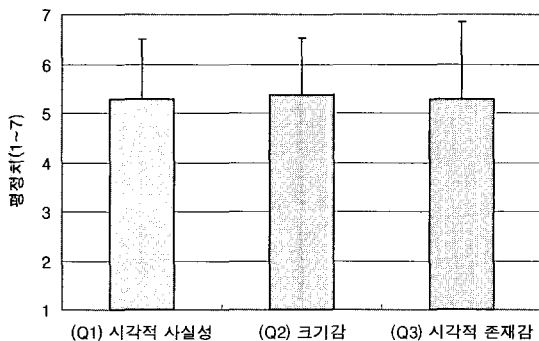


그림 12 사실감 차원에서 디지털스킨의 평가결과

해 7점 척도(1점: 매우 크기를 가늠하기 어렵다, 4점: 보통이다, 7점: 물리적 모형과 같이 쉽게 크기를 가늠할 수 있다)로 평정하게 하였다. 마지막으로 시각적 존재감에 대해서는 “디지털스킨이 실제 존재하는 것처럼 느껴지는지”를 7점 척도(1점: 실제 존재하는 것처럼 느껴지지 않는다, 4점: 보통이다, 7점: 실제 존재하는 것처럼 느껴진다)로 평정하게 하였다.

평가결과 그림 12와 같이 시각적 사실성, 크기인지 용이성, 시각적 존재감 등에 대해 각각 5.3/7.0(표준편차:1.23), 5.4/7.0(표준편차:1.15), 5.3/7.0(표준편차:1.56)이라는 결과를 얻을 수 있었다. 디자이너들이 디지털스킨 주변 물리적 모형에 직접 손가락을 대고 액티브 터치(active touch)¹³⁾를 수행하며 제시하는 디테일 디자인의 크기를 상당히 용이하게 가늠할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 시각적 사실성과 존재감에 대해서도 물리적 모형과 비교하여 크게 뒤지지 않는 리얼리티를 느끼고 있음을 확인할 수 있었다. 기존의 일반적인 증강현실의 경우 그림 8의 f와 같이 음영, 그림자, 반사이미지, 재질감 등을 현실세계와 일치시키기 어렵기 때문에 가상 오브젝트가 마치 공중에 부유하는 것과 같은 느낌을 유발하여 현실적인 존재감을 제공하지 못한다. 그러나 디지털스킨의 경우 그림 8의 h와 같이 물리적 오브젝트의 표면 이미지를 그대로 활용하기 때문에 배경과 전경이 이음매 없는 연결성으로 인해 시각적 사실감과 존재감을 충분히 제시하고 있는 것으로 보인다.

디지털스킨의 효용성 차원에 대해서는 작업시간 단축과 비용 절감이라는 항목에 대해 디자이너의 의견을 물어보았다. 설문은 그림 13과 같이 디테일이 없는 원시적 형태의 모형에 디지털스킨을 합성하여 다양한 변형체를 생성할 경우 디자인 작업시간 단축

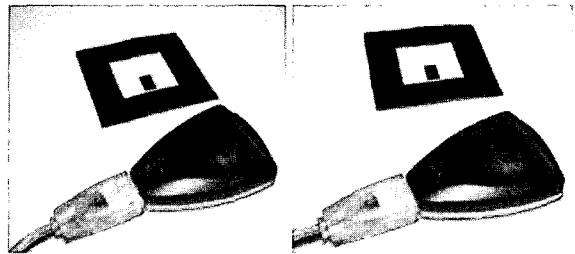


그림 13 조사에서 사용한 원시적 모형과 디지털스킨 합성의 예시

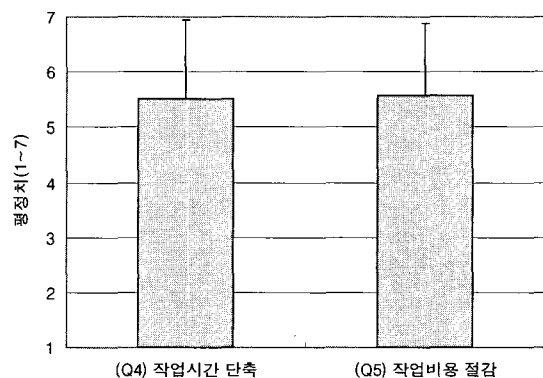


그림 14 효용성 차원에서 디지털스킨의 평가결과
과 비용절감에 어느 정도 기여할 수 있는지를 평가하게 하게 하

13) Gibson, J. J. Observations on Active Touch, *Psychological Review* 1962 69(6): 477-490.

였다. 작업시간 단축의 경우 “디지털 스킨(전경형태)을 물리적 모형(원시적 배경형태)과 합성할 경우 스타일링 작업시간을 단축할 수 있을지”를 7점 척도(1점: 전혀 그렇지 않다, 4점: 보통이다, 7점: 매우 그렇다)로 평정하게 하였다. 작업비용 절감의 경우 “디지털 스킨(전경형태)을 물리적 모형(원시적 배경형태)과 합성할 경우 스타일링 작업비용을 단축할 수 있을지”를 7점 척도(1점: 전혀 그렇지 않다, 4점: 보통이다, 7점: 매우 그렇다)로 평정하게 하였다.

설문결과 작업시간 단축과 작업비용 절감이라는 항목에 대해 각각 5.5/7.0(표준편차:1.43), 5.6/7.0(표준편차:1.32)라는 결과로 상당히 긍정적인 반응을 나타냈다(그림 14).

응용가능성 차원에 대해서는 5절에서 언급한 디테일 디자인 폼핑, 디자인 소재 탐색, 부분수정 디자인에 대한 디자이너들의 의견을 물었다. 3 가지 작업에 디지털스킨이 “응용가능한지”를 7점 척도(1점: 전혀 그렇지 않다, 4점: 보통이다, 7점: 매우 그렇다)로 평정하게 하였다. 설문결과 그림15와 같이 디테일 디자인 폼핑에 대해서는 5.8/7.0(표준편차:0.91), 디자인 소재 탐색에 대해서는 5.6/7.0(표준편차: 1.02), 부분수정 디자인에 대해서는 5.9/7.0(표준편차: 0.87)이었다. 전반적으로 볼 때 응용가능성이 상당히 있는 것으로 평가되었다. 통계적으로 유의미한 차이는 아니지만 부분수정 디자인에 대한 응용가능성을 가장 높게 평가하였다.

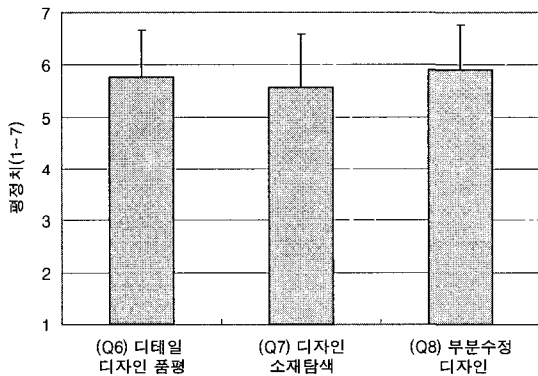


그림 15 태스크별 디지털스킨의 응용가능성 평가결과

마지막으로 디지털스킨에 대한 종합적인 평가를 실시하였다. 우선 “디지털 스킨을 3D CAD 프로그램과 연동하여 사용할 수 있다면 실제 디자인 작업에 도입 가능할지” 도입가능성을 7점 척도(1점: 전혀 가능성이 없다, 4점: 보통이다, 7점: 매우 가능성이 높다)로 평정하게 하였다. 두 번째는 “종합적으로 판단할 때 실제 디자인 작업에 디지털스킨이 어느 정도 활용가치가 있을지”를 7점 척도(1점: 전혀 활용가치가 없다, 4점: 보통이다, 7점: 매우 활용가치가 높다)로 평정하게 하였다. 조사에 의해 그림 16과 같이 도입가능성에 대해서는 5.6/7.0(표준편차: 1.21), 활용가능성에 대해서는 5.3/7.0(표준편차: 1.36)이라는 결과를 얻을 수 있었다. 대부분의 디자이너들로부터 비교적 긍정적인 평가를 한 것으로 생각된다.

항목별 평정 외에 조사 참가자들에게 디지털스킨의 장단점에 대

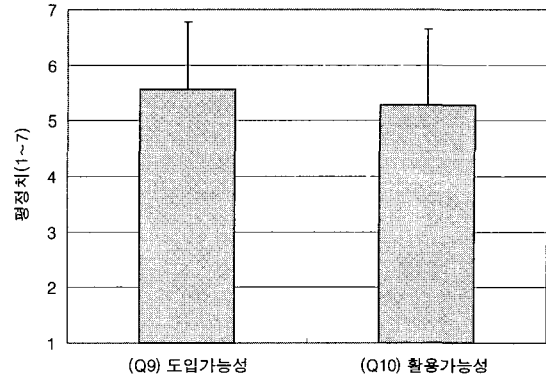


그림 16 디지털스킨에 대한 종합적인 도입가능성 평가결과

해 자유롭게 답변하도록 하였다. 디자이너들은 디지털스킨의 장점에 대해 디자인 비용과 시간 절약(9명), 자유로운 조형 아이디어의 표현(7명), 시각적 사실감(5명), 실시간 3차원 형태 제시(4명), 부분수정 디자인에의 활용(4명), 시스템의 간편성(3명) 등을 보고하였다. 반면 단점에 대해서는 촉각적 피드백의 부재(8명), 모형에 비해 낮은 사실성(6명), 적용가능한 표면의 제약(3명) 등이었다.

이상 디지털스킨에 대한 디자이너의 수용성 평가결과를 종합해 볼 때 상당히 긍정적임을 알 수 있었다. 본 연구가 의도한 바와 같이 디자인 작업의 시간과 비용의 절감 그리고 자유로운 조형 아이디어의 표현과 시뮬레이션 등이 가능하다는 점을 높이 평가하였고 특히 실시간으로 물리적 모형의 형태를 자유롭게 변형할 수 있다는 것을 상당히 매력적으로 생각하였다. 하지만 촉각적 피드백의 미약하고 카메라 해상도로 인한 사실성의 한계 등에 대해서는 아쉬움을 나타냈다.

7. 결론 및 향후연구과제

본 연구는 증강현실기술을 응용하여 물리적 오브젝트에 대해 디지털적으로 조형적 편집가능성을 증강시킬 수 있는 증가가소성의 개념과 이를 구현한 디지털스킨 시스템을 제안하였다. 디지털스킨은 물리적인 오브젝트의 표면에 성형수술을 하듯 이음매 없이 가상 오브젝트를 삽입하는 방식으로 변위매핑과 차분 렌더링 기법을 통해 구현되었다. 본 연구는 디지털스킨을 HMD와 LCD 스크린을 통해 제시할 수 있도록 두 가지 방식을 제안하였고 사용자 평가를 통해 LCD 스크린이 우수함을 알 수 있었다. 또한 제품의 상세 디자인과 부분수정 디자인 그리고 디자인 소재 탐색 작업에 있어 의미 있는 응용가능성을 제시하고 실무에 종사하는 디자이너들에게 디지털스킨에 대한 수용성 평가를 실시하였다. 그 결과 사실감, 효율성, 응용가능성, 도입가능성 등의 차원에서 상당히 긍정적인 반응을 확인할 수 있었다.

하지만 3.3절에서도 언급한 바와 같이 본 연구에서 제안하는 시스템은 몇 가지 추가적인 연구문제를 내포하고 있다. 우선 주변 조명과 오브젝트의 표면특성에 대한 정보를 자동으로 취득할 수 없기 때문에 렌더링 결과가 완벽하지 못하고 관련정보를 수동으로 입력해야 하는 불편함이 있다. 두 번째로 디자이너는 보통 사물을 만지며 감상하는데 디지털스킨은 촉각적 피드백을 제시할 수 없다는 것이다. 세 번째는 제시하는 영상의 질적인 문제이다. 실제 오브젝트를 보는 것과는 달리 LCD 스크린을 통해 볼 경우

해상도가 한정되어 있고 정확한 디테일을 재현하기 어렵다. 디지털스킨을 디테일 디자인에 활용할 경우 높은 수준의 화질을 요구할 것이다. 네 번째는 아직 자체음영효과(self-shading)에 대한 처리가 되어있지 않다는 것이다. 상기한 4가지 문제 중 마지막을 제외하고 쉽지 않은 문제이다. 특히 촉각적 피드백 제시 문제는 근본적인 해결책이 어려운 난제이다. 이와 같은 연구문제에 대해 향후 지속적인 탐구를 통해 본 연구에서 제안한 디지털스킨의 완성도를 향상시켜 디자인 현장에서 유용하게 활용될 수 있기를 기대한다.

참고문헌

- Roozenburg, N.F., Eekels, J.: Product Design: Fundamentals and Methods, John Wiley & Sons, 202-210, (1995).
- Fitzmaurice, G.W., Ishii, H., Buxton, W.: Bricks: Laying the Foundations for Graspable User Interfaces, *Proceedings of ACM CHI 1995 Conference on Human Factors in Computing Systems*, 442-449, (1995).
- Grossman, T., Balakrishnan, R., Kurtenbach, G., Fitzmaurice, G. W., Khan, A., Buxton, W.: Creating Principal 3D Curves with Digital Tape Drawing. *CHI 2002 Conference Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 121-128, (2002).
- Piper, B., Ratti, C., Ishii, H.: Illuminating Clay: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis, *CHI 2002 Conference Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 355-362, (2002).
- Anderson, D., Frankel, J.L., Marks, J.W., Agarwala, A., Beardsley, P.A., Hodgins, J.K., Leigh, D.L., Ryall, K., Sullivan, E., Yedidia, J.S.: Tangible Interactions and Graphical Interpretation: A New Approach to 3D Modeling, *ACM SIGGRAPH*, 393-402, (2000).
- Fjeld, M., Lauche, K., Bichsel, M., Voorhorst, F., Krueger, H., Rauterberg, M.: Physical and Virtual Tools: Activity Theory Applied to the Design of Groupware, In B. A. Nardi & D. F. Redmiles (eds.) *A Special Issue of CSCW: Activity Theory and the Practice of Design*, Volume 11 (1-2), 153-180, (2002).
- Regenbrecht, H., Wagner, M., Baratoff, G.: Magic Meeting - a Collaborative Tangible Augmented Reality System, *Virtual Reality - Systems, Development and Applications*, Vol. 6, No. 3, 151-166, (2002).
- Lee, J., Hirota, G., State, A.: Modeling Real Objects Using Video See-Through Augmented Reality, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, MIT Press, Vol. 11, No. 2, 144-157, (2002).
- Milgram, P., Takemura, H.: Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. *SPIE Proceedings: Telem manipulator and Telepresence Technologies*, 282-292, (1994).
- Debevec, P.E.: Rendering Synthetic Objects into Real Scenes: Bridging Traditional and Image-Based Graphics with Global Illumination and High Dynamic Range Photography. *Proceedings of SIGGRAPH 98*, 189-198, (1998).
- Kanbara, M., Yokoya, N.: Geometric and Photometric Registration for Real-Time Augmented Reality. *Proceedings of ISMAR 2002*, 279-280, (2002).
- Gibson, J. J. Observations on Active Touch, *Psychological Review* 69(6): 477-490, (1962).