

제품 디자인을 위한 증강현실 기반
정량구조 시뮬레이션 기법에 대한 연구

A Study on a Quantified Structure Simulation Technique for Product Design
Based on Augmented Reality

주저자 : 이우훈 (Woohun Lee)

KAIST 산업디자인학과

1. 서론

2. 증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션 기법의 개념

3. 연구질문

- 3-1 증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션의 가능성
- 3-2 로봇외관 디자인에의 응용

4. 연구방법 및 도구

- 4-1 시뮬레이션 시스템 구성
- 4-2 증강현실 환경에서 크기인지의 정확성 평가실험
- 4-3 기억속의 참조대상물과 현실세계의 참조대상의 차이 비교실험
- 4-4 로봇외관에 대한 정량구조 시뮬레이션 실험

5. 실험결과

- 5-1 증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션의 가능성
- 5-2 기억속의 참조대상물과 현실세계의 참조대상의 차이 비교실험
- 5-3 로봇외관에 대한 정량구조 시뮬레이션 실험
- 5-4 군집분석을 통한 외관선호경향 세분화

6. 고찰

- 6-1 LCD 패널의 유용성
- 6-2 증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션에 대한 수용태도
- 6-3 홈 서비스 로봇에 대한 다양한 제품 이미지
- 6-4 조형요소의 가감에 따른 민감한 반응차이

7. 결론 및 향후연구과제

참고문헌

(要約)

최근 대부분의 제품 디자이너들이 3차원 CAD 시스템을 필수적인 디자인 도구로서 활용하고 있고 이를 기반으로 많은 신제품들이 동시공학적 프로세스로 개발되고 있다. 그런데 초심 디자이너들이 3차원 CAD 시스템을 사용하며 겪는 어려움 중 하나는 스크린을 통해 모델링한 오브젝트의 실제적 느낌을 정확히 판단하기 어렵다는 것이다. 이러한 "실체성 결여"의 문제는 3차원 CAD 시스템에서의 모델링 작업이 가상공간 안에서만 이루어지기 때문에 촉각적 상호작용이 부재하고 혼실공간에 대한 맥락정보가 결여되어 있는 것이 그 원인이라고 할 수 있다. 문제해결을 위해 본 연구에서는 증강현실기술을 활용하여 3차원 CAD 모델링 오브젝트를 현실공간에 정합시킴으로써 제품디자인에서 상호작용적인 정량구조 시뮬레이션의 가능성을 탐색하고자 하였다.

본 연구는 우선 증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션 시스템을 구축하고 그 속에서 인간이 가상 오브젝트의 크기를 얼마나 정확하게 인지하고 조절할 수 있는지 실험하였다. 실험결과 상대오차 1.3% 이내(상대표준편차 5.3% 이내)로서 상당히 정확하고 정밀한 크기 인지와 조절이 가능한 것으로 나타났다. 실험조건에 따라서는 주변참조물이 풍부한 경우 오브젝트에 대한 크기 인지가 용이하고 HDM보다는 LCD 패널을 사용할 경우 더욱 정확한 크기 조절이 가능한 것으로 나타났다.

연구를 통해 제안한 증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션 시스템

의 응용가능성을 탐색하기 위해 홈 서비스 로봇의 외관에 대해 사용자의 선호경향을 파악하는데 적용해 보았다. 아직 홈 서비스 로봇에 대한 전형적 이미지가 미비해서인지 외관특성에 대한 실험참가자의 선호경향에는 큰 편차가 보였고 군집분석을 통해 몇 그룹으로 세분화할 수 있었다. 그러나 팔이라는 조형요소의 유무에 따라 민감한 반응을 보인 점과 인체와 같이 신장과 팔길이 사이에 강한 상관성이 존재하는 것은 흥미로운 발견이었다.

(Abstract)

Most of product designers use 3D CAD system as a inevitable design tool nowadays and many new products are developed through a concurrent engineering process. However, it is very difficult for novice designers to get the sense of reality from modeling objects shown in the computer screens. Such a intangibility problem comes from the lack of haptic interactions and contextual information about the real space because designers tend to do 3D modeling works only in a virtual space of 3D CAD system. To address this problem, this research investigate the possibility of a interactive quantified structure simulation for product design using AR(augmented reality) which can register a 3D CAD modeling object on the real space.

We built a quantified structure simulation system based on AR and conducted a series of experiments to measure how accurately human perceive and adjust the size of virtual objects under varied experimental conditions in the AR environment. The experiment participants adjusted a virtual cube to a reference real cube within 1.3% relative error(5.3% relative StDev). The results gave the strong evidence that the participants can perceive the size of a virtual object very accurately. Furthermore, we found that it is easier to perceive the size of a virtual object in the condition of presenting plenty of real reference objects than few reference objects, and using LCD panel than HMD.

We tried to apply the simulation system to identify preference characteristics for the appearance design of a home-service robot as a case study which explores the potential application of the system. There were significant variances in participants' preferred characteristics about robot appearance and that was supposed to come from the lack of typicality of robot image. Then, several characteristic groups were segmented by cluster analysis. On the other hand, it was interesting finding that participants have significantly different preference characteristics between robot with arm and armless robot and there was a very strong correlation between the height of robot and arm length as a human body.

(Keyword)

Augmented Reality, Quantified Structure Simulation, Product Design

1. 서론

디자이너는 다양한 방법으로 자신의 머리 속에 있는 아이디어를 구체화하여 표현한다. 디자이너가 일상적 습관처럼 튼나는 대로 아이디어를 스케치하는 가장 중요한 이유는 외재화한 아이디어를 보며 그것이 타당한지를 검토하기 위해서일 것이다. 전통적으로 제품 디자이너들은 작업과정에 2차원과 3차원의 아이디어 스케치를 활용하고 있다. 썸네일 스케치나 스케일 렌더링과 같은 2차원의 아이디어 스케치는 빠른 속도로 작성가능하기 때문에 다양하게 아이디어를 탐색해야 하는 디자인 초기 단계에 적극 활용되어 왔다. 카드보드 목업이나 폼목업(Foam mock-up)과 같은 3차원의 아이디어 스케치는 디자인의 정량적 특성을 면밀히 테스트해야 하는 디자인 중반이후단계에서 널리 활용되고 있다. 그런데 다양한 재료를 이용해 2차원이나 3차원의 아이디어 스케치를 병행하던 디자인 프로세스가 최근에는 3차원 CAD 시스템의 일반화와 더불어 변화하고 있다. 이에 따라 전통적으로 제품 디자인에서 이용해 왔던 많은 표현도구들이 3차원 CAD 시스템으로 대체되고 있다. 디자이너는 3차원 CAD 시스템을 이용해 자신의 아이디어를 어렵지 않게 표현할 수 있고 다양하게 편집할 수 있기 때문에 디자인 작업에 필수적인 도구가 되어 버렸다. 또한 신제품 개발과정의 상류에서 하류에 이르기까지 3차원 CAD 시스템을 기반으로 작업하는 것이 일반화되면서 이제 대부분의 기업에서 동시공학적인 프로세스로 신제품을 개발하게 되었다. 전통적인 신제품 개발과정과 비교하여 3차원 CAD 시스템의 활용은 디자이너에게 많은 편익을 제공하고 있지만 한편으로 "실체성의 결여"라는 새로운 문제를 야기하고 있다. 실체성의 결여란 3차원 CAD 시스템을 통해 CRT에 표시되는 렌더링 결과가 손으로 만질 수 있는 물리적 모형이 제공하는 실체적 느낌을 제공할 수 없기 때문에 발생하는 문제이다. 3차원 CAD 시스템을 기반으로 하는 디자인 작업에서 실체성의 결여의 문제는 해결하기 어려운 난제인데 많은 연구자들이 패속조형(Rapid Prototyping) 기법의 개발과 활용을 통해 문제해결의 실마리를 찾고 있다. 하지만 아직까지 적지 않은 경비부담과 시간 소요가 패속조형의 확산을 가로막고 있는 상황이다.

증강현실을 기반으로 하는 디자인 시뮬레이션의 가능성

3차원 CAD 시스템에서 발생하는 실체성 결여의 문제는 두 가지 측면에서 그 원인을 찾을 수 있다. 첫째는 촉각적 상호작용의 부재이고 또 하나는 맥락정보의 결여이다. 촉각적 상호작용의 부재는 디자이너가 CRT 속의 가상 오브젝트를 만질 수 없기 때문에 발생하는 문제이다. 기슨(J. Gibson, 1986)²⁾이 지적한 대로 인간은 능동적 접촉(Active touch)을 통해 시각적인 정보를 보완하는 많은 정보를 얻기 때문에 본능적으로 만지면서 사물을 탐색적으로 인지하는 습관을 갖고 있다. 제품 디자이너의 경우 만지며 형태에 대한 세밀한 정보를 파악하는 경향이 더욱 두드러지게 관찰되는데 이는 3차원 CAD 시스템이 제공하기 어려운 것이다. 3차원 CAD 시스템에서 맥락정보의 결여문제는 현실세계와 컴

퓨터라는 가상세계가 서로 단절되어 있기 때문에 발생하는 것이다. 지금 CRT 속에서 모델링하고 있는 소파가 현실세계로 나온다면 적절한 크기의 사물일지 직관적으로 예측하기란 쉽지 않다. 대부분의 디자이너는 소파의 사이즈를 수치로 확인하고 자신의 디자인 지식에 비추어 그것이 적절한 것인지 가능할 것이다. 디자인하는 제품이 사용될 맥락정보가 부족한 상태에서 디자이너는 나름대로의 예측과 상상의 과정을 통해 디자인 결과를 시뮬레이션하게 된다. 현실공간과 단절된 컴퓨터 속 가상의 작업공간은 초심 디자이너가 많은 오류를 범하게 만든다. 심지어 경험 많은 디자이너라 하더라도 디자인 지식이 부족한 생소한 대상을 디자인할 때에는 예상과 다른 결과를 만들어내는 경우가 종종 있다.

실체성 결여 문제의 원인 중에서 맥락정보의 결여에 대해서 본 연구는 증강현실 기술을 통한 해결책 모색을 시도하고자 하였다. 증강현실은 눈앞에 보이는 실제 세계의 영상 위에 가상 오브젝트를 3차원적으로 합성하여 실시간으로 제시한다. 증강현실을 통해 우리는 현실세계와 가상 오브젝트 간의 3차원적인 기하학적 정합을 구현하기 때문에 실제로 존재하지 않는 물체가 마치 현실 속의 특정 장소에 있는 듯한 착각을 경험하게 된다. 이와 같이 증강현실을 통해 제시되는 존재감은 가상의 오브젝트가 사실적으로 묘사되면 될수록 강하게 느끼게 된다. 또한 증강현실이 제공하는 존재감은 디자이너로 하여금 주변의 풍부한 맥락정보를 배경에 두고 현재 디자인하고 있는 오브젝트를 평가할 수 있게 한다. 예를 들어 그림 1에 있는 그림과 같이 3차원 CAD 시스템에서 모델링하고 있는 물통을 테이블 위에 올려놓음으로써 주변에 있는 PDA나 타이머와 상대적인 크기 비교가 직관적으로 가능해진다. 또한 디자이너는 상당한 수준까지 현실성이 풍부한 주변의 맥락적 정보를 배경으로 디자인하는 오브젝트의 기하학적 특성을 평가할 수 있을 것이다.

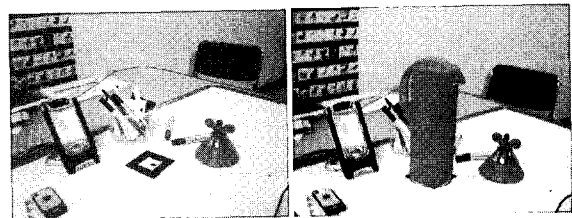


그림 1 실제세계(왼쪽)와 증강현실을 이용해 삽입된 가상의 물병(오른쪽)

사용자 참여적인 디자인 실험의 가능성

증강현실을 기반으로 하는 디자인 시뮬레이션은 디자인 초기 단계에서 목표고객의 의견을 반영할 수 있는 새로운 기회를 제공할 수 있다. 전통적으로 물리적인 모형을 이용하는 품평회의 경우 디자이너에 의해 제공되는 몇 가지 대안에 대한 평가는 가능하지만 디자인 수용자가 선호하는 제품의 외관특성을 정확히 파악하기 어렵다는 한계를 갖는다. 물리적 모형은 CRT에 표시되는 렌더링과 같이 가변적이지 않기 때문에 일단 제작되는 순간 모든 물리적 특성은 고정적이 된다.

증강현실을 기반으로 하는 디자인 시뮬레이션 방법을 이용할 경우 그림1에 나타난 물병의 크기를 사람들에게 직접 조절하게 해서 선호하는 크기를 직접 탐색할 수 있다. 사용자를 참여시키는 디자인 실험은 제품개발 초기단계에서도 충분히 실행가능할 것

1) Cooper, K. G.: Rapid Prototyping Technology, Marcel Dekker Inc., 68-151, (2001).
2) Gibson, J. J.: Observations on Active Touch, Psychological Review 69(6): 477-490, (1962).

으로 예상되는데 이럴 경우 저렴한 비용으로 현장감 있는 실험결과를 도출할 수 있을 것이다.

2. 증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션 기법의 개념

제품을 디자인하는 과정은 통상 3기능(Main functions)과 부기능(Sub functions) 정의, 기본구조(Basic structure) 탐색, 정량구조(Quantified structure) 실험, 외관상세(Form of elements) 디자인 등의 흐름으로 구성된다³⁾. 기본구조란 기능을 구현하기 위한 제품구성요소들 간의 기하학적 레이아웃을 말하며 정량구조는 기본구조에 절대적인 크기의 개념이 도입된 것이다. 디자인 초기 단계에서 디자이너는 주로 썸네일 스케치와 같은 2차원의 아이디어 스케치를 활용하여 다양한 형태의 가능성을 탐색한다. 하지만 기본구조를 기반으로 정량구조를 실험하는 단계에서 2차원의 아이디어 스케치는 적합하지 않다. 공간적으로 정확히 크기를 가늠할 수 있는 3차원 아이디어 스케치를 사용할 수밖에 없다.

제품 디자이너들은 전통적으로 틀-루프, 카드보드, 클레이, 나무, 석고 등과 같이 비교적 가공하기 쉬운 소재를 이용해 정량구조를 실험하였다. 그러나 3차원 CAD 시스템 사용의 확산으로 3차원 아이디어 스케치를 통한 정량구조 실험과정을 기피하는 현상이 심화되고 있다. 스터디 모델을 제작하는 것과 같은 물리적 세계의 행위결과가 3차원 CAD 시스템에서 활용가능한 데이터로 바로 변환되지 않기 때문에 디지털화하는 번거로운 작업을 부가적으로 수행해야 하기 때문이다

증강현실기술을 활용한 정량구조 시뮬레이션 기법은 3차원 CAD를 기반으로 하는 현재 디자인 과정에서 가상세계(CAD 시스템)와 현실세계간의 이음매 없는 통합을 가능하게 할 수 있다. 디자이너는 3차원 CAD 시스템으로 제품의 형태를 구체화하고 증강현실 환경에서 제품의 정량구조에 대한 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 증강현실은 현실세계와 가상 오브젝트간의 정합된 물리적 관계를 제시하므로 디자이너는 조형에 대한 적절한 크기를 가늠할 수 있다. 가상세계에서의 모델링과 증강현실 상황에서의 디자인 시뮬레이션이 이음매 없이 순환할 수 있게 하는 것이 본 연구에서 제안하는 새로운 디자인 방법의 핵심이라고 할 수 있다.(그림2)

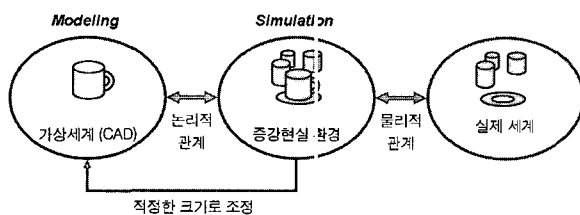


그림 2 증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션 기법의 개념

3. 연구질문

3-1. 증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션의 가능성

증강현실을 기반으로 하는 정량구조 시뮬레이션의 가능성을 보다 실증적으로 검토하기 위해 본 연구에서는 우선 사람들이 가상

3) Tjalve, E.: A Short Course in Industrial Design, Butterworth & Co. Ltd., 3-17, (1979).

오브젝트의 크기를 실제 존재하는 참조물체에 얼마만큼 유사하게 조절 가능한지에 대해 알아보고자 하였다. 가상현실과는 달리 증강현실은 실제세계에 대한 풍부한 기하학적 공간정보를 제공한다. 실제세계는 가상 오브젝트와 3차원적으로 정합되기 때문에 눈앞에 존재하는 사물의 기하학적 정보는 가상의 오브젝트와 비교가 가능하다. 그렇다면 주변의 참조물체에 대한 정보가 풍부할수록 가상 오브젝트의 크기에 대해 더욱 정확히 인지할 수 있다고 생각할 수 있다. 이러한 가설을 바탕으로 우리는 주변 참조물의 많고 적음에 따라 가상 오브젝트의 크기 인지에 어떠한 영향이 있는지를 알아보려고 하였다.

증강현실은 제시방법에 따라 망막투사형 디스플레이(Retinal display), HMD, 휴대형 디스플레이(Hand-held display), 공간투시형 디스플레이(Spatial see-through display), 프로젝터 등 중에서 적절한 것을 채택하여 사용하고 있다⁴⁾. 일반적인 제시방법으로서 쉽게 활용가능한 것으로는 HMD와 휴대형 디스플레이가 있다. HMD의 경우 몰입감을 제시할 수 있고 두 손이 자유롭다는 장점이 있는 반면 시야폭(Field of view)이 제한적이고 착용이 번거로우며 장시간 착용시 멀미(Motion sickness)를 유발할 수 있다는 단점이 있다⁵⁾. 휴대형 디스플레이는 마치 투시원도우와 같은 메타포의 장치로서 번거롭게 착용하지 않고 증강현실을 경험할 수 있는 방법이다. 반면 몰입감이 약하고 사용할 때 두 손이 자유롭지 않다는 단점을 갖는다. 각각 서로 다른 장단점을 갖는 두 가지 제시방법이 증강현실을 기반으로 하는 정량구조 시뮬레이션에서는 어떠한 차이를 보이는지 알아볼 필요가 있다. 이러한 배경에서 본 연구는 주변 참조물의 다소(참조물 부족/참조물 풍부)와 제시방법의 차이(HMD/LCD 패널)라는 독립변인에 대해 가상 오브젝트의 크기인지 정확도를 측정하여 정량구조 시뮬레이션에서 활용가능성을 평가하고자 하였다.

가상 오브젝트와 동일한 형상의 실제 참조물이 있는 경우도 있지만 디자인 작업에서는 디자이너의 기억에 의거하여 가상 오브젝트의 크기를 조정하여 표현해야 하는 경우가 있다. 이럴 경우 전자와 비교하여 어떠한 차이가 있을지 살펴볼 필요가 있는데 본 연구에서는 일상에서 쉽게 접하는 커피잔 세트를 이용해 실험을 실시하였다.

3-2. 로봇외관 디자인에의 응용

홈 서비스 로봇과 같이 대규모의 개발노력이 요구되는 신제품 개발과정에서 제품의 성공가능성을 높이기 위해서 목표 고객의 선호에 부합하는 디자인 개발은 상당히 중요하다. 로봇은 동적인 제품이어서 인간과의 공간적인 상호작용에 적합한 형태, 구조, 크기 등 외관특성을 갖추어야 한다. 하지만 홈 서비스 로봇이 일반화되어 있지 않고 또한 일상적으로 접할 기회가 없는 상황에서 사람들이 적합하다고 생각하는 로봇의 외관 특성을 예측하기란

4) Bimler, O., and Rasker, R.: Modern Approaches to Augmented Reality, EUROGRAPHICS (Tutorial Notes), (2004)

5) Drascic, D. and Milgram, P.: Perceptual Issues in Augmented Reality. Proceedings of SPIE vol. 2653 Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III, 123-134, (1996).

6) Rekimoto, J. and Nagao, K.: The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments, Proceedings of UIST'95, 29-36, (1995).

쉽지 않다. 증강현실을 기반으로 하는 시뮬레이션은 이런 문제에 대한 해결방법으로서 충분한 가능성을 내포하고 있다.

증강현실 기술을 활용한 정량구조 실험은 제품개발과정의 효율성 향상과 사용자 참여기회의 확대라는 측면에서 큰 의미를 있을 것으로 예상된다. 기존 의 모델제작을 통한 정량구조 실험방법에 비해 신속하고 비용이 거의 소요되지 않는다. 또한 증강현실은 상호작용성이 풍부해 목표고객이 디자인 과정에 참여하여 선호하는 외관특성을 쉽게 표현하게 할 수 있을 것이다.

본 연구는 증강현실을 기반으로 하는 정량구조 시뮬레이션을 통해 홈 서비스 로봇의 외관에 대한 목표고객의 선호경향을 파악하고자 하였다. 사용자 참여방식의 실험을 통해 홈 서비스 로봇과 인간이 공생할 경우 사람들이 적절하다고 생각하는 로봇의 크기와 비례를 알아보고자 하였고 실험참가자에 따라 어떠한 선호차이가 존재하는지를 파악하고 공통적으로 발견되는 조형요소간의 상관성을 밝히고자 하였다. 아울러 로봇의 형태요소 가감에 따라 선호하는 로봇의 사양이 어떻게 달라지는지 팔의 부착여부를 통해 실험하였다.

4. 연구방법 및 도구

4.1. 시뮬레이션 시스템 구성

가상현실 또는 증강현실을 통한 가상 오브젝트의 크기인지는 깊이 지각과 밀접하게 관련된다. 인간은 형태적 깊이 단서, 동적 깊이 단서, 생리적 깊이 단서, 양안시차 등을 종합적으로 처리하여 오브젝트의 깊이를 인지한다. 본 연구에서는 형태적 깊이 단서와 동적 깊이 단서를 풍부하게 제공함으로써 오브젝트의 깊이를 가능한 정확히 인지할 수 있도록 하였다.

증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션 시스템은 컴퓨터 비전 기술을 활용하는 ARToolKit 2.65⁸⁾를 이용하여 구축하였다.(그림 3) ARToolKit은 트래킹을 위해 사각형의 마커를 이용하는데 증강현실 경험자는 자연스럽게 이 마커를 기준으로 가상 오브젝트의 깊이를 인지하게 되므로 크기 인지가 용이하다는 장점을 갖는다. 또한 마커 가시범위 내에서 오브젝트를 바라보는 시점을 자유롭게 바꾸며 관찰할 수 있게 함으로써 동적인 깊이 단서를 취득할 수 있게 하였다. 특히 첫 번째 실험에서는 오브젝트를 반투명하게 처리함으로써 마커와의 3차원적인 정합관계를 쉽게 확인할 수 있도록 하였다.

첫 번째 실험에는 VGA해상도 HMD와 5.6"의 휴대형 LCD패널을 각각 표시장치로 사용하였다. LCD 패널의 효율성이 검증되어 두 번째 실험에서는 LCD 패널만을 이용하여 실험을 진행하였다. 증강현실 구현을 위한 비디오 입력장치로는 iBOT FireWire 카메라를 사용했다. HMD를 착용할 경우 가상 오브젝트의 크기를 조정하기 위한 조작장치를 손에 들고 사용하게 하였고 LCD 패널을 이용하여 실험을 하는 상황에서는 표시장치의 좌측에 조작장치를 부착하여 쉽게 사용할 수 있게 하였다. 첫 번째 실험의 경우 크기 조정과 회전을 위한 조작 버튼을 제공했고 두 번째 실험에서는 전체크기, 팔길이, 비례 등의 조정과 오브젝트

회전을 가능하게 했다. 실험참가자들에게 오브젝트를 자유롭게 회전할 수 있도록 한 것은 동적 깊이 단서를 풍부하게 제공하기 위해서였다.

ARToolKit을 이용하는 증강현실 환경에서 스케일링한 가상 오브젝트의 실제 크기(R)는 실험참가자가 조정한 스케일 값(S)과 비주얼 마커의 사이즈(M)에 비례한다. 본 연구에서는 가상 오브젝트의 실제크기가 다음과 같이 계산되도록 시스템을 초기 설정하였다.

$$R = V * S * M / 80.0 \quad (V = \text{가상 오브젝트의 크기})$$

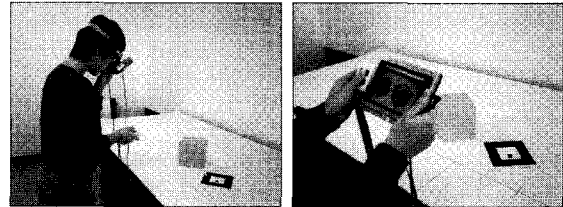


그림 3 증강현실 제시방법(좌측: 착용형 HMD, 우측: 휴대형 LCD 패널)

4.2. 증강현실 환경에서 크기 인지의 정확성 평가실험

이 실험은 증강현실 제시방법(HMD/LCD패널)과 주변 참조물의 다소(참조물 부족/참조물 풍부)라는 독립변인에 대한 완전조합의 형태로 디자인되었다. 마커의 크기는 160mm*160mm 이었고 실제 오브젝트와 가상 오브젝트간의 거리는 500mm로 통제하였다. 태스크의 특성상 학습효과가 크게 영향을 미치지 않을 것으로 예상되어 실험참가자내 실험으로 설계하였다. 하지만 가능한 이월효과를 최소화하기 위해 각 실험조건에 제시순서는 라틴방향을 이용해 상대균형화하였다. 실험참가자는 총 28명(평균연령 21.9세, 3차원 CAD를 사용한 경험이 있는 대학생)이었고 각 실험조건에 대해 실험참가자 별로 5번의 반복 테스트(총140회 측정)를 실시하였다.

실험에서는 150mm의 종이 큐브를 사용했다. 가상 큐브는 OpenGL로 렌더링되었는데 초기 사이즈는 실물 참조 큐브의 크기를 기준으로 50%~150% 범위에서 무작위로 제시하게 하였다. 실험 전 각 장치를 이용하여 가상 오브젝트를 조작하는 방법을 충분히 설명한 후 10분간의 연습을 실시하였다. 본 실험에서 실험참가자는 각자에게 적합한 위치와 자세를 취하고 실험에 임하도록 하였다. 또한 태스크 완수에 시간제한을 두지 않았다.

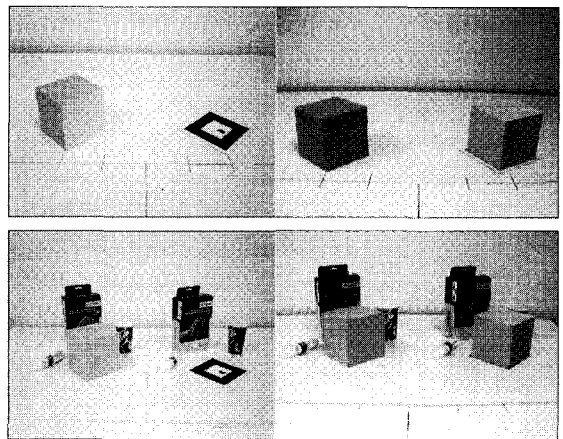


그림4 주변 참조물의 다소에 따른 실험제시조건 (상단: 참조물이 부족한 경우, 하단: 참조물이 풍부한 경우)

7) Drascic, D. and Milgram, P.: erceptual Issues in Augmented Reality. Proceedings of SPIE vol. 2653 Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III, 123-134, (1996)

8) <http://www.ims.tuwien.ac.at/~thomas/artoolkit.php>

실험을 통한 측정치는 위에서 언급한 수식에 의해 실제 공간에서의 크기로 변화되었다. 각 시행을 통해 측정된 가상 큐브의 크기를 종합하여 실험조건에 따라 어떠한 차이를 나타내는지 분석하였다.

4.3 기억속의 참조대상물과 현실세계의 참조대상의 차이 비교 실험

실험 1에서 실제사물을 병치하여 동일한 크기로 조정하게 하는 실험 태스크는 일반적인 정량구조 시물레이션과는 상이하다. 일반적인 정량구조 시물레이션에서는 실험참가자가 상상하는 오브젝트를 참조하며 가상 오브젝트의 크기를 조정하게 된다. 현실 세계에 존재하는 참조대상물과 기억 속에 존재하는 참조대상물은 스케일링의 정밀도에서 어떠한 차이를 나타낼 것인가? 이를 실험하기 위해 두 번째 실험에서는 그림 5와 같이 커피 받침만 있는 경우와 이와 더불어 커피 잔 세트가 병치되는 경우에 대해 스케일링의 정밀도를 비교하였다. 실험은 우선 후자를 먼저 제시하고 약 10분 후 전자를 제시하도록 하였고 28명의 피험자에 대해 5회 반복측정을 실시하였다.

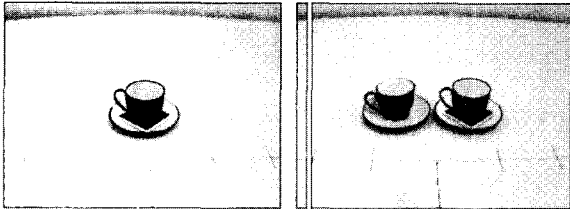


그림 5 실제 참조사물이 제시되지 않은 경우(좌)와 제시하는 경우(우)

4.4 로봇의관에 대한 정량구조 시물레이션 실험

본 연구에서는 실험을 통해 홈 서비스 로봇과 인간이 공생할 경우 사람들이 적절하다고 생각하는 로봇의 크기와 비례를 알아보고자 하였다. 실험결과를 바탕으로 실험참가자에 따라 어떠한 선호경향차이가 있는지를 밝히고 공통적으로 발견되는 조형요소 간의 상관성을 밝히고자 하였다. 특히 로봇의 디자인 요소 중 팔의 유무에 따라 선호하는 로봇의 사양이 어떻게 달라지는지 파악하고자 했는데 이를 위해 다음과 같은 방법으로 연구를 수행하였다.

홈 서비스 로봇의 형태와 조형요소는 용도와 기능, 조형적 메타포, 상호작용방식 등에 따라 한정하기 어려울 정도로 다양할 것이다. 홈 서비스 로봇은 아직 보편화된 제품이 아니므로 전형적인 형태를 찾기 어렵다. 본 연구에서는 현재까지 제안된 많은 지능형 서비스 로봇의 특징을 일반화하여 그림 6과 같이 머리, 몸통, 팔로 구성된 로봇의 기본형태를 정의하였고 키, 몸통 높이, 머리 높이, 팔길이, 몸통 폭, 전체 폭을 조정할 수 있도록 하였다. 로봇의관의 정량구조를 결정하는 6가지 요소는 각각 조정되는 것은 아니고 몸통길이(H), 팔길이(A), 전체크기(S) 등 3가지 매개변수에 의해 결정되도록 하였다. 증강현실 세계에서의 측정치는 3차원 CAD에서 모델링한 조형요소의 크기에 매개변수의 조정치를 가중하여 전술한 식을 이용하여 계산하였다. 실험에 사용한 마커는 240mm*240mm로서 비교적 큰 사이즈인데 실험참가자는 마커로부터 약 2m 가량 떨어진 거리에서 방안의 풍경을 조망하며 마커 위에 표시되는 로봇의 정량구조를 시물레이션할 수 있

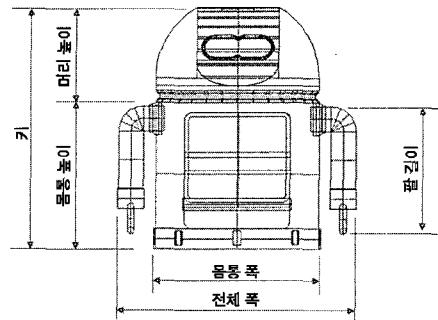
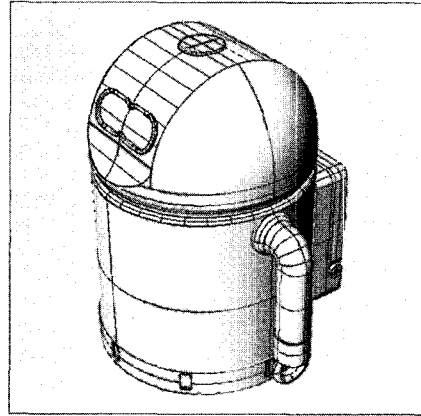


그림 6 홈 서비스 로봇의 조형요소 및 시물레이션 측정치 정의

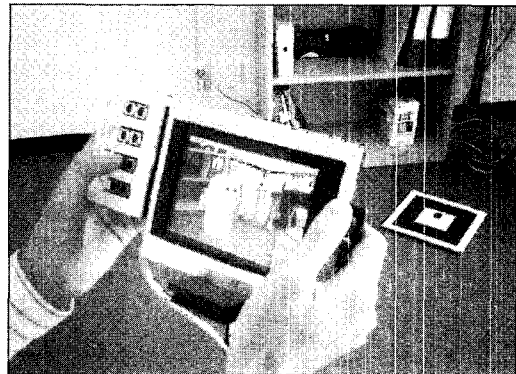


그림 7 로봇 정량구조 시물레이션 실험에 사용한 증강현실 제시방법

도록 하기 위해서였다.

사람들이 적절하다고 생각하는 홈 서비스 로봇의 정량구조를 알아내기 위해서 우선 로봇의 용도와 기능을 명확히 정의해야 했다. 본 실험에서는 로봇의 용도를 "가족과 함께 살며 집안을 돌아다니며 자연스럽게 가사를 지원하는 영리한 로봇"으로 정의하였고 "정보검색, 메신저 기능, 보안, 가벼운 물건 나르기, 가전제품 제어"가 가능한 것으로 하였다. 실험을 통해 로봇의 팔이 있는 경우와 그렇지 않은 경우 로봇의 외관 디자인에 대한 선호경향에 어떠한 차이가 존재하는지 알아보고자 했는데 각 실험참가자는 두 가지 경우에 대해 최적이라고 생각하는 정량구조를 증강현실 상황에서 시물레이션하게 했다. 실험에 참여한 실험참가자는 남성 30명(평균26.6세), 여성 30명(평균29.1세) 총 60명이었다.

팔 있는 로봇의 경우 일단 몸통길이(H), 팔길이(A), 전체크기(S)의 순으로 각 조형적 매개변수를 적절한 수준으로 맞추게 하고 다시 한번 순서에 상관없이 미세조정을 하게 하였다. 팔 없는 로

빛의 경우는 몸통길이(H), 전체크기(S)의 순으로 조정하게 하였다. 두 종류의 시뮬레이션은 번갈아가며 각각 5회 반복 시행하게 했는데 시뮬레이션의 순서는 실험참가자별로 15명씩 순서를 다르게 제시하였다. 각 실험참가자에게는 실험에 대한 설명과 함께 약 5분간의 연습시간을 부여했다. 2,3번의 연습을 통해서 대부분의 실험참가자들은 쉽게 조작방법을 이해하고 수행할 수 있었다.

5. 실험결과

5-1. 증강현실 기반 정량구조 시뮬레이션의 가능성

실험을 통해 증강현실 환경에서 참조물의 다소(부족/풍부)와 디스플레이 장치의 차이(HMD/LCD)가 가상 오브젝트의 크기를 인지하고 조절하는데 어떠한 영향을 미치는지 파악할 수 있었다. 4가지 실험조건에 대한 측정 데이터와 참값(150mm)을 비교하여 오차를 계산한 결과 참조물이 부족한 상황에서 HMD를 착용한 경우에 한하여 유의한 오차 ($t=2.809$, $df=139$, $p=0.006$)를 발견할 수 있었다.(그림8) 반면 LCD 패널의 경우 참조물이 부족한 상황에서도 정확한 크기 인지가 가능하다는 흥미로운 사실을 발견할 수 있었다. 디스플레이 장치에 따라 실험결과를 종합해 보았을 경우 HMD보다는 LCD를 사용할 경우 가상 오브젝트에 대한 크기 인지가 정확함을 알 수 있었다. 하지만 전반적으로 볼 때 스케일링의 정확도는 상대오차 1.3%이내이고 정밀도는 6.1%이내로서 상당히 정확히 크기를 인지하고 있음을 알 수 있었다.(표1) 또한 ANOVA 테스트를 통해 유의수준 0.1에서 디스플레이 장치가 오브젝트의 크기 인지에 유의한 영향 ($F_{1,139} = 3.615$, $p=0.059$)을 미치고 있음을 알 수 있었다. 참조물의 다소라는 차원에서 풍부한 경우 가상 오브젝트에 대한 크기 인지가 정확함을 알 수 있었다. 마찬가지로 유의수준 0.1에서 참조물의 다소가 오브젝트의 크기 인지에 유의한 영향 ($F_{1,139} = 2.957$, $p=0.088$)을 미치고 있음을 알 수 있었다. 두 변인간의 교호작용에 대해서도 유의수준 0.1에서 유의성($F_{1,139} = 3.197$, $p=0.076$)을 확인할 수 있었다.(그림11) 분석결과를 종합할 때 LCD 패널을 통한 증강현실 제시방법에서 가상 오브젝트에 대한 보다 정확한 크기 인지가 가능함을 알 수 있었다. 증강현실 제시방법에 대한 편의성을 주관적으로 평정(아주 불편함=1, 아주 편함=5)하게 한 결과 HMD와 LCD패널이 각각 2.6(표준편차=0.6), 2.8(표준편차=0.8)로 통계적으로 유의차는 없지만 다소 LCD 패널을 사용하기 편하게 생각하고 있음을 알 수 있었다.

표 1 실험조건별 결과(단위:mm)

실험조건	오차평균(표준편차)	상대오차(상대표준편차)
HMD-참조물 부족	-1.9 (7.9)	-1.3%(5.3%)
HMD-참조물 풍부	-0.2 (8.2)	-0.1%(5.4%)
LCD-참조물 부족	-0.2 (7.3)	-0.1%(4.9%)
LCD-참조물 풍부	-0.1 (9.2)	-0.0%(6.1%)

5-2 기억속의 참조대상물과 현실세계의 참조대상의 차이 비교 실험

실제 참조물이 존재하는 경우는 상대오차 0.7%에 상대표준편차 3.3%로서 실험1과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.(표2) 정밀도라는 차원에서 보면 오히려 큐브에 비해 훨씬 일관성 있는 스케일

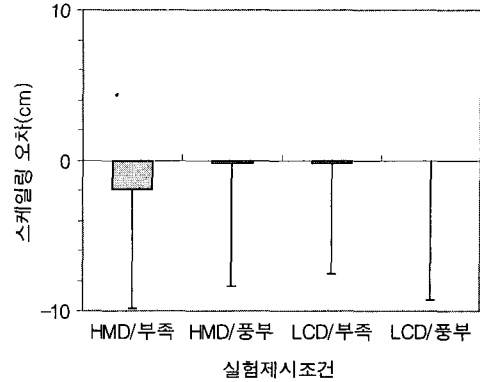


그림 8 4종류 실험조건에 대한 측정치 비교

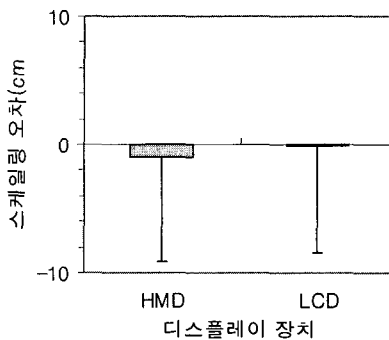


그림 9 증강현실 제시방법에 따른 측정치 비교

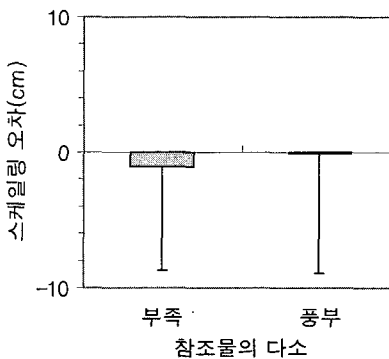


그림 10 주변 참조물의 다소에 따른 측정치 비교

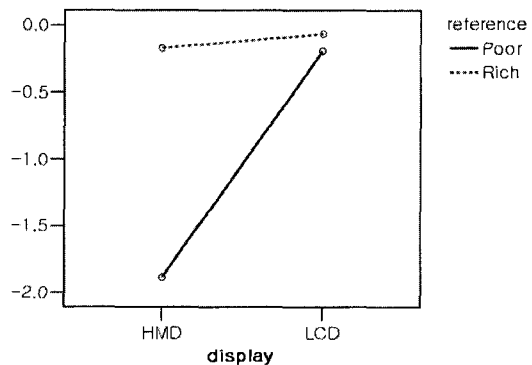


그림 11 증강현실 제시방법과 주변 참조물 다소의 교호작용

링이 가능한 것을 알 수 있었다. 한편 스케일링을 위한 참조대상이 기억 속에만 존재하는 경우 10.9%의 상대표준오차를 보여 정

밀도가 저하됨을 확인할 수 있었는데, 이는 개인적인 기억 차이에 기인할 것으로 추정된다. 하지만 전체 평균으로 볼 때 10분 전에 제시했던 컵과 큰 차이를 보이지 않았다.(그림12) 이는 컵 받침과의 상대적인 비율에 대해 대부분 적정하다고 생각하는 것이 실제 컵의 크기와 유사하기 때문일 것으로 생각된다. 총체적으로 볼 때 우리에게 익숙한 일상사물에 대해 증강현실 환경에서 상당히 정확하고 정밀한 크기 인지와 조정이 가능함을 알 수 있었다.

표 2 기억속의 참조대상과 실제 참조대상물에서 스케일링 결과 비교

	평균	표준편차	상대오차	상대표준편차
실제	80.5	2.7	0.7%	3.3%
기억	77.9	8.7	-2.7%	10.9%

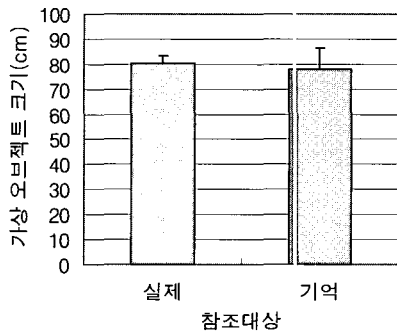


그림 12 기억속의 참조대상과 실제 참조대상물에서 스케일링 결과 비교

5-3. 로봇의 외관에 대한 정량구조 시뮬레이션 실험

대부분의 피험자가 본 실험에 들어가자마자 "그런데 뭐 하는 로봇이라고 했죠?"라고 질문하였다. 이는 피험자 전원이 홈 서비스 로봇을 보았거나 사용해본 경험이 없어 제품에 대한 전형적 이미지를 갖고 있지 않기 때문에 나타난 현상이라고 생각되었다. 실험 데이터를 집계한 결과 각 측정치에서 상당한 편차가 존재함을 알 수 있었는데 앞의 관찰결과와도 유사하게 각 피험자가 생각하는 로봇의 이미지에 상당한 차이가 존재함을 알 수 있었다. 또한 큐브에 대한 스케일링 실험에서는 상대표준편차가 6.1%미만이었고 커피 잔에서는 10.9%이었던 것에 비해 로봇에 대한 실험에서는 약 30%내외로 큰 차이를 보였다. (표3)

실험결과를 총체적으로 분석한 결과 다음과 같은 사실을 발견할 수 있었다. 각 측정치에서 상당한 편차가 존재함을 했는데 특별히 남녀간의 유의한 차이는 발견되지 않았다. 피험자들이 선호하는 홈 서비스 로봇의 평균 키는 팔이 있는 경우 59cm, 팔이 없는 경우 55cm가량이었다. 이 키는 성인의 무릎보다 약간 높은 정도이고 일반적인 책상이나 탁자보다 약간 낮은 정도라 할 수 있다. 로봇 팔의 유무에 따라 피험자들이 선호하는 키는 통계적으로 유의한 차이($t=3.605, df=59, p<0.001$)를 나타내 팔이 있는 경우 더 큰 키를 자연스럽게 생각하는 경향이 있었다.(그림13) 비례(키/머리높이)라는 측면에서도 팔의 유무에 따라 선호하는 경향에 유의한 차이($t=3.605, df=59, p<0.001$)를 발견할 수 있었다.(그림 14) 팔이 없는 경우 상대적으로 몸통높이가 낮고 안정적인 비례를 적절하다고 생각하는 경향이 있었다.

로봇의 외관에 대한 여러 측정치중에서 특히 유의미한 상관관계를 보이는 것은 키와 팔길이이었다. 키와 팔길이 사이에 상관계수

0.87의 강한 연관성이 존재하였는데 두 변수간의 관계는 아래의 회귀식으로 간단히 나타낼 수 있다. 인간의 경우도 신장과 팔길이 사이에 강한 상관성이 존재하는데 로봇의 경우도 유사한 경향 나타내고 있어 흥미로웠다. 또한 팔의 유무가 키와 비례에 유의한 차이를 유발하는 것으로 보아 의인화된 로봇의 형태에서 팔이 단순한 부가적 조형요소가 아니라 그 이상의 역할을 담당하고 있음을 추측할 수 있다.

$$\text{팔길이} = 32.75 + 0.44 * \text{키} \quad (R \text{ Square} = 0.76)$$

표 3 최적외관특성 평균치, (표준편차), <상대표준편차>

구분	몸통폭	키	머리높이	비례	팔길이	전체폭
팔 있는 로봇	303.2 (72.4) <23.9%>	592.6 (189.3) <32.0%>	176.6 (42.2) <23.9%>	3.4 (0.8) <25.2%>	293.5 (94.9) <32.3%>	439.6 (105.0) <23.9%>
팔 없는 로봇	305.8 (74.0) <24.2%>	554.2 (186.9) <33.7%>	178.1 (43.1) <24.2%>	3.1 (0.9) <29.0%>		

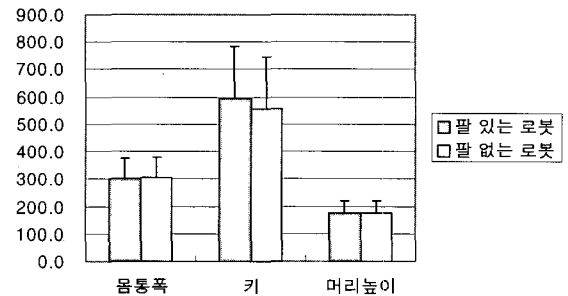


그림 13 로봇의 팔 유무에 따른 최적외관특성의 차이

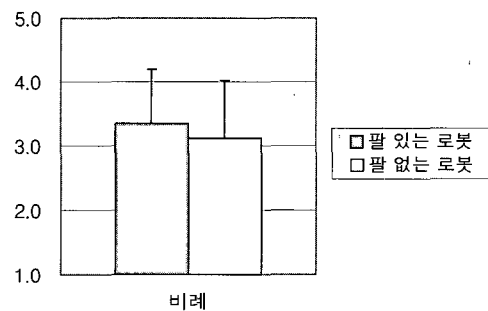


그림 14 로봇의 팔 유무에 따른 비례(키/머리높이)의 차이

5-4. 군집분석을 통한 외관선호경향 세분화

위에서 언급한 바와 같이 로봇의 외관에 대한 선호경향이라는 차원에서 실험참가자 간에 상당한 차이가 존재함을 알 수 있었는데 그 차이가 어떤 것인지를 파악하기 위해 계층적 군집분석(Ward method)을 실시하였다.

우선 팔 있는 로봇에 대한 측정치 중에서 상관성이 적고 외관을 대표하는 키, 몸통폭, 팔길이에 대한 데이터를 이용해 군집분석에 실시했는데 그 결과 특징적인 4개의 그룹을 발견할 수 있었다.

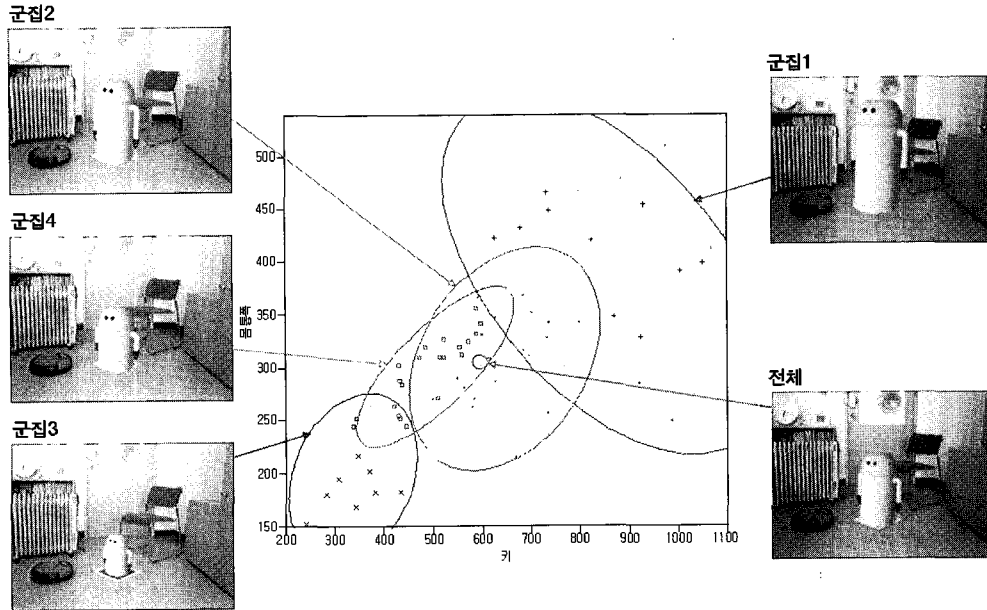


그림 15 팔 있는 로봇에서 최적외관 선호경향의 세분화

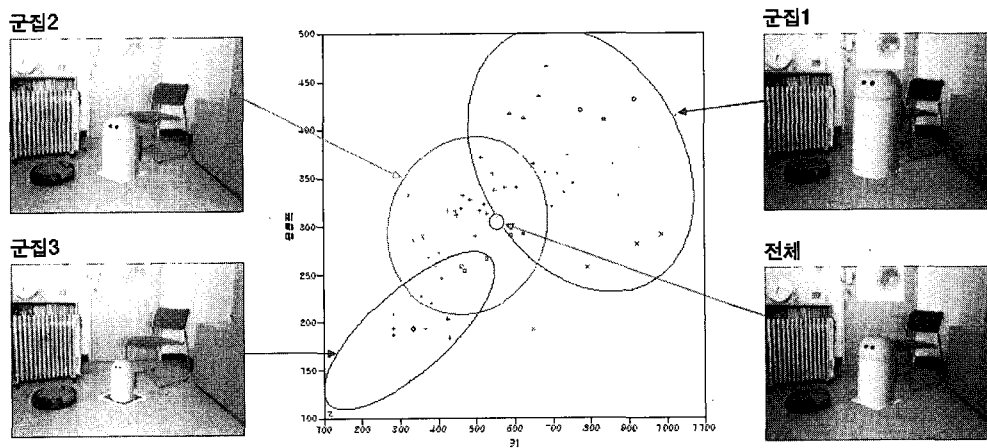


그림 16 팔 없는 로봇에서 최적외관 선호경향의 세분화

각 그룹을 "키와 몸통폭"을 축으로 하는 공간에 플로팅하면 그림 15와 같다.

군집1(남성6명, 여성6명)은 평균 키가 90cm이고 4.0등신인 가장 큰 로봇을 선호하는 그룹이었다. 군집2는 남녀 8명, 10명으로 구성되어 있었고 평균 키는 66cm가량이고 3.7 등신인 비교적 덩치가 있고 슬림한 타입을 선호하는 그룹이었다. 군집3(남성6명, 여성4명)의 평균 키는 34cm이고 3.0등신인 장난감 같이 아주 작고 귀여운 로봇을 선호하는 그룹이었다. 군집 4의 경우 남녀 각각 10명으로 구성되어 있었고 평균키 51cm에 2.9등신의 안정적이고 귀여운 로봇을 선호하였다. 실험참가자들이 적당하다고 생각하는 로봇은 전반적으로 볼때 장난감 수준의 크기와 비례에서 어린이 정도의 크기와 비례에 해당하는 것까지 다양했다. 이 분석 결과를 통해 제품으로서 홈 서비스 로봇에 대해 사람들이 갖고 있는 전형성이 확고하게 형성되어 있지 않음을 알 수 있었다.

그림 16과 같이 팔 없는 로봇에 대해서도 군집분석을 통해 실험 참가자가 선호하는 외관의 유형이 분류할 수 있었다. 이 경우는 키와 몸통폭이라는 측정치만을 이용해 군집분석을 실시했다. 분

석결과 키와 몸통폭의 대소에 따라 크게 3 그룹의 군집을 발견할 수 있었다. 군집1(남녀 각각 10명)의 경우 평균키 80cm이고 3.7등신인 상당히 큰 로봇을 선호하였다. 군집 2(남녀 각 15명)는 실험 참가자의 절반이 이 속해있는 그룹으로서 평균키49cm이고 2.8 등신인 비교적 아담하고 안정적인 외관을 선호하였다. 군집 3(남녀 각 5명)이 선호하는 로봇은 평균키 32cm이고 2.9등신으로 장난감과 같이 작은 사이즈였다.

6. 고찰

6-1. LCD 패널의 유용성

증강현실 환경에서 사람들이 가상 오브젝트의 크기를 얼마나 정확히 인지하고 조정할 수 있는지 증강현실 제시방법과 주변참조물을 변인으로 선정하여 실험하였다. 그 결과 HMD와는 달리 LCD를 사용하는 경우 주변 참조물의 다소와 관계없이 더욱 정확한 크기인지가 가능함을 확인할 수 있었다. HMD를 착용하는 경우 시야각 제한되므로 가상 오브젝트와 주변사물과의 기하학

적 정합관계를 정확히 파악하기 어려운 점이 그 원인으로 추정된다. 또한 LCD 패널의 경우 사용상의 편의성도 다소 우수한 것으로 나타났다. HMD에 비해 몰입감이 덜하고 손이 자유롭지 못하다는 단점은 있지만 가격이 저렴하고 정확한 크기 인지가 가능하다면 측면에서 증강현실 기반 정량구조 시물레이션의 도구로서 일반적인 이용이 가능할 것으로 생각된다. 반면 정량구조 시물레이션이라는 관점에서 볼 때 HMD를 사용하는 경우 시야 안에 주변 참조물이 풍부하게 배치될 수 있도록 해야 가상 오브젝트의 크기를 정확히 인지하고 적절한 수준으로 조정할 수 있을 것이다.

6.2. 증강현실 기반 정량구조 시물레이션에 대한 수용태도

우선 대부분의 실험참가자들이 증강현실 환경에서 조형요소에 대한 정량적 시물레이션을 어렵지 않게 받아들이고 직관적으로 작업 가능함을 알 수 있었다. 실험 전 5분가량의 연습을 통해 대부분의 참가자들은 아무 어려움 없이 자신이 최적이라고 생각하는 로봇외관의 정량적 특성을 제시할 수 있었다. 특히, 본 연구에서는 스케일링 가능한 요소를 2~3개의 차원으로 압축하여 제시하였기 때문에 실험과업을 쉽게 수행할 수 있었던 것으로 보인다.

6.3. 홈 서비스 로봇에 대한 다양한 제품 이미지

홈 서비스 로봇은 이제 상품화가 추진중인 제품군이므로 실험참가자 전원은 로봇을 직접 보거나 사용해본 경험이 없었다. 따라서 제품에 대한 구체적인 전형적 이미지가 형성되어 있지 않은 상황이라고 볼 수 있다. 이러한 이유때문으로 추정되지만 가능한 범위에서 로봇의 기능과 이미지에 대한 구체적인 기술을 제시하였음에도 불구하고 참가자들의 반응은 상당히 큰 편차를 나타냈다.

6.4. 조형요소의 가감에 따른 민감한 반응차이

로봇 외관에 대한 다양한 선호경향 차이에도 불구하고 팔의 유무에 따른 반응차이는 명확히 관찰되었다. 팔이 부착되는 경우 더 키가 크고 몸통이 긴 형태를 적절하다고 생각하는 경향이 있었다. 각 조형요소별 상관관계분석을 통해서도 키와 팔길이 사이의 강한 연관성을 파악할 수 있었다. 로봇의 경우 팔은 단순한 조형요소가 아니라 보다 인간처럼 보이게 하는 역할을 한다고 볼 수 있다. 따라서 실험참가자들은 팔이 존재하는 경우는 그렇지 않은 경우에 비해 인간의 신체와 대비하며 적절한 비례와 크기를 판단할 것으로 추정된다. 이러한 관점에서 키와 비례라는 측면에서 볼 때 팔이 있는 경우 더욱 인간의 신체특성에 근접하도록 조정하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

7. 결론 및 향후연구과제

현재 데스크톱 환경에서 사용하는 3차원 CAD 시스템은 디자인들에게 많은 편의를 제공함과 동시에 실체성의 결여라는 새로운 문제를 제기하고 있다. 3차원 CAD 시스템에서 나타나는 실체성 결여의 문제는 현실세계에 존재하던 작업공간과 도구가 컴퓨터라는 가상세계로 들어가며 생겨난 것이다. 본 연구에서는 실체성 결여의 문제가 촉각적 상호작용과 맥락정보의 부재로부터 기인한 것으로 파악

하고 증강현실 기술을 활용하여 간편하게 맥락정보를 보완하여 제품디자인과정에서 정량구조 시물레이션 작업에 활용할 수 있는 기법을 제안하고자 하였다.

증강현실 기반 정량구조 시물레이션의 가능성을 탐색하기 위해 증강현실 환경에서 가상 오브젝트에 대한 인간의 크기 인지의 정확성을 평가하였다. 아울러 전통적인 모형이나 3차원 CAD 시스템을 이용하여 정량구조 시물레이션에 곤란한 홈 서비스 로봇에 대한 사례연구를 통해 그 효용성을 살펴보고자 하였다. 실험결과 증강현실 환경에서 실험참가자들은 가상 오브젝트의 크기를 상당히 정확히 가늠하고 있음을 확인할 수 있었다. 아울러 홈 서비스 로봇의 외관 디자인에 대한 응용사례에서는 최적 외관특성에 대한 상당한 이미지 차이를 확인할 수 있었고, 조형요소 중 팔의 유무에 따른 유의미한 최적외관특성의 차이를 발견할 수 있었다.

본 연구의 의의는 증강현실기반 정량구조 시물레이션 기법에 대한 제안과 가능성 검증에 있었다. 하지만 연구결과와 과업을 위해서 다음과 같은 후속연구가 절실히 요구된다. 우선 이음매 없는 간편한 사용을 위해 상용 3차원 CAD시스템에서 증강현실 기반 시물레이션이 가능하도록 프로그램을 개발해야 할 것이다. 또한 디자인 작업장에서 쉽게 사용할 수 있게 하기 위해 보다 간편하고 정밀한 트래킹 장치가 개발되어야 할 것이다. 본 연구에서 채택한 ARToolKit의 경우 컴퓨터 비전을 사용하므로 비교적 설치와 사용이 간편하지만 픽셀단위의 오차가 문제시되는 경우에 사용이 곤란할 것이다. 실험과정에서 많은 실험참가자들이 가상 오브젝트를 만지고 싶어하는 반응을 나타냈다. 서론에서도 언급한 바와 같이 3차원 CAD 시스템에서 느끼는 실체성 결여의 현상은 촉각적 상호작용의 부재에서 기인하는 부분도 적지 않을 것이다. 이런 측면에서 본 연구에서 시도한 시물레이션 기법은 명확한 한계를 갖는다. 향후 촉각적 상호작용을 가능하게 하는 증강현실 기반 정량구조 시물레이션 기법에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다.

참고문헌

- Cooper, K.G.: Rapid Prototyping Technology, Marcel Dekker Inc. 68-151, (2001).
- Gibson, J. J.: Observations on Active Touch, Psychological Review 69(6): 477-490, (1962).
- Tjalve, E.: A Short Course in Industrial Design, Butterworth & Co. Ltd., 3-17, (1979)
- Bimber, O. and Rasker, R.: Modern Approaches to Augmented Reality, EUROGRAPHICS (Tutorial Notes), (2004)
- Drascic, D. and Milgram, P.: Perceptual Issues in Augmented Reality. Proceedings of SPIE vol. 2653 Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III, 123-134, (1996).
- Rekimoto, J. and Nagao, K.: The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments, Proceedings of UIST'95, 29-36, (1995).
- <http://www.ims.tuwien.ac.at/~thomas/artoolkit.php>