증강현실 기반의 원격 3 차원 디자인 협업 환경에 관한 연구

사공경[1], 남택진[2]
한국과학기술원[1 2]
{cally[1],tjnam[2]}@kaist.ac.kr

Augmented Reality Based Remote 3D Collaborative Design Workspace

Kyung Sakong[1], Tek–jin Nam[2]
Korea Advanced Institute of Science and Technology[1 2]

요 약

원격 3차원 디자인 협업 환경이란 원거리에 있는 디자이너들이 3차원 모델을 함께 동시적으로 다루는 협업 환경으로서, 제품 개발 프로세스의 비용과 시간을 단축하는데 매우 중요한 역할을 한다. 그러나 이에 대한 연구는 아직 미비한 실정이며 기존의 연구들도 2차원 데스크탑 환경에 제한된 문제점이 있다. 따라서 본 연구는 새로운 협업 환경의 제안을 통해 지리적으로 떨어진 디자이너들간의 3D 모델에 관한 원활한 협업을 촉진하는 것을 목표로 한다.

본 연구에서 제안한 증강현실 기반의 원격 3차원 디자인 협업 환경은 3D 모델의 공유를 위한 회전 원반(turntable)과 상대의 위치 및 제스처 정보를 제공하는 가상 그림자(virtual shadows)로 구성된다. 동시적으로 회전하는 회전원반은 물리적인 매개체로서 가상물체와 실제 세계를 자연스럽게 연결하는 동시에 상대의 실재감을 높인다. 가상그림자는 가상물체 주위로 보여지는 사람들의 손과 팔의 움직임을 시각화하여 공유하는 것으로, 상대의 위치뿐 아니라 지시, 제스처 등 행동에 대한 인식이 지속적으로 이루어지게 한다. 프로토타입을 제작하고 사용자 평가 실험을 실시하여 3차원 모델을 검토하는 단계에 그 유용성이 있음을 확인하였다. 데스크탑 환경의 모델링 툴에 익숙한 사용자들은 실제 공간에서 가상물체를 조작할 수 있음에 긍정적인 반응을 보였고 회전원반과 가상그림자의 제공은 태스크 수행의 정확도를 높이며 협업을 촉진하는 결과를 보였다.

본 연구는 환경적 제약으로 원활하게 이루어지지 못했던 3D 모델에 관한 원격 협업에 의사소통의 장을 마련하고 이를 촉진시킨다는 점에서 그 의의가 있다. 본 환경에서 제시한 상대방과 협업대상물에 대한 심리적, 물리적 공유감을 증대시키는 방법들은 3D 모델에 관한 디자인 협업에서 확장되어 다른 원격 협업을 지원하는 데도 적용될 수 있을 것이다.

Keyword : HCI, Interaction Design, Collaborative Design, Awareness, 3D CAD

1. 서 론

컴퓨터와 네트웍 기술의 급진적 발전에 힘입어 3D 모델을 원격에서 함께 다룰 수 있는 협동적 환경에 관한 관심과 연구가 증대하고 있다. 디자인 분야에서도 국제화 추세와 제품 개발 프로세스의 다변화로 인해 3D 모델에 관한 원격 협업의 필요성이 높아지고 있다. 3D 모델은 디자인 아이디어를 시각화할 수 있는 표현 수단인 동시에 커뮤니케이션의 매개체로서 디자이너 외에도 디자인 매니저, 클라이언트, 사용자, 다른 관계자들이 디자인 과정에 참여하도록 촉진한다[10]. 특히 3 차원 형태를 신속히 구체화하고 수정하는데 효율을

높임으로써 프로젝트의 비용과 시간을 절감시키는 중요한 역할을 한다.

원격 3 차원 협업 환경을 지원하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있으나, 데이터의 효율적인 전송[1]이나 데이터 베이스의 구축[11], 동시적이고 원활한 3D 모델의 시각화[9] 등 대부분 기술적인 문제를 해결하는데 초점을 맞추고 있다. 실시간으로 3D 모델을 함께 원격에서 디자인할 수 있는 협동적 3D CAD 시스템[7]에 관한 연구도 이루어지고 있으나, 2 차원의 데스크탑 환경에 제한되어 있는 문제가 있다. 이에 따라 3D 모델의 3 차원적인 특성이나, 원격 협업에 있어서 중요한 요소로 논의되는 원격실재감(telepresence), 비언어적인 의사소통 방법에 대한 고려가 충분히 이루어지지 않은 실정이다.

본 연구에서는 이러한 문제들을 해결하는 새로운 원격 3 차원 디자인 협업 환경을 제안하였다. 특히 데스크탑 환경을 벗어나 3D 모델을 직관적으로 조작하고 상대의 실재감을 느낄 수 있는 인터랙션 기법에 초점을 두었다. 이를 통해 3D 모델을 다루는 원격 디자인 협업 환경에서의 원활한 의사소통과 협업의 효율을 촉진하는 것을 목표로 한다.

2. 원격 3 차원 디자인 협업 환경의 요구사항

관련 연구의 분석을 통해 원격 협업 환경을 지원하기 위해 중요하게 논의되는 이슈들을 파악할 수 있었다. 언어/비언어적인 의사소통은 원활한 협업을 촉진시키는 수단으로, 다양한 연구에서 이러한 의사소통을 위해 대인공간(Interpersonal Space)을 형성하고자 하였으며, 실재감을 향상시키기 위해 대인공간과 작업공간의 자연스러운 통합이 주요 이슈로 제기되었다[3][6].

한편 사용자들이 공간 지각 능력을 사용할 수 있도록 작업 공간의 공간성(Spatiality)을 높이는 연구들이 시도되었다[2]. 이는 3 차원 모델을 다루는 본 연구에서 더욱 중요한 요소로 여겨진다. 공간성이 증대된 원격 협업 환경에서는 상황을 공유(Sharing Contexts)하고 상대의 활동을 인식(Awareness of Others)하는 것이 원활한 협업을 촉진하는 것으로 논의되었다[4].

기존의 원격 협업 환경에 관련된 연구에서 제기된 중요 이슈들과 함께, 실제 디자인 협업 행태에 관한 관찰실험을 실시하여 원격 3 차원 디자인 협업 환경이 갖추어야 할 요구사항을 도출하였다[8]. 관찰실험의 정성적 발견점과 사용자 인터뷰를 통한 주요 발견점은 다음과 같다.

협업은 공유 대상인 3D 모델 중심의 인터랙션으로 이루어지는 경향을 보였다. 참여자들은 지시와 제스처의 인식을 가장 중요한 요소로 평가하였고, 반면 상대의 표정은 거의 확인하지 않는 모습을 보였다. 이는 일반적인 원격 협업 환경에서 비디오 화면을 통해 대인공간을 제공하는 것과는 다른 특징이다.

관찰 실험이 진행되면서 참여자들은 컴퓨터 화면에 여러 개의 필요한 프로그램을 동시에 띄워놓고 작업하게 되면서, 창을 빈번히 이동하고 재배열하였다. 이렇게 복잡한 작업 환경은 상대가 어느 곳에서 조작을 하고 있는지 파악하기 어렵게 하였다. 이를 통해 3D 모델에 가장 필요한 주요 정보들을 선별하고 이러한 정보들이 충돌되지 않게 하는 것이 필요함을 알 수 있었다.

또한, 참여자들은 3D 모델의 실제 크기와 부피감을 확인하기 위해 참고 물체를 옆에 배치하여 크기를 비교하고자 하는 모습을 보였다. 그러나 참고 물체 또한 데스크탑 프로그램 안에 제한되어 있는 것이므로 한계가 있었다. 즉 3D 모델의 실재감과 부피감을 확인할 수 있도록 작업 환경이 실제 물리적인 환경과 연결될 필요가 있음을 발견할 수 있었다.

이와 같이 원격 협업 환경에서 중요한 이슈로 논의되는 요소 및 관찰 실험의 발견점을 바탕으로 하여, 다음과 같이 원격 3 차원 디자인 협업 환경이 갖추어야 할 요구사항을 도출할 수 있다.

- 3D 모델의 부피감을 파악할 수 있는 공간성이 충분히 제공되는 협업 환경
- 3D 모델에 직접적으로 관련되는 비언어적 의사소통의 지원
- 상대의 활동에 대한 지속적인 인식
- 대인공간과 작업공간의 자연스러운 통합
- 직관적이고 물리적인 가상 물체의 조작

3. 원격 3 차원 디자인 협업 환경의 제안과 개발

앞서 도출된 요구사항에 따라 본 연구에서는 원거리의 사용자들이 함께 실시간으로 3D 모델을 다룰 수 있는 새로운 원격 3 차원 디자인 협업 환경을 제안하고 개발하였다. 본 협업 환경은 원격 실재감을 지원하는 인터랙션 기법으로 회전원반과 가상그림자를 제공한다. 또한 가상의 3D 모델을 직관적으로 조작할 수 있도록 작업공간의 공간성을 최대한 제공하기 위해 증강현실 기술을 활용하였다.

3-1. 개요 및 구성

참여자들은 그림 1 과 같이 원형의 테이블을 중심으로 인터랙션 요소들을 활용하여 상대방과 협업하게 된다. 이는 같은 장소에서 회의가 이루어질 때 흔히 사람들이 테이블에 둘러앉아 의견을 나누는 상황에서 착안한 것으로, 원격 환경에서도 유사한 경험을 제공하고자 하였다. 사용자들은 HMD(Head Mounted Display)를 착용했을 때 실제 시야와 가상의 3D 모델이 합성된 화면을 봄으로써 공유대상을 조작할 수 있게 된다.

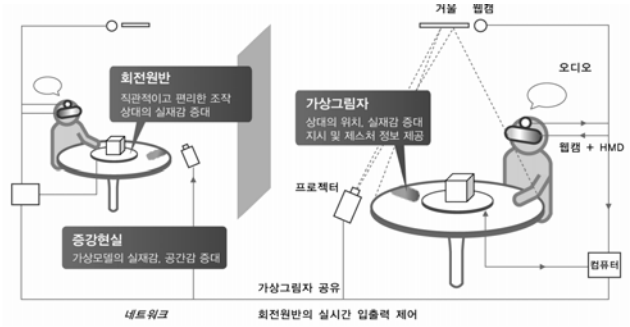

그림 1. 원격 3 차원 디자인 협업 환경의 개요와 구성

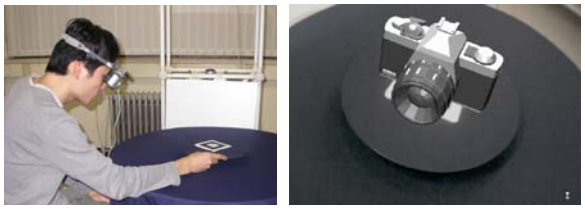

그림 2. 가상모델을 주시하는 사용자의 모습(좌)과 실제 사용자가 HMD 를 통해 보는 화면(우)

1) 회전원반(Turntables)

본 연구에서는 3D 모델을 조작하고 공유하기 위한 주요 인터페이스로 물리적인 회전원반을 활용하였다. 회전원반의 둥근 모양과 회전하는 특성은 3D 모델을 모든 방향에서 쉽게 검토할 수 있게 한다. 또한 가상물체를 직접 손으로 만질 수는 없지만 이를 조작하는데 물리성(Physicality)을 부여함으로써 가상물체와 실제세계가 보다 자연스럽게 연결되도록 한다.

본 연구에서 활용된 회전원반의 가장 큰 특징은 분리된 공간에 있는 모든 사용자들의 회전원반이 네트웍으로 연결되어 동시적으로 회전한다는 것이다. 이때 회전원반 위에 놓여진 3D 모델도 함께 회전한다. 이러한 동시성은 상대가 공유모델을 어떻게 조작하고 있는지 인식할 수 있게 한다. 또한 상대의 조작에 물리적 단서를 제공함으로써 상대의 실재감을 높이는 효과를 준다.

그림 3. 두 사용자의 회전원반은 같은 방향, 같은 각도로 동시에 회전한다.

2) 가상그림자(Virtual shadows)

원격 협업 환경 내에서 상대의 위치, 제스처 등 상대의 활동을 꾸준히 인식하는 것은 중요한 요소로 논의되었다. 본 연구에서는 가상그림자를 통해 이를 지원하였다. 테이블 위에 비춰지는 사람의 그림자는 상대의 환경 내의 테이블 표면에 가상그림자로 가시화된다(그림 4).

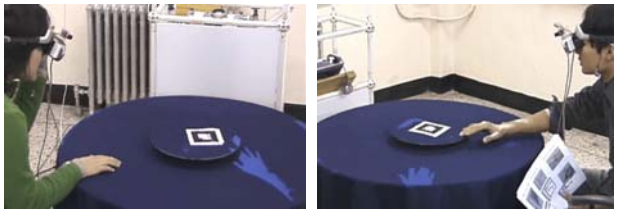

그림 4. 가상그림자

이는 사람들이 회의할 때 테이블 주위에 기대어 앉아 제스처를 취하는 상황에서 착안한 것으로, 보다 자연스러운 인터랙션을 제공하기 위한 것이다. 사용자들은 가상그림자를 통해 협업 환경 내에서 상대의 위치를 인식할 수 있으며, 공유모델에 관한 대략적인 지시 및 제스처를 표현할 수 있

다. 또한 제스처는 생각과 행동을 반영하여 상대의 상태를 이해하는데 도움을 줌으로써 의사소통을 원활히 이루어지도록 기여한다.

이로써 가상그림자는 도출된 요구사항 중 상대에 대한 인식과 3D 모델에 관련된 비언어적 경로의 제공을 지원한다. 가상그림자는 테이블 표면에 투사되는 2 차원적인 것으로 정확한 지시나 제스처에 한계가 있지만, 협업의 주 목적인 3D 모델의 조작을 방해하지 않으면서도 암묵적이고 지속적으로 상대의 정보를 제공하는 효과가 있다.

3-2. 프로토타입 개발

1) 회전원반의 제어

동시적으로 연결된 회전원반을 구현하기 위해서는 사용자가 회전원반을 돌린 정확한 각도를 입력 받는 것과 동시에, 상대편 회전원반도 그 각도만큼 자동으로 회전될 수 있어야 한다. 즉, 원반 자체에서 회전의 입력과 출력이 모두 가능해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 인코더(Encoder)가 장착된 스테핑 모터(Stepping Motor)를 회전원반 아래에 부착시켜 제어하였다. 모터의 회전 값을 인코더가 입력 받고 이를 컨트롤 박스를 통해 상대편 모터에 전달하여 같은 방향으로 같은 각도만큼 회전시킨다.

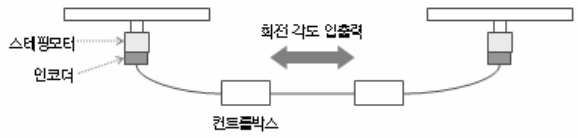

그림 5. 회전원반 제어를 위한 시스템 구조

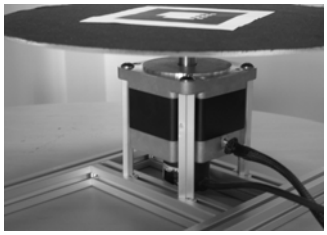

그림 6. 스테핑 모터가 장착된 회전원반

본 연구의 프로토타입에서는 두 개의 회전원반의 모터가 유선으로 연결되도록 제작하였으나, 모터의 회전 각도 입력 값이 네트웍으로 전달될 수 있도록 차후 제작하는 것이 실제적 활용을 위해 필요하다.

2) 가상그림자의 시각화

테이블 상단에 장착된 웹캠은 회전원반 주변의 이미지를 지속적으로 촬영하며, 이 이미지는 그림자의 형태로 변환되어 상대방에게 전달된다. 이미지는 명도 대비를 통해 배경과 피실험자의 신체를 나타내는 흑백 영상으로 분리되고 상대방의 테이블에 투사된다. 실험 시스템은 투사 영상을 반사하는 거울을 설치하여 크기 대비 투사 면적을 최대한 확보할 수 있도록 하였다.

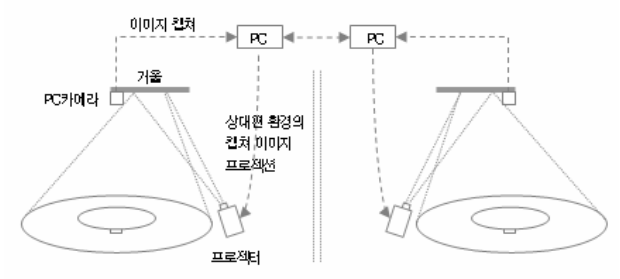

그림 7. 가상그림자 시각화를 위한 시스템 구조

3) 증강현실의 구현

증강현실을 구현하기 위해 본 연구에서는 DART (The Designers Augmented Reality Toolkit)를 사용하였다[5]. DART 는 증강현실 어플리케이션의 빠른 디자인과 구현을 지원하는 디렉터(Macromedia Director) 기반의 소프트웨어 툴킷이다. 컴퓨터는 웹캠에서 입력 받은 비디오 스트림 내에서 지정된 표식(marker)을 찾고 가상 물체를 합성한다. 합성된 화면은 HMD 로 보내져서 사용자는 이를 통해 실제 세계 내의 가상 물체를 볼 수 있다.

4. 효용성 평가와 발견점

4-1. 실험 방법

본 연구에서 제안된 컨셉의 효용성을 검증하고, 새로운 문제점 및 개선 방안을 모색하기 위해 평가 실험을 실시하였다. 협업 환경에서 두 사용자 간에 3D 모델의 검토와 수정사항 논의가 원활히 이루어지는지 평가하기 위해, 한 사람이 수정사항을 설명하고 상대가 이를 얼마나 정확하고 신속하게 인식하는지 측정하였다. 태스크는 3D 모

델의 특정 부분을 가리키는 ‘ 지시’ 와 어떻게 수정할지에 대한 ‘ 변형’ 으로 구성하였다. 또한 실험 환경의 종류를 다르게 하여(그림 8), 인터랙션 기법의 제공 여부에 따라 태스크 수행에 어떠한 차이가 나타나는지 파악하고자 하였다. 따라서 실험의 독립변수와 종속변수는 다음과 같다.

-독립변수: 태스크의 복잡도/실험환경 종류

-종속변수: 태스크 수행의 소요시간/정확도

그림 8. 실험 환경 설정

실험은 두 명을 한 팀으로 하여 총 6 팀에 대해 실시하였으며, 한 팀당 약 40 분이 소요되었다.

4-2. 실험 결과

태스크의 복잡도가 높지 않은 일반 태스크에서는 회전원반과 가상그림자가 모두 제공된 환경에서 모델의 특정 부분을 지시하고 인식하는데 소요된 시간이 가장 낮게 나타났다. 반면 정확도는 실험 환경에 상관없이 모두 동일한 결과를 보였다. 즉 어떤 특정 부분에 대해 언어적인 지시만으로도 결국 인식할 수 있게 되지만 인터페이스 요소들이 제공되었을 때 보다 신속한 협업이 이루어진다는 것을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 제안한 환경이 지시적인 태스크에 도움을 줌으로써 좀더 원활한 협업을 유도할 수 있음을 보여준다.

지시적 태스크와 달리 변형의 태스크에 있어서는 본 연구에서 제안한 협업 환경에서 가장 소요시간이 길었다. 그러나 변형의 정확도 면에서는 매우 우세한 경향을 보였다. 이는 회전원반과 가상그림자를 제공하여 협업을 촉진시킴으로써 보다 자세하고 정확한 논의가 가능해졌음을 시사한다.

세밀하고 복잡한 지시와 변형 태스크는 모두 증강현실만 제공된 환경에서 가장 소요시간이 적게 나타났다. 이때 참여자들은 초반에 인터페이스 요소들을 활용하여 설명하였으나 2 차원적인 가상그림자의 한계로 인해 오히려 논의가 원활히 이루어지지 못하고 시간이 지체되었다. 즉 가상그림자가 세밀하고 정확한 지시 및 변형의 측면에서는 한계가 있음을 알 수 있었다. 정확도면에서는 지시적 태스크에서 본 연구에서 제안한 협업환경(ATS)이 가장 높게 나타났으며, 변형의 태스크에는 실험 환경에 상관없이 모두 같은 결과를 보였다.

4-3. 발견점

데스크탑 CAD 툴에 익숙한 사용자들은 가상모델을 실제 공간에서 다룰 수 있는 것에 긍정적이었다. 특히 회전원반과 가상그림자 등의 물리적 단서들이 상대방의 실재감과 조작의 공유감을 증대시킴을 알 수 있었다. 사용자들은 가상그림자를 통해 상대의 위치를 파악하고 원반의 회전이 공유됨에 따라 상대가 가상물체를 어떻게 보고 있는지 대략적으로 시야를 공유할 수 있었다. 가상그림자의 지시 정보까지 더해지면서 모델의 특정 부분을 굳이 설명하지 않고도 원활한 의사소통이 자연스럽게 유도되었다..

사용의 편리성과 직관성 측면에서도 효용성을 밝혔다. 특히 모델링 툴의 사용법에 익숙하지 않은 학생들은 원반의 개념을 이해하는 것이 기존 3D 프로그램의 휠, 버튼 등을 활용하는 회전 방식보다 이해하기 쉬웠으며, 이를 채팅 및 모델링 툴과 결합함으로써 기존 데스크탑 기반 환경에 비해 편리하고 직관적인 조작법을 갖춘 협업 도구로 발전할 수 있을 것이라 평가하였다.

사용자들은 모델의 특정 부분을 정확히 지시하기 위해 가상그림자를 이용하고자 하였다. 그러나 가상그림자는 테이블 표면에 투사되는 평면적인 것으로 수직의 위치를 지시할 수 없는 한계가 있었다. 실험 후 인터뷰에서도 이는 문제점으로 언급되었으며 사용자들은 부가적인 인터페이스 도구의 필요성을 얘기하였다. 회전 원반에서도 조작의 권한이 충돌되는 문제, 가상모델의 정면을 보기 힘든 문제가 발견되었다.

실험에서 관찰된 행태 중 주목할 만한 점은 사용자들이 절대적으로 같은 위치에 앉아서 같은 시야를 공유하고 모델의 같은 면을 보면서 대화하

려고 한다는 점이었다. 그림 9 는 협업이 진행될 수록 두 사용자가 겹쳐 앉으면서 상대의 그림자가 자신의 몸쪽에서 시작되는 모습을 보여준다. 실제 세계에서는 같은 자리에 많은 사람이 겹쳐 앉기는 불가능하기 때문에, 이러한 면은 참여자가 많아질 때 더 큰 효과를 기대할 수 있다. 또한 현재의 협업 환경이 원테이블이 아닌 좀더 소형화된 작업공간으로 재구성될 수 있음을 알 수 있다.

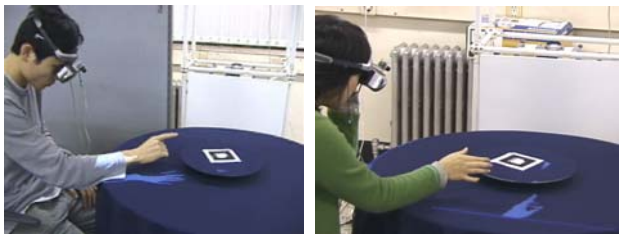

그림 9. 원격 참여자들이 같은 위치에서
시야를 공유하려는 모습

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 3D 모델에 관한 검토와 수정 사항 논의를 지원하는 증강현실 기반의 새로운 3 차원 원격 협업 환경을 제안하였다. 주요 인터페이스 요소인 가상 그림자는 협업 환경 내에서 상대의 위치, 3D 모델에 대한 대략적 지시 및 제스처 정보를 제공하는 한편, 상대와 협업하고 있다는 실재감을 자연스럽게 느낄 수 있는 효과를 주었다. 회전원반의 동시성과 물리적 특성은 가상모델의 공유감 및 상대의 실재감을 증대시켰으며, 조작을 좀더 직관적이고 편리하게 유도할 수 있음을 보여주었다.

본 연구는 연구가 미비했던 3D 모델에 관한 원격 협업을 지원하는 새로운 디자인 협업 환경을 제안했다는 것, 나아가 2 차원의 스크린에 제한되어 있던 3D 모델에 관한 협업을 실제 공간으로 이끌어 냈다는 점에서 중요한 의미를 지닌다.

본 연구가 실제 활용되기 위해서는 발견된 문제점을 보완하는 향후 연구가 필요하다. 우선 실험에서 가장 문제점으로 드러난 바와 같이 3D 모델의 정확한 부분을 지시할 수 방법이 제공되어야 한다. 또한 여러 사람이 동시에 원반을 조작하려 할 때 발생하는 권한 충돌 문제와 개인용/공유용 공간을 적절히 혼합하는 문제도 다시 고려해볼 필요가 있다. 마지막으로, 본 연구의 효용성 평가는 원격 상황을 시뮬레이션하는 같은 공간에서의 실험으로 진행되었지만, 추후 실제 협업에서 장애가 될 수 있는 지연 시간(latency time)과 같은 잠재적 문제를 추가적으로 고려하고 실제 원격 상황을 기반으로 실험을 보완하여 새로운 문제점과 활용 가능성을 모색할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] Azernikov, Fischer, Efficient surface reconstruction method for distributed CAD, Computer-Aided Design, Volume 36, Issue 9, 2004

[2] Benford, Greenhalgh, Reynard, Brown, Koleva, Understanding and Constructing Shared Spaces with Mixed-Reality Boundaries, ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 5, No. 3, 1998

[3] Buxton, Telepresence: Integrating Shared Task and Person Spaces. Proc. Graphics Interface 1992

[4] Churchill, Snowdon, Munro, *Collaborative Virtual Environments: Digital Places and Spaces for Interaction*, Springer, 2001

[5] DART: The Designers' Augmented Reality Toolkit http://www.gvu.gatech.edu/dart/download.htm

[6] Ishii, Kobayashi, Integration of Interpersonal Space and Shared Workspace: ClearBoard Design and Experiments, ACM Transactions on Information Systems, Vol. 11, No 4, 1998

[7] Nam, Wright, Syco3D: A Real-time Collaborative 3D CAD system, Design Studies 22, 2001

[8] 사공경, 남택진, 3 차원 원격 디자인 협업 환경 개발을 위한 디자인회의 행태의 비교 관찰, 한국디자인학회 가을학술발표대회, 2005

[9] Szykman, Racz, Bochenek, Sriram, A web-based system for design artifact modeling, Design Studies 21, 2000

[10] Tovey, Drawing and CAD in industrial design, Design Studies, 1998

[11] Qiu, Wong, Fuh, Chen, Zhou, Li, Lu, Geometric model simplification for distributed CAD, Computer-Aided Design, Volume 36, Issue 9, 2004