

과학적 가시화를 위한 증강 협업 환경 디자인에 관한 연구

박 경 신[†]

요 약

증강 협업 환경은 지리적으로 떨어진 그룹과 그룹간의 사용자들이 함께 어려운 문제를 풀 수 있도록 도와주는 다수의 디스플레이를 활용하는 작업 환경이다. 본 논문은 실시간 협력 작업 환경의 특징적인 공유 작업 공간 모델을 살펴본다. 그리고 과학적 가시화를 위한 증강 협업 환경의 공유 작업 공간 모델을 검증하는 반복적인 디자인 실험연구를 설명하고 있다. 이 연구에서 원거리 사용자들의 협업을 향상시키기 위한 증강 협업 환경의 디스플레이 기술 설정을 바꿔가며 사용자 평가 실험이 진행되었다. 각 실험에서 두 개의 방에 두 명씩 분산된 그룹들에게 협업 가시화를 이용한 집중적인 분석 작업을 시켰다. 그 결과 다른 사람들의 작업 내용을 쉽게 볼 수 있는 고화질 작업환경의 향시 가시성이 분산된 구성원들 간의 상호 인지도와 협력에 도움이 되어 협업 능력을 향상시켰다.

키워드 : 증강협업환경, 공유 작업 공간 모델, 협업, 가시성

Designing Amplified Collaboration Environments for Scientific Visualization

Kyoung Shin Park[†]

ABSTRACT

Amplified Collaboration Environment(ACE) is a display-rich project room that enables distributed teams to intensively work together to solve a complex problem. This paper presents reviews of some most important shared workspace models in real-time collaboration systems. It then describes a set of iterative design studies of evaluating the shared workspace for ACEs. The study involved small groups of users in two ACEs performed a collaborative visualization and analysis task while varying the display technology configuration. The goal of this study was to enhance intensive collaborative work in ACEs. The results showed that the participants benefited from the ability to see others' work over the high-resolution shared workspace, which helped enhance group awareness and performance.

Key Words : Amplified Collaboration Environment, Shared Workspace Model, Collaborative Work, Visibility

1. 서 론

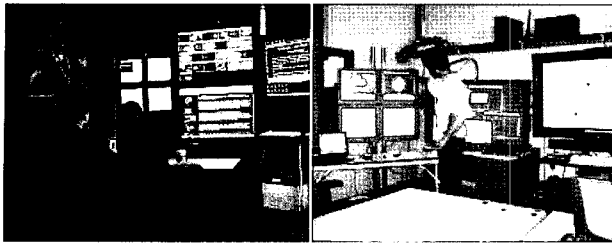
최근 수십 년간 협업 기술에 대한 지속적인 연구와 발전으로, 사람들이 멀리 떨어져 있어도 쉽게 의사소통이 가능하고 때로는 아주 복잡한 일을 함께 처리하는 것도 가능해졌다. 특히 세계적으로 거점을 지니고 있는 다국적 기업에서는 글로벌 경쟁, 다국적 시장, 그리고 조정 등과 관련된 다양한 문제를 해결하기 위해 세계 여러 곳에 위치한 직원들을 묶어 가상의 팀을 구성하여 공동 작업을 추진하고 있다. 첨단 과학이나 공학 분야 연구에서도 역시 세계 여러 곳에 분산되어 있는 고성능 컴퓨터를 자료 계산에 활용하고 구하기 힘든 과학적 계기나 분산되어 있는 대용량의 데이터 베이스를 공유하는 것이 일반화 되었다. 또 다양한 능력을 가진 학자들의 학제 간 연구를 위해 협업하는 것도 이젠 흔히 볼 수 있다. 기존의 과학 연구에서 원거리 협업은 아무래도 지리적으로 멀리 떨어져 있다는 점 때문에 진행에 어

려움이 많았었다. 그러나 현재는 국가적으로나 개인적으로 많은 과학자들이 협업을 통한 과학 연구를 지향하고 있고, 엄청나게 발전하고 있는 컴퓨터와 정보통신망 기술은 지리적으로 분산되어 있는 학자들에게 시스템과 자료 공유 등 협업을 가능하게 해준다.

증강 협업 환경(Amplified Collaboration Environment, 이하 ACE)은 고용량의 자료를 처리할 수 있는 슈퍼컴퓨터의 계산 능력과 대용량의 데이터가 위치한 곳들을 초고속 전산망으로 묶어 과학적 가시화 연구를 할 수 있도록 도와주는 미래형 협업 환경이다[1]. 일반적으로 과학자들은 단순한 화상회의와 적은 양의 자료 문서나 스프레드시트를 공유하는 것만으로 과학적 분석 협업은 어렵다고 생각한다. 실제로 과학자들은 이보다 좀 더 강력한 협업 환경을 통해 실시간으로 방대한(예로, 테라바이트 단위) 양의 자료를 질의, 수집, 관찰, 분석하며 토론할 수 있을 원한다.

Continuum은 원격지에 분산되어있는 과학자 그룹들이 함께 과제 수행을 할 수 있도록 도와주는 ACE이다. Continuum은 좀 더 효율적으로 정보들을 보여주어 효과적인 협업이

[†] 종신회원 : 한국정보통신대학교 디지털미디어연구소 연구교수
논문접수 : 2005년 5월 20일, 심사완료 : 2005년 8월 9일



(그림 1) Continuum 기술을 이용해 만들어진 두 개의 증강 협업 환경 공간

일어날 수 있도록 설계되었다. (그림 1)은 미국 시카고 소재 일리노이대학에 있는 전자시각화연구소(Electronic Visualization Laboratory)에서 만들어진 두 개의 Continuum을 보여주고 있다. Continuum은 화상 회의, 다양한 자료 공유, 협업 메모 도구, 그리고 무선 인터랙션을 가능하게 해주는 기술 등이 통합되어 만들어졌다.

협업 가시화는 과학적 자료를 분석하는 과정에 있어서 중요한 역할을 한다. 하지만 기존에 많이 사용되고 있는 과학적 가시화 도구들은 일반적으로 단일 사용자를 염두에 두고 만들어졌다. 그래서 그런 도구들을 사용한 협업은 여러 사람들이 한 개의 워크스테이션에서 다같이 모여서 가시화 프로그램을 보고 사용해야 한다. 물론 여러 연구소나 기업체에서 만들어진 실시간 협업 도구들이 있긴 하지만, 이들 대부분은 주로 한 개의 방에 다같이 모여서 하나의 공유된 작업공간을 사용하는 것으로 만들어졌거나 협업을 위해 사용자들이 같은 방에 있다 하더라도 각기 다른 컴퓨터를 사용하는 작업 모델을 갖고 있다. ACE의 공유 작업 공간 모델은 이런 점들을 개선해서 원거리에 떨어져 있는 그룹들이 여러 개의 입출력 장치 기술들을 사용해 대용량의 정보를 공유하며 협업할 수 있도록 만들어졌다.

이 논문에서는 우선 기존의 실시간 협력 작업 환경에서 제공되는 공유 작업 공간 모델을 설명한다. 그리고 Continuum의 기술적 요소를 간단히 살펴보고, Continuum의 기술적 요소 구성을 여러 번에 걸쳐서 변경시켜가며 협업 과학적 가시화와 분석 작업을 시킨 디자인 연구에 대해 설명한다. 그리고 이 실험에서 발견한 결과를 기존의 공유 작업 공간 모델과 비교해 설명한다.

2. 공유 작업 공간 모델

이 장에서는 기존의 협업 시스템에서 발견된 몇 가지 중요한 공통적인 공유 작업 모델에 대해 간단히 설명한다. 한 장소에 있거나 혹은 원격지에 있는 사용자들이 공유 화이트보드 같은 비주얼한 작업 공간에서 실시간으로 정보를 공유하며 함께 일을 할 수 있도록 도와주는 실시간 협업 작업 시스템을 살펴본다.

“옆자리 협업 모델”은 개개인들이 바로 옆에 붙어있는 터미널을 사용하면서 같이 일하는 자연스러운 협업 모델이다. 도서관에서 흔히 목격되고 있는 모델로 여러 개 터미널 주변에 있으면서 필요에 따라 함께 작업을 하는 모델이다. 사

용자들이 함께 같은 장소에 모여 있기 때문에 쉽게 작업 중인 내용을 토론하고, 결과를 비교해보며, 때로는 주변에 있는 동료의 작업을 살펴보기도 하고 또 물어보기도 한다.

“익스트림 프로그래밍(Extreme Programming) 모델”은 두 명의 개발자가 한 개의 컴퓨터에서 같이 앉아 지속적으로 함께 프로그램을 설계하고, 알고리즘을 개발하며, 코딩 그리고 테스트와 같은 모든 작업을 함께 하는 것을 일컫는다[2]. 익스트림 프로그래밍은 개개인이 따로 프로그래밍을 하는 것과 비교하여 작업 효과가 뛰어났다고 한다.

“공유 평면 모델”은 서너명 사람들이 한 장의 아주 큰 종이나 칠판 주변에 모여서 각각 펜을 가지고 그리거나 가리키면서 함께 작업을 하는 것을 말한다. 이런 공유 평면 모델의 또 다른 일례로, 같은 장소에 모여 있는 사용자들이 협업을 할 수 있도록 한 개의 공유 디스플레이와 여러 개의 입력 장치를 제공하는 단일 디스플레이 그룹웨어(Single Display Groupware)가 있다[3].

“CoLab 회의 모델”은 한 개의 공유된 디스플레이와 개개인을 위한 워크스테이션을 갖춘 전자 회의실 시스템으로 사용자들이 공유 정보를 다루거나 혹은 개인용 산출물을 만드는 것을 모두 지원해주는 것을 일컫는다[4].

“발표 모델”은 회의에 참석하는 모든 사람들이 아주 큰 공유 디스플레이에서 보이는 내용들을 공유하는 모델을 의미한다.

“열린 공간(war room) 모델”은 여러 가지 정보를 보여주는 산출물들이 칠판이나, 플립 차트, 벽에 붙어있는 노트 등으로 가득 붙어있는 회의실에 사용자들이 모든 산출물을 언제든지 볼 수 있고 사용할 수 있는 시스템을 가리킨다[5].

원격협업을 위한 도구로는 1980년대 후반에서 1990년대 초반기에 MediaSpace[6]로부터 시작되어 왕성히 연구된, 다양한 화상회의 시스템[7, 8, 9]이 있다. 이 연구에서 협업에 가장 중요한 통신수단을 제공하는 화상회의의 중요성에 대해서 살펴보았다. 이런 단순한 화상회의에서 좀더 발전되어 그림이나 글도 공유하며 협업할 수 있게 도와주는 시스템도 점차 개발되었다.

Commune[10] 같은 “원격 공유 평면 모델”은 원거리에 떨어진 모든 사용자들이 작업 평면에 있는 모든 정보를 같이 보고 인터페이스를 공유할 수 있도록 만들어졌다. 그리고 사용자들은 원격 지시(tele-pointer)와 같은 도구들을 이용해 원격지에 있는 사용자들에게 제스처를 보여주기도 하고 실시간으로 동시에 인터페이스를 사용하는 것을 도와준다. 일반적으로 이 모델은 개발이 용이하여 많은 원격 협업 과학적 가시화 도구에 사용된 방식이다[11]. 또한 마이크로소프트사의 Net-Meeting®의 공유칠판 프로그램도 이와 같은 방식이다.

“원격 CoLab 모델”은 여러 곳에 분산되어 있는 사용자들이 실시간으로 함께 정보를 공유할 수 있도록 해주는 공유 모드와 그리고 개개인이 자신만의 작업 공간을 볼 수 있도록 해주는 개인 모드를 둘 다 지원해주는 완화된 WYSIWIS(Relaxed-What You See Is What I See) 시스템이며, 그 예로 기상/해양관련 과학적 협업 가시화도구인 CAVE6D[12]와 협업 그림 도구인 GroupSketchpad[13]를 들 수 있다. 즉 사용자들 본인이 원하는 대로 개인적으로만 정보를 볼 수도

있고 혹은 다른 사람과 함께 공유도 할 수 있다.

Forum[14] 같은 “원격 발표 모델”은 떨어져 있는 사용자들이 발표자의 슬라이드 자료나 내용을 비디오와 오디오를 통해 함께 보거나 들을 수 있도록 만들어졌다. 이 모델은 자료의 공유를 위해 발표자의 개인용 컴퓨터 스크린의 내용을 발표를 보고 있는 원격지 사람들의 컴퓨터에서도 보일 수 있도록 강제로 그 화면에 내보내 주는 디스플레이 푸쉬(push) 기술을 사용한다.

마지막으로 “원격 회의 모델”은 여러 개의 분산된 회의실과 사무실을 묶어서 마치 한 곳에 있는 것처럼 가상 회의 장소를 만들어주는 역할을 한다. 따라서 이 모델은 다수의 사용자들을 위한, 다양한 장비를 활용하는 그리고 방에서 방을 연결하는 room-to-room 모델이다.

3. Continuum 요소 기술

Continuum은 네 개의 주요 기술로 구성되어있다. 액세스 그리드(Access Grid)라고 불리는 다중 사용자 간의 화상 회의 시스템, 삼차원 입체영상 자료 공유를 위한 원격 몰입(Tele-Immersion) 시스템과, 이차원 문서나 그래프 혹은 가시화 등 다양한 자료 공유를 위한 분산 타일 디스플레이 시스템, 협업 메모를 위한 도구, 그리고 이런 다양한 디스플레이와 인터랙션을 가능하게 해주는 무선 인터페이스 기술로 구성되어있다.

액세스 그리드(Access Grid)는 여러 곳의 원격지에 위치한 그룹 구성원들이 다함께 화면을 통해 얘기를 나눌 수 있는 기존 화상회의 시스템보다 좀더 진보적인 협업 환경을 제공한다[15]. 그리드(Grid)란 세계 각국에 산재되어있는 고성능 컴퓨터, 대용량 저장장치, 첨단 가시화 장비와 대규모 과학기술 실험 장치를 하나로 연결시켜 어디에서나 자유롭게 첨단 협업 연구를 할 수 있게 도와주는 인프라이며, 현재 국가간 그리드 공동연구가 활발히 추진되고 있다[16]. 액세스 그리드는 이런 그리드(Grid) 연구 개발자 그룹들 간의 공동 협업 연구를 더욱 현실감있게 제공할 목적으로 개발되어 현재 전세계적으로 활발히 사용되고 있다.

삼차원 입체 영상을 통한 대용량의 과학적 자료 가시화를 위해 저가 입체 영상 장비인 GeoWall[17]을 채택했고, 원격 협업자와 인터랙션을 가능하게 해주는 원격몰입 기법을 사용하여 협동적 자료 분석 및 가시화를 지원한다. 또 텍스트 문서나 웹 페이지, 스프레드시트, 그래프나 차트, 혹은 고화질의 과학적 가시화 내용을 공유하기 위해 고해상도 타일 디스플레이(Tiled Display) 장치를 제공한다. 궁극적인 목표는 방대한 양의 자료가 여러 곳에 산재해있다 하더라도 마치 사용자가 곁에 가지고 있는 것처럼 직접 조작하는 것 같은 자료공유를 지원하고자 한다.

그리고 협업 메모 도구는 사용자들이 쉽게 메모를 적거나 그림을 그릴 수 있도록 터치스크린을 채택한 공유 전자 칠판 시스템을 사용한다. 이 협업 메모 도구는 마이크로소프트사의 NetMeeting@의 공유칠판 기능을 이용해서 원격지와 연결하여 사용자에게는 마치 한 개의 공유된 전자칠판처럼

쓰일 수 있다. 한 사용자가 전자 칠판에 적어놓은 노트는 원격지의 다른 Continuum 환경의 전자칠판에 자동적으로 나타나고 여러 곳의 사람들이 동시에 노트를 적는 것도 가능하다.

또한 원거리에 떨어져 있는 사용자들이 이런 디스플레이들을 마치 같은 장소에서 사용하고 있는 것처럼 도와주는 리모트 액세스 인터페이스가 제공되었다. 그 중 하나는 스페이스글라이더(SpaceGlider)라는 프로그램으로, 사용자로 하여금 원하는 디스플레이로 마우스 포인터를 옮기면 그 쪽에 보이는 정보들을 쉽게 사용할 수 있도록 해준다. 스페이스글라이더는 다른 장소에 존재할 수 있는 여러 개의 컴퓨터를 옮겨 다니며 제어하는 문제를 해결하고 사용자가 직관적으로 사용할 수 있도록 만들어졌다[18].

또 다른 하나는 스위처(Switcher)라는 프로그램으로, 사용자들은 이 프로그램을 사용해서 Continuum 디스플레이의 다른 스크린으로 옮길 수 있다. 스위처는 스페이스글라이더가 바로 붙어 있는 스크린으로만 움직일 수 있는 제약점을 해결하고 타일 디스플레이 중 어떤 스크린이라도 원할 때 바로 사용할 수 있도록 디자인된 프로그램이다[1].

4. ACE의 공유 작업 모델을 평가하는 디자인 연구

이 장에서는 Continuum 시스템의 구성 설계를 위해 진행했던 실험을 설명한다. 그리고 또한 각 실험에서 얻은 내용들을 바탕으로 좀더 시스템을 유용하게 만들기 위해 바꾸게 된 시스템 구성의 변화에 대해서 토론한다.

4.1 실험 참가자

Continuum의 실제 사용자인 과학자들을 대신해서, 모두 16명의 전산학과 대학원생들이 피실험자로 자원해서 이 연구에 참여했다. 모든 학생들은 이메일이나 MSN같은 인스턴트 메시징 시스템 협업 테크놀로지를 활용해 본 경험이 있고 또 그 중 일부 학생들은 마이크로소프트사의 NetMeeting@이나 그 외 다른 종류의 온라인 회의 시스템을 사용한 경험이 있다. 하지만 학생들 중 아무도 이번 실험에서 사용한 프로그램인 XmdvTool 과학적 가시화 프로그램[19]을 사용해 본 사람은 없었다. 대부분의 학생들은 실험에서 주어진 문제를 답하는데 필요한 상관관계 통계에 대해 아주 약간 알고 있다고 답했다. 또한 모든 학생들은 Continuum 기술을 이용해 협업하는 것에 대해 비교적 관심이 높다고 했다.

4.2 실험 방법

<표 1>은 네 번의 실험을 거치면서 바뀐 Continuum 환경의 시스템 구성과 참여했던 피실험자의 그룹을 보여준다. 그룹 당 네 명으로 구성된 모두 두개의 그룹이 각 실험연구에 투입됐다. 각 실험연구에서 이들 동안 두 그룹의 실험을 하였고 모두 4개월에 걸쳐서 실험이 진행되었다. 또 각각의 연구마다, 시스템의 구성이 조금씩 달라지기는 했지만 주로 관심 있게 보았던 부분은 타일 디스플레이와 관련하여 공유

〈표 1〉 각 실험연구별 시스템 구성 특징

연구	그룹	시스템 구성			
		화상 회의	타일 디스플레이 사용 용도	개인 디스플레이 사용 여부	전체 화면(full screen) 사용 여부
연구 I	그룹 1	완전한 AG와 미니 AG 세팅	분산 코르크판	화상 회의	사용자 가까이 놓여있는 개인 디스플레이 사용
	그룹 2				
연구 II	그룹 3	완전한 AG와 향상된 미니 AG 세팅	분산 코르크판	사용자 가까이 놓여있는 개인 디스플레이 사용	사용자 가까이 놓여있는 개인 디스플레이 사용
	그룹 4				
연구 III	그룹 5	완전한 AG와 향상된 미니 AG 세팅	분산 코르크판	사용자 가까이 놓여있는 개인 디스플레이 사용	전체 화면 모드 사용
	그룹 6				
연구 IV	그룹 7	완전한 AG와 향상된 미니 AG 세팅	발표형 디스플레이	사용자 가까이 놓여있는 개인 디스플레이 사용	전체 화면 모드 사용
	그룹 8				

작업 공간 설정 부분이었다.

모든 학생들은 처음 두 개의 디자인 연구에 참여했고, 연구 III과 연구 IV에서는 연구 I과 II에 참여했던 학생들을 각 그룹 당 2명씩 차출해 새로운 그룹으로 재편해 다시 실험에 참여하도록 했다. 이렇게 그룹을 다시 구성한 이유는 연구 I과 II에서 그룹별로 Continuum을 사용하는 방법이 너무 달랐기 때문에 - 이 부분은 작업양식 결과에서 다시 상세히 언급한다 - 그룹을 개편하여 Continuum 사용 방법을 비슷하게 만들려고 했다.

실험에 참여했던 피실험자에게 기술에 대한 관심도와 경험, 얼마나 편안하게 그런 기술들을 다룰 수 있는 지, 그리고 주어진 분야에 대한 선수 지식 등을 알아보기 위해 실험 전 설문조사가 이루어졌다. 그리고 피실험자는 본 실험 전에 1시간 정도 Continuum의 하드웨어와 소프트웨어에 대한 교육과 본 실험에서 필요로 하는 상관성(Correlations)과 다변량 자료 분석(Multivariate Data Analysis) 등과 같은 내용을 교육받았다. 그런 후에 각 그룹들은 각각 두 명씩 두 개의 Continuum 방에 분산 배치되었고, 1시간 동안에 XmdvTool 가시화도구를 이용해 다변량 자료를 분석하는 일이 주었다. 실험이 끝난 후에는 Continuum 사용자 평가를 위한 설문조사와 간단한 질의응답을 진행했다.

본 실험의 다변량 자료 분석 일로 모두 일곱 개의 질문이 주어졌고 그 중 다섯 개의 질문은 주어진 질문의 가설을 검증하거나 틀렸다고 논박하기 위한 증거를 찾아야 했다. 다른 두 개의 질문은 전체적인 분석을 요하는 질문으로, 그룹 구성원들은 자료를 가시화하고 세밀한 분석을 통하여 질문에서 요하는 답을 찾아야 했다.

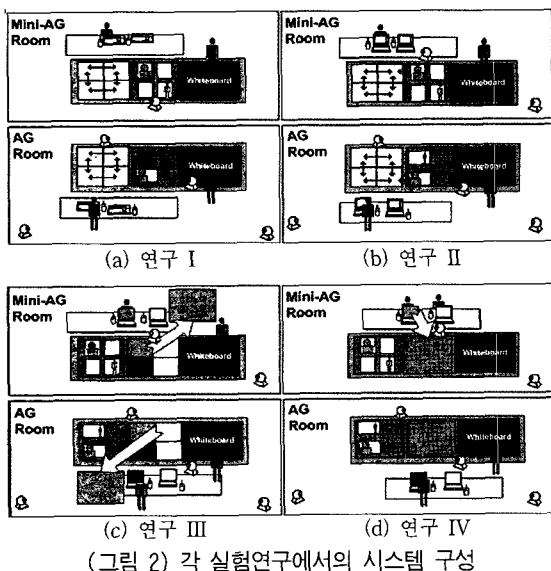
각 그룹은 Cereals dataset에 바탕을 둔 문제나 Boston housing dataset에 바탕을 둔 문제를 풀어야 했다. 문제는 피실험자의 일반적인 상식으로 추측하여 풀 수 없도록 변수의 이름을 바꿔 제공했다. Cereals dataset의 첫 번째 문제는 "A변수 값이 0일 때(A=0), H변수의 값도 높은 값을 보인다는 가설이 맞다 혹은 틀렸다고 논박할 증거를 찾아라"이다. Boston housing dataset에서의 "C변수와 상관관계를 갖는 변수를 찾아라" 문제는 전반적인 다변량 자료 분석을 요하는 질문이다.

실험 중 모든 그룹 구성원들의 활동은 비디오 카메라를 이용해 녹화되었다. 그리고 관찰자가 각 방에 한명씩 있으면서 피실험자들의 협업중에 일어나는 일을 관찰하여 기록했다. 또한 컴퓨터에서 행해진 모든 그룹 구성원들의 작업 역시 로그(log) 파일로 저장되었다. 피실험자들이 해결한 문제의 개수, 구성원의 참여도, 그리고 그룹 구성원 간의 상호작용 등과 같이 작업의 질을 평가할 수 있는 내용들 역시 기록되었고 측정되었다. 실험 후 설문조사를 통해 기술에 대한 사용자의 만족도와 작업의 정밀도에 대한 측정이 이루어졌다. 또한, 두 명의 분석자가 녹화된 비디오에 그룹 구성원들의 대화 내용을 코딩하여 실험분석에 사용했다.

4.3 시스템 구성 및 연구목적

4.3.1 분산 코르크판 연구

연구 I은 Continuum의 분산 코르크판(Distributed Corkboard) 사용에 대한 측정을 위해 행해졌다(그림 2)(a). 여러 개의 LCD 모니터를 붙인 타일 디스플레이를 마치 한 개의 커다란 분산 코르크판처럼 활용해서 모든 구성원들의 작업 내용을 보여줄 수 있다. 일반 사무실의 코르크판에 붙어 있는 내용을 같은 방에 있는 다른 사람들이 쉽게 볼 수 있는 것처럼 분산 코르크판 타일 디스플레이는 Continuum의 모든 사용자들이 원격지에 있는 다른 사람들의 작업을 쉽게 확인할 수 있도록 만들어졌다.



각각의 Continuum은 네 개의 노드(4 LCD 모니터)로 만들어진 타일 디스플레이, 액세스 그리드(한쪽은 네 개의 카메라와 두 개의 마이크 그리고 두개의 plasma 디스플레이로 구성된 완전히 갖춘 AG 세팅을 사용하고, 다른 한쪽은 한 개의 카메라와 마이크와 하나의 plasma 디스플레이로 구성된 mini-AG를 사용), 그리고 두 개의 방에서 공유 가능한 전자칠판이 제공되었다. 그리고 스페이스글라이더를 제공하여 누구나 타일 디스플레이 화면을 자유롭게 이동하며 사용할 수 있도록 해주었다.

4.3.2 개인 디스플레이의 추가 연구

연구 II에서는 개인 디스플레이가 추가되어 기존의 분산 코르크판으로 만들어진 타일 디스플레이 중 한 개의 내용을 개인 디스플레이인 태블릿(Tablet) PC에서 똑같이 볼 수 있게 했다(그림 2)(b). 그리고 개인 디스플레이가 추가된 시스템 구성이 어떻게 협업에 영향을 미치는 지 살펴보았다. 개인용 디스플레이 제공은 앞에서 설명한 바와 같이 멀리 떨어져 벽에 붙어있는 타일 디스플레이에 있는 내용을 사용자들이 좀 더 가까이 볼 수 있고 보다 쉽게 인터랙션을 할 수 있도록 도와주기 위해서이다.

이외에 mini-AG에 한 개의 마이크와 줌렌즈가 부착된 카메라 하나를 더 추가하여 사용자들 간의 상호작용을 돕도록 했다. 그리고 첫 번째 연구와 마찬가지로 두 번째에서도 스페이스글라이더를 사용해 사용자들이 타일 디스플레이와 전자 칠판을 제어할 수 있도록 제공했다.

4.3.3 확대 가능한 분산 코르크판 연구

연구 III은 확대 가능한 분산 코르크판을 검증하기 위해 행해졌다(그림 2)(c). 이 구성은 개인 작업에서 그룹 작업으로 갈 때 혹은 그 반대로 진행될 때 부드럽게 전이가 일어날 수 있도록 도와주기 위해 만들어졌다. 확대 가능한 분산 코르크판은 Aura[20]라고 불리는 분산협업용 라이브러리를 바탕으로 만들어졌다.

이 구성에서 사용자들은 타일 디스플레이를 이용해 4개의 컴퓨터에서 작업 중인 개개인의 작업 공간을 4개의 타일 스크린을 통해 보여줄 수 있거나 모두 합쳐 고해상도의 넓은 공간에 한 사람의 작업 공간을 확대시켜 볼 수 있다. 즉, 기본적으로는 타일 디스플레이에서 4개의 작업 공간을 보여주도록 되어 있고, 이 경우에 각각의 작업 공간을 분명히 하기 위해 배경색을 달리해서 보여주었다.

사용자들이 작업하고 있는 내용을 타일 디스플레이 전체 스크린에 하나로 보여줄 필요가 있을 땐 언제든지 누구나 전체화면 기능(각각의 화면 데스크 탑에 있는 Fullscreen이란 아이콘 버튼을 눌러서 시행 가능)을 켤 수 있다. 그리고 스위치 프로그램이 제공되어 사용자가 타일 디스플레이나 전자칠판을 자유롭게 옮겨 다니며 사용할 수 있게 해주었다.

4.3.4 발표형 디스플레이 연구

연구 IV에서는 다른 편에서 작업 중인 사용자들의 작업에 대한 인지도(awareness)가 문제 해결에 얼마나 도움이 되는지 연구하기 위해 발표형 디스플레이(즉, 타일 디스플레이)를 제공했다(그림 2)(d). 이 연구에서는 그룹 구성원들에게 개인적 작업을 위한 개인 디스플레이인 태블릿 PC가 주어졌고 또 각 구성원의 작업 공간을 구별하기 위해 각기 다른 배경색을 사용하였다. 하지만 개인별로 작업을 하다가 만약 다른 사람들에게 자신의 작업 내용을 보여주고 싶으면 자신의 작업 공간을 발표형 디스플레이에 보여주어(Show라는 아이콘 버튼을 눌러서 시행 가능) 다른 사람들과 공유하는 것을 가능하게 했다.

이 구성에서는 단 한 사람만의 개인 작업 공간(즉, 태블릿 PC)를 공용 타일 디스플레이에 보이도록 설계된 것이 앞의 연구들과 크게 다른 점이다. 이 구성방법은 좀 더 개인적인 작업 공간을 제공해주고 있고, 필요에 따라 그 작업 공간을 다른 사람과 공유할 수 있는 “원격 발표 모델”과 같다. 그 외에 다른 모든 구성은 연구 III와 동일하였다. 사용자는 개인 디스플레이에서 자신의 작업공간과 전자칠판의 내용을 볼 수 있는 기능이 제공되었다.

4.4 관찰 내용

<표 2>는 각 실험연구별로 나타난 작업성과 작업양식을 보여준다. 각 연구별로 똑같은 질문이 주어졌으나, 작업 성과는 연구 I, II와 비교해서 연구 III에서 정답률이 비슷한 가운데 작업 완수 시간이 좀 더 빨라졌다. 그러나 연구 IV에서는 작업 완수 시간은 연구 III과 같이 빨라졌으나 정답률이 전체 7개 문제 중에 3개만 맞추는 결과를 보였다. 연구 III과 IV는 피실험자들이 두 번째 실험에 참여한 결과인데 연구 III은 더 좋은 성과를 얻은 반면 연구 IV는 더 나쁜 성과를 보이고 있다.

본 연구에서는 실험 구성에 영향을 받아 그룹의 작업양식이 바뀌기 보다는, 각 실험에서 그룹별로 다양한 작업양식을 보여주었다. 연구 I, III, IV에서 나타난 유형은 한 그룹은 전체 구성원이 다같이 사용하여 협력하여 일했고 다른 그룹은 작업을 나누어서 같은 방에 있는 동료끼리 협력하여 일했다. 이와는 좀 다르게, 연구 II의 그룹은 개인적 작업과 전체 협력이 자유롭게 섞이는 작업양식을 보였다.

4.4.1 분산 코르크판의 사용 효과

분산 코르크판으로 사용된 타일 디스플레이는 모든 그룹 구성원의 작업 내용을 동시에 다 보여줄 수 있다는 장점이

<표 2> 각 실험연구별 작업성과 및 작업양식

연구	평균 작업 완수 시간	평균 정답률	작업양식
연구 I	41분	5개	전체 협력이나 방별로 작업분할
연구 II	60분	5개	개인적 작업과 전체 협력 공존
연구 III	29분	5개	전체 협력이나 방별로 작업분할
연구 IV	30분	3개	전체 협력이나 방별로 작업분할

<표 3> 각 실험연구별 '이것 좀 봐(Look at)'와 '보여줘(Show me)' 대화 내용이 나타난 횟수

연구	이것 좀 봐(Look at)	보여줘(Show me)
연구 I	13	0
연구 II	38	0
연구 III	13	0
연구 IV	1	11

있다. 이 구성은 다른 사람들의 작업 내용을 쉽게 볼 수 있고 협업에 필수적인 원격지의 구성원간의 그룹 인지도를 유지시켜주는 역할을 한다.

이 연구에 참여했던 피실험자들은 다른 사람들이 하고 있는 작업 내용을 보고 어떻게 자신이 문제를 풀어야할지 등 아이디어를 얻고 또 다른 동료들로부터 중요한 정보를 찾거나 답을 얻었다고 얘기했다. 그리고 간단한 문제는 분산 코르크판을 통해 남이 하고 있는 일을 보는 것만으로도 충분히 해결할 수 있었기 때문에 일부러 다른 사람의 일을 방해하면서 도움을 청하거나 질문하지 않아도 됐다고 얘기했다.

그 외에 누군가 어려움을 겪고 있을 때에도 이를 원격지의 동료가 분산 코르크판을 통해 바로 알 수 있어서 문제 해결에 도움을 줄 수 있었다. 또한 분산 코르크판은 그룹 구성원들이 스크린에 있는 내용을 쉽게 지적해서 설명하는 것을 도와주었던 것으로 나타났다. 분산 코르크판 제공 시에 보다 많은 사용자들이 다른 모든 동료에게 자신들이 발견한 내용을 알려주기 위해 "이것 좀 봐(Look at this)"라고 얘기하는 것을 흔히 볼 수 있었다(표 3 참조).

4.4.2 개인 디스플레이의 추가 효과

실험 당시에 관찰된 내용과 실험 후의 설문조사에 의거하면, 개인 디스플레이의 존재로 미미한 차이지만 그룹 구성원들의 개인적인 작업률이 연구 I에 비해 약간 높아졌다. 그로 인해 분산 코르크판을 통해 다른 구성원들의 작업을 살펴보는 횟수 또한 줄었다. 이는 피실험자들이 같은 방에 있는 동료의 작업을 분산 코르크판보다는 동료의 개인 디스플레이에 가까이 가서 살펴봤기 때문이다. 따라서 분산 코르크판은 주로 지역적으로 떨어져 있는 사용자 간의 협업을 위한 도구로 활용되었다. 즉, 원격지에 있는 동료들과 토론이나 서로 도움을 주고받기 위한 도구로 주로 사용되었다.

4.4.3 분산 코르크판에 화면 확대 기능 추가 효과

전체 화면을 지원하는 분산 코르크판은 한 사람이 자신의 작업 내용을 코르크판의 전체 화면에 보이도록 했을 때에 다른 사용자들의 작업 내용이 보이지 않기 때문에, 다른 사람들이 어떤 작업을 하고 있는 지 알려주는 항시 가시성이 떨어진다. 하지만 넓은 공간에 거대하게 확대된 작업 내용을 보여줄 수 있어서, 사용자들로 하여금 쉽게 텍스트나 그래프를 볼 수 있도록 해준다. 또한 어떤 사람은 전체 화면 기능을 다른 사람들의 주의를 끌어 그룹 토의를 시작하는 데에 사용했다고 말했다.

연구 III의 그룹들은 이 전체 화면 기능을 구성원들이 토

의할 때 한 사람이 찾은 내용을 전체 화면에 띄어놓고 다같이 살펴보는 데 활용했었다. 그리고 자료 분석 과정에서 개인적으로 그래프를 좀 더 크게 확대해 놓고 패턴을 찾고자 할 때에도 유용하게 사용되었다. 그런데 이 경우 다른 사용자들이 개인 디스플레이를 보면서 작업을 했기 때문에 남의 일을 방해하진 않았다.

따라서 전체 화면을 지원하는 분산 코르크판은 비록 다소 감소한 가시성을 갖고 있지만, 피실험자들이 작업 중에 약 5분~10분 정도만 사용했기 때문에 비교적 원격 동료의 작업 상태를 쉽게 파악하면서 큰 문제없이 협업할 수 있었다.

4.4.4 발표형 디스플레이의 사용 효과

개인 디스플레이와 함께 사용된 발표형 디스플레이에서는 오로지 한 사람의 작업 내용만 그룹 공유의 발표형 디스플레이(즉, 타일 디스플레이)에 보일 수 있었기 때문에 개개인의 작업 정보가 남에게 보이지 않는 낮은 가시성을 갖는 구성이다. 다른 사람의 작업 내용을 언제나 쉽게 훑어볼 수 있도록 지원해주었던 앞의 실험 구성들과는 달리, 이 방법에서는 다른 사람의 작업 내용을 얼핏 보는 것이 허용되지 않았다.

따라서 개인적인 작업 내용을 다른 구성원과 공유하기 위해 발표형 디스플레이에 보여주려면 "SHOW(작업내용 보임)"라는 버튼을 눌러야 했다. 그러나 이는 궁극적으로 전체적인 작업 능률을 떨어뜨리는 데에 일조했다. 그 결과로 이 시스템 구성에서만 유일하게 "보여줘(Show me)"라는 새로운 작업 방식이 나타났다(표 3 참조). 즉 구성원들이 다른 사람들에게 현재 작업하고 있는 내용을 보여 달라고 요청하는 경우가 이 실험에서만 빈번하게 일어났다. 이렇게 보여 달라고 요청하는 것 역시 작업 능률을 떨어지게 한 원인이 되었다.

더욱이, 그룹 8은 여러 사람이 개인적으로 찾은 내용을 분산 코르크판처럼 타일 디스플레이에 다같이 옆에 놓고 비교 분석하길 원했지만 발표형 디스플레이에서는 할 수가 없었다. 그래서 발표형 디스플레이의 활용도가 떨어질 수밖에 없었고, 사용자들은 따라서 이 발표형 디스플레이를 그룹 토의에만 사용했다고 설문조사에서 답했다.

5. 토 론

<표 4>는 각 실험연구별로 주어진 시스템 구성의 가시성과 작업공간으로의 활용을 보여준다. 분산 코르크판은 그룹 구성원들에게 다른 협력자의 작업 내용을 언제나 볼 수 있도록 해주었고 또 전체 타일 스크린을 모두가 공유하는 작업 공간으로 쓸 수 있었기 때문에 하나의 공유된 디스플레이를 제공한 것과 같은 효과를 주었다. 연구 I의 모델은 여러 사람이 동시에 일을 할 수 있으면서 하나의 공유된 디스플레이의 제공이란 점에서 항시 가시성을 제공하는 "원격 공유 평면 모델"과 흡사하다. 그러나, 분산 코르크판이 고해상도를 지원하기 때문에 많은 양의 작업내용을 한꺼번에 볼 수 있다는 점에

〈표 4〉 각 실험연구별 작업내용 공유 가시성과 작업공간의 활용도

연구	작업내용 공유	작업공간
연구 I	작업내용의 향시 가시성	공유 작업공간 중심
연구 II	작업내용의 향시 가시성	개인 작업공간과 공유 작업공간 공존
연구 III	작업내용의 향시 가시성보다 약간 떨어지는 가시성	개인 작업공간과 공유 작업공간 공존
연구 IV	발표시 작업내용 공유가능 가시성	개인 작업공간 중심

서 “열린 공간 모델”을 원격 협업에 적용한 것과 같다.

연구 II에서 분산 코르크판을 개인 디스플레이와 함께 사용했을 때에 구성원들이 주로 개인 디스플레이로 개인 작업을 하고 벽에 있는 분산 코르크판 타일 디스플레이로 다른 사람들의 작업에 대해 인지하거나 원격 협업에 사용하였다. 이 구성은 개인 작업 공간과 공용 작업 공간이 공존하고 있는 점에서 “원격 CoLab 모델”과 비슷하나 다른 사람들의 작업 내용을 언제든지 볼 수 있도록 해주었다는 점에서 다르다. 오히려 개인 작업 공간을 주었으나 향시 가시성을 제 공한 점에서 “열린 공간 모델”의 다른 형태라 볼 수 있다.

연구 III에서 개인 디스플레이와 전체 화면을 지원하는 분산 코르크판의 경우에도 연구 II 구성과 크게 다르지 않다. 다만 그룹이 함께 집중해서 일하기 위해 가끔 전체 화면 기능을 사용했을 때 다른 사람의 작업 내용일부를 안보이게 해서 연구 I, II보다는 약간 떨어진 가시성을 제공한다.

연구 IV에서 개인 디스플레이와 발표형 디스플레이의 구성은 개인 작업 공간 중심이고, 공유를 위하여 개인 작업 공간에 있는 내용을 “디스플레이 푸쉬(Display pushing)” 기법을 이용해 그룹 공유 디스플레이에 보이도록 한 “원격 발표 모델”과 같다. 그렇지만 이 방법은 Continuum이 지향하는 집중적인 협업 환경에서는 전반적으로 능률을 떨어뜨리는 효과를 나타냈다.

원래 전통적인 협업 모델은 한 개의 워크스테이션에 여러 사람이 다같이 모여서 아이디어를 만들어 내고 또 어떤 일을 순차적으로 해나가야 할 지 토의하는 형태였다. “옆자리 협업 모델”은 좀 더 개인 작업을 중시하면서 동료들이 옆에 있으므로 필요하다면 언제라도 협업을 할 수 있는 형태로 구성되어있다. “익스트림 프로그래밍 모델”은 한 개의 워크스테이션에서 반드시 두 사람이 짝을 이루어 일을 하도록 되어 있다. 따라서 개인적으로 일을 하며 협업을 하는 형태를 지원하지 않지만, 항상 함께 일을 하기 때문에 일에 대한 두 사람의 이해도가 높아진다.

“원격 공유 평면 모델”은 그룹이 다같이 공유하는 디스플레이에 여러 개의 입력 장비를 제공하여 사용자들로 하여금 공유된 공간에서 동시에 작업하는 것을 가능하게 해준다. 이 모델은 그룹 구성원들에게 동일한 화면을 제공해줌으로써 원격지에 있는 구성원들과 서로 하는 일에 대한 이해를 돕도록 만들어졌다[10]. 하지만 이 방식은 많은 양의 내용을 한 화면에 보여주는 것이 어렵기 때문에 협력자들이 같이 동시에 작업하기 보다는 일반적으로 다같이 모여서 한사람

씩 돌아가면서 순차적으로 일을 진행하는 경우가 많다.

“원격 CoLab 모델”은 이런 원격 공유 평면 모델이 많은 양의 정보를 한꺼번에 보여줄 수 없어서 개인 작업을 도와주지 못한 제한점을 보완하여 그룹이 함께 일하거나 개인적으로 일한 후에 합치는 경우를 모두를 지원하기 위해 만들어졌다[4]. 그러나 사용자들이 한 장소에 있는 것이 아니라 지역적으로 떨어져 있고 서로 다른 부분에서 일할(즉, 한 사용자의 작업 중인 부분과 다른 사용자의 작업 부분이 확연히 달라질 수도 있는) 경우에, 각자 일하고 있는 영역이 공유된 디스플레이에서 보이지 않아 다른 사람이 어떤 일을 하고 있는지 작업 내용을 볼 수 없고 따라서 인지도가 떨어지는 문제가 있다[13].

“원격 발표 모델”은 개인적인 작업을 발표하기 위해 공유 디스플레이에 보여주기 전까지는 그 내용이 다른 사람에게 공개되지 않는다. 따라서 이 모델은 마이크로소프트사의 파워포인트 프레젠테이션을 사용해 강의나 회의 발표하는 것과 같이 사람들이 공통적으로 관심을 가지는 하나의 내용을 공유하며 진행하는 작업에 적합하다. 그러나 본 연구에서와 같이 많은 양을 정보를 다같이 사용하여 일하는 집중적인 협업 작업에는 적합하지 않다.

“열린 공간 모델”은 사용자들로 하여금 다른 사람의 작업 내용을 언제든지 확인할 수 있도록 하고 또 동료들이 한 곳에 있어 언제든지 도움을 필요로 할 때 서로 도와줄 수 있는 환경이기 때문에 집중적인 협업 작업을 할 때 가장 적합하다[5]. 원격지에 있는 과학자들의 집중적인 협업을 지원하려는 Continuum은 다양한 디스플레이를 사용하여 열린 공간 모델을 원격지로 확장한 모델을 지원한다.

본 논문에서 보여준 ACE 디자인 연구는 사용자들이 상대방의 작업 내용을 언제든지 볼 수 있는 향시 가시성 환경, 그리고 고해상도를 지원하는 작업 공간이 협업을 하는데 도움이 된다는 것을 확인해주고 있다. 또한 이런 기능들은 협업을 해야 하는 사용자들에게 중요한 기능인 그룹 작업에 대한 인지도를 유지하는 데에 반드시 필요하다는 점을 보여주고 있다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

증강 협업 환경(ACE)은 유비쿼터스 도구들과 컴퓨팅 환경을 통합해서 멀리 떨어져 있는 연구자들도 집중적으로 협업을 할 수 있는 환경이다. ACE의 하나인 Continuum은 특히 과학자들이 협업을 통해 자료를 가시화하고, 분석하며, 그리고 문제를 해결하는 것을 도와주기 위해 개발되었다. 기존의 실시간 협업 시스템들에서 발견된 공유 작업 공간 모델들과는 달리, ACE에서는 원격지에 떨어져 있는 구성원들이 많은 정보를 다수의 입력 장비와 디스플레이 기술을 이용해서 동시에 여러 작업을 진행하면서 또한 동료가 일하고 있는 내용을 인지할 수 있는 집중적 협업 환경을 제공한다.

본 논문에서는 멀리 떨어진 그룹의 협업을 좀 더 발전적으로 지원하기 위해 ACE의 공유 작업 모델을 측정하고 검

증하기 위한 디자인 실험연구에 대해서 설명하고 있다. 본 실험연구에서 사용자들로 하여금 두 개의 Continuum의 여러 가지 시스템 구성을 바꿔가며 협업 가시화를 통한 데이터 분석 작업을 하도록 했다. 그 결과는 모든 구성원들에게 모든 사람이 작업하는 내용을 항상 동시에 보여주는 것이 더 바람직하다는 결과를 보여주었다.

분산 코르크판 시스템이 제공하는 작업 내용의 항시 가시성은 “열린 공간 모델”같이 다른 사람들이 어떤 일을 하고 있는 지 알 수 있도록 작업 인지도를 높여주었다. 그와 동시에 원격지에 떨어져 있더라도 직면한 문제점들을 쉽게 파악할 수 있어서 서로 도움을 쉽게 주고받을 수 있었다. 이런 가시성이 떨어지는 “발표 모델”은 사용자가 자신의 개인 디스플레이에서 작업하던 내용을 공용 디스플레이에서 직접 보여주거나 아니면 보여 달라고 요청하는 수고를 더해야 해서 작업 능률이 떨어졌던 것을 볼 수 있었다.

최근 한국과학기술정보연구원(Korea Institute of Science and Technology Information) 등에서 액세스 그리드와 타일 디스플레이를 사용하여 일리노이대학의 전자시각화연구소나 다른 원격지의 과학자들과 그리드 기반의 협업 연구를 진행하고 있다. 향후에 이와 같은 실제 사용자들을 대상으로 Continuum의 고해상도 그래픽 환경과 협업 테크놀로지를 더욱 개발하고 사용자 평가 검증을 통한 기술 개선을 위한 연구를 지속할 것이다.

참 고 문 헌

[1] J. Leigh, A. Johnson, K. Park, A. Nayak, R. Singh, V. Chowdry, “Amplified Collaboration Environments,” In Proceedings of VR Grid Workshop, Daejeon, Korea, pp.77-85, 2002.

[2] L. A. Williams and R. R. Kessler, “All I really need to know about pair programming I learned in kindergarten,” *Communications of the ACM*, Vol.43, No.5, pp.108-114, 2000.

[3] J. Stewart, B. B. Bederson, and A. Druin, “Single Display Groupware: A Model for Copresent Collaboration,” In Proceedings of CHI '99, pp.286-293, 1999.

[4] M. Stefik, D. G. Bobrow, G. Foster, S. Lanning, and D. Tatar, “WYSIWIS Revised: Early Experience with Multiuser Interfaces,” *ACM Transactions on Office Information Systems*, Vol.5, No.2, pp.147-167, 1987.

[5] G. M. Olson, J. S. Olson, “Distance Matters,” *Human-Computer Interaction*, Vol.15, No.2-3, pp.139-179, 2000.

[6] S. A. Bly, S. R. Harrison, and S. Irwin, “Media Spaces: Bring people together in a video, audio and computing environment,” *Communications of the ACM*, Vol.36, No.1, pp.28-47, 1993.

[7] R. S. Fish, R. E. Kraut, R. W. Root, and R. E. Rice, “Video as a technology for informal communication,” *Communications of the ACM*, Vol.36, No.1, pp.48-61, 1993.

[8] W. Gaver, T. Moran, A. MacLean, K. Lovstrand, P. Dourish, K. Carter, W. Buxton, “Realizing a video environment:

EuroPARC RAVE system,” In Proceedings of CHI '92, pp. 27-35, 1992.

[9] M. Mentei, R. M. Baeker, A. J. Sellen, W. A. Buxton, T. M. Milligan, and B. Wellman, “Experiences in the use of a nedua space,” In Proceedings of CHI '91, pp.203-215, 1991.

[10] S. A. Bly and S. L. Minneman, “Commune: A Shared Drawing Surface,” In Proceedings of Conference on Office Information Systems, Boston, Massachusetts, pp.184-192, 1990.

[11] J. Leigh, P. Rajlich, R. Stein, A. E. Johnson, and T. A. DeFanti, “Limbo/v사: A tool for rapid tele-immersive visualization,” In Proceedings of ASCI'99, 1999.

[12] Park, K., Kapoor, A., and Leigh, J. Lessons Learned from Employing Multiple Perspectives In a Collaborative Virtual Environment for Visualizing Scientific Data, In Proceedings of the ACM Collaborative Virtual Environments, pp.73-82, 2000.

[13] C. Gutwin and S. Greenberg, “A Descriptive Framework of Workspace Awareness for Real-Time Groupware,” *Journal of Computer Supported Cooperative Work*, Vol.11, No.3-4, pp.441-446, 2002.

[14] E. A. Isaacs, T. Morris, and T. K. Rodriguez, “A Forum for Supporting Interactive Presentation to Distributed Audiences,” In Proceedings of Computer Supported Cooperative Work, pp.405-416, 1994.

[15] L. Childers, T. Disz, R. Olson, M. Papka, and R. Stevens, “Access Grids: Immersive Group-to-Group Collaborative Visualization,” In Proceedings of IPT Workshop, 2000.

[16] Global Grid Forum, <http://www.ggf.org/>

[17] Geowall, <http://www.geowall.org>

[18] Chowdhry, V.: SpaceGlider: An intuitive approach for controlling multiple remote computers, M.S. Thesis, University of Illinois at Chicago, 2003.

[19] M. O. Ward, XmdvTool, <http://davis.wpi.edu/xmdv>.

[20] L. Renambot and T. V. D. Schaaf, “Enabling Tiled Displays for Education”, In Workshop on Commodity-Based Visualization Clusters, in conjunction with IEEE Visualization, 2002.



박 경 신

e-mail: park@icu.ac.kr

1991년 덕성여자대학교 수학과(학사)

1997년 University of Illinois at Chicago

전기전자컴퓨터과학과(공학석사)

2003년 University of Illinois at Chicago

컴퓨터과학과(공학박사)

2004년~현재 한국정보통신대학교 디지털미디어연구소 연구교수
 관심분야: 고성능 협업환경, 가상현실, HCI, 유비쿼터스 컴퓨팅, 게임, 인터랙티브 학습 환경