

---

# 고해상도 가시화를 위한 테이블탑 타일드 디스플레이 시스템 개발 및 적용에 관한 연구

박경신\*

A study on the development of the tabletop tiled display system and its application  
for high-resolution visualization

Kyoung Shin Park\*

---

이 논문은 2008년도 단국대학교 신진 연구비를 지원받았음

---

## 요 약

본 논문은 고화질 과학적 가시화의 표출을 위해 개발된 iTABLE 테이블탑 타일드 디스플레이 시스템을 설명한다. iTABLE 시스템은 기존의 프로젝션 기반의 단일 디스플레이로 구성된 테이블탑 시스템들과 비교하여 고해상도 자료 가시화 및 공유에 적합하며 테이블 위에서 상호작용적인 가시화의 그룹 인터랙션과 분산 협업 가시화를 지원한다. 본 논문에서는 먼저 테이블탑 디스플레이 및 타일드 디스플레이 시스템과 과학적 가시화에 활용된 관련 연구들을 살펴보고, iTABLE 시스템의 설계 및 구현과 iTABLE을 위한 미들웨어와 적외선 카메라 기반의 탭저블 인터페이스를 활용한 사용자 인터랙션의 지원에 대해서 설명한다. 그리고 iTABLE 시스템의 활용을 위해 개발한 고해상도 과학적 가시화 응용프로그램 사례들을 논하고 결론과 추후 연구에 대해 설명한다.

## ABSTRACT

This paper describes the iTABLE tabletop tiled display system which is designed for displaying high-resolution scientific visualization. Unlike other tabletop systems that typically use a projection-based single display, iTABLE system is suitable for visualizing and sharing high-resolution data, and it is capable of facilitating group interaction with interactive data visualizations on a table and distributed collaborative visualizations with other tiled displays. First, it surveys prior works on tabletop and tiled display systems as well as scientific visualization, and it describes the design and implementation of iTABLE system, and middleware and an infrared camera-based tangible user interface designed for iTABLE system. It will then discuss some high-resolution scientific visualization applications developed for iTABLE followed by conclusions and future research directions.

## 키워드

테이블탑 디스플레이, 타일드 디스플레이, 과학적 가시화, 탭저블 인터페이스

## Key word

Tabletop display, Tiled display, Scientific visualization, Tangible interface

## I. 서 론

최근 각종 관측 장비의 첨단화와 슈퍼컴퓨터, 초고속 통신망의 성능 향상으로 인해, 예전과 비교해 방대하고 정밀한 수치자료가 생성되고 있다. 그리고 이러한 대용량의 복잡한 수치 자료에 내재되어 있는 현상을 보다 수월하게 해석할 수 있도록 도와주기 위하여 컴퓨터 그래픽을 이용하여 수치자료의 특성과 의미를 영상으로 쉽게 이해할 수 있도록 도와주는 과학적 가시화 필요성이 더욱 증대하고 있다. 그런데 초기 과학적 가시화에 주로 사용되었던 SGI의 Reality Center, HP의 Visualize Center 등과 같은 병렬 디스플레이 시스템은 높은 유지비용에 사용하기도 어렵고 디스플레이 수가 한정되어 있어 고해상도의 영상 출력이 어려운 점이 있다.

그래서 최근에는 PC 클러스터링을 통하여 구성된 고해상도 병렬 타일 디스플레이 시스템이 과학적 가시화에 적극 활용되고 있다[1]. 여러 대의 LCD (또는 프로젝터)를 단 형태로 구성된 타일드 디스플레이 시스템은 저가의 비용으로 구축이 가능하며 모니터와 PC를 추가하여 더욱 큰 크기로 확장 가능하도록 만들어지는 것이 일반적이다. 또한 기존의 단일 디스플레이에서 표현할 수 없었던 고해상도 대용량 자료 가시화 표출이 가능하여 자료를 훨씬 더 효과적으로 분석할 수 있게 도와준다. 하지만 타일드 디스플레이 시스템은 주로 벽면의 형태를 사용하고 있으며 사용자 인터랙션보다는 단순히 디스플레이에 중점을 두고 있다.

현재까지 나와 있는 대부분의 테이블탑 디스플레이들은 주로 프로젝션 기반의 단일 디스플레이에서 여러 사용자들이 사회적인 상호작용에 중점을 둔 응용프로그램과 멀티 터치와 같은 다양한 인터랙션 방법의 개발에 중점을 두고 있다[2-4]. 그러나 최근 LambdaTable[5] 같이 타일드 디스플레이의 형태로 테이블탑을 구성하여 여러 사용자들이 상호작용을 하며 함께 협력이 가능하도록 도와주는 시스템이 연구되기 시작했다. 본 논문에서는 고화질 이미지뷰어 만을 지원하는 LambdaTable보다 다양한 고화질의 과학적 자료를 가시화하여 협력적으로 분석할 수 있도록 도와주는 클러스터 기반의 iTABLE 테이블탑 타일드 디스플레이 시스템을 제안한다.

iTABLE 시스템은 iTILE 타일드 디스플레이 프레임워크[6]를 테이블탑 시스템에 맞게 개선하여 적용하고,

PC를 추가하여 좀 더 높은 고해상도 디스플레이를 지원할 수 있도록 확장성을 염두에 두고 설계하였다. 또한 상호작용적인 과학적 가시화의 실행과 분산 협업 가시화를 지원한다. iTABLE 시스템에서는 기존의 벽면 형태의 타일드 디스플레이 시스템에 적합한 키보드/마우스와 위모트의 입력만을 지원하던 iTILE의 입력 시스템에 적외선 카메라를 활용하는 텐저블 인터페이스를 지원하도록 추가하여 테이블탑 시스템에서의 협력적 사용자 인터랙션을 좀 더 손쉽게 지원할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 먼저 테이블탑 디스플레이 및 타일드 디스플레이 시스템과 과학적 가시화에 활용된 관련 연구들을 살펴보고, iTABLE의 시스템 구조와 iTABLE 시스템에서 사용자 인터랙션의 지원에 대해서 설명한다. 그리고 iTABLE 시스템을 사용하여 고화질 가시화 응용 프로그램 사례를 논하고 결론과 추후 연구에 대해 설명한다.

## II. 관련 연구

### 2.1 테이블탑 및 타일드 디스플레이 시스템

테이블탑 시스템은 테이블 위에 다중 사용자 인터랙션이 가능한 디스플레이 장치를 이르는 것으로, 사용자들이 테이블탑 디스플레이에 둘러앉아 상대방의 얼굴이나 몸짓을 보며 디지털 정보를 공유 및 조작할 수 있다. 테이블탑 디스플레이의 대표적인 예로 MERL DiamondTouch[2], Sony SmartSkin[3], Microsoft Surface[4]가 있다. 이들 대부분은 상부나 하부에서 프로젝션 영상을 투사하는 방식이며 멀티 터치나 입력이 가능한 인터랙션을 지원하고 있다.

타일드 디스플레이는 수십 개의 빔 프로젝터 또는 LCD 모니터를 단으로 쌓아 고해상도 대형 디스플레이를 구현할 수 있다. 이렇게 여러 개의 디스플레이가 구성된 모습이 흡사 벽의 타일과 같다하여 타일드 디스플레이라는 이름이 붙여졌다. 타일드 디스플레이는 여러 개의 모니터와 컴퓨터를 활용하기 때문에 기존의 단일 대형 화면 디스플레이에 비해 고해상도이면서 큰 화면을 비교적 저렴한 가격으로 구축할 수 있으며 다양한 크기의 디스플레이로 확장 가능한 특징을 가진다.

그러나 타일드 디스플레이는 여러 개의 분산컴퓨터에서 운용되기 때문에 이를 위한 소프트웨어의 복잡도가 상대적으로 높다. 따라서 타일드 디스플레이 응용프로그램의 개발을 용이하게 도와주는 프레임워크가 많이 개발되었는데, 그 예로 WireGL과 Chromium[7], Equalizer[8], GARUDA[9], SAGE[10], 등이 있다. 그러나 이러한 타일드 디스플레이 프레임워크들은 주로 병렬 렌더링에 중점을 두고 있어 사용자 인터랙션의 지원이 미미하다. SAGE와 iTABLE은 윈도우를 움직이는 형태의 간단한 인터랙션만을 지원하고 있어 상호작용적인 응용프로그램에서 사용하기에는 부족하다.

테이블탑 디스플레이나 대형 타일드 디스플레이는 기존의 혼자 사용하는 PC와는 달리 여러 명이 함께 협동작업이 가능하다. 그러나 아직까지 테이블탑 디스플레이나 타일드 디스플레이에 대한 활용 시나리오는 간단한 형태의 2D 지도나 이미지 또는 사진을 보는 것, 또는 게임에 국한되어 다양하지 못한 측면이 있다.

## 2.2. 타일드 디스플레이 과학적 가시화

기상 및 해양과 같은 매우 복잡한 대용량 과학적 수치 자료를 효과적으로 필터링해 보여주는 3차원 과학적 가시화는 자료를 입체적으로 형상화하여 보다 정밀하게 분석할 수 있도록 도와주는 시스템이다. 그 예로 한국해양연구원에서는 황해와 동해의 해양과 기상 상태의 정밀한 예측을 위한 수치 모델과 이들의 시뮬레이션 결과를 5차원(공간 3차원, 회전, 시간별 애니메이션)으로 표출한 과학적 가시화를 개발했다[11].

최근에 과학적 가시화를 연구하는 몇몇 연구 기관에서 타일드 디스플레이를 구축하여 기존의 단일 디스플레이에서 표현할 수 없었던 초고해상도의 방대한 양의 자료 가시화를 연구 중에 있다. 주로 고해상도의 이미지를 봐야 하는 지질학자들의 요구에 의해서 시작되었는데, 대용량 자료의 과학적 가시화도 타일드 디스플레이를 이용하여 큰 화면에서 고화질의 이미지를 살펴봄으로써 훨씬 더 효과적으로 자료를 분석할 수 있다.

LambdaVision은 일리노이 주립대학교 시카고의 전자 시각화연구소에서 구축한 32대의 PC와 55대의 LCD 모니터를 이용하여 100-Megapixel (17600x6000 화소)를 제공하는 타일드 디스플레이이다. SAGE는 LambdaVision 디스플레이를 위해 개발한 미들웨어로 실시간으

로 고해상도 비디오와 이미지를 초고속 네트워크를 통한 스트리밍을 통해 가상의 프레임 버퍼에 채움으로서 타일드 디스플레이 응용프로그램을 구동할 수 있도록 한다[10].

테이블탑 타일드 디스플레이로는 LambdaTable 시스템이 있다[4]. LambdaTable은 LCD 모니터를 테이블탑 형태로 구성된 고해상도 디스플레이 시스템이다. 이 시스템은 LambdaTable Tracking System으로 입력패턴을 추적하여 사용자 인터랙션을 지원한다. 이 시스템의 응용프로그램으로는 OpenGL 그래픽 라이브러리를 활용해서 구현한 고해상도 이미지 뷰어가 있다.

## III. iTABLE 테이블탑 타일드 디스플레이 시스템 구현

그림 1에서 보이는 iTABLE 시스템은 테이블탑 타일드 디스플레이로 현재 20인치 LCD(1680×1050 해상도)를 2×2 형태로 붙여 3360×2100 해상도를 지원하며, 전체 스크린 크기는 가로 99cm, 세로 67.3cm 정도로 만들어졌다. iTABLE 시스템은 필요시 렌더링을 담당하는 컴퓨터와 LCD 모니터를 추가함으로써 확장이 쉽게 가능하도록 하였다.

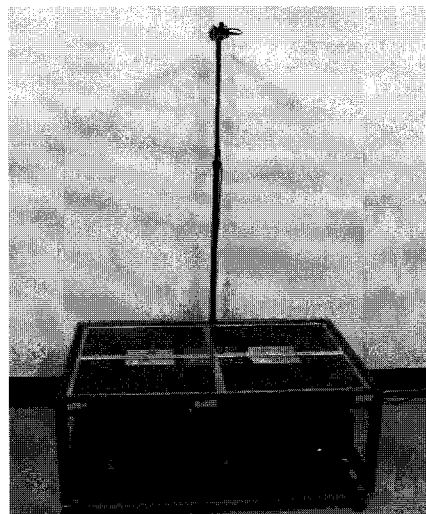


그림 1. iTABLE 테이블탑 타일드 디스플레이 시스템  
Fig. 1 iTABLE Tabletop Tiled Display System

이 시스템은 사용자들이 협업을 위해 많이 활용하는 책상 형태의 테이블탑 디스플레이를 다양한 상호작용적인 과학적 가시화를 지원하기 위하여 설계되었으며, 응용프로그램 개발을 위한 미들웨어로 iTILE 프레임워크를 테이블탑 시스템에 적합하게 개선하여 사용한다. 또한 iTABLE 시스템에서 적외선 카메라 기반의 텐저블 인터페이스를 사용하여 다중 사용자 인터랙션을 지원한다.

### 3.1 iTABLE 시스템

iTABLE 시스템은 한 대의 마스터 컴퓨터와 n 대의 슬레이브 컴퓨터를 사용한 분산 테이블탑 시스템으로 구성된다. 본 연구에서 구축된 iTABLE 시스템은 그림 2에 보이듯이 1대의 마스터와 2대의 슬레이브 컴퓨터를 사용하였다. 카메라 트래킹과 음향은 마스터 컴퓨터와 연결되어 있으며, 마스터와 슬레이브 간에는 100 Mbps 네트워크로 연결되어 있고, 각 슬레이브 컴퓨터에서는 두 개의 출력 포트를 통하여 테이블의 두 대 LCD로 연결되어 2x2 테이블탑 타일드 디스플레이를 구성하였다. 마스터와 슬레이브 컴퓨터에는 모두 듀얼 코어 CPU와 NVidia GeForce 8600 그래픽스와 윈도우 XP가 설치되어 있다.

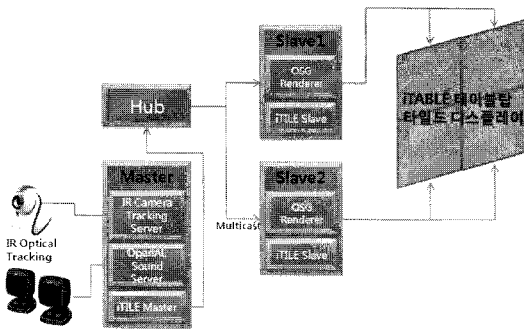


그림 2 현재 구현된 iTABLE 시스템 구성  
Fig. 2 Current Prototype of iTABLE System

LCD 방식의 테이블탑 타일드 디스플레이는 LCD 패널의 네 측면에 위치한 베젤(Bezel) 때문에 연속적인 스크린을 구성할 수 없는 단점이 존재한다. 하지만 기존의 테이블탑 디스플레이 연구에서 주로 채택하고 있는 프로젝터 방식에 비하여 비교적 작은 공간에 설치 가능하고 구축비용이 저렴하다.

또한, 디스플레이가 밝아서 일반적인 조도에서도 사용하기 편하며, 필요에 따라 모니터를 더 추가하여 해상도 및 전체 스크린 크기를 프로젝터에 비해 쉽게 확장할 수 있는 장점이 있다.

iTABLE에서 마스터 컴퓨터는 주로 적외선 카메라로부터 마커의 패턴을 인식하여 입력으로 처리하는 기능, 슬레이브 컴퓨터들 간에 렌더링 화면을 동기화시키는 기능들을 처리하고, 여러 슬레이브 컴퓨터에서 프로그램을 동시에 실행 및 종료시키는 등과 같은 이벤트 처리를 담당한다. 슬레이브에서는 마스터로부터 멀티캐스트 프로토콜을 이용해서 전달받은 정보에 따라 화면 렌더링을 담당한다. 마스터와 각 슬레이브 노드들은 가가비트 네트워크로 연결되어 있으며, 마스터 컴퓨터에는 스테레오 스피커가 설치되어 이벤트 발생에 따른 서라운드 음향을 제공한다.

### 3.2 iTABLE 미들웨어

iTABLE 시스템에서는 상호작용적인 고해상도 과학적 가시화를 위하여 iTILE 타일드 디스플레이 프레임워크를 기본으로 한 가시화 미들웨어를 구축하였다. 그림 3은 iTABLE 시스템 미들웨어의 전체적인 구조를 보여주고 있다. iTABLE 시스템은 iTILE 타일드 디스플레이 프레임워크를 기본으로 한 타일드 디스플레이 노드들 간에 렌더링과 자료 공유 모듈과, 적외선 카메라 트래킹 기반의 텐저블 인터페이스 모듈을 제공하고 있으며 OSG 기반의 그래픽 및 애니메이션을 사용한 가시화와 OpenAL 기반의 사운드 처리 프로그램을 작성함으로써 iTABLE 테이블탑 타일드 디스플레이 응용프로그램을 개발할 수 있다.

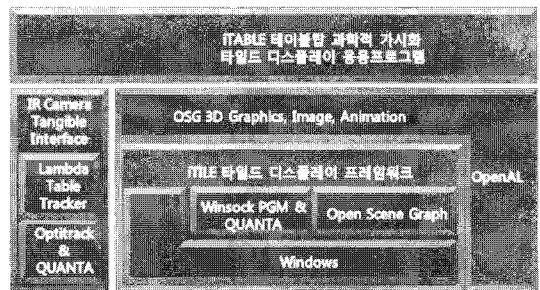


그림 3 iTABLE 미들웨어 구조도  
Fig. 3 iTABLE Middleware Structure

iTABLE 프레임워크는 한 대의 마스터 컴퓨터와 다수의 슬레이브 컴퓨터로 구성된 분산 시스템에서 상호작용적인 3차원 그래픽 프로그램을 쉽게 작성할 수 있도록 도와주기 위해 개발된 것으로, 타일드 디스플레이 시스템에서 동시에 여러 개의 프로그램을 실행시킬 수 있으며 각 프로그램 윈도우의 이동 및 크기 변경 등을 지원한다[5]. 타일드 디스플레이 시스템의 외관 정보(즉, 모니터의 해상도, 모니터의 크기 및 개수)를 저장한 설정파일을 이용하여 쉽게 시스템을 구성할 수 있도록 하였다. iTABLE 프레임워크는 윈도우즈 운영체제와 C++기반에 OSG (Open Scene Graph)[12] 3차원 그래픽스 렌더링 라이브러리와 QUANTA 네트워크 라이브러리[13]와 윈도우즈의 PGM Reliable Transport Protocol (RFC 3208) 구현 기능을 활용한다.

iTABLE 테이블탑 시스템 미들웨어는 사용자 인터랙션을 지원하기 위해 텐저블 인터페이스 모듈을 제공한다. 그리고 iTABLE 시스템의 iTABLE 프레임워크의 마스터 모듈에서는 사용자의 입력 처리, 사용자의 입력에 따라 그 정보에 맞게 각 슬레이브 노드의 화면을 재구성, 슬레이브 노드에 화면 동기화, 각 응용프로그램 윈도우 및 뷰포트 관리 등을 담당한다. 슬레이브 모듈에서는 OSG 기반의 그래픽 렌더링, 프로그램 윈도우 관리, 그리고 마스터에서 보내온 정보에 따라 메시지를 처리하여 동적으로 응용프로그램의 동기화된 화면 렌더링을 담당한다. 또한 iTABLE을 다른 타일드 디스플레이와 연결한 협력적 가시화를 위하여, 마스터 노드들 간에 데이터 전송 및 동기화를 위한 공유 데이터 리플렉트 모듈을 제공한다.

### 3.3 iTABLE 시스템의 텐저블 인터페이스

일반적으로 iTABLE 시스템과 같은 타일드 디스플레이 시스템은 분산 컴퓨팅 환경과 스크린의 물리적인 크기 때문에 기존의 마우스와 키보드 입력장치로는 사용자 인터랙션 처리가 불편하다. 그런데 iTABLE에 기본적으로 있는 마스터 입력 프로세서는 기본적으로 OSG의 클래스 중에서 가상 카메라를 움직이는데 사용되는 TrackballManipulator나 3차원 공간에서의 내비게이션을 지원하는 DriveManipulator를 기반으로 간단한 사용자 인터랙션을 지원하고 있다. iTABLE 프레임워크의 Wiimote 컨트롤러를 사용한 인터랙션은 주로 벽면으로 구성된 타일드 디스플레이를 대상으로 설계된 것이

라 위에서 아래를 향해 내려다보는 책상 형태의 테이블탑 시스템에서는 사용이 불편하다. 또한 가시화 프로그램에서 자주 사용되는 개체 선택이나 영역을 잡아서 확대/축소하는 것과 같은 세세한 인터랙션을 지원하지 않는다.

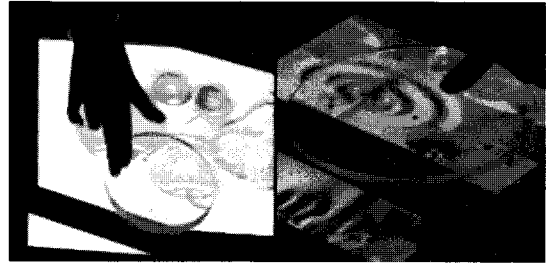


그림 4. 적외선 카메라 트래킹을 이용한 사용자 인터랙션 방법

Fig. 4 User Interaction Methods Using a iTABLE Infrared Optical Tracking System

따라서 iTABLE 시스템에서는 좀 더 편하고 직관적인 사용자 인터랙션을 지원하기 위하여 적외선 카메라를 활용하는 텐저블 인터페이스 Manipulator 모듈과 이를 iTABLE 렌더링과 연동하는 모듈을 개발했다. 이 인터페이스는 주변 조명에 덜 민감한 OptiTrack 적외선 카메라 (Infrared Camera) [14]와 6개의 정점 패턴을 이루는 적외선 반사 마커(Reflective Marker)를 부착한 아크릴 소재의 투명한 원반을 인터페이스로 활용한다. 그리고 실시간 처리를 위해 람다테이블 트래킹 (LambdaTable Tracking) 프로그램[5]의 속도를 개선하여, 일정한 패턴이 부착된 마커의 고유 식별 번호 인식과 각 마커마다 위치와 방향을 추적한다.

iTABLE 텐저블 인터페이스는 앞서 설명한 것처럼 적외선 조명을 반사시키는 약 1-2mm 정도의 마커를 삼각형 또는 사각형 같은 다각형의 정점으로 삼아 패턴을 구성하고 텐저블 인터페이스에 등록함으로써 고유 식별 번호를 부여한다. 그리고 카메라를 통해서 인식된 고유 패턴을 비교하며 위치의 이동과 회전 각 등을 찾아낸다. 이 텐저블 인터페이스는 투명한 원반 모양의 아크릴 위에 반사 마커를 부착하는데 그 크기가 작아서 사용자들이 인터페이스 아래에 놓인 화면을 보는데 어려움이 없다. 또한 그 마커로 만들어진 정점을 한 개 이상 가려주면, 다른 패턴으로 인식시킬 수 있어, 마치 마우스의 버

튼을 누르는 것처럼 한 개의 인터페이스로 여러 가지 작업이 가능하다. 즉 한 개의 인터페이스를 활용해서 반사 마커를 가려서 3차원적인 그래픽 개체들을 선택, 크기 조절, 회전, 위치 변경하는 등 다양한 사용자 인터랙션을 지원하도록 설계되었다.

#### IV. iTABLE 시스템을 활용한 고해상도 과학적 가시화 응용프로그램

iTABLE 테이블탑 타일드 디스플레이 시스템은 고해상도의 넓은 화면을 제공하여 과학적 가시화 응용분야에 적합하다. 또한 디스플레이 표면에서 탠저블 인터페이스를 사용하여 자연스러운 사용자 인터랙션을 제공한다. 본 절에서는 iTABLE 시스템을 활용하여 개발한 세 개의 응용프로그램-고해상도 이미지 뷰어, 고해상도 다변수 자료 가시화 응용프로그램, iTABLE 테이블탑 시스템과 타일드 디스플레이를 연결한 협력적 자료 가시화 프로그램을 소개한다.

##### 4.1 고해상도 이미지 뷰어

그림 5에서 보인 것처럼, iTABLE 시스템에서는 기존의 단일 프로젝션 기반의 테이블탑 시스템과는 다르게 타일드 디스플레이 방식을 사용하여 고해상도 이미지를 한 번에 테이블 화면에서 보여줄 수 있다. iTABLE 시스템의 활용을 위하여 개발한 고해상도 이미지 뷰어는 설정과일에 지정한 고해상도 이미지들을 텍스처로 불러들여 iTABLE 테이블탑 화면에 여러 사람들이 공유하여 볼 수 있도록 하였다. 이 응용프로그램에서는 2차원 고해상도 이미지를 분산 시스템에서 보여주고 이동, 확대, 축소 등의 기능을 지원 한다.

테이블탑 고해상도 이미지뷰어는 iTILE 프레임워크와 OSG 그래픽스 렌더링을 사용하여, 여러 개의 이미지에 대한 정보를 공유하여 이를 동기화하는 모듈과 인터페이스를 통한 인터랙션을 처리하는 입력 모듈을 구현했다. iTABLE 시스템의 마스터 노드에서는 각 이미지에 대한 위치, 방향 정보를 처리하여 그 값을 분산 공유 메모리에 넣어주고, 매 프레임마다 슬레이브 노드에서 분산 공유 메모리의 값을 확인하여 동기화된 이미지를 그려준다. 사용자 인터랙션은 탠저블 인터페이스 마커를 손가락으로 가린 상태에서 밀거나 회전하는 방식으로

바로 마커 아래 있는 이미지를 선택하여 조작할 수 있도록 하였다. 이미지를 여러 개 올려놓고 보는 것도 가능하고, 인터페이스를 여러 개 사용하는 것도 가능하여 여러 사람들이 함께 테이블탑 시스템에 둘러 앉아 관찰하며 토론하는 것을 가능하도록 해준다.

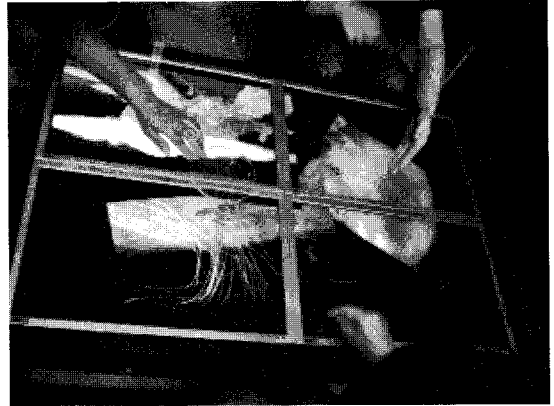


그림 5. iTABLE 고해상도 이미지 뷰어  
Fig. 5 iTABLE High-Resolution Image Viewer

##### 4.2 고해상도 다변수 자료 가시화

그림 6은 입력된 지진 데이터를 3차원 모델로 구성하여 보여주는 고해상도 다변수 자료 가시화 응용프로그램을 보여주고 있다. 그림은 한국과 일본 지역에 1960년대부터 2000년대까지 지진 강도에 따라 여러 가지 색으로 표출한 3차원 가시화이다. 고해상도 다변수 자료 가시화의 경우 기존의 데스크탑 PC 화면에서 보는 것보다 iTABLE 시스템에서 더욱 큰 해상도로 가시화하여 관찰할 수 있으므로 변인 데이터의 변화를 쉽게 이해하고 분석하는데 도움이 된다.

이 응용프로그램은 다변수 자료를 읽어 들여 가시화를 위한 자료구조 처리를 해주는 모듈, 가상 환경의 전체 지도를 보여주는 모듈, 실제 다변수 변인 자료를 가시화하는 모듈, 각 변인들의 색상 변화와 이름을 보여주는 범례 (Legend) 모듈과, 사용자가 원하는 변인을 선택할 수 있도록 하는 모듈로 구성되어있다. 가시화는 3차원 가상 환경의 전경 (또는 위에서 아래로 내려다보는 지도의 형태로 만들어진 2차원 이미지) 위에서 변인 데이터의 변화를 보여준다.

이 응용프로그램은 iTILE 프레임워크와 OSG 그래픽 렌더링을 기반으로 하여 iTABLE 시스템의 마스터와 슬

레이블들 간에 가상 카메라의 움직임에 따른 가시화의 변화 정보를 분산 공유 메모리를 통하여 공유한다. 또한 선택한 변인 데이터들에 대한 정보 공유를 통하여 전체 화면의 동기화된 렌더링을 지원했다. 그리고 iTABLE 시스템의 텐저블 인터페이스를 이용하여 사용자는 자유롭게 가상 카메라 위치를 조정해서 원하는 데이터를 볼 수 있고, 또 확대 및 축소, 회전 등과 같은 시점 변화를 조작하며 자세한 분석이 가능하도록 하였다.

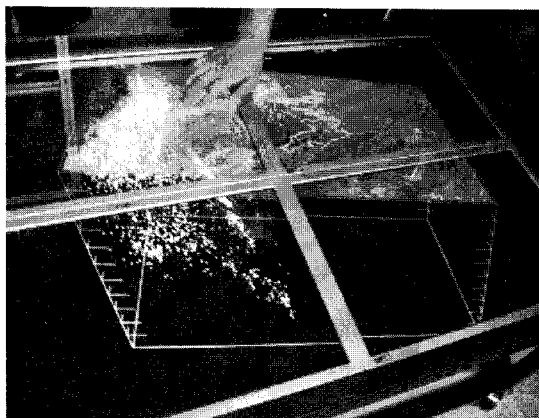


그림 6. 고해상도 다변수 지진데이터 자료 가시화  
Fig. 6 High-Resolution Multivariate Earthquake Data Visualization

### 4.3 고해상도 협력적 자료 가시화

그림 7은 2x2 iTABLE 테이블탑 타일드 디스플레이 시스템을 4x3 타일드 디스플레이 시스템과 연결한 협력적 가시화 프로그램의 실행화면을 보여준다. 이 프로그램은 동적으로 움직이고 있는 개체가 여러 타일드 디스플레이 시스템들 간에 동기화되어 나타나는 간단한 협력적 가시화 프로그램으로, 서로 다른 원격지에 위치한 사용자들이 각각의 자료를 가시화하여 공유하며 직접 조작하며 관찰할 수 있도록 도와준다. 이렇게 iTABLE 테이블탑 시스템과 타일드 디스플레이를 연동해서 함께 협력적 가시화에 사용할 수 있도록 마스터 노드들 간의 동기화 협업 지원 모듈을 개발하였다.

iTABLE 테이블탑 시스템 또는 일반 타일드 디스플레이 시스템들과의 협력적 가시화를 위하여, 가상 카메라의 정보를 마스터 컴퓨터들로 하여금 공유하도록 한다. 그리고 다시 슬레이브 노드로 파급시키는 형태로 서로 다른 타일드 디스플레이 시스템 간에 동기화된 그래픽

렌더링을 지원한다. 또 사용자가 텐저블 인터페이스로 인터랙션을 하면, 시스템의 마스터 노드에서는 입력에 따른 처리를 하고, 슬레이브 컴퓨터에 전달해서 동기화시킬 뿐만 아니라, 연결된 다른 타일드 디스플레이 시스템의 마스터 노드에도 전달해서 역시 동기화시킬 수 있도록 한다.



그림 7. iTABLE 테이블탑 타일드 디스플레이와 4x3 타일드 디스플레이 간의 협력적 가시화  
Fig. 7 Collaborative Visualization between iTABLE Tabletop Tiled Display and 4x3 Tiled Display System

이렇게 원격지에 놓인 시스템간의 동기화를 지원하는 프로그램을 제공하여, 멀리 떨어진 다른 곳에 있는 과학자들이 함께 데이터를 공유하고 인터랙션하며 가시화 프로그램을 활용하는 것을 지원한다.

## V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 고화질 과학적 가시화의 표출을 위해 개발된 iTABLE 테이블탑 타일드 디스플레이 시스템의 구성과 iTABLE을 활용한 2차원 고해상도 이미지 뷰어, 3차원 고해상도 자료 가시화 및 협업 가시화 응용프로그램

램을 설명하였다. iTABLE 시스템은 마이크로소프트사의 Surface 나 미쓰비치 연구소의 Diamond Touch와 같은 프로젝션 기반의 단일 디스플레이로 구성된 테이블탑 시스템들과 비교하여 해상도가 높고 분산시스템을 사용하기 때문에 대용량 자료의 고해상도 가시화 표출을 위한 3차원 가시화 프로그램을 작성하는 데에 효과적이다.

본 논문에서 제안한 iTABLE 시스템은 마스터-슬레이브 구조를 가진 분산 하드웨어 시스템을 사용하고, iTILE 미들웨어를 테이블탑 시스템에 적합하도록 확장하여 상호작용적인 과학적 가시화와 분산 협업 가시화를 지원하도록 구현하였다. 그리고 테이블 위에서 협력적 사용자 인터랙션을 위하여 적외선 카메라와 반사 마커를 활용하는 텐저블 인터페이스 시스템을 제공하고, 2차원 자료, 3차원 가시화의 회전, 이동 및 선택 등 간단한 인터랙션 방법을 개발하였다. iTABLE 시스템은 타일드 디스플레이를 테이블탑 형태로 구성하여 고화질의 2차원적인 이미지뿐만 아니라 3차원적인 고화질 가시화 표출이 가능하여 여러 사용자들이 테이블에 둘러앉아 상호작용을 하며 협력적인 자료 분석을 도와준다.

또한 iTABLE 시스템은 단순히 고화질 이미지뷰어만을 지원하는 LambdaTable 보다 3차원적인 과학적 자료 가시화나 다른 타일드 디스플레이와의 연동 등 보다 다양한 응용프로그램을 지원한다. 그리고 시스템의 확장성을 염두에 두고 설계되어 현재 2x2 iTABLE 테이블탑 타일드 디스플레이 시스템에서 뿐만 아니라 더욱 큰 해상도를 가진 시스템 지원이 가능하다.

그러나 본 논문에서 제안한 iTABLE 시스템은 현재 OSG 기반의 그래픽 응용프로그램의 지원만 가능하다. 따라서 향후 연구방향으로 OpenGL이나 nvSG 등 다른 그래픽스 렌더링 라이브러리를 사용가능하도록 확장성을 고려해서 개선할 예정이다. 그리고 현재 개발한 텐저블 인터페이스의 3차원 이동, 회전 등의 사용성 평가와 다른 타일드 디스플레이와의 연동에 인터랙션 활용 시나리오를 개발하고 응용프로그램을 개발하여 사용성 평가를 진행할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 2008년도 단국대학교 신진 연구비의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

### 참고문헌

- [ 1 ] T. Ni, G. S. Schmidt, O. G. Stadt, M. A. Livingston, R. Ball, R. May, "A Survey of Large High-Resolution Display Technologies, Techniques, and Applications", Proceedings of the IEEE conference on Virtual Reality, pp. 223-236, 2006.
- [ 2 ] P. Dietz and D. Leigh, "DiamondTouch: A Multi-User Touch Technology", In Proc. of ACM UIST'01, pp 219-226, 2001.
- [ 3 ] J. Rekimoto, "SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces", In Proc. of ACM SIGCHI '02, pp113-120, 2002.
- [ 4 ] <http://www.microsoft.com/surface/>
- [ 5 ] <http://www.evl.uic.edu/cavern/lambdatable/>
- [ 6 ] Kim, S., Kim, M., Cho, Y., Park, K., iTILE Framework for Constructing Interactive Tiled Display Applications, In Proc. of International Conference on Computer Graphics Theory and Applications, Feb. 2009.
- [ 7 ] G. Humphreys, M. Houston, R. Ng, R. Frank, S. Ahern, P. D. Kirchner, J. T. Klosowski, "Chromium: a stream-processing framework for interactive rendering on clusters", Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 693-702, 2002.
- [ 8 ] <http://www.equalizergraphics.com/>
- [ 9 ] N. Harish, P. Narayanan, "Garuda: A Scalable Tiled Display Wall Using Commodity PCs", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 13, Issue 5, pp. 864-877, 2007.
- [10] B. Jeong, R. Jagodic, L. Renambot, R. Singh, A. Johnson, J. Leigh, "High-Performance Dynamic Graphics Streaming for Scalable Adaptive Graphics Environment", In Proceedings of IEEE Information Visualization Workshop, 2005.
- [11] 김창식, 조동식, 임학수, 윤종주, 해양환경 분석을 위한 가상현실 기법 적용. HCI 2004 학술대회, pp. 526-531, 2004.
- [12] <http://www.openscenegraph.org/>
- [13] <http://www.evl.uic.edu/cavern/quanta/>
- [14] <http://www.naturalpoint.com/optitrack/>



## 저자소개



박경신 (Kyoung Shin Park)

1991년 덕성여자대학교 수학과  
이학사

1997년 University of Illinois at  
Chicago 전기전자  
컴퓨터과학과 공학석사

2003년 University of Illinois at Chicago 컴퓨터과학과  
공학박사

2004년 ~ 2007년 한국정보통신대학교 디지털미디어  
연구소 연구교수

2007년 ~ 2009년 단국대학교 공학대학 멀티미디어  
공학전공 전임강사

2009년 ~ 현재 단국대학교 공학대학 멀티미디어공학  
전공 조교수

※관심분야: 가상현실, HCI, 과학적 가시화,  
분산컴퓨팅, 감성공학, 교육용시물레이션