

super computing 과학기술 한계극복을 위한 슈퍼컴퓨팅

지난 천년간 인류는 선형적 접근법에서 수많은 기본 법칙들을 추론해 왔고, 이를 통해 산업혁명 등 인류의 획기적 발전을 이뤄냈다. 그러나 이제 이러한 노력들은 한계에 직면했고, 이를 극복하기 위한 새로운 방법론을 찾아가고 있다.

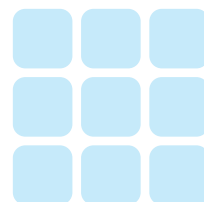
그 방법론의 중심에 있는 것이 바로 슈퍼컴퓨팅이다. 자연계의 기본원리를 찾으려는 초대형 우주적 문제로부터 복잡한 비선형적 기상문제, 혼돈의 세계와 초극미세계의 소립자 문제를 해결하기 위한 기본 도구로 슈퍼컴퓨터가 활용되고 있다.

뿐만 아니라, 슈퍼컴퓨터의 발달로 데이터의 처리속도가 기하급수적으로 빨라짐에 따라, 이전에는 풀엄두를 내지 않았던 문제들에 대해서도 새로이 도전장을 내밀고 있다.

이번 호 심층테마연구에서는 과학기술 한계극복을 위한 핵심 도구인 슈퍼컴퓨팅에 관련한 전문가와 연구원들의 기고를 중심으로 몇 가지 기법들을 소개한다. 아울러 슈퍼컴퓨팅의 새로운 도전인 그리드 컴퓨팅 기술과 e-Science 환경에 대한 설문조사 내용을 함께 실음으로써 슈퍼컴퓨팅의 현재와 새로운 과학기술의 패러다임으로써의 슈퍼컴퓨팅에 대해 함께 고찰할 수 있는 기회를 갖고자 한다.

기상 및 해양과 관련된 현상 분석을 위한 가상현실 기술 개발 및 활용 동향

글 _ 박경신 교수 · 한국정보통신대학교 디지털미디어연구소 · park@icu.ac.kr
 조용주 교수 · 상명대학교 미디어학부 · ycho@smu.ac.kr



1. 서론

최근 3차원 도플러 레이더, 고화질 기상위성, 자동 기상 관측기 등 각종 수치자료의 기상 전산망 발달로 인해 기상예보학자나 연구자들이 전과는 비교할 수 없을 만큼 날씨에 대한 상황 판단을 좀더 쉽게 관찰 또는 예측 분석이 가능하게 되었다. 그러나 이와 같은 관측을 통해 예전과 비교해서 시간과 공간적으로 고화질의 정밀한 자료를 제공받게 되었으나, 이런 방대한 자료들로부터 기상 예보학자나 현상분석자들에게 필요한 정보를 끌어내기 위한 처리나 분석과정은 난제로 부딪치고 있다. 또한 이들 자료는 일반적으로 그 구조가 매우 복잡하여 원시적 자료 자체를 그대로 분석하기에는 큰 어려움이 따른다. 따라서 자료에 내재되어 있는 현상을 보다 수월하게 해석하기 위해 이런 자료의 처리와 가시화 도구의 필요성이 증대하고 있다.

그런데 다른 수치모델 분석 도구들이 대체적으로 전체적이거나 아니면 아주 국지적인 부분적 결과를 내는 것과는 달리, 가시화는 사람이 직접적으로 자료 시뮬레이션, 여과, 축소를 통하여 흥미롭거나 특징적인 현상, 또는 이상한 현상 등의 인식을 가능하게 해줌으로 다양한 과학적 문제 해석에 도움이 된다. 특히 최근 컴퓨터 기술이 발달하여 고속 연산이 가능해지면서 방대한 양의 기상관련 관측 자료를 보다 효과적으로 분석할 수 있도록 도와주는 여

러 가지 가시화 기술이 연구 개발되고 있는데, 가상현실 기술을 적용한 과학적 가시화(Scientific Visualization) 기술은 현재 많이 연구되고 있는 분야 중의 하나이다.

가상현실 기술이 과학적 가시화에 많이 사용되고 있는 이유에 대해서 살펴보면, 먼저 가상현실이 주는 3차원 가시화에서는 원근을 지원하기 때문에 2차원의 평면도에서 쉽게 볼 수 없던 문제점을 찾게 해서 자료 분석에 도움을 주는 장점이 있다. 가상현실에서는 또한 간단한 사용자 인터페이스를 통해 가시화된 자료를 사용자가 쉽게 조정할 수 있으며 모델 안을 자유롭게 돌아다니면서 여러 각도에서 살펴 볼 수도 있다. 그리고 가상현실 안에서는 모델의 상대적인 움직임을 볼 수 있어 거리 측정도 가능하다. 무엇보다도 3차원 가상현실에서는 일반 PC에서 제공하지 않는 입체 영상 기능을 통해 가시화 모델의 깊이를 느낄 수 있는 장점이 있다.

이 논문에서는 과학적 가시화에 사용되고 있는 기상관련 자료 가시화에 주로 사용되고 있는 소프트웨어, 기상이나 해양에 관련된 자료 관측 및 현상 분석과 가시화를 위해 개발된 몇 가지 가상현실 가시화 기술과 그 활용 예, 그리고 기상 및 해양 관련 가상현실 협업 환경 및 활용 분야를 분석하였다.

2. 기상 및 해양 관련 과학적 가시화를 도와주는 가상현실 저작도구들

2.1. Vis5D와 CAVE5D

기상관련 자료의 과학적 가시화에 가장 많이 사용되는 도구로 Vis5D와 CAVE5D가 있다. 먼저 Vis5D는 University of Wisconsin at Madison의 Space Science Engineering Center(SSEC)의 Bill Hibbard가 주축이 되어 개발한 것으로 워크스테이션용으로 만들어졌고 주로 기상학이나 해양학에 쓰이는 과학적 가시화 도구이다. Vis5D는 5차원 그리드 형태로 구성된 자료를 불러서 상호작용이 가능한 가시화를 해준다. 5차원 그리드 형태의 구조는 기상학 시뮬레이션에 많이 쓰이는 자료 구조 형태로 각각의 필드는 위도, 경도, 고도, 시간 및 색인(즉 바람, 압력, 온도나 습도와 같은 물리적인 분야에 대한 색인)을 가리킨다. Vis5D의 주요 그래픽 요소들로는 데이터의 물리적인 변수를 보여주는 지형학 지도, 궤도선, 아이소 표면, 윤곽선 등이 있다. 3차원 박스 안의 가시화된 데이터를 마음대로 좌우 회전 및 확대, 시간대의 조절, 그리고 위에 언급된 그래픽 요소들을 개별적으로 끄거나 켜서 볼 수 있고, 또한 색깔을 조절하여 각각의 다른 배합들로써 살펴볼 수 있도록 했다.

CAVE5D는 Old Dominion University의 Center for Coastal Physical Oceanography과 Space Science Engineering Center(SSEC) at University of Wisconsin at Madison에서 공동 개발한 것으로 Vis5D를 CAVE나 ImmersaDesk 같은 가상현실 시스템에서 보여줄 수 있도록 만든 것이다(CAVE와 ImmersaDesk는 프로젝션 바탕의 몰입형 가상현실 시스템이다). Vis5D와 CAVElib(가상현실 시스템용 소프트웨어)를 통합하여 만든 응용 패키지로, 시간에 연속적으로 변화하는 3차원 자료를 상호작용이 가능한 가상현실환경에서 과학적 가시화를 해준다. CAVE5D는 주로 해양학이나 기상학의 모델링 연구를 위한 가시화를 위해 사용되고 있고 Vis5D와 비교해서 CAVE5D의 장점은 가상현실을 사용함으로써 과학자들이 가시화된 방대한 데이터 안에서 좀 더 자유롭게 움직이면서 기상자료 모델의 구성구성을 자세히 살펴볼 수 있는 점이다. Vis5D와 CAVE5D는 일반에게 공개되어있는 프로그램이며, 현재 많은 기상학 관련 연구소에서 기상학 자료의 모델링 및 분석에 사용되고 있다.

2.2. vGeo

VRCO사의 vGeo(Virtual Global Explorer and Observatory)는 과학, 공학, 시뮬레이션 분석을 위한 상호작용이 가능한 과학적 가시화에 많이 사용되고 있다. vGeo는 방대한 크기의 관찰, 시뮬레이션, 이미지, 모델 등 다변수 데이터로부터 시간에 가변적인 3차원의 환경을 만들어주어 사용자들이 그 안에서 자유롭게 돌아다니면서 상호작용을 할 수 있게 한다. 이렇게 사용자들에게 3차원 가시화의 직접적인 관찰을 가능하게 해줌으로써 데이터 패턴의 인식이나 자칫 무시하게 될 새로운 특징이나 관계를 발견하게 도와준다. 보통 다른 과학적 가시화 도구들이 하나의 데이터와 한번에 하나씩 상호작용 할 수 있도록 하는데 반해, vGeo는 다른 해상도나 크기를 갖고 있는 여러 개의 자료를 동시에 보여줄 수 있다. 사용자에게 다양한 메뉴나 패널을 제공하여 자료의 그래픽스나 동영상, 자료 올림, 검색 등 변수 제어에 사용할 수 있다. vGeo의 그래픽스는 실시간으로 사용자가 지정하는 것에 따라 만들 수 있고, 사용자가 작업했던 과정은 모두 저장되어 추후에 다시 불러서 사용할 수 있도록 했다. vGeo는 또한 사용자가 자료 파일을 바꾸지 않고 프로그램 상에서 위치, 시간, 데이터의 해상도 등을 바꿀 수 있게 해준다. 또한 컴퓨터 시스템 파워에 따라 크고 혹은 작게 자료의 가시화 비례나 해상도를 프로그램 상에서 바꾸어서 보여주기도 한다.

2.3. VRML과 VTK

Virtual Reality Modeling Language(VRML)은 일종의 HTML(웹에서 홈페이지 작성을 위한 표준 언어)과 같은 언어로 플랫폼에 상관없이 호환 가능하며 3차원 모델을 저작하고 구현하는 기능이 있다. VRML은 HTML과 같이 텍스트로 되어있어 파일 안의 3차원적 그래픽스 내용을 읽을 수 있고, 사용자들에게 웹상에서 3차원 세계를 하이퍼링크해 줘서 자료 환경 속의 이동 및 탐색을 가능하게 한다. VRML은 또한 간단한 구조를 가지고 있고 쉽게 만들 수 있는 장점이 있어 기상이나 해양 혹은 지질 자료의 가시화에 많이 사용되고 있다. VRML 브라우저(VRML 표준을 읽을 수 있는 소프트웨어)를 사용하여 컴퓨터 모니터 상에서 볼 수 있으며 마우스로 이동과 회전

등의 조작 가능하다. 또한 Head-Mounted Display (HMD), ImmersaDesk, CAVE 등 가상현실 시스템에 영상을 보내어 자료가 갖고 있는 다양한 각도의 시각적 결과도 볼 수 있다.

기상자료의 가상현실 가시화 시연에 VRML을 많이 사용하고 있는데, National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)의 경우 기상 시뮬레이션 모델로부터 VRML을 만들어내는 Java/VTK 프로그램을 자체적으로 개발하였다. Visualization ToolKit(VTK)은 3차원 고급 컴퓨터 그래픽스, 이미지 프로세싱, 가시화

등에 사용하는 공개용 소프트웨어 시스템으로 다수의 사용자를 확보하고 있다. VTK는 객체 지향적 디자인으로 설계된 C++ 클래스와 Tcl/Tk, Java, and Python 여러 다른 스크립트 인터페이스로 구성되어 있고, 현재 전문가용은 Kitware사를 통해 소프트웨어 구입과 교육 및 지원이 가능하다. VTK는 스칼라, 벡터, 텐서, 텍스처, 볼륨 렌더링 등 다양한 가시화 알고리즘과 폴리곤 리덕션, 메쉬 스무딩, 트라이 앵굴레이션 등 고급 모델링 기법을 제공한다. 또한 2차원과 3차원 이미지 알고리즘이나 자료를 합성시키는 다양한 이미지 알고리즘도 지원한다.

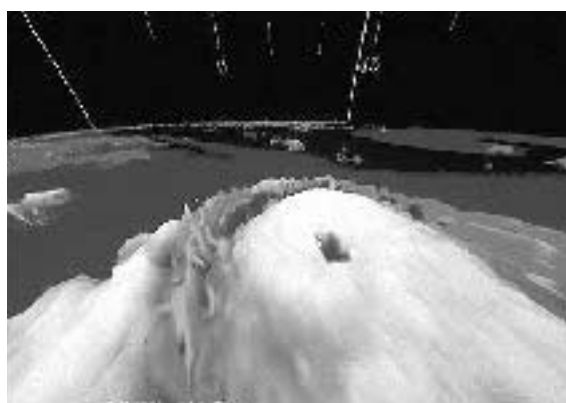
3. 가상현실을 기상 및 해양 자료 가시화와 분석에 활용한 예

일반적으로 과학 분야에서 자연 현상 분석과 활용에 쓰이는 자료는 그 구조 자체가 복잡하고 또한 그 양이 방대하여 단순하게 기존의 수치적 자료 분석을 도와주는 도구만을 사용해서 분석하는 것은 매우 힘든 일이다. 그래서 방대한 양의 자료를 좀 더 쉽게 알아보고 직관적인 판단을 돕기 위해 가시화 시켜주고 자료들을 분석할 수 있도록 도와주는 가시화 프로그램이라고 불리는 소프트웨어들이 많이 개발되어져 왔고 또 사용되었다. 이 장에서는 기상과 기상에 많은 영향을 미치는 해양 자료를 분석하고 가시화시키는 데 사용되었던 도구들을 살펴본다.

I-WAY 네트워크 위에 Nexus방법을 사용하여 구동되었다. 구름의 고도는 그 값이 높아질수록 구름들이 서로 가까워지기 때문에 적외선 정보를 많이 갖고 있고, 따뜻하고 낮게 깔린 구름들은 적외선으로는 보이지 않고 일반적 이미지에 의해서 오히려 쉽게 추적이 가능하다. 구름의 계층(layering)과 종류 등은 구름의 구조를 이해하는데 도움이 된다. 이때 가상현실은 3차원의 구름 구조와 어떻게 구름의 구조가 센서에 영향을 미치는지 찾아볼 수 있도록 도와준다. 또한 가상현실은 기류(jet streams) 같은 여러가지 기상 시스템들을 이해하고 가시화하는 데에 아주 효과적이다.

3.1. 인공위성과 슈퍼컴퓨터를 사용한 구름 추적 및 가시화

〈그림 1〉은 Aerospace Corporation, Caltech, Argonne National Laboratory 등이 공동 개발한 연구로 날씨정보 인공위성에서 적외선과 일반 이미지 데이터를 찍어서 실시간으로 구름 구조와 위치를 추적한 데이터를 가상현실 시스템에서 가시화한 것이다. 95년도 슈퍼컴퓨팅 학회(IEEE Supercomputing '95)에서 Aerospace사의 인공위성으로부터 가공되지 않은 원시적 이미지 데이터를 받아서, I-WAY 초고속 인터넷 망을 통하여 Argonne 연구소의 IBM SP-2 병렬 슈퍼컴퓨터로 보내져서 구름의 위치와 고도가 계산이 된 후, 그 구름의 지정학적 위치를 ImmersaDesk에서 보여주었다. 관찰자들은 인공위성에서 측량되고 약 1분 정도가 지난 후의 구름 자료의 가시화된 모델 속을 돌아다니면서 좀 더 구체적인 관찰이 가능하다. 이와 같이 여러 컴퓨터를 연결한 응용 프로그램은 Caltech에서 개발되었으며



〈그림 1〉 실시간 구름 추적 결과의 가시화

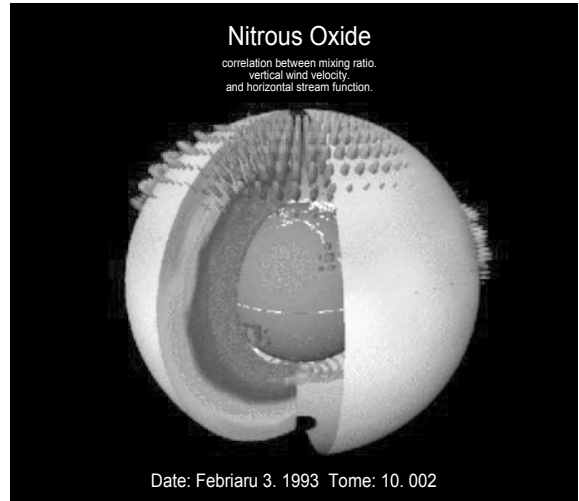
3.2. 체계운용을 위한 기상 해양 환경 분석 기술

한국해양연구원(Korea Ocean Research & Development Institute)의 가상해양환경(Digital Ocean & Virtual Environment) 시스템은 해양과 기상상태의 정밀한 예

측을 위한 수치 모델과 이들의 시뮬레이션을 수행하는 컴퓨터와 그 결과를 5차원(공간 3차원, 회전, 시간별 애니메이션)으로 표출하는 가상현실로 구성된다. 해저면으로부터 해수면 밖 해양 기상권을 포함한 해양환경의 현재와 미래 상태의 현상을 정밀하게 예측하는 수치 모델은 해양 역학 구조를 예측하기 위한 POM(Princeton Ocean Model)과 해양 표층 혼합층을 정밀 분해하는 MLD 모델을 사용한다. 한국 주변 해역을 컴퓨터 수치모형으로 재현한 해수 순환, 수온, 밀도 등의 모델 결과(또한, 해양환경에 상당한 영향을 미치는 기상환경을 포함한 자료)를 가상현실에서 과학적 시뮬레이션으로 가시화하여 새로운 현상을 규명하고 복잡한 해양 환경을 정밀하게 분석하는데 활용하고 있다. 2003년에 발생했던 태풍 매미의 발달 및 소멸 과정에 대한 상세한 구조 재현을 2004년도 대한민국 과학축전 시연에서 가상현실시스템을 사용하여(준 실시간 정보를 바탕으로 한) 태풍 매미 이동경로 추적, 층별 바람장의 변화, 태풍중심 기압 분포, 태풍 주변 상대 습도 구조 변화 등의 해양과 기상 현상을 체험하도록 하였다.

3.3. 대기 이동 과정을 위한 병렬 스펙트럼 모델

조지아텍 지질 기상학과와 정보과학과(Department of Earth and Atmospheric Science and Information Technology at Georgina Institute of Technology)의 과학자들이 대기 이동 추적을 위하여 그와 일치하는 바람의 필드를 사용하여 지구 전체의 화학 물질 이동 모델(global chemical transport model)을 개발했다. <그림 2>에서 보이는 이 모델은 성층권과 대류권 기류 교환의 메커니즘과 또는 클로로플루오로메탄, 하이드로클로로플루오로메탄, 오존 등과 같은 화학물질 종류들의 대기 중의 분산에 관한 과학적 의문에 답하는 데에 아주 중요한 도구이다. 이 모델은 각각의 종류에 해당하는 이동 경로 방정식을 풀기 위한 지구전체 모델에 흔히 쓰는 스펙트럼 방법을 사용했다. 이상적으로는, 관측된 데이터베이스가 대기 시뮬레이션으로 보이는 가시화나 분석과 많이 연관되어있다. 그리고 대기의 움직임 진행 과정을 정확히 나타내고 또한 좀더 구체적인 조사를 위하여 가시화 및 분석과 시뮬레이션간의 조정을 위한 피드백도 필요하다. 또한, 이런 자료는 3차원의 구조를 가지고 있고 시간에 따라 변형이 많이 되기 때문에 가시화에서 동적인 자료를 인터랙티브하게 볼 수 있게 만들어져야 한다. 이 연구는 대기과학이나 초고속 병렬 컴퓨팅, 가시화나 인터페이스 등의 다방면에 있는 과학자들이 함께 협동으로 개발한 것이다.



<그림 2> 대기 화학 이동 분산 스펙트럼 모델

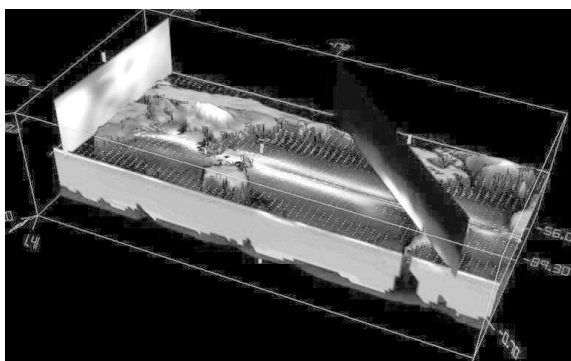
3.4. 환경 수문학자를 위한 워크벤치

National Center for Supercomputing Applications (NCSA)과 Space Science Engineering Center (SSEC) at University of Wisconsin at Madison에서 공동으로 참여하여, 환경 수문학자(Environmental Hydrologists)을 위하여 워크벤치 응용 프로그램을 개발하였다. 이 시스템은 사용자들에게 지역에 따라 물의 순환에 의한 다른 기후를 보여주는 영향에 대해 관찰할 수 있게 해준다. 간단한 사용자 인터페이스를 사용하여 지구 전체의 기후모델 중 일부를 선택하여 볼 수 있고 또한 중간규모(기상) 모델의 자세한 시뮬레이션에서 작은 일정한 시기와 장소만을 떼어놓고 볼 수도 있다. 중간규모 모델의 강수량은 수문학적 영향에 대한 정보를 보다 자세히 보여주는 지표에 흐르는 빗물 모델(Surface Runoff Models)을 만들어준다. 이 프로그램의 제어와 가시화는 VisAD라는 자바 라이브러리와 자바 인터페이스에 바탕을 두고 만들어졌다. 또한, 폭풍우 모델과 빗물 모델이 어떻게 함께 움직여지는지 3차원적으로 보여주도록, 두개의 Vis5d 파일(하나는 MM5를 사용하였고 다른 하나는 flow2d를 사용하였다)을 사용하여 CAVE5D에서 보여주었다. 이 시스템에서는 두개의 Vis5d 파일을 같은 가상현실 공간에서 보여주기 위하여 CAVE5D 프로그램을 약간 변경하였고 시연에 쓰인 자료는 1996년 7월 시카고 서북부 인근 Aurora 지역에서 홍수를 유발시켰던 폭풍우 모델과 강수량 모델을 사용하였다.

3.5. 해양과 대기의 결합적 모델

Argonne National Laboratory(ANL)의 Mathematics and Computer Science Division(MCS)에서 개발한

Fast Ocean Atmosphere Model(FOAM)은 기존 방식에서 벗어난 새로운 모델 형성과 병렬 컴퓨터를 사용하여 기상시스템의 외부적 유동 원동력에 의해 제어되며 시간적 한계를 넘긴 새로운 결합적 기후 모델이다(〈그림 3〉 참조). 이와 같이 거대한 비율의 기후 현상을(그러면서도 작은 부분의 물리현상만을 보여 주기 위하여) 제대로 나타내기 위해서는 무척 많은 연산을 요구하고 있어서, 현재까지 나와 있는 연구에서는 장기간의 시뮬레이션과 물리적으로 실제와 같은 모델을 제공하는 것이 거의 불가능했다. 그러나 이 연구에서는 평균 기후와 시간에 의한 가변성을 잘 보여주는 시뮬레이션과 고성능 처리를 위한 혼합된 화질을 지원하는 새로운 해양과 대기 결합 순환 모델 형성을 시도하였다. FOAM은 16~64개 정도의 대량 분산 시스템을 활용하여 고성능 처리 결과를 얻고, 저화질 R15 기상모델과 고효율적인 중간화질 해양 모델과의 분산형 메모리 병렬 처리의 결합을 사용하였다. 이렇게 해서 얻어진 기후 시뮬레이션의 결과는 중간성능의 병렬 컴퓨터에서의 실시간 계산결과보다 6,000배 빠르면서 장기간의 대기와 해양의 결합적인 동적 과정을 보여주고 있다. 이는 고화질의 모델과 비교할 수 있을 정도로 질적으로 좋고, 유동의 수정을 필요로 하지 않는다. 이 모델을 만든 목적은 기후 시스템에서 10년에서 100년에 해당하는 장기간에 해당하는 자연적인 가변적 현상을 연구할 수 있도록 도와주기 위해서이다. 또한 이 모델은 지질시대의 기후 응용에도 유용하다.



〈그림 3〉 해양과 기후의 결합적 모델

3.6. 가상 토네이도 폭풍우 (Virtual Tornadoic Thunderstorm Project)

Iowa State University의 Virtual Reality Applications Center(VRAC)에서는 기상학과 학생들의 학습에 사용하기 위하여 CAVE용 가상 토네이도 폭풍우 시뮬레이션을 만들었다. 이 시뮬레이션은 학생들이 가상현실환경 내에서 직접 탐색을 하면서 좀더 깊게 대기현상을 관찰할

수 있도록 도와준다. 화학이나 물리학과는 달리, 기상학에서는 대기 현상을 설명하기 위하여 교실 안에서 그대로 그 현상을 재현한다거나 학생들이 계측기로 직접 측정하면서 그 경험을 통한 현상 이해를 도와주는 실험을 만들기 어렵다. 또한, 학생들을 현장에 보내어 관찰할 수 있도록 도와주기에 시간이나 여건이 부족하며 때론 사고의 위험성도 있다. 이렇게 기상 현상을 가르치는 데의 어려움을 도와주기 위한 노력의 하나로, 가상현실 슈퍼셀 폭풍우 시뮬레이션을 통하여 학생들의 과학적 탐구 학습을 도와주려고 했다.

〈그림 4〉의 가상 토네이도 시뮬레이션은 순간적으로 일어난, 충분히 발달한, 비교적 안정된 상태의 토네이도 슈퍼셀을 나타내고 있다. 또한 이 가상 폭풍우는 벽형 구름, 토네이도, 꼬리형 구름, 콤마처럼 생긴 비 내리는 지역, 앤빌 구름, 뒤측면 하강기류, 선반형 구름(wall cloud, tornado, tail cloud, comma-shaped rain region, anvil cloud, rear-flank downdraft clear slot, and shelf cloud) 등 시간적으로 실물과 같은 특징들을 포함하고 있다. 이 폭풍우 구름은 좁은 축으로 대략 10 마일 정도에 해당하며 50 마일정도 길이에 위쪽에는 앤빌 구름이 바람 불어가는 쪽으로 뻗어있다. 현재, 보다 나은 가상 폭풍우의 사실성을 높이기 위해 비나 우박이 내리는 지역을 가리키는 방법과 무수히 많은 작은 입자를 사용하여 토네이도의 응축된 통풍구와 잔해의 원뿔을 표현하는 방법 등을 개발 중에 있다. 또한 가상 번개를 넣어 역동성을 추구하였고, 소리를 통하여 토네이도, 폭풍우, 비와 우박이 내리는 정도를 사실감 있게 표현하고 있다.



〈그림 4〉 기상학과 학생 교육에 사용하기위해 개발된 가상 토네이도 시뮬레이션

3.7. 분산 기후 시뮬레이션 연구

National Center for Atmospheric Research(NCAR)의 Climate Simulation Laboratory(CSL)는 거대하고도 복잡한 지구의 기후 시스템 시뮬레이션을 제공한다. 이 시뮬레이션은 100개에서 1000개의 처리 장치를 돌면서 계산이 되고, 그 결과는 추후의 분석이나 다른 시뮬레

이션이나 데이터와 비교할 수 있도록 저장된다. 기존의 CSL 연구에 San Diego Supercomputer Center(SDSC)가 참여하여 초고속 네트워크위에 분산처리와 원격 데이터 액세스를 통한 Distributed Climate System Mode(DCSM)을 개발하였다. DCSM은 대기 모델, 지구 전체의 해양 모델 그리고 해빙 모델에 바탕을 둔 것으로 각각의 실행 단계마다 해양, 대기, 해빙의 결합적 모습이 PVM(parallel virtual machine) 기법을 사용하여 두 연구소 컴퓨터 간의 통합으로 에너지 유동 정보의 교환을 통해 이루어졌다. 이렇게 만들어진 모델의 결과는 NCAR로 보내져서 고성능의 공유 파일 시스템에 저장되고 또한 CAVE 가상현실에서 가시화가 가능하다. 95년~96년도 슈퍼컴퓨팅학회에서 이 분산모델에서 얻어진 시뮬레이션 과정과 결과를 시연하였다. 이 시뮬레이션에서는 1) 대기 모델의 침전 수분, 2) 해양 모델의 바르트로픽 흐름(barotropic steam function), 3) 유속 연결자(flux coupler)의 짧은 파도의 유동, 긴 파도의 내려가는 유동, 알베도(albedo), 표면 온도와, 4) 모델과 네트워크의 성능을 자료로 사용하여 보여주었다. 이 시스템은 가시화를 제공하여 과학자들이 기후 모델의 잘못된 것을 찾아 고치는 데에 사용되고 일반 대중에게는 교육용 도구로써 사용되었다.

3.8. 허리케인 예측 모델

National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)의 Geophysical Fluid Dynamics Lab(GFDL)에서는 1992년 이후의 다양한 허리케인 모델의 과학적 가시화를 하었는데 그 중 두 가지를 소개하겠다. 먼저 1999년 9월 9일부터 17일까지 풍속 135 mph로 다가온 허리케인 플로이드는 미국 남동부에 막대한 피해를 입혔다. <그림 5>의 왼쪽은 1999년 9월 16일 케임 피어에 다가온 3차원 허리케인 플로이드의 모습을 보여주고 있다. 이 모델은 GFDL에서 개발한 움직이는 허리케인 예측 시스템을 이용하여 기상예측을 통하여 얻은 결과이며 국립 환경예측 연구소(전, 국립 기상 연구소)에 1995년 허리케인



<그림 5> 허리케인 예측모델을 사용한 허리케인 플로이드(왼쪽)과 이사벨(오른쪽) 가시화

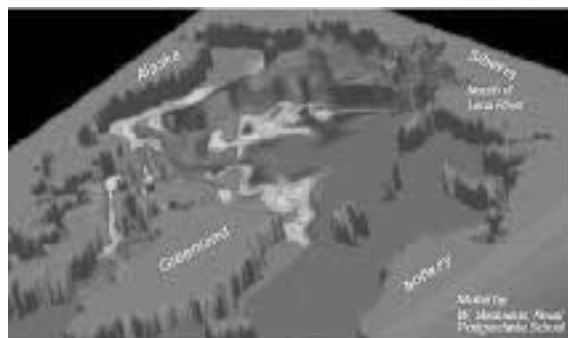
계절 시작부터 공식적인 Operational Hurricane Prediction Model로 채택되었다. 이 모델은 미국의 동부 해안 위로 플로이드가 지나가는 경로를 정확히 예측하였다. <그림 5>의 허리케인 플로이드 가시화를 보면, 폭풍우의 위와 표면에 보라색과 하얀색 화살표는 강풍 힘에 의해 넘치는 바람을 나타내고 있다. 지구 표면에 칼라로 된 그림자는 낙하를 나타내는데 그중 빨강색은 높은 강렬함을 나타낸다. 회색 3차원 구름 같은 특징부분은 허리케인의 안쪽 구조를 보여주는(또한, 가운데에 튜브처럼 생긴 허리케인의 눈도 보여주는) 동쪽의 단면을 보여주는 80% 관측 습도 표면을 나타낸다. 폭풍우의 가운데를 자른 수평 단면과 빨강색 수직 화살표는 폭풍우의 안쪽에서 상승 동작을 나타낸다.

<그림 5>의 오른쪽은 가상현실용 가시화 모델 허리케인 이사벨이 미국 동부 연안에 다가오고 있는 3차원 모습을 보여주고 있다. 이 결과는 NOAA의 GFDL에서 개발한 움직이는 허리케인 예측 시스템을 이용하여 9월 15일 아침 8시부터 99시간의 기상 예보를 바탕으로 만들어진 것이다. 허리케인 이사벨은 2003년 9월 19일 노스캐롤라이나 바깥쪽에 장기간 머무르면서 노스캐롤라이나부터 북 버지니아까지의 중부 대서양 연안 지역에 막대한 피해를 입혔다. 이 모델은 더운 기온과 습도가 결합되어 생긴 영향을 측정한다(따라서 덥고 습한 열대성의 해양과 뭉게구름의 열로 인한 더운 기온의 덩어리인) 허리케인의 근본적인 양인 잠재적으로 같은 온도의 동질표면을 보여주고 있다. 하얀색 화살표는 지구표면에서의 허리케인의 속도와 움직임의 방향을 나타낸다. 허리케인 이사벨의 특이한 현상은, 강한 바람이 바다로 움직이면서 아래로부터 차가운 물을 해수면위로 끌어들이므로써 해수의 온도를 매우 낮게 만들었던 점이다. 이 현상은 폭풍우가 지나간 것으로 인하여 차가운 물이 위로 올라온 부분이 애니메이션에서 파란색으로 나타나 보이고 있다. 2000년도 허리케인의 계절부터 이 현상은 프린스턴 대학 해양모델(POM)과 기상학 모델과 결합된 Operational GFDL 모델에 포함되었다. 해양모델과 결합한 방식은 폭풍우의 강도를 정확히 예측할 수 있는 허리케인 모델을 만드는 데에 아주 중요하다. 1995년부터 이 GFDL 모델은 국립 허리케인 연구소의 기상예측 가이드로 제공되었다. 그리고 2003년도에는 이 모델의 수직적 해상도와 물리 부분이 아주 많이 개선되었고 기상예측 가이드는 5일 동안으로 연장되었다.

3.9. 북극 해양 모델

Arctic Region Supercomputing Center(ARSC)에서는 다양한 해양 및 기후 현상의 이해를 위한 모델을 만드는 데에 여러 개의 병렬 슈퍼컴퓨터를 사용하고 이 결과는 과학자들의 추후 분석을 위해 고성능 파일 시스템에 저장되기도 한다. 이런 대용량 데이터의 해석에 있어서 가상현실을 이용한 과학적 가시화는 과학자들이 직접 자료를 돌아다니면서 모델의 전체를 관찰 조사하고 이해하는 데에 유용하게 쓰이며 데이터의 잘못된 점을 찾아내는 데에도 도움을 준다. 그런 예의 하나로, ARSC에서는 <그림 6>에서 보이는 레나 강으로부터 흘러나오는 물의 흐름을 보여주는 북극 해양 모델을 만들었다.

특히 민물이 바다와 합쳐지는 3차원 복잡한 구조를 Immersa-Desk에서 보여주어 관찰을 쉽게 도와주었다.



<그림 6> 북극 근처 민물과 바닷물이 합쳐지는 해양 모델의 가시화

4. 기상관련 분야를 위한 가상협업 가시화 환경

기상학처럼 자연 현상을 분석하고 활용해야 하는 분야에서 주로 사용되는 자료들은 너무 복잡하고 그 양도 매우 많기 때문에 일반적인 분석 도구들을 이용해서는 분석 자체가 무척 힘들다. 그래서 과학자들은 이미 앞에서 살펴본 바와 같이 많은 가시화 프로그램들이 개발했고 또 사용해왔었다. 그러나 이렇게 만들어진 가시화 도구들은 일반적으로 한사람만의 과학자를 위해서 존재하거나 혹은 한 곳에 모여 있는 과학자들을 위해서 디자인되어 있는 경우가 많다. 그러나 현실적으로는 많은 과학자들이나 각 분야의 전문가들이 한 곳에 모이기 힘들기 때문에 다른 지역에 분포되어 있는 전문가들이 마치 한 곳에서 함께 작업을 할 수 있도록 도와주는 원격 협업 가시화 프로그램이 절실하게 요구되어지고 있다. 이렇게 다양한 분야의 전문가들이 마치 한 곳에서 협동 작업을 할 수 있도록 개발된 과학적 가시화 협업 가상현실을 기상분야에 활용한 예를 간단히 소개하고자 한다.

4.1. TIDE

TIDE(Tele-Immersive Data Exploration)는 사용자들로 하여금 고성능 즉 슈퍼컴퓨터 정도의 계산 능력이 필요하거나 대용량 자료 처리를 취급하는 데이터 마이닝(Data Mining) 분야에서 몰입형 가상현실 환경을 이용해 대용량 자료를 가시화시켜주고 또한 사용자와 상호작용이 가능한 협업 환경의 구축을 도와주는 가상현실 응용 프로그램이다. TIDE는 방대한 양의 자료를 가시화하여

다른 사용자들과 함께 관찰 및 분석할 수 있는 협업 환경이자 동시에 그런 환경을 좀 더 쉽게 만들 수 있도록 지원하는 프레임워크(framework)로 개발되었다.

TIDE는 첫째로 사용자로 하여금 몰입감이 느껴지는 공간에서 상호작용 조치가 가능한 데이터 가시화를 위해 개발되었다. 두 번째로 가상현실 시스템을 이용해서 자료의 가시화뿐만 아니라 멀리 떨어져 있는 원격사용자와의 협업을 가능하게 만들어준다. 마지막으로 대용량(수 메가바이트부터 테라바이트에 이르는) 자료를 물리적 메모리(physical memory)의 크기에 관계없이 보여주고 살펴볼 수 있는 가시화 프로그램을 쉽게 만들게 도와주는 역할을 지원한다. 기존의 가상현실 가시화 프로그램은 첫 번째와 마지막에 해당하는 부분에 비교적 충실히 지원했던 반면 협업 환경까지 지원해주지는 못했었다. 따라서 TIDE는 University of Illinois at Chicago의 Electronic Visualization Laboratory(EVL)과 National Center for Data Mining에서 공동으로 슈퍼컴퓨터의 계산 능력을 바탕으로 만들어진 자료를 가상현실 기술을 이용해 가시화 및 협동적 분석 도구로써 사용할 수 있도록 개발되었다.

TIDE란 이름의 Tele-Immersion이란 오디오와 비디오 화상회의 시스템이 협업 가상현실 환경(collaborative virtual environments)과 통합되는 것을 의미하는 것으로 TIDE에서 단순하게 과학적인 데이터를 가시화에 그치는 것이 아니라 오디오나 비디오 화상회의 시스템을 이

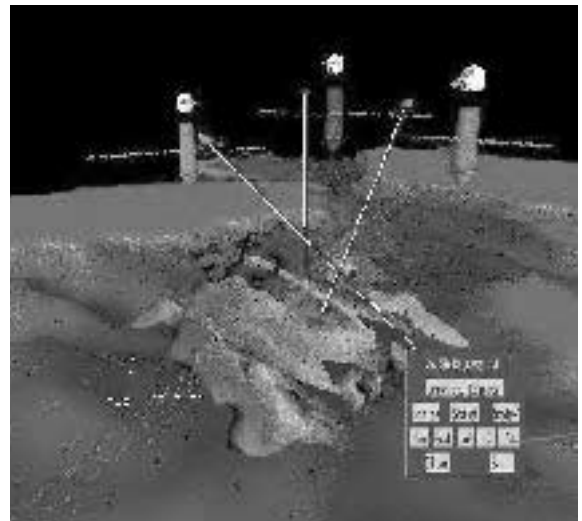
용해 다른 원격지에 있는 사용자들과 협업을 가능하게 해 준다. 원격지에 있는 사용자들이 CAVE나 Immersa-desk 같은 가상현실 시스템을 이용해서(본인의 모습을 보다 단순화하여 3차원 모델로 캐릭터화한 아바타의 모습으로 나타나서) 서로 간의 모습을 확인하고 협업할 수 있는데, 각각의 가상현실 공간 안에 과학자들의 위치가 추적되고 그 결과에 따라 상대방에게 아바타의 위치가 업데이트 되어진다. 그리고 만약 한쪽 편에 있는 사용자가 3차원 공간에 그려진 자료 중 어떤 특정 부분을 가리킨다면 그 반대쪽에 있는 사용자는 자료의 어느 부분이 가리키고 있는지 볼 수 있다. 그리고 TIDE의 사용자들은 서로 같은 지점에서 자료를 함께 보거나 분석하는 것도 가능하다. 또한 한 사용자가 가상공간에서 나가게 되면 더 이상 다른 사용자들과 자료가 공유되지 않고 분리되며 다른 사용자들은 독자적으로 지속적인 연구와 분석이 가능하다.

4.2. CAVE6D

CAVE6D는 Old Dominion University의 Center for Coastal Physical Oceanography와 University of Wisconsin at Madison에서 함께 개발한 CAVE5D를 이후에 Electronic Visualization Laboratory에서 참여하여 CAVERNsoft를 이용해 다수의 원격 사용자들이 기상이나 해양 관련 모델의 다차원 수치 데이터를 가시화 및 분석을 지원해주는 협업 가상현실 환경이다. 대부분의 다른 협업 가시화 가상현실 환경에서는 똑같은 자료의 그래픽 모델을 공유하여 함께 작업하도록 도와준 반면에 CAVE6D에서는 여러 사용자들이 같은 자료를 여러 형태의 그래픽 모델을 이용해 같이 가시화를 공유하거나 따로 분석이 가능하도록 하는 Multiple Collaborative Representation(MCR)을 지원하였다.

〈그림 7〉은 CAVE6D안에서 4명의 사용자들이 Chesapeake Bay 자료를 분석하고 있는 모습을 보여주고 있다. CAVE6D는 TIDE에서와 마찬가지로 단순하게 같은 가상공간을 공유하는 것만 지원하는 것만 아니라 참여자들 간의 오디오/비디오를 이용한 화상회의가 가능하고 그런 기능들을 통해서 다같이 자료를 관찰하고 분석하며 의논할 수 있도록 만들어졌다. CAVE6D에서는 TIDE와 마찬가지로 전체 사용자들이 같은 공간에서 똑같은 형태의 자료를 살펴보고 서로 협력해 분석할 수 있는 기능을 제공해준다. 또한, CAVE6D에서는 사용자가 자신만의 관점에서 자료를 검색하고 관찰하는 MCR 기능을 추가로

지원한다. 즉, CAVE6D 사용자들은 자료의 일부 그래픽 속성을 자신만을 위해서 원하는 부분만 바꾸어 관찰할 수도 있고 또한 전체 사용자들과 다같이 공유할 수 있는 기능을 제공해주어서 좀더 다양한 형태의 협업이 가능하다. 그러나 CAVE6D의 시뮬레이션 시간적 변수는 언제나 동기화되어 있어 CAVE6D의 모든 사용자들에게 동시에 변화하여 나타난다. 즉 CAVE6D에서사용자는 시간의 변수를 앞당기거나 뒤로 미룰 수도 있는데 이 모든 변화는 모든 사용자들에게 시뮬레이션 상의 똑같은 시간적 영향을 미친다. 또한 사용자별로 그래픽 속성을 각자 바꿀 수도 있고 다른 사용자와 함께 공유도 가능한데, 이로인해서로 간에 전혀 다른 관점에서 자료 관찰이 가능하며 또한 한 사용자가 발견한 내용을 다른 사용자들로 하여금 같이 볼 수도 있도록 만들어 준다.



〈그림 7〉 4명의 사용자들이 CAVE6D를 이용해서 Chesapeake Bay 자료를 관찰하고 분석하는 모습

4.3. Meteoview

Meteoview는 National Center for Environmental Prediction(NCEP)이나 NCAR의 분석 자료나 Vis5D같은 가시화 프로그램의 자료 등 다양한 종류의 기상 자료를 CAVE같은 가상현실 시스템에서 보여줄 수 있도록 도와주고 여러 곳에 위치한 기상학자를 비롯한 과학자들로 하여금 함께 자료를 관찰하고 분석할 수 있도록 도와주는 협업 가상현실 가시화 응용 프로그램이다. Meteoview는 다른 과학적 가시화 프로그램들과는 달리 기상 자료에 최적화시켜 대기과학 분야의 과학자들이 실제로 활용하는 데에 좀 더 중점을 두고 개발되었다. 또한 Meteoview는 슈퍼컴퓨터에서 실시간으로 계산하여 CAVE같은 가상현실 시스템에서 실시간 가시화할 수 있도록 만들어졌다

7. 결론

본고에서는 기상 및 해양 관련 자료의 가상현실 기법을 사용한 과학적 가시화의 필요성과 이와 같은 가상현실환경 개발을 위해 주로 사용되고 있는 소프트웨어, 기상관련 현상 분석 및 가시화를 위한 가상현실 기술 개발 및 활용 예, 또한 원격지에 있는 기상학자나 다양한 전문가들이 같이 연구 분석을 가능하게 해주는 가상현실 협업 환경 개발 및 활용 분야를 분석하였다. 최근 발달된 기술들로 인해 현재 기상관련의 자료들은 고화질의 정밀한 현상들을 측정하고 있다. 그러나 이러한 자료는 너무나 크기가 방대하고 또한 복잡한 구조를 가지고 있어서 이런 수치적 자료로부터 과학적 가시화를 필요로 한다. 가상현실이 주는 상호작용적 3차원적 입체영상의 장점 때문에, 최근 많은 연구소에서 이런 복잡한 기상관련 자료를 가상현실 환경에 가시화하여 과학자들이 좀더 쉽게 해양/대기/

기후 현상 분석하고 규명을 하는 데에 사용되고 있다. 또한 이런 기상관련 가상현실 환경은 과학자들의 자료 관찰 분석에만 도움이 되는 것이 아니라 전공학생이나 일반 대중들의 교육용으로도 그 활용 가치가 높다. 나날이 급속도로 발전하고 있는 컴퓨터 연산능력이나 전산통신망은 현재 이미 몇몇 슈퍼컴퓨터 연구소에서 시도하고 있듯이 원격지에 있는 분산 시스템의 활용이나 다양한 형태의 협업 환경 구축을 가능하게 하고 있다. 앞으로도 이와 같은 분산 시스템 활용과 가상현실 기법을 이용한 과학적 가시화는 이제는 슈퍼컴퓨터 연구소에만 국한되는 것이 아니라 개개인의 과학자들이 다양한 현상을 이해하고 분석하는 데에 많이 사용될 것으로 기대된다. 