

기상자료 3차원 가시화 기술개발 연구

서인범[†] · 조민수* · 윤자영**

Development of 3D Visualization Technology for Meteorological Data

In Bum Seo, Min Su Joh and Ja Young Yun

Abstract. Meteorological data contains observation and numerical weather prediction model output data. The computerized analysis and visualization of meteorological data often requires very high computing capability due to the large size and complex structure of the data. Because the meteorological data is frequently formed in multi-variables, 3-dimensional and time-series form, it is very important to visualize and analyze the data in 3D spatial domain in order to get more understanding about the meteorological phenomena. In this research, we developed interactive 3-dimensional visualization techniques for visualizing meteorological data on a PC environment such as volume rendering, iso-surface rendering or stream line. The visualization techniques developed in this research are expected to be effectively used as basic technologies not only for deeper understanding and more exact prediction about meteorological environments but also for scientific and spatial data visualization research in any field from which three-dimensional data comes out such as oceanography, earth science, and aeronautical engineering.

Key Words : VEMD(Visualization Environment for Meteorological Data : 기상자료가시화환경)

1. 서 론

일반적으로 기상자료에는 기상위성자료, 레이더자료, 정규모준측소자료, 자동관측자료, 고층관측자료 등의 관측자료와 전구 수치모델자료, 중규모 수치모델자료, 기후모델자료 등의 각종 수치모델 자료가 있다. 이들 자료는 그 구조가 복잡할 뿐만 아니라 자료의 양이 방대하여 원시자료 자체를 그대로 분석하는 것은 매우 어렵다. 자료에 내재되어 있는 현상을 직관적으로 이해하기 위한 분석기술의 하나로 가시화 기술이 활용되고 있는데, 지금까지 기상자료 가시화 기술은 주로 1차원 또는 2차원 표출에 중점을 두고 개발되어 왔다. 그러나 최근에 3차원 기상현상의 이해에 대한 요구가 늘어나면서 3차원 표출에 대한 수요도 함께 늘어나고 있다.

이에 본 연구는 기상자료의 3차원 가시화 기술개발에 필요한 기능을 데스크탑 개인 컴퓨터환경에서 구현이 가능하도록 기상자료의 가시화 기술을 개발하는데 목적을 두고 수행하였다.

또한 가시화 기술을 개발하는 과정에서 다양한 격자 형태의 기상자료를 효율적으로 표현하기 위한 격자 기상자료 입력 모듈인 기상자료가시화환경(VEMD : Visual Environment for Meteorological Data)을 함께 개발하였다

2. 본 론

2.1 기상자료

본 연구에 사용된 자료는 1996년부터 2000년 까지 5년간의 NCEP/NCAR 재분석 자료이다.

NCEP/NCAR 재분석 자료는 미국 국립환경예측센터(NCEP : National Centers for Environmental Prediction)와 미국 국립대기연구센터(NCAR: National Center for Atmospheric Research)가 과거 자료를 이용하여 새

*한국과학기술정보연구원(KISTI)

**한국과학기술정보연구원(KISTI)

[†](주) 픽소니어

E-mail : rokmc699@pixoneer.co.kr

로운 대기 분석자료를 생성할 목적으로 수행한 NCEP/NCAR 재생산 계획의 결과로 생성된 자료로서, 기상 및 해양 분야에서의 기본 분석 자료로 활용되고 있다. 기상분야에서는 전지구 대기 구조 파악 및 각종 전 지구적 기상현상에 대한 분석 자료로써 활용되며, 해양 분야에서는 해수면온도(SST : Sea Surface Temperature)와 해양관련 현상에 대한 분석에 많이 활용된다.

본 연구에서는 기상자료의 3차원 가시화의 가능성과 효율성을 바탕으로 한 시스템 개발에 중점을 두었으므로, NCEP/NCAR 재분석 자료의 전체 자료 세트를 사용하지 않고 1996년 1월부터 2000년 12월까지 5년 동안의 월별 자료를 사용하여 연구를 수행하였다.

2.1.1 기상자료 구조분석

NCEP/NCAR 재분석 자료는 2.5°×2.5° 간격의 성

긴 격자자료로 연직 17층, 전체 격자는 144×73구조로 구성되어 있다. 또한 자료의 영역범위는 위도 90°에서 -90°, 경도 180°에서 -180°로, 전구에 대한 기상 및 해양 분야에서 기본 분석 자료로 많이 활용하는 자료이며, 생성시간에 따라서 1일 6시간 자료, 1일 평균 자료, 월 평균자료로 구분되며, Pressure Level Data, Surface Data, Surface Flux Data, Other Flux Data, Tropopause Level Data, T62 Spectral Coefficients 등의 6종류의 자료 세트로 구분된다.

각 자료 세트에 대한 설명은 아래의 Table1에서 Table 6에 나타내었다.

2.1.2 시험적용 기상자료 구조분석

본 연구에서 사용한 NCEP/NCAR Reanalysis 자료는 총 14개의 변수와 17개의 연직 등압좌표와 기타

Table 1. Pressure Level Data

Variable on Pressure Level	Units	Least Sig. Digit	Spatial Coverage	Temporal Coverage	Levels
Air Temperature	K	0.1	2.5°×2.5° (90N~90S, 0E~357.5E)	6Hr	1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa
Geopotential Height	m	1.			
Relative humidity	kg/kg	1.			
Specific humidity	Pa/s	0.00001			
Omega(Vertical Velocity)	m/s	0.001			
U-wind	m/s	0.1			
V-wind	m/a	0.1			
Data Set Format & Size					

Table 2. Surface Data

Surface Variables	Units	Least Sig. Digit	Spatial Coverage	Temporal Coverage	Levels
Air Temperature	°K	0.1	2.5°×2.5° (90N~90S, 0E ~357.5E)	6Hr	Surface/Near the Surface (995 Sigma Level)
Surface Lifted Index	°K	0.			
Best(4-layer) Lifted Index	°K	0.1			
Potential Temperature	°K	0.1			
Precipitable Water	kg/m ²	0.1			
Geopotential Height	m	1.			
Relative humidity	%	1.			
Pressure	Pa	10.0			
Omega(Vertical Velocity)	Pa/s	0.001			
U-wind	m/s	0.1			
V-Wind	m/s	0.1			
Sea Level Pressure	Pa	10.0			
Geopotential Height(time invariant)	m	1.0			
Land-Sea Mask	1.0				
Data Set Format & Size			* Data Format : NetCDF, ASCII, Binary, HDF format * File Size : 30Mbyt		

Table 3. Surface Flux Data

Surface Variables	Units	Least Sig. Digit	Spatial Coverage	Temporal Coverage	Levels
Air Temperature at 2m	°K	0.1	T62 Gaussian Grid (88.542N~88.542S, 0E~358.125E)	6Hr	Surface/near the surface
Ice Concentration	(0or1)	1.			
Potential Evaporation Rate	W/m ²	1.			
Pressure	Pa	10.			
Water Runoff	kg/m ²	0.1			
Surface Roughness	m	0.00001			
Specific Humidity at 2m	kg/kg	0.0001			
Soil Moisture(0~10cm)	fraction	0.001			
Soil Moisture(10~200cm)	0.001				
Maximum Temperature at 2m	°K	0.1			
Minimum Temperature at 2m	°K	0.1			
Skin Temperature	°K	0.1			
Temperature of 0~10cm layer	°K	0.1			
Temperature of 10~200cm layer	°K	0.1			
U-Wind at 10m	m/s	0.1			
V-Wind at 10m	m/s	0.1			
Temperature at 300cm	°K	0.1			
Water Equivalent of Snow Depth	kg/m ²	1.			
Data Set Format & Size			* Data Format : NetCDF, ASCII, Binary, HDF format * File Size : 52Mbytes		

Table 4. Other Flux Data

Variables not for the Surface	Units	Least Sig. Digit	Spatial Coverage	Temporal Coverage	Levels
Clear sky upward longwave flux	W/m ²	1.	T62 Gaussian Grid (88.542N~ 88.542S, 0E ~358.125E)	6Hr	Nominal top of atmosphere, Entire atmosphere, High cloud bottom, High cloud top, Low cloud bottom, Low cloud top, Middle cloud bottom, Middle cloud top
Clear sky upward solar flux	W/m ²	1.			
Downward solar radiation flux	W/m ²	1.			
Pressure at high cloud bottom	Pa	10.			
Pressure at high cloud top	Pa	10.			
Pressure at low cloud bott	Pa	10.			
Pressure at low cloud t	Pa	10.			
Pressure at middle cloud bott	Pa	10.			
Pressure at middle cloud top	Pa	10.			
Total cloud cover	%	1.			
Upward longwave radiation flux	W/m ²	1.			
Upward solar radiation flux	W/m ²	1.			
Data Set Format & Size					

Table 5. Tropopause Level Data

Variables at the Tropopause	Units	Least Sig. Digit	Spatial Coverage	Temporal Coverage	Levels
Air Temperature	°K	0.1	2.5° 2.5° (90N~90S, 0E~357.5E)	6Hr	Tropopause
Pressure	Pa	1.0			
Data Set Format & Si			* Data Format : NetCDF, ASCII, Binary, HDF format * File Size : 31Mbyt		

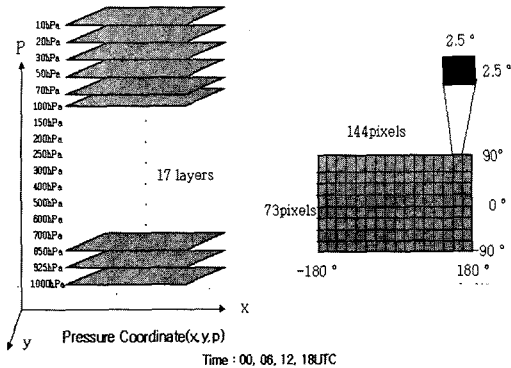


Fig. 1. NCEP/NCAR Reanalysis Data Structure.

Table 8. Available Data Set

Variables	Dimension
Air Temperature	144 × 73 × 17
U-Wind	144 × 73 × 17
V-Wind	144 × 73 × 17
Geopotential Height	144 × 73 × 17
Relative Humidity	144 × 73 × 8
Relative Divergence	144 × 73 × 17
Relative Vorticity	144 × 73 × 17
Specific Humidity	144 × 73 × 8
Stream Function	144 × 73 × 17
Velocity Potential	144 × 73 × 17
Vertical Velocity	144 × 73 × 12

연구에서 구현하고자 한 기상자료3차원 가시화 구현 시스템 개발의 효율성을 높이기 위해서 격자자료 입력 모듈인 기상자료 가시화환경 VEMD를 개발하였으며, 본 연구에서 사용할 기상자료의 파일구조를 VEMD의 구조로 채택하였다. VEMD의 가장 큰 특징은 격자형 기상자료의 입력을 위해 서로 다른 형식의 파일 구조나 자료구조를 가지는 모델 자료들을 별도의 변환 과정 없이 입력자료의 이름과 자료 구성에 대한 입력파일을 작성하는 것만으로도 원하는 자료를 쉽게 받을 수 있다는 것이다. VEMD의 이러한 특징은 다양한 자료 구조를 갖고 있는 기상자료의 가시화에 매우 유용하게 사용된다.

2.1.3 VEMD 자료

1. VEMD 포맷

VEMD는 기본적으로 시간에 따라 저장된 변수를 파일시스템 구조로 자료를 불러들여 입력된 자료를 3차원 가시화하기 위한 기본적 기능과 툴을 포함하고

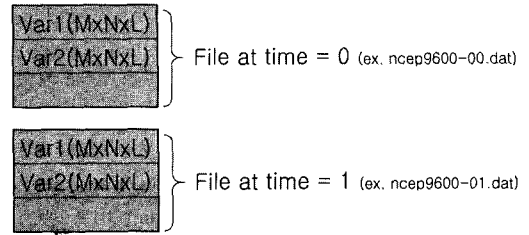


Fig. 2. VEMD File Structure.

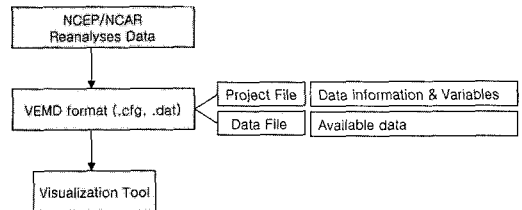


Fig. 3. VEMD Visualization Work Flow.

있는 통합적인 시스템이다. VEMD의 파일시스템은 아래의 Fig. 2와 같다. 기본적으로 VEMD 파일시스템은 각 변수가 포함된 시간별 파일로 보관하며, 동일한 방법으로 다른 파일들을 시간별 파일로 관리한다.

위의 Fig. 2에 나타난 바와 같이 VEMD는 각 변수의 계층이 모여 하나의 파일을 생성하며, 이 파일들이 시간별로 존재하는 구조를 가진다.

2. VEMD 구조

VEMD 구조는 크게, 파일을 조절하는 프로젝트 파일과 분석할 변수들이 포함된 자료 파일로 구성되어 있으며, 자료 처리 과정이 끝나면 그 이후의 가시화 과정을 수행하도록 설계되어있다. 아래의 Fig. 3은 VEMD의 구조를 개략적으로 나타낸 것이다.

가. VEMD 프로젝트 파일

VEMD의 프로젝트 파일은 기상자료의 효율적인 3차원 가시화를 위한 설정 파일로서, 프로젝트 파일의 구조는 아래의 Fig. 4와 같다. 아래의 Fig. 4에 나타난 바와 같이 VEMD의 최대의 장점은 격자화된 자료의 형태를 지정하고 자료의 기본적인 정보만 입력하는 것만으로도 동일 형태의 파일을 별도의 변환 과정 없이 원활히 수행 할 수 있다는 것이다. 이러한 장점은 다양한 형태의 기상자료를 가시화할 수 있는 하나의 동일한 형식의 프로젝트 파일로 묶어 활용할 수 있음을 나타낸다. 즉, 기존의 NCEP/NCAR Reanalysis

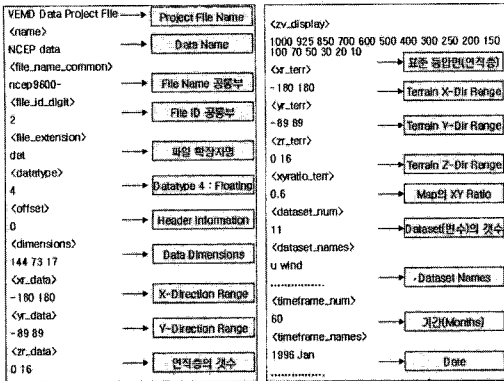


Fig. 4. VEMD Project File Structure.

자료뿐만 아니라 격자화 된 다른 파일들, 예를 들어 ECMWF, MM5, ARPS 등과 같은 격자화 된 모델의 결과값을 VEMD를 이용하여 쉽게 가시화 할 수 있음을 나타낸다. 또한 주어진 영역의 설정을 이용하여 전구 규모의 기상자료뿐만 아니라, 국지/시 규모의 기상자료를 효율적으로 활용할 수 있다.

VEMD 프로젝트 파일의 구조를 간략히 설명하자면, VEMD 프로젝트 파일은 크게 자료의 종류를 결정짓는 부분과 자료의 공통부에 대한 설명부분, 그리고 가시화할 자료에 대한 정보를 설명하는 부분으로 나눌 수 있다. 가시화 하기 원하는 변수와 파일을 입력하는 것으로도 이전의 복잡한 파일구조를 편리하게 관리할 수 있다. 또한 동일한 구조의 기상자료를 별도의 반복 작업 없이 일괄처리 할 수 있는 편리성을 제공한다. 이러한 편리성은 자료의 엑세스 및 자료처리, 자료분석, 자료 가시화에서 매우 유용한 VEMD의 특징을 나타낸다

나. VEMD 자료 파일

VEMD의 파일구조의 하나로서 자료 파일이 있다. 이 파일은 실제로 가시화할 기상자료 변수 파일들을 말하며 자세한 구조는 Table 8에 나타나 있다.

2.2 연구방법

기상자료는 일반적으로 3차원의 다중변수 시계열 자료로 구성되어 있어 효율적인 가시화를 위해서는 적절한 메모리 관리 및 3차원 객체 관리 등이 필요하다. 이에 기상자료의 효율적인 관리와 입출력을 위해서 본 연구에서는 데이터 매니지 클래스(Data Manage class)를 설계하고 구현하였다. 또한 3차원 가시화의

핵심 기술인 ‘계층적 3차원 객체 그래픽’과 ‘3차원 표면 생성’ 알고리즘에 대한 분석 및 적용을 통해 기상자료 3차원 가시화 표출 알고리즘을 구현하였다. 기상자료의 데스크 탑 개인 컴퓨터 환경에서의 가시화를 위해 다양한 공학용 자료의 분석과 가시화에 효율적인 소프트웨어 개발 도구인 IDL(Interactive Data Language)을 이용하였다.

먼저, 프로젝트 파일(.cfg)을 생성함으로써, 기상자료를 VEMD형식으로 변환하고, IDL을 기반으로 만든 가시화 툴을 이용하여 데스크 탑 개인 컴퓨터 환경에서의 기상자료 3차원 가시화 가능성 실험을 수행하였다.

본 연구에서 채택한 VEMD데이터 파일 구조는 Fig. 2와 같으며, 현재 수행한 NCEP/NCAR Re-Analysis 자료는 부동형 자료 형식으로 이미지 인터리브(Image Interleave) 또는 밴드 인터리브(Band Interleave) 구조로 저장되어 있다.

2.3 기상자료 가시화 기술

2.3.1 계층적 3차원 객체 그래픽스

3차원 그래픽은 기본 기하구조를 표현하는 각 정점 좌표를 여러 수학적 변환을 이용하여 화면좌표로 변환하는 과정으로 이루어진다. 기하구조의 기본은 점, 선, 삼각면이라고 할 수 있으며, 이러한 기본적인 기하구조를 그래픽 기본요소라 한다. 이러한 기본 요소를 확장하여 폴리라인, 폴리곤 등의 보다 복잡한 기하구조를 표현하게 되는데, 이 3차원 기하구조를 컴퓨터 프로그램 내부에서 관리하는 것은 상대적으로 복잡하고 번거로운 문제이다. 월드좌표계를 가지는 3차원 기하구조를 하나의 객체로 만들고, 시점과 시야각 등의 설정에 따른 수학적 변환 매트릭스를 모델, 뷰 객체 등으로 따로 관리하여 하나의 그래픽 객체 트리를 형성하면 3차원 그래픽 관리 및 제어가 매우 편리해진다. 또한 그래픽 객체 트리를 렌더링 할 목표 윈도우나 프린터 등도 하나의 객체로서 그래픽 파일 라인의 맨 마지막 단계를 수행하게 된다. 이것을 계층적 3차원 객체 그래픽이라고 한다. 계층적 객체 그래픽스의 이점은 공간 안에 있는 객체에 대한 접근, 변경이 언제든지 가능하기 때문에 객체 상태의 변화나 시점, 뷰의 변화를 쉽게 가할 수 있으며, 변경된 객체 계층은 실시간으로 렌더링되어 변화를 즉시 반영할 수 있다.

본 연구의 데스크탑 개인 컴퓨터 환경상에서의 3차

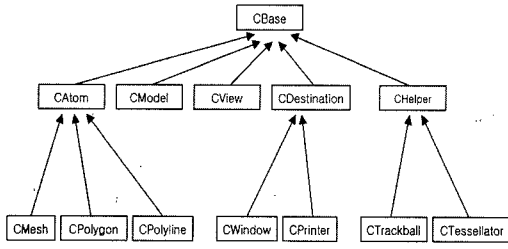


Fig. 5. 3D Object Graphics Class Diagram.

원 기상자료 분석/가시화 기술 개발의 도구는 IDL에서 이미 지원하는 계층적 객체 그래픽스를 사용하였다. 계층적 객체 그래픽스의 객체는 크게 4가지 범주로 나뉘는데, 각 그래픽 요소를 포함하는 아톰(Atom) 객체들, 시점, 뷰에 대한 변환정보를 갖게 되는 모델 및 뷰 객체들, 각 아톰 객체들이 렌더링 될 목표 객체(Destination objects)들, 트랙볼과 테셀레이션(Tessellation) 등을 담당하는 헬퍼(Helper) 객체들이 그것이다. 아래의 Fig. 5는 계층적 3차원 객체 그래픽스를 위한 클래스 상속도를 나타낸 것이다.

2.3.2 3D Surface Generator

3차원 공간데이터 형태를 갖는 기상데이터는 같은 물리량을 갖는 3차원 등치면을 생성하여 가시화할 필요가 있다. 이것을 3차원 표면 생성이라고 하는데, 구현하는 알고리즘은 여러 가지가 제안되어 있으나 가장 전통적인 것은 Lorensen and Cline⁽²⁾(1987) 등이 제안한 마칭큐브 알고리즘(Marching Cubes Algorithm)이다. 모든 알고리즘의 입력은 3차원 그리드 데이터가 되고, 출력은 수 많은 삼각면의 리스트와 각 정점에서의 법선벡터가 된다.

1. 마칭큐브 알고리즘

마칭큐브 알고리즘은 분할 점령방식(Devide-and-Conquer Approach)을 사용하여, 인접하는 두개의 단면에서 각각 4개의 점, 즉 총 8개의 정점으로 만들어지는 논리적인 큐브 안에 표면을 생성한다. 이 알고리즘은 3차원 표면이 논리적인 큐브와 접하는 방식을 결정해서 삼각면의 정점을 계산하고, 다음 큐브로 이동하여 전체 3차원 표면을 생성하게 된다. 8개의 점에서의 값이 생성하고자 하는 3차원 표면등치값 보다 큰 경우나 작은 경우의 두 가지 상태를 갖기 때문에, 한 큐브의 상태는 총 256가지를 가지게 된다. 256가지의

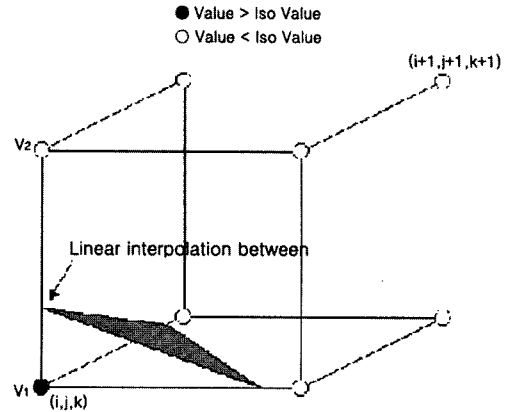


Fig. 6. Marching Cubes Algorithm.

상태에 따라 삼각면을 생성하는 것은 매우 비효율적인 작업이기 때문에, 정점의 상태가 반전될 경우 삼각면의 토폴로지가 변하지 않는다는 점과, 큐브가 회전 대칭 특성을 갖는다는 점에 착안하여 256개의 상태는 15개의 상태로 줄일 수 있다. 아래의 Fig. 6은 8개의 정점 중 한 개만이 지정된 등치값보다 큰 경우에 삼각면을 생성하는 예를 나타낸 것이다. 삼각면의 각 정점은 양끝의 두 큐브 꼭지점 값을 선형내삽하여 상대적인 위치를 정하여 계산한다

2. 마칭큐브 알고리즘 구현

마칭큐브 알고리즘은 다음 6단계의 스텝에 따라 구현될 수 있다.

제 1단계 과정은 k번째 단면에서 (i,j) , $(i+1,j)$, $(i,j+1)$, $(i+1,j+1)$ 의 4개의 점을 읽고, k+1번째 단면에서 (i,j) , $(i+1,j)$, $(i,j+1)$, $(i+1,j+1)$ 의 4개의 점을 읽어 하나의 큐브를 생성한다. 제 2단계는 8개의 각 정점과 지정된 등치값을 비교하여, 각 정점의 상태(1 or 0)를 결정한다. 제 3단계는 각 정점 상태로부터 미리 계산된 에지테이블(Edge-table)을 참조하여, 삼각면이 교차하는 변(Edge list)을 가져온다. 제 4단계는 각 변의 두 정점에서의 데이터 값을 사용하여 선형 내삽한 점의 위치를 구한다. 이 점은 생성하는 3차원 표면을 구성하는 삼각면의 한 점이 된다. 제 5단계는 큐브의 정점에서 단위 법선 벡터를 구한 뒤 단계 4에서처럼 선형내삽하여 삼각면의 정점에서 단위 법선 벡터를 구한다. 제 6단계는 4단계와 5단계에서 계산된 삼각면의 정점과 법선벡터를 리스트에 추가한다

3. 구현 결과 예

본 연구에서 적용한 마칭큐브 알고리즘의 구현 결과는 아래의 Fig. 7, 8과 같다

위의 Fig. 7은 기온이 223K인 등치면을 마칭큐브 알고리즘을 이용하여 구현한 결과이며, 아래의 Fig. 8은 의료분야에서 많이 사용하는 MRI 자료를 이용하여 인체의 머리부분을 3차원 등치면으로 구현한 결과이다.

2.3.3 2차원 등치선 생성 기법

2차원 격자 데이터 형태를 갖는 기상자료의 등치선

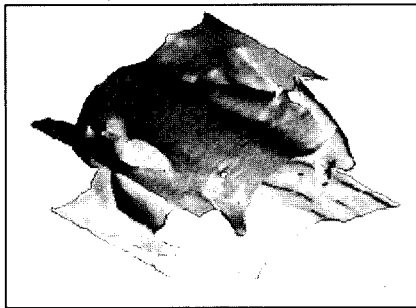


Fig. 7. Iso-surface of Temperature (140×73×17) at 223°K.

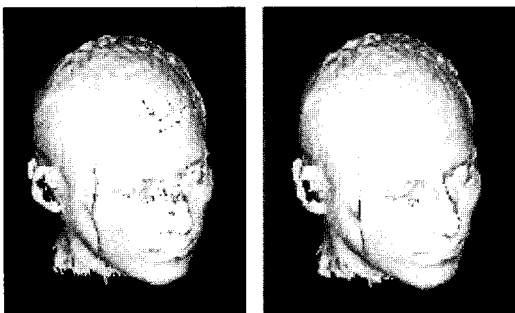


Fig. 8. Iso-surface of MRI data(80×100×57) left: with IDL, right: with C.

을 생성하는 알고리즘도 3차원 등치면 생성 알고리즘과 매우 흡사하다. Fig. 6에서 보듯이 각 격자의 상태는 총 16가지가 존재하게 되며, 각 상태에 따라 등치선 성분(Contour line segment)를 생성해 주고 순서에 따라 연결하게 되면 등치선을 구할 수 있다. 여기서 연속적으로 생성된 선성분(line segment)들을 연결하기 위한 인덱스를 찾는 바이너리 서치 알고리즘(Binary Search Algorithm)을 구현하였다

1. 라니 세그먼트

아래의 Fig. 9는 본 연구에서 적용한 2차원 등치선 생성 알고리즘의 구현 결과이다.

3. 결과 및 분석

본 연구에서는 전통적인 1차원, 2차원 가시화 분석 기능을 구현하였을 뿐만 아니라, 3차원 가시화 분석 기능을 구현하였으며 각 가시화 객체에 대한 제어 원

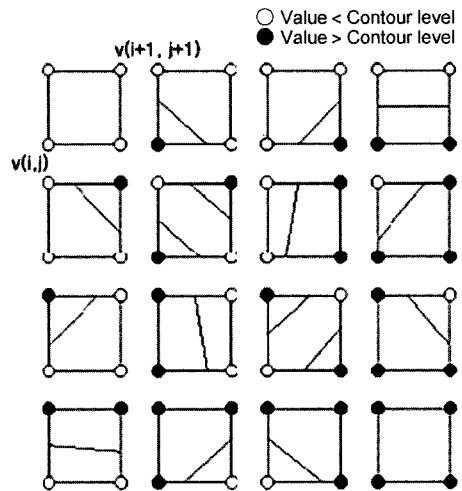


Fig. 9. Edge and vertex status in Contour Generation Algorithm.

Table 9. The configuration of VEMD

	1D tool	2D tool	3D tool
기능	-Data Statistics -Timeseries	-Data Visualization -2D Anomaly -Difference	- World Map - Contour/Shading - Iso-Surface - Volume Rendering - Wind Vector
비고	Interactive Analysis Tool		3D visualization and Analysis Tool

도구를 지원하였다. 또한, 본 연구에서 구현하고자 하는 기상자료 가시화 기술의 적용부분에 대한 세부 내용은 아래 Table 9와 같다.

본 연구에서는 또한, 시간에 따른 볼륨 자료간의 연산을 지원하여 각 물리량에 대한 수학적 연산 결과를 가시화 결과로 표현할 수 있도록 지원하며, 2차원 라인 플로팅으로는 각 공간 자료의 특정 방향에 대한 연직 구조와 특정 공간위치에 대한 시계열분석 등을 구현하였다.

본 연구 결과에서 주목할 것으로는 3차원 가시화 객체로 구현된 물리량에 대한 가시화 결과(바람벡터, 등치면, 볼륨렌더링, 3차원 컨투어링/셰이딩 등)를 시간에 따라 애니메이션 시킴으로써 복잡한 대기현상에 대한 직관적인 분석이 가능하도록 하였다는 것이다.

3.1 3차원 기상자료 가시화

본 연구에서는 기본적으로 3차원 입체 지형 위에서의 기상자료의 가시화를 전제로 하여, 기상자료의 표출시 지형의 영향을 고려하였다. 아래의 Fig. 10은 3차원 지형기반에서 수행되는 기상자료 분석/가시화 시스템의 초기화면을 나타낸 것이다. 초기화면상에서 분석 및 가시화 기능은 아이콘으로 설정하여 나타내었다. 또한 Fig. 11은 본 연구에서 채택한 기상자료 입력 모듈인 VEMD 프로젝트 파일(.cfg)을 열어 기상자료를 입력하는 과정을 나타낸 것이다.

위의 Fig. 10은 3차원 입체 지구 지형을 가시화 한 것이다. 이러한 3차원 입체 지형의 채택은 지구기상자료의 가시화에 있어서, 지형에 의한 기상현상의 변화를 분석하는데 유용한 도구가 된다. 또한 기상현상의 분석을 위한 제반 지형의 고저와 지형적 특성 반

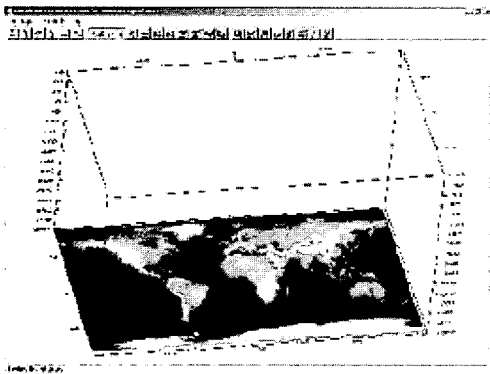


Fig. 10. VEMD 3D World Map Window.

영을 통해 특정 지역에서의 기상자료의 해석을 어떻게 할 것인지에 대한 의사 결정을 도와주는 도구로서의 사용이 가능하다.

본 연구에서는 기상자료의 3차원 분석 및 가시화를 위해 3차원 컨투어링/셰이딩, 등치면, 볼륨렌더링, 바람벡터 분석 기능을 적용하였다. 이 기능들은 표준 등압면에 대한 기상장의 3차원 분석, 변수간 중첩을 통한 기상장 이해증진, 대기의 수평 및 연직구조의 입체적 파악에 유용하게 사용된다. Fig. 12에서 Fig. 16은 본 연구를 통해 개발된 3차원 기상자료 가시화 기술을 이용하여 기상자료를 표출한 사례들이다.

위의 Fig. 12는 기상자료 3차원 표출을 위한 3차원 컨투어링/셰이딩에 대한 설명과 그 결과를 나타낸 것이다. 3차원 컨투어링과 셰이딩 가시화는 각 연직 등압면 상에서의 기상자료의 공간적 분포를 명확히 분석할 수 있는 도구이다. 또한 1차원 자료 통계기능을 활용하여 각 변수의 임계치를 참고하여 원하는 값의 범위 내에서 값을 표시할 뿐만 아니라 연구자가 원하는 다른 색상을 지정하도록 하여, 보다 효율적인 분석 기능을 부여하였다.

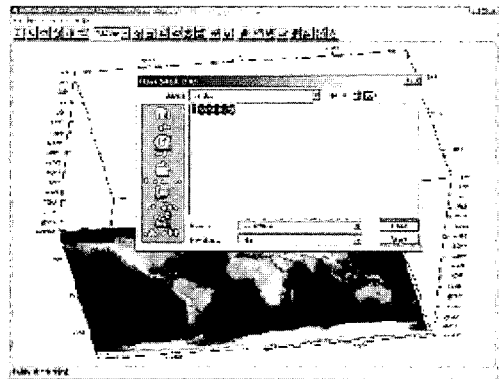


Fig. 11. Open VEMD 3D Configuration file.

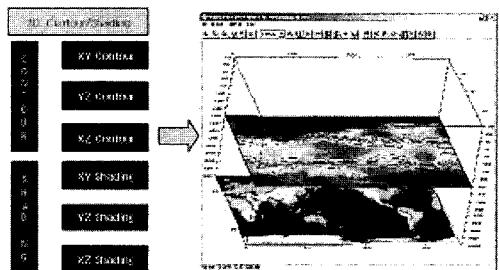


Fig. 12. VEMD 3D Contour/Shading.

아래의 Fig. 13은 전구기상자료에서 기온이 220K 인 등치면을 가시화한 결과를 나타내며, Fig. 14는 기온이 220K인 등치면과 기온의 연직 및 수평분포 분석을 위한 단면도, 그리고 기온자료의 공간적 분포를 분석하기 위한 볼륨렌더링 구현 결과를 함께 표출한 예이다.

아래의 Fig. 15는 500hPa 연직 등압면 상에서의 바람장 벡터를 가시화한 결과를 나타낸 것으로 이는 기존의 2차원 바람장 벡터 분석에 비해 각 연직 등압면에 대한 바람장 벡터의 분포와 운동에 대한 가시적이고, 직관적인 분석에 효율적이다.

위의 Fig. 16은 하나의 화면에 여러 기상 변수들을 디스플레이 할 수 있도록 구현한 예를 나타낸 것이다. 이러한 구현은 3차원 공간상에서 각 기상 변수들의

분포를 직관적으로 이해할 뿐만 아니라, 각 변수간의 분포 및 변수간 관계를 한 눈에 파악하기 위해서 유용하다.

위의 Fig. 17은 윈도우상에 3차원으로 표출된 결과를 애니메이션 기능을 이용하여 시간에 따른 변화를 분석하고, 미디어파일로 저장할 수 있는 기능을 나타낸 것이다.

3.2 2차원 가시화 기술 개발

본 연구에서는 기상자료의 효율적이고 직관적인 분석 도구로서 1, 2차원 분석 및 가시화 기능을 개발하였다. 이는 기상현상의 과학적 접근을 용이하게 도와 줄 뿐만 아니라, 기존 분석법의 활용을 통해 3차원 가시화 기능을 더욱 효율적으로 사용하기 위해서 채택하였다. 3차원 가시화 기술은 기상현상의 직관적 분

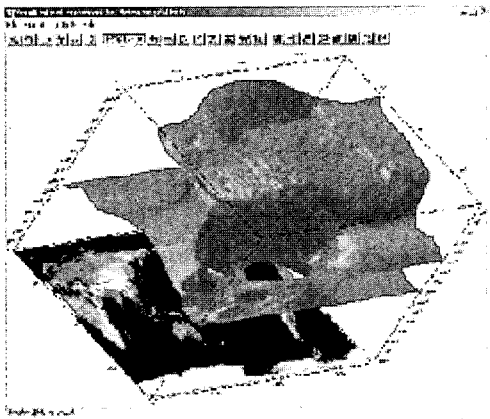


Fig. 13. VEMD Iso-Surface(Temp=220°K).

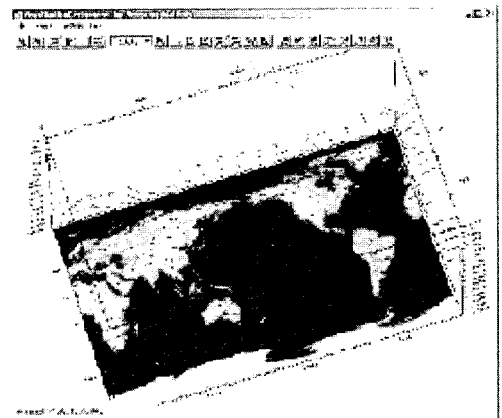


Fig. 15. VEMD Wind Vector at 500hPa.

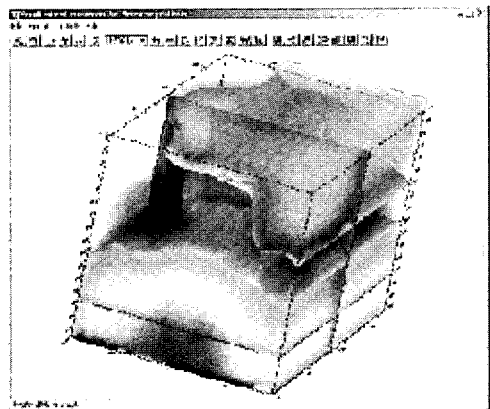


Fig. 14. VEMD Volume Rendering with Cross-section and Iso-Surface.

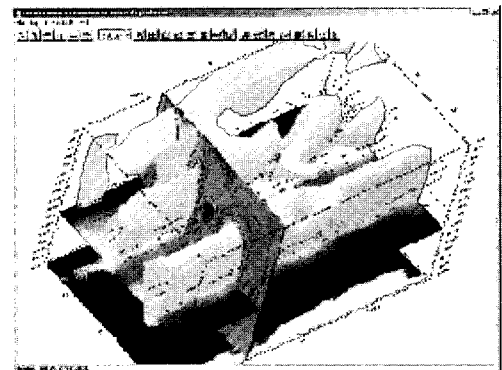


Fig. 16. VEMD Multi Objects Display.

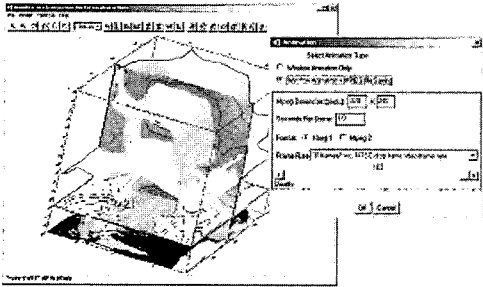


Fig. 17. VEMD Animation Display.

석에 유용하며, 2차원 분석 기술은 기상현상의 물리적 이해를 돕기 위한 도구로 활용하였다. 아래의 Fig. 18은 기상자료의 기후학적 특성 분석을 위해 제공된 아노말리 분석(Anomaly Analysis)기능을 나타낸 것이다.

위의 Fig. 19는 기상자료의고도 간 차에 의한 변화 탐지를 나타낸 것이다. 즉 동일한 변수의 연직 등압면 상에서의 분포와 그 변수의 연직 차를 구하여 어떤 변수가 기상현상에 우월하게 영향을 미치는지를 분석하는 도구이다. Fig. 20은 동일한 기상변수의 시간차에 따른 변화를 나타낸 것이며, Fig. 21은 변수차에 따른 변화를 나타낸 것이다. 아래의 Fig. 22는 기상자료의 3차원 분포를 2차원 화면에 도출하여 기상장의 내부를 보다 과학적으로 분석하기 위한 도구로서 제공된 2차원 자료 분포 가시화도구(Data Distribution Visualizer)를 나타낸 것이다. 3차원 공간분포를 가지는 기상자료의 특성을 반영하여 3차원 등치면 분

석, 볼륨 렌더링, 바람장 분석과 같은 3차원 기상자료 표출 시 원하는 지점의 위/경도 좌표와 연직 등압면 상의 고도와 각 방향으로의 단면에 대한 정보를 제공함으로써 기상자료의 구조를 3차원적으로 쉽게 이해할 수 있도록 하였다. 또한 연구자의 분석을 쉽게 하기 위해 원하는 색상의 선택 기능과 변수의 선택을 지원하는 기능도 추가 구현하였다.

3.3 1차원 가시화 기술 개발

본 연구에서는 2, 3차원 자료 가시화의 기초자료로서 자료의 분포 및 최소 및 최대값, 평균값 등 자료 가시화에 필요한 유효값에 대한 정보를 제공하는 기상자료 변수 통계정보(Data Statistics) 기능을 구현하였다. Fig. 23은 기상 자료 변수 통계정보 기능의 유

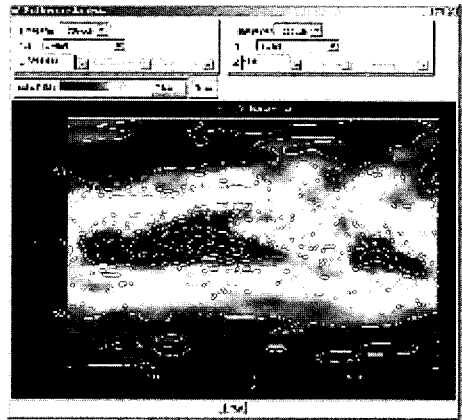


Fig. 19. VEMD Vertical Difference Analysis.

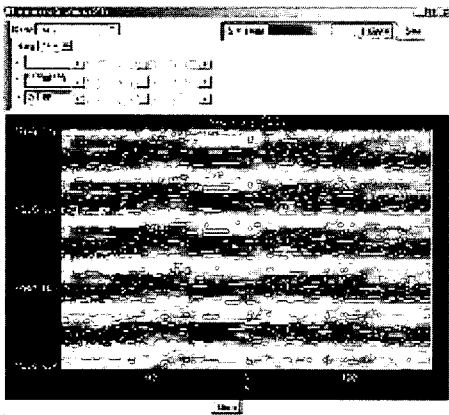


Fig. 18. VEMD Anomaly Analysis.

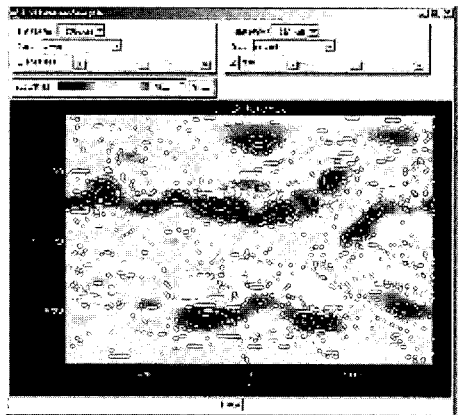


Fig. 20. VEMD Time Difference Analysis.

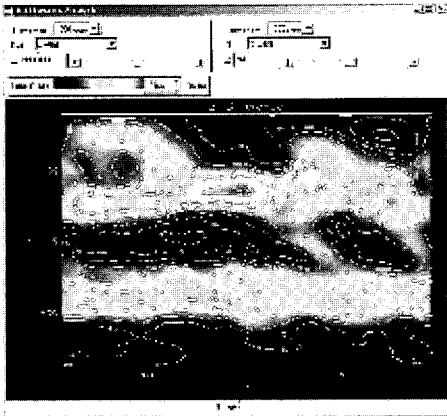


Fig. 21. VEMD Variables Difference Analysis.

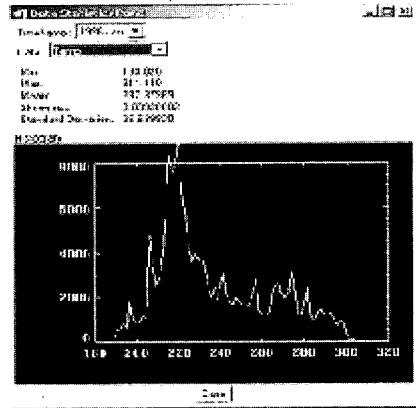


Fig. 24. Data Statistics Analysis Window.

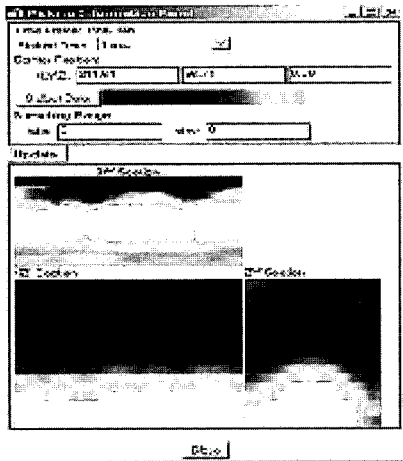


Fig. 22. VEMD Data Distribution Visualizer.

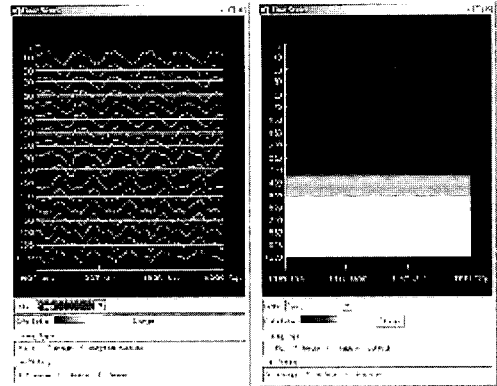


Fig. 25. Time-series Analysis Window.

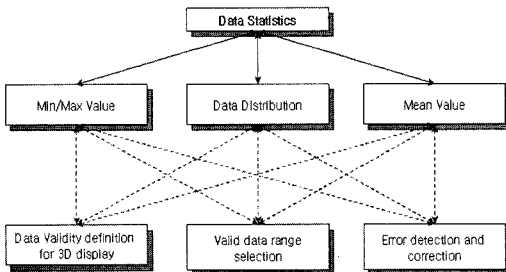


Fig. 23. Data Statistics flow diagram.

용성과 활용을 다이어그램으로 나타낸 것이다. 기상 자료의 통계적 특성 분석은 변수의 유효범위 및 자료 입력력에 따른 오류를 점검하기에 적합하다. Fig. 25

는 주어진 기상자료에 대한 시계열 분석을 나타낸 것이다. 분석하고자 하는 자료의 연변화나 계절별 변화 및 위/경도별 변화, 대상지역별 시계열 분석 기능을 지원한다. 이러한 기능의 구현은 본 연구의 목적이 단순히 기상자료의 가시화 기술에만 있는 것이 아니라 효율적인 현상 분석을 위한 방법의 제시 및 검토에도 있음을 보여주는 예이다.

4. 결 론

본 연구를 통해 개발된 데스크탑 개인 컴퓨터 환경에서의 기상자료 3차원 가시화 기술은 현재 개인 컴퓨터 성능의 비약적인 발전 및 가시화 기술의 향상과 함께, 최적의 응답 속도 및 효율적인 메모리 관리가 가능하다. 방대한 양의 공간자료를 빠른 시간에 렌더링 하는 것은 물론, 동적인 시야 확보 및 이동, 회전, 확

대 등에서 빠른 성능을 보여주었을 뿐만 아니라 자료 갱신과 애니메이션 등의 기능 수행에서도 빠른 성능을 확보해 주었다.

본 연구를 통해 활용도가 증대하고 있는 3차원 자료 가시화 기술을 기상자료 가시화 부분에 효과적으로 적용할 수 있다는 것을 확인하였다. 확보된 기상자료의 3차원 가시화 기술개발의 기술적 적합성을 바탕으로 향후 기상분야 이외의 해양, 환경 및 공학 분야 등 방대한 자료의 처리, 분석, 가시화가 요구되는 분야로의 가시화 기술의 확대 적용이 가능하다. 또한 미세한 규모의 과학적 현상의 분석과 이해를 위한 응용도구의 개발과 그 시험에서의 다양한 접근 또한 가능하다.

본 연구에서는 데스크탑 개인 컴퓨터 환경에서 기상자료의 3차원 가시화 기술을 적용하였으나, 연구에 사용한 IDL을 사용할 경우 별도의 변환 과정이 없이도 워크스테이션에서의 운용이 가능하다. 따라서 기

존의 플랫폼의 변경에 따라 소모되던 시간적, 물질적 노력을 많이 단축하여 연구의 효율성을 더 높일 수 있다.

참고문헌

- 1) Foley, van Dam, Feiner, Hughes, 1997: Computer Graphics, Principles and Practice, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, pp.201~226.
- 2) Lorensen and Cline, 1987: Marching Cubes : A high resolution 3D surface construction algorithm. Computer Graphics, Vol. 21, pp.164~166.
- 3) Liam E. Gumley, 2001: Practical IDL Programming., Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, pp.201~319.
- 4) Ronn Kling, 1999: Application Development with IDL, Ronn King Consulting, Warrenton, VA 20187, pp.5~131.