

화산재 확산 예측결과의 삼차원 가시화 기법

3D Visualization Techniques for Volcanic Ash Dispersion Prediction Results

윤준희* · 김호웅** · 김상민*** · 김태훈****

Youn, Jun Hee · Kim, Ho Woong · Kim, Sang Min · Kim, Tae Hoon

요 旨

대한민국은 화산재해로부터 안전한 지역으로 알려져 왔다. 그러나 최근의 관측 결과들은 한반도 최 북 단에 위치한 백두산이 더 이상 휴화산이 아님을 보여주고 있다. 백두산 화산이 폭발한다면 남한지역에서는 화산재에 의한 다양한 피해가 예상된다. 특히 공중의 화산재는 운항되는 비행기의 계기판 및 엔진을 마비시킴으로써 대형 항공사고를 유발할 수 있다. 따라서 화산재의 삼차원 확산을 예측하여 화산재가 있는 항로를 비행할 것으로 예상되는 비행기 운항을 중지시키는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 화산재 확산 예측결과의 삼차원 가시화 기법을 다룬다. 우선 화산재 확산 예측 데이터의 취득에 대하여 소개한다. 확산 예측 데이터는 화산재 확산 시뮬레이션 프로그램인 Fall3D를 이용한다. 다음으로 세 가지 화산재 확산 예측결과의 가시화 기법을 제안한다. 첫 번째 기법은 ‘공중의 큐브’ 방식으로 화산재의 입자 농도별로 다른 색을 가진 반투명 큐브를 공중에 배치하는 방식이다. 두 번째 기법은 ‘큐브안의 큐브’ 방식으로 ‘공중의 큐브’ 방식을 개선하여 농도의 정도에 따라 큐브의 분할 정도를 달리하여 배치하는 방식이다. 마지막 방식은 ‘반투명 화산재 평면’ 기법으로 화산재 농도를 가지고 있는 레이어 들을 적층하고 투명효과를 적용하는 방식이다. 본 논문에서 제시한 방법을 기반으로 사용자는 목적에 맞는 방식대로 화산재 확산 예측 결과를 삼차원 가시화 할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 백두산, 화산재해, 화산재, 확산 예측, 삼차원 가시화

Abstract

Korea has been known as volcanic disaster free area. However, recent surveying result shows that Baekdu mountain located in northernmost in the Korean peninsula is not a dormant volcano anymore. When Baekdu mountain is erupting, various damages due to the volcanic ash are expected in South Korea area. Especially, volcanic ash in the air may cause big aviation accident because it can hurt engine or gauges in the airplane. Therefore, it is a crucial issue to interrupt airplane navigation, whose route is overlapped with volcanic ash, after predicting three dimensional dispersion of volcanic ash. In this paper, we deals with 3D visualization techniques for volcanic ash dispersion prediction results. First, we introduce the data acquisition of the volcanic ash dispersion prediction. Dispersion prediction data is obtained from Fall3D model, which is volcanic ash dispersion simulation program. Next, three 3D visualization techniques for volcanic ash dispersion prediction are proposed. Firstly proposed technique is so called 'Cube in the Air', which locates the semitransparent cubes having different color depends on its particle concentration. Second technique is a 'Cube in the Cube' which divide the cube in proportion to particle concentration and locates the small cubes. Last technique is 'Semitransparent Volcanic Ash Plane', which laminates the layer, whose grids present the particle concentration, and apply the semitransparent effect. Based on the proposed techniques, the user could 3D visualize the volcanic ash dispersion prediction results upon his own purposes.

Keywords : Baekdu Mountain, Volcanic Disaster, Volcanic Ash, Dispersion Prediction, 3D Visualization

Received: 2016.03.03, accepted: 2016.03.23

* 정회원 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 수석연구원 ((Member, Senior Researcher, ICT Convergence and Integration Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, younj@kict.re.kr)

** (주)이지스 부장(General manager, EGIS CO. LTD, hwkim@egiskorea.com)

*** (주)이지스 대리(Researcher, EGIS CO. LTD, plusvolt@egiskorea.com)

**** 교신저자 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 수석연구원(Corresponding Author, Member, Senior Researcher, ICT Convergence and Integration Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, kthj@kict.re.kr)

1. 서론

대한민국은 그간 화산재해에 대하여 안전한 지역으로 분류되어 왔으나, 최근의 관측 및 연구결과들은 더 이상 한반도가 화산 재해로부터 안전한 지역이 아님을 보여주고 있다. 백두산은 900년대 대폭발 이후 대규모 분화를 보이고 있지 않아 휴화산으로 분류되어 왔다. 그러나 문헌상으로는 1668년, 1702년, 그리고 1903년에 중소 규모의 분화를 한적이 있다(KMA, 2011). 또한 2002년부터 다시 활발하게 지각활동을 개시하여 매달 10에서 15차례 지진이 발생하는 것으로 관측되고 있으며, 이 지진파의 분석 결과 백두산 지하에는 거대한 마그마 방이 존재하는 것으로 알려졌다(Kim and Youn, 2014). 이에 따라 전문가 들은 1996년 국제지질대회 이후 현재 백두산을 분화 위험이 있는 활화산으로 규정하였다(Jiang et al., 2013). 900년대의 백두산 화산 폭발은 2010년 아이슬란드 화산폭발의 1,000배 이상 수준(KMA, 2011)으로써 이 정도의 폭발이 발생할 경우 우리나라는 물론 동북아 일대 대규모의 정치적 혼란과 경제적 피해가 예상된다. 한국 정부에서도 이와 같은 위험성을 인식하여 국민안전처 주관으로 2012년부터 ‘화산재해 대응시스템 개발’ 연구과제를 통해 화산재해의 피해를 예측하고 대응하는 IT 기반 시스템의 구축기술을 개발하고 있다.

백두산 화산이 폭발 할 경우, 다양한 화산재해 중 남한은 화산재로 인한 피해가 클 것으로 예상된다. 화산 폭발 시 예상되는 재해의 원인은 화산재(volcanic ash), 화산이류(volcanic mudflow), 화산성 홍수(volcanic flood), 화쇄류(pyroclastic flow) 등이 있다. 백두산에 화산이 폭발할 경우, 화산재를 제외한 나머지 재해 들은 백두산 인근의 중국 및 북한 지역에 영향을 줄 것으로 예상되며 남한 지역은 화산재에 의한 피해가 가장 클 것이다. 화산재로 인한 피해는 인명, 건물, 도로, 철도, 항공, 전력, 수도, 농작물, 산림, 수산물 등 다양하다. Jiang et al.(2013)은 이러한 각 항목에 따른 구체적 피해의 종류를 비가 내리는 경우와 비가 내리지 않는 경우로 구별하여 정량적으로 구분하였다. 이 연구 결과에 따르면 화산재로 인하여 항공, 도로, 철도 등 교통기능이 마비되면 위험지역으로 운송이 어려우며 국내외 물류 시스템이 완전히 마비될 수 있는 것으로 보고 있다. 또한 물류 시스템이 마비될 경우, 원재료 공급로 및 상품 공급망에 차질이 생기며 기업 활동 자체가 마비될 수 있는 것으로 보고 있다. 특히 대외 수출 의존도가 높은 한국의 경우, 수출의 약 25%를 차지하는 항공수출에 차질이 발생할 우려가 있다(Jiang et al., 2013). 화

산재로 인하여 항공기의 운항이 불가능한 이유는 우선 기장의 시야를 가리는 예를 들 수 있다. 이보다 더 큰 문제는 화산재로 인하여 계기판이 마비되고, 화산재에 포함된 규소가 엔진 작동을 마비시킴으로써 대규모 항공사고를 발생시키는데 있다. 따라서 화산이 폭발할 경우 예상되는 화산재의 확산 영역을 가시화 하여 적절한 대응을 하는 것이 필수적인 것이다. 특히, 항공기의 안전 측면에서는, 입체적인 항공기 운항 경로를 삼차원 화산재 확산예측 가시화 결과와 비교하여 운항 중단 및 허가 여부를 결정하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 화산재의 확산을 가시화하여 항공교통에 미치는 영향들을 분석한 다양한 연구들은 Scani and Folsh(2013)과 Günther et al.(2015) 등이 있다.

화산재의 확산을 가시화하려는 시도로는 기존에 폭발된 화산에 대하여 위성영상을 이용해 그 위치 및 농도를 파악하고 이를 삼차원으로 보여주는 연구가 있다. Simmon(2011)은 CALIPSO (Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation)와 MODIS 위성의 데이터를 융합하여 2010년에 발생한 아이슬란드 Eyjafjallajkull 화산의 화산재 가시화를 시도하였다. 이 연구에서 저자는 CALIPSO 위성데이터로 화산재의 삼차원 위치를 취득하고 이를 MODIS 영상과 중첩하여 표현하는 방식을 제안하였다. Simmon(2011)의 가시화 기법은 화산재 구름의 윗부분만 표현이 가능한 한계가 있으며, 위성 영상에서 위/경도에 해당하는 이차원 위치만 가시화 하였다. 이 연구에서 화산재의 고도를 보기 위해서는 다른 화면에 프로파일 그래프(예: Y축-고도, X축-경도)를 보여주는 방식을 취하였다. 화산재의 고도 별 분포를 감지하여 가시화하는 연구는 Maes et al.(2016)에 의하여 시도되었다. 이 연구에서는 MetOp 위성에 탑재된 IASI(Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) 센서를 이용하여 2011년에 발생한 칠레 Puyehue 화산폭발 시 수직방향 화산재의 분포를 감지하여 가시화 하였다. 이 연구 역시 삼차원 데이터를 실제 지상 수치표고모형과 영상위에 보여주는 부분에서는 한계가 있었다. Günther et al.(2015)은 2011년 5월과 6월에 걸쳐 3주안에 발생한 세 곳(아이슬란드, 칠레, 에리트레아)의 화산폭발 시 화산재의 농도, 고도, 궤적 등을 위성데이터 기반으로 가시화 하였다. 이 연구에서는 화산재 농도와 궤적을 색을 달리하여 삼차원 상에 표현하고 항공 교통에 미치는 영향을 분석하였다.

위성데이터를 이용하여 기 폭발된 화산재를 시각화하는 위의 시도와 다르게 폭발하지 않은 화산재의 폭발을 가정하여 예측하고 그 결과를 삼차원 가시화 하려는

연구가 있었다. Park and Choi(2013)는 백두산 화산에 대하여 FLEXPART 확산 모델을, Kim et al.(2013)은 Fall3D 모델을 사용하여 화산재의 확산을 시간대 별로 삼차원 가시화하였다. 이 두 방식은 농도를 나타내는 영역을 동적으로 세분화함으로써 입자의 수가 기하급수적으로 늘어남에 따라 계산속도가 많이 걸리는 단점이 있다(MPSS, 2015). 이러한 단점을 극복하기 위해 Kim et al.(2015)은 공간을 격자화 하여 격자의 중간 지점 값을 격자의 대표값으로 지정하여 삼차원으로 가시화 하는 방안을 제안하였다.

본 논문에서는 Fall3D를 이용하여 화산재의 확산 예측결과(농도 및 위치 값)를 구하고 이를 삼차원으로 가시화 하는 기법을 다룬다. 과학적 현상을 가시화 하는데 있어 하나의 해결책만 존재하는 것은 아니다. 많은 과학적 프로그램들의 가시화는 데이터 분석자들의 집단에 맞도록 만들어졌으며 대중들에게는 적합하지 않을 수 있다(Simmon, 2011). 따라서 비전문가들이 직관적으로 이해할 수 있는 가시화의 다양한 기법들이 필요한 것이다. 본 연구에서 시도한 방식은 기본적으로 Günther et al.(2015)이 제안한, 화산재의 농도를 색깔 별로 달리 한 후 그 위치를 삼차원 공간정보 상에 표현하는 방식과 유사하다. 다른 점은 첫째, 가시화를 위해 사용된 데이터가 기존에 폭발되었던 지역의 위성데이터가 아니라 Fall3D 모델을 사용하여 폭발이 일어나지 않은 지역(백두산)에 대해 화산재의 분포를 예측하여 가시화 하였다는 것이다. 둘째, 전 지구적인 확산을 가시화 한 Günther et al.(2015)의 연구와 다르게 국지적인 한반도 지역의 화산재 확산 예측 결과의 가시화를 다룬 것이다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 첫째, 화산재 확산 예측데이터의 취득에 대하여 소개한다. 둘째 화산재 예측 결과의 세 가지 가시화 기법을 제안한다. 제안된 기법은 ‘공중의 큐브’, ‘큐브 속의 큐브’, 그리고 ‘반투명 화산재 평면’이라 정의된다.

2. 화산재 확산 예측 데이터 취득

화산재 확산 예측데이터를 가시화하기 위해서는 우선 화산재 확산 예측 데이터를 취득해야 한다. 본 연구에서는 상용 시뮬레이션 모델링 프로그램의 하나인 Fall3D와 WRF(Weather Research Forecasting) 모델을 이용하여 화산재 확산 예측 데이터를 취득한다.

Fall3D는 Puff, Tephra, FLEXPART 등과 함께 화산재의 확산 예측프로그램으로 많이 쓰인다. Fall3D는 Euler 방법을 기반으로 하여 주로 대기의 입자와 가스의 이동을 모델링하는 프로그램으로써, 여러 클래스의

입자들을 가지며 각각의 클래스는 크기, 밀도 및 형상 계수에 의해 특징지어진다. Fall3D의 특징 중 하나는 1,000 km 상공의 개략적인 모습에서 몇 km 정도의 가까운 높이에 이르기까지 전역 스케일(e.g. GFS(Global Forecasting System) model), 중간규모의 스케일(e.g. WRF model), 그리고 도시사이즈 정도의 스케일(e.g. CALMET model)에서 기상예측 또는 진단모델과 함께 실행될 수 있다(Yeo et al., 2013). Fall3D의 단점은 프로그램의 사용이 리눅스에서만 사용 가능하고 Fortran 언어로 되어있어 프로그램의 변경이 어려운 점이다(Yeo et al., 2013). 화산재 확산 데이터 모델링을 위한 주요 입력데이터는 분화하는 화산의 위도, 경도, 분화구 고도, 화산폭발지수, 분연주의 높이 등이며 아래의 Table 1과 같다.

Fall3D의 결과물은 NetCDF 포맷으로 되어있다. Fall3D의 NetCDF 파일의 구조는 다차원 배열들의 집합체로 구성되어 있다. NetCDF는 지구과학 교육 및 연구 분야에서의 사용을 목적으로 한 과학데이터 파일을 읽거나 쓰게 도와주는 데이터 포맷 집합, 프로그래밍 인터페이스 및 소프트웨어 라이브러리의 집합이다(KRILI, 2011). NetCDF 파일 포맷은 3차원 공간 데이터의 시간대별 시뮬레이션을 표현할 수 있어 화산재 공간 데이터 분할에 데이터 전 처리 시간을 절약할 수 있다는 장점이 있다.

전술한 바와 같이 NetCDF 파일은 연구 분야에서 사용하기 위한 목적의 공통 포맷이므로, 화산재 가시화에 그대로 사용할 수 없다. 따라서 가시화를 위하여 NetCDF파일에 대한 분석이 필요하다. NetCDF 파일의

Table 1. Input data for volcanic ash dispersion modeling

Name	Data
Position of Volcanic Crater	Latitude, Longitude, Height
Eruption Date	Year, Month, Day, Time
Eruption Type	Explosive/Non-Explosive
Magma Type	Rhyolite/Basaltic
VEI(Volcanic Explosive Index)	1/2/3/4/5/6/7
Plume Height	unit: meter
Volcano Type	Hawaiian/Strombolian/Vulcanian/Pelean/Plinian/Ultra-Plinian/Supervolcanic
Meteorological data	Month, Wind Direction
Amount of Eruption	unit: kg/s
Volcanic Ash	Size, Density

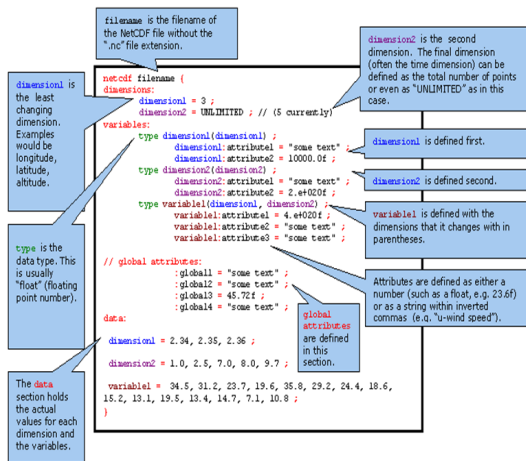


Figure 1. File elements for NetCDF
(Source: MPSS, 2015)

주요 구성 요소는 dimension, data, type, attribute, variable, 그리고 value 이다. Dimension은 데이터가 포함하는 차원을 이야기 한다. 즉, 경도, 위도, 고도 등이다. Data는 각 dimension과 변수들의 값을 의미한다. Type 은 short, double, float 등 데이터의 형태를 의미한다. Attribute에는 숫자나 문자열이 정의된다. Variable은 각 파라미터에 의해 변하여 지는 dimension에 의해 정의된다. Value에는 실제 데이터 값들이 Type 형태별로 dimension 크기만큼 적재된다. NetCDF 포맷의 파일 구성요소는 Fig. 1과 같다.

NetCDF 결과 레이어 중 가시화를 위해 사용되는 레이어는 입자 총농도 레이어 이다. Fall3D 시뮬레이션을 통해 생성된 NetCDF파일은 총 51개의 레이어로 구성되어 있다. 이 중 화산재 피해예측에 사용될 수 있는 레이어는 입자 총농도, 지표에서의 PM_n 농도, 입자의 지표 침적량, 지표침적 두께 등이며 레이어 명과 단위는 Table 2와 같다. 각 레이어의 필드에는 고도, 위도, 경도, 그리고 0000UTC 이후의 시간이 포함되어 있다. 입자 총농도(Total particle concentration)는 비행고도

Table 2. Output 2D/3D layers among Fall3D results

Layer Name	Description	Unit
Con	Total particle concentration	gr/m ³
C_PM10_GRND	PM10 concentration at ground (1st layer)units	gr/m ³
LOAD	Particle ground deposit load units	kg/m ²
THICKNESS	Ground deposit thickness units	cm

에서의 농도를 이야기 하므로 고도 값이 존재하며, 나머지 지표에서의 PM10 농도, 입자의 지표 침적량, 그리고 지표침적 두께의 고도 값은 0이다. 본 연구의 목표는 3차원 가시화 이므로 이들 레이어 중 본 연구에서 사용되는 레이어는 입자 총농도 레이어 이다.

3. 화산재 3차원 가시화 기법

화산재 레이어에서 배열 집합체인 variable을 선택하여 2차원 상에서 표현하기 위해서는 ArcGIS 소프트웨어 등의 상용 소프트웨어를 사용할 수 있다. 그러나 4차원(경도, 위도, 고도, 시간) 배열 데이터를 한 화면에서 시각화하기 위해서는 독특한 3차원 가시화 기법이 필요하다.

화산재가 3차원 상에 구현되기 위해서는 그 배경이 되는 현실감 있는 3차원 지형을 필요로 한다. 본 연구에 사용된 원 지형 데이터는 CGIAR-CSI SRTM 세계 지형고도(약 90m의 해상도)와 백두산 지역의 Landsat 위성영상(약 1m 해상도)이다. 나머지 지역의 3차원 데이터는 국토교통부의 공간정보 오픈플랫폼(V-world)에서 제공하는 데이터를 이용한다. 공간정보 오픈플랫폼은 수치표고모형, 3차원 건물, 영상지도, 행정경계 등 다양한 정보를 제공(Kim et al., 2014)하고 있는데 본 연구에서는 이 중 수치표고모형과 영상지도, 그리고 행정경계를 사용한다. 원 지형 고도 데이터를 활용하여 높이 값 계층구조를 구성하고 각 지형 매쉬의 고도 값을 활용하여 음영 기복도를 생성한다. 또한 계층 구조화된 지형 데이터에 위성영상을 좌표체계에 맞게 오버랩 하여 백두산 지역 지형을 가시화 한다. 대용량 지형 전체 메모리 로딩은 불가능 하므로 분석된 시각화 기술로 데이터를 피라미드식으로 계층 구조화 하고 3차원 렌더링 기법을 통해 사용자가 보기에 적절한 각 지형 매쉬의 렌더링 상세도를 조절하여 초당 60 Frame 이상의 화면 표현이 가능해 지면서 3차원 시뮬레이션의 가시화를 최적화 한다. 사용된 백두산 지역의 수치표고모형과 위성영상의 그림은 Fig. 2와 같다. Fig. 2의 중간 위에 있는 붉은 색과 주황색 막대는 높이를 현실감 있게 표현하기 위해 임의로 구축하여 놓은 막대 자(scale bar)라고 볼 수 있다. 제안된 세 방법을 이용한 화산재 가시화 결과의 시각적 비교는 Table 3에 정리되어 있다.

첫 번째로 제안하는 기법은 육면체(큐브) 단위영역별로 화산재의 농도를 표현한 기법이다. 이 기법을 ‘공중의 큐브’ 기법이라 정의한다. Fall3D의 결과파일을 보면, 화산재 입자 총농도, PM10 농도, 그리고 지표 침적량은 최소 1m³ 또는 1m² 단위 내 공간에서의 무게로



Figure 2. Baekdu mountain area digital elevation model draped with satellite image

Table 3. Comparisons of proposed three volcanic ash 3D visualization techniques

Technique	Description
Cube in the Air	Volcanic ash is visualized as big cube in the air
Cube in the Cube	Volcanic ash is visualized as small particle
Semitransparent Volcanic Ash Plane	Volcanic ash is visualized as fog

표현된다. 이러한 세세한 위치별 화산재의 양을 모두 표현하려면 컴퓨터 연산 속도의 문제로 인하여 실시간 (마우스의 드래그를 통한 실시간 3차원 화면 조정이라 정의)조정이 어렵다. 또한 화산 폭발이 일어났을 경우 즉각적인 예측을 위해서도 그 계산 량을 낮추는 것이 필요하다. 따라서 실시간 조정이 가능한 수준의 정도로 그 미세 도를 조정하는 것이 효과적이다. 이를 위해서 우선 단위 큐브의 크기를 정의한다. 본 연구에서는 큐브의 크기를 가로 9km, 세로 9km, 그리고 높이를 1.5km로 정의하였다. 그리고 Fall3D에서 입자의 분포 및 농도를 계산할 때, 큐브의 중점에 대해서만 연산을 수행하도록 한다. 결과적으로 한 큐브의 값은 그 큐브의 중점을 대표값으로 가지도록 한다. 또한 이 큐브의 중점은 V-world 지구본 기반의 WGS84 구면 좌표계로 설정한다. 각 큐브는 투명도를 갖도록 표현하였으며 전체 입자 총농도 값의 최대와 최소값을 구한 후, 그 단계를 10단계로 나누어 저장하고 외부 입력에 의해 단계별로 색상 값을 부여할 수 있도록 한다.

Fig. 3, 4, and Fig. 5는 ‘공중의 큐브’기법에 의해 표현된 입자 총농도를 나타내고 있다. 화면상에서 좌 상단 가로 막대그래프는 큐브의 농도 값에 대한 범례를 나타내고 있다. 좌 상단 세로 막대그래프는 Fig. 2에서 표현하였듯이 높이 값에 대한 막대 자이다. 화면 우 상

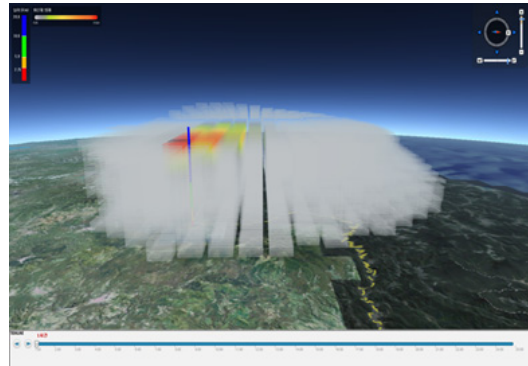


Figure 3. 3D visualization result with “Cube in the Air” technique-1

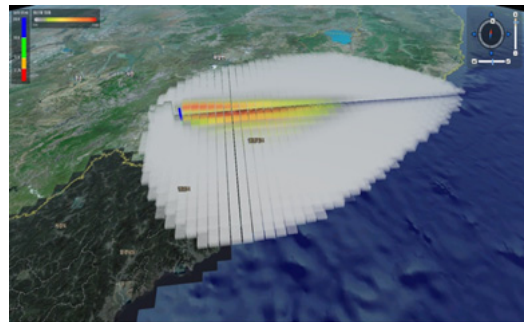


Figure 4. 3D visualization result with “Cube in the Air” technique-2

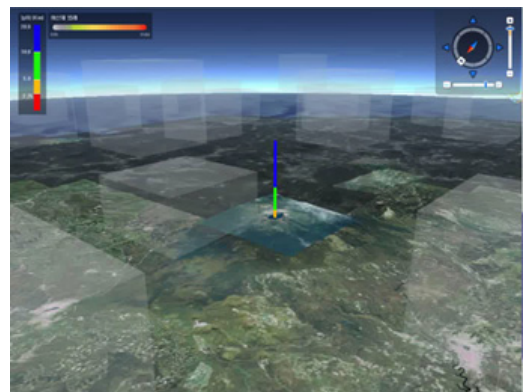


Figure 5. 3D visualization result with “Cube in the Air” technique-3

단의 원은 방위, 우 상단 원 주변의 메뉴는 마우스를 이용한 사용자 시각 변환용 아이콘이다. 또한 각 큐브의 구분을 위해서 각 큐브 간 1km에 해당하는 이격을 두었다. Fig. 3 and Fig. 4의 시점은 화산재 확산 상공보

다 높은 상공에서 본 시각이다. Fig. 5는 화산재가 확산되고 있는 상공의 가운데에서 본 시각이다. 이 표현기법은 삼차원 볼륨에 대한 시각적 표현이 제대로 되지 않은 문제점을 드러내고 있음을 알 수 있다. 즉, Fig. 5를 보면, 화산재가 확산되고 있는 상공에서 큐브가 공중에 떠 있는 것처럼 보이고 실제 화산재처럼 보이지 않는다는 것을 알 수 있다.

‘공중의 큐브’ 기법의 한계를 극복하기 위하여 두 번째로 농도 별로 큐브를 쪼개어 표현하는 방식을 제안한다. 이 기법을 ‘큐브안의 큐브’ 기법이라 정의한다. 이 기법은 고농도 부분은 화산재 격자의 개수를 많게 표현하고 저농도에서는 화산재의 개수를 적게 표현하여 현실감을 극대화 하는 것이다. 이를 위해 느슨한 옥트리 알고리즘을 적용한다.

옥트리에 대한 정의를 살펴보면 옥트리는 삼차원 공간에서 오브젝트를 표현하기 위한 자료구조이다. 옥트리는 자동적으로 오브젝트들을 계층화하여 그룹화하고, 공간 내의 빈 부분에 대한 표현을 하지 않는다. 첫 번째 옥트리 노드는 루트 셀인데, 이는 여덟 개의 연속되는 요소들의 배열이다. 이들 각 요소들은 여덟 개의 연속된 요소들 중 다른 하나를 가리킬 수 있다. 여기에서 각각은 여덟 개의 연속되는 요소들 중 다른 하나를 가리키는 식인데, 이는 특정한 최대 숫자의 레벨에 도달할 때까지 계속된다. 마지막 레벨은 단말 레벨이며, 여기에서 단말 요소나 복셀(voxel)이 저장된다. 아래의 단말 레벨에서 모든 셀의 요소들이 셀을 가리고 있다면, 그 옥트리를 “꽉찬 옥트리(full octree)”라고 부른다. n 개의 레벨을 가지고 있는 꽉찬 옥트리는 해상도 $2n \times 2n \times 2n$ 의 정규 3D 그리드와 같은 복셀 개수를 포함한다(예를 들어 꽉찬 옥트리가 5레벨이라면 $32 \times 32 \times 32$ 해상도를 가진 3D 그리드와 같다). 그러나 복셀이 볼륨 대신에 서피스를 표현한다면, 대부분의 공간은 비어있으며 그것은 옥트리 내에 표현되지 않는다. 이런 경우에 옥트리는 매우 경제적이며, 적은 메모리 소비만으로 고해상도 복셀 공간을 만들 수 있게 해 준다. 따라서 본 연구에서는 객체가 특정 노드에 편향 되는 것을 방지하기 위해 트리 공간을 중첩해서 관리함으로써 3D공간을 효율적으로 사용할 수 있는 장점을 가진 느슨한 옥트리를 사용한다.

본 연구에서는 한 개의 큐브를 가로 세로 6km, 높이 1km의 크기로 정의하고 각 큐브의 중점에 대한 입자 총농도를 구한다. 만들어진 큐브는 현실감 있는 표현을 위해 가로 세로 높이 각 6km의 크기로 확대 과장하여 표현하였다. 결국 가상화에서의 높이는 실제 높이보다 과장되어 표현한 것이고 오해를 없애기 위해 가상의 막

대 자를 백두산에 설치한 것이다. 그리고 농도에 따라 10단계로 객체 분할의 개수를 조정한다. 이에 따라 한 개의 큐브는 최소 6분할(216개의 작은 큐브)에서 최대 64분할(262,144개의 작은 큐브)된다. 아래의 Fig. 6은 이러한 큐브 분할 방식(큐브 안의 큐브)의 개념을 나타내고 있다.

이러한 옥트리 기술을 적용해 표현된 입자의 가상화는 아래의 Fig. 7에 나타나 있다. ‘공중의 큐브’ 방식과 마찬가지로 10단계로 나누어 저장하고 외부 입력에 의해 단계 별로 색상 값을 부여할 수 있도록 한다. ‘공중의 큐브’ 방식에서 큐브의 밀면은 단일 고도 값을 갖도록 구성된 반면, ‘큐브 안의 큐브’ 방식에서는 Fig. 7에서 보느냐와 같이 가장 먼 거리를 갖는 두 꼭지점 중 한 쌍이 동일한 위도와 경도를 갖도록 구성하여 현실감을 높이도록 하였다. 이렇게 함으로써 상 방향으로 이동하는 화산재의 실제 모습과 유사한 가상화가 가능하였다. Fig. 3에서 Fig. 5까지의 그림과 Fig. 7을 비교하

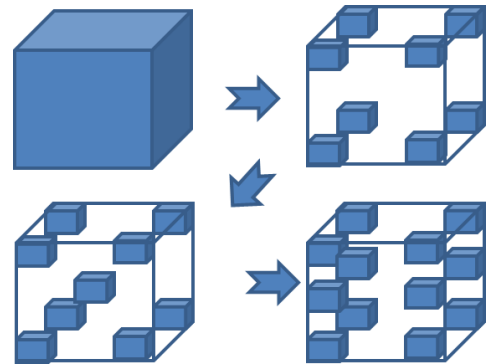


Figure 6. Concept for “Cube in the Cube” technique

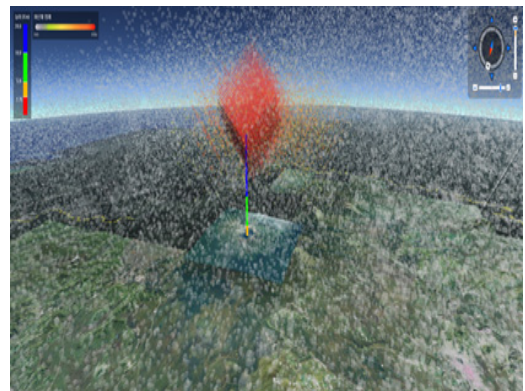


Figure 7. 3D visualization result with “Cube in the Cube” technique

여 보면 화산재의 농도가 높은 곳이 더 많은 입자를 가지도록 표현됨으로써 색의 변화와 함께 좀 더 현실감 있는 가시화가 가능하여 졌음을 알 수 있다.

제안된 첫 번째와 두 번째의 방식은 기본적으로 큐브를 생성하여 화산재를 표현하였다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 ‘큐브안의 큐브’ 방식은 화산재 입자가 보임으로써 현실적으로 보이는 장점이 있다. 그러나 이러한 방식은 작은 큐브를 모두 표현하여야 함으로써 실시간 가시화를 위한 컴퓨터 계산 량에 부담이 될 수 있다. 따라서 세 번째로 제안하는 방식은 계산 량의 부담이 적고 화산재를 ‘안개’처럼 표현할 수 있는 기법이다. 우리는 이를 ‘반투명 화산재 평면’기법이라 정의한다.

‘반투명 화산재 평면’기법은 화산재 가시화 공간에 몇 개의 반투명 평면을 적층하여 표현하는 방식이다. Fig. 8은 ‘반투명 화산재 평면’기법의 개념을 나타내고 있다. 이 그림에서 붉은색, 노란색, 초록색, 파란색은 각각 고 입자총농도 값에서 저 입자 총농도 값을 표현한다. 이 반투명 평면은 높이 값을 가지는 평면 레이어라고 볼 수 있는 것이다. 하나의 레이어는 가로 세로 6km의 작은 격자로 구성된다. 평면 레이어의 격자 간격을 정의한 후 레이어의 고도를 정의한다. 본 연구에서는 지상으로부터 500m 간격으로 설정하였다. 레이어의 격자 크기와 고도가 정의되면 각 레이어 격자 중심의 경도, 위도, 그리고 고도가 구해진다. Fall3D에서는 각 격자 중심에서의 화산재 입자 총농도를 구한다.

각 레이어의 격자 별 입자 총농도가 구해진 후 각 격자는 농도에 따라 색을 달리 하였다. 또한 화산재를 안개처럼 보이게 하기 위하여 투명도를 조절하였다. 3D 그래픽 API의 특성상 반투명 효과는 시야 거리별로 소

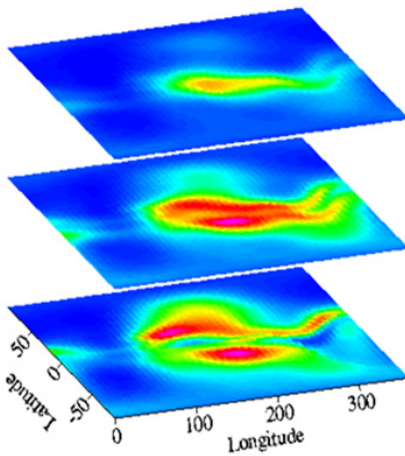


Figure 8. Concept for “Semitransparent Volcanic Ash Plane” technique

팅(Sorting)이 필요하므로 낮은 높이의 화산재 격자 레이어를 먼저 표현한 후 높은 레이어 순으로 표현 하여야 볼륨 형태의 입자 표현이 가능하다. 만들어진 평면 레이어를 해당 좌표에 위치시킴으로써, 화산재 입자가 분포되는 영역이 3D 볼륨 형태로 표현되며 화산재, 농도별 색상, 투명도 조절로 인해 원거리에서 관찰한 화산재 입자와 유사한 형태로 표현된다. 이 기법이 ‘공중의 큐브’와 비교하여 다른 점은 첫째, 화산재가 ‘입자’처럼 보이지 않고 ‘안개’처럼 보이게 하는 효과가 있다. 둘째, 삼차원 가시화를 위한 연산량에 있어 부담을 줄일 수 있었다. ‘공중의 큐브’ 방식은 입자 하나하나를 모두 표현하여야 하나, ‘반투명 화산재 평면’ 기법은 레이어만을 표현하면 되기 때문이다. Fig. 9 and 10은 제안된 방법에 의해 표현된 화산재 확산 예측 결과의 삼차원 가시화 결과이다. Fig. 9는 화산재에서 멀리 떨어진 지상에서의 시각을 나타낸 것이고 Fig. 10은 화산폭발 분화구에 좀 더 다가가서 화산재의 한 가운데에서 본 시각을 나타내고 있다. Fig. 10을 보면 화산재가 안개처럼 표현되어 있음을 알 수 있다.

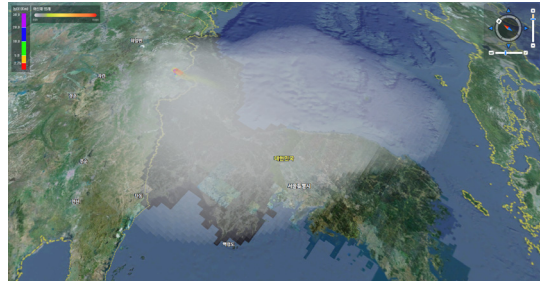


Figure 9. 3D visualization result with “Semitransparent Volcanic Ash Plane” technique -1

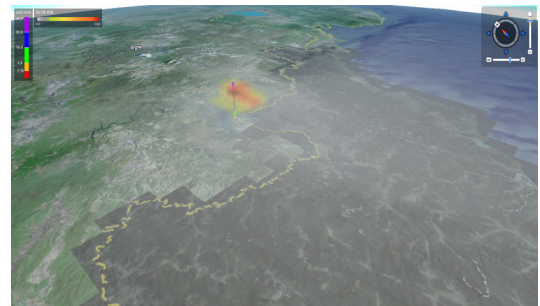


Figure 10. 3D visualization result with “Semitransparent Volcanic Ash Plane” technique-2

4. 결론

본 연구에서는 화산재 확산 예측 결과의 삼차원 가시화 기법을 제안하고 백두산에서 화산이 폭발할 것을 가정하여 그 예측결과를 가시화 하였다. 가시화를 위한 백두산 지역의 수치표고모형은 SRTM 세계지형고도를 사용하였고 위성영상은 Landsat 데이터를 사용하였다. 나머지 지역의 공간정보는 국토교통부의 공간정보 오픈플랫폼(V-world)에서 제공하는 데이터를 이용하였다. 우선 화산재 확산 예측 프로그램인 Fall3D의 출력 포맷인 NetCDF 파일을 분석하여 가시화에 필요로 하는 레이어를 도출하였다. 화산재 확산 예측결과와 가시화 기법은 총 세 가지가 제안되었다. 첫 번째로 제안한 기법은 ‘공중의 큐브’ 방식이다. 이 기법은 상공에 가상의 큐브를 정의하고 각 큐브의 중심 값에 대한 화산재 입자 총농도를 계산한다. 입자 총농도는 농도에 따라 색을 달리하여 표현하였다. 두 번째로 제안한 방식은 ‘큐브 속의 큐브’ 방식이다. ‘공중의 큐브’ 방식을 개선하여 각 큐브를 농도에 따라 세분화함으로써 화산을 입자처럼 보일 수 있도록 하였다. 마지막으로 제안한 기법은 ‘반투명 화산재 평면’ 기법이다. 이 기법은 격자를 가지는 커다란 하나의 레이어를 공중에 위치시키는 기법이다. 각 레이어의 격자는 화산재의 입자 총농도를 나타내고 있으며 투명도를 달리하여 표현함으로써 화산재가 안개처럼 보일 수 있도록 하였다. 화산재의 확산을 예측하여 항공기의 운항 여부를 결정하여야 하는 의사결정자는 ‘공중의 큐브’ 방식으로도 충분한 정보를 얻을 수도 있다. 일반 국민들에게 예상되는 확산 예측 결과를 보여줄 때는 ‘공중의 큐브’ 방식이나 ‘반투명 화산재 평면’ 기법이 더 좋을 수도 있다. 또한 급박한 상황에서 빠른 가시화 결과를 보여주어야 한다면 연산 부담이 제일 적은 ‘반투명 화산재 평면’이 제일 좋을 수도 있다. 따라서 본 연구에서 제시된 다양한 기법을 바탕으로 사용자의 목적에 맞게 화산재해 확산 예측 가시화 결과물을 사용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 정부(국민안전처)의 재원으로 자연재해저감기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 [MPSS-자연-2015-81]

References

- Günther, T., Schulze, M., Friederici, A. and Theisel, H., 2015, 2014 IEEE Scientific Visualization Contest Winner: Visualizing volcanic clouds in the atmosphere and their impact on air traffic, IEEE Computer Graphics and Applications, E-publish ahead of print, http://www.isg.cs.uni-magdeburg.de/visual/files/publications/2015/Guenther_2015_CGA.pdf
- Jiang, J., Yu, S., Yoon S. and Choi, K., 2013, Damage and socio-economic impact of volcanic ash, Journal of Korean Earth Science Society, Vol. 34, No. 6, pp. 536-549.
- Kim, D., Kim, H. and Park, C., 2013, Implementation of the pilot system of damage prediction through the volcanic ash diffusion model for 3D visualization, Proc. of the 3rd International Workshop for Volcanic Disaster Preparedness, pp. 207-210.
- Kim, H., Kim, S. and Park, C., 2015, Research of 3D visualization of ash dispersion by Fall3D model, Proc. of the 2015 KSHM Conference, Vol. 14, pp. 40-40.
- Kim, J., Yi, S., Kim, J. and Bae, S., 2014, An analysis of vertical position accuracy for the three-dimensional spatial data object utilizing the public information, Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science, Vol. 22, No. 4, pp. 137-143.
- Kim, T. and Youn, J., 2014, A study on the IT-based response system development for Mt. Baekdu volcanic disaster, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, Vol. 17, No. 1, pp. 13-23.
- KMA, 2011, Comprehensive countermeasures for anticipative volcano response aiming volcanic disaster prevention and mitigation, Korea Meteorological Administration, http://web.kma.go.kr/notify/information/publication_depart_list.jsp?bid=depart&mode=view&num=17&page=1&field=&text=&schGrp=3
- KRILJ, 2011, Library and archives canada file format guidelines for preservation and long-term access, KRILJzine, Vol. 70, pp. 1-11.
- Maes, K., Vandenbussche, S., Klüser, L. and Kumps N., 2016, Vertical profiling of volcanic ash from the 2011 Puyehue Cordón Caulle eruption using IASI, Remote Sensing, Vol. 8, No. 2, pp. 1-22.
- MPSS, 2015, Development of IT-based response system for volcanic disaster, Ministry of Public Safety and Security, pp. 186-241.

11. Park, C. and Choi, H., 2013, Real-time volcanic ash diffusion model visualization based level of detail, Proc. of the 2013 KSHM Conference, Vol. 12, pp. 165-165.
12. Scaini, C. and Folch, A., 2013, A GIS-based tool for the estimation of impacts of volcanic ash dispersal on European air traffic, <http://www.sesarinnovationdays.eu/files/SIDs/2013/SID-2013-16.pdf>
13. Simmon, R., 2011, A data visualization case study: ash from Eyjafjallajökull volcano, 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, ISPRS, Sydney, Australia, 10-15 April 2011, <http://www.isprs.org/proceedings/2011/ISRSE-34/211104015Final00517.pdf>
14. Yeo, J., Jo, M., Navastara, D. A., Klm, M. and Cha, E., 2013, A study on computer programs for estimating volcanic ash spreads, Proc. of the 2013 KSHM Conference, Vol. 12, pp. 224-224.