

백두산 화산재해대응시스템 개발방안 연구*

김태훈^{1*} · 윤준희¹

A Study on the IT-Based Response System Development for Mt. Baekdu Volcanic Disaster*

Tae-Hoon KIM^{1*} · Jun-Hee YOUN¹

요 약

우리나라는 그간 화산 재해로부터 안전한 지역으로 알려졌다. 그러나, 최근 백두산의 화산 분화 전조현상 들이 자주 보고되고 있으며, 이에 따라 한반도의 화산 분화를 경고하는 화산 전문가들이 늘어나고 있는 실정이다. 본 논문은 백두산 화산 재해 대응 시스템의 개발방안을 기술하고 있다. 첫 번째로 소방방재청의 방재업무 체계와 관련 시스템을 분석한다. 두 번째로, 방재업무체계를 기반으로 화산 재해 대응 업무 프로세스를 도출한다. 세 번째로, 관련 재난 대응 시스템을 참고하여 화산재해 대응시스템의 시스템 아키텍처를 설계하고 필요 공간정보를 도출한다. 마지막으로, 본 논문에서 제안한 화산재해 대응시스템을 테스트하기 위하여 파일럿 시스템을 개발한다. 제안된 화산 재해 대응시스템이 실제로 소방방재청에 탑재되기까지는 추가적인 검증 및 시스템 보완이 필요할 것이다. 본 연구를 기반으로 한 완성된 화산재해 대응 시스템은 우리나라와, 중국, 일본의 화산재해로 인한 피해를 최소화 할 것으로 기대된다.

주요어 : 백두산, 화산재해, 대응시스템, 업무 프로세스, 파일럿 시스템

ABSTRACT

The Korea had been known as a safe region in volcanic disaster. However, precursor phenomena for volcanic eruption in mountain Baekdu have been frequently reported in these days. Therefore, the number of volcano experts, who warn the volcanic eruption in the Korean peninsula, has been increased. This paper describes the plan for developing volcanic disaster response system for mountain Baekdu. First, disaster prevention business system of National Emergency Management

2013년 12월 5일 접수 Received on December 5, 2013 / 2013년 12월 19일 수정 Revised on December 19, 2013 / 2014년 3월 17일 심사완료 Accepted on March 17, 2014

* 본 연구는 소방방재청의 백두산화산대응기술개발사업인 '화산재해 대응시스템 개발' [NEMA-백두산-2012-3-2]과제의 지원으로 이루어졌음.

1 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 ICT Convergence and Integration Research Division, Korea Institute of Construction Technology

* Corresponding Author E-mail : kth@kict.re.kr

Agency(NEMA) and related IT-based systems are analyzed. Second, business processes for volcanic disaster response are derived based on the business system. Third, The system architectures are designed referred to related disaster response system, and required spatial information is investigated. Finally, we implement the pilot system to test the suggested volcanic disaster response system. Applying suggested volcanic disaster response system to NEMA, additional test and system supplementation should be carried out. We expect that the complete volcanic disaster response system, which will be implemented based on this research, will minimize the volcanic disaster damage in the area of Korea, China, and Japan.

KEYWORDS : Mountain Baekdu, Volcanic Disaster, Response System, Business Process, Pilot System

서론

그동안 우리나라는 비교적 화산재해에 대해 안전한 지역으로 인식되고 있었으나, 최근 활화산인 백두산에서 분화 전조현상인 지진발생, 화산가스 분출로 인한 식물고사, 온천수 온도 상승 등이 발생함으로써 백두산폭발에 대해 여러 가지 위험성을 제기하는 학자들 및 학계의 의견이 증가하고 있는 상황이다. 백두산을 포함하는 우리나라의 화산지형은 신생대 제3기 말에서 제4기 초의 화산활동에 의해 형성된 것으로 보고 있으며, 백두산을 중심으로 만주까지 펼쳐진 개마고원과 추가령지구대의 용암대지 및 제주도, 울릉도, 추가령열곡 등의 지역이 있는 것으로 알려져 있다(그림 1).

백두산 화산폭발 관련 연구사례를 살펴보면 독일의 세계적 화산학자인 한스 올리히 슈민케 박사는 북한 당국의 허가 아래 백두산의 지질을 조사해, ‘화산학 회보’에 서기 969년 백두산이 대규모 폭발을 일으켜 960억 m^3 의 분출물을 성층권인 25km 상공까지 뿜어 올려 함경도를 거쳐 1000km 이상 떨어진 동해와 일본 동북부 및 홋카이도까지 도달시켜 지구 기후에 상당한 영향을 끼쳤을 것이라 주장한 바 있다(Schimincke, 2000). 그러나 백두산 분출규모가 이보다 컸다는 주장도 있는데, 우리나라의 윤성효 교수와 슈민케는 일본에 쌓인

백두산 화산재의 두께를 1cm로 보고 계산했지만, 실제로 재면 5cm까지 나왔다고 밝히면서 이를 기반으로 계산하면 실제 분출량은 1,500억 m^3 에 이른 것으로 예상된다고 밝힌 바 있다(Yun, 2009). 또한 귀정푸 중국 과학아카데미 연구원은 당시 불화수소 약 2억 톤과 아황산가스 2천300만톤이 함께 나와 야생동물과 가축의 질식, 산성비, 나아가 성층권 오존층의 파괴도 일으킨 것으로 추정하였다. 이 외에도 치명적인 재해로서 화산쇄설류와 화쇄난류가 있는데 백두산 화산쇄설류는 분화구로부터 반경 35km에 걸쳐 3~83m 두께로 쌓여 있는 것으로 측정되고 있다.

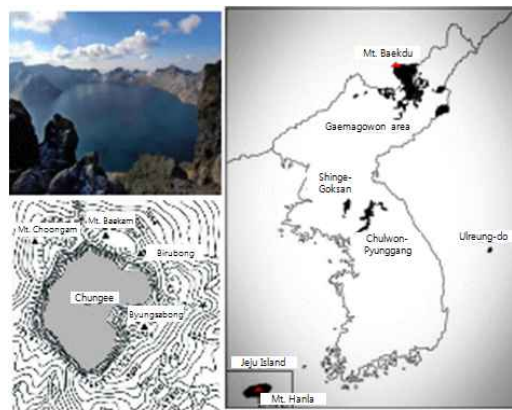


FIGURE 1. Mt. Baekdu and volcanic terrain of Korea

이러한 백두산은 900년대 대폭발이후 10여 차례 분화가 진행되어 왔고, 2002년부터 다시 활발하게 지각활동을 개시하여 매달 10~15차례 지진이 발생하는 것으로 관측되고 있으며, 지진과 측정결과 백두산 지하에는 그림 2와 같이 거대한 마그마 방이 존재하여 고위험 활화산으로 분류되고 있다.

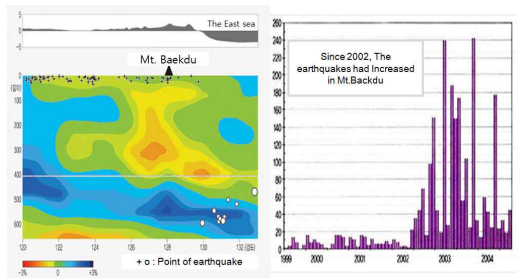


FIGURE 2. Distribution of magma and earthquake history of Mt. Baekdu

때문에 나날이 증가하는 백두산 화산재해 위험을 사전에 예상하고 피해를 최소화하기 위한 기술개발이 시급한 실정이며, 이에 본 연구에서는 다양한 화산재해 피해예측 시뮬레이션 기술들을 공간정보기반으로 통합하여 종합적인 피해예측결과들을 사전에 제공하고, 피해종류별 및 지역별 대응이 가능하도록 관리기준 및 대응매뉴얼을 제시하여 방재관리자의 의사결정을 지원할 수 있도록 화산재해대응시스템 개발방안과 파일럿 시스템 개발결과를 제시하고자 한다.

연구 방법

연구 방법은 다음 그림 3과 같다. 우선, 화산재해대응시스템 개발을 위해 기존 선행 연구 사례 및 향후 화산재해대응시스템의 운영주체가 될 소방방재청의 방재체계와 관련 유관시스템(지진재해대응시스템)을 조사·분석하였다. 이를 기반으로 업무프로세스를 정의하고 화산재해대응시스템 아키텍처를 설계하였으며, 필요한 DB를 조사·구축 후 파일럿 시스템을 개발하였다.

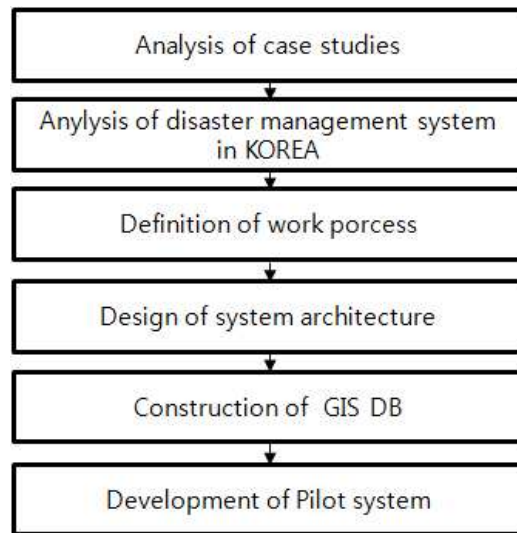


FIGURE 3. Flow chart of the study

선행 연구

일반적인 화산 폭발 시 발생하는 재해로는 화쇄류, 화산이류, 화산성홍수 등과 같은 직접적 피해들과 화산재로 인한 간접적 피해들을 들 수 있으며, 직접적 피해는 백두산 인근의 중국 및 북한지역에 영향을 미칠 것으로 예상되며 우리나라에는 화산재 등에 의한 간접적 피해가 발생할 것으로 예상되고 있다.

이러한 백두산 폭발과 관련된 피해예측 시뮬레이션 연구 및 대응시스템 구축 사례는 국내외적으로 그리 많지 않으며, 그 대표적 사례들은 다음과 같다.

Kim(2011)은 백두산 화산폭발 시뮬레이션을 통해 용암류와 화산재가 미치는 영향범위를 예측하였으며, 그 결과 용암은 중국 쪽 사면으로 흘렀고, 화산재는 북한지역을 거쳐 9시간 만에 울릉도 지역까지 확산되는 것으로 연구결과를 제시하였다.

방재연구원을 중심으로 한 백두산 화산폭발 시뮬레이션 연구(규모 6 VEI)에서는 그림 4 및 그림 5와 같이 폭발 8시간 후 화산재가 울릉도를 덮고 12시간 뒤에는 일본열도까지 진입하여 동북아 항공운항이 모두 마비되는 등

심각한 피해를 입히는 것으로 발표되었다 (National Disaster Management Institute report, 2011).

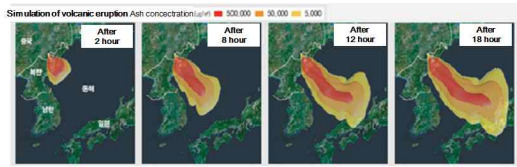


FIGURE 4. Simulation of volcanic eruption in Mt. Baekdu (National Disaster Management Institute report, 2011)

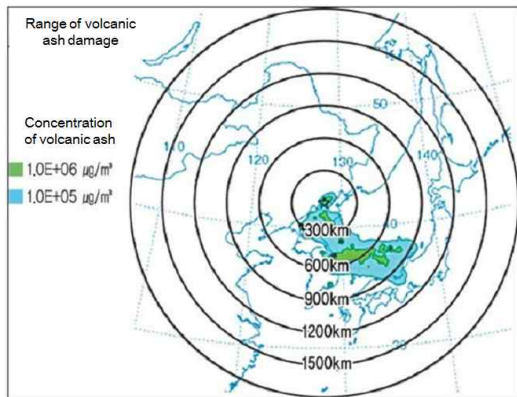


FIGURE 5. Range of volcanic ash damage (National Disaster Management Institute report, 2011)

Yun *et al.*(2012)은 백두산 화산감시 관측 장비 및 운영수준을 진단하고 최적의 관측체계 구현방안을 제시하였는데, 단기적 관측방안으로는 지진관측망(sensing network), 경사계(tiltmeter), 자력측정(magnetometer), 이산화황(SO₂) 모니터링 관측망 구축을 주장하였으며, 중장기적 관측방안으로 GPS 관측망 구축을 통한 지각변동 감지 및 GIS기반의 현장정보·분석·판단시스템 개발 등을 제시하였다.

Jung *et al.*(2002)은 GIS를 이용하나 재해 상황 자동음성 통보시스템을 구축한 바 있고, Kang *et al.*(2007)은 지진재해 예측을 위해

미국 FEMA와 NIBS에서 개발한 HAZUS와 ShakeMap의 한반도 적용가능성을 실험적으로 제시한 바 있으며, Kwon *et al.*(2012)는 재해발생시 피해를 최소화하기 위한 GIS기반의 우회 경로 및 대피경로 안내시스템을 개발한 바 있다.

Kim and Park(2012)은 대형 화산재해 대응체계 선진화 방안 연구를 통해 화산재해 피해예측 및 저감기술을 화산재해대응시스템에 집약시키기는 방안을 제시하였는데, 예방 및 대비 시에는 화산재해 시나리오에 따른 피해예측과 화산재해 지도를 작성하고, 전조현상 및 화산폭발시에는 기상청에서 제공되는 화산 관측 정보를 토대로 최신 화산재해지도를 작성하며, 재난대응기관에는 피해예측 관련 정보를 제공하여 재난관리자에게 의사결정을 지원해야 한다고 주장하였다.

이러한 선행 연구 사례를 조사·분석한 결과 기존의 연구가 재해에 대한 실험적인 GIS 적용연구 및 단편적인 시나리오 기반의 화산재해 피해예측 시뮬레이션을 수행하고 화산재해에 대한 방재의사결정지원시스템의 필요성을 제기하였던 수준으로 파악되었으며, 화산방재를 위한 모니터링, 피해예측 시뮬레이션, 사전 대응 및 복구까지 종합적으로 수행 가능한 통합대응시스템이 필요한 것으로 분석되었다.

기존 방재체계 및 유관시스템 현황

1. 소방방재청 방재체계 현황

소방방재청은 국가재난관리정보시스템(National Disaster Management System)을 중심으로 재난에 대한 예방, 대비, 대응, 복구의 방재 업무체계를 정보화하였으며, 그림 6과 같이 유관 기관 및 지자체, 관련 연구기관 및 단체와의 유기적 협조체계를 확립하고 다양한 대국민 서비스를 제공하고 있다.

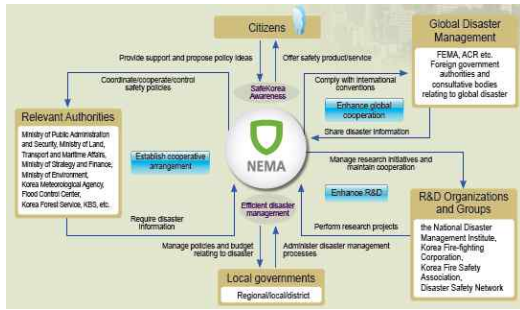


FIGURE 6. Flow chart of NEMA(National Emergency Management Agency report, 2011)

국가재난관리정보시스템(NDMS)은 그림 7과 같이 유관기관과 연계된 재난정보공동활용시스템과 재난영상정보(CCTV) 통합·연계시스템을 통해 재난을 감지하고, 재난관리 DB센터를 통해 정보수집 및 분석을 수행하며, 분석 결과를 상황전파시스템을 통해 유관기관에 신속하게 제공하고 있다. 또한 국가재난정보센터 및 풍수해보험업무지원시스템을 통해 다양한 대국민서비스를 제공하고 중앙 및 지자체 재난관리시스템과 지진재해대응시스템을 통해 신속한 대응 및 복구를 수행하고 있다.

국가재난관리정보시스템 체계에서 화산재해 대응시스템은 향후 NDMS의 대응과 복구분야에 위치하여 재난정보공동활용시스템을 통해 화산관제 및 예보의 역할을 담당하고 있는 기상청 등 유관기관시스템과 연계하고, 상황전파시스템을 통해 화산재해 피해예측 결과 및 대응방안을 유관기관에 신속하게 제공하도록하여 화산재해 발생시 원활한 재해대응업무를 지원할 수 있을 것으로 예상된다.

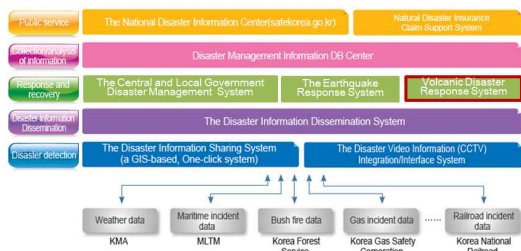


FIGURE 7. System diagram of NDMS

2. 유관 시스템 현황

국가재난관리정보시스템내에서 화산재해대응시스템과 가장 유사한 업무와 프로세스를 수행하고 있는 것은 지진재해대응시스템이다. 지진재해대응시스템은 2005년에 처음 구축을 시작하여 지속적으로 확대 보완하고 있는 시스템으로 그림 8과 같이 지진발생시 기상청에서 제공하는 지진정보(진원시, 진앙 및 규모)를 활용하여 전국적인 진도분포도를 계산하고, 그 결과를 바탕으로 건축물 및 인명피해와 가스, 전력, 통신, 상하수도 등 라이프라인 시설의 피해를 예측하여 NDMS의 상황전파시스템을 통해 유관기관 및 전국 지자체 상황실에 전파하도록 구축되어 있다.

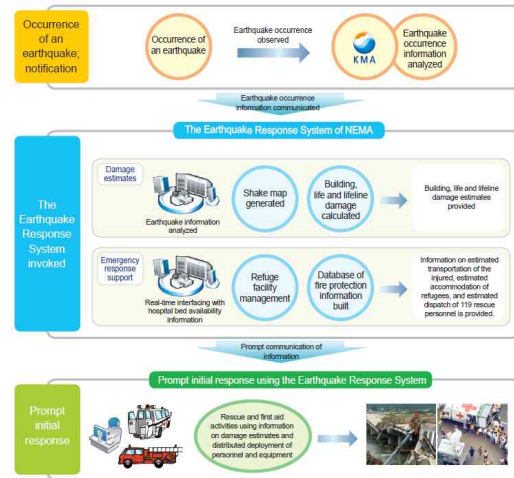


FIGURE 8. Process of earthquake disaster response system

이러한 프로세스는 기상청과의 연계 및 상황전파시스템을 통한 피해예측결과의 전파를 수행하도록 되어 있는 화산재해대응시스템 체계와 아주 유사하며, 기 개발된 시스템 체계와 업무프로세스, 기술개발과정에서 발생한 다양한 문제점 및 해결방안들은 향후 화산재해대응시스템 개발에 유용한 참고자료로 활용될 수 있다.

시스템 설계 및 파일럿시스템 개발

기 수행된 선행연구 및 관련 유사시스템, 소방방재청의 국가재난관리정보체계 등을 기반으로 화산재해대응시스템 개발을 위한 업무프로세스 정의 및 시스템 설계를 수행하였다.

1. 업무프로세스 정의

화산재해대응시스템은 그림 9와 같이 평시에는 유관기관 연계를 기반으로 화산활동 모니터링을 통한 예방업무를 수행하고, 전조현상이 일어나는 화산 활동 시작시기에는 시나리오 기반 화산재해 피해예측을 통해 대비업무를 수행해야 한다. 이후 분화가 시작되는 분화시기에서는 실시간 화산재해 피해예측을 통해 신속·정확한 재해 상황 예측 등 적극적 대응 업무를 수행해야 하며, 분화 종료 후 복구 기간에는 실제로 발생한 피해상황에 대한 최종 집계 확인 및 복구 작업을 지원할 수 있어야 한다.

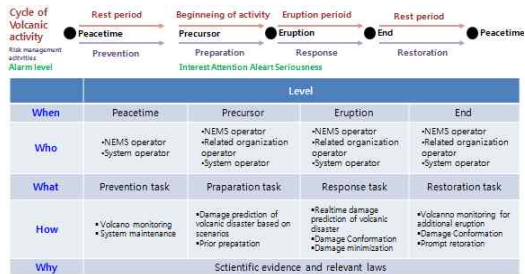


FIGURE 9. Definition of support work for volcanic disaster response

시스템 내에서 화산재해 대응을 위한 구체적인 프로세스는 그림 10과 같이 화산활동에 대한 지속적 모니터링을 통해, 첫째 전조현상 발생 시 의사결정권자가 시나리오 기반 시뮬레이션 결과 데이터베이스에서 현재 상황과 가장 유사한 시나리오를 선택하여 활용하고, 둘째 분화가 임박하거나 시작되는 긴급한 시점에서는 실시간 시뮬레이션을 통해 가장 정확한 피해예측 결과를 산출하며, 셋째 시뮬레이션을 통해 도출된 결과들은 2D/3D GIS 시스템을

통해 가상 현실적으로 재해 상황을 표출해야 한다. 넷째 재해예측, 재해추정 데이터베이스에서는 피해추정정보를 추출해 통계/분석하여 각 분야별/지역별 재해대응 업무에 활용하고, 마지막으로 의사결정권자는 상황대응 데이터베이스를 토대로 종합적인 대응전략을 수립·시행해야 한다.

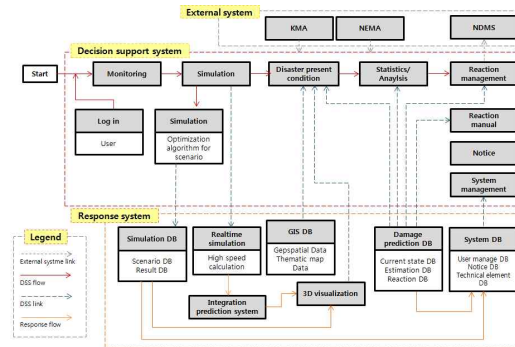


FIGURE 10. Work process of volcanic disaster response system

2. 시스템 아키텍처 설계

업무 프로세스 분석을 기반으로 화산재해대응시스템 아키텍처를 그림 11과 같이 도출하였다. 외부적으로는 기상청, 소방방재청 등 유관기관과의 연계되며, 내부적으로는 통합피해예측모듈, 의사결정지원 모듈, GIS 시각화 모듈, 피해예측 DB 등으로 구성되어 있다.

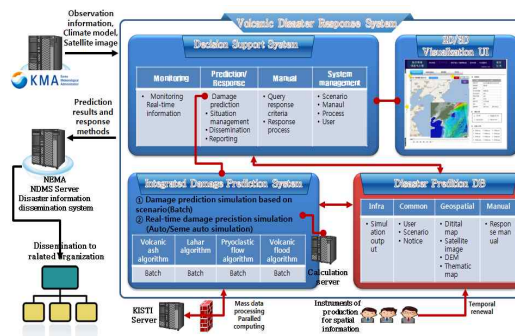


FIGURE 11. Architecture of volcanic disaster response system

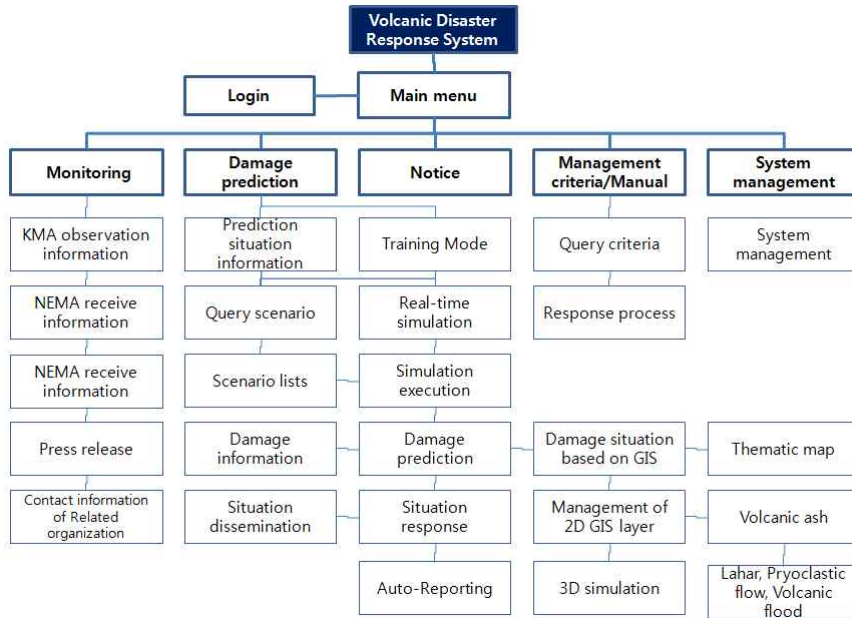


FIGURE 12. Configuration of system menu

통합피해예측 모듈에는 화산재, 화산이류, 화쇄류, 화산성홍수 등의 피해를 예측할 수 있는 시뮬레이션 모델이 탑재되어 있으며, 해당 모듈에는 다양한 예상 시나리오를 기반으로 사전에 수행되어 저장된 시나리오 결과 DB를 활용하는 시나리오 기반 방식과 가장 최신의 기상장 모델 및 화산분화 발생 변수를 입력하여 보다 정확한 시뮬레이션 결과를 도출하는 실시간 방식이 존재한다.

시각화 UI모듈에서는 기본적으로 시뮬레이션 결과들을 2D GIS 지도기반으로 확인해 볼 수 있으며, 고도 값을 더한 3D GIS 기반의 3차원 시뮬레이션과, 시간의 흐름에 따라 변화되는 4D 시뮬레이션까지 구동할 수 있도록 구현되어야 한다.

의사결정지원 모듈에서는 통합피해예측의 결과들과 피해항목별 관리기준 및 대응방안을 기반으로 피해상황 대응 지원업무를 수행해야 하며, 각 피해상황 및 대응방안 결과들은 소방방재청의 상황전파시스템을 통해 유관기관 및 지자체 담당자에게 전파되어야 한다.

피해예측 DB에서는 통합피해예측모듈 및 의사결정지원 모듈에서 필요로 하는 GIS DB 및 시나리오 DB, 각종 통계 DB, 관리기준 및 상황대응매뉴얼 등을 통합관리하며, 가장 최신의 DB로 유지관리 될 수 있도록 한다.

이러한 시스템 아키텍처와 사용자업무 필요 분석결과를 기반으로 시스템 메뉴를 설계하였으며, 주요 메뉴의 구성은 모니터링, 피해예측, 공지사항, 관리기준/대응매뉴얼, 시스템관리의 5가지로 설정하고, 하부 메뉴들은 그림 12와 같이 구성하였다.

3. 기본 GIS DB 조사 및 구축

시스템에 필요한 기본 GIS DB 구축을 위한 공간적 범위는 화산전문가 자문을 통해 그림 13과 같이 화산이류, 화쇄류 등 직접적 피해가 발생하는 ‘지역2(백두산 중심 100km×100km)’와 화산재 등 간접적 피해가 발생하는 ‘지역1(백두산 중심 1,600km×1,600km)’ 구분하여 설정하였으며, 필요에 따라 일부자료는 전 세계를 대상으로 자료 구축을 추진하였다.

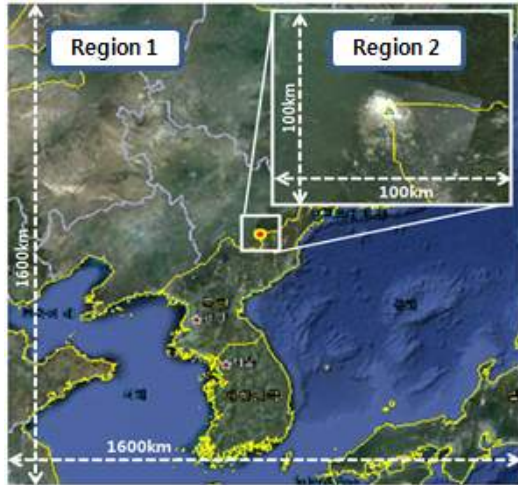


FIGURE 13. Study area

내용적 범위로는 표 1과 같이 지역1과 지역 2로 나누어 취득 가능한 자료를 기반으로 각 목적별로 필요한 해상도 수준으로 위성영상지도, 수치표고자료, 수치지형도, 토지피복도, 수계도, 경사도, 방위도, 주거밀도도 등을 구축하여 시뮬레이션 입력자료 및 시스템 서비스지도로 활용할 수 있도록 하였다.

TABLE 1. Basic GIS DB list for system

Region	Covered area	Data	Rectangle size
Region 1	North Korea Area	Satellite image(0.5m), DEM(10m), Digital map(1/5,000-1/25,000), Land cover map(Medium class level), Watershed map(1/25,000), Gradient map(20m), Azimuth map(20m), Residential density map(1/25,000)	1,600km × 1,600km (Center: Mt. Baekdu)
	South Korea Area	Satellite Image(0.5m), DEM(1m-5m), Digital map(1/1,000-1/5,000), Land cover map(small class level), Watershed map(1/5,000), Gradient map(5m), Azimuth map(5m), Residential density map(1/5,000), 3D-model(Seoul and 6 major metropolitan cities)	
	Part of Japan & China	Satellite image(15m), DEM(90m), Land cover map(Large class level), Watershed map(1/100,000), Gradient map(90m), Azimuth map(90m), Residential density map(1/100,000)	

Region 1	Satellite image(0.5m), DEM(10m), Land cover map(small class level), Displacement change map(50m), Mt. Temperature change map(1/5,000), Digital map(1/5,000), Azimuth map(10m), Residential density map(1/5,000)	100km × 100km (Center: Mt. Baekdu)
----------	---	------------------------------------

4. 파일럿 시스템 개발

업무프로세스 정의, 기본 GIS DB구축, 시스템 기본 및 상세설계를 통해 화산재해대응 파일럿시스템을 개발하였다. 개발환경으로는 Spring MVC와 Spring iBatis, PostgreSQL을 사용하였으며, 전자정부 프레임워크 환경기반 마련을 위해 표준프레임워크 아키텍처(Ver 2.5)로 개발환경을 구축하였다.

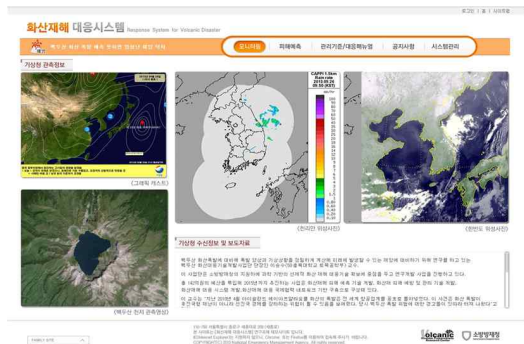


FIGURE 14. Volcanic disaster response pilot system (monitoring UI)

그림 14에서 모니터링 화면의 경우 기상청 시스템과의 연계를 통해 백두산 지역 위성영상(천리안위성영상 등) 및 기상장 모델, 화산재해 발생상황 등을 표출하고 지진재해대응시스템과의 연계를 통해 화산성 지진 발생 상황 등의 화산재해 현황모니터링이 가능하다.

피해예측에서 화산재해 발생 변수들을 설정하고 피해 시뮬레이션을 수행하면 그림 15와 같이 시간의 흐름에 따른 피해확산 결과들을 도출할 수 있으며, 그림 16과 같이 이로 인한 지역별 피해정도를 산출할 수 있다. 또한 피해

예측 결과들은 그림 17과 같이 유관기관 및 각 지자체에서 필요한 부분을 조회할 수 있도록 피해분야별/지역별 통계산출이 가능하도록 하였으며, 시간별 피해 발생량과 피해 축적량도 계산되도록 하였다.



FIGURE 15. Volcanic disaster response pilot system (simulation result of volcanic ash diffusion)

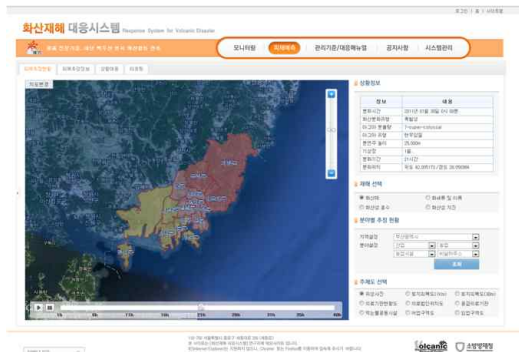


FIGURE 16. Volcanic disaster response pilot system (damage area of volcanic ash simulation)

마지막으로 피해예측 정도와 물량이 산정되면 유관기관 및 지자체에 예상 피해상황 및 대응매뉴얼 등의 정보를 소방방재청 NDMS의 상황전파시스템을 통해 전송하도록 하여 신속한 대응 및 조치가 가능하도록 하였다(그림 18).



FIGURE 17. Volcanic disaster response pilot system (damage amount of volcanic ash simulation)

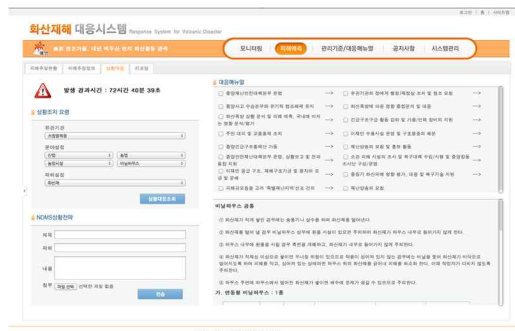



FIGURE 18. Volcanic disaster response pilot system (response manual and strategy UI)

본 연구를 통해 개발된 파일럿 시스템은 설계상의 모든 기능을 구현한 것은 아니며, 우선적으로 필요한 주요 기능에 대해 동작 가능하도록 개발되었다. 때문에 향후 추가적인 기능 개발이 필요하며, 글로벌 시스템으로 확장을 위해서는 공간적인 범위를 동아시아 지역이 아닌 전 세계지역으로 확장할 필요성이 있다. 또한 피해예측 시뮬레이션에서 현재와 같이 하나의 모델링을 사용하기 보다는 여러 모델을 동시에 사용하여 다양한 결과들을 산출·비교함으로써 다양한 가능성에 대비하여 의사결정을 지원할 수 있도록 고도화해야 한다.

결 론

본 연구는 다가오는 백두산 화산재해 발생 위험에 신속하게 대응하고자 공간정보기반의 화산재해대응시스템 개발방안을 제시하였으며 파일럿 시스템을 개발해 보았다. 세부적으로는 관련 선행연구들을 조사하였고, 해당 시스템이 탑재될 소방방재청 방재체계 및 유사시스템(지진재해대응시스템)을 조사·분석하였으며, 업무프로세스 정의와 시스템 설계를 통해 파일럿 시스템을 도출하였다. 해당 시스템은 향후 추가적인 수정·보완과 테스트를 통한 검증이 필요로 하며, 소방방재청 국가재난관리시스템(NDMS) 체계내의 대응복구 분야에서 기존의 지진재해대응시스템과 같은 하나의 재해대응시스템으로서 자리를 위치할 것이다.

기존의 수많은 화산재해 발생 사례에서 보듯이 화산재해는 순식간에 발생하여 광대한 지역에 대해 막대한 인적·물적 피해를 발생시킨다. 본 연구를 통해 개발되는 화산재해대응시스템은 전 세계에서 보기 드물게 화산재해 모니터링부터 발생예측과 대응까지 전 과정에 걸쳐 활용 가능하도록 공간정보 기반으로 개발되었기 때문에 화산재해 대응 업무에서 본격적으로 활용된다며 향후 백두산을 비롯한 우리나라 인근지역의 화산재해로 인한 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 기대되고 인도네시아를 비롯한 중남미 지역 등 화산재해 발생 국가들까지의 수출도 가능할 것으로 여겨진다. 

REFERENCES

- Jung, D.Y., H.B. Bang and Y.C. Shin. 2002. Establishment of automatic response system for disaster prevention using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 5(1):69-79 (정대영, 방희봉, 신영철. 2002. GIS를 이용한 재해상황 자동응답 통보시스템 구축. *한국지리정보학회지* 5(1):69-79).
- Kang, S.Y., K.H. Kim, D.C. Kim, H.S. Yoo, D.J. Min and B.C. Suk. 2007. A preliminary study of the global application of HAZUS and ShakeMap for loss estimation from a scenario earthquake in the Korean Peninsula. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(1):47-59 (강수영, 김광희, 김동춘, 유해수, 민동주, 석봉출. 2007. 지진재해예측을 위한 HAZUS와 ShakeMap의 한반도에서의 적용가능성 연구. *한국지리정보학회지* 10(1):47-59).
- Kim, N.S. 2011. An analysis on influence area by the simulation over Mt. Baekdu eruption. 17(3):348-356 (김남신. 2011. 시뮬레이션에 의한 백두산 화산분출 영향범위 분석. *한국지역지리학회지* 17(3):348-356).
- Kim, T.H. and J.H. Youn. 2013. A study on the development of volcano disaster response system. *Proceedings of 2013 Korea Spatial Information Society Conference, Seoul, May 23-24*, pp.125-127 (김태훈, 윤준희. 2013. 백두산 화산재해 대응시스템 개발 방안 연구. *한국공간정보학회 춘계학술대회 초록집*. 125-127쪽).
- Korea Meteorological Administration. 2012. A study on the optimum monitoring techniques and the correlation between eruption phenomena and precursor. *Research Report*, pp.71-79 (기상청. 2012. 최적의 화산감시 기술 및 전조·분화의 상관관계 규명 연구. 71-79쪽).
- Kwon, W.S., C.S. Kim and Y.S. Kim. 2012. Development of detour route and

- evacuation route guidance system using disaster information. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 15(1):34-42 (권원석, 김창수, 김영섭. 2012. 재해정보를 이용한 우회경로 및 대피경로 안내시스템 개발. 한국지리정보학회지 15(1):34-42).
- National Disaster Management Institute. 2013. Development of advancement method for supervolcano disaster response technology. Research Report, pp.122 (국립방재연구원. 2013. 대형 화산재해 대응체계 선진화 방안 연구. 122쪽).
- National Emergency Management Agency. 2011. National disaster management system's promotional materials. pp.1-18 (소방방재청. 2011. 국가재난관리정보시스템 홍보자료. 1-18쪽). [KAGIS](http://www.kagis.go.kr)