

# 공간정보기반 화산재해대응시스템 개발 및 활용방안 연구

김태훈\*

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 ICT융합연구실

## A Study of the Development and Utilization Plan of Volcanic Disaster Response System based on Spatial Information

Tae-Hoon Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ICT Convergence and Integration Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**요약** 우리나라는 화산 위험으로부터 안전한 지대로 알려져 있으나, 과거 1,000년 전에 백두산에서 큰 분화를 한 사례가 있으며 최근 화산분화의 전조현상들이 자주 보고되고 있어, 이에 대한 경고를 하는 화산전문가들이 늘어나고 있는 상황이다. 본 논문은 이러한 화산재해 발생시 공간정보 및 과학모델링 프로그램을 기반으로 신속하게 대응할 수 있는 화산재해대응시스템을 개발하고 활용방안을 제시한다. 세부적으로 언급하면 첫 번째로 사용자업무 및 관련시스템을 분석하여 화산재해 대응업무 프로세스를 도출하고, 두 번째로 이를 기반으로 화산재해대응시스템 설계 및 개발을 수행하며, 세 번째로 도출된 시스템의 효율성을 극대화하기 위한 활용 및 발전 방안을 제시한다. 본 연구를 통해 도출된 화산재해대응시스템은 우리나라를 비롯하여 동남아시아에 지역에 발생할 화산재해 피해를 최소화할 것으로 기대된다.

**Abstract** Korea had been known as safe region regarding volcanic disasters. On the other hand, Baekdu mountain experienced a large eruption one thousand years ago and the precursor phenomena for a volcanic eruption have been frequently reported these days. Therefore, a number of volcano experts, who warn of a volcanic eruption on the Korean peninsula, has increased. This paper describes the utilization plan and evolution of developing volcanic disaster response system based on spatial information and scientific modeling process for Baekdu mountain. First, the business processes for volcanic disaster response are derived based on an analysis of business system and related IT-based systems. Second, the design and development of a volcanic disaster response system are derived based on the business process. Third, a utilization plan is suggested to maximize the efficiency of the system. The application of the suggested volcanic disaster response system to NEMA, additional tests and system supplementation should be carried out. The complete volcanic disaster response system, which will be implemented based on this research, is expected to minimize the volcanic disaster damage in the area of Korea, China and Japan.

**Key Words** : Volcanic Disaster, Response System, Business Process, Spatial-Information, Mountain Baekdu

### 1. 서론

식되었으나, 백두산에서 1413년, 1597년 1668년, 1702년, 1712년, 1724년, 1898년, 1900년, 1903년 9차례 활동을 보인바 있으며, 약 1,000년전에는 VEI(Volcanic Explosivity Index) 7수준의 대폭발을 일으켜 한반도는

#### 1.1 개요

우리나라는 그동안 화산재해와는 무관한 지역으로 인

본 연구는 소방방재청의 백두산화산대응기술개발사업인 '화산재해 대응시스템 개발' [NEMA-백두산-2012-3-2]과제의 지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

\*Corresponding Author : Tae-Hoon Kim(KICT)

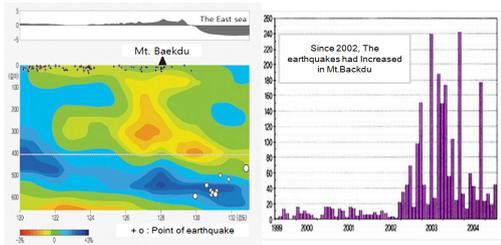
Tel: +82-31-9100-618 email: kth@kict.re.kr

Received October 21, 2014

Revised (1st November 6, 2014, 2nd November 18, 2014)

Accepted December 11, 2014

물론 일본에까지 지대한 영향을 끼친바 있다[1].



[Fig. 1] Distribution of magma and earthquake history of Mt. Baekdu(Liu et all, 2011)

최근 이러한 백두산 지역에서 분화의 사전징조인 지진발생, 온천수 온도 상승 등이 발생하고 있으며, 특히 2002년부터는 다시 활발한 지각활동을 개시하여 Fig. 1 과 같이 매달 10~15차례 지진이 발생되는 것으로 보고되고 있다[2]. 이에 중국에서는 천지화산관측소(Tianchi Volcanic Observatory: TVO) 설치를 시작으로 1999년 천지화산관측소 및 장백산화산관측소(Changbaishan Volcanic Observatory: CVO)를 완공하여 지진계(11관측점), GPS(16지점), 정밀수준계(2측선 28지점), 경사계(2개소), 지구화확관측점(1개소 5지점), 중력관측점(1개소) 및 인공위성자료를 활용한 모니터링 등을 실시하고 있다[3].

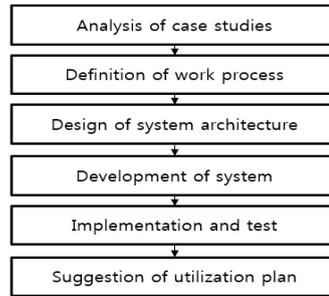
그러나 우리나라는 백두산에 지리적으로 직접 인접하지 않아 직접적인 관측 및 모니터링에 한계가 있으며, 아직 중국과의 교류 및 연계도 미흡하기 때문에 화산재해 발생시 신속하게 대응하기 어려운 실정이다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고자 다양한 공간정보 분석기법 및 과학적 모델링 프로그램을 결합하여 재해발생 시 의사결정을 지원할 수 있는 화산재해대응시스템 개발 및 활용방안을 제시하고자 한다.

## 1.2 연구방법

연구 방법은 다음 Fig. 2와 같다. 먼저, 화산재해대응시스템 개발을 위해 기존 선행 연구사례 및 관련 업무프로세스를 조사·분석하였으며, 이를 기반으로 화산재해대응 업무프로세스를 정의하고 시스템 아키텍처를 설계하였다. 설계서를 기반으로 필요한 다양한 DB의 구축 및 각 기능별 모듈을 개발하여 화산재해대응시스템을 구축하였으며, 다양한 테스트를 통해 완성도를 증대시켰다. 또한 개발된 시스템의 활용성 향상 및 발전방안도 제시

하였다.

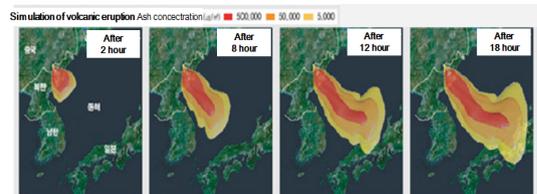


[Fig. 2] Flow chart of the study

## 1.3 기존 연구동향

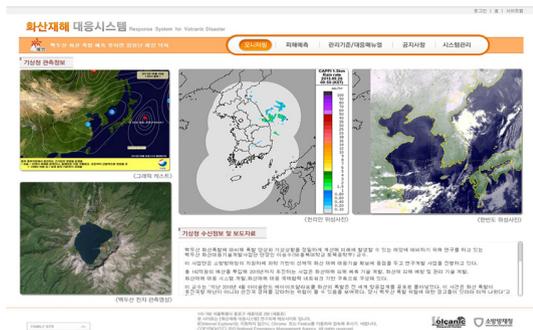
화산재해 대응과 관련된 기존 연구는 국내보다는 주로 화산재해 발생이 빈번한 국외 특정 국가를 중심으로 수행된 사례가 많으나, 백두산 화산연구의 경우 그 사례가 많지 않은 실정이다.

국내의 연구사례로는 재난안전연구원을 중심으로 백두산 화산폭발 시뮬레이션 연구(VEI 6 규모)를 수행한 바 Fig. 3과 같이 폭발 8시간 후 화산재가 울릉도를 덮었으며, 12시간 뒤에는 일본까지 진입하여 동북아 지역의 항공운항이 마비되는 것으로 예상되는 등 심각한 피해를 입히는 것으로 발표되었다.



[Fig. 3] Simulation of volcanic eruption in Mt. Baekdu (National Disaster Management Institute report, 2011)

Kim and Park(2012)은 대형 화산재해 대응체계 선진화 방안 연구를 통해 화산재해 피해예측 및 저감기술을 화산재해대응시스템에 집약시키기는 방안을 제시한바 있으며[4], Kim and Youn.(2014)는 Fig. 4와 같이 백두산 화산재해에 대응하기 위한 대응시스템 구축방안 및 테스트파일럿 시스템 개발을 연구한 바 있다[5].



[Fig. 4] Volcanic disaster response pilot system

국외에서의 대표적 연구로는 알래스카 대학의 Peter Webley(2013)가 Puff 모델을 이용하여 2008년부터 2013년까지 백두산 화산재 분화시물레이션(10km ASL Plume, 24hr simulations)을 수행한 바 있으며, 6년간 남한에 영향을 미치는 날씨가 93일로서 주로 4월에서 6월 사이에 영향을 주는 것으로 나타났다[6]. 기존의 연구들은 주로 단일 재해에 대한 과학모델링을 수행하거나, 화산재해 관측방안 및 기존 화산재 발생에 대한 분석 등에 집중되어 있으며, 화산재해 발생을 실시간 예측하여 효율적으로 대응하기 위한 통합적인 화산재해대응시스템 개발 관련 연구는 미흡한 실정으로 본 연구에서는 공간정보 기반으로 피해예측, 신속대응, 전과까지 지원하는 화산재해대응시스템을 개발하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 화산재해대응 업무프로세스 분석

화산재해의 관제와 모니터링 업무는 기상청에서 담당하고 있으며, 소방방재청에서는 화산재해 발생시 피해를 예측하고 신속하게 대응하기 위한 업무를 담당하고 있다. 본 시스템은 소방방재청의 대응업무를 지원하기 위한 목적으로 활용될 수 있으며, 이에 소방방재청의 화산재해 대응 업무(화산폭발 대응 표준 및 실무매뉴얼)를 분석하여 업무프로세스를 Table 1과 같이 정의하였다. 화산재해대응 업무에 있어 평시에는 유관기관 연계를 기반으로 화산활동 모니터링을 통한 예방업무를 수행하고, 전조현상이 일어나는 화산 활동 시작시기에는 시나리오 기반 화산재해 피해예측을 통해 대비업무를 수행한다. 이후 분화가 시작되는 분화시기에서는 실시간 화산재해 피해

예측을 통해 신속·정확한 재해 상황 예측 등 적극적 대응 업무를 수행하며, 분화 종료 후 복구 기간에는 실제로 발생한 피해상황에 대한 최종 집계 확인 및 복구 작업을 지원할 수 있어야 한다[3].

[Table 1] Definition of support work for volcanic disaster response

|      |                                       | Level   |  |   |  |
|------|---------------------------------------|---|--|---|--|
| When | Peacetime                             | Precursor   | Eruption   | End   |  |
| Who  | NEMA operator<br>System operator      | NEMA operator<br>Related organization operator<br>System operator             | NEMA operator<br>Related organization operator<br>System operator                            | NEMA operator<br>Related organization operator<br>System operator                       |  |
| What | Prevention task                       | Preparation task  | Response task  | Restoration task  |  |
| How  | Volcano monitoring System maintenance | Damage prediction of volcano disaster based on scenarios<br>Prior preparation | Realtime damage prediction of volcano disaster<br>Damage confirmation<br>Damage minimization | Volcano monitoring for additional eruption<br>Damage confirmation<br>Prompt restoration |  |
| Why  | Scientific evidence and relevant laws |   |  |   |  |

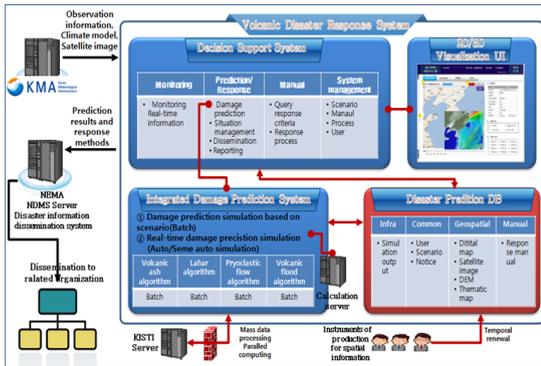
현재 우리나라에 영향을 미치는 화산재해는 주로 화산재에 의한 피해일 것으로 판단되나, 동남아 주변국의 영향분석 및 향후 통일을 위해서는 Table 2와 같이 화쇄류, 화산이류, 화산성홍수 등과 같은 직접적 피해들과 화산재로 인한 간접적 피해들을 모두 분석할 수 있는 모델링들이 통합 시뮬레이션 될 수 있도록 시스템이 구축되어야 한다.

[Table 2] Risk assessment models for integration damage prediction system

| Volcanic Disaster    | Volcanic ash                          | Volcanic flood              | Pyroclastic flow/volcanic mudflow |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Application Model    | Fall3D                                | Flow2D                      | LAHARZ                            |
| Input GIS data       | Land cover map, DEM                   | DEM, Land use map, Soil map | DEM                               |
| Output data type     | NetCDF                                | TEXT                        | Inundation area map(TEXT)         |
| S/W                  | PANAPLY<br>SURFER<br>NetCDF<br>Fall3D | ARC-GIS                     | Arc Info<br>Global mapper         |
| Licence OS           | Open source<br>UNIX/LINUX             | Commercial<br>WINDOWS       | Commercial<br>WINDOWS             |
| Development language | FORTRAN, C                            | FORTRAN                     | AML(Arcinfo macro language)       |

## 2.2 화산재해대응시스템 아키텍처 설계

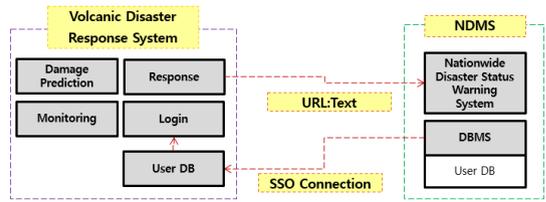
이러한 화산재해 업무프로세스 및 피해예측 모델링을 분석한 결과 Fig. 5과 같이 화산재해대응시스템 아키텍처를 도출하였다. 화산재해 관측 및 모니터링 역할을 맡고 있는 기상청과 연계하여 화산분화정보 및 기상장모델을 제공받아 피해예측 시뮬레이션을 수행하여 분야별 및 지역별 피해예측결과를 공간정보기반으로 도출하고, 유관기관 및 지자체 담당자에게 진파함과 동시에 해당 분야별 관리기준 및 대응매뉴얼을 제공하여 화산재해에 신속하게 대응을 수행할 수 있도록 구성되어 있다.



[Fig. 5] Architecture of volcanic disaster response system (Kim et al., 2014)

피해예측은 화산재의 경우 분화발생 직전에는 과거의 기상청 수치예보모델(UM : Unified Model)과 화산재 확산모형(Fall3D)를 이용하여 기존에 수행되어 저장된 시나리오 기반의 시뮬레이션 DB를 활용하여 사전 대응하고, 분화발생 시 기상청으로부터 제공받은 분화정보 및 가장 최신의 기상장 모델을 활용하여 향후 단·중기간 피해영향을 예측하도록 하는데, 이러한 예측자료는 기상장 모델이 생성되는 주기마다 업데이트하여 최신성을 유지할 수 있도록 한다.

피해예측 결과는 시각화 UI모듈을 통해 2D/3D GIS 기반으로 표출할 수 있도록 하는데, 2D GIS기반의 표출은 다양한 분석결과를 한눈에 볼 수 있도록 집중하고, 3D GIS 기반의 표출은 실제 화산재해 확산현상과 유사하도록 하여 시각적 효과를 증대시킴과 동시에 항공기 운항 경로의 3차원 중첩 등까지 수행될 수 있도록 한다.

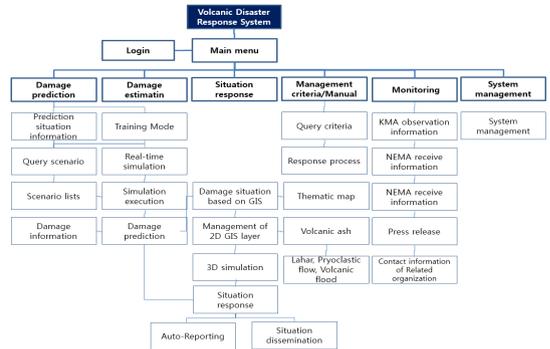


[Fig. 6] Connection method with NDMS

의사결정지원에서는 통합피해예측의 결과에 대해 피해항목별 관리기준 및 대응방안을 적용하여 피해상황 대응 지원업무를 수행하며, 분야별/지역별 피해상황 및 대응방안 결과들은 Fig. 6과 같이 소방방재청의 상황전파 시스템을 통해 유관기관 및 지자체 담당자에게 진파된다.

피해예측 DB는 시스템 운영 및 분석수행에 필요한 모든 DB를 관리하게 되는데, 기본적인 GIS DB를 비롯하여, 시나리오 DB, 각종 통계 DB, 관리기준 및 대응매뉴얼 DB 등을 포함하게 된다.

## 2.3 화산재해대응시스템 개발



[Fig. 7] System menu of volcanic disaster response system

이러한 업무프로세스 분석 및 설계된 아키텍처를 기반으로 시스템 매뉴구성도를 Fig. 7과 같이 구성하였으며, 메인화면, 피해예측, 피해현황 및 피해추경, 상황대응, 대응매뉴얼/관리기준, 모니터링 시스템 관리의 세부매뉴로 분류하였다.

본 연구에서는 설계자료 및 매뉴기능도를 기반으로 Spring MVC와 Spring iBatis, PostgreSQL을 사용하고, 전자정부 프레임워크 환경기반 마련을 위해 표준프레임워크 아키텍처(Ver 2.5)로 개발환경을 구축하여 화산재해대응시스템을 개발하였으며 그 결과들은 다음과 같다.

화산분화 직전의 피해예측은 Fig. 8과 같이 기존에 수행된 시나리오 기반의 DB를 기반으로 현재 상황과 가장 유사한 DB를 검색하여 상황대응에 활용한다. 유사 시나리오 검색을 위한 변수인자로 화산분화 설정 기본인자인 칼데라 붕괴여부, 마그마성 분화여부, 분화위치, 마그마 유형, 폭발성분화여부, 분화종류, VEI(화산폭발지수)를 사용하며, 각 재해별 변수로는 화산재의 경우 기상정보와 분연주 유형을 추가로 사용하고, 화쇄류는 분화위치, 붕괴 화산재 부피(%), 붕괴 분연주 높이(m)를 사용하며, 화산이류의 경우 예상피해범위, 분화구 붕괴방향 및 이류부피를 추가변수로 이용한다. 구축된 시나리오 기반 DB의 유사도 검색방법으로는 K-Means 알고리즘과 EM(Expectation Maximization) 알고리즘 등이 사용될 수 있는데, 화산재해 유사시나리오의 경우 각 변수들의 군집의 평균을 정의할 수 없고 속성변수와 분출량 변수 등과 같이 군집의 크기가 상이하기 때문에 이러한 특성에 효율적인 확률기반군집(Probability-based clustering)을 사용하는 EM 알고리즘을 사용하여 유사검색 모듈을 개발하였다.



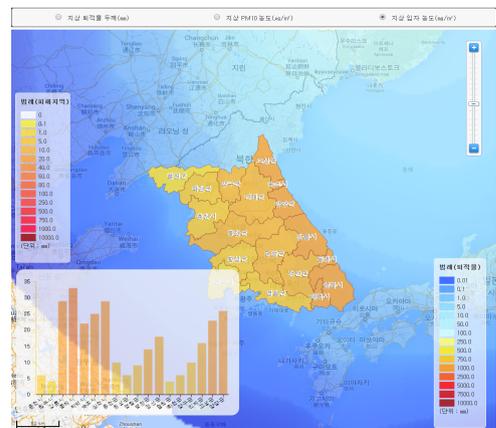
[Fig. 8] System UI(setting up a situation of damage prediction)



[Fig. 9] System UI(real-time damage prediction)

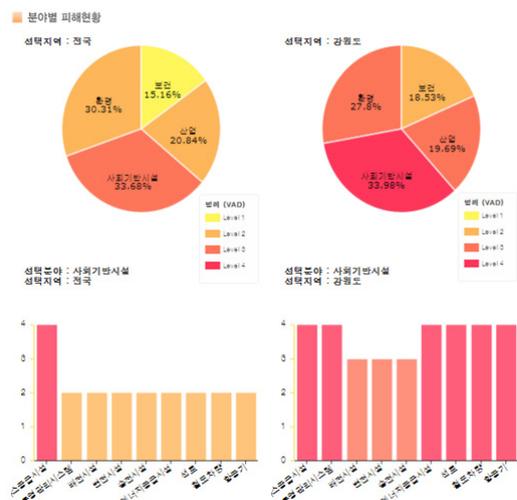
실제 화산분화 발생시에는 위의 Fig. 9와 같이 기상청과 연계하여 가장 최신의 기상장 모델을 활용하여 정확한 피해예측을 자동적으로 도출하며, 필요시 세부변수를 조정하여 비교가능한 여러 결과들을 도출한다.

화산재 피해의 결과(2013년 6월 20일 기상장 모델 활용, VEI 7설정)는 Fig. 10과 같이 지상퇴적물 두께, 지상 PM10농도, 지상입자농도로 표출되며, 시군구 단위의 지역별로 그 피해예측 현황을 확인할 수 있다.



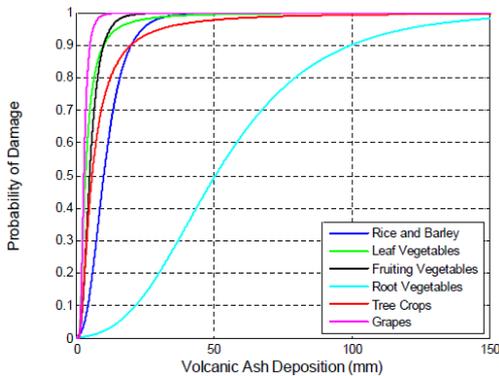
[Fig. 10] System UI(result of damage prediction by regional groups)

또한 Fig. 11과 같이 예상되는 화산재 피해에 대해 선택지역에 대한 각 분야별 피해정보 현황을 정도별로 비교분석해 볼 수도 있다.



[Fig. 11] System UI(result of damage prediction by subject fields)

화산재 퇴적결과를 기반으로 분야별 취약도 함수와 통계자료를 이용하여, 우리나라 전체에 대한 시간별/분야별/지역별 피해액을 추정할 수 있다. 취약도 함수의 개발은 화산재에 의한 구조적 취약도의 경우 해석적 접근 방법(Analytical Method)을 사용하고, 화산재에 의한 사회기반시설/산업/환경 및 보건분야에 대해서는 전문가의 판단(Judgemental Method)과 경험적 접근방법(Empirical Method)의 조합인 혼합적 접근방법(Hybrid Method)를 이용하여 구축하였으며, Fig. 12와 같이 VC(Vulnerability Curve) 또는 FC(Fragility Curve)로 표현된다.



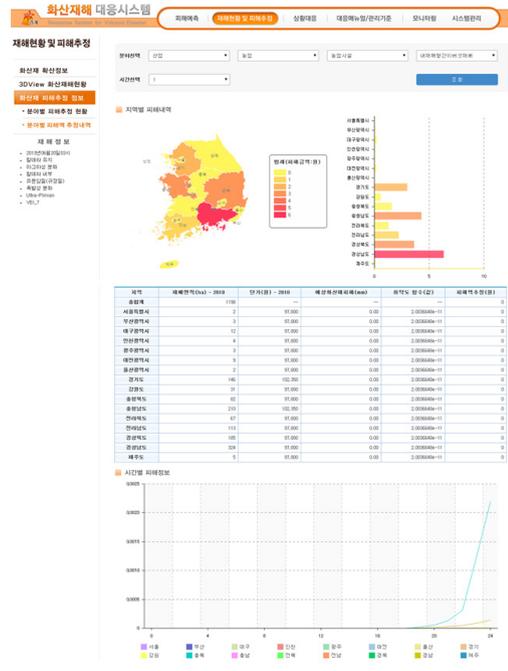
[Fig. 12] Example of Vulnerability Curve(Ham et al, 2014)

이러한 취약도 함수에 해당 분야의 통계결과를 접목하여 피해액 및 피해물량을 산출한 결과는 Fig. 13과 같이 GIS기반의 지도와 표 및 그래프로 표현할 수 있으며, 해당 지자체 및 유관기관의 담당자는 본 시스템에서 한눈에 해당 담당지역(분야)의 피해현황을 파악할 수 있다.



[Fig. 14] System UI(Situation response)

또한 피해의 정도에 따라 자동적으로 Fig. 14와 같이 분야별 상황대응, 위기경보 수준별 대응절차, 위기대응 조치 및 절차를 제공한다.



[Fig. 13] System UI(cost of damage)

2.4 화산재해대응시스템의 활용 및 발전방안

본 연구를 통해 개발된 화산재해대응시스템이 향후 행망내에 설치되어 현업에서 운용된다면 소방방재청 및 유관기관/지자체 담당자들에게 화산재해대응업무에 대한 정보화 및 공간정보 기반의 의사결정지원서비스를 제공할 수 있다. 해당 개발 시스템은 평시에는 화산재해 모니터링을 위해 사용가능하고, 화산분화 이전 시점에는 사전 대응을 위한 도구로 활용가능하며, 화산분화 이후에는 실시간 피해예측 및 신속대응을 위한 의사결정지원 시스템으로 활용될 수 있을 것이다.

또한 본 시스템은 우선 백두산 지역을 대상으로 적용 가능하도록 설계되었으나, 최근 일본 및 동남아시아에 발생하는 화산재해에도 대응 가능하도록 확장될 필요성이 있다. 현재 우리나라에 영향을 끼치는 화산재 예측 프로그램만 탑재되고, 화쇄류 및 화산이류, 홍수 등의 모델링은 시나리오 기반 시뮬레이션 DB만 탑재된 상태로 향후 이러한 직접적 피해예측 모델링 프로그램의 탑재도

요원할 실정이다. 이를 통해 우리나라뿐만 아니라 화산 재해에 피해가 지속적으로 발생하는 아시아 및 남미지역 등의 개도국에 해당 시스템 및 기술을 수출하여 공간정보 기반의 방재기술을 선진화할 수 있는 계기로 삼아야 한다.

### 3. 결론

본 연구는 최근 위험이 감지되는 백두산 화산재해 위험에 대해 신속히 대응할 수 있는 공간정보 및 과학시물레이션 모델링 기반의 통합화산재해대응시스템을 개발하고 이의 활용 및 발전방안을 제시하였다. 세부적으로는 화산재해와 관련된 선행연구들을 조사하였으며, 화산재해대응 업무프로세스를 분석하고 이를 기반으로 시스템 아키텍처를 도출하였다. 또한 도출된 설계도 및 메뉴기능도를 기반으로 각 기능모듈 및 이를 통합한 화산재해대응시스템을 개발하였으며, 해당 시스템은 기상청 및 소방방재청 국가재난관리시스템(NDMS)과 연계되어 실무에서 활용될 수 있도록 하였다.

추후 연구에서는 현재 시스템의 공간적 기능적 범위를 확장하여, 백두산뿐만 아니라 동아시아지역을 대상으로 화산재, 화쇄류, 화산이류, 화산성 홍수 등 모든 피해 예측 시물레이션 모델링이 가능하도록 보완할 계획이다.

Response System Development for Mt. Baekdu Volcanic Disaster”, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 17(1), pp.3-23, 2014

- [6] P. Webly, “Computational Estimation of Volcanic Ash Dispersion from Hypothetical eruptions of Mt. Baekdu”, The Seminar for Volcanic Disaster Preparedness, March, 2014

### 김 태 훈(Tae-Hoon Kim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 인하대학교 지리정보 공학과 (공학사)
- 2002년 2월 : 인하대학교 지리정보 공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 인하대학교 지리정보 공학과 (공학박사 수료)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

지리정보, 정보통신, 방재/환경

### References

- [1] N. S. Kim, “An Analysis on Influence Area by the Simulation over Mt. Baekdu Eruption”, Journal of the Korean Association of Regional Geographers 17(3), pp.348-356, 2011
- [2] G. Y. Liu, J. Wang, J. Sun, “Analysis of Tianchi volcano activity in Changbai Mountain”, Global Geology 14(1), pp.45-53, 2011
- [3] S. H. Youn, “A Study on the Optimum Monitoring Techniques and the Correlation between Eruption Phenomena and Precursor”, pp.19-27, Korea Meteorological Administration, 2012
- [4] H. W. Kim, J. E. Park, “Development of Advancement Method for Supervolcano Disaster Response Technology”. On page 122, National Disaster Management Institute, 2013
- [5] T. H. Kim, J. H. Youn, “A Study on the IT-based