

국내 백두산 분화 관련 연구 동향 분석 및 향후 발전방향 제시*

박승환¹⁾ · 이명진^{2)**} · 이전희³⁾ · 이정호²⁾ · 정형섭¹⁾

A Study on the Research Trend and Future Development Direction of
Mt. Baekdu in Korea

Park, Sung-Hwan¹⁾ · Lee, MounJin^{2)*} · Lee, Jun-Hee³⁾ · Lee, Jong-Ho²⁾
Jung, Hyung-Sub¹⁾

- 1) 서울시립대학교 공간정보공학과(Department of Geoinformatics, University of Seoul)
- 2) 한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터(Korea Adaptation Center for Climate Change, Korea Environment Institute)
- 3) 기상청 지진화산정책과(Earthquake Policy Division, Korea Meteorological Administration)

제출: 2015년 2월 25일 수정: 2015년 4월 6일 승인: 2015년 6월 18일

국문요약

현재까지 수행된 국내 백두산 관련 연구의 경향성을 분석함으로써 향후 연구방향 정립에 근거자료를 제시하고 향후 연구발전방향을 제시하는 데 있다. 이를 위하여 국내 백두산 관련 연구 현황을 연구 문헌 인벤토리¹⁾로 정리하였다. 1980년대부터 2014년까지 총 34년간의 225건의 백두산 연구 문헌 정보를 수집하여 연구 분야, 연구내용 및 방법 등을 정리하여 문헌 인벤토리를 구축하였다. 구축된 인벤토리 기반으로 현재까지 개별 기관에서 진행된 국내 백두산 연구의 동향 분석을 실시하였다. 그 결과 백두산 관련 연구는 2010년 이전 69건, 2010년 이후 156건으로 2010년 들어 활발히 수행된 것으로 나타났다. 백두산 분화 감시예측 연구가 54.7%로 가장 많이 수행되었다. 또한, 백두산이라는 접근이 어려운 지역에 대한 연구를 효율적으로 수행하기 위하여 GNSS 및 원격탐사 기반의 공간정보의 활용도가 높아질 것으로 전망되었다. 이에 따라 감시예측 분야 주무기관인 기상청 및 국립기상과학원의 연구보고서를 대상으로 연구방법, 활용자료를 중심으로 하는 공간정보 활용 문헌의 인벤토리를 구축하였다. 공간정보 활용 문헌의 인벤토리 분석결과 감시예측 관련연구가 81.6%를 차지하였으며, 공간정보자료 활용 연구가 54.7%로 나타났다. 그러나 백두산을 대상으로 수행된 연구는 20.1%에 그쳐 향후 실제 백두산을 대상으로 하는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 결과 중 백두산 분화와 관련된 공간정보를 직접적으로 활용 가능한 시스템이 구축이 된다면, 기존 백두산 관련 산재된 정보를 공동으로 활용하여 예상되는 연구비용 및 분석 시간을 단축할 수 있다. 향후 백두산 관련 연구의 정보를 체계적으로 관리하여 보다 효율적인 연구의 한 축을 차지할 수 있다는 점에서 중요성이 있다고 하겠다.

■ 주제어 ■ 백두산, 연구 문헌 인벤토리, 공간정보 활용 문헌 인벤토리, 감시예측

- 1) 검색도구의 일종으로, 기록 시리즈 계층을 중심으로 기록 집합체를 상세히 기술하는 형태를 띠며, 보통 서문이나 초록, 생산자 이력이나 생산 기관의 연혁, 생산 시기, 분량, 내용, 매체, 배열, 기록 시리즈별 기술, 각 기록 시리즈에 속한 기록철 리스트, 색인으로 구성된다. 인벤토리는 보유 기록 조사 또는 보유 기록 조사 목록의 의미로도 사용된다. (기록학 용어사전, 한국기록학회, 2008.3.10, 역사비평사)

* 본 연구는 한국환경정책평가연구원이 수행한 지진기상 개발사업(CATER 2014-5040) 및 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2014R1A1002704)의 지원으로 이루어졌습니다. 149

** 교신 저자 : leemj@kei.re.kr

Abstract

The purpose of this paper is to figure out the research direction and information regarding Mt. Baekdu in Korea through analyses of the research field and trends. Firstly, we made inventory of journal papers, conference proceedings, and research reports published related to Mt. Baekdu. A total of 255 data, spanning the 34 years from the 1980s to the middle of 2014, were acquired and classified into categories according to the year, field, contents and study area. Results show that research on Mt. Baekdu has been performed more than twice since 2010 and study regarding prediction has been carried out in 54.7% cases. In addition, the importance of geo-spatial information is expected to increase in order to study Mt. Baekdu. Secondly, we made and analyzed a geospatial information using inventory of 234 detailed research contents in research reports by Korea Meteorological Administration (KMA) and National Institute of Meteorological Research (NIMR). Statistics on categories show that research regarding prediction accounted for 81.6% of cases and the study of geo-spatial information utilization accounted for 54.7% of cases. However, the focus on studying the Mt. Baekdu region accounted for only 20.1% of cases. Thus, this indicates that it is necessary to do research at Mt. Baekdu itself. If the directly available geo-spatial information system is developed related to Mt. Baekdu, it will save research costs and analysis time. This study can be used to manage information about the research field of Mt. Baekdu by analysing inventory of research references and geospatial information using inventories when the Mt. Baekdu area is the focus of future research.

Keywords | Mt. Baekdu, Inventory of Research References, Geospatial Information using Inventory, Prediction and Monitoring

I. 서론

과거 백두산은 939년, 946년, 947년, 1014-1019년, 1124년, 1199-1201년, 1265년, 1373년, 1401년, 1403년, 1405-1406년, 1573년, 1597년, 1654년, 1668년, 1673년, 1702년, 1898년, 1903년, 1925년 등 천지 칼데라 내에서 대소규모의 전조현상 및 분화기록을 가지고 있다(윤성효, 최종섭, 1996; 윤성효, 2013). 이 중 10세기에 발생한 분화는 화산폭발지수 (Volcanic Explosivity Index, VEI) 7급으로 역사시대 최대의 화산 분출 사건으로 평가되었다(김주환, 1992).

전술된 분화 이력을 가진 백두산은 1702년 발생한 대규모의 분화를 마지막으로 화산 활동에 대한 징후가 발생하지 않은 것으로 나타났다(Horn, Schmincke, 2000). 그러나 중국 천지화산관측소(Tianchi Volcano Observatory, TVO) 및 장백산화산관측소(Changbaishan Volcano Observatory, CHVO)는 2002-2005년 사이 화산성 지진활동, 지표의 변위, 지열지대 온천수의 화학성분 변화가 발생하였음을 보고하였다(Xu et al.,

2012; Wei, Liu, Gill, 2013). 화산성 미소지진의 경우 한 달에 72회의 지진활동이 감지되었으며, 2003년 11월에는 최고치인 243회의 지진활동이 감지되었다. 수준측량 결과와 GNSS(Global Navigation Satellite System)²⁾를 통한 지표변위 관측결과 2002-2003년 수평방향 연간 19.6mm, 2003-2004년 10.2mm, 2004-2005년 8.6mm로 움직인 것으로 나타났고, 수직방향으로 2002-2005년 동안 총 46.33mm 움직인 것으로 나타났다. 온천수의 화학성분 분석 결과 주요 지표 중 하나인 헬륨과 이산화탄소의 비는 2003년 이전에 비하여 약 24배 상승한 것으로 나타났다(Xu et al., 2012; Wei, Liu, Gill, 2013).

전술된 현장관측 자료를 활용한 백두산의 화산활동 관련 연구 결과들은 대부분이 중국 연구진에 의해 수행된 연구이다. 과거의 역사적 분화기록으로 인한 영향 범위가 한반도를 포함함에도 불구하고, 북한과 중국의 국경에 위치하기 때문에 정치적·지리적인 문제로 인하여 국내 연구진에 의한 직접적인 현장관측 연구가 진행되는 것에는 한계가 있다(윤성효, 2013).

현장관측의 한계 극복, 대형 화산 분화의 감시·예측 기술의 개발과 화산 정보를 신속적으로 전달할 수 있는 역량 확보를 위하여 국가과학기술위원회(2011)는 국가적 주요 투자 분야 중 하나로 “백두산 화산 감시 예측 및 대응기술 개발”을 선정하였으며, 관련 기술로 분화감시와 가능성 평가기술, 확산 및 피해추정 기술, 화산 재해 대응 기술을 선정하였다. 이에 따라 2012년 국민안전처(구 소방방재청)는 국립재난안전연구원과 공동으로 재난안전기술개발 R&D사업 “백두산화산대응기술개발사업단”을 출범하였다. 기상청 및 국립기상과학원은 지진기술개발사업 및 관측·지진 감시 지원 및 활용 연구 등을 통하여 백두산 화산 감시 예측 및 대응 기술 개발에 투자를 수행하고 있다.

이에 대한 가시적인 성과로서, 이덕수 외(2013), 박승환, 정형섭, 신한섭(2013) 및 조민지, 장레이, 이창욱(2013)은 지오이드자료, 열적외선영상자료, 레이더영상자료 등 원격탐사를 통해 수집된 공간정보를 활용하여 대형화산의 분화감시 및 전조현상 관측에 대한 연구를 수행하였다. 이순환, 장은숙, 이현미(2012), 윤성효(2013) 및 이슬기 외(2014)은 분화 강도, 침적 모델링, 화산재 확산 모델을 활용하여 화산재 확산 경로 예측에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 박용재, 장은미(2013), 서장원 외(2013) 및 이윤정 외(2013)은 화산 분화에 의한 피해지도 제작과 대응에 대한 연구를 수행하였다.

이와 같이, 현장관측의 한계성에도 불구하고 국가차원의 지속적인 투자를 통해 다수

2) 전지구항법시스템(Global Navigation Satellite System)으로 인공위성을 이용하여 지상물의 위치, 고도, 속도 등에 관한 정보를 제공하는 시스템(두산백과)

의 백두산 관련 연구성과가 획득되고 있으며, 향후에도 다양한 연구가 지속될 것으로 예상된다. 이에 따라 현재까지 수행된 백두산 관련 연구를 체계화하여 정리함으로써, 향후 백두산 연구 수행 시 기존 연구들의 인용 활성화와 더불어 연구의 중복성 방지도 모할 필요가 있다. 기존의 백두산에 대한 연구동향 분석연구는 중국, 일본, 유럽 및 국내 연구진에 의해 수행된 연구를 바탕으로 동향분석을 수행하였다. 그러나 지리학 분야와 지형학 분야에만 초점을 맞추어 동향분석이 수행되어 일부 연구 분야에 대해서만 동향분석이 수행된 한계가 있다(박경, 2013).

본 연구의 목적은 개별 기관에서 진행된 백두산 관련 연구를 정리하여 현재 연구의 경향을 파악하고 향후 백두산 연구의 방향성을 제시하고자 한다. 이를 위하여 첫째, 국내 백두산 관련 연구 현황을 연구 문헌 인벤토리로 정리하였다. 1980년부터 2014년 8월까지 총 34년간의 국내 백두산 관련 석·박사 학위논문, 국내 등재지 연구논문, 학술대회 발표자료 및 연구기관의 연구보고서를 대상으로 연구 분야, 연구내용 및 방법 등을 정리하여 기존 연구의 인벤토리를 작성하였다. 둘째, 연구 문헌 인벤토리 결과를 바탕으로 과거부터 현재까지 개별 기관에서 진행된 국내 백두산 연구의 동향을 분석하였다. 셋째, 전술된 인벤토리 중 현재 백두산 분화와 관련된 감시예측 부분의 연구방법, 활용 자료를 중심으로 하는 GNSS 및 원격탐사를 기반으로 한 공간정보 활용 문헌의 인벤토리를 작성하였다. 넷째, 작성된 공간정보 활용 문헌의 인벤토리를 활용자료, 연구방법, 연구내용 및 산출물 등으로 각각 동향 분석을 수행하였다.

II. 백두산 관련 연구성과 수집 및 연구 문헌 인벤토리 구축

1. 백두산 관련 연구성과 수집 방법 및 결과

본 연구에서는 1980년대부터 2014년 8월까지 국내에서 발표되고 있는 백두산 관련 연구성과 수집을 위하여 백두산 관련 연구성과 보유기관을 대상으로 전수조사를 실시하였다. 여기서 취득한 연구성과의 내용에 따라 백두산 화산과 연관성 여부를 기준으로 선별작업을 실시하였다.

전수 조사는 백두산 연구성과 보유기관 총 43곳에서 실시되었다. 연구성과 보유기관으로는 기상청, 환경부, 안전행정부 등 중앙정부기관 4곳, 대한지질학회, 대한원격탐사

학회 등 백두산 관련 학회 28곳, 지질자원연구원, 국립재난안전연구원 등 관련 연구기관 3곳, 학술연구정보서비스, Springer 등 국내·외 학술정보 사이트 8곳 등이 해당되었다. 이 중 학회지, 연구원의 설정 기준은 백두산이나 백두산 분화와 관련 있는 지질, 재난 등 관련 연구 분야로 정하였다. 이에 따라 1980년대부터 2014년까지 34년 동안 총 255건의 연구성과가 수집되었다. 연구 보고서의 경우 총 31건으로, 전체의 14%에 해당한다. 논문의 경우 총 114건으로 전체의 51%에 해당한다. 학술대회 발표 자료의 경우 총 80건으로 전체의 35%를 차지하였다(한국환경정책·평가연구원, 2014).

2. 연구 문헌 인벤토리 구축 방법

1) 발표연도별 인벤토리 구축 방법

연도별 분류기준에서 볼 때 백두산 분화 관련 연구성과는 1988년 이후부터 관련 사이트를 통하여 제공되고 있다. 조사된 연구성과의 집계를 위한 시간 단위는 연 단위며, 본격적으로 백두산 관련 연구가 중점적으로 수행된 2010년 이전과 이후의 동향을 중점적으로 분석하였다.

2) 연구분야별 문헌 인벤토리 구축 방법

수집된 연구성과를 연구분야를 기준으로 분류하였다. 지구화학관련 분야, 생태학관련 분야, 공간정보관련 분야, 인문사회관련 분야 및 기타로 구분하였다. 백두산 주변의 지각구조, 암석, 화산동굴, 테프라, 칼데라, 지진, 마그마, 화산재 등과 같이 화산에 관한 내용과 백두산의 지질에 관한 연구를 한 경우 지구과학으로, 백두산 주변 식생의 분포에 관한 연구성과는 생태학으로 분류하였다. 위성영상이나 EDM 등 공간정보와 관련된 정보를 활용하여 연구를 수행한 경우 공간정보로 분류하였다. 마지막으로 백두산 분화 시 발생하는 피해 및 수질에 끼치는 영향 등 사회적 현상과 관련된 자료는 인문사회 항목으로 분류하였다. 위에서 지정한 연구 분야에 해당하지 않는 연구성과에 대해서는 기타 항목으로 분류하였다(표 1 참조).

표 1 연구분야별 문헌 인벤토리 구축 방법

연구분야	분류기준
지구과학	- 화산재해, 칼데라, 마그마, 지진 등 화산활동과 관련성 높은 연구 - 백두산 지각구조, 암석, 동굴 등 지질에 관한 연구
공간정보	- 위성영상, GNSS 활용 공간적 자료구축 및 분석 등 위치정보 기반 연구
생태학	- 백두산 주변 식생, 삼림분포 특성과 관련된 연구
인문사회	- 백두산 화산 분화로 인한 실생활 피해 관련 연구
기타	- 지진계 구성, 화산대응 매뉴얼 제작 등 위 분야에 해당되지 않는 연구

3) 연구내용별 인벤토리 구축 방법

연구내용별 인벤토리는 연구 수행 시 수립된 방법과 목적을 기준으로 구축하고자 하였다. 이에 따라 연구수행 방법으로 조사와 실험·관측으로 분류하였고, 연구내용으로 감시/예측, 영향 및 확산, 피해분석으로 분류하여 구축하였다.

(1) 연구수행 방법별 인벤토리 구축 방법

연구수행 방법별 인벤토리는 조사와 실험·관측의 두 가지로 분류하여 구축하였다. 여기서, 조사에 해당되는 내용은 백두산 지역을 직접 답사하거나 또는 다른 화산의 사례조사 등을 통하여 연구를 진행한 방법이다. 또한, 국외 연구기관의 연구수행 현황, 확보가능한 자료 조사, 적용가능한 기법 등에 대하여 조사를 하였을 경우 이에 해당된다. 실험·관측은 백두산 또는 유사화산을 대상으로 연구 목적에 맞는 결과물을 얻기 위하여 실험을 하거나 모델링 및 원격관측 등을 수행한 연구가 이에 해당된다.

(2) 연구내용별 인벤토리 구축 방법

본 연구에서는 백두산 화산활동의 전조현상 관측과 관련된 연구를 “감시/예측”연구로, 화산활동에 의한 분화기동, 화산재 확산 등 모델링과 관련된 연구를 “영향 및 확산”연구로, 화산재 및 화산홍수 피해 등 피해 관련 연구를 “피해분석”연구로 분류체계를 수립하였다.

보다 구체적으로, 감시/예측에 관한 연구는 위성영상 또는 지진계, 광파측거의 등의 기술을 활용하여 화산성 지진을 감시하거나 지표온도 모니터링, 지표변위 모니터링 등

을 수행한 연구, 백두산 주변 식생에 관한 연구 등이 해당되었다. 백두산 주변 식생의 공간적 분포에 관한 연구는 백두산 분화로 인하여 주변 생태계에 끼칠 수 있는 영향을 예측하기 위해 활용될 수 있기 때문에 감시/예측 연구 내용에 포함하였다.

영향 및 확산에 관한 연구는 화산분화 시 발생하는 화산재, 화산 홍수 등의 영향과 확산에 대한 모델링 관련 기술로써 모델링에 이용되는 화산재, 화산성 지진 등 관련 인자에 대한 연구와 적합한 모델을 실제 사례에 적용한 연구가 이에 해당된다. 그렇기 때문에 화산성지진의 특성에 관한 연구나 과거 백두산 화산 분화에 따른 화산재 연구 등도 영향 및 확산 연구 내용으로 포함시켰다.

또한 피해 분석에 관한 연구는 실제 화산 분화가 일어나는 지역을 대상으로 적용되는 것으로, 백두산의 지형적 특성 및 환경에 대한 선행 연구를 기반으로 실제 분화 시 발생하는 마그마, 화산재, 화산 홍수, 화쇄류 및 분화 후 발생하는 화산성 지진에 대한 피해예측과 더불어 피해지역 산정 및 피해액 산정과 관련된 연구 등이 이에 해당된다.

4) 연구지역별 인벤토리 구축 방법

전술된 바와 같이, 백두산의 경우 지리적/정치적인 문제로 인하여 국내 연구진에 의한 현장관측이 어려운 문제점이 존재한다. 이러한 사유로 현재까지 수행된 연구는 백두산을 대상으로 수행된 연구와 백두산과 유사한 특성을 지닌 국외의 화산을 연구한 것으로 구분할 수 있으며, 뚜렷한 연구지역이 없는 연구 또한 존재한다. 그러나 국외화산 연구의 경우 실제 백두산을 대상으로 한 연구가 아닌 것으로 유사성 판단에 대한 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 실제로 백두산 지역을 연구대상으로 수행된 연구와 그 외 지역 혹은 연구지역이 없는 연구를 구분하여 분류를 수행하였다.

3. 연구 문헌 인벤토리 분석 결과

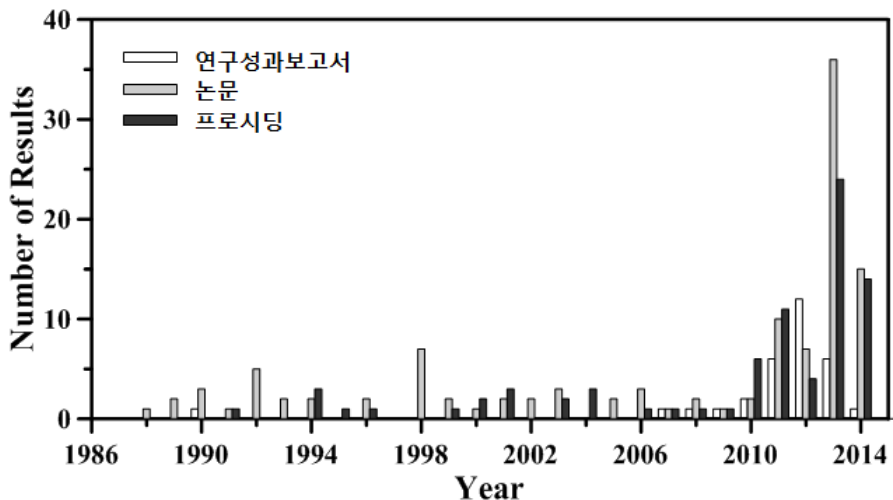
1) 문헌 인벤토리 연도별 분포 분석 결과

발표연도별 연구성과 현황 분석 결과는 <그림 1>과 같다. 이번 조사에 의하면 1988년부터 2009년까지 22년간 국내 연구진에 의해 수행된 연구는 미비했던 것으로 조사되었다. 그 수는 연구보고서 4건, 논문 44건, 학술대회 발표자료 21건으로 현재까지 수행된 연구 31건, 114건, 80건의 12.9%, 38.6%, 26.3%에 불과한 것으로 나타났다(한국환경정책·평가연구원, 2014).

그러나 2010년부터 현재까지 최근 5년 이내의 연구는 활발히 이루어졌으며, 그 수는 과거부터 2009년까지의 연구 수보다 많은 것으로 나타났다. 성과보고서의 경우 1990년부터 2006년까지 발간되지 않았으나, 2007년을 시작으로 매년 한 건 이상씩 발간되어 2012년에는 12개의 성과보고서가 발간된 것으로 나타났다. 논문과 학술대회 발표자료 또한 성과보고서의 발간 경향과 유사하게 증가하는 경향을 나타냈다. 2013년은 논문 36건, 학술대회 발표자료 24건으로 현재까지 가장 많은 연구성과를 나타낸 연도로 기록되었다. 이러한 이유는 2002년에서 2005년 사이 백두산 화산활동에 대한 징후가 발견되고, 화산 분화에 대한 관심과 우려가 증가하면서 2010년부터 국립재난안전연구원, 기상청 등의 국가기관을 중심으로 백두산 관련 연구가 수행되고 있기 때문으로 판단된다.

한편 2014년의 연구성과는 감소한 것으로 나타나는데, 이는 본 연구에서 2014년 8월까지의 연구성과를 분석대상으로 하였기 때문으로 판단된다.

그림 1 문헌 인벤토리 연도별 분포



2) 문헌 인벤토리 연구분야 분석 결과

구축된 문헌 인벤토리의 연구분야 분석 결과, 지구과학분야는 전체 225건의 연구성과 중 100건을 차지하였다. 공간정보분야는 총 36건으로 나타났으며, 생태학분야는 27건, 인문사회분야는 39건으로 나타났다. 그 외 기타 연구분야는 전체 225건 중 23건에 해당한다. 최종적으로 연구분야의 5가지 분류 요소의 분포는 지구과학 44.4%, 인문사

회 17.3%, 공간정보 16.0%, 생태학 12.0%, 기타 10.2%로 나타났다. 지구과학분야의 연구가 가장 많이 수행되었으며, 인문사회, 공간정보, 생태학 순으로 연구가 진행되고 있는 것으로 나타났다. 이는 현재까지 인문사회나 공간정보와 같이 화산 피해에 대한 예비 연구는 2010년에 들어서야 수행된 반면에 백두산 지질과 같은 기초 연구나 화산에 관한 연구는 1980년대부터 꾸준히 수행되었기 때문이다.(한국환경정책·평가연구원, 2014).

3) 연구내용 분석 결과

(1) 연구수행 방법 분석 결과

연구수행 방법별 분석 결과, 조사 연구방법은 전체 연구성과 225건 중 126건으로 전체의 56.0%로 절반 이상의 부분을 차지하였다. 또 실험 및 관측 연구방법은 총 99건으로 전체의 44.0%로 나타났다. 현재까지 수행된 연구의 절반 이상이 사례조사에 해당되는 연구로 나타났다. 이러한 결과는 백두산이라는 접근이 어려운 지역을 대상으로 수행되는 연구의 한계와 직접적인 연관이 있는 것으로 판단된다. 이에 따라 향후 국내 수준에서 실제 화산이 분화했을 때 유용하게 쓰일 수 있는 모델링과 같은 실험이나 직접 백두산 화산의 전조현상을 예측하고 감시할 수 있는 위성영상을 활용한 관측 연구 등이 더 수행되어야 할 것으로 판단된다.

(2) 연구내용 분석 결과

연구내용별 분석 결과 감시/예측 관련 연구는 225건 중 123건으로 전체의 54.7%를 차지하였다. 영향 및 화산 연구내용은 전체 연구성과에서 61건으로 27.1%를 차지하였다. 피해분석 연구내용은 41건으로 전체 225건 연구성과 중 18.2%를 차지하였다. 대부분의 백두산 관련 연구성과가 감시/예측 관련 연구로 나타났으며, 이는 현재까지 수행된 대부분의 연구가 백두산 화산 분화의 전조현상 파악 및 감시에 관련된 연구이기 때문으로 판단된다. 상대적으로 영향 및 화산관련 연구와 피해분석 관련 연구는 아직까지 많이 수행되지 않고 있는 것으로 나타났다.

4) 연구지역 분석 결과

연구지역별 분석 결과 백두산 지역을 대상으로 한 연구는 전체 225건 연구 중에서

179건을 차지하였다. 반면 직접적인 백두산 지역과 관련 없는 연구로 46건이 이에 해당된다. 즉, 79.6%의 연구는 백두산 지역을 대상으로 연구를 수행한 것으로 나타났다. 이를 제외한 20.4%의 연구는 백두산과는 직접적인 관련성이 적은 연구를 수행한 것으로 나타났으나, 화산재 확산모델 구축연구나 해외 화산 분화 사례 분석, 화산 분화 모니터링 방법 등 실제 백두산 지역에 적용가능한 연구로 파악되었다.

이상과 같이, 구축된 문헌 인벤토리에 대하여 과거부터 현재까지의 개별 기관에서 진행된 국내 백두산 연구의 동향을 분석하였다. 분석 결과 절반 이상의 연구내용이 감시예측과 관련된 내용으로 분석되었다. 이는 화산 분화에 적절한 대응을 위해서 가장 중점적으로 연구되는 것이 감시예측 분야임을 의미한다. 또한, 공간정보의 활용은 16%에 불과하여 활용도가 낮은 것으로 나타났으나, 현장관측이 쉽지 않은 백두산의 특성상 원격탐사, GNSS 등의 공간정보의 활용도는 향후에도 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 따라서 향후 국내 백두산 연구의 발전방향은 감시예측 분야 공간정보를 중심으로 제시되어야 할 것으로 판단된다.

전술된 연구내용 분석에 의하면 국내 백두산 연구의 경향은 감시예측에 집중되어 있으며, 직접적 접근이 용이하지 않은 백두산의 분화 전조를 분석하는 방법으로 공간정보(원격탐사 및 GNSS 등)를 활용하는 것이 효과적이다. 이에 본 연구에서는 감시예측 분야 공간정보에 대한 분석 수행 및 향후 발전방향을 제시하고자 한다. 이를 위하여 감시예측의 주무부처이며 국내 연구를 주도하고 있는 기상청 및 국립기상과학원 관련 연구보고서를 중심으로 공간정보 활용 문헌의 인벤토리를 작성하고자 하였다.

Ⅲ. 백두산 분화 관련 감시예측 공간정보 활용 문헌의 인벤토리 작성 및 분석

1. 감시예측 연구 내용 세분화 방법 및 결과

대부분의 연구보고서는 연구목적 달성을 위한 과정으로 폭넓은 국외 연구사례 조사 및 방법론적 조사를 수행하며, 백두산 혹은 유사한 지역에 다양한 실험 및 관측을 통해 연구결과를 도출한다. 연구결과 또한 하나의 산출물을 제작하는 것이 아닌 각 자료 처리 기법에 따라 중간산출물 및 최종산출물들을 제작한다. 이에 따라, 실제 보고서

는 하나라도, 각 보고서의 세부내용에 따라 분석대상으로 선정된 연구내용은 다양해질 수 있다.

본 연구에서는 감시예측 분야 공간정보 활용 문헌의 인벤토리를 작성하기 위하여, 주무기관인 국립기상과학원 지진연구팀 및 기상씨앗기술개발사업과 관련된 R&D, 용역사업 및 자체연구의 연구보고서 총 18건을 대상으로 인벤토리를 구축하였다. 이때 개별 보고서에 대한 세분화를 실시하여 감시예측 공간정보 활용 문헌의 인벤토리를 구축하였다(한국환경정책·평가연구원, 2014).

세분화 방법은 다음과 같다. 예를 들어, 2012년 국립기상과학원에서 수행된 관측·지진기술 지원 및 활용연구(I)의 경우, 인공지진과 자연지진을 구분하는 연구를 수행하였다. 뿐만 아니라, 인도네시아 시나봉 화산을 대상으로 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상을 활용하여 지표변위도를 제작하는 연구를 수행하였다. 이 과정에서 SAR 영상 처리기법 중 하나인 SBAS(Small Baseline Subset)³⁾ 기법과 PSInSAR(Persistent Scatterer Interferometric SAR)⁴⁾ 기법을 동시에 다루었다. 또한, GNSS(Global Navigation Satellite System)자료 전처리 프로그램인 TEQC(Translation, Editing and Quality Checking)⁵⁾ 프로그램에 대한 내용도 다루었다. 즉, 해당 보고서의 총 세분화 대상은 4건으로 나타났다.

또한, 2011년 한국표준과학연구원에서 수행된 전지구 위성항법 시스템을 이용한 화산 및 지진관측 기초연구에서는 GNSS의 관측운용 모드별 정밀도 분석과 함께 UD(Un-Differenced)⁶⁾ 관측식, SD(Single-Differencing)⁷⁾ 관측식, DD(Double-Differencing)⁸⁾ 관측식, DD L3⁹⁾ 관측식 등에 대한 방법론적 조사를 수행하였다. 방법론적 조사를 토대로 최적의 GNSS 관측 방법을 수립하였다. 수립된 방법의 적용을 위하여 하와이 킬라우에아 화산 및 일본 도호쿠 지방을 연구지역으로 선정하였다. 수립된 방법의 적용 및 결과분석에 대한 연구를 수행하였다. 추가적 연구로 1Hz 이상의 샘플링 주기를 지

3) 짧은 기선을 지나는 차분간섭도만을 이용하여 시계열 지표변위를 관측하는 방법(정형섭 외, 2008)

4) 긴밀도가 높은 고정된 산란체인 Permanent Scatterer(PS)에 기반하여 시계열 지표변위를 관측하는 방법(정형섭 외, 2008)

5) 미국의 비영리 대학주관 연구협동조직(University NAVSTAR Consortium, UNAVCO)에서 개발 배포한 GPS자료 전처리 프로그램(<http://www.unavco.org>)

6) 일반적인 GNSS의 pseudorange 및 carrier-phase 관측식(한국표준과학연구원, 2012)

7) 2개 이상의 수신기를 이용하여 위성시계의 시스템 타임에 대한 오차를 차분하여 보정하는 관측식(한국표준과학연구원, 2012)

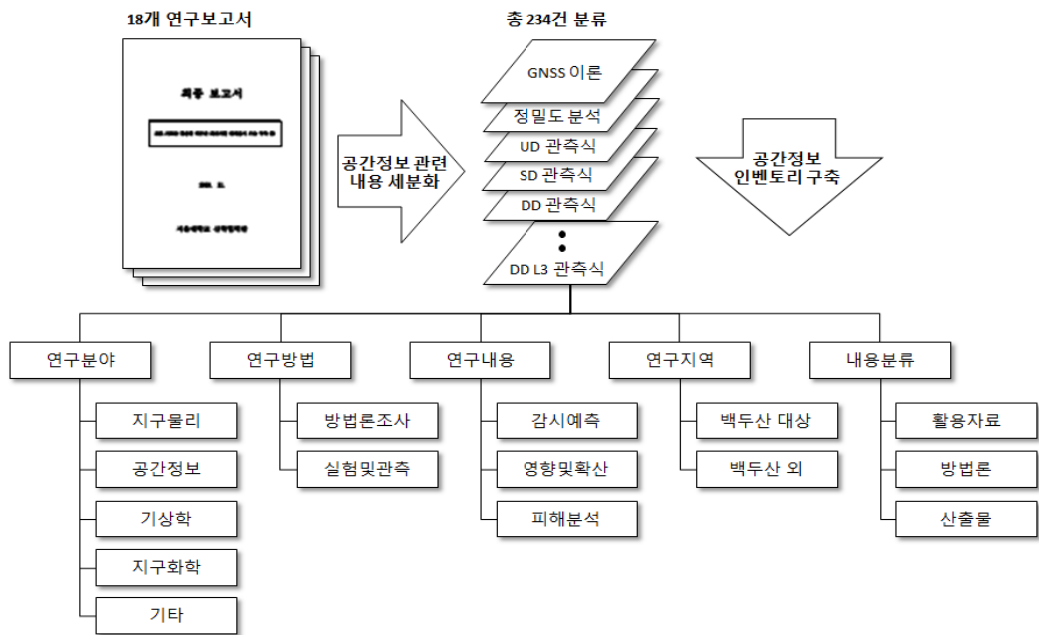
8) Single-Differencing 수행 후 위성 간 추가적인 차분을 수행하는 관측식(한국표준과학연구원, 2012)

9) GNSS의 L1 및 L2 주파수를 이용한 ionosphere-free (L3) 조합을 적용하는 관측식(한국표준과학연구원, 2012)

닌 GNSS raw data를 생성하여 정밀도에 대한 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 이와 같은 내용 총 11건에 대하여 세분화를 수행하였다.

위와 같은 방법으로 총 18개의 보고서를 대상으로 세분화를 실시하였다. 총 세분화된 내용은 234건으로 나타났으며, 이를 대상으로 공간정보 활용 문헌의 인벤토리를 구축하고자 하였다(그림 2 참조).

그림 2 연구보고서 세분화 방법 및 공간정보 활용 문헌의 인벤토리 구축 방법



2. 공간정보 활용 문헌의 인벤토리 구축 방법

문헌 정보 인벤토리 구축 방법과 마찬가지로, 세분화된 내용을 대상으로 공간정보 활용 문헌의 인벤토리를 구축하고자 하였다. 구축대상 연구는 대부분이 최근 5년 내 수행된 것으로 발표연도에 따른 분석은 수행하지 않았다. 연구분야는 문헌 정보 인벤토리와 다른 방법으로 구축하였다. 연구내용과 연구지역의 경우 문헌 정보 인벤토리 구축 방법을 동일하게 적용하였다. 이때 연구내용의 경우 보다 자세한 분석을 위하여 활용자료, 방법론, 산출물 중심의 인벤토리를 구축하였다.

1) 연구분야별 공간정보 활용 문헌의 인벤토리 구축 방법

공간정보 활용 문헌의 인벤토리 연구분야 분류는 문헌 인벤토리의 분류체계와 다른 것으로 공간정보, 지구물리, 지구화학, 기상학 및 기타로 구분하여 분류하였다. 이는 연구보고서의 경우 생태학과 관련된 연구는 거의 수행되지 않았고, 백두산 분화와 관련된 분류체계의 수립이 필요하였기 때문이다. 이에 따라 미소지진 감시, 지진원 위치 결정 및 지하하부구조 추정 등 지진파 활용 연구는 지구물리 분류하였다. 화산가스 샘플링 기법, 샘플링 결과 분석 등 화산가스와 관련된 연구는 지구화학으로 분류하였다. 또한, 모델 제작, 기상조건에 따른 화산재 확산 시뮬레이션 등 기상과 관련된 연구는 기상학으로 분류하였다. 공간정보 분야와 기타분야에 대한 분류는 문헌정보 인벤토리와 동일하게 적용하여 수행하였다(표 2 참조).

표 2 연구분야별 공간정보 활용 문헌의 인벤토리 구축 방법

연구분야	분류기준
지구물리	- 미소지진 감시, 지진원 위치결정 및 지하하부구조 추정 등 지진파 활용 연구
지구화학	- 화산가스 샘플링 기법, 샘플링 결과 분석 등 화산가스와 관련된 연구
기상학	- 대기역학모델 제작, 기상조건에 따른 화산재 확산 시뮬레이션 등 기상과 관련된 연구
공간정보	- 위성영상, GNSS 활용 공간적 자료구축 및 분석 등 위치정보 기반 연구
기타	- 지진계 구성, 화산대응 매뉴얼 제작 등 위 분야에 해당되지 않는 연구

2) 자료처리 방법별 공간정보 활용 문헌의 인벤토리 구축 방법

자료처리 방법이란 활용자료를 적합한 방법에 의하여 처리하여 산출물을 제작하는 과정을 의미하는 것으로 각 연구내용을 활용자료, 방법론, 산출물의 형태로 나누어 분류를 수행하였다(표 3 참조).

활용자료 중심의 연구정보를 공간정보, 기상자료, 파형, 화산분출물 및 기타자료 등의 항목으로 분류하였다. 방법론 중심의 연구정보는 GNSS 처리방법, SAR 처리방법, 관측장비 설치방법, 광학영상 처리방법, 열적외선영상 처리방법, 지진파 처리방법, 피해 대응 제시 및 영향 추정방법, 화산가스 측정방법, 화산분화 평가방법, 화산재 확산 추정 방법, 기타 방법 등의 항목으로 분류하였다. 산출물 중심의 연구정보는 그래프, 문서, 소프트웨어, 이미지 등의 항목으로 분류하였다.

표 3 자료처리 방법 분류기준

구분	분류항목	분류기준
활용자료 중심	공간정보	GNSS, SAR위성영상, 광학위성영상, 기타위성영상, 수치표고자료, 열적외선위성영상, 지상SAR, 지표온도, 측량
	기상자료	대기역학모델, 입자확산모델
	파형	지진파, 초저주파
	화산분출물	라하르, 화산가스, 화산재, 화산폭발지수, 기타분출물
	기타자료	관측소, 영향력
방법론 중심	GNSS 처리방법	GNSS 설명, DD 관측식, SD 관측식, UD 관측식, DGPS, GNSS 시뮬레이션, 소프트웨어 활용방법
	SAR 처리방법	SAR 설명, DEM 제작, DinSAR 기법, GB-SAR 기법, InSAR 기법, PolSAR 기법, PSInSAR 기법, SAR 보정방법, SBAS 기법, SqueeSAR 기법, StaMPS 기법, 모듈 개발, 지표변위 모델링 방법
	관측장비 설치방법	EDM 설치방법, GNSS 설치방법, 경사계 설치방법, 공진계 설치방법, 라하르 관측소 설치방법, 수준측량 수행방법, 지진계 설치방법, 화산가스 관측소 설치방법, 종합적 네트워크 구성방법
	광학영상 처리방법	광학영상 설명, DEM 제작방법, SLC-off 보간 방법, 대기보정 방법, 화산재 관측방법
	열적외선영상 처리방법	hot-spot 탐지방법, NASA 경험식 이용방법, Split-window 방법, 마그마 관측방법, 화산재 관측방법
	지진파 처리방법	지진파 설명, 지진 구분방법, 지진발생횟수 분석방법, 진원위치 결정방법, 진폭 분석방법, 토모그래피 제작방법
	피해 대응 제시 및 영향 추정방법	라하르 영향 추정방법, 물류 수출량에 따른 방법, 용암 영향 추정방법, 화산재 대응 매뉴얼 제작방법, 화성쇄설류 영향 추정방법
	화산가스 측정방법	화산가스 설명, 농도 분석방법, 상호분광계 이용방법, 성분비 분석방법, 적외선 분석기 이용방법
	화산분화 평가방법	소프트웨어 활용 방법
	화산재 확산 추정방법	계절에 따른 방법, 높이에 따른 방법, 대기질에 따른 방법, 모델에 따른 방법, 분출량에 따른 방법, 분출량에 따른 방법, 시간에 따른 방법, 입자 크기에 따른 방법
기타방법	자기장 관측방법, 전리층 관측방법 및 중력관측 방법	
산출물 중심	그래프	자기장 그래프, 전리층 그래프, 지진파 그래프, 지표변위 그래프, 화산가스 그래프, 화산재 확산 그래프
	문서	매뉴얼, 분화확률, 피해액
	소프트웨어	모듈
	이미지	관측망 지도, 수치표고자료, 지진분포도, 지표변위도, 지표온도분포도, 토모그래피, 피해도, 화산가스 분포도, 화산재 예상도 및 확산도

3. 공간정보 활용 문헌의 인벤토리 분석 결과

1) 연구분야 분석 결과

연구분야 분석 결과, 가장 관련성이 깊은 분야는 공간정보로 121건이 해당되어 전체의 51.7%에 해당된다. 지구물리는 49건으로 20.9%, 기상학은 27건으로 11.5%, 지구화학분야는 16건으로 6.8%를 차지한 것으로 나타났다. 이러한 이유는 백두산에 대한 연구가 현장관측이 쉽지 않기 때문에 주로 위성영상을 활용한 원격탐사가 수행되었기 때문으로 판단된다. 이에 따라 광학위성영상, 열적외선위성영상, 레이더위성영상의 설명 및 소개와 함께 현재까지 국내외 개발된 영상처리 방법론 등에 대한 활발한 연구가 수행된 것으로 나타났다.

지구물리 분야의 경우 지진파 처리 관련 내용이 대다수를 차지하는 것으로 분석되었다. 이러한 이유는 국립기상과학원에서 지진계를 이용한 지진파를 처리함으로써 한반도 주변에 발생한 미소지진을 관측하고 있기 때문으로 판단된다.

지구화학 분야의 경우 화산가스의 채집 및 분석에 관한 내용이 대다수를 차지하였다. 그러나 해당내용은 중국백두산관측소의 백두산 관측 연구결과의 인용과 화산가스과 화산분화의 이론적 관련성에 대한 연구로 나타났다.

기상학 분야의 경우 화산재 확산과 관련된 내용이 이에 해당하며 화산재 확산 모델과 기상역학모델을 이용하여 한반도의 기상장/바람장을 산출한 후 분화지수에 따라 화산재 확산도를 제작한 연구가 수행되었다.

2) 연구내용 분석 결과

(1) 연구수행 방법 분석 결과

연구성과 보고서의 상세내용에 대한 분류결과, 방법론 조사를 수행한 경우는 147건으로 62.8%를 차지하였다. 실험 및 관측을 수행한 경우는 87건으로 37.2%를 차지한 것으로 나타났다. 이는 문헌 인벤토리 분석결과와 유사하다. 2010년 백두산 관련 연구가 본격적으로 시작됨에 따라 백두산에 적용 가능한 기술에 대한 사례 연구 및 가능성 타진에 대한 연구가 중점적으로 수행되었기 때문으로 판단된다.

(2) 연구내용 분석 결과

구축된 공간정보 활용 문헌의 인벤토리 내용적 분석결과, 감시/예측에 관한 연구는

191건으로 81.6%로 나타났으며, 영향 및 확산 관련 연구는 31건 13.2%로 나타났다. 피해분석의 경우 12건 5.1%에 불과한 것으로 나타나 논문 등의 내용적 분석결과와 유사한 경향을 나타냈다. 반면, 영향 및 확산, 피해분석에 관련된 연구는 분화 이후에 대한 연구로서 상대적으로 적게 수행된 것으로 나타났다.

(3) 활용자료 분석 결과

활용자료 중심으로 분석한 결과 공간정보자료 활용이 128건으로 전체의 절반 이상인 54.7%로 나타났다. 화산분출물자료 활용이 43건으로 18.4%, 파형 자료가 35건 15.0%, 기상자료 활용이 12건 5.1%, 기타자료 16건 6.8%로 나타났다. 이러한 이유는 앞에서 분석된 바와 같이 현재 백두산 화산관련 연구의 대부분이 공간정보 중심으로 수행된 것과 관련된다. 이는 문헌 정보 인벤토리에서 분석된 연구분야 분포와 유사한 경향을 나타낸다.

그러나 공간정보 내에서 세분화된 활용자료는 SAR 위성영상 46.9%(60건), GNSS 16.4%(21건), 열적외선위성영상 8.6%(11건), 광학위성영상 7.8%(10건), 측량 7.0%(9건), 기타 위성영상 6.3%(8건), GB-SAR 3.1%(4건), 수치표고자료 2.3%(3건), 지표온도 1.6%(2건) 으로 나타났다. 즉, 현재까지의 연구는 GNSS, SAR 위성영상, GB-SAR 및 측량과 같이 지표변위 관측이 가능한 자료를 활용한 연구를 중심으로 진행된 것으로 분석된다.

화산분출물 활용 연구 43건의 분석 결과 화산가스자료 41.9%(18건), 화산재 30.2%(13건), 화산폭발지수 16.35(7건), 라하르자료 4.7%(2건) 등이 입력자료로 활용된 것으로 분석되었다. 즉 화산분출물을 활용한 연구의 대부분은 화산가스와 화산재를 활용한 것으로 나타났다. 이는 화산연구에 있어 이들 자료가 중요한 것임을 시사한다.

기상자료 내에서 세분화된 활용자료는 대기역학모델이 8건, 입자확산모델이 4건인 것으로 나타났다. 이들 자료는 화산재 확산 예상을 위하여 활용되었다. 파형자료 내에서 세분화된 활용자료는 전체 35건 중 초저주파 자료 1건을 제외한 34건이 지진파를 활용한 것으로 나타났다.

(4) 자료처리 방법 분석 결과

연구보고서의 상세연구내용을 자료처리 방법 중심으로 분석하였다. SAR 처리방법이 67건으로 28.6%, 관측장비 설치방법이 35건 15.0%, 지진파 처리방법이 31건 13.2%,

화산재 확산 추정방법이 29건 12.4%, GNSS 처리방법이 17건으로 7.3%, 화산가스 측정 방법이 15건 6.4%, 열적외선영상 처리방법이 11건 4.7%, 광학영상 처리방법이 9건 3.8% 등이다.

SAR 처리방법의 경우 SAR에 대한 설명을 비롯하여 SAR위성영상을 이용한 방법론적 연구들이 수행되었으며, 모듈개발을 통한 방법론 도출 연구 또한 수행되었다. 특히 가장 비중이 높았던 SAR 처리방법은 PSInSAR기법을 이용한 것으로 23건 34.3%에 해당하는 것으로 나타났다. 관측장비 설치방법은 EDM, GNSS, 경사계 및 공진계 등의 현장관측 장비를 설치하는 방법을 의미한다. 개별 장비보다 다양한 장비를 활용하는 종합적 네트워크 구성 방법이 16건 45.7%로 나타났다. 지진파 처리방법의 경우 지진파에 대한 설명을 비롯하여 지진파를 활용하여 자연지진과 인공지진을 구분하는 방법, 지진 발생 횟수를 분석하는 방법, 진원의 위치를 결정하는 방법, 진폭을 분석하는 방법 및 토모그래피를 제작하는 방법으로 구분되었다. 특히 지진파를 이용한 토모그래피 제작 방법은 12건 38.7%로 나타나 다양한 지진파 처리방법 중 가장 많이 연구된 것으로 분석되었다. 화산재 확산 추정방법은 계절에 따라, 높이에 따라 대기질에 따라, 모델에 따라, 분출량에 따라, 시간에 따라, 입자크기에 따라 추정방법이 다양하게 분포한 것으로 분석되었다. 그러나 개별적 인자에 따른 화산재 확산 추정에 비하여 다수의 인자를 모델링하여 확산을 추정하는 모델에 따른 화산재 확산 추정방법이 절반 이상을 차지하는 것으로 15건 51.7%로 분석되었다. GNSS 처리방법의 경우 GNSS에 대한 설명을 비롯하여 지표변위 정보를 추정할 수 있는 UD 관측식, SD 관측식 및 DD 관측식에 대한 방법론적 연구들이 수행되었으며, DGPS이용 방법에 대한 연구들도 수행되었다. 화산가스 측정방법 또한 화산가스에 대한 설명적 연구가 수행되었으며, 화산가스 추정을 위한 적외선 분석기, 상호분광계 등의 관측장비 활용방법에 대한 연구와 함께 농도분석 방법, 성분비 분석 방법 등의 화산활동을 평가할 수 있는 분석방법이 연구되었다.

(5) 산출물 분석 결과

연구보고서의 상세연구내용을 산출물 중심으로 분석하였다. 1차원 그래프에 대한 산출물이 78건으로 33.3%로 나타났다. 또한, 위성영상 및 GIS 최종 결과 이미지와 같은 2차원 이미지에 대한 산출물이 142건으로 60.7%로 나타났다. 문서에 대한 산출물이 10건으로 4.3%를 차지하였다. 마지막으로 소프트웨어 산출물이 4건 1.7%로 분석되었다. 현재까지 수행된 대부분 연구의 90% 이상이 1차원 그래프 및 2차원 이미지 형태의

산출물로 제작된 것으로 판단된다.

1차원 그래프의 경우 연구지역의 지표변위량을 나타내는 지표변위 그래프가 27건 34.6%를, 지진에 대한 정보를 나타내는 지진파 그래프가 24건 30.8%를, 화산가스 변화를 나타낸 화산가스 변화 그래프가 14건 17.9%를 차지하는 것으로 분석되었다. 2차원 이미지의 경우 지표의 변위량을 지도로 제작한 지표변위도가 59건 41.5%, 화산재 예상도 및 확산도에 대한 산출물이 34건 23.9%, 관측망 구성에 대한 이미지가 16건 11.3%, 지하하부구조를 나타내는 토모그래피 이미지가 13건 9%, 지표의 온도를 지도로 제작한 지표온도 분포도가 7건 4.9%, 화산재해에 대한 피해지도 산출물이 6건 4%를 차지하는 것으로 분석되었다. 지표변위도, 지표온도 분포도, 수치표고자료 등의 산출물은 대부분의 입력자료가 위성영상자료이기 때문에 2차원 형태의 지도로 제작되고 있다.

4. 연구지역 분석 결과

백두산을 대상으로 수행된 연구는 47건 20.1%에 불과한 것으로 나타났다. 백두산과 유사한 화산을 연구한 사례와, 방법론적 조사 연구로서 연구지역이 없는 경우는 187건 79.9%로 나타났다. 이는 연구 문헌 인벤토리의 연구지역 분석 결과와 상이한 결과를 나타낸다. 이러한 이유는 연구 문헌 인벤토리의 경우, 백두산의 지질, 식생 조사와 같은 연구가 포함된 반면, 공간정보 활용 문헌의 인벤토리는 화산분화 관련 연구에 국한되는 것으로 실제 백두산을 대상으로 연구를 수행하는 데 있어 한계점이 존재하기 때문으로 판단된다. 또한, 방법론 조사관련 연구가 62.8%로 주를 이루는 것이 원인으로 판단된다. 방법론적 연구를 제외하여 분석을 수행한다면, 87건의 실험 및 관측 연구에서 백두산을 대상으로 수행한 연구는 54.0%로 46.0%에 해당하는 절반정도의 연구가 백두산과 유사한 지역을 대상으로 연구를 수행한 것으로 분석되었다.

IV. 결론 및 제언

본 연구의 목적은 크게 두 가지이다. 첫째, 국내의 백두산 관련 연구가 시작된 시점부터 현재까지의 백두산 관련 연구를 정리하고 이를 통한 향후 지속적인 백두산 연구의 발전방향을 제시하는 데 있다. 둘째, 백두산 연구의 주요 방향인 분화 관련 연구(감

시/예측)의 방법론, 활용 자료 및 결과 등을 보다 세밀하게 분석하여 향후 거시적 연구 방향을 논의하는 것이다.

첫째, 백두산 관련 문헌정보 인벤토리를 작성하여 분석한 결과 백두산 관련 연구는 1980년대부터 2014년까지 지속적으로 진행되었으며, 감시예측 분야가 54.7%로 가장 많은 연구가 진행되었다. 이러한 연구 결과는 2010년 기상청과 국립기상과학원에서 백두산 분화와 관련된 감시/예측의 주무부서로의 역할과 연계된 결과로 사료된다. 연구 부분으로는 지구과학 44.4%, 인문사회 17.3%, 공간정보 16.0%, 생태학 12.0% 순으로 지구과학분야의 연구가 가장 많이 수행된 것으로 나타났다. 인문사회나 공간정보 분야에 대한 연구는 2010년에 들어서 중점적으로 수행된 반면 백두산 지질과 같은 기초 연구나 화산에 관한 연구는 1980년대부터 꾸준히 수행되었기 때문에 판단된다. 연구 수행 방법에 대한 분석결과는 조사 연구방법이 56.0%, 실험 및 관측 연구방법이 44.0%로 나타났다. 이러한 결과는 백두산이라는 접근이 어려운 지역을 대상으로 수행되는 연구의 한계와 직접적인 연관이 있으며, 향후 실제 백두산 분화 시 활용될 수 있는 실험 및 관측 연구가 더 수행되어야 함을 간접적으로 대변한다.

둘째, 전술된 백두산 주요 연구 방향인 감시/예측에 대하여 연구방법, 활용 자료를 중심으로 하는 공간정보 활용 문헌의 인벤토리를 작성하였다. 따라서 백두산 감시예측 관련 주무기관인 기상청과 국립기상과학원의 연구보고서 18건을 대상으로 선정하였다. 자세한 분석을 위하여 개별 보고서의 내용을 검토하여 총 234건으로 세분화를 수행하였다. 분석결과 위성영상 중 물리적 특성을 파악하는데 용이한 레이더 위성영상의 활용이 높은 것으로 분석되었다. 활용자료, 방법론 및 산출물을 집중 분석한 결과에서도 GNSS, SAR 위성영상, GB-SAR 및 측량과 같이 지표변위 관측이 가능한 자료에 대한 연구가 많이 수행되었다. 자료처리 방법의 경우 SAR 처리방법 28.6%, 관측장비 설치방법 15.0%, 지진파 처리방법 13.2%, 화산재 확산 추정방법 12.4%, GNSS 처리방법 7.3%, 화산가스 측정방법 6.4%, 열적외선영상 처리방법 4.7%, 광학영상 처리방법 3.8%, 화산분화 평가방법 2.6%, 피해 대응 제시 및 영향 추정 방법 2.1% 순으로 나타났다. 이는 백두산 분화의 전조를 백두산의 물리적 변화를 통하여 관측하기 위한 것으로 사료된다. 산출물의 경우 2차원 이미지에 대한 산출물 60.7%, 그래프에 대한 산출물 33.3%, 문서에 대한 산출물 4.3%, 소프트웨어 산출물 1.7% 순으로 나타났다. 즉, 현재 까지 수행된 대부분의 연구의 90% 이상이 1차원 그래프 및 2차원 이미지 형태의 산출물로 제작된 것으로 분석되었다.

본 연구에서 조사된 내용 중 공간정보 관련 사항을 정리하여 두 가지 제언을 도출하였다. 첫째, 감시에측에 활용된 공간정보 자료(위성영상, GIS Data 및 지진파 등)를 향후 연구에도 활용 가능하도록 공동 활용 시스템을 만들어야 한다. 공간정보 자료는 개별 자료 구매에 대한 비용이 높고, 처리가 복잡하다는 특성이 있다. 이에 따라, 전처리 과정이 효과적으로 진행된다면 단일 연구에 활용되는 것이 아니라 추후 유사 연구에 활용되는 것이 가능할 것이다. 또한, 이를 통하여 연구비의 중복성 및 예산 활용의 효율성을 높일 수 있다. 둘째, 전송된 공간정보 기반의 산출물을 중첩 및 연계 분석하는 시스템을 만들어야 한다. 동일 연구지역인 백두산을 대상으로 분석된 결과는 시기별로 차이가 있지만 공간적·지역적 유사성이 있으며, 분석 방법 및 결과는 다르지만 분석 목적이 분화 예측이라는 통일성이 있다. 이러한 내용적, 지역적 특성을 기반으로 기존의 연구된 결과 중 공간정보로 구현 가능한 대상을 선정하고 이를 시스템으로 구축하여 비교, 중첩 및 연계분석을 통한 활용성을 높일 수 있다.

본 연구에서는 백두산 관련 연구의 분야, 내용 및 결과 등에 대한 정밀 분석을 수행하였으며, 국내 백두산 관련 연구의 경향성을 파악하기 위한 시도를 하였다는 점에서 의의가 있다. 덧붙여, 본 연구에서는 현재까지 발간된 연구보고서를 세분화하고 각각의 내용을 통합하여 공간정보 활용 문헌의 인벤토리 구축 및 분석을 수행하였다는 점에서 의미가 있다고 사료된다. 그러나 본 연구는 해외 연구진에 의한 백두산 연구 동향을 수행하지 못했다는 한계를 지닌다. 본 연구에서는 국외연구기관 및 연구진의 연구 성과는 배제하였으며, 국외화산과 백두산의 유사성에 대해서는 고려하지 못한 한계점이 존재한다. 본 연구 결과를 통하여 지속적으로 증가하는 백두산 관련 연구를 체계적으로 관리하는 기반을 다지고, 향후 공간정보를 활용하는 공동활용 시스템이 구축된다면 백두산 분화 관련 전조와 피해 예측에 대한 과학적 기반으로 활용이 가능할 것이다.

참고문헌

- 국가과학기술위원회. 2011. 「2012년 중점추진 재난·재해 기술 선정(안)」. pp.4-5.
- 국립기상과학원. 2012. 「관측·지진기술 지원 및 활용연구(I)」 pp.1-161.
- 박경. 2013. “백두산 화산 관련 연구동향 - 휴화산/활화산 논쟁과 관련하여-”. 「한국지형학회지」 20(4) : 117-131.
- 김주환. 1992. “백두산의 지질과 지형”. 「국토지리학회지」 19 : 1-28.
- 박승환, 정형섭, 신한섭. 2013. “Landsat 위성영상을 이용한 지표온도차 추정기법”. 「대한원격탐사학회지」 29(2) : 197-207.
- 박용재, 장은미. 2013. “화산재로 인한 경제적 피해산정: 피해지도 제작 및 산출 모델링 적용 방안”. 「한국지도학회지」 13(3) : 89-102.
- 서장원, 이희욱, 김성민, 박형동. 2013. “백두산 천지 붕괴 가상 시나리오 별 천지못 유출수의 피해영향범위 예측”. 「대한지질공학회지」 23(4) : 409-425.
- 윤성효, 최종섭. 1996. “백두산 천지 갈데라 화산의 역사 분출기록”. 「한국지구과학회지」 17(5) : 376-382.
- _____. 2013. “백두산의 역사시대 분화 기록에 대한 화산학적 해석”. 「한국지구과학회지」 34(6) : 456-469.
- 윤성효. 2013. “백두산 천지 화산의 화산재 확산과 침적 모델링을 위한 개념적 설계”. 「암석학회지」 22(4) : 273-289.
- 이덕수, 최승찬, 오창환, 서민호, 유인창. 2013. “인공위성을 이용한 백두산 화산 마그마 활동의 전조현상 인지 가능성 연구”. 「암석학회지」 22(1) : 35-47.
- 이순환, 장은숙, 이현미. 2012. “백두산 분화 강도에 따른 화산재 확산 사례 분석”. 「한국지구과학회지」 33(3) : 280-293.
- 이슬기, 류근혁, 황의홍, 최종국, 이창욱. 2014. “GOCI 위성영상과 HYSPLIT 모델을 이용한 화산재 확산경로 예측”. 「대한원격탐사학회지」 30(2) : 303-314.
- 이윤정, 김수도, 천준석, 우균. 2013. “백두산 화산재 피해 시나리오에 따른 강원도 지역 농작물의 경제적 피해 추정”. 「한국지구과학회지」 34(6) : 515-523.
- 정형섭, 이창욱, 박정원, 김기동, 원중선. 2008. “차분 간섭도로부터 지표변위의 시계열 관측을 위한 개선된 Small Baseline Subset (SBAS) 알고리즘”. 「대한원격탐사학회지」 24(2) :

165-177.

조민지, 장레이, 이창욱. 2013. “세계열 지표변위 관측기법(TCPIInSAR와 SBAS)을 이용한 미국 알라스카 어거스틴 화산활동 감시”. 「대한원격탐사학회지」 29(1) : 21-34.

한국기록학회. 2008. “기록학 용어 사전”. 「역사비평사」 p.178.

한국환경·정책평가연구원. 2014. 「백두산 폭발 모니터링을 위한 환경지질 공간정보 인벤토리 구축 연구」. 부록1 : 1-10.

한국표준과학연구원. 2012. 「전지구 위성항법 시스템(GNSS)을 이용한 화산 및 지진 관측 기초 연구」. pp.1-62.

Horn, S., Schmincke, H. U. 2000. "Volatile emission during the eruption of Baitoushan volcano(China/North Korea) ca. 969 AD". *Bulletin of Volcanology*, 61 : 537-555.

Wei, H. Q., Liu, G. M. and Gill J. 2013. "Review of eruptive activity at Tianchi volcano, Changbaishan, northeast China: implications for possible future eruptions". *Bulletin of Volcanology*, 75(4) : doi: 10.1007/s00445-013-0706-5.

Xu, J. D., Liu, G. M., Wu, J. P., Ming, Y. H., Wang, Q. L., Cui, D. X., Shanguan, Z. G., Pan, B., Lin, X. D. and Liu J. Q. 2012. "Recent unrest of Changbaishan volcano, northeast China: A precursor of a future eruption?". *Geophysical Research Letters*, 39 : doi: 10.1029/2012GL052600.

Xu, J. D., Pan, B., Liu, T. Z., Hajdas, I., Zaho, B., Yu, H. M., Liu, R. X. and Zhao, P. 2013. "Climatic impact of the Millennium eruption of Changbaishan volcano in China: New insights from high-precision radiocarbon wiggle-match dating". *Geophysical Research Letters*, 40 : DOI: 10.1029/2012GL054246.