

위성영상-AI 기반 재난모니터링과 실현 가능한 준실시간 통합 재난모니터링 시스템*

김준우¹ · 김덕진^{2*}

Satellite Imagery and AI-based Disaster Monitoring and Establishing a Feasible Integrated Near Real-Time Disaster Monitoring System*

Junwoo KIM¹ · Duk-jin KIM^{2*}

요 약

원격탐사 기술의 발전과 활용 가능한 위성의 증가로 재난의 예방, 대비, 대응, 복구 등에서 위성영상자료의 활용에 대한 요구가 높아지고 있다. 위성영상은 센서의 특성에 따라 적용 가능한 재난의 모니터링을 위해 활용되고 있지만, 통합된 모니터링 시스템의 구축을 위해 기존 시스템을 평가하고 이를 바탕으로 실현 가능한 준실시간 통합 재난모니터링 시스템 구축을 위한 구체적인 청사진을 제시한 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 그 사례가 확인되지 않는다. 본 연구는 원격탐사를 통한 재난모니터링의 개념화를 통해 준실시간 재난모니터링 시스템 구축의 장애요인들을 확인하고, 실제로 활용 가능한 영상자료와 실현 가능한 재난모니터링 시스템을 제시하였다. 원격탐사를 통한 준실시간 재난모니터링은 다양한 요인들에 의해 통합시스템의 구축이 제한되며, 시스템 구축을 위한 기술적, 경제적 요인과 함께 위성영상 확보의 적시성을 가로막는 정책적 요인과 일관성 있는 정보생산을 위한 영상분석에 대한 제도적 요인에도 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 제약들은 AWS(Amazon Web Services)와 같은 위성영상의 저장, 취득, 분석에 활용되는 컴퓨팅 플랫폼과 같은 통합서버의 확보와, 재난의 종류와 상황에 부합하는 활용 가능 위성의 궤도분석을 가능하게 하는 분석도구의 개발에 의해 극복될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구는 이러한 제도적, 경제적, 기술적, 정책적 제약들을 극복할 수 있는 위성영상 기반 통합 재난모니터링 시스템 구축을 위한 프레임워크를 제시하였으며, 재난의 종류와 단계에 따른 AI 기반 위성영상 분석 방법론을 제안하였다. 이러한 결과는 원격탐사와 재난관리 분야에 학술적 시사점을 제공하고, 재난모니터링 분야에 실무적 기여를 할 것으로 판단된다.

2020년 07월 30일 접수 Received on July 30, 2020 / 2020년 09월 08일 수정 Revised on September 08, 2020 / 2020년 09월 09일 심사완료 Accepted on September 09, 2020

* 본 연구는 행정안전부 재난안전 산업육성지원 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(no.20009742).

1 서울대학교 지구환경과학부 박사후연구원 School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Postdoctoral Researcher

2 서울대학교 지구환경과학부 정교수 School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Professor

* Corresponding author: e-mail : djkim@snu.ac.kr

주요어: 원격탐사, 재난모니터링, 위성영상, 통합모니터링 시스템, 인공지능

ABSTRACT

As remote sensing technologies are evolving, and more satellites are orbited, the demand for using satellite data for disaster monitoring is rapidly increasing. Although natural and social disasters have been monitored using satellite data, constraints on establishing an integrated satellite-based near real-time disaster monitoring system have not been identified yet, and thus a novel framework for establishing such system remains to be presented. This research identifies constraints on establishing satellite data-based near real-time disaster monitoring systems by devising and testing a new conceptual framework of disaster monitoring, and then presents a feasible disaster monitoring system that relies mainly on acquirable satellite data. Implementing near real-time disaster monitoring by satellite remote sensing is constrained by technological and economic factors, and more significantly, it is also limited by interactions between organisations and policy that hamper timely acquiring appropriate satellite data for the purpose, and institutional factors that are related to satellite data analyses. Such constraints could be eased by employing an integrated computing platform, such as Amazon Web Services(AWS), which enables obtaining, storing and analysing satellite data, and by developing a toolkit by which appropriate satellites' sensors that are required for monitoring specific types of disaster, and their orbits, can be analysed. It is anticipated that the findings of this research could be used as meaningful reference when trying to establishing a satellite-based near real-time disaster monitoring system in any country.

KEYWORDS : *Remote Sensing, Disaster Monitoring, Satellite Data, Integrated Monitoring System, Artificial Intelligence*

서 론

다양한 특성을 가진 센서를 탑재한 위성들의 발사와 영상취득 기술의 발전으로 위성영상을 활용해 광역지역을 보다 높은 공간과 주기해상도(spatial and temporal resolution)로 모니터링하는 것이 가능해 지고 있으며, 이에 따라 사회적으로 위성영상의 활용도가 점차 높아지고 있다(Jung, 2012). 특히 재난은 재난 발생시 신속한 대응책 마련과 사후 복구를 위한 예산 편성에 신뢰성 있는 현장 상황파악과 피해조사가 필요해(Shim *et al.*, 2006), 재난의 예방, 대비, 대응 그리고 복구 과정에서 위성영상 활

용에 대한 요구가 증대되고 있다(National Disaster Management Research Institute, 2014a).

재난은 '재난 및 안전관리 기본법' (법률 제 14248호 1장 제 3조)에서 "국민의 생명·신체·재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것" 으로서 자연현상으로 인해 발생하는 '자연재난' 과 자연재해가 아닌 '사회재난' 으로 분류하고 있다. 보다 세부적으로 자연재난은 "태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사, 조류 대발생, 조수, 화산활동, 소행성·유성체 등 자연우주물체의 추락·충돌 등" 10종으로 분류되고 있으며, 자연재해가 아닌 사회재난은 "화재, 붕괴, 폭발, 교통사고, 화

생방사고, 환경오염사고 등으로 인하여 발생하는 국가 또는 지방자치단체 차원의 대처가 필요한 인명 또는 재산의 피해 등과 에너지·통신·교통·금융·의료·수도 등 국가기반체계의 마비, 감염병 또는 가축전염병의 확산 등”의 27종으로 분류된다. 위성영상은 이러한 자연재난과 사회재난 중 일부 재난에 대해 발생 이전에 광역지역에 대한 모니터링을 통한 예방과 대비, 그리고 재난의 발생 이후 단계인 대응과 복구에서 피해규모의 파악 등에서 활용이 가능하다(Joyce *et al.*, 2009).

재난모니터링에 이용될 수 있는 대표적 센서는 에너지원, 위성의 궤도, 파장의 특성 등에 따라 크게 정지궤도위성을 포함하는 광학센서(optical sensors)와 능동형 센서(active sensors)인 SAR(Synthetic Aperture Radar)가 있다. 인공위성에 탑재된 센서의 종류에 따라 임무의 범위가 상이하지만, 광학센서는 시각적으로 판별이 가능한 대부분의 재난(e.g., 홍수, 산불, 지진, 기름유출, 가뭄, 태풍, 산사태, 폭설)에 적용이 가능하다(Kim *et al.*, 2017). 광학영상을 활용한 기존의 연구들은 Sentinel-2와 PlanetScope 자료를 활용한 산불 피해면적과 등급의 평가(Kim *et al.*, 2019a), Formosat-2 영상을 활용한 산사태 평가(Tsai *et al.*, 2010), Landsat이나 MODIS와 같은 중·저해상도 위성영상을 활용한 가뭄모니터링(Kim *et al.*, 2016; Kim and Shim, 2017, 하천오염(Swain and Sahoo, 2017), 그리고 폭설(Kim *et al.*, 2012) 등에 대해 수행되었다. 또한 Himawari-8이나 GK-2A와 같은 정지궤도 위성은 산불탐지(Jang *et al.*, 2019)나 태풍모니터링(Lee *et al.*, 2020) 등 높은 주기해상도를 요구하는 재난모니터링에 활용되었다. 사용되는 파장과 센서의 특성 등으로 인해 광학영상과 다른 특성을 가지는 SAR 영상은 홍수피해지역의 추출(Henry *et al.*, 2006; Son and Kim, 2019), 산불 피해지역 산정(Kurum, 2015), 해양유류유출(Zhang *et al.*, 2014), 지진과 지반침하를 포함하는 지반변위(Yu and Yun, 2019), 화산활동(Peltier *et al.*, 2010; Meyer *et al.*, 2015) 등의 모니

터링에 적용된 사례가 있다.

위성영상을 활용한 재난관리와 사전위험요소 탐지를 위해서는 상시 재난모니터링을 가능하게 하는 시스템의 구축이 요구되지만, 제시된 대부분의 선행연구는 개별 센서를 활용한 재난의 탐지나 대응에 초점을 두고 있으며, 재난 발생 이후에 취득 가능한 위성영상을 활용하여 분석된 결과를 토대로 학술적 발견을 제시하기 위해 주로 수행되었다. 활용 가능한 원격탐사 기술이나 위성영상의 활용 가능성을 분석한 연구(e.g. Joyce *et al.*, 2009; National Disaster Management Research Institute, 2014b)와 재난모니터링을 위한 시스템의 구축을 논의한 소수의 연구가 수행되었지만(e.g., Yang *et al.*, 2012, Kim *et al.*, 2016), 재난 발생 시 짧게는 1시간 이내, 길게는 24시간 이내에 위성영상의 확보와 분석, 표출 과정을 거쳐 재난 필수정보의 제공이 가능한 ‘준실시간 통합 재난모니터링 시스템’에 대한 구체적인 청사진을 제시한 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 그 사례가 확인되지 않는다. 이것은 통합된 모니터링 시스템의 구축을 가로막는 장애요인과 이러한 장애요인들에 대한 극복방안이 아직 파악되지 않았기 때문이다.

본 연구에서는 실현 가능한 위성영상 기반의 준실시간 재난모니터링 시스템의 청사진을 제시하기 위해 가용 영상자원의 종류, 위성영상의 제공처, 기존 재난모니터링 시스템의 제약 등을 분석하였다. 이러한 분석들은 재난모니터링의 개념화를 통한 일반화된 분석틀(i.e., conceptual framework)의 제시와 적용을 통해 수행되었다.

원격탐사에 의한 재난모니터링의 개념화와 실증자료의 수집/분석

1. 연구 방법론과 실증자료의 수집/분석

위성영상을 활용한 재난모니터링은 위성센서에 의해 취득된 자료를 재난의 대응과 관리에 필요한 정보로 가공하는 과정이다. Schott(1997)은 원격탐사를 통한 데이터의 수집과 정보의 생산을 계속되는 흐름으로서의 과정으로 간주하였

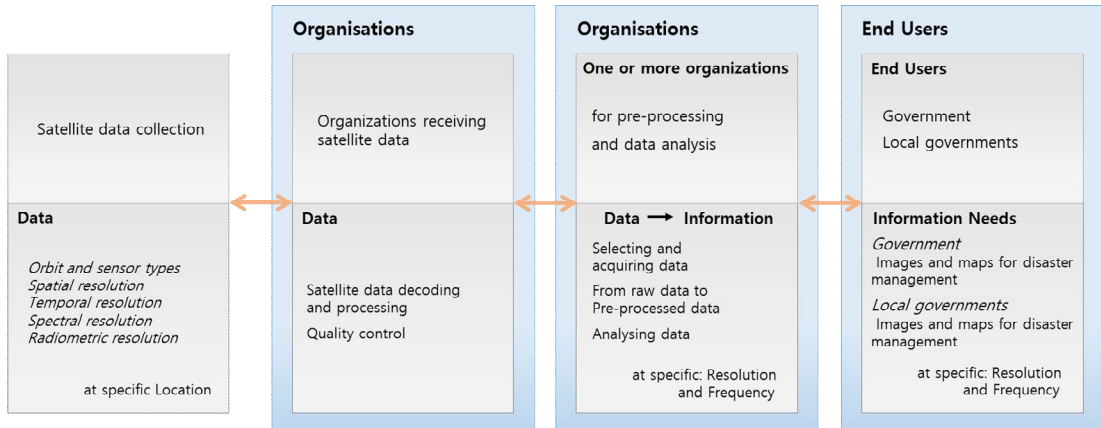


FIGURE 1. The conceptual framework for disaster monitoring
(This framework drew on the knowledge exchange chain framework (Grainger, 2010), and the conceptual framework for earth observation (Grainger, 2017).)

고, 사용자에게로 전달되는 정보의 흐름을 저해하는 요인들을 분석하였다. 본 연구에서는 위성영상을 활용한 재난모니터링을 원격탐사 자료의 수집과 이를 활용한 정보와 지식의 생산을 개념적으로 보여주는 Knowledge Exchange Chain framework(Grainger, 2010)와 위성에 의한 지구관측을 개념화한 Conceptual Framework for Earth Observation(Grainger, 2017)을 토대로 개념화 하였다(그림 1). 개념적 틀(conceptual framework)을 활용한 접근법은 특정 현상에 대한 이해를 높이기 위해 가설이나 연구질문을 생성하고, 경험적 연구를 수행하여 변수나 과정을 평가한다.

본 연구를 위해 제시된 재난모니터링을 위한 개념적 프레임워크(Conceptual Framework for Disaster Monitoring, 이하 CFDM)는 재난모니터링의 과정을 데이터의 수집과 가공을 통한 정보생산의 과정으로 개념화하여, 재난모니터링 과정에서 나타나는 제약들의 확인을 가능하게 한다. 본 연구에서 CFDM을 적용해 재난모니터링 과정을 분석하기 위해 문헌조사와 더불어 실증자료 수집을 실시하였다. 실증자료는 2019년 9월에서 2020년 2월 사이에 진행된 ‘위성영상 기반 재난모니터링 시스템 구축’을 위한 일련의 회의(주관기관: 행정안전부)와 해

당 시스템의 ‘현장 적용성 평가 수행’ 과정의 참여를 통해 수집되었다. 7회에 걸쳐 진행된 재난모니터링 관련 회의에서는 국가기관과 공기업, 국가연구기관, 대학, 그 밖의 유관기업에 소속된 전문가 약 40여명이 참석하였다. 실증자료의 수집은 전문가들이 의견을 나누는 과정의 직접관찰을 통해 이루어졌으며, 이러한 과정은 녹취 후 보다 심도있는 분석을 위해 기록되었다. 실증자료의 수집과는 별개로 전문가의 의견을 토대로한 분석을 보다 명확히 하기 위해 실증자료의 수집 전과 후에 ‘재난모니터링을 위한 위성영상의 취득 및 활용’에 관련한 2차 자료의 분석을 실시하였다.

2. 재난모니터링을 위한 개념적 프레임워크

위성영상 자료는 각기 다른 특성을 가진 인공위성과 거기에 탑재된 센서에 의해 수집된다. 이러한 위성의 궤도와 센서의 특성으로 인해 위성영상 자료는 특정위치에 대해 각기 다른 공간해상도, 시간해상도, 분광해상도, 그리고 방사해상도를 가진다. 광학영상의 수집은 구름이나 안개의 유무에 따른 ‘자연적 요인’에 영향을 받으며, 취득할 수 있는 영상의 양과 질은 센서의 성능, 저장과 전송 능력과 같은 ‘기술적인 요인’에 따라 결정될 수 있다. 위성센서에 의해

활용된 영상은 위성과의 교신이 이루어지는 지상국으로 전송되며, 각각의 위성들은 서로 같거나 상이한 지상국에 촬영된 영상을 송신한다. 수신된 영상들은 배포를 위해 디코딩(decoding)과 지오코딩(geo-coding)과 같은 처리과정을 거치며, 이 과정은 각 센서의 디자인과 영상배포 정책에 따라 달라질 수 있다.

재난모니터링을 위한 영상의 취득은 위성을 발사·운용하는 정부기관 혹은 상업기관에 의해 수행되며, 정보생산을 위한 영상의 전처리와 영상의 분석은 재난관리를 목적으로 하는 하나 혹은 그 이상의 정부 혹은 관련조직에서 수행될 수 있다. 영상을 수신하고 처리하는 다양한 조직에서 제공되는 무료 혹은 유료의 위성영상은 재난의 시기와 종류, 범위에 따라 모니터링을 수행하는 기관에 의해 선택적으로 취득된다. 이러한 영상의 취득은 '경제적 요인' 과 자료제공을 위해 조직들 사이에 '구축된 네트워크를 통한 상호작용'에 따라 그 양과 질, 그리고 영상 취득에 소요되는 시간이 결정될 가능성이 높다. 조직간의 네트워크 구축이나 자료의 공유는 정부 혹은 기관 정책의 영향을 받는다.

정보생산을 위해 필요한 분석과정을 거친 위성영상은 자료에서 활용 가능한 정보로 변환된다. 이때 위성영상의 전처리 과정은 취득된 데이터의 처리 수준과 활용 목적에 따라 차이를 보이며, 전처리 된 위성영상의 분석을 위한 분석모델과 알고리즘은 생산하고자 하는 정보의 종류에 따라 상이하다. 위성영상의 분석과 같은 조직의 행태는 조직 내 모든 행위자의 반복되는 행위, 즉 제도에 의해 결정된다. 제도는 "물리적 세계뿐만 아니라 규칙, 규범 및 공유된 전략에 의해 구조화된 상황에서 지속성을 가지는 반복되는 인간의 행위"로 정의된다(Crawford and Ostrom, 1995, p.582). 제도는 조직에 의해 특정한 목적 달성을 위해 도입된 조직내의 기술, 인적자원, 조직의 정책과 상호적인 연결성을 가질 수 있다.

영상분석을 통해 생산된 정보는 재난을 관리하는 정부 혹은 지방정부, 그리고 다른 사용자들에게 제공되며, 이때 영상은 재난의 예방, 대

비, 대응, 복구 등의 목적으로 활용될 수 있다. 위성영상의 분석을 통해 도출되는 재난정보의 수요와 요구는 특정 공간 해상도와 빈도에서 정보의 생산을 규정하는 국가 정책과 다른 정보사용자의 요구에 영향을 받는 경우가 많다. 따라서 영상의 분석과 생산된 정보의 양과 질, 즉 해상도, 취득주기, 정확도는 특정정보를 필요로 하는, 국가정책을 포함하는, 정보 수요자의 요구 혹은 이에 영향을 받은 '조직의 정책'에 영향을 받는다. 생산된 정보의 활용정도와 유용성은 정보 생산자와 수요자의 인지적 그리고 언어적 특성을 고려한 과학적 언어의 번역과 생산자와 수요자의 쌍방향의 소통에 영향을 받을 수 있다.

위성영상 기반 준실시간 재난모니터링 평가

1. 재난모니터링을 위한 영상자료의 취득

재난의 종류와 재난의 단계에 따라 필요한, 그리고 활용 가능한, 위성영상의 종류는 상이하다. 위성에 탑재된 센서에 의한 영상의 촬영은, 광학영상의 경우 영상취득 및 저장 기술의 발전과 PlanetScope와 같은 초소형위성의 출현으로 매우 짧은 시간주기에서 높은 공간해상도로 이루어질 수 있다. 하지만, 영상의 취득은 가조시간대로 제한되며, 취득된 광학영상의 공급은 구름과 안개와 같은 영상에 존재하는 자연적 요인에 의해 그 활용도가 달라지므로, 재난의 종류에 따른 재난대응에 주어진 최대 허용시간(critical time)에 따라 취득 가능한 영상을 파악할 필요가 있다.

광학영상과는 달리 SAR영상은 사용되는 파장대의 특성으로 인해 영상의 취득에 있어서 광량이나 구름의 유무와 같은 자연적 요인으로부터 비교적 적게 영향을 받지만, 재난이 발생하는 특정지역에 대해 적시에 Sentinel-1A/B나 KOMPSAT-5와 같은 관련 영상을 취득할 수 있는지는 지역과 시기 그리고 영상의 전처리와 배포에 소요되는 시간에 따라 차이를 보인다. 특히 대응단계에서 준실시간 수준의 즉시적인

관측을 요하는 재난모니터링의 경우 영상 전처리와 배포에 관련한 기술적, 제도적 요인과 영상수급을 결정하는 정책에 의해 영상취득에 소요되는 시간이 결정되는 것으로 나타났다. 필요영상의 적시 수급은 ‘경제적 요인’을 결정하는 영상배포 정책과, 정책에 영향을 받는 조직들 사이에 ‘구축된 네트워크를 통한 상호작용’에 의해 제한되며, 이러한 요인들은 영상의 분석과 그것을 위한 제도적 기반 구축 또한 저해하는 것으로 나타났다. 특히 자료 제공을 위한 기관들간의 네트워크는 국가 혹은 조직의 정책에 따라 구축될 수 있으므로, 위성영상 수급의 적시성은 위성을 발사·운용하는 정부나 기관 혹은 기업의 정책에 의해 제한되는 것으로 나타났다. 따라서 재난유형과 시기에 따른 영상취득의 적시성은 보장되지 않으며, 무료로 배포되지 않는 상업용 위성의 경우에는 영상의 취득이 경제적 요인에 의해 크게 제한된다.

위성영상을 활용해 모니터링이 가능한 재난과 불가능한 재난의 분류와 재난에 따라 적용 가능한 위성영상, 재난유형과 단계별 위성영상 취득의 적시성 등은 아직 철저히 분석되지 않았다. 활용 가능한 지구관측위성의 궤도정보와 재난 발생일시와 종류, 재난지역의 위치정보와 범위의 매칭(matching)을 통한 영상의 제공이 가능한 위성의 선별은 기술적, 제도적 요인에 의해 그 체계의 확립이 저해되는 것으로 보인다.

2. 재난모니터링을 위한 영상자료의 분석

상이한 특성을 가진 센서를 탑재한 다양한 인공위성이 운용 중이며, 재난모니터링을 위한 다수의 국내외 위성영상 공급처가 존재하지만, 전술된 것과 같이 재난모니터링을 위해 준실시간으로 취득 가능한 위성영상은 제한적이다 (표 1). 재난탐지를 위한 최적의 위성영상의 선정은 분광해상도, 공간해상도, 주기해상도, 수신되는 신호의 특성 등 다양한 센서특성에 따라 결정된다(Woo *et al.*, 2015). 이러한 센서의 특징과 함께 재난의 유형과 단계에 따른 탐지 가능성, 위성영상의 취득 가능성, 위성영상 분석의 신뢰

도 및 정확도 등의 파악은 보다 심도있는 분석을 필요로 한다.

기하보정이나 방사보정과 같은 영상분석에 필수적으로 요구되는 전처리 과정 또한 재난의 종류와 적용되는 위성영상의 종류, 도출하고자 하는 정보의 종류에 따라 상이하며, 이러한 과정들은 적용되는 알고리즘이나 분석 모형에 따라 차이를 보이지만, 필수 전처리 과정은 아직 완전히 일원화 및 자동화가 이루어지지 않았다.

모니터링 가능한 재난의 선정 후 영상분석을 위해 수행되는 알고리즘이나 분석 모형의 선정과 적용방식 또한 다양하지만, 이러한 과정은 정해진 규정에 의존하는 공식적인 제도 보다는 발생되는 상황마다 다르게 선정 및 적용되는 비공식적인 제도에 의존하고 있다. 다시말해, 위성자료 가공을 통한 필요정보 생산을 위한 다양한 분석기법들과 추가적으로 활용 가능한 자료, 혹은 지수들(indices)이 관련 선행연구를 통해 제공되고 있지만, 모니터링이 가능한 재난의 종류와 특정 재난에 필요한 영상분석에 적용되는 분석방법의 확립화는 이루어지지 않았으며, 최적화되거나 보편적으로 활용되는 표준화된 분석방법이 존재하지 않는다.

영상분석을 위한 영상의 저장은 재난의 공간적 규모와 모니터링의 간격, 필요한 데이터의 크기와 자료의 취득빈도에 따라 결정되므로, 이는 기술적 요인과 경제적 요인에 의한 제한된다. 하지만 대용량 데이터의 처리가 요구되는 실제 영상의 분석행위는 경제적, 기술적 요인보다는 분석행위를 결정하는 제도적 요인과 이러한 분석행위를 규정하는 국내 그리고 조직의 정책에 의한 보다 크게 제한된다. 특히 피해의 규모와 피해정도와 같은 분석의 자동화에는 상술된 요인들에 의해 더 크게 영향을 받으며, 재난에 따른 피해규모와 정도는 그 기준이 확립적으로 적용되기 어렵다.

직간접적으로 수신된 다양한 센서들로 부터 취득된 위성영상을 저장·전처리·분석·관리할 수 있는 시스템이 이미 구축되어 운영되고 있으며(Kim *et al.*, 2019b), 각 재난 상황에 따른 데이터 분석을 위한 관련 기관의 인적자원은 비

TABLE 1. Available satellite data that have possibility of being used for disaster monitoring

Type	Satellite sensors (Launch date)	Spatial resolution	Temporal resolution	Swath width	Bands /Wavelength	Distribution policy	Applicability
Optical Sensors (Geostationary and Polar orbiting satellites)	GK-2A (4 Dec 2018)	0.5-1km(VIS), 2km(IR)	Full disk - AMI: Less than 10 minutes	Full disk, Regional and local areas	16 bands including 4 VIS, 2 NIR, 10 IR (0.43-13.39 μ m)	Free when requested	Forest fire detection, typhoon tracking and intensity
	Himawari-8 (7 Oct 2014)	0.5, 2km	Full disk -144 per day	Full disk	VIS, IR(0.47-13.28 μ m)	Open access	
	Suomi NPP VIIRS (28 Oct 2011)	375m (I-band)	Less than 12 hours of global coverage	3,040km	5 I-bands, 16 M-bands and a day/night band(DNB)	Open access	
	Sentinel-2A/B (2A- 23 Jun 2015 2B- 7 Mar 2017)	10,20,60m	5 days	290km	13 bands including VIS, NIR, SWIR (0.44-2.2 μ m)	Open access	
	PlanetScope (Various*)	3m	Daily at nadir	24km	4 bands including VIS, NIR(0.45-0.86 μ m)	Commercial	
	Landsat 8 OLI, TIRS (11 Feb 2013)	15, 30m (TIRS 100m)	16 days	185km	11 bands including VIS, NIR, TIR (0.43-2.3 μ m)	Open access	
	Terra/Aqua MODIS (Terra- 18 Dec 1999 Aqua- 4 May 2002)	250, 1000m	1-2 times per day	2,330km	36 bands including VIS, NIR (0.4-14.4 μ m)	Open access	
	KOMPSAT-3 (18 May 2012)	Pan -0.7m, Multi -2.8m	Revisit time - 1.4 days	15km	4 bands including VIS, NIR (0.45-0.9 μ m)	Not free	
	KOMPSAT-3A (25 Mar 2015)	Pan -0.55m, Multi -2.2m, IR - 5.5m	Revisit time - 2.7 days (<20° off-nadir)	13km	5 bands including VIS, NIR (0.45-0.9 μ m), and MWIR(3.3-5.2 μ m)	Not free	
	SAR Sensors	Sentinel-1A/B** (1A- 3 Apr 2014, 1B- 25 Apr 2016)	SM-5x5m, IW-5x20m, EW-25x100m	12 days	SM*** 80km, IW**** 250km EW***** 400km	C-band (3.75~7.5cm)	
KOMPSAT-5 (22 Aug 2013)		1, 3, 20m	28 days	SM 30km, HR 5km, WS 90-120km	X-band (2.5~3.75cm)	Not free	
Cosmo-SkyMed (CSK1-4, Various*****)		Spotlight \leq 1m, Stripmap 3-15 m, ScanSAR 30 or 100m	5 days each	Spotlight 10km, Stripmap 40km, ScanSAR 100 or 200km	X-band (2.5~3.75cm)	Not free	

* 12 satellites 22 Jun 2016, 88 satellites 15 Feb 2017, 48 satellites 14 Jul 2017

** Sentinel 1A/B produce data in single (HH or VV) or double (HH + HV or VV + VH) polarization, except for Wave (WW) Mode.

*** SM - Strip Map (SM) Mode

**** IW - Interferometric Wide Swath (IW) Mode

***** EW - Extra Wide Swath (EW) Mode

***** The launch dates of CSK 1-4 are 8 Jun 2007, 9 Dec 2007, 25 Oct 2008, and 6 Nov 2010, respectively

교적 풍부하지만, 데이터 분석을 위한 인력들에 의한 자동화를 위한 기반 구축과 모델 최적화, 개발된 분석모델의 통합 및 통합 분석 시스템 구축을 위한 모형과 모듈들의 연계는 아직 이루어지지 않았다. 위성영상의 분석을 통한 정보의 생산은 영상을 분석하는 조직의 역량과 연결성을 가지는 기존의 기술, 인적자원, 그리고 '제도' 등에 따라 그 정도가 제한되는 것으로 나타났다.

3. 재난모니터링을 위한 영상정보의 표출과 활용

분석된 영상정보의 표출은 재난을 관리하는 정부 혹은 지방정부, 그리고 다른 사용자들이 재난의 예방, 대비, 사후 복구 등의 목적을 위해 필요로 하는 필수정보에 부합되어야 하지만, 이러한 영상분석을 통해 제공될 수 있는 재난의 종류와 단계에 따른 필수정보들은 아직 정립되지 않았다.

분석된 영상정보의 표출이나 표출시스템 개발을 위한 기술적 역량은 관련 기관이나 기업에서 충분히 보유하고 있지만, 대용량 영상자료를 모니터링 과정에서 시각화를 위해 원활히 중첩/표출하는 절차와 제도적 기반에 의거한 위성정보의 중첩과 시각화를 위한 데이터 타입의 통일은 추가적인 개발과 논의를 필요로 한다. 영상정보 표출시스템의 운영과 정보의 해석을 위한 재난 관리 기관에 소속된 인적자원은 추가적인 구성이 필요할 것으로 판단된다.

위성영상의 분석을 통해 도출되는 재난정보의 수요와 요구는 특정 시·공간 해상도에서 정보의 생산을 규정하는 국가 정책과 다른 정보사용자의 요구에 의해 이루어지만, 위성영상의 해석과 활용, 혹은 원격탐사 기술 적용을 위한 전체 과정은, 전문적인 지식을 필요로 하며, 정책결정자 혹은 그밖의 정보 수요자는 생산된 정보의 활용과 정보제공에 대한 요구에서 제한적인 지식을 가지는 경는 경우가 대부분인 것으로 나타났다. 이러한 점은 보다 강한 과학과 정책의 소통을 필요로 함을 의미하며, 생산된 정보는 효과적인 활용을 위해 비전문가들이 이해할 수 있

는 용어로 변환 될 필요성을 가지는 것으로 판단된다.

실현 가능한 재난모니터링 시스템

CFDM을 적용한 '위성영상을 활용한 재난정보 생산' 과 '준실시간 재난모니터링' 은 영상자료의 취득, 분석, 표출과 활용과정에서 정책적, 기술적, 경제적, 제도적 요인, 그리고 조직간의 연계 등으로 인해 통합모니터링 시스템의 구축이 제한되는 것으로 나타났다. 재난모니터링을 위한 위성영상의 신속한 취득은 정책적, 제도적, 경제적 요인에 의해 주로 제한되는 것으로 나타났으며, 이는 위성영상 배포 및 공유 정책의 개선, 정책시행에 따른 제도의 구축, 영상확보를 예산확보 등에 의해 극복될 수 있을 것으로 판단된다. 특히 준실시간 재난모니터링 시스템의 구축은 재난발생 전후의 신속한 가용위성 파악과 영상의 검색과 주문 과정을 포함하는 영상확보가 요구된다. 이러한 과정은 재난의 예비, 대비, 대응, 복구과정에서 지구관측위성의 궤도정보를 제공하는 위성궤도추적 소프트웨어와 같은 툴킷을 활용한 재난 발생일시와 위치정보, 범위에 따른 가용위성의 상시적인 파악의 필요성을 의미한다.

재난모니터링에 활용 가능한 위성영상은 International Charter, UN-SPIDER(Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response), Copernicus, Sentinel Asia, 그리고 GEO(Group on Earth Observations) 등에서 추가로 확보가 가능하다(Kim *et al.*, 2008) (표 2). 국내에서는 Landsat-8, KOMPSAT-3/3A, KOMPSAT-5, SUOMI-NPP(Suomi National Polar-orbiting Partnership), MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), GPM(Global Precipitation Measurement), Sentinel-1/2, COMS-MI(Meteorological Imager)와 GOCI(Geostationary Ocean Color Imager), GK-2A(GEO-KOMPSAT-2A) 등 광학과 SAR센서를 포함하는 10여종 이상의 위성자료를 한국항공우주연구원, 한국해양과학기술원, 국립재난

TABLE 2. National and International organisations that acquire or distribute satellite data for disaster monitoring and management

Organisations	Aims, features, and other remarks
International Charter	Receives and provides satellite data for major disaster monitoring and management to support prompt response to major disasters, based on the 61 satellites of 17 space-related member organizations including NASA, ESA, KARI, JAXA, DLR, etc.
UN-SPIDER	A programme implemented by the United Nations Office for Outer Space Affairs (UN-OOSA), which runs a platform that provides space-based technologies for disaster monitoring, management, and emergency response.
Copernicus	A joint programme involving ESA, EEA, and EC, and operates Sentinel constellation to provide services for meteorological and disaster information in Europe and around the world. It is an independent European information support system for environmental monitoring and risk management, and prompt decision-making in case of natural disasters.
Sentinel Asia	Began operations in 2005 under the Japan Aerospace Exploration Agency(JAXA) for disaster management in the Asia-Pacific region using satellite data. To enable prompt information sharing, geo-observation satellite operation agencies in Asia-Pacific region (i.e. JAXA, MACRES, GISTDA, CRISP, etc.) are designated and as information nodes, and connected one another.
GEO(Group on Earth Observations)	GEO is an intergovernmental organisation that supports disaster risk reduction, by improving coordination of global Earth observations. Its EO system enables disaster monitoring and prompt response, and support forecasting, mitigating and managing disasters.
KAR(Korea Aerospace Research Institute)	Receives, processes and distribute satellite data, and supports utilising satellites data. It currently operates KOMPSAT-2, 3, 3A, and 5, and plans to orbit KOMPSAT-6 and 7.
KIOST(Korea Institute of Ocean Science and Technology)	Operates the Geostationary Ocean Color Imager(GOCI) for oceanography, and meteorological observation, and plans to orbit GK-2B. It also receives GK-2A data and other satellite data such as Aqua, Terra, NOAA, MetOp, and NPP.
MDMI(National Disaster Management Research Institute)	Receives COMS and GK-2A data for disaster mapping, and management. It also receives Landsat, Sentinel, GPM, Aqua, Terra NOAA, and NPP data.
KMA(Korea Meteorological Administration)	Operates COMS and GK-2A for meteorological observation and analyses, risk reduction, and service provision. It also receives Aqua, Terra, NOAA, MetOp, and NPP data for the same purpose.

안전연구원, 기상청 등의 기관에서 Antenna 혹은 Network를 통해 직간접적으로 수신한다 (Kim *et al.*, 2019b).

위성영상의 확보는 필요한 영상의 선정을 위해 위성영상으로 모니터링 가능한 재난의 종류와 취득 가능한 위성영상의 매칭(matching)이 선행되어야 하므로, 본 연구에서는 실현 가능한 재난모니터링 프레임워크(framework)를 제시하기 위해 각각의 재난 사례를 분석하여 위성영상으로 모니터링 가능한 재난과 활용 가능한 위성영상, 재난종류와 단계에 따른 위성영상 수급 가능성을 분석하였다(표 1, 표 2, 표 3, 그림 2). 자연재해에 속하는 홍수, 화산폭발, 가뭄,

지진, 산사태, 산불, 태풍 등이 위성영상을 활용하여 준실시간 수준으로 모니터링이 가능한 것으로 판단되며, 사회재난의 한 종류인 대규모 해양오염과 풍수해 대응에 참고자료로 활용 가능한 붕괴교량 탐지 또한 위성영상을 활용해 주기적인 모니터링이 가능할 것으로 판단된다. 이는 발생빈도 순으로 분류된 상위 7개의 재난인 산불, 기름유출, 홍수, 폭설, 태풍, 지반변위, 가뭄과 인명피해와 발생순으로 분류된 상위 4개의 재난인 홍수, 태풍, 산불, 지반변위(National Disaster Management Research Institute, 2014b)의 대부분을 포함한다.

국내에서 빈번히 발생하는 풍수해의 경우 광

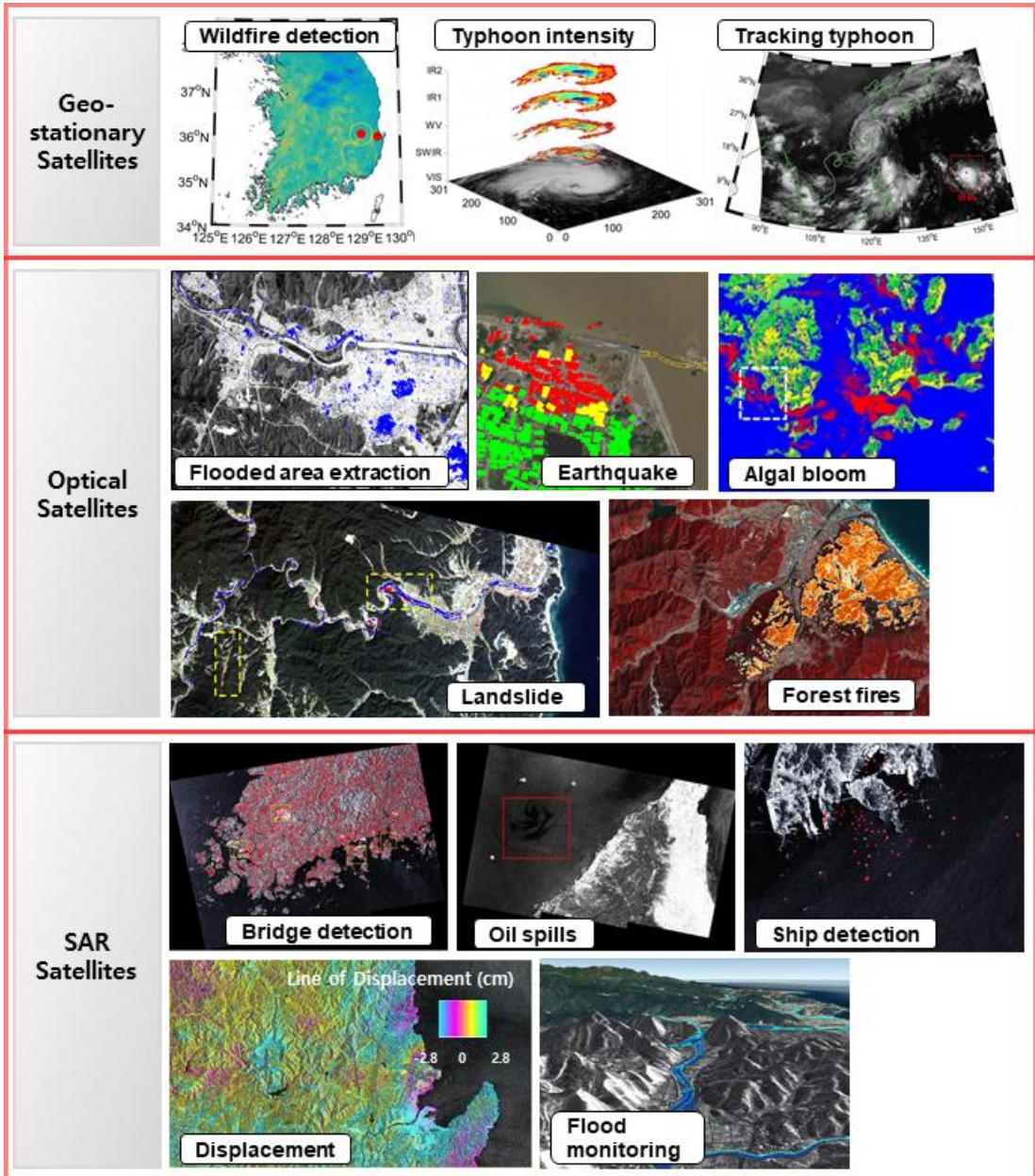


FIGURE 2. Disasters that have possibility of being monitored by using geostationary, optical, and SAR satellite data

(Freely available satellite data, including Sentinel-1/2, Himawari-8, and open Worldview data, were used for analysing most disasters displayed above. Earthquake/algae boom, and flood monitoring were analyzed using PlanetScope and ICEYE data respectively, which are commercial. Images for ‘ship detection’, ‘wildfire detection’ and ‘typhoon intensity’ are from Song *et al.*, 2020, Jang *et al.*, 2019, and Lee *et al.*, 2020 respectively.)

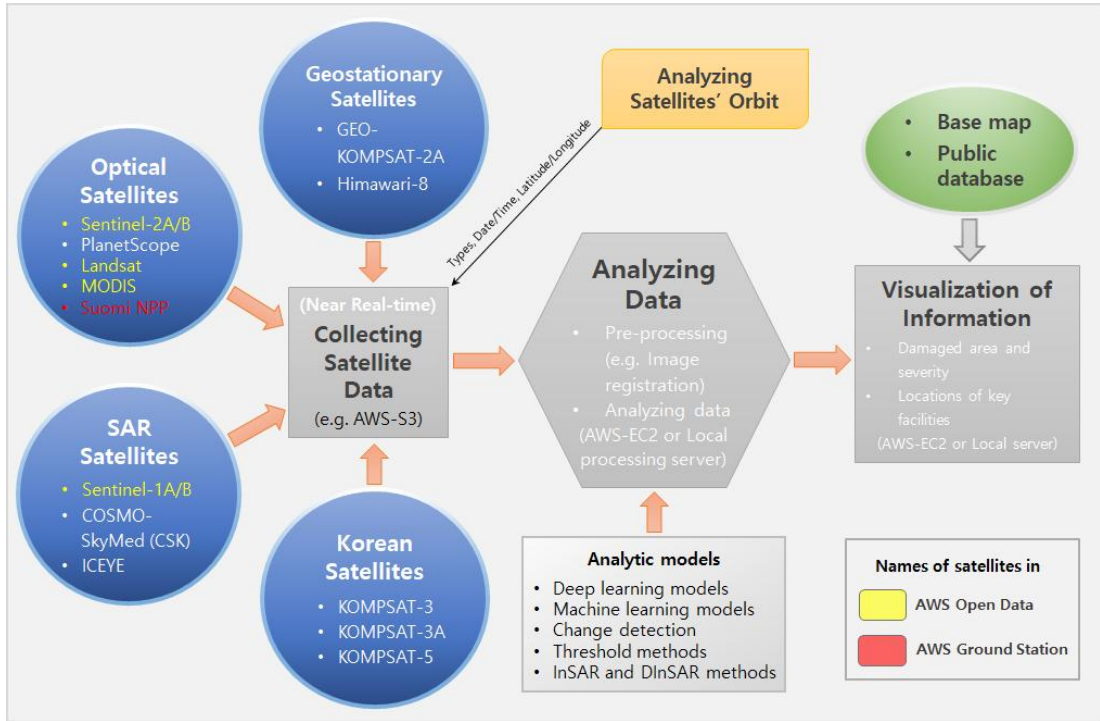


FIGURE 3. Framework of a suggested Feasible Disaster Monitoring System (Analytic models, which have been established for analysing each single disaster event, are applied to pre-processed satellite data in accordance with disaster types and phases. For the convenience of explanation, GEO-KOMPSAT-2A is classified as a geostationary satellite in this figure, which is also a Korean satellite.)

학위성 영상자료의 활용이 영상취득 당시의 기상상태와 같은 자연적 요인들로 인해 제한되므로, SAR영상의 활용이나 다중센서(multiple sensors)로 취득된 영상의 융합기술 적용이 요구된다. 또한 위성영상에서 도출 가능한 재난필수 정보의 양과 질은 확보 가능한 위성영상의 양과 질에 크게 영향을 받으므로, 현재 무료로 제공되지 않고 있는 KOMPSAT-3, 3A, 5 위성, PlanetScope와 같은 시공간 해상도가 우수한 초소형 광학 위성, 향후 발사가 예정된 국토관측위성 1, 2 호기와 고해상도 SAR영상인 ICEYE영상의 활용이 추가로 요구된다. 현재 운용중인 KOMPSAT-3, 3A, 5 위성과 발사가 예정된 국토관측위성 1, 2 호기 영상은 국내에서 운용중인 위성활용협의체에 가입된 행정안전

부와 국립재난안전연구원을 통해 확보가 가능하다. 상용위성인 PlanetScope와 ICEYE영상은 라이선스의 확보를 통해 재난발생 전과 후에 특정영역에 대한 영상 촬영요청과 API를 통한 촬영된 영상의 직접 다운로드가 가능하다. 이 경우 재난 발생 전 영상촬영요청지역의 선정은 GK-2A와 Himawari-8과 같이 태풍강도 산정, 경로추적 및 예측, 그리고 호우유발 구름의 탐지가 가능한 정지궤도위성자료의 2~10분 단위의 실시간 분석을 통해 이루어진다. 준실시간 재난모니터링 시스템은 위성영상의 실시간 취득과 저장, 그리고 취득된 위성영상의 분석에 필요한 대용량 저장소와 고성능의 CPU와 GPU를 포함하는 통합 영상 취득 및 분석 시스템을 필요로 한다. 이를 위해 위성영상의

저장, 취득, 분석을 위한 물리적 통합서버의 구축을 시도할 수 있지만, 경제적 제약의 극복을 위해 위성자료의 검색, 수신, 저장, 분석이 가능한 클라우드 기반의 컴퓨팅 플랫폼인 AWS(Amazon Web Services)의 활용 또한 고려할 수 있다(그림 3). AWS는 클라우드 기반의 가상 컴퓨터의 배치를 통해 대용량 영상자료 처리를 위한 유연적인 고성능 컴퓨팅 능력을 제공하므로, 신속한 영상취득과 분석을 위한 기술적 기반이 될 수 있다. 특히 AWS는 연계된

위성들과 직접교신할 수 있는 지상국을 운영하고 있어 신속한 위성영상 확보에 용이하다. 이러한 특성들은 다른 클라우드 기반 서버의 활용이나 물리적 통합서버의 구축을 통해서서는 극복하기 힘든 위성영상의 신속한 확보와 분석을 가로막는 정책적, 제도적 요인을 상당 부분 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

제시된 개념적 수준의 준실시간 통합 재난모니터링을 위한 프레임워크와 연계하여 ‘재난의 종류와 단계에 따른 위성영상’ 과 ‘분석에 요구

TABLE 3. Analyses of satellite data in accordance with disaster types and stages

Disaster Type	Satellite data	Input file format	Analytic algorithm or models	Processing time	Output file format	Ancillary data	Stage of disaster
Forest fire (early detection)	Himawari-8 GK-2A Suomi NPP VIIRS	Netcdf	Randon Forest	10 mins for obtaining and analysing data	csv	digital map	after events - response
Forest Fire monitoring (damaged area)	PlanetScope Sentine-2 A/B Landsat 8 OLI Terra/Aqua MODIS	GeoTiff	CNN, U-Net,	within 60 mins including pre-processing	GeoTiff or shp	digital map	after events - response and recovery
Flush Floods (damaged area)	Sentine-2 A/B KOMPSAT-5 ICEYE	GeoTiff	SegNet U-Net	within 25 mins	GeoTiff or shp	DEM, Slope, Curvature, TWI,buffer	after events - response and recovery
Typhoon (intensity and tracking)	GK-2A Himawari-8	Netcdf H5	CNNs	10 mins for typhoon tracking and intensity	csv	N/A	before and after events - preparation and response
Earthquake (displacement and damaged area)	Sentinel-1 A/B PlanetScope KOMPSAT-3 KOMPSAT-3A	GeoTiff	DInSAR, Change detection	withion 60 mins after completing preprocessing	GeoTiff	digital map	after events - response and recovery
Algal bloom	PlanetScope Sentinel-2 Sentinel-3 OLCI	GeoTiff	K-means	within 60 mins after obtaining satellite images	GeoTiff	N/A	after events - response and recovery
Land slides (damaged area)	PlanetScope Landsat 8 OLI KOMPSAT-3 KOMPSAT-3A	GeoTiff	dNDVI PCA ISODATA	within 60 mins after obtaining satellite images	GeoTiff	digital map	after events - response and recovery
Oil spills	Sentinel-1 A/B Terra/Aqua MODIS	GeoTiff	CNNs	within 60 mins after obtaining satellite images	GeoTiff or shp	N/A	after events - response and recovery
Ship detection	Sentinel-1 A/B	GeoTiff	EAST ResNet	2 mins after completing preprocessing	GeoTiff or shp	AIS data	before and after events - preparation and response
Bridge detection	Sentinel-1 A/B	GeoTiff	EAST ResNet	withion 10 mins after completing preprocessing	GeoTiff or shp	digital map	after events - response

되는 알고리즘과 모델', '영상취득과 분석에 소요되는 시간', '분석전 후 영상의 데이터 포맷', '필수 보조자료'를 제시하였다(표 3). 취득된 위성영상은 홍수, 산불, 지진, 태풍 등 재난의 종류에 따라 재난의 예방, 대비, 대응, 복구 등의 단계에서 수집, 저장, 분석되며, 위성영상의 분석은 제도적 요인의 극복을 위해 영상취득 후 구축된 분석모델에 의해 수행된다. 산불의 경우 2~10분 단위로 상시 취득되는 Himawari-8과 GK-2A 등의 위성영상을 활용하여 Random Forest 기반의 분석모델을 통해 실시간에 가까운 수준으로 탐지되며, 탐지된 산불의 피해면적과 범위는 PlanetScope와 Sentinel-2A/B 영상을 활용하여 사전에 구축된 U-Net 혹은 CNN 기반의 딥러닝 모델에 의해 재난의 대응과 복구 단계를 위해 모니터링될 수 있다. 이러한 피해면적과 범위의 분석은 분석모델이 이미 훈련되어 있으므로, 새로운 영상의 취득 후 전처리 과정을 포함하여 60분 이내에 결과산출이 가능하다. 태풍의 경우 GK-2A와 Himawari-8 등의 정지궤도 위성영상을 분석하여 재난의 대비 단계에서 태풍의 경로 예측과 강도 추정이 가능하며, 호우유발 후보 구름의 분석으로 홍수 피해 모니터링을 위한 위성영상의 사전 확보 등의 대비가 가능하며, 영상확보 이후 30분 이내에 결과산출이 가능한 홍수피해 분석결과는 재난의 대응과 복구 단계에서 재난 필수정보로 활용이 가능하다. 분석 후 저장된 공간정보 형태의 재난정보는 출력데이터가 Geotiff, shp, csv 등의 파일 형태로 통합되어 있으므로, 공공데이터와 중첩이 가능하며, 행정구역별 피해현황, 고립지 분석과 대피로 파악 등이 추가로 분석되어 재난의 종류와 단계에 따른 필요정보 제공을 위한 표출에 활용될 수 있다.

논의 및 결론

원격탐사 기술의 발전과 활용 가능한 위성의 증가로 재난의 예방, 대비, 대응, 복구 등에서 위성영상자료의 활용에 대한 요구가 높아지고 있다. 위성영상을 활용한 재난관리와 사전위험

요소 탐지를 위해서는 상시 재난모니터링을 가능하게 하는 시스템의 구축이 요구되지만, 통합된 모니터링 시스템의 구축을 위해 기존 시스템을 평가하고 이를 바탕으로 실현 가능한 준실시간 통합 재난모니터링 시스템 구축을 위한 구체적인 청사진을 제시한 연구는 국내뿐만 아니라 국외에서도 그 사례가 확인되지 않는다.

본 연구는 위성영상 기반의 통합된 재난모니터링 시스템의 구축을 위해 기존의 시스템을 '원격탐사를 통한 재난모니터링의 개념화'를 통해 평가하고, 이를 바탕으로 실현 가능한 준실시간 통합 재난모니터링 시스템 구축을 위한 청사진을 제시하였다. 이 과정에서 시스템 구축을 위해 요구되는 위성영상 배포 및 공유, 그리고 재난정보 생산을 위한 정책과 제도, 통합시스템 구축을 위한 기술적, 경제적 부분에서의 제약들을 확인하고 극복방안을 제시하였다. 또한 실현 가능한 재난모니터링 프레임워크를 제시하기 위해 각각의 재난 사례를 분석하여 위성영상으로 모니터링 가능한 재난과 적용 가능한 위성영상, 재난종류와 단계에 따른 위성영상 수급 가능성을 분석하였다.

위성영상 기반 준실시간 재난모니터링은 다양한 요인들에 의해 통합시스템의 구축이 제한되며, 시스템 구축을 위한 기술적, 경제적 요인과 함께 위성영상 확보의 적시성을 가로막는 정책적 요인과 일관성 있는 정보생산을 위한 영상분석에 대한 제도적 요인에도 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 제약들은 AWS(Amazon Web Services)와 같은 위성영상의 저장, 취득, 분석에 활용되는 컴퓨팅 플랫폼과 같은 통합서버의 확보와, 재난의 종류와 상황에 부합하는 활용 가능 위성의 궤도분석을 가능하게 하는 분석도구의 개발에 의해 극복될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 이러한 제도적, 경제적, 기술적, 정책적 제약들을 극복할 수 있는 위성영상 기반 통합 재난모니터링 시스템 구축을 위한 프레임워크를 제시하였으며, 재난의 종류와 단계에 따른 위성영상 분석 방법론을 제안하였다. 하지만 개념적 방법론에 의한 분석은 정보제공자의 선

정과 확보된 자료의 편향 가능성, 확보된 자료의 주관적인 분석 등에서 다른 대부분의 질적 연구방법론과 마찬가지로 방법론 자체의 취약성을 가진다. 또한 정부나 관련 기관의 규정된 정책 시행을 통한 영상분석을 위한 공식적인 제도의 구축과 통합시스템 구축을 위한 경제적 제약 극복을 위한 예산의 편성, 시스템 운영을 위한 인적자원, 그리고 AWS와 같은 국외 상용 플랫폼의 활용 가능성에 대해서는 보다 심도 있는 평가가 요구된다. 향후 본 연구에서 제시된 CFDM을 보다 개선하여 추후 개발될 수 있는 통합 모니터링 시스템의 정부기관에 의한 도입 가능성, 구축과 운용을 위한 비용에 대한 고려, 개발 후 운용 가능성 등이 추가로 평가되어야 할 것으로 판단된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Crawford, S.E. and E. Ostrom. 1995. A grammar of institutions. *American Political Science Review* 89(3):582-600.
- Grainger, A. 2010. Uncertainty in the construction of global knowledge of tropical forests. *Progress in Physical Geography* 34(6):811-844.
- Grainger, A. 2017. Citizen observatories and the new earth observation science. *Remote Sensing* 9(2):153.
- Henry, J.B., P. Chastanet, K. Fellah and Y.L. Desnos. 2006. Envisat multi-polarized ASAR data for flood mapping. *International Journal of Remote Sensing* 27(10):1921-1929.
- Jang, E., Y. Kang, J. Im, D.W. Lee, J. Yoon and S.K. Kim. 2019. Detection and monitoring of forest fires using Himawari-8 geostationary satellite data in South Korea. *Remote Sensing* 11(3):271.
- Joyce, K.E., S.E. Belliss, S.V. Samsonov, S.J. McNeill and P.J. Glassey. 2009. A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters. *Progress in Physical Geography* 33(2): 183-207.
- Jung, M. 2012. Assessment using remotely sensing imagery: damage detection, mapping and estimation. *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea-CI* 49(2):90-95. (정명희. 2012. 위성영상을 활용한 실시간 재난정보 처리 기법: 재난 탐지, 매핑, 및 관리. 전자공학회는 문지-CI 49(2):90-95).
- Kim, J.Y., D.G. Lee, J.H. Yu, Y.M. Kim, J.P. Kim, S.B. Lee and H.W. Yun. 2016. Development of fundamental technologies for disaster analysis and application based on mid-resolution satellite imagery(I). National Disaster Management Institute, Ulsan. 141pp. (김진영, 이달근, 유정흠, 김용민, 김종필, 이수봉, 윤혜원, 2016. 중해상도 위성영상을 활용한 재난분석 활용 기반기술 개발(I). 국립재난안전연구원, 울산 141pp).
- Kim, M., M. Jung and Y. Kim. 2019a. Histogram matching of Sentinel-2 spectral information to enhance Planetscope imagery for effective wildfire damage assessment. *Korean Journal of Remote Sensing* 35(4):517-534.
- Kim, S., J. Kim and J. Kim. 2019b. National disaster scientific investigation and disaster monitoring using remote sensing and geo-information. *Korean Journal of Remote Sensing* 35(5-2):763-772. (김성삼, 김진영, 김진수. 2019. 원격탐사와 공간정보를 활용한 국가 재난원인 과학조사 및 재난 모니터링. 대한원격탐사학회지 35(5-2):

- 763~772).
- Kim, S.K., Y.S. Kim and Y.S. Kim. 2008. International Cooperation Organization for the Common Use of Space Resources in case of Disasters. *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace* 6(1):44~55. (김성규, 김윤수, 김용승. 2008. 재해 재난관련 우주자원 활용을 위한 국제협력기구 현황. *항공우주산업기술동향* 6(1):44~55).
- Kim, S.S., J.W. Choi, S.H. Goo and Y.J. Park. 2012. Heavy snowfall disaster response using multiple satellite imagery information. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science* 20(4): 135-143. (김성삼, 최재원, 구신희, 박영진, 2012. 다중 위성정보를 활용한 폭설 재난 대응. *한국지형공간정보학회지* 20(4):135-143).
- Kim, Y. and C. Shim. 2017. Towards an Integrated Drought Monitoring with Multi-satellite Data Products Over Korean Peninsular. *Korean journal of remote sensing* 33(6):993~1001. (김영욱, 심창섭. 2017. 위성자료를 활용한 한반도 전역의 가뭄 통합 모니터링 방안. *대한원격탐사학회지* 33(6):993~1001.)
- Kim, Y., S.B. Lee, J. Kim and Y. Park. 2017. Disaster management using high resolution optical satellite imagery and case analysis. *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation* 17(3):117-124. (김용민, 이수봉, 김진영, 박영진. 2017. 고해상도 광학 위성영상을 이용한 재난관리 방안과 사례분석. *한국방재학회논문집* 17(3): 117-124).
- Kurum, M., 2015. C-band SAR backscatter evaluation of 2008 Gallipoli forest fire. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 12(5):1091-1095.
- Lee, J., J. Im, D.H. Cha, H. Park and S. Sim. 2020. Tropical cyclone intensity estimation using multi-dimensional convolutional neural networks from geostationary satellite data. *Remote Sensing* 12(1):108.
- Meyer, F.J., D.B. McAlpin, W. Gong, O. Ajadi, S. Arko, P.W. Webley and J. Dehn. 2015. Integrating SAR and derived products into operational volcano monitoring and decision support systems. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 100:106-117.
- National Disaster Management Research Institute. 2014a. R&D for development of disaster detecting satellite sensor and operation of experiment building. National Disaster Management Research Institute, Seoul. 425pp. (국립재난안전연구원. 2014a. 재난전조감시를 위한 위성센서 개발 및 실험동 운영을 위한 기획연구. 서울, 국립재난안전연구원. 425pp).
- National Disaster Management Research Institute. 2014b. Application plan research of national satellite images for disaster management, National Disaster Management Research Institute, Seoul. 210pp. (국립재난안전연구원. 2014b. 국내위성자료를 이용한 재난관리 활용방안 연구. 국립재난안전연구원. 서울. 210pp).
- Peltier, A., M. Bianchi, E. Kaminski, J.C. Komorowski, A. Rucci. and T. Staudacher. 2010. PSInSAR as a new tool to monitor pre-eruptive volcano ground deformation: Validation using GPS measurements on Piton de la Fournaise. *Geophysical Research Letters* 37:L12301.

- Schott, J.R. 1997. Remote sensing: the image chain approach. Oxford University Press, New York, USA. 688pp.
- Shim, J.H., W.J. Choi and K.H. Jin. 2006. Application of natural disaster management using geo-spatial image information. National Institute For Disaster Prevention, Seoul. 150pp. (심재현, 최우정, 진경혁. 2006. 공간영상정보의 재해관리 업무 활용방안 연구. 국립방재연구소, 서울. 150pp).
- Son, A. and J. Kim. 2019. The analysis of flood in an ungauged watershed using remotely sensed and geospatial datasets (I) - focus on estimation of flood discharge. Korean Journal of Remote Sensing 35(5-2):781~796. (손아롱, 김종필, 2019. 원격탐사와 공간정보를 활용한 미계측 유역 홍수범람 해석에 관한 연구(I) - 홍수량 산정을 중심으로. 대한원격탐사학회지 35(5-2):781~796).
- Song, J., D.J. Kim and K.M. Kang. 2020. Automated procurement of training data for machine learning algorithm on ship detection using AIS information. Remote Sensing 12(9):1443.
- Swain, R. and B. Sahoo. 2017. Improving river water quality monitoring using satellite data products and a genetic algorithm processing approach. Sustainability of Water Quality and Ecology 9:88-114.
- Tsai, F., J.H. Hwang, L.C. Chen and T.H. Lin. 2010. Post-disaster assessment of landslides in southern Taiwan after 2009 Typhoon Morakot using remote sensing and spatial analysis. Natural Hazards and Earth System Sciences 10(10):2179.
- Woo, H-B., Y.D., Joo, M-J. Choi and S-J. Jang. 2015. Analysis about technology requirements for development of disaster detecting satellite sensor. The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences 10(11):1205-1216. (우한별, 주영도, 장수민, 최명진. 2015. 재난전조감지를 위한 위성센서 기술요구조건 분석. 한국전자통신학회지 10(11):1205-1216).
- Yang, H., J-M. Ryu, H-J. Han, J-H. Ryu and Y-J. Park. 2012. Ocean Disaster Detection System(OD2S) using Geostationary Ocean Color Imager(GOCI). Journal of Information Technology Services 11:177-189. (양현, 유정미, 한희정, 유주형, 박영제. 2012. 천리안해양관측위성을 활용한 해양 재난 검출 시스템. 한국IT서비스학회지 11:177-189).
- Yu, J.H. and H-W. Yun. 2019. Development of continuous ground deformation monitoring system using Sentinel satellite in the Korea. Korean Journal of Remote Sensing 35(5-2):773-779. (유정흠, 윤혜원. 2019. Sentinel 위성기반 한반도 연속 지반변화 관측체계 개발. 대한원격탐사학회지 35(5-2):773-779).
- Zhang, Y., Y. Li and H. Lin. 2014. Oil-spill pollution remote sensing by synthetic aperture radar. Advanced Geoscience Remote Sensing. pp.27-50. **KAGIS**