WP 19-22

재난지역 피해규모 산정을 위한 위성영상과 국토지표 활용 방안

2019년 강원도(강릉-옥계) 산불피해지역을 대상으로

임륭혁 국토연구원 연구원 (rhim@krihs.re.kr)

KRIHS 국토연구원

※ 이 Working Paper의 내용은 국토연구원의 공식 견해가 아니며, 저자 개인의 의견입니다. 연구 내용에 대하여 궁금한 점은 저자의 이메일로 문의하여 주시고, 인용 시에는 저자 및 출처를 반드시 밝혀주시기 바랍니다.

차례

01 연구배경 및 목적 05

02 재난 대응체계와 연구동향 07

03 2019년 강원도 산불 분석방법론 13

04 2019년 강원도 산불 분석결과 19

05 시사점 및 정책제언 29

01 연구배경 및 목적

■ 우리나라는 연평균 약 538건의 산불이 발생, 산불 1건당 평균 약 1.2ha의 산림이 소실되고 있음

- 최근 5년간(2014~2018) 연평균 약 538건의 산불이 발생([표 1] 참조)
- 침엽수림이 많은 한국에서는 주로 수관화[1] 피해가 많이 발생하며, 산불이 가장 많이 발생하는 위험한 계절은 관계습도가 가장 낮은 3~5월 사이로, 이 기간에 연간 산불 발생 총 건수의 78%가 발생(산림청 2009)

표 1 최근 5년간 산불통계

항목	2014	2015	2016	2017	2018
건수 (건)	492	623	391	692	496
면적 (ha)	137	418	378	1,480	894
건당 피해면적 (ha)	0.3	0.7	1.0	2.1	1.8
피해재적 (㎥)	6,962	31,591	6,647	224,172	100,710
피해금액 (백만 원)	9,285	20,480	15,721	80,150	48,583

출처: 산림청 2018.

■ 국가 입장에서 산불은 재난인 동시에 인력과 시간이 많이 소요되는 초대형 행정업무

- 넓은 면적에서 재산 및 산림자원에 큰 피해를 주는 산불 같은 대형 재난사고는 초기 대응부터 진화, 피해면적 산출, 복구 및 모니터링까지 광범위한 지역의 현황 파악이 요구됨
- 산림청(중앙)에서는 이러한 업무를 효율적으로 수행하기 위해 산불 발생 시 중앙산불방지대책본부를 운영하며, 각 시·도에 산재한 지방산림청 및 국유림관리소에 산불방지 대책본부를 설치 및 운영하고 있음

1) 산불의 종류는 지중화(地中火), 지표화(地表火), 수관화(樹冠火), 수간화(樹幹火) 등이 있으며, 이 중 수관화(樹冠火)는 화세도 강하고 진행속도가 빨라 산불 중에서 가장 큰 피해를 주며, 일반적으로 활엽수보다 침엽수림에서 발생함.

- 또한, 산림청에서는 매년 기상 전망, 사회·문화적 여건, 정책추진 여건 등을 분석하여 산불예방 및 신속한 대응을 위한 산불방지 종합대책을 발표하고 있음(산림청 2019)
- 그러나 적극적인 예방대책을 마련한다 해도 산불 발생 자체를 방지하는 것은 어렵기 때문에, 보다 신속하고 효율적인 대응체계를 마련하는 것이 매우 중요한 과제라고 할 수 있음

■ 산림청의 「2019 산불방지 종합대책」의 세부추진계획 중 한 가지인 '산불현장 영상 모니터링 시스템을 활용한 체계적 산불관리'와 같은 공간정보 적용방안 검토 필요

- 산불현장 영상 모니터링 시스템은 영상을 활용한다는 측면에서 공간정보 활용시스템이라 할 수 있음
- 따라서 산불현장 영상 모니터링 시스템용으로 활용 가능한 공간정보기술 및 공간정보 데이터에 대해 살펴보고, 공간정보 적용 가능성을 검토해볼 필요가 있음

■ 재난 대응체계에서의 공간정보 적용 가능성을 검토하기 위해 실제 산불 발생 지역을 대상으로 피해규모를 산정하기 위한 방안을 제시하고자 함

- 이 연구에서는 재난 대응체계 및 공간정보를 활용한 재난관리와 관련된 선행연구를 살펴보고 재난 대응체계에의 공간정보 적용 가능성을 알아보고자 함
- 또한, 실제로 산불이 발생한 지역의 공간정보 데이터를 활용하여 산불 피해면적을 계산해보고, 국토격자통계를 활용하여 사회·경제 현황을 분석해보고자 함
- 마지막으로 분석 결과를 토대로 공간정보기술을 활용한 신속하고 효율적인 재난 대응체계를 제안하고자 함

02 재난 대응체계와 연구동향

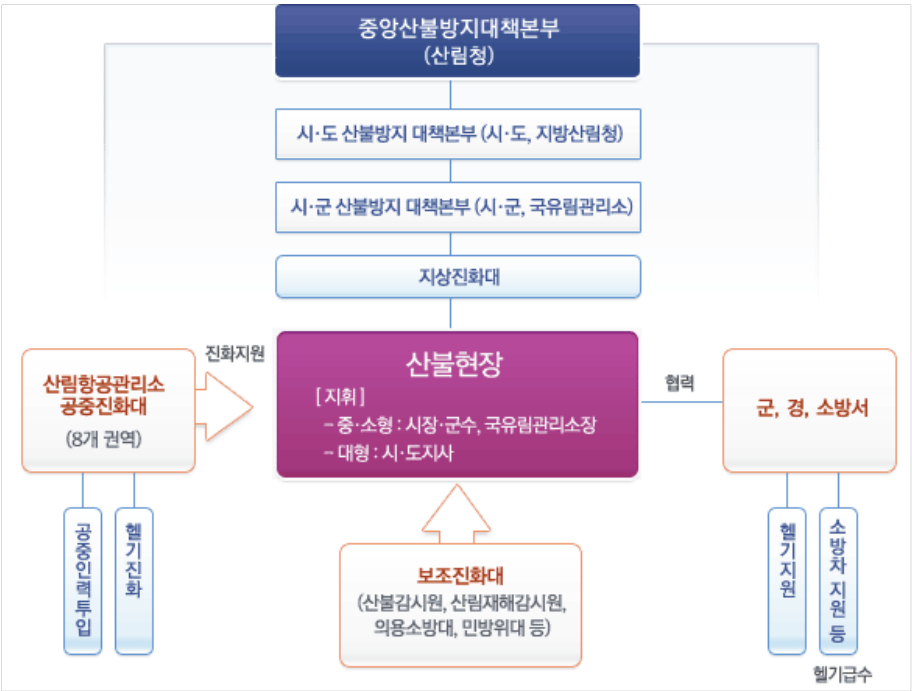
1) 재난 대응체계에 대한 선행연구

- 양철근(2017)은 해외 사례를 참고하여 산불진화에 대한 통합적인 지휘체계를 확보하는 방안을 제시함
  - 현재의 산불대응체계는 현장대응 미숙, 이원화된 지휘체계, 책임소재 불분명 등의 문제가 있음
  - 개선방안의 한 가지로 산불영상정보 활용을 제안하였으며, 이를 활용하면 산불을 실시간 모니터링하여 현장지휘 및 합동대응에 유용하게 쓸 수 있다고 하였음
- 허대욱(2016)은 재난 대응을 효과적, 효율적으로 대응하기 위한 재난지휘체계방안에 대해 제시함
  - 한국과 외국의 사례를 비교 분석하여 재난 발생 시 다수의 여러 기관이 현장에 출동하여 개별적이고 독자적으로 활동하게 되면, 현장 지휘 및 통합조정 등이 어려워 효과적인 재난현장대응이 어렵다고 분석하였음
  - 제시된 방안에서는 협력적인 공조체계가 필요하며, 재난관련 정보의 통합 및 공유가 중요하다고 하였음
  - 또한 최첨단 IT 장비 확충을 통해 현장 대응 능력을 강화할 필요가 있다고 제안하였음

2) 산불 발생 및 재난 대응 프로세스 분석

- 정부는 산불이 발생한 때 효율적인 산불진화를 위하여 산불진화기관이 수행해야 할 임무와 역할을 규정하는 「산불진화기관의 임무와 역할에 관한 규정(기상청예규 제3호, 2016. 4. 13.)」을 시행하고 있음
- 큰 규모의 산불이 발생하면 [그림 1]과 같이 산불비상대책본부을 구성하여 진화될 때까지 진두지휘하고 있음
- 또한 각 지방산림관리청에서는 「산불진화 현장지휘 매뉴얼」 등을 작성하여 각 실무담당자의 역할을 명시하고 있음

그림 1 산림청의 산불진화체계



출처: 산림청. https://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/conser/conser_010201.html&mn=KFS_02_02_01_02_01 (2019년 10월 11일 검색).

그림 2 대한민국 산불 대응 프로세스

출처: 산림청 2016.

- 산불이 발생했을 때의 초기 대응부터 상황 종료까지의 프로세스를 간략하게 정리하면 위 [그림 2]와 같음
- 산불발생(상황 접수 및 전파)
  - 먼저 상황 접수 및 초기 상황 파악(원인, 피해내용, 현장 조치 사항 등)
  - 초기 상황에 따라 피해가 확대될 가능성이 크면(피해 확대 가능성 파악) 상위 부서 혹은 기관장, 유관기관 및 언론을 통해 초기 상황을 보고하고 전파
- 초기 대응
  - 산불이 발생한 지역의 초기 피해를 확인하고 주변 시설물 및 인명대피 등의 대응 필요
  - 초기 상황에서 변화된 상황들(심각성, 전개속도, 지속시간, 파급효과, 확대 가능성 등)을 전파하고 추가피해 및 2차 피해가 확산되지 않도록 조치
  - 초기 산불에서 진화되면 관련 보고 및 보고서를 작성하고 상황이 종료되나, 대형산불로 확산될 경우 재난본부가 설치됨
- 재난대책본부 설치 및 운영
  - 산불이 대형화되면 장·차관 또는 산불 대응 담당자의 판단에 따라 재난대책본부를 설치하고 범정부적 지원을 요청함
  - 대국민 브리핑이 필요한 경우를 대비해 상황보고서의 현황을 지속적으로 갱신하고, 보도자료를 작성하여 각 언론사에 배포하고 대변인을 통해 관련 상황을 발표
- 산불관리 및 진화
  - 산불피해 및 진화과정을 지속적으로 모니터링하고, 산불상황보고서를 작성 및 전파
  - 진화 이후 대통령, 총리 등 주요 인사의 현장 방문을 대비해 브리핑 자료를 작성하고, 소방대 및 군·경·소방서의 협조를 받아 산불을 진화함
- 피해보고서 작성 및 피해수습 지원
  - 산불이 진화된 이후에는 피해 파악 및 복구 지원을 위해 산불조사·감식 수행
  - 장·차관의 지시를 통해 피해지역 및 이재민에 대한 재정적 지원을 마련하기 위한 대책 수립
- 피해규모 파악
  - 피해지역의 피해규모 산정은 산림청 규정(산림청 훈령 제1200호「산불관리통합규정」의 제33조)에 따라 피해면적 산정을 현장에서 목측, 실측 또는 항공사진, 축척 2만 5천분의 1 지형도에 의하여 피해면적을 산정하도록 하고 있음
  - 피해면적이 10ha 이상인 경우는 GPS 측량장비로 피해면적을 산정하도록 하고 있음

3) 산불대응체계의 문제점

- 앞서 살펴본 간략한 산불대응체계에서는 산불대응매뉴얼을 적극 활용하여 체계적인 산불대책을 마련하고 있으나, 각 단계에서 작성되는 상황보고서 및 고위급 인사 브리핑 등 행정적 소요가 많이 발생할 것으로 예상됨
  - 피해면적 산정 과정에서 목측, 실측 등의 방법을 사용한다고 규정하고 있어, 인력의 직접투입이 필요하고, 많은 인력이 필요하다는 단점이 있음
  - 실측 방법은 넓은 범위를 인력으로 감당할 수 없기 때문에, 넓은 면적에 발생한 산불의 피해를 파악하는 방법으로는 적절하지 못함
  - 항공사진은 절차상 비행 승인, 촬영 승인, 보안성 검토 등에 기간이 상당히 오래 걸리며, GPS 측량장비를 활용하는 경우에도 실측방법처럼 인적 자원의 소요가 큼
- 이처럼 현재의 산불 재난 대응 프로세스 및 산림청 규정에 의한 피해면적 산정 등의 방법은 많은 행정적 소요와 인력 소요 등이 예상됨
  - 재난 대응체계 프로세스뿐만 아니라 산불 진화 이후 피해면적 및 산림·재산 피해액 산정 등에 신속하고 효율적인 업무를 위해서는 공간정보기술을 비롯한 IT 분야 정보기술을 활용할 필요가 있음

4) 재난 대응에 위성영상자료 및 공간정보 활용 연구

- 국내에서 위성영상을 활용하여 재난재해분석을 수행한 연구는 1990년대 후반부터 활발하게 진행되어 왔음
  - 박병욱(1997)은 위성영상을 분석하여 토지피복분류를 하고, 중첩분석을 통해 홍수 및 가뭄에 대해 분석하였음
  - 손영선(2006)은 LiDAR 자료로 DEM을 생성하고 위성영상을 중첩하여 면적 및 산림피해액을 분석하였음
  - 최승필(2006)은 산불 직후의 위성영상을 활용하여 산불 피해 정도를 분류하였음
  - 강준묵(2010)은 산불발생 전후의 위성영상을 이용하여 산불피해지역의 면적을 산출하고, 수치임상도와의 중첩분석을 통해 피해지역 산림의 피해량을 효과적으로 산정할 수 있는 방법을 제시하였음
- 공간정보, 특히 GIS 데이터인 ESRI Shape('.shp')를 활용하여 재난피해를 분석한 연구는 조명희(2001), 이시영(2002), 김대영(2014) 등이 있음
- 국립재난안전연구원은 「국내위성자료를 이용한 재난관리 활용방안 연구」(2014)에서 국내 위성자료를 활용한 재난유형별 재난관리 적용성을 분석하였음

- 재난관리 업무에서 위성영상을 활용한 전조 감지, 현장정보 수집, 지속적인 모니터링 성과는 준 실시간으로 현장의 상황을 전달하여 신속한 의사결정을 지원할 수 있다고 분석하였으며,
- 특히나 산불 발생 이후, 위성을 활용하면 다양한 측면에서 분석이 가능하기 때문에 산불 탐지에서부터 피해 분석에 이르기까지 전반적으로 활용할 수 있을 것으로 판단하였음

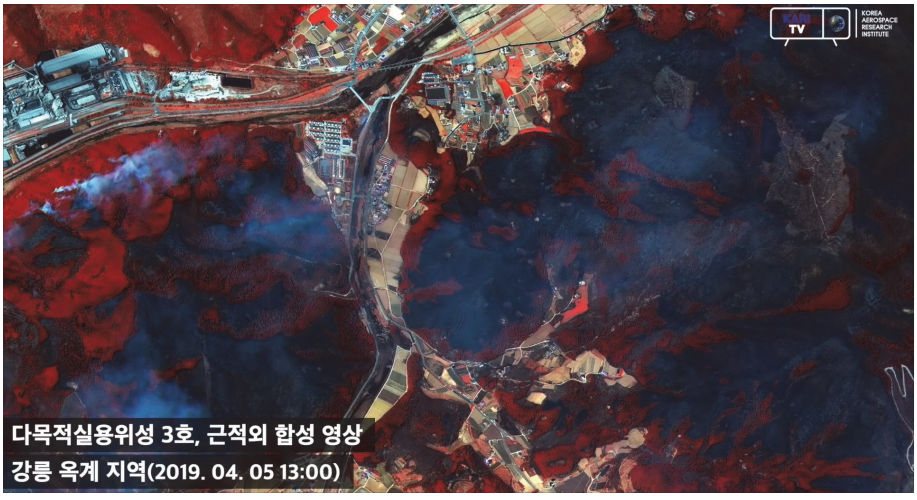
• 앞서 검토한 선행연구 이외에도 위성영상을 활용한 홍수피해, 지진피해 등을 분석한 연구가 지속적으로 진행되어 왔음(조명흠, 박영진, 김성삼, 최재원 외)
- 이러한 연구 자료들을 검토해보았을 때, 재난 대응체계의 공간정보 적용 가능성은 매우 높다고 볼 수 있음

03 2019년 강원도 산불 분석방법론

1) 연구지역 선정

- 2019년 4월 4일 대한민국 강원도 인제군에서 시작된 산불이 고성군과 속초시, 강릉시와 동해시 지역에 잇따라 발생하면서 대형 산불로 이어졌음(중앙일보 2019.04.04.)
  - 강릉·옥계 지역의 산불은 같은 날 23시 46분에 시작된 것으로 파악되었고(뉴스1 2019.04.05.), 4월 5일 오후 4시 54분에 주불 진화가 완료되었으며, 이어 4월 6일 오후 12시 25분에 강원도 고성군·속초시·강릉시·동해시·인제군이 특별재난지역으로 선포됨
- 한국의 다용도위성을 관리하고, 위성영상을 판매하고 있는 기관인 한국항공우주연구원은 산불피해지역의 컬러 합성 위성영상을 자체적으로 공개하였음([그림 3] 참조)
  - 공개된 영상을 참고하여, 피해면적이 시각적으로 두드러지는 '강릉·옥계' 지역을 분석지역으로 선정하였음

그림 3 한국항공우주연구원에서 공개한 강원도 산불지역 위성영상(강릉-옥계지역)



출처: 한국항공우주연구원 유튜브. https://www.youtube.com/watch?v=0YaAALVMdmw (2019년 10월 11일 검색).

2) 데이터 구득

- 먼저 한국항공우주연구원을 통해 다목적 활용 위성의 촬영 궤도 및 영상 촬영 시기를 문의하였음
  - 문의한 결과 동일한 위성에서 비슷한 시기에 촬영된 영상이 없어 산불이 발생하기 이전에 촬영된 'KOMPSAT-3(촬영일 19.03.08)' 영상과 산불 발생 직후에 촬영된 'KOMPSAT-3A(촬영일 19.04.05)' 영상을 구매 요청하였음

표 2 KOMPSAT-3(아리랑3호)와 KOMPSAT-3A(아리랑3A호)의 주요 제원

항목	KOMPSAT-3 (아리랑3호)	KOMPSAT-3A (아리랑3A호)
발사 일자	May 17, 2012	March 25, 2015
설계 연한	4년	4년
고도	625 km	528 km
기울기	98.13 °	97.513 °
공전 주기	98.5 분	95.2 분
공전 속도	7.51 km/s	7.60 km/s
지상 속도	6.78 km/s	7.02 km/s
재방문 주기	1.4일	1.4일

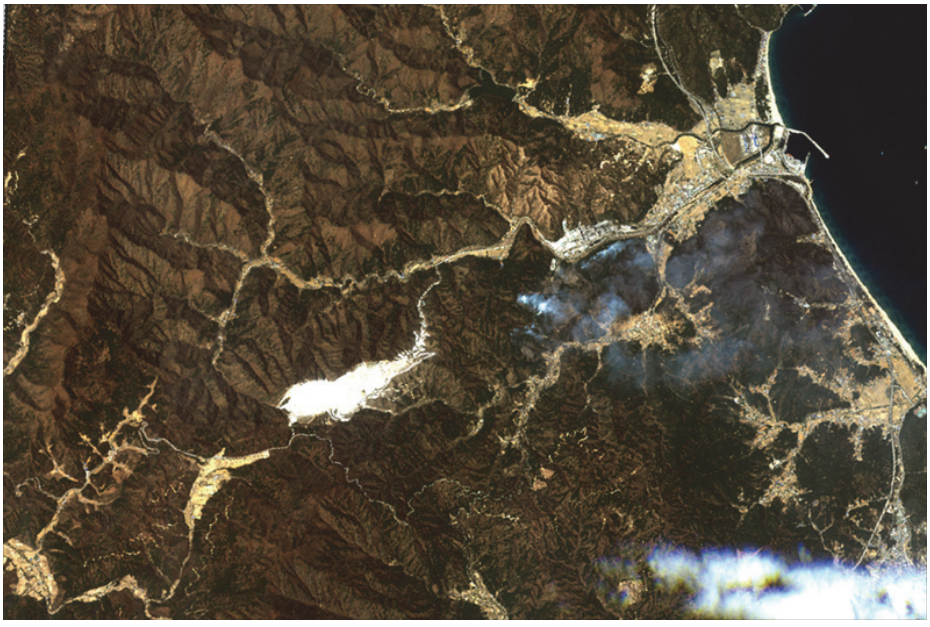
출처: Earth Observing System. http://eos.com/kompsat-3-3a/ (2020년 4월 14일 검색).

- 고해상도 위성영상의 경우 보안시설이 영상에 나타날 수 있기 때문에 위성영상을 제공받기 전, 위성영상의 보안심의를 담당하는 국가정보원을 통해 보안심의를 받았음
  - 관련된 법령은 「국가공간정보 기본법」 제35조(보안관리)에서 확인할 수 있음
- 최종적으로 구득한 영상은 총 2매이며, 공간해상도는 픽셀당 약 3m
  - 기본적으로 Red, Green, Blue 가시광선 파장대역 3개의 밴드영상과 근적외선(Near Infra-red, NIR) 밴드의 영상을 포함하고 있음([그림 4]와 [그림 5]는 가시광선 대역으로 영상을 가시화한 그림임)

그림 4 산불 발생 이전인 19년 3월 8일 KOMPSAT-3 영상(강릉-옥계지역)

출처: 한국항공우주연구원을 통해 구득.

그림 5 산불 발생 직후인 19년 4월 5일 KOMPSAT-3A 영상(강릉-옥계지역)

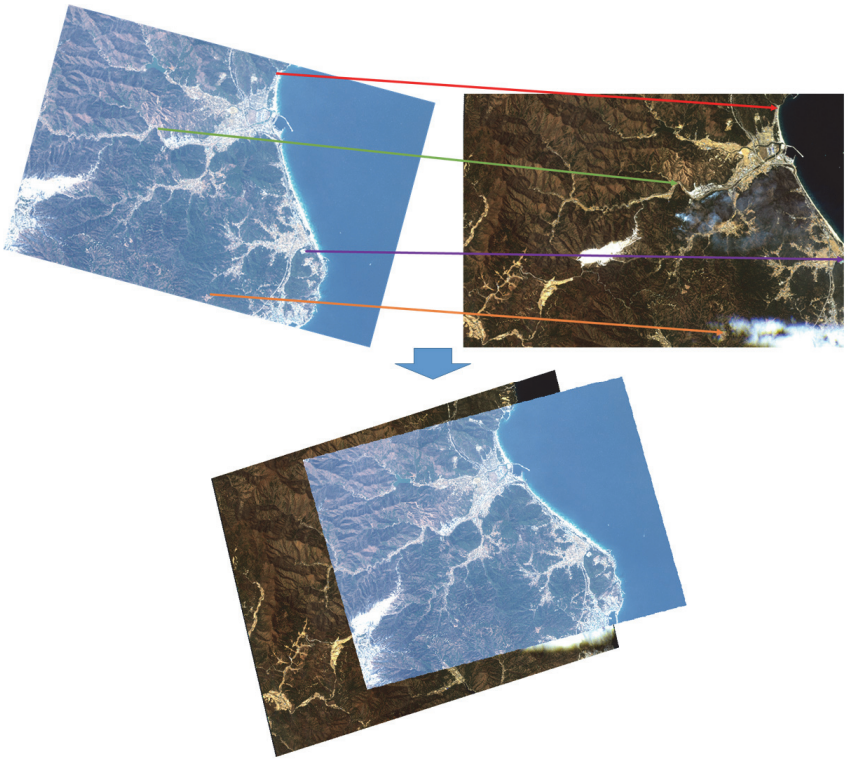


출처: 한국항공우주연구원을 통해 구득.

3) 데이터 보정

- 객체의 위치를 표현하는 방법에는 대상이 되는 객체 이외의 외부 객체를 기준으로 상대적인 위치를 표현하는 방법이 있으며, 객체 자체를 기준으로 삼아 위치를 표현하는 방법이 있음
- 지오레퍼런싱(Georeferencing)이란 영상좌표계[2] 혹은 객체좌표계[3]로 정의된 데이터(영상 및 지리공간자료)를 현실의 좌표계로 투영하여 실제 좌표를 부여해주는 작업임
- [그림 6]은 제공받은 2장의 영상을 GIS 프로그램인 QGIS(Quantum GIS)[4]에서 확인하였을 때, 육안으로 보기에 분명한 차이가 있는 영상을 가지고 중첩분석을 하기 위해 영상의 좌표를 보정하는 지오레퍼런싱을 수행한 내용을 표현한 그림임

그림 6 지오레퍼런싱(Georeferencing) 예시



출처: 저자 작성

2) 영상 혹은 이미지의 좌상단 모서리를 (0,0) 좌표로 설정하는 직각좌표계로, y좌표는 영상의 아래 방향으로 증가함.
3) GIS 데이터의 요소인 점(point), 선(polyline), 면(polygon) 등 객체에서 정의된 상대적 직각좌표계
4) QGIS. http://www.qgis.org

4) 정규산화율지수(Normalized Burn Ratio, NBR)

- 위성영상을 활용하여 산불영역을 탐지하는 연구에서는 산불지역을 분석하기 위해 주로 정규산화율지수(NBR) 또는 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 사용하고 있음
  - 이 연구에서는 정규산화율지수(NBR)와 정규식생지수(NDVI) 두 방식 모두를 활용하여 분석하고 비교하였음
- 정규산화율지수(NBR)의 산식은 다음과 같음

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \qquad [식\ 1]$$

- 산식에서 NIR은 근적외선(Near Infra Red)을 의미하며, SWIR은 단파장적외선(Short Wave Infra-Red)을 의미함
- 정규산화율지수 산식을 위성영상에 적용해 산불영역을 탐지하는 원리는 산불로 전소된 지역의 피해가 클수록 식생의 엽록소 양과 수분이 감소하는 것에서 착안한 것임
- Landsat 위성영상은 가시광선영역을 포함하여 근적외선(NIR), 단파장적외선(SWIR) 등 다양한 파장 영역대의 영상을 촬영할 수 있어, 간단하게 정규산화율지수 분석이 가능함
  - 그러나 이 연구에서 구득한 다목적 활용 위성 KOMPSAT-3, KOMPSAT-3A 위성영상은 단파장적외선(SWIR) 대역을 가지고 있지 않기 때문에 단파장적외선 영상과 유사한 밴드 영상을 계산하여 분석에 활용함
  - 김천(2008)은 태슬모자변환(Tasseled Cap Transformation, TCT)[5]을 활용하여 단장적외선 대역 영상이 존재하지 않는 위성영상의 정규산화율지수를 계산하고 평가하였으며, 이 연구에서도 같은 방법을 활용하여 분석을 수행하였음

5) 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

- 정규식생지수는 정규산화율지수와 유사하게 근적외선 파장대역의 반사율을 이용해 식생의 생장 상태를 지수화한 것임[6]
  - 식물의 엽록소는 광합성을 위해 가시광선을 강하게 흡수하는 반면, 잎의 세포구조는 근적외선을 반사함
  - 따라서 식생의 잎이 많을수록 정규식생지수가 크게 나타나게 됨
  - 반대로 식생이 전소된 지역에서는 정규식생지수가 작게 나타나기 때문에 이를 통해 산불피해지역을 파악할 수 있음

5) 위성영상에서의 식생변화관찰을 위해 고안된 이미지 밴드의 선형 조합식으로, 원본 위성영상에 존재하지 않는 파장대역 영상을 추정 가능함.
6) Earth Observing System. http://eos.com/ndvi/ (2020년 4월 14일 검색).

- 정규식생지수(NDVI)의 산식은 다음과 같음

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \qquad [식\ 2]$$

- 산식에서 RED는 가시광선의 적색파장대역을 의미함

6) 영상처리 및 분석(Imageprocessing)

- 앞서 설명한 정규산화율지수, 정규식생지수를 활용하여 산불피해지역을 분석하기 위해서는 산불이 발생하기 전에 촬영된 영상과 산불이 발생한 후의 영상을 비교 분석해야 함
- 두 영상의 차(difference)는 수학기호 ⊿(Delta)로 표현할 수 있음
  - 즉, ⊿NBR 과 ⊿NDVI를 계산하면, 피해지역은 ⊿값이 크게 나타날 것이고, 피해가 적은 지역은 ⊿값이 작게 나타날 것임
- 이 연구에서는 매스웍스(MathWorks) 사의 매트랩(MATLAB)을 활용하여 영상처리를 수행함
  - 먼저 변화값(⊿)을 계산하고, 유사한 값을 가지는 픽셀들을 플러드 필(Floodfill)[7] 알고리즘을 사용하여 경계(Image Boundary)를 생성하였고, 생성된 경계를 통해 피해면적을 계산함

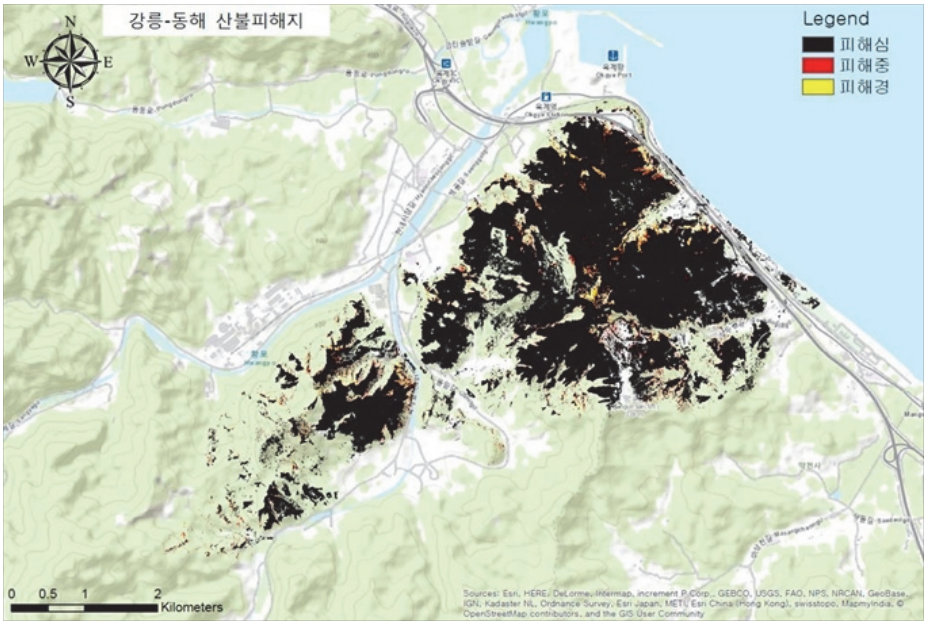
7) 다차원 배열의 어떤 칸과 연결된 영역을 찾는 알고리즘으로, 일정 범위 내 유사한 값을 가지는 픽셀을 연결하여 하나의 영역으로 추출하는 방법.

04 2019년 강원도 산불 분석결과

1) 피해면적 산출 및 시각화

- 산불이 발생한 이후 행정안전부의 안전관리 일일현황 발표자료 및 산림청 산불통계, 신문기사 등을 추적한 결과 2019년 7월 16일 집계된 강릉 옥계지역의 최종 피해면적은 1033㏊(국유림 47㏊, 사유림 986㏊)(연합뉴스 2019.07.16.)
  - 최초 잠정집계된 피해면적은 589ha(강원도민일보 2019.04.05.)이었으며, 이후 추가 조사에 따라 피해면적이 늘어나거나 변하였음(조선일보 2019.05.01.)

그림 7 국립산림과학원에서 분석한 강릉·옥계지역 산불피해지(714.8ha)



출처: 한국일보 2019.04.10.

- 먼저 정규산화율지수(NBR) 분석방법론대로 태슬모자변환(TCT)을 활용하여 단파장적외선(SWIR) 영상을 생성하고, 산불 전후 각 영상의 정규산화율지수를 계산한 후, 산불이 발생하기 전과 후의 차이(⊿NBR)를 계산함
- 비슷한 픽셀값끼리 영역을 생성하는 플러드 필 알고리즘을 활용하여 경계를 추출하였고([그림 8] 참조), 경계 내에 ⊿NBR 분포에 따라 피해가 큰 지역부터 피해가 적은 지역까지의 영역을 피해 강도(Burn Severity)[8]에 따라 구분하였음([그림 9] 참조)

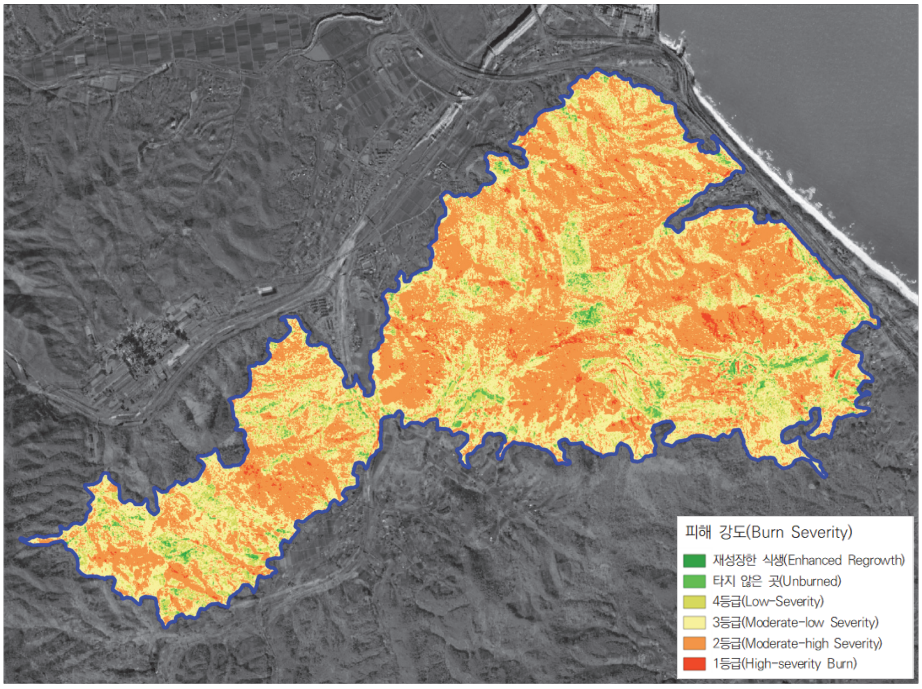
그림 8 ⊿NBR 및 Floodfill을 이용한 경계추출

출처: 저자 작성

- [그림 9]처럼 각 픽셀의 수치값(Digital Number, DN)에 따라 등급을 분류하고, 그 면적을 계산하였음
- 계산한 결과는 다음 [표 2]와 같으며, 총 면적은 1075.33ha로 나타났음
  - 타지 않은 곳(unburned)으로 분류된 지역을 제외하면 약 1050.78ha의 면적 피해

8) 산불진화 후의 피해특성을 파악할 때 사용하는 지표로, ⊿NBR의 구간에 따라 피해정도를 구분(Morgan, Hardy, Swetnam, and Rollins et al. 2001; Key and Benson 2002).

그림 9 ⊿NBR 피해등급 분류 시각화



출처: 저자 작성

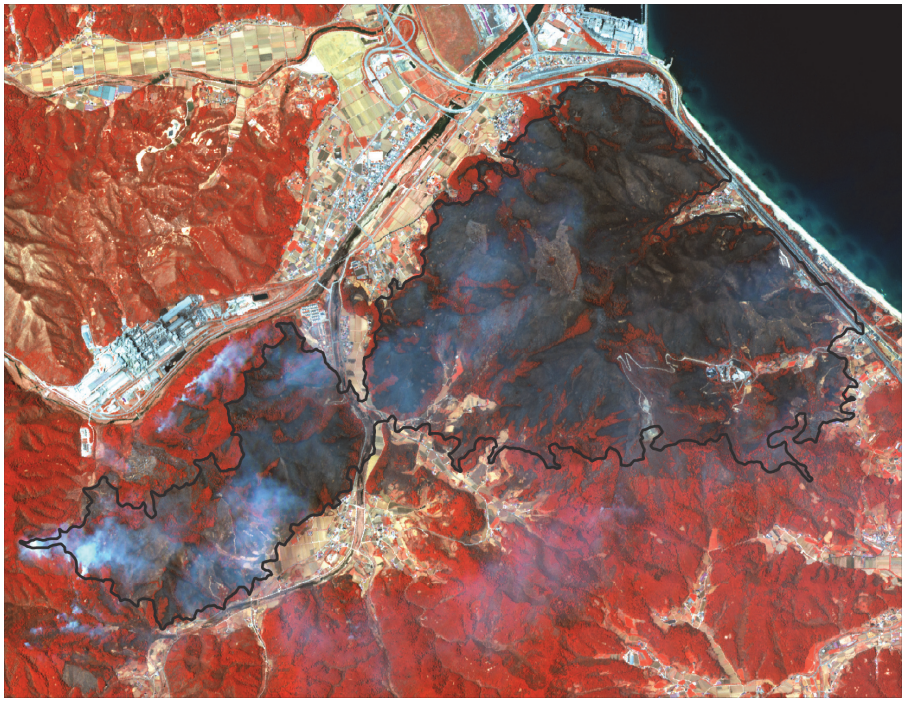
표 3 ⊿NBR 피해등급표 및 피해 면적

피해등급	㎢	헥타르
타지 않은 곳(Unburned) (⊿NBR 〈 0.1)	0.25 ㎢	24.55 ha
4등급(Low-severity burn) (⊿NBR 01. to 0.27)	1.23 ㎢	122.94 ha
3등급(Moderate-low severity burn) (⊿NBR 0.27 to 0.44)	3.93 ㎢	393.27 ha
2등급(Moderate-high severity burn) (⊿NBR 0.44 to 0.66)	5.17 ㎢	516.74 ha
1등급(High-severity burn) (⊿NBR 〉 0.66)	0.18 ㎢	17.83 ha
합계	10.76 ㎢	1,075.33 ha

출처: 저자 작성

- 산불피해지역을 시각적으로 확인할 수 있는 컬러 합성 위성영상과 추출된 경계를 중첩하여 [그림 10]과 같이 시각화하였음
  - 육안으로 확인되는 산불피해지역인 검은색 영역은 대부분 포함하고 있음

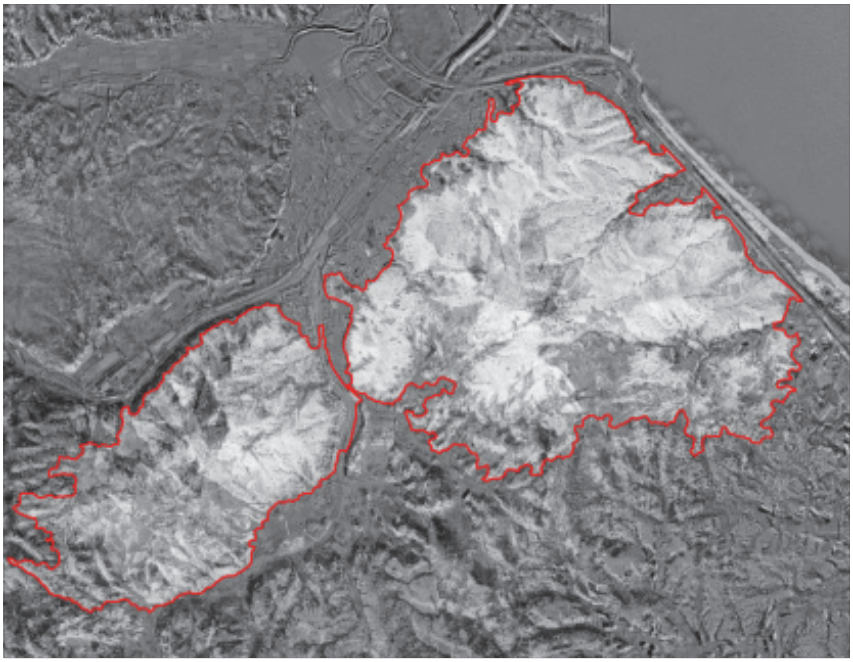
그림 10 컬러 합성 위성영상과 ⊿NBR로 추출된 경계선 시각화



출처: 저자 작성

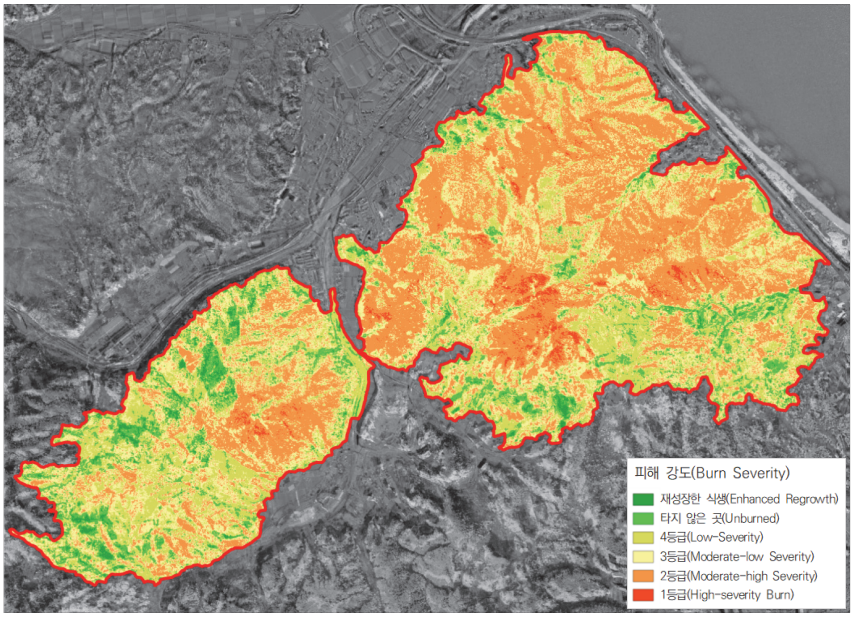
- ⊿NBR 분석과 마찬가지로 ⊿NDVI 결과를 분석
  - [그림 11]과 같이 ⊿NDVI 영상을 계산하였고, 경계를 추출하였음
  - 또한 [그림 12], [표 3]과 같이 피해 강도에 따라 구분하였음
- 분류된 픽셀별 DN값에 따라 등급을 분류하고 그 면적을 계산한 결과, 총 면적은 1,294.68ha로 계산되며, 타지 않은 곳으로 분류된 지역을 제외하면 약 1159.68ha의 피해면적이 계산되었음

그림 11 ⊿NDVI와 추출된 경계선



출처: 저자 작성

그림 12 ⊿NDVI값에 따른 피해등급 분류표



출처: 저자 작성

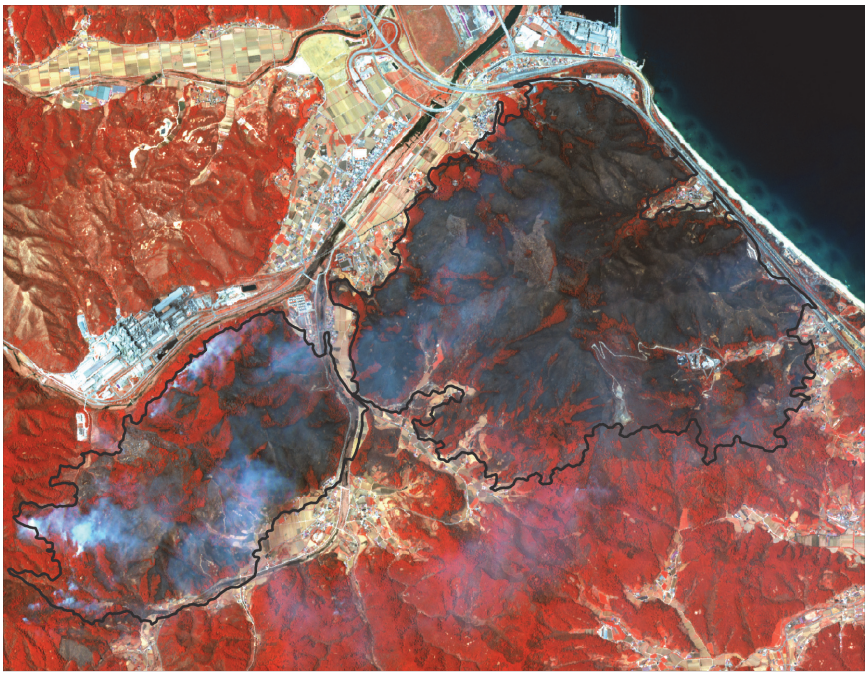
표 4 ⊿NDVI 피해등급표 및 피해 면적

피해등급	㎢	헥타르
타지 않은 곳(Unburned) (⊿NDVI 〈 0.1)	1.35 ㎢	135.00 ha
4등급(Low-severity burn) (⊿NDVI 01. to 0.27)	3.26 ㎢	325.97 ha
3등급(Moderate-low severity burn) (⊿NDVI 0.27 to 0.44)	3.52 ㎢	352.45 ha
2등급(Moderate-high severity burn) (⊿NDVI 0.44 to 0.66)	4.65 ㎢	465.44 ha
1등급(High-severity burn) (⊿NDVI 〉 0.66)	0.16 ㎢	15.82 ha
합계	12.94 ㎢	1,294.68 ha

출처: 저자 작성

- NBR 분석과 마찬가지로 컬러 합성 위성영상과 추출된 경계를 함께 [그림 13]과 같이 시각화하였음
  - ⊿NDVI로 추출된 경계 또한 양호한 분석결과를 나타내고 있음

그림 13 컬러합성 위성영성과 ⊿NDVI 결과로 추출된 경계선 시각화



출처: 저자 작성

2) 국토지표를 활용한 사회경제 현황 분석

- 국토지표는 국토조사를 통해 구축되는 데이터로, 국토계획 또는 정책 수립을 위해 필요한 인구, 경제, 사회, 토지이용 등에 대한 데이터를 포함
  - 국토지표는 「국토기본법」 제25조(국토조사)를 바탕으로 수행되며, 인구, 경제, 사회, 문화, 교통, 환경, 토지이용 등에 대한 사항을 정기/수시조사하고 있음
  - 국토 전체를 일정한 크기의 격자로 나누어 각 격자에 해당하는 인문사회지표 및 격자 기반 통계데이터를 작성하고 있음
- 국토격자 기반의 통계인 국토격자통계는 행정구역 기반의 통계와 달리 국토 현황의 변화를 세밀하게 측정 및 비교할 수 있으며, 국토계획의 수립, 집행 및 성과평가에서 행정구역 내 미시적인 변화 또한 파악할 수 있으므로 활용성이 높음
  - 또한 격자 기반 국토지표를 통해 여러 행정구역에 걸친 지역의 인구, 경제, 사회 분야 등의 통계를 살펴볼 수 있음
- 이러한 국토지표의 장점을 바탕으로 앞서 분석·추출된 경계인 산불피해지역(강릉시 옥계면 및 동해시 망상동 일원)의 인구, 사회, 경제 등 다양한 분야의 기초통계를 계산하여 산불피해정도를 살펴보고자 함[9)]
- [표 4]에서 산불피해지역의 인구기초통계를 살펴보면, 피해지역 내 총 257명이 거주하고 있었으며, 인구의 대부분은 생산가능인구와 고령인구로 구성되어 있음
- 산불피해지역의 격자통계지도를 보면([그림 14] 참조), 인구의 대부분이 피해지역의 가장자리에 주로 분포하고 있음
  - 피해지역 동쪽에 총인구 및 고령인구가 가장 많이 분포한 격자를 확인하였는데 이곳에는 실버타운이 위치해 있음을 확인([그림 15] 참조)

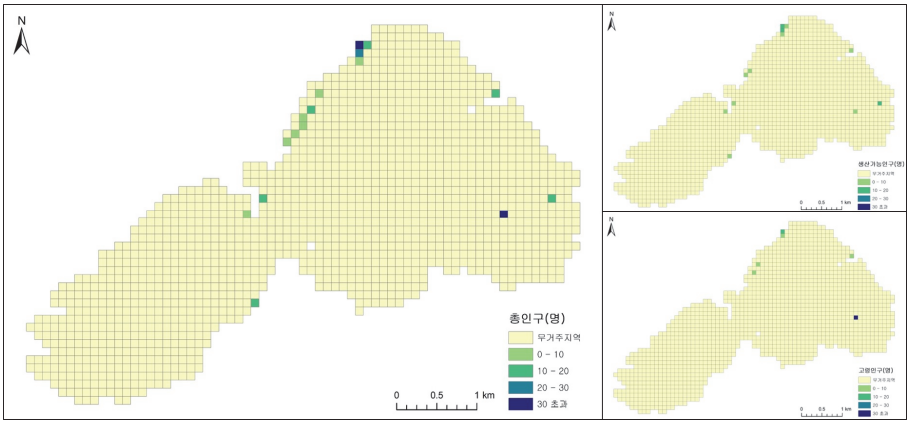
표 5 산불피해지역 기초통계(인구)

구분	총인구	생산가능인구	고령인구	초등학생인구	유소년인구	유아인구
합계	257.00	117.00	94.00	0	0	0
평균	16.06	9.75	15.67	0	0	0
최대	55.00	18.00	49.00	0	0	0

출처: 국토지리정보원 국토정보플랫폼(격자지표). http://map.ngii.go.kr/ (2019년 9월 2일 검색).

9) 현재 격자 인구데이터는 개인정보보호를 위해 5인 이하로 거주하고 있는 인구과소지역에는 마스킹(Masking) 처리를 하고 있음. 연구지역의 인구과소지역 격자는 10개로 확인되기 때문에 인구지표는 최대 50명까지 오차가 발생할 수 있음.

그림 14 산불피해지역의 인구분포



출처: 저자 작성

그림 15 실버타운 위치

출처: 카카오맵. https://map.kakao.com/ (2019년 10월 11일 검색).

- [표 5]에서처럼 피해지역에는 총 170개의 건축물이 있었으며, 노후건물 70개, 화재에 취약한 목조건물이 54개(총 건물수의 31.76%) 분포하고 있음을 확인하였음
  - 건물의 분포를 [그림 16]과 같이 지도화하여 살펴보면, 대부분의 건물이 산불피해지역의 북쪽 가장자리와 산불피해지역의 중앙을 지나며 분포하고 있음
  - 거주인구 및 고령인구수가 가장 높은 격자와 그 주변으로 철근콘크리트 건물이 있었으며, 해당 격자에 위치한 실버타운([그림 15] 참조)이 실제로 산불피해를 입은 것을 확인할 수 있었음[10)]

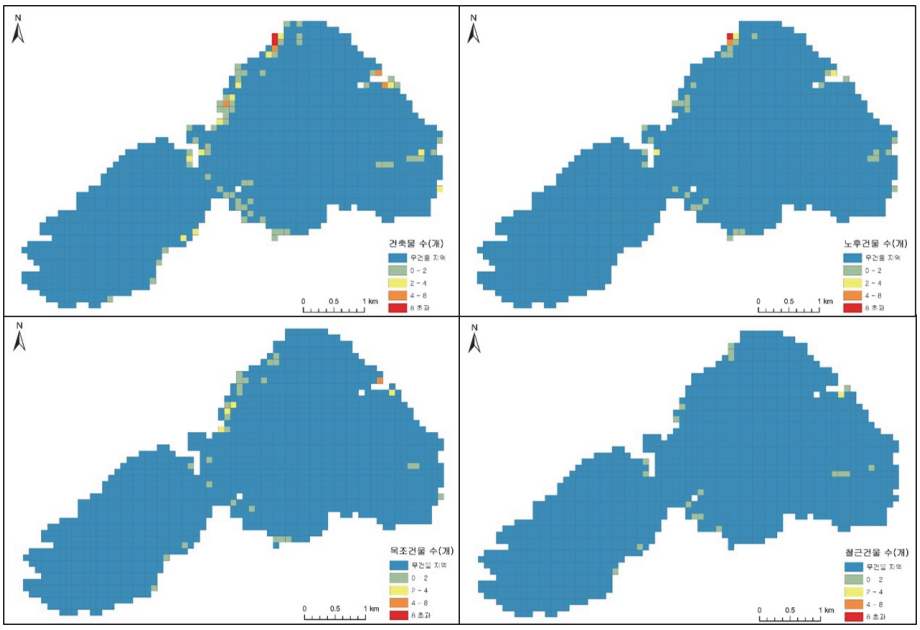
10) 동해실버타운. http://www.donghaesilver.com/ (2019년 9월 2일 검색).

표 6 산불피해지역 기초통계(건물)

구분	건축물수	노후건물	철근	목조건물
합계	170.00	70.00	24.00	54.00
평균	2.21	1.89	1.20	1.74
최대	16.00	15.00	4.00	7.00

출처: 국토지리정보원 국토정보플랫폼(격자지표). http://map.ngii.go.kr/ (2019년 9월 2일 검색).

그림 16 산불피해지역의 건축물 분포



출처: 저자 작성

3) 분석결과 정리

- 이 연구에서 분석한 강릉·동해 지역의 피해면적은 ⊿NBR 기준 1050.78ha, ⊿NDVI 기준 1159.68ha임
  - 정부 및 소관 기관의 대외 발표 면적인 1033ha와 유의미한 오차범위 내에서 결과가 도출되었음
- 언론 및 정부기관의 발표에 따르면 소실된 건축물은 125동이며, 이재민은 128명 발생하였음(강원도민일보 2019.04.22.)
  - 격자통계에서 과소추정된 생산가능인구는 117명이지만, 마스킹 처리된 격자 10개를 포함한다면 발표된 이재민 수와 근접할 가능성이 높음
  - 실제 발표된 피해현황과 다소 차이는 보이나, 산불의 초기 대처에 참고할 수 있는 정보로 활용 가능할 것으로 예상됨

표 7 산불피해지역 분석결과 비교

구분	분석결과	대외 발표	차이	오차(%)
피해면적(NBR)	1051ha	1033ha	18ha	2%
피해면적(NDVI)	1160ha	1033ha	127ha	10%
건축물	124동	125동	1동	1%
이재민	117명	128명	11명	9%

출처: 저자 작성

05 시사점 및 정책제언

■ 이 연구에서는 국토격자통계 및 위성영상을 융·복합하여 산불피해지역에 대한 분석을 수행하였으며, 시사점 및 발전방향을 도출함

- 이 연구의 차별성은 기존 산불피해분석 방법인 NBR과 NDVI를 활용하여 피해면적을 산출했을 뿐만 아니라, 국토지리정보원의 국토격자통계를 활용하여, 인문사회적 지표에 대한 분석을 한 것에 있음
- 첫 번째로, 인구격자통계를 활용하여 산불피해지역의 인구와 건물의 분포를 확인하고, 어느 지역에 집중적으로 분포하고 있는지 파악할 수 있었으며, 국토격자통계의 활용을 통해 구조 동선, 구조 우선순위를 선정하여 구조의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단됨
- 두 번째로, 건축물격자통계를 활용하여 몇 동의 건물이 소실되었는지, 어떤 유형의 건물이 소실되었는지 파악하여 피해 정도 산정에도 효과적으로 활용할 수 있었음. 나아가 건물 유형 및 노후 정도를 파악할 수 있는 만큼, 예상피해액 분석도 단시간에 할 수 있을 것으로 예상됨
- 또한, 연구의 분석결과가 공식 발표된 통계와의 오차는 적지만, 정확하다고 할 수는 없음. 그러나 실제 분석에 소요된 시간이 1일 이내로, 정확한 분석이 아닌 신속한 초기대응을 위한 기초분석용 정보로 활용될 수 있을 것으로 기대됨

■ 위성영상 기반 재난 대응프로세스 지원방향

- 위성영상의 신속한 구득이 어려운 이유 중 하나로 보안시설 촬영 여부 점검 등 보안성 검토와 배포허가제를 들 수 있음. 이로 인해서 데이터 구매요청으로부터 구득까지 소요되는 절차 및 처리 기간이 최대 몇 개월까지 걸린다는 단점이 있음
- 이를 해결하기 위해서는 유관기관 간 업무협력체계를 강화하여 위성영상 구득에 소요되는 시간을 줄이거나, 위성영상의 배포 권한을 국토지리정보원에 부여하는 방법이 있음. 현재 국토지리정보원은 「국가공간정보 기본법」 제35조(보안관리), '국토교통부 국가공간정보 보안관리규정', '국토지리정보원 국가공간정보 보안관리 규정' 등에 의하여 자체

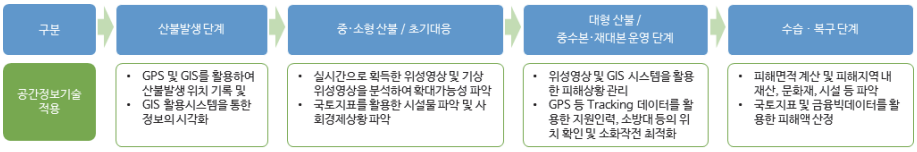
적인 보안성 검토가 가능하므로, 국토지리정보원에서 위성영상에 대해 즉각적인 보안성 검토 및 배포역할을 맡게 된다면 위성영상 구득에 걸리는 시간을 단축할 수 있을 것으로 예상됨

- 위성영상을 신속하게 구득할 수 있다면 대형 재해 및 재난 발생 시 피해상황 파악부터 복구 지원까지 폭넓은 분야에 매우 도움이 될 것으로 판단됨

■ 공간정보기술 적용 재난 대응체계

- 기본적인 재난 대응 프로세스인 [그림 2]의 재난 대응 프로세스에서 각 부처 및 담당의 역할은 그대로 수행하되, 다음 [그림 17]과 같이 공간정보기술 적용 방안을 추가로 제안하고자 함

그림 17 공간정보기술을 활용한 재난 대응 프로세스



출처: 저자 작성

- 산불발생단계에서 최초 신고자의 위치, 산불 발생 장소 등을 좌표로 기록하고, 초기 대응을 위한 자료로 활용할 수 있음. 기록된 좌표를 GIS 시스템을 활용하여 지도에 표출하고, 기존에 유사한 지역에서 산불이 발생한 사실 혹은 당일 주변지역의 기상정보를 지도상에서 확인할 수 있을 것이며, 가까운 소화 장비나 대피로 등도 시각적으로 확인 가능하므로 빠르게 대응할 수 있음
- 중·소형 산불 및 초기대응에서는 실시간 위성영상 및 기상정보(바람의 방향, 구름, 온도, 습도 등)를 활용하면 산불의 확대 가능성을 분석할 수 있을 것으로 예상됨. 또한, 국토격자통계를 활용하면 피해지역 인근의 사회·경제적 현황을 파악하고 대책을 수립하는 데 도움이 될 것임
- 산불이 확산되어 대형산불이 되었을 때, 앞서 취득한 위성영상을 활용하여 피해지역을 실시간 모니터링하고, 산불 진압을 위해 투입된 인력 및 장비에 실시간 위치추적기(GPS Tracker)를 지급하여 지도에서 실시간으로 위치를 파악한다면 효과적인 산불 진압이 가능해질 것임
- 산불 진압 이후에는 이 연구에서와 같이 위성영상 및 국토격자통계를 활용하여 피해면적을 계산하고, 피해액 산정 및 복구를 지원하는 방법이 도움이 될 것으로 보임

- 이러한 공간정보기술을 적용한 시스템 및 재난 대응 프로세스를 웹 기반 시스템으로 운영한다면, 산불을 모니터링하는 산림청뿐만 아니라 각 지방자치단체 및 유관기관에서도 실시간으로 공유가 가능할 것임
- 공간정보기술을 활용한 재난 대응 프로세스 개선방안을 제안하였지만, 실시간 위성영상 획득, 모니터링 및 분석을 위한 GIS 시스템 등은 아직 충분한 기술력이나 제도가 확보되지 않았기 때문에 제도의 개선뿐만 아니라 기술 개발이 병행되어야 함
- 마지막으로, 기존 재난 대응 프로세스에서는 보고자료 작성 및 대국민 브리핑, 유관기관 공유, 보도자료 작성 등 다양한 문서 생산이 이루어지고 있음. 앞서 제안한 GIS 시스템을 통해 브리핑에 필요한 정보들을 적절히 시각화하여 공유한다면, 실시간 모니터링뿐만 아니라 대국민 발표와 기관 브리핑에도 충분히 활용할 수 있을 것으로 예상됨

참고문헌

강원도민일보. 2019. 옥계산불 피해 산림 589ha 잠정 집계. 4월 22일, http://www.kado.net/?mod=news&act=articleView&idxno=964142

강준묵. 2010. 위성영상을 이용한 산불재해 분석. 한국측량학회지 28권, 1호: 21-28.

국토지리정보원 국토정보플랫폼. 격자지표. http://map.ngii.go.kr/ (2019년 9월 2일 검색).

김대영. 2014. GIS를 이용한 산불발생의 공간적 분석. 국토지리학회지 48권, 3호: 325-336.

김천. 2008. IKONOS 화상 기반의 산불피해등급도 작성을 위한 정규산불피해비율(NBR) 평가. 대한원격탐사학회지 24권, 2호: 195-203.

뉴스1. 2019. 강릉 옥계 산불 동해 망상까지 번져…화목보일러 원인 추정, 4월 5일. https://www.news1.kr/articles/?3589570

동해실버타운. http://www.donghaesilver.com/ (2019년 9월 2일 검색).

박병욱. 1997. 원격탐사 자료를 이용한 자연재해분석에 관한 연구. 한국측량학회지 15권, 2호: 237-244.

박영진, 유정흠, 김용민, 김성삼, 이소희, 구신회, 전영우 외. 2014. 국내위성자료를 이용한 재난관리 활용방안 연구. 서울: 국립재난안전연구원.

산림청. 2019. 산불방지 종합대책. 대전: 산림청.

_____. 2009. 산불조사 실무 매뉴얼. 대전: 산림청.

_____. 2018. 2018년 산불통계연보. http://www.forest.go.kr/kfsweb/cop/bbs/selectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_1008&mn=NKFS_06_09_05&nttId=3130128 (2019년 10월 11일 검색).

_____. 2016. 산불재난 위기대응 실무매뉴얼. 대전: 산림청.

손영선. 2006. LiDAR 자료 및 SPOT-4 위성영상을 활용한 산불피해 분석. 대한토목학회논문집 26권, 3D호: 527-534.

양철근. 2017. 우리나라 산불 대응체계 개선방안 연구. 석사학위논문, 서울시립대학교.

연합뉴스. 2019. 국회 추경 지연에 강릉 산불피해 산림 245㏊ 긴급 벌채 못 해. 7월 16일, https://www.yna.co.kr/view/AKR20190716106800062?input=1195m (2019년 9월 20일 검색).

이수진, 김광진, 김영호, 김지원, 이양원. 2017. Sentinel-2 영상 기반의 FBI(Fire Burn Index) 개발 및 우리나라 산불피해지역 탐지 실험. 한국사진지리학회지 27권, 4호: 187-202.

이시영. 2002. GIS를 이용한 산불피해지역 특성분석. 한국지리정보학회지 5권, 1호: 20-26.

조명흠, 박영진, 김성삼, 최재원, 구신회. 2012. 고해상도 위성영상을 활용한 HAITI 지진 피해 분석. 한국방재학회 학술대회논문집 2012년 1호: 125.

조명희. 2001. GIS를 이용한 산불 정보관리시스템 개발. 한국지리정보학회지 4권, 3호: 41-50.

조선일보. 2019. 강원 산불 피해면적 2832㏊로 최종 집계…당초 집계보다 1000㏊ 늘어나. 5월 1일, http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2019/05/01/2019050101143.html (2019년 9월 20일 검색).

중앙일보. 2019. 인제·고성 산불, 속초까지 확산… 주민·콘도투숙객 긴급 대피. 4월 4일, https://news.joins.com/article/23432034

최승필. 2006. 위성영상 자료에서 요인분석에 의한 산불 피해 지역 추출. 한국지형공간정보학회지 14권, 1호: 13-19.

한국일보. 2019. 인제부터 강릉까지… 위성사진으로 본 산불 피해 면적. 4월 10일, https://www.hankookilbo.com/News/Read/201904101547079133 (2019년 9월 20일 검색).

한국항공우주연구원 유튜브. https://www.youtube.com/watch?v=0YaAALVMdmw (2019년 10월 11일 검색).

허대욱. 2016. 효과적인 재난 대응을 위한 현장지휘체계 개선방안. 석사학위논문, 광운대학교.

Earth Observing System. Kompsat 3/3A. http://eos.com/kompsat-3-3a/ (2020년 4월 14일 검색).

_____. NDVI. http://eos.com/ndvi/ (2020년 4월 14일 검색).

Key, C. H. and Benson, N. C. 2002. Post-fire assessment by remote sensing on National Park Service Lands. In *Second U.S. Geological Survey Wildland Fire Workshop: Los Alamos, New Mexico October 31-November 3, 2000.* eds. Coffelt, J. L. and Livingston, R.K. Denver: U.S. Geological Survey.

Morgan, P., Hardy, C. C., Swetnam, T. W., Rollins, M. G. and Long, D. G. 2001. Mapping fire regimes across time and space: understanding coarse and finescale fire patterns. *International Journal of Wildland Fire* 10, no.4: 329-342.

국토연구원 Working Paper는 다양한 국토 현안에 대하여 시의성 있고 활용도 높은 대안을 제시할 목적으로 실험정신을 가지고 작성한 짧은 연구물입니다. 투고된 원고는 정해진 절차를 거쳐 발간되며, 외부 연구자의 투고도 가능합니다. 공유하고 싶은 새로운 이론이나 연구방법론, 국토 현안이나 정책에 대한 찬반 논의, 국내외 사례 연구나 비교연구 등 국토분야 이론이나 정책에 도움이 될 어떠한 연구도 환영합니다.
투고를 원하시는 분은 국토연구원 연구기획·평가팀(044-960-0582, jhkim@krihs.re.kr)으로 연락주십시오. 채택된 원고에 대해서는 소정의 원고료를 드립니다.

WP 19-22

재난지역 피해규모 산정을 위한 위성영상과 국토지표 활용 방안

연 구 진 임룡혁
발 행 일 2020년 4월 17일
발 행 인 강현수
발 행 처 국토연구원
홈페이지 http://www.krihs.re.kr

© 2019, 국토연구원

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

이 연구보고서는 한국출판인협회에서 제공한 KoPub 서체와 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체가 적용되어 있습니다.

KRIHS 국토연구원