공공데이터와 GIS 공간분석을 활용한 복합위험지수 기반 산불취약지역 분석 및 등급화 연구

정인혜*
대진대학교 스마트모빌리티 조교수

Composite Risk Index-Based Analysis and Classification of Wildfire Vulnerable Areas Using Public Data and GIS Spatial Analysis

In-Hye Jung*
Professor, Division of Smart Mobility, Daejin University

요 약 최근 기후변화와 산림-생활권 접점의 확대에 따라 산불 발생과 피해를 사전에 분석하고 지역별 대응 여건을 고려한 예방체계의 필요성이 커지고 있다. 본 연구는 경상북도 북부 권역의 안동시, 예천군, 울진군, 영덕군을 대상으로 공공데이터와 GIS 공간분석을 활용하여 행정구역 단위의 산불취약지역을 등급화하는 데 목적이 있다. 이를 위해 산불 발생 이력, 발생원인, 피해면적, 임도·도로 접근성, 기상환경, 인구 분포, 소방용수시설 및 소방서·119안전센터 위치정보를 통합하였다. 수집된 공간자료는 GRS80 중부원점 좌표계로 통일하고, 각 지표는 Min-Max 표준화를 통해 0~100점으로 변환하였다. 이후 산불이력, 공간접근성, 대응 인프라, 기상·사회 요인에 가중치를 적용하여 복합위험지수를 산정하고, 산불취약지역을 위험지역, 주의지역, 관심지역으로 분류하였다. 분석 결과, 안동시와 예천군은 농경지 및 생활권과 인접한 산림 경계부에서 소각 중심의 산불 위험이 크게 나타났다. 반면 울진군과 영덕군은 해안 강풍, 산악지형, 산림 인접 도로 및 관광지 영향으로 산불 확산 위험이 상대적으로 높게 분석되었다. 본 연구는 산불 발생 가능성, 확산 위험, 초기 대응 가능성을 함께 고려한 지역 맞춤형 산불 예방·대응체계 구축의 기초자료를 제시한다.

주제어 : 산불취약지역, GIS 공간분석, 공공데이터, 복합위험지수, 행정구역 단위 분석, 대응 인프라

Abstract Wildfires are increasing in complexity under changing climate conditions and expanding forest–community interfaces, creating a need for spatially explicit, locally tailored prevention and response planning. This study classifies wildfire-vulnerable areas at the administrative-district level using public data and GIS-based spatial analysis in Andong-si, Yecheon-gun, Uljin-gun, and Yeongdeok-gun in northern Gyeongsangbuk-do. Forstudy aims to classify wildfire vulnerable areas by administrative unit using public data and GIS-based spatial analysis, focusing on Andong-si, Yecheon-gun, Uljin-gun, and Yeongdeok-gun in the northern region of Gyeongsangbuk-do. For this purpose, wildfire occurrence history, ignition causes, burned area, forest road and road accessibility, meteorological conditions, population distribution, firefighting water facilities, and fire station and 119 safety center location data were integrated. All spatial datasets were standardized using the GRS80 Central Belt coordinate system, and each indicator was transformed into a 0–100 score through Min-Max normalization. A Composite Risk Index was then calculated by applying weights to wildfire history, spatial accessibility, response infrastructure, and meteorological and social factors. Based on the index, wildfire vulnerable areas were classified into high-risk, caution, and monitoring areas. The results showed that Andong-si and Yecheon-gun had higher wildfire risk around forest boundaries adjacent to farmland and residential areas, mainly due to open agricultural burning. In contrast, Uljin-gun and Yeongdeok-gun showed relatively high wildfire spread risk due to coastal winds, mountainous terrain, forest-adjacent roads, and tourist activities. This study provides basic data for establishing region-specific wildfire prevention and response strategies that consider ignition probability, spread potential, and initial suppression capacity.

Key Words : Wildfire-Vulnerable Areas, GIS Spatial Analysis, Public Data, Composite Risk Index, Administrative Unit Analysis, Response Infrastructure

*교신저자 : 정인혜(ihjung@daejin.ac.kr)
접수일 2026년 07월 29일 수정일 2026년 08월 26일 심사완료일 2026년 10월 19일

www.kci.go.kr

1. 서론

최근 기후변화와 산림 이용 형태의 변화로 산불 발생 빈도와 피해 규모가 증가하고 있으며, 건조한 기후, 강풍, 인위적 활동 증가 등이 복합적으로 작용하면서 산불 발생 양상도 변화하고 있다. 산불은 초기 대응 여부에 따라 피해 규모가 크게 달라지므로, 산불 발생 가능성이 높은 지역을 사전에 파악하고 관리할 수 있는 공간기반 분석체계 구축이 필요하다.

기존의 산불 감시 및 대응 방식은 감시 인력, 관측소, 신고, 육안 관측 등에 의존하는 경우가 많아 넓은 산림지역의 위험요인과 대응 여건을 정밀하게 파악하는 데 한계가 있었다. 이에 따라 산불 발생자료, 기상자료, 공간정보, 인구자료, 소방 대응 인프라 자료 등을 통합하여 산불 위험지역을 분석하고, 이를 행정구역 단위의 GIS 공간정보로 구축할 필요성이 커지고 있다.

산불취약지역 분석을 위해서는 과거 산불 발생건수뿐만 아니라 발생 위치, 발생 원인, 피해면적, 기상조건, 지형, 도로·임도 접근성, 소방용수시설 및 소방서 접근성 등을 종합적으로 고려해야 한다. 특히 초기 대응 인프라가 부족한 지역은 산불 발생 시 대형 산불로 확산될 가능성이 높기 때문에, 발생 위험과 대응 가능성을 함께 반영한 분석이 요구된다.

이에 본 연구는 경상북도 북부 권역의 안동시, 예천군, 울진군, 영덕군을 대상으로 산불 발생자료와 공공데이터를 융합하고, 복합위험지수를 산정하여 행정구역 단위 산불취약지역을 위험지역, 주의지역, 관심지역으로 등급화하고자 한다.

2. 선행연구

2.1 개요

산불 관련 선행연구는 산불 발생 원인 분석, 위험도 평가, GIS 기반 공간분석, 산불 확산 및 대응체계 분석을 중심으로 발전해 왔다[1, 2, 3, 4, 5, 6]. 초기 연구는 기온, 습도, 풍속, 강수량 등 기상요인과 산림 내 가연물, 임상 상태를 중심으로 산불 발생 가능성을 설명하는 데 초점을 두었다[4, 6]. 그러나 이러한 연구들은 산림 인접 생활권, 도로·임도, 인구 분포, 소방 대응 인프라 등 사회적·공간적 요인을 종합적으로 반영하는 데에는 한계가 있었다[3, 5]. 최근에는 GIS와 공공데이터를 활용하여 산불 발생위치, 행정구역, 임도망, 도로망, 기상자료, 인구자료 등을 결합하고 산불 발생의 공간적 패턴과 취약지역을 분석하는 연구가 확대되고 있다[1, 2, 7, 8]. 특히 읍·면·동 또는 리 단위의 세밀한 행정구역 분석은 예방순찰 구역 설정, 진화 접근로 확보 등 현장 중심의 산불 예방·대응계획 수립에 유용하다[2, 3]. 따라서 산불 발생 위험과 대응 인프라 취약성을 함께 고려한 통합적 분석이 요구된다.

2.2 연구의 필요성

본 연구는 변화하는 산불 발생 양상에 대응하기 위해 공공데이터와 GIS 기반의 공간분석을 수행하고, 행정구역 단위의 산불취약지역을 등급화하고자 한다. 산림 인접 지역의 개발과 도로망 확충, 전원주택·관광시설 및 등산로의 증가는 인간 활동과 산림의 접점을 넓히고 있다. 이에 따라 기존의 입산자 실화와 농산폐기물·논밭두렁 소각뿐 아니라 다양한 사회·공간적 요인을 함께 고려할 필요가 있다[3, 5].

시·군·구 단위의 광역 분석만으로는 감시자원 배치, 예방순찰 구역 설정, 진화 접근로 확보 등 현장 대응에 필요한 세부 정보를 제공하는 데 한계가 있다. 따라서 읍·면·동 또는 리 단위의 정밀한 공간분석이 요구된다[1, 2]. 또한 산불취약지역을 효과적으로 관리하려면 산불 발생 가능성뿐 아니라 소방용수시설·소방서·119안전센터의 접근성과 도로·임도 여건 등 초기 대응 인프라의 취약성도 함께 파악해야 한다[3, 6]. 이에 본 연구는 산불 발생·기상·공간·인구·소방 인프라 자료를 통합해 산불 위험도를 산정하고, 예방자원의 우선 배치와 지역 맞춤형 대응 전략 수립을 위한 근거를 제시하고자 한다.

3. 연구방법

3.1 연구범위

본 연구의 공간적 범위는 경상북도 북부 권역에 위치한 안동시, 예천군, 울진군, 영덕군으로 설정하였다. 해당 지역은 내륙 산지와 동해안 산악·해안 지형이 함께 나타나는 지역으로, 산불 발생 및 확산 양상이 지역별로 다르게 나타날 가능성이 높다. 특히 산림과 농경지, 주거지, 관광지, 도로 및 임도가 인접해 있어 인위적 요인에 의한 산불 발생 가능성이 높으며, 일부 지역은 강풍과 산악지형의 영향으로 산불 발생 시 피해가 확대될 수 있다.

안동시와 예천군은 농경지와 생활권이 산림과 인접한

www.kci.go.kr

내륙형 지역으로, 농산폐기물 소각, 논·밭두렁 소각, 입산자 실화 등 인위적 발화 요인 분석에 적합하다. 반면 울진군과 영덕군은 동해안과 산악지형이 결합된 해안·산악형 지역으로, 건조한 기상조건, 강풍, 산림 인접 도로, 해안 관광지 등이 산불 확산 위험을 높이는 지역적 특성을 가진다.

3.2 활용 데이터

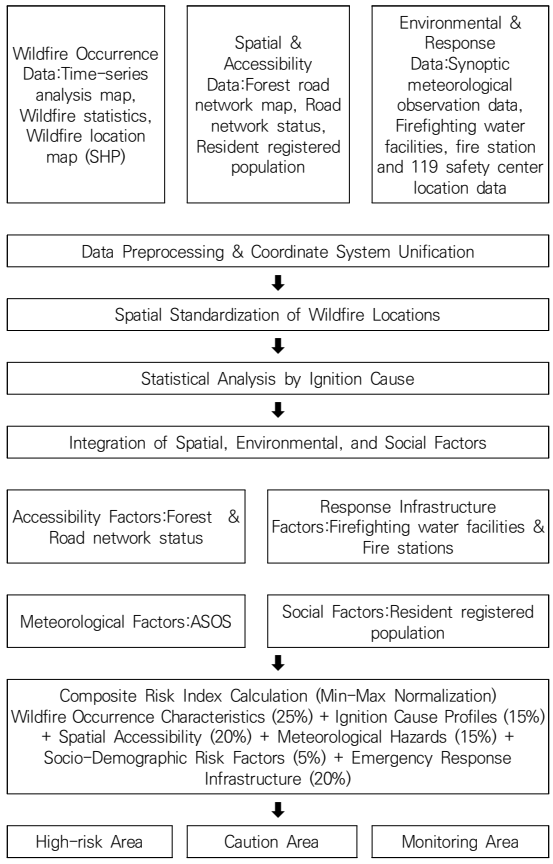
산불 발생 특성과 산불취약지역을 분석하기 위해 산불 발생자료, 공간자료, 인구자료, 기상자료, 소방 대응 인프라 자료를 통합적으로 활용하였다. 산불 발생자료는 발생건수, 발생원인, 피해면적, 발생일자 등을 분석하는 데 활용하였으며, 공간자료는 산불 발생 위치와 임도·도로 접근성을 분석하는 데 사용하였다[9-11]. 또한 주민등록인구, 종관기상관측자료, 소방용수시설 및 소방서 위치정보를 결합하여 산불 발생 가능성과 대응 취약성을 함께 평가하였다[12-15]. 본 연구의 공공데이터 전처리와 GIS 공간분석은 QGIS 및 Python 환경에서 수행하였으며, 모든 공간자료의 좌표계는 GRS80 중부원점으로 통일하였다. 활용된 데이터 세부 현황은 Table 1과 같다.

〈Table 1〉 Data Collection and Dataset Construction

Data Name	Format	Source
Time-Series Forest Fire Occurrence Analysis Map	CSV	Forestry Big Data Exchange
National Wildfire Information System Statistics	CSV	National Wildfire Information System
Wildfire Occurrence Map	SHP	Forestry Big Data Exchange
Forest Road Network Map	SHP	Korea Forest Big Data Exchange
Resident Registration Population by Administrative District	CSV	Ministry of the Interior and Safety
Automated Synoptic Observing System (ASOS) Data	CSV	Korea Meteorological Administration
National Firefighting Water Facilities Standard Data	CSV	Public Data Portal
Fire Station and 119 Safety Center Location Information	CSV	Public Data Portal
Road Network Status	SHP	Korea Transport Databasel
Ignition Cause Data	CSV	Korea Forest Service Wildfire Occurrence Statistics API
Administrative District Boundary Data	SHP	Korea Transport Databasel

3.3 연구 프로세스

전체 분석 절차는 Fig. 1과 같이 데이터 수집, 전처리, 공간 표준화, 위험요인 분석, 복합위험지수 산출, 산불취약지역 등급화의 순서로 구성하였다.



[Fig. 1] Data Analysis Process

첫째, 산불 발생 특성, 공간 접근성, 대응 여건 분석을 위해 시계열 산불발생분석도, 산불통계, 산불발생위치도, 임도망도, 도로현황, 주민등록인구, 기상자료, 소방용수시설 및 소방서·119안전센터 위치정보를 수집하였다. 둘째, 수집된 CSV 자료는 행정구역명, 발생일자, 발생원인, 피해면적, 위도·경도 등을 중심으로 정리하고, SHP 자료는 좌표계를 통일하여 공간 중첩이 가능하도록 정제하였다. 셋째, 산불 발생위치를 행정구역 경계자료와 중첩하여 읍·면·동 또는 리 단위별 산불 발생건수, 피해면적, 발생원인 분포를 산출하였다. 넷째, 산불 발생지점과 임도망도, 도로현황, 기상자료, 인구자료, 소방 인프라 자료를 연계하여 산불 위험요인과 초기 대응 취약성을

www.kci.go.kr

분석하였다. 다섯째, 지표별 점수를 0~100점으로 표준화하고 가중치를 적용하여 복합위험지수를 산출한 후, 산불취약지역을 위험지역, 주의지역, 관심지역으로 등급화하였다.

3.4 평가지표 및 가중치

산불취약지역을 행정구역 단위로 등급화하기 위해 산불 발생 특성, 발화 원인, 공간 접근성, 기상 위험성, 사회적 위험요인, 대응 인프라 접근성을 평가지표로 설정하였다. 각 지표는 산불 발생 가능성, 피해 확산 가능성, 초기 대응 취약성에 미치는 영향을 고려하여 구성하였다. 산불 발생건수와 피해면적은 과거 산불 위험을, 주요 발화원인은 지역별 발화 특성을 반영하는 지표로 활용하였다[1, 2]. 또한 임도·도로 접근성은 진화 활동 여건을, 건조·강풍 위험도는 산불 확산 가능성을, 소방용수시설과 소방서·119안전센터 접근성은 초기 대응 가능성을 평가하기 위한 지표로 적용하였다[3, 5, 6]. 산불취약지역 분석에 적용한 세부 평가지표와 가중치는 Table 2와 같다.

〈Table 2〉 Evaluation Indicators and Weights

Evaluation Category	Sub-Indicator	Used Dataset	Weight
Wildfire Occurrence Characteristics	Number of Wildfire Occurrences	National Wildfire Information System Statistics, Time-Series Wildfire Analysis Map	15%
	Damaged Area	National Wildfire Information System Statistics	10%
Ignition Cause Profiles	Hazard Level of Primary Ignition Causes	Wildfire Statistics, Ignition Cause Data	15%
Spatial Accessibility	Forest Road Accessibility	Forest Road Network Map	10%
	Road Accessibility	Road Network Status	10%
Meteorological Hazards	Aridity and Strong Wind Hazard Level	Automated Synoptic Observing System Data	15%
Socio-Demographic Risk Factors	Living Zone & Population Impact	Resident Registered Population by Administrative District	5%
Emergency Response Infrastructure	Fire Hydrant Accessibility	National Fire Hydrant Standard Data	10%
	Fire Station & 119 Safety Center Accessibility	Fire Station Location Information	10%

최근접 거리 기반 접근성 지표는 행정구역 대표점에서 가장 가까운 대상 시설 또는 도로까지의 평면 직선거리로 산출하였다. 공간자료는 GRS80 중부원점 좌표계로 통일한 뒤 거리를 계산하였으며, 거리가 길수록 접근 취약성이 커지는 방향으로 점수를 표준화하였다. ASOS 기상자료는 각 행정구역 대표점에서 가장 가까운 ASOS 관측소를 지정하고, 해당 관측소의 기상값을 행정구역에 할당하였다.

본 연구에서는 서로 다른 단위와 범위를 갖는 평가지표를 비교 가능하게 만들기 위해 Min-Max 정규화를 적용하였다. 산불 발생건수, 피해면적, 주요 발화원인 위험도, 건조·강풍 위험도, 생활권·인구 영향과 같이 값이 클수록 산불취약도가 증가하는 정방향 지표는 다음 식을 적용하였다. 모든 지표는 최종적으로 값이 클수록 산불취약성이 높아지도록 방향을 통일한다. 산불 발생건수, 피해면적, 발화원인 위험도, 건조·강풍 위험도, 생활권·인구 영향 및 최근접 거리는 정방향 위험지표이며 아래의 식을 적용한다.

$$S_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j^{\min}}{X_j^{\max} - X_j^{\min}} \times 100 \quad (1)$$

S_{ij}는 행정구역 i의 j번째 위험점수, X_{ij}는 원자료 값, X_j^{min}과 X_j^{max}는 지표의 최소값과 최대값이다.

원자료 값이 클수록 안전·접근성이 높아지는 지표가 실제 포함된 경우에는 역방향 위험지표로 정의하여 최근접 거리처럼 거리가 커질수록 접근 취약성이 커지는 지표는 위험 방향의 정규화를 적용한다.

$$S_{ij}^{rev} = \frac{X_j^{\max} - X_{ij}}{X_j^{\max} - X_j^{\min}} \times 100 \quad (2)$$

또한 복합위험지수 산정식은 다음과 같다.

$$CRI_i = \sum_{j=1}^{n} (S_{ij} \times W_j) \quad (3)$$

CRI_i는 행정구역 i의 복합위험지수, S_{ij}는 지표별 0~100 위험점수, W_j는 지표 j의 가중치, n은 평가지표 수를 뜻한다. CRI의 0~100 범위는 가중합에서 도출되며 별도의 Min-Max변환을 다시 적용한 결과값은 아니다. 다만 산불 발생건수와 발화원인 위험도는 같은 과거 산불자료에서 파생되므로, 별도 가중합은 사건정보를 중복 반영할 수 있다. 발생건수는 전체 산불 빈도로, 발화원인 지표는 원인별 건수가 아닌 전체 발생건수 대비 원인별 구성비로 정의해 지표 역할을 구분한다. 두 지표의 상관관계와 가중치 민감도를 확인하고, 중복성이 큰 경우 하나의 산불이력 지표로 통합하거나 가중치를 재배분한다.

www.kci.go.kr

3.5 산불취약지역 등급화 기준

본 연구에서 산불취약지역 등급은 산출된 복합위험지수의 상대적 수준을 기준으로 위험지역, 주의지역, 관심지역의 3개 등급으로 구분하였다. 본 등급 기준은 법적 기준이나 국가 표준 기준이 아니라, 행정구역 간 산불취약도를 비교하고 관리 우선순위를 도출하기 위해 연구자가 설정한 분석 기준이다. 각 지표를 0~100점으로 변환하고 가중치 합을 1로 하여 산출한 복합위험지수(CRI)는 별도 재표준화 없이 0~100 범위를 갖는다. 등급은 위험지역(CRI≥70), 주의지역(40≤CRI〈70), 관심지역(CRI〈40)으로 구분한다. 70점과 40점은 본 연구에서 설정한 관리용 절단값이며, 법적 기준이나 자료 기반 통계 분류값이 아니다. 따라서 본 등급은 해당 자료와 대상지역에 한정된 상대적 관리 우선순위이며 절대적 위험 기준이 아니다. 가중치 민감도 및 분위수 분류와 비교해 결과의 안정성을 확인하였다. 향후에는 자연분류법, 분위수 분류법 등 자료 기반 분류법과 가중치 민감도 분석을 통해 관리용 절단값의 안정성을 검증할 필요가 있다.

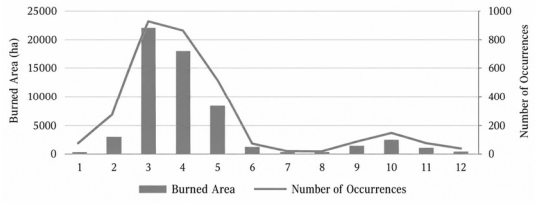
〈Table 3〉 Classification Criteria

Grade (Score)	Operational Meaning	Management Direction
High-risk Area (CRI ≥ 70)	High occurrence probability, spread potential, and suppression vulnerability.	Strengthened surveillance, hydrant reinforcement, and access route improvement.
Caution Area (40 ≤ CRI 〈 70)	Potential wildfire occurrence or repeated ignition causes.	Enhanced patrols, agricultural burning control, and awareness campaigns.
Monitoring Area (CRI 〈 40)	Potential risk factors with relatively manageable conditions.	Routine monitoring, prevention education, and data-driven management.

4. 연구결과

4.1 월별 산불 발생건수 및 피해면적 분포

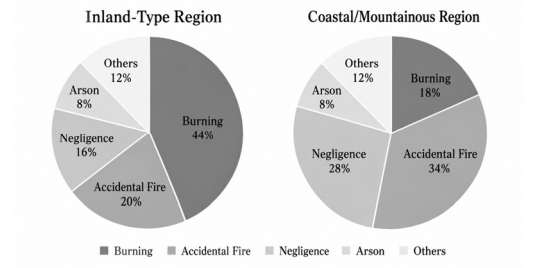
2021년부터 2023년까지의 산불 발생자료를 합산하여 연구대상 지역의 월별 산불 발생건수와 피해면적 분포를 분석하였다[9, 10]. 분석 결과, 산불은 연중 균등하게 발생하기보다 특정 시기에 집중되는 경향을 보였으며, 특히 3월부터 5월까지의 봄철에 산불 발생건수와 피해면적이 상대적으로 높게 나타났다. 이는 건조한 기상조건, 낮은 습도, 강한 풍속, 농번기 전후의 소각행위 증가와 관련이 있는 것으로 판단된다[4, 6]. 또한 2022년 3월 울진 대형산불은 해당 월의 피해면적을 크게 높여 월별 분포를 좌우하고, 피해면적 지표의 Min-Max 정규화에서 최댓값(100점) 기준으로 작용해 다른 지역의 상대 점수에도 영향을 줄 수 있다. 월별 산불 발생건수 및 피해면적 분포는 Fig. 2에 제시하였다.



[Fig. 2] Monthly Distribution of Wildfire Occurrence Frequency and Burned Area in the Study Area, 2021–2023

4.2 산불 발생원인별 구성비 분석

발생원인별 산불 구성비를 분석한 결과, 연구대상 지역은 지역 유형에 따라 서로 다른 발화 특성을 보였다[9, 10]. 내륙형 지역인 안동시와 예천군에서는 농산폐기물 소각과 논·밭두렁 소각 등 소각 관련 원인의 비중이 상대적으로 높게 나타났다. 반면 해안·산악형 지역인 울진군과 영덕군에서는 입산자 실화와 부주의 관련 원인의 비중이 높게 나타났다. 이러한 결과는 안동시와 예천군에서는 농번기 소각행위 관리와 주민 홍보가 중요하며, 울진군과 영덕군에서는 등산로, 해안 관광지, 산림 인접 도로 주변의 예방 관리가 필요함을 시사한다. 발생원인별 산불 구성비 분석 결과는 Fig. 3과 같다.



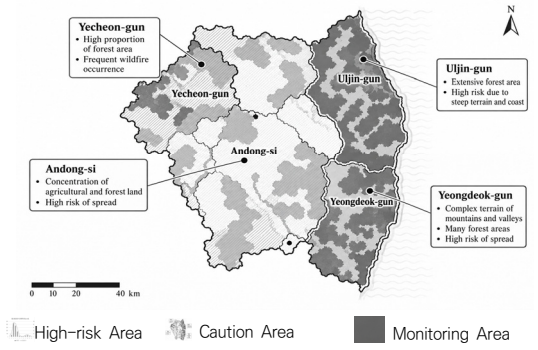
[Fig. 3] Composition of Wildfire Causes by Regional Type in the Study Area, 2021–2023

4.3 행정구역 단위 산불취약지역 등급 분포

위험지역은 CRI≥70, 주의지역은 40≤CRI〈70, 관심지역은 CRI〈40으로 분류하였다. 위험지역은 산불 발생이력, 발화원인 위험도, 접근성 취약성, 대응 인프라 부족이 복합적으로 나타나는 지역으로 분석되었다. 주의지

www.kci.go.kr

역은 특정 발화원인이 반복되거나 일부 접근성 및 대응 인프라 지표가 취약한 지역으로 나타났다. 관심지역은 잠재 위험요인은 존재하나 상대적으로 산불 발생 이력이 낮거나 대응 인프라 여건이 양호한 지역으로 분석되었다. 행정구역 단위 산불취약지역 등급 분포도는 Fig. 4와 같다.



[Fig. 4] Wildfire Vulnerability Grade Map by Administrative Unit

4.4 복합위험지수 검증

본 연구에서 산정한 복합위험지수의 타당성을 검토하기 위해 산불취약지역 등급과 과거 산불 발생 이력 간의 관계를 확인하였다. 등급별 행정구역의 산불 발생건수와 피해면적을 비교하여, 위험등급이 높은 지역에서 실제 산불 발생 빈도와 피해 규모가 상대적으로 높게 나타나는지를 검토하였다. 또한 복합위험지수에는 산불 발생건수와 피해면적 지표(가중치 합계 25%)가 이미 포함되어 있으므로, 동일 기간의 같은 자료로 등급별 발생건수와 피해면적을 비교하는 것은 구성요소를 다시 검증에 사용하는 순환성 한계가 있다.

4.5 등급별 현황 및 관리방안

산불취약지역 등급화 결과를 바탕으로 위험지역, 주의지역, 관심지역의 주요 특성과 관리방안을 정리하였다. 위험지역은 산불 발생 가능성과 피해 확산 우려가 모두 높고 소방 접근성이 취약한 지역으로, 감시체계 강화와 소방 인프라 보강이 우선적으로 요구된다. 주의지역은 특정 발화원인이 반복적으로 나타나는 지역으로, 계절별 순찰과 소각행위 관리가 필요하다. 관심지역은 상대적으로 관리 가능성이 높지만 산불 발생 이력 또는 잠재 위험요인이 존재하므로 정기적인 모니터링이 요구된다. 등급별 공간적 특성과 관리방안은 Table 4에 정리하였다.

〈Table 4〉 Spatial Characteristics and Management Strategies by Wildfire Vulnerable Area Grade

Grade	Key Characteristics	Spatial Characteristics
High-risk Area	High wildfire frequency and damage, with limited initial response capacity.	Forest–farmland–residential boundaries, coastal tourist forests, mountainous areas, road-adjacent zones, and poor hydrant access.
Caution Area	Repeated causes include agricultural burning, visitor fires, and negligence.	Farm–road and forest–road areas, tourist hiking trails, and residential forest zones.
Monitoring Area	Past wildfire records or latent risks exist, with adequate response infrastructure.	Areas with minor wildfire history or forest–living sphere interfaces.

5. 결론

5.1 연구결과

본 연구는 경상북도 북부 권역의 안동시, 예천군, 울진군, 영덕군을 대상으로 산불 발생자료와 공공데이터를 결합하여 행정구역 단위의 산불취약지역을 분석하였다. 분석 결과, 연구대상 지역의 산불 위험은 발생원인, 지형특성, 임도·도로 접근성, 기상조건, 소방용수시설 및 소방서 접근성 등이 복합적으로 작용하는 것으로 나타났다. 특히 안동시와 예천군은 농경지와 생활권이 산림과 인접한 지역적 특성으로 인해 소각 중심의 산불 위험이 두드러졌으며, 울진군과 영덕군은 해안 강풍과 산악지형의 영향으로 산불 확산 위험이 상대적으로 높게 나타났다.

본 연구는 산불 발생 가능성과 대응 가능성을 동시에 고려하여 산불취약지역을 등급화했다는 점에서 의의가 있다. 특히 임도망도와 소방용수시설 데이터를 활용함으로써 산불 발생 위험뿐만 아니라 진화 접근성과 초기 대응 가능성까지 평가할 수 있었다. 이러한 결과는 산불 예방순찰, 소방용수시설 보강, 감시카메라 및 IoT 센서 설치, 진화 접근로 정비 등 실무적 방재정책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

5.2 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구는 산불 발생자료와 공공데이터를 결합하여 행정구역 단위의 산불취약지역을 도출하였다는 점에서 의의가 있으나, 몇 가지 한계가 존재한다.

첫째, 본 연구는 2021년부터 2023년까지의 3개년 산불 자료를 활용하였으나, 산불은 기후변화, 국지적 가뭄, 대형 산불 발생 여부 등에 따라 연도별 변동성이 큰 재난

이다[4, 6]. 따라서 본 연구 결과는 장기적 산불위험의 절대적 기준이 아니라, 제한된 분석 기간 내에서 도출된 상대적 취약도 평가 결과로 해석할 필요가 있다. 향후 연구에서는 장기 시계열 자료와 기후변화 시나리오를 결합하여 분석의 안정성과 대표성을 높일 필요가 있다.

둘째, 행정주체의 재난 대응과 정책 집행의 실무적 편의성을 고려하여 읍·면·동 또는 리 단위 행정구역을 분석 단위로 설정하였다. 그러나 실제 산불의 발화와 확산은 경사도, 사면향, 임상, 수종, 임령, 연료량 등 미시적 지형 및 산림환경 변수의 영향을 크게 받는다[4, 5, 6]. 따라서 행정구역 단위 집계 방식은 국지적 요인을 평균화하는 일반화의 한계를 가질 수 있다.[4, 5, 6]

셋째, 본 연구의 가중치는 선행연구와 변수의 상대적 중요도를 고려하여 설정한 값이다[3, 5, 8]. 향후 연구에서는 AHP, Entropy 가중치 산정법, Random Forest 기반 변수 중요도 분석 등을 적용하여 가중치 산정의 객관성과 재현성을 보완해야 한다.

넷째, 본 연구는 복합위험지수의 산정과 등급화 과정에서 연구자 설정 가중치와 70점, 40점 기준을 적용하였으나, 이에 대한 객관적 분류 방법과의 비교는 충분히 수행하지 못하였다. 향후 연구에서는 가중치 변화에 따른 등급 변동 여부를 검토하는 민감도 분석을 수행하고, 자연분류법, 분위수 분류법, 표준편차 기반 분류법 등 다양한 분류 기준과 비교함으로써 등급화 결과의 견고성을 검증할 필요가 있다.

REFERENCES

[1] D.Y.Kim, “A Spatial Analysis of Forest Fire Occurrence Using GIS,” Journal of the Korean Association of Regional Geographers, Vol.48, No.3, pp.325-336, 2014.

[2] H.Y.Ahn, B.D.Lee, C.K.Kwon and S.Y.Kim, “Selection of Forest Fire-Prone Areas Using Forest Fire Occurrence Location and Spatial Analysis,” Crisisonomy, Vol.13, No.4, pp.95-104, 2017.
DOI: 10.14251/crisisonomy.2017.13.4.95.

[3] G. Yoo, B. D. Lee, and S. Kim, "Developing Techniques of Mapping and Indicator Selection for Forest Fire Vulnerability," Crisisonomy, Vol. 11, No. 11, pp. 323-337, 2015.
DOI: 10.14251/krcem.2015.11.11.323.

[4] H.M.Chae, K.J.Um and S.Y.Lee, “The Vulnerability Assessment of Forest Fire in Gangwon Province Using CCGIS,” Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.11, No.4, pp.123-130, 2011.
DOI: 10.9798/KOSHAM.2011.11.4.123.

[5] M.N.Jang and Y.J.Lee, “Selection of Forest Fire Vulnerable Areas Based on Biophysical and Socioeconomic Factors in Gangwon Province,” Crisisonomy, Vol.16, No.3, pp.133-144, 2020.
DOI: 10.14251/crisisonomy.2020.16.3.133.

[6] H.P.Lee and Y.J.Park, “A Study on the Development of Forest Fire Risk Map Using Combustion Characteristics of Forest Fuels,” Journal of the Korean Society of Disaster Information, Vol.13, No.3, pp.296-304, 2017.
DOI: 10.15683/kosdi.2017.09.30.296.

[7] Y. Piao, D. Lee, S. Park, H. G. Kim, and Y. Jin, “Forest fire susceptibility assessment using Google Earth Engine in Gangwon-do, Republic of Korea,” Geomatics, Natural Hazards and Risk, Vol. 13, No. 1, pp. 432–450, 2022.
DOI: 10.1080/19475705.2022.2030808.

[8] Z.S.Pourtaghi, H.R.Pourghasemi and M.Rossi, “Forest Fire Susceptibility Mapping in the Minudasht Forests, Golestan Province, Iran,” Environmental Earth Sciences, Vol.73, No.4, pp.1515-1533, 2015.
DOI: 10.1007/s12665-014-3502-4.

[9] Korea Forest Big Data Exchange, Time-Series Forest Fire Occurrence Analysis Map_Nationwide[Internet], https://www.bigdata-forest.kr/product/FRT003801. (accessed 2026-09-29).

[10] Korea Forest Big Data Exchange, Forest Fire Occurrence Location Map_Province[Internet], https://www.bigdata-forest.kr/product/FRT000102 (accessed 2026-09-29).

[11] Korea Forest Big Data Exchange, Forest Road Network Map_Nationwide[Internet], https://www.bigdata-forest.kr/product/FRT002601(accessed 2026-09-29).

[12] Korea Meteorological Administration, Automated Synoptic Observing System (ASOS) Data[Internet], https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do (accessed 2026-09-29).

[13] Ministry of the Interior and Safety, Resident Registration Population Data by Administrative Dong[Internet], https://jumin.mois.go.kr/statMonth.do (accessed 2026-09-29).

[14] Public Data Portal, National Firefighting Water Facilities Standard Data[Internet], https://www.data.go.kr/data/15034538/standard.do (accessed 2026-09-29).

[15] Public Data Portal, Fire Station and 119 Safety Center Location Information[Internet], https://www.data.go.kr/data/15119293/fileData.do (accessed 2026-09-29).

[16] Korea Forest Service, Forest Fire Occurrence Statistics (National Public Data Portal), OpenAPI[Internet], https://www.data.go.kr/data/3070842/openapi.do (accessed 2026-09-29).

[17] The Korea Transport Institute, Transport Network GIS DB: Road Network (TM-GR-MR-LLV2-00), Korea Transport

www.kci.go.kr

Database[Internet],
https://ktdb.go.kr/www/selectPbldataChargerWebList.do?key=12&searchClStepCode=106
(accessed 2026-09-29).

정 인 혜(In-Hye Jung) [정회원]



■ 2003년 8월 : 국민대학교 전산과학과(공학석사)
■ 2025년 9월 ~ 현재 : 대진대학교 스마트모빌리티 조교수)

〈관심분야〉
빅데이터, AI

www.kci.go.kr