

# 인간 활동과 산불: 임도와 산림경영이 산불 발생에 미치는 영향

Human Activities and Wildfires: The Impact of Forest Roads and Forest Management on Wildfire Occurrence

윤여창(서울대학교, 서울과학종합대학원 명예교수, 자연과공생연구소 연구소장)  
이수진(자연과공생연구소 객원선임연구원)  
이세음(동국대학교 학부 재학생, 자연과공생연구소 인턴연구원)  
김효린(동국대학교 학부 재학생)

## 1. 연구배경

- 산림청에 따르면 2015~2024년 국내 산불 발생의 99%가 인위적 요인에 의한 것으로 나타났으며 대한민국 역사상 가장 규모가 크고 가장 큰 인명피해를 일으킨 2025년 3월 경상북도 의성군 산불 또한 성묘객의 실화로 발화되었다. 이에 따라 인위적 요인의 영향을 반영하는 예측 시스템의 필요성이 대두되고 있다.
- 본 연구는 산불 발생에 영향을 미치는 기상, 산림 연료에 인위적 변수를 추가하여 산불 발생과의 연관성을 알아보고, 산불 방지 방안을 모색하는 데 시사점을 제공하고자 한다.

## 2. 연구목적 및 가설

- 최근 초대형산불이 발생한 경상북도 지역을 대상으로 QGIS와 R을 활용하여, 산불 발생에 영향을 미치는 산림의 구조적 특성(침엽수 비율, 영급, 밀도)과 인위적 활동(산림경영, 임도), 기상 변수의 관계를 통계적으로 분석하고자 함
- 가설 1: 벌채, 재조림, 숲가꾸기, 간벌 등의 활동이 진행된 숲이 산불에 더 취약할 것이다.
- 가설 2: 임도 접근성은 인간의 입산 활동을 증가시켜 산불 발생 위험을 높일 것이다.

## 3. 연구방법

### 1) 연구 대상 및 데이터 구축

- 연구 대상: 경상북도 (2022-2025년 산불 274건 발생)
- 분석 단위: 1km x 1km 격자(Grid)

### 2) 래스터(Raster) 기반 공간 변수 구축

- QGIS의 '구역 통계(Zonal Statistics)' 기법을 활용하여 1km 격자별 주요 변수를 생성

#### 종속 변수 (Y):

- Y=1: 산불이 발생한 숲(n=274)
- Y=0: 산불이 발생하지 않은 숲(n=500)

#### 독립 변수 (X=X<sub>1</sub>, X<sub>1'</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub>):

- X<sub>1</sub> (산림경영밀도): '숲가꾸기'·'조림' 래스터의 격자 내 픽셀 비율
- X<sub>1'</sub> (임도접근성): 임도 래스터 기준 격자 내 픽셀 거리의 평균
- X<sub>2</sub> (침엽수비율): 임상도 상의 격자별 침엽수 비율 (0~1)
- X<sub>3</sub> (영급): 임상도 상의 격자별 숲의 평균 영급
- X<sub>4</sub> (임분밀도): 임상도 상의 격자별 평균 임분 밀도
- X<sub>5</sub> (상대습도):
  - Y=1: 산불 발생 전날(t-1)의 하루 평균 상대습도
  - Y=0: 샘플링 격자에서 랜덤한 하루의 기상값을 적용

### 3) 통계 분석 모델

다음과 같은 로지스틱 회귀 함수를 이론적 모델로 설정함.

#### Model 1. 산림경영밀도

$$z = b_0 + (b_1 \times \text{mgmt\_density}) + (b_2 \times \text{conif\_ratio}) + (b_3 \times \text{avg\_ag\_size}) + (b_4 \times \text{avg\_density}) + (b_5 \times \text{avg\_hum})$$

$$P(\text{fire}) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

#### Model 2. 임도접근성

$$z = b_0 + (b_1 \times \text{road\_access\_norm}) + (b_2 \times \text{conif\_ratio}) + (b_3 \times \text{avg\_ag\_size}) + (b_4 \times \text{avg\_density}) + (b_5 \times \text{avg\_hum})$$

$$P(\text{fire}) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

## 4. 연구결과

### 1) 통계 모델 분석 결과(표1, 2)

- 산림경영밀도(모델 1)와 임도접근성(모델 2) 기준 로지스틱 회귀 모델 분석 결과

[표1] 산림경영밀도 모델 분석 결과

변수 (Variable)	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	Sig.
(Intercept)	4	0.451	8.859	< 2e-16	***
mgmt_density	1.838	0.585	3.14	0.00169	**
conif_ratio	2.218	0.215	10.304	< 2e-16	***
avg_ag_size_scaled	-8.568	0.597	-14.334	< 2e-16	***
avg_density_scaled	6.06	0.621	9.757	< 2e-16	***
avg_hum	-0.008	0.003	-3.027	0.00247	**

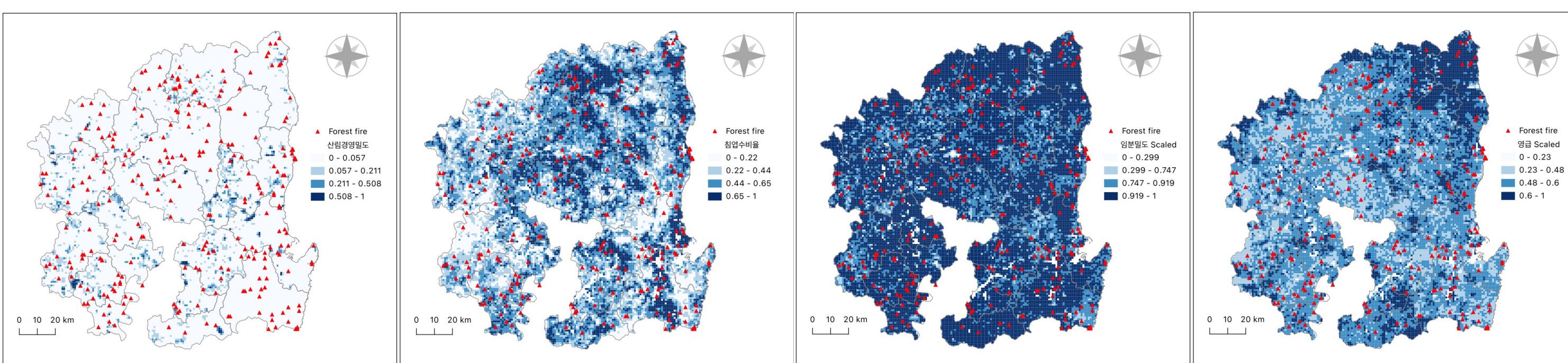
(Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

[표2] 임도접근성 모델 분석 결과

변수 (Variable)	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	Sig.
(Intercept)	4.156	0.458	9.069	< 2e-16	***
road_access_norm	-0.314	0.358	-0.877	0.38075	
conif_ratio	2.097	0.213	9.829	< 2e-16	***
avg_ag_size_scaled	-8.744	0.606	-14.428	< 2e-16	***
avg_density_scaled	6.201	0.631	9.822	< 2e-16	***
avg_hum	-0.008	0.003	-3.134	0.00173	**

(Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)

### 2) 산불발생지 및 주요 설명 변수 분포



[그림1~4] 산불발생지 및 변수 단계구분도(산림경영밀도, 침엽수비율, 임분밀도, 영급 순)

### 3) 모델1(산림경영 밀도) 분석 결과 해석

- 산림경영활동을 설명하는 지표로 **숲가꾸기와 조림사업이 진행된 임지에서 산불발생 확률이 높은** 것은 벌채, 조림, 숲가꾸기 사업으로 인해 **활엽수 하층식생이 제거되어 숲의 습기가 낮아진 것**이라고 해석할 수 있음
- 기타 요인: **침엽수 비율(\*\*\*)과 임분 밀도(\*\*\*)는 산불 위험을 높이는 강력한 요인이었으며, 평균 영급(\*\*)(오래된 숲)과 평균 습도(\*\*)는 위험을 낮추는 억제 요인으로 분석됨**

### 4) 모델2(임도 접근성) 분석 결과 해석

- 임도 접근성은 산불 발생과 통계적으로 유의미한 관계가 없는 것으로 나타남(p=0.38)

## 5. 고찰 및 시사점

침엽수림과 임분 밀도가 높고 영급이 낮은 지역은 산불 발생에 매우 취약한 것으로 나타남. 따라서 민가, 산업시설, 문화재 등 주요 시설 인근의 산림은 활엽수림으로의 천이할 수 있는 숲가꾸기와 벌기령을 길게 하는 산림경영을 유도해야 할 것으로 사료됨

산림경영 활동으로 인해 산불 발생 위험이 증가하지 않도록 활엽수로의 천이를 유도하고 임령이 증대될 수 있도록 하는 산림경영 활동을 지원하는 산림정책으로의 전환이 요구됨

상대습도가 낮을수록 산불 위험이 유의미하게 증가했으므로(p<0.01), 숲의 습도를 유지하는 산림 관리 정책이 요구됨

임도 접근성과 산불 발생 간의 통계적 관계성은 이번 연구에서 확인되지 않아 후속 연구가 필요함