

□ 추진배경 및 필요성

- 기후변화와 인적 요인으로 산불 위험이 증가하고 있으며, 국내에서는 연평균 529건의 산불이 발생하여 14,471ha의 산림이 소실되고 있다(산림청, 2024).
- 2025년 영남권 대형 산불은 183명의 사상자와 약 1.8조원의 재산피해를 발생시켜 산불의 대형화에 대비한 선제적 대응체계 구축이 시급함을 확인하였다(국회입법조사처, 2025).
- 기존 산불위험지수는 시·군 단위 위험등급을 제공하므로 동일 등급 안에서 실제로 지켜야 할 주민·주택·시설의 분포와 출동 우선순위를 구분하는 데 한계가 있다.
- 국립산림과학원은 인공지능·빅데이터 기반 산불예측 기술의 정확도를 76%에서 2027년 88% 수준으로 개선하고 있으며, 인구밀집도 등 인적 요인의 반영을 확대하고 있다. 본 과제는 이러한 정책·기술 흐름에 부응하여 SGIS 공간통계를 예측·노출·시각화 단계에 적용하였다.
- 산불 발화 위험도에 SGIS 인구·가구·주택 및 인구특성을 결합하여 “어디에 불이 날 것인가”를 넘어 “어디를 먼저 지킬 것인가”를 제시하고, 관계기관의 진화자원 배분과 현장 의사결정을 지원하는 것을 목적으로 한다.

□ 추진과정

- 2021~2025년 산불시즌 737일을 대상으로 산불 이력과 SGIS 공간통계를 정비하고, 위험도 산출부터 서비스 제공까지의 전 과정을 단계별로 수행하였다.
- ① 라벨 정비: 산불 이력을 발생 위치·시각·격자 단위로 정규화하고, SGIS 지오코딩 API를 활용하여 좌표 결측 417건을 리→읍면동→시군구 순으로 복구하였다.
- ② 격자 정합: 분석 격자와 SGIS 500m 격자통계의 기준점을 격자경계 API로 확인하고, 한 분석 셀에 포함되는 SGIS 셀을 면적가중으로 배분하였다.
- ③ 모델 학습: LightGBM으로 공간 취약도를 산출한 후 GRU 시계열 모델을 결합하여 전국 403,385개 격자의 t+1·t+2·t+3시간 발화 위험을 매일 산출하였다.
- ④ 노출 결합: SGIS 인구·가구·주택 격자통계와 행정동 3,559개의 인구특성을 결합하고, 종사자·연령대 자료로 주간인구를 보정하여 위험도×노출 기반 대응 우선지역을 산출하였다.
- ⑤ 서비스화: SGIS 행정동 경계와 지역 공간질의를 웹 지도·시간 슬라이더·분석 에이전트에 적용하여 지역별 위험도, 우선순위, 노출 규모와 산출 근거를 확인할 수 있도록 구현하였다.

■ 활용분야 및 주요내용

- 자료제공: 500m 격자통계(인구·가구·주택) 활용
- 개발지원센터(OpenAPI): 지오코딩, 격자경계, 행정동 경계·인구특성 및 지역 공간질의 활용
- 통계주제도·자연재해 통계지도: 노후주택·보건시설 접근성 등 지역 특성 확인 및 산불 위험 시각화

□ 추진내용

- SGIS를 제외하면 본 시스템은 “위험한 곳”까지만 제시할 수 있다. SGIS는 격자 정합, 좌표 복구, 노출 산정, 지역 경계·질의 및 통계 시각화에 직접 활용되어 대응 우선순위를 결정하는 핵심 자료로 기능하였다.
- ① 500m 격자 정합 및 면적가중 배분: 분석 격자와 SGIS 격자가 어긋나는 문제를 면적가중으로 보정하여 총인구 51,637,925명, 원본 대비 99.47%를 재현하였다. 격자경계 API로 강릉·문경·강남의 꼭짓점을 실측하여 500m 배수 정렬을 확인하였다.
- ② 지오크딩 복구: 좌표가 누락된 417건을 SGIS 지오크딩 API로 복구하여 2022년 울진 산불(16,302ha) 등 대형 사건을 분석대상에 포함하였다. 복구 전 0.69였던 2022년 연도별 AUROC는 0.79로 회복되었다.
- ③ 주간 노출 보정: 산불은 오후에 집중되나 상주인구는 야간 거주 기준이므로 예측 시점과 노출 시점이 불일치한다. 이에 주간지수를 (종사자+65세 이상+15세 미만)÷상주인구로 산정하여 낮에 실제로 체류할 가능성이 높은 지역을 우선순위에 반영하였다.

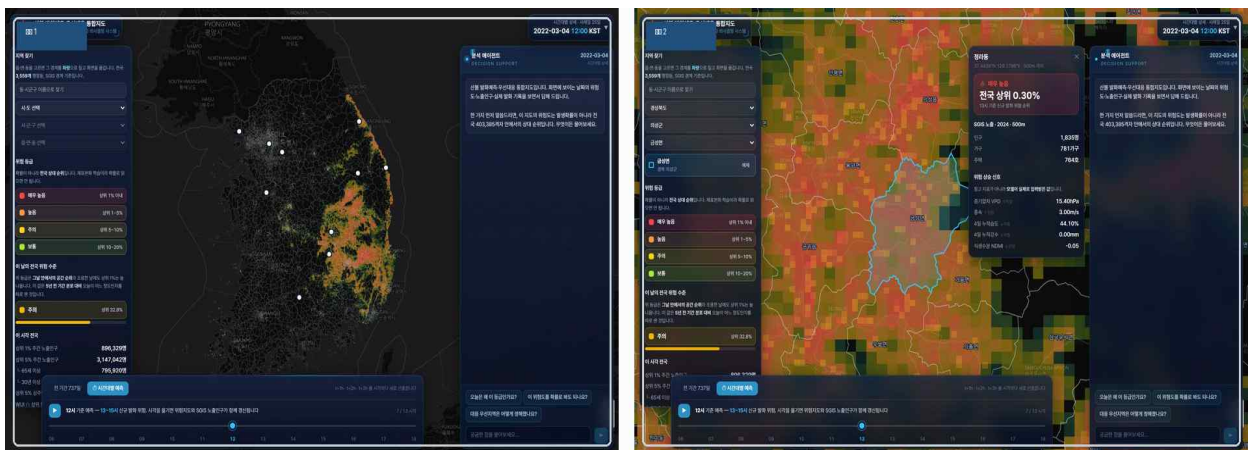


그림 1 SGIS 위험지도와 행정동 경계를 활용한 지역별 대응 우선순위 확인

- ④ 인구특성의 표시 활용: 행정동별 연령대 인구와 통계주제도 자료를 확보하되, 고령비율·노후주택비율은 발화위험 산식에 직접 넣지 않고 “같은 위험도일 때 무엇을 잃는가”를 설명하는 표시자료로 활용하였다. 농작업 등 사업체 등록으로 포착되지 않는 활동은 과소추정될 수 있음을 화면과 분석 결과에 함께 표시하였다.
- ⑤ 행정경계·공간질의: SGIS 행정동 경계를 지도에 중첩하고 동 이름 집합을 상위 행정계층과 정합하여 252개 시·군·구를 252개 모두 일치시켰다. LLM을 연동한 분석 에이전트가 “의성군 상황은?”과 같은 지역 질의에 해당 격자의 위험·노출 정보를 응답하도록 구성하였다.

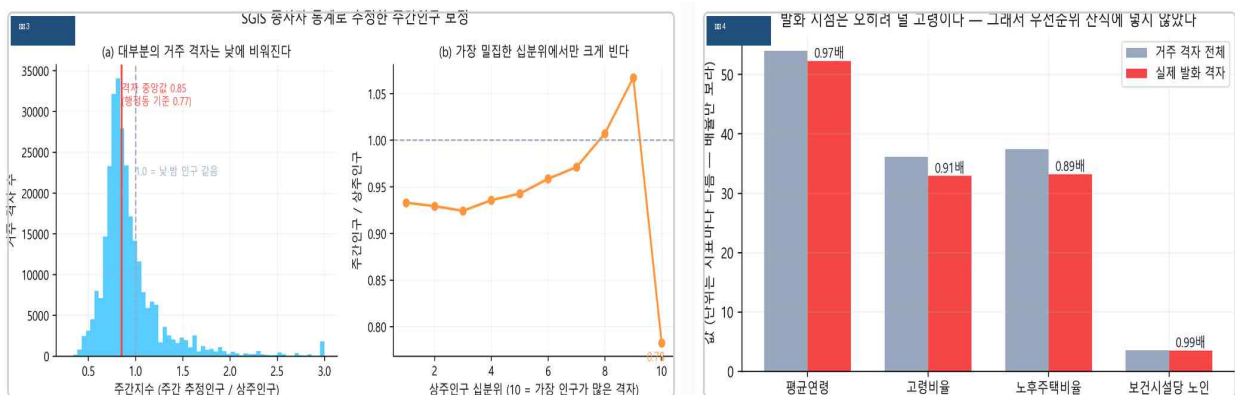


그림 2 SGIS 통계자료를 활용한 주간노출 보정 및 인구특성 표시항목 검토

□ 추진성과

- 실제 발화 1,308건 전수평가를 통해 모델의 탐지성능과 의사결정 효과를 확인하였다.
- 전국 상위 1% 격자에서 실제 발화 6.0%를 포착하여 무작위 선정 대비 6.0배의 성능을 확보하였다. 상위 5%는 16.8%(3.4배), 상위 10%는 26.0%(2.6배)를 포착하였으며, 100ha 이상 대형 산불의 상위 1% 포착률 중앙값은 10.5%로 확인되었다.

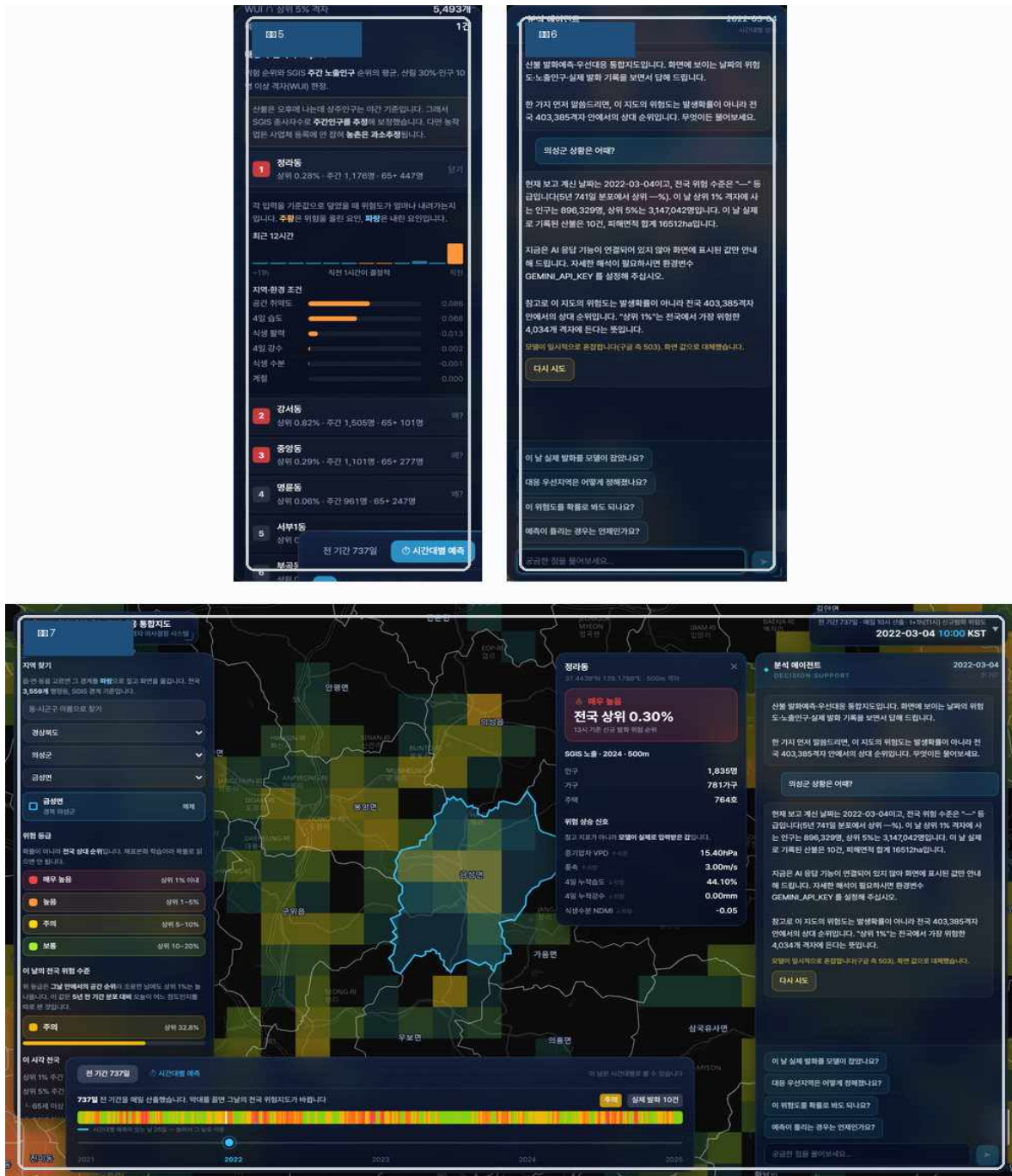


그림 3. 대응 우선지역 질의·전기간 산출결과를 연계한 서비스 화면

- 주간인구 보정 결과 사례일 25일의 대응 우선지역 Top10 중 56%가 교체되었고, 선정 격자의 주간인구는 상주인구의 1.39배였다. 야간 상주인구 중심의 판단을 낮 시간대 진화자원 배분에 맞는 노출 기준으로 전환하였다.

- 기존 시·군 단위·일 단위 위험등급을 500m 격자 403,385개와 t+1·t+2·t+3시간 예측으로 세분화하고, 위험등급뿐 아니라 우선지역 순위·노출 규모·판단 근거를 함께 제공하였다.
- 검증셋 AUROC가 0.837에서 0.884로 상승한 신규 방법론도 실제 발화 상위 1% 포착률이 5.3%에서 2.9%로 하락하여 운영지표 기준으로 기각하였다. 지표 간 차이를 문서화하여 현장 의사결정에 직접 쓰이는 꼬리구간 성능을 우선하는 검증 절차를 마련하였다.

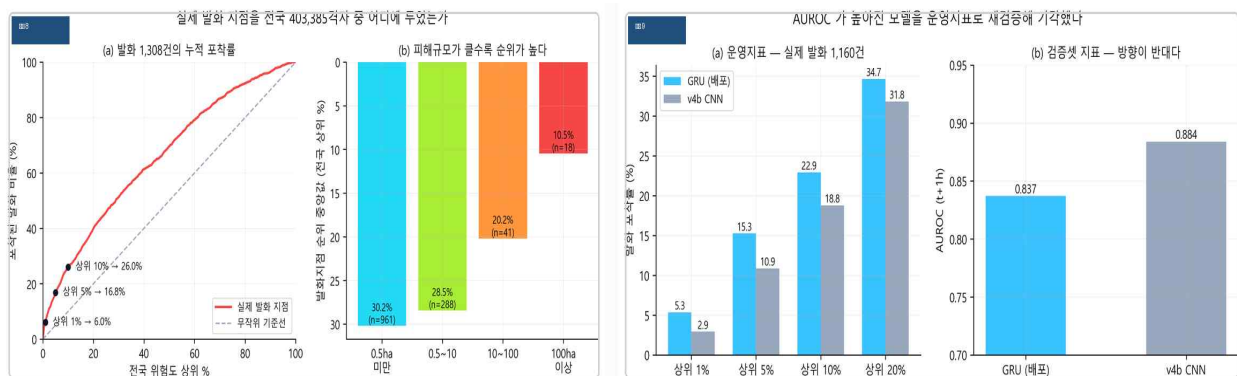


그림 4. 실제 발화 전수평가와 운영지표 중심의 모델 검증 결과

- 공간 정합·노출 계산·지역 질의 모듈은 위험도 레이어만 교체하면 호우·폭염·산사태 등 다른 재난에도 적용할 수 있다. SGIS 종사자 통계 기반 주간인구 보정과 공개 코드·서비스를 통해 지자체가 관할지역 단위로 재현·확산할 수 있는 기반을 구축하였다.

제출 작품 주소: <https://wildfire-predict-framework.vercel.app>