

A Methodology for Forest Fire Hazard Analysis for External Event PSA

2023.5.18

발표자 : 경희대학교 임준석

email : 2016101043@khu.ac.kr

저자 : 임준석, 허균영

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIP: Ministry of Science, ICT and Future Planning) (No. NRF-2021M2D2A1A02044210)

00 CONTENTS

- Purpose
- Forest Fire Simulator
- Methodology of Quantification
- Conclusions

01 PURPOSE

- 2022년 울진삼척 산불
 - 피해 면적 : 20,923 ha (역대 2번째 면적)
 - 진화 소요 시간 : 213시간 43분 (역대 최장 시간)
- 사건 전개과정 (2022.03.04)
 - 11:17 : 울진지역 산불발생
 - 13:52~14:16 : 한울원전 소외 송수전선로 단전 (6 out of 8)
 - 14:17 : 4.16 kV 안전모선(A계열) 저전압 경보 발생
 - 14:18 : 4.16 kV 안전모선(B계열) 저전압 경보 발생
 - 14:21 : 4.16 kV 안전모선(B계열) 저전압 신호 발생
 - 14:21 : 비상디젤발전기(A계열) 출력차단기 투입하여 4.16 kV 안전모선(A계열) 전원공급
 - 19:20 : (소외전원 복구 이후) 비상디젤발전기(A계열) 출력차단기 개방 및 수동정지



김토일 기자 20220304

<https://www.yna.co.kr/view/AKR20220304153351053>

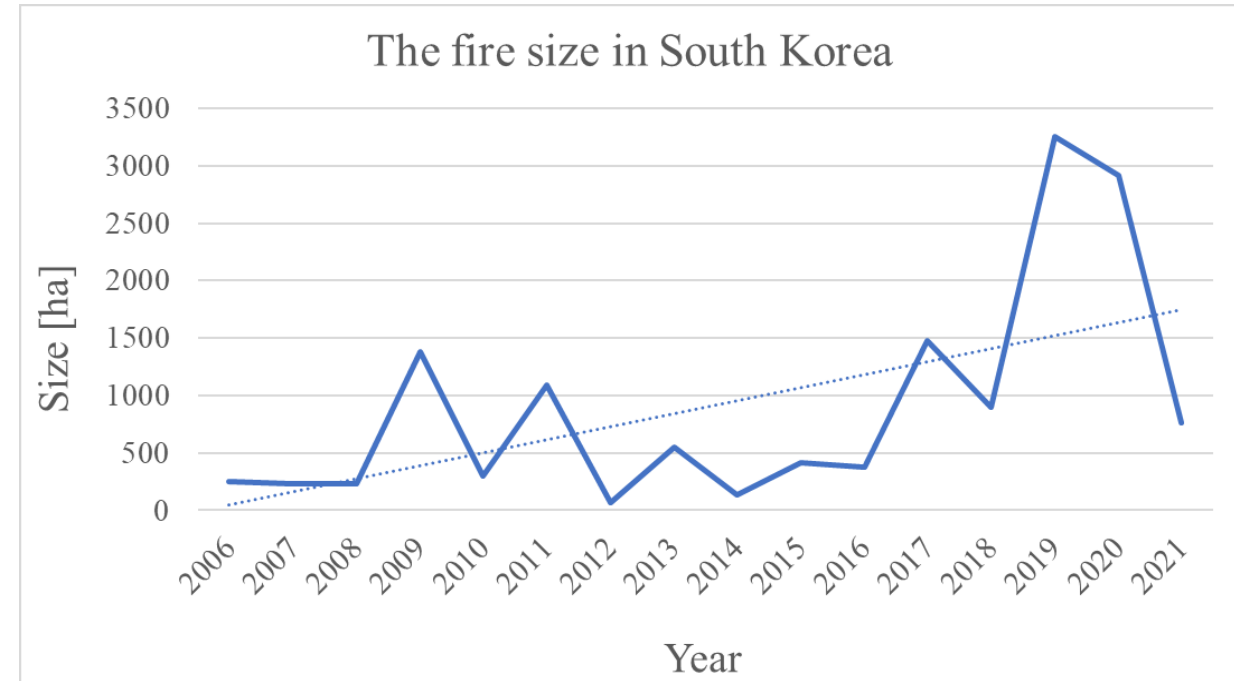
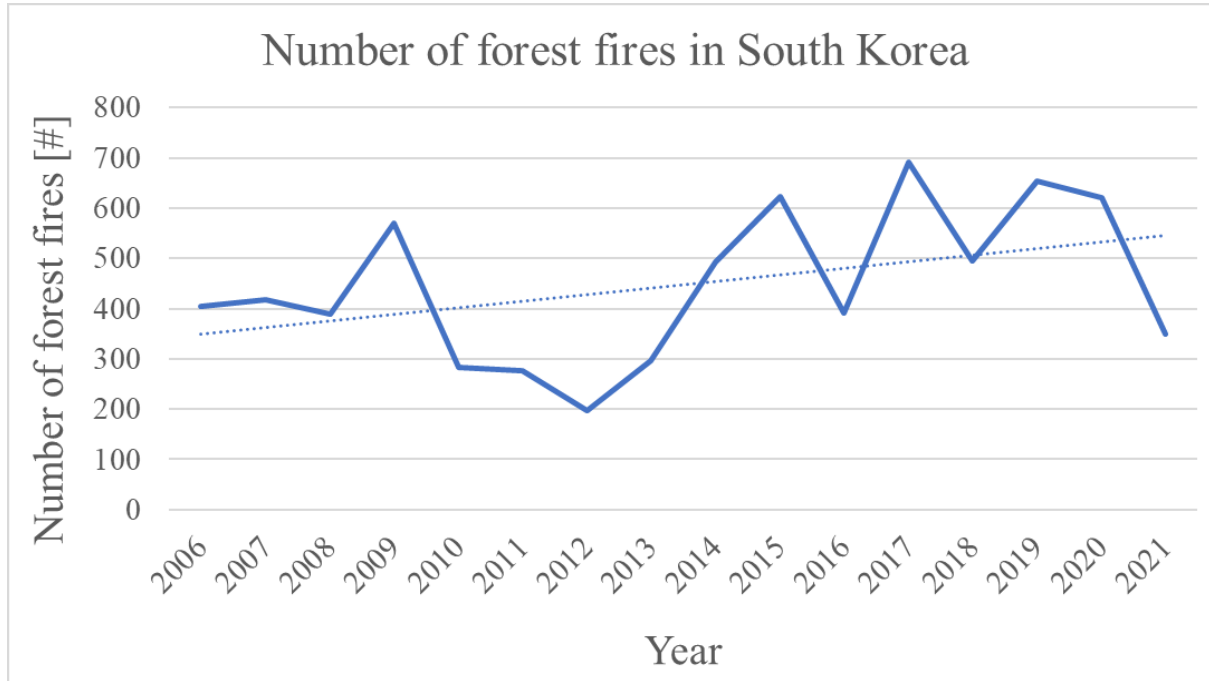
한울6호기 안전모선(A계열) 저전압에 의한 비상디젤발전기 자동기동 등급평가 결과(안), 원전사고등급평가위원회, 2022.06.07

01 PURPOSE

- 역대 산불에 의한 고장 이력

| 순번 | 시설 | 발생일자 | 원전상태 | 사건제목 | 원자로출력 | 발전기출력 | 계통 | 원인 | 정지유형 | 등급 |
|----|-------|------------------|------|--|-------|---------|----|-------|------|----|
| 1 | 한울6호기 | 2022-03-04 14:21 | 가동 | 한울6호기 안전모선(A) 저전압에 의한 비상 디젤발전기 자동기동 | 0% | 0 Mwe | 1차 | 외부 영향 | 없음 | 0 |
| 2 | 한울2호기 | 2000-04-11 11:28 | 가동 | 울진 2호기 산불로 인한 송전선로 차단 및 터빈속도 지속감속에 의한 터빈 정지 및 원자로 정지 | 86% | 875 Mwe | 2차 | 외부 영향 | 자동 | 0 |
| 3 | 한울1호기 | 2000-04-07 12:40 | 가동 | 울진 1호기 산불로 인한 송전선로 차단 및 노외계측기 중성자속 고증가율에 의한 원자로 정지 | 100% | 980 Mwe | 2차 | 외부 영향 | 자동 | 0 |

01 PURPOSE



- 한국의 산불의 발생 건수와 산불의 크기가 점점 증가하는 추세
- 한국뿐만 아니라 세계적으로 산불의 발생 건수와 크기는 증가하는 것으로 예상

산불통계연보, 산림청, 2015~2021

Fairman, T. A., Nitschke, C. R., & Bennett, L. T. (2015). Too much, too soon? A review of the effects of increasing wildfire frequency on tree mortality and regeneration in temperate eucalypt forests. *International Journal of Wildland Fire*, 25(8), 831-848.

01 PURPOSE

- 단순한 산불 빈도가 아닌 산불의 강도에 따른 빈도, 즉 산불 재해도 곡선을 도출
- 산불의 발생빈도와 전력계통 영향 사건 빈도의 상관관계를 파악
 - 전력계통 영향 사건 빈도 : 0.055 #/RY
 - 한울 원전 주변 산불 발생빈도 : 9/7 #/year
- 산불의 직접적인 영향범위는 최대 2 km로 알려져 있기 때문에 원전 주변 2 km까지 산불이 진행되는지 파악

02 FOREST FIRE SIMULATOR

- 외부사건 PSA 중 취약도 분석에서는 물리적인 해석이 필요하기 때문에 취약도 분석 전 단계인 재해도 분석에서 **물리량**에 따른 빈도를 구해야 함.

- 예시
 - ✓ 지진 : **지반가속도**에 따른 빈도
 - ✓ 쓰나미 : **파고**에 따른 빈도

- 산림청에서 산불 통계 자료를 제공하고 있지만 제공된 자료를 통해서 물리적인 해석을 할 수 없음

| 발생일시 | | | | | 진화일시 | | | 소요 시간 | 발생장소 | | | | 발생원인 | 면적 (ha) | 피해액 (천원) | 헬기 (대) | 인원 (명) |
|------|---|---|-------|----|------|---|-------|-------|------|----|-----|----|-------------|---------|----------|--------|--------|
| 년 | 월 | 일 | 시간 | 요일 | 월 | 일 | 시간 | | 관서 | 시도 | 시군구 | 읍면 | | | | | |
| 2021 | 1 | 1 | 12:34 | 공 | 1 | 1 | 16:30 | 3:56 | 경기 | 경기 | 남양주 | 수동 | 입산자실화 | 0.30 | 9,083 | 2 | 45 |
| 2021 | 1 | 1 | 17:54 | 공 | 1 | 1 | 19:10 | 1:16 | 경기 | 경기 | 광주 | 남종 | 참고화재 | 0.07 | 2,114 | - | 78 |
| 2021 | 1 | 2 | 12:45 | 토 | 1 | 2 | 13:34 | 0:49 | 경기 | 경기 | 파주 | 군내 | 화목보일러재처리부주의 | 0.03 | 892 | - | 29 |
| 2021 | 1 | 2 | 12:59 | 토 | 1 | 2 | 13:30 | 0:31 | 경기 | 경기 | 고양 | 덕양 | 입산자실화 | 0.01 | 465 | - | 16 |
| 2021 | 1 | 3 | 9:14 | 일 | 1 | 3 | 14:00 | 4:46 | 남부 | 경북 | 안동 | 남후 | 굴삭기과열추정 | 0.20 | 1,165 | 1 | 88 |
| 2021 | 1 | 3 | 11:38 | 일 | 1 | 3 | 18:00 | 6:22 | 북부 | 경기 | 포천 | 신북 | 산업현장실화추정 | 0.03 | 1,866 | 1 | 69 |
| 2021 | 1 | 3 | 13:55 | 일 | 1 | 4 | 20:00 | 30:05 | 경남 | 경남 | 산청 | 신안 | 입산자실화추정 | 0.05 | 6,909 | 3 | 95 |
| 2021 | 1 | 3 | 19:42 | 일 | 1 | 4 | 15:00 | 19:18 | 경남 | 경남 | 함양 | 휴천 | 담뱃불실화 | 3.00 | 143,948 | 3 | 253 |
| 2021 | 1 | 5 | 11:55 | 화 | 1 | 5 | 15:45 | 3:50 | 경북 | 경북 | 안동 | 북후 | 화목보일러재처리부주의 | 0.40 | 44,058 | 6 | 160 |

02 FOREST FIRE SIMULATOR

Reaction Intensity

- The energy release rate of the fire front. It is produced by burning gases released from the organic matter in the fuels. Therefore, the rate of change of this organic matter from a solid to a gas is a good approximation of the subsequent heat release rate of the fire. The heat release rate per unit area of the front is called the reaction intensity.

- $I_R = -\frac{dw}{dt}h$
 - ✓ $\frac{dw}{dt}$ is mass loss rate per unit area in the fire front (kg/m^2s)
 - ✓ h is heat content of fuel (kJ/kg)

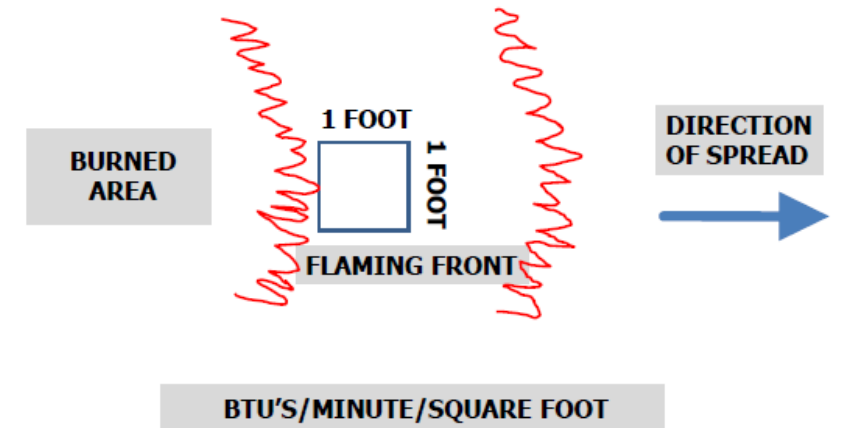


Figure 2. Combustion rate, Reaction or Rothermel's Intensity is a measure of the rate of heat release per square foot of the flame front.

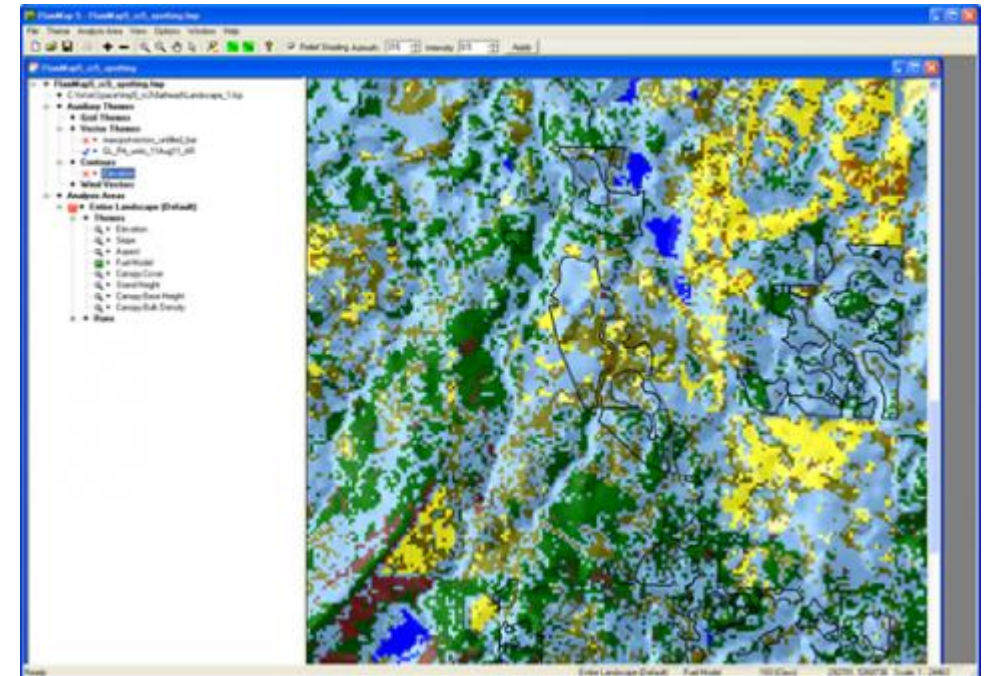
02 FOREST FIRE SIMULATOR

■ FARSITE

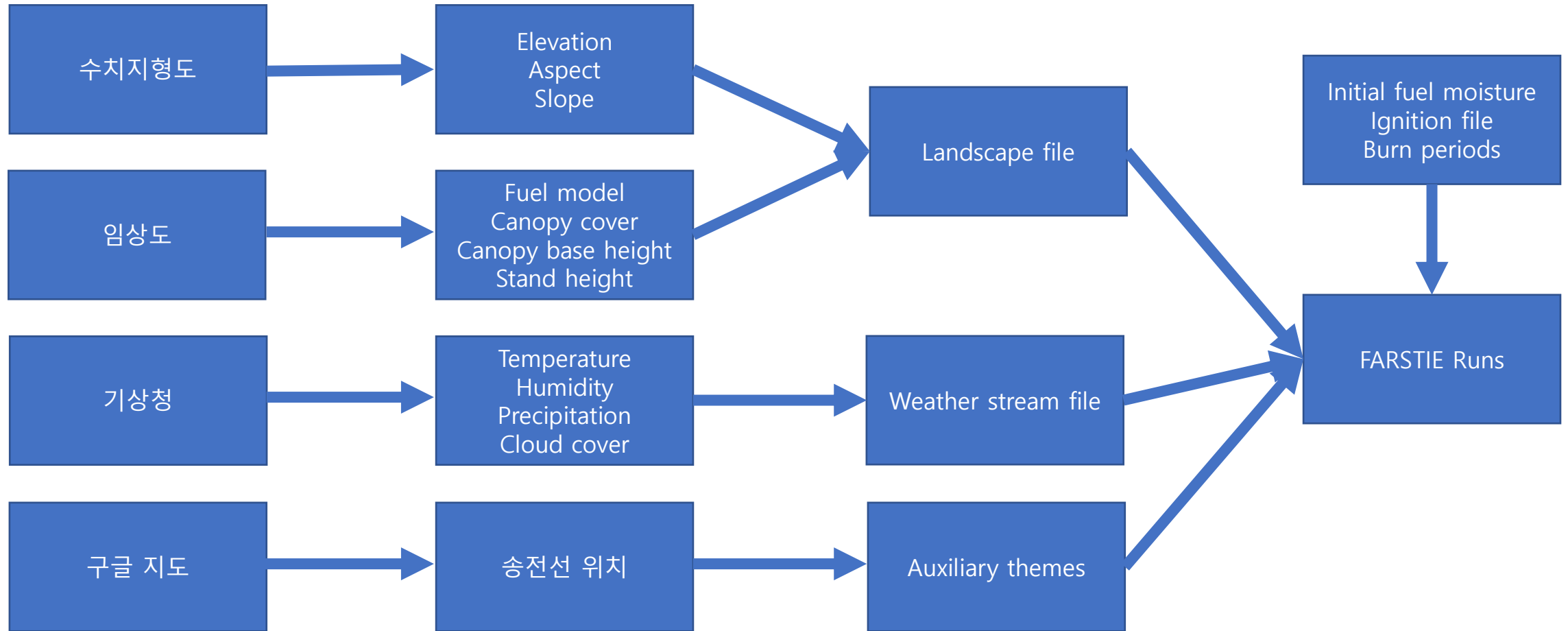
- 20개 이상의 산불 시뮬레이터 중 가장 정확하다고 평가받는 시뮬레이터
- 국내 산림청의 산불확산예측시스템의 기반이 됨

■ FlamMap

- FARSITE를 만든 미국소방청(USDA)의 Missoula fire science lab에서 FARSITE를 포함하고 UI를 개선한 시뮬레이터
- FlamMap의 모드 중 FARSITE Runs를 선택



02 FOREST FIRE SIMULATOR

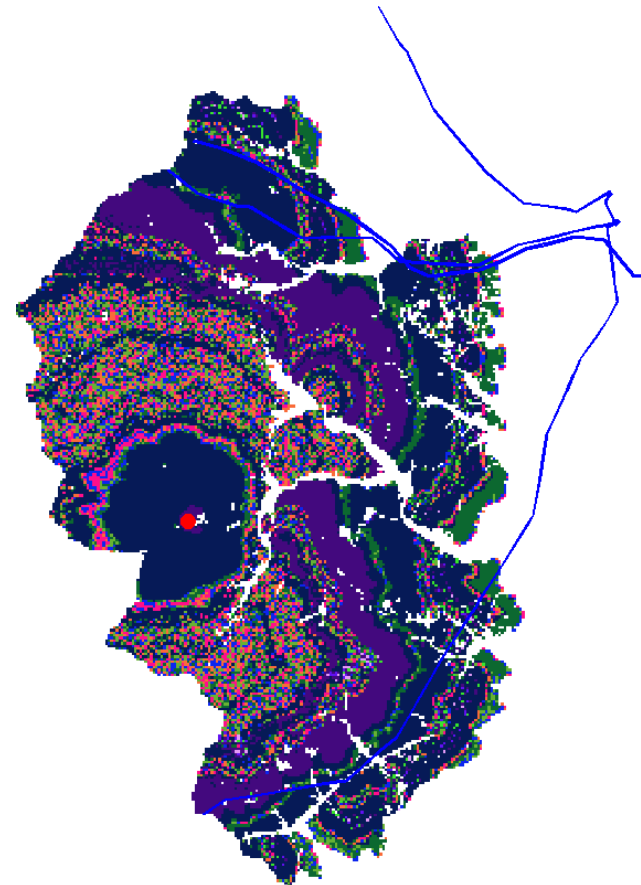


02 FOREST FIRE SIMULATOR

- 수치지형도, 임상도, 구글 지도를 적용한 시뮬레이션 BASE



- 날씨(기상), 발화지점을 선택하여 도출한 Reaction intensity



■ Hazard analysis

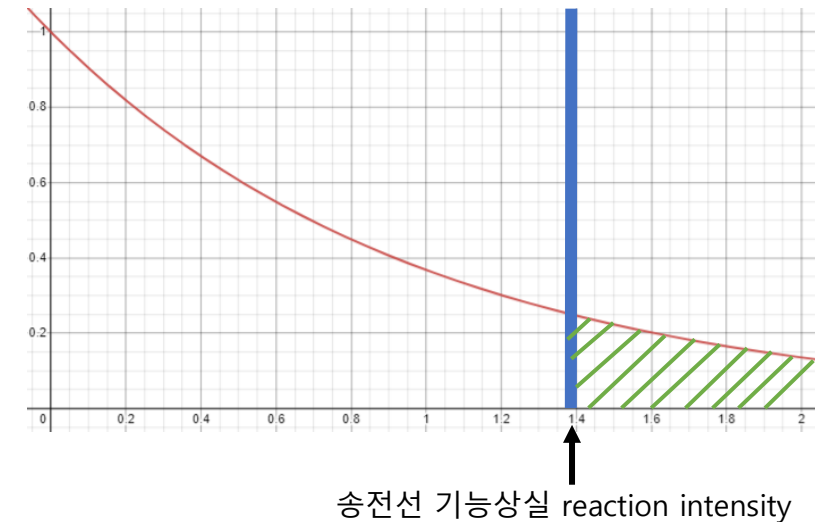
- 날짜, 발화 지점을 랜덤 조합하여 가로축이 reaction intensity, 세로축이 frequency(probability)인 hazard curve 도출

■ Fragility analysis

- 취약도는 분포의 형태로 제시되지만 본 연구에서는 점추정 값으로 도출
- 송전선이 기능을 상실하는 온도가 되게 하는 산불의 reaction intensity 를 계산

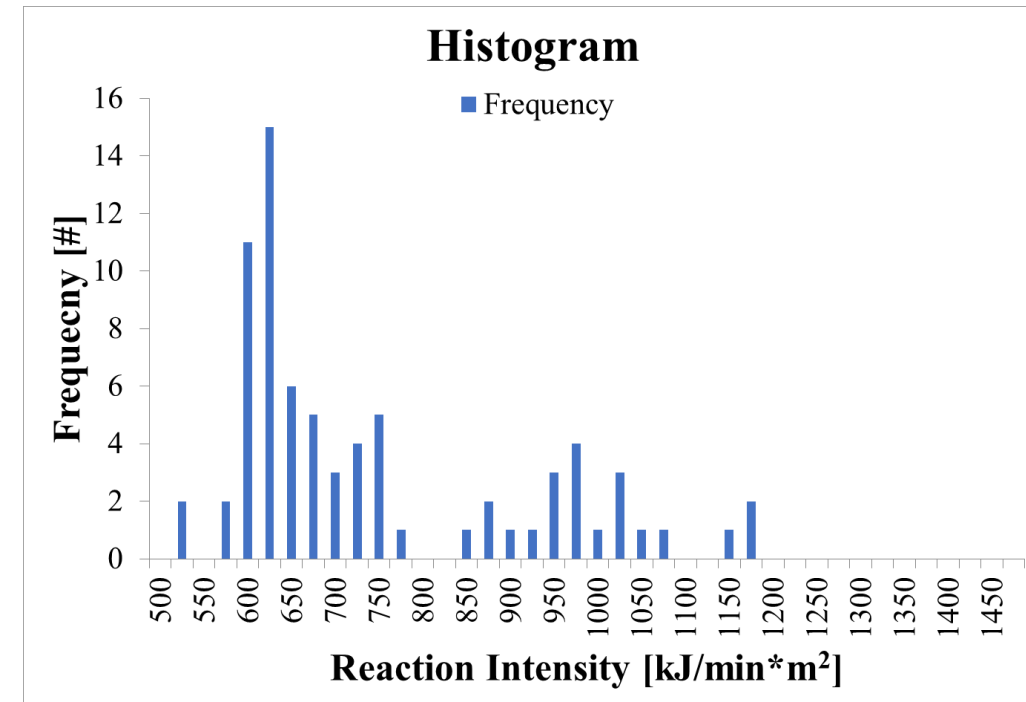
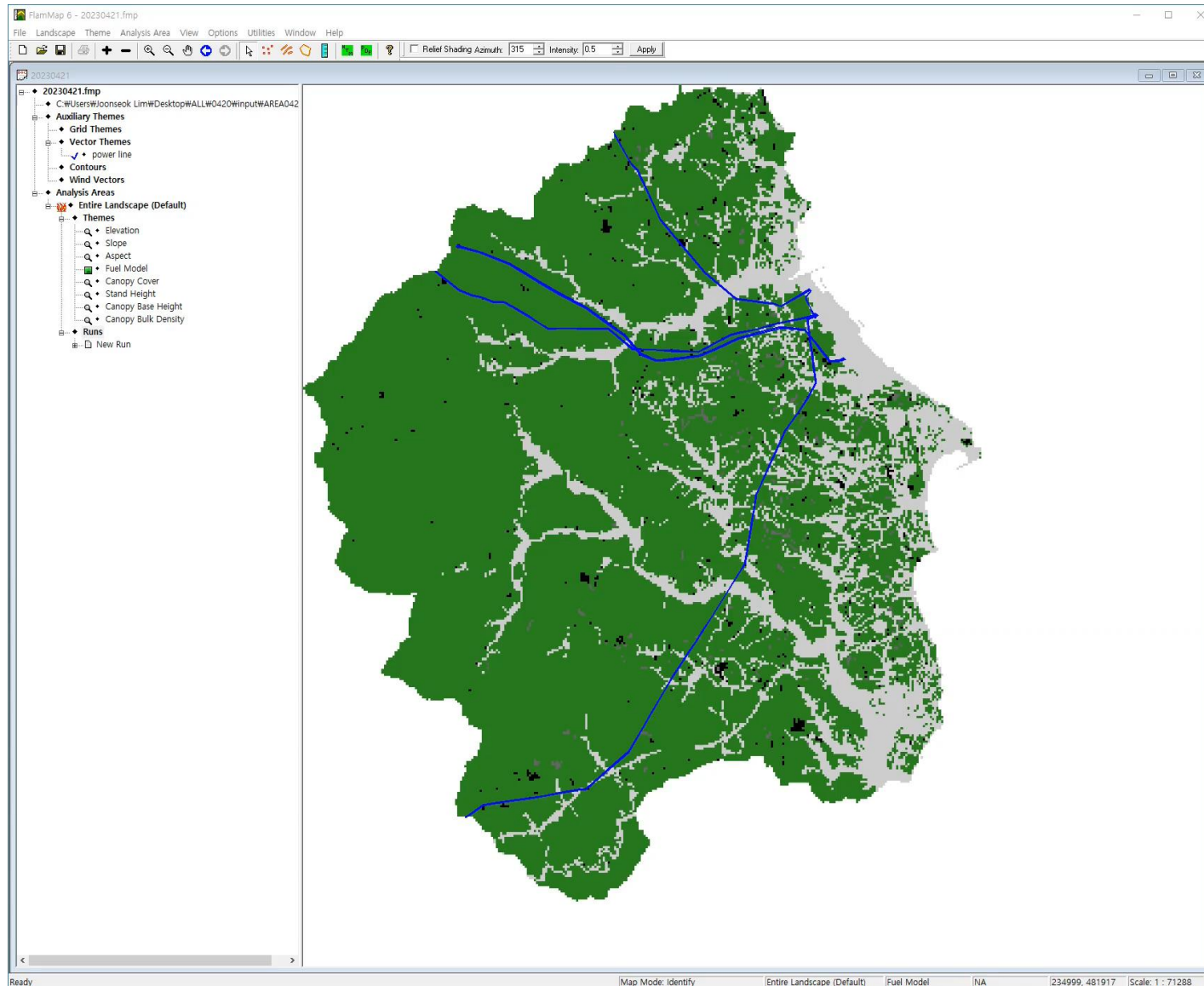
■ Frequency quantification

- Hazard curve에서 Fragility analysis를 통해 도출한 reaction intensity 보다 더 큰 영역이 산불로 인해 송전선이 기능을 상실하는 확률로 정의 $Pr(\text{line fail}|\text{forest fire})$
- 1년에 산불로 인해 송전선이 기능을 상실하는 빈도 $Fq(\text{line fail due to forest fire per year})$
 $= Fq(\text{forest fire per year}) * Pr(\text{line fail}|\text{forest fire})/RY$



03

METHODOLOGY OF QUANTIFICATION



04 CONCLUSIONS

- 재해도 분석 및 취약도 분석을 위해 산불 시뮬레이터를 이용하여 산불의 재해도 지표인 reaction intensity를 도출
- 날짜와 발화 지점을 다르게 하여 시뮬레이션을 수행하면 재해도 곡선을 도출할 수 있음
- 제시된 방법론을 완료하면 산불의 발생빈도와 전력계통 영향 사건 빈도의 상관관계를 알 수 있음
- 추가적인 내용으로서 산불 불씨가 2 km까지 번질 수 있다는 것에 착안하여 원전 반경 2 km까지 산불이 번지는 빈도를 도출하여 산불이 원전에 직접적으로 영향을 끼치는지 파악할 수 있음

Q&A

감사합니다.