

지형적 특성에 기반한 기상요인과 화재발생의 상관분석

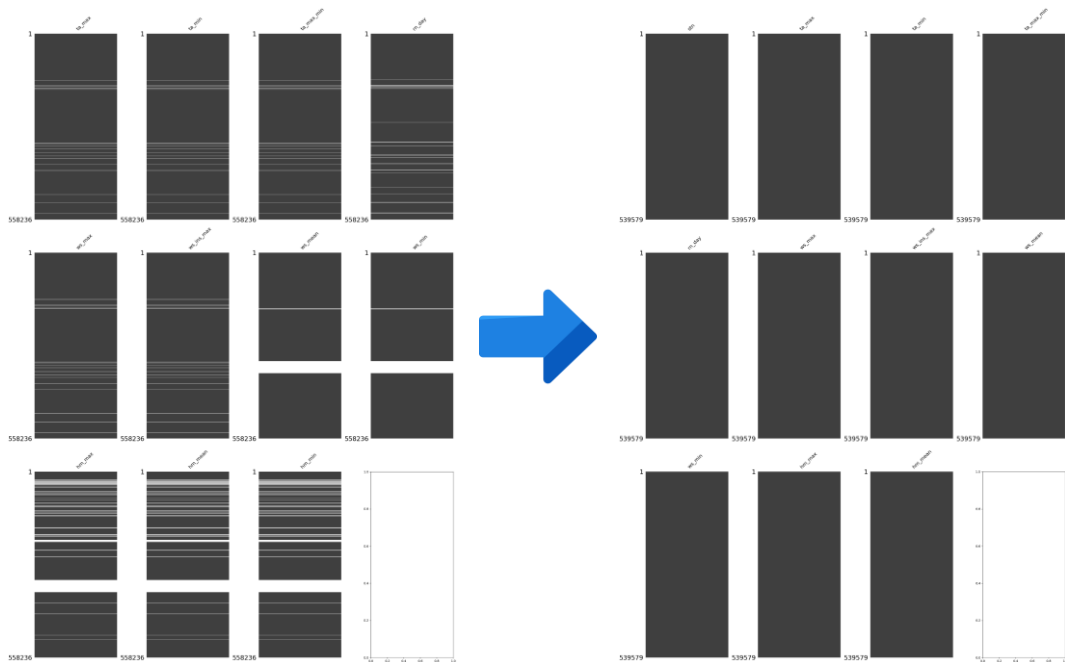
1. 분석 배경 및 목표

최근 몇 년간 기후 변화와 환경 요인의 변화로 인해 화재 발생 양상에 큰 변화가 나타나고 있다. 2023 년 상반기 소방청 발표에 따르면, 전체 화재 발생 건수는 전년도 대비 4.4% 감소하였으나 자연적 요인에 의한 화재는 큰 폭으로 증가한 것으로 나타났다. 2023 년 4 월 강원도 강릉 산불과 6 월 8 일 전남 장성의 비닐하우스 화재는 자연발화와 강풍에 의한 전선 단선 등 자연적 요인이 주요 원인으로 추정되고 있다. 이러한 변화는 화재 발생의 새로운 패턴을 보여주며, 기존의 화재 예방 및 대응 전략을 재평가하고 개선할 필요성을 시사한다.

이에 본 연구에서는 화재 발생 데이터와 기상 정보를 바탕으로 화재 발생 요인을 분석하고, 지역별로 화재 발생에 영향을 미치는 기상 요인을 파악함으로써 1 차 화재 예방 및 대응 방안을 모색하고자 한다.

2. 데이터 결측치 처리 및 최종 데이터프레임 정의

소방 데이터와 기상 데이터를 날짜 기준으로 조인하여 데이터프레임을 새로 정의하였다. 데이터의 기초 통계량을 describe()로 확인하였을 때 일부 기상 데이터에서 -99 값이 관측되었고, 이는 결측치에 해당하므로 Nan 으로 변환하였다. 결측치는 연구 목적에 따라 지역적 특성을 최대한 반영하기 위해 인근 지역의 기상청 공공데이터를 활용하여 처리하였다.



[그림 1] 데이터 결측치 처리 결과

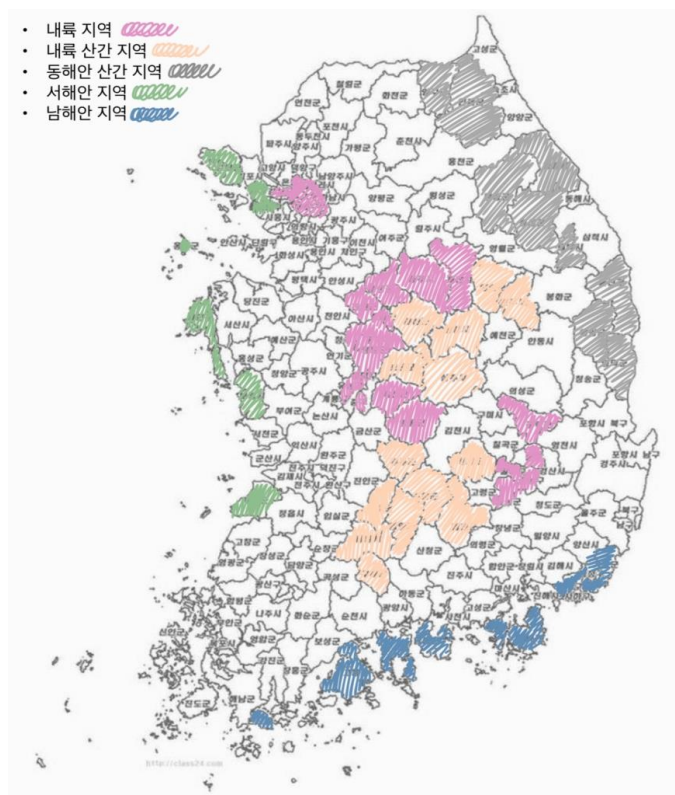
이후 분석에 주로 활용할 컬럼을 선정하였고, 이 과정에서 강수량(m_day)의 경우 분포가 대부분 0 에 가까워 분석에 활용하기에는 어렵다는 판단과 양의 상관관계를 갖는 상대습도(hm) 피쳐로 대체가 가능하다는 점에서 최종 컬럼에서 제외하게 되었다. 최종적으로 선정된 9 개의 피쳐는 다음과 같다.

변수명	내용	변수명	내용	변수명	내용
ta_max	일 최대 기온	ws_max	일 최대 풍속	hm_max	일 최대 상대습도
ta_min	일 최저 기온	ws_ins_max	일 최대 순간 풍속	hm_mean	일 평균 상대습도
ta_max_min	일교차	ws_mean	일 평균 풍속	hm_min	일 최저 상대습도

[표 1] 최종 선정 피처

3. 지형별 지역 선정 기준

화재 발생에 영향을 미치는 기상 요인을 지형별로 분석하기 위하여 지역을 다음과 같은 기준으로 구분하였다.



[그림 2] 지형별 선정된 지역 구분

1) 내륙(평야) 지역

평야 지형의 특성을 보이면서 내륙 산간 지역과 겹치지 않는 지역 선정

2) 내륙 산간 지역

소백산맥을 따르는 산에 속하는 지역 선정

3) 동해안 산간 지역

험준한 산악 지대와 함께 높은 경사를 이루고 있는, 동해에서 태백산맥에 이르는 지역 선정

4) 서해안 지역

서해 지역을 1 차적 기준으로 삼은 후 바다와 인접한 지역을 최종적으로 선정

5) 남해안 지역

결측치가 없는 남해 바다 인접 지역 선정

4. 지역별 독립성 검정

화재가 발생한 사례와 발생하지 않은 사례의 기상 정보를 나누어 각 기상 정보에 따라 화재 발생 여부에 차이가 있다는 대립가설에 대해 카이제곱 검정을 실시했다. 신뢰구간 95%에 대해 0.05 의 유의수준을 기각역으로

설정하였으며 검정을 위해 기상 컬럼들을 범주화 하였다. 이때 범주화는 구간별 데이터의 개수가 비슷하도록 pd.qcut()을 활용했다.

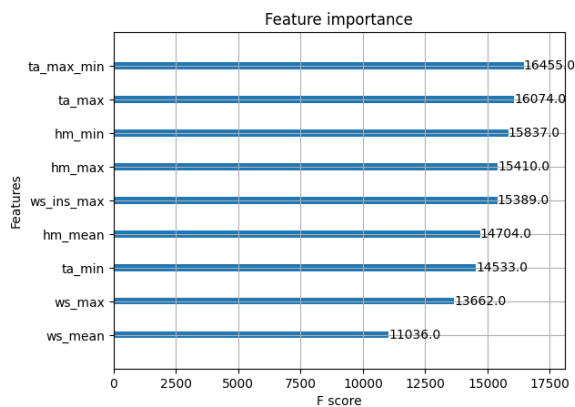
선정된 모든 피처가 유의수준 0.05 에서 화재 발생에 영향을 주는 것으로 나타났으며 그 중에서도 p-value 가 가장 작은 순으로 3 개의 변수를 제시하였다. 지역별 결과는 아래와 같다.

분류 지역	평야 지역	내륙 산간 지역	동해안 산간 지역	서해안 지역	남해안 지역
p-value 낮은 순	ta_max_min	hm_mean	hm_mean	hm_min	hm_mean
	ta_max	hm_min	hm_max	ta_max_min	hm_min
	hm_min	ta_max_min	hm_min	hm_mean	hm_max

[표 2] 지역별 유의미한 피처

5. 모델 구축

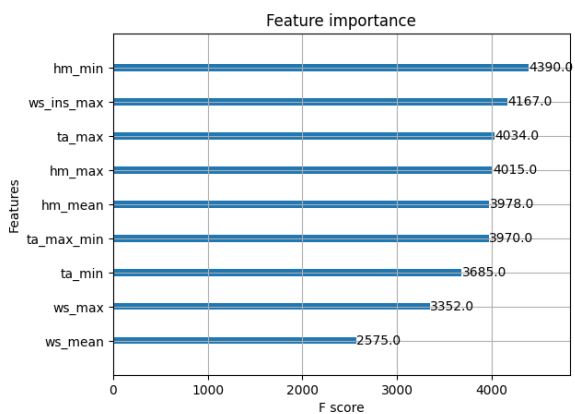
'2. 데이터 결측치 처리 및 최종 데이터프레임 정의'에서 선정한 9 개의 피처로 화재 발생을 예측하는 XGBoost 모델을 생성하였다. XGBoost 는 대규모 데이터 셋을 다루기에 적절하며, 과적합 방지를 위한 규제화 옵션을 포함하는 모델로서 복잡한 기상 데이터를 다룰 때 유용하다는 판단을 했다. 본 모델은 가중치를 0 에 가깝게 만들지만 완전히 0 으로 만들지는 않아 모델의 일반화 성능을 높이고, 모든 특성이 적절히 고려되도록 람다 값을 조정하는 L2 규제를 적용한다. 이를 통해 피처 중요도로 지역에 따른 인사이트를 제시한다.



1) 내륙(평야) 지역

'ta_max_min', 'ta_max', 'hm_min' 순으로 높은 중요도를 보였다. 이는 일반적으로 평야 지역에서는 일교차와 건조한 기후가 화재 발생 가능성을 높인다는 것을 의미한다.

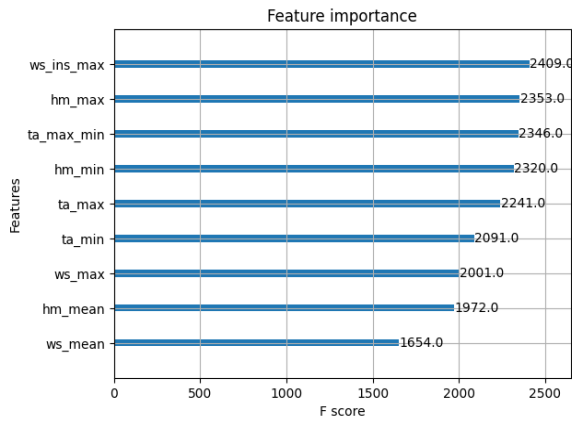
바다와 멀리 떨어진 평야 지역은 해안 지역에 비해 수분이 부족해지며 더 건조해지기 때문에 건조한 날씨와 강한 바람에 대비해야 한다.



2) 내륙 산간 지역

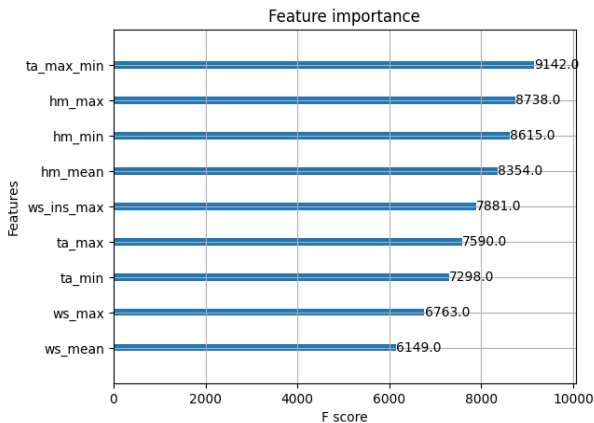
'hm_min', 'ws_ins_max', 'ta_max' 순으로 높은 중요도를 보였다. 이는 공기가 산을 넘으면서 단열 팽창으로 온도가 올라가고 습도가 낮아지는 윈 현상이 영향을 미쳤을 것으로 판단한다.

윈 현상은 공기를 급격히 건조하게 만들기 때문에 화재 위험을 크게 증가시키고, 건조한 공기는 식생을 말려 연료로 작용하게 하며, 높은 온도는 발화 가능성을 높인다.



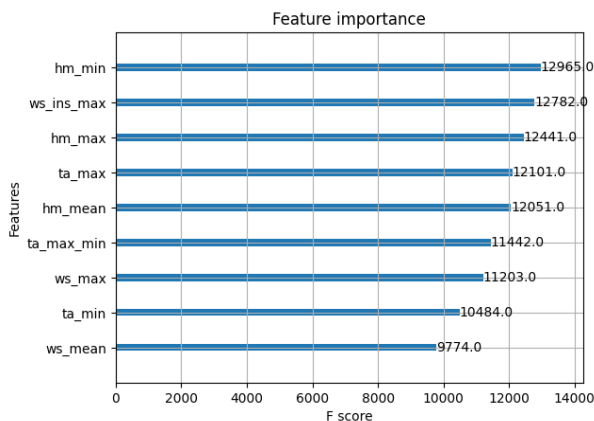
3) 동해안 산간 지역

'ws_ins_max', 'hm_max', 'ta_max_min' 순으로 높은 중요도를 보였다. 이는 산맥을 넘어 불어오는 건조한 바람의 영향으로 보인다. 순간적으로 커진 불씨가 산간 지역을 중심으로 번져 대형 화재로 이어진다.



4) 서해안 지역

'ta_max_min', 'hm_max', 'hm_min' 순으로 높은 중요도를 보였다. 서해안 지역의 특성상 바다와 인접해 있어 다양한 기후 요소들이 복합적으로 작용한다. 바다의 영향을 받아 높은 습도를 유지하며 이로 인하여 일교차가 상대적으로 작아지는 경향을 보인다.



5) 남해안 지역

'hm_min', 'ws_ins_max', 'hm_max' 순으로 높은 중요도를 보였다. 이는 다른 지형에 비해 남해안 지역에서 습도가 중요한 요소로 작용했음을 알 수 있다. 실효습도가 낮을 경우에 해풍을 따라 더 큰 불로 번질 가능성이 높다는 점을 반증한다고 볼 수 있다.

[그림 3~6] 지역별 피쳐 중요도

6. 분석 결과

- 지역별로 카이제곱 독립성 검정의 p-value와 XGBoost의 F-score를 산출하여 유의미한 피쳐와 그 중요도를 확인하였다. 이때, 지역에 따른 피쳐의 중요도 양상이 상이하므로 지역에 적합한 맞춤 대책을 구상한다면 효과적인 화재 예방책을 마련할 수 있을 것이다.
- **산간 지역**에서는 대체로 순간 풍속과 습도가 화재와 중요한 관계를 맺고 있다. 실제로 산간 지역에서는 핀 현상의 영향으로 산을 넘은 대기가 건조한 바람을 몰고 와 화재를 확산시키는 역할을 한다.
- **평야 지역**에서는 기온이 다른 지형에 비해 화재 발생과 강한 관계를 보이는 것을 볼 수 있었다. 이는, 산간 지역이나 해안 지역과 달리 장애물이 적어 태양열을 직접적으로 많이 받아 일교차가 커지고, 큰 일교차는 식물을 건조하게 만들어 화재 발생 위험을 증가시키는 것으로 설명이 가능하다. 결과적으로, 'ta_max_min', 'ta_max' 피쳐가 모두 상위에 위치해 있는 것을 확인할 수 있다.

- **해안 지역**에서는 대체로 습도가 화재와 강한 상관관계를 맺고 있다. 실제로 초기 데이터 분석 과정에서 바다에 직접적으로 맞닿은 지역과 다소 떨어진 지역의 습도 차이가 많이 나는 경향을 보였다. 서해안 지역은 기온과 습도가 중요한 요소로 작용하며 높은 습도로 인해 일교차가 상대적으로 작아지는 경향이 있고, 남해안 지역은 습도와 풍속이 중요한 요소로 작용하며, 특히 실효습도가 낮을 경우 해풍을 따라 큰 불로 번질 가능성이 높다는 점이 강조된다.

	남해 화재 요인	prop(%)	대전/세종/충남 화재 요인	prop(%)	서해 화재 요인	prop(%)	서울/광주/대구 화재 요인	prop(%)	태백산~동해 화재 요인	prop(%)	내륙산 화재 요인	prop(%)	전체 중 화재 요인	prop(%)
0	담배꽂초	61.07	담배꽂초	32.10	담배꽂초	28.81	담배꽂초	63.57	담배꽂초	30.55	쓰레기 소각	28.80	담배꽂초	32.22
1	쓰레기 소각	9.22	쓰레기 소각	17.88	쓰레기 소각	17.73	쓰레기 소각	6.54	쓰레기 소각	16.00	담배꽂초	13.56	쓰레기 소각	19.66
2	미상	5.03	불씨/불꽃/화원방치	8.76	불씨/불꽃/화원방치	9.22	미상	4.49	불씨/불꽃/화원방치	15.34	불씨/불꽃/화원방치	13.51	불씨/불꽃/화원방치	8.68
3	불씨/불꽃/화원방치	4.41	미상	5.09	논/임야태우기	8.62	불씨/불꽃/화원방치	3.85	미상	5.66	논/임야태우기	7.84	논/임야태우기	5.96
4	미확인단락	2.25	기타(부주의)	4.46	과열/ 과부하	4.06	기타(부주의)	2.06	용접/ 절단/ 연마	5.13	기타(부주의)	6.06	미상	4.63
5	방화의심	1.68	논/임야태우기	4.07	기타(부주의)	3.62	방화의심	1.79	기타(부주의)	4.74	미상	5.76	기타(부주의)	4.12
6	기타(부주의)	1.41	용접/ 절단/ 연마	3.14	용접/ 절단/ 연마	3.13	용접/ 절단/ 연마	1.72	논/임야태우기	1.91	용접/ 절단/ 연마	2.08	용접/ 절단/ 연마	2.85
7	절연열화에 의한 단락	1.41	과열/ 과부하	2.08	미확인단락	2.96	절연열화에 의한 단락	1.63	미확인단락	1.78	기타	1.95	과열/ 과부하	2.18
8	불장난	1.37	방화의심	1.98	절연열화에 의한 단락	2.14	논/임야태우기	1.27	과부하/과전류	1.45	미확인단락	1.91	절연열화에 의한 단락	1.88
9	용접/ 절단/ 연마	1.23	절연열화에 의한 단락	1.98	자연발화	1.81	불장난	1.24	자연발화	1.38	과열/ 과부하	1.82	미확인단락	1.75

[그림 7] 지역별 화재 원인 비율

7. 활용 방안 및 기대효과

1) 지형별 측면

1.1 산간지역

2005 년 발생한 대형 산불로 큰 피해를 입은 슬로바키아는 10 만 개 이상의 물모이를 만들어 대형 산불을 막았다. **물모이**란 나무와 돌을 이용해 빗물을 흘려보내지 않고 물이 모이도록 만들어 놓은 자연 빗물 저장 시스템이다. 이는 습도가 낮은 산간 지역 토지의 수분을 유지하여 산불을 막는 데 큰 도움이 될 수 있다. 또한, 해안 산간지대에는 동해 방향으로 부는 양간지풍이 존재하는데, 이는 서쪽에서 불어온 바람이 산맥을 타고 올라가 다시 내려오면서 건조하는 빠른 바람으로 변해 산불의 확산에 영향을 주는 것이다. 이때, 바람의 풍속이 급격히 빨라지는 산 정상 지대에 물모이를 설치한다면 바람의 습도를 높여 산불의 확산을 막는 데 도움이 될 것이다.

1.2 평야지역

평야지역은 **화재 감시 드론의 사용을 확대**하여 화재 사고를 미연에 방지할 수 있다. 이를 위해선 소방관을 대상으로 해온 드론 교육을 넓은 임야를 보유한 일반인까지 확대함으로써 화재 발생 여부를 개별적으로 확인할 수 있도록 한다. 특히, 농경지의 비닐하우스에서는 '돈보기 효과'로 인한 발화가 종종 발생하므로 더욱 주의를 기울일 필요가 있다. AI 기반 자율주행 드론을 활용하는 방법도 있다. 거점 지역을 설정하여 드론이 화재 발생 여부를 주기적으로 감시하도록 하는 방법이다. 또한, 평야지역은 목재로 이루어진 문화재(사찰 등)가 많이 존재하는 만큼 문화재들을 보호하기 위한 **문화재 사찰 관리 시스템**이

요구된다. 문화재 주변에 경계를 설정했을 때, 연기가 감지되거나 발열이 의심될 경우 화재 감지에 더욱 예민하게 반응하는 시스템을 구현한다면 효과적일 것이다. 더불어, 인근을 방화수의 수벽으로 구성함으로써 화재 발생에 대비할 수 있다.

1.3 해안지역

해풍을 활용하여 습도를 유지할 수 있는 방안을 마련할 수 있다. 예를 들어 **방풍림**이나 **해안 숲**을 조성하여 내륙으로 들어오는 해풍의 습도를 높이고 산불의 발생과 확산을 자연적으로 방지할 수 있다. 결과적으로 해안 지역의 생태계를 보호하고, 산불 예방에 효과적으로 대응할 수 있다.

2) 제도적 측면

2.1 효율적인 소방 인력 배치 시스템 구축

현재 화재 발생 위험이 높은 시기에 평소보다 더 많은 소방 인력을 배치하는 화재 특별 경계근무를 시행 중이다. 봄철(3~5)에는 평균 습도량과 평균 풍속이 특정 오차 범위 안에 들어가는 날이 많으므로 화재 발생 빈도가 잦다. 이러한 데이터 분석 결과를 기반으로 기민한 특별 경계근무가 이루어진다면, 소방 인력의 효율성을 극대화하고, 화재 발생 시 신속한 대응이 가능하게 할 수 있다.

2.2 시민 교육 및 참여 제고 - 어린이 방법대

화재 발생 위험이 높은 봄철, 화재 예방에 만전을 기하고 중요성을 일깨우기 위해, ‘어린이 방법대’ 프로그램을 도입할 수 있다. 초등학교 4 학년부터 중학교 3 학년까지의 학생들을 대상으로 화재 예방 교육을 실시하고 및 방법 활동을 진행한다. 분기가 끝날 때는 우수 대원을 선발하여 격려한다. 이로써 화재에 대한 지역공동체의 잘못된 인식을 개선하고 경각심을 고취할 수 있다.

2.3 방화수 설치

도시 조경 및 건축 시에 방화수 조경을 필수 요건으로 설정함으로써 화재 발생 위험을 사전에 방지하는 효과를 얻을 수 있다. 방화수로 주로 활용되는 나무에는 ‘동백나무’, ‘가막살나무’, ‘가시나무’ 등이 있으며, 목종의 서식 특성에 따라 남해안에는 ‘아왜나무’, ‘은행나무’, 중부지역에는 ‘굴참나무’, ‘황벽나무’를 조성함으로써 화재 예방뿐만 아니라 조경적 효과도 얻을 수 있다.

8. 참고 문헌

- 류정우, 권성필. (2015). 데이터마이닝을 이용한 기상정보에 따른 화재 위험 평가. 한국화재소방학회 논문지, 29(5), 88-95.
- 김완석, 김영훈, 김재혁, 오훈. (2018). 기후환경 변화에 따른 전기재해 위험도 분석. 한국산학기술학회 논문지, 19(4), 603-610.
- 류정우, 김영진, 김은주, 김명원. (2014). 기상예보기반 화재발생 확률 예측모델의 생성 기법. 정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터, 20(2), 68-79.
- 송동우, 김기성, 이수경. (2014). 공공데이터를 이용한 습도 및 온도와 실화 발생 간의 관계분석. 한국화재소방학회 논문지, 28(2), 82-90.
- 홍석영, 조성현, 김민수 and 문일. (2019). 인공지능망을 활용한 기상 및 화재 데이터기반의 화재발생 확률 예측. 한국방재학회논문집, 19(7), 275-281.