

제2회 데이터기반 리스크관리 경진대회

Risk Management Insight & Insur-novation

## **봄철 이상 저온과 이른 개화시기로 인한 기온 위험도 정량화**

**- 기온지수형 보험 도입 및 과수 재해 보험 개선을 중심으로 -**

이지윤, 박시언, 서희나, 이수린

# 목차

## 1 분석 배경

## 2 분석 흐름

## 3 데이터 개요 및 전처리

### 3.1 기상데이터

### 3.2 서리데이터

### 3.3 개화데이터

## 4 리스크 분석

### 4.1 이상기온(저온) 탐지

### 4.2 개화시기 예측

### 4.3 냉해 피해 정량화

### 4.4 지급 준비액 계산 시뮬레이션과 최적화

## 5 관련 산업의 대응 방안

### 5.1 농작물 재해 보험의 현황과 문제점

### 5.2 해결방안 및 제언

## 6 시사점

# 1 분석 배경

기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)의 「IPCC 제6차 평가보고서(AR6\*\*) 종합보고서」에 따르면 온실가스 배출을 통한 인간 활동은 전 지구 지표 온도를 1850~1900년 대비 현대(2011년~2020년) 1.1도 상승시켰다고 한다. 또한 가까운 미래(2021-2040년)에는 1.5도에 도달할 것으로 예상된다. 이렇게 지구 온난화가 심해짐에 따라, 평균 기후와 극한 현상의 지역적 변화는 더 광범위해지고 뚜렷해지며 지역적 차이를 증가시키기 때문에 기후 변화에 따른 리스크 관리의 중요성은 더욱 높아지고 있다.<sup>12</sup>

우리나라의 과수 농가도 지구온난화로 인한 이상기후의 피해에서 벗어나지 못하고 있다. 과수의 개화 시기는 한 해 농사를 결정짓는 중요한 때인 만큼 기후에 민감하다. 그러나 농촌진흥청은 올해 2023년의 배와 복숭아 꽃이 피는 시기는 평년보다 최대 10일 정도 빠를 것으로 전망했다.<sup>3</sup> 봄철 평균 기온상승과 이로 인한 이른 개화로 인해 꽃이 갑작스러운 이상 저온현상에 노출되면서 수정능력을 잃고 과실을 맺지 못해 품질이 저하되거나 생산량이 감소하는 피해를 보게 되었다. 이처럼 봄철의 기온과 같은 기후 요소의 변화는 기상 의존도가 높은 농업 분야에 치명적인 피해를 줄 수밖에 없다.<sup>4</sup>

이처럼 앞으로의 극심한 기후변화가 예상되는 현 상황에서 농작물의 피해를 최소화하기 위해서는 정확한 기상 예측과 더불어 그 위험 수준을 평가할 수 있는 지표가 필요하다고 판단하였다. 특히 봄철의 기온 변화는 과수 농가의 한 해 농사의 성공 여부를 결정할 만큼 그 파급력이 크다는 점을 고려하여 이번 보고서에는 봄철 이상 저온과 이른 개화시기에 따른 과수의 냉해 피해 정량화를 목표로 한다.<sup>5</sup> 또한 이러한 분석을 바탕으로 관련 보험업계와 정부의 대응 방안 및 리스크 관리 체계에 대한 아이디어를 제안하고자 한다.

---

<sup>1</sup> 기후환경과학외교국, 2023-03-20, "기후변화에 관한 정부 간 협의체, 제6차 평가보고서 종합보고서 승인", [https://www.mofa.go.kr/www/brd/m\\_4080/view.do?seq=373483](https://www.mofa.go.kr/www/brd/m_4080/view.do?seq=373483).

<sup>2</sup> <국립농업과학원 기후변화생태과> 장은숙 과장, 허지나 연구사, 기후변화가 농업에 미치는 영향 I, 2019.12.02, <http://www.newsam.co.kr/news/article.html?no=29724>.

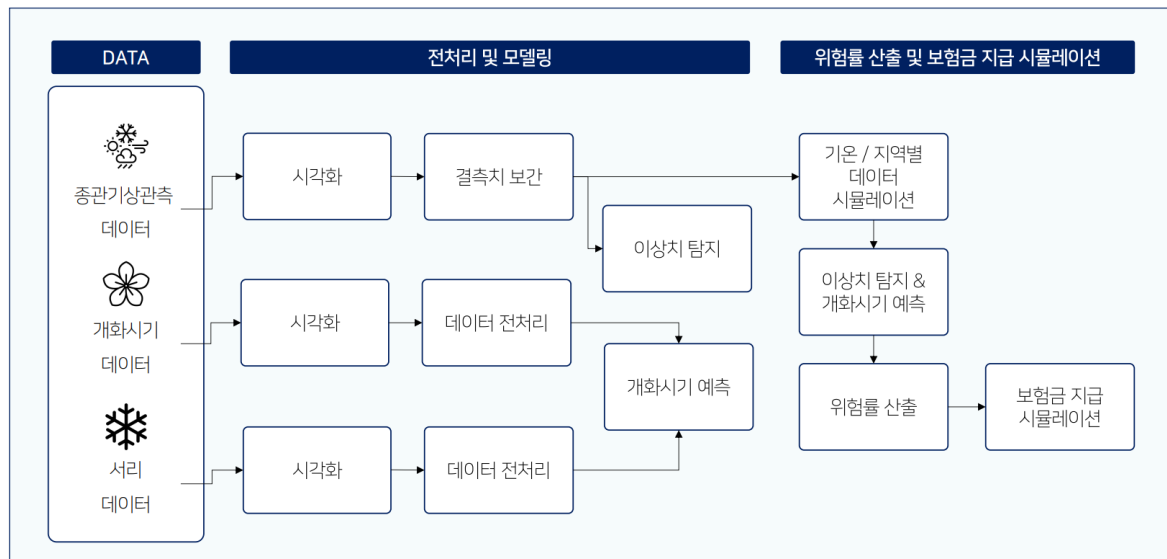
<sup>3</sup> 이병성, "배·복숭아 개화시기 빨라져...저온피해 주의", 2023.03.21, [https://www.agrinet.co.kr/news/articleView.html?idxno=316858\(2023.10.06\)](https://www.agrinet.co.kr/news/articleView.html?idxno=316858(2023.10.06)).

<sup>4</sup> 동양일보, 2023.04.25, "현장에서/작물 냉해 피해", <https://www.agrinet.co.kr/news/articleView.html?idxno=316858>.

<sup>5</sup> 김진희, 김대준, 김수옥, 윤은정, 주옥정, 박종선 and 신용순. "봄철 과수 꽃눈 발육 수준에 따른 저온해 위험도 산정" 한국농림기상학회지 21, no.1 (2019): 55-64.

## 2 분석 흐름

과수의 이상 저온, 냉해 피해는 일반적으로 평균 기온 상승으로 개화시기가 앞당겨짐에 따라 과수의 꽃이 늦서리에 그대로 노출되어 발생한다. 따라서, 이러한 피해 예측을 위해 ① 이상치 탐지와 개화시기 회귀 모형을 적합하고, ② 실제 데이터와 생성 데이터를 바탕으로 평균 이상 저온 발생횟수를 추정하고자 한다.



## 3 데이터 개요

### 3.1 기상 데이터

과수의 개화 및 저온 피해에 영향을 미치는 봄철 기온의 변동성에 대한 정확한 예측이 필요하다고 판단하여 봄철에 해당하는 2, 3, 4월 시기의 기온에 초점을 맞추어 이상 기온탐지, 기온 예측 등과 같은 분석을 진행할 예정이다.

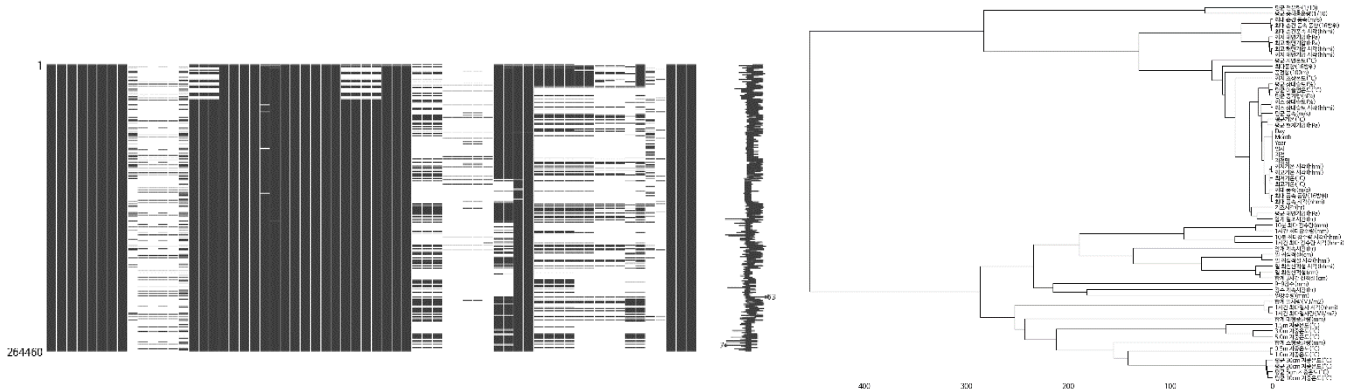
분석에 사용되는 데이터는 기상청의 기상자료개방포털에서 제공하는 종관기상관측(ASOS)자료이다<sup>6</sup>. 기상청에서 제공하는 기상관측지점을 기준으로 하는 1988년부터 현재까지의 2, 3, 4월 기간의 데이터를 일 단위로 추출하였다. 추출한 변수는 기온, 서리, 강수량, 풍속, 습도, 이슬점온도, 지면 온도, 지형(산간, 분지 등), 고도, 일사량, 적설량, 운량, 증발량, 기압과 관련한 기상 변수를 사용하였다. 해당 데이터의 구성은 다음과 같다.

	지점명	일시	평균 기온	최저 기온	최고 기온	일강수량 (mm)	최대 순간풍속	...	평균 이슬점온도	평균 상대습도	평균 전운량
0	속초	1988-02-01	1.9	-3.4	6.3	0.0	28.7	...	-9.6	42.0	2.0

<sup>6</sup> 기상청 기상자료개방포털, <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRhtmlList.do?pgmNo=36>.

1	속초	1988-02-02	-4.5	-8.9	3.4	0.1	27.4	...	-18.1	32.3	0.8
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
264459	남해	2023-04-30	16.6	7.3	20.8	0.0	9.0	...	5.9	29.3	0.8

<표 1> 1988년~2023년 기온 데이터



<그림 2> 결측치 시각화

데이터에 결측치가 존재하여 Python의 msno모듈을 통해 결측치를 시각화해 보았고, 이를 참고하여 안개 계속시간(hr), 합계 3시간 신적설(cm), 일 최심적설(cm), 일 최심신적설(cm), 일 강수량(mm), 강수 계속시간(hr)의 경우는 결측치를 0으로 대치하였고 나머지 변수는 scikit-learn의 Iterative Imputer의 Bayesian Ridge를 이용하여 상관관계가 높은 변수 조합을 고려하여 결측치 보간을 진행했다.

### 3.2 서리 데이터

분석에 사용된 데이터는 기상청의 기상자료개방포털에서 제공하는 서리일수 데이터다.<sup>7</sup> 2019년 4월 기준 23개의 목측지점을 기준으로 1988년부터 현재까지의 기간의 데이터를 일 단위로 추출하였다. 추출한 변수는 지점, 년도, 서리시작, 서리시작(평비), 서리끝, 서리끝(평비)이다. 데이터의 구성은 다음과 같다.

	지점	년도	서리시작	서리끝	서리끝(평비)	서리 365
1	강릉	1988.0	1988-12-30	1989-03-26	3.45	85
2	강릉	1989.0	1989-12-13	1990-03-26	3.45	85

<sup>7</sup> 기상청 기상자료개방포털,, <https://data.kma.go.kr/climate/frst/selectFrstChart.do?pgmNo=705>

...	...	...	...	...	...	
1926	충주	2013.0	2014-4-30	2014-04-06	-7.00	96

<표 3> 1988~2023년 서리 데이터

서리 시작에서 값이 '관측 안됨'으로 기재된 시기는 실제 현상이 관측되지 않은 날이므로 분석에 불필요하다고 판단하여 제거하였고 서리끝(평비)에 결측치가 존재하는 경우 해당 지점을 기준으로 서리끝 시기의 평균과 해당 시기의 차를 구하여 결측값을 대체하였다. 또한 봄철 개화 후 서리로 인한 냉해 피해를 파악하기 위한 분석 목적에 따라 서리가 끝나는 시기를 365일 단위로 변환하여 365서리 변수를 추가하였다.

### 3.3 개화 데이터

분석에 사용한 데이터는 기상청 기상자료개방포털에서 제공하는 계절관측자료이다.<sup>8</sup> 계절관측자료 중 복숭아, 배나무 항목을 선택하여 1988년부터 현재까지의 기간의 전국 시도의 시군구 데이터를 일단위로 추출했다. 추출한 변수는 지점 년도, 복숭아 개화, 복숭아 개화(평비) 및 배나무 개화, 배나무 개화(평비)이다. 데이터의 구성은 다음과 같다.

<표 4> 복숭아 개화 데이터

	지점	년도	복숭아 개화	복숭아 개화(평비)	복숭아개화 365
1	강릉	1988	1988-04-14	8.42	105
2	강릉	1989	1989-04-05	-1.57	95
...	...	...	...	...	...
2026	충주	2015	2015-04-16	1.00	106

<표 5> 배나무 개화 데이터

	지점	년도	배나무 개화	배나무 개화(평비)	배나무개화 365
1	강릉	1988	1988-04-15	4.14	101
2	강릉	1989	1989-04-17	5.14	107
...	...	...	...	...	...
1988	충주	2015	2015-04-12	-4.00	102

복숭아 개화 데이터를 보면 복숭아 개화 열에서 '결측' 및 '관측 안됨'으로 기재된 시기는 실제 현상이 관측되지 않은 날이므로 분석에 불필요하다고 판단하여 제거하였다. 복숭아 개화(평비)에 결측치가 존재하는 경우 해당 지점을 기준으로 개화 시기의 평균과 해당 시기의 차를 구하여 결측값을 대체하였다. 또한 복숭아 개화 시기를 365단위로 변환하여 복숭아개화365 변수로 추가하였다. 배나무의 데이터 결측치 대체 방법 및 파생변수 생성은 복숭아 개화 데이터와 동일하다.

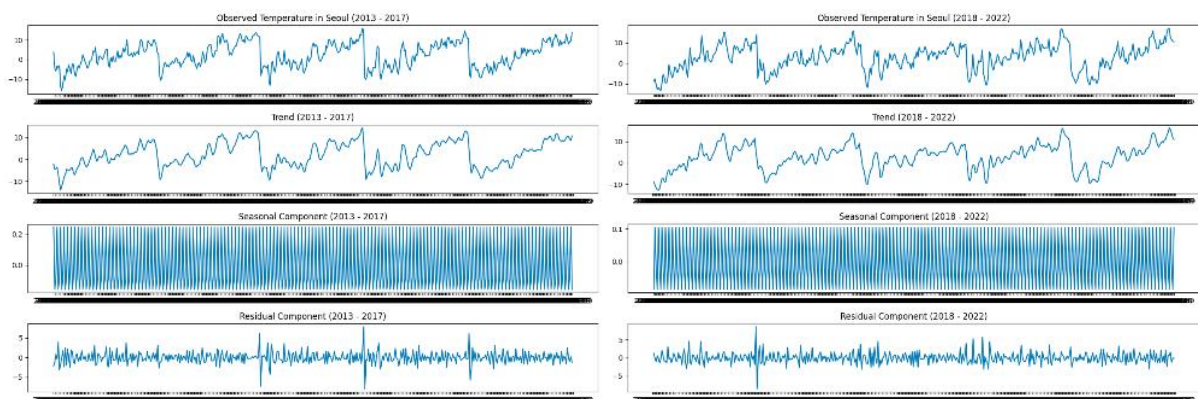
<sup>8</sup> 기상청, <https://data.kma.go.kr/data/seasonObs/seasonObsDataList.do?pgmNo=648>.

## 4 리스크 분석

### 4.1 이상기온(저온) 탐지

과수의 이상 저온, 냉해 피해는 여러 가지 복합적인 원인에 의해 발생하지만, 과수의 이상 저온, 냉해 피해는 일반적으로 평균 기온 상승으로 개화시기가 앞당겨짐에 따라 과수의 꽃이 늦서리에 그대로 노출되어 발생한다.<sup>9</sup> 이러한 과수 피해에 초점을 맞춰 매해 서리 발생일수 데이터를 사용하려 했으나, 기상청은 서리 발생기간 데이터만 제공하기 때문에 최저 기온을 직접 탐지해서 사용하는 것이 이러한 이상 저온, 냉해 피해 예측에 더 유용할 것이라고 판단하여, 최저 기온 이상치 탐지를 진행하였다.

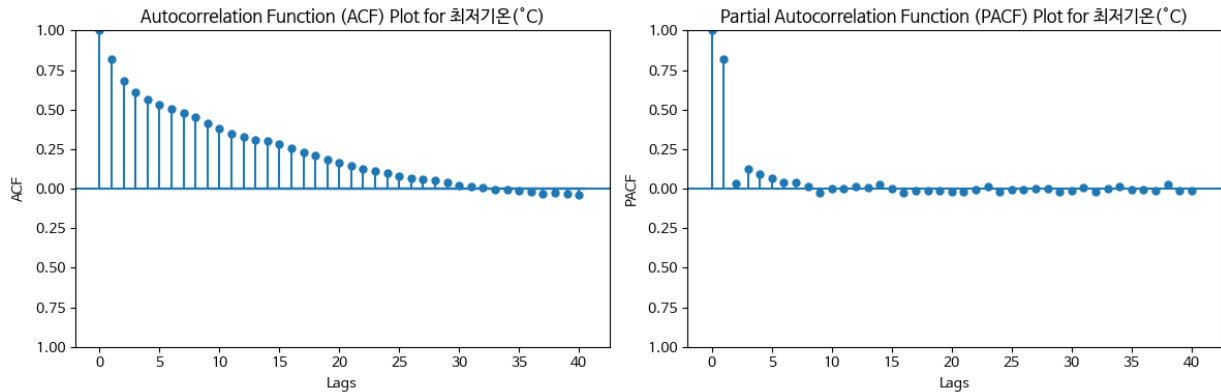
이상치 예측 전, 이상치 탐지 대상인 최저기온에 대해서 시계열 그래프를 그려 추세와 계절성이 존재하는지 파악했으며, 정상성을 만족하는지 파악하기 위해 Augmented Dicky-Fuller(ADF)검정을 진행했다. 또한, 시계열 모델을 사용할 수 있기 때문에, 자기공분산함수(ACF)와 부분자기상관함수(PACF)를 확인하여 모델 선택을 진행했다.



<그림 6> 계절성과 추세 및 잔차 분해 그래프

<그림 6>은 데이터가 너무 큰 관계로 2013~2017, 2018~2022 서울의 평균 최저기온에 대한 시계열 분해 결과다. 첫 번째는 데이터의 시계열 그래프, 두 번째는 추세에 대한 그래프, 세 번째는 계절성에 대한 그래프, 네 번째는 잔차에 대한 그래프다. 그래프를 보면 선형적으로 증가하는 추세와 3개월을 주기로 반복되는 계절성을 확인할 수 있다. 잔차 그래프의 경우, 중간중간에 갑자기 커지는 분산을 확인할 수 있다. 이는 정상시계열의 조건인 등분산성을 만족하지 않음을 확인할 수 있다.

<sup>9</sup> 과수 개화기, 반복되는 저온·냉해 피해 우려 <http://www.newsfm.kr/mobile/article.html?no=7806>



<그림 7> ACF & PACF 그래프

<그림 7>는 최저기온에 대한 ACF와 PACF 그래프다. ACF 그래프를 확인해 본 결과, 매우 느리게 0으로 감소함을 확인할 수 있다. 이는 비정상시계열임을 뜻하며, 추후 차분을 진행해야 한다는 것을 나타낸다. PACF 그래프의 경우 시점 1 다음으로 절단 되어있음을 확인할 수 있다. 이때, 주기인 3의 배수대로 신뢰구간을 벗어나는 것을 볼 수 있다. 이는 계절성의 존재를 나타낸다.

‘최저 기온’ 이 3개월의 명확한 주기를 보임에도 ADF 검정은 p-value가 0.7147e-22로 정상성을 만족한다는 결과를 보였다. 이는 ADF 검정의 한계인 약한 검정력 때문이라고 판단했다. 즉, 단위근을 갖지 않는 경우지만 단위근을 갖는다고 결론을 내릴 가능성이 높으며, 계절성과 같은 다른 유형의 비정상시계열을 잘 탐지하지 못한다.<sup>10</sup> 따라서, ADF의 결과를 신뢰하기보다, PACF와 ACF 그래프를 기반으로 주어진 데이터를 비정상 시계열로 판단하였다.

#### - 이상치 기준

모델들의 성능을 비교하기 위해 이상치 판별 기준을 정의하였다. 농촌진흥청에서 제시한 이상 기상범위에 따르면 기상을 5일 단위로 10퍼센타일 미만이면 이상 저온으로 간주한다.<sup>11</sup> 이 기준을 바탕으로 python의 seasonal\_decompose함수를 사용하여 주어진 데이터를 분해 후 잔차를 사용하여 5일 이동 평균을 계산하여 해당 값의 90% 분위수보다 크면 이상치, 그렇지 않으면 정상 데이터로 라벨링했다. 이상 기온이 탐지된 데이터를 기반으로 각 지역 별 이상 저온 비율을 계산하여 아래의 모델들을 통한 이상치 탐지 결과와 비교하고자 한다.

#### - 시도한 모델

이상치 탐지를 위해 SARIMAX, isolation forest, STL(Seasonal-Trend decomposition using LOESS)

<sup>10</sup> David N. DeJong, John C. Nankervis, N.E. Savin, Charles H. Whiteman, The power problems of unit root test in time series with autoregressive errors, Journal of Econometrics, Volume 53, Issues 1–3, 1992.

<sup>11</sup> 농촌진흥청 국립원예특작과학원, 이상기상범위, <https://fruit.nihhs.go.kr/main/onestop/ostplInfo.do>.



분해, ADTK 등과 같은 다양한 모델을 시도해봤다. 주어진 지역이 전역에 분포되어 있기 때문에, 이상치 탐지는 각 지역에 대해 진행되었으며, 앞에서 살펴봤듯이 최저기온이 비정상시계열이기 때문에 데이터를 학습하기 전에 추세와 계절성을 제거한 잔차로 학습했다. 최종적으로 이상치로 판정된 데이터는 -1, 정상데이터를 1로 라벨링하였다. 성능을 비교한 결과, SARIMAX와 isolation forest가 최종 모델 후보로 선정되었다.

## 1) SARIMAX

SARIMA는 데이터의 추세와 계절성을 한 번에 고려할 수 있는 모델이며, SARIMAX는 자기 자신 뿐만 아니라 외부 변수까지 학습과 예측에 포함할 수 있는 모델이다. SARIMAX의 경우, 객관적으로 차수를 정하기 어렵기 때문에, PACF나 ACF그래프를 통해 대략적인 차수의 범위를 정한 다음 AIC, BIC와 같은 information criteria를 기준으로 차수를 정했다.

## 2) Isolation Forest

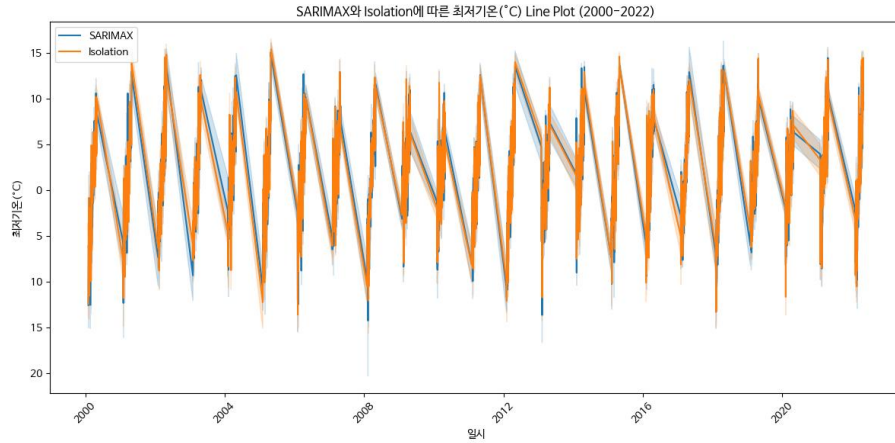
Isolation Forest는 iTree를 여러 번 반복하여 앙상블하는 이상탐지 기법으로 의사결정나무를 지속적으로 분기시키면서 모든 데이터 관측치의 고립 정도 여부에 따라 이상치를 판별하는 모델이다. 군집기반 이상탐지 모델에 비해 계산량이 적고 강건한 모델을 만들 수 있다는 장점이 있다.

### - 최종선정 모델

이상치 탐지 모델은 주로 정상 데이터와 이상치 데이터의 비율이 매우 차이나는 불균형한 데이터셋에서 작동한다. 이런 상황에서 정확도(Accuracy)는 데이터를 정상으로 예측하는 경우에 대해 높은 정확도를 가지기 때문에 유용하지 않다. 반면에 F1-score는 이러한 불균형 데이터셋을 다룰 때 모델의 성능을 더 잘 평가할 수 있는 지표이다. F1-score가 높을수록 모델이 이상치를 더 정확하게 탐지할 수 있으며 정상데이터를 이상치로 잘못 예측하는 경우를 줄일 수 있다. 하지만 분석 목표 상 이상 저온이라 올바르게 판단하는 것 또한 중요하다고 판단하여 Recall도 고려하여 평가하였다.

	Sarimax	Isolation forest
Recall (Sensitivity)	0.920977	0.875178
F1 Score	0.921928	0.900513

<표 8> Recall & F1-score



<그림 9> Sarimax와 Isolation Forest의 이상 저온 탐지 그래프 비교

<표 8>은 시도한 모델 중 Recall과 F1-score 성능이 가장 좋았던 SARIMAX와 Isolation Forest의 결과이다. <그림 9>와 같이 두 모델의 이상 저온 탐지 결과를 시각화한 결과, 저온 값에 대한 탐지의 경우 Isolation Forest가 Sarimax에 비해 비교우위를 보여 최종 이상치 탐지 모델을 Isolation Forest로 선정하였다.

## 4.2 개화시기 예측

냉해 피해 정량화를 위해 기온 예측과 더불어 개화시기 예측 또한 진행하고자 한다.

### 1. 교차검증을 이용해 모델 성능 비교 및 3개 선택

다양한 회귀 모델에 대해 K-Fold 교차검증을 사용하여 배꽃과 복숭아꽃 개화시기를 예측하고 이에 따른 MAE의 평균을 계산하여 모델 성능을 비교했다. 여기서 MAE는 Mean Absolute Error로 평균 절대 오차를 의미하여 일반적인 회귀 지표로 알려져 있다. 성능 비교 결과, Random Forest, LightGBM, Catboost가 상대적으로 MAE가 작은 것으로 나타났다.

모델	Random Forest	LightGBM	Catboost	xgboost	svr
MAE	3.5424	3.5436	3.4023	3.7219	5.53
RMSE	4.8789	4.8389	4.6751	5.0022	7.23
모델	ard	Bayesian ridge	lasso	MIP	Adaboost
MAE	3.75	3.74	3.74	3.94	4.30

RMSE	5.10	5.08	5.09	5.29	5.62
------	------	------	------	------	------

<표 10> 시도한 모델의 MAE와 RMSE

## 2. 변수 선택

먼저, SelectKBest는 target 변수와 상호 정보량이 높은 K개의 변수를 선택하는 방법이다. 이를 통해 feature가 많아 발생하는 과적합을 방지할 수 있고, 모델 훈련 시간도 감소시킬 수 있다. 기온 관련 변수 중 변수 중요도가 높은 16개 변수로 필터링했다.

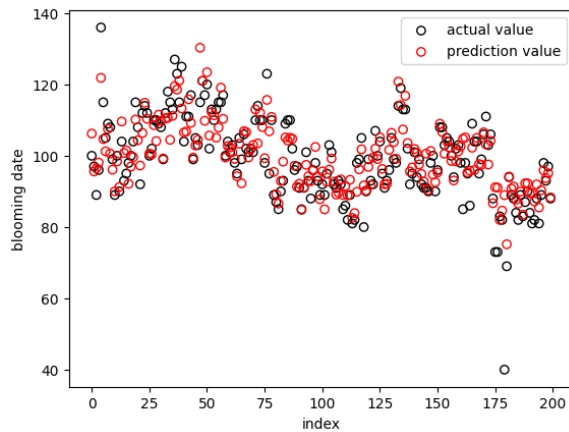
다음으로, <A spatial prediction for the flowering and autumnal dates in Korea> 논문은 2015년 한반도 벚꽃 개화시기 확인 결과, 2월 평균기온, 3월 최저 및 최고기온, 3월 강수량, 3월 일조량이 유의한 변수라고 제시하고 있다.<sup>12</sup> 이를 참고하여 동일한 5개의 변수를 선택했다.

PCA(Principal Component Analysis)는 원래 데이터의 분산을 최대한 보존하는 새로운 축을 찾아 그 축에 데이터를 사영(projection)시키는 차원 축소 기법이다. X변수에서 기온, 강수, 일조시간과 관련된 22개의 변수에 대해 PCA를 적용시켜 차원축소를 진행했다. 7개의 주성분이 전체 데이터의 약 89%를 설명하는 것으로 확인되었다. 이렇게 선택된 3개의 변수셋으로 모델들을 돌려본 결과, full model보다 성능이 떨어져 변수 선택 결과는 사용하지 않기로 결정하였다.

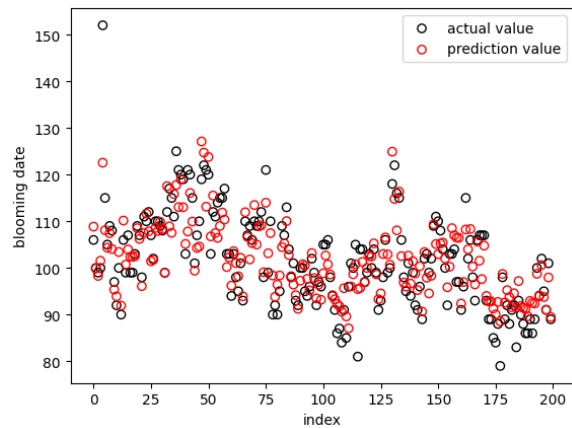
## 3. 하이퍼파라미터 튜닝 후 최종 개화시기 예측 모델 선정

최종 데이터셋으로 RandomForest, LightGBM, Catboost를 python의 optuna 모듈을 통해 하이퍼파라미터 튜닝을 진행하였다. 그 결과, 배꽃 예측에 대한 평균 MAE는 3.466, 복숭아꽃 예측에 대한 평균 MAE는 3.562가 나온 LightGBM을 최종 모델로 선택하여 개화 시기 예측을 진행하였다. 최종 선정된 모델을 통해 나온 개화시기 예측 값과 실제 데이터 값을 비교하여 그래프를 그린 결과는 다음과 같다. 최종의 모델의 예측 값이 실제 데이터의 경향성과 잘 들어맞는 것을 보아 모델의 적합이 올바른 방향으로 진행되었음을 확인했다.

<sup>12</sup> 진향곤, 김상완, 김용구. (2017). 국내 벚꽃 개화 및 단풍 시기에 대한 공간예측. 응용통계연구, 30(3), 417-426.



<그림 11> 복숭아나무 개화시기와 예측 값 비교



<그림 12> 배나무 개화시기와 예측 값 비교

## 4.3 냉해 피해 정량화

### 4.3.1 생산량이 아닌 날씨 정량화에 초점을 맞춘 이유

앞선 이상치 탐지 모형과 개화일 예측 모형을 이용하여 연 평균 냉해 발생 위험을 추정하고 시뮬레이션을 통해 최적의 날씨형 지수를 개발하고자 하였다. 이에 대한 이유는 첫번째, 지구 온난화로 인한 봄철 이상 저온의 강도와 빈도가 점점 강해짐에 따라 보다 정확한 농작물 저온 피해 위험률 정량화에 대한 수요가 증가했기 때문이다. 두번째, 날씨 변화에 따른 재무적 손실을 추정하는 전통적 날씨 보험의 경우, 역선택과 도덕적 해이 가능성, 손해사정의 어려움이 존재하기 때문이다. 따라서, 날씨 변화에 초점을 맞추어 위험률을 추정하고 지수를 개발하고자 한다.

### 4.3.2 기온변화에 따른 시뮬레이션 데이터 생성

각 지역별, 월별, 평균 최저온도의 변화에 의해 변화하는 위험률을 산출하기 위해, 시뮬레이션을 진행하고자 한다. 이는 평균 최저온도에 대한 자료가 존재하지 않음에 기인하고, 시뮬레이션으로 데이터를 먼저 생성한 후, 또 다른 시뮬레이션을 통해 위험률을 산출하고자 한다.

먼저, 데이터는 다음과 같은 알고리즘으로 생성하였다.

- 1) 데이터를 고유한 지역과 월로 나눈다
- 2) 데이터가 계절성과 추세를 가지고 있는 비정상시계열이기 때문에, 나눈 데이터에 대해, 각 변수별로 계절성과 추세를 제거하여 정상시계열로 만든다
- 3) 정상화된 데이터의 변수 간의 상관성을 고려하여, 데이터의 평균과 공분산행렬을 구한 후 다변량 정규분포에 적합한다.
- 4) 적합한 다변량 정규분포에서 한 달 분량(31일)의 데이터를 샘플링한다.

- 5) 샘플링한 데이터를 다시 비정상시계열로 만들기 위해, (2)번에서 제거한 추세와 계절성을 (4)번에서 샘플링한 데이터에 더한다
- 6) 최저온도의 변화를 반영하기 위해, (3) ~ (5)번을 최저기온의 평균에 0.2씩 더해가면서 최종적으로 1이 더해질 때까지 반복한다.

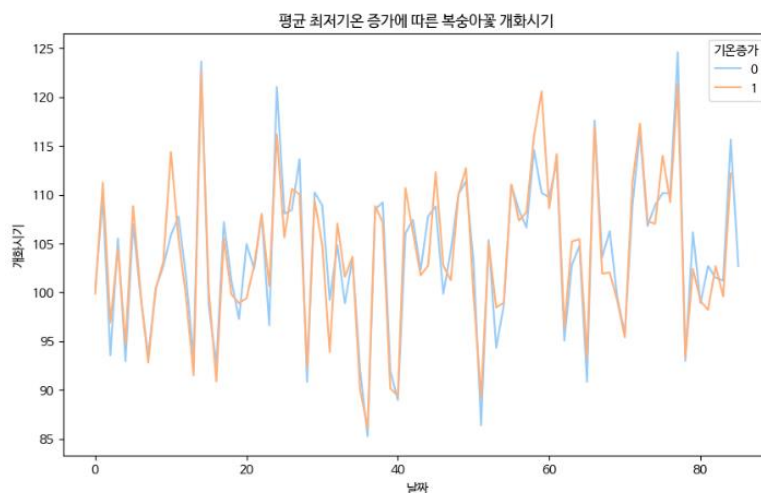
#### <기온 변화에 따른 시뮬레이션 데이터 생성 알고리즘>

(3)번에서 공분산행렬을 추정하기 위해 수축 공분산 추정 방법인 LedoitWolf를 사용했다. 사용한 데이터가 이상치를 포함한 데이터이기 때문에 포트폴리오 최적화 및 리스크 관리에 사용되며 이상치 및 노이즈의 영향을 강건하게 처리할 수 있는 LedoitWolf방법을 사용한 것이다.<sup>13</sup>

#### 4.3.3 시뮬레이션 데이터를 통한 이상치 탐지 및 개화시기 예측

시뮬레이션 데이터를 통해 최적의 날씨형 지수를 평균최저기온 변화를 고려해 개발하고자 한다. 그렇기 때문에, 앞서 구축한 이상치 탐지 모델인 Isolation Forest를 사용해 각 지역 별, 기온 별 데이터의 이상 최저기온을 탐지했다.

그 다음, 시뮬레이션 데이터의 전처리를 진행했다. 데이터를 총 31개를 시뮬레이션 했기 때문에, 각 월에 맞춰 28,31,30일로 일을 수정했다. 또한, 개화시기 예측을 위해 일 단위 데이터를 연 단위로 변환했다. 전처리를 완료한 데이터에 대해, 앞서 구축한 개화시기 예측 모델을 사용하여 각 평균최저기온에 맞춰 모델링을 진행했다.



<그림 13> 평균 최저기온 증가에 따른 복숭아꽃 개화 시기

<sup>13</sup> Olivier Ledoit, Michael Wolf, Improved estimation of the covariance matrix of stock returns with an application to portfolio selection, Journal of Empirical Finance

<그림 13>은 평균 최저기온 증가에 따른 복숭아 꽃 개화시기를 시각화 한 것이다. 여기서 0은 현재 평균 최저기온이며, 1은 현재 평균최저기온에서 평균이 1도 올랐을 때의 결과이다. 그래프의 경향성을 보면, 평균최저기온이 오를수록 개화시기가 빨라지는 것을 확인할 수 있다. 이는 현재 상황의 경향성을 잘 반영했음을 알 수 있다.

#### 4.3.4 봄철 과수 냉해 피해 위험률 산출

안동시 농업 기술센터는 “따뜻한 기온으로 과수원의 개화가 빨라지면 4월 늦서리 발생 시 안정적인 결실이 이루어질 수 없어 생산량에 큰 피해를 입을 수 있다”며 과수의 저온 피해를 설명했다. 이에 착안하여 개화시기보다 더 늦은 시점에 이상 저온이 발생하는 경우 냉해 피해가 발생할 것이라 가정했다.

앞서 적합한 이상치 탐지와 개화일 예측 데이터를 활용해 기상 데이터와 분포적 가정 하에 생성된 데이터에서 저온피해가 발생한 경우를 세어 보았고, 그 결과 지역별 연 단위 봄철 평균 저온 발생 횟수는 다음과 같다.

지역	생성된 데이터	0.2°C 상승 시	0.4°C 상승 시	0.6°C 상승 시	0.8°C 상승 시	1°C 상승 시
밀양	5	2	2	2	3	0
울진	5	4	2	6	4	2
...						
태백	0	0	0	0	0	0
추풍령	0	0	1	1	2	5

<표 14>생성된 데이터에 대한 지역별 봄철 저온 평균 발생 횟수

지역	배 냉해 피해 발생 건수	복숭아 냉해 발생 건수
성산	3	6
대구	4	5
제주	3	4
포항	3	4
부산	3.37	4
서귀포	2	3

<표 15>지역/과수 별 봄철 저온 평균 발생 횟수

## 4.4 지급 준비액 계산 시뮬레이션과 최적화

추정한 이상 저온 발생 건수에 대한 보험금의 지급 규모를 파악하기 위해 추정 값을 바탕으로 시뮬레이션을 진행하였다. 우리의 분석 목적에 해당하는 지수형 날씨 보험의 경우 시뮬레이션을 통해 가격이 결정된다. 이 경우 기온의 움직임을 잘 나타낼 수 있는 통계적 모형을 설정하고, 계수를 추정한다. 앞선 방식과 같이 추정한 지역별 저온 발생 횟수가 포아송 분포를 따른다고 가정한다면, 포아송 분포의 역수를 scale로 가지는 지수분포를 통해서 다음 냉해 발생까지의 대기 시간을 샘플링할 수 있다. 대기 시간을 샘플링한다면 T년까지의 이상저온 발생과 그에 따른 보험금 지급 과정을 시뮬레이션으로 나타낼 수 있다.

보험 지급금의 계산은 다음과 같은 방식으로 이루어진다.

- 보험금 지급액 = (보험금 지급 기준지수 - 실제지수) X (지수당 지급액)
- 최대 지급 보험금 = (보험금 지급 기준지수 - 보험금 지급 한도지수) X (지수당 지급액)

지수 분포 샘플링을 활용한 보험금 지급 시뮬레이션의 알고리즘은 다음과 같다.

1. 기본 설정 단계	① 초기 시간(t)를 0으로 설정 ② 보험 가입자의 수(n) 설정 (연간 가입 수 $\mu$ 와 연간 해지 수 $\nu$ 설정) ③ 보험 청구의 횟수 $\lambda$ 설정 ④ 보험사의 초기 자본금(a)을 주어진 $a_0$ 값으로 설정 ⑤ 보험금= [] # 지급액 기록을 위한 빈 리스트를 생성 ⑥ $rate = join + n * out + n * claim$ ⑦ 지수분포를 따르는 시간(tE)을 생성 $tE = exponential\_random(1 / rate)$
2. 시점 T까지의 보험 시스템 단계	① while 루프: tE가 주어진 T보다 작거나 같을 때까지 반복 ② 현재 자본금(a)을 업데이트 (보험료 수입 추가) ③ 현재 시간(t)을 tE로 업데이트 ④ 보험 가입, 해지 및 보험금 지급의 확률을 계산 ⑤ 1, 2 또는 3을 확률 기반으로 선택 (1: 가입, 2: 해지, 3: 보험금 지급) ⑥ 선택에 따라 보험 가입자 수(n)를 업데이트 ⑦ 보험금 지급이 선택되면, 온도 샘플링 및 보험금 계산 $보험금 = (보험금 지급 기준지수 - 실제지수) \times (지수당 지급액)$ ⑧ 보험금을 지급 및 보험사 자본금(a) 감소 ⑨ 다음 지수분포를 따르는 무작위 시간(tE)을 생성
3. 결과 생성 단계	보험사의 자본금과 평균 지급액 계산 및 반환

본 시뮬레이션에서는 보험가입자를 100, 연간 가입 수  $\mu$ 를 50, 연간 보험 해지 수  $\nu$ 를 10, 보험사의 자본금을 1000, 지수 당 보험금 지급액을 100, 보험료를 20으로 설정했고, 10년간의 보험사의 자본금, 보험금 지급액의 평균을 계산했다. 또한 해당 시뮬레이션을 1000번 발생시켜 보험 지급 금액의 일반적인 규모를 계산하였다.

또한, 보험사의 이익과 보험금의 지급을 최대로 보장하는 최적의 보험금 지급 기준지수와 한도 지수를 정해야 한다. 최적의 지수를 구하기 위해 이상 저온이 발생한 날들의 최저 기온을 5분위수 별로 나누어 후보 지수들을 설정했고, 후보 지수 별로 시뮬레이션을 진행하였다. 이 때, 보험금 추정의 경우, 과수별 주산지 및 올해 저온현상으로 인한 피해가 크게 보고된 진주·천안(배), 춘천·대구·전주(복숭아)의 데이터를 기반으로 진행하였다. 지역별로 지수를 변경해가며 시뮬레이션을 실행하였을 때 보험사의 자본과 지급 보험금을 최대화하는 최적의 값들은 각각 다음과 같다.<sup>14</sup>

지역	기준지수 (°C)	한도지수 (°C)	평균 보험사 자본금 (기본설정값 : 1000)	평균 지급액 (지수 당 지급액 : 100)
진주	-1.7	-6	1203	211
천안	-0.4	-7.4	1371	319
전주	0.66	-4.1	164	236
춘천	0.58	-8.04	1261	380
대구	1.5	-3.48	1320	242

<표16> 시뮬레이션을 통해 구한 최적의 지수와 그 때의 보험사 자본금·평균 지급액

표 16의 경우, 시뮬레이션을 통해 구한 최적의 지수와 그때의 평균 보험사 자본금 및 지급액을 나타낸다. 진주의 경우, 보험 지급액의 기준지수인 -1.7도와 -6도 사이인 경우 평균 211만큼의 보험금이 지급되며, 동일 시점의 보험사 자본금은 1203으로, 초기 자본금인 1000만큼보다 증분을 얻었음을 확인 가능하다.

<sup>14</sup> 보험연구원 2012. 10.31 정책 보고서 지수형 날씨 보험



## 5 관련 산업의 대응 방안

### 5.1 농작물 재해 보험의 현황과 문제점

이처럼 기후 변화로 인한 빈번한 봄철 기온 변화로 인해 과수 농가의 피해가 커지는 상황에서 현재 과수의 손해에 대해 보장해주는 “농작물 재해 보험(과수작물)”이 존재한다. 2001년부터 도입된 농작물재해보험은 농림축산식품부, 삼성화재 등의 민영보험사와 재보험사가 각각 재보험을 통해 위험을 나눠 부담하고 있는 보험이다. 이때 우리의 분석 대상인 봄철 이상 기후로 인한 냉해, 이상 저온, 서리로 인한 피해는 과수작물에서 자연재해로 분류되어 보장 범위에 포함되어 있다.

농업정책보험금융원에서 조사한 전북도내 농가들의 농작물재해 보험 가입현황은 0.9%로 매우 낮은 가입율을 가지는 등, 현재 농작물재해 보험의 가입현황은 미비한데 이는 다양한 이유에 기인한다. 먼저, 정부가 농작물재해보험의 손해율 악화를 이유로 냉해 보상률을 낮추고 보험료에 할증을 올렸기 때문이다. 이는 예측 불가한 자연재해 대비 차원에서 도입된 농작물재해보험의 취지에 맞지 않으며 1년짜리 소멸성 보험이라는 한계 때문에 제 역할을 다하지 못하고 있다.<sup>15</sup> 두번째, 정부의 향후 보험 진행 계획이 구체적이지 못하다. 향후 5년 동안 추진할 기본계획임에도 불구하고 예산확보 계획이나 방안 등의 세부적인 추진계획이 포함되지 않았으며 농민들의 요구사항을 반영하지 않았다는 점이 문제가 되고 있다.<sup>16</sup> 마지막으로, 손해평가사 관리가 허술한 점이 문제로 지적되고 있다. 실제로 업무를 배정하는 보험사에 손해평가사에 대한 정보가 제대로 공유되지 않아 전문성여부를 확인하기 어려우며, 손해평가사마다 언제 피해 조사를 하는 지에 따라 피해율과 보험금이 달라지는 문제도 발생하고 있다.

재보험사 또한 농작물재해보험의 보험 인수를 꺼리고 있다. 봄철 냉해, 여름 집중호우, 태풍 등의 자연재해가 꾸준히 증가함에 따라 2019년 기준, 보험료는 5129억원, 보험금은 8980억원이 지급되면서 순보험료 대비 보험금 지급규모가 1.7배에 달하기도 했다. 보험 사업비 등을 포함하면 실 손해율은 더 늘어난다.<sup>17</sup>

이와 같은 공공정책성 보험을 매년 세금으로 해결하거나 보험사를 통해 상황을 모면하기 보다는 정부, 농업계의 보험료 및 보장에 대한 실질적인 협의나 조정이 필요하다. 따라서 농작물재해보험의 보장의 현실화를 위해 우리의 분석을 근거로 몇 가지 대응방안에 대해 제언하고자 한다.

---

<sup>15</sup> 정희성, 경남일보, 농작물 재해보험 개선 필요성 제기,

<https://www.gnnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=528810>

<sup>16</sup> 장수지, 한국농정신문, 농작물재해보험 둘러싼 동상이몽 ... 한계 다다른 농민들

<http://www.ikpnews.net/news/articleView.html?idxno=49905>

<sup>17</sup> 고영찬, 한국공제보험신문, ‘손실 눈덩이’ 농작물재해보험을 어찌나,

<https://www.kongje.or.kr/news/articleView.html?idxno=1593>

## 5.2 해결방안 및 제언

### - 기온을 활용한 과수재해보험 보장 기준 제언

현 농작물재해보험은 수확량 감소, 작물 피해율에 따라 보상한다. 만약 기온을 기준으로 보상 범위를 설정한다면, 위에서 제시했던 문제점들을 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 저온 및 고온 현상을 반영한 기온에 초점을 맞춘 지수를 기반으로 피해를 측정한다면 보다 객관적인 지표에 따라 보험금 지급이 가능하다. 이러한 지급방식의 장점은 다음과 같다. 첫째, 농민들의 입장에서는 객관적인 기준을 통해 보장받을 수 있고 둘째, 보험사의 입장에서는 농민들의 역선택 및 도덕적 해이를 예방할 수 있다. 세번째로는 위에서 산출했던 위험률을 토대로 지역 별 위험도를 측정한다면 이에 따른 지역 별 요율을 세분화할 수 있다. 지역 별 상이한 기후조건과 주요 재배품목 및 재해 빈도의 차이가 크게 나타나는 만큼 이를 충분히 반영할 수 있을 것이다.<sup>18</sup> 또한, 지역 별 위험도 차이를 정량화 할 수 있기 때문에 지자체와 협력하여 보조금을 지급하는 방식으로, 빈번한 보험금 지급으로 인한 손실을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다. 실제로, 해외에서는 본 분석에서 제시한 방향으로 농작물 재해 보험을 운영하고 있다. 관련한 해외 사례는 다음과 같다.

스페인은 정부와 지자체가 보조금의 형태로 보험료의 일부를 지원하는 동시에 보험사업자 연합체를 통해 농작물보험상품을 늘렸다.<sup>19</sup> 또한 정부와 민영보험사가 공동으로 출자한 보험사업자 연합체인 Agroseguero를 통해 효율적인 농작물재해보험 사업 운영을 하고 있다. 연합체를 통해 보험요율 협의, 손해평가인 관리 등의 절차를 개별적으로 수행하지 않아도 적은 비용으로 사업에 참여할 수 있다. 보험 요율 및 손해평가인은 모두 문제점으로 제시되는 만큼 스페인의 사례를 참고해 효율적인 리스크 관리가 가능할 것으로 보인다.<sup>20</sup>

미국의 경우, 정부가 주도하여 19개 민영보험사가 실제 사업하는 구조이다. 구체적으로는, 미국 농작물보험전담기구(RMA), 연방농작물보험공사(FCIC)와 민영보험사가 재보험 계약을 체결하고 운영하고 있다. RMA는 작물보험의 보험료를 산출, 국가재보험, 손해평가 심사 등을 담당한다. FCIC는 내부적으로 기금을 관리하며, 국내와 달리 기금이 고갈될 경우, 정부의 지원을 통해 충당하고 있다. 우리나라와 달리 미국 작물보험 대상 품목은 76개로 각 품목별 보장 방식에 따라 크게 수량보장, 수입보장, 자산보장 등으로 분류되며 이는 개인, 지역, 혼합형으로 나뉘기 때문에, 가입자는 어떤 보험에 가입할지 자유롭게 선택할 수 있다.<sup>21</sup>

---

<sup>18</sup> 이재홍, 보험신보, 동일한 리스크 정책보험인데도 요율개선 방향은 상반 '혼란', <http://www.insweek.co.kr/57024>.

<sup>19</sup> 김한결, 한국농정, 농작물 재해, 외국 정책은?, <http://www.ikpnews.net/news/articleView.html?idxno=45690>

<sup>20</sup> 김우태, 한국농촌경제연구원, 스페인 농작물재해보험 현황 및 시사점

<sup>21</sup> 이재호, 보험신보, 해외사례로 본 농작물재해보험의 방향<1>, <http://m.insweek.co.kr/57841>

이러한 해외 재해보험과 본 분석의 방향성 및 방법론을 종합적으로 고려하여, 앞으로 악화될 기후변화로 인한 과수 피해를 빅데이터 분석을 통해 더 정량적이고 체계적인 지표를 바탕으로 대응해야 할 것이다.

## 6 시사점

우리의 분석이 가지는 시사점은 다음과 같다. 먼저 평균기온 상승으로 인한 이른 개화시기와 이상 저온을 고려하여 개화기 저온에 취약한 과수를 대상으로 봄철 냉해 위험도를 산출하려 노력했다는 점이다. 두번째, 기온이 단계별로 상승하는 기상 상황을 시뮬레이션을 통해 기온 변화에 따른 개화시기 변화 및 위험도 변동성을 알아보기 위해 노력했다는 점이다. 마지막으로는 앞선 분석에서 끝나지 않고 기온 위험도를 활용하여 과수 재해 보험의 보험금 및 보험료 책정을 위한 가상의 시뮬레이션을 진행하여 보험에 대한 제안을 하는 등의 다양한 접근을 통해서 구체적 실현 위한 노력을 했다.

## 참고 문헌

- 기후환경과학외교국, 2023-03-20, "기후변화에 관한 정부 간 협의체, 제6차 평가보고서 종합보고서 승인", [https://www.mofa.go.kr/www/brd/m\\_4080/view.do?seq=373483](https://www.mofa.go.kr/www/brd/m_4080/view.do?seq=373483).
- <국립농업과학원 기후변화생태과> 장은숙 과장, 허지나 연구사, 기후변화가 농업에 미치는 영향 I, 2019.12.02, <http://www.newsam.co.kr/news/article.html?no=29724>.
- 이병성, "배·복숭아 개화시기 빨라져...저온피해 주의", 2023.03.21, <https://www.agrinet.co.kr/news/articleView.html?idxno=316858>(2023.10.06).
- 동양일보, 2023.04.25, "현장에서/작물 냉해 피해", <https://www.agrinet.co.kr/news/articleView.html?idxno=316858>.
- 김진희, 김대준, 김수옥, 윤은정, 주옥정, 박종선 and 신용순. "봄철 과수 꽃눈 발육 수준에 따른 저온해 위험도 산정" 한국농림기상학회지 21, no.1 (2019): 55-64.
- 기상청 기상자료개방포털, 종관기상관측자료, <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do?pgmNo=36>.
- 기상청 기상자료개방포털, 서리일수자료, <https://data.kma.go.kr/climate/frst/selectFrstChart.do?pgmNo=705>.
- 기상청, 기상자료개방포털, 개화시기자료, <https://data.kma.go.kr/data/seasonObs/seasonObsDataList.do?pgmNo=648>.
- 과수 개화기, 반복되는 저온·냉해 피해 우려 <http://www.newsfm.kr/mobile/article.html?no=7806>
- 과수 개화 시기 평년보다 빨라 늦서리 피해 주의, <http://www.agrinews.co.kr/2705>.
- David N. DeJong, John C. Nankervis, N.E. Savin, Charles H. Whiteman, The power problems of unit root test in time series with autoregressive errors, Journal of Econometrics, Volume 53, Issues 1-3, 1992.
- 농촌진흥청 국립원예특작과학원, 이상기상범위, <https://fruit.nihhs.go.kr/main/onestop/ostplInfo.do>.
- 진향곤, 김상완, 김용구. (2017). 국내 벚꽃 개화 및 단풍 시기에 대한 공간예측. 응용통계연구, 30(3), 417-426.
- Olivier Ledoit, Michael Wolf, Improved estimation of the covariance matrix of stock returns with an application to portfolio selection, Journal of Empirical Finance.
- 고영찬, 한국공제보험신문, '손실 눈덩이' 농작물재해보험을 어찌나, <https://www.kongje.or.kr/news/articleView.html?idxno=1593>
- 정희성, 경남일보, 농작물 재해보험 개선 필요성 제기, <https://www.gnnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=528810>
- 장수지, 한국농정신문, 농작물재해보험 둘러싼 동상이몽 ... 한계 다다른 농민들 <http://www.ikpnews.net/news/articleView.html?idxno=49905>
- 이재홍, 보험신보, 동일한 리스크 정책보험인데도 효율개선 방향은 상반 '혼란', <http://www.insweek.co.kr/57024>.
- 김한결, 한국농정, 농작물 재해, 외국 정책은?, <http://www.ikpnews.net/news/articleView.html?idxno=45690>

김우태, 한국농촌경제연구원, 스페인 농작물재해보험 현황 및 시사점

이재호, 보험신보, 해외사례로 본 농작물재해보험의 방향<1>, <http://m.insweek.co.kr/57841>