

서울날씨데이터 동향 및 분석 (1994~2023)

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

- 기후 변화와 그 중요성에 대한 개요

지구온난화로 인한 기후 변화는 전 세계적으로 심각한 문제로 떠오르고 있으며, 그 중에서도 특히 날씨가 더워지는 현상이 두드러지고 있다. 서울 역시 이러한 기후 변화에서 예외가 아니며, 많은 사람들이 최근 몇 년 동안 여름철 기온 상승을 체감하고 있다. 무더위가 잦아지고 폭염 현상이 늘어나면서, 일상생활에서도 그 변화를 실감할 수 있게 되었다.

- 대한민국 서울 지역의 기후 변화에 대한 분석 목적

서울의 기온 상승에 영향을 미치는 요인들을 분석하고자 한다. 서울의 기후 데이터를 활용하여, 기온 상승이 지구온난화와 어떤 연관성이 있는지, 그리고 그로 인해 발생하는 다양한 환경적, 사회적 영향을 파악하려 한다. 이를 통해 기후 변화 대응 방안을 모색하고, 더 나아가 미래를 대비하는 데 필요한 정책적 시사점을 도출하는 것이 목표이다.

2. 데이터 및 분석 방법

2.1 데이터 설명

- 사용된 데이터 설명 (`seoul_with_atmosphere_after2019.csv`, `seoul_weather.csv`, `seoul_weather_2024.csv`)

Seoul Historical Weather Data (1994 - 2024)

Comprehensive Daily Weather Metrics for Seoul, South Korea

<https://www.kaggle.com/datasets/alfredkondoro/seoul-historical-weather-data-2024>



컬럼명	설명
datetime	날짜 및 시간
tempmax	최고 기온
tempmin	최저 기온
temp	평균 기온
feelslikemax	최고 체감 온도
feelslikemin	최저 체감 온도
feelslike	평균 체감 온도
dew	이슬점
humidity	평균 상대 습도
precip	강수량
precipprob	강수 확률
precipcover	강수량을 커버한 시간 비율
preciptype	강수 유형
snow	적설량
snowdepth	적설 깊이
windgust	최대 순간풍속
windspeed	평균 풍속
winddir	풍향
sealevelpressure	평균 기압
cloudcover	평균 운량
visibility	가시 거리
solarradiation	일사량
solarenergy	태양 에너지
uvindex	자외선 지수
severerisk	위험성
sunrise	일출 시간

<code>sunset</code>	일몰 시간
<code>moonphase</code>	달의 위상
<code>conditions</code>	기상 상태
<code>icon</code>	아이콘
<code>season</code>	계절
<code>year</code>	연도
<code>month_day</code>	월과 일

서울시 기간별 일평균 대기환경 정보

대기 환경지수, 미세먼지, 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스 등의 기간별 일평균 대기환경정보를 제공합니다.
※ Sheet, Openapi 서비스는 최근 1년 이내의 데이터만 출력합니다.

🔗 <https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-2220/S/1/datasetView.do>

컬럼명	설명
<code>측정일시</code>	측정일시
<code>권역명</code>	권역명
<code>측정소명</code>	측정소명
<code>이산화질소농도(ppm)</code>	이산화질소농도(ppm)
<code>오존농도(ppm)</code>	오존농도(ppm)
<code>일산화탄소농도(ppm)</code>	일산화탄소농도(ppm)
<code>아황산가스농도(ppm)</code>	아황산가스농도(ppm)
<code>미세먼지농도(µg/m³)</code>	미세먼지농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
<code>초미세먼지농도(µg/m³)</code>	초미세먼지농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

2024년 서울 날씨 데이터

컬럼명	설명
<code>tm</code>	날짜 및 시간
<code>maxTa</code>	최고 기온
<code>minTa</code>	최저 기온
<code>avgTa</code>	평균 기온
<code>avgTd</code>	이슬점
<code>avgRhm</code>	평균 상대 습도
<code>sumRn</code>	강수량

maxInsWs	최대 순간풍속
avgWs	평균 풍속
maxWd	풍향
avgPs	평균 기압
avgTca	평균 운량
sumGsr	일사량

2.2 분석 방법론

- 사용된 모델 또는 기법 설명 (시각화 방법 포함)





⋮⋮⋮



2.3 데이터 전처리

- 결측치 처리, 이상치 탐지 및 제거 과정
 - Seoul Historical Weather Data(1994~2024) 전처리 내용
 - raw 한 데이터를 가공한 내용
 - datetime 컬럼을 index로 지정
 - name 컬럼은 단일값 'seoul'로 되어 있음으로 drop
 - 중복된 14 row drop (datetime 중복 확인)
 - 2024-01-01 row drop (2024년은 하루만 존재함으로 제외시킴)
 - tempmax, tempmin, temp, feelslikemax, feelslikemin, feelslike, dew의 값들을 섭씨로 변경(2022 이후의 값들은 섭씨로 되어 있어서 변경 조치 제외)
 - 분석을 위해 season 컬럼(values: 'Spring', 'Summer', 'Autumn', 'Winter') 추가
 - 분석을 위해 year 컬럼(datetime에서 year만 추출) 추가
 - 분석을 위해 month_day(datetime에서 %m-%d만 추출) 추가

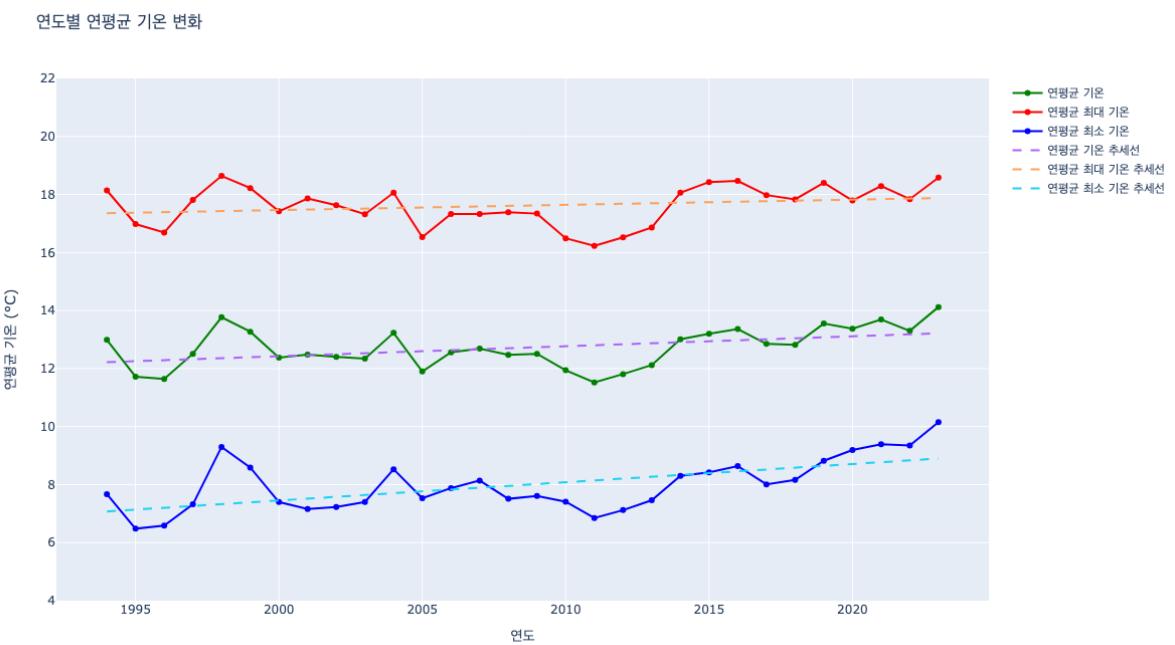
- 2024년 온도데이터 추출
 - 공공데이터 포털에 들어가 2024년 최신 날씨 데이터가 있는지 확인
 - 오픈 api 활용가이드를 참고해서 인증키를 발급 받은후 데이터를 요청해서 2024/09/22까지 데이터.
 - kaggle 데이터를 기준으로 속성을 맞추기 위해서 각각의 파일의 컬럼을 비교 후 삭제 및 이름 수정

- 서울시 기간별 일평균 대기환경 정보

- Seoul Historical Weather Data(2019~2023)의 데이터(전처리가 되어있는 데이터)를 datetime으로 merge
- 분석에 필요한 `['NO2(ppm)', 'O3(ppm)', 'CO(ppm)', 'SO2(ppm)', 'temp']` 이외에 컬럼 drop

3. 연도별 기온(temp column) 동향 탐색

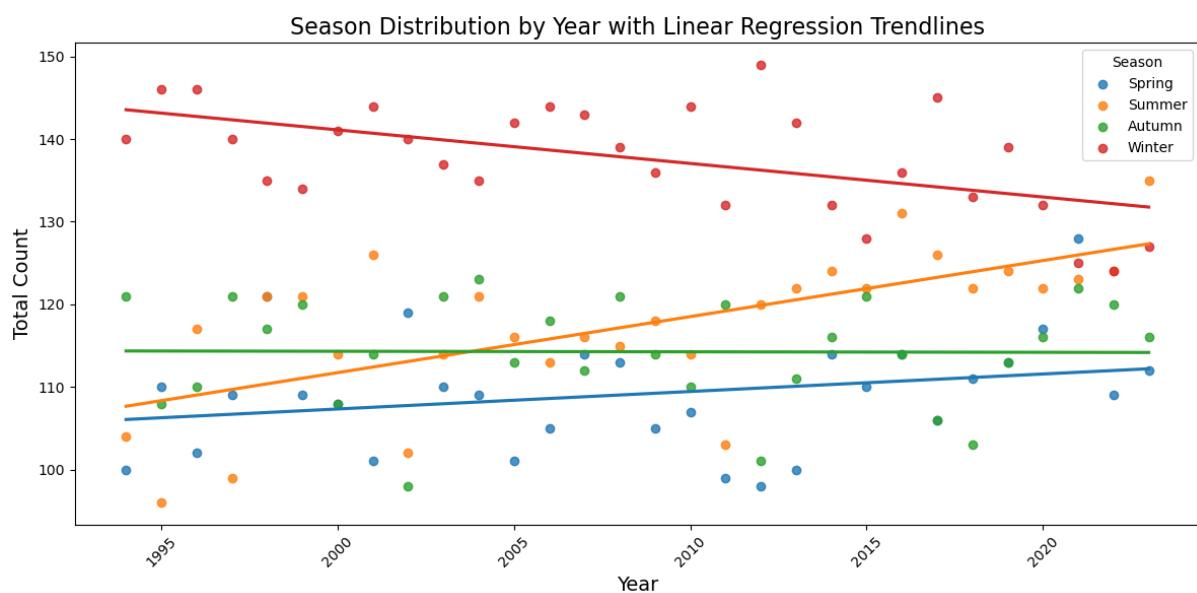
3.1 연평균 기온 측정



- 기온 데이터 ['temp', 'tempmin', 'tempmax']
 - 분석 : 30년간의 데이터이기에 평균값을 내서 값의 변화를 간단하게 확인해보고자 했다.
평균기온이 전체적으로 점점 오르는 추세라는 것을 확인할 수 있었다.

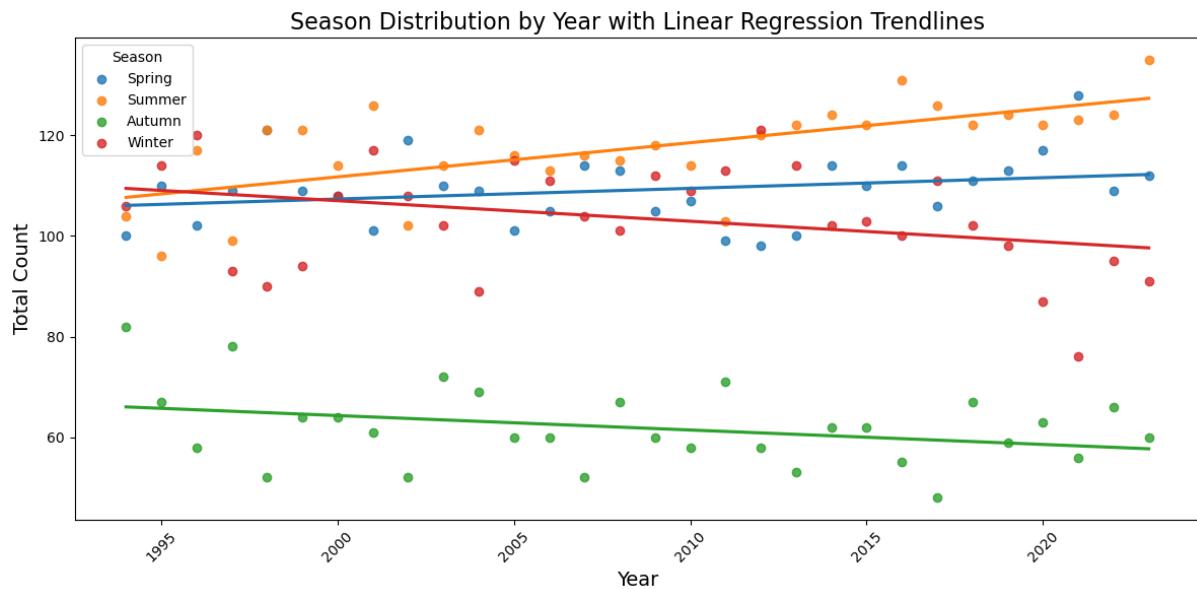
3.2 온도별 계절 분류 후 추세 확인

- ChatGPT의 온도 기준
 - 봄 : $5^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$
 - 여름 : $20^{\circ}\text{C} \sim$
 - 가을 : $5^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$
 - 겨울 : $\sim 10^{\circ}\text{C}$

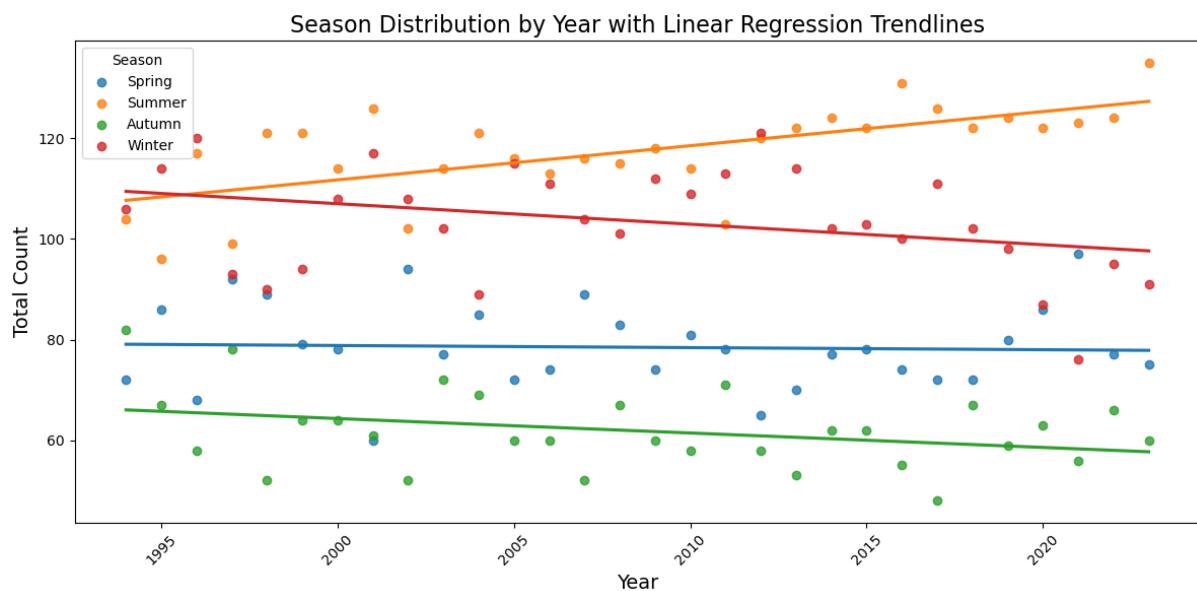


- 동아일보의 기사 기준(1979년 서울대 교수)
 - 봄 : $5^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$
 - 여름 : $20^{\circ}\text{C} \sim$
 - 가을 : $5^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$

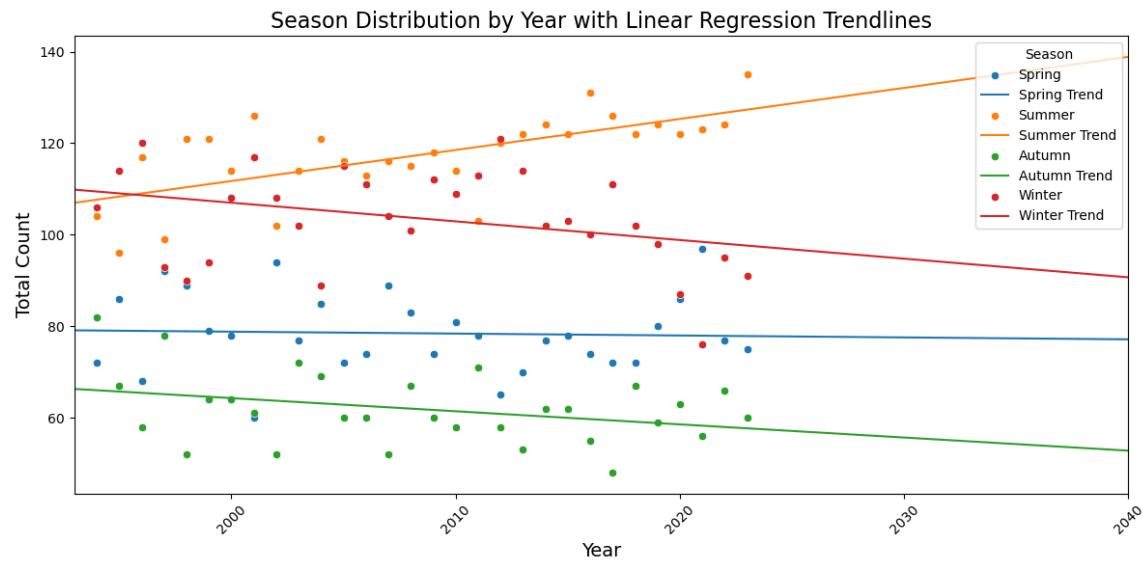
- 겨울 : $\sim 5^{\circ}\text{C}$



- 겹치는 온도가 없게 재설정
 - 봄 : $5^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$
 - 여름 : $20^{\circ}\text{C} \sim$
 - 가을 : $5^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$
 - 겨울 : $\sim 5^{\circ}\text{C}$



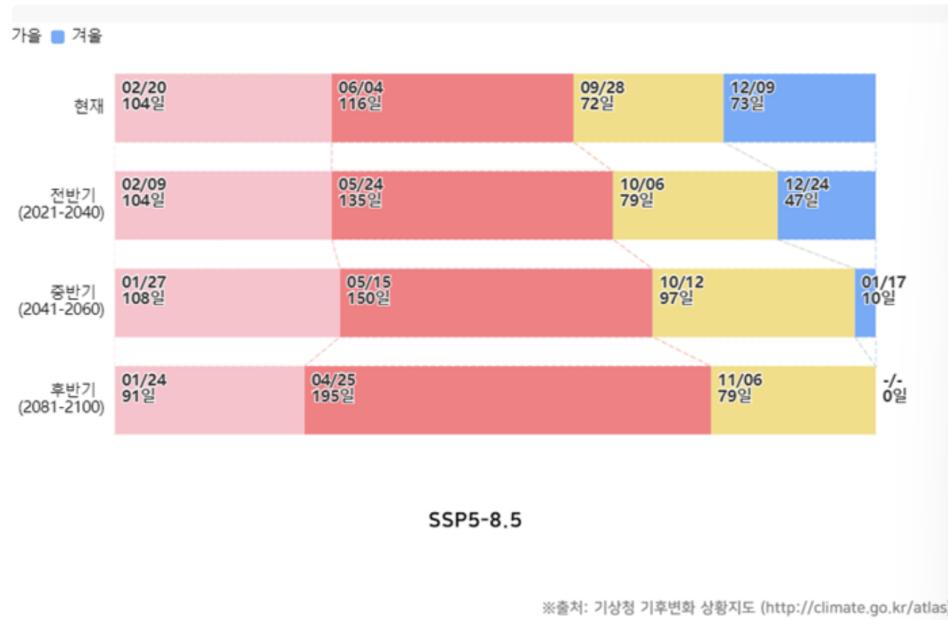
- 추세선을 연장해본 그래프



- 분석 : 시간이 지날수록 여름은 길어지고 겨울은 짧아지는 경향이 확인되었다. 또한 기상청은 2040년에 여름이 약 135일에 이를 것으로 예측 하였으며, 데이터 분석에서도 여름이 약 140일에 이를 것으로 예측되었다.

<https://news.kbs.co.kr/news/pc/view/view.do?ncd=8032224>

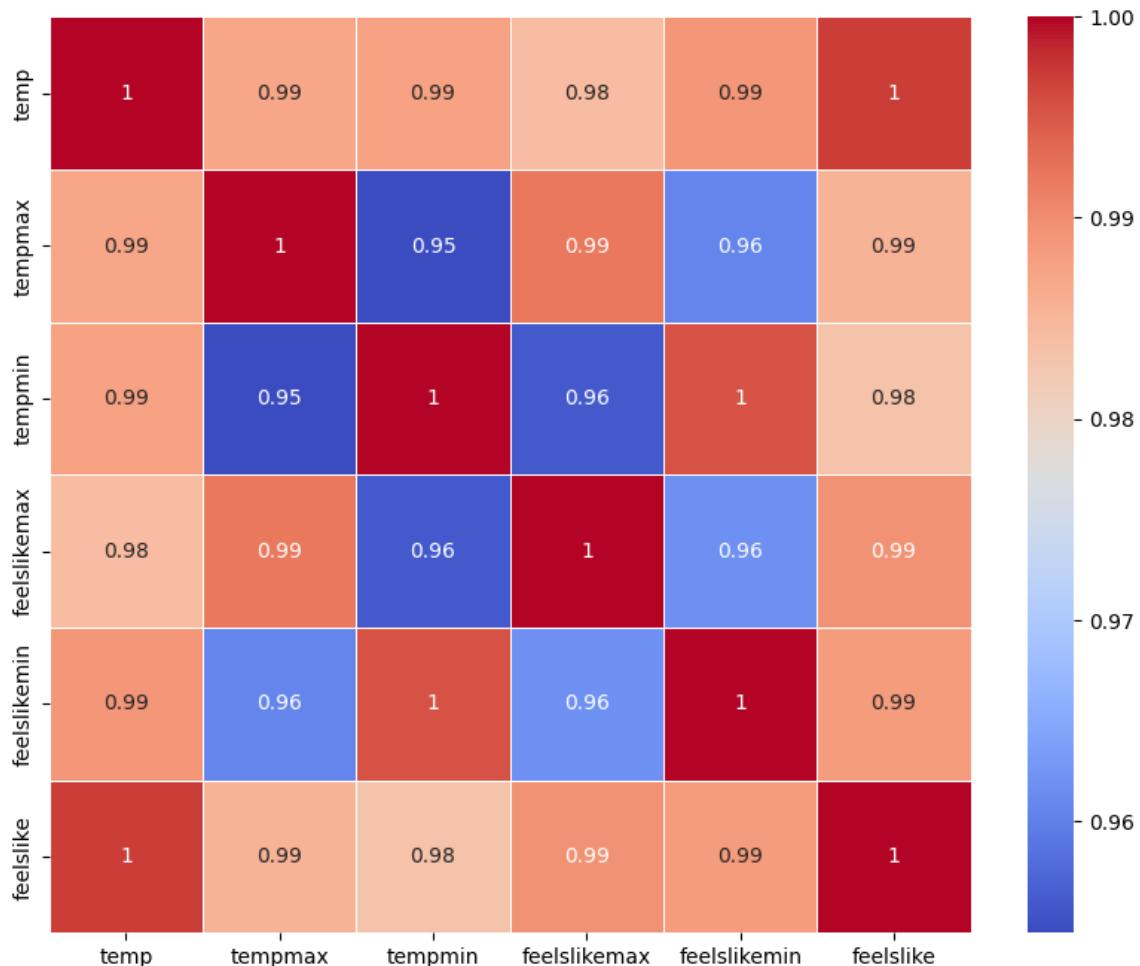
■ 이대로면 한해 절반이 여름…남부지방은 '겨울 소멸'



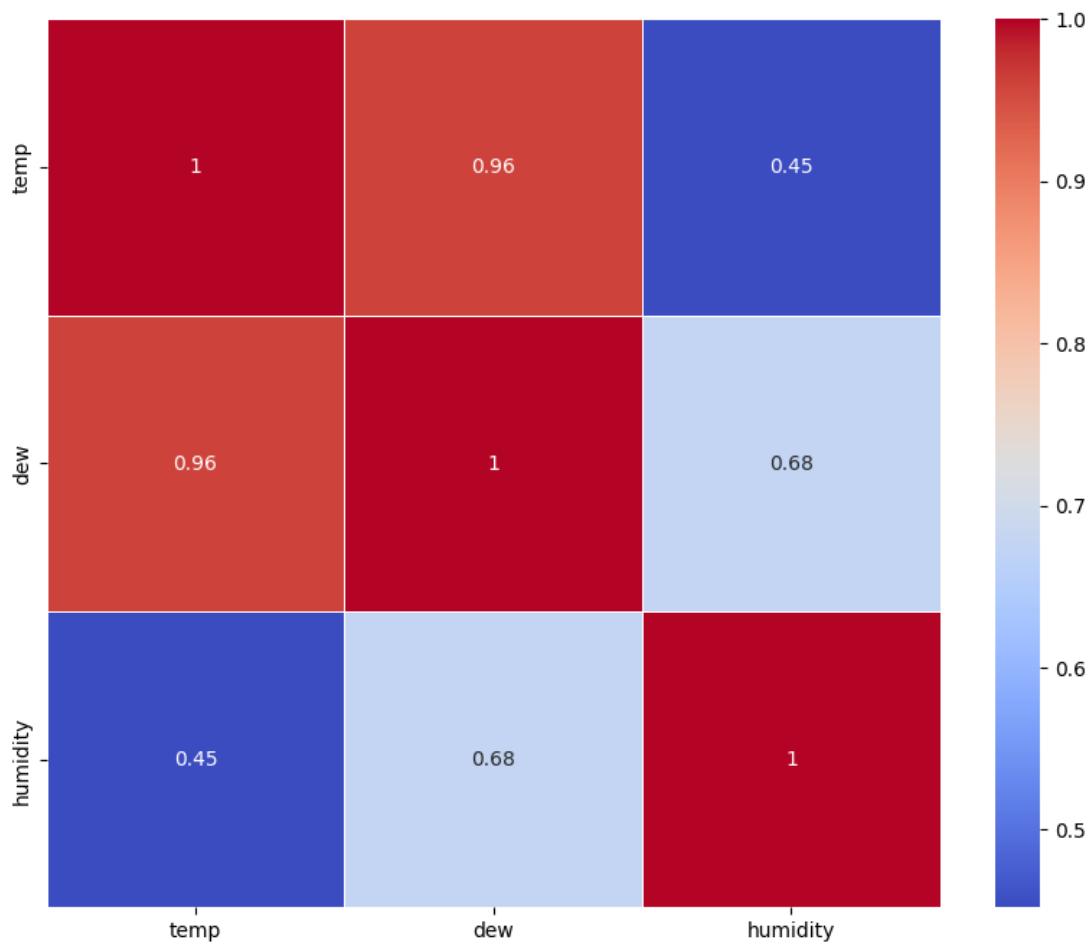
이러한 추세 분석을 바탕으로, 앞으로 기온 변화에 영향을 미치는 요인들을 예측하고자 한다. 이를 통해 여름과 겨울의 길이에 영향을 주는 다양한 환경적, 기후적 요인들을 파악하고, 기온 상승의 주요 원인들을 밝혀낼 수 있을 것이다.

3.3 기온(temp)와 상관관계

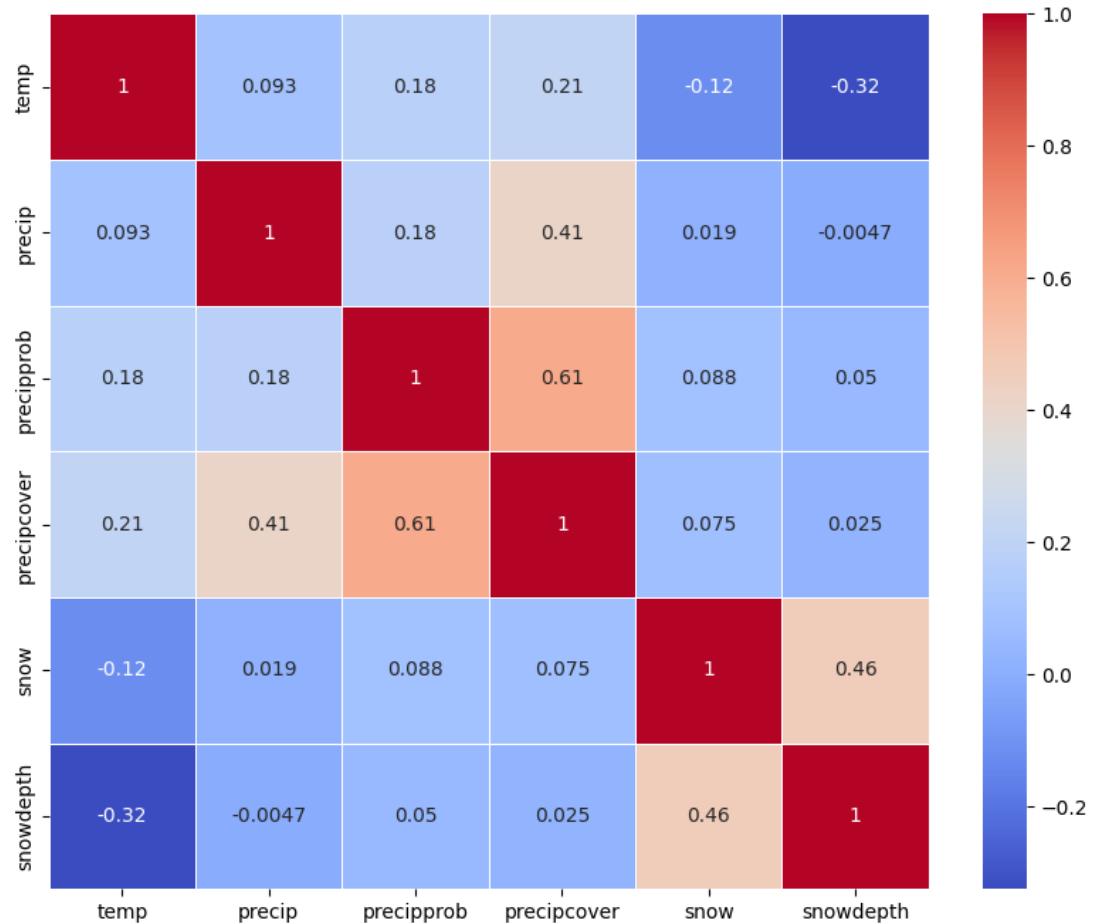
- temp 와 기온관련 컬럼들의 상관관계



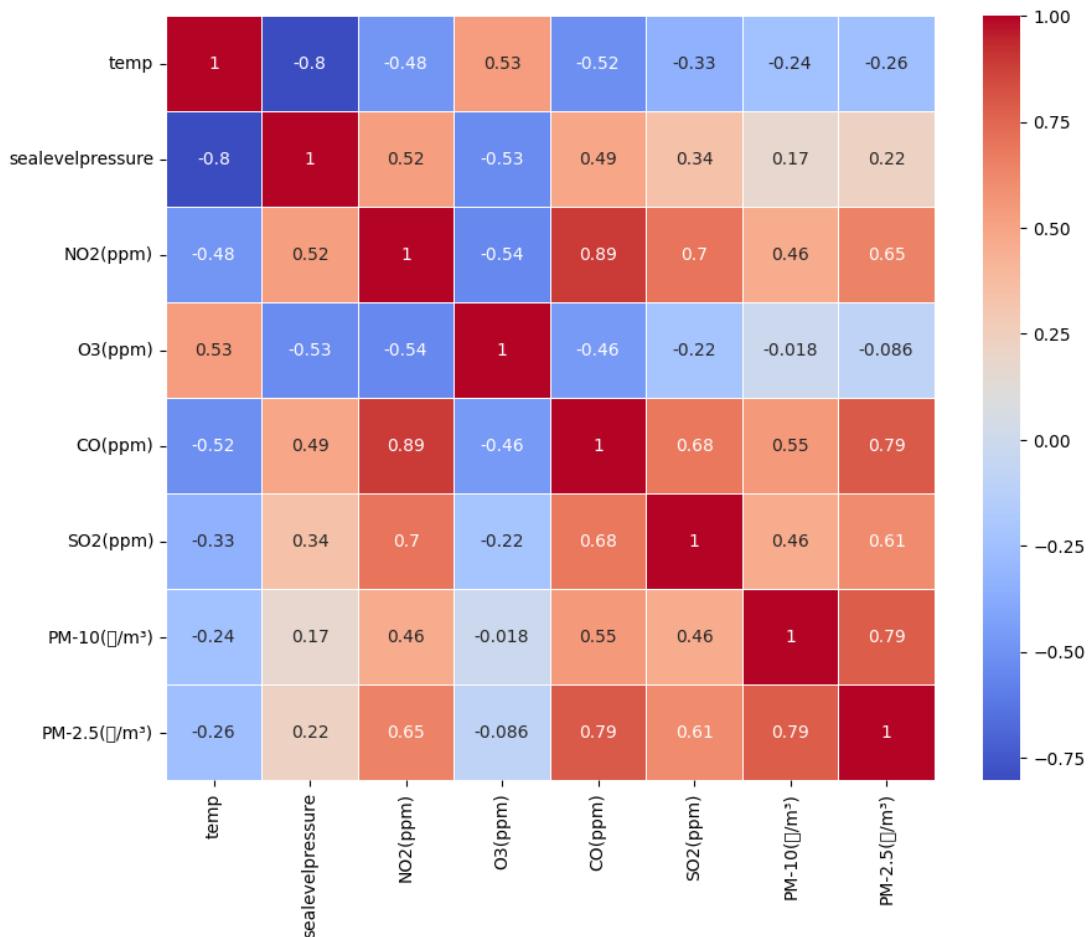
- 분석: 최고기온, 최저기온, 체감기온들은 높은 양의 상관관계를 보였으나, 기온에 영향을 준 요소로 판단하기 보다 기온에 영향을 받은 결과적 요소로 분석됨.
- temp 와 습도관련 컬럼들의 상관관계



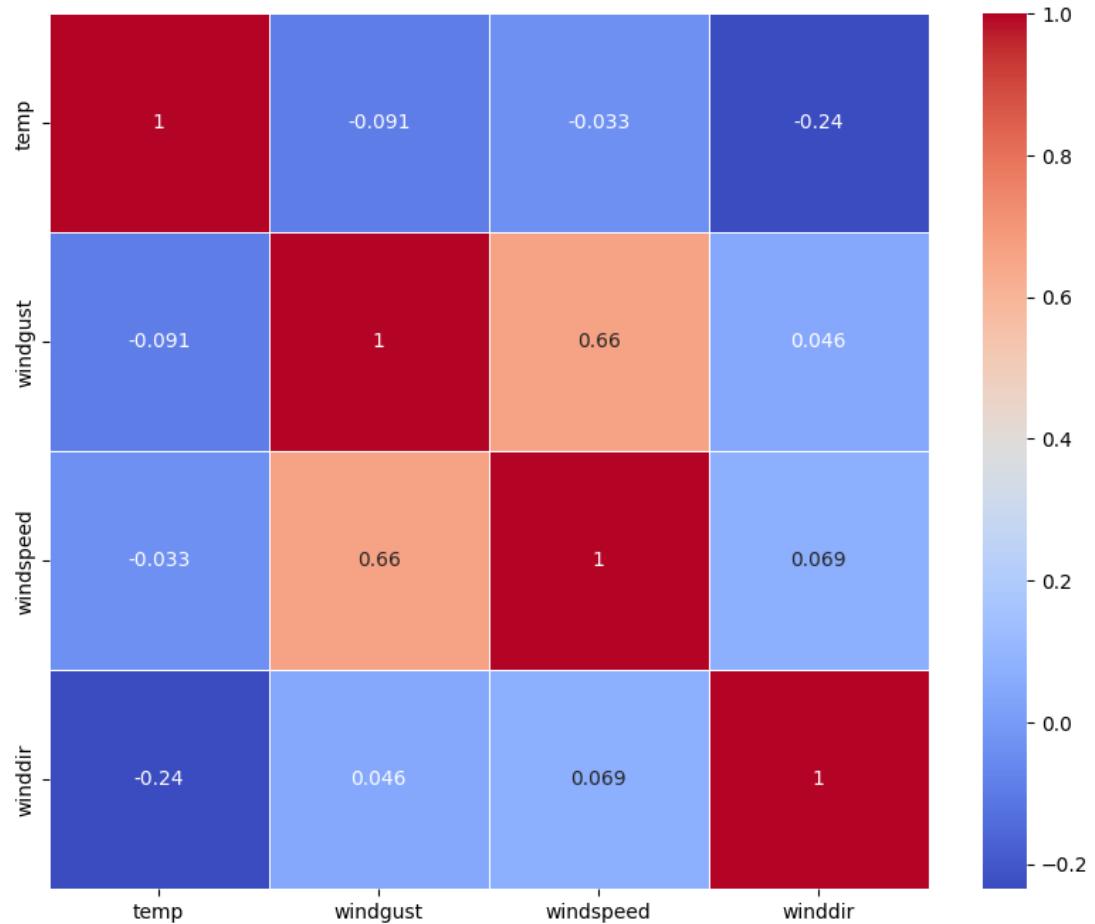
- 분석: 이슬점(dew)과 습도(humidity) 모두 상관관계가 높은 것으로 보였으나, 기온이 높고 습도가 높으면 이슬점이 결과적으로 높아지는 상관관계를 보여줌.
- temp 와 강수량 컬럼들의 상관관계



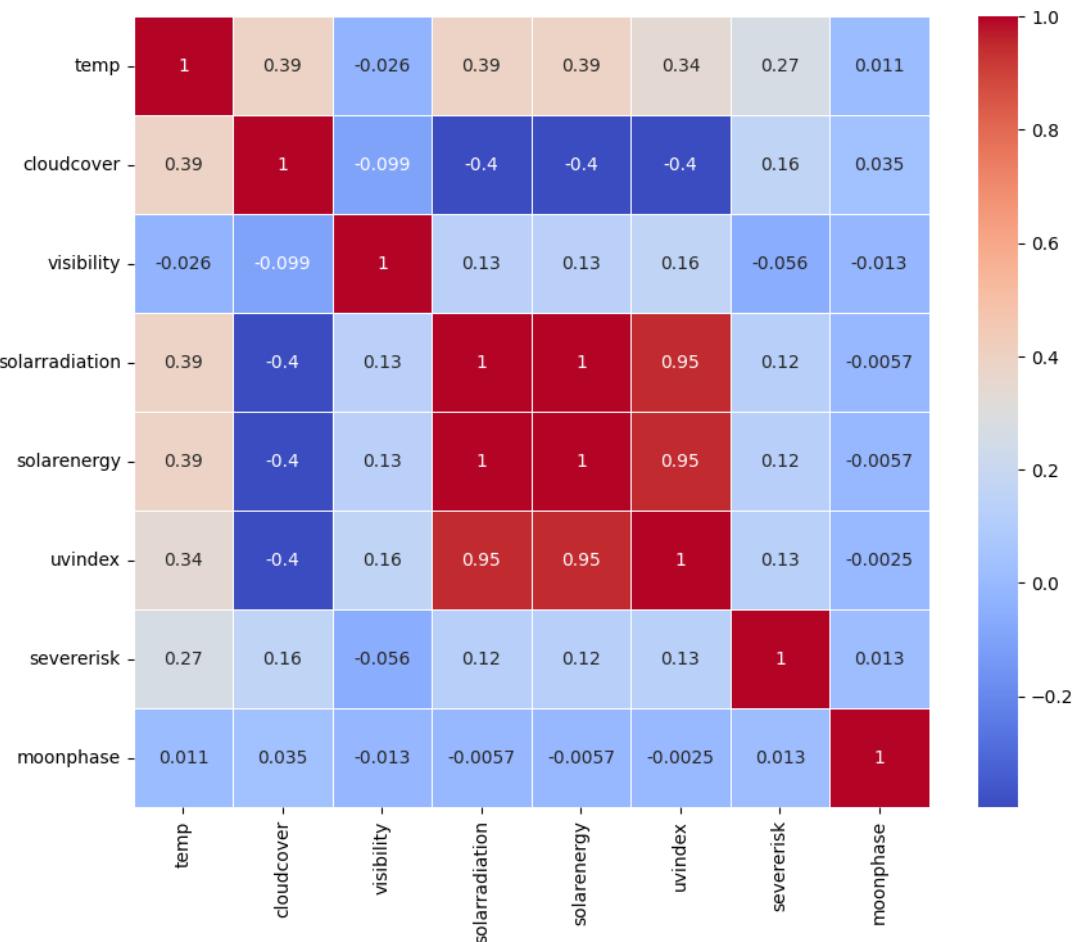
- 분석: 강수량의 요소들과 기온과의 상관관계는 상대적으로 다른 요소들에 비해 낮은 상관관계를 보여줌.
- temp 와 대기요소들의 상관관계



- 분석: 해발기압(sealevelpressure), 질소(NO2), 일산화탄소(CO2)는 비교적 기온과의 높은 음의 상관관계를 나타내며, 오존(O3)은 비교적 높은 양의 상관관계를 보여줌.
- temp 와 바람요소들의 상관관계



- 분석: 바람의 요소들과 기온과의 상관관계를 다소 낮은 상관관계를 나타내며, 바람방향(winddir)은 값이 각도(degree)를 나타낸 값으로 상관관계를 분석하기에 부적합한 값으로 상관관계값이 낮게 나온것으로 판단.
- temp 와 태양관련 요소들간의 상관관계



- 분석: 태양관련 요소들과 기온과의 관계 중 구름(cloudcover), 태양복사(solarradiation), 태양에너지(solarenergy), 자외선지수(uvindex) 이 상대적으로 높은 양의 상관관계를 보여줌.
추가로 태양복사, 태양에너지와 자외선 지수는 기온과 높은 양의 상관관계를 보여주며, 구름과는 다소 높은 음의 상관관계를 보여줌.

3.4 기온 및 체감온도

앞선 상관관계 맵에서 볼 수 있듯이 기온(temp)과 체감온도(feelslike)은 1이라는 상관계수를 갖는다.

기온과 우리가 느끼는 기온의 값의 비교이기 때문에 약간의 차이만 존재하고 변화의 흐름은 동일하다.

- 연평균 기온 및 체감온도

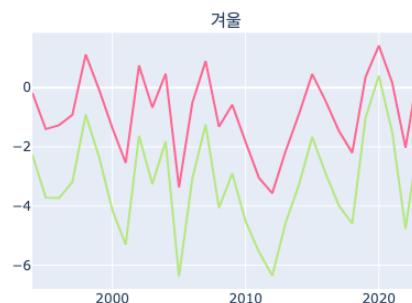
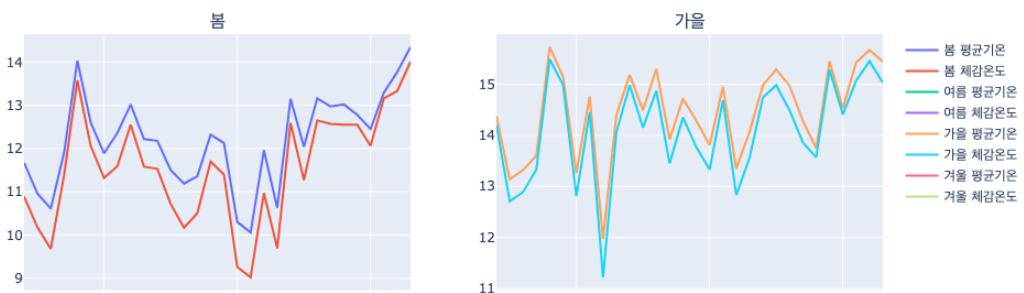
평균기온 & 체감온도



- 분석 : 연평균 값으로 비교한다면 체감온도가 전반적으로 기온보다 낮다. 여름을 제외한 계절은 대체적으로 체감온도가 기온보다 낮은가? 라는 생각을 해볼 수 있겠다.

- 계절별 기온 및 체감온도

계절별 평균기온 & 체감온도



- 분석 : 계절별로 확인해본다면 기온과 체감온도의 차이가 여름 & 겨울 >> 봄 & 가을인 것을 확인할 수 있다. 또한, 여름을 제외한 계절은 전부 체감온도가 기온 보다 낮음을 확인할 수 있었다.

기후 변화로 인해 온도가 상승하거나 날씨 패턴이 변하면 습도, 바람, 태양 복사 등의 요소도 변화할 수 있다. 이는 체감온도에 직접적인 영향을 미친다.

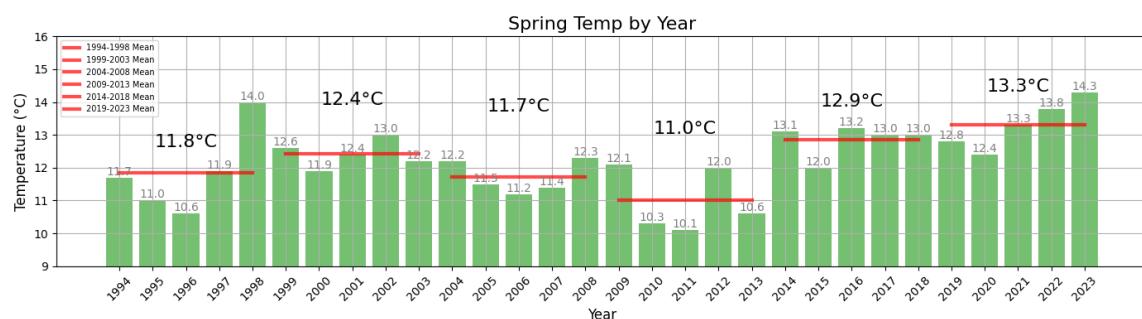
예를 들어, 습도가 높아지면 여름철 체감온도가 실제 온도보다 훨씬 더 높아질 수 있으며, 겨울철 바람 강도가 증가하면 체감온도가 실제 온도보다 더 낮게 느껴질 수 있다.

4. 기후 변화 가설 및 요인 분석 결과

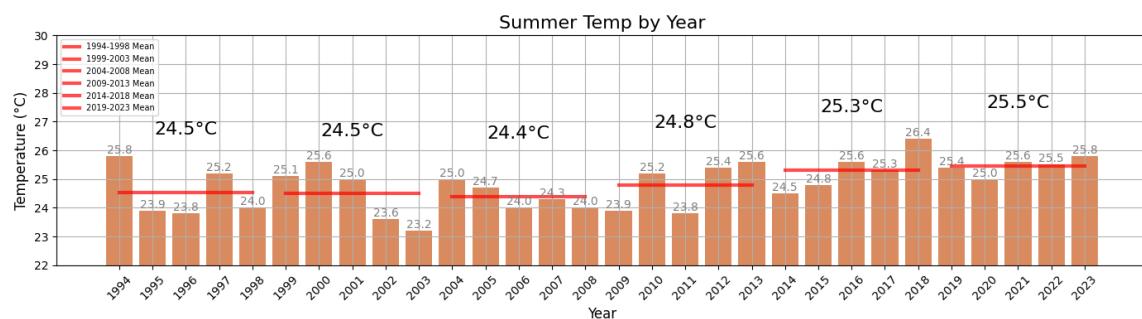
[가설1] : 계절별 기온은 상승추세일 것이다.

5년 단위별 평균기온

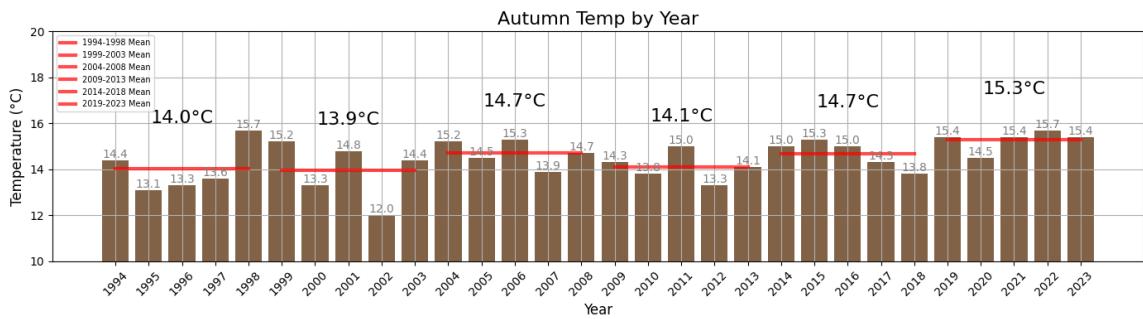
- 년도별 봄의 평균기온 & 5년 단위별 평균 기온



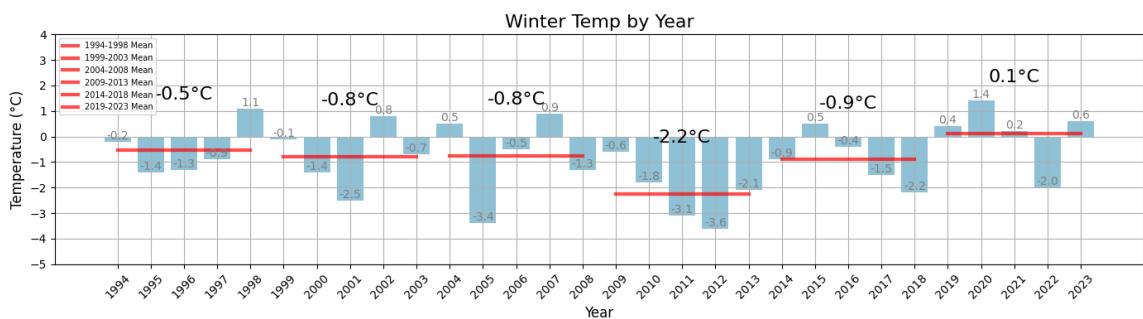
- 년도별 여름의 평균기온 & 5년 단위별 평균 기온



- 년도별 가을의 평균기온 & 5년 단위별 평균 기온



- 년도별 겨울의 평균기온 & 5년 단위별 평균 기온



- reference code :

<https://www.kaggle.com/code/charles01dev/seoulhistoricalweathereda?scriptVersionId=198466095&cellId=76>

서울의 연평균 기온 그래프(1994~2023년)를 5년 단위로 분석, 각 시기별로 기온에 영향을 미친 주요 요인 분석(참고 링크 : SpringerLink)

- 1994~1998년:

- **기후 변화와 초기 산업화:** 1990년대는 전 세계적으로 산업화가 급속히 진행되던 시기였으며, 온실가스 배출량이 크게 증가. 이로 인해 서울의 기온도 전반적으로 상승세를 보였음. 특히, 산업화로 인한 대기오염과 열섬 효과가 서울의 기온에 영향을 줌. 1997년 아시아 금융위기로 인한 경제적 침체가 에너지 소비를 일시적으로 줄였으나, 전반적인 기온 상승을 막지는 못했음.

- 1999~2003년:

- **도시화 및 열섬 효과:** 이 시기 동안 서울의 도시화가 더욱 가속화되었고, 열섬 효과가 심화되었음. 대규모 아파트 단지와 도로 건설이 활발히 진행되며 도시 내 온도를

높였음. 특히 2003년은 역사상 가장 더운 해 중 하나로 기록되며 기후 변화의 심각성을 알렸음.

- **2004~2008년:**

- **기후 패턴과 에너지 소비 증가:** 2000년대 중반은 한반도의 기후가 비교적 안정된 시기였으나, 2007년과 2008년의 강력한 북극 진동과 라니냐 현상이 기온 하락에 영향을 줬다. 이러한 자연적인 기후 현상들이 일시적으로 온도를 낮추었으나, 도시화의 지속적인 영향을 막지는 못했음.

- **2009~2013년:**

- **북극 진동 및 기후 변화:** 2010년대 초반에는 북극 해빙 감소와 중위도 대기의 변화로 인해 서울을 포함한 한반도에서 기온 변동성이 증가. 특히 2010년 이후, 극지방의 이상 고온 현상과 그로 인한 대기 순환 변화가 기온 변화에 큰 영향을 줬다. 기온상승에 따라 계절을 나누는 기준일수가 변경되어 상대적으로 봄, 겨울의 평균온도 감소 추세.

- **2014~2018년:**

- **열섬 효과 심화:** 2010년대 중반은 서울의 도시화가 극대화된 시기였으며, 이로 인해 열섬 효과가 더욱 두드러짐. 고층 건물과 아스팔트 포장으로 인해 도시 내 열이 축적되어 기온 상승을 유도. 또한 2016년은 전 세계적으로도 역사상 가장 더운 해 중 하나로 기록되었음.

- **2019~2023년:**

- **전 세계적 기후 변화 가속화:** 2019년 이후, 전 세계적인 기후 변화의 가속화로 인해 서울의 기온도 빠르게 상승. 기후 변화로 인한 이상 기온 현상과 함께 2022년과 2023년은 기록적인 폭염과 높은 기온을 기록했음. 이 기간 동안 탄소 배출과 에너지 소비는 계속해서 증가했으며, 열섬 효과 역시 기온 상승에 기여했음.

'열섬 효과'란?

*열섬 효과(Urban Heat Island, UHI)**란 도시 지역의 온도가 주변 농촌 지역보다 현저히 높아지는 현상을 의미합니다. 이 현상은 주로 대 도시에서 나타나며, 도심 지역에서 열이 더 많이 발생하고 축적되기 때문에 발생합니다. 열섬 효과는 다음과 같은 요소들로 인해 발생합니다

[가설2] : 대기환경의 데이터($\text{NO}_2(\text{ppm})$, $\text{O}_3(\text{ppm})$, $\text{CO}(\text{ppm})$, $\text{SO}_2(\text{ppm})$)에 따라 온도의 변화가 있을 것이다.

- NO₂(ppm) : 질소산화물 농도

온도가 상승할 때, 질소산화물 농도가 감소할 수 있습니다. 이는 고온에서 질소산화물이 다른 반응을 통해 분해되거나 변환될 수 있기 때문입니다.

- O₃(ppm) : 오존 농도

오존은 태양 광선과 결합하여 형성되므로, 일반적으로 온도가 높은 여름철에 오존 농도가 증가할 수 있습니다. 대기 안정성과도 관련이 있습니다.

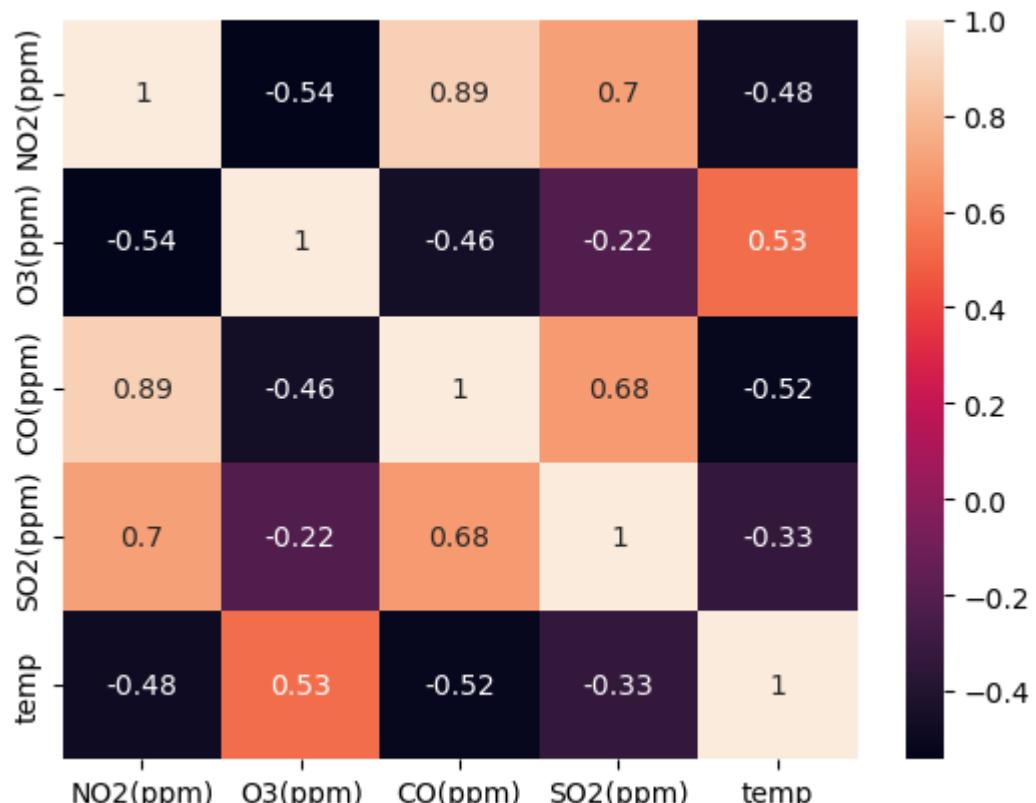
- CO(ppm) : 일산화탄소 농도

일산화탄소는 교통 배출에 크게 의존하는 오염 물질로, 온도가 낮을 때 특히 겨울철에 대기 중에 축적될 가능성이 높습니다. 추운 날씨에 더 많이 배출되며, 낮은 온도에서는 축적되기 쉽습니다.

- SO₂(ppm) : 이산화황 농도

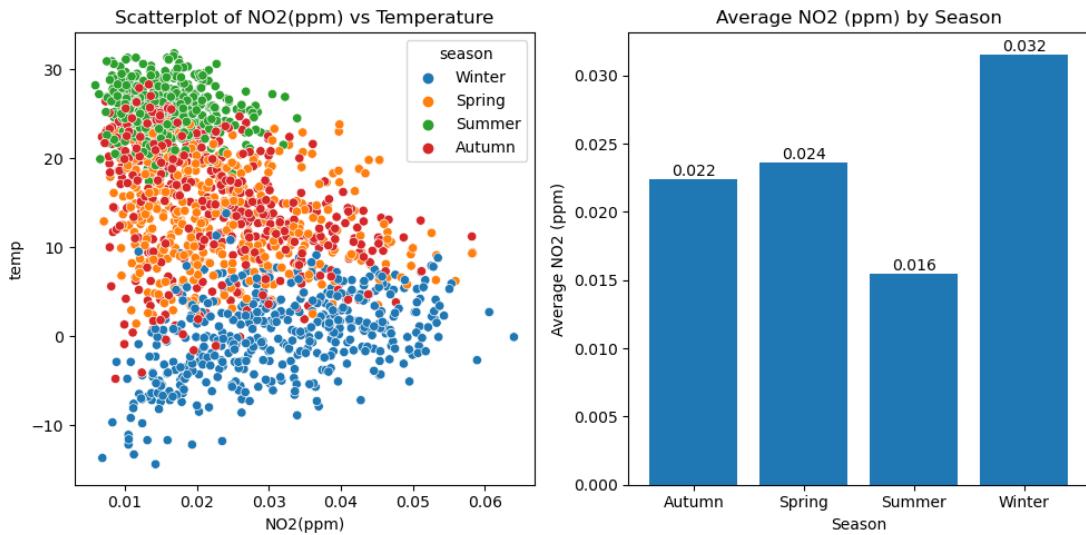
이산화황은 주로 화석 연료의 연소에서 발생하는데, 온도가 낮을 때 연료 소비가 증가할 수 있어 농도가 높아질 수 있습니다.

- temp 와 상관관계 분석



데이터 정보를 참조하여 시각화 진행

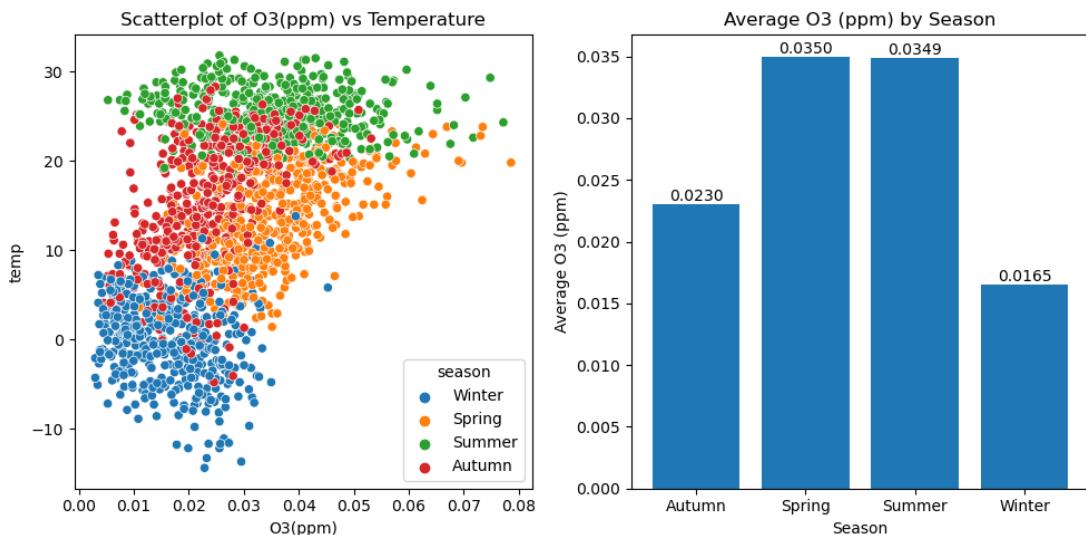
- NO₂(ppm) : 질소산화물 농도



→ 온도가 높은 여름에 질소산화물 농도 감소

- 분석 : 질소산화물 농도가 감소하면 온도가 증가할 수 있다.

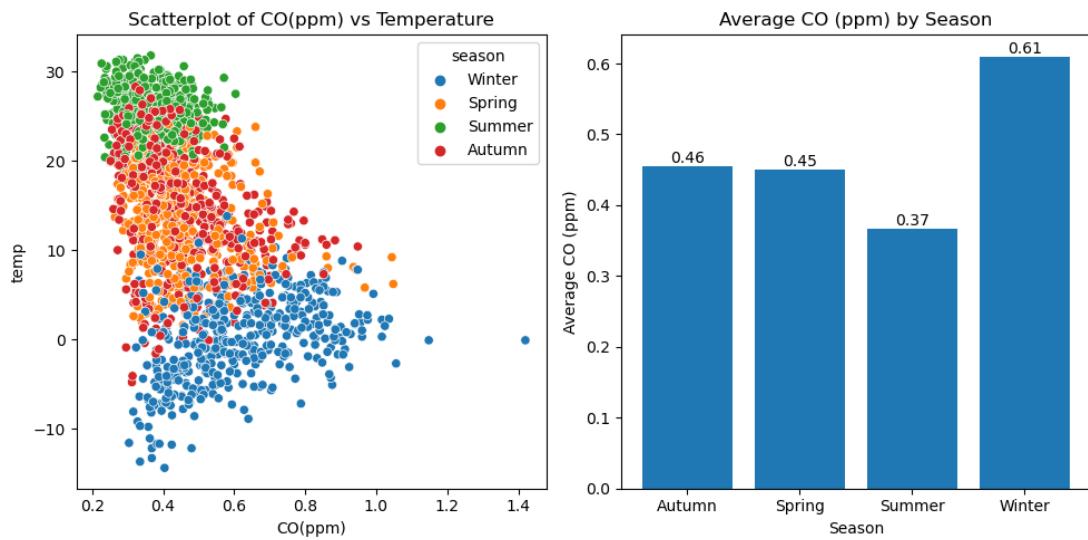
- O₃(ppm) : 오존 농도



→ 온도가 올라가는 계절인 봄, 여름에 오존농도 증가

- 분석 : 오존의 농도가 증가하면 온도가 증가할 수 있다.

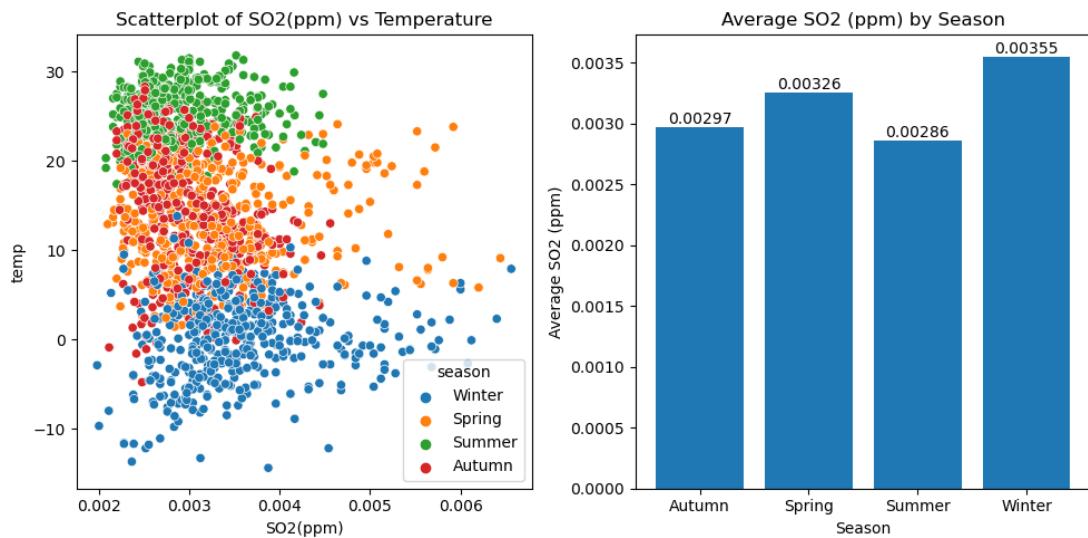
- CO(ppm) : 일산화탄소 농도



→ 온도가 낮은 겨울에 일산화탄소 농도 증가

- 분석 : 일산화탄소의 농도가 증가하면 온도가 감소할 수 있다

- SO₂(ppm) : 이산화황 농도



→ 온도가 낮은 겨울에 이산화황 농도 증가

- 분석 : 이산화황의 농도가 감소하면 온도가 증가할 수 있다.

- **질소산화물(NO_x) 농도 감소:** 온도 상승은 대기 중 질소산화물 농도를 줄일 수 있다. 이는 높은 온도에서 대기 오염물질의 화학적 반응 속도가 빨라지기 때문이며, 특히 여름철에는 대기 중 산화제로 작용하는 오존과 반응하여 질소산화물이 분해될 수 있다.
- **오존(O_3) 농도 증가:** 온도가 상승할 때 오존 농도는 일반적으로 증가한다. 온도가 높아 질수록 오존 생성에 필요한 광화학 반응이 활발해지며, 질소산화물과 휘발성 유기 화합물이 핫빛과 반응하여 오존을 형성하게 된다. 따라서 온도 증가가 오존 농도 상승과 연결될 수 있다.
- **일산화탄소(CO) 농도 감소:** 온도 상승이 일산화탄소 농도를 줄일 수 있다. 이는 높은 온도에서 완전 연소가 촉진되어, CO 대신 이산화탄소(CO_2)로 전환되는 비율이 높아지기 때문이다.
- **이산화황(SO_2) 농도 감소:** 온도 상승은 이산화황 농도를 낮추는 경향을 보인다. 이는 SO_2 가 고온에서 산화되어 황산(H_2SO_4) 등 다른 화합물로 전환되기 때문이다. 또한 고온에서는 대기 중 확산이 빨라져 농도가 희석될 가능성이 크다.

결론: 온도 증가에 따라 질소산화물, 일산화탄소, 이산화황의 농도는 감소하는 경향을 보이며, 반면 오존의 농도는 증가한다. 이는 고온 환경에서 일어나는 대기 화학 반응과 관련이 있으며, 특히 오존 농도의 증가는 대기질 악화와 관련될 수 있다.

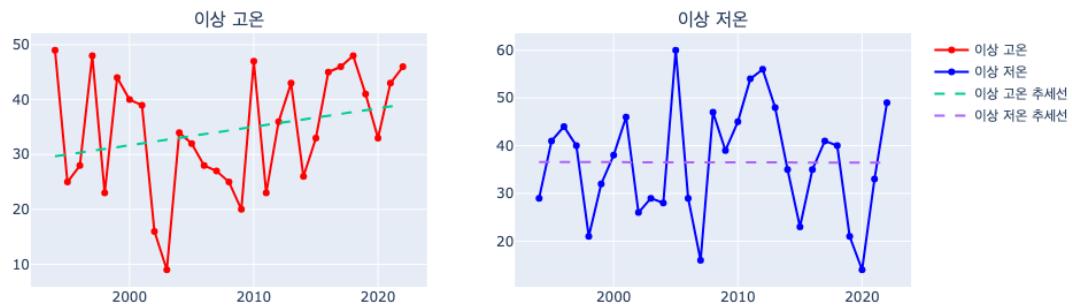
[가설3] 연평균 기온이 올라감에 따라 이상 기후가 자주 관측될 것으로 보인다.

이상 기후란? 기상청에서 평년에 비해 현저히 높거나 낮은 수치를 나타내는 극한 현상으로 이 상저온은 최저·최고기온 10퍼센타일 미만, 이상고온은 90퍼센타일 초과로 정의한다.

- 연도별 이상 기온 추세 확인(10%)

이상 고온(90퍼센타일) : 25.7도 초과 / 이상 저온(10퍼센타일) : -1.9도 미만

이상기후 추세



- 분석 : 평균 기온 값이 오르는 추세인만큼 이상 고온값도 많이 발견될 것이라고 가정했는데 가정과 동일하게 2000년대 초반 잠시 주춤 하다가 이상 고온이 많이 등장하는 걸 알 수 있었다.

이상 저온 값은 변동 폭이 매우 큰 것으로 확인됐고 특별한 특징을 찾지 못했다.

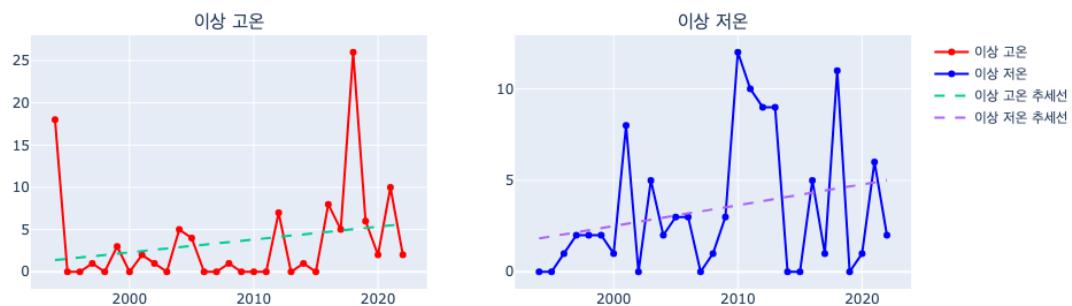
표를 보다보면 이상 기후에 해당하는 날이 굉장히 많다는 것을 알 수 있다. 한국은 사계절이 뚜렷한 나라이다 보니 상위 10% 하위 10%에 해당되는 날이 많은 것으로 생각된다.

그래서, 좀 더 극한의 상황을 확인하기 위해서 1퍼센타일 값으로 변경했다.

- 연도별 이상 기온 추세 확인(1%)

이상 고온(99퍼센타일) : 29.6도 초과 / 이상 저온(1퍼센타일) : -8.8도 미만

이상기후 추세



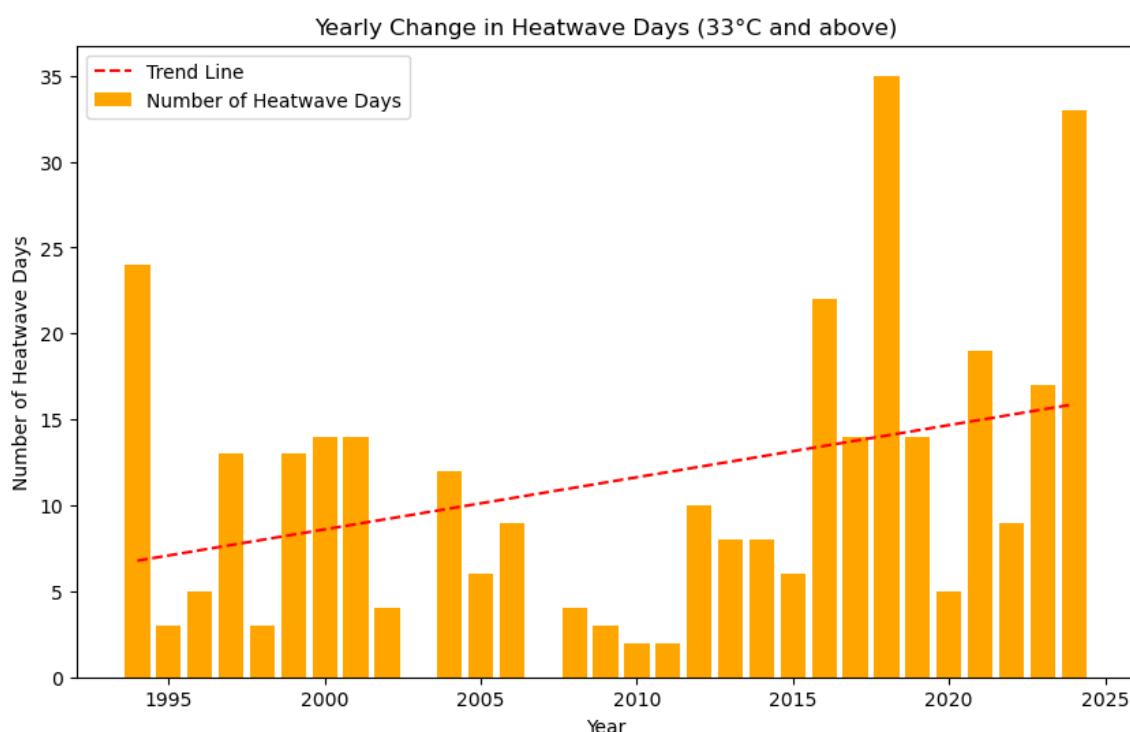
1퍼센타일로 값을 변경하니 기상청의 한파(-12도) / 폭염(33도)의 온도 기준에 가까워졌다.

- 분석 : 이상 저온에서도 급격히 올라가는 추세를 확인할 수 있었다. 1퍼센타일 값으로 변경해보니 시간이 지날수록 이상 기후의 횟수가 늘어남을 뚜렷하게 확인할 수 있었다. 즉, 극한의 기후 상황이 많이 늘어났고 이에 따라 기후 변화가 진행되고 있음을 예측해볼 수 있다.

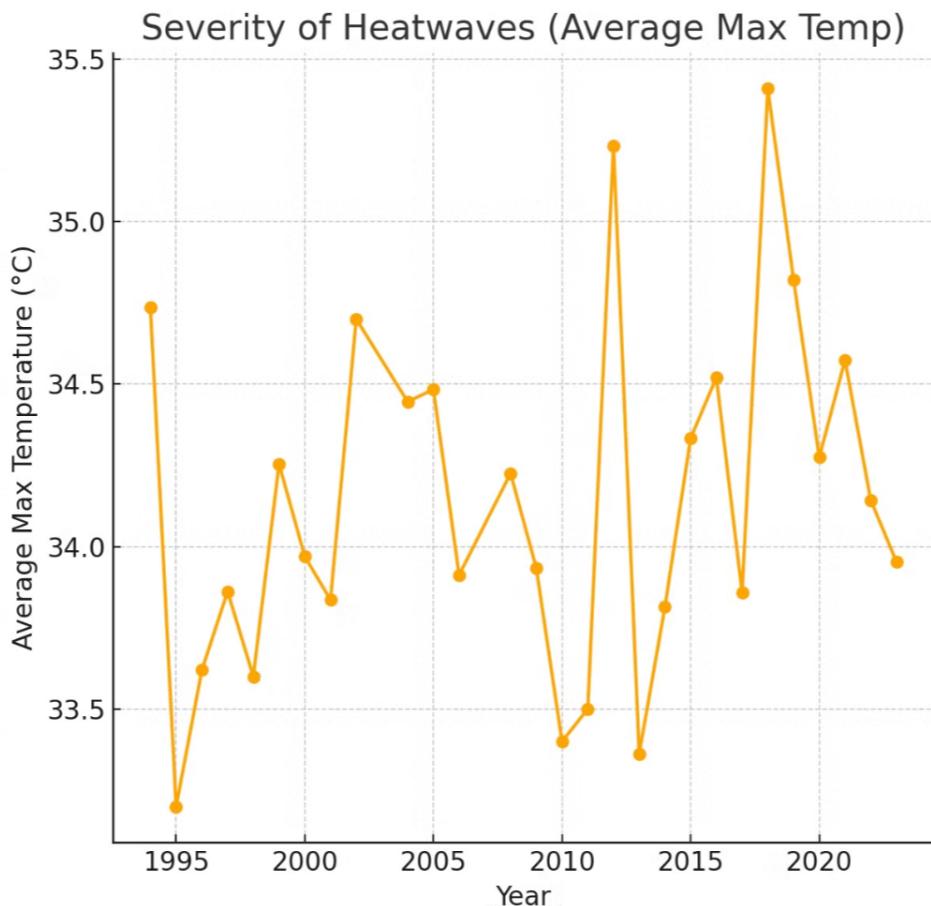
[가설4]: 폭염일 수가 늘어나고 폭염일 동안에 최고 기온도 상승할 것이다.

서울에서 나타나는 이상 기후 중 하나인 폭염을 중심으로 살펴보았다. 폭염은 일 최고기온이 33°C 이상인 날들을 의미한다.

- 연도별 폭염일 일수 (최고 기온 33°C 이상의 날을 필터링)



- 분석 : 기상청의 기준인 일 최고기온이 33°C 이상인 날을 필터링하여 나온 연도별 분포를 보면 최근 10년 동안 폭염인 날이 증가하고 있는 추세이고, 2018년과 2024년에는 각각 35일, 33일로 기록적인 폭염을 확인할 수 있다.
- 폭염일 동안의 최고 기온

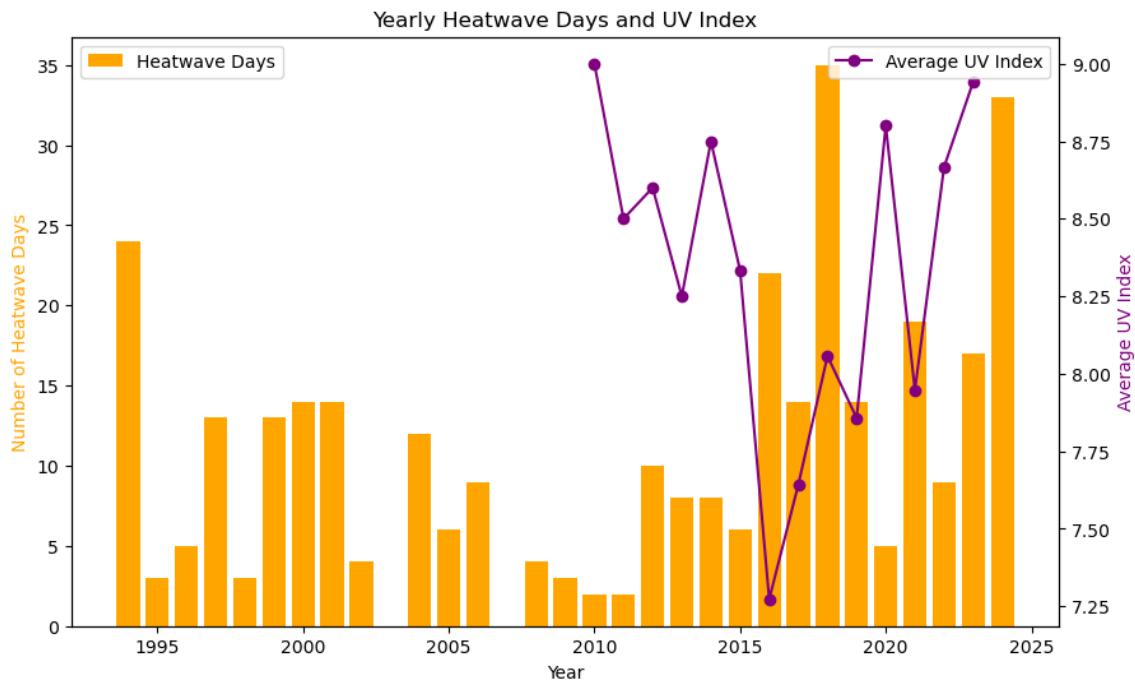


- 분석 : 폭염 동안의 평균 최고 기온 기준으로 보면 최고 기온 역시 점점 높아지는 것을 알 수 있다.

폭염일 동안 다른 여러 요소들의 변화

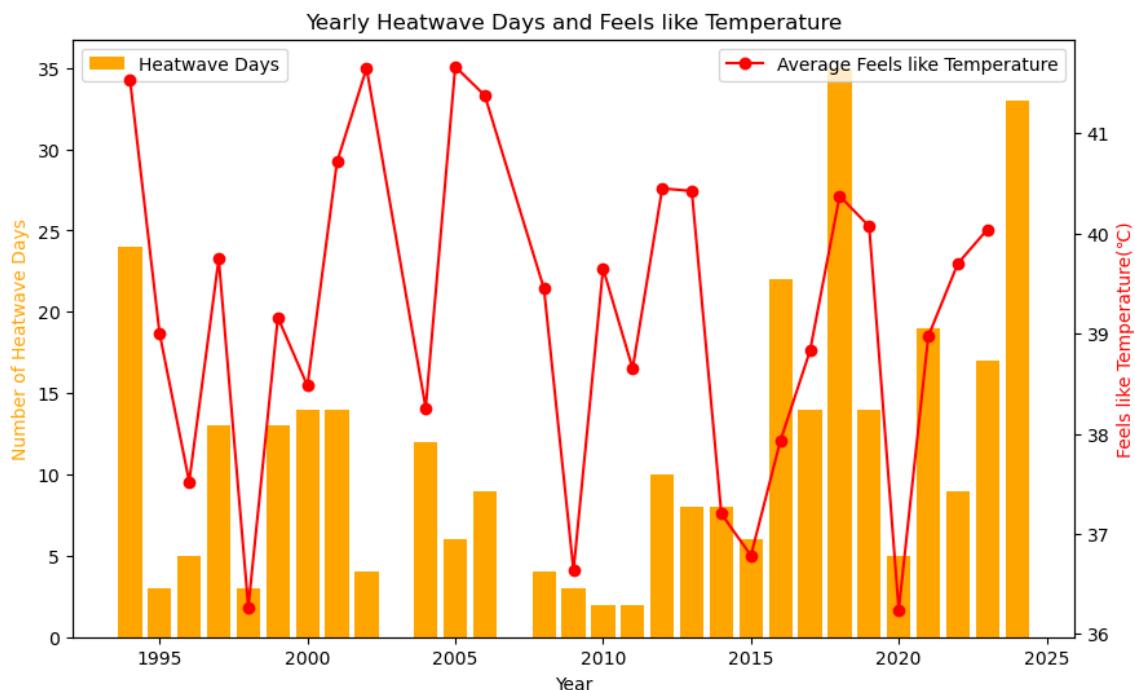
폭염일 동안에 다른 여러 기후적 요소들은 어떻게 변화하는지 영향을 주고 받는지 분석하였다.

- 자외선 지수의 변화



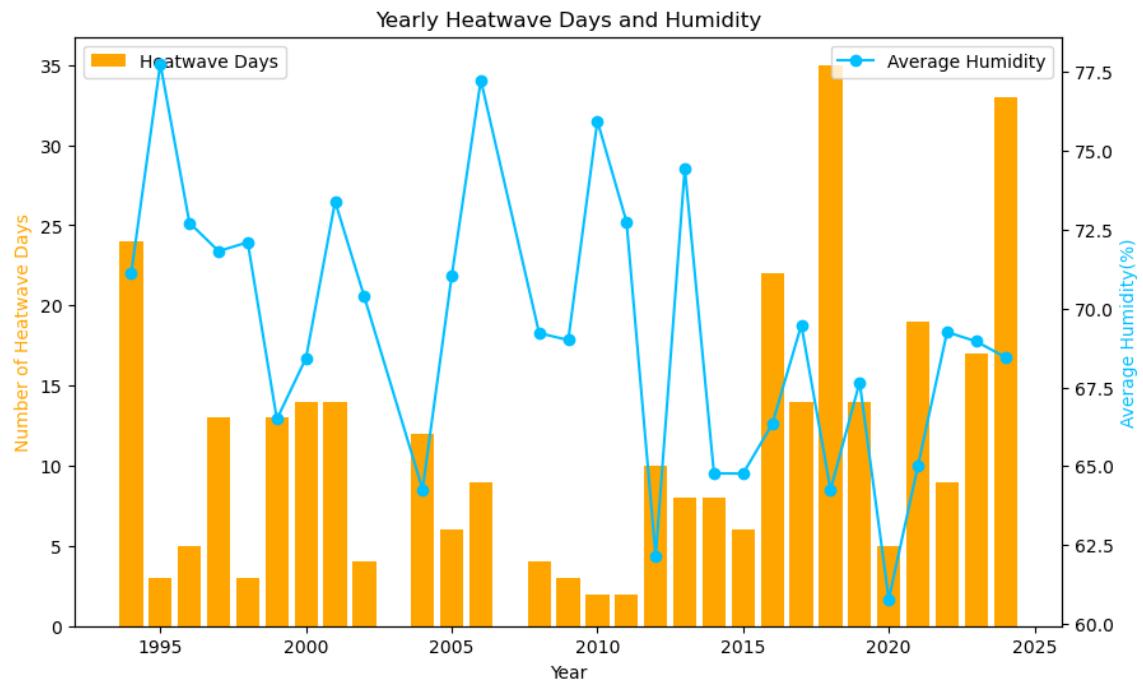
- 분석 : 자외선지수의 데이터가 있는 2011년부터 반영하였다. 전체적으로 우상향 추세로 가고 있다. 폭염이 심화될수록 자외선지수도 상승할 것으로 보인다.

- 체감온도의 변화

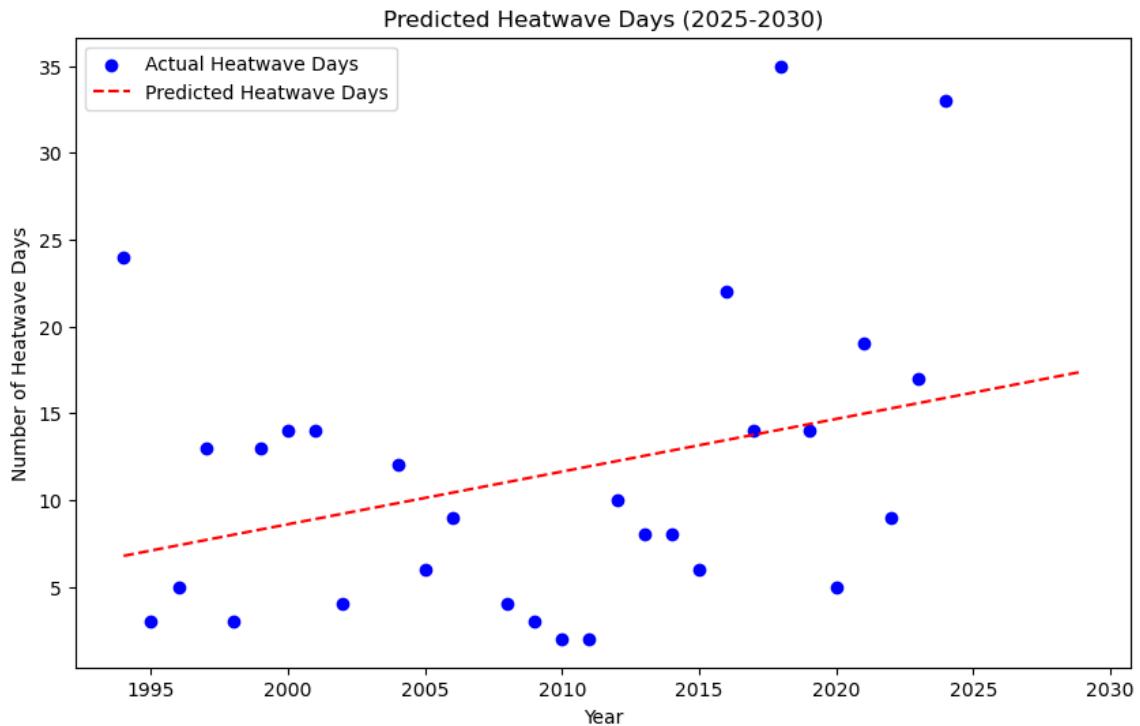


- 분석 : 폭염일 동안 체감온도는 어떤 일정한 패턴을 찾기는 어렵다.

- 습도의 변화



- 분석 : 폭염일 동안에 습도는 폭염일이 많은 해일수록 낮은 습도를 보인다.
- 폭염 추세



- 분석 : 선형 회귀 모델로 예측한 폭염일 수의 추세이다. 빨간색 점선으로 표시된 바와 같이 완만한 상향 직선의 형태를 띠며 폭염일 수가 2025년부터 서서히 상승할 것으로 예측된다.

5. 미래 기온 예측

5.1 예측 모델 설정

- Prophet을 이용한 기온 및 외부 요인(탄소 배출량, 자외선 지수, 습도 등) 분석 방법

주요 특징:

- 비정상적인 데이터 처리에 강함:** 결측치가 있거나, 데이터가 불규칙한 경우에도 잘 작동.
- 자동으로 추세와 계절성을 모델링:** 데이터에서 일관된 추세(trend)와 계절성 (seasonality) 패턴을 감지하고 학습.
- 휴일 및 이벤트 효과 반영 가능:** 사용자가 추가적인 이벤트나 공휴일 정보를 제공하면, 이를 바탕으로 데이터에 영향을 미치는 이벤트 효과를 모델에 포함시킬 수 있음.
- 인터랙티브 시각화 제공:** 모델이 학습한 데이터의 추세와 계절성을 시각화.

5. **빠른 모델링**: Prophet은 빠른 속도로 모델을 구축하고 예측할 수 있으며, 적은 양의 데이터에도 효과적.

Prophet의 작동 방식

Prophet은 **가법 모델**을 기반으로 시계열 데이터를 예측합니다. 모델의 기본 구조는 다음과 같다:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon t y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon t$$

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon t$$

각 항목의 역할:

- $g(t)$: **추세(Trend)** - 시간에 따른 장기적인 변화
- $s(t)$: **계절성(Seasonality)** - 일정 주기마다 반복되는 패턴 (예: 주간, 월간, 연간 패턴)
- $h(t)$: **휴일(Holiday)** - 공휴일이나 특별 이벤트의 효과
- ϵt : **오차항(Error Term)** - 잡음 또는 설명되지 않는 변동

Prophet의 주요 매개변수

1. **changepoint_prior_scale**: 추세 변동(Trend Change)이 얼마나 유연한지를 조정. 값이 클수록 변동에 더 민감하게 반응하고, 값이 작으면 더 부드럽게 반응.
2. **seasonality_mode**: 계절성을 모델링하는 방식. 기본적으로는 additive(가법)로 설정되어 있지만, 데이터가 큰 변동을 가질 때는 multiplicative(곱법)로 설정 가능.
3. **holidays**: 공휴일이나 특별 이벤트를 지정하여 해당 시점에서 예측에 반영 가능.

Prophet 사용 방법

Prophet을 사용한 시계열 예측을 수행하는 단계 예:

```
from fbprophet import Prophet
import pandas as pd

# 데이터 준비 (날짜 열은 'ds', 값 열은 'y'로 지정)
df = pd.DataFrame({
    'ds': ['2020-01-01', '2020-01-02', '2020-01-03'],
    'y': [10, 12, 14]
})
```

```

# Prophet 모델 생성
model = Prophet()

# 모델 학습
model.fit(df)

# 미래 예측할 날짜 생성
future = model.make_future_dataframe(periods=30) # 30일 이

# 예측
forecast = model.predict(future)

# 결과 시각화
model.plot(forecast)

```

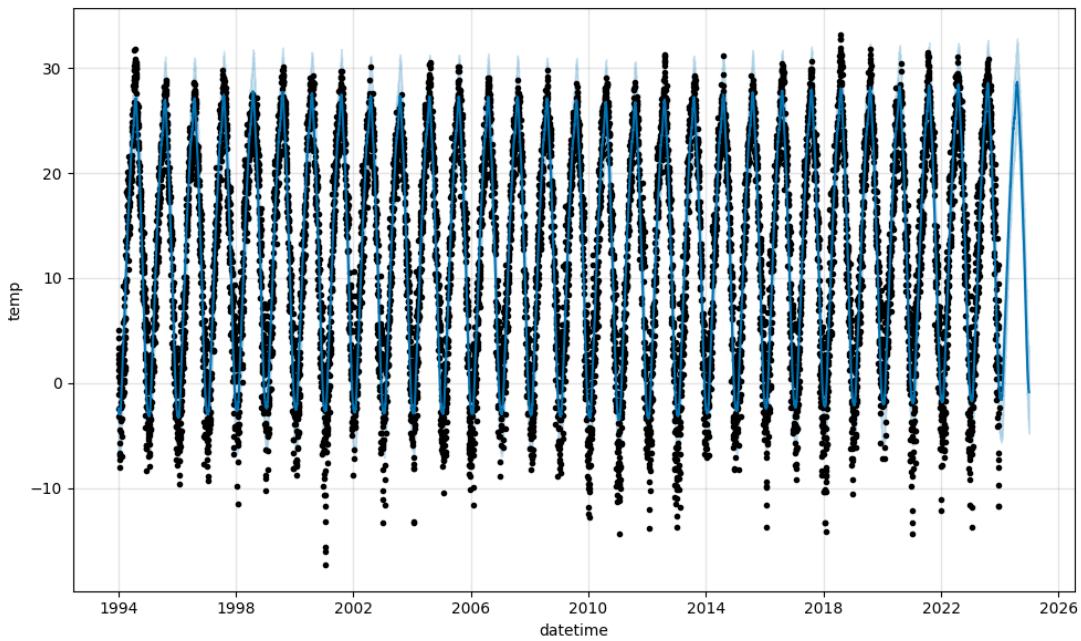
Prophet의 장점

- **직관적인 사용법:** 최소한의 코드로 시계열 예측 가능.
- **계절성과 트렌드를 자동으로 모델링:** 복잡한 데이터 전처리 없이 자동으로 계절성과 트렌드를 탐색.
- **결측치와 불규칙한 데이터 처리:** 결측값이나 불규칙한 데이터를 자동으로 보완하여 모델링에 반영.
- **장기 예측:** 멀리 떨어진 미래의 시계열 데이터까지 쉽게 예측 가능.

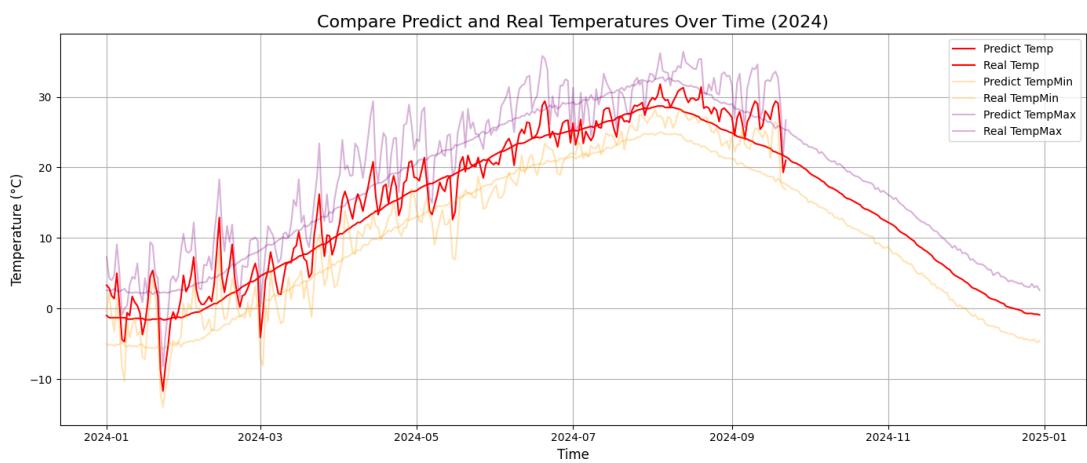
Prophet의 한계

- **고도의 비선형성 데이터:** 매우 복잡하거나 비선형적인 시계열 데이터에서는 다른 방법이 더 적합할 수 있음.
- **최적화 제한:** Prophet은 상대적으로 간단한 기본 설정으로 동작하지만, 고급 모델을 다루는 데는 유연성이 떨어짐.

- Prophet 모델의 설정 및 학습 과정
 - 30년간 기온(temp)의 학습 및 2024년 예측 시각화



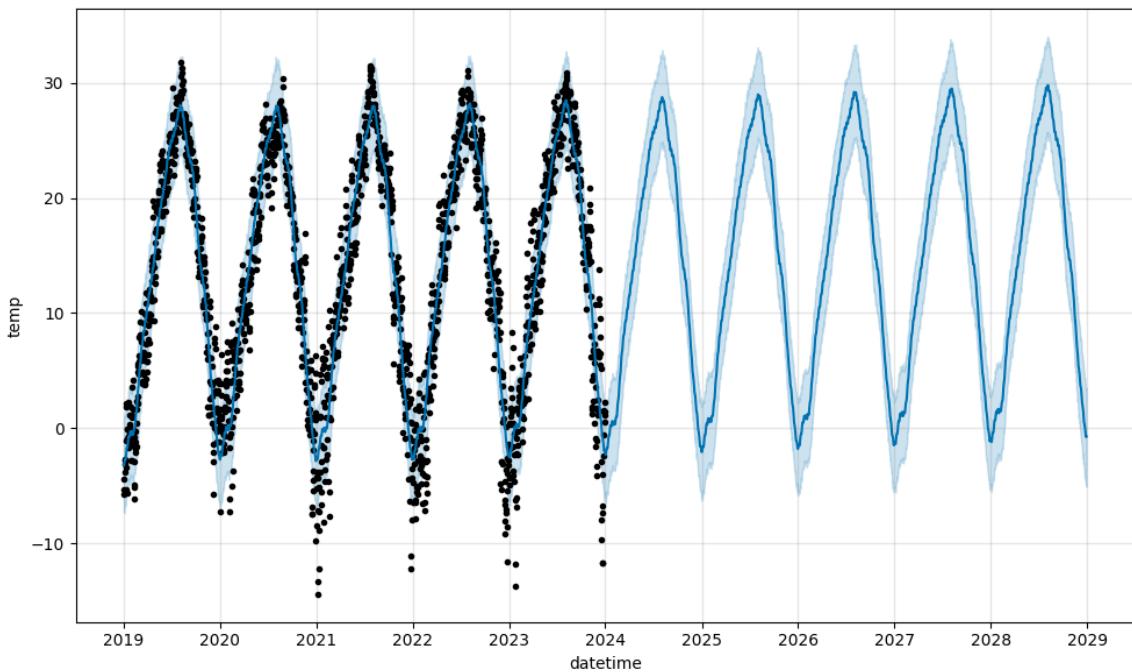
- 분석 : 각 점들은 하루의 평균기온 temp 값을 나타내며, 우측 실선은 24년 기온 예측을 나타냄
 - 2024년 실제 기온과 예측 기온 비교 시각화



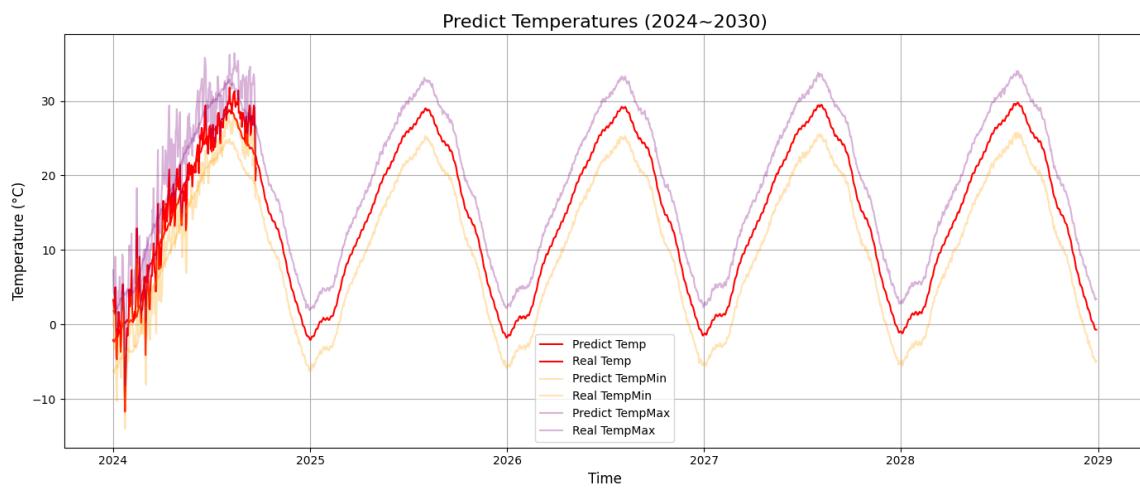
- 분석 : 2024년 실제 기온과 예측 기온의 비교. 붉은색 진동하는 그래프는 실제 기온이며, 부드러운 곡선을 그린 그래프는 예측 값. 8~9월 실제 기온은 예측보다 더 높은 값을 보여줌

5.2 5년 후 기온 예측

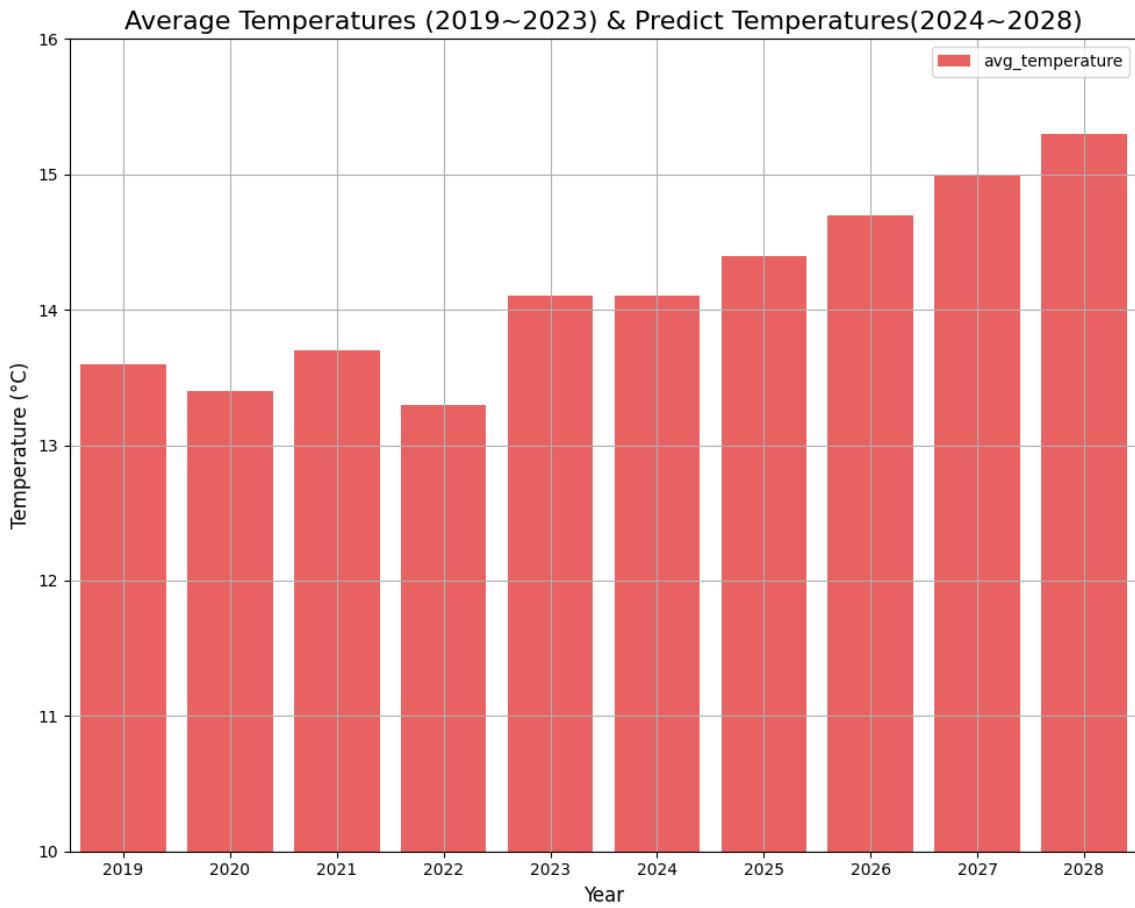
- 5년(2019~2023)기온 학습과 5년(2024~2028) 기온 예측 시각화



- 분석 : 5년간의 기온 학습과 향후 5년의 기온 예측 결과 약 상승 추세를 보여줌
- 5년(2024~2028) 기온 예측 시각화



- 분석 : 붉은색 실선은 예측 기온, 노란색은 최저기온, 보라색은 최고기온으로 상승 추세를 보여줌
- 예측 결과가 시사하는 바 (서울의 기후가 어떻게 변화할 것으로 예상되는지)



- 분석 : 현재 기온(2019~2023)의 추세를 바탕으로 2024년 이후부터 년간 약 0.3도의 평균기온이 상승할 것으로 예상됨.

5.3 불확실성 및 한계

- 상관관계, 원인 및 결과
 - 각 컬럼들의 상관관계 분석을 통해 상관도를 수치적으로 알 수 있었지만, 각 컬럼들이 기온과 원인 관계, 결과 관계 또는 상호관계인지를 알기 위해서는 좀 더 기상학 분야의 전문적인 지식이 필요해 보임.
 - 도메인 지식을 바탕으로 피처엔지니어링하여 생성해낼 수 있는 기온과 상관성이 높은 컬럼들 필요.
- Prophet 모델 예측의 한계
 - prophet 은 쉽고 빠르게 시계열 예측을 할 수 있지만, 복잡하고 섬세한 세팅으로 섬세한 예측결과를 얻기에는 다소 부족.

- x축 시간과 y축 기온 외에 외부 요인을 섬세하게 세팅하고 향후 예측에 이 외부요인들의 추세에 따라 기온예측에 영향을 줄 수 있는 설정의 한계가 있음.

6. 결론

6.1 주요 결과 요약

- 서울 기후 변화의 주요 경향 요약

- **연평균 기온 상승:** 서울의 연평균 기온은 지속적으로 상승하고 있다. 이는 전 세계적으로 발생하는 기후 변화의 영향으로, 특히 도심 열섬 현상이 기온 상승에 기여하고 있다.
- **여름 길이 증가, 겨울 길이 감소:** 기존 봄, 여름, 가을, 겨울은 인류가 인식의 편의성을 위해 나눈 임의적 기준이다. 다시 풀어서 본다면 가장 추울때와 가장 더울때가 반복되고 있는 가운데, 전체 평균기온이 상승하고 있으므로 여름의 길이가 증가하고 겨울의 길이가 감소하고 있다. 이와같은 추세에 동반하여 봄과 가을의 길이는 우리가 정해놓은 기준으로 볼때 감소하고 있는 추세이다.
- **폭염일 수 증가 및 최고 기온 상승:** 여름철 폭염일 수가 증가하고 있으며, 폭염 기간 동안 기록되는 최고 기온도 상승할 것으로 예상된다. 이는 열사병, 건강 문제, 에너지 소비 증가 등의 문제를 초래할 수 있다.

6.2 정책적 시사점

- 온실가스 배출 저감

- **재생에너지 확대:** 태양광, 풍력 등 재생 가능한 에너지원을 적극적으로 지원하고, 화석 연료 의존도를 낮추기 위한 재정적·기술적 지원을 제공해야 한다.
- **교통 부문 감축:** 대중교통 이용을 장려하고, 전기차 보조금 확대 및 충전 인프라 개선을 통해 차량에서 발생하는 온실가스 배출을 줄이는 정책을 강화해야 한다.

- 도시 기후 변화 대응 전략

- **녹지 확충 및 도시 열섬 완화:** 도심 내 녹지공간을 확충하고, 건물 옥상 및 벽면에 녹화를 도입하여 도시 열섬 현상을 완화할 수 있다. 또한, 도로의 녹지화 및 차열 도료 도입을 통해 여름철 도시 온도를 낮출 수 있다.
- **기후 적응형 도시계획:** 기후 변화에 대비한 방재 계획을 수립하고, 홍수, 폭염, 가뭄 등에 대응할 수 있는 인프라를 구축해야 한다. 물 관리 시스템 강화 및 도시 구조물의 기후 적응성을 고려한 설계가 필요하다.

- **기후 교육 및 시민 참여:** 기후 변화에 대한 시민들의 이해를 높이고, 에너지 절약 및 친환경 생활 방식을 실천할 수 있도록 교육 프로그램을 마련하고, 시민 참여를 독려하는 정책을 개발해야 한다.

6.3 연구의 한계

- **분석 결과의 한계와 개선 가능성**
 - **지역별 차이 반영 부족:** 기후 변화의 영향을 지역별로 다루지 못한 점이 한계이다. 다양한 지역별 특성을 반영한 분석이 이루어지지 않아, 기후 변화의 영향을 일률적으로 해석한 경향이 있다. 이를 보완하기 위해서는 지역별, 국가별 기후 변화 대응 전략에 따른 차별화된 연구가 필요하다.
- **후속 연구에서 다룰 수 있는 추가적인 요소들**
 - **더 다양한 외부 요인 고려:** 후속 연구에서는 산업 활동, 에너지 사용, 인구 증가, 도시화 등 기후 변화에 영향을 미칠 수 있는 다양한 외부 요인을 포함하여 더 정교한 분석을 시도해야 한다.
 - **장기적 기후 모델 개선:** 기후 변화의 장기적인 영향을 예측하는 모델의 정확성을 높이기 위해 최신 기후 데이터와 기술을 활용한 장기적 예측 모델을 개발해야 한다. 또한, 비선형적 변화 패턴을 반영할 수 있는 복합적인 기후 모델이 필요하다.

6.4 향후 연구 방향

- **기후 변화에 따른 생태계 영향 연구:** 기후 변화가 생물 다양성, 해양 생태계, 농업 생산성 등 생태계에 미치는 영향을 분석하는 연구가 추가적으로 필요하다. 이를 통해 기후 변화가 생태계에 미치는 영향을 파악하고, 이에 대한 대응 방안을 마련할 수 있을 것이다.
- **국가 간 협력 및 정책 비교 연구:** 기후 변화 대응에 있어 각국의 정책 및 대응 전략을 비교하고, 성공적인 정책 사례를 분석하여 적용 가능한 방안을 모색하는 연구가 이루어져야 한다. 국가 간 협력을 통한 글로벌 차원의 기후 대응 방안이 도출될 수 있다.
- **사회적 인식 변화 연구:** 기후 변화에 대한 시민의 인식 변화를 조사하고, 이를 통해 기후 변화에 대한 사회적 대응 및 참여를 어떻게 유도할 수 있을지에 대한 연구도 후속 연구에서 다뤄질 수 있는 중요한 요소이다.

7. 참고 문헌

- 연구에 참조한 논문
 - [사후 경과시간 추정을 위한 현장 대기온도 예측에 국내 환경 조건이 미치는 영향]
 - <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10798111>
- 보고서 링크
 - [SpringerLink](#)
- 참고 기사 링크
 - <https://www.bbc.com/korean/international-49792465>