

온실가스가 환경에 미치는 영향 분석 및 서비스 개발

데이터 분석 데브코스 3기 최종 프로젝트

오수연, 윤장원, 최수민, 허은민

분석 요약.....	3
1. 서론.....	3
1.1 프로젝트 개요.....	3
1.1.1 개요.....	3
1.1.2 목적.....	4
1.1.3 선정 데이터.....	4
2. 본론.....	6
2.1 OECD 국가별 CO2 배출량과 쓰레기 처리 비율 관계 분석.....	6
2.1.1 OECD 국가별 CO2 배출량 분석.....	6
2.1.2 미국의 재활용 쓰레기 처리 비율 분석.....	9
2.1.3 OECD 국가별 재활용률과 매립률이 CO2 배출량에 미치는 영향.....	11
2.2 연도별 세계 환경 분석.....	12
2.2.1 연도별 세계 온도 변화 추이 분석.....	12
2.2.2 전 세계 산림 면적 분석.....	15
2.3 온실가스와 지표면 온도의 상관관계 및 요인 분석.....	15
2.3.1 온실가스 배출량과 지표면 온도의 상관관계 행렬.....	15
2.3.2 온실가스 별 온도의 상관관계 행렬.....	16
2.3.3 지표면 온도 변화와 관련된 오염 물질 요인 분석.....	18
2.3.3.1 선형혼합효과 (Linear Mixed Effects Model) 회귀 분석.....	19
2.3.3.2 Light Gradient Boosting Model (LGBM) 회귀 분석.....	21
2.3.3.3 Random Forest 회귀 분석.....	23
3. 결론.....	24
3.1 분석 결론.....	24
3.2 전략 제시.....	25
3.2.1 Anabada 개발 동기: 재활용률이 CH4와 CO2 배출량에 미치는 영향.....	25
3.2.3 Anabada 기능 소개.....	26
4. 참고문헌.....	28

분석 요약

- 이번 프로젝트를 통해 범지구적 문제인 지구온난화를, 데이터를 이용하여 관계를 입증하기 위해 선형혼합효과(Linear Mixed Effects Model), Light Gradient Boosting Model, Random Forest 모델들을 활용하여 분석하였습니다. World Bank, OECD Data, Our World In Data의 데이터를 사용하여 국가별 온실가스 배출량과 온실가스가 지구 표면 온도 상승에 얼마나 영향을 주는지 알아보았습니다.
- 분석의 결과로 CO₂(이산화탄소), CH₄(메테인), PFC(삼불화질소)가 지표면 온도 상승에 높은 영향을 준다는 것을 확인하였습니다. 또한, 재활용률과 CO₂, CH₄에 연관이 있음을 발견하고, 해결책으로 재활용을 촉진하는 'Anabada' 어플을 만들었습니다.

1.서론

1.1 프로젝트 개요

1.1.1 개요

1. 프로젝트명: 온실가스가 환경에 미치는 영향 분석 및 앱 개발
2. 프로젝트 기간: 2024.07.22 ~ 2024.09.01
3. 프로젝트 도구: Python, Flutter, Google Firebase, Gemini API

1.1.2 목적

최근 지구온난화로 인한 환경 문제가 심각해지고 있습니다. 지구온난화의 주요 원인 중 하나로 온실가스 배출이 지목되고 있지만, 세계적으로 온실가스를 많이 배출하는 국가 중 하나인 미국은 온실가스 저감을 위한 활동에 소극적입니다. Pew Research Center의 여론 조사에 따르면, 미국인의 14%는 지구온난화가 사실이 아니라고 믿고 있으며, 14%의 미국인 중 약 66%는 환경 과학자들의 주장이 거짓이라고 생각하고, 33%의 미국인들은 지구온난화는 자연적인 현상 중에 하나라고 믿습니다.

저희 팀은 실제로 기후 변화가 진행되고 있다는 것을 증명하고 지구온난화에 관련된 사회경제적 조건 사이의 상관관계를 규명하기 위해 데이터 분석을 진행합니다. 또한 온실가스 저감 활동을 통한 애플리케이션 개발로 재활용에 대한 긍정적인 인식을 확산하고, 적극적인 참여를 유도하고자 합니다.

1.1.3 선정 데이터

☐ 연도별 평균 산림 면적 데이터 Forest area (ourworldindata.org)

이 데이터는 각 국가의 연도별 평균 산림 면적을 제공합니다. 산림 면적은 온실가스를 흡수하고 탄소를 저장하는 중요한 요소로, 지구 온난화와 밀접한 관련이 있습니다. 산림의 감소는 탄소 흡수량의 감소를 초래하며, 이에 따라 온실가스 농도가 증가할 수 있습니다. 따라서 이 데이터를 통해 국가별 산림 관리 정책과 지구온난화 사이의 관계를 분석할 수 있습니다.

☐ 각 국가 연도별 지면 온도 데이터 World Surface Temperature Data

이 데이터는 세계 각국의 연도별 지면 온도를 나타냅니다. 지면 온도는 기후 변화의 직접적인 지표로 활용되며, 지구 온난화의 증거를 제시하는 중요한 데이터입니다. 온도 상승 추세와 특정 국가나 지역에서의 온실가스 배출 상관관계를 분석하는 데 사용할 수 있습니다.

☐ 국가별 온실가스 방출량 데이터 OECD Data Explorer

이 데이터셋은 OECD가 제공하는 각국의 연도별 온실가스 방출량 정보를 포함하고 있습니다. 이를 통해 각국의 온실가스 배출 패턴을 분석할 수 있습니다.

☐ **국가별 사회, 경제 규모 데이터** [DataBank | The World Bank](#)

세계은행(DataBank)이 제공하는 이 데이터셋은 각국의 GDP, 인구, 도시화 비율, 산업 구조 등 사회·경제적 지표를 제공합니다. 이러한 지표들은 온실가스 배출량과 환경 정책에 대한 국가의 접근 방식, 그리고 어떠한 사회 활동이 온실가스 배출에 있어서 중요한 요인인지 파악할 수 있습니다.

☐ **국가별 쓰레기 처리 관련 데이터** [OECD Data Explorer : Municipal waste](#)

이 데이터는 OECD에서 제공하는 각국의 연도별 쓰레기 처리 관련 데이터를 포함하고 있습니다. 쓰레기 처리 방식(매립, 소각, 재활용 등)은 온실가스 배출에 영향을 미칠 수 있습니다.

☐ **지역 별 위도/경도 위치 데이터** [ISO CODE DATA](#)

이 데이터는 각 지역의 위도와 경도 지리적 위치 정보를 제공합니다. 기후 데이터 분석 시, 지리적 위치에 따른 기후 변화의 영향을 분석하는 데 유용합니다.

☐ **각 국가의 연도 별 탄소 배출량 데이터** [CO2 Emission Data](#)

이 데이터는 각국의 연도별 CO₂(이산화탄소) 배출량을 제공합니다. CO₂는 가장 주요한 온실가스 중 하나로, 그 배출량은 산업 활동, 교통, 에너지 생산 등과 관련이 있습니다. 이를 통해 각국의 온실가스 감축 노력과 정책의 효과를 평가하고 연도별 추이를 살펴볼 수 있습니다.

☐ **연도별 세계 평균 온도 상승, 하강 폭 데이터** [Anomaly Temperature Data](#)

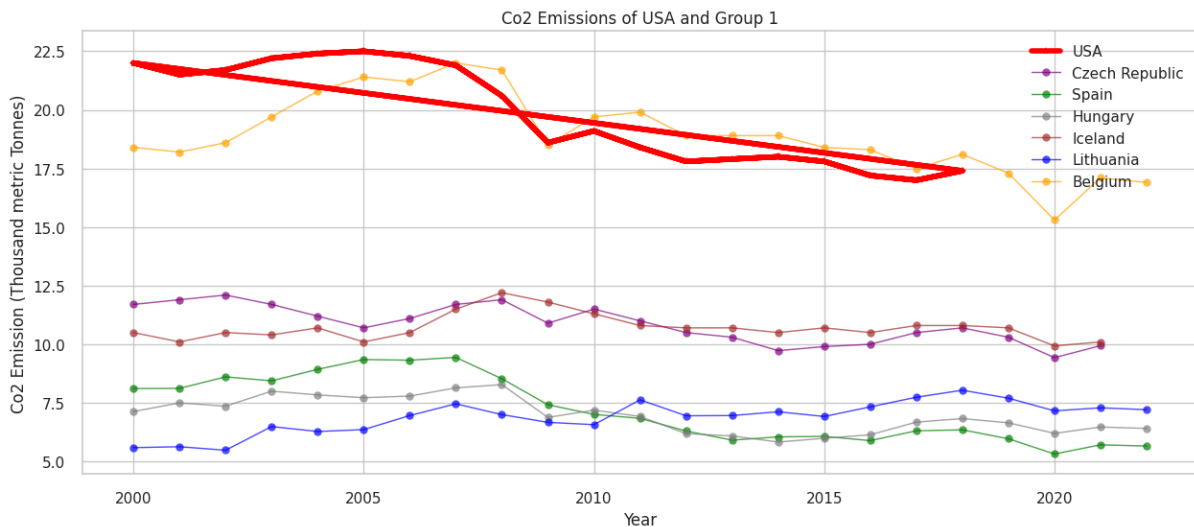
이 데이터는 지구 평균 온도 변화(평균 온도 상승 및 하강 폭)를 나타내며, 기후 변화 연구에서 핵심적인 지표로 사용됩니다. 연도별 온도 변동을 분석함으로써 기후 변화의 경향성을 파악하고, 온실가스 배출과의 상관관계를 연구할 수 있습니다.

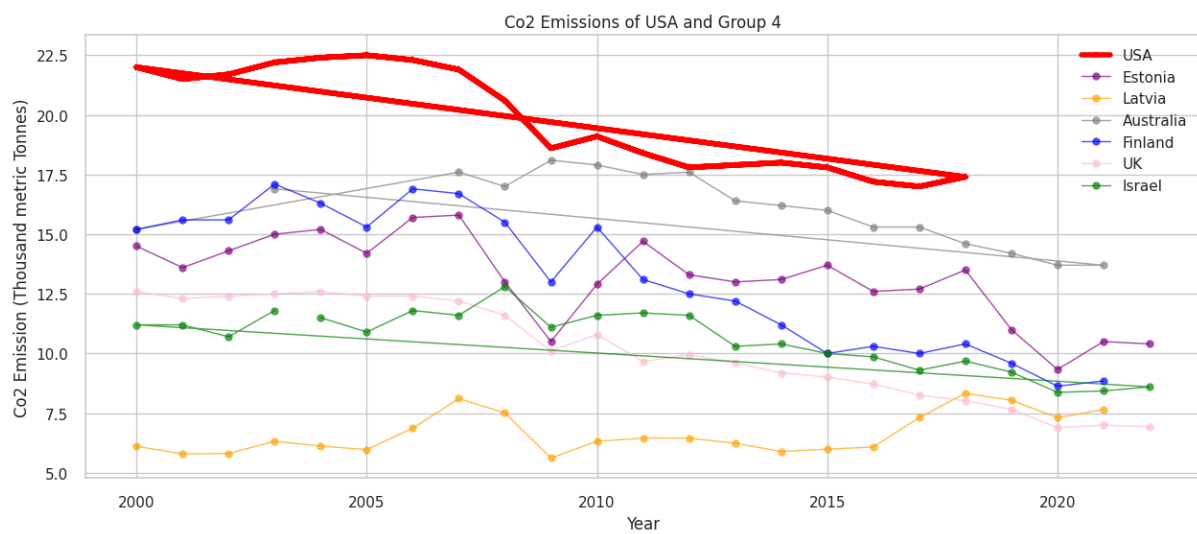
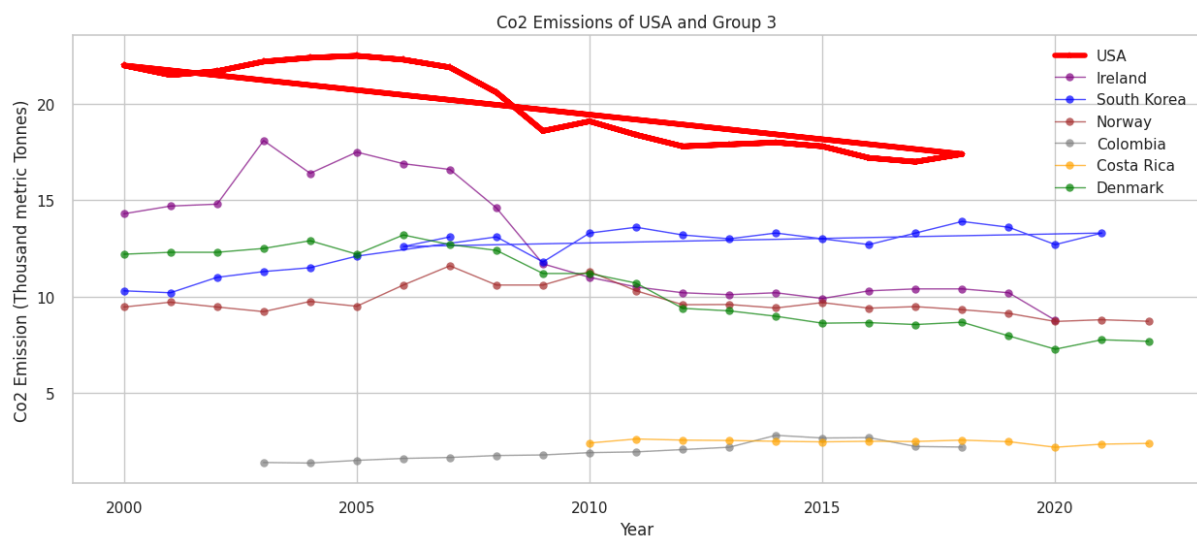
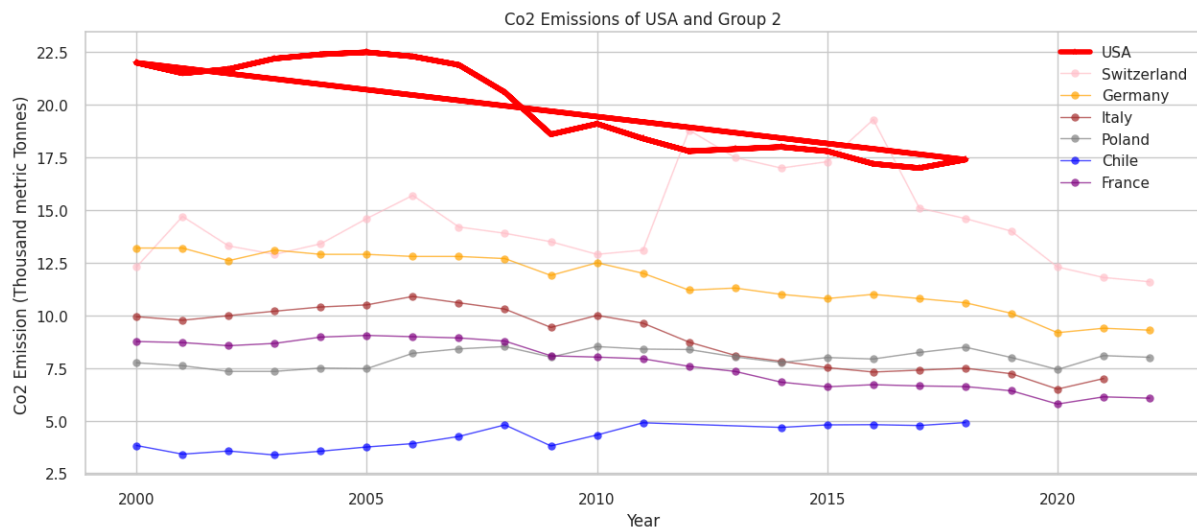
2. 본론

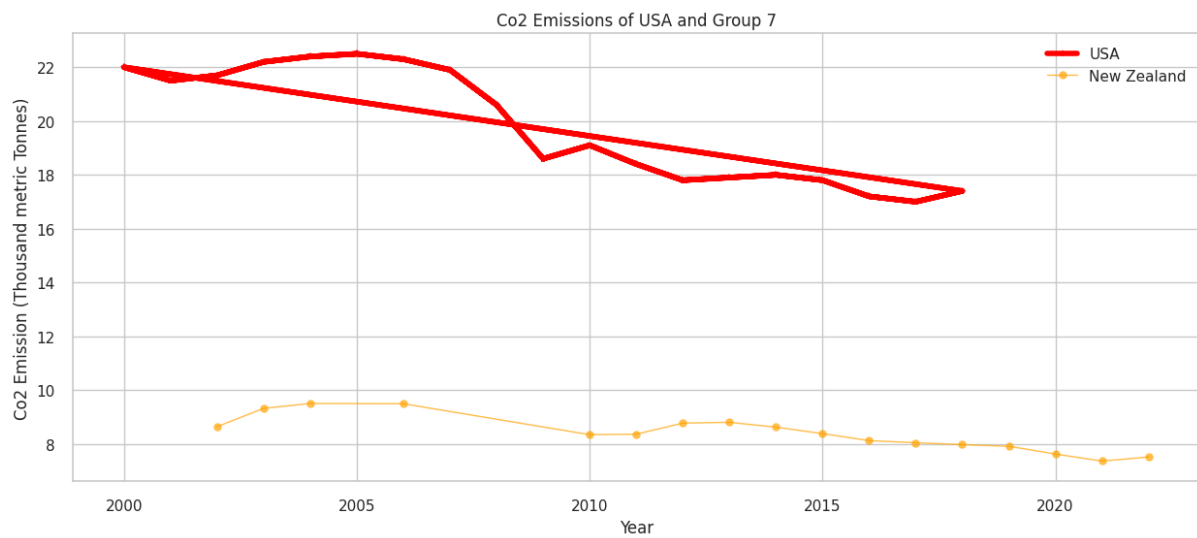
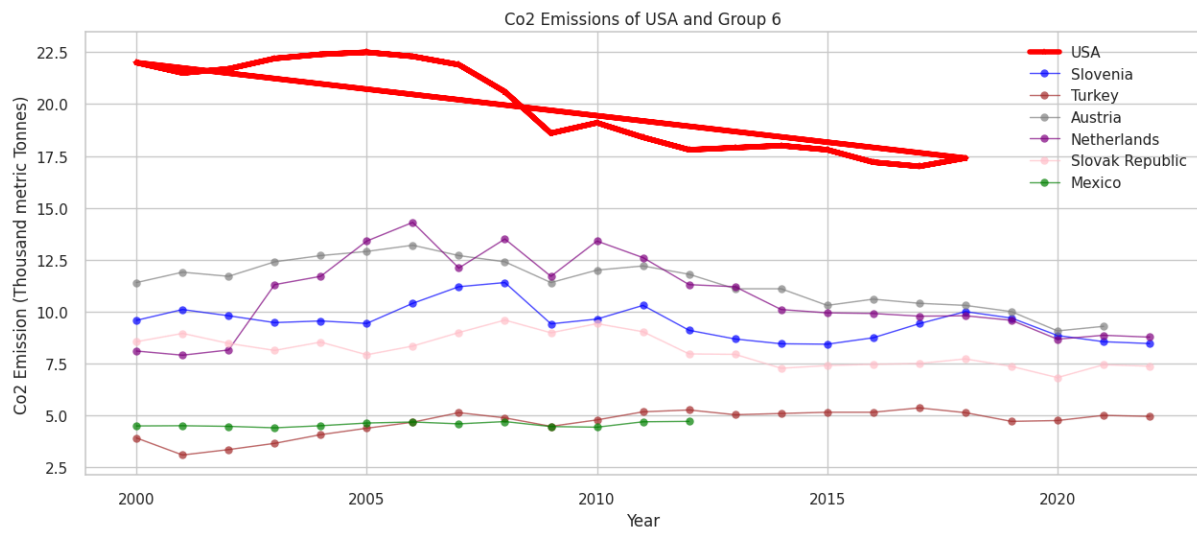
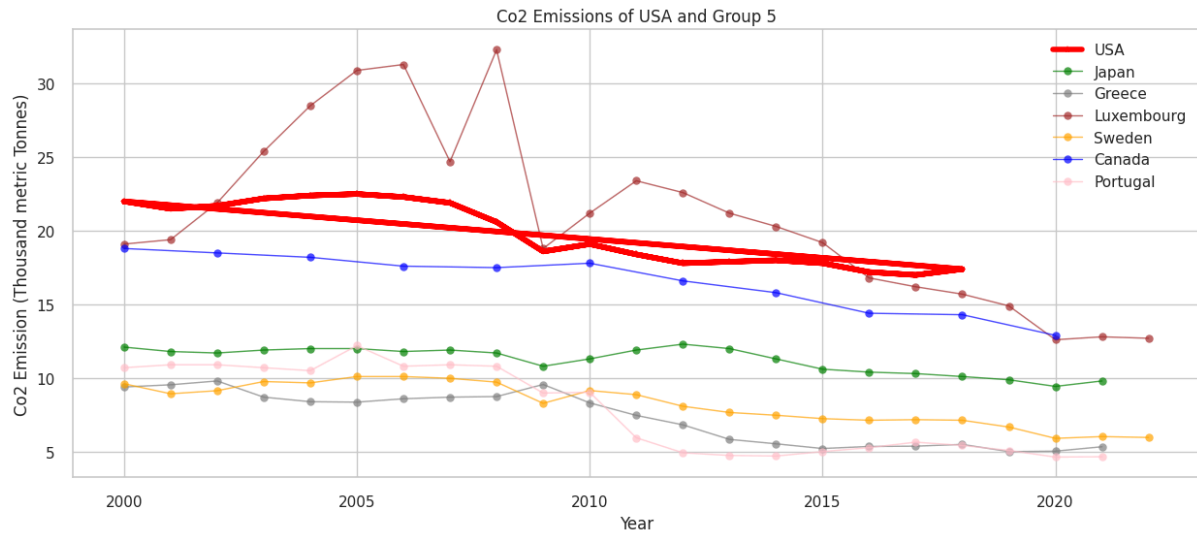
2.1 OECD 국가별 CO₂ 배출량과 쓰레기 처리 비율 관계 분석

2.1.1 OECD 국가별 CO₂ 배출량 분석

- ☐ 아래의 그림은 각 OECD 국가의 2000년부터 2023년까지의 1인당 CO₂ 배출량을 의미합니다.
더욱 나은 가독성을 위해 7개 국가씩 그룹을 나누어 제작하였습니다.
- ☐시각화 결과, 스위스, 벨기에, 룩셈부르크를 제외하면 미국의 CO₂ 배출량이 가장 높은 것으로 파악됩니다.
- ☐스위스의 경우 대부분의 에너지 자원을 수입에 의존하고 있어 CO₂ 배출량이 높아지는 경향이 있으며, 벨기에의 경우 국가 주요 산업이 중공업으로 발달하며 화석 연료를 주로 사용하기 때문에 CO₂ 배출량이 많다고 판단됩니다. 룩셈부르크의 경우, 유럽의 산유국이며 인구수가 적은 것을 감안한다면 상대적으로 높게 측정되는 경향이 있습니다.
- ☐앞 국가 상황을 고려했을 때, 미국은 인구수 3위의 인구 대국임에도 1인당 CO₂ 배출량이 4번째로 높다는 점에서 CO₂ 배출량이 상당히 많다고 할 수 있습니다.

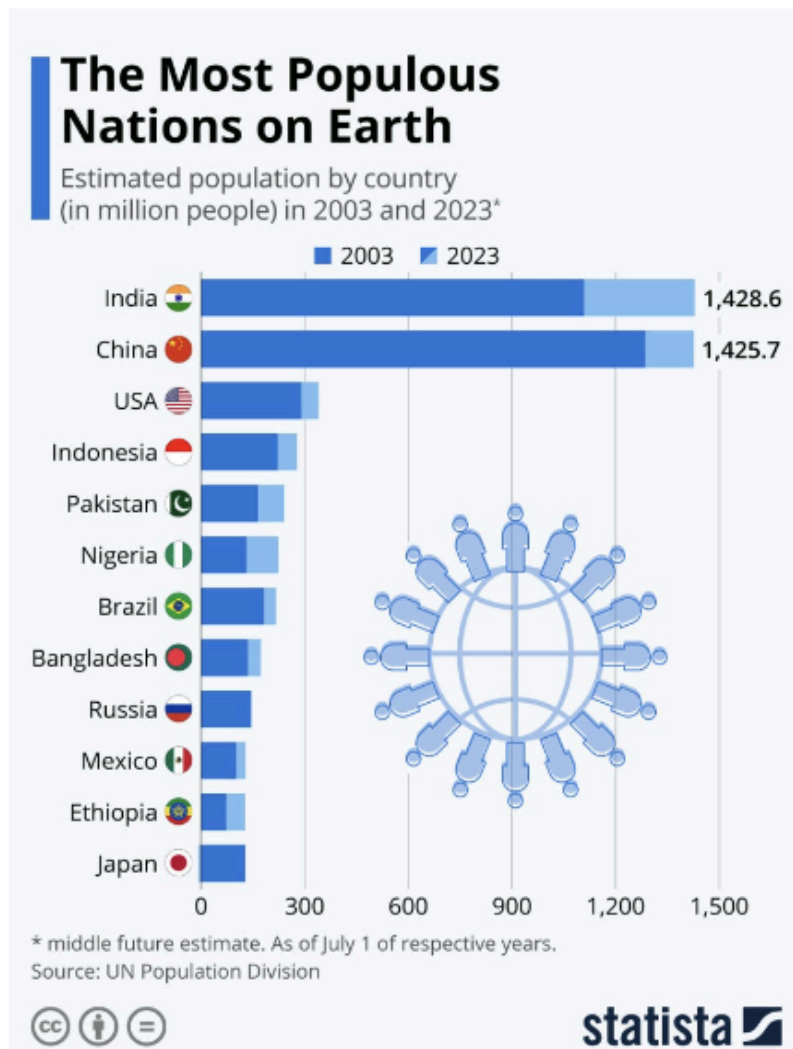




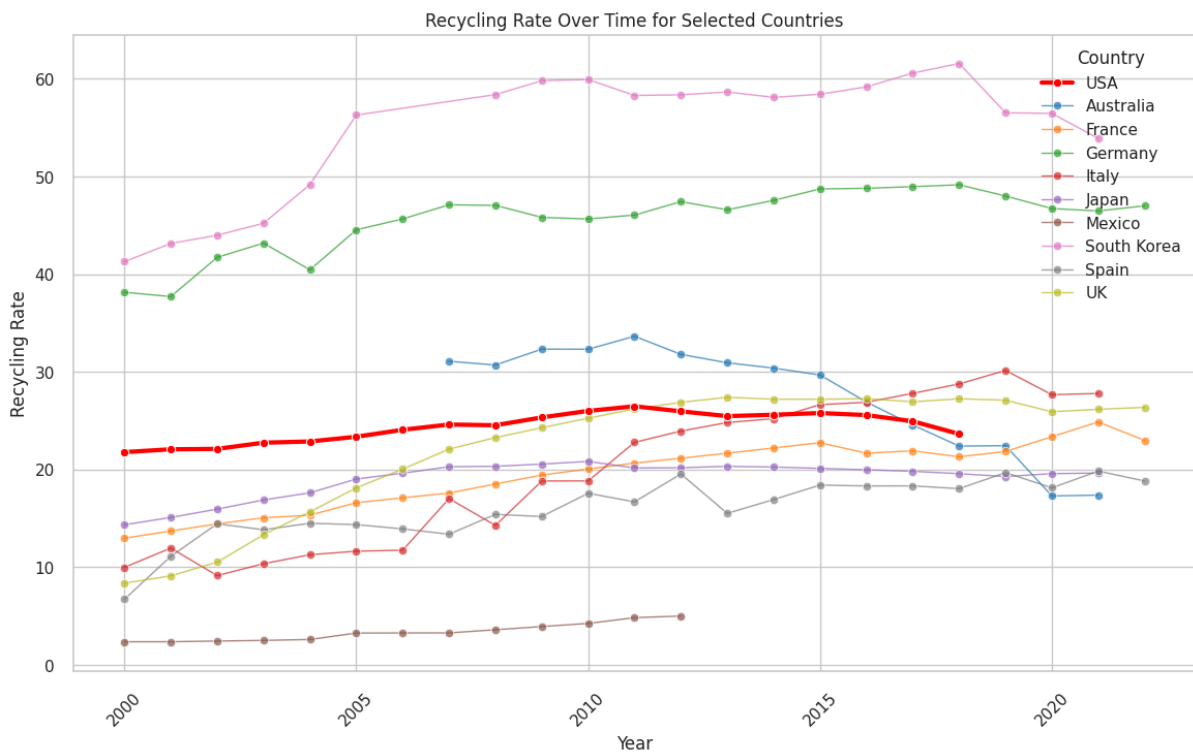
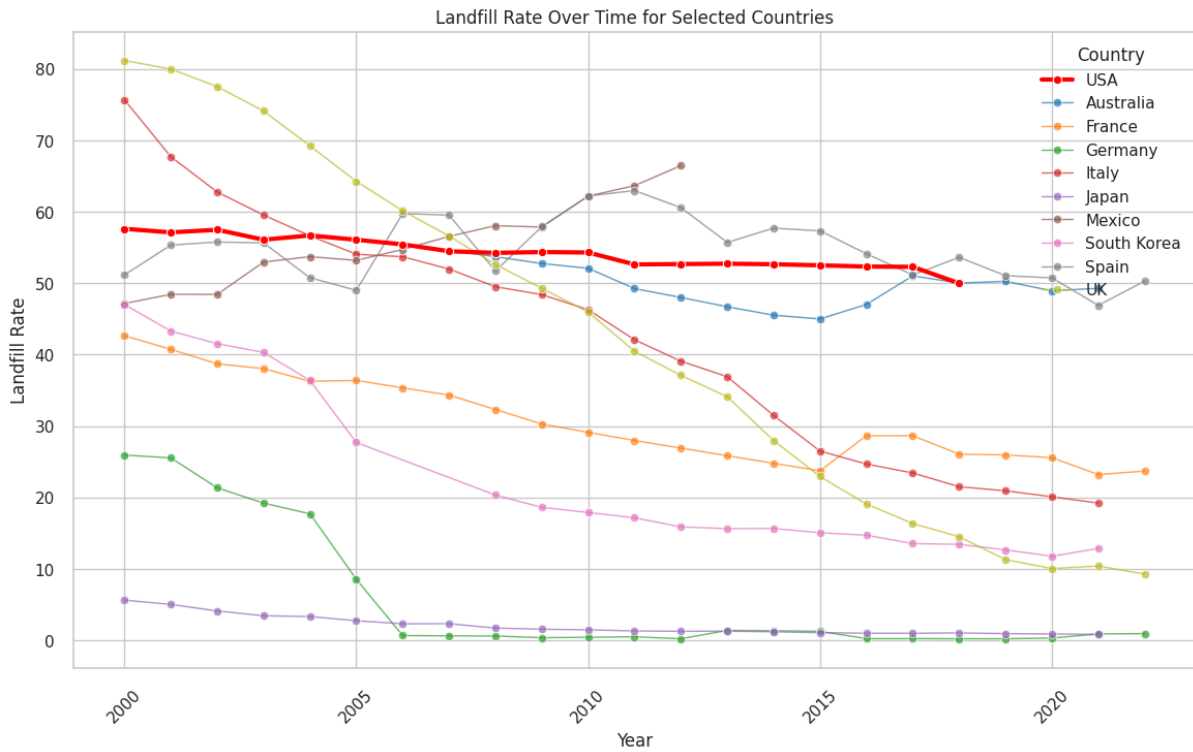


2.1.2 미국의 재활용 쓰레기 처리 비율 분석

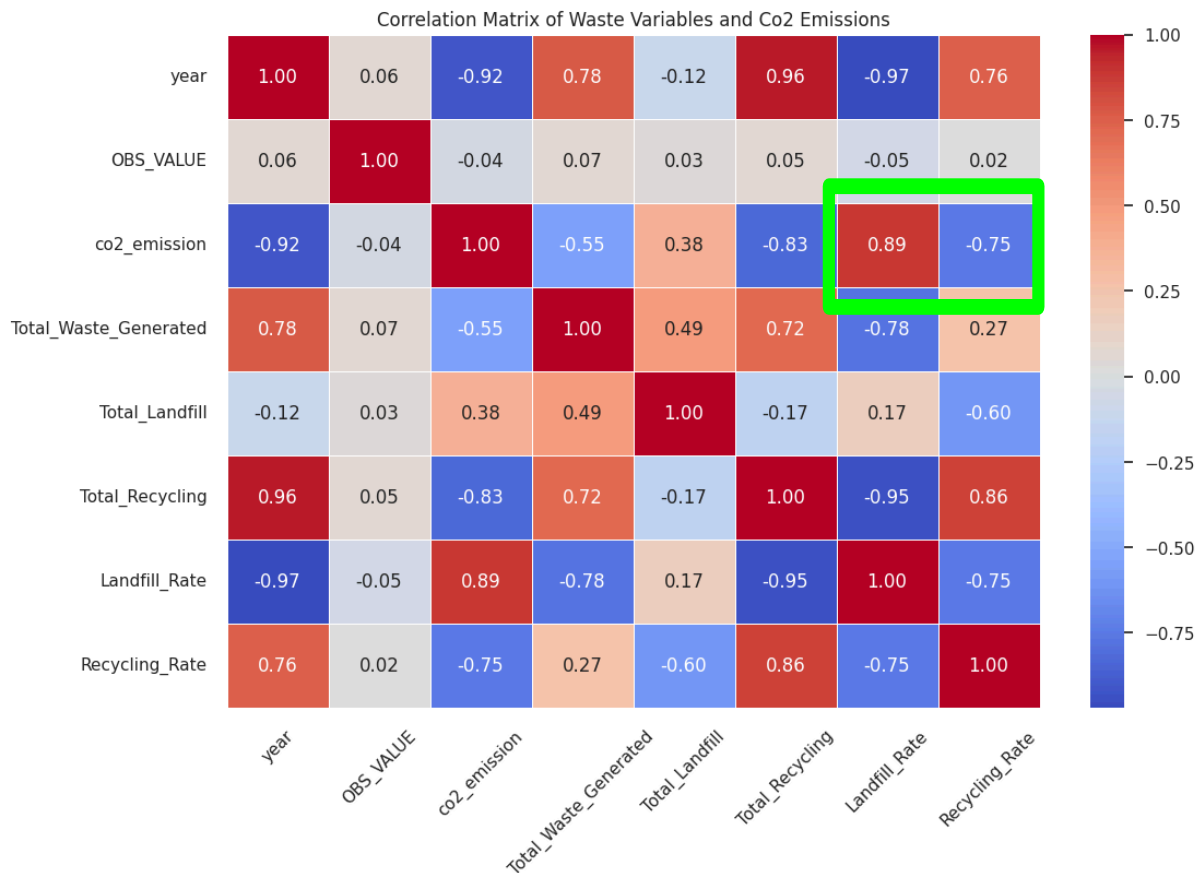
- 전체 국가를 그래프에 다 나타내기 어렵기 때문에 OECD 국가 중 GDP 기준 10위 안에 드는 국가들을 선정하여 시각화하였고, GDP 10위인 캐나다의 경우 데이터가 존재하지 않아 스페인으로 대체하였습니다.
- 2018년을 기준으로 할 때, 10개국 중 미국의 쓰레기 매립률은 전체 2위, 재활용률은 전체 5위로 매립이 많고 재활용률이 저조합니다.
- 전반적인 지표 확인 결과, 미국보다 낮은 재활용률이나 높은 매립률을 기록한 나라도 존재합니다. 그러나 OECD 국가들 중 미국의 인구수가 가장 많음을 고려할 때, 미국의 재활용률과 매립률은 다른 나라에 비해 상당히 부족한 수준으로 판단됩니다.



- 미국의 경우, 2005년 이후로 매립률과 재활용률이 개선되고 있으나, 2015년 이후로는 평균 매립률이 다시 악화하는 추세가 확인됩니다.



2.1.3 OECD 국가별 재활용률과 매립률이 CO₂ 배출량에 미치는 영향



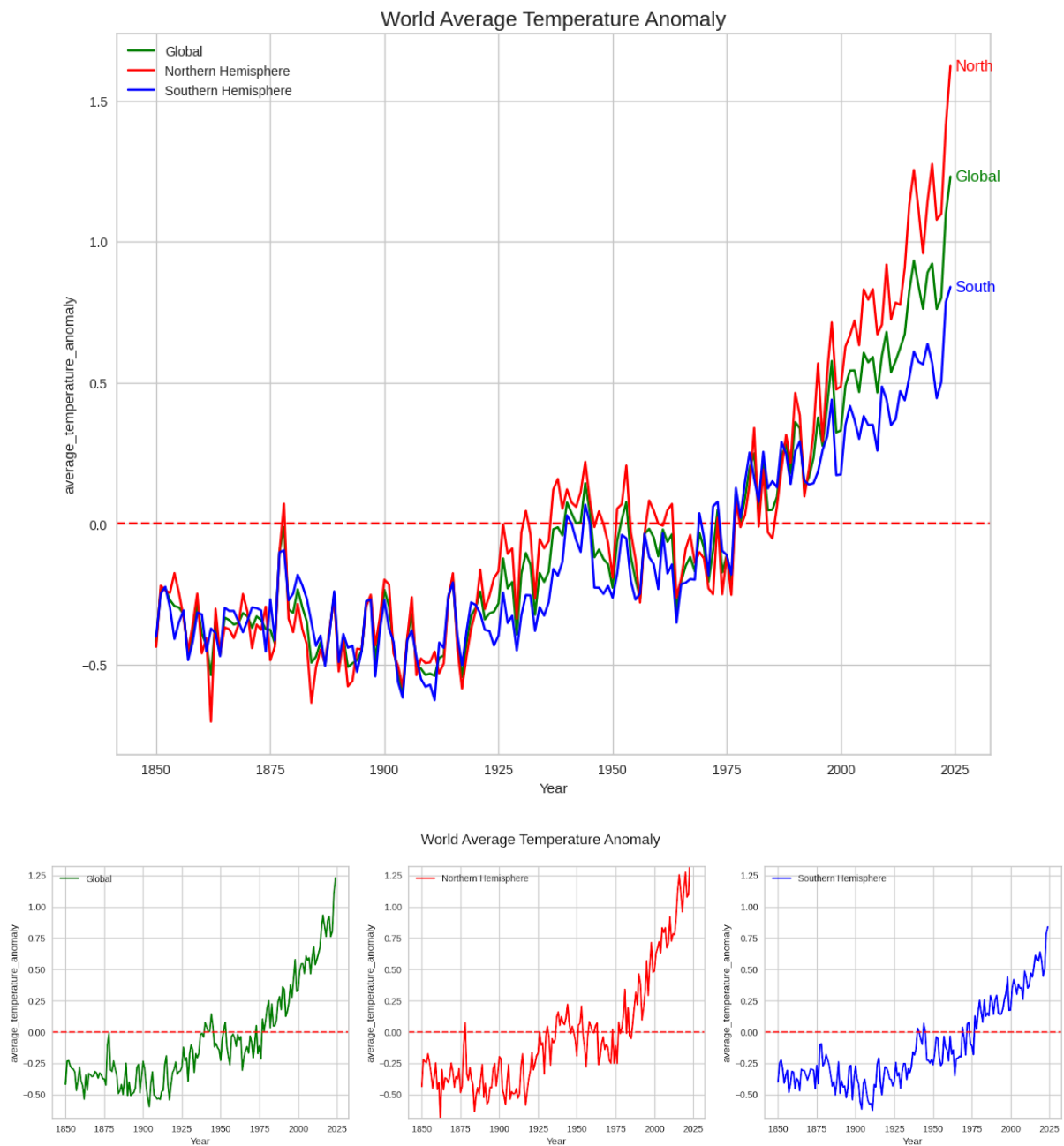
- ☐ 위는 OECD 국가의 연도별 온실가스, CO₂ 배출량과 총쓰레기양, 매립률, 재활용률의 상관관계를 담은 히트맵 그래프입니다.
- ☐ 해당 그래프를 참고할 때, 매립률(Landfill_Rate)에 따른 CO₂ 배출량(co2_emission)의 상관계수는 0.89로 높은 양의 상관관계가 보입니다.
- ☐ 또한 재활용률(Recycling_Rate)에 따른 CO₂ 배출량(co2_emission)의 상관계수는 -0.75로 높은 음의 상관관계가 보입니다.
- ☐ 매립률과 재활용률의 중위 수를 기준으로 상위, 하위 군집으로 분할하여 독립 표본 t-검정을 실시하였습니다.

(TtestResult(statistic=-5.215044654661098, df=3.6421053668909056),
 TtestResult(statistic=5.215044654661098, df=3.6421053668909056))
- ☐ 그 결과 매립률과 재활용률 모두 p-value가 0.0083 수준으로, 매립률이 높아질수록 CO₂ 배출량이 증가하고, 재활용률이 높아질수록 CO₂ 배출량이 감소한다는 근거가 유의미하다는 점을 알 수 있습니다.

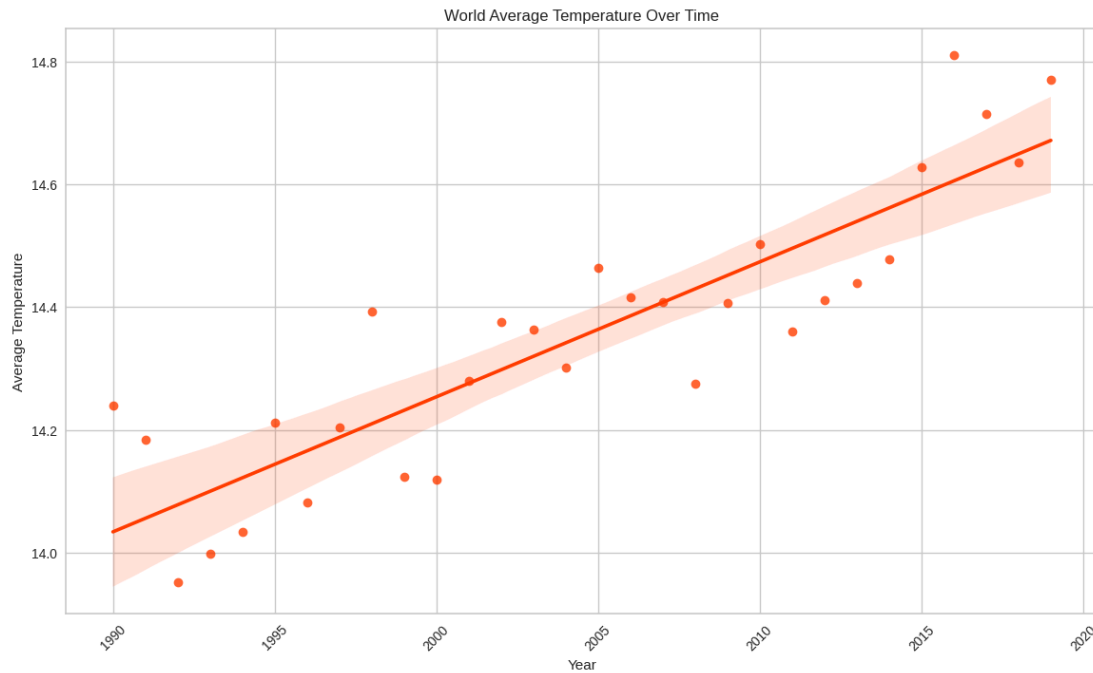
2.2 연도별 세계 환경 분석

2.2.1 연도별 세계 온도 변화 추이 분석

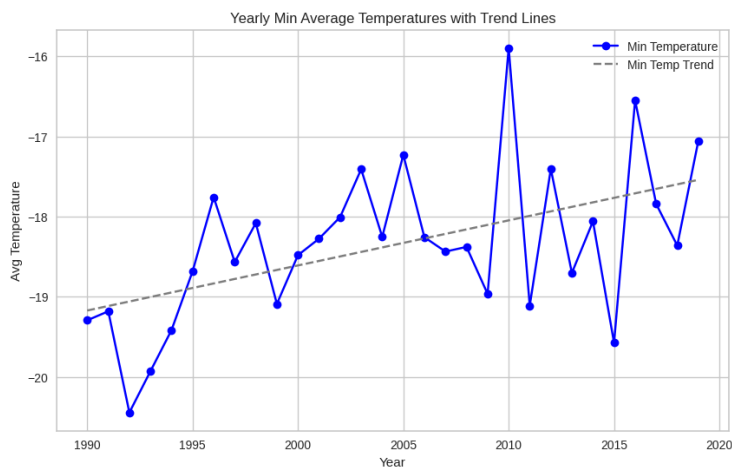
- ☐ 아래의 그래프는 1950~1980년대 평균 온도를 0도로 하고, 연도별 평균 온도가 기준점과 얼마나 차이 나는지를 보여줍니다.
- ☐전반적으로 시간의 흐름에 따라 온도가 상승하는 것으로 보이며, 특히 북반구에 위치한 나라들의 평균 온도가 더 가파르게 상승하고 있는 것으로 보입니다.



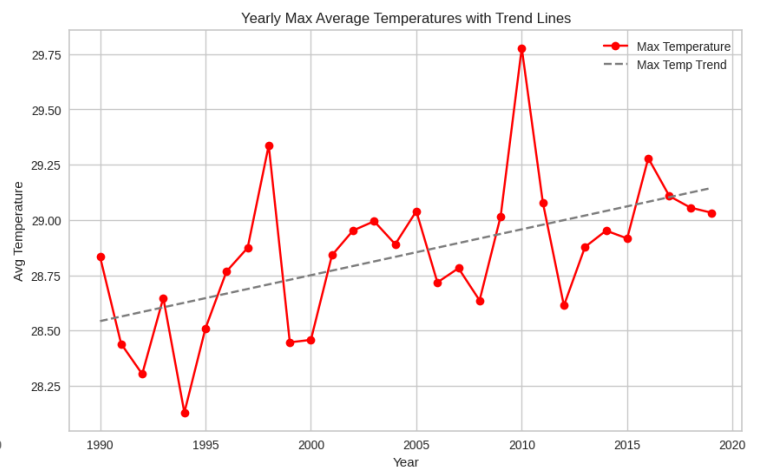
□ 1990년부터 2020년 사이의 세계 지표면 평균 온도를 분석한 결과, 꾸준히 우상향하고 있음을 볼 수 있습니다.



□ 전 세계의 최저 및 최고 기온 평균 역시 해가 지날수록 가파르게 상승하고 있는 것으로 보입니다.

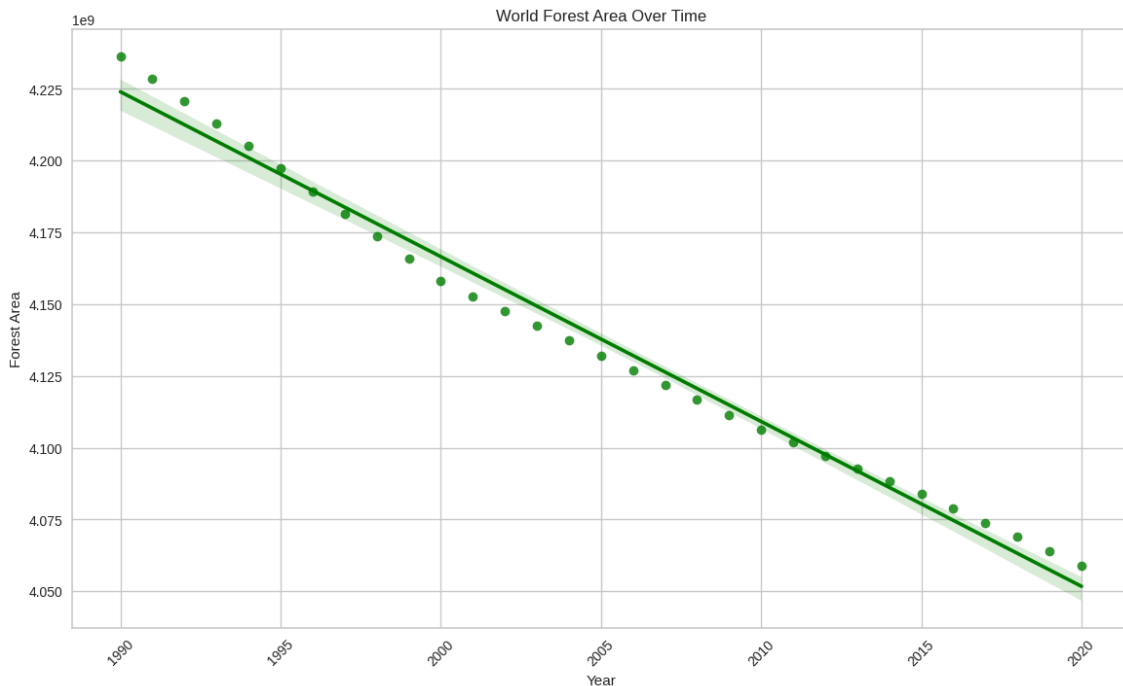


[전 세계 최저 기온 평균]



[전 세계 최고 기온 평균]

2.2.2 전 세계 산림 면적 분석



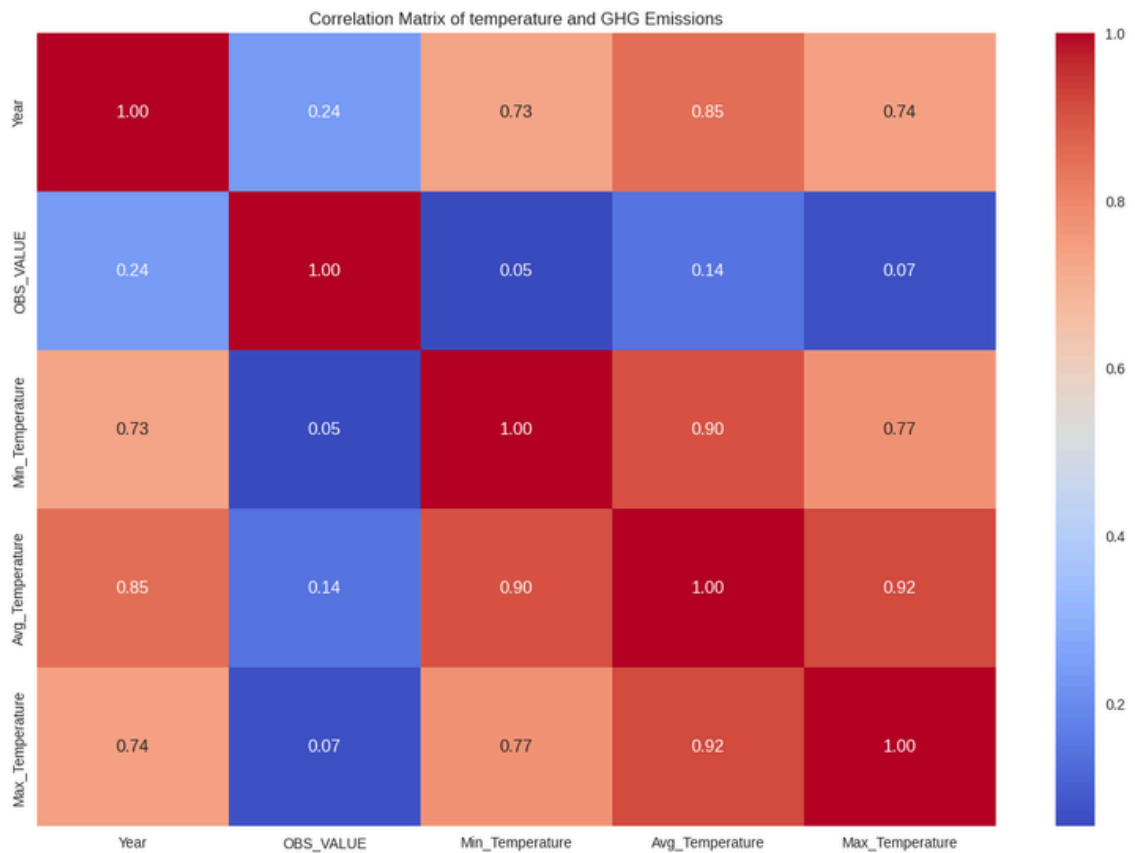
- ☐ 1990년부터 2020년도 사이의 세계 산림 면적 데이터를 시각화해 본 결과, 30년 동안 2억 헥타르 면적이 줄어들었습니다. 2억 헥타르의 경우 대한민국 영토 넓이의 약 20배에 해당하는 넓이입니다.

2.3 온실가스와 지표면 온도의 상관관계 및 요인 분석

2.3.1 온실가스 배출량과 지표면 온도의 상관관계 행렬

- ☐ 현재 배출량과 현재 온도와의 상관관계
전체 온실가스 배출량은 최고 온도와 0.07, 평균 온도와 0.14, 최저 온도와 0.05의 상관관계를 보였습니다. 이는 현재의 배출량은 온도 변화에 즉각적인 상관관계가 낮음을 나타냅니다.
- ☐ 기후 변화에 따른 온도 변화가 반영되기까지는 몇 년의 시간이 걸리기 때문에 3년 후의 온도 변화를 반영한다고 가정하고 코로나 이전 시기인 2020년까지의 기후 변화 효과를 반영했습니다.
- ☐ 1990~2020년까지 데이터를 사용하였기 때문에 기준 년도에서 이후 5년치 데이터로 Min, Avg, Max값을 사용할 경우 2016년 데이터까지만 확인 할 수 있기 때문에 3년치 데이터로

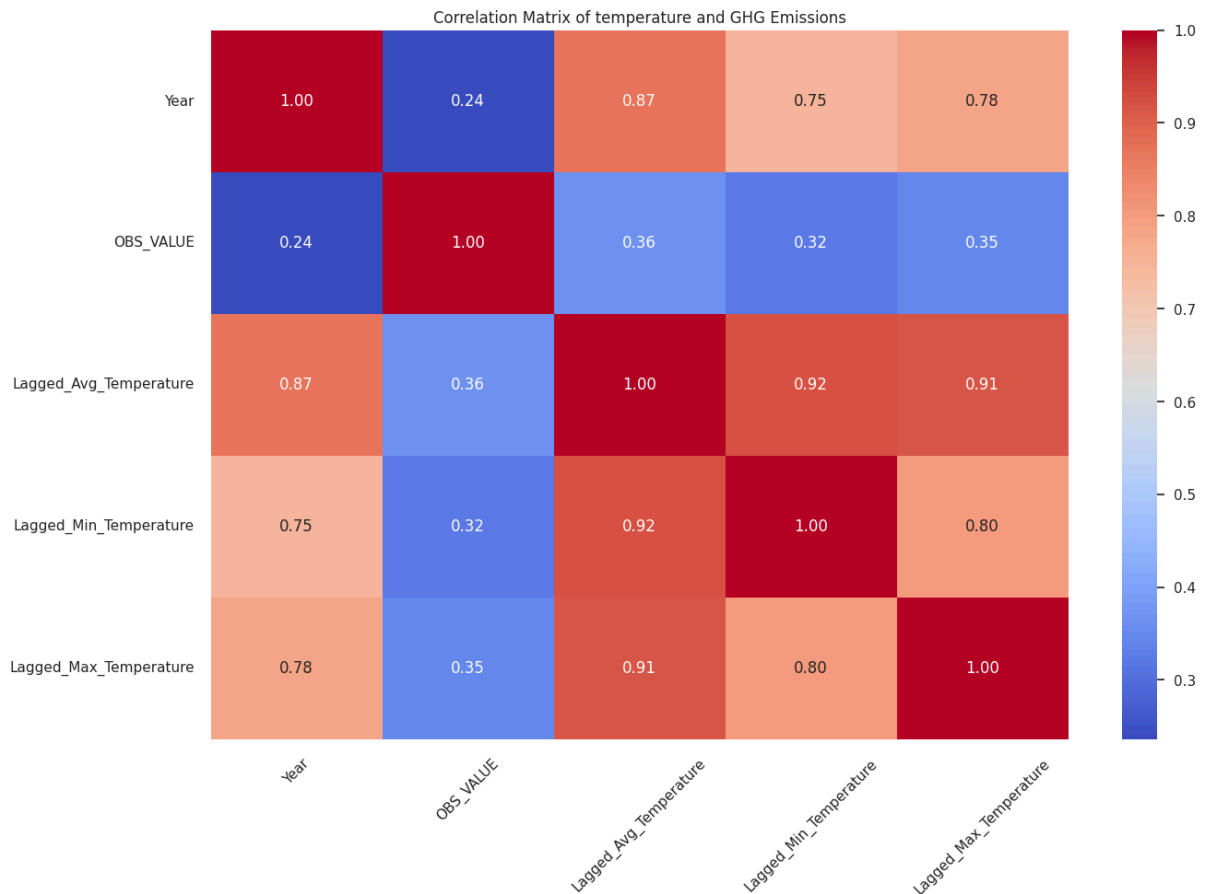
Lagged 데이터를 선정함.



□ 현재 배출량과 3년 후 온도와의 상관관계

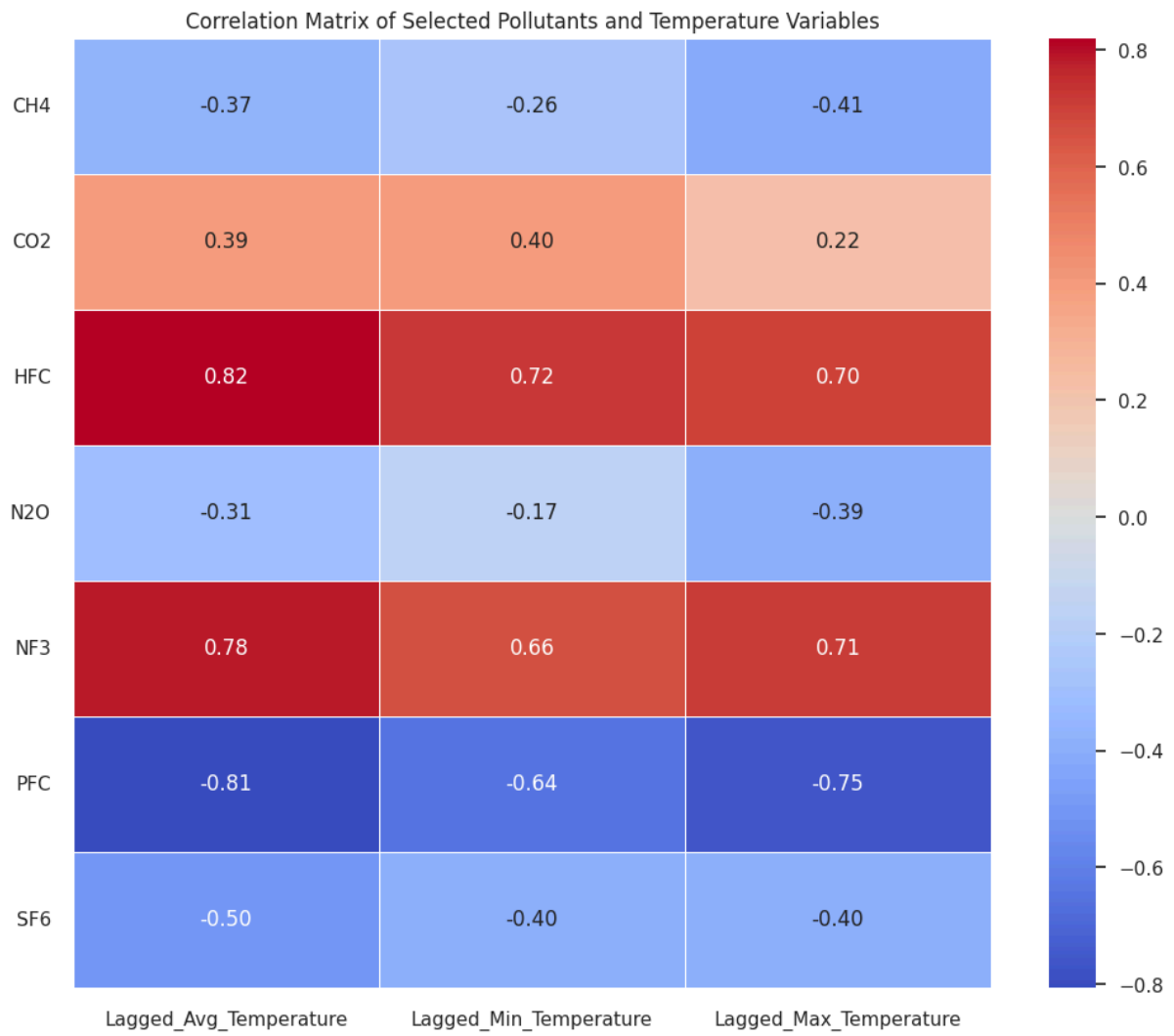
전체 온실가스 배출량은 3년 후 평균 온도와 0.36, 3년 후 최고 온도와 0.35, 3년 후 최저 온도와 0.32의 더 높은 상관관계를 나타냈습니다. 이는 온실가스 배출이 시간이 지남에 따라 지표면 온도 상승에 더 큰 영향을 미칠 수 있음을 보여줍니다.

□ 위와 같은 결과를 바탕으로 온실가스 배출량이 기후 변화, 특히 지표면 온도 상승에 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있습니다.



2.3.2 온실가스 별 온도의 상관관계 행렬

- CO₂(이산화탄소), HFC(수소불화탄소), NF₃(삼불화질소)가 3년 뒤의 평균 지표면 온도, 최저 지표면 온도, 최고 지표면 온도에 상당한 영향을 미치는 주요 온실가스로 나타났습니다.
- CO₂는 3년 뒤의 평균 지표면 온도와 0.39, 최저 지표면 온도와 0.40, 최고 지표면 온도와 0.22의 상관관계를 보입니다.
- HFC는 평균 지표면 온도와 0.82, 최저 지표면 온도와 0.72, 최고 지표면 온도와 0.70의 높은 상관관계를 보여줍니다. 이는 HFC가 모든 지표면 온도 지표에 대해 매우 높은 상관관계를 가지며, 온난화에 가장 큰 영향을 미치는 가스 중 하나임을 나타냅니다.
- NF₃는 평균 지표면 온도와 0.78, 최저 지표면 온도와 0.66, 최고 지표면 온도와 0.71의 상관관계를 보입니다. 이에 따라 NF₃ 역시 지표면 온도 변화에 상당한 영향을 미치는 온실가스로 볼 수 있으며, HFC와 비슷하게 모든 지표면 온도 지표에 대해 강한 상관관계를 나타냅니다.

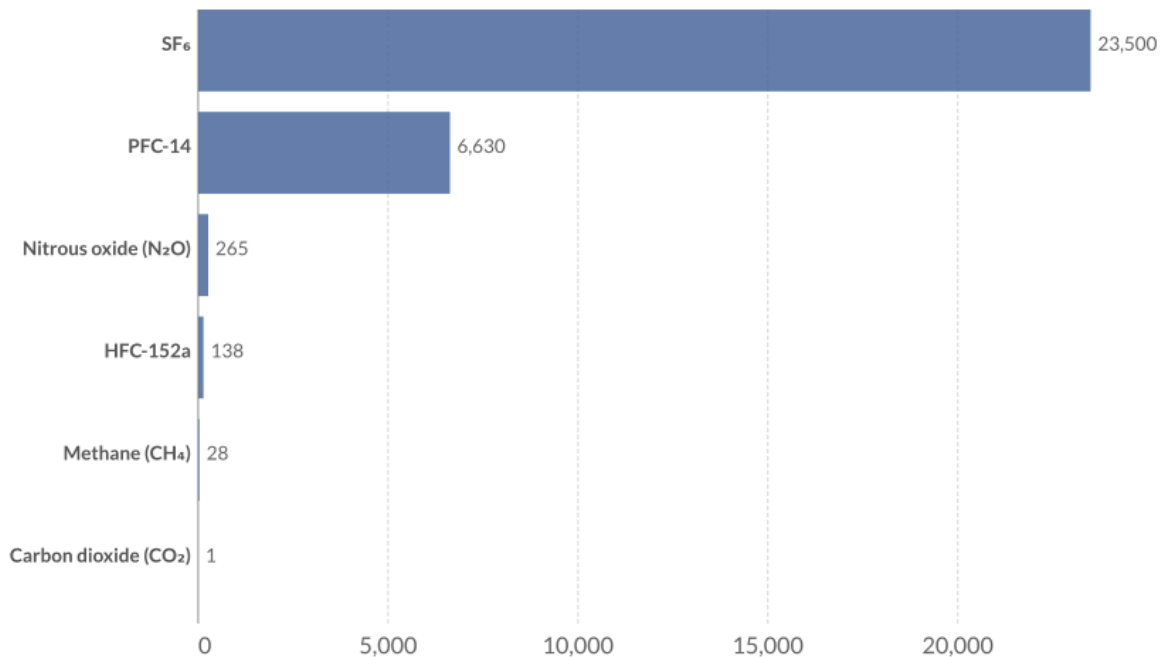


2.3.3 지표면 온도 변화와 관련된 오염 물질 요인 분석

Global warming potential of greenhouse gases over 100-year timescale

Global warming potential¹ measures the relative warming impact of one unit mass of a greenhouse gas relative to carbon dioxide.

Our World
in Data



Source: IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report.

OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

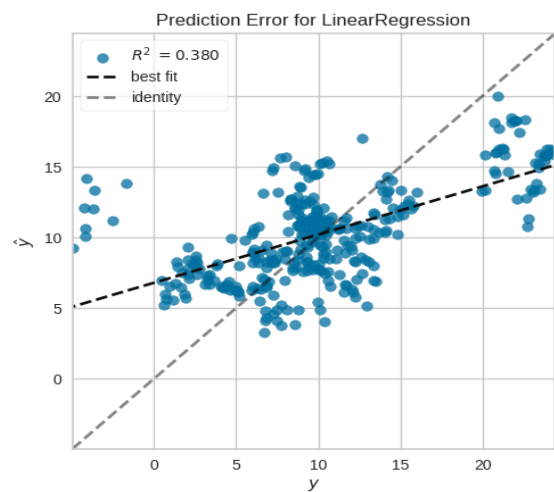
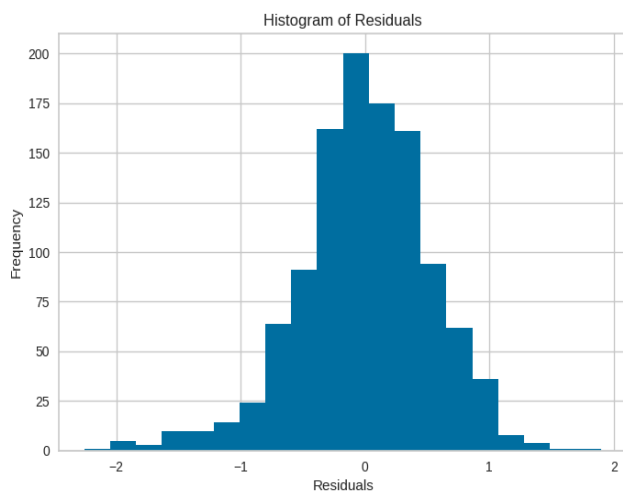
□ GWP는 IPCC(기후 변화와 관련된 과학적 연구를 종합하여 분석하고 보고서를 발간하는 국제기구)에서 발간하는 온난화 잠재력(Global Warming Potential)을 보여주는 지표로, 기후 변화와 온실가스 연구에 있어서 중요한 개념입니다. 20년, 100년, 500년을 기준으로 GWP 값이 제시되며, 온실가스가 지표면 온도 변화에 끼치는 영향력을 반영하기 위해 분석상의 가중치로써 사용되었습니다.

□ 본 자료를 참고하여, 주요 온실가스인 CO₂(이산화탄소)는 1, CH₄(메테인)은 28, N₂O(이산화질소)는 265, HFC(수소불화탄소)는 138, PFC(과불화탄소)는 6630, SF₆(육불화황)는 23,500의 가중치를 부여하였습니다.

2.3.3.1 선형혼합효과 (Linear Mixed Effects Model) 회귀 분석

- 선형 혼합 효과 모델(Linear Mixed Effects Model)은 국가 간 및 연도 간 변동성을 무작위 효과로 반영하여 국가별 및 연도별 환경오염 물질이 지표면 온도 상승에 미치는 영향을 분석하기 위해 사용되었습니다.

Mixed Linear Model Regression Results						
Model:	MixedLM	Dependent Variable:	Temperature			
No. Observations:	1126	Method:	REML			
No. Groups:	38	Scale:	0.2949			
Min. group size:	19	Log-Likelihood:	-1251.5216			
Max. group size:	30	Converged:	Yes			
Mean group size:	29.6					
	Coef.	Std.Err.	z	P> z	[0.025	0.975]
Intercept	-51.346	9.242	-5.556	0.000	-69.459	-33.232
GWP_CH4	0.000	0.000	0.690	0.490	-0.000	0.000
CO2	-0.000	0.000	-1.006	0.314	-0.000	0.000
GWP_HFC	0.000	0.000	0.545	0.586	-0.000	0.000
GWP_N2O	-0.000	0.000	-0.185	0.853	-0.000	0.000
GWP_PFC	-0.000	0.000	-0.356	0.722	-0.000	0.000
GWP_SF6	0.000	0.000	0.026	0.979	-0.000	0.000
Group Var	0.299	148.964				
Group x Year Cov	-0.017	0.339				
Year Var	0.001	0.001				



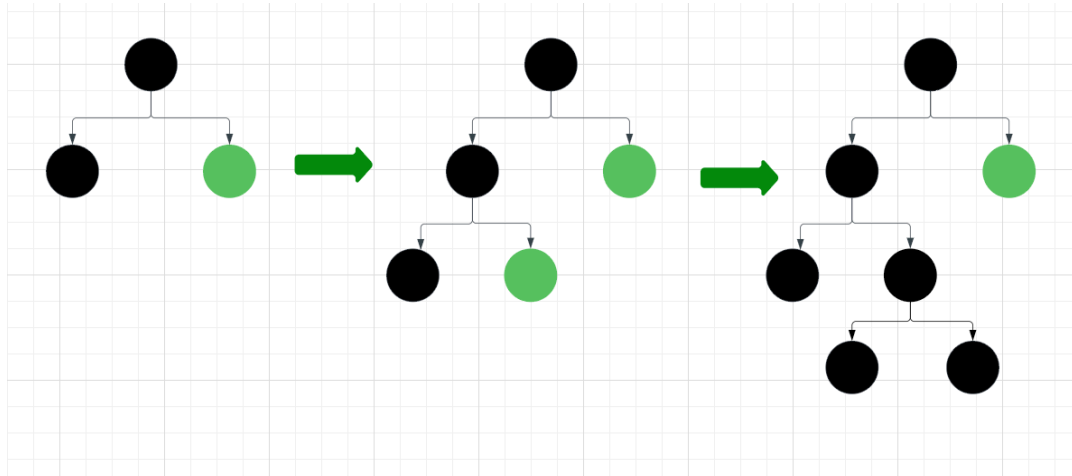
- 결과로, Residual Plot에서는 대부분의 값이 0에 가깝게 수렴하며 좋은 결과를 보여줍니다.
- 다만, R^2 값에서 0.38로 좋지 않은 설명력을 보여주며, 모든 요인의 P-value 값이 0.05 이상임을 확인 할 수 있었고, 계수 또한 0에 수렴하는 수치를 보여줍니다.

	Variable	VIF
0	GWP_CH4	897.808461
1	C02	537.435822
2	GWP_HFC	32.648986
3	GWP_N2O	1054.623974
4	GWP_PFC	19.445529
5	GWP_SF6	111.572787

- ☐ 모델이 종속변수인 평균 지표면 온도에 대해 좋지 않은 설명력을 가졌다고 판단되며, 다중공선성 또한 존재할 수 있다고 판단됩니다.
- ☐ 실제로, Variance Inflation Factors(분산 팽창 요인)를 계산해 본 결과, 모든 요인이 10 이상의 값을 가지며, 요인 간 다중공선성이 존재한다는 사실을 발견했습니다.

2.3.3.2 Light Gradient Boosting Model (LGBM) 회귀 분석

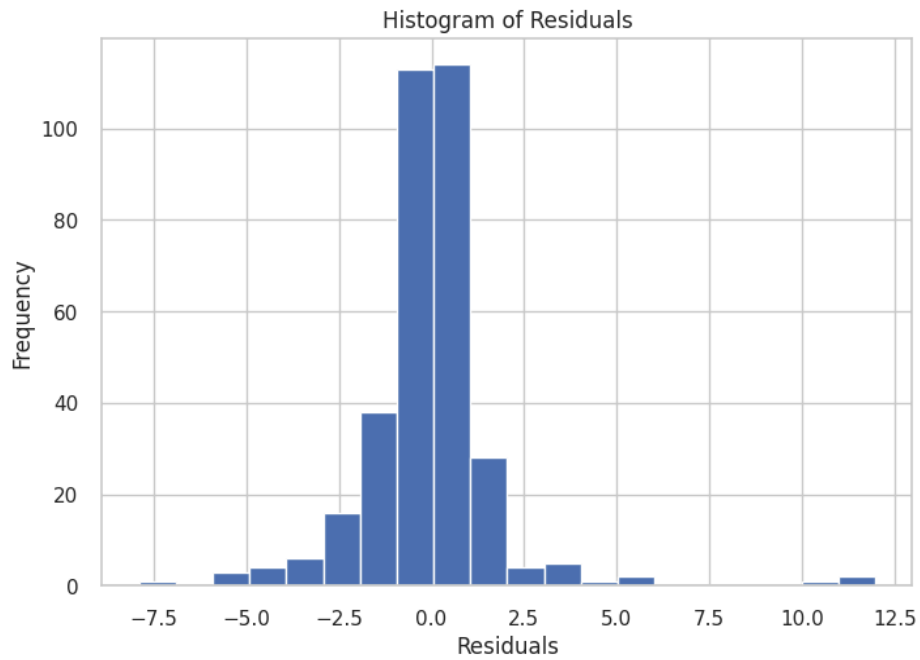
- Light Gradient Boosting Model(LGBM)은 다중공선성을 효과적으로 처리하고, 비선형적 관계를 잘 다루는 앙상블 트리 모델입니다.



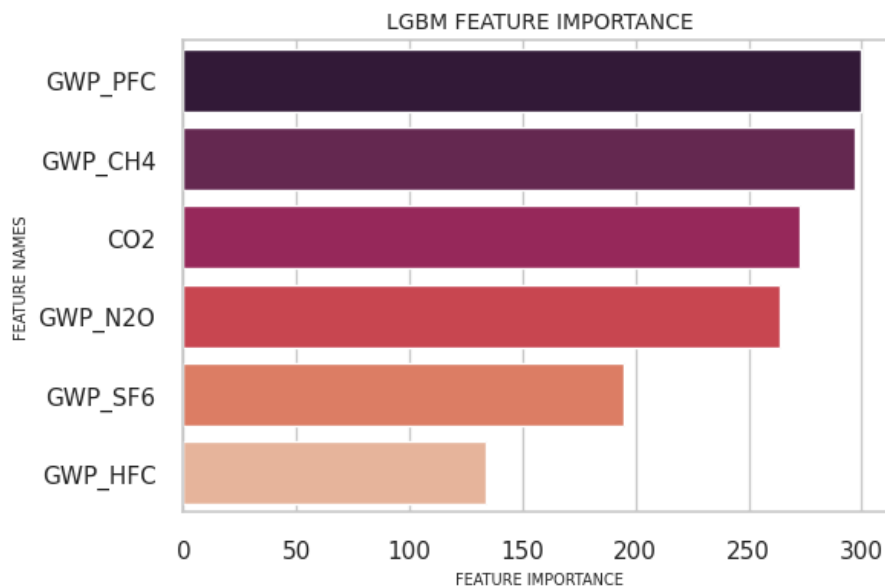
- Leaf-Wise Growth를 사용하는 모델인 만큼, Gradient Boosting Model 중 계산이 빠르고 효율이 좋은 모델이라 판단되기에 선형 혼합 효과 모델에서 성능이 저하되고 다중공선성이 발견된 상황에서 대안으로 선택되었습니다.

LGBM Train Score: 0.9779353529471548
LGBM Test Score: 0.9108489496516613
RMSE: 1.8164086530375854

- 분석한 결과, 모델은 훈련 데이터에서 97.79%, 테스트 데이터에서 91.08%의 설명력을 나타냈으며, RMSE는 1.82로 확인되었습니다. 이를 통해 모델의 예측 성능이 매우 우수함을 알 수 있었습니다.



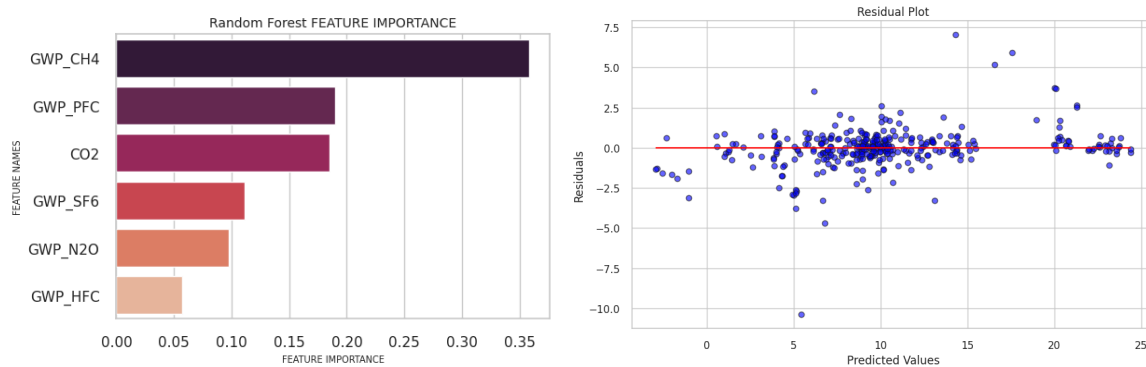
□ 잔차 히스토그램(Residual Plot)을 통해 잔차가 주로 0에 가까운 값을 가지며, 모델이 데이터를 잘 피팅하고 있음을 확인할 수 있었습니다. 이는 LGBM 모델의 예측이 전반적으로 신뢰할 수 있음을 시사합니다.



□ 특성 중요도 분석 결과, GWP_PFC, GWP_CH₄, CO₂가 온도에 가장 큰 영향을 미치는 변수로 나타났습니다. 이는 온실가스 중 PFC(과불화탄소), CH₄(메테인), CO₂(이산화탄소)가 온도 변화에 중요한 역할을 한다는 것을 시사합니다.

2.3.3.3 Random Forest 회귀 분석

- Random Forest 모델은 분석하기 위한 데이터의 특성상 높은 비선형성을 가지고 있으므로, 이를 해결하고 회귀 예측에 있어 우수하며 과적합을 방지하는 데 탁월한 성능을 보이기 때문에 이를 근거로 예측의 정확성을 향상하기 위해 본 모델을 사용하였습니다.
- Random Forest Train Score: 0.99, Random Forest Test Score: 0.95, RMSE: 1.29로 좋은 성능을 보입니다. 잔차 플롯을 그려본 결과 대부분의 값이 0에 수렴하는 균일한 분포를 보입니다.
- 특성 중요도를 시각화한 결과, GWP_CH₄가 0.36, GWP_PFC가 0.19, CO₂가 0.18로 해당 온실가스가 지표면 온도 상승의 주요 요인으로 나타났습니다. 이 외에도 GWP_SF₆가 0.11, GWP_N₂O가 0.10, GWP_HFC가 0.06으로 나타났습니다.



3. 결론

3.1 분석 결론

- 지구 온난화는 더 이상 부정할 수 없는 현실입니다. 데이터 분석 결과, 전 세계적으로 기온이 상승하고 산림 면적이 급격히 감소하고 있습니다. 이러한 변화는 지구 환경에 심각한 영향을 미치며 특히 기후 변화의 속도를 가속화하고 있습니다.
- 데이터의 상관관계 분석과 다중 회귀 분석 결과, 지구 온난화의 주요 원인 중 하나는 CO₂(이산화탄소)와 CH₄(메테인)과 같은 온실가스의 증가임이 통계적으로 입증되었습니다. 물론 PFC(과불화탄소), HFC(수소불화탄소), NF₃(삼불화질소), SF₆(육불화황)도 기후 변화에 중요한 영향을 미치는 온실가스입니다. 하지만 이들 가스는 주로 반도체 생산 등 중공업 산업에서 발생하므로 기업 차원에서의 배출 저감 노력이 필요합니다. 반면, 개인과 사회적 차원에서는 상대적으로 저감이 가능한 CO₂와 CH₄ 배출을 줄이기 위한 노력을 강화해야 합니다.
- 특히 미국의 경우, 높은 쓰레기 매립율과 낮은 재활용율로 인해 CO₂와 CH₄를 다량 배출하고 있습니다. 상관 관계 분석 결과, 높은 매립율과 낮은 재활용율은 CO₂ 배출의 주요 원인으로 나타났습니다. 매립지에 쌓인 쓰레기가 분해되는 과정에서 CH₄이 생성되고, 이를 통해 대기로 방출됩니다. 또한, 재활용되지 않은 폐기물은 많은 양의 CO₂를 추가로 배출하게 됩니다.
- 따라서 미국은 재활용율을 높이고 쓰레기 매립율을 낮추는 노력이 절실합니다. 이러한 환경 문제 해결을 위해 개발된 Anabada는 CO₂와 CH₄배출을 줄이는 데 중요한 역할을 할 것입니다. 더 나아가 지구 온난화를 완화하는 데 기여할 수 있을 것입니다. 또한 환경 파괴를 막기 위해서는 추가적으로 정책적 변화와 국민의 적극적인 참여가 무엇보다도 중요하며, 지속 가능한 미래를 만들어 나가는 것은 우리에게 가장 시급한 주제일 것입니다.

3.1.1. OECD 국가별 CO₂ 배출량

- 국가별 CO₂ 배출량을 시각화하였을 때, 미국의 인구수 대비 CO₂ 배출량이 4위로 나타났습니다. 타 국가와는 달리 중공업 중심 산업이나 자원 의존도가 높다는 특징이 없는 것을 감안할 때, CO₂ 배출량이 특히 높음을 알 수 있습니다.

- ☐ 미국의 쓰레기 매립률은 점점 감소하는 편이지만 국가별로 비교하였을 시 상위권에 있습니다. 재활용률 또한 2012년을 기점으로 급격하게 감소하고 있으며, 그 수치마저 다른 국가에 비해 낮은 편입니다.
- ☐ 미국은 특히 OECD 국가 중 가장 많은 인구수를 가지고 있다는 점에서 더욱 주의가 필요하다고 판단됩니다.
- ☐ 특히 미국의 데이터를 기준으로 한 CO₂ 배출량과의 상관관계나, t-검정 결과를 참고했을 때 재활용률이 높을수록 CO₂ 배출이 감소하고, 매립률이 높을수록 CO₂ 배출이 증가하는 관계가 통계적으로 유의미하다고 판단할 수 있습니다.

3.1.2. 연도별 세계 환경

- ☐ 해가 지날수록 기온이 상승하고 있으며, 북반구 지역에서 더욱 상승 폭이 큰 것을 확인하였습니다.
- ☐ 국가별 지표면 온도 증감률을 시각화하였을 때도, 최소 지표면 온도와 최고 지표면 온도 모두 상승하는 추세인 것을 확인하였습니다.
- ☐ 산림 면적은 해가 지날수록 감소하는 모습이 보입니다.

3.1.3. 온실가스와의 상관관계

- ☐ 상관관계 분석을 통해 온실가스 배출량이 높아질수록 지표면 온도가 상승한다는 점을 확인하였습니다.
- ☐ 세부 온실가스별 온도와의 상관관계의 경우, CO₂(이산화탄소), HFC(수소불화탄소), NF₃(삼불화질소)가 지표면 온도 상승에 가장 많은 영향을 미친다는 점을 확인하였습니다.
- ☐ GWP(지구온난화 잠재력) 지수로 온실가스 별 가중치를 부여해 머신러닝 모델에 적용, 요인 분석을 진행했습니다.
- ☐ 선형 모델의 경우 R²값이 매우 낮고 p-value가 0.05 이상으로 유효하다고 판단하기 어려웠으며, VIF 계산 결과 모든 값이 10 이상을 가져 다중공선성이 있는 모습을 보였습니다.
- ☐ 이에 앙상블 모델인 RF와 LGBM을 선택, 적용하였으며, PFC(과불화탄소)와 CH₄(메테인), CO₂(이산화탄소)가 지표면 온도 상승에 많은 영향을 미친다는 결과를 확인할 수 있었습니다.

3.2 전략 제시

3.2.1 Anabada 개발 동기: 재활용률을 높여 CH₄, CO₂ 배출량 감소

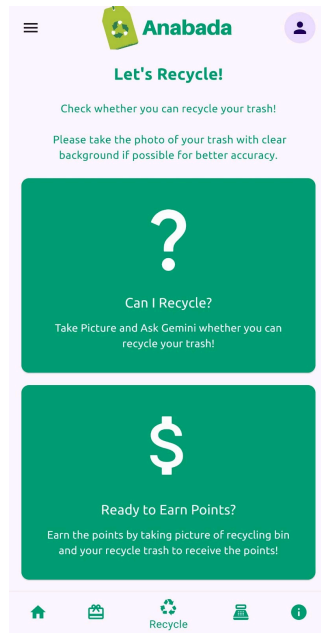
- ☐ 분석 결과, CH₄(메테인)와 CO₂(이산화탄소),는 온도 변화에 가장 중요한 요인으로 판단되었습니다. 따라서 이 두 요인의 배출량을 줄이는 것이 중요하다고 판단됩니다.
- ☐ CO₂ 배출량과 매립률은 0.89의 양의 상관관계를, 재활용률은 -0.75의 음의 상관관계를 보였습니다. 이에 더불어 T-검정을 통해 재활용률이 높아질수록 CO₂ 배출량이 감소한다는 근거가 유의미하다는 점을 알아냈습니다. 실제로 미국은 전체 국가의 13.49%에 달하는 CO₂ 배출량을 기록하고 있으며, 이는 유럽의 28개국 국가의 합산된 CO₂ 배출량보다 2배의 배출량입니다(Climates.gov, 2023).
- ☐ 또한, CH₄는 지구 온난화에 30%를 기여한다고 나타났으며 미국은 전체 국가 중 5위 안에 드는 CH₄ 배출 국가입니다(IEA, 2022). 실제로 2016년 기준, 미국의 매립지에서 배출된 CH₄는 약 1억 770만 톤의 CO₂ 상당량(Mt CO₂e)으로 추정된다고 합니다(Zhao, 2019).
- ☐ 이처럼, CH₄와 CO₂를 줄이기 위해선, 재활용률을 증가시키는 것이 중요합니다. 하지만 14%의 미국인들이 기후 변화에 대해 증거가 없다고 하고, 67%의 미국 기후변화 비관론자들은 환경 과학자에 대해 믿음이 없다고 하는 만큼 (Pew Research Center, 2023), 미국인들의 재활용에 관련한 인식을 개선하고, 재활용을 촉진하는 전략이 필요하다고 판단됩니다. 이 전략으로, Anabada 앱을 개발하였습니다.

3.2.3 Anabada 기능 소개

- ☐ 기능 1: 카메라 인증을 통한 재활용 인증 기능
 - ☐ 해당 기능 구현 의도

친환경 행동이 언제나 귀찮고 불편한 것으로 확대해석 되는 것은 바람직하지 않지만, 일상생활 속에서 친환경 행동의 실천에 영향을 주는 중요한 요인으로 ‘불편함’이라는 측면을 고려할 필요성은 충분히 존재한다(이미숙 & 구윤모. 2023).

이를 근거로 분리수거 활동에 약간의 불편함을 유도하고 고취하기 위해 카메라 기능을 활성화해 구현하고자 했습니다.
 - ☐ 재활용 인증 기능



Yes.

Can I Recycle?:

해당 버튼을 누르면 카메라로 연결되며, 카메라를 통해 재활용하고자 하는 쓰레기를 찍을 수 있습니다. 분리수거할 수 있는 쓰레기로 판별될 경우 Yes. 아닐 경우 No. 을 반환하기 때문에 분리수거 여부를 판단할 수 있습니다.

Reaty to Earn Points?:

해당 버튼을 누르면 카메라로 연결되며, 카메라를 통해 분리수거하고자 하는 쓰레기를 찍을 수 있습니다. 분리수거할 수 있는 쓰레기로 판별될 경우 쓰레기를 버리는 것을 인증하는 화면이 다시 한번 활성화됩니다. 2번의 인증 과정을 통과하면 재활용 포인트를 얻게 되는데, 분리수거가 가능한 쓰레기가 아닐 경우 인증 화면에서 자동으로 나가게 됩니다.

☐ 기능2: 인센티브 전략을 활용한 보상 기능

☐ 특정 행동을 하면 보상을 주는 리워드 앱뿐만 아니라 기존 플랫폼의 앱에서도 부가 서비스로 리워드 기능을 도입하는 경우도 늘어나고 있습니다(나건웅., 2023.9).

이용률 증대나 고객 이탈을 막는 ‘락인 효과’를 위한 노림수입니다.

☐ 이와 같이 저희 앱에도 재활용 인증을 하면 포인트를 주고 일정 포인트 이상 모으면 보상으로 교환할 수 있게 하였습니다. 분리수거하여 경제적 보상을 얻게 함으로써 사용자가 지속적으로 앱을 사용하도록 유도하였습니다.

□ 이러한 락인 효과 덕분에, 일단 분리수거 앱을 사용하기 시작한 사람들은 이를 습관화하여 계속해서 사용하게 될 가능성이 높습니다. 따라서 앱을 통해 한 번 분리수거를 경험한 사용자는 점차 분리수거를 생활의 일부로 정착시키는 패턴을 갖게 될 것입니다.

□ 기능 3: 작업 지원

고객 지원이나 대화형 서비스가 많을수록 재활용 관련 앱 사용도가 오르는 경향이 있습니다(Nkwo, Suruliraj, & Orji, 2021). 또한 주된 작업, 시스템 신뢰성, 대화, 사회적 요소에 대한 지원이 앱의 많은 사용에 긍정적인 영향을 미친다고 소개하고 있습니다. 애플리케이션의 더 많은 사용을 위해 정보 제공, 신뢰성, 개인화 전략이라는 세 가지 측면에서 사용자 지원 기능을 도입했습니다.

□ 정보 제공

Anabada 애플리케이션은 재활용 가능 품목에 관해 지식이 없는 사용자도 쉽게 방법을 찾을 수 있도록 Information 정보 탭을 구축해 두었습니다.

품목과 그 재활용 방법에 관해 짧게 소개하는 형식으로 진행되어 있으며, 해당 게시글을 통해 알기 힘든 요소는 앞서 소개한 것처럼 **Recycling 재활용 탭의 "Can I Recycle? 재활용 가능한가요?"** 버튼을 통해 확인할 수 있습니다.

□ 신뢰성

재활용 정보 외에도 시스템에 있어 궁금한 요소를 문의할 수 있는 창구를 만들기 위해 Q&A 서비스를 제작하였습니다. 해당 페이지에 FAQ를 함께 제공함으로써 시스템 신뢰도를 높이기 위해 노력했습니다.

□ 개인화

다크 모드, 글씨 크기 조절 등 사용자 편의를 위한 기능을 도입했습니다. 사용자의 선호에 따라 애플리케이션 스타일을 조정하고, 보다 나은 사용 환경을 만들 수 있도록 노력하였습니다.

2. 참고문헌

영어 문헌:

- Global Methane Tracker 2022: Overview. (2022, February). IEA.
<https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022/overview>
- *Global warming potential of greenhouse gases relative to CO2*. Our World in Data. (n.d.).
<https://ourworldindata.org/grapher/global-warming-potential-of-greenhouse-gases-over-100-year-timescale-gwp>
- IPCC. (2024, August 7). *IPCC global warming potential values (Version 2.0)*.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-7/#7.6>
- Li, Y., Yang, D., Sun, Y., & Wang, Y. (2021). Motivating recycling behavior—which incentives work, and why? *Psychology & Marketing*, 38(9), 1525–1537.
<https://doi.org/10.1002/mar.21518>
- Nkwo, M., Suruliraj, B., & Orji, R. (2021). Persuasive apps for sustainable waste management: A comparative systematic evaluation of behavior change strategies and state-of-the-art. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 4, Article 748454.
<https://doi.org/10.3389/frai.2021.748454>
- Pasquini, G., Spencer, A., & Funk, C. (2023, August 9). Why some Americans do not see urgency on climate change. *Pew Research Center*.
<https://www.pewresearch.org/science/2023/08/09/why-some-americans-do-not-see-urgency-on-climate-change/>
- Scott, M. (2023, August 30). *Does it matter how much the United States reduces its carbon dioxide emissions if China doesn't do the same?* NOAA Climate.gov.
<https://www.climate.gov/news-features/climate-qa/does-it-matter-how-much-united-states-reduces-its-carbon-dioxide-emissions#:~:text=Even%20though%20the%20United%20States,countries%20in%20the%20European%20Union>

- Katharina Buchholz, Jul 13, 2022, The Most Populous Nations on Earth, [Chart: The Most Populous Nations on Earth | Statista](#)
- Zhao, H., Themelis, N. J., Bourtsalas, A., & McGillis, W. R. (2019). Methane Emissions from Landfills. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17326.77120>

국문 문헌:

- 나건웅. (2023.9). 앱테크 열풍... '리워드 앱'의 세계: 화분에 물 주기·폰 안 보기... 돈이 쌓이네. *매경이코노미*, (통권 제2225호), 72-74.
- 서울연구원. (2021.12). 저탄소 친환경 행동 활성화 위한 인센티브 부여 방안: *Planning Low-Carbon Behaviors(LCBs) Incentive Programs Towards Seoul as a Carbon Neutral City*. 서울연구원 정책과제연구보고서 연구보고서 [서울연 2021-PR-23], 1-150.
- 이미숙, & 구윤모. (2023). 친환경행동 실천의 불편요소에 대한 실증분석: 쓰레기 분리수거를 중심으로. *한국환경정책학회 한국환경정책학회 학술대회논문집 학술대회자료*, 41-42.