

# 기계학습 기반 유럽 탄소배출권 미래 가격

## 예측 및 불확실성 평가



<u>박은실\*</u> · 강승우 · 김동희 · 신현돈 · 조홍근\*\*

contact: \*oces0925@gmail.com, \*\*honggeun.jo@inha.ac.kr

#### 탄소배출권이란?

### 탄소배출권

• 6대 온실가스를 일정기간동안 배출할 수 있는 권한



### **EU Allowance**

• 유럽연합 배출권 거래 제도(EU ETS) 내의 탄소배출권

#### 주제 선정 배경

## 연구배경

유럽은 '12년부터 탄소거래소 적극적으로 운영 전세계에서 가장 큰 규모의 시장을 확보함

최근 3년간 유럽은 친환경에너지의 수요가 증가하여 EUA에 급격한 변화 발생

EUA 예측 연구는 조롱 유가와 같은

#### 연구 목표 기대 효과

탄소배출권 가격 예측의 신뢰도 향상

탄소 시장 전략 수립에 기여

탄소배출권 관련 정책 과정에 유용한 정보 제공

## 방법론

\*EUA에 영향을 미치는 다양한

요인들을 포함하는 데이터 수집 (출처: Yahoo Finance, Eurostat, Investing.com 등) \*과거 EUA 자료 중 Outlier에

해당하는 자료를 제외함 •MinMaxScaler를 사용하여 입력 데이터의 스케일을 조정 \*Random Forest 모델 사용 •학습 과정을 500회 반복하여

앙상블 예측을 생성

•데이터를 학습 세트(67%)와 테스트 세트(33%)로 분할

•학습 및 테스트 자료의 R<sup>2</sup> 스코어로 최적의 모델 디자인

EUA 및 8개 경제인자 예측 •예측된 값은 다시 입력 데이터로 활용되어 순차적 미래예측 실시

다변수를 고려한 기계학습 기법 활용

유럽의 탄소배출권 미래 가격 예측

예측한 가격의 불확실성 평가

학습된 모델로 향후 3년 동안의

05 미래 가격 예측

> •예측 모델의 오차를 반영하여 예측 결과에 5% 오차를 MCS\*로 추가 •예측의 불확실성 평가를 위해 EUA의 신뢰구간(P10, P50, P90)을 예측

> > \*Monte-Carlo Simulation

예측 모델의

입력 인자에

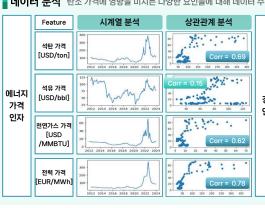
포함

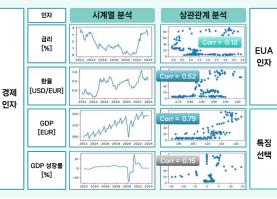
예측 모델의

입력 인자에

제외

데이터 분석 탄소 가격에 영향을 미치는 다양한 요인들에 대해 데이터 수집 후 수집된 데이터를 분석 가능한 형태로 변환





\*= FIJA × EUA 거래량 시계열 분석 상관관계 분석 인자 [EUR/ton] EUA 시장규모' [EUR] 석유 가격 상승 → 온실가스 배출 감소 노력 총진 금리 상승 → 대출 비용 증가, 경제 활동 위축 금리 하락 → 투자 및 소비 증가 유도

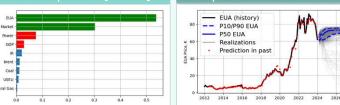
GDP 성장률 자료의 outlier가 심하고, 비선형적 상관관계

예측 모델 디자인 입력 자료 기간을 6개월로 한 결과 학습 자료와 테스트 자료에 가장 높은 정확도를 보여, 이를 최종 예측 모델로 선정

#### EUA Price Prediction with [coefficient of determination] Set input data period 3 months of input data 6 months of input data 9 months of input data 12 months of input data 85 40 40 40 40 80 20 20 20 20 75 70 2012 2014 2016 2018 2020 2022 2024 2026 2012 2014 2016 2018 2020 2022 2024 2026 20122014201620182020202220242026 2012 2014 2016 2018 2020 2022 2024 202 Train score (R2) Test score (R2) 0.98 0.86 0.83 0.98 0.97 0.84

## 입력 인자 중요도 결과

### Random Forest 미래 예측 결과



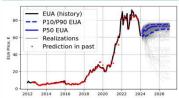
#### Feature Importance

• Random Forest에서 Node를 분기할 때, 각 인자의 클래스 분류에 얼마나 중요한지를 나타냄

Feature Importance [fraction]

- 전력 가격과 GDP가 높은 인자 중요도를 보임
  IR (금리)는 EUA와 낮은 상관관계임에도 불구하고, 상대적으로 높은 인자 중요도를 보임
  특히, Kim and An(2016) 결과를 보완하도록 Brent 이외에 가가지 인자를 포함한 예측결과의 정확도가 개선될 수 있음을 나타뱀

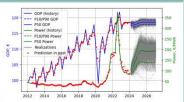
#### Multiple variables EUA Prediction



#### EU Allowance 예측

영향 요인

- · Random Forest 모델로 과거 6개월간 자료를 입력 받아 다음 달의 EUA 및 8가지 인자를 예측하고, 그 예측 결과의 ±5%의 오차를 추가한다음 이를 반복해 미래 3년간('24.2~'27.2 가격변화를 예측
- 최종 예측 모델의 3년 뒤 EUA는 69 €(P10) / 73 €(P50) / 75 €(P90)로 예측
- '24년 3월의 EUA는 61.93 €으로 예측모델의 결과인 60.3 €(P10)과 69.03 €(P90) 사이에 위치



#### GDP와 전력 가격 예측

- 본 연구에서 제안하는 Random Forest는 EUA 의 나머지 8개 인자에 대해서도 미래를 예측하고 이를 소차적으로 반영함으로 EUA 예측에 가장 큰 영향을 미친 GDP와 전력 가격의 3년 뒤 예측
- 68을 마군 6만되면 구기 극의 3년 뒤에득 GDP은 117.95 €(P10) ~ 119.14 €(P90) 사이로 예측되며, 전력가격은 138.11 €/MWh(P10)에서 230.06 €/MWh(P90)사이로 예측
- 전력가격의 불확실성이 GDP보다 큰 것으로 관측 되며, 학습 자료 중 COVID기간 동안의 급격한 전력가격 상승으로 인한 outlier 영향으로 분석됨

## (대조군) ARIMA 미래 예측 결과 비교



## ARIMA 모델 활용

- 대표적인 단변수 시계열 데이터 분석 기법인 ARIMA (Autoregressive Integrated Moving average Model)모델을 이용하여 3년 간의 탄소 배출권 가격을 예측하여 이를 Random Forest 결과와비교함
- 교리되어교요 ARIMA 모델은 3년 뒤 EUA를 68.93 €로 예측 특히, '24년 3월 EUA과 예측결과를 비교한 결과 63.97 €로 실제보다 2.04€ 높게 예측
- ARIMA는 EUA 가격 외 다른 경제적 인자를 고려 하지 못하고, 불확실성 평가가 어려운 한계가 있음

#### 결론

주요 발견

Random Forest 모델을 통해 단기 예측에서 상당한 정확도를 달성 이 결과는 탄소배출권 가격 예측에 다변수 접근 방식의 필요성을 강조

탄소배출권 가격은 경제적, 환경적, 정책적 요인들의 복잡한 상호작용으로 결정되어 이를 반영할 수 있는 데이터 및 모델링 기법으로 발전가능

지속적인 데이터 수집과 모델 업데이트를 통해 탄소배출권 예측 정확도를 개선할 수 있음 이를 통해 탄소중립에 필요한 정책 및 사업 계획의 기초자료로 활용할 수 있을것으로 기대함

## 사사

본 연구는 산업통상자원부/한국에너지기술평가원의 지원(20212010200010, CO2 저장효율 향상 기술 개발 20233D00000090, 한반도 권역별 종합 2D/3D 물리탐사 및 전산 재처리를 통한 상용화급 대규모 CO2 저장소 확보)과 산업통상자원부/해외자원개발협회의 지원(2021060002, 디지털 오일필드 전문인력 양성)을 받아 수행했습니다.cc





2024 한국석유공학회 춘계학술발표회 (2024. 4.18 ~ 4.19)

본 연구에서는 전력과 GDP가 탄소배출권 가격 예측에 중요한 영향을 미치는 것으로 확인 이외에도 다양한 요인들이 영향을 미칠 수 있으며, 이를 고려한 정확도 높은 예측이 필요