

다국간 국제배출권 가격, 에너지 가격 및 주가지수 간 동태적 관계 분석

모정윤[†]

강원대학교 농업자원경제학과 부교수

An analysis of the dynamic relationships among cross-country carbon emission prices, stock indices, and energy prices

Mo, Jung Youn[†]

Associate Professor, Department of Agricultural and Resource Economics, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

ABSTRACT

This study investigates the dynamic relationship among cross-country carbon emission prices, energy prices, and stock indices, focusing on four major emissions trading system (ETS) markets: the European Union, South Korea, New Zealand, and Shanghai. Based on daily data from 2015 to 2024, the paper employs a panel vector autoregression (VAR) framework to empirically analyze the short-run and long-run relationships between carbon prices, natural gas prices, and stock market indices. Panel unit root and cointegration tests reveal that while there is no stable long-term equilibrium relationship among these variables, significant short-term causal effects exist. Specifically, natural gas prices have a statistically significant impact on carbon prices in the short run. Higher gas prices reduce industrial electricity demand, subsequently decreasing the demand for carbon emissions and leading to a decline in carbon prices. Rising carbon prices exert downward pressure on stock indices, suggesting that increased carbon costs amplify production expenses and weaken market sentiment. These findings underscore the sensitivity of carbon markets to energy market fluctuations and financial conditions, highlighting the need for effective price stabilization mechanisms such as flexible allowance supply adjustment mechanisms linked to exogenous variables. The paper contributes to the existing literature by incorporating cross-country panel data and deriving policy implications for carbon market stabilization, risk management, and emissions reduction strategy alignment. Future research could enhance robustness by incorporating additional countries and variables such as temperature shocks and renewable energy deployment. This study provides timely insights for policymakers aiming to strengthen the operational resilience and predictive capacity of international carbon markets.

Key words : Carbon Emission Prices, Energy Prices, Stock Index, Dynamic Relationship, Climate Policy

1. 서론

국제 배출권 시장은 2005년 유럽연합의 EU ETS를 시작으로 본격적으로 도입되었으며, 교토의정서와 파리 협정 등 국제적 환경 규제의 강화에 힘입어 온실가스 감축을 위한 효율적인 수단으로 확대되었다. 시행 초기에는

배출권의 과잉 할당, 높은 시장 가격 변동성 및 세심하지 못한 시장설계 등으로 인해 배출권 가격이 탄소 감축의 실질적 유인을 제공하지 못하는 한계가 존재하였다. 특히 단기적 수급 불균형, 정보 비대칭 및 투기적 거래 등은 배출권 시장의 신뢰성과 가격 신호의 왜곡을 초래하여 배출권 거래 제도의 실효성과 감축 목표 달성의 걸림돌로 작용

[†]Corresponding author : jymo0124@gmail.com (24341, Department of Agricultural and Resource Economics, Kangwon National University, 1 Kangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, Korea. Tel. +82-33-250-8667) **ORCID** 모정윤 0000-0002-1258-7246

용하였다. 배출권 시장의 고도화 및 시장 활성화를 위해 국제 배출권 시장 가격과 영향을 주고받는 다양한 요인들을 규명하고 이를 토대로 시장 가격의 조기 예측 및 변동성 감소를 위한 정책적 시사점 도출이 매우 중요한 시점이다.

동 연구는 세계 주요국의 탄소 배출권 시장 가격과 에너지 가격 및 주가지수 간 동태적 관계를 분석함으로써 탄소 배출권 가격의 형성과 전이 경로를 실증적으로 규명하고자 한다. 에너지, 금융시장 및 배출권 시장 간 장·단기 인과 관계의 방향을 토대로 다양한 시장 가격들의 실물경제 파급효과를 파악하고자 한다. 또한 동 연구의 실증 결과들은 에너지 및 탄소 감축 정책 설계의 정합성을 제고하고 금융 리스크 관리 및 탄소금융상품 개발 등 다양한 정책 수립 측면에서 종합적 판단의 근거로 사용될 수 있다. 마지막으로 에너지 가격 및 경기 변동이 관측될 때 국제 배출권 시장의 반응을 조기 진단할 수 있다는 점에서 배출권 시장 가격의 예측 및 관리에 사용될 수 있다.

본 연구는 아래의 두 가지 측면에서 선행 연구와 차별성이 존재한다. 첫째, 본 연구의 범위는 특정 지역 및 산업이 아니라 배출권거래제를 적극적으로 시행하고 있는 주요 선진국들을 연구의 범위로 확장하였다. 국제 탄소 배출권 시장의 다양한 자료를 기반으로 배출권 가격과 에너지 가격 및 경제활동 수준 등 배출권 가격에 영향을 주고받는 변수들 간 동태성을 분석했다는 점에서 연구의 공헌도가 존재한다. 둘째, 배출권 시장 가격에 단기적으로 영향을 미치는 변수들을 찾아내고 이를 바탕으로 탄소 배출권 시장 고도화를 위한 다양한 정책적 시사점을 도출하였다. 본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장은 배출권 시장 가격의 동태성 분석 및 가격결정 요인과 관련된 다양한 국내외 선행 연구들을 분석하고 동 연구의 차별성 및 공헌도를 기술하였다. 제3장에서는 분석에 사용한 자료 및 연구 방법론을 소개하고 추정 결과를 분석 후, 제4장에서는 배출권 시장 고도화를 위한 정책적 시사점 등을 도출하였다.

2. 선행 연구 분석

탄소 배출권 가격과 에너지 가격 및 주가지수 간의 관계를 다양한 모형을 통해 분석한 해외 선행 연구로는 Fan and Todorova (2017), Chung et al. (2018), Wen et al. (2020), 및 Jiang et al. (2023) 등이 존재한다. Fan and Todorova (2017)는 2014년부터 2016년 기간의 중국 4개

지역의 탄소 배출권 시범 시장 자료들을 기반으로 지역별 배출권 시장과 거시경제 요인 간의 관계를 분석하였다. 분석 결과를 기반으로 배출권 시장별 탄소 배출권 가격과 동태적 관계가 존재하는 거시경제요인들이 상이하다는 점을 밝혀내었다. 후베이 지역의 경우 배출권 가격과 국제 천연가스 가격은 약한 인과 관계가 존재하였고 광둥 및 선전의 경우 탄소 배출권 가격과 주가지수 간 양의 상관관계가 존재하였다. Chung et al. (2018)은 VECM (Vector Error Correction Model) 모형을 기반으로 유럽연합의 탄소 배출권 가격과 에너지 가격 간 동태성 분석을 시행하였다. 그 결과 EUA 가격은 전력 가격과 천연가스 가격에 인과적 영향을 미친다는 결론을 도출하였다. Wen et al. (2020)은 중국 자료를 기반으로 탄소 배출권 시장과 주식 시장의 비대칭적 관계를 분석하였다. 비선형 자기회귀 분산 지연(Nonlinear Autoregressive Distributed Lag, NARDL) 모델을 활용하여 탄소 배출권 가격 상승이 주식 시장에 미치는 부정적인 영향이 가격 하락 시보다 더 크게 나타난다는 결론을 도출하였다. Jiang et al. (2023)은 유럽연합을 대상으로 탄소 배출권 시장과 석유, 석탄 및 천연가스 가격 간의 인과 관계를 분포 분위(Quantile)별로 분석하였다. 그 결과 분포의 중간 분위에서는 탄소 가격과 에너지 가격 간 인과 관계는 존재하지 않았으나 하위 및 상위 분위에서는 탄소 가격 변화와 화석에너지 가격 변화 간의 양방향 인과성이 존재한다는 결론이 도출되었다.

또한 Tan et al. (2020), Marín-Rodríguez et al. (2023), Cheng and Jiang (2024), Ozkan et al. (2024), Ha et al. (2024) 및 Yu and Chang (2024) 등도 다양한 방법론을 기반으로 탄소·에너지·금융 시장 간 연관성을 분석하였다. 먼저 Tan et al. (2020)은 다변량 GARCH 및 연결성 지표 (DY spillover index)를 기반으로 유럽 배출권시장(EU ETS)의 수익률 및 변동성, 주요 에너지 및 금융 시장 간 연동성을 분석하였다. 분석 결과, 탄소시장은 특히 에너지 시장과 강한 상호연결성을 보이며, 시장 불안정기에는 스펙오버 강도가 크게 상승한다는 결론을 도출하였다. Marín-Rodríguez et al. (2023)은 웨이브렛 분석을 통해 유가, 그린본드, 그리고 탄소배출권 가격 간의 시간 및 주파수 기반 동적 연관성을 분석하였다. 추정 결과를 바탕으로 저자는 자료 간 연결성은 시기와 주기에 따라 달라지며, 특히 시장 스트레스 시기에 상호 영향력이 강해진다는 결론을 주장하였다. Cheng and Jiang (2024)는 DCC-GARCH 모형을 활용하여 중국의 탄소시장, 그린본드, 청정에너지 및 전력 시장 간의 동적 상호작용을 분석

하였다. 분석 결과, 탄소시장은 단기 및 중기적으로 청정 에너지 시장에 긍정적인 영향을 미치지만, 장기적으로는 그 효과가 약화되며 가격 전이의 방향성과 강도가 시기별로 달라진다는 사실을 밝혀냈다. Ozkan et al. (2024)은 DCC-GARCH t-코플라 모형을 기반으로 화석연료, 청정 에너지 및 금융자산(국채, 금 등) 간 변동성 연결성을 분석하였다, 연구 결과 시장 간 총 연결성은 32.8%였으며 COVID-19 등 지정학적 사건 시기에 변동의 연결성이 급등했음을 확인하였다. 또한 탄소 선물은 주요 변동성 전파자 역할을 수행함을 밝혀내었다. Ha et al. (2024)는 TVP-VAR 모형을 기반으로 탄소 배출권 선물과 재생에너지 섹터의 변동성 간 동적 연계를 분석했으며, 특히 COVID-19 초기에 시스템 전체의 연결성(dynamical connectedness)이 가장 높았다는 결론을 도출하였다. 또한 탄소 배출권과 풍력에너지는 pandemic 전후 모두 충격을 전달하거나 수용하는 양방향(net transmitter & receiver) 역할을 수행한다고 주장하였다. Yu and Chang (2024)은 네트워크 분석을 기반으로 탄소 가격 및 에너지 가격의 연결성이 충격에 따라 동적으로 변하며 특히 에너지 시장이 충격의 전파자 역할을 수행하고 탄소 시장은 수신자 역할을 수행하고 있다는 점을 밝혀내었다.

동 논문과 관련된 국내 선행 연구 중 Jung (2018)은 2013년부터 2017년까지의 유럽연합 자료를 기반으로 유럽연합의 배출권 가격 및 다양한 에너지(석유, 석탄, 천연가스 등) 가격들 간 동태적 관계를 분석하였다. 그 결과 석탄 가격은 배출권 가격에 통계적으로 유의미한 음의 영향을 미치고 있다는 결론을 도출하였다. Yang and Li (2023)는 한국의 배출권 시장, 에너지 시장 및 주식 시장 간의 동태적 관계를 분석하였다. 이변량 DCC-GARCH 모형을 기반으로 세 시장 간 동태적 조건부 상관관계 분석 결과 한국의 배출권 시장은 WIT 원유 선물시장보다 주식 시장과의 상관관계 지속성이 더 강하다는 점을 밝혀내었다. Woo and Shin (2022)은 ARDL (Autoregressive Distributed Lag) 모형을 기반으로 국내 배출권 가격의 결정요인을 분석하였다. 그 결과 단기적으로 석유 가격은 배출권 가격에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 않음을 밝혀내었고 기업들이 에너지 가격이 상승 시 에너지 소비 감축을 통한 배출권 수요 감축을 실행하고 있지 않는다는 결론을 도출하였다.

배출권 가격, 에너지 및 주가지수 간 동태적 관계를 분석한 대부분의 선행 연구들은 특정 국가 또는 지역 자료 등 제한적인 자료를 기반으로 연구 분석을 진행하였다.

그 결과 배출권 가격과 장·단기 영향을 주고 받는 변수들은 지역·국가별 또는 분석 기간별로 상이함을 밝혀내었다. 동 연구는 그간 연구된 적이 없었던 주요 선진국의 배출권 시장 통합 자료를 활용하여 다국간 ETS 시장 가격과 긴밀한 영향을 주고받는 다양한 변수들 간의 동태적 움직임을 분석하였다는 점에서 연구의 차별성이 존재한다. 동 연구에서는 특정 국가 또는 지역이 아닌 배출권거래제를 시행하는 주요 선진국들의 다양한 자료를 통합적으로 활용하여 배출권 가격과 에너지 및 주가지수 간의 동태성을 분석 후 배출권 시장 가격 예측 및 결정 매커니즘을 명확히 규명하고 효율적인 시장 운영을 위한 다양한 정책적 시사점을 제공하고자 한다.

3. 자료 및 분석 결과

3.1. 자료

동 분석에 사용한 자료는 2015년부터 2024년까지의 한국, 상하이, 뉴질랜드 및 유럽연합의 일별 자료들이다. 먼저 각국의 탄소배출권 가격 자료는 ICAP (International Carbon Action Partnership)의 통계 자료를 활용하였다. 배출권 가격을 분석 시 각 나라의 통화 단위를 일별 환율을 고려하여 모두 미국 달러 단위로 통일하였다. 또한 에너지 가격을 대리하는 각국의 천연가스 가격은 아래의 www.wind.com.cn 홈페이지에서 수집하였다. 각국의 천연가스 가격 또한 barrel 당 미국 달러 단위로 환산하여 동일한 화폐단위로 사용하였다. 마지막으로 각국의 생산활동을 대리하는 주가지수는 아래와 같이 사용하였다. 한국의 주가지수는 KOSPI (Korea Composite Stock Price Index), 상하이의 주가지수는 SSEC (Shanghai Stock Exchange Composite Index), 뉴질랜드의 주가지수는 NZX 50 (New Zealand Exchange 50 Index), 유럽의 주가지수는 MSCI (Morgan Stanley Capital International) EU index를 사용하였다.

Fig. 1은 분석에 사용한 각국의 탄소 배출권 가격의 관측 기간별 추세를 요약하고 있다. 분석에 사용한 4개국의 탄소 배출권 가격 중 유럽연합 배출권 가격의 평균 가격 및 변동성이 가장 높으며 뉴질랜드 및 한국 순으로 배출권 가격 및 변동성이 높게 관측되었다. 유럽연합 및 뉴질랜드 배출권 시장 가격은 2020년 이후 급등하다가 2023년 이후 가격이 급락하는 추세를 보인다. 동 시장들의 가격 급등의 원인으로는 코로나 19 이후 경제 회복 및 에너

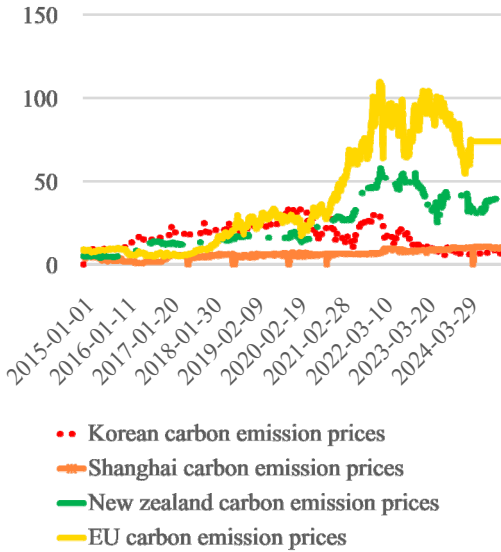


Fig. 1. The trends of carbon emission prices (US dollars/ton) by countries

Table 1. Mean price by country

	Carbon emission price (US dollars/ton)	Natural gas price (US dollars/ton)	Stock index (US dollars)
Republic of Korea	16.890	9.185	2.004
Shanghai	5.919	10.003	474.586
New Zealand	23.968	3.108	6558.636
EU	40.544	3.092	143.225

지 수요 급증 등을 들 수 있다. 반면 한국의 배출권 가격은 2021년도 이후 지속적 하락을 기록하였다. 한국의 배출권 시장 가격 하락의 원인으로는 배출권 이월 제한 규제 강화로 인한 공급 과잉, 경제 둔화로 인한 산업 생산량 감소 등을 들 수 있다.

Table 1은 국가별 사용한 변수들에 대한 평균 가격을 비교하고 있다. 배출권 가격의 경우 관측 기간 동안 유럽연합의 평균 가격이 톤당 약 41달러로 가장 높았으며 그 뒤로 뉴질랜드 및 한국의 배출권 평균 가격이 높게 형성되었다. 천연가스 가격의 경우 상하이 및 한국의 가격이 유럽 및 뉴질랜드의 가격에 비해 현저히 높게 관측되었다.

1) 본 논문에서는 사용한 모든 자료들은 국가 간 단위 차이가 크게 나타나기 때문에 로그값으로 변환하여 분석의 안정성 및 수렴성을 제고하고자 하였다.

Table 2. Descriptive statistics

Variables	Mean	Std.dev	Min	Max	Skewness	Kutosis
LnEP	2.754	0.861	0.498	4.704	0.202	2.570
LnNP	1.856	0.576	0.792	3.232	0.164	1.728
LnSI	5.244	2.765	0.775	9.190	-0.314	1.944

Table 3. Correlation matrix

	LnEP	LnNP	LnSI
LnEP	1.000		
LnNP	-0.357***	1.000	
LnSI	0.021	-0.449***	1.000

** and *** denotes significant correlation at a 5% and 1% level significance.

분석에 사용한 4개국의 배출권 시장 가격의 로그값¹⁾ (LnEP), 천연가스 가격의 로그값(LnNP) 및 주가지수의 로그값(LnSI) 등 자료들의 기초 통계량 및 피어슨 상관관계 분석 결과는 Table 2 및 Table 3에 요약되어 있다. Table 3을 살펴보면, 배출권 가격과 천연가스 가격, 그리고 주가지수와 천연가스 가격 등이 통계적으로 유의미함(-)의 상관관계를 보인다.

3.2. 모형 소개

동 연구에서는 패널 VAR (Vector Auto Regressive) 모형을 사용하여 국제 탄소 배출권 가격과 에너지 가격 및 주가지수 등이 서로 어떤 영향을 미치는지를 분석하고자 한다. 먼저 모형에 사용한 세 가지 변수들의 패널 단위근 검정을 실시한다. 단위근 검정 결과 자료의 불안정성이 존재하는 경우 불안정한 자료들 사이의 안정적 선형 결합이 존재하는지를 검정하기 위해 패널 공적분 검정을 시행한다. 패널 공적분 검정 결과 안정적 선형 결합이 존재하지 않는다면 VAR 모형을 기반으로 자료들 간의 단기 인과 관계를 분석한다. 만약 공적분 검정 결과 공적분이 존재하는 경우 VECM (Vector Error Correction Model)을 기반으로 장·단기의 인과 관계를 분석하고 국제 배출권 가격과 다양한 변수들 간의 동태적 관계를 살펴볼 것이다.

3.3. 패널 단위근 검정 결과

패널 자료의 정상성(stationarity)을 확인하기 위해 먼저 단위근(unit root)의 존재 여부를 검정하여야 한다. 패널

Table 4. Panel unit root test results

Data	LLC	Breitung	IPS	Fisher- ADF	Fisher-PP
LnEP	-1.1368	-0.1045	0.245	4.708	3.811
LnNP	-0.768	-3.587***	-3.170***	26.403***	94.352***
LnSI	-0.286	-1.513*	-1.162	11.239	9.226
△LnEP	-77.370***	-8.302***	-61.241***	1053.56***	782.377***
△LnNP	-72.831***	-9.2465***	-72.123***	1053.56***	371.336***
△LnSI	-73.109***	-21.956***	-55.621***	1053.56***	1053.56***

** and *** denotes significant correlation at a 5% and 1% level significance.

Table 5. Results of cointegration tests

Method		Statistics
Pedroni	Panel v	-0.803
Pedroni	Panel rho	0.749
Pedroni	Panel PP	0.641
Pedroni	Panel ADF	1.284
Pedroni	Group rho	0.303
Pedroni	Group PP	0.300
Pedroni	Group ADF	0.954
Kao	Kao-ADF	-0.785

** and *** denotes significant correlation at a 5% and 1% level significance.

단위근 유무는 아래의 식 (1)의 자기 회귀 과정 (autoregressive process)을 기반으로 검정할 수 있다.

$$y_{it} = \rho_i y_{it-1} + \delta_i X_{it} + u_{it}, i = 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, T \quad (1)$$

여기서, $i=1, 2, \dots, N$ 는 관측된 국가를, $t=1, 2, \dots, T$ 는 시간을 의미하며, X_{it} 는 모형의 외생 변수들을 의미한다. 자기 회귀 계수(autoregressive coefficient)를 의미하는 ρ_i 를 기반으로 만약 $|\rho_i| < 1$ 이면, 종속 변수는 정상성(stationary)을 지녀 단위근이 존재하지 않는다. 반면, $|\rho_i| = 1$ 이면 y_{it} 는 단위근을 가지는 것으로 판단한다.

동 논문에서는 패널 단위근 검정을 위해 다섯 개의 검정식(Levin-Lin-Chu (LLC), Breitung, Im-Pesaran-Shin (IPS), Fisher- ADF and Fisher-PP 검정)을 선택하였고 추정 결과는 Table 4에 요약되어 있다. Table 4의 결과를 살펴보면, 국제 배출권 가격, 천연가스 가격 및 주가지수 대부분 원 자료는 단위근이 존재한다는 귀무가설을 채택하고 있어 불안정 자료라는 결론이 도출되었다. 1차 차분한 자료들의 경우 모두 귀무가설이 기각되어 원 자료들을 1차 차분할 경우 안정적 자료로 변환될 수 있음을 알 수 있다.

3.4. 패널 공적분 검정 결과

분석에 사용한 불안정한 자료들 간 장기적 선형 결합의 존재 유무를 살펴보기 위해 동 연구에서는 Pedroni와 Kao 등 두 종류의 패널 공적분 검정을 실시하였다. 패널 공적분 검정은 아래의 식 (2)를 기반으로 수행하였다.

$$y_{it} = \alpha_i + \delta_{it} + \beta_i X_{it} + u_{it} \quad (2)$$

여기서, α_i 및 δ_{it} 는 국가별 고유 효과와 추세(trend) 효과를 의미하며, Pedroni의 검정식에서는 국가별로 다른 계수(β_i)를 허용하여 공적분 벡터들의 이질성이 허용된다. 반면, kao의 검정식은 β 계수가 국가별로 모두 동일하여 공적분 벡터의 이질성이 불가능한 차이가 존재한다. 패널 공적분 검정을 위해 아래의 보조 회귀식(auxiliary regression) (3)을 사용하여 $\rho_i = 1$ (Kao의 경우 $\rho = 1$)이라는 귀무가설을 검정 후 공적분 존재 여부를 살펴볼 수 있다.

$$u_{it} = \rho_i u_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

패널 공적분 검정 결과는 Table 5에 정리되어 있다. 패널 공적분 결과 다국간 ETS 가격, 천연가스 가격 및 주가

Table 6. Optimal lag length selection results

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-61232.750	NA	1.234	8.7236	8.725	8.724
1	107329.5	337028.5	4.60e-11	-15.288	-15.282	-15.286
2	108487.1	2314.064	3.91e-11	-15.452	-15.441	-15.448
3	108603.3	232.2461	3.85e-11	-15.467	-15.451	-15.462
4	108737.2	267.536*	3.78e-11*	-15.4852*	-15.464*	-15.478*

Note: LR: Sequential modified LR, FPE: Final prediction error, AIC: Akaika Information criterial, SC: Schwars information criterion, HQ: Hannan Quinn information Criterion.

지수 자료 간 안정적 선형 결합이 존재하지 않는다는 귀무가설이 모두 채택되어 동 연구에서는 자료 간 동태 관계를 VAR 모형을 기반으로 분석하였다.

3.5. VAR 모형 추정 결과

먼저 VAR 모형 설정 시 최적 시차를 찾기 위해 아래의 Table 6에서 제시된 다양한 criterion을 기반으로 모형의 최적 시차를 선정하였다. 그 결과 적정 시차로 4가 선택되어 VAR 모형 추정 시 4기의 시차를 반영하여 자료 간 동태 분석을 실시하였다.

다국간 ETS 가격, 천연가스 가격 및 주가지수 간 VAR 모형의 추정은 식 (4a) ~ 식 (4c)를 기반으로 추정하였고 그 결과는 Table 7에 요약되어 있다.

$$\text{LnEP}_{it} = \delta_1 + \sum_{p=1}^4 \delta_{11p} \text{LnEP}_{it-p} + \sum_{p=1}^4 \delta_{12p} \text{LnNP}_{it-p} \quad (4a)$$

$$+ \sum_{p=1}^4 \delta_{13p} \text{LnSI}_{it-p} + u_{1it}$$

$$\text{LnNP}_{it} = \delta_2 + \sum_{p=1}^4 \delta_{21p} \text{LnEP}_{it-p} + \sum_{p=1}^4 \delta_{22p} \text{LnNP}_{it-p} \quad (4b)$$

$$+ \sum_{p=1}^4 \delta_{23p} \text{LnSI}_{it-p} + u_{2it}$$

$$\text{LnSI}_{it} = \delta_3 + \sum_{p=1}^4 \delta_{31p} \text{LnEP}_{it-p} + \sum_{p=1}^4 \delta_{32p} \text{LnNP}_{it-p} \quad (4c)$$

$$+ \sum_{p=1}^4 \delta_{33p} \text{LnSI}_{it-p} + u_{3it}$$

Table 7의 결과를 살펴보면 탄소 배출권 가격에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 변수는 배출권 및 천연가스 전기의 가격이며, 천연가스 가격 모형의 경우 자신의 전기 가격들을 제외한 탄소 배출권 및 주가지수 등 나머지 설명 변수들은 종속 변수에 통계적으로 유의미한 영향을

Table 7. VAR estimation results

	LnEP	LnNP	LnSI
LnEP(-1)	1.0119 [119.416]	0.0124 [0.656]	0.006*** [2.386]
LnEP(-2)	-0.006 [-0.5288]	-0.039 [-1.472]	-0.010*** [-2.629]
LnEP(-3)	-0.022 [-1.806]	0.0293 [1.092]	0.010*** [2.829]
LnEP(-4)	0.0156* [1.847]	-0.003 [-0.150]	-0.007*** [-2.716]
LnNP(-1)	0.005 [1.347]	0.678*** [80.419]	-0.001 [-0.999]
LnNP(-2)	-0.004 [-0.848]	0.185*** [18.210]	0.0000861 [0.0628]
LnNP(-3)	0.006 [1.346]	0.089*** [8.751]	0.000671 [0.489]
LnNP(-4)	-0.008*** [-2.087]	0.044*** [5.231]	0.000116 [0.102]
LnSI(-1)	0.035 [1.260]	0.097 [1.551]	1.297*** [154.316]
LnSI(-2)	0.004 [0.095]	-0.046 [-0.447]	-0.374*** [-27.252]
LnSI(-3)	-0.030 [-0.665]	-0.040 [-0.397]	0.200*** [14.613]
LnSI(-4)	-0.009 [-0.330]	-0.011 [-0.178]	-0.124*** [-14.717]
Constant	0.003*** [2.088]	0.009*** [3.002]	0.000945*** [2.384]

*, **, ***Significance at 10%, 5% 1% respectively.

The parentheses [] denote t-value.

미치지 않는다는 분석 결과가 도출되었다. 마지막으로 주가지수 모형의 경우 설명 변수 중 자신의 전기 가격들 및 탄소 배출권의 전기 가격들이 모두 통계적으로 유의미하다는 결론이 도출되었다.

모형에서 추정된 계수들을 기반으로 자료 간 단기 인과 관계를 분석하기 위해 아래의 제약식들을 검정하였고 그 결과는 Table 8에 정리되어 있다.

$$H_0 : \sum_{p=1}^4 \delta_{12p} = 0, \sum_{p=1}^4 \delta_{13p} = 0 \text{ in equation} \quad (\text{from 4a})$$

$$H_0 : \sum_{p=1}^4 \delta_{21p} = 0, \sum_{p=1}^4 \delta_{23p} = 0 \text{ in equation} \quad (\text{from 4b})$$

$$H_0 : \sum_{p=1}^4 \delta_{31p} = 0, \sum_{p=1}^4 \delta_{32p} = 0 \text{ in equation} \quad (\text{from 4c})$$

Table 8. Short-run causality test results

Dependant Variable	Explanatory Variable	Chi-sq	Prob
LnEP	LnNP	7.881*	0.096
LnEP	LnSI	5.575	0.233
LnNP	LnEP	4.008	0.405
LnNP	LnSI	6.934	0.139
LnSI	LnEP	17.516***	0.002
LnSI	LnNP	6.674	0.154

*, **, ***Significance at 10%, 5% 1% respectively.

Table 8의 추정 결과를 살펴보면, 먼저 단기적으로 다국간 ETS 가격에 유의미한 영향을 주는 변수는 에너지 가격으로 분석되었다. 천연가스 가격이 상승할 경우 석탄 발전의 상대적인 경쟁력이 높아져 발전 부문의 다크 스프레드 증가로 인해 배출권 수요 증가를 견인한다. 이로 인해 배출권 시장 가격이 상승할 것이라 예상되지만 이러한 조정 효과는 시차가 존재하여 단기간에 효과가 발생하지 않는다. 반면, 에너지 가격 상승은 에너지 수요 둔화 및 기업의 생산비용 증가에 영향을 미쳐 경기침체 우려를 유발하고 이는 배출권 수요의 감소를 촉발할 수 있다. 특히 천연가스 가격 상승은 산업 부문의 전력 소비 감소를 유발해 배출권 수요를 줄이고 배출권 가격 하락에 단기적으로 영향을 미치게 된다.

또한 주가지수에 유의미한 영향을 주는 변수는 다국간 ETS 가격으로 분석되었다. 배출권 가격이 상승 시 단기적으로 주가지수가 하락하는 원인은 다음과 같다. 배출권 가격 상승으로 인한 배출 비용 증가가 기업의 총 생산비용 증가로 이어져 에너지 집약도가 높은 제조업 기업들의 비용 부담이 커지게 된다. 주식 시장에서 기업 수익성 하락에 대한 기대로 인해 투자 심리가 위축되어 주가지수가 하락 할 수 있다. 또한, 탄소 가격 급등이 전반적인 생산 비용 상승 및 인플레이션 압력을 높이는 것으로 해석될 경우, 금융시장 전반에 위험회피 성향이 강화되어 주가 하락을 더욱 심화시킬 수 있다.

4. 결론 및 시사점

본 연구에서는 2015년부터 2024년까지 한국, 상하이, 뉴질랜드 및 유럽연합 등 배출권거래제를 본격적으로 시행하는 주요국의 일별 자료들을 기반으로 다국간 ETS 가격과 에너지 가격 및 주가지수 등과의 인과 관계를 분석

하였다. 분석 결과 배출권 가격, 에너지 가격 및 주가지수 간 장기적 인과 관계는 존재하지 않았으나 단기적으로는 천연가스 가격이 다국간 ETS 가격에 통계적으로 유의미한 영향을 미치고 있다는 결론이 도출되었다. 또한 단기에서는 주가지수에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 변수로 배출권 시장 가격이 존재한다는 점을 밝혀내었다.

동 연구는 다국간 ETS 가격이 천연가스 가격 및 주가지수와 단기적으로 상호 영향을 미친다는 실증 결과를 밝혀내었으며, 에너지 가격 급등 등 외생적 충격에 대한 배출권 시장의 단기적 반응을 확인하였다. 따라서 배출권 시장을 운영하는 국가들은 배출권 시장 가격의 안정화를 위해 에너지 가격 등 외생 변수에 연동된 유연한 배출권 공급조정 체계와 정보 공개 등을 통해 시장 예측 가능성을 높이고 불확실성을 완화할 필요가 존재한다. 또한 탄소 비용 상승이 실물경제에 미치는 영향을 최소화하기 위한 완충장치 마련이 요구된다. 마지막으로 탄소 배출권 시장 안정화를 위해 국제 에너지 시장과의 연계 모니터링 체계 구축, 원활한 저탄소 사회로의 이행을 위한 산업계의 탄소 감축 비용 부담 완화 방안 마련 및 시장 리스크 관리 수단 강화를 통해 배출권 시장의 예측 가능성과 정책 신뢰성을 제고해야 한다.

한편, 본 연구는 다음과 같은 한계를 지니고 있다. 먼저 현재 배출권거래제를 적극적으로 시행하고 있는 국가들의 자료가 제한적이어서 주요 4개국의 자료만을 기반으로 연구가 진행되었다. 특히 자료에 포함되어 있는 상하이 배출권 시장의 경우 타 시장과 비교하여 시장 거래량 및 유동성이 매우 적으며 시장 기능이 고도화되어 있지 않는 한계가 존재한다. 추후 다양한 국가들로 구성된 배출권 시장 가격 자료가 확보된다면 국제 배출권 시장 가격과 다양한 설명 변수 간의 동태 분석을 더 정교하게 수행할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 동 분석에 사용한 에너지 가격(천연가스 가격) 및 경제활동 수준(주가지수) 외 배출권 가격에 영향을 주고받는 다양한 변수들(기온변화 및 계절 요인, 재생에너지 발전량 등) 개발하여 장단기 인과 관계를 추정한다면 배출권 시장 고도화를 위한 다양한 정책적 시사점을 도출할 수 있을 것이다.

Reference

Cheng J, Jiang Y. 2024. How can carbon markets drive the development of renewable energy sector? Empirical evidence from China. *Data Sci Finance Econ* 4(2):

- 249-269. doi: 10.3934/DSFE.2024010
- Chung C, Jeong M, Young J. 2018. The price determinants of the EU allowance in the EU emissions trading scheme. *Sustainability* 10(11): 4009. doi: 10.3390/su10114009
- Fan J, Todorova N. 2017. Dynamics of China's carbon prices in the pilot trading phase. *Appl Energy*. 208: 1452-1467. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.09.007
- Ha LT, Bouteska A, Sharif T, Abedin MZ. 2024. Dynamic interlinkages between carbon risk and volatility of green and renewable energy: A TVP-VAR analysis. *Res Int Bus Finance* 69: 102278. doi: 10.1016/j.ribaf.2024.102278
- Jiang W, Liu Y, He S, Xue W. 2023. How do fossil energy markets and carbon markets affect each other? Based on the grainger causal relationship on quantiles. *J Cleaner Prod* 434(2023): 138799. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.138799
- Jung S. 2018. Research on the effects of energy prices on carbon market prices. *J Ind Econ Trade* 2(2): 36-62. doi: 10.23161/jiet.2018.2.2.36
- Marín-Rodríguez NJ, González-Ruiz JD, Botero S. 2023. A wavelet analysis of the dynamic connectedness among oil prices, green bonds, and CO₂ emissions. *Risks* 11(15). doi: 10.3390/risks11010015
- Ozkan O, Abosedra S, Sharif A. 2024. Dynamic volatility among fossil energy, clean energy and major assets: Evidence from the novel DCC-GARCH. *Econ Change Restruct* 57(98). doi: 10.1007/s10644-024-09696-9
- Tan X, Sirichand K, Vivian A, Wang X. 2020. How connected is the carbon market to energy and financial markets? A systematic analysis of spillovers and dynamics. *Energy Econ* 90: 104870. doi: 10.1016/j.eneco.2020.104870
- Wen, F, Zhao L, He S, Yang G. 2020. Asymmetric relationship between carbon emission trading market and stock market: Evidence from China. *Energy Econ* 91: 104850. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104850>
- Woo J, Shin D. 2022. An analysis on carbon price determinants of Korea's emission trading scheme focusing on demand factor. *J Korean Data Anal Soc* 24(2): 1391-1404. doi: 10.37727/jkdas.2022.24.4.1391
- Yang G, Li Y. 2023. A study on the dynamic correlation between the Korean ETS market, energy market and stock market (in Korean with English abstract). *Korea Trade Rev* 48(4): 189-208. doi: 10.22659/KTRA.2023.48.4.189
- Yu B, Chang Z. 2024. Connectedness of carbon price and energy price under shocks: A study based on positive and negative price volatility. *Sustainability* 16(12): 5226. doi: 10.3390/su16125226