

국내 탄소배출권 가격의 국제 동조화 연구*

허규만

금융감독원, 선임조사역, 경영학 박사

Long-term stability of the Korean emission trading system in comparison to international emission trading systems

Heo, Kyuman

Ph.D. in Finance, Senior Examiner, Financial Supervisory Service, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study aimed to assess the co-movement of the price of emission allowances in the Korea Emissions Trading System (K-ETS) and those in the European Union Emissions Trading System (EU-ETS), the New Zealand Emissions Trading System (NZ-ETS), and the Hubei Emissions Trading System in China. The study was based on the premise that if K-ETS is an efficient market, the prices of spot emission allowances traded in K-ETS should exhibit similar movements over the long term as those in other ETSs, excluding transaction costs. To test this hypothesis, the study utilized the Johansen cointegration test and the Engle-Granger two-step method to analyze the four markets. The results indicated that K-ETS failed to establish a long-term stable relationship with EU-ETS, NZ-ETS, and Hubei ETS. This was partly attributed to the differences between participant behavior in K-ETS and the other ETSs during the COVID-19 pandemic, where Korean participants were more sensitive to institutional factors of K-ETS than to economic or fiscal forecasts, while other ETS trade participants tend to buy and sell emissions based on their economic outlooks. Meanwhile, a long-term stable relationship was established between EU-ETS and Hubei ETS. Given these findings, the study recommends that, to improve the price stability of K-ETS, efforts should be made to increase the number of participants in K-ETS through promotion of ETS integration or connection with Southeast Asian countries. Additionally, caution should be exercised when introducing a derivative system based on spot emission rights to avoid the "Wag the Dog" phenomenon. Furthermore, legislation should be introduced to increase the ratio of paid allocation to allocated auction profits to support low-carbon reduction technologies for small and medium-sized companies.

Key words: Emission Trading System, Allowance, Cointegration, Long-term Stable Relationship

1. 서론

2021년말 기준 전세계 64개국은 ‘탄소 순배출 넷제로 (net zero)’를 위해 자국 사정에 맞는 탄소가격 제도 (Carbon Pricing)를 운영 중이다(World Bank, 2022)1). 탄

소가격 제도는 재화와 용역의 생산에서 탄소를 직접 배출하는 생산자뿐만 아니라 소비자도 배출자로 간주하고 탄소감축의 공공비용을 부담하게 하는 ‘외부효과의 내재화’ 제도이다(Ian, 2019). 따라서 탄소가격 제도는 생산자 및 소비자 등의 오염원에게 경제적 유인을 제공함으로써 효

†Corresponding author : maison.heo@gmail.com (Financial Supervisory Service, 38, Yeouui-daero, Yeoungdeungpo-gu, Seoul, 07321, Korea. Tel. +82-2-3145-7916) ORCID 허규만 0009-0002-3606-7605

* 본 연구는 저자 개인의 의견으로서, 소속 기관의 공식 의견과 무관합니다.

Received: March 6, 2023 / Revised: April 7, 2023 1st, April 27, 2023 2nd / Accepted: May 31, 2023

1) 이들 국가 또는 지역의 탄소 감축 기여도는 2021년 기준 전세계 온실가스 배출량의 약 21.5%

올직한 환경이용 비용을 유도하도록 설계되어야 한다 (Kwon, 2020).

이러한 탄소가격 제도는 탄소 배출량만큼 과세하는 탄소세(Carbon Tax)와 탄소배출권 매매를 통해 간접적으로 비용을 부과하는 배출권 거래제(Emissions Trading Scheme, ETS)가 대표적이다. 한편 유럽연합(EU)이 도입을 검토 중인 탄소국경조정세(Carbon Border Adjustment Mechanism)도 광의의 탄소가격 제도에 포함한다(World Bank, 2021).

이중 ETS는 탄소세 등 가격변수를 직접 조절하는 배출 부과금에 비해 배출권이라는 상품(commodity)의 시장가격 결정 기능에 기반하여, 배출권 발행량을 직접 조절하고 오염원 간에 배출권을 거래하게 함으로써 배출량의 효율적 배분을 유도할 수 있다. 따라서 단기적인 비용효과성과 장기적인 기술혁신 유인이 가능함과 동시에 규제당국과 오염원이 지속적으로 접촉할 필요가 없는 환경규제이다(Kwon, 2020).

이런 이유로 ETS는 2005년부터 공식 발효된 교토의정서의 대표적 경제적 유인책이다²⁾. 정부는 경기 상황 등에 따라 배출총량을 유연하게 조정할 수 있다는 규제의 유연성 때문에 2015년 파리협약의 준수를 위한 국가별 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contributions) 달성에 효과적이다(World Bank, 2021).

1.1 연구 배경

ETS는 2002년 3월 영국(ETS UK Emission Trading Scheme)를 시작으로, 2005년부터 시행된 유럽 거래소(European Union ETS, EU-ETS)가 현재 가장 대표적인 시장이다³⁾. 아울러, 2021년 기준 세계 7위의 에너지 소비국이자 10위의 이산화탄소 배출국인 우리나라도 2015년 1월부터 아시아 최초의 국가 단위 배출권 거래제(K-ETS)를 운영 중이다⁴⁾.

초국가 단위의 EU-ETS를 제외한 여타 배출권 거래소는 시장이 개별국가 또는 지역으로 한정되어 있어, 거래

소별로 제도, 시장참여자 등의 배출권 가격결정 요인이 상이하다. 그러나 배출권이라는 상품 가격이 거래 참여자의 기후협약 이행 전망, 여론, 글로벌 에너지 가격 등의 공통적 가격결정 요인에 의해 결정된다면, 상품 가격은 동일하게 영향을 받는다(French and Roll; 1986, Ross, 1989). 다시 말해서 거래소별 배출권 가격 메커니즘이 합리적이라면, 일물일가 법칙(law of one price)에 따라 배출권 가격 간에는 환율 등의 거래비용을 제외하고 동조화된 가격 움직임을 보일 것이다.

이를 두고 Kim et al.(2019), Luo and Li (2022) 등 최근 일부 선행연구들이 K-ETS와 여타 거래소의 가격 동조화 연구 결과를 제시하고 있다. 그러나 Fig. 1과 같이 K-ETS의 배출권 가격은 EU-ETS, 뉴질랜드 거래소(New Zealand ETS) 및 중국 후베이성 거래소⁵⁾와 확연히 다른 움직임을 보이고 있다. Fig. 1은 가격 데이터 간의 상대적 움직임을 비교할 목적으로 통화별 가격 데이터를 정규화하여 제시하였다. Kim et al.(2019) 등 많은 선행연구들은 유로 등의 단일 통화로 환산한 가격 데이터를 이용하는 데, 환율은 재화 등의 거래시 대표적인 거래비용이다(Piet et al., 1995). 또한 국가별 환율 정책 및 정부의 외환시장 개입 영향 등을 제거할 목적으로 본 연구에서는 정규화된 가격 데이터를 분석에 활용하였다.

Fig. 1과 같이 후베이 거래소의 배출권 가격이 2018년 6월부터 2019년 말까지 급변동한 시기를 제외하면, K-ETS를 제외한 나머지 세 거래소의 배출권 가격은 대체로 유사한 움직임을 보인다. 특히 이들 거래소는 Covid-19 팬데믹 이전 가격을 저점으로 2020년 이후 상승 추세를 시현하는 반면, K-ETS 배출권 가격은 2020년 4월 (42,500원)을 고점으로 하락 후 상승하는 추세를 보인다.

1.2 연구 목적 및 구성

이에 본 연구는 K-ETS, EU-ETS, NZ-ETS 및 주요 탄소 배출국인 중국 후베이성 거래소 간의 배출권 가격을

2) 1994년 3월 UN을 중심으로 국제사회는 온실가스 감축을 위한 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 실천적 이행을 위해 1997년 교토의정서(Kyoto protocol) 채택시 시장원리에 입각한 온실가스 감축수단으로 배출권 거래제를 도입하였다.

3) 기존의 국내의 선행연구들에서 EU-ETS는 역사가 길고, 유럽을 대상으로 한 초국가적 단위로 배출권을 거래하며, 배출권 현물을 기초 자산으로 하는 파생상품 및 상장지수펀드(Exchange Traded Fund, ETF) 등의 구조화상품 거래가 활발하다는 점에 근거하여 ETS 분석 시 EU-ETS를 효율적 배출권 시장의 벤치마크로 간주한다.

4) ICAP (International Carbon Action Partnership)에 따르면, 2022년 11월말 기준 한국의 K-ETS를 포함한 35개 국가 또는 지역에서 거래소를 운영 중이며, 14개 거래소가 시행을 예정하고 있다.

5) 중국은 2021년 2월부터 국가 단위 거래소(CN-ETS)를 운영 중이며, 2013년 6월 선전을 시작으로 8개 지역에 파일럿 거래소를 운영 중이다. 본 연구에서는 CN-ETS 이전의 가격 데이터를 이용하고자 8개 지역별 거래소 중 거래량, CN-ETS 및 여타 거래소 가격과의 상관성을 근거로 후베이성 자료를 중국 대표자료로 선정하였다. Wang et al.(2017), Luo and Li (2022) 등 중국의 탄소배출권 연구 논문에서도 후베이성 자료를 중국의 대표 자료로 이용하였다.



Fig. 1. Comparison of Normalized Price of K-ETS, EU-ETS, NZ-ETS, and Hubei ETS

대상으로, K-ETS 배출권 현물가격(KAU)이 효율적 시장 가설에 따라 여타 거래소와 장기 균형 관계를 형성하는지 실증적으로 분석할 목적이다⁶⁾.

거래소간 배출권 가격 동조화에 대한 연구는 다음의 이유로 배출권 거래시장의 효율성 제고에 기여한다. 첫째, 동조화에 따라 가격 예측이 수월해져 NDC 등 양적 규제 관련 정책 수립에 이바지한다. NDC는 향후 배출량에 대한 추정치인 바, 시장간 동조화가 확인되면 EU-ETS 등 주도적 배출권 시장 가격을 참조하여 국내 배출권의 균형 가격을 추정할 수 있고, 이를 통해 경제적 부담이 적은 최적의 배출총량 목표 수준을 정하는데 활용할 수 있다. 둘째, 조만간 시행될 EU의 탄소국경조정세 도입 대비에도 필요하다. 탄소국경조정세 부과 방안이 확정되지는 않았으나, ETS 시행 국가에 대해서는 EU가 인정한 적격 거래소의 배출권 가격과 EU-ETS 배출권 가격간 차이를 조정세로 부과할 가능성이 크다. 이때 거래소간 배출권 가격이 다른 움직임을 보인다면, 투기 거래에 따른 가격 변동성 증가로 조정세 부과 대상 기업들은 배출권 가격의 헤징(hedging)에 어려움이 발생할 수 있다. 마지막으로, 거래소간 연계 또는 통합 가능성을 따져 볼 수 있다. EU는 EU-ETS의 유동성 증가, 거래비용 감소 및 탄소누출(carbon leakage) 대비 등의 이유로 스위스, 호주, 캐나다 및 캘리포니아 ETS 등과의 연계를 추진 중이다. 한편 중국은 그간의 지역별 파일럿 ETS 운영 경험을 기반으로

2021년 2월부터 국가 단위 거래소(China National ETS, CN-ETS)를 본격 운영함에 따라 조만간 거래량 측면에서 EU-ETS를 능가할 것이다(World Bank, 2022). 따라서 우리도 K-ETS의 효율성 제고 방안을 고민할 필요가 있다.

이에 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 배출권 거래제의 특성을 간단히 살펴보고, 거래소간 가격 동조화 관련 국내의 선행연구를 제시한다. 이를 토대로 3장에서는 거래소간 동조화 여부를 실증 분석 결과를 제시하였다. 마지막으로 4장에서는 분석 결과를 토대로 K-ETS의 효율성 제고를 위한 제언을 제시한다.

2. 탄소배출권 현황 및 선행연구

2.1 전세계 탄소배출권 시장 현황

탄소배출권은 경제생활의 부산물인 탄소를 배출하는 권리이다. 정부가 정한 기간별 탄소배출 총량 내에서 기업 등의 배출자에게 배출권을 할당하면(Cap), 배출자들은 상품처럼 거래소 또는 장외에서 배출권을 매매(Trade)하는 시장가격 기반 양적규제 체계이다. World Bank (2022)는 탄소가격 제도로 2021년말 기준 전세계 배출량의 21.5% 수준인 약 11.65 기가톤을 감축하였는데, 이중 16.73%가 ETS를 통한 감축으로 추산된다. 특히 EU-ETS는 2021년 기준 유럽 배출량의 45%, 전세계 배출량의 약 10%를 커버한다. 또한 2018년 기준 전세계 탄소 시장 가

6) 국제에너지기구(International Energy Agency)는 2021년 기준 전세계 이산화탄소 배출량의 63%가 에너지 생산 및 산업 분야에서 발생하고, 국가 단위 거래소 중 EU-ETS, K-ETS 및 NZ-ETS가 이들 분야를 포함하여 배출권 거래제도를 시행 중임에 따라 분석 대상으로 선정하였다. 한편 본 연구에서 국내 배출권 가격은 할당배출권(KAU)만을 대상으로 한다. 여타 배출권인 상쇄배출권(KCU) 및 외부사업인증실적(KOC)은 거래량이 적고, 장외에서 거래되는 등의 특성을 감안하였다.

치의 약 60%를 차지하는 세계 제1의 탄소금융 시장이다 (ICAP, 2019).

반면 국내의 경우 GIR (2019)에 따르면, 2019년 기준 K-ETS 거래대금은 1조 813억원으로 2015년의 624억 대비 약 16배 가량 증가하는 등 시장 규모가 지속 성장하지만, 2019년도 배출량 감축 수준이 전년 대비 2.3% 증가에 그치는 등 실질적인 탄소 감축 기여도가 낮은 수준이다.

Piia et al.(2013)에 따르면, 탄소배출권의 이론 가격은 온실가스 한계 저감비용과 같아지는 수준에서 결정된다. 따라서 정부는 시장 기반 규제체계의 가장 중요 정보인 배출권 가격을 활용하여 감축 수준 등을 탄력적으로 조정할 수 있다.

2.2 국내 탄소배출권 시장 현황

우리나라는 관련 법령⁷⁾에 따라 2014년 1월 15일 한국거래소(KRX)를 배출권 거래소로 지정하고, 2015년 1월 12일부터 K-ETS를 시행 중이다. 주무부처인 환경부는 배출권 거래제의 안착을 위해 할당대상 업체들에게 배출권을 1차 계획기간(2015~2017년)에는 100% 무상할당 하였다. 이어 2차 계획기간(2018~2020년)에는 97%를 무상할당 하였고, 현재의 3차 계획기간(2021~2025년)에는 2차 계획기간 대비 무상할당 비율을 7%p 소폭 하향한 90%로 설정하였다. 즉 할당대상 업체들이 매입해야 할 유상할당 비율은 10%로 상향 조정되었다.

기업에게 ETS를 포함한 탄소가격 제도는 기후변화 대응 과정에서 발생하는 이행리스크(transition risk)에 따른 규제비용이다. 따라서 탄소가격 제도는 기업에게 탄소포집·활용·저장(Carbon Capture, Utilization, and Storage, CCUS) 기술 개발 등을 통해 규제비용을 최소화하도록 유도하는 등 저탄소 연료 사용 및 신재생에너지 개발 투자 촉진에 긍정적이다(Ian, 2019).

그러나 기술 개발에는 장시간이 소요되므로, 기업은 단기적으로 규제비용을 소비자에게 전가하려는 유인도 상존한다. Park et al.(2021)은 국내 탄소세 도입시 경제성장 둔화 및 물가상승 압력(greenflation) 가능성을 제시하였고, ECB (2020)는 탄소배출권 가격이 점진적으로 인상될

가능성이 높기 때문에 물가를 완만하게 증가시킬 것으로 예상하였다. Fabra and Reguan (2014)는 유럽에서 ETS 도입 이후 전기요금이 인상된 사례를 제시하였다. 한편 Ian (2019)은 지구온도 상승을 2℃ 이내로 제한하기 위한 적정 탄소세 수준을 톤당 75달러 수준으로 전망하면서⁸⁾, 정부는 산업별 특성, 기업 규모 등을 고려한 합리적인 탄소가격 제도 운영을 통해 물가상승 압력을 최소화해야 한다고 제시하였다.

이에 우리 정부는 2021년부터 제도 변경을 통한 배출권 거래 활성화를 위해 기존 국책은행 중심의 시장조성자를 민간 금융회사로까지 확대하는 배출권 시장의 제3자 참여를 허용하였다. 그간 K-ETS는 할당업체만 거래에 참여하는 폐쇄성 때문에 배출권 정산기(통상 매년 6월말)에 거래가 집중되면서 매수·매도 쏠림 현상이 심하게 발생하는 등 가격의 급등락이 반복되어 왔다. 이를 시정할 목적으로 제3자는 제한된 범위 내에서 자기매매 형태로 배출권 매매 호가를 제시하여 시장에 유동성을 공급할 목적이다⁹⁾.

한편 2022년 12월말 기준 국내 탄소배출권 현물 가격은 톤당 16,000원으로, EU 현물 109,123원(80.76 EUR)뿐만 아니라 뉴질랜드의 61,121원(76.0 NZD) 대비 크게 낮고, 중국의 9,979원(55 CNY) 보다는 다소 높은 수준이다 (KEC, 2023).

2.3 선행연구

EU의 탄소배출권 시장 초기에는 연구의 대다수가 EU-ETS의 배출량 감축 성과, 계획 기간별 할당량의 적정성 및 배출권 가격 변동성 요인 등이었다. 그러나 최근 들어 EU-ETS와 여타 거래소 간의 동조화 및 연계 가능성 등에 관한 연구가 증가하고 있다(Borghesi and Flori, 2018). 국내에서도 K-ETS 운영 초기에는 K-ETS의 배출권 가격결정 요인, 변동성 관련 연구들이 다수를 차지했으나, K-ETS 운영기간이 길어지면서 Park and Cho (2017) 등의 연구를 시작으로 최근 K-ETS와 여타 거래소 간의 동조화 및 이를 통한 시장 효율성 관련 연구가 점차 증가하고 있다. 다만 아래에서 제시하는 바와 같이 연구 결과가 상이한 상황이다.

7) 2008년 저탄소 녹색성장을 국가성장 패러다임으로 정하고 2010년 1월 「저탄소 녹색성장기본법」을 제정하였다. 동법 제46조(총량제한 배출권 거래제 등의 도입)에 ETS의 법적 근거를 마련하고, 2012년 「온실가스 배출권 할당 및 거래에 관한 법률」, 2014년 「배출권 거래제 기본계획」 및 「국가배출권 할당계획」을 순차적으로 제정하였다.

8) EU-ETS, 미국 캘리포니아(CCA), 지역온실가스 이니셔티브(RGGI) 데이터를 이용하여 2021년 6월말 기준 전세계 탄소배출 평균 가격을 톤(tCO₂eq)당 34.99달러 수준이라고 분석하였다.

9) 제3자의 과도한 시장 점유 방지를 위해 1개사당 배출량 보유 한도는 20만톤이며, 3차 계획기간(2021~2025년) 중 국내 배출허용 총량은 30.48억톤이다(MoE, 2020).

Mo et al.(2005)은 EU-ETS와 북유럽 전력거래소인 노르딕 전력거래소(Nord Pool)의 탄소배출권간 일물일가 법칙의 성립 여부를 확인하기 위해 공적분 검정과 Granger 인과관계 검정을 실시하였다. 이를 통해 두 시장 간에는 장기균형 관계가 존재하고 EU-ETS가 Nord Pool 시장을 선도한다는 결과를 제시하였다. 다만 Nord Pool은 EU-ETS 배출권 선물을 거래하므로 두 거래소는 사실상 동일 상품을 거래한다. 따라서 선물의 잔여만기가 감소할 수록 현물 가격에 일치하는 당연한 결과로 판단된다.

Han and Kim (2007)은 Mo et al.(2005)과 동일한 방법으로 유럽기후거래소(European Climate Exchange, ECX), Nord Pool 및 시카고 기후 거래소(Chicago Climate Exchange, CCX)간 가격 및 거래량의 동조화를 분석하였다. 이를 통해, ECX와 Nord Pool 간에는 강한 장기균형 관계가 존재하고, ECX와 CCX 간에는 약한 장기균형 관계가 성립하는 반면, Nord Pool과 CCX 간에는 균형관계가 존재하지 않음을 확인하여, 앞서 Mo et al.(2005)과는 다소 다른 결과이다. 다만 동 연구의 분석 대상인 ECX는 EU-ETS 거래소로서 Nord Pool과 동일 상품을 거래하고, CCX는 북미 기업들이 해당 지역의 배출권을 자발적으로 거래한다. 따라서 CCX, ECX와 Nord Pool 간에 균형관계가 성립되지 않는 것은 자연스런 결과로 판단된다. 게다가 2005년부터 2007년까지의 연도물(vintage) 간에 비교로서, 사실상 1년 단위로 장기 균형관계를 파악하는 등 연구 일부 한계가 있다.

Mizrach (2012)는 EU-ETS와 미국 북동부 배출권 거래 시장인 RGGI (Regional Greenhouse Gas Initiative)의 배출권 가격간 동조화를 ARIMA (Auto-regressive Integrated Moving Average) 모형으로 분석하여 장기균형 관계를 밝혔다. 그러나 연구 대상인 RGGI는 EU-ETS와 달리 탄소배출권이 경매를 통해 거래되고, 배출권 대상 산업도 발전 부문으로 제한되는 점을 감안할 때 두 시장 간에 동조화 현상이 확실히 존재하다고 판단하기는 어렵다.

Park and Cho (2017)은 K-ETS의 배출권 가격이 EU-ETS와 달리 거래 부족을 발생시키는 제도 요인에만 영향을 받는 비효율적 시장이라고 판단하였다.

Son and Jeon (2018)은 K-ETS가 매도 부족으로 인해 상당 거래일 동안 실질 증가가 없는 경우 이 기간의 증가를 기세 호가로 표시하는 가격표시 제도를 K-ETS의 배출권 거래 부진과 가격 급변동을 야기시키는 문제점으로 지

적하였다. 즉 기세 제도가 시장 흐름의 관찰에는 의미가 있으나, 거래가 활발하지 않은 경우에는 왜곡된 가격신호(signal effect)를 제공한다는 논리로서, 제도적 요인이 시장간 비동조화를 야기시킨다는 Park and Cho (2017)와 유사한 결과이다.

Wang et al.(2017)은 DCC-GARCH (Dynamic Conditional Correlation Multivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) 모형으로 중국 후베이성과 EU-ETS 간의 시간 가변적 동조화 여부를 분석하여, 통계적으로 두 시장 간에 동조화 여부는 확인되지 않으며, 시장 효율성 제고를 위해 중국의 지역별 거래소 통합이 필요하다는 결론을 제시하였다.

한편 최근의 일부 연구는 K-ETS가 EU-ETS 등의 여타 시장과 동조화된다는 결과를 제시하고 있다. Kim et al.(2019)은 K-ETS, EU-ETS 및 NZ-ETS 간에 장기적인 인과관계가 존재하고, 특히 유가가 이들 거래소 배출권 수요에 영향을 미쳐 배출권 가격간 동조화를 유발한다고 결론지었다.

Luo and Li (2022)는 K-ETS, EU-ETS, NZ-ETS 및 중국 후베이성 거래소의 배출권 가격간 상관관계를 DCC-GARCH 모형으로 분석하였다. 이를 통해 NZ-ETS를 제외한 세 나라 거래소 간에는 시간이 지날수록 동조화 경향이 점차 강화되고, 특히 Covid-19의 확산이 주요 요인이라고 주장하였다.

이처럼 탄소배출권 거래소 간의 동조화 관련 연구는 연구자별로 다소 상이된 결과를 제시하고 있다.

3. 분석 결과

3.1 분석 데이터

본 연구는 K-ETS 개장일인 2015년 1월부터 Covid-19 팬데믹 기간을 포함한 2022년 9월까지의 일별 가격 데이터를 이용하여¹⁰⁾, 한국(K-ETS), 유럽(EU-ETS), 뉴질랜드(NZ-ETS) 및 중국(Hubei)의 탄소배출권 가격간 동조화 여부를 검증하였다. 이를 통해 K-ETS 시장의 효율성 여부를 살펴보는 것이 목적이다.

앞서 선행연구에서 제시한 것처럼 시장간 동조화는 동일 시장이라도 분석대상 기간 및 분석 변수에 따라 다른 결과를 보인다. 예를 들어, Wang et al.(2017) 및 Luo and Li (2022)는 중국과 EU-ETS간 동조화를 동일한 DCC-GARCH

10) 본 연구는 ICAP 제공 데이터를 이용하였는데, 데이터의 신뢰성 비교하여 통계적으로 신뢰수준 99% 하에서 동일함을 확인하였다.

확인을 위해 K-ETS 가격을 대상으로 ICAP과 KRX간 데이터를

Table 1. Descriptive statistics of Row Data

Description	K-ETS	EU-ETS	NZ-ETS	Hubei
count	1,969	1,985	1,899	1,866
mean	22,508	25.73	29.19	26.77
std	7,568	24.31	20.44	9.84
min	8,640	3.91	5.15	10.48
25%	18,450	7.12	17.50	18.00
50%	21,900	19.78	24.30	26.00
75%	27,050	28.59	35.08	31.00
max	40,900	97.00	87.30	61.89
CV(%)	33.6	94.5	70.0	36.76

Note: The descriptive statistics, excluding count, presented in this table represent the price data in their respective currency (e.g. EU-ETS in Euro, K-ETS in Korean Won, NZ-ETS in New Zealand Dollar, and Hubei ETS in Chinese Yuan).

모형으로 분석하였으나 다른 결과를 도출하였다. 이는 DCC-GARCH 모형이 거래소간 가격 움직임이 아닌 가격 변동성의 상관성을 분석한 결과로 판단된다. 이처럼 배출권 가격간 동조화 여부는 가격 변동성으로 확인이 가능하다. 다만 이에 앞서 가격변수간 추세의 동조화 분석이 먼저 확인될 필요가 있다. 추세적 움직임이 통계적으로 유의하다는 전제 하에 가격 변동성을 판단할 필요가 있다. 따라서 동 연구에서는 분석 대상 기간에 외생적으로 전세계 경기침체를 야기시킨 Covid-19 팬데믹 기간을 포함하고, 환율 등 거래비용을 제외한 가격 변수간 분석을 통해 동조화를 검증할 목적으로 가격 변수를 이용한다. 이를 통해 경기 상황에 관계없이 물리적으로 떨어져 있는 거래소간에 장기 균형 관계가 성립하는지를 관찰하였다. 이에 대한 각 배출권의 정규화 이전 가격 데이터에 대한 기술 통계량은 Table 1과 같다. 해당 데이터는 거래소 소재 통화 데이터이며, 배출권 특성상 매일 장내거래가 발생하는 것은 아니기 때문에 데이터 수(count)에서 차이가 발생한다. 이때 결측치는 전일 가격 대신 큐빅 스플라인(cubic spline)으로 보간하였다. 각 가격 데이터의 변동계수(CV, coefficient of variation) 및 4분위수 비교시 K-ETS의 변동성이 EU-ETS보다 상대적으로 낮게 추정된다. 그러나 이는 K-ETS의 일별 가격 변동폭이 상대적으로 작은 결과로서, 시장에서의 거래 빈도, 거래량 등의 종합적인 비교 없이 K-ETS가 EU-ETS 대비 가격 안정적이라고 해석할 수는 없다.

3.2 분석 방법

본 연구는 Table 1의 통화별 데이터를 앞서 제시한 바와 같이 환율 효과를 제거하고 동조화 여부를 검증할 목

적으로 정규화된 데이터로 분석을 실시하였다.

동조화 여부는 일반적으로 가격 데이터 간의 선형관계를 추정하는 공적분(cointegration) 검증으로 확인하였다. 앞서 선행연구와 같이 일부 연구는 DCC-GARCH 모형 등의 시간 가변적 모형을 활용한다. 해당 모형은 최근 데이터에 더 많은 가중치를 부여함으로써 최근의 변화에 초점을 두는 반면, 가격 추세의 움직임 보다는 데이터 변동성 간의 동조화를 연구한다. 따라서 안정화된 금융시장 분석에 적합하다. 그러나 본 연구는 가격 추세 등 가격 데이터 자체의 움직임에 대한 장기 균형 관계를 분석하고자 한다. 이를 위해 개별 데이터의 움직임 속성 및 상관성 등을 EDA (Exploratory Data Analysis)로 살펴본 후, ADF (Augmented Dickey-Fuller) 검증으로 각 데이터의 정상성을 확인하였다. 공적분 검증은 단위근을 갖는 비정상성 데이터 간의 장기 균형 관계 분석을 전제로 한다.

Johansen 공적분(cointegration) 검정을 통해 변수간 공적분이 추정되면, Engle-Granger two-step 공적분 검정을 통해 어느 변수간 장기 균형 관계가 성립하는지를 재차 검증하였다. ADF 및 공적분 검정은 일반화된 방법으로서, 본 연구에서 별도로 분석 방법론을 제시하지는 않는다.

3.3 분석 결과

Fig. 2는 분석기간 중 각 가격 데이터의 추세 변화를 직관적으로 비교하기 위해 정규화된 가격 변수에서 추세 요소를 추출한 결과를 제시하였다. EU-ETS, NZ-ETS 및 후베이 거래소는 Covid-19 이전인 2019년부터 2021년까지 횡보하다가 2021년 이후 급격히 상승한다. 반면 K-ETS는 2020년부터 2021년의 기간중 급락했다가 2021년 이후 재차 상승하는 양상을 보인다.

분석기간 전체를 대상으로 배출권 가격간 Pearson 상관계수는 Fig. 3과 같다.

K-ETS와 여타 거래소의 배출권 가격간 상관관계는 0.32 ~ 0.42 수준으로 통계적 상관성이 크게 높지 않다. 반면 여타 거래소 간에는 최소 0.8 이상으로 변수간 통계적 상관성이 매우 높게 측정되었다.

이러한 거래소간 배출권 가격 변동의 차이는 Fig. 4의 연도별, 월별 가격 변동 추이에서도 확연히 나타난다. 먼저 Fig. 4(a)의 연도별 가격 변동폭을 살펴보면, K-ETS는 2019년부터 연도별 가격 변동폭이 급격히 커지면서 하락세인데, 나머지 거래소는 Covid-19 확산이 주춤해진 2020년을 단기 저점으로 2021년도에 가격 변동폭이 증가한다.



Fig. 2. Trend Analysis of Spot Carbon Allowance Prices

또한 Fig. 4(b)와 같이 거래소별 월별 가격 변동폭에서도 차이가 있다. K-ETS는 대체로 11월부터 1월 사이에 가격 변동이 커지지만, 여타 시장은 주로 3월부터 9월에 이러한 특성을 보인다.

K-ETS와 각 거래소 간의 시간 가변적 상관성을 검증할 목적으로 Pearson 누적 상관관계수 추이를 산출한 결과는 Fig. 5에 제시되어 있다. K-ETS는 전반적으로 운영 기간

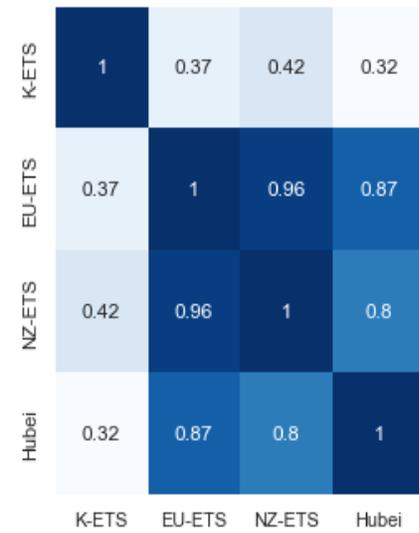
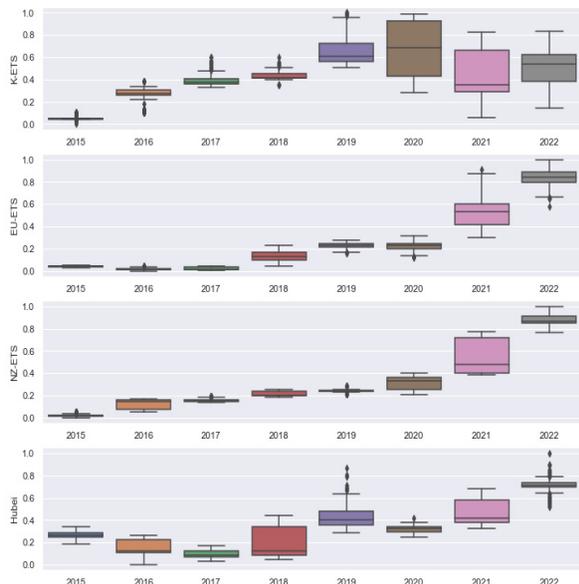
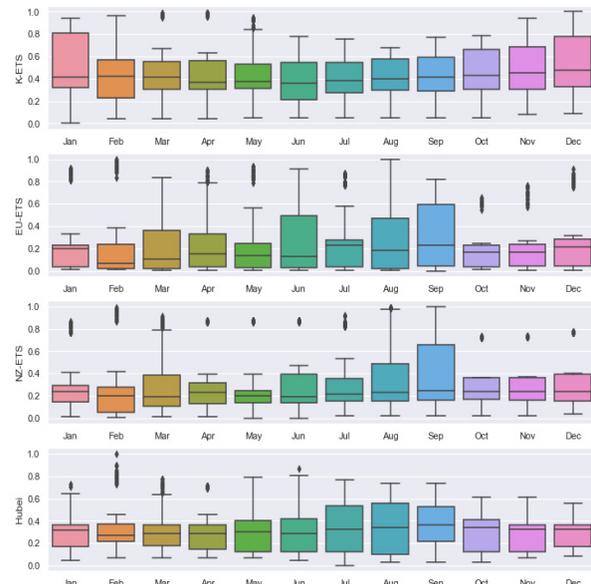


Fig. 3. Pearson Correlation Analysis of Spot Carbon Allowance Prices



(a) Yearly Variation of ETSs



(b) Monthly Variation of ETSs

Fig. 4. Temporal Analysis of Spot Carbon Allowance Prices in ETSs

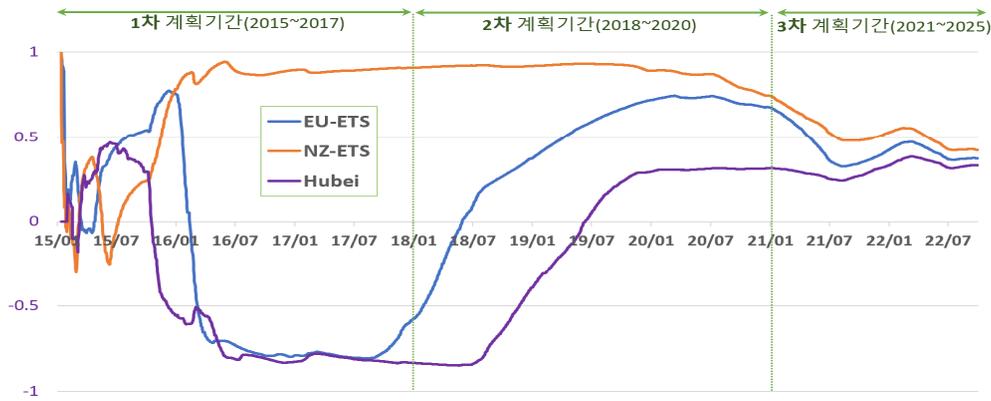


Fig. 5. Accumulated Pearson Correlation Analysis between K-ETS and Other ETSs

Table 2. ADF Test Results

Variables	Statistics	prob.
K-ETS	-2.146	0.227
EU-ETS	0.033	0.961
NZ-ETS	0.618	0.988
Hubei	-0.717	0.843

Table 3. Johansen Cointegration Test Results

No. of CE(s)	Trace Value	Critical values	
		5 pct	1 pct
None	95.69	47.85**	54.68*
At most 1	37.04	29.80**	35.46*
At most 2	15.61	15.49**	19.93
At most 3	0.01	3.84	6.63

Note: * and ** denote rejection of the null hypothesis at the significance levels of 0.01, 0.05, respectively.

이 경과할수록 EU-ETS, NZ-ETS 및 중국 후베이 거래소와의 상관성이 낮아지는 양상이다. K-ETS는 제2차 계획기간을 거치면서 가격 상관성이 점차 상승하지만, 그 수준은 여전히 0.5 미만이다. 아울러 Covid-19 기간 중에는 누적 상관성도 떨어진다.

EDA 결과에 대한 통계적 실증 검증을 위해, 가격 데이터 간 공적분 검증을 실시하였다. 이에 앞서 ADF (Augmented Dickey-Fuller) 검증으로 각 데이터의 정상성을 확인한 결과, Table 2와 같이 모든 데이터에서 단위근(unit root)을 포함한 비정상성이 확인되었다¹¹⁾.

Table 4. Engle and Granger Two-step Cointegration Test Results

Equations	Corr.	prob.
K-ETS=f(EU-ETS)	0.21	0.78
K-ETS=f(NZ-ETS)	0.26	0.81
K-ETS=f(Hubei)	0.30	0.83
EU-ETS=f(NZ-ETS)	0.72	0.07
EU-ETS=f(Hubei)	0.87	0.04*
NZ-ETS=f(Hubei)	0.69	0.07

Note: * denote rejection of the null hypothesis at the significance levels of 0.05.

Table 2의 ADF 검정 결과를 근거로 차분 없이 네 가격 데이터에 대한 Johansen 공적분(cointegration) 검정 실시 결과는 Table 3에 제시되어 있다.

검정 결과, 네개의 탄소시장 가격 데이터 간에는 최소 2개의 공적분이 존재한다. 앞서 실시한 EDA 분석을 통해 직관적으로 K-ETS를 제외한 여타 세 시장은 서로 상관됨을 가시적으로 확인할 수 있었다. 따라서 2개의 공적분이 존재한다는 결과는 두 쌍의 가격 데이터가 선형적으로 결합되거나, 세 개의 가격 데이터가 선형적으로 결합될 수 있음을 의미한다. 따라서 네 시장 중 최소 두 시장 또는 세 시장 간에 장기균형 관계가 성립한다고 해석할 수 있다.

해당 결과의 확인을 목적으로 Engle-Granger two-step 공적분 검정을 추가 실시하였다. 이때 적용 시차는 Engle and Granger (1987)에 따라 각 변수의 ACF 및 PACF를 고려하여 반영하였고, 정확한 결과 도출을 위해 변수쌍의

11) PACF 검증 결과, 유의수준 5% 하에서 EU-ETS, K-ETS 및 NZ-ETS는 3시차까지, 중국 후베이성 ETS는 최대 4시차까지 단위근이 존재한다.

순서를 교차하여 검정하였다. 결과는 Table 4와 같다.

이를 통해 네 시장 중 오직 EU-ETS와 중국 후베이 거래소 시장 간에만 공적분이 존재함을 확인하는 것으로 파악된다. 이러한 결과는 본 연구와 분석 기간이 유사한 Luo and Li (2022)의 연구와 부분적으로 동일하다. 한편 본 연구에서는 Luo and Li (2022), Kim et al.(2019)의 연구 결과처럼 K-ETS가 다른 거래소들과 공적분 관계라는 결과는 확인하지 못하였다.

4. 결론

본 연구는 2015년 1월부터 2022년 9월까지의 일별 가격 데이터를 이용하여 국내 탄소배출권(K-ETS) 가격이 유럽(EU-ETS), 뉴질랜드(NZ-ETS) 및 중국 후베이성 거래소의 배출권 가격과 거래비용을 제외한 상태에서 동조화 되는지를 분석하였다. 선행 연구와의 차이는 분석기간에 Covid-19의 외부 요인에 의한 경기침체가 포함된 것이다.

연구 결과, K-ETS는 여타 거래소와 공적분이 존재하지 않는 것으로 분석되어, K-ETS는 여타 거래소 간에 장기 균형 관계가 성립하지 않는 비효율적인 시장으로 판단된다. 국내 배출권 가격은 국제적으로 효율적 벤치마크로 간주되는 EU-ETS 배출권 가격 등과 장기균형 관계가 없는 반면, 여타 거래소 간에는 공적분 관계이거나 상관성이 높다는 점을 근거로 국내 배출권 가격이 비합리적으로 형성되고 있다고 판단한다. 이러한 영향은 특히 Covid-19 팬데믹 기간인 2019년부터 두드러지게 나타난다. 이 기간 중 국내 배출권 가격은 여타 거래소와 다른 요인에 의해 가격이 결정되는 것으로 추정된다. 본 연구에서는 기간을 구분하여 분석하지 못한 한계가 존재하며, 기간별로 거래소간 차이를 발생시키는 주요인 분석이 필요하다. 이런 한계에도 불구하고 기존 문헌 등을 통해 차이 발생에 대한 다음의 두가지 가능성을 제시한다.

첫째, 국내 배출권 거래제의 제도적 문제점이다. 미국 에너지 정보국(U.S. Energy Information Administration, 2022)은 EU-ETS의 2021년 배출권 가격이 40% 상승한 배경으로, Covid-19 팬데믹 초기에는 많은 국가들이 경기 급락 우려에 직면하여 모든 ETS의 배출권 가격 하락에 영향을 미쳤으나, 2020년 2분기부터 팬데믹 영향이 점차 완화되면서 시장 참여자들의 경기 회복에 대한 기대감으로 유가 상승이 배출권 가격 상승에 영향을 미친 것으로 분석하였다. 그러나 K-ETS는 Park and Cho (2017), Son and Jeon (2018) 등의 연구와 같이 K-ETS 배출권 가격이

배출권 이행연도의 익년도에 행해지는 배출권 명세 제출 등의 제도적 요인에 기인한다고 판단된다. KEC (2020)에 따르면, 국내 기업은 경제 전망 등에 근거해 배출권을 거래하기 보다는 제도적 불확실성 때문에 가격 상승 등을 염두하고 배출권을 이월하는 경향이 있다.

둘째, 경기 상황에 대한 ETS 운영의 유연성 부족이다. ETS는 경기 변화 등을 감안하여 규제를 유연적으로 운영할 수 있다는 것이 탄소세 대비 장점이다(World Bank, 2021). Kim et al.(2019)은 유가 요인에 기인하여 K-ETS, EU-ETS 및 NZ-ETS의 배출권 가격간에 동조화가 존재한다고 분석하였으나, 연구대상 기간이 Covid-19 확산 이전임을 감안할 때, 본 연구 결과와 결합하여 판단시 Covid-19 팬데믹이라는 외부 경기침체 요인에 K-ETS와 여타 거래소간 장기 균형 관계가 약화된 것으로 해석할 수 있다.

KEC (2020)에 따르면, Covid-19이 완화된 2020년 중반에 독일 등은 2021년부터 배출권 거래제 산업 범위의 확대 범안의 시행을 발표하였다. 그리고 EU-ETS는 스위스, 몰도바 등과의 연계 계획을 추진하는 등 경기침체 우려가 완화되면서 EU-ETS의 시장 확대가 배출권 매입의 증가로 이어지면서 EU-ETS 배출권 가격을 지속 상승시킨 것으로 분석하였다. 중국 또한 2020년 6월에 온실가스 감축을 위한 EU-중국 정상회담 개최 및 CN-ETS의 항공부문 추가 등 배출권 거래제 대상 산업 범위의 확대 등을 통해 배출권 시장 규모가 점차 커지면서 배출권에 대한 수요도 크게 증가하는 실정이다. 게다가 NZ-ETS의 경우에도 NZ-ETS의 가격 메카니즘 일환으로 2012년 도입한 고정 가격옵션(Fixed Price Option)을 2020년 6월경 기존의 25 NZD에서 35 NZD로 상향 조정을 발표하면서 배출권 가격이 상승한 것으로 판단된다(뉴질랜드 MfE, 2022).

반면 K-ETS는 2020년 4월 톤당 42,500원의 고점 형성 이후 2020년 1분기부터 배출권 가격이 급락했다가 상승하는 과정에서 어떠한 유연적 제도도 발견할 수 없었다.

본 연구는 가격 이외 거래량, 가격 변동성 요인 등에 대한 배출권 수급의 가격 기여도를 포함하거나, 기간별 가격 결정 요인을 분석하지 못한 한계가 있다. 이러한 한계에도 불구하고 K-ETS가 여타 거래소의 배출권과 동조화되지 않았다는 연구 결과를 토대로, 국내 탄소배출권 시장의 국제 동조화 제고를 위해 다음 사항을 제언한다.

첫째, 안정적인 배출권 가격 형성을 위해시장 참여자를 늘려야 한다. K-ETS는 2022년 기준 736개 업체 및 사업장이 배출권 할당배상업체로 지정되어 있다¹²⁾. MoE (2020)

는 배출권 시장의 거래량 증가의 일환으로, 2021년 12월부터 증권사의 자기매매를 허용하는 등 기존의 배출권 시장이 할당업체 및 국책은행 중심의 시장조성자만 매매할 수 있었던 폐쇄적인 시장이었던 점에 비해 획기적인 전환이다. 그러나 문제는 금융사 등의 제3자 시장 참여가 매입-매도 호가를 줄이는 효과는 있을 수 있으나, 거래량 자체의 증가로 이어진다고 단정하기는 어렵다.

따라서 배출권시장의 직접 당사자인 기업의 거래를 증가시키는 방안을 고민할 필요가 있다. 이런 측면에서, 거래소 설립이 어려운 동남아시아 국가들의 국내 거래소 참여 또는 거래소간 통합 방안을 고려해 볼 수 있겠다. 비록 배출권 할당은 국가 주권으로서, 국가 재량권의 제한에 대한 우려가 있을 수 있다. 그러나 EU-ETS가 가격 안정성을 기반으로 스위스, 몰도바 등과의 통합을 통해 시장을 지속 확대해 나가는 사례는 시사하는 바가 크다. 따라서 K-ETS에 여타 국가의 배출권 참여 허용이 제도적, 정치적, 법적 문제점을 수반할 것이나, 중요한 점은 신기후체제 하에서 우리 배출권 시장의 확대를 통해 우리 경제의 아시아권내 영향력 확대에 이어질 수 있다.

게다가 배출권 거래소 간의 통합은 EU가 추진중인 탄소국경조정세와도 밀접하게 관련됨에 따라, K-ETS의 실질 거래 참여자를 늘려 국내 탄소배출권 가격이 EU-ETS 등과 동조화되도록 유도함으로써 비효율적인 시장의 정상화 방안을 고민해야 한다.

둘째, 2024년으로 예정된 파생상품 도입에 신중할 필요가 있다. 다수 전문가들은 장내파생상품 도입이 비효율적인 국내 배출권 현물의 가격 발견 기능 강화 및 거래 활성화에 기여한다고 주장한다. 그러나 본 연구 결과처럼 K-ETS는 EU-ETS 등과 비동조화되어 가격 예측을 위한 벤치마크가 없다. 따라서 자칫 비효율적인 현물 시장에 성급히 파생상품을 도입하게 되면 역으로 파생시장이 현물시장의 변동성을 확대시키는 왈더독(wag the dog) 현상을 초래할 수 있다.

그 이유는 비교적 간단하다. 장내외 파생 거래를 위해서는 금융공학적으로 합리적인 가격결정 모형(valuation model)을 통한 공정가치(fair value) 측정 가능성이 전제되어야 한다. 파생상품 가격은 기초자산(underlying asset)인

현물(배출권)의 과거 가격 데이터에 기반하여, 배출권 현물 가격에 현물자산 보유시 기회비용에 해당하는 자금조달·저장·신용도 등의 보유비용(cost of carry)을 조정하여 산출한다. 게다가 상품 특성상 금융회사 등의 제3자는 결제 시점에 실물인수도 보다는 현금결제를 추구할 것으로 공정가치 측정 가능성은 필수이다. 따라서 배출권 현물 가격이 안정적이지 않으면 파생상품의 공정가치 추정이 어렵다. 이는 파생상품의 도입 목적인 현물의 헤징(hedging) 및 미래 가격 발견이 불가능한 이유이다. 아울러 K-ETS 가격이 여타 거래소와 동조화되지 않는 상황에서 파생상품 거래를 허용하면 국내 현물시장 간 가격 차이 또는 국내의 배출권 가격 차이를 이용한 투기거래 확대의 부작용으로 국내 배출권 현물시장의 변동성이 확대될 수 있다. 특히 현재 K-ETS 배출권 현물거래는 거래소를 통한 장내거래보다 당사자간 장외거래 비중이 크고, 현재의 이월 제도는 행정 절차가 이루어지는 6월 등 특정월의 가격 변동성을 증가시키기 때문에 파생상품의 도입이 시장을 안정화시킬 것으로 단정하기 어렵다¹³⁾. 따라서 파생상품 거래의 도입 이전에 시장 참여자 증가를 통한 현물시장의 거래량 및 현물 가격의 안정성을 추구해야 한다.

마지막으로, 국내 배출권의 무상할당 비율을 현저히 낮출 필요가 있다. 정부는 2021년부터 해당되는 제3차 계획 기간중 유상할당 비율을 10% 이상으로 상향하였다. 유상할당 비율의 점진적 증가는 기업의 경제적 부담을 완화할 목적이겠지만, 배출권 거래제가 시행된지 만 8년이 지난 현재까지 90% 수준으로 배출권을 무상할당하는 것은 기업들로 하여금 탄소 감축의 유인을 감소시킨다. 또한 무상할당 배출권을 시장에서 매각하여 이익을 창출하는 일부 사례는 정부가 탄소집약적 기업들에게 역으로 일종의 보조금을 지급하는 셈이다. Hong et al.(2016), Kim et al.(2019)은 각각 EU-ETS 초기에 배출권의 과잉할당 및 배출권의 초과공급을 배출권 가격의 지속 하락 요인으로 제시하였다.

이러한 제도적 측면이 본 연구의 결과처럼 경기 침체에 K-ETS의 배출권 가격을 여타 시장과 비동조화 시키는 주요 요인으로 판단된다. 따라서 배출권 시장의 효율성 제고뿐만 아니라 앞으로 도입될 탄소국경조정세에 대비하기

12) KRX의 '배출권시장 정보플랫폼'에서 제공하는 '할당대상업체 현황' 기준

13) 아울러 파생상품 거래를 위해서는 금융 감독당국의 규제 체계가 먼저 수립되어야 한다. 배출권 업체의 거래 한도 및 헤지 목적 거래의 거래상대방인 금융회사에 대한 배출권 회계처리부터 금융회사의 자본적정성 산출을 위한 리스크 산출 기준 등이 먼저 마련되어야 한다. EU-ETS도 제도 설계 등은 EU에서 담당하지만, 금융회사의 배출권 현물 및 파생상품 거래 등은 금융 감독당국인 유럽 단일은행감독기구(Single Supervisory Mechanism, SSM)과 증권시장감독청(European Securities and Market Authority, ESMA) 등이 관리·감독한다.

위해서는 제3차 계획기간 중에 유상할당 비율을 연도별로 대폭 상향하고, 경매 물량 증가를 통해 시장 효율성을 제고 시켜야 한다. 다만 유상할당 비율 제고시 배출권 거래제의 약 50%가 발전 분야인 점 등을 고려하여 업종 및 기업규모 별로 할당 비율을 달리 적용해야 한다. 특히 당장 저감기술 마련이 어려운 중소기업의 보호 및 육성을 위해서는 별도의 장치를 마련할 필요가 있을 것이다¹⁴⁾. KEC (2020)에 따르면, EU는 EU-ETS 관리 지침에 회원국이 경매수익의 최소 50%를 기후 및 에너지 관련 사업에 사용하도록 규정하고 있고, 2019년 기준 경매수익의 70% 가량을 투입하였다. 이와 유사하게 우리나라도 경매로 발생한 수익은 중소기업 등에 대한 기술 지원에만 활용하도록 재원의 용도를 제한하는 법제화 노력이 필요하다.

References

- Borghesi S, Flori A. 2018. EU ETS facets in the net: Structure and evolution of the EU ETS. *Energy economics*. 75(c): 602-635. doi: 10.1016/j.eneco.2018.08.026.
- ECB [European Central Bank]. 2020. The implications of fiscal measures to address climate change. *ECB Economic Bulletin*. [accessed 2022 Mar 17]. https://www.ecb.europa.eu/pub/economic-bulletin/focus/2020/html/ecb.ebbox202002_04~a7d137cb35.en.html
- Engle R. F., Granger, C. W. J. 1987. Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Journal of the Econometric Society*. *Econometrica*. 251-276. doi: 10.2307/1913236.
- Fabra N., Reguant M. 2014. Passthrough of emissions costs in electricity markets. *American Economic Review*. 104(9): 287-299. doi: 10.1257/aer.104.9.2872.
- Fench. K. R., R. Roll. 1986. Stock return variances: the arrival of information and reaction of traders. *Journal of Financial Economics*. 17: 5-26. doi: 10.1016/0304-405X(86)90004-8.
- GIR [Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea]. 2019. Detailed implementation guidelines for the Paris agreement. *Climate Change and Green Growth*. Vol. 17. accessed 2022 Jun 25]. (in Korean) <https://www.gir.go.kr/home/board/read.do?pagerOffset=30&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=20&boardId=35&boardMasterId=9&boardCategoryId=>
- Han TH, Kim SH. 2007. A Test on the integration among greenhouse gas emission trading exchanges: Comparison among CCX, ECX and Nord Pool exchanges. *Korea Trade Review*. 32(4): 55-75 (in Korean)
- Hong, Oh H, Hong JH. 2016. The effect of allowance oversupply on carbon pricing in the EU emission trading system. *The Korean Journal of Economic Studies*. 64(4): 91-123 (in Korean with an English abstract). doi: 10.22841/kjes.2016.64.3.004.
- Ian Parry. 2019. Putting a price on pollution: carbon-pricing strategies could hold the key to meeting the world's climate stabilization goals. IMF. Finance and Development. [accessed 2022 Mar 17]. <https://www.imf.org/Publications/fandd/issues/2019/12/the-case-for-carbon-taxation-and-putting-a-price-on-pollution-parry>
- ICAP [International Carbon Action Partnership]. Emissions trading worldwide: ICAP status Report 2019. [accessed 2022 Aug 20]. <https://icapcarbonaction.com/en/publications/emissions-trading-worldwide-icap-status-report-2019>
- KEC [Korea Environment Corporation]. 2020. ETS insight. Vol. 25. [accessed 2022 Jun 25]. (in Korean) <https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/community/etsView.do>
- KEC [Korea Environment Corporation]. 2023. ETS insight. Vol. 55. [accessed 2023 Feb 25]. (in Korean) <https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/community/etsView.do>
- Kim K, Won DH, Jung S. 2019. An empirical analysis on the co-movement between carbon emission trading prices. *Journal of Environmental Policy and Administration*. 27(3): 1-20 (in Korean with an English abstract). doi: 10.15301/jepa.2019.27.3.1.
- Kwon O. S. 2020. *Environmental economics* (4th ed.). South Korea: Parkmungak (in Korean).

14) 배출권의 유상할당 비율 증가는 영세 중소기업에게는 부담이 되므로, 정책적 기초는 유지하되 중소기업에 대해서는 기업 규모 및 배출량 감축 규모 등에 따라 부가적으로 세금을 감면하는 등의 인센티브를 부여할 필요가 있다. 이에 대해서는 영국 배출권 거래제도 시행 당시 CCA (Climate Change Agreement) 체결 기업에 대한 혜택 등을 참조할 수 있다.

- Luo DD, Li YH. 2022. An analysis of dynamic conditional correlation among international carbon emission trading prices. *Korea Trade Review*. 37(1): 99-104. (in Korean with an English abstract). doi: 10.22659/KTRA.2022.47.1.99.
- MfE [Ministry for the Environment of New Zealand]. 2022. The role of price controls in the NZ ETS. [accessed 2023 Jan 17]. <https://environment.govt.nz/what-government-is-doing/areas-of-work/climate-change/ets/a-tool-for-climate-change/the-role-of-price-controls-in-the-nz-ets/>
- Mizrach. B. 2012. Integration of the global carbon markets. *Energy economics*. 34(1): 335-349. doi: 10.1016/j.eneco.2011.10.011.
- Mo J, Yang S, Cho Y. 2005. A study on the price of international carbon emissions and its dynamic analysis. *Environmental and Resource Economics*. 14(3): 569-593 (in Korean)
- MoE [Ministry of Environment]. 2020. Korea green new deal a blueprint for global green recovery. [accessed 2022 Jun 20]. <http://eng.me.go.kr/eng/web/board/read.do;jsessionid=hnHv3ysVjxjV9Esu6OI1fG-n.mehome1?pagerOffset=240&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=461&orgCd=&boardId=1397770&boardMasterId=522&boardCategoryId=&decorator=>
- Park KH, Park J, Park S, Lim J, Kim C, Lee J, Kwak Y. 2021. The effects of climate change response on macroeconomics. *BOK Issue Note 2021-23*. [accessed 2022 Feb 20]. (in Korean) <https://www.bok.or.kr/portal/bbs/P0002353/view.do?nttId=10066555&menuNo=200433&pageIndex=>
- Park S. C, Cho Y. S. 2017. An analysis of the law of one price test and price determinants of the Korean emissions trading market. *Korea Environmental Economics Association. Proceedings of 2017 KEEA Conference 2017*: 67-85.
- Piet S, Raman U, Cynthia V. H. 1995. The exchange rate in the presence of transaction costs: implications for tests of purchasing power parity. *The Journal of Finance*. 50(4): 1339-1319. doi: 10.2307/2329354.
- Piia A, Markku O, Anne T. 2013. Price determination in the EU ETS market: Theory and econometric analysis with market fundamentals. *Energy Economics*. 36: 380-395. doi: 10.1016/j.eneco.2012.09.009.
- Ross. S. A. 1989. Information and volatility: the no-arbitrage martingale approach to timing and resolution irrelevancy. *Journal of Finance*. 44: 1-17. doi: 10.2307/2328272.
- Son D, Jeon Y. 2018. Learning-by-doing effect on price determination system in Korea's emission trading scheme. *Environmental and Resources Economics Review*. 27(4): 667-694 (in Korean with an English abstract). doi: 10.15266/KEREA.2018.27.4.667.
- US EIA [U.S. Energy Information Administration]. 2022. Global allowance prices for CO₂ emissions increased by over 40% in 2021. [accessed 2023 Jan 17]. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=55000>
- Wang X. Y., D. K. Luo, G. X. Jie. 2017. An analysis of the linkage between Chinese and international carbon trading market. *Ecological economy* 8: 48-51.
- World Bank. 2021. State and trends of carbon pricing 2021. [accessed 2022 Aug 20]. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620>
- World Bank. 2022. State and trends of carbon pricing 2022. [accessed 2023 Jan 17]. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/37455>