자원·환경경제연구 제 22 권 제 4 호
Environmental and Resource Economics Review
Volume 22, Number 4, December 2013 : pp. 759~784

탄소배출권 EUA와 sCER의 가격 차이 패턴 및 스프레드(Spread) 결정 요인 분석

박순철* · 조용성**

요 약 : 배출권거래제에서는 할당된 배출권과 상쇄배출권을 의무준수에 이용할 수 있으며, 가격 차이가 존재하면서 대체가능한 상품의 존재는 의무준수에 수반되는 총 비용을 줄일 수 있는 기회이면서 차익거래의 기회로 작용한다. 본 연구는 EU ETS의 Phase 2 전 기간을 대상으로 할당배출권인 EUA와 상쇄배출권인 sCER 간의 가격 영향 요인을 각각 살펴보고, 두 유닛간의 차격 차이를 의미하는 스프레드의 발생원인 및 결정 요인을 AR-GARCH 모형을 사용해 분석하였다. 분석결과 EUA와 sCER은 EU ETS를 중심으로 공통적인 가격 영향 요인과 상이한 가격 영향 요인이 존재하는 것으로 나타났다. EUA와 sCER은 석탄가격(-), 금융위기(-)와 같은 에너지와 경제변수, 제도 운영변수에 대해서는 공통적인 영향을 받지만, 전력가격, CER 사용제한과 같은 정책변수, EUA와 ERU간의 가격차 등에 대해서는 서로 다른 영향을 받는 것으로 분석되었다. 에너지가격이 상승할 경우 탄소배출권 가격의 스프레드가 넓어지는 경향을 나타내었고, 특히 석유 가격과 전력 가격의 변동은 탄소배출권 가격의 변동 폭을 크게 하는 것으로 분석되었다. 한편, EUA와 ERU의 가격 차이가 커질수록 스프레드가 넓어지는 현상을 나타냈는데, 이러한 결과는 EU ETS의 운영상 특징으로 인해 EUA와 ERU의 가격차이가 sCER의 가격과 음(-)의 관계를 갖는 것으로 판단된다.
본 연구는 EU ETS의 Phase 2를 전 기간을 대상으로 탄소배출권 가격 스프레드의 변동 원인을 실증 분석하여, 2012년도에 EUA와 sCER의 스프레드가 급속히 증가하는 원인을 설명했다는 의의를 갖는다. 아울러 이러한 원인들이 대부분 정책적인 변화라는 측면에서 향후 우리나라에서 도입예정인 ETS에 대해서도 에너지 가격 등의 구조적인 요인들과 함께 정책적인 측면도 가격 변동의 주요 원인이 될 수 있다는 점을 간접적으로 설명하였다.

주제어 : 기후변화, 배출권거래제, EU ETS, price driver, spreads

JEL 분류 : Q4

접수일(2013년 9월 16일), 수정일(2013년 11월 12일), 게재확정일(2013년 11월 26일)

* 고려대학교 식품자원경제학과 박사과정(e-mail: scpark@kncpc.re.kr)
** 고려대학교 식품자원경제학과 교수, 교신저자(e-mail: yscho@korea.ac.kr)

Analysis on Price Driver of Spread and Different Patterns of EUA and sCER

Soonchul Park* and Yongsung Cho**

ABSTRACT : Participants can use the allowances and offsets for implementing the compliance in the Emissions Trading Scheme(ETS). There are alternative commodities which are different prices it gives the opportunities to reduce the compliance costs and get the arbitrage.

This study analyzes the price driver of spread which is the difference between EUA and sCER using AR-GARCH model, EUA and CER during the Phase 2 in EU ETS.

The results show that there are common elements which impacts the EUA and sCER and also different elements between them. EUA and sCER get the effects from energy price and economic criteria such as coal price and financial crisis as common elements. However them get the effects from electric price, policy criteria such as restricted CERs and difference price between EUA and ERU price as different elements.

The results shows that spread will be widen if energy price increase, especially oil and electric price give more impacts the spreads.

This study has the means that it explains the reason why the spreads will broaden sharply in 2012. And it also suggests the price driver of spread during the whole period of Phase 2.

In addition, this study shows that political aspects maybe become the main criteria of price change with structural elements shch as energy price in Korea ETS which starts in 2015.

Keywords : climate change, Emissions Trading Scheme, EU ETS, price driver, spreads

Received: September 16, 2013. Revised: November 12, 2013. Accepted: November 26, 2013.

* Dep. of Food and Resource Economics, Korea University(e-mail: scpark@kncpc.re.kr)

** Professor, Dep. of Food and Resource Economics, Korea University(e-mail: yscho@korea.ac.kr)

I. 서 론

1997년 채결된 교토의정서에 따라 부속서(Annex)B 국가는 제1차 공약기간(2008～2012년) 동안 1990년 온실가스 배출량 대비 평균 5.2%를 감축하기로 약속하였다. 공약기간 동안 부속서B 국가는 할당된 배출권 뿐 만 아니라, 타 국가에서 사업(project) 단위의 감축 활동을 통해 발행된 크레딧인 Certified Emission Reduction (CER)과 Emission Reduction Unit(ERU)를 의무준수 이행에 활용할 수 있다[1].

한편, 유럽 연합의 배출권거래제(European Union Emissions Trading Scheme : EU ETS)는 교토의정서에 따라 EU에 부과된 온실가스 감축목표(-8%) 달성을 위해 2005년 1월부터 시행되고 있다. 회원국들은 계획기간(Phase 1 : 2005～2007년, Phase 2 : 2008～2012년)별로 국가할당계획을 수립한 후, 대상 설비 운영자[2]에게 배출 상한(cap)에 해당하는 탄소배출권 즉, European Union Allowance(EUA)을 할당하였다. 설비 운영자는 EUA 이외에도 교토의정서에서 규정한 CER과 ERU를 의무준수에 활용 가능하며 이용 가능한 최대 비율은 국가별로 차등적으로 적용되고 있다. 제2차 계획기간(Phase 2)의 경우 전체 할당량 대비 평균 13.4%까지 활용 가능하며, 이는 5년간 약 14억 톤에 해당한다(World Bank, 2008). 계획기간 동안 설비 운영자는 매년 대상 설비에서 발생한 검증된 배출량과 보유한 배출권 수량과의 균형을 통해 의무준수 이행여부를 해당 정부에 증명해야 한다.

CER은 교토의정서 제12조에서 규정하고 있는 청정개발체제(Clean Development Mechanism)에 따라 발행된 온실가스 감축유닛을 의미한다. 청정개발체제는 감축의무가 있는 부속서B 국가의 참여자가 감축의무가 없는 개발도상국에서 온실가스 감축사업을 시행한 후 그 실적을 부속서 B 국가의 의무준수에 활용할 수 있는 제도를 의미한다. 이를 통해 부속서B 국가는 비용효과적인 온실가스 감축목표를 달성할 수 있으며, 개도국의 입장에서 부속서B 국가로부터 재원의 투자와 기술 이전 등을 지원받아

1) 교토의정서는 비용효과적인 의무준수 이행을 위해 교토메카니즘(Kyoto Mechanism)을 채택하였다. 공동이행제도(제6조)는 부속서B 국가간의 감축사업을 통해 ERU를 발행하는 메카니즘이며, 청정개발체제(제12조)는 부속서B국가가 개발도상국에서의 감축활동을 통해 CER을 발행하는 메카니즘이다.

2) 발전, 정유, 철강, 시멘트, 유리·벽돌·도자기 제조, 제지 등 온실가스 다배출 기업이 주요 적용 대상 업종이다(모정윤外, 2005).

국가의 지속가능한 발전에 기여할 수 있다. 2004년부터 시행되어 약 7,300개의 사업이 등록되어 연평균 약 14억톤의 CER이 발행되고 있다(UNFCCC, 2013.11월기준).

설비 운영자의 입장에서 CER과 ERU는 EUA를 대신해 상대적으로 낮은 비용으로 의무준수를 달성하는데 이용할 수 있는 대체품으로 고려되고 있다. CER은 국제탄소 시장에서 크레딧의 발행이 완료된 secondary CER(sCER)과 크레딧 발행 이전 단계인 primary CER(pCER)로 구분해 거래되고 있다. sCER은 pCER과는 달리 이전 리스크(delivery risk)가 없으며, 설비 운영자가 EU ETS의 의무준수 활용 시 EUA와 sCER은 1:1의 등가가 성립함으로 이론적으로는 가격이 동일하다. 하지만, CER의 경우 의무준수에 이용할 수 있는 최대 비율이 제한되어 있어서 이러한 제약조건은 CER의 교환 비율을 낮추는 요인으로 작용하고 있다(Maira Mansanet-Bataller et al., 2011). EU ETS 대상 설비 운영자의 의무준수에 따른 sCER 사용비중은 2008년 약 82백만톤(총 할당량의 4.2%)에서 2012년 약 212백만톤(총 할당량의 10.4%)으로 증가하였다(Carbon Market Data, 2013).

이러한 가격 차이가 존재하면서 대체 가능한 상품의 존재는 설비 운영자의 입장에서 의무준수에 수반되는 총 비용을 줄일 수 있는 기회이자, 차익 거래(arbitrage)의 기회로 작용한다. 2015년부터 시행예정인 한국형 ETS에서도 할당 대상 업체의 지리적 경계 외부에서 발생한 외부 온실가스 감축사업을 상쇄(offsets)로 인정하고, 할당량의 10% 범위 이내에서 의무준수 이행에 활용할 수 있도록 규정하고 있다[3]. 따라서 EU ETS의 EUA와 sCER의 가격 차이인 스프레드(spread)에 관한 연구는 우리나라 ETS에서 할당 대상 업체의 비용 효과적인 의무준수 이행 방안으로 고려될 수 있다는 측면에서 중요한 연구 주제가 된다.

EUA와 sCER의 가격 차이, 즉 스프레드에 대한 연구로는 Maria Mansanet-Bataller et al.(2011)와 Fatemeh Nazifi(2013)가 대표적이다.[4] Maria Mansanet-Bataller et al.(2011)는 에너지 가격, 거시경제 지표 등의 구조적 요인보다 거래량, 미결제 약정

3) '온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 시행령(2012.11.15일)' 제38조 제1항 및 제4항.

4) 배출권 가격의 스프레드 연구 외에도 주식시장, 금융시장, 외환시장에서의 현물과 선물가격의 스프레드, 국채와 회사채간의 스프레드 등 다양한 연구들(장하성·옥진호, 1996; 지호준·박상규, 2002; 서병선·김혁황, 2003; 이성우, 2005)이 있으며, 분석 대상의 특징에 따라 스프레드의 결정 요인 변수를 선정하는 것이 다르다.

량(open interest) 등의 미시적 시장 요소가 스프레드에 주로 영향을 주며, 이를 스프레드에 의한 단기적인 차익 거래가 존재하는 원인으로 분석하였다. 반면, Fatemeh Nazifi(2013)은 스프레드 변동의 구조적 관계에 초점을 두어 에너지 가격이 스프레드 변동에 영향을 주는 요인임을 분석하였고, 분석 결과 원유가격과 천연가스가격은 스프레드와 음(-)의 상관관계를, 석탄가격과는 양(+)의 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났다. 두 연구 모두 스프레드에 대한 분석을 통해 유의미한 결과를 도출하였다는 점에서 큰 의미를 갖고 있다. 하지만, 선행연구 모두 분석 기간이 상대적으로 짧다는 한계점을 갖고 있다.[5] 특히, 제2차 계획기간(Phase 2)의 마지막 년도인 2012년은 유럽 집행위원회(European Commission : EC)에서 제3차 계획기간(2013～2020년)부터 변경되는 정책 요인에 대한 논의가 본격적으로 진행되었고, 아울러 sCER 가격이 급속히 하락하여 스프레드 가격 차이가 sCER 가격보다 높고, 거래소에서 ERU의 거래가 본격화된 해이다. 따라서 스프레드 분석 관련 보다 유의미한 결과를 도출하기 위해서는 2012년도 자료를 포함한 실증 분석이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 선행연구와는 달리 2012년을 포함한 제2차 계획기간 즉, 2008년 8월 12일부터 2012년 11월 30일까지의 자료를 분석하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제II장에서는 분석 모형과 사용된 변수 및 자료에 대해 기술하였고, 제III장에서는 스프레드 분석 결과의 해석상의 용이함을 위해 EUA와 sCER의 가격 결정 요인을 우선 살펴본 후에 스프레드 결정 요인 분석을 순차적으로 실시하였다. 제IV장에서는 주요 분석 결과를 정리하고 연구의 한계점 및 시사점을 기술하였다.

II. 분석 모형 및 자료

1. 분석 모형

1) 배출권 가격 자료의 시계열 특성 분석

스프레드($Spread_t$)는 식 (1)과 같이 EUA_t와 $sCER_t$의 가격차로 정의할 수 있고,

5) Maria Mansanet-Bataller et al.(2011)의 경우 2007. 3월부터 2009. 3월까지, Fatemeh(2013)의 경우 2008. 3월부터 2011. 9월까지의 자료를 기준으로 분석하였다.

Julien Chevallier(2010)은 EUA_t와 $sCER_t$은 Ⅰ(1) 계열의 안정 시계열임을 증명하였다.

$$Spread_t = EUA_t - sCER_t \tag{1}$$

배출권 가격 및 스프레드에 대한 분석 모형의 적합성은 시계열 자료의 안정성(stationarity)에 따라 달라진다. 만약 불안정한 시계열 자료로 회귀분석을 실시할 경우에는 변수 간의 상관관계가 없음에도 불구하고 유의성이 높은 가성회귀(spurious regression) 현상이 발생할 수 있다.

따라서 EUA_t와 $sCER_t$에 대한 시계열 자료는 식 (2)와 같이 Dickey and Fuller (1979)가 제시한 ADF 단위근 검정(augmented Dickey-Fuller unit root test)을 이용하여 안정성을 검정하고, 안정적이지 않은 시계열의 경우에는 차분 또는 로그차분을 통해 안정 시계열로 전환할 수 있다.

$$\triangle Y_t = \alpha Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{k} \alpha_i \triangle Y_{t-i} + u_t \tag{2}$$

한편, EUA_t 가격과 $sCER_t$ 가격이 장기적 균형 관계를 갖는 경우에는 하나의 가격이 다른 가격을 이끌거나 두 가격이 상호 영향을 주고받는 인과 관계가 존재한다. 배출권 가격의 시계열 특성을 살펴보기 위해 본 연구에서는 Granger 인과성 검정(1969)을 이용하여 EUA_t 가격과 $sCER_t$ 가격 간의 인과성 분석을 실시하였다. 인과성 분석 시 불안정 시계열의 경우 식 (3)의 벡터오차수정모형(Vector Error Correction Model : VECM)을 이용하였다. 즉, Granger 인과성 검정의 원리에 따라 귀무가설(EUA_t 가격이 $sCER_t$ 가격을 Granger Cause하지 않는다)이 기각될 경우, EUA_t이 $sCER_t$ 가격을 선도한다는 의미이다. 만일, 두 귀무가설이 동시에 기각될 경우에는 상호 영향을 주고받음을 의미한다. 귀무가설은 Wald 검정을 이용하여 검정하였다.

$$\triangle Y_t = \delta + \Pi e_{t-1} + \sum_{k=1}^{p} \Gamma_k \triangle Y_{t-k} + \epsilon_t \tag{3}$$

단, $\triangle Y_t = \begin{bmatrix} \triangle EUA_t \\ \triangle CER_t \end{bmatrix}$, $\Pi = \begin{bmatrix} B1 \\ B2 \end{bmatrix}$, $\Gamma_k = \begin{bmatrix} \gamma_{1,k}\, \gamma_{1,k} \\ \gamma_{3,k}\, \gamma_{4,k} \end{bmatrix}$

$$e_{t-1} = EUA_{t-1} - \beta CER_{t-1} - \alpha = [1 - \beta - \alpha] \begin{bmatrix} EUA_{t-1} \\ CER_{t-1} \\ 1 \end{bmatrix}$$

EUA_t와 $sCER_t$간에 공적분 관계가 존재하는 경우 이는 장기 균형관계(long-run equilibrium)가 성립하며 $Spread_t$는 안정적 시계열 특성을 갖게 될 것이다. 장기 균형관계는 경제학적 관점에서 경제체제 내에 두 변수를 균형 상태로 머물게 하려는 힘이 존재하는 것을 의미한다(김수이, 2007).

선행 연구(Julien Chevallier et al., 2010; Maria Mansanet-Bataller, 2011; Fatemeh Nazifi, 2013)에서 EUA_t와 $sCER_t$의 공적분 관계 유무는 분석 자료의 기간에 따라 상이한 결과가 제시되었다. Julien Chevallier et al.(2010)[6]와 Maria Mansanet-Bataller (2011)[7]에서는 EUA_t과 $sCER_t$간에는 장기 균형관계가 존재한다는 결론을 내린 반면, Fatemeh Nazifi(2013)[8]는 장기 균형관계가 존재하지 않는다는 결론을 내렸다. 이에 본 연구에서는 EU ETS 제2차 계획기간 전체에 대한 EUA_t와 $sCER_t$간의 공적분 관계 유무를 분석하였다.

2) 스프레드의 가격 결정 요인 분석

본 연구의 주요 분석 대상인 스프레드는 EUA_t와 $sCER_t$의 가격차이로 정의되어 있기 때문에 각각의 탄소배출권 가격에 영향을 주는 요인들이 무엇이고, 그 영향 정도에 따라 스프레드에 미치는 영향도 다르게 나타날 수 있다. 따라서 스프레드에 영향을 주는 요인을 분석하기 이전에 EUA_t 가격과 $sCER_t$ 가격에 대한 분석이 필요하다. 이에 본 연구에서는 EUA_t와 $sCER_t$의 가격 요인 분석을 먼저 시행하고 변수들의 부호와 유의성을 파악한 후에 이를 토대로 스프레드의 영향 요인 을 분석하였다.

---

6) 2007년 3월부터 2010년 1월까지 ECX(European Climate Exchange)의 EUA 선물 가격과 로이터(Reuters)의 CER 가격 인덱스를 사용하였다.

7) 2007년 3월부터 2009년 3월까지 ECX의 EUA 선물 가격과 로이터의 CER 가격 인덱스를 사용하였다.

8) 2008년 3월부터 2011년 9월까지 ECX의 EUA와 CER 선물 가격을 사용하였다.

Engle(1982)은 시계열 분석에서 이분산성(heteroskedasticity)에 따른 변동성 군집 현상(volatility clustering)을 모형화한 Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (ARCH) 모형을 제시하였고, Bollerslev(1986)은 ARCH 모형을 확장한 GARCH (generalized ARCH) 모형을 제시하였다.

$$R_t = a + \sum_{i=1}^{k} b_i R_{t-i} + u_t \tag{4}$$

$$u_t | \Psi_{t-1} \sim t.d(0, h, v) \tag{5}$$

$$h_t^2 = \alpha + \beta_1 e_{t-1}^2 + \beta_2 h_{t-1}^2 \tag{6}$$

김명직外(1998)에 따르면 시계열 자료의 변동성은 일반적으로 GARCH(1,1) 모형으로 설명되며, Eva Benz et al.(2008)의 연구에서는 EUA의 가격 변동성을 반영한 AR-GARCH 모형이 배출권의 가격 결정 모형으로 적합하다는 결론을 제시한 바 있다. 이에 본 연구에서는 AR(k)-GARCH(1,1) 모형을 사용하였다.

식 (4)와 식 (6)은 GARCH 모형의 평균방정식과 분산방정식을 나타낸다. 식 (4)의 자기회귀 시차는 자기회귀모형(autoregressive model)의 시차를 Akaike Information Criteria(AIC)를 이용하여 결정하였다. 식 (5)는 前期의 정보가 반영된 오차항이 t-분포를 따른다는 의미로 t-분포를 가정하였다. 식 (6)의 분산방정식에서 e_{t-1}^2은 ARCH 효과를 의미하며, h_{t-1}^2은 과거의 충격이 변동성에 지속적인 효과를 미치는 GARCH 효과를 의미한다.

기존 문헌(Mansanet-Bataller et al., 2007; Emilie Alberola et al., 2008; Keppler et al., 2010)을 검토한 결과, EUA 가격은 에너지 가격과 밀접한 연관이 있음을 확인하였다. 선행 연구들은 화석연료(석유, 천연가스, 석탄)와 전력 등의 에너지 사용이 EUA 가격에 영향을 주는 요인임을 실증 분석하였다. 이에 본 연구에서는 에너지 관련 설명변수로 석유(Oil_t), 천연가스(NG_t), 석탄($Coal_t$), 전력($Elec_t$) 가격을 사용하였다[9].

이와 더불어 주요 배출권 수요 업종인 발전업종의 경우에는 석탄화력과 가스복합 발전 간에 석탄가격, 천연가스가격, 배출권가격에 따른 연료전환(fuel-switching)도 배출권 가격에 영향을 미치는 것으로 나타났다(Delarue et al., 2011; Maria Mansanet-Bataller et al., 2011). 이에 연료전환과 EUA 가격과의 관계를 살펴보기 위해 연료전환을 나타내는 변수($Switching_t$)를 분석모형에 포함하였다. 연료전환의 이론적 가격[10]과 EUA 현물가격을 비교해 연료전환이 발생할 경우를 1, 그렇지 않은 경우를 0으로 하는 더미(dummy) 변수를 구성하였다.

경제활동에 대한 전망 지표로서 유럽 지역內 가장 우량한 50개 기업의 주식으로 구성된 지표인 Eurostoxx50($Eurostoxx_t$)을 변수에 포함하였다. Julien Chevallier(2009)는 EUA 수익률과 주식 및 채권 시장과의 연관성을 분석한 바 있고, 또한 금융위기가 EUA 가격을 하락시키는 음(-)의 관계임을 증명하였다(Julien Chevallier, 2011). 이를 변수로 포함하여 2008년 하반기에 발생한 금융위기($Financial\ Crisis_t$)[11]와 2011년에 발생한 유럽 지역의 국가 채무 위기($Debt\ Crisis_t$)에 따른 경제 상황을 반영하기 위해 그리스, 아일랜드, 포르투갈, 스페인 등을 대상으로 국가 채무 위기와 관련된 뉴스가 Point Carbon 홈페이지[12]에 보도된 일자를 조사하여 더미 변수로 구성하였다.

EU ETS 운영과정에서의 정책 변수로 제2차 계획기간(Phase 2)와 제3차 계획기간(Phase 3)의 배출권 수요에 영향을 주는 요인들을 더미변수로 포함하였다. 금년도 ETS 운영에 따른 해당 설비 운영자에 대한 의무준수 평가는 차년도 4월 말에 시행되며, EC에서는 차년도 4월 초에 검증이 완료된 해당 설비의 배출량 집계 결과를 발표하고 있다[13]. 따라서 4월은 설비 운영자의 경우 실제 배출량을 알고 있는 상태

9) 모든 에너지 가격 자료는 데이터 스트림(Data Stream) 자료를 이용하였다(유가 : Crude Oil-Brent Cur. Month FOB($/bbl), 천연가스 : EGIX Germany Index(Euro/ MWh), 석탄 : Coal ICE API2 CIF ARA($/ton), 전력 : German_EEX_Phelix Base load(Euro/Mwh)). 이중 유가와 석탄의 경우 각각 US$/배럴과 US$/톤의 단위를 사용하고 있어, 유럽중앙은행(European Central Bank)의 일일 교환 환율을 적용해 유로(Euro)로 전환하였다(http://www.enb.int/stats/exchange/eurofxref/html/index.en.html).

10) Tendance Carbone에서는 EU ETS 적용 대상 국가들의 전력가격을 토대로 이론적 연료전환 가격을 제공한다(http://www.cdcclimat.com).

11) Fatemeh Nazifi(2013)은 2008년 9월부터 2009년 3월까지를 금융위기가 배출권 가격에 영향을 준 기간으로 설정하였다. 본 연구에서는 선행 연구와 동일한 기간을 더미 변수로 구성하였다.

12) http://www.pointcarbon.com

에서 필요한 배출권을 거래하는 시기이므로, 이를 반영해 Phase 2 의무준수 현황($Compliance_{phase2}$)을 변수로 포함하였고, 4월 1일부터 4월 30일까지를 1, 나머지 기간은 0으로 하는 더미변수를 구성하였다. 반면, $Phase3_t$ 변수는 Phase 3에 대한 할당, 백 로딩(back loading) 정책[14] 등에 대한 EC 홈페이지[15]상에 공식적으로 논의 결과를 발표한 일자를 더미 변수로 포함하였다. 이러한 설명변수들로 구성한 EUA_t의 평균 방정식 모형은 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} EUA_t = c + \sum_{i=1}^{k} b_i EUA_{t-i} + \beta_{1*} Oil_t + \beta_{2*} NG_t + \beta_{3*} Coal_t + \beta_{4*} Elec_t \\ + \beta_{5*} Eurostoxx_t + \beta_6 * FinancialCrisis_t + \beta_7 * DebtCrisis_t \\ + \beta_8 * Compliance_{phase2_t} + \beta_9 * Switching_t + \beta_{10} * Phase3_t \end{aligned} \quad (7)$$

반면, EUA에 비해 sCER의 가격 결정 요인에 대한 연구는 미흡한 상태이다. 이는 sCER의 경우 EU ETS 참여국가 이외에 Annex B 국가에서도 거래되고, pCER 상태에서도 거래되지만 가격 및 수량이 투명하게 공개되지 않아 정보의 접근에 한계가 존재하기 때문이다. 또한 sCER의 경우 교토의정서에 따라 발행되는 탄소배출권이므로 기후변화 국제협상에 따른 영향을 받는 등 EUA와는 다른 시장 구조를 갖고 있다. 이러한 제약으로 인해 탄소배출권 스프레드에 대한 선행연구인 Maria Manasanet-Bataller et al.,(2010)는 sCER과 EUA의 가격 결정 요인이 동일하다는 가정 하에 분석을 실시하였고, Fatemeh Nazifi(2013)는 EUA와 sCER은 동일하게 가격 결정 요인을 공유하지 않을 수 있음을 지적하면서, sCER과 EUA의 가격 결정 요인에 대한 분석없이 스프레드의 영향 요인 분석만을 수행하였다.

본 연구에서는 EUA와 sCER의 가격 결정 메카니즘은 EU ETS로 인한 공통 요인과 sCER만의 차별 요인이 존재함을 가정하였다. 이에 따라 공통 요인으로 EUA의 가격 결정 모형을 분석한 후, 통계적으로 유의한 설명 변수만을 sCER의 설명 변수

13) 2011년 이행결과의 경우 EC에서 온실가스 배출량 집계결과를 2012년 3월 26일 발표하였다.

14) 유럽 집행위원회는 배출권의 과잉할당에 따른 가격하락에 대한 대안으로 Phase 3기간동안 예정된 경매량중 2013～2015년간의 경매 예정량중 9억톤에 대한 경매를 실시하지 않고, 2019～2020년에 시행하는 정책(back loading)을 2012년 초에 제안하였다.

15) http://ec.europa.eu/environment/climat/emission/index_en.htm

에 포함하였고, 차별 요인으로 sCER의 수요 및 공급에 영향을 주는 변수들을 추가로 포함하였다.

차별 요인으로는 우선 공급 측면에서 시장 공급량을 증가시키는 sCER 발행량(CER_{issues_t})과 ERU 발행량(ERU_{issues_t})을 변수로 포함하였다. sCER의 경우 UNFCCCC 홈페이지[16]를 통해 매일 발행량이 공개되며, ERU의 경우 UNEP Risoe에서 발행하는 'JI pipeline'의 ERU 월별 발행량을 사용하였다.[17] 수요 측면의 차별 요인으로는, sCER과 ERU 모두 상쇄 기능으로서 EU ETS에서 의무준수 활용 용도로 사용되는 점을 감안하여 EUA와 ERU의 가격 차이를 변수($Spread_{euaeru_t}$)로 포함하여 가격 차이가 6유로 이상인 경우 sCER을 구입하지 않고 ERU를 구입하는 動因이 발생한다고 가정하였다. 이는 Maria Mansanet-Bataller(2011)의 연구에서 EUA와 sCER간의 스프레드가 6유로 이상일 경우 EUA를 판매하고 sCER을 구매하는 動因이 발생한다고 가정한 것과 동일하다. 관련하여 EUA와 ERU의 가격차는 6유로 이상일 경우 1, 그렇지 않을 경우 0으로 더미 변수로 구성하였다.

한편, 유럽연합은 산업공정가스(industrial gas)를 대상으로 시행된 사업에서 발생하는 sCER의 경우, 2013년 5월 1일부터 EU ETS에서의 통용을 전면 금지하는 계획을 2011년에 승인하였다. 이러한 정책변화 역시 탄소배출권의 가격에 영향을 줄 수 있으므로, 유럽연합이 금지계획을 승인 한 2011년 6월 9일 이후를 1, 그 이전을 0으로 하는 더미변수($CERRe_t$)를 분석모형에 추가하였다. 앞서 설명한 변수들을 반영한 sCER 가격의 평균방정식은 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} sCER_t = {} & c + \sum_{i=1}^{k} b_i CER_{t-i} + \beta_1 * Coal_t + \beta_2 * FinancialCrisis_t \\ & + \beta_3 * Compliance_{phase2_t} + \beta_4 * CERRe_t + \beta_5 * CER_{issues_t} \\ & + \beta_6 * ERU_{issues_t} + \beta_7 * Spread_{euacer_t} \end{aligned} \tag{8}$$

따라서, 탄소배출권 가격의 스프레드 분석을 위한 평균방정식은 식 (7)과 식 (8)

16) http://cdm.unfccc.int

17) http://cdmpipeline.org

의 설명변수들을 모두 포함하여 식 (9)와 같이 구성하였다.

$$\begin{aligned} Spread_t = {} & c + \sum_{i=1}^{k} b_i Spread_{t-i} + \beta_1 * Oil_t + \beta_2 * NG_t + \beta_3 * Coal_t \\ & + \beta_4 * Elec_t + \beta_5 * Eurostoxx_{t+} \beta_6 * Financial Crisis_t \\ & + \beta_7 * Debt Crisis_t + \beta_8 * Compliance_{phase2_t} + \beta_9 * Switching_t \\ & + \beta_{10} * Phase3_t + \beta_{11} * CER Re_t + \beta_{12} * CER_{issue_t} \\ & + \beta_{13} * ERU_{issues_t} + \beta_{14} * Spread_{euaeru_t} \end{aligned} \quad (9)$$

2. 분석 자료

1) EUA와 sCER 가격 현황

EU ETS에서 통용되는 탄소배출권의 특징은 <표 1>과 같다. 한 단위는 모두 온실가스 1톤을 의미한다. EUA는 EU 회원국 내에서만 통용되지만, sCER과 ERU는 교토의정서의 관리기구[18]가 발행하며 부속서B 국가 간에 통용된다. 따라서 EU 뿐만 아니라 일본, 호주, 캐나다 등의 국가에서도 통용된다. 또한 sCER을 발행하는 사업은 2002년이후 등록이 가능한 반면, ERU를 발행하는 사업은 2008년 이후 등록이 가능하다(Marrakesh Accords, 2001)[19].

〈표 1〉 탄소배출권별 특징

항목	EUA	CER	ERU
단위	1 EUA = 1 ton	1 CER = 1 ton	1 ERU = 1 ton
발행근거	Directive 2003/87/EC	교토의정서	교토의정서
통용범위	EU 회원국	부속서 B(38개국)	부속서 B(38개국)
발행기관	유럽 집행위원회	CDM 집행위원회	· 사업수행국(track1) · JI 감독위원회(track2)
크레딧발생연도	Phase 별로 발행	2002년 이후	2008년 이후
EU-ETS 사용제한	없음	할당량의 평균 13.4% (Phase 2 기준)	

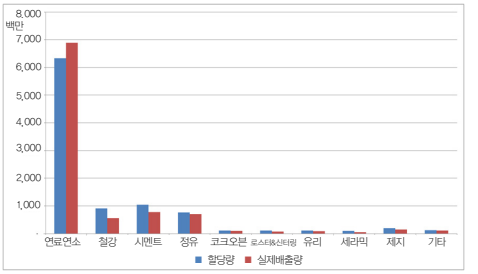
출처: Marrakesh Accords, Directive 2003/87/EC, Directive 2004/101/EC 내용 정리

18) CER의 발행을 담당하는 기관은 CDM(Clean Development Mechanism) 집행위원회(Executive Board)이며, ERU의 경우 JI(Joint Implementation) 감독위원회(Supervisory Committee)에서 발행되는 경우(Track 2)와 사업 수행국(host country)에서 발행되는 경우(Track 1)로 구분된다.

19) 2013.6월말 기준 sCER은 약 1,368백만톤이 발행된 반면, ERU의 경우 약 806백만톤이 발행되었다(http://unfccc.int).

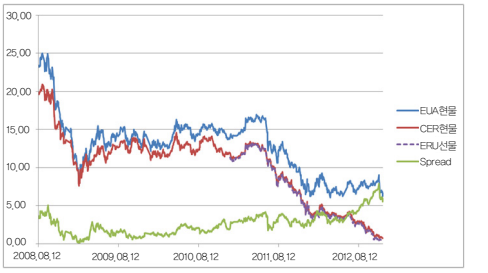
한편, EU ETS 운영에 따른 설비 운영자의 당해 연도 의무준수 여부에 대한 평가는 차년도 4월 말에 실시된다. 이는 당해 연도 배출권의 과잉 또는 과소 상태에 대한 정보를 제공한다. Phase 2 기간의 연도별 할당량과 실제 배출량을 살펴보면, 2008년을 제외하고 2009년부터는 과잉 할당이 지속되어 Phase 2 동안 약 354 백만 톤이 과잉 할당되었다(Carbon Market Data, 2013). 이를 참여 대상별로 구분해 보면 <그림 1>과 같다. 발전 업종이 포함된 연료 연소부문의 경우 과소 할당된 반면, 철강, 정유, 시멘트 등의 업종은 과잉 할당이 발생해 발전 업종이 배출권의 순수요 역할을 담당했음을 알 수 있다. 국가별로 연료연소 대상설비 보유수는 독일(1,320개), 영국(917개), 프랑스(806개), 이탈리아(783개) 순이다(Carbon Market Data, 2013)

〈그림 1〉 할당량과 실제 배출량 비교



출처: Carbon Market Data(2013)

〈그림 2〉 EUA, CER, ERU, Spread 추이



출처: Bluenext, ECX

Phase 2 기간 동안의 EUA와 sCER의 가격 및 이에 따른 스프레드 추이는 <그림 2>와 같다. sCER과 ERU의 가격의 추이는 EUA 가격보다 낮게 형성되었고, 2011년 1월부터 선물 거래가 시작된 ERU의 경우 sCER의 가격과 유사한 추이를 나타낸다. 스프레드는 EUA와 sCER의 가격보다 낮은 추이를 보이다가, 2012년 중반부터 sCER 가격이 EUA보다 상대적으로 급속히 하락함에 따라 스프레드가 sCER 가격을 상회하는 특징을 보였다.

2) 분석 자료의 기초 통계량

분석 자료는 블루넥스트(Bluenext)에서 CER 현물상품 거래 시작일인 2008년 8월

12일부터 2012년 11월 30일까지를 주간 단위로 구성해 총 219개의 자료를 사용하였다[20]. 표본 자료의 EUA와 sCER, 두 배출권가격 간의 차이인 스프레드의 기본 통계량은 <표 2>와 같다. 현물기준 EUA 가격은 최소 6.39유로에서 최대 24.66유로 범위의 변동이 발생한 반면, CER의 경우 최소 0.75유로에서 최대 20.6유로로 약 20배의 차이가 발생하였다. 2011년 1월에 거래가 시작된 ERU 선물의 경우 0.48유로에서 13.01유로 범위에서 가격이 변동되었다. 배출권간의 거래가격 차이가 가장 작게 나타난 경우는 0.24유로이고, 가장 크게 나타난 경우는 7.18유로였다. 2012년 하반기로 갈수록 EUA와 sCER 간의 거래가격 차이는 커지는 추세를 보였는데 평균 2.60유로의 차이를 나타내었다. 또한 변이계수(coefficient of variance)의 경우 ERU와 스프레드가 sCER과 EUA보다 높아 상대적인 안정성이 떨어지는 특성을 보였다. 변수 중 하나인 EUA와 ERU의 가격차이가 6유로 이상인 기간은 2012년 10월 5일부터 2012년 11월 30일까지로 이 기간 동안의 평균 가격 차이는 6.82유로이다.

에너지 변수의 경우 모두 유로(euro)로 전환해 표본자료를 구성하였다. 에너지 변수들의 변이계수는 배출권 가격 변수들보다 낮아 상대적으로 안정된 분포를 나타내고 있다. 본 연구에 사용된 설명 변수들의 출처(source)와 단위들을 정리하면 <표 3>과 같다.

〈표 2〉 기초 통계량

통계량	평균	표준편차	중앙값	최대값	최소값	변이계수
EUA(유로/톤)	12.8413	3.9172	13.4140	24.6660	6.3970	0.3050
sCER(유로/톤)	10.2390	4.4764	11.7900	20.6150	0.7560	0.4372
ERU(유로/톤)	6.5160	4.0477	5.0420	13.0180	0.4880	0.6212
Spread(유로/톤)	2.6042	1.3978	2.4600	7.1880	0.2460	0.5367
석유(유로/배럴)	66.5471	18.3059	64.7865	97.5161	31.2203	0.2571
천연가스(유로/MWh)	20.2985	6.0834	22.3200	34.7860	8.0420	0.2969
석탄(유로/톤)	72.3731	17.7473	72.4971	131.6715	44.0014	0.2452
전력(유로/MWh)	50.8595	13.1855	48.4820	112.6000	29.2660	0.2592

주: ERU의 경우 2011.1.3～2012.11.30, 타 변수는 2008.8.12～2012.11.30에 대한 기초통계량임.

20) 블루넥스트는 2012.12.5일 폐장되어 분석의 편의를 위해 11.30일까지로 설정하였다. EUA와 sCER은 블루넥스트 현물 상품 가격, ERU는 ECX(European Climate Exchange)의 12월 만기 선물 상품 가격을 사용하였다.

〈표 3〉 설명 변수들의 출처 및 단위

변수	변수기호	출 처	단위
EUA 현물	EUA_t	Bluenext	Euro/tCO_2
sCER 현물	$sCER_t$	Bluenext	Euro/tCO_2
ERU 선물	ERU_t	ECX	Euro/tCO_2
석유	Oil_t	Crude Oil Brent (datastream)	Euro/barrel(*)
천연가스	NG_t	EGIX Germany Index[21] (datastream)	Euro/MWh
석탄	$Coal_t$	ICE API2 ARA (datastream)	Euro/ton(*)
전력	$Elec_t$	German EEX Phelix base (datastream)	Euro/MWh
Eurostoxx50	$Eurostoxx_t$	Dow Jones	price index
금융 위기	$Financial\ Crisis_t$	Fatemeh Nazifi (2013)	dummy
유로존 채무 위기	$Debt\ Crisis_t$	Point Carbon 홈페이지	dummy
Phase2 의무준수	$Compliance_{phase2}$	-	dummy
연료 전환	$Switching_t$	Tendance Carbone	dummy
Phase3 뉴스	$Phase3_t$	EU홈페이지	dummy
CER 사용제한	$CER\,Re_t$	EU홈페이지	dummy
CER 발행량	CER_{issues_t}	UNFCCC	tCO_2
ERU 발행량	ERU_{issues_t}	UNEP Risoe	tCO_2
EUA-ERU 스프레드	$Spread_{euaeru_t}$	Bluenext, ECX	dummy

주: (*)는 유로환율을 적용해 단위를 변환한 경우임.

III. 분석 결과

1. 배출권의 시계열 특성 분석

1) 시계열 변수들의 안정성 검정

분석에 사용된 주요 시계열 변수들에 대한 단위근 검정 결과는 <표 4>와 같다. 배출권 가격 변수인 EUA_t와 $sCER_t$는 I(1) 계열의 안정 시계열인 반면, 2011년 1

21) 천연가스 자료의 타당성을 위해 영국의 NBP 1st future/month과 독일의 EGIX Germany Index를 스프레드 분석에 사용한 결과 설명변수의 부호 및 통계적 유의성에서 두 자료간의 차이점이 존재하지 않았다. 이에 EU ETS의 연료연소 대상 설비의 수가 더 많은 독일 자료를 사용하였다.

월부터 거래가 시작된 ERU_t의 경우 I(0) 계열의 안정 시계열이었다. $Spread_t$의 경우 10% 유의 수준에서 안정 시계열로 EUA_t와 $sCER_t$간에 장기 균형 관계가 존재할 수 있음을 알 수 있다.

에너지 가격 변수 중 석유(Oil_t)와 석탄($Coal_t$)은 I(0) 계열의 안정 시계열인 반면, 천연가스(NG_t)와 전력($Elec_t$) 가격은 I(1) 계열의 안정 시계열로 나타났다. 향후 경제 전망을 의미하는 변수인 Eurostoxx50($Eurostoxx_t$)은 수준변수에서 불안정 시계열 성격을 갖는다. 단위근 검정 결과 5% 유의 수준을 기준으로 불안정 시계열의 경우 로그차분을 통해 안정 시계열로 전환하여 분석에 적용하였다.

〈표 4〉 시계열 안정성 검정결과

구분	수준변수			차분변수		
	계 수	t-통계량	시차	계 수	t-통계량	시차
EUA_t	-0.0429	-2.8194	1	-0.7978(***)	-11.9713	0
$sCER_t$	-0.0256	-1.9373	1	-0.7931(***)	-11.8899	0
ERU_t	-0.5167(***)	-11.5209	1	-	-	-
$Spread_t$	-0.0689(*)	-3.2989	1	-0.8743(***)	-12.9389	0
Oil_t	-0.0735(***)	-4.1072	0	-	-	-
NG_t	-0.0256	-2.1066	1	-0.8395(***)	-12.4943	0
$Coal_t$	-0.0536(***)	-4.6796	4	-	-	-
$Elec_t$	-0.1026	-2.7164	2	-1.5206(***)	-14.7186	1
$Eurostoxx_t$	-0.0488	-2.6077	1	-0.8393(***)	-12.4540	0

주: ***(*) 표기는 1%(10%) 유의수준에서 해당 통계량이 유의하다는 의미임.

2) 공적분 검정 결과

단위근 검정결과 I(1) 계열 안정 시계열인 EUA와 sCER 가격간의 장기 균형 관계 존재 유무를 확인하기 위해 Johansen(1991) 공적분 검정을 실시하였다. 분석 대상기간 별로 공적분 관계의 성립 유무가 불분명한 점을 감안해, Phase 2 전 기간을 대상으로 검정한 결과 EUA_t와 $sCER_t$ 가격간에는 1개의 공적분 계수가 존재하는 것으로 확인되었다.

〈표 5〉 공적분 검정 결과

lag interval: 4	Trace 통계량			Maximum Eigenvalue		
	Eigenvalue	Trace Statistics	Critical Value	Eigenvalue	Max-eigen Statistics	Critical Value
None	0.0674(**)	16.6821	15.4947	0.0674(**)	14.9494	14.2646
at most 1	0.0080	1.7327	3.8415	0.0080	1.7327	3.8415

주: ** 표기는 5% 유의수준에서 해당 통계량이 유의하다는 의미임.

EUA_t와 $sCER_t$간의 공적분 관계를 확인 후에는 식 (3)의 VECM 모형을 사용하고, Wald 검정을 이용해 인과성 검정을 실시하였다(<부록> 참조). 인과성 검정결과, 제2차 계획기간 동안 EUA_t는 $sCER_t$을 인과 하지만, $sCER_t$은 EUA_t를 인과하지 않는 것으로 나타났다.

〈표 6〉 인과성 검정결과

구분	$EUA_t \rightarrow sCER_t$	$sCER_t \rightarrow EUA_t$
Chi-square	12.9943(**)	1.9119

주: 인과성 검정결과 ** 표기는 5% 유의수준에서 EUA_t가 $sCER_t$를 Granger Cause하지 않는다는 귀무가설이 기각된다는 의미임.

2. 탄소배출권 가격 결정 요인 분석

1) 자기 상관 시차 추정

AR(k)-GARCH(1,1) 모형의 적용을 위해서는 우선 AR(k)의 시차를 추정해야 한다. 식 (4)를 이용한 자기상관모형의 추정 결과는 <표 7>과 같다. 모형 추정 時 최적 시차는 AIC를 이용해 결정하였고, 추정결과 EUA는 AR(4), sCER은 AR(8), 스프레드는 AR(2)가 최적 시차임을 확인하였다.

〈표 7〉 자기 상관 모형 추정결과

구 분	EUA 현물		sCER 현물		스프레드	
	계수	t-통계량	계수	t-통계량	계수	t-통계량
절편항	-0.0052	-1.4693	-0.0078	-1.5780	-0.0615	1.3465
AR(1)	0.1873(***)	2.7441	0.2039(***)	2.9366	1.1312(***)	16.7864
AR(2)	-0.0689	-0.9840	-0.1747(**)	-2.4660	-0.1520(**)	-2.2281
AR(3)	0.1204(*)	1.7189	0.2030(***)	2.7966	-	-
AR(4)	-0.1541(**)	-2.2217	-0.2099(***)	-2.8965	-	-
AR(5)	-	-	0.2686(***)	3.6389	-	-
AR(6)	-	-	0.1189	1.4578	-	-
AR(7)	-	-	-0.0135	-0.1633	-	-
AR(8)	-	-	0.2061(**)	2.5408	-	-

주: ***(**)* 표기는 해당 계수 값이 1%(5%)10% 유의수준에서 유의하다는 의미임.

2) EUA 가격 결정 요인

EUA 분석 결과는 <표 8>과 같다. 우선, 에너지 관련 변수 중에는 석탄가격($Coal_t$)과 전력가격($Elec_t$)이 EUA의 가격 변동에 통계적으로 유의한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 석탄은 화석연료 중에서 온실가스 배출 비중이 상대적으로 높으며 EUA_t에 음(-)의 부호를 나타내었다. 이는 배출권 주 수요자인 발전 업종의 경우 석탄가격 상승 시 온실가스 배출이 적은 타 연료를 사용하는 발전설비에 비해 경쟁력이 떨어져, 타 연료 발전량을 증가시키는 동인으로 작용하여 석탄 수요를 감소시켜 결과적으로 EUA 가격을 하락시킨다.

반면, 전력 가격은 EUA 가격에 정(+)의 충격을 준다. 전력 수요 증가에 따른 전력 가격의 상승은 전력 생산의 증가로 연결되며, 이에 따른 화석연료 사용 증가는 EUA에 대한 수요를 증가시키게 되어 결국 EUA의 가격을 상승시킨다.

석유(Oil_t)와 천연가스(NG_t) 가격은 EUA 가격에 정(+)의 부호로 영향을 주지만, 통계적으로 유의하지는 않았다. EUA 가격 결정 요인 중 에너지 변수들의 부호는 선행 연구인 Maria Mansanet-Bataller(2011)와 동일하게 나타났다.

미래 경제지표의 의미로 사용한 Eutostoxx50($Eurostoxx_t$)의 경우 통계적으로 유

의하지는 않지만 부호의 방향이 정(+)으로 나타나고 있어, 향후 경제 상황이 호전되는 경우 산업 생산량 증가에 따른 에너지 수요 증가로 인해 EUA 가격이 상승할 수 있다는 것을 시사한다. 반면, 금융위기 변수($Financial\,Crisis_t$)와 국가채무위기 변수($Debt\,Crisis_t$) 모두 EUA 가격과 부(-)의 상관관계가 있는 것으로 나타나고 있어, 이들 지표는 향후 산업 생산의 감소에 따른 에너지 수요 감소로 EUA 가격을 하락시키는 요인으로 예상된다. 특히, 금융 위기는 통계적으로 유의한 수준에서 EUA 가격에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

EU ETS 운영에 따라 의무준수를 평가하는 4월달($Compliance_t$)은 EUA 가격에 정(+)의 부호로 영향을 주며 통계적으로 유의성이 있는 것으로 나타났다. 이는 검증이 완료된 실제 배출량이 4월초 공개된 이후 배출권이 부족한 설비운영자는 4월 중에 의무준수에 필요한 부족분을 구매하기 위한 수요에 기인한 것으로 해석된다.

3) sCER 가격 결정 요인

sCER의 수요·공급은 유럽에서만 통용되는 EUA와 달리 복잡하며 불확실성이 높다. 공급 측면의 경우, 할당완료 후에 전체 배출권 양이 고정되는 EUA와 달리 sCER의 발행량은 발행 신청 수요에 따라 지속적으로 변하는 특성을 갖고 있다. 수요 측면에서는 EU ETS에 참여하는 설비운영자 이외의 제3자도 존재하지만, EU 지역 외의 부속서B 국가들도 sCER 수요가 가능하다. 따라서 EUA와 sCER의 가격은 상호 다른 메카니즘을 통해 결정된다. 또한 EU ETS Phase 2의 경우 평균 13.4%까지 sCER과 ERU를 의무준수에 사용할 수 있는 제약 조건이 있어서 sCER 가격은 ERU 가격과도 밀접한 연관성을 갖고 있다.

모형 분석결과 sCER 가격 결정 요인으로 전력($Elec_t$) 가격은 정(+)의 상관관계를 나타냈지만 통계적으로 유의하지 않았다. 반면, 석탄($Coal_t$) 가격은 EUA 가격결정 요인분석 결과와 동일하게 부(-)의 부호를 나타내었고, 통계적으로도 매우 유의성이 높게 나타났다. 또한 금융 위기($Financial\,Crisis_t$)의 경우에도 통계적으로 유의한 수준으로 sCER 가격의 하락에 영향을 주었다.

EU ETS 운영 결과 역시 sCER 가격 변화에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

EU ETS의 의무준수 평가월($Compliance_t$)은 EUA 가격결정 요인분석 결과와 동일하게 sCER 가격에 정(+)의 부호로 영향을 주며, 통계적으로 유의한 결과가 도출되었다. 이는 4월말의 의무준수 평가를 대비한 배출권 수요 증가에 따라 EUA의 수요도 증가하지만, EUA 보다 가격이 낮은 sCER의 수요도 증가한다고 해석할 수 있다.

또한 EUA와 ERU의 가격차($Spread_{cer\,eru_t}$)는 sCER의 가격에 부정적 영향(-)을 미치는 것으로 분석되었고, 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다. ERU와 sCER 모두 EU ETS에서 상쇄 기능을 수행하는 탄소배출권이지만, ERU가 sCER보다 시장 가격이 낮으므로 EUA와 ERU 간의 가격 차가 커질수록 차익거래 또는 비용감소 측면에서 sCER 대신 ERU의 수요가 증가하는 동인이 되는 것으로 해석할 수 있다. CER의 사용제한을 나타내는 변수($CERRe_t$) 역시 10% 유의수준에서 sCER 가격에 부(-)의 영향을 주는 것으로 분석되었다.

가격의 변동성에 대한 ARCH, GARCH 효과와 관련해서 ARCH 효과와 함께 과거 충격의 변동성에 지속적 영향을 미치는 효과인 GARCH 효과 역시 통계적으로 유의한 결과가 도출되었다.

4) 탄소배출권 스프레드에 영향을 미치는 요인

<표 8>을 통해 알 수 있듯이 탄소배출권 스프레드에 영향을 미치는 요인들 중 에너지 변수인 석유(Oil_t), 천연가스(NG_t), 석탄($Coal_t$), 전력($Elec_t$) 가격의 상승은 스프레드와 정(+)의 상관관계가 있는 것으로 분석되었고, 이중 석유와 전력가격의 경우에는 통계적으로 각각 5%와 1%에서 유의한 것으로 나타났다.

석유 변수와 천연가스 변수의 추정된 부호의 방향은 선행 연구인 Fatemeh Nazifi(2013)와 다르게 나타났다. 선행연구에 따르면 석유와 천연가스는 스프레드와 부(-)의 부호를, 석탄은 스프레드와 정(+)의 부호를 나타내었다. 이는 석유와 천연가스 가격이 하락하거나 석탄 가격이 상승할 경우 설비운영자는 탄소 함유량이 높은 연료에서 낮은 연료로 전환하기 때문에, 배출권 수요가 줄고, 이로 인해 EUA 가격을 낮추는 결과를 초래한다. 결과적으로 석유와 천연가스 가격의 하락에 영향을 주어 스프레드를 좁히는 결과를 초래한다고 설명하며, 이에 대한 근거로 EUA와 석유

및 가스 가격의 관계가 양의 부호를 갖는다는 점을 제시하였다.

그러나 이와 같은 해석보다는 스프레드는 EUA과 sCER의 가격차이 이므로 석유 가격과 천연가스 가격은 EUA와의 관계에서 양(+)의 부호를 갖으며, sCER의 가격 변동에 영향을 주지 않는다고 가정할 경우, 스프레드와 석유 및 천연가스 가격은 양의 부호를 갖는 것이 합리적이다. 반면, 석탄가격이 스프레드와 정(+)의 상관관계를 갖는 이유는 EUA 가격에는 통계적으로 5% 유의수준에서 음(-)의 영향을 주지만, sCER의 가격에도 1% 유의수준에서 부정적(-) 영향을 주기 때문에 스프레드는 오히려 양(+)의 부호를 나타낼 수 있다. 따라서 EUA와 sCER의 공통된 가격 결정 요인이 동일한 부호를 갖는 경우에는 스프레드의 부호는 반대로 나타날 수 있음을 의미한다.

금융위기 변수($Financial\ Crisis_t$)의 경우에도 유사한 결과가 나타났다. 금융위기는 EUA와 sCER 가격에 공통적으로 음의 부호를 나타내지만, 스프레드 분석결과에는 양의 부호로 분석되었다. 반면, sCER에 주로 영향을 주는 변수의 경우에는 스프레드 분석결과와 부호가 반대로 나타났다. CER 발행량(CER_{issues_t})과 ERU 발행량(ERU_{issues_t})은 시장 공급량을 증가시켜 sCER 가격의 하락 요인으로 작용하지만, 스프레드와는 정의 상관관계를 나타내었다. EUA와 ERU의 가격차($Spread_{euaeru_t}$)는 스프레드를 좁아지게 하는 음(-)의 상관관계이며, 통계적으로도 유의성이 있는 것으로 분석되었다.

〈표 8〉 AR(k)-GARCH(1,1) 모형 추정결과

변수		EUA	sCER	Spread
분산 방정식	C	0.0033(***) (0.0011)	2.32E-05 (2.81E-05)	0.0018 (0.0014)
	e_{t-1}^2	0.0063 (0.0595)	0.1014(**) (0.0468)	0.0548 (0.0364)
	$GARCH_{t-1}$	-0.6413 (0.4376)	0.8969(***) (0.0463)	0.9133(***) (0.0462)
평균 방정식	Oil_t	0.1171 (0.0778)	-	0.0079(**) (0.0033)
	NG_t	0.0326 (0.0657)	-	0.4964 (0.3797)
	$Coal_t$	-0.2078(**) (0.0831)	-0.2932(***) (0.0591)	0.0018 (0.0022)
	$Elec_t$	0.0582(**) (0.0266)	0.0380 (0.0283)	0.4392(***) (0.1605)
	$Eurostoxx_t$	0.0938 (0.0903)	-	0.4073 (0.5131)

〈표 8〉 AR(k)-GARCH(1,1) 모형 추정결과 (계속)

변수			EUA	sCER	Spread
평균 방정식	$Financial\ Crisis_t$		-0.0162(**) (0.0080)	-0.0296(*) (0.0162)	0.1521 (0.1009)
	$Debt\ Crisis_t$		-0.0154 (0.0131)	-	-0.0058 (0.0511)
	$Compliance_t$		0.0273(**) (0.0120)	0.0312(***) (0.0111)	-0.0548 (0.0832)
	$Switch_t$		0.0106 (0.0084)	-	0.0568 (0.0679)
	$Phase3_t$		-0.0032 (0.0090)	-	0.0508 (0.0487)
	$CERRe_t$		-	-0.0191(*) (0.0107)	-0.0533 (0.0659)
	CER_{issues_t}		-	-3.10E-09 (3.74E-09)	1.79E-08 (2.42E-08)
	ERU_{issues_t}		-	-3.52E-06 (2.37E-06)	2.09E-05 (1.52E-05)
	$Spread_{euaeru_t}$		-	-0.1010(***) (0.0356)	0.4981(***) (0.1379)
	C		-0.0062 (0.0050)	0.0031 (0.0045)	-0.3777(**) (0.1774)
	자기상 관시차	$AR(1)$	0.1143(*) (0.0683)	0.1199 (0.0789)	1.0810(***) (0.0668)
		$AR(2)$	-0.1125(**) (0.0403)	-0.1323(*) (0.0736)	-0.2171(***) (0.0691)
		$AR(3)$	0.0114(*) (0.0587)	0.0127 (0.0739)	-
		$AR(4)$	-0.1756(***) (0.0558)	-0.2042(***) (0.0678)	-
		$AR(5)$	-	0.0456 (0.0930)	-
		$AR(6)$	-	-0.0251 (0.0752)	-
		$AR(7)$	-	-0.0699 (0.0906)	-
		$AR(8)$	-	0.0673 (0.0730)	-

주 1: ***(**)* 표기는 해당 계수 값이 1%(5%)10% 유의수준에서 유의하다는 의미임.
주 2: 괄호( )안은 표준오차(standard error)를 의미함.

IV. 결 론

2005년부터 시행되고 있는 EU ETS에서는 할당 배출권인 EUA와 상쇄 배출권인 sCER과 ERU의 감축의무 준수에 대한 활용이 가능하며, 대상 설비를 보유한 설비 운영자는 규제에 따른 이행비용 최소화를 위해 탄소배출권 간에 발생하는 가격 차이를 고려하게 된다. 결국 탄소배출권 가격의 스프레드 폭이 넓을수록 EUA보다 sCER을 선호하는 구매 動因이 발생할 수 있다.

그러나 EUA와 sCER은 할당 배출권과 상쇄 배출권의 다른 기능적 요소와 함께 수요·공급 측면에서도 각기 다른 시장 구조를 갖고 있다. 본 연구에서는 이러한

EUA 가격과 sCER 가격간의 스프레드가 발생하는 구조적인 원인에 대해 제2차 계획기간을 분석대상으로 AR-GARCH 모형을 사용하여 EUA, sCER, 스프레드의 순서로 실증 분석하였다. 분석 결과 EUA와 sCER은 EU ETS를 중심으로 공통적 가격 영향 요인과 상이한 가격 요인이 존재하는 것으로 나타났다. EUA 가격과 sCER 가격은 석탄가격(-), 금융위기(-)와 같은 에너지와 경제변수, EU ETS 운영변수(의무준수(+))에 대해서는 공통적인 방향으로 영향을 받지만, 전력가격, 정책적 변수(CER 사용제한), EUA와 ERU간의 가격차 등에 대해서는 서로 다른 방향으로 영향을 받는 것으로 분석되었다.

탄소배출권 가격의 스프레드는 에너지 가격(석유, 천연가스, 석탄, 전력)이 상승할 경우에는 넓어지는 경향을 나타내었고, 특히 석유 가격과 전력 가격의 변동은 탄소배출권 가격의 변동 폭을 크게 하는 것으로 분석되었다. 한편, 에너지 변수 중 석유와 천연가스 가격의 부호는 선행연구와는 다른 결과가 도출되었는데, 석유와 천연가스 가격은 EUA 가격과 정(+)의 상관관계를 갖지만 sCER의 가격 변동에는 영향을 주지 않는다고 가정할 경우, 스프레드와 석유·천연가스 가격은 정(+)의 상관관계, 즉 석유가격과 천연가스 가격의 변동 폭이 크면 클수록 이에 따라 탄소배출권 가격의 차이인 스프레드 역시 커지는 경향을 나타내는 것으로 이해할 수 있다.

한편, EUA와 ERU의 가격 차이가 커질수록 스프레드가 넓어지는 현상이 나타났는데, 이러한 결과는 EU ETS의 운영상의 특징으로 인해 EUA와 ERU의 가격 차이가 sCER의 가격과 음(-)의 관계를 갖는 것으로 판단된다.

본 연구가 갖고 있는 제약점은 sCER의 경우, 가격결정요인에 대한 선행 연구의 부족으로 EUA와 sCER이 각기 다른 가격결정요인이 존재한다는 가정 하에 분석하였다는 점 그리고 분석 가능한 데이터의 한계로 인해 pCER 가격 추이, ERU와 sCER간의 시계열적 특성 등이 충분히 고려되지 못한 한계점을 갖고 있다. 그러나 2012년을 포함한 EU ETS 제2차 계획기간 전체를 대상으로 탄소배출권 가격 스프레드의 변동 원인을 실증 분석하여, 2012년도에 EUA와 sCER의 스프레드가 급속히 증가하는 원인을 설명했다는 의의를 갖고 있다. 또한 이러한 원인들이 대부분 정책적인 변화에 의한 변화라는 측면에서 향후 우리나라에서 도입예정인 ETS에서도 에너지 가격 등의 구조적인 요인들과 함께 정책적인 측면도 가격 변동의 주요한 원인

이 될 수 있다는 점을 간접적으로 설명하였다.

향후 EU ETS上의 가격결정 요인이 우리나라의 ETS에서도 과연 유효하게 적용 가능한 지에 대한 추가적인 연구가 필요하며, 이와 관련된 분석모형과 변수 설정에 있어서 기존의 주식시장, 금융시장, 외환시장에서 연구되어 지고 있는 현물과 선물 스프레드 분석, 국채와 회사채 스프레드 분석과 같은 선행연구 결과를 참조하는 것이 중요하며, 배출권 가격 스프레드와 관련해서는 CDM 사업을 포함한 ETS의 제도적 변화 사항을 반영할 수 있는 변수를 반영하여 분석하는 것이 필요하다. 아울러 우리나라의 에너지 시장이 유럽과는 다른 구조를 갖고 있음을 감안하여 우리나라에 적합한 탄소배출권 가격결정 요인과 가격 스프레드에 영향을 미치는 요인을 분석하는 것이 필요하다. 이러한 연구결과들은 향후 ETS 도입에 따른 기업內 내부 이행전략을 수립하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

[References]

1. 김명직·장국현, 「금융시계열분석」, 경문사, 1998.
2. 김수이, "배출권거래 가격 결정요인 분석과 전망: 화석연료가격과의 상관관계를 중심으로", 연구보고서, 에너지경제연구원, 2007.
3. 모정윤·양승룡·조용성, "국제 탄소배출권 가격의 일물일가 검정 및 동태적 분석", 「자원·환경경제연구」, 제14권 제3호, 한국자원경제학회·한국환경경제학회, 2005, pp. 569～593.
4. 서병선·김혁황, "국채 수익률과 신용 스프레드의 관계에 대한 동태적 분석", 「금융학회지」, 제8권 제1호, 한국금융학회, 2003, pp. 61～85.
5. 이성우, "원화 이자율스왑 스프레드 결정요소에 대한 실증연구", 한국과학기술원 석사학위논문, 2005.
6. 장하성·옥진호, "한국증권시장에서의 스프레드에 관한 연구: 결정요인과 하루중 형태에 관한 실증분석", 「재무연구」, 제11권, 한국재무학회, 1996, pp. 21～63.
7. 지호준·박상규, "금리 스프레드의 경기예측력 평가", 「재무관리연구」, 제11권 제2호, 한국재무관리학회, 2002, pp. 233～251.

8. Bollerslev, T., “Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity,” *Journal of Econometrics*, Vol. 31(3), 1986, pp. 307～327.
9. Delarue, E. D., A. D. Ellerman, and D'haeseleer, W. D., “Robust MACC : The topography of abatement by fuel switching in the European power sector,” *Energy*, Vol. 35(3), 2011, pp. 1465～1475.
10. Dickey, D. A. and W. A. Fuller. “Estimation for Autoregressive Time Series with a Unit Root,” *Journal of the American Statistical Association,* Vol. 74, 1979, pp. 427～431.
11. Emilie, A., C. Julien, and C. Benoit, “Prive Drivers and Structural Breaks in European Carbon Prices 2005-07,” *Energy Policy*, Vol. 36(2), 2008, pp. 787～797.
12. Engle, R. F., “Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation,” *Econometrica,* Vol. 50(4), 1982, pp. 987～1007.
13. Eva, B. and Stefan, T., “Modeling the Price Dynamics of CO2 Emission Allowance,” *Energy Economics,* Vol. 31(1), 2009, pp. 4～15.
14. Fama, E. F., “Efficient Capital Markets : A Review of Theory and Empirical Work,” *Journal of Finance,* Vol. 25(2), 1970, pp. 383～417.
15. Fatemeh, N., “Modelling the price spread between EUA and CER carbon price,” *Energy Policy*, Vol. 56, 2013, pp. 434～445.
16. Granger, C., “Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Method,” *Econometrica,* Vol. 37(3), 1969, pp. 424～438.
17. Johansen, S., “Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vector in Gaussian Vector Autoregressive Model,” *Econometrica,* Vol, 59(6), 1991, pp. 1551～1580.
18. Julien, C., “Carbon futures and macroeconomic risk factors : A view from the EU ETS,” *Energy Economics*, Vol. 31(4), 2009, pp. 614～625.
19. Julien, C., “EUAs and CERs : Vector Autoregression, Impulse Response Function and Cointegration Analysis,” *Economic Bulletin,* Vol. 30(1), 2010, pp. 558～576.
20. Julien, C., “Macroeconomics, finance, commodities : Interactions with carbon markets in a data-rich model,” *Economic modelling*, Vol. 28(1-2), 2011, pp. 557～567.
21. Keppler, J. H. and M. Mansanet-Bataller, “Causalities between CO2, electricity and other energy variables during phase I and phase II of the EU ETS,” *Energy Police,* Vol. 38(7), 2010, pp. 3329～3341.
22. Mansanet-Bataller, M., Pardo, A., and Valor, E., “CO2 Prices, Energy and Weather,”

The Energy Journal, Vol. 28, 2007, pp. 73～92.
23. Mansanet-Bataller, M. and J. C. Morgan, “EUA and sCER Phase II price drivers : Unveiling the reasons for the existence of the EUA-sCER Spread,” *Energy Policy,* Vol. 39(3), 2011, pp. 1056～1069.
24. World Bank, “State and Trends of the Carbon Market 2008,” *World Bank*, 2008.
25. BlueNext, “EUA/CER Spot”, *Bluenext (http://www.bluenext.fr)*, 2012.
26. Carbon Market Data, “EU ETS data,” Carbon Market Data (http://carbonmarketdata.com), 2013.
27. ECX, “EUA/CER Futures,” *European Climate Exchange* (http://www.ecx.eu), 2012.
28. UNFCCC, “Marrakesh Accords,” *United Nations Framework Convention on Climate Change (www.unfccc.int),* 2001.
29. UNFCCC, “CDM statistics,” *United Nations Framework Convention on Climate Change (www.unfccc.int),* 2013.

〈부 록〉 인과성 검정을 위한 VECM 모형 추정결과

구분		EUA_t		$sCER_t$	
		계수	t-통계량	계수	t-통계량
cointEq		-0.6779	-8.6837	-1.4749	-11.1828
EUA_t	cointEq	-0.1199(***)	-3.6207	0.0425(**)	2.4250
	EUA_{t-1}	0.1976	1.5002	0.1840	1.3788
	EUA_{t-2}	-0.0526	-0.3859	-0.1567	-1.1422
	EUA_{t-3}	0.4022(***)	2.9634	-0.2645(*)	-1.9388
	EUA_{t-4}	-0.0868	-0.6277	-0.0145	-0.1071
$sCER_t$	$sCER_{t-1}$	0.0163	0.0953	0.0414	0.4030
	$sCER_{t-2}$	-0.0769	-0.4381	0.0009	0.0086
	$sCER_{t-3}$	-0.2089	0.2588	0.3765(***)	3.5536
	$sCER_{t-4}$	0.0451	0.2589	-0.0326	-0.3023
절편항		-0.0621	-1.4408	0.0336(**)	-2.3848

주: ***(**)(*) 표기는 해당 계수값이 1%(5%)(10%) 유의수준에서 유의하다는 의미임.