

## EU ETS의 장단기 가격결정요인 분석\*

백정호\*\* · 김현석\*\*\*

### 요 약

본 연구는 EU ETS 시장에서 전력가격, 석유가격, 기후 및 제도 더미변수 등의 결정요인이 배출권 거래가격에 미치는 장단기적 영향을 살펴보았다. 이를 위해 Johansen 공적분 검정을 변수 간의 장기관계 분석에 사용하였으며, 오차 수정모형(VECM)을 통해 각 변수들 간의 단기적 조정과정도 분석하였다. 특히, EU ETS의 배출권의 과다할당이 거래가격에 직접적인 영향을 미쳤는지 여부를 계량모형을 통해 명시적으로 분석하였다. 실증분석 결과에 따르면 배출권 거래 가격은 전력 및 석유가격과 장기적으로 양의 관계를 갖는 것으로 나타났다. 또한, 외부충격으로부터 배출권 거래가격이 안정화되는 데는 길게는 약 1년 가까이 소요되는 것으로 나타났다. 이는 시장의 불확실성이 큰 배출권 시장의 특성상 외부충격으로 인한 사회적 피해가 생각보다 크다는 것을 의미하는 것이다.

주요 단어 : 과다할당, 배출권, EU ETS

경제학문헌목록 주제분류 : Q54, C32

\* 본 논문은 에너지경제연구원 연구보고서 「배출권 할당이 거래가격에 미치는 영향 분석 - EU-ETS를 중심으로(2011)」의 일부 내용을 발췌하여 수정·보완한 논문임.

\*\* University of Alaska at Fairbanks 경제학과 부교수(주저자). jbaek3@alaska.edu

\*\*\* 경북대학교 농업경제학과 조교수(교신저자). hyun.kim@knu.ac.kr

## I. 서 론

우리나라는 국가 온실가스 감축목표를 달성하기 위한 수단 중 하나로 배출권거래제를 도입하였다. 그러나 일부에서는 배출권거래제가 경제에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 주장을 하고 있다. 또한 EU 배출권거래제(Emission Trading Scheme, ETS) 1기의 배출권 과다할당에 따른 가격 폭락으로 EU 배출권시장의 효율성 및 온실가스 감축 실효성에 대한 의문이 제기됨에 따라 우리나라에서도 배출권 거래시장의 효율성에 대한 우려의 목소리가 나타나고 있다. 이러한 시점에서 EU ETS의 분석은 효율적 정책수립이라는 측면에서 중요할 것이다. 따라서 본 연구는 효율적이고 안정된 배출권거래제의 도입을 위해 EU ETS의 가격구조를 분석하고, 이를 바탕으로 보다 정확한 배출권 가격의 분석을 그 목적으로 한다.

현재까지 EU ETS 및 기타 배출권 거래시장의 실증적 분석을 시도한 연구는 대부분 계량 분석을 통해 임시방편적으로 설정된 요인들이 배출권 가격에 미친 영향을 분석하는데 초점을 두었다. Mansanet-Bataller 외(2007)는 기후 및 에너지관련 변수 등을 사용하여 2005년의 배출권 거래가격에 대한 결정요인을 최소자승법(OLS)을 통해 분석하였다. 이들의 연구결과, 석유 및 천연가스 가격 등 에너지가격 변수들이 거래가격에 큰 영향을 미친 것으로 나타난 반면, 기후관련 변수는 매우 좁거나 매우 더운 경우에만 거래가격에 영향을 준 것으로 나타났다.

Rickels 외(2007)는 Mansanet-Bataller 외(2007)의 시계열자료를 1년 확장하여 EU ETS 1기의 초기 2년(2005~2006)간 배출권 거래가격에 대한 결정요인을 분석하여 Mansanet-Bataller 외(2007)와 동일한 결과를 제시하였다. 한편, Alberola 외(2008)는 다른 연구들과는 달리 2006년 4월을 전후로 발생한 배출

권 거래가격 폭락에 실증분석의 초점을 맞추고,<sup>1)</sup> EU ETS의 1기를 가격 폭락 이전(2005년 7월~2006년 4월)과 폭락 이후(2006년 6월~2007년 4월)로 구분하여 거래가격의 결정요인을 분석하였다. 이들은 가격폭락 이전의 경우 배출권 거래가격은 주로 전력가격에 의해 결정된 반면, 가격폭락 이후에는 전력가격 이외에 석유 및 천연가스 가격과 기후에도 큰 영향을 받았다는 결과를 제시하였다.

Bunn과 Fezzi(2008)는 앞에서 소개된 세 편의 선행연구들이 변수 간의 동태적 관계를 고려하지 않았다는 점에 착안하여 독일 및 영국의 천연가스가격, 전력가격 및 배출권 거래가격 간의 동태적 관계를 오차수정모형을 이용해 실증 분석하였다. 이들의 연구결과에 의하면 영국이나 독일의 경우, 석탄을 이용한 전력발전이 많은 관계로 탄소가격의 변화가 이들 나라의 전력가격 변화에 큰 영향을 주는 것으로 나타난 반면, 천연가스가격 변화에는 별다른 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 또한 Keppler와 Mansanet-Bataller(2010)는 EU ETS 1기와 2기 배출권의 선물가격과 에너지 및 기후관련 변수의 장단기 관계를 분석하였다. 이들의 연구결과에 따르면 EU ETS 1기에는 에너지 스프레드(클린 스파크 스프레드와 클린 다크 스프레드)와 예상치 못한 기온의 변화가 배출권의 선물가격에 영향을 주고, 배출권의 선물가격이 현물가격에 영향을 주는 것으로 나타났다. EU ETS 2기에서는 에너지 스프레드와 배출권의 선물가격이 쌍방향으로 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 배출권의 선물가격은 가스 가격에 영향을 주는 것으로 나타났다.

한편, Hintermann(2010)은 기존의 실증연구들이 계량 분석에서의 결정변수들이 임시방편적으로 결정되어 배출권 가격 결정요인에 대한 경제이론적 기반이 매우 취약하다고 비판하며, 배출권 가격 결정함수에 대한 경제이론을 도출한 후 다각적인 방법으로 실증분석을 시도하였다. 실증분석 결과 천연가스

1) EU ETS는 당해 연도 참여자들의 의무준수 결과를 다음 연도 4월에 발표하고 있다. 1기의 경우 2005년 참여자들의 의무준수 결과가 2006년 4월 발표됨에 따라 수일 만에 약 15%의 가격 하락이 발생하였다. 이는 2005년 의무준수 결과 할당된 배출권이 실제 배출량보다 많아 배출권의 과잉할당 사실이 알려지면서 가격이 급락하게 된 결과이다.

및 석탄가격, 여름철의 고온, 강수량 등이 EU ETS 1기의 배출권 가격에 큰 영향을 미친 것으로 나타났다.

이들 선행연구는 주로 단일방정식을 기본으로 정태적 분석을 통해 배출권 가격의 결정요인을 분석하였다. 그러나 배출권 가격과 그 결정변수들은 계량 모델 내에서 서로 내생적으로 결정되는 경향이 강할 뿐만 아니라, 결정요인들이 거래가격에 미치는 영향이 장기와 단기적으로 상이할 가능성도 매우 크다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 보다 엄격한 계량분석을 통한 배출권 가격의 결정요인을 분석하기 위하여 다변량 계량분석을 사용하였다. Johansen (1995)에 의해 제시된 다변량 공적분 검정법을 이용하여 배출권 가격의 결정요인에 대한 장기적 효과를 분석하였다. 이를 바탕으로 오차수정모형(VECM)을 이용하여 각 변수들 간의 단기적인 관계도 분석하였다. 특히, 선행연구들이 주로 EU ETS 1기만을 대상으로 실증분석을 한 것과는 달리 본 연구는 EU ETS 시행 전(全) 기간(2005년 5월~2011년 8월)에 대한 시계열자료를 가지고 배출권 가격의 장단기 결정요인을 분석하였다. 또한, 본 연구는 선행연구들에서 고려하지 않은 EU ETS 1기 배출권 과다할당 및 잉여배출권 이월금지와 같은 정책적 요인이 거래가격 폭락에 직접적인 영향을 미쳤는지를 계량모델을 통해 명시적으로 분석하였다.

## II. 분석방법론 및 데이터

### 2.1. 분석방법론

배출권 가격의 결정요인에 대한 분석을 위하여 본 연구는 다변량 계량분석을 사용하였다. Johansen 공적분 검정(Johansen, 1995)은 모형 내의 모든 변수를 내생변수로 간주하는 벡터자기회귀모형(vector autoregression model,

VAR)을 기반으로 공적분 관계를 검정하고 공적분 계수를 추론하는 방법이다. Johansen이 제시한 공적분 검정은 다음과 같은 동태적 VAR 모형에서 출발한다.

$$z_t = \Pi_1 z_{t-1} + \dots + \Pi_k z_{t-k} + \mu + \Phi D_t + \epsilon_t \quad (1)$$

여기서  $z_t$ 는 내생변수 벡터,  $\Pi_i$ 는 추정모수 벡터,  $\mu$ 는 평균값 벡터,  $D_t$ 는 추세 또는 더미변수 등의 결정적 변수를 나타내는 벡터이다. 식 (1)을 오차수정모형으로 재모수화하면 다음과 같다.

$$\Delta z_t = \Gamma_1 \Delta z_{t-1} + \dots + \Gamma_{k-1} \Delta z_{t-k+1} + \Pi z_{t-k} + \mu + \Phi D_t + \epsilon_t \quad (2)$$

여기서  $\Gamma_i = -(I - \Pi_1 - \dots - \Pi_i)$ , ( $i = 1, \dots, k-1$ ) ( $I$ 는 단위행렬을 표시함),  $\Pi = -(I - \Pi_1 - \dots - \Pi_k)$ ,  $\Delta$ 는 각 변수의 차분을 나타낸다. 식 (2)에서  $\Pi$ 항은 변수 간의 장기적 공적분 관계를 나타내는 반면,  $\Gamma$ 는 변수간의 단기 동태적 관계를 나타낸다.  $z_{t-k}$ 의 계수행렬은 부하행렬을 나타내는  $\alpha$ 와 공적분 벡터를 내포하는 행렬인  $\beta$ 로 분해될 수 있다( $\Pi = \alpha\beta'$ ). 여기서  $\alpha$ 는 균형으로의 조정속도를 의미하고,  $\beta$ 는 장기계수행렬을 의미한다. 식 (2)에서 변수들 간의 공적분 행렬은  $\Pi$ 항이 축소된 위수(reduced rank)  $r$ 을 가질 때 성립하게 된다. 이때 0과 다른 행렬  $\Pi$ 의 고유치(eigenvalue)의 개수가  $r$ 이 되며, 최대  $n-1$ 개의 공적분관계가 나타나게 된다.<sup>2)</sup> 또한  $\Pi$ 의 랭크라고 불리는 공적분 벡터의 수는 우도비(Likelihood ratio) 검정이 기반이 되며, 통상적으로는 추적검정(trace test)을 통해 결정된다.

여기서 꼭 언급해야 할 사항으로는, 시계열 자료는 대개의 경우 임의보행

---

2) 이 경우  $r \leq n-1$ 임.

(random walk)을 따르는 비정상적(nonstationary)인 특성을 보인다는 것이다. 이런 비안정성적인 변수들의 경우, 유한한 분산을 가지지 않는 관계로 통상적인 최소자승법을 통해서는 일관성 있는 회귀계수를 추정할 수 없다는 문제점이 있다. 즉, 최소자승법을 이런 변수들에게 적용하여 모형을 추정할 경우, 소위 말하는 가성회귀(spurious regression)의 문제가 발생하게 된다. 그러나 Engle과 Granger(1987)에 따르면 계량모형 내의 변수들이 모두 비정상적인 특징을 보이더라도 이들 변수들의 선형결합은 안정성을 가질 수가 있는데 이를 ‘비정상적인 변수들 간에 공적분 관계가 성립한다’라고 말하며, 이 경우 가성회귀 문제도 발생하지 않게 된다. 따라서 공적분 검정은 시계열 자료의 단위근 검정을 실시하여 시계열들의 (비)정상 검정을 밝혀내는 것으로부터 시작된다.

만일  $z_t$  벡터의 모든 변수가 단위근을 가지고, 서로 간 공적분 관계를 형성하는 것이 검정된다면, 식 (2)는 다음과 같은 단기적 동태모델로 전환될 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta z_t = & \Gamma_1 \Delta z_{t-1} + \dots + \Gamma_{k-1} \Delta z_{t-k+1} \\ & + \alpha(\beta' z_{t-1}) + \mu + \Phi D_t + \epsilon_t \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $\beta' z_{t-1}$ 는 균형으로부터의 이탈을 측정하는 오차수정항을 의미한다.<sup>3)</sup> 따라서 식 (3)은 내생변수 간의 단기 및 장기적 효과를 동시에 분석할 수 있는 방법을 제공하게 된다. 예를 들어, 장기균형이 성립이 되고 있다면,  $\beta' z_{t-1}$ 의 계수는 0을 나타내게 된다. 반면 현재 불균형상태에 있다면  $\beta' z_{t-1}$ 의 계수는 0이 아니게 되며, 그 계수의 값은 불균형상태에서 균형 상태로 수렴하는데 소요되는 기간의 측정을 나타내게 된다. 따라서  $\alpha$ 의 추정치는 조정 속도에 대한 정보를 제공하게 된다.

3) 오차수정항은 공적분 벡터의 잔차로부터 구해진다.

## 2.2. 데이터

본 연구에서는 배출권 거래가격의 결정요인으로 전력가격, 석유가격, 기후 및 제도적 요인을 사용하였다. EU 내 전원별 발전에 사용되는 화석연료의 대부분이 석탄과 가스이므로, 석탄과 가스가격은 전력가격과 상관관계가 높다 (김현석, 2011, pp.50). 따라서 gas와 석탄가격의 경우 전력가격을 통해 배출권 가격에 영향을 준다고 가정하였다. 그 이외에 석유가격과 극한 기후, 과잉 할당과 잉여배출권의 이월금지 등의 제도적 요인에 따라 배출권 가격이 변화한다는 가정 하에 모형을 추정하였다. 배출권 거래가격은 Point Carbon에서 수집한 장외거래(OTC) 현물가격을 사용하였으며, 석유가격은 Intercontinental Exchange에서 제공하는 브렌트유(Brent) 가격을 사용하였다. 전력가격은 European Power Exchange에서 제공하는 독일·오스트리아 전력가격을 사용하였다. 배출권 거래가격 및 전력가격이 유로화로 표시된 관계로 유럽중앙은행에서 제공하는 달러 대 유로 환율을 이용해서 달러화로 표시된 브렌트유 가격을 유로화로 전환하여 사용하였다. 기후관련 변수는 Hintermann(2010)의 선행연구를 참고하여 추운 달(11월부터 3월까지)과 더운 달(6월에서 9월까지)로 구분한 더미변수를 사용하였으며, 마지막으로 EU ETS 1기의 배출권 과다 할당 및 잉여배출권의 이월금지가 거래가격에 미친 영향을 명시적으로 고려하기 위해 두 개의 정책더미를 사용하였다. 첫 번째 더미변수는 Alberola 외 (2008)의 연구를 참조하여 배출권 가격이 본격적으로 폭락하기 시작한 '06년 4월 26일을 기준으로 하여 그 이전은 0, 그 이후는 1로 설정하였다. 두 번째 더미변수는 EU ETS 1기 전체 기간 동안의 배출권 과다할당 및 잉여배출권의 이월금지로 인해, 동 기간의 거래가격이 2기 동안의 거래가격보다는 전반적으로 하락했을 것이라는 점에 착안하여 제 1기 동안은 1, 그 이후는 0으로 설정하였다. 즉 첫 번째 더미변수(*dummy1*)는 '05년의 할당 및 감축에 관한 결과가 '06년 4월 공개된 이후 배출권 거래가격의 변화를 반영하기 위한 더미변수이며, 두 번째 더미변수(*dummy2*)는 1기와 2기의 전체적인 배출권

거래가격의 차이를 반영하기 위한 더미변수이다. 본 연구의 대상이 되는 자료는 '05년 9월 15일부터 '11년 8월 16일까지의 일별 자료를 사용하였다.

### Ⅲ. 실증분석

#### 3.1. 단위근 검정

Johansen 공적분 검정은 각 변수가  $I(1)$ 의 단위근을 가질 경우에만 적용될 수 있기 때문에 공적분 검정을 시행하기 전에 각 변수에 대한 단위근 검정을 선행할 필요가 있다. 이를 위해 <표 1>에서 보는 것과 같이 단위근 검정에 가장 널리 쓰이는 Augmented Dickey Fuller(ADF) 검정법을 사용해 세 변수(배출권가격( $P_e$ ), 전력가격( $P_e$ ) 및 석유가격( $P_o$ ))에 대한 단위근 검정을 실시하였다. 시간 추세항과 상수항을 모두 포함하여 단위근을 검정한 결과, 세 변수를 수준변수로 사용할 경우 '모두 단위근을 가진다'라는 귀무가설이 유의수준 5%에서 기각될 수 없는 것으로 나타났다. 다시 말하면, 세 변수 모두 비정상성을 가진 시계열인 것으로 판명되었다. 이와 반대로, 세 변수가 모두 1차 차분되었을 경우에는 '모두 단위근을 가진다'라는 귀무가설이 유의수준 5%에서 기각되는 것으로 나타나, 정상적인 시계열인 것으로 나타났다. 따라서 세 변수 모두는  $I(1)$ 의 단위근을 가진 변수로 판명되어 Johansen 기법을 통해 이 세 변수들 간의 공적분 관계를 분석할 수 있는 것으로 나타났다.

〈표 1〉 ADF 단위근 검정

| 변수    | 수준변수         | 1차 차분변수         | 결정   |
|-------|--------------|-----------------|------|
| $P_c$ | -2.77<br>(2) | -20.53**<br>(1) | I(1) |
| $P_e$ | -3.15<br>(5) | -22.81**<br>(2) | I(1) |
| $P_o$ | -2.98<br>(2) | -20.87**<br>(2) | I(1) |

주 : \*\*는 5% 유의수준을 의미함.

### 3.2. Johansen 공적분 검정: 장기적 관계 분석

다음 단계로 Johansen 공적분 검정을 사용하여 배출권 거래가격과 전력가격 및 석유가격 사이에 존재하는 공적분 벡터의 수( $r$ )를 추적검정을 사용하여 조사하였다. 추적검정의 귀무가설은 ‘공적분 벡터의 수가  $r$ 보다 작거나 같다’라는 것이다. 예를 들어, 추적검정에서는 통상 ‘공적분 관계가 0이다’( $H_0 : r = 0$ )라는 귀무가설에서 출발하여 ‘공적분 관계가 최대 1개 이다’( $H_0 : r \leq 1$ ), ‘공적분 관계가 최대 2개이다’( $H_0 : r \leq 2$ )의 순서로 올라간다. 여기서 주의해야 할 사항은 Johansen 공적분 검정결과는 식 (2)로 정의된 VAR 모델의 시차의 수를 어떻게 결정하느냐에 매우 민감하기 때문에 공적분 검정 시행 이전에 VAR 모델의 시차를 정확히 결정하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 우도비 검정법(likelihood ratio test)을 통해 Johansen 공적분 적용을 위한 VAR모델의 최적시차를 5로( $k=5$ ) 결정하였다.

<표 2>는 상수항과 기후 더미(여름 및 겨울)를 비제약식(unrestricted)으로, 시간추세항과 배출권의 과다할당 및 이월금지를 반영한 두 개의 제도 더미변수를 제약식(restricted)으로 한 VAR모델의 추정으로부터 얻은 Johansen 공적분 검정의 결과이다.

〈표 2〉 Johansen 공적분 검정결과

| Null hypothesis  | Eigenvalue | Trace statistics |
|------------------|------------|------------------|
| $H_0 : r = 0$    | 0.051      | 119.04 (0.00)**  |
| $H_0 : r \leq 1$ | 0.022      | 42.71 (0.00)**   |
| $H_0 : r \leq 2$ | 0.007      | 9.98 (0.13)      |

주 : \*\*는 5% 유의수준에서 귀무가설을 기각함을 나타냄. 괄호 안은 p 값을 의미함.

추적 검정에 따르면, ‘공적분 관계가 0이다’와 ‘공적분 관계가 최대 1이다’라는 귀무가설은 5% 통계적 유의수준에서 기각된 반면, ‘공적분 관계가 최대 2이다’라는 귀무가설은 5% 통계적 유의수준에서 기각시킬 수 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 세 변수 간에 두 개의 공적분 벡터가 존재하는 것을 의미한다. 다시 말하면, 본 연구에서 사용한 EU ETS 시행 전(全) 기간(’05년 9월 15일~’11년 8월 16일) 동안의 배출권 거래가격, 전력가격 및 석유가격 사이에 공적분 관계가 존재하여 장기적인 관계를 보인다는 실증결과이다.

Johansen 공적분 검정을 식 (2)에 적용하여 얻은 2개의 공적분 벡터를 사용하여 세 변수간의 장기적인 관계를 설명할 수 있다. Johansen 공적분 검정을 통해 변수 사이에 하나의 공적분 관계를 발견한 경우, 첫 번째 공적분 벡터( $\beta_1$ )가 변수 간의 장기적 관계를 나타내는 유일한(unique) 공적분 관계가 된다. 따라서 특별한 제약식(restriction)을 통해 유일한 공적분 관계를 발견해 낼 필요는 존재하지 않게 된다. 이와 반대로, Johansen 공적분 검정을 통해 변수 사이에 2개 이상의 공적분 관계가 발견될 경우, 이들 공적분들 간의 선형결합에 의한 변수들 간의 안정화 현상 때문에 소위 ‘과잉동일시’(overidentification) 문제가 발생하게 된다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서는 공적분 벡터 간의 제약식을 통해 유일한 공적분 관계를 발견해야 한다(Harris와 Sollis 2003).

〈표 3〉 공적분 계수

| 구분     | Beta 1             | Beta 2             |
|--------|--------------------|--------------------|
| $P_c$  | 1.00               | -0.47<br>(-2.14)** |
| $P_e$  | -0.11<br>(-2.07)** | 1.00               |
| $P_o$  |                    | -0.68<br>(-6.92)** |
| Dummy1 | 21.43<br>(5.95)**  |                    |
| Dummy2 | 10.18<br>(4.79)**  | 19.40<br>(2.95)**  |
| Trend  |                    | 0.033<br>(4.26)**  |

주 : \*\*는 5% 유의수준을 나타냄. 괄호안은 t-값을 나타냄.

〈표 3〉은 우도비 검정을 통해 발견된 공적분 벡터를 정리한 것이다. 각 변수 간의 장기적 관계는 관련 장기계수에 의해 설명될 수 있으며, 이를 위해 〈표 3〉에 표시된 장기적 관계를 아래와 같이 2개의 오차항( $ec1$ 과  $ec2$ )식으로 나타낼 수 있다.

$$ec1 : P_c = 0.11P_e - 21.43dummy1 - 10.18dummy2 \quad (4)$$

$$ec2 : P_e = 0.47P_c + 0.68P_o - 19.40dummy2 - 0.03trend \quad (5)$$

〈표 3〉에서 보여주듯이 식 (4)와 (5)의 모든 변수들은 5% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 우선 식 (4)에 따르면 배출권 거래가격과 전력가격은 양(+)의 관계가 있음이 발견되었다. 이는 전력가격이 상승하면 배출계수가 상대적으로 높은 석탄을 주로 연료로 사용하는 유럽의 전력 산업구조에 비추어 볼 때, 장기적으로 배출권에 대한 수요가 증가하고 이에 따라 거래가격도 상승한다는 사실을 반영하는 것으로 해석될 수 있다. 배출권의 과다할당 및 이월금지를 반영한 두 개의 정책더미는 배출권 거래가격과 음(-)의 관계가

있음이 발견되었다. 이는 EU ETS 1기 동안 이루어진 배출권 과다할당(첫 번째 정책더미)이 배출권의 잉여분(과잉공급)을 창출하였고, 그 잉여분의 이월금지가 배출권 거래가격을 낮추는 역할을 했음을 보여주는 것이다. 또한 두 번째 정책더미는 EU ETS 1기 동안의 거래가격이 전반적으로 2기의 거래가격보다 낮았다는 사실을 보여주는데, 이는 1기의 정책적인 요인이 가격하락에 영향을 미쳤다는 것을 실증하는 것이다. 한편, 석유가격이 배출권 가격에 직접적인 영향을 미친다는 가정과는 달리 실증분석에서는 석유가격이 전력가격에 반영되어 배출권 거래가격에 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 배출권의 과잉할당과 이월금지라는 정책적 요인이 크게 작용하여 석유가격이 배출권의 거래가격에 미치는 영향을 상쇄시켰기 때문인 것으로 판단된다.

식 (5)에 따르면 전력가격과 배출권 거래가격은 양(+)의 관계가 있는 것으로 나타나는데, 이는 배출권 거래가격이 상승하면 전력생산에 대한 비용 상승으로 이어져 전력가격이 상승한다는 사실을 나타낸다. <표 3>에서 볼 수 있는 것과 같이 전력가격과 석유가격 사이에도 양(+)의 관계가 성립하는 것으로 나타나 석유가격이 상승하면 장기적으로 전력가격도 증가하는 효과가 있음을 보여준다. 끝으로, 두 번째 정책더미와 전력가격은 음(-)의 관계를 보여주고 있다. 이는 EU ETS 1기 동안의 배출권 과다할당 및 잉여분의 이월금지로 인해 동 기간 동안의 배출권 거래가격이 폭락하면서 발전사의 감축비용 부담이 줄어들어 장기적으로 전력가격을 낮추는 역할을 했음을 보여주는 것이다.

### 3.3. VEC 모형 추정: 단기적 관계 분석

앞에서 Johansen 공적분 검정을 적용하여 변수들 간에 장기균형관계가 성립하는 것을 밝혔고, 식 (4)와 (5)에 나타난 추정된 장기계수들의 값을 이용해 변수 간의 장기적 관계를 설명하였다. 이러한 장기계수들의 값을 이용해 식 (3)과 같은 벡터오차수정모형(VEC)을 추정하였다. VEC모형은 장기적 공적분 관계를 오차수정항을 통해 명시적으로 모형 내에 고려하기 때문에 변수들 간

의 장기균형으로의 조정과정(속도)과 단기적 동태관계를 동시에 분석할 수 있는 매우 유용한 모형으로 알려져 있다. 본 연구에서 사용된 VEC모형은 Hendry(1995)의 모수축약방법(general-to-specific approach)에 의해 추정되었다. 즉, 우선 1차 차분한 세 변수를 VEC모형으로 추정하였다. 그리고 F-검정을 통해 5% 유의수준에서 유의하지 않은 각 변수와 시차변수를 VEC모형에서 제외한 후 완전정보 최대우도법(FIML)을 적용해 가급적 간결한 VEC(parsimonious VEC, PVEC)모형을 추정하였다. PVEC에 포함된 최적시차는 Johansen 공적분 검정에서와 같은 5로 하였다.

PVEC모형의 추정결과는 <표 4>에 정리되어 있다. 우선 세 변수(배출권가격, 전력가격 및 석유가격)에 포함된 오차수정항 모두가 음(-)의 계수를 가지고 5% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이는 배출권의 거래가격 및 전기가격, 석유가격이 외부충격 등에 의해 균형에서 이탈한 경우에도 일정기간이 경과하면 다시 장기균형 상태로 수렴하게 된다는 것을 의미한다. 하지만, 오차수정항의 추정된 계수에서 보듯이 이러한 장기균형으로의 복귀가 즉각적으로 이루어지는 것은 아니다. 배출권 거래가격의 경우에는 매일 0.3~2% 정도씩 장기균형으로 조정과정이 일어나서, 짧게는 50일( $1/0.02=50$ 일)에서 길게는 약 330일( $1/0.003=333$ )이 지난 뒤에야 완전히 본래의 장기균형 수준으로 돌아감을 보여준다. 이는 EU ETS 시장에서도 외부충격에 의한 배출권 거래가격의 안정화가 길게는 약 1년 가까이 소요되는 것을 의미한다. 즉, 시장의 불확실성이 큰 배출권 시장의 경우, 외부충격으로 인한 사회적 피해가 생각보다 크게 나타날 수 있음을 보여주는 것이다.

전력가격과 석유가격은 외부충격으로부터 장기균형으로 복귀하는데 각각 약 5일( $1/0.19=5.26$ ), 50일( $1/0.02=50$ )일 정도 소요되는 것으로 나타났다. Kremers 외(1992)와 Banerjee 외(1998)의 연구결과에 따르면, 음의 계수를 가지고 통계적으로 유의한 오차수정항의 발견은 세 변수 간에 장기적인 관계가 존재한다는 또 다른 실증적 증거를 제공해 주는 것이다. 다시 말하면, 앞에서 시행한 Johansen 공적분 검정이 적절했음을 다시 한 번 확인시켜 주는 것이다.

〈표 4〉 오차수정모형 추정결과

|                    | $\Delta P_c$    | $\Delta P_e$    | $\Delta P_o$    |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $\Delta P_{c,t-1}$ | 0.05 (1.77)     |                 | 0.27 (3.83)**   |
| $\Delta P_{c,t-2}$ |                 |                 | 0.12 (1.66)*    |
| $\Delta P_{e,t-1}$ |                 | -0.36 (-12.3)** |                 |
| $\Delta P_{e,t-2}$ |                 | -0.07 (-2.32)** |                 |
| $\Delta P_{e,t-3}$ |                 | -0.08 (-2.63)** |                 |
| $\Delta P_{e,t-4}$ |                 | -0.05 (-1.76)*  |                 |
| $\Delta P_{o,t-1}$ | -0.01 (-1.19)   | -0.16 (-1.34)   | -0.40 (-15.0)** |
| $\Delta P_{o,t-2}$ |                 |                 | -0.28 (-10.0)** |
| $\Delta P_{o,t-3}$ |                 |                 | -0.15 (-5.50)** |
| $\Delta P_{o,t-4}$ |                 |                 | -0.09 (-3.44)** |
| $\Delta P_{o,t-5}$ |                 |                 | -0.06 (-2.18)** |
| $D_{winter}$       |                 | 1.14 (1.76)*    |                 |
| $D_{summer}$       | 0.15 (2.44)**   |                 |                 |
| $ec1_{t-1}$        | -0.02 (-4.65)** |                 | -0.02 (-2.10)** |
| $ec2_{t-1}$        | -0.003 (-1.92)* | -0.19 (-8.70)** |                 |
| Constant           | 0.64 (4.27)**   | 6.70 (7.87)**   | 0.66 (2.17)**   |

주 : 1) \*\* 와 \* 는 5% 와 10% 수준에서 통계적으로 유의함을 나타낸다.

2)  $ec1_{t-1}$ 와  $ec2_{t-1}$ 는 오차수정항을 의미함.

또한 <표 4>에 따르면 배출권 거래가격은 더운 여름 기후와 양(+ )의 관계가 있는 것으로 나타났다. 이는 더운 여름의 경우 에어컨 등 냉방시설의 사용 증가가 전력소비로 이어지고, 이에 따라 석탄을 주원료로 사용하는 유럽의 전력산업의 배출권에 대한 수요가 증대하여 거래가격을 상승시키는 역할을 하는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 전력가격이나 석유가격이 배출권 거래가격에 미치는 영향은 통계적으로 10% 수준에서조차 유의하지 않는 것으로 나타났다. 이런 결과는 단기적으로는 전력 및 석유가격이 배출권 거래가격 형성에

큰 영향을 주지 못한다는 것을 의미한다. 한편, 전력가격의 경우에도 배출권 거래가격의 경우와 비슷하게 단기적으로는 추운 겨울 날씨에 영향을 많이 받는 반면, 다른 변수들에 의해서는 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 배출권의 과다할당 및 이월금지를 나타내는 정책 더미변수의 경우, 배출권 거래가격에 미치는 영향은 10% 유의수준에서도 유의하지 않은 것으로 나타나 최종 PVEC 모델에서는 제외되었다. 이는 앞에서 Johansen 검정을 통해 발견한 장기적 관계와는 달리 단기적으로는 EU ETS 1기 동안의 정책적인 요인이 배출권 거래가격에 거의 영향을 주지 않은 것으로 해석할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구는 2015년 국내 배출권거래제의 도입을 앞두고 배출권의 할당이 배출권 시장에 미치는 영향을 분석하여 효율적이고 안정된 배출권거래제의 도입을 위한 정책 시사점 제시를 목적으로 하였다. 특히, EU ETS 1기에 과다할당으로 인한 배출권 가격의 폭락이 EU 배출권 시장 효율성 및 온실가스 감축효과성에 대한 문제를 야기했다는 점에서 배출권 할당이 시장에 미치는 영향을 분석할 필요가 있었다. 이에 따라 본 연구에서는 배출권 할당이 거래가격에 미치는 영향을 알아보기 위하여 EU ETS 전(全) 기간('05년 5월~'11년 8월)을 대상으로 각 변수의 시계열 자료를 수집하여 배출권 가격의 장단기 결정요인을 분석하였다. 특히, 본 연구는 EU ETS 1기 동안에 발생한 배출권의 과다할당이 1기 말 거래가격 폭락에 직접적인 영향을 미쳤는지 여부를 계량모형을 통해 명시적으로 분석하였다.

실증분석 결과에 따르면 배출권 거래가격은 전력 및 석유가격과 장기적으로 안정적인 관계를 갖는 것으로 나타났다. 또한 장기적으로는 석탄을 주된 연료로 사용하는 유럽의 전력 산업구조 때문에 배출권 거래가격이 상승하는

경우, 전력생산관련 비용의 증가로 인해 전력가격이 상승하는 것으로 나타났다. 또한 EU ETS 시장에서도 외부충격에 의한 배출권 거래가격의 안정화가 길게는 약 1년 가까이 소요되는 것으로 나타났다. 이는 시장의 불확실성이 큰 배출권 시장의 경우, 외부충격으로 인한 사회적 피해가 생각보다 크게 나타날 수 있음을 보여주는 것이다. 특히, 배출권의 과다할당 및 잉여배출권 이월금지 등 정책적 요인이 배출권 시장의 실패 주요인으로 작용할 수 있다는 사실도 분석을 통하여 나타났다.

이러한 제도적 요인이 다른 요인들에 비해 배출권 가격 변동에 미치는 영향이 크다는 것은 중요한 의미를 가진다. 즉, 정부가 기업에 대한 충분한 정보를 갖고 있지 않은 상태에서 배출권을 할당하게 되는 경우, 배출권 시장 및 효율적 온실가스 감축이라는 두 가지 측면 모두 실패할 수 있다는 것이다. 따라서 배출권의 최적 할당이 온실가스 감축목표 달성을 위한 비용 절감이라는 배출권거래제의 기본 목표를 실현하는데 가장 중요한 선결과제라고 할 수 있겠다. 최적 할당을 추구하기 위한 방법은 정부가 배출권거래제의 대상이 되는 산업에 대한 한계감축비용 등의 정보를 최대한 많이 그리고 정확하게 확보하는 것이다. 여기에서 한계감축비용이라 함은 산업 자체적인 온실가스 감축 노력에 따라 발생하는 비용뿐만 아니라, 온실가스 감축에 따른 생산비용 증가로 인한 국제시장에서의 경쟁력 감소 등 여러 요인을 고려해서 산출한 한계감축비용을 의미한다. 따라서 2015년부터 시행 예정인 국내 배출권거래제 이전에 정부는 우리나라 산업에 대한 보다 구체적인 분석을 통하여 산업 전체의 한계감축비용을 추정하고, 이로부터 산업별 최적의 배출권 할당을 해야 할 것이다.

접수일(2012년 7월 18일), 수정일(2012년 12월 26일), 게재확정일(2013년 1월 4일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- 김현석. 2011. 배출권 할당이 거래가격에 미치는 영향 분석 - EU-ETS를 중심으로, 에너지경제연구원.
- Alberola, E., J. Chevallier, and B. Cheze. 2008. Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005-2007. *Energy Policy* 36: 787-797.
- Banerjee, A., J.J. Dolado, and R. Mestre. 1998. Error-correction mechanism tests for cointegration in a single-equation framework. *Journal of Time Series Analysis* 19, 267-284.
- Bunn, D.W., and C. Fezzi. 2008. A vector error correction model of the interactions among gas, electricity and carbon prices: an application to the cases of Germany and United Kingdom, in: F. Gulli(Ed.), *Markets for Carbon and Power Pricing in Europe: Theoretical Issues and Empirical Analyses*, Edward Elgar Publishing, pp. 145-159.
- Engle, R.F. and C.W.J. Granger. 1987. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica* 55, 251-276.
- Harris, R., and R. Sollis. 2003 *Applied time series modeling and forecasting*, John Wiley and Sons, Inc., West Sussex.
- Hendry, D.F. 1995. *Dynamic Econometrics*. Oxford University Press, Oxford.
- Hintermann, B. 2010. Allowance price drivers in the first phase of the EU ETS. *Journal of Environmental Economics and Management* 59: 43-56.
- Johansen, S. 1995. *Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models*. Oxford: Oxford University Press.
- Keppler, J.H., and M. Mansanet-Bataller. 2010. Causalities between CO<sub>2</sub>, Electricity, and other Energy Variables during Phase I and Phase II of the EU ETS. *Energy Policy* 38: 67-86.

- Kremers, J.J.M., N.R. Ericson, and J.J. Dolado. 1992. The power of cointegration test.  
*Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 54, 325-348.
- Mansanet-Bataller, M., A. Pardo, and E. Valor. 2007. CO<sub>2</sub> prices, energy and weather.  
*The Energy Journal* 28: 73-92.
- Rickels, W., V. Dusch, and A. Keller. 2007. The determinants of allowance prices in the European Emissions Trading Schemes - can we expect an efficient allowance market 2008? Kiel Institute for the World Economy Working Paper No. 1387.

ABSTRACT

The relationship between allocations of carbon allowances and carbon prices:  
the case of EU ETS

Jungho Baek\* and Hyun Seok Kim\*\*

In the study, we estimate short and long-run effects of electricity price, oil price, weather and policy dummy variables on price structure of EU ETS using cointegration analysis. This study, specially, focuses on analyzing whether over allocations of carbon allowances in Phase I of EU ETS had direct effect on the price drop. The results show that carbon prices have long-run relationships with electricity and oil prices. Further, it is empirically proven that factors such as over allocation of carbon allowances and prevention of banking of surplus allowances played an important role in the emissions price drop.

Key Words : Allocations, Carbon price, Cointegration, EU ETS

JEL Codes : Q54, C32

---

\* Associate Professor, Department of Economics, University of Alaska(main author). jbaek3@alaska.edu

\*\* Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Kyungpook National University(corresponding author). hyun.kim@knu.ac.kr