

탄소배출권 가격변동성의 가설검정 - ECX와 CCX를 중심으로

노상환*

A Test on Price Volatility of CO₂ Emission Trading
Permits focusing on ECX and CCX

Sangwhan Lho

경남대학교 경제무역학부(Division of Economics and International Trade, Kyungnam Univ.)

제출: 2011년 1월 31일 수정: 2011년 4월 20일 승인: 2011년 6월 2일

국문 요약

탄소배출권 시장에 유입되는 각종 정보에 대해서 거래소별 상품별 가격변동성을 분석하기 위해 비조건부 수익률 변동성의 짝진 분석방법과 조건부분산의 짝진 분석방법을 이용하였다. ECX의 EUAs 선물 수익률 변동성과 CCX-CFIs 수익률 변동성은 추가적인 시장정보에 따라 다르게 반응할 것으로 기대되었으나, 기대와는 달리 비조건부 변동성은 같은 결과가 도출되었다. 그리고 ECX의 EUAs 선물과 CERs 선물, EUAs(혹은, CERs) 선물과 현물의 변동성 역시 동일하였다. 그러나 가격의 과거 의존성을 고려한 GARCH(1, 1) 모형에서 ECX EUAs 선물의 가격변동성과 CCX-CFIs의 가격변동성은 비조건부 수익률 분석방법과는 달리 시장정보에 다르게 반응함을 보여 주었고, EUAs 선물과 현물의 가격변동성이나 CERs 선물과 현물의 가격변동성 역시 시장정보에 따라 다르게 반응하고 있었다. 그러나 EUAs 선물과 CERs 선물은 추가적인 시장정보에 대한 가격변동성은 동일하였다. 결론적으로, 탄소배출권 가격이 과거 수익률에 의존할 경우 특성이 다른 탄소배출권 시장에서 거래되는 배출권의 변동성과 동일 거래소의 배출권 선물과 현물간 변동성은 다르게 반응한다는 것을 알 수 있으나, 상품의 종류가 상이하더라도 동일시장에서 거래되는 선물의 경우 변동성은 같다고 할 수 있다.

■ 주제어 ■ 가격변동성, 유럽기후거래소, 유럽배출권 거래제도, 시카고기후거래소

Abstract

An aim of this paper is to test four hypotheses on price volatility in the CO₂ emission markets focusing on European Climate Exchange(ECX) in the EU Emission Trading Schemes(EU ETS) and Chicago Climate Exchange(CCX). I expect that, due to an influx of market information, a differently designed

* swlho@kyungnam.ac.kr

** 이 연구는 2010학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원으로 이루어졌으며, 본고를 읽고 유익한 논평을 해주신 익명의 심사위원에게 진심으로 감사드립니다.

exchange market would bring a different price volatility, and various types of emission permits in the same exchange market would result in the same effects on the price volatility. Major findings are that the price volatility is same regardless of the types of emission exchange markets and emission permits comparing the rate of returns. However, comparing the GARCH variance, the volatility between ECX EUAs and CCX-CFIs and the volatility between EUAs(CERs) futures and daily futures are different with the exception of the volatility between EUAs futures and CERs futures. In conclusion, the price volatility depends on the types of exchanges and the types of emission permits.

■ **Keywords** ■ Price Volatility, ECX(European Climate Exchange), EU ETS(EU Emission Trading Schemes), CCX(Chicago Climate Exchange), CFIs(Carbon Finance Instruments)

I. 서론

세계 탄소배출권 거래시장은 EU Emission Trading Schemes(EU ETS), New South Wales(NSW), Chicago Climate Exchange(CCX), Regional Greenhouse Gas Initiative(RGGI) 등이 있는데, 거래규모나 거래금액면에서 가장 큰 시장은 EU ETS이다. EU ETS에는 European Climate Exchange(ECX), Nord Pool, Eurex, European Energy Exchange(EEX), Energy Exchange of Austria(EXAA) 등 여러 거래소가 있는데 ECX에서 총거래량의 80% 이상을 거래하고 있다. ECX는 총량할당(cap and trade) 하에서 2005년 4월부터 EUAs(European Union Allowances) 선물만 거래하여 오다가 2008년 CERs(Certificate Emission Reductions) 선물 거래를 추가하였고, 2009년 3월부터 EUAs와 CERs 선물과 현물을 동시에 거래하여 왔다. 반면, CCX는 2003년부터 자발적 협약으로 배출권 선물인 Carbon Finance Instruments(CFIs)를 거래하여 왔다. 탄소배출권 가격은 배출량 할당량, 에너지 가격과 같은 시장요인과 향후 교토체제의 대응방안, 기후변화에 대한 국제적인 여론 등 규제요인, 에너지효율화 기술, 탄소포집기술과 같은 기술요인에 따라 변동하게 되는데¹⁾, 이러한 요인들의 변화에 따라서 거래소별, 상품별로 가격은 다양하게 반응할 것이다. 즉, 강제적으로 배출량이 할당되고 있는 EU ETS 거래소의 가격변동과 자발적인 방식을 기초로 하고 있는 CCX에서의 가격변동은 다를 것으로 예상되나, EU ETS의 동일 시장내 EUAs 선물과 현물, CERs 선물과 현물간 시장정보에 대한 가격변동은 유사하리라 예상된다.

탄소배출권 거래시장의 가격변동성에 대한 선행연구는 활발히 진행되지는 않았지만

1) Christiansen and Arvanitakis(2004) 참조.

국내외에서 의미 있는 연구가 진행되어 왔다. 해외연구로 Truck et al.(2006)은 EEX에서 탄소배출권 편의수익(convenience yields)을 분석하기 위해 가격변화, 기간별 변동성의 구조 및 상이한 EUAs간 상관계수를 이용하여 분석하였고, Daskalakis et al.(2009)은 EU ETS의 세 개의 거래소(Powernext, Nord Pool, ECX)를 대상으로 구간 내(intra-phase)에서나 구간 간(inter-phase)에 배출권 예치(banking)를 금지할 경우, 선물가격에 상당한 영향을 미칠 것이라는 분석 결과를 토대로 선물과 옵션을 이용한 가격구조와 위험회피(hedging) 결정모형을 제시하였다. 국내연구로 모정윤·양승룡·조용성(2005)은 EU ETS 장외시장과 Nord Pool이 효율적이라는 가정 하에 EUAs의 일물일가법칙(law of one price)을 분석하였고, 한택환·김서경(2007)은 ECX와 CCX 거래시장의 가격과 거래량을 이용하여 ECX와 Nord Pool에서 거래되는 EUAs에서 일물일가의 법칙을 보였다. 그리고 김수이·박호정(2008)은 탄소배출권의 가격발전과정과 시장간 인과성을 분석하였으며, 노상환(2010)은 EU ETS의 ECX시장에서 선물과 현물을 대상으로 만기에 접근함에 따라 선물수익률의 변동성에 대해서 연구하였다.

지금까지의 탄소배출권 분석은 EU ETS 체계 내 거래소 간 가격동조성을 분석하거나, 이에 추가하여 CCX와의 가격동조성을 중심으로 분석하여 왔다. 그러나 동일 거래소 내 특성이 다른 배출권이나 배출권 선물과 현물 간 가격변동성에 미치는 영향에 대한 연구는 전무한 실정이다. 그래서 본 연구에서는 EU ETS 최대 거래소인 ECX에서 거래되는 EUAs 선물과 CCX의 CFIs를 대상으로 동일 거래일 시장정보의 유입이 가격에 어떤 영향을 미치는지 비교하고, ECX시장에서 거래되는 EUAs 선물과 CERs 선물, EUAs 선물과 현물 및 CERs 선물과 현물의 가격변동 수준을 비교하고자 한다. 이를 위해 다음 절에서는 탄소배출권 시장의 현황을 분석하고, 거래소별 상품별 변동성을 비교하기 위한 가설을 설정한다. III절에서는 분석모형 및 사용자료를 설명한 후 검정 결과를 제시하고, 마지막으로 IV절에서 요약 및 정리를 한다.

II. 탄소배출권 거래시장의 현황 및 가설설정

1.

세계 탄소배출권 거래는 2006년부터 2009년까지 매년 평균 70% 이상 빠른 속도로 성장하여 2009년에 8,700 MtCO₂e가 거래되었다. 이 중 할당량 거래시장(allowance-

based transaction market)에서 7,362 MtCO₂e가 거래되고, 프로젝트기반 거래시장(project-based transaction market)에서 1,338 MtCO₂e가 거래되었다. 할당량 거래시장(allowance-based transaction market)의 거래량은 EU ETS에서 EUAs 형태로 86%인 6,326 MtCO₂e가 거래되었고, RGGI에서는 11%인 805 MtCO₂e이 거래되었으며), Assigned Amount Units(AAUs) 형태로 2.1%인 155 MtCO₂e가 거래되었다. 프로젝트기반거래시장(project-based transaction market)에서는 2차 CDM(Clean Development Mechanism) 시장에서 CERs 형태로 79%인 1,055 MtCO₂e이 거래되었고, 1차 CDM으로 16%인 211 MtCO₂e 거래되었다(표 1 참조).

표 1 세계 탄소배출권 거래시장 현황

(단위: MtCO₂e, 백만 달러)

구 분	2006년		2007년		2008년		2009년	
	거래량	거래금액	거래량	거래금액	거래량	거래금액	거래량	거래금액
할당량 거래시장								
EU ETS	1,104	24,436	2,060	49,065	3,093	100,526	6,326	118,474
NSW	20	225	25	224	31	183	34	117
CCX	10	38	23	72	69	309	41	50
RGGI	na	na	na	na	62	198	805	2,179
AAUs	na	na	na	na	23	276	155	2,003
소계	1,134	24,699	2,108	49,361	3,278	101,492	7,362	122,822
프로젝트 기반 거래시장								
1차 CDM	537	5,804	552	7,433	404	6,511	211	2,678
2차 CDM	25	445	240	5,451	1,072	26,277	1,055	17,543
JI	16	141	41	499	25	367	26	354
자발적 거래 및 기타	33	146	43	263	57	419	46	338
소계	611	6,536	876	13,646	1,558	33,574	1,338	20,913
총계	1,745	31,235	2,983	64,035	4,836	135,066	8,700	143,735

자료: Karan & Philippe(2007, 2008, 2009, 2010).

2) EU는 교토 의정서 이행 후속조치로서 1998년 기후변화에 대한 유럽연합의 포스트 교토전략(Climat Change-Towards an EU Post-Kyoto Strategy)에서 발의되어 2004년 3월 국가배당계획(National Allocation Plans: NAPs) 제출을 마감하여 2005년부터 2007년까지 EU ETS 1기 강제적인 시범기간(Mandatory warm-up phase)을 시작하였고, 2005년에서 2007년까지 1기 시범기간 중에 발생한 문제점을 보완하여 2008년부터 2012년까지 2기인 강제적 교토단계(Mandatory Kyoto phase)를 본격적으로 시행하고 있다. EU ETS에는 여러 거래소가 있는데, 거래되는 배출권 대부분은 ECX에서 거래되고 나머지는 Powernext, Nord Pool, EEX, EXAA 등에서 거래되고 있다. ECX는 미국의 CCX와 영국의 IPE(International Petroleum Exchange)가 설립한 거래소로서 선물형 파생상품을 1,000톤 단위로 거래하는 시장이다. 노상환(2009) 참조.

배출권거래시장 중에서 가장 거래량이 많은 EU ETS에서는 대부분 배출권 선물 형태로 거래되고 있는데, EU ETS 거래량 중 80% 이상을 거래하고 있는 ECX는 2005년부터 EUAs 선물만 거래하여 오다가 2008년 CERs 선물을 추가하였고, 2009년 3월부터 현물(Daily Futures)을 거래하여 왔다. CCX는 2003년부터 자발적 참여기업을 대상으로 2010년까지 6% 온실가스 감축을 목표로 총량규제 배출권 거래를 시행하고 있다. CCX는 기업, 주정부 및 지방정부, 교육기관, 농민단체 및 농협 등 350개의 회원사를 두고 교토체제에서 규정하고 있는 6개 온실가스 모두를 대상으로 자발적 배출총량거래를 시행하고 있으며³⁾, ECX, MCeX(Montreal Climate Exchange), TCX(Tianjin Climate Exchange) 등의 거래소와 제휴관계를 맺고 있다.

2.

실물시장이나 금융시장에서 위험과 불확실성의 존재는 시장 기능을 위축시키고 장기적으로 시장 활성화를 저해하는 요인이므로, 위험과 불확실성의 동향이나 형태를 분석하여 이를 최소화하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 위험과 불확실성은 시장의 가격이나 거래량의 동태적 변동성으로 분석할 수 있는데, 이러한 분석은 실물시장이나 금융시장을 중심으로 많은 연구가 이루어져 왔다. Milanos(1986), Khoury and Yourougou(1993)는 농산물이나 금속광물을 대상으로 선물시장의 만기가 다가옴에 따라 변동성이 확대되는 만기효과를 분석하였고, Milanos(1986), Board & Sutcliffe(1990), 서상구·엄철준·강인철(1999), 윤종인(2006) 등은 주가지수 선물이나 통화선물 시장을 대상으로 만기가 다가옴에 따른 가격의 변동성을 연구하였다. 배출권 거래시장의 경우 거래가 시작된 기간이 얼마 되지 않아 다양한 연구가 이루어지지 못했으나 Ellerman and Montero(1998)는 1990년 초부터 시행되어 온 미국의 황산화물 배출권 거래시장을 대상으로 사후적(ex-post) 가격분석에 대한 실증적 연구를 수행하였고, Meada(2001)와 Uhrig-Homburg and Wagner(2006)는 유럽시장을 대상으로 예치(banking)의 효과 및 선도가격에 대한 이론적 분석과 배출권 할당에 따른 파생상품의 성공조건과 적정설계 방안을 분석하였다.⁴⁾ 이러한 연구를 바탕으로 Bohringer and

3) CCX 회원사는 Ford, Dupont, Motorola 등의 기업과 Oakland, Chicago 등의 주정부 및 지방정부, Tufts University, University of Minnesota, Michigan State University 등의 교육기관, National Farmers Union, Iowa Farm Bureau 등의 농민단체 및 농협 등 350개의 회원사를 두고 있다. www.chicagoclimateexchange.com 참조.

4) Truck, S., S. Borak, W. Hardle, and R. Weron(2006)에서 재인용.

Langer(2005)는 탄소배출권 거래시장의 가격에 영향을 미치는 요인들에 대한 연구를 진행하여 왔다. 그리고 Benz and Truck(2006)과 Paoella and Taschini(2008)는 탄소배출권 가격동향에 대한 계량적 분석과 동태적 단기 가격동향에 대한 다양한 모델을 연구하였다.⁵⁾ Truck et al.(2006)은 기존연구에서 탄소배출권 선물시장을 고려하지 못하고 있어 탄소배출권 가격동향이나 변동성 분석이 불완전하다는 인식하에 EEX에서 현물가격과 선물가격의 상관관계를 분석하고, 탄소배출권 편의수익(convenience yields)을 분석한 확률모형을 제공했다. 그리고, Daskalakis et al.(2009)은 EU ETS의 세 거래소(Powernext, Nord Pool, ECX)를 대상으로 구간 내(intra-phase)에서나 구간 간(inter-phase)에 배출권 예치(banking)를 금지할 경우 선물시장의 유동성과 효율성에 역효과를 미친다는 결과를 토대로 선물시장에서 구간 내나 구간 간의 선물과 옵션을 이용한 가격구조와 위험회피(hedging) 결정모형을 제시하여 탄소배출권 가격분석에서 새로운 여러 시장을 동시에 분석하였을 뿐더러, 예치의 역할을 분석하는 등 연구의 폭을 넓혔다고 할 수 있다.

탄소배출권 가격변화에 대한 국내연구로 모정윤·양승룡·조용성(2005)은 EU ETS 장외시장과 Nord Pool이 효율적이라면, 여기서 거래되는 EUAs의 가격은 일물일가법칙(law of one price)이 성립해야 한다는 가정 하에 이를 분석하였다. 즉, 동일한 상품이 상이한 두 시장에서 일물일가가 성립하지 않을 경우 두 시장간 가격 차이를 이용한 차이거래(arbitrage)의 기회가 발생하여 장기적으로 동일 상품에 대해 동일 가격이 형성된다는 것이다. 한택환·김서경(2007)은 모정윤외(2005) 연구에서 ECX와 CCX 거래시장의 가격과 거래량을 이용하여, ECX와 Nord Pool에서 거래되는 EUAs에서 일물일가의 법칙을 보였고, ECX가 Nord Pool의 가격을 선도한다는 결론을 도출하였다. 그리고 CFIs의 가격은 ECX에서 거래되는 EUAs의 가격에 영향을 주었지만 Nord Pool에서 거래되고 있는 EUAs에는 영향을 보이지 못하였다. 김수이·박호정(2008)은 벡터오차수정모형과 그래프이론을 접목하여 EU ETS의 주요 탄소배출권 거래시장인 Nord Pool, ECX, Powernext, EEX, EXAA를 대상으로 가격발전과정과 시장간 인과성을 분석하였는데, 이들 거래소간 가격정보의 흐름면에서 유기적으로 잘 연결되어 있는 가운데 Nord Pool이 선도시장 역할을 하고 있었고, Powernext와 EEX의 가격 영향력이 크다는 결론을 도출하였다. 그리고 노상환(2010)은 EU ETS의 ECX시장에서 선물과 현물을

5) Paoella and Taschini(2008)는 배출권 현물의 시장수익률이 비조건부일 경우는 파레토분포(Pareto Distribution)의 형태를 보이고, 조건부일 경우는 GARCH 분포를 보인다고 했다.

대상으로 만기에 접근함에 따라 선물수익률의 변동성에 대해서 연구하였는데, ECX에서 거래되는 상품의 종류에 따라서 변동성은 상이하였다. 즉, EUAs의 경우는 만기가 가까워짐에 따라 탄소배출권의 선물수익률의 변동이 커진다는 Samuelson 효과를 지지하고 있고, CERs의 경우 만기효과를 나타내는 Samuelson 효과는 지지되지 못하고 있다는 것을 보여주었다.

지금까지 변동성에 대한 연구는 선물시장, 금융통화시장, 배출권 시장에서 만기효과를 검정하거나 동일한 상품을 거래하는 상품의 일물일가 원칙이 적용되는지를 중심으로 분석하여 왔다. 그러나 상이한 특성을 가진 배출권 시장의 수익률 변동성이나 동일한 시장 내에서 거래되는 현물과 선물의 변동성에 대한 연구는 미미한 실정이다. 그래서 본 연구에서는 이들 시장의 변동성이 동일한지 가설을 설정하여 비교 분석하고자 한다.

3. 가

ECX에서 거래되는 EUAs 선물과 CCX에서 거래되는 CFIs는 기후변화에 대응하기 위한 탄소배출권의 유형이지만, 양 시장의 특성 차이로 시장에 유입되는 정보가 다르게 영향을 미칠 것으로 예상된다. 즉, EUAs는 EU ETS체제하에서 국가할당계획(NAP: National Allocation Plan)에 따라 강제적으로 할당되어 배출권 잉여분이나 부족분을 거래하는 상품이고, CCX-CFIs는 자발적으로 참여한 회원사를 대상으로 감축목표 달성을 위해 거래하는 상품이므로 시장에 유입되는 정보의 특성이나 형태에 따라서 두 시장에서 거래되는 탄소배출권의 가격변동성은 다를 것으로 예상된다. 즉, ECX EUAs 선물과 CCX-CFIs 선물의 가격변동성은 동일하다는 귀무가설(H_0)은 기각되어 ECX EUAs 선물과 CCX-CFIs 선물의 가격변동성은 동일하지 않다는 대립가설(H_1)이 채택될 것으로 예상된다.

가설 1: ECX EUAs 선물과 CCX-CFIs 선물의 가격변동성은 동일하다.

다음으로, ECX에서 거래되는 상품인 EUAs 선물과 CERs 선물, EUAs 선물과 현물, CReS 선물과 현물은 동일한 시장에서 거래되는 상품으로 시장에 유입되는 정보에 유사한 영향을 받을 것이므로, 이들의 가격변동성은 유사할 것으로 기대할 수 있다. 이를 기반으로 다음의 가설 2~가설 4를 설정한다. 즉, ECX에서 거래되는 배출권인 EUAs

선물과 CERs 선물, EUAs 선물과 현물, CERs 선물과 현물은 동일한 시장에서 거래되는 배출권이므로 이들의 가격변동성은 동일할 것이라고 기대할 수 있다. 즉, ECX EUAs 선물과 CERs 선물, ECX EUAs 선물과 현물, CERs 선물과 현물의 가격변동성은 동일하다는 귀무가설(H_0)은 채택될 것으로 예상된다.

가설 2: ECX EUAs 선물과 CERs 선물의 가격변동성은 동일하다.

가설 3: ECX EUAs 선물과 현물의 가격변동성은 동일하다.

가설 4: ECX CERs의 선물과 현물의 가격변동성은 동일하다.

Ⅲ. 탄소배출권 가격변동성의 가설검정

1.

CCX는 2003년부터 CFIs 거래를 시작하여 왔고, ECX는 EU ETS체제하에서 2005년 4월부터 EUAs 선물을 거래하여 왔다. 그리고 ECX에서 2008년 3월부터 CERs 선물거래를 추가하였고, 2009년 3월에는 EUAs 및 CERs 현물도 추가하여 거래하기 시작하였다. 동일 거래일의 가설 1을 검정하기 위해 2005년 4월부터 2010년 8월말 거래일을 ECX EUAs과 CCX-CFIs의 자료를 이용한다. 가설 2는 ECX EUAs 선물과 CERs 선물이 동시에 거래되었던 2008년 3월부터 2010년 8월말을 대상으로 검정하고, 가설 3은 EUAs 선물과 현물, 가설 4는 CERs 선물과 현물이 동시에 거래되었던 2009년 3월부터 2010년 8월말을 대상으로 변동성을 검정한다.

ECX와 CCX에서 거래되는 상품들의 기초자료는 <표 2>와 같다.⁶⁾ 2005년 4월부터 2010년 8월까지 CCX-CFIs의 가격은 톤당 평균 2.41\$이고 EUAs 선물은 톤당 평균 14.73€이며, 2009년 3월부터 2010년 8월말까지의 EUAs(CERs) 선물은 톤당 평균 14.03€(12.26€)이고 현물은 톤당 평균 13.88€(12.34€)이다. 왜도는 음의 값을 갖는 경우는 왼쪽 긴 꼬리를 갖고, 양의 값을 갖는 경우는 오른쪽 긴 꼬리를 의미하는데, 분석기간에 따라 왼쪽 긴 꼬리 모양이나 오른쪽 긴 꼬리 모양을 갖고 있다는 것을 알

6) 자료는 ECX와 CCX 홈페이지에서 추출하였다. 선물자료는 매년 12월물을 대상으로 하였다. ECX에서는 3월, 6월, 9월, 12월 등 분기별 만기상품을 거래하고 있으나 12월 만기상품의 거래가 대부분을 차지하고 있다. 예를 들면, 2010년 8월 31일 기준으로 3월물은 712,000톤, 6월물은 335,000톤, 9월물은 380,000톤, 12월물은 2,202,130,000톤이 거래되었다. (www.chicagoclimateexchange.com, www.europeanclimateexchange.com 참조)

수 있다. 그리고 첨도는 3보다 적은 경우 평탄분포(playkurtic)이고 3보다 큰 경우 첨예 분포(leptokurtic)를 가지므로 분석자료 모두는 평탄분포를 가짐을 알 수 있다.

표 2 ECX와 CCX의 기초자료

구 분	CCX- CFIs	EUAs 선물	EUAs 선물	CERs 선물	EUAs 선물	EUAs 현물	CERs 선물	CERs 현물
평균(mean)	2.41 (\$/ton)	14.73 (€/ton)	16.68 (€/ton)	13.91 (€/ton)	14.03 (€/ton)	13.88 (€/ton)	12.26 (€/ton)	12.34 (€/ton)
최솟값	0.10 (\$/ton)	0.01 (€/ton)	8.20 (€/ton)	7.40 (€/ton)	10.63 (€/ton)	10.30 (€/ton)	9.54 (€/ton)	9.52 (€/ton)
최댓값	7.40 (\$/ton)	30.45 (€/ton)	29.33 (€/ton)	22.90 (€/ton)	16.52 (€/ton)	16.37 (€/ton)	14.45 (€/ton)	14.60 (€/ton)
표준편차	8.333	1.700	4.946	3.254	1.020	1.048	0.865	0.872
왜도	-0.372	0.379	0.949	0.942	-0.206	-0.322	-0.228	-0.257
첨도	2.299	2.520	2.539	2.962	2.841	2.986	2.685	2.917
자료수	1325 (2005.4~2010.8)		607 (2008.3~2010.8)		363 (2009. 3~2010.8)			

표 3 탄소배출권 가격의 ADF 검정 결과(기초자료)

구 분	가설 1		가설 2		가설 3		가설 4	
	EUAs 선물	CFIs	EUAs 선물	CERs 선물	EUAs 선물	EUAs 현물	CERs 선물	CERs 현물
상수	-2.161	-1.288	-1.357	-1.600	-3.106**	-3.140**	-3.258**	-3.255**
	1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.438, -2.864, -2.568임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.444, -2.867, -2.570임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.451, -2.870, -2.571임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.451, -2.870, -2.571임.	
상수와 추세 포함	-2.171	-2.145	-1.287	-1.777	-3.216*	-3.268*	-3.390*	-3.410*
	1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.970, -3.416, -3.130임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.978, -3.419, -3.132임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.988, -3.424, -3.135임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.988, -3.424, -3.135임.	
상수 및 추세 미포함	-1.074	-0.906	-0.970	-0.657	0.423	0.472	0.340	0.354
	1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -2.567, -1.940, -1.616임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -2.569, -1.940, -1.616임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -2.571, -1.940, -1.616임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -2.571, -1.940, -1.616임.	

주: ***는 1%, **는 5%, *는 10% 수준에서 유의함을 나타냄.

탄소배출권 시계열 자료는 상수만 있는 모형, 상수와 추세가 포함된 모형, 상수와 추세가 모두 미 포함된 모형 모두에서 1% 유의수준 하에서 단위근이 존재하는 불안정적(non-stationary)인 성격을 가지고 있다(표 3 참조). 이를 안정화시키기 위하여 로그차분을 하면 모든 경우 1% 유의수준 하에서 안정화되어 있음을 알 수 있다(표 4 참조).

표 4 탄소배출권 가격의 ADF 검정 결과(로그차분 자료)

구 분	가설 1		가설 2		가설 3		가설 4	
	EUAs 선물	CFIs	EUAs 선물	CERs 선물	EUAs 선물	EUAs 현물	CERs 선물	CERs 현물
상수	-17.026***	-16.516***	-10.532***	-10.392***	-8.892***	-8.903***	-8.499***	-8.638***
	1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.438, -2.864, -2.568임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.444, -2.867, -2.570임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.451, -2.870, -2.571임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.451, -2.870, -2.571임.	
상수와 추세 포함	-17.024***	-16.730***	-10.548***	-10.394***	-8.886***	-8.899***	-8.485***	-8.625***
	1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.970, -3.416, -3.130임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.978, -3.419, -3.132임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.988, -3.424, -3.135임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -3.988, -3.424, -3.135임.	
상수 및 추세 미포함	-17.033***	-16.472***	-10.525***	-10.396***	-8.876***	-8.881***	-8.488***	-8.626***
	1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -2.567, -1.940, -1.616임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -2.569, -1.940, -1.616임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -2.571, -1.940, -1.616임.		1%, 5%, 10%의 임계치는 각각 -2.571, -1.940, -1.616임.	

주: ***는 1%, **는 5%, *는 10% 수준에서 유의함을 나타냄.

탄소배출권 가격변동성을 분석하기 위해 거래시장별 상품별 수익률 $R_{ti} = \ln(Y_{ti}) - \ln(Y_{t-1i})$ 의 변동성 평균에 차이가 있는 가를 검정하는 쌍의 t -검정(pairwise t -test)을 실시한다.(여기서 t 는 거래일을 나타내고, i 는 CFIs, EUAs 선물 및 현물, CERs 선물 및 현물 등의 배출권을 타나낸다.) 동일 거래일의 거래소별, 상품별 수익률 변동성의 차인 짝진표본(pairwise sample)에 의한 두 상품의 모집단 동일성을 검정하여, 평균이 영인 귀무가설이 기각되지 않으면 거래소별, 상품별 변동성은 같고, 귀무가설이 기각되면 변동성은 다르다고 할 수 있을 것이다. 구체적으로, EUAs 선물수익률과 CFIs 선물수익률의 차 $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n (D_t = R_{teua} - R_{tcfir} \ t = 1, 2, 3, \dots, n)$ 를 구한

후, 표본평균과 표본분산을 이용한 검정통계량을 구하여 위의 네 가설을 검정한다. 검정통계량은

$$T(D) = \frac{\bar{d}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}}$$

와 같다. 여기서 \bar{d} 는 차의 표본평균으로 $\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n d_t$ 이고, S_d^2 는 표본분산으로 $\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (d_t - \bar{d})^2$ 이며, n 은 표본수이다. 이 경우 T 는 자유도(degree of freedom) $(n-1)$ 인 $T \sim t(n-1)$ 이다.

다음으로, 탄소배출권 거래시장의 가격은 과거의 가격에 영향을 받기 때문에 거래소별, 상품별로 로그차분을 취한 변동성을 조건부분산의 관점에서 모형화한 GARCH (Generalized ARCH) 분산을 이용하는 것이 더 현실적이다.⁷⁾ 구체적으로, GARCH(p, q) 모형은 다음과 같이 구성된다.

$$\text{평균방정식: } y_t = v_0 + v'X_t + \varepsilon_t$$

$$\text{분산방정식: } \sigma_t^2 = w_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2$$

여기서 v_0, w_0 는 상수항이고, p 는 GARCH 항의 차수이며, q 는 ARCH 항의 차수이다.

탄소배출권 거래시장별 상품별 GARCH(1, 1)⁸⁾ 분산의 평균에 차이가 있는가를 검정하는 쌍의 t 검정을 실시한다. 즉, 동일 거래일의 거래소별, 상품별 수익률의 조건부분산 차인 짝진표본에 의한 두 상품의 모집단 동일성을 검정한다.

7) GARCH 모형은 Bollerslev(1986)에 의해 ARCH 모형을 일반화한 모형으로 ARCH 모형에 조건부분산의 시차를 포함한 모형이다.

8) GARCH(1, 1)의 평균방정식은 $y_t = v_0 + v'X_t + \varepsilon_t$ 이고, 분산방정식은 $\sigma_t^2 = w_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \sigma_{t-1}^2$ 으로, v_0, w_0 는 상수항이고, α_1 는 ARCH 항, α_2 는 GARCH 항이다. 김영작장국현(1998) 참조.

2.

탄소배출권 시장에 유입되는 각종 정보에 대해서 거래소별 상품별 변동성을 분석하기 위해 비조건부 수익률 변동성의 짝진 분석방법과 조건부분산의 짝진 분석방법을 이용하였다. 시장에 따라서 그리고 시장에 거래되는 상품에 따라서 가격은 다르게 결정될 것이나 시장에 유입되는 정보가 같다면 가격의 변동성은 유사할 것으로 기대할 수 있다. 즉, 시장으로 유입되는 정보가 좋은 뉴스이든 혹은 나쁜 뉴스이든 이에 반응하는 변동률은 시장 환경이 동일하다면 동일할 것으로 예상된다.

<표 5>에서 볼 수 있듯이 비조건부 수익률 변동성에 따라서 ECX EUAs의 선물 수익률 변동성과 CCX-CFIs 수익률 변동성은 시장의 새로운 정보의 유입에 따라서 다르게 반응할 것으로 기대하였으나, 이러한 기대와는 달리 이들의 수익률 변동성은 동일하다는 결론이 도출되었다. 즉, 탄소배출권 거래시장에 유입되는 정보는 ECX에서나 CCX에 동일하게 영향을 주고 있다는 가설 1은 10% 유의수준 하에서도 유의하지 않아 귀무가설은 지지되고 있음을 알 수 있다. 그리고 EUAs 선물과 CERs 선물의 변동성(가설 2)이나 EUAs(혹은, CERs) 선물과 현물의 수익률 변동성(가설 3(혹은, 가설 4))은 모두 10% 유의수준 하에서 유의하지 않아 변동성이 동일하다는 가설 2, 가설 3, 가설 4는 모두 지지되고 있었다.

표 5 비조건부 수익률 변동성에 의한 가설검정

구 분	평 균	상관계수	t값	자유도	유의확률	귀무가설 지지여부
가설 1	0.0018	-0.009	0.254	1324	0.800	지지
가설 2	-0.0003	0.909	-0.638	606	0.524	지지
가설 3	1.12E-05	0.994	0.087	362	0.931	지지
가설 4	4.60E-05	0.991	0.301	362	0.764	지지

그러나 탄소배출권 가격은 과거의 가격에 영향을 미치는 것이 일반적이므로 조건부 분산을 통해서 변동성을 분석하는 것이 현실적이다. 이를 고려한 GARCH(1, 1) 모형에서 ECX EUAs 선물의 수익률 변동성과 CCX-CFIs의 수익률 변동성을 분석한 결과 1% 유의수준 하에서 가설 1의 귀무가설이 기각되어 변동성은 같다고 할 수 없었다. 그리

고 EUAs 선물과 현물의 수익률 변동성이나 CERs 선물과 현물의 변동성은 같을 것이라는 가설 3과 가설 4는 역시 1% 유의수준 하에서 기각되어 탄소배출권 가격의 변동성은 다르게 변동하였다는 것을 알 수 있다. 반면, EUAs 선물과 CERs 선물은 수익률 변동성의 경우와 같이 시장정보에 대한 변동성은 동일하다는 가설 2는 10% 유의수준 하에서 여전히 지지되고 있음을 알 수 있다(표 6 참조).

표 6 GARCH(1,1) 분산에 의한 가설검정

구 분	평균	상관계수	t값	자유도	유의확률	귀무가설 지지여부
가설 1	0.1199	-0.027	2.818***	1324	0.005	기각
가설 2	2.44E-06	0.915	0.256	606	0.798	지지
가설 3	-1.59E-05	0.988	-8.658***	362	0.000	기각
가설 4	1.99E-05	0.985	8.133***	362	0.000	기각

주: ***는 1%, **는 5%, *는 10% 수준에서 유의함을 나타냄.

일반적으로, 탄소배출권 거래시장의 가격은 과거의 가격에 영향을 받기 때문에 거래소별, 상품별 변동성을 조건부분산의 관점에서 모형화한 GARCH 분산을 이용한 <표 6>의 결과가 현실적이라고 생각된다. 그래서 다른 탄소배출권 시장에서의 배출권의 수익률 변동성과 동일 거래소 배출권이라도 선물이나 현물이나에 따라 시장정보에 다르게 반응하나, 상품의 종류가 EUAs 선물이나 혹은 CERs 선물이나에 따라서는 변동성은 동일하다는 것을 알 수 있다.

IV. 요약 및 결론

실물시장이나 금융시장에서 위험과 불확실성의 존재는 시장 기능을 위축시키고 장기적으로 시장 활성화를 저해하는 요인이므로, 위험과 불확실성의 동향이나 형태를 분석하여 이를 최소화하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 본 연구는 탄소배출권 시장에 유입되는 각종 정보에 대해서 거래소별 상품별 변동성을 분석하기 위해 비조건부 수익률 변동성의 짝진 분석방법과 조건부분산의 짝진 분석방법을 사용하였다. 시장에 유입되는 정보가 좋은 뉴스이든 혹은 나쁜 뉴스이든 시장 환경이 동일하다면 변동성은 동일할 것이고, 시장 환경이 다르다면 상이할 것으로 예상된다. 금융시장의 변동성은 시간에 걸쳐서 변하는 것이 일반적인데 새로운 정보에 탄소배출권이 거래소별 상품별로 어떻게 반응하는지를 연구하는 것은 국제 탄소배출권 거래시장의 활성화를 위한 기초 연구로서 의미가 있다고 할 수 있다.

비조건부 수익률을 이용한 분석에서 ECX의 EUAs 선물 가격변동성과 CCX의 CFIs는 다른 특성의 탄소배출권 거래시장에서 거래되는 배출권으로 수익률 변동성이 상이할 것으로 예상되었으나 기대와는 달리 이들의 변동성은 같았고, ECX의 EUAs 선물과 CERs 선물 간, 그리고 EUAs(혹은, CERs) 선물과 현물 간 수익률 변동성 역시 동일하였다. 비조건부 수익률 변동성의 결과와는 달리 배출권 가격은 과거 의존성을 가지므로 조건부 분석방법이 일반적이라고 할 수 있다. GARCH 모형을 이용한 조건부 분석 결과 ECX EUAs 선물의 변동성과 CCX-CFIs의 변동성은 비조건부 수익률 분석방법과는 달리 양 시장의 변동성은 다르다는 결론이 도출되었고, 또 EUAs나 CERs의 선물과 현물은 동일한 시장에서 동일 거래일에 거래되었지만 새로운 시장정보에 다르게 반응하고 있었다. 반면, EUAs 선물과 CERs 선물은 시장정보에 대해 동일하게 반응하고 있었다. 결론적으로, 탄소배출권의 수익률은 배출권 시장의 종류 및 동일 거래소의 배출권의 현물과 선물 간 변동성은 상이하나 동일시장 상품의 종류(ECX EUAs 선물과 CERs 선물)에 따라서는 수익률의 변동성이 동일함을 보였다. 이러한 결과는 배출권 시장의 위험과 불확실성을 감소시켜 배출권 시장의 활성화에 기여할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- 김명직, 장국현. 1998. 「금융시계열분석」. 경문사.
- 김수이, 박호정. 2008. “EU 탄소배출권의 가격발견과정과 인과성 분석”. 「경제연구」 26(1): 1-20.
- 노상환. 2009. “EU ETS의 탄소배출권 시장 분석”. 「환경정책」 17(1): 25-44.
- _____. 2010. “탄소배출권시장의 변동성 및 만기효과에 관한 연구”. 「환경정책」 18(3): 25-42.
- 모정윤, 양승룡, 조용성. 2005. “국제 탄소배출권 가격의 일물일가 검정 및 동태적 분석”. 「자원·환경경제연구」 14(3): 569-593.
- 서상구, 엄철준, 강인철. 1999. “한국주가지수선물시장에 있어서 만기, 거래량, 그리고 변동성간의 관계에 관한 실증연구”. 「재무관리연구」 16(1): 193-222.
- 윤종인. 2006. “KOSPI 200과 KOSPI 200 선물 수익률 변동성의 만기효과에 관한 실증연구”. 「선물연구」 14(2): 1-23.
- 한택환, 김서경. 2007. “온실가스 배출권 거래소 간의 동조성(integration) 검증 - CCX, ECX 및 Nord Pool의 비교”. 「무역학회지」 32(4): 57-75.
- Bellerslev, T. 1986. “Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity”. *Journal of Econometrics*, 31: 307-327.
- Benz, E. and S. Truck. 2009. “Modelling the Price Dynamics of CO₂ Emission Allowances”. *Energy Economics*, 31: 4-15.
- Board, J. and C. Sutcliffe. 1990. “Information, Volatility, Volume and Maturity: An Investigation of Stock Index Futures”. *Review of Futures Markets*, pp.53-349.
- Böhringer, C. and A. Lange. 2005. “Economic Implications of Alternative Allocation Schemes for Emission Allowances”. *Scandinavian Journal of Economics*, 107(3): 563-581.
- Christiansen and Arvanitakis. 2004. “What Determines the Prices of Carbon in the European Union?”. Working Paper, European Climate Exchange.
- Daskalakis, G., D. Psychoyios, and R. N. Markellos. 2009. “Modelling CO₂ Emission Allowance Prices and Derivatives: Evidence from the European Trading Scheme”. *Journal of Banking and Finance*, 33(7): 1230-1241.
- Ellerman, A. and Montero J.-P. 1998. “The Declining Trend in Sulfur Dioxide Emissions: Implications for Allowance Prices”. *Journal of Environmental Economics and Management*, 36: 26-45.

Karan Capoor and Philippe Ambrosi. 2007. *State and Trends of the Carbon Market 2007*. The World Bank.

_____ and Philippe Ambrosi. 2008. *State and Trends of the Carbon Market 2008*. The World Bank.

_____ and Philippe Ambrosi. 2009. *State and Trends of the Carbon Market 2009*. The World Bank.

_____ and Philippe Ambrosi. 2010. *State and Trends of the Carbon Market 2010*. The World Bank.

Khoury, N. and P. Yourougou. 1993. "Determinants of Agricultural Futures Prices Volatilities: Evidence from Winnipeg Commodity Exchange". *Journal of Futures Markets*, 13: 345-356.

Meada, A. 2001. "Domestic Greenhouse Gas Emissions Trading Markets: Forward Pricing and Banking Impacts". *Working Paper*, IR-01-048.

Milonas, N. 1986. "Price Variability and the Maturity Effect in Futures Markets". *Journal of Futures Markets*, 6: 443-460.

Paoella, M. S. and L. Taschini. 2008. "An Econometric Analysis of Emission Trading Allowances". *Journal of Banking and Finance*, 32: 2022-2032.

Truck, S., S. Borak, W. Hardle, and R. Weron. 2006. "Convenience Yields for CO₂ Emission Allowance Futures Contracts". *SFB 649 Discussion Paper*, 2006-076.

Uhrig-Homburg, M. and M. Wagner. 2006. "Success Chances and Optimal Design of Derivatives on CO₂ Emission Certificates". *Working Paper*, University of Karlsruhe.

Chicago Climate Exchange. <http://www.chicagoclimateexchange.com>

European Climate Exchange. <http://www.europeanclimateexchange.com>