

1기 배출권거래제로 인한 국내 산업의 탄소누출 가능성 분석: 수리적 분석 모형 적용*

The Analysis of Carbon Leakage Possibility in Domestic Industry Due to Emission Trading System: Using a Numerical Analytic Model

홍종호** · 유종민*** · 김지태****

Jongho Hong · Jongmin Yu · Jitae Kim

요약: 본 논문은 배출권거래제 도입 후 국내 산업의 탄소누출 가능성을 정성적으로 분석해 보고자 한다. 두 재화간의 소비에 있어서 대체효과 뿐만 아니라 생산요소의 이동을 통한 저감자원효과를 고려하여 수리적 대체모형을 적용하였다. 모형을 통한 분석에서 기업들의 생산요소 간 대체 가능성이 낮을수록 최종재 간 이동 가능성이 높을수록 탄소누출이 크게 일어날 수 있다는 것을 알 수 있었다. 모형의 균형과 결과를 토대로, 국내 배출권거래제 적용 대상 산업의 특성을 반영하여 탄소누출의 가능성을 점검해 보았다. 본 논문은 탄소누출로 인한 국가경쟁력 약화를 고려해야 하는 정부 및 온실가스 감축의무가 높아질 것으로 예상된 기업에게 적응 대책으로 활용될 수 있다.

핵심주제어: 온실가스 감축정책, 탄소누출, 수리적 대체모형, 대체효과, 저감효과

Abstract: This paper analyzes qualitatively the possibility of carbon leakage in the domestic industry after introducing the Emissions Trading System. This analytic-numerical model is designed considering not only the substitution effect on the relative consumption of goods, but also the abatement resource effect through the movement of production factors. Furthermore, using the model's equilibrium simulations and results, the possibility of carbon leakage is examined by taking into consideration characteristics of industries covered by the domestic emissions trading system. The government might use this paper to counter company arguments that increased control of greenhouse gas emissions will weaken national competitiveness due to carbon leakage.

Key Words: GHG Reduction Policy, Carbon Leakage, Numerical Analytic Model, Substitution Effect, Abatement Resource Effect

* 본 논문은 저자들이 참여한 온실가스종합정보센터 발주 연구 과제인 『온실가스 감축정책이 국내 산업에 미치는 영향 분석 - 탄소집약산업을 중심으로 한 실증적 분석 및 정책제안』, 2016년 4월에서 일부를 차용하였음을 밝혀둡니다.

** 주저자, 서울대학교 환경대학원 교수

*** 교신저자, 홍익대학교 경제학부 교수

**** 공동저자, 서울대학교 환경대학원 박사과정

I. 서론

1. 연구배경

한국에서는 배출권거래제가 시행된 지 3년이 지났으며, 2기 계획기간의 할당 및 시행에 앞서 각계 각 분야의 배출권 거래제 보완 및 수정에 대한 요구가 많았다. 2015년부터 2017년까지 1계획기간동안 무상할당으로 시행되었으며, 기존의 온실가스목표관리제와는 다른 높은 과징금과 감축의무가 기업에게 주어졌다. 배출권거래제 시행초기에는 거래가 거의 이뤄지지 않았지만 해를 거듭할수록 거래량이 증가하였고, 1만원에 시작된 배출권 가격은 2.5배 높아졌다(2018년 12월 기준). 국제사회의 일원으로서 한국에게 주어진 감축의무는 더 높아질 것이며 정부는 이에 대비해 유상할당 추진 및 산업·기업별로 미치는 영향과 대응방안에 고심하고 있다.

기존의 우려와는 달리 1계획기간에 무상할당, 경기 활성화 둔화 등으로 배출권 거래제로 인한 기업의 직접적인 큰 피해는 없는 것으로 보인다. 하지만 산업계에서는 앞으로 강해질 온실가스 배출권거래제 시행 및 장단기 국가 감축목표 공표 등의 온실가스 감축정책이 결국에는 생산공장의 해외 이전과 외국인 투자기피를 야기할 것이라고 주장한다. 배출권거래제로 인해 국내 생산물량의 해외이전, 위기기업 경영악화, 국내사업장의 생산제약, 신기술 개발 및 신시장 선점 지연이 초래될 수도 있다(김정인 등, 2015). 정부의 환경정책이 ‘에너지 효율화’와 ‘대체에너지 연구’를 위한 투자 및 ‘탄소배출 감축기술 개발’ 등 새로운 부가가치 창출이나 기술적 측면에 초점이 맞춰져야 한다는 의견과 맥락을 같이 한다. 반면 산업계가 온실가스 감축 노력 없이 피해액을 과도하게 부풀리고 있고, 산업계 스스로 글로벌 녹색시장에서 경쟁력을 강화해야 한다는 지적도 있다.

탄소누출(Carbon Leakage)은 각각의 분야가 서로 다른 감축의무를 가질 때 상대적으로 약한 배출의무를 가진 부문으로 탄소배출량이 이전됨으로써, 강한 규제를 도입하는 부문에서의 감축효과가 상쇄되는 풍선효과로 볼 수 있다. 전 지구적인 관점에서는 약한 규제를 가진 국가에서 오히려 온실가스

배출이 늘어남으로써 전 세계적으로 온실가스 배출이 늘어날 수 있는 현상이다. 채널에 따른 구분기준은 무역채널과 투자채널이 있다. 무역채널을 통한 탄소누출은 단기적인 효과로서 국내에서 생산되는 물품의 생산단가 증가로 인한 물품의 수출입변화(국내생산 물품 수요 감소 및 해외생산 물품 수요 증가)로 시장이전(market-shifting) 현상이다. 투자채널을 통한 탄소누출은 탄소집약적 생산시설 설치에 있어서 최종 생산물에 대한 높은 수요를 기대한 저규제 국가로의 투자 집중으로 인해, 결과적으로 탄소배출이 규제공백 지역으로 도피하는 상황으로 투자이전(activity-shifting) 현상이다.

무역집약도 및 탄소집약도는 할당의 기준으로 주로 사용되고 있으나, 할당이 이미 이루어진 이후에 탄소누출의 가능성을 판단하는 기준으로는 미흡하다. 탄소집약도는 결국 배출권 가격이 어느 수준인지에 따라 결정되므로 현재 상황에서는 매우 유동적이다. 무역집약도는 설령 낮다 하더라도, 예컨대 시멘트업종의 경우, 대부분 내수용으로 사용되고 있으나 가격 경쟁력 면에서 중국산 시멘트와 차이가 크지 않아서 무역채널을 통한 탄소누출이 발생 가능하다. 반도체처럼 무역집약도가 압도적이라 하더라도 탄소구매 금액(탄소집약도)이 낮을 경우에는 탄소누출 우려가 적다. 사실상 두 지수로 판단하기 어렵다는 비판이 존재한다.

이에 본 연구에서는 수리적 대체모형을 통해 탄소누출 경로 및 주요 원인을 파악하고 탄소누출의 발생 여부를 모색해 보고자 한다. “저감자원효과(abatement-resource-effect: ARE)”를 반영하여 기존 CGE(Computable General Equilibrium) 모형에서의 소비자에 의한 소비대체 뿐만 아니라, “생산자의 생산요소 대체”를 고려하여 탄소누출 가능성을 분석한다. 또한 수리적 대체모형에서 시사하는 바를 산업별로 적용하여 정성적으로 탄소누출 발생 가능성을 논하고자 한다

2. 선행 연구

탄소누출 가능성에 대해서는 사전적으로 분석하는 방법(Theoretical, ex-ante)과 사후적(Empirical ex-post)으로 분석하는 방법이 있다. 사전적

인 분석은 이론적인 방법이며 잠재적인 탄소누출을 평가하는 일반균형과 부분균형 분석이 있다. 일반균형 모형을 이용한 연구에서는 대부분 5%-20%의 탄소누출이 발생하는 것으로 보고하고 있다. 각 부문마다 개별적으로 살펴보면 경제전체적으로 볼 때와 그 영향은 다르다. 부문을 나눠서 부분균형으로 살펴본 연구들의 탄소누출의 크기는 연구마다 그 편차가 크며, 심지어 100%를 초과하는 연구도 있다. 부분균형 분석은 탄소누출에 특히 취약한 산업에 초점을 맞추는 경향이 있었으며 기본적인 가정이나 대상에 따라서 그 결과가 다르게 나타나고 있다.

Babiker(2005)는 Heckscher-Ohlin 이론 하에 다 지역 CGE 모형을 통해, 2010년 탄소누출 가능성을 조사하였다. 규모수익체증을 결합한 과점 구조를 적용하였으며, 지역에 따라 탄소누출이 50%~130%가 일어날 것으로 분석하였다. Burniaux and Martins(2000)는 2개 지역, 2가지 상품을 이용한 일반균형 모형을 통해, 탄소누출가능성을 살펴보고 다차원의 민감도 분석을 수행하였다. 국제 화석연료 시장을 통해 annex 1(국제기후변화 협약에서 규정한 국가로서 배출량 저감의무가 있는 국가)에서 non-annex 1로 탄소누출이 2%~27% 일어날 것으로 예상하였다. Carbone(2013)는 전 세계 112개 지역, 57개 부문에 대해 일반 균형 분석 방법을 통해 탄소누출 가능성을 조사하였다. 주요 탄력성 파라미터를 반영하여 민감도 분석을 시행하였고, Baylis et al.(2014)의 모형과 CGE 모형을 사용해 비교 분석하였다. 분석결과 Annex 1에서 non Annex 1로 탄소누출이 -9%에서 28%까지 일어날 것으로 예상하였다. Gerlagh and Kuik(2007)은 오염회피 가설과 국제 화석연료 시장을통해 탄소누출이 어떻게 일어날지를 분석하였다. 에너지 절약 기술과 국제 기술의 전파(spillover)를 고려하여 에너지 집약 상품에 초점을 맞춰 CGE 분석을 시행한 결과, -17%에서 17%까지 탄소누출이 일어날 것으로 나타났다. Kiuila et al.(2014)은 2020년 EU에서 탄소누출가능성을 예상하기 위해 EU 지역과 EU가 아닌 지역의 탄소가격을 설정하여 CGE를 이용하여 분석하였다. 2020년 탄소 감축 목표를 달성한다는 가정 하에, 미국, 중국, 인도, 러시아 등의 상황을 고려하였으며,

EU에서 non EU로의 탄소누출이 0%에서 28%로 일어날 것으로 예상하였고 기술 수준의 가정에 따라서 결과가 크게 달라진 것으로 나타났다. Kuik and Gerlagh(2003), Kuki and Hofkes(2010)는 GTAP(Global Trade Analysis Project) 자료를 활용하여 CGE 분석을 통해 전 세계와 미네랄 부문의 탄소누출 가능성을 조사하였다. OECD의 GTAP 부문에서 annex 1에서 non-annex 1로 11%에서 15%의 탄소누출이, 미네랄 부분에서는 EU에서 ROW로 17%에서 33%의 탄소누출이 일어날 것으로 예상되었다. Lanzi et al.(2013)은 완화정책 시나리오 및 국가별 상호 연계 현황을 고려하여 부분별 산업 경쟁력과 탄소누출을 분석하였다. 탄소 시장의 직·간접적인 연계뿐만 아니라 BCAs(Bordere carbon adjustments)을 고려하여 배출권 거래제에 참여하는 기업 및 국가의 수와각국의 감축 정책의 강도를

〈표 1〉 탄소누출에 관한 일반 균형 분석 문헌

저자	분석 기간	부문과 지역	1톤당 탄소 가격	탄소누출율(단위:%)
Babiker (2005)	2010	글로벌: 7개 원자재상품	explicit 가격 X	50~130 (OECD→non OECD)
Baylis et al. (2014)	2010	글로벌, 여러 부문	explicit 가격 X	10~15 (EU → ROW)
Burniaux and Martins (2000)	EU-ETS 전: 1996-1999	국제 석탄 시장	탄소세 포함 가격 범위는 고려되었으나, explicit 가격 X	2~27 (Annex1→ non Annex)
Carbone (2013)	1995-2011	글로벌(Annex 1 to non-Annex) 112개 지역, 57개 부문	explicit 탄소세 X, 탄소세가 탄소 배출을 20%까지 줄이고자 설정됨	-9~28 (Annex→non-annex 1)
Gerlagh and Kuik (2007)	1999-2005	글로벌, 에너지집약 상품	탄소가격은 모형에서 결정됨	-17~17 (Annex 1 → non-Annex 1)
Kiula et al.(2014)	2020년까지	글로벌, 여러부문	EU: 197달러-210달러 Non EU: 20달러-32달러	0~28 (EU → ROW)
Kuik and Gerlaghs (2003)	고토 의장사: 1995년 무역과 생산 통계	OECD: GTAP economy-wide	미국: 3.5달러, 일본: 28달러, EU: 17달러, 그 외 OECD: 24달러	11-15 (Annex 1 to non-Annex 1)
Kuki and Hofkes (2010)	2001-2006 Calibrated 된 자료	글로벌, 미네랄 부문	20 유로	17-33 (EU → ROW)
Lanzi et al.(2013)	2013-2020 Calibrated 된 자료	글로벌, 여러부문	Annex: 12달러-162달러 Non-Annex 1: 0달러-1달러	9 (Annex 1 →non-Annex 1)

자료: World Bank(2015)

주: ROW(Rest of world): 나머지 다른 국가들

고려하여 시나리오를 통해 분석한 결과, EU에서 ROW로 5%에서 12%의 탄소누출이 일어날 것으로 예상하였으며, 연계가 많을수록 탄소누출이 작게 일어나는 것으로 나타났다.

부분균형 분석은 EU 국가들의 탄소누출에 민감한 산업(시멘트, 철강, 정유, 알루미늄 등)을 대상으로 대부분의 연구가 진행되어 왔다. Allevi et al.(2013)는 이탈리아 시멘트 산업에서 쿠르노 과점 부분 균형 모형을 이용하여 탄소누출 가능성을 분석하였다. 탄소 가격을 1톤당 32유로~100유로로 가정하여 분석한 결과 17%~100%의 탄소누출이 이탈리아 외의 국가로 일어날 것으로 예상하였다. Ponssard and Walker(2008)는 장기와 단기를 나눠 EU 시멘트 산업의 EU 배출권거래제 도입으로 인한 탄소누출 가능성을 분석하였으며, EU 시멘트산업은 단기에 평균 8%~18%의 탄소누출 가능성이 있으며 해안지역에서는 13%~25%의 탄소누출 가능성이 있을 것으로 예상하였다. 장기에는 평균 5%~8% 탄소누출 가능성이 있을 것으로 예상되며 경기침체로 인한 시멘트 산업의 재구조화를 예측하였다. Santamaria et al.(2014)는 부분 균형을 통해 스페인의 시멘트, 철강, 정유 산업각각에 대해 탄소누출이 얼마나 일어나는지를 살펴보았다. 탄소가격은 5유로~35유로로 설정하였으며 시멘트 산업은 탄소누출이 35%~80%, 철강 산업은 18%~95%, 정유 산업은 10%~90%로 예상하였다. 산업 구조와 비용이 다른 국가 및 산업에 적용 시 탄소누출의 위험 및 유형이 다를 수 있기에 상황에 맞는 정책이 탄소누출을 줄일 수 있다고 주장하였다. Ritz(2009)는 2003~2005년 사이 자료를 사용하여 EU ETS 철강 산업의 탄소누출 가능성을 분석하였다. 탄소가격은 20유로로 설정하였으며 EU에서 ROW로 9%~75%의 탄소누출이 일어날 것으로 예상하였다. Szabo et al.(2006)는 유럽의 시멘트 산업의 탄소누출 가능성을 분석하기 위해 글로벌 동적 시뮬레이션 모형을 개발하였는데, 시멘트 산업의 글로벌 동적 시뮬레이션 모형은 시멘트 소비, 생산 무역, 용적량(capacity planning) 등을 포함하였고 잠재적인 탄소누출 효과를 평가하였다. 1997년 자료를 사용하여 2030년을 분석한 결과 EU에서 ROW로의 탄소누출은 29%, 생산

유출은 33%로 예상하였다. Healy et al.(2012)는 부분균형 모형을 EU grey clinker 시장에 적용하여 2013년에서 2020년까지의 탄소누출의 가능성을 분석하였다. 탄소 가격은 20유로로 설정하였고, 새로 진입한 기업에 대한 비용 및 투자에 대해서도 기존 기업과 같게 적용하였다. 순수 경매제(pure auctioning)를 가정한 결과, 22%의 탄소누출이 일어날 것으로 예상하였다.

〈표 2〉 탄소누출에 관한 부분 균형 문헌

저자	분석 기간	부문과 지역	1톤당 탄소 가격	탄소누출율(단위:%)
Allevi et al.(2013)	-	이탈리아, 시멘트	32유로 -100유로	17-100 (Italy → ROW)
Healy et al.(2012)	2012년 전까지 자료를 이용 해서 2013-2020년 예측	EU: grey clinker 시장	20유로	22 (EU → ROW)
Ponssard and Walker(2008)	2006, 2007년 자료를 이용, 2013-2020년 예측	서유럽, 시멘트	50유로	70-73 (EU → ROW)
Ritz(2009)	2004년 자료	EU ETS 철강	20유로	9-75 (EU → ROW)
Santamaria et al. (2014)	2005-2014	스페인: 시멘트, 철강, 정유	5유로-35유로	시멘트: 35-80, 철강: 18-95, 정유: 10-90 (스페인 → ROW)
Szabo et al.(2006)	1990-1997	EU, ANNEX B, 시멘트	28유로-40유로	탄소누출: 29 , 생산 유출: 33 (EU & Annex B → ROW)
Vivid Economics (2014)	2013-2020 예측	영국 25개 EU-ETS 산업	5유로-50유로	100 (UK → ROW)

자료: World Bank(2015)

주: ROW(Rest of world): 나머지 다른 국가들

사후적인 분석방법은 감축정책과 탄소누출사이의 인과 관계를 알아보기 위해서 계량경제학적인 접근을 통해 탄소누출의 가능성을 실증적으로 평가한다. 온실가스 감축 규제로 인한 탄소누출이 일어났는지에 대한 실증분석은 배출권 거래제를 2005년에 도입한 EU 및 개별 국가를 중심으로 연구가 진행되었으며 대부분의 연구결과에서 탄소누출에 대한 증거를 찾기 어렵다고 분석되었다(Cummins, 2012; Chan et al., 2013; Ellerman et al., 2010; Graichen et al., 2008; Lacombe, 2008; Martin et al., 2012,

2014; Reinaud, 2008; Sartor, 2012; Sartor and Spencer, 2013). 하지만 Abrell et al.(2011)은 EU-ETS 1,2기 동안 온실가스 할당업체 2,101개 기업을 대상으로 패널 회귀분석 실시한 결과 EU ETS 2기에, non-metallic minerals 부문에서 탄소누출이 발생한 것을 확인하였다.

〈표 3〉 탄소누출에 관한 실증분석 문헌

저자	정책 및 기간	부문 및 지역	탄소누출 증거
Abrell et al.(2011)	EU ETS 1기, 2기; 2005년 ~2008년	EU:할당대상 2101개 기업	강한 증거 없음, 몇 개의 부문에서는 발견됨
Chan et al.(2013)	EU ETS 이행 전 후; 2001년 ~2009년	EU: 전력, 시멘트, 철강, 시멘트	강한 증거 없음
Cummins(2012)	EU ETS 1기; 2005년 ~ 2007년	EU, 할당대상 5873개 기업	없음
Ellerman et al.(2010)	EU ETS 1기	EU: 정유, 알루미늄, 철강, 시멘트	없음
Graichen et al.(2008)	EU ETS 3기	독일: 7개 산업	없음
Lacombe(2008)	EU ETS 1기	석유(petroleum)	강한 증거 없음
Martin et al.(2012)	EU ETS 1기, 2기	EU: 2700개 기업	없음
Martin et al.(2014)	EU ETS 1기; 2009년까지	EU: 800개 기업	없음
Reinaud(2008)	EU ETS 1기; 2009년까지	철강, 시멘트, 알루미늄, 정유; EU 회원국 25개 국가	없음
Sartor(2012)	EU ETS 도입 후 6.5년	EU: 알루미늄 산업	없음
Sartor and Spencer(2013)	EU ETS 전 후; 1991년 ~2010년	폴란드 에너지 집약산업	없음

자료: World Bank(2015)

주: ROW(Rest of world): 나머지 다른 국가들

국내에서는 온실가스 감축으로 인한 탄소누출에 대해서 사후적인 분석 방법을 통한 연구는 자료 부족 등의 이유로 존재하지 않는다. 유종민 등(2017)은 배출권거래제가 도입된 2015년에 온실가스 감축이 있었는지를 기업별 패널분석을 통해 정량적으로 분석하였고, 산업별로 감축효과 여부가 다르다는 것을 보였다. 그러나 정량모형의 한계로 감축효과 여부만을 분석했을 뿐 누출여부는 분석대상이 아니었고, 자료 수집의 한계 상 해외 부문에서의 배출 증가를 파악할 수는 없었다.

국내 온실가스 감축규제가 산업 또는 경제에 미치는 영향을 사전적인 분석방법인 CGE를 통해 분석한 방법론은 다수 존재한다(김용건 등,

2008; 김수이 등, 2010; 김성균 등, 2016; 오경수, 2014; 임재규, 2001; 조경엽 등, 2001; 한기주 등, 2010). 하지만 CGE를 이용한 탄소누출 가능성에 관한 분석은 많이 존재하지 않는다. 오인하 등(2012)은 탄소세가 탄소누출에 미치는 영향을 다지역 투입산출 모형과 연산가능 일반균형(CGEM) 모형 등의 방법론을 사용하여 분석하였다. 소비관점의 탄소회계와 국경조치 영향을 중심으로 정태적 글로벌 연산가능 일반균형 모형을 구축하여, 소비관점의 탄소회계에 따른 한국의 위상변화와 여기서 계산된 탄소관세를 포함한 여러 국경조치가 적용될 때 탄소누출과 각국 경제에 미치는 영향을 관찰하였다. 의무감축국가군 및 국경조치에 대한 다양한 시나리오를 설정하였으며, 많은 국가가 감축에 동참할수록, 수출에 대한 배출규제를 면제하여 자국 산업을 보호할수록, 탄소누출이 적게 일어나는 것으로 분석되었다. 하지만 오인하 등(2012)은 저감자원효과를 고려하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 온실가스 감축 정책의 산업적, 경제적 영향을 분석하기 위해 기존 모형들이 갖고 있는 문제점을 보완할 수 있는 수리적 대체모형의 결과를 활용하여 국내 업종별로 탄소누출 가능성을 정성적으로 분석해 보고자 한다.

II. 이론 및 모형의 개괄

탄소누출에 대한 이론적 배경으로서 제시된 Baylis et al.(2014)의 모형은 Harberger(1962)에서 보여준 2가지 생산물 및 2가지 생산요소를 기반으로 하고 있다. 기존의 모형들은 모두 무역효과(term-of-trade: TTF)를 중심으로 살펴보고 있어 대부분 탄소가격의 상승이 탄소집약적 제품의 가격상승을 가져 오기 때문에, “소비자들의 소비대체”로 인해 탄소집약적 생산기지의 해외유출 혹은 해외 탄소집약적 제품에 대한 소비증가가 양의 탄소누출을 일으킨다고 한다. 하지만 본 모형은 저감자원효과(abatement-resource-effect: ARE)를 포함하여 소비자의 소비대체 뿐 아니라, “생산자

의 생산요소 대체”를 포함하여, 생산자의 대체성이 더 클 경우, 특정부문의 탄소가격 상승이 생산자가 저탄소요소를 다른 부문으로부터 빼돌려 오히려 다른 부문의 탄소배출이 증가로 이어져 음의 탄소누출도 야기할 수 있다고 가정한다.

기존 CGE 모형은 저탄소요소의 이동가능성을 무시(대부분의 CGE들은 국내에서는 이동 가능하나, 국가간에는 생산요소 이동 불가)하였고, 낮은 요소대체성(예컨대, 레온티에프생산함수로서 요소간 대체가능성 없는 경우, 헥셔올린 무역모형처럼 최종재화는 무역으로 거래되나 생산요소는 거래대상에서 제외)과 최종재화의 동일성 (국가 간 생산재화가 identical 하다는 가정)을 가정한다. 반면 Baylis et al.(2014)의 모형은 불완전한 소비자들의 소비대체를 위해 두 재화가 완전대체가 가능하지 않으며, 기업들의 요소대체 가능성이 높고, 저탄소생산요소의 부문간 이동 가능성 또한 높다는 것을 가정한다.

두개의 경쟁분야 ($i = X, Y$)는 두 가지 요소를 이용하고 있으며, 저탄소 자본 K_i 와 탄소발생연료 C_i 가 있다. 탄소세가 Y재화에는 부과되지만, X재화에는 부과되지 않는다고 가정한다. 공급량은 고정되어 있으며 ($\bar{K} = K_X + K_Y$), $X = X(K_X, C_X)$, $Y = Y(K_Y, C_Y)$ 의 생산함수를 가진다. 두 분야는 탄소배출에 따른 탄소가격률 τ_i 를 적용받으며, (배출권가격 혹은 탄소세율의 성격) 완전경쟁상황 가정 하에서 i 재화의 가격이 p_i 일 때, $p_X X = p_K K_X + \tau_X C_X$, $p_Y X = p_K K_Y + \tau_Y C_Y$ 로 최종이익은 0으로 가정한다. 두 개의 분야는 복합자본을 공급받고 있으며($R = \tau_X C_X + \tau_Y C_Y$), 전체 탄소량($C = C_X + C_Y$)에 대해서는 효용 감소를 가정한다. 두 재화의 교차탄력성을 σ_U , i 재화의 가격탄력성을 σ_i , i 재화의 비중을 α_i , 특정 재화 가치 총량에서 특정 생산요소 가치 총량의 비율을 θ_{ij} 라는 계수를 사용한다. 소비자함수는 다음 식 (1)과 같다.

$$\max_{X,Y} U(X,Y;C) \text{ subject to } p_K \bar{K} + R \geq p_X X + p_Y X \quad (1)$$

모형의 균형은 다음과 같이 제시되고 있다.

$$\hat{Y} = [\alpha_X \sigma_U + \alpha_Y \sigma_Y] \theta_{YC} \hat{\tau}_Y > 0$$

$$\hat{C}_Y = -[(\alpha_X \sigma_U + \alpha_Y \sigma_Y) + \theta_{YK} \sigma_Y] \hat{\tau}_Y < 0$$

$$\hat{C}_X = \alpha_Y \theta_{YC} \hat{\tau}_Y (\sigma_U - \sigma_Y) = [\sigma_U \alpha_Y \theta_{YC} - \sigma_Y \alpha_Y \theta_{YC}] \hat{\tau}_Y > 0 \text{ or } < 0.$$

$\sigma_U \alpha_Y \theta_{YC}$ 는 교환효과, $\sigma_Y \alpha_Y \theta_{YC}$ 는 저감자원효과로 구분된다. 교환 효과는 X재 (배출량 혹은 수요량 혹은 생산량) 증가, 즉 양의 탄소누출 효과로 σ_U 에 의해 증가한 Y재화 가격상승은 X재화의 소비 증가를 가져와 $\hat{C}_X$ (X재 소비로 인한 탄소연료량)를 증가시켜 탄소누출이 시현한다. 즉 σ_U 가 클수록 (즉 소비자들이 X,Y 를 잘 대체) 탄소누출이 커지고, 무역에 있어서 대체가능한 경쟁품목에 해당될 경우 탄소누출이 크다. 저감자원효

〈표 4〉 파라미터에 대한 가정

파라미터	값
$\sigma_U = -\frac{(\hat{X} - \hat{Y})}{(\hat{p}_X - \hat{p}_Y)}$	0.5, 1, 1.5 ¹⁾
ρ_Y : (단, $\rho_X = \frac{C_X}{C}$, $\rho_Y = \frac{C_Y}{C}$)	0.5 ¹⁾
α_i ($\alpha_i \equiv \frac{K_i}{K}$)	0.2 ¹⁾
τ_i	0.16075 ²⁾
θ_{YC}	0.147 ¹⁾
σ_Y	0.1585 (석탄-석유), 0.1079 (석탄-가스), 1.1602 (석유-가스) ³⁾

1) 특정 계수를 가정할 필요가 없으므로, 편의상 Baylis et al.(2014)을 따름

2) 계산방법은 아래와 같다

산업용(을) 카테고리, 즉 광업, 제조업 및 기타사업에 전력을 사용하는 계약전력 300kW 이상의 고객에게 적용

(적용일자: 2013년 11월 21일)되는 1MW 금액은:

기본요금: 7,220 + 114.5(원/kWh)원 * 1000 → 121,720 원¹⁾

1MW 소비 시 발생하는 탄소배출량에 의한 추가 비용 = 0.744톤²⁾ * 26,300원/톤³⁾ = 19,576원

따라서 1MW 소비 시 순수한 전력요금과 이로 인한 간접배출로 인한 배출권 구매 부담 비율

(일종의 탄소세율과 같은 의미) = 약 0.16075

3) 이명현 등(2011)

과는 음의 탄소누출 효과로 σ_Y 에 의해 Y 부문의 회사는 C를 K로 대체하면서, X 생산으로부터 K를 빼온다. 즉 Y부문에서 저탄소자원의 가격이 상대적으로 저렴해져 Y부문에서의 K 소비량 증가로 인해, X부문에서의 K 요소가격 상승 및 소비량 감소에 따른 전반적인 X 부문 생산량 감소 효과가 일어난다. 이러한 저감자원효과는 기존연구에서는 일반적으로 고려되지 않은 효과다.

본 연구에서는 이러한 Baylis et al.(2014)의 수리적 모형에서 도출한 결과를 바탕으로 캘리브레이션(Calibration)을 하였으며 이를 통해 모형이 의미하는 바와 시사점을 도출하고자 한다.

〈그림 1〉은 탄소규제가 부과되는 부문에서 요소간 대체탄력성(σ_Y) 혹은 상품간 대체탄력성(σ_U)이 낮을수록 탄소누출률이 감소함을 보여준다. 탄소집약적 및 비집약적 최종재의 대체탄력성에 따라 탄소누출률도 결정되는데, 일반적인 탄소누출의 정의에서 예상되는 바와 같이 상품간 대체탄력성이 높을 경우 탄소세 등 가격 충격에 의해 소비수요가 쉽게 이전되어 다른 최종재의 탄소배출이 다시 증가하게 되므로 전반적인 탄소누출률이 높다. 반면 설명변수인 요소간 대체탄력성이 높을수록 탄소누출률이 낮아지는 모습을 보인다. 탄소 집약적인 최종재에 부과되는 과세로 인하여 저탄소 요소에 대한 수요 및 가격 감소가 촉발되는데, 이는 오히려 규제되지 않은 최종재 부문에서의 저탄소 요소로의 대체를 유도하여, 결과적으로는 탄소 누출이 감소하기 때문이다. 그림에서 점선으로 표시된 특정 요소간 대체탄력성 수치는 이명헌 등(2011)에서의 한국 전력시장에서 사용되는 석탄-석유-천연가스 간의 대체탄력성을 차용한 값인데, 생산요소로서 석유-천연가스가 대체재로서 사용될 경우 (최종재간 대체탄력성이 높지 않을 때, 즉 그림 1에서는 $\sigma_U = 0.5$ 의 경우) 오히려 음의 탄소누출

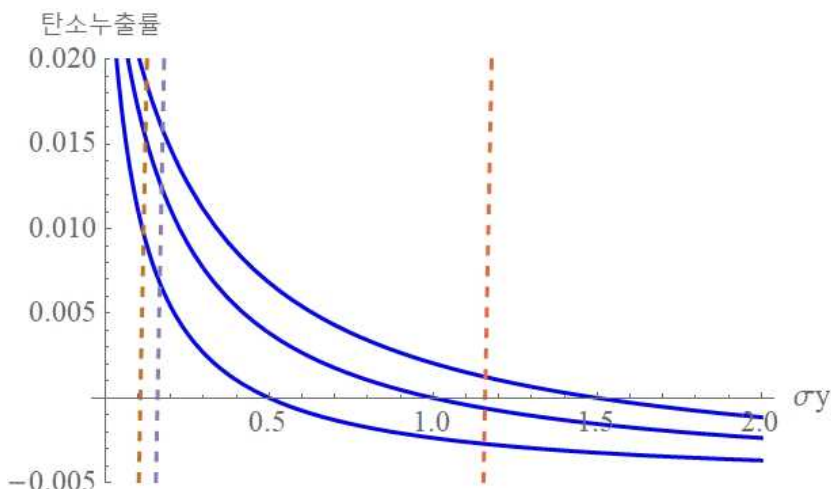
1) <http://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/E/E/CYEEHP00103.jsp>.

2) <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>.

3) 강성훈·이동규·유종민(2015)에서 도출한 완전 유상배출 혹은 탄소세 형태로 갈 경우 1차 계획년도 수준의 부담에 근접하는 톤당 금액.

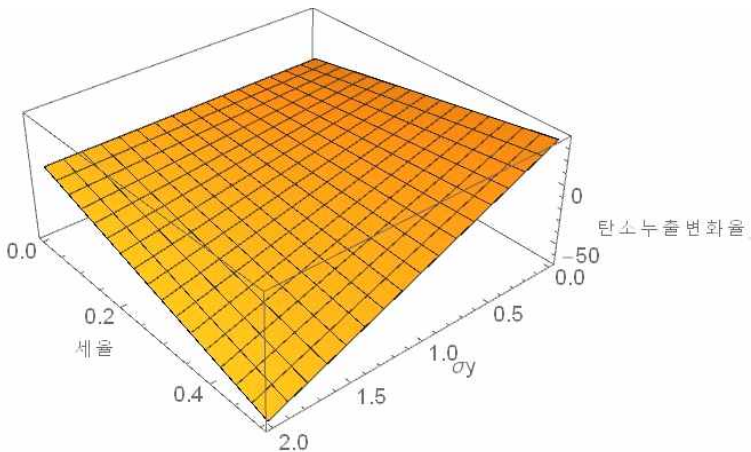
도 가능함을 알 수 있다.

〈그림 1〉 요소간 대체탄력성(σ_Y) 및 두 최종재간 대체탄력성(σ_U)이 탄소누출에 미치는 영향



주) 제일 위에 있는 선부터 $\sigma_U = 1.5$, $\sigma_U = 1.0$, $\sigma_U = 0.5$ (점선은 〈표 4〉에서 제시된 석유-석탄-가스 간 σ_Y 사례 값의 편의상 표기)

〈그림 2〉는 요소간 대체 탄력성에 따라 탄소세율과 탄소누출률이 다른 상관관계를 보일 수 있음을 묘사한다. 예컨대 요소간 대체탄력성(σ_Y)이 클 경우 세율이 높아질수록 오히려 ARE 효과 경로가 강화되기 때문에 음의 탄소누출률을 보이는 음의 기울기를 가지게 되고, 반대로 요소간 대체탄력성이 클 경우 전통적인 탄소누출 경로가 작용하여 다른 최종재의 소비가 증가한다. 특히 해당 소비재가 탄소집약도가 높을 경우 오히려 탄소 배출은 증가할 수 있음을 시사한다. 칼리브레이션의 요점은 정책 수립 시 산업계에서 항상 주장하듯 세율 (혹은 배출권 가격)을 높이는 것이 언제나 탄소누출을 악화시킨다는 주장이 옳지 않을 수도 있다는 것이다.

〈그림 2〉 Y재에서의 요소간 대체탄력성(σ_Y) 및 탄소세율(τ)이 탄소누출에 미치는 영향

Ⅲ. 모형의 적용 사례

수송분야의 온실가스 감축 목표는 2030년 전망치 대비 24.6% 감축 (약 25.9만톤)이며, 온실가스 감축 수단으로는 하이브리드/전기자동차 등 그린카 도입을 통한 연비개선, 경유 및 휘발유에 바이오연료를 의무적으로 첨가하는 RFS(Renewable Fuel Standard) 제도 등 도입, 고속 및 광역철도 확충 등이 있다. 특히 이동식 배출원이 대부분임에 따라 추적하기 힘들 뿐 아니라, 가공할 수 있는 데이터가 부족하여 배출권거래제도 적용에 어려움이 있다. 규모에 있어서도 이동식 배출원이 배출권 거래제의 사업체/시설의 최소 규모를 충족하기 어려워 포함될 가능성이 낮다. 따라서 상대적으로 수월한 항공부문에 포함된 할당기업들은 현재 벤치마크 형식의 할당방법을 적용받고 있다. 그러나 항공부문을 제외한 수송부문은 대부분이 배출권거래제(할당군)에 포함될 수 있는 규모가 아니다. 비할당군은 외부 활동으로써 온실가스 저감을 할 경우 상쇄실적을 인정받아 추가적인 수익을 만들 수 있기 때문에 타사업부문 사업성 향상을 기대할 수 있다. 하지만 비할당군이라 하더라도 MRV(Measuring Reporting Verifying)를 통한

상쇄실적 발급으로 수익성 창출에 활용될 수 없는 즉 사업성이 현저하게 떨어질 수 있다. 탄소누출 구분 기준 별 분석은 크게 영역에 따른 분석과 채널에 따른 분석으로 나뉘볼 수 있다. 영역에 따라 분석을 해보면, 국내에서 발생하는 수송부문 온실가스에 대한 규제로 인해서 해외로 기업이 이전하던가 다국적기업의 투자가 해외로 쏠리는 일은 없는 것으로 판단된다. 채널에 따른 분석에서는 만약 수송부문의 MRV가 활성화되고 상쇄제도를 통해 외부사업의 저감사업성이 높아질 경우 역의 탄소누출이 실현될 가능성이 높고 차량운영 조절에 따른 상쇄실적이 증가할 것으로 보인다. 그러나 저탄소협력금제도 때의 논의처럼, 만약 국내 저탄소 차량(전차 및 하이브리드)보다 외국 브랜드 혹은 외국 공장에서 생산된 차량이 기술적 우위에 있는 상황에서, 무역채널로 인해 국내에서 생산되는 차량의 운영 경비가 높을 것으로 우려하여 소비자들이 외제차량을 구입할 경우 탄소누출이 발생 가능성이 높다. 투자채널 측면에서는 소비자들의 외제차량 선호도 증가로 인해 최종 생산물에 대한 높은 수요를 기대한 해외공장으로서의 투자유출이 우려되고 저탄소자본의 유출로 인한 탄소누출 시현 가능성이 높다.

농축산 부문은 온실가스 배출 비중이 크지 않아 절감한다 하더라도 국가 전체 목표달성에 기여하는 바가 작고, 저감여력 또한 크지 않아 높은 감축목표는 해당부문에 불필요한 부담을 줄 수 있다. 따라서 배출권거래제 할당균에 포함되어 감축을 하는 것이 아닌 비할당균에 포함되어 있으며 상쇄 등으로 수익을 창출할 수 있는 방향으로만 유인구조가 되어 있기에 감축규제 강도가상대적으로 낮다. 하지만 수송과 유사하게 정부로부터 규제를 받지 않는 비할당균이 대부분을 차지하여 외부활동을 통해온실가스를 저감 할 경우 상쇄실적을 인정받아 추가적인 수익 창출 기회가 있을 수 있다. 정책수단으로는 시설재배 신재생에너지 보급, 가축분뇨 에너지화, 사료 품질 향상 등이 있다. 영역에 따라 분석해보면 국내외 농수산업에 동시에 투자한 기업내에서 투자자금을 조절할 수 있는 다국적 기업이 거의 없을 뿐만 아니라 농수산부문의 탄소규제로 인해 경쟁력을 잃고 개

별기업이 외국으로 이전할 가능성은 없지만, 상쇄제도를 통한 사업기회는 있다. 채널에 따른 분석에서는 무역채널로 인해 상쇄제도 등을 통해 국내에서 생산되는 물품의 생산단가가 오히려 감소함으로 인해 해외생산 제품보다 국내에서 생산한 농수산품이 가격 경쟁력을 얻을 가능성이 있다. 투자채널 측면에서 탄소누출의 정의 상 비할당군으로 포함되었다는 자체가 규제없이 추가적인 수익을 창출할 수 있는 사업성을 제공하므로 저탄소자본의 유입으로 인한 역의 탄소누출 시현 가능성이 높다. 게다가 농림어업 부문은 할당/비할당 부문으로 나뉘지 않아 국가 내에서도 탄소누출이라는 경계를 넘나드는 문제가 발생할 수 없다.

건물의 경우는 온실가스 감축목표는 2030년 전망치 대비 18.1% 감축(약 18.1만톤)을 목표로 한다. 정책수단으로는 기존건물 단열강화, 신규주택 냉난방성능 강화, 자연냉방기술, 보일러 고효율화, 고효율 에어컨, 조명기기 고효율화, 가전기기 고효율화, 그린홈 보급, 냉난방에너지 행태개선, 신재생에너지 보급 강화가 있다. 배출권거래제 참여의 최소기준을 충족시키는 건물은 사업장 혹은 법인으로 인정되어 개별 배출권거래제 참여자로 인정되지만, 기준을 충족시키지 못할 경우 비할당부문으로서 상쇄제도에 참여한다. 비할당부문은 상쇄제도를 통한 추가수익 창출 가능성은 있지만 탄소누출의 가능성은 없다. 할당부분의 경우 건물자체에서의 온실가스 발생보다는 전력소비로 인한 간접배출 이슈가 존재한다. 한국의 배출권거래제는 현재 간접배출 사업장 역시 할당량을 주어 거래제에 포함하고 있다. 통제된 전력가격으로 인한 단점을 보완하고 화석연료사용 억제 효과의 기대한 것으로, 중국을 제외한 해외의 자유화된 전력가격을 바탕으로 한 건물부문과 비교해 큰 비교우위 발생 가능성은 적다고 볼 수 있다. 건축물 대상의 온실가스 저감정책은 영국의 CRC 에너지 효율화 제도(CRC Energy Efficiency Scheme) 혹은 동경都의 독자적인 대규모 건물시설을 대상으로 한 온실가스 배출총량 감축의무 및 거래제와 유사하다. 두 제도에 비해 한국의배출권거래제는 감축 기준이 높고 참여자수가 다양하고 상쇄제도에 포함되지 않으므로 강한 규제로 평가된다. 영역에 따라

분석해 보면, 전력소비로 인해 국내에서 건물 사용료가 비싸다고 볼 이유가 매우 낮을 뿐 아니라 (사업장 전기료도 저렴), 이로 인해 해외 건물로 임차인이 옮겨갈 가능성은 거의 없을 것으로 판단된다. 채널에 따른 분석은 대부분의 수익성이 입지 등에서 발생하는 건물부문은 제품의 생산단가(혹은 건물사용에 따른 효용)가 배출권거래제로 인해 차이날 수 있는 부분이 아직까진 매우 적으므로 “무역채널”로 인해 건물에 대한 수요가 발생할 가능성도 미미하다고 볼 수 있다. 투자채널 측면에서는 만약 건물이 할당사업체에 포함되어 배출권 구매 압력이 매우 높을 경우 대규모 건물보다는 비할당군에 포함된 소규모 건물로 구매수요가 이전될 가능성이 있다. 단 입지 등 다른 조건이 유사한 근접건물간의 수요이전으로 국가 차원에서의 탄소누출 효과 가능성은 존재한다.

공공기관 및 폐기물 관련 온실가스 정책으로는 공공기관 목표관리, 건축물과 설비의 에너지 효율 향상, 에너지 절약 행태개선 등이 있으며, 폐기물 부문은 폐기물 감량화 및 재활용, 가연성 폐기물 에너지화, 매립가스 회수 및 발전 등이 있다. 공공부문의 경우 목표관리에 의해 강제 절감이 될 것이지만 탄소누출 여부의 영역이 아니고 대부분 비할당군에 속하여 할당부문의 가격 수준이 커질 경우 상쇄사업을 통한 수익창출 기회 늘어나 역의 탄소누출을 기대할 수 있다. 그러나 자원화 할 폐기물이 국내에서의 수익창출을 기대하고 해외에서 수입되어 재처리(역의 누출)는 상정하기 힘들다.

발전부문의 온실가스 감축목표는 2030년 전망치 대비 19.4% 감축(약 64.5만톤)이다. 정책수단으로는 신재생에너지 확대를 위한 R&D투자, 신재생에너지 공급 의무화(RPS)제도 등을 통해 풍력, 태양광, 지열 등 재생에너지 비중 증가, 고효율 전력망 도입(스마트그리드 등을 통한 간접배출 억제), 탄소포집저장(CCS) 기술 확보, 전력믹스 개선(화력발전 단계적 축소)이 있다. 전력 생산자로서 신재생에너지, 원자력, 화석연료를 이용한 전력생산 기업 등이 존재하는데 정책이 전력가격에 주는 경로를 통해 배출권 시장에서의 할당 및 비할당군 간 시장점유율 변동을 가져올 수 있다.

채널에 따라 분석해 보면 전력에 대한 국제무역 등은 한국에서는 발생하지 않으므로 “무역채널”로 인해 전력에 대한 수요가 국경을 넘어 발생할 가능성은 미미하다. 투자채널 측면에서도 국내의 전력수요가 배출권거래제 등으로 인해 전반적으로 억제되는 경우가 아니라면 누출이 불가하다. 현재 대부분의 신재생에너지 의무화 대상 기업들은 가격 경쟁력 때문이 아닌 의무화를 때문에 신재생에너지를 생산하는 상황으로, 신재생에너지를 이용한 발전의 경우에는 RPS 제도로 인한 규제 실적으로 대부분 포함되어 투자채널을 통한 누출 발생 가능성 적다. 요컨대 발전부문은 해외 시장과의 단절 (무역 등 시장 단절), 국가 주도의 원자력발전량 결정, 신재생에너지의무화 시장의 존재 (경쟁시장의 경직성)로 인해 탄소누출 발생할 가능성이 적다. 오히려 RPS 시장에서 REC 시장가격 이상으로 탄소가격이 높게 형성될 경우, 더 많은 투자가 온실가스 저감을 목적으로 한 탄소저감형 발전에 쏠리게 됨으로써 역의 탄소누출 발생 가능성은 존재한다. 그러나 배출권 가격이 10만원 이하에서는 가능성이 없으며 전환율 0.4Khw/톤 및 REC 가격 약 7만원 가정 시 배출권 가격이 약 17만원 이상이어야 가능할 것으로 보인다.

산업의 온실가스 감축목표는 2030년 전망치 대비 11.7% 감축 (약 56.4 만톤)이다. 목표 달성 수단으로는 저탄소 신공정 기술, 에너지 절약 (고효율 전동기/보일러/전조기 도입, 폐열회수발전, 열병합발전 등), 연료대체 기술 (중유 또는 석탄을 LNG, 바이오매스 폐플라스틱 교체) 등이 있다.

철강, 반도체, 자동차산업은 국가 내에서도 할당군(대부분 대규모)과 비할당군(소규모) 모두에 동일업종의 사업장을 가진 기업, 다국적 기업/대기업이 지배하는 시장으로 자본의 요소간 대체탄력성이 크다고 할 수 있다. 자동차 A사, B사를 예를 통해 탄소누출에 대해 설명하면 다음과 같다. 자동차 A사가 국내 탄소규제에 대한 대응으로 저감을 목적으로 국내 시설에 자본을 추가투입 할 경우 상대적으로 해외기지에 투입될 자본이 줄어들면서 해외에서의 생산활동이 감소하고 해외발 탄소발생량 감소한다. 국내 자동차 B사는 프랑스에 본사를 둔 외국계 기업이 80%의 지분을 가진

다국적 기업의 국내 완성차 업체로서 이미 유럽에서는 배출량 규제가 존재한다. B사는 전통적인 탄소누출이론에 따르면 국내 기업이 본사의 수출량을 대체한다던가 혹은 해당기업 차량이 가격경쟁력을 가지며 프랑스로 역수출 되는 상황을 상정할 수 있으나, 그동안 EU-ETS 때문에 이러한 수혜를 입었었는지에 대해서는 의문이다. 석유화학산업의 경우 내수기업인 경우가 많으나, 해외에 공장을 운영하는 경우 대체탄력성 클 가능성이 있다. 예를들어 기업은 DNT, 질산, 초안, 암모니아 등 화학제품을 생산하는 회사로 말레이시아 등 해외공장 보유하는 다국적기업 형태이며, 국내의 온실가스 규제 시 1) 저탄소자본을 국내로 집중시켜 역탄소누출을 가져올 수 있고, 혹은 2) 해외상쇄까지 제출가능해 질 경우, 해외에서 저감사업 등을 하는 저탄소자본의 해외유출 혹은 이를 위한 역외 탄소누출 유인이 존재한다. 제지, 시멘트, 비철금속 산업은 규모가 작거나 내수위주의 기업이 많아 대부분 요소간 대체탄력성이 낮을 것이다. 따라서 상대적으로 최종재 대체탄력성에 따라 누출정도가 결정된다. 최종재 대체탄력성이 크다는 것은 무역채널을 통한 탄소유출의 가능성을 의미하며 (탄소누출업종 선정기준 중 무역집약도가 낮아도 무역채널 통한 대체탄력성 클 경우 탄소누출 가능성 높은 업종으로 분류 필요성) 내수산업일수록 할당과 탄소누출의 상관도는 떨어진다. 정유산업은 기업활동의 성격 상 내수/해외발 수요라 하더라도 국내에서 처리하는 것이 필요할 경우에는 요소간 대체탄력성이 낮을 것으로 추정된다. 섬유산업은 무역집약도가 높고, 투자 및 무역채널의 역할이 크므로 (최종재 대체탄력성 큼) 엄격한 할당 시 누출 가능성이 존재한다. 특히 섬유부문은 감축여력이 크지 않으므로 비용전가에 따른 누출 가능성 확대가 예상된다.

IV. 정책적 시사점 및 결론

현재 한국의 배출권거래제 가격 수준에서는 칼리브레이션 결과에서 제

시하는 바와 같이 부문과 관계없이 항상 탄소누출이 악화되는 것은 아님을 보여주었고, 모형에서 제시된 요소간 대체탄력성이 클수록, 세율이 높아질수록 오히려 ARE 효과 경로가 적용될 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 저탄소 생산요소가 많거나 저감 기술력이 높으면 요소간 대체탄력성이 크고, 최종재가 다른 제품에 비해 차별화 되어 대체 탄력성이 낮을수록 탄소누출이 적게 일어날 수 있음을 부문별 분석을 통해 보였다. 다국적 기업이 존재하는 자동차, 석유화학 산업의 경우 높은 요소간 대체탄력성이 존재 가능하고, 제지, 시멘트, 비철금속, 섬유 등의 산업은 낮은 요소간 대체탄력성이 존재 가능하다. 그러나 특정 산업군 내에서도 수출형/내수형 기업이 공존하는 경우가 많으므로 일률적으로 대체탄력성을 단정 지을 수는 없었다. 요소간 대체탄력성이 크다 하더라도, 최종재 대체탄력성이 탄소누출 가능성을 높일 수 있다. 본 연구는 모형에 제시하는 결과들을 바탕으로 업종별 상황을 고려하여 영역 및 채널에 따른 탄소 누출 가능성에 대해 정성적으로 평가하였으며, 수송, 농축산, 건물, 공공 및 폐기물, 발전부문, 산업부문을 사례로 분석하였다. 본 논문의 결과는 탄소누출로 인한 국가경쟁력 약화를 고려해야 하는 정부와 온실가스 규제에 의한 비용증가를 우려하고 있는 기업에게 적응 대책으로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

다만 본 모형에서는 탄소유출 여부를 결정하는 요소로서 최종재 간 대체탄력성도 가정하고 있으나, 이는 무역 및 투자 등 광범위한 분석이 요구된다. 본 논문은 논의의 범위를 좁히고자 요소 대체탄력성과 관련된 이론적 모형을 이용한 국내 산업분야에 대한 정성적 분석에 의존하여 탄소누출 가능성 여부만을 논한 한계점을 가지고 있다.

■ 참고문헌 ■

- 강성훈·이동규·유종민, 2015, 『배출권거래제도와 환경세의 조화방안』, (연구보고서 15-07), 서울: 한국조세재정연구원.

- 김성균·이지웅, 2016, “온실가스 감축 정책의 지역별 파급효과 - 탄소세를 중심으로,” 『환경정책』, 24(2), pp.137-171, DOI: 10.15301/jepa.2016.24.2.137.
- 김수이·조경엽·노동운, 2010, “국내 온실가스 감축정책의 지역별 효과 분석,” 『한국경제연구』 28(30), pp.29-57.
- 김용건·장기복, 2008, 『국제 온실가스 배출권거래제의 파급효과 분석』, (KEI 연구보고서 RE-11), 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 김정인·손희철·최광립, 2015, “한국 산업계의 기후변화 대응 경쟁력 분석: 온실가스 에너지목표관리제 관리업체와 비 관리업체를 중심으로,” 『환경정책』, 23(3), pp.25-45, DOI: 10.15301/jepa.2015.23.3.25.
- 오경수, 2014, 『온실가스 감축정책이 산업부문 무역에 미치는 영향의 업종별 분석』, (에너지경제연구원 기본연구 보고서 14-12), 의왕: 에너지경제연구원.
- 오인하, 2012, “배출규제가 탄소누출에 미치는 영향 분석 및 전망: 소비 관점의 탄소회계와 국경조치의 영향을 중심으로,” 『자원환경경제연구』, 21(4), pp.851-891.
- 유종민·유재형·김지태·이종은, 2017, “한국 온실가스 감축정책의 효과: 배출권거래제 전후 비교,” 『환경정책』, 25(2), pp.231-347, DOI: 10.15301/jepa.2017.25.2.231.
- 이명현·강상목·정영근, 2011, “국내 화력발전산업에 대한 연료와 자본의 대체성 분석,” 『에너지경제연구』, 10(1), pp.1-24.
- 임재규, 2001, “온실가스 배출 감축이 한국경제와 에너지 산업에 미치는 영향: CGE 모형을 사용한 경제적 분석,” 『자원환경경제연구』, 10(4), pp.547-567.
- 조경엽·조용성·장현준, 2001, “온실가스 배출권거래제도 국내도입의 경제적 효과분석,” 『자원환경경제연구』, 10(2), pp.173-216.
- 한기주·임동순·곽대중, 2010, 『온실가스 배출권거래제도 도입이 주요 산업의 경쟁력에 미치는 영향 연구』, (산업연구원 연구보고서 2010-577), 서울: 산업연구원.
- Abrell, J., G. Zachmann, and A. Ndoye, 2011, *Assessing the impact of the EU ETS using firm level data*, (Bruegel Working Paper 2011/08), Brussels Bruegel.
- Allevi, E., G. Oggioni, R. Riccardi, and M. Rocco, 2013, “Spatial equilibrium problems: The carbon leakage effect on cement sector under different environmental policies,” *Journal of Information and Optimization Sciences*, 36(1-2), pp.1-21.
- Babiker, M. H., 2005, “Climate change policy, market structure and carbon leakage,” *Journal of International Economics*, 65, pp.421-445.
- Baylis, K., D. Fullerton, and D. H. Karney, 2014, “Negative leakage,” *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 1(1/2), pp.51-73.
- Burniaux, J. and J. O. Martins, 2000, *Carbon emission leakages: A general equilibrium view*, OECD Economics Department Working Paper No.242, OECD publishing.
- Carbone, J., 2013, “Linking numerical and analytical models of carbon leakage,”

- American Economic Review*, Papers and Proceedings, 103(3), pp.326-331.
- Chan, H. S., S. Li, and F. Zhang, 2013, "Firm competitiveness and the European Union emissions trading scheme," *Energy Policy*, 63, pp.1056-1064.
- Cummins, M., 2012, *EU ETS market interactions: A multiple hypothesis testing approach*, Mimeo, Dublin City University Business School.
- Ellerman, A. D., F. J. Convery, and C. de Perthuis, 2010, *Pricing carbon: The European Union emissions trading scheme*, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gerlagh, R. and O. Kuik, 2007, Carbon leakage with international technology spillovers, (FEEM Working Paper No. No.33.2007), Milaan: Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Graichen, V., K. Schumacher, F. C. Matthes, L. Mohr, V. Duscha, and J. Schleich, et al., 2008, *Impacts of the EU emissions trading scheme on the industrial competitiveness in Germany*, Environmental research of the federal ministry of the environment, nature conservation and nuclear safety, (Research Report 3707 41 501, UBA-FB 001177), Berlin: UBA.
- Harberger, A. C., 1962, "The incidence of the corporation income tax," *Journal of Political Economy*, 70(3), pp.215-240.
- Healy, S., P. Quirion, and K. Schumacher, 2012, *Modelling the allowance allocation method of the EU ETS: An application to the cement industry*, (Climate Strategies Working Paper), Cambridge, UK: Climate Strategies.
- Kiulla, O., K. Wójtowicz, T. Żylicz, and L. Kasek, 2014, "Economic and environmental effects of unilateral climate actions," *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(2), pp.263-278, DOI: 10.1007/s11027-014-9597-9.
- Kuik, O. and R. Gerlagh, 2003, "Trade liberalisation and carbon leakage," *The Energy Journal*, 24(3), pp.97-120.
- Kuik, O. and M. Hofkes, 2010, "Border adjustment for European emissions trading: Competitiveness and carbon leakage," *Energy Policy*, 38(4), pp. 1741-1748.
- Lacombe, R. H., 2008, *Economic impact of the European Union emission trading scheme: Evidence from the refining sector*, Thesis for the Degree of MTech, Massachusetts Institute of Technology.
- Lanzi, E., D. Mullaly, J. Chateau, and R. Dellink, 2013, *Addressing competitiveness and carbon leakage impacts arising from multiple carbon markets: A modelling assessment*, (OECD Environment Working Papers No.58), OECD Publishing, Paris.
- Martin, R., M. Muûls, L. B. de Preux, and U. J. Wagner, 2012, *Industry compensation*

under relocation risk: A firm-level analysis of the EU emissions trading scheme, (Centre for Economic Performance Working Paper 1150), London: Centre for Economic Performance, LSE.

-
- _____, 2014, "On the empirical content of carbon leakage criteria in the EU emissions trading scheme," *Ecological Economics*, 105, pp.78-88, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2014.05.010.
- Ponssard, J. P. and N. Walker, 2008, "EU emissions trading and the cement sector: A spatial competition analysis," *Climate Policy*, 8(5), pp.467-493.
- Reinaud, J., 2008, *Issues behind competitiveness and carbon leakage: Focus on heavy industry*, International Energy Agency Information Paper, Paris: OECD/IEA.
- Ritz, R. A., 2009, *Carbon leakage under incomplete environmental regulation: An industry-level approach*, (Economics Series Working Papers 461), Oxford: University of Oxford, Department of Economics.
- Santamaría, A., P. Linares, and P. Pintos, 2014, "The effects of carbon prices and anti-leakage policies on selected industrial sectors in Spain—cement, steel and oil refining," *Energy Policy*, 65, pp.708-717.
- Sartor, O., 2012, *Carbon leakage in the primary aluminium sector: What evidence after 6 ½ years of the EU ETS?*, (CDC Climate Research Working Paper 2012-12), Paris: CDC Climat.
- Sartor, O. and T. Spencer, 2013, *An empirical assessment of the risk of carbon leakage in Poland*, (Working Paper No. 8), Paris: Institut du developement durable et des relations internationales.
- Szabo, L., I. Hidalgo, J. Ciscar, and A. Soria, 2006, "CO₂ emission trading within the European Union and Annex B countries: The cement industry case," *Energy Policy*, 34(1), pp.72-87.
- Vivid Economics, 2014, *Carbon leakage prospects under Phase III of the EU ETS and beyond*, Report prepared for DECC.
- World Bank, 2015, *Carbon Leakage Theory, -Evidence and Policy Design-*, Technical Note 11 October.
- 한전사이버지점, <http://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/E/E/CYEEHP00103.jsp>.
- 미국환경보호청, <https://www.epa.gov/energy/>.

홍종호: 코넬대에서 박사학위 취득 후 한국개발연구원(KDI)과 한양대 경제금융대학을 거쳐 현재 서울대 환경대학원에 재직 중이다. 환경경제학과 비용편익분석을 가르치고 있으며, 한국환경경제학회 회장을 역임했다(hongjongho@snu.ac.kr).

유종민: 미국 University of Illinois at Urbana Champaign에서 응용경제학 박사학위를 취득 하였고, 한국은행 및 한국자본시장연구원을 거쳐 현재 홍익대학교 경제학부에서 재직 중이다. 주요 관심분야는 환경·에너지, 유관금융 관련 정책분석이다(yucono@hongik.ac.kr).

김지태: 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 환경관리 박사과정에 재학 중이다. 기후 변화와 노동시장, 에너지 전환, 배출권 거래제, 에너지 수요 예측 등에 관한 연구를 진행하고 있다(cejitae@snu.ac.kr).

투 고 일: 2018년 11월 06일
심 사 일: 2018년 11월 18일
게재확정일: 2019년 01월 24일