

배출권거래제 2차 계획기간 중 이월한도 정책에 대한 비선형최적화 분석[†]

유종민*·이서진**

요약 : 온실가스 저감을 위해 도입된 배출권거래제가 2차 계획기간(2018~2020) 중 배출권 가격 급등에 따라 원활한 배출권 수급에 대한 수요는 증가한 반면 향후 배출권 부족을 예상한 공급자들의 거래참여 부진이 발생하였다. 이로 인해 2019년 당국은 시장 안정화 조치의 일환으로 배출권의 이월량이 거래량에 비례하도록 지침을 일시적으로 개정한 바 있다. 본고는 복수참여자 동태적 비선형 수리모형을 활용한 최적화 과정을 통해 이월정책에 대한 정부의 개입이 온실가스 저감 및 배출권 시장 가격 등에 미친 영향을 분석하였다. 시뮬레이션 분석 결과, 이월제한이라는 규제가 미리 예견되는 모형의 제약에도 불구하고 규제가 실시되는 기간 중에는 확실한 매출 출하 효과로 인해 가격인하가 발생하였음을 보여주고 있다.

주제어 : 배출권거래제, 차입한도, 온실가스, 기후변화

JEL 분류 : D11, D42, L12, L16, L66, L67

접수일(2023년 5월 30일), 수정일(2023년 7월 3일), 게재확정일(2023년 8월 16일)

[†] 이 논문은 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원(NRF-2021S1A5A2A01060703) 및 홍익대학교 2023년 학술진흥연구비 지원을 받아 연구하게 되었음.

* 홍익대학교 경제학부 부교수, 제1저자(e-mail: yucono@hongik.ac.kr)

** 홍익대학교 경제학부 조교수, 교신저자(e-mail: sjlee@hongik.ac.kr)

Nonlinear Optimization Analysis of the Carryover Policy in the 2nd Compliance Period of the Korean Emissions Trading Scheme

Jongmin Yu* and Seojin Lee**

ABSTRACT : The emissions trading system, introduced to reduce greenhouse gas emissions, experienced a sharp increase in emission allowance prices during the second plan period (2018-2020), which led to an increase in the demand for smooth supply and demand of emission allowances, while suppliers anticipating a shortage of emission allowances in the future did not participate in trading. Therefore, the authority temporarily revised the guidelines to ensure that the amount of allowances carried forward is proportional to the trading volume as a market stabilization measure. Through an optimization process using a dynamic nonlinear mathematical model, this paper analyzes the impact of the government's intervention on the carryover policy on GHG emission reductions and emission allowance market prices. According to the simulation analysis results, banking regulations could cause a decline in prices during the regulation period, even though the initial policy was predicted to be adopted.

Keywords : Emission Trading Scheme, Carryover limit, GHG, Climate change

Received: May 30, 2023. Revised: July 3, 2023. Accepted: August 16, 2023.

* Associate Professor, Department of Economics, Hongik University, First author (e-mail: yucono@hongik.ac.kr)

** Assistant professor, Department of Economics, Hongik University, Corresponding author (e-mail: sjlee@hongik.ac.kr)

1. 서론

국가 온실가스 감축정책의 일환으로 한국에서는 2015년 이래 배출권거래제를 시행하고 있으며 현재 2차 계획기간(2018~2020)을 마무리하고 3차 계획기간(2021~2025)을 운영 중이다. 2차 계획기간 중 시장 전체적으로는 배출권의 공급이 수요를 초과함에 도 불구하고 일부 잉여 보유업체들이 향후 배출권 부족 현상을 우려하여 매각에 나서지 않아 오히려 수급 부족현상이 초래되고 가격이 가파르게 상승하는 현상이 발생한 바 있다. 이에 정부는 가격 급변동을 완화하기 위한 시장안정화 방안으로서 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」 제23조, 시행령 30조 등에서 법적 근거에 기반한 이월 제한조치를 추진하게 되었다.

‘제2차 계획기간(2018~2020) 국가 배출권 할당계획’을 변경하면서 2차 계획기간 내 이행연도 간 배출권 이월제한 규정을 수정하게 되었는데, 잉여배출권을 보유한 업체는 배출권을 판매한 양에 비례하여 남은 배출권을 다음 이행연도로 이월할 수 있다 (2019.5.21. 보도자료). 구체적으로는 2018년 배출권에 대해서는 순매도량(매도-매수)의 3배, 2019년 배출권에 대해서는 순매도량의 2배만큼 이월이 가능하다. 공청회 및 타 부처와의 협의를 거쳤음에도 업체 간 상충되는 득실이 발생할 뿐만 아니라 일관되지 못한 시장 개입에 따른 가격 예측가능성 훼손이라는 비난이 이는 등 많은 논란이 발생한 바 있다. 따라서 업종(발전, 정유, 철강, 석유화학, 시멘트)별 간담회에서 수렴된 의견을 바탕으로 할당계획 확정 전 구입한 배출권에 대해서는 이번 제한조건과 상관없이 이월이 가능토록 하는 등 예외규정을 만들어 규정 변경 이전에 발생한 매매거래로 인해 업체 측에서 손해를 보는 일은 없도록 보완하였다.

구체적으로는 업체의 1) 제1차 이행연도 배출권 순매도량¹⁾의 3배 혹은 2) 특정 값(기준연도 연평균 배출량이 12.5만 tCO₂-eq 이상인 업체로서 지정된 업체의 경우 7.5만 KAU, 2.5만 tCO₂-eq 이상인 사업장의 해당 업체로서 지정된 업체의 경우 1만 5천 KAU) 중 큰 값의 범위 내에서 이월 가능하다. 단, 업체들의 기존 이익을 보호하기 위하여 1차

1) 제2차 계획기간 제1차 이행연도의 배출권(KAU) 및 상쇄배출권(KCU)에 대한 해당 업체의 이행연도 내(해당업체에 제1차 이행연도 배출권이 할당·이월된 날부터 제2차 이행연도로의 이월을 신청한 전날까지) ‘매도량 - 매수량(유상할당 경매물량은 제외)’

이행연도에 한하여, ① 계획 확정 이전의 매수량(거래+유상할당)에 대해서는 제한 없이 모두 이월 가능, ② 순매도량 계산 시 계획 확정 이전의 매수량은 산정에서 제외하도록 하였다.

제2차 이행연도(2019년)에는 1) 해당 업체의 제2차 이행연도 배출권 순매도량의 2배 혹은 2) 특정 값(기준연도 연평균 배출량이 12.5만 tCO₂-eq 이상인 업체로서 지정된 업체의 경우 5만 KAU, 2.5만 tCO₂-eq 이상인 사업장의 해당 업체로서 지정된 업체의 경우 1만 KAU) 중 큰 값의 범위 내에서 이월 가능하다.

가장 최근 발표된 3차 계획기간의 내용은 <표 1>에 제시되어 있다. 현재 3차 계획기간 중에 있으나, 아직 계획기간이 완료되지 않아 실증분석을 위한 충분한 데이터가 존재하지 않는다는 점에서 본고에서는 2차 계획기간 중의 분석에 주안점을 두었다.

<표 1> 이월 승인 기준

○ (할당기업의 계획기간 내 이월) 제3차 계획기간 내 이행연도 간 배출권 이월 신청에 대해서는 다음 기준의 범위 내에서만 승인하고, 제3차 계획기간 내 다음 이행연도로만 이월 가능	
1차 이행연도(2021년) → 2차 이행연도(2022년)	- 해당 업체의 각 차(1차/2차) 이행연도 배출권(KAU)과 상쇄배출권(KCU) 순매도량*의 2배와 동일 수량 * 해당 업체가 다음차 이행연도로 이월을 신청한 날의 전날까지 배출권 등록부 및 상쇄등록부에 등록된 ‘매도량 - 매수량’
2차 이행연도(2022년) → 3차 이행연도(2023년)	※ 각 이행연도의 KAU 및 KCU를 다른 KAU나 KCU 또는 KOC와 교환하거나, 경매를 통해 유상할당받은 수량은 계산에서 제외
3차 이행연도(2023년) → 4차 이행연도(2024년)	- 해당 업체의 각 차(3차/4차) 이행연도 배출권(KAU)과 상쇄배출권(KCU)의 순매도량*과 동일 수량 * 상동
4차 이행연도(2024년) → 5차 이행연도(2025년)	
○ (계획기간 간 이월) 제3차 계획기간 5차 이행연도 배출권의 제4차 계획기간 이월 신청에 대해서는 다음 기준의 범위 내에서만 승인하고, 제4차 계획기간의 제1차 이행연도로만 이월 가능	
3차 계획기간 5차 이행연도(2025년) → 4차 계획기간 1차 이행연도(2026년)	- 해당 업체의 제3차 계획기간 배출권(KAU21~KAU25)과 상쇄배출권(KCU21~KCU25)의 연평균 순매도량*과 동일 수량 * 해당 업체가 제4차 계획기간으로 이월을 신청한 날의 전날까지 배출권 등록부 및 상쇄등록부에 등록된 ‘매도량 - 매수량’을 해당 업체가 적용받은 제3차 계획기간의 이행연도 수로 나눈 값 ※ KAU21~25 및 KCU21~25를 다른 계획기간의 KAU나 KCU 또는 KOC와 교환하거나, 경매를 통해 유상할당받은 수량은 계산에서 제외

〈표 1〉 이월 승인 기준(계속)

○ (비할당기업의 계획기간 내 이월) 제3차 계획기간 내 이행연도 간 배출권 이월 신청에 대해서는 다음 기준의 범위 내에서만 승인하고, 제3차 계획기간 내 다음 이행연도로만 이월 가능		
1차 이행연도(2021년) → 2차 이행연도(2022년)	배출권 거래 중개회사 (자기거래)	- 총 200,000 tCO ₂ -eq에 해당하는 각 차별 이행연도 배출권(KAU)과 상쇄배출권(KCU)
2차 이행연도(2022년) → 3차 이행연도(2023년)	개인 (위탁거래)	- 총 1,000 tCO ₂ -eq에 해당하는 각 차별 이행연도 배출권(KAU)과 상쇄배출권(KCU)
3차 이행연도(2023년) → 4차 이행연도(2024년)	시장조성자 (자기거래 외)	- 별도 신청 없이 보유분 전부 이월 승인 ※ 필요시 회수 처리
4차 이행연도(2024년) → 5차 이행연도(2025년)		
○ (계획기간 간 이월) 제3차 계획기간 5차 이행연도 배출권의 제4차 계획기간 이월 신청에 대해서는 다음 기준의 범위 내에서만 승인하고, 제4차 계획기간의 1차 이행연도로만 이월 가능		
3차 계획기간 5차 이행연도(2025년) → 4차 계획기간 1차 이행연도(2026년)	배출권 거래 중개회사 (자기거래)	- 총 200,000 tCO ₂ -eq에 해당하는 5차 이행연도 배출권(KAU25)과 상쇄배출권(KCU25)
	개인 (위탁거래)	- 총 1,000 tCO ₂ -eq에 해당하는 5차 이행연도 배출권(KAU25)과 상쇄배출권(KCU25)
	시장조성자 (자기거래 외)	- 별도 신청 없이 보유분 전부 이월 승인 ※ 필요시 회수 처리

출처: 국가 배출권 할당계획(환경부, 2020).

배출권 시장 안정화와 관련된 연구는 EU-ETS 및 RGGI, California ETS 등을 대상으로 많이 이뤄진 바 있다. 전통적인 가격 상하한제도 운영(Godby et al., 1997; Pizer, 2002; Jacoby and Ellerman, 2004; Murray et al., 2009; Fell et al., 2012; 한현옥, 2014; Schopp et al., 2015; Kim and Yu, 2018) 외에도 Market Stability Reserve(이하 MSR)와 같은 시장에 대한 직접적인 개입방식이 최근 해외에서 논의되고 있다. 이에 앞서 유상경매를 통한 가격 안정화 정책에 대한 연구인 Richstein et al.(2015)는 백로딩(Back-loading) 정책에 대해 배출권의 할당을 현재에서 미래로 미룬 것일 뿐 단기적인 배출권 공급 축소 효과가 존재한다고 주장하였고, Taschini et al.(2014)는 시장에 유통되는 배출권 물량을

설명변수로 하는 준칙을 설정하여 시장 관리자가 준칙에 따라 기계적으로 개입할 경우 배출권의 가격 수준에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 김규립 외(2016)는 국내 배출권법 시행령 등에 기재된 다양한 시장안정화 조치의 성격 및 기대 효과에 대해 분석하였다.

법 상 예시된 안정화 조치 중 이월 및 차입은 해외에서는 일반적으로 안정화조치 용도로 인식되지 않는다(Helm et al., 2003; Cason and Gangadharan, 2006; Grosjean et al., 2014). 반면, 국내에서는 시장 유연성 확보 차원에서의 차입 방안에 대한 다수의 연구가 존재하는 데(정경화·심성희, 2015; 이정은 외, 2015; 채종오·박선경, 2016; 홍원경, 2016; 홍이슬 외, 2016; 조현진·김하나, 2016), 배경은 외(2022)은 탄소세, 배출권거래제, 가격상하한제 배출권거래제가 각각 배출량 및 감축비용에 미치는 영향을 비교 분석함으로써 정책 선택에 있어 유용한 정보를 제공한다.

현행 배출권거래제 내에서 현재 실시 중인 제도에 관한 최근 연구는 기간 간 가격 안정화 관점에서 이월 및 차입을 정책의 수단으로 분석하였다. 유종민·이지웅(2019)은 차입 한도 완화의 효과를 동적 분석모형을 통해, 유종민·이지웅(2020)은 이벤트 분석을 통해 이월제한 정책효과를 계량적으로 분석하였다. 특히 이월제한 정책의 경우 공청회 계획 발표 직후 일시적으로 하락하였을 뿐 결국 장기적 가격 추세는 변하지 않았다고 판단하였다. 동적 분석모형은 현재 발생하지 않은, 즉 이월제한 정책이 현실화되어 데이터에 반영되어 있지 않은 상황을 묘사하는 데 강점이 있는데, 현재까지는 계량분석만이 있어 다양한 추가 연구가 필요한 상황이다. 가격안정 정책 방향이 과거에는 시장 전체의 공급을 촉진시키는 차입정책 위주였다면, 현재는 일부 배출권 잉여 업체들의 매도를 촉진하는 것을 목표로 한다. 이는 시장물량 공급의 주체가 달라짐에 따라 안정화 정책의 성격 또한 변화했음을 의미한다. 해외연구에서도 유럽의 MSR 정책에서는 한국의 이월 차입 정책과는 상당히 다른 성격의 안정화 정책이기 때문에 본고에서 다루는 이월정책의 효과는 과거에 국내외에서 이뤄진 연구와 차별된다 할 것이다. 본고에서는 2차 계획기간 동안 실시된 일시적 이월정책 변화가 시장가격에 어떻게 영향 미치는지에 대해 동태적 비선형 수리 모형을 구축하고, 모형의 시뮬레이션 결과를 통해 정책적 시사점을 제시하는 것을 목적으로 한다.

본고와 같이 탄소시장에 선형/비선형 동태모형을 적용한 몇몇 논문들이 있다. 대부분 전력시장을 비롯한 배출권거래제가 포괄하는 부문에 대한 일반균형분석 모형이 대부분

이어서, 탄소배출권의 가격은 모두 외생변수화되어 분석의 목적이 배출권 시장이 아니라 배출권 가격에 따른 여타 분야에의 효과분석이 주가 된다(Böhringer et al., 2006; Bonenti et al., 2013; Qi and Weng, 2016; Ağralı et al., 2018).

II. 모형 구축

1. 동태적 모형 구조

본고에서는 기간 간 불확실성을 가정하지 않은 대표기업이지만 2개의 다른 시장참여 기업간의 거래를 묘사한 부분균형모형을 구축한다. 대부분의 배출권거래제를 묘사한 시뮬레이션 목적의 동학적 부분균형모형은 1개의 대표기업을 가정하지만, 본고와 같이 이월에 대한 규제의 효과를 분석하기 위해서는 불가피하게 2인의 복수 시장참여자 간의 매매가 모형화되어야 한다. 배출권거래제에서의 복수 참여자라 함은 배출권을 할당받는 기업의 그룹 중에서도 산업/전환/건축/농업/공공부문/수송 등 특정 할당계수가 공통적으로 적용되는 업종별로 참여자를 구분할 수도 있고, 혹은 배출권 과다 잉여 기업군(배출권 초과 공급자) 및 그렇지 않은 부족 기업군(배출권 초과 수요자)처럼 이분할 수도 있다. 목적함수가 1개일 때와 비교해 배출권거래시장에서의 쌍방 참여자 간 거래량과 차입 및 이월량을 추적할 수 있는 장점이 있다. 우선 대표기업 목적함수는 아래와 같이 정의된다. 이하 모형에서의 기간별 변수들은 모두 내생변수라고 할 수 있으며, 할인율 혹은 한계생산비용과 할당비율 같은 계수는 외생변수로 가정한다.

$$\sum_{t=2015}^{2020} \delta_t^i \cdot \left(\frac{\alpha_i}{2} \cdot u_i[t]^2 - P_i[t] \cdot (B_i[t-1] + L_i[t] + u_i[t] + q_i[t] - q_{-i}[t] - y_i[t]) \right) \quad (1)$$

배출권이 남거나 혹은 부족한 대표기업의 다가간 비용최소화를 달성하는 최적저감량은 Karush-Kuhn-Tucker(KKT) 1계조건에 의해 다음과 같이 정의된다. 각 대표기업 i 의 할인율 δ_t^i , 한계저감비용 계수 α_i , t 기 동안의 총 저감량 $u_i[t]$, t 기의 해당 기업의 배출권 내재가격 $P_i[t]$, t 기의 대표기업 i 의 배출권 구매량 $q_i[t]$ 과 매도량 $q_{-i}[t]$ 및 이차한계저감비용 함수 가정하에서 다음과 같이 모형화 할 수 있다.

$$(\alpha_i \cdot u_i[t] - P_i[t]) = 0 \quad \forall t, i \quad (2)$$

배출권거래제에 참여한 모든 기업이 과징금을 부과받지 않고 모두 시장에서 부족한 배출권을 조달하는 경우 배출권의 가격은 과징금 수준에 도달하지 못하고 BAU 배출량 $y_i[t]$ 은 매출권 순매입 $q_i[t] - q_{-i}[t]$, 할당량 $L_i[t]$, 저감, 이전 이행연도 이월량 $B_i[t-1]$ 에서 올해 이월량 $B_i[t]$ 을 차감한 배출권 혹은 올해 차입량에서 지난 기 차입량을 차감한 배출권량으로 충당한다. 이에 대한 기간 간 항등식(equation of motion)은

$$B_i[t] = B_i[t-1] + L_i[t] + u_i[t] + q_i[t] - q_{-i}[t] - y_i[t] \quad (3)$$

같이 묘사되며 배출권에 대한 수요를 뜻하는 좌변이 크면 개별 기업의 내재가격 $P_i[t]$ 가 상승하고 우변이 클 경우 가격은 0가 되므로 개별 기업 입장에서의 다음과 같은 1계 조건으로 표현된다.

$$B_i[t-1] + L_i[t] + u_i[t] + q_i[t] - q_{-i}[t] - y_i[t] - B_i[t] = 0 \quad (4)$$

또한 단일 시장가격을 가지는 배출권거래제의 속성상 기업의 내재 한계비용은 같아야 하므로 추가적인 제약식이 필요하다. 전체 기업들의 순매입(매도) 배출권량은 언제나 0이므로 $q_i[t]$ 는 고려할 필요 없고, 매기 총 BAU에서 총 할당량, 총 저감량, t 기에 활용한 누적 이월량의 총합과 같아지는 수준의 저감을 해야 과징금을 내는 기업이 없이 완전 규제 순응상태라고 할 수 있으므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sum_i (y_i[t] - L_i[t] - u_i[t] - B_i[t-1] + B_i[t]) = \sum_i u_i[t] \quad (5)$$

또한 배출권거래제 등 모든 탄소가격제는 모든 기업들의 한계저감비용 혹은 내재가격이 같은 비용효율성을 충족한다.

$$p_i[t] = \alpha_i \cdot u_i[t] = p_{-i}[t] = \alpha_{-i} \cdot u_{-i}[t] \quad (6)$$

이 가격 수준은 모든 시장 참가자들의 매 기 배출권의 순수요 및 순공급량의 합을 0으로 만드는 이론적인 시장청산 가격이다. 저감 혹은 배출권 매매 외에도 ETS라는 규제에의 준수를 위해 규제 대상 기업이 가지게 되는 수단으로서 배출권의 이월과 차입이 있다. 배출권의 현재 가격이 미래 가격의 할인가치보다 작을 경우, 기업은 저감량 증가 및 배출권을 추가 매수하는 방식으로 다음 기로 이월되는 배출권량 $B_i[t]$ 을 증가시킬 것이다. 반대로 배출권의 현재 가격이 미래 가격의 할인가치보다 클 경우, 기업은 저감량 감소 및 배출권을 추가 매도하는 방식으로 현재 사용량을 늘려 이월을 하지 않거나 오히려 다음 연도 할당량에서 배출권을 차입한다. 또한 시장에 할당여부와 관계없이 배출권의 기간 간 가격 차이를 이용한 거래(Arbitrage)를 통한 이윤추구를 목적으로 하는 시장참여자의 목적함수는 t 기의 현물 가격과 $t+1$ 기의 선도 가격을 활용한다고 해석할 수 있다. 선도 가격이 높을 경우 매입 및 저감 증가를 통해 이월량 $B_i[t]$ 을 늘리고 그렇지 않을 경우 줄이므로 다음과 같은 1계 조건을 만족한다.

$$-\delta \cdot P_i[t+1] + P_i[t] \geq 0 \quad \text{OR} \quad B_i[t] \geq 0 \quad (7)$$

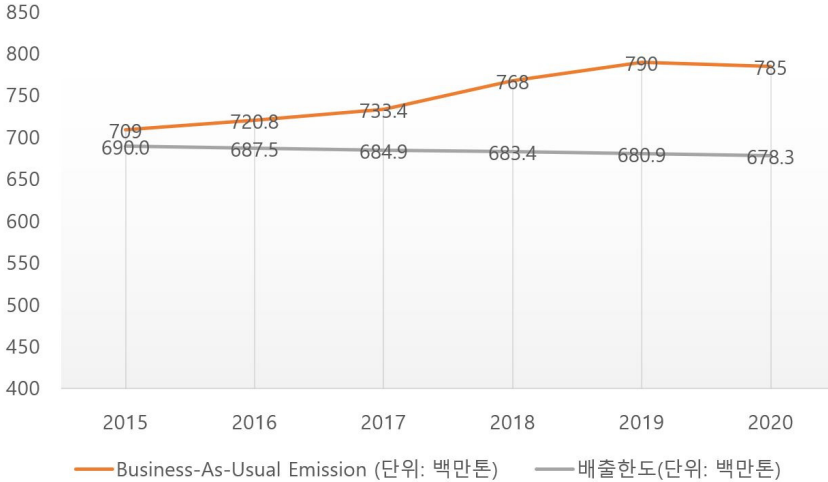
2차 계획기간 내에 적용되는 이월제한은 제1차 이행연도(2018)의 경우 배출권 순매도량의 3배 혹은 특정값, 2차 이행연도(2019)의 경우 순매도량의 2배 혹은 특정값까지 이월 가능하다. 특정값의 성격의 경우 업체의 규모를 크게 2단계(연평균 배출량이 12.5만 tCO₂-eq 이상, 연평균 배출량이 2.5만 tCO₂-eq 이상)으로 구분하여 2018년의 경우 7.5만/1.5만 톤, 2019년의 경우 5만/1만 톤으로 정하였다. 그러나 업체 간 기준 배출량의 구분의 매우 크게 분류되어 있어서 배출권의 공급여력이 큰 대규모 할당업체들에 있어서 특정값은 큰 의미가 없을 뿐만 아니라, 배출권 잉여군 및 부족군이라는 2개의 대표 기업을 상정해 모형화하는 본고의 취지와도 맞지 않기 때문에 수식을 통한 이월제한은 다음과 같이 재정의하여 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widehat{B}_i[t] &= \text{Min} [B_i[t], \quad 3 \cdot (q_{-i}[t] - q_i[t])] & t = 2018 \\ \widehat{B}_i[t] &= \text{Min} [B_i[t], \quad 2 \cdot (q_{-i}[t] - q_i[t])] & t = 2019 \end{aligned} \quad (8)$$

이상의 식들을 연립방정식 형태로 GAMS(General algebraic modeling system) 프로그램 하 PATH 패키지로 실행하였다.

2. 데이터 및 모형의 가정

〈그림 1〉 연도별 BAU 및 배출허용목표치 추이



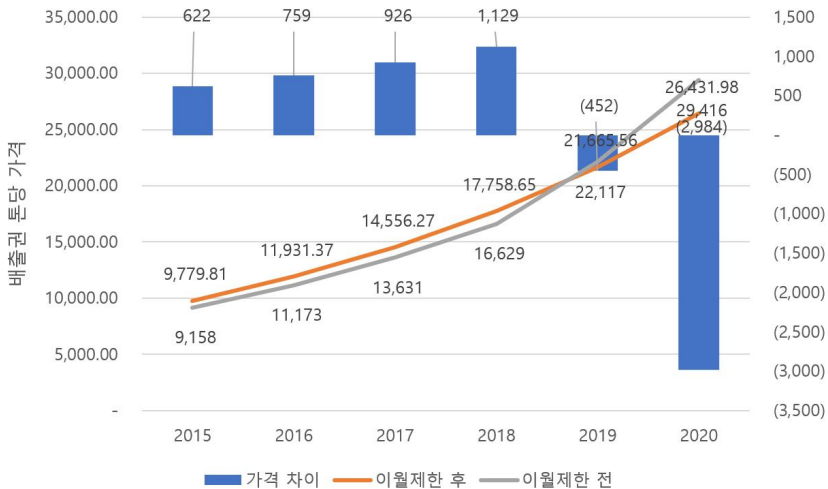
모형 내의 주요 파라미터에 대한 전제는 다음과 같다. 한계저감비용에 대해서는 아직 많은 논란이 있고 공식적으로 공개된 산업별 한계저감비용도 없다. 이에 본고에서는 현재 2차함수 형태의 한계저감비용 함수형태를 가정하고 계수는 모형에서 구현한 가격이 과거(2015~2019) 배출권가격 수준과 유사하게 만드는 값을 사용한다. 다만 배출권 잉여군의 한계저감비용은 부족군의 절반으로, 할당비율도 잉여군은 전체 할당량의 70% 및 부족군은 30%를 받는다고 가정하여 인위적으로 잉여/부족군을 설정한다. 본고에서는 특정 산업군의 이익여부 혹은 미래 가격 예측보다는 이월제한 정책이 미치는 파급효과 분석을 목표로 하므로 앞서 설정한 계수 값에 대한 대략적인 가정은 결과에 영향을 미치지 않는다.²⁾

2) 잉여 혹은 부족여부는 평균을 기준으로 임의적으로 두 그룹으로 나눠 분석되므로, 정의된 그룹에 대해 현실적으로 공개된 한계저감비용 자체도 공개된 정보가 존재하지 않고 다양한 산업군을 망라하는 할당업체를 분할하는 현실적인 기준도 없는 상황이다. 본고는 이월제한에 대한 순수한 가상 수치분석에 의한 정책의 향방을 가늠해보는 것 자체를 목적으로 하기에, 할당비율 자체도 잉여군은 좀 더 많이 잉여가 남게, 부족군은 더 부족하게 하는 역할에 지나지 않다. 또한 할당비율과 한계저감비용이란 가상적 외생변수가 각 2개이므로, 본고에서 현실의 배출권 가격을 맞추기 위해 가상적 외생변수를 어차피 상호 간에 조정해야 한다는 면을 감안하면 해당변수에 대한 별도의 민감도 분석은 큰 의미가 없다 할 수 있다(Yu and Mallory, 2015).

Ⅲ. 수치분석 결과

본고에서는 배출권을 할당받는 기업을 배출권의 상대적인 잉여 여부에 따라 임의로 배출권이 남는 잉여군과 부족한 부족군으로 그룹을 2개로 나눈다. 시뮬레이션되는 가격 수준이 최근 가격과 비슷한 수준이라는 전제하에서 부족군의 한계저감비용이 잉여군의 2배가 된다고 가정한다. 한계저감비용이 높을수록 GHG 저감이 어렵고 따라서 배출권이 부족해지기 때문이다.

〈그림 2〉 연도별 가격 시뮬레이션

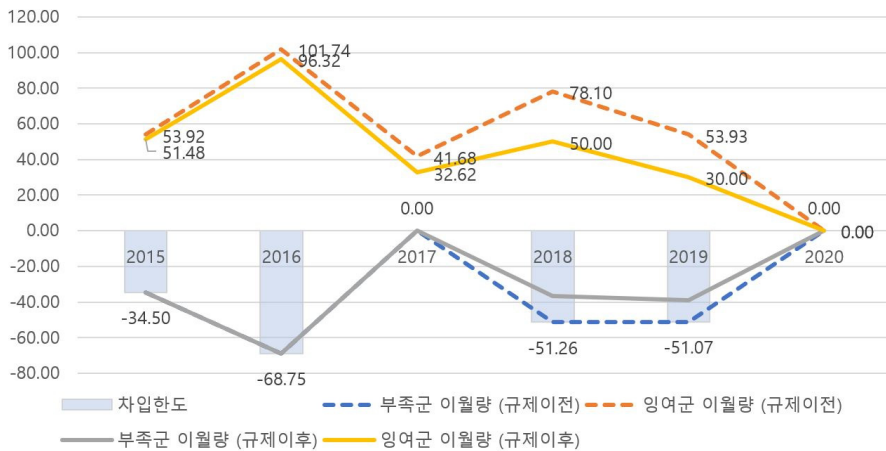


〈그림 2〉는 원달러 환율(2019년 8월 31일 기준)을 이용해 달러 기준으로 환산한 2030년까지의 배출권 가격의 추이를 보여준다. 실제 1차 계획기간 말 당시에도 배출권 가격은 오버슈팅되었다가 본격적으로 2차 계획기간의 배출권이 할당되면서 가격이 하향 조정된 바 있다. 이러한 현상은 차입 한도까지 배출권을 미래 이행연도까지 끌어 쓰다가 계획기간 말 차입한도가 0이 되면서 마지막 해에 배출권 부족으로 가격 급등한 것으로 설명 가능하다. 이후 다시 새로운 계획기간이 시작되면서 가용 차입량이 원상 복구되고 배출권 공급이 증가하면서 변동성이 커진 것으로 이해할 수 있다(유종민·이지용, 2019).

본 모형에서도 이러한 현상은 유사하게 발생하는 데, 실제로 배출권의 초과공급이 있었던 1차 계획기간에서는 관찰되지 않고, 배출권의 시장 물량 부족이 심해지는 후기로 갈수록 이러한 가격 변동폭이 커진다.

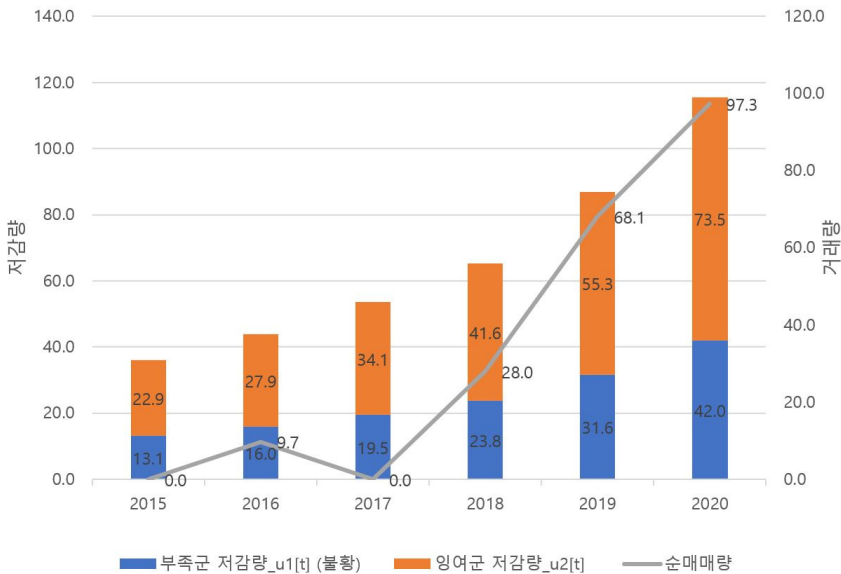
2018년이나 2019년에 이월규제가 존재할 경우 <그림 2>는 전반적으로 규제 이전보다 규제 이후에 전체 기간에 걸쳐 가격 수준이 하향하는 것을 보여준다. 이는 전체 GHG 저감 수준에는 영향을 미치지 않으면서도 가격만 낮춤으로써 할당 대상 기업들의 배출권 매입 부담을 줄여주고자 하는 정책목표에 부합하는 것이라 할 수 있다. 구체적으로는 배출권 잉여군으로 하여금 배출권 이월을 제약하여 잉여 배출권을 부족군에게 팔도록 강제함으로써, 한계저감비용이 낮은 잉여군이 더 많은 저감을 하도록 하여 사회 전체적으로도 더 싼 값에 온실가스를 감축하도록 유도하기 때문이다. 매매가 이뤄지지 않을 경우 잉여군과 부족권의 한계저감비용 격차가 발생함에도 불구하고 이를 균등화시키기 위한 과정이 일어나지 않아 비효율이라고 할 수 있다. 반면, 강제로 배출권을 매도해야 하는 잉여군 입장에서는 이월을 통한 현재와 미래의 한계저감비용 균등화 과정에서 비효율이 발생할 수밖에 없다.

(그림 3) 이월/차입량 및 한도 시뮬레이션(y축: 백만 톤 CO₂ equivalent)



<그림 3>은 차기 이행연도로의 이월량이 배출권의 순매도량의 특정 배수를 넘을 수 없도록 한 정책이 부족군/잉여군 각각의 이월차입량에 미치는 영향을 분석한다. 정책의 도대로 이월규제 후 잉여군의 이월량인 $B[t]$ 는 감소한 반면 잉여군으로부터 매각된 배출권을 매수한 부족군의 이월량은 증가하였다. 다만 이러한 효과는 동일한 규제가 유지되지 않는다면 <그림 2>와 마찬가지로 그 효과가 규제 이전의 기간에 현격하게 나타나고, 3차 계획기간 이후(2020년 이후)에는 부족 및 잉여군의 규제 전후 이월량 차이는 거의 존재하지 않는다. 이를 통해 특정 연도에 이월제한 규제가 있을 경우, 시장 참여자들은 규제 시점 그 이전부터 이에 대응하고, 실제 이월량 측면에서의 규제충격은 계획기간의 변경을 거치며 양측에서 완전히 사라진다는 것을 알 수 있다.

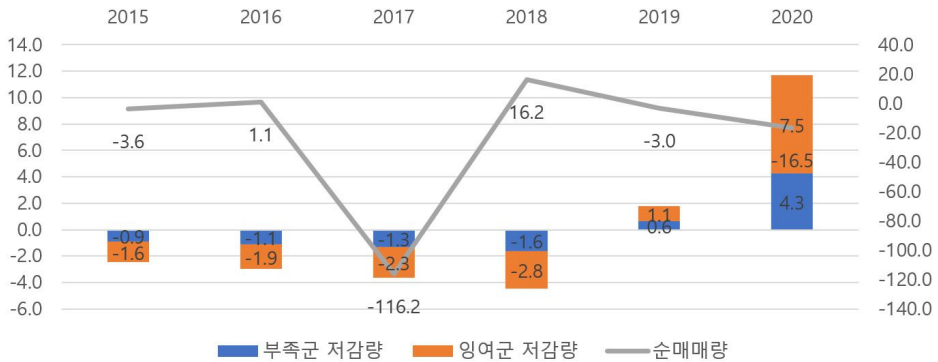
<그림 4> 잉여군/부족군 저감 추이 및 순거래량(y축: 백만 톤 CO₂ equivalent)



<그림 4>의 막대그래프는 이월규제 조치 이전 잉여군 및 부족군의 온실가스 저감 추이이고, 선그래프는 순매매량이다. 이 그래프를 통해 시장 참여자들에게서 공통적으로 저감량이 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이러한 결과는 <그림 1>에서와 같이 온실가스 저감필요량(=BAU-배출한도)의 지속적 증가를 가정하기 때문이다. 모형 최적화 과정에

따라 기업들은 매기간 저감 필요량, 배출권의 쿠르노 균형가격, 최적 배출권 이월 및 차입량, 배출권 거래량 등과 함께 전체 기간 동안 최적의 저감량을 배분 및 결정한다. 거래량과 관련해서는 실제 시장에서 일어나는 현상과 유사하게 각 계획기간의 마지막 이행연도에 가장 많은 거래량이 발생한다. 마지막 이행연도에 발생하는 최대 거래량은 계획기간별로 유사한 수준이지만, 계획기간 초중반에 발생하는 평균적인 거래량은 이후 계획기간으로 갈수록 전반적으로 상승한다.

<그림 5> 이월제한 조치 시 저감 및 순거래량의 변화량(y축: 백만 톤 CO₂ equivalent)



<그림 5>는 이월규제 이후 <그림 4>에서의 저감량 및 거래량이 한계적으로 얼마만큼 변했는지를 나타낸다. 이월규제가 본격적으로 발동되는 2018년까지는 지속적으로 규제가 없었을 경우와 대비해 저감량이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 이월을 통한 미래의 이행비용 감소가 어려워지면서 이월을 위한 현재의 저감폭이 감소하기 때문으로 판단된다. 가격의 하락으로 인해 감축 인센티브가 약해지는 것으로 해석 가능하다. 그러나 이월규제가 완화된다고 가정한 2019년부터 저감량은 규제 이전보다 크게 증가하게 되고 2차 계획기간 직전까지 총 누적 저감 폭은 이월규제 이전과 비교해 원상 복구된다. 거래량 또한 규제기간 이전에 크게 감소하는 데, 잉여군이 저감활동을 지속하면서 남은 배출권을 판매하기보다는, 저감폭을 감소시킴으로써 오히려 판매량은 줄어들게 되는 현상을 볼 수 있다. 다만, 본고의 모형에서는 이월제한 조치가 사전에 공지되어 있을 경우를 가정하기 때문에 이러한 사전 저감 감소가 발생하는 것으로 보인다.³⁾

IV. 결론 및 정책적 시사점

본고는 이월제한 정책이 배출권 시장 안정화 정책으로서 매매수요를 기반으로 정의 될 경우에 온실가스 저감 및 가격 등에 미치는 영향을 분석하였다. 지난 연구 중 2차 계획 기간 중 이월제한 효과를 계량적으로 분석한 유종민·이지웅(2020) 연구가 있으나, 이러한 규제는 기본적으로 규제가 없었을 경우를 상정해 비교해야 하고 단지 시간적인 전후만을 고려해서 효과를 분리해낼 수는 없기 때문에 본고에서 시도한 동적 비선형 수리모형을 통한 분석은 이전의 연구와 명확한 차별점을 갖는다.

시뮬레이션 분석 결과 정책 의도대로 이월제한에 따라 배출권 잉여군으로부터 부족군으로의 이월을 위한 강제적인 매물 출하가 있었고 배출권 가격은 해당 기간 동안 인하 효과가 있었던 것으로 나타났다. 가격이 낮아지는 만큼 저감 압력도 줄어들어 동 기간 동안 잉여/부족 양 측에서의 저감량 역시 감소한다. 부족군은 저감 대신 매물로 출하되는 배출권을 매입할 것이고, 잉여군은 추가 저감해봐야 최선책이라고 할 수 있는 이월을 하지 못하고 매도라는 차선밖에 없으므로 저감이 줄어드는 것으로 해석할 수 있다. 하지만 기업들의 장기적인 비용 최소화 과정에서 규제 이후에는 다시 가격이 원상복귀를 넘어 그 이상으로 폭등할 수도 있다는 점에서, 기업들의 부담 측면에서 혹은 정책의 일관성 측면에서도 이월제한 정책은 재고의 대상이라 할 수 있다.

향후 추가적인 연구로서 2025년 이후에 3차 계획기간 이후까지 논의를 확장하거나, 예측불가 외생적 이벤트를 감안한 실증분석도 의미 있을 것으로 보인다. 본고에서는 제도의 탄생 배경인 가격의 지속적 상향을 전제로 하고 있기 때문에 이러한 돌발상황 혹은 불확실성을 가정할 수 없으나, 이러한 상황을 포함한 3차 계획기간의 배출권 정산이 완료된 2025년 이후에는 추가적인 연구가 가능할 것으로 보인다.

3) 2019년 당시 한국에서는 당해 제도를 수정하여 예측이 되던 상황이 아니었으므로 실제 상황과는 다른 시장 상황, 즉 잉여군이 이월제한 조치를 피해서 부족군으로 배출권을 대량 판매하는 상황이 발생하였다.

[References]

- 김규림·유종민·김지태, “배출권 시장안정화 정책수립 방향 및 쟁점”, 『환경정책』, 제24권 제2호, 2016, pp. 189~210.
- 배경은·유태중·안영환, “배출권거래제 가격상하한제가 배출량 및 감축비용에 미치는 영향에 대한 정량적 연구”, 『자원·환경경제연구』, 제31권 제2호, 2022, pp. 261~290.
- 유종민·이지용, “한국 배출권거래제 1 차 계획기간 중 배출권 차입한도 효과 분석”, 『한국기후변화학회지』, 제10권 제1호, 2019, pp. 71~78.
- 유종민·이지용, “온실가스 배출권 이월제한이 배출권가격에 미친 효과”, 『한국기후변화학회지』, 제11권 제3호, 2020, pp. 177~186.
- 이정은·조용성·이수철, “한국형 온실가스 배출권 거래제도 활성화를 위한 EU 및 일본 사례 비교 연구”, 『한국기후변화학회지』, 제6권 제1호, 2015, pp. 11~19.
- 정경화·심성희, “쿠르노 경쟁하의 배출권 이월 및 차입과 감축기술개발투자”, 『환경정책연구』, 제14권 제4호, 2015, pp. 63~101.
- 조현진·김하나, “배출권거래제의 시장안정화방안에 관한 법정정책적 연구”, 『환경법연구』, 제38권 제1호, 2016, pp. 279~304.
- 채종오·박선경, “한국의 탄소배출권 거래제 시행 1 년 후 현황과 개선방안”, 『한국기후변화학회지』, 제7권 제1호, 2016, pp. 41~48.
- 한현옥, “정책논문: 배출권 가격 변동성 안정화 장치에 대한 연구”, 『여성경제연구』, 제11권 제1호, 2014, pp. 271~293.
- 홍원경, “국내 배출권거래제도 개선 방안”, 『한국기후변화학회지』, 제7권 제2호, 2016, pp. 121~135.
- 홍이슬·오형나·홍종호, “EU-ETS 배출권가격 결정요인 분석: 과잉할당량을 중심으로”, 『경제학연구』, 제64권 제3호, 2016, pp. 91~123.
- Ağralı, S., F. G. Üçtuğ, and B. A. Türkmen, “An optimization model for carbon capture & storage/utilization vs. carbon trading: A case study of fossil-fired power plants in Turkey,” *Journal of environmental management*, Vol. 215, 2018, pp. 305~315.
- Böhringer, C., T. Hoffmann, and C. Manrique-de-Lara-Peñate, “The efficiency costs of separating carbon markets under the EU emissions trading scheme: A quantitative assessment for Germany,” *Energy Economics*, Vol. 28, No. 1, 2006, pp. 44~61.

- Bonenti, F., G. Oggioni, E. Allevi, and G. Marangoni, "Evaluating the EU ETS impacts on profits, investments and prices of the Italian electricity market," *Energy Policy*, Vol. 59, 2013, pp. 242~256.
- Cason, T. N., and L. Gangadharan, "Emissions variability in tradable permit markets with imperfect enforcement and banking," *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 61, No. 2, 2006, pp. 199~216.
- Fell, H., D. Burtraw, R. D. Morgenstern, and K. L. Palmer, "Soft and hard price collars in a cap-and-trade system: A comparative analysis," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 64, 2012, pp. 183~198.
- Godby, R. W., S. Mestelman, R. Muller, and J. Welland, "Emissions Trading with Shares and Coupons when Control over Discharges Is Uncertain," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 32, 1997, pp. 359~381.
- Grosjean, G., W. Acworth, C. Flachsland, and R. Marschinski, "After monetary policy, climate policy: is delegation the key to EU ETS reform?" *Climate Policy*, Vol. 16, 2014, pp. 1~25.
- Helm, D., C. Hepburn, and R. Mash, "Credible Carbon Policy," *Oxford Review of Economic Policy*, Vol. 19, 2003, pp. 438~450.
- Jacoby, H. D., and A. Ellerman, "The safety valve and climate policy," *Energy Policy*, Vol. 32, 2004, pp. 481~491.
- Kim, W., and J. Yu, "The effect of the penalty system on market prices in the Korea ETS," *Carbon Management*, Vol. 9, 2018, pp. 145~154.
- Murray, B., R. Newell, and W. Pizer, "Balancing Cost and Emissions Certainty: An Allowance Reserve for Cap-and-Trade," *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 3, No. 1, Winter 2009, <https://doi.org/10.1093/reep/ren016>
- Pizer, W. A., "Combining price and quantity controls to mitigate global climate change," *Journal of Public Economics*, Vol. 85, 2002, pp. 409~434.
- Qi, T., and Y. Weng, "Economic impacts of an international carbon market in achieving the INDC targets," *Energy*, Vol. 109, 2016, pp. 886~893.
- Richstein, J. C., É. J. Chappin, and L. J. de Vries, "The market (in-) stability reserve for EU carbon emission trading: Why it might fail and how to improve it," *Utilities Policy*, Vol. 35, 2015, pp. 1~18.

- Schopp, A., W. Acworth, D. Huppmann, and K. Neuhoff, *Modelling a Market Stability Reserve in Carbon Markets*, Discussion Papers 1483, Berlin, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, 2015.
- Taschini, L., K. Sascha, and C. Duffy, *System responsiveness and the European Union emissions trading system*, Policy Paper January 2014, London, The Centre for Climate Change Economics and Policy, 2014.
- Yu, J., and M. L. Mallory, “An optimal hybrid emission control system in a multiple compliance period model,” *Resource and Energy Economics*, Vol. 39, 2015, pp. 16~28.