

불완전경쟁시장에서의 배출권 거래제도의 효율성

윤 경 수

(한국개발연구원 부연구위원)

Efficiency of the Emission Trading Scheme in Imperfectly Competitive Markets

Kyoung-soo Yoon

(Associate Research Fellow, Korea Development Institute)

* 본 논문의 일부 내용은 윤경수·송민규(2010)에 기초하여 작성된 것임을 밝힌다. 본 연구에 대해 귀중한 조언을 해주신 Stephen Howes 교수, James Roumasset 교수, 송민규 박사, 오형나 박사과 익명의 두 검토자에게 감사를 드린다.

** 윤경수: (e-mail) yoonks@kdi.re.kr, (address) Korea Development Institute, Hoegiro 47, Dongdaemun-gu Seoul, Korea.

• Key Word: 배출권 거래제도(Emission Trading Scheme), 저감투자(Abatement Investment), 쿠르노 경쟁 (Cournot Competition)

• JEL Code: D43, L13, Q53, Q55

• Received: 2011. 12. 9 • Referee Process Started: 2011. 12. 16

• Referee Reports Completed: 2011. 12. 30

ABSTRACT

This study examines the equilibrium investment on the pollution abatement when firms are facing Cournot competition in the output market while the pollution permit market is perfectly competitive. Unlike standard perfect competition scenario, the abatement investment delivers an indirect effect in which it reduces other firms' equilibrium output. Consequently, compared with the socially optimal level, overinvestment arises. I also overview the potential inefficiencies that imperfect market structure induces under the emission trading scheme, presenting policy implications.

본고는 산출물시장이 과점적이고 동질적 상품이 거래되어 기업들이 생산량 경쟁을 하고 배출권시장은 완전경쟁적일 경우, 기업이 지출하는 저감투자량의 적절성을 이론적으로 분석한다. 산출물시장이 완전경쟁적일 때와는 달리 저감투자는 직접적으로 배출비용을 줄이는 효과 이외에 다른 기업의 산출물을 줄이는 간접적 효과를 발생시킨다. 균형하에서의 저감투자량은 사회적으로 최적인 저감투자량에 비해 생산량 대비 과잉투자를 야기하여 투자배분을 왜곡한다. 본고는 또한 불완전경쟁시장이 배출권 거래제도하에서 발생시킬 수 있는 비효율성의 제반 요인들을 검토하고 정책적 시사점을 제시한다.

I. 연구의 필요성 및 목적

본고에서는 산출물시장이 불완전경쟁적인 산업이 배출권 거래제도의 규제하에 있을 경우 발생하는 효율성 왜곡의 가능성을 검토한다. 특히 산출물시장에서 기업들이 생산량 경쟁을 하고 있는 경우를 이론모형을 통해 분석한다. 이때 산출물시장과 배출권 거래제도의 상호작용이 기업들의 저감투자 유인체계에 미치는 영향을 살펴보고 그 정책적 함의를 제시하는 것이 본고의 주된 목적이다.

기후변화의 주요인이 화석연료의 사용으로 인한 온실가스 배출량의 증가임이 밝혀짐에 따라 기후변화의 완화(climate change mitigation)를 위한 핵심 과제로 온실가스의 감축 문제가 대두되고 있다. 우리나라는 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention for Climate Change: UNFCCC)하에서 기후변화와 관련하여 구속력 있는 의무를 부담하고 있지 않으나, 배출량과 경제규모 등으로 볼 때 향후 최소한 개도국과는 차별화된 감축행동 혹은 감축의무의 이행이 요구되고 있다.¹ 이에 정부는 2009년, 각계의 의견수렴을 거쳐 온실가스 중기감축목표를 제시하고, 2010년에는 「저탄소녹색성장기본법」(이하 「기본법」) 및 동법의 시행령 제정을 통해 기후변화 대응을 위한 온실가스 감축의 의지를 표명하였다. 특히 기본법 시행령에서는 2020년까지 온실가스를 BAU(Business-as-usual) 대비 30% 감축하도록 중기감축목표를 설정, 제시한 바 있다.

온실가스 감축목표를 달성하기 위해 다양한 정책과 제도가 제시되어 있으나, 그중 효율성 측면에서 우월한 제도로 제시되고 있는 것이 배출세와 배출권 거래제이다. 우리나라의 경우에도 「기본법」 제38조에서 “가격기능과 시장원리에 기반을 둔 비용효과적 방식의 합리적 규제체제 도입”과 탄소시장 활성화를 제시하고 있으며, 제46조에서는 시장기능을 활용하여 효율적으로 감축목표를 달성하기 위해 총량제한 배출권 거래제의 도입을 제시하고 구체적 방안을 담은 「온실가스배출권거래제에관한법률」이 2011년 6월 현재 입법 예고되어 있다. 또한 「기본법」 제30조에서는 “환경친화적인 재화와 서비스를

1 우리나라는 2007년 기준으로 GDP당 이산화탄소 배출량이 0.46 tCO₂/USD(2000년 PPP 기준)로 세계 9위에 달하고, 1990년부터 2007년 사이의 배출 증가율이 OECD 국가 중 가장 높은 수치를 보이고 있다(IEA[2009]).

촉진하는 방향으로 국가의 조세제도를 운영"해야 한다고 밝힘으로써 향후 조세제도의 개편 등을 통해 탄소세를 도입할 수 있는 근거를 부여하고 있다.

배출권 거래제도와 탄소세는 공히 배출 주체들로 하여금 한계저감비용이 같아지는 수준에서 배출량을 결정하도록 유도함으로써 비용효율성을 달성한다.² 다만, 탄소세가 가격규제(price regulation)인 반면, 배출권 거래제도는 총량적인 의미에서 물량규제(quantity regulation)의 성격을 가진다. 배출권 거래제도의 물량규제적 성격은 배출량의 사전적 감축목표를 확실히 달성할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 시장메커니즘이 적절히 작동하지 않을 경우, 시장가격이 근저의 경제적 상황을 반영하지 못하고 왜곡되어 효율성이 훼손될 가능성이 있다.³

시장메커니즘이 적절히 작동하지 못하는 대표적 예로 배출권시장 혹은 산출물시장이 독과점적이거나 담합이 이루어지는 불완전경쟁시장인 경우가 있다. 이 경우 시장력(market power) 행사 및 기타 전략적 행위로 가격체계가 왜곡될 수 있다. 특히 우리나라의 경우, 에너지 다배출 산업의 시장집중도가 상당히 높아, 이들이 주요 참여자가 될 배출권 거래제도가 이러한 문제에 노출될 가능성이 적지 않다.

〈Table 1〉은 우리나라의 산업별 온실가스 배출량 추이를 배출비중이 크거나 그 증가세가 큰 부문을 중심으로 보여주고 있으며, 〈Table 2〉에는 2006년 기준 일부 산업의 시장집중도가 제시되어 있다. 이에 의하면 우리나라 온실가스 배출에서 전기·가스 등 에너지 부문과 금속 및 비금속 부문, 석유·석탄화학 부문이 차지하는 비중이 상당함을 알 수 있다. 이 중 전력부문은 온실가스 배출이 많은 석탄발전 및 가스발전이 한전에서 분리된 공기업(현 한전자회사)에 의해 시장의 상당 부분이 점유되어 있고, 천연가스부문은 한국가스공사의 점유율이 절대적이다. 그 외 민간부문을 살펴보면, 석유화학부문에 속하는 원유정제 처리업과 석유화학계 기초화학물 제조업, 금속 및 비금속 부문에 속하는 냉간 압연 및 압출제품 제조업, 열간 압연 및 압출제품 제조업, 동 제련, 정련 및 합금 제조업, 연 및 아연 제련, 정련 및 합금제조업 등의 산업에서 CR3나 HHI(Herfindahl-

2 온실가스 감축정책, 특히 대표적 정책수단으로서의 탄소세와 배출권 거래제도에 대해서는 국내에서도 이미 많은 연구가 진행된 바 있다. 제도의 개괄적 소개와 우리나라에서의 적용에 대해서는 김승래(2008)와 김용건(2008)을 참조할 수 있다.

3 이 외에도 물량규제적 성격으로 인한 문제점으로 저감기술 등의 불확실성이 클 경우 배출권 거래제도가 탄소세에 비해 큰 사회적 후생의 손실을 가져온다는 점이 제시된 바 있다. 이에 대해서는 Roberts and Spence(1976), Pizar(2002), Murray *et al.*(2009)과 이들의 논의를 정리한 윤경수·송민규(2010)를 참조하라.

〈Table 1〉 GHG Emission Trends by Sector

(Unit: thousand tCO₂, %)

	GHG Emission				Growth Rate
	1995	1998	2001	2004	1995~2004
Agriculture, Forestry and Fishing	25,943 (6.8)	26,323 (6.7)	26,868 (5.7)	24,498 (4.8)	-5.6
Mining	2,565 (0.7)	1,794 (0.5)	1,831 (0.4)	1,109 (0.2)	-56.8
Manufacturing	176,261 (45.9)	182,851 (46.4)	212,383 (44.7)	219,674 (43.0)	24.6
Petroleum, Coal, Chemical Products	34,785 (9.1)	43,454 (11.0)	43,630 (9.2)	50,385 (9.9)	44.8
Non-metallic Mineral Products	47,723 (12.4)	40,160 (10.2)	44,702 (9.4)	44,499 (8.7)	-6.8
Metal Products	51,524 (13.4)	55,253 (14.0)	64,352 (13.6)	68,634 (13.4)	33.2
Machinery, Electrical and Electronic Equipment	9,517 (2.5)	12,969 (3.3)	23,501 (5.0)	22,103 (4.3)	132.2
Transport Equipment	4,539 (1.2)	4,918 (1.2)	8,380 (1.8)	8,439 (1.7)	85.9
Furniture and Other Products	11,556 (3.0)	10,619 (2.7)	12,852 (2.7)	12,768 (2.5)	10.5
Electricity, Gas, and Water Supply	84,719 (22.1)	97,258 (24.7)	141,370 (29.8)	169,914 (33.2)	100.6
Construction	2,457 (0.6)	2,053 (0.5)	2,468 (0.5)	2,489 (0.5)	1.3
Service	91,945 (24.0)	84,125 (21.3)	89,741 (18.9)	93,560 (18.3)	1.8
Transportation, Storage, and Communication	34,063 (8.9)	33,252 (8.4)	37,999 (8.0)	40,988 (8.0)	20.3
Real Estate and Business Service	3,123 (0.8)	3,499 (0.9)	4,049 (0.9)	5,781 (1.1)	85.1
Education	2,076 (0.5)	2,785 (0.7)	3,823 (0.8)	5,016 (1.0)	141.6
Other Service	23,784 (6.2)	20,334 (5.2)	21,332 (4.5)	20,733 (4.1)	-12.8
All Industries	383,890 (100)	394,404 (100)	474,661 (100)	511,244 (100)	33.2
Household Sector	67,930	57,483	72,377	76,012	11.9
Total Sales	451,820	451,887	547,038	587,256	33.0

Note: Numbers in parenthesis show component ratio by sector.
Source: Bank of Korea(2008).

Hirschman Index)⁴ 수치를 통해 볼 때 시장집중도가 상당히 큼을 알 수 있다. 물론 높은 시장집중도가 반드시 낮은 경쟁도를 의미하는 것은 아니지만, 그 시장이 완전경쟁 균형하에 있지 않을 개연성은 상당히 존재한다고 볼 수 있다.

〈Table 1〉과 〈Table 2〉로부터 추론할 수 있는 또 다른 사실은 배출량이 크고 시장집

4 CR3는 시장점유율이 상위인 3개 기업의 시장점유율(%)의 합으로 정의되며, HHI는 각 기업의 시장점유율(%)의 제곱의 합으로 정의된다.

〈Table 2〉 Concentration of Top 20 (Shipment Based) Industries (2006)

(Unit: Million Won, %)

Ranking	Item	Shipment	CR3	HHI
1	Manufacture of Passenger Motor Vehicles	17,646,028	90.3	3,120
2	Petroleum Refineries	17,434,712	79.5	2,410
3	Manufacture of Electronic Integrated Circuits	14,952,068	83.3	3,620
4	Manufacture of Flat Display Boards	11,700,660	70.0	1,910
5	Manufacture of Cold Rolled, Drawn and Extruded Iron or Steel Products	8,901,706	83.3	5,540
6	Manufacture of Broadcasting and Wireless Telecommunication Apparatuses	8,057,323	70.1	2,360
7	Building of Ships	5,760,093	72.6	2,200
8	Manufacture of Hot Rolled, Drawn and Extruded Iron or Steel Products	5,358,307	78.9	2,690
9	Manufacture of Smelting, Refining and Alloys of Copper	4,526,871	95.7	7,980
10	Manufacture of Storage Units	2,418,925	91.3	6,910
11	Manufacture of Television, Video and Other Audio Equipment	2,386,839	59.1	1,500
12	Manufacture of Nuclear Reactors and Steam Generators	2,149,590	90.2	7,590
13	Manufacture of Smelting, Refining and Alloys of Lead, Zinc and Tin	2,086,342	94.4	5,460
14	Manufacture of Basic Organic Petrochemicals	2,035,326	58.8	1,500
15	Manufacture of Tobacco Products	1,998,257	99.9	6,780
16	Manufacture of Laboratory and Other Industrial Glassware	1,964,652	72.5	2,940
17	Manufacture of Motor Vehicles for Transport of Goods and Special Purpose	1,940,000	100.0	6,520
18	Manufacture of Tires and Tubes	1,630,009	91.2	3,350
19	Manufacture of Locomotives and Railway Rolling Stock	1,550,863	99.4	8,880
20	Manufacture of Civil Engineering and Similar Machine Equipment	1,255,539	64.0	1,930

Source: Korea Fair Trade Commissions (2008).

중도가 높은 업종의 다수가 동질적(homogeneous) 상품을 생산하며, 종종 생산용량이 경쟁에 중요한 역할을 한다는 점이다. 전력, 천연가스 등 에너지부문, 석유화학부문, 금속·비금속 부문 등에 속하는 다수의 업종이 비교적 동질적 상품을 생산하고 있으며, 대규모 장치산업의 특성상 생산용량이 경쟁에 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 산업에 속한 기업들은 상품시장에서 가격경쟁보다는 생산량 경쟁을 하고 있을 가능성이 크며, 이 경우 시장균형이 완전경쟁시장과는 다른 양상을 보일 개연성이 있다. 따라서 이에 대한 분석은 배출규제의 효율성을 논의할 때 중요한 시사점을 제공할 수 있다.

불완전경쟁시장에서의 배출권 거래제도의 효율성에 대해서는 다수의 선행 연구가 존

제한한다. 우선 Hahn(1982)은 배출권이 무상으로 할당될 경우 발생시킬 수 있는 문제에 주목하였다. 또한 Lioski and Monteo(2005)는 Hahn(1982)을 확장하여 거래시장을 고려했을 때의 배분적 및 동학적 효율성 문제를 다루었고, van Egteren and Weber(1986)는 시장력 행사가 가능한 기업이 있는 불완전경쟁시장에서 규제 순응성(compliance)의 문제를 분석하였다. 한편, Montero(2002)는 명령·통제(command-and-control), 무상할당 배출권제도(grandfathering permit), 경매할당 배출권제도(auctioned permit)의 배출규제제도를 기술혁신(technology innovation)에 대한 투자유인 측면에서 비교·분석하였는데, 그는 배출권시장이 비경쟁적일 경우, 산출물시장이 경쟁적일 경우와 비경쟁적일 경우를 상정하였다. Montero(2002)에 의하면 혁신투자는 비용감소를 통한 직접적 효과(direct effect) 외에도 일출(溢出)효과(spillover effect)를 고려하는 전략적 효과(strategic effect)를 양산한다. 그는 배출권 거래제도하에서 혁신투자가 배출권 가격을 낮추어 경쟁기업의 산출물을 늘리게 되어 그 유인이 줄어들 수 있으며, 따라서 기존 연구와는 달리 배출규제 방식 간 일의적인 혁신투자의 순위는 정해지지 않는다고 지적하였다.

상기한 선행 연구는 대부분 배출권시장이 불완전경쟁적일 경우를 모형화한다. 그러나 이러한 상황이 여타 오염물질을 규제하는 배출권 거래제도에 대한 분석으로는 매우 유용하나, 온실가스 배출권 거래제도에 적용하기에는 다소 무리가 있다. 여타 오염물질의 경우 규제가 지역적이며, 동일한 기업이 산출물시장과 배출권시장에서 경쟁하게 되지만, 온실가스의 경우 규제의 범위가 광범위하여 상이한 산업에 속한 기업들이 배출권시장에서 경쟁하게 되는 경우가 일반적이다. 또한 배출권은 상당히 동질적(homogeneous)⁵이어서 차별적(differentiated) 상품을 통한 경쟁이 쉽지 않다. 즉, 온실가스 배출권 거래제도의 경우 배출권시장을 경쟁적으로 보는 것이 보다 합리적이다.

그러나 비록 배출권 거래시장이 경쟁적이어도 산출물시장이 불완전경쟁하에 있을 경우 배출권 거래제도는 비효율을 양산할 수 있다. 이에 대한 대표적 선행 연구로 Sartzetakis(2004)는 특정 산업에서 기업들이 쿠르노 경쟁을 하는 경우를 상정하여 분석하였는데, 그에 의하면 배출권 거래제도는 명령통제적 규제에 비해 비효율을 야기할 수 있다.⁶ 유사한 접근으로 박상하·이상호(2002)는 산출물시장에서 차별화된 상품이 거래될 경우 배출권 거래제도의 후생효과를 명령통제방식의 배출규제와 비교하였다. 이

5 물론 배출권의 경우에도 실행시점(compliance period)이나 배출권 연한(vintage)에 따라 차별성을 가질 수는 있다.

6 이에 대한 간략한 논의는 본고의 제V장에 제시되어 있다.

에 의하면 상품 간 시장점유율의 차이가 큰 경우 배출권 거래제도 도입으로 인한 사회적 후생 증가는 감소한다.

본 연구는 온실가스 배출권 거래제도에 적합하도록 Sartzetakis(2004)와 같이 배출권 시장은 경쟁적이나 산출물시장이 불완전경쟁적인 모형을 제시한다. 모형에서 산출물시장은 복점(duopoly)으로 두 기업은 쿠르노 경쟁(Cournot competition)을 한다. 다만, 본 연구의 모형에서는 Sartzetakis(2004)나 박상하·이상호(2002)와는 달리, 기업이 생산량과 그에 수반하는 배출량을 결정할 뿐만 아니라 생산량 대비 배출량(배출효율)을 감소시킬 수 있는 저감투자량을 결정할 수 있다. 이는 기업들이 복수의 저감방식을 보유하고 있을 경우 효율적인 저감방식의 조합을 선택할 것인가의 여부를 살펴보기 위함이다.⁷

또한 본 연구에서의 저감투자에 대한 분석은 Montero(2002)의 기술혁신투자에 대한 분석과 맥을 같이한다. 다만, Montero(2002)와는 달리 배출권시장은 완전경쟁적이나 산출물시장은 불완전경쟁적인 상황을 주로 분석한다.⁸ Montero(2002)와 본고의 가장 큰 차이점은 정책수단 간 (저감)기술혁신투자를 절대적 수준에서 비교하는 것이 아니라, 사회적으로 최적인 저감투자수준과 시장균형에서의 저감투자수준을 비교한다는 데에 있다. Montero(2002)의 모형은 엄밀한 균형분석을 통한 저감투자량을 도출하기보다는 저감투자가 이윤에 미치는 영향만을 고려하고 있어, 정책수단 간 투자인센티브 비교를 통해 투자순위(R&D ranking)를 도출하는 데에 적합하나 사회적 최적 투자수준과의 비교에는 난점이 있다. 또한 본고의 모형에서는 산출물 생산량과 배출량의 관계를 고정시키는 Montero(2002)의 모형과는 달리 배출량을 저감투자와 생산량의 함수로 상정한 다. 이는 산출물시장과 저감투자의 상호작용을 보다 직접적으로 살펴보기 위함이다.

본고의 분석 결과를 간략히 요약하면 다음과 같다. 각 기업은 저감투자량을 결정한 후 산출물시장에서 쿠르노 경쟁을 한다. 다소 일반적인 조건하에서 각 기업의 저감투자량은 전략적 대체(strategic substitution)관계에 있게 된다. 균형하에서 각 기업의 저감투자는 직접적인 비용감소의 효과뿐만 아니라 다른 기업의 생산량 감소를 통한 간접적 효과를 가지게 된다. 이를 고려하였을 때, 균형저감투자는 사회적 최적과 비교했을 때 생산량 대비 과잉투자를 보이게 된다. 이는 예를 들어 정부의 저감투자에 대한 재원투

7 배출규제하에서 기업은 투입대체, 저감투자, 산출대체 등의 방식으로 배출량을 조절할 수 있다. 이에 대한 자세한 논의는 윤경수·송민규(2010)를 참조하라. 본 연구의 모형에서는 저감투자와 산출대체 간의 관계를 주로 살펴본다.

8 Montero(2002)의 section 10에서도 배출권시장이 완전경쟁인 경우를 간략히 다루고 있다.

자 혹은 기타 지원 시 주의해야 할 요인이 된다.

본고는 다음과 같이 구성된다. 우선 제Ⅱ장에서는 기본모형을 제시한다. 제Ⅲ장에서는 산출물시장이 벤치마크로서 완전경쟁적일 경우 배출권 거래제도의 효율성 달성방식을 살펴본다. 제Ⅳ장에서는 모형의 결과를 제시한다. 마지막으로 제Ⅴ장에서는 본 연구의 결과를 요약, 정리한 후 본 연구와 선행 연구들이 불완전경쟁시장에서의 배출권 거래제도 설계에 주는 시사점에 대해 간략히 논의한다.

Ⅱ. 모 형

모형에 대한 구체적 제시에 앞서 본 연구가 염두에 두고 있는 배출물질 및 배출권 거래제도의 성격에 대해 간략히 언급할 필요가 있다.

우선, 서론에서 언급한 대로 본 연구에서 배출권 거래제도의 대상이 되는 오염물질은 온실가스의 성격을 가진다고 가정한다. 통상 오염물질은 오염의 환경에 대한 공간적, 시간적 영향력의 차이에 따라 ‘균등혼합-흡수 오염물질(uniformly mixed assimilative pollutants)’, ‘비균등혼합-흡수 오염물질(non-uniformly mixed assimilative pollutants)’, ‘균등혼합-축적 오염물질(uniformly mixed accumulative pollutants)’로 구분할 수 있다.⁹ 여기에서 ‘균등혼합’이란 오염물질 배출의 공간적 위치가 환경에 영향을 미치지 않고 오직 배출총량만이 영향을 미치는 것을 의미하고, ‘흡수’란 오염물질이 배출된 시점에서만 환경에 영향을 주고 누적되지 않음을 의미한다. 오염물질이 어떤 종류인지에 따라 비용효율적 배분의 형태와 이를 달성하기 위한 배출권의 설계가 달라진다.

온실가스는 본질적으로 균등혼합-축적 오염물질로 볼 수 있다. 균등혼합 오염물질의 배출규제 문제에서는 각 시점에서의 적정 배출량을 통제해야 하므로 동화모형의 구축이 필요하다. 다만, 특정 시점의 감축목표가 설정되고 이를 공약된 제약(committed constraint)으로 볼 수 있다면 온실가스를 균등혼합-흡수 오염물질로 파악할 수도 있다. 본 연구는 불완전경쟁 산출물시장과 배출권제도의 상호작용을 정태적으로 분석함을 목적으로 한다. 따라서 상기한 맥락과 모형의 단순화를 위해 배출물질을 균등혼합-흡

9 오염물질의 종류와 관련된 자세한 논의는 Tietenberg(2006)을 참조하라.

수오염물질로 간주하고, 배출량에 대한 편익은 직접적으로 존재하지 않으며 단지 고려하는 시점에서 배출총량의 상한이 외생적으로 부여됨을 가정한다.

이제 기본모형을 살펴보자. 각 기업 $j \in J = \{1, 2, 3, \dots | J|\}$ 는 동질적인(homogeneous) 재화¹⁰를 생산하며, 생산과정에서 온실가스를 발생시킨다. 복점모형에서는 $J = \{1, 2\}$ 이다. 산출물 q_j 를 생산하기 위한 비용은 $C_j(q_j)$ 이고, C 는 이계미분 가능하며 $C_j' > 0$, $C_j''(q_j) \geq 0$ 을 만족한다고 가정한다.¹¹

산출물 q_j 를 생산하기 위해 발생하는 배출량 e_j 는 생산량뿐만 아니라 저감시설에 대한 투자에도 의존한다. 이 비용을 k_j 라 하면, 배출량은 $e_j(q_j, k_j)$ 로 표현되며, 이때 e 는 이계미분 가능한 함수로 $\partial e_j / \partial q_j \equiv e_j^1 > 0$, $\partial^2 e_j / (\partial q_j)^2 \equiv e_j^{11} > 0$ 와 함께 $\partial e_j / \partial k_j \equiv e_j^2 < 0$, $\partial^2 e_j / (\partial k_j)^2 \equiv e_j^{22} > 0$ 가 성립한다고 한다. 여기에서 위첨자 1, 2는 각각 첫 번째 변수와 두 번째 변수에 대한 편미분을 나타낸다. 또한 저감투자가 클 경우 생산량이 배출에 미치는 한계적 영향이 감소할 여지가 크므로, $\partial^2 e_j / \partial q_j \partial k_j < 0$ 을 가정한다. 산출물과 배출량 (q_j, e_j) 을 산출하기 위해 소요되는 총비용은 $C_j(q_j) + k_j$ 가 된다.

사회적 최적 저감투자를 살펴보기 위해서는 감축제약이 전제되어야 한다. 여기에서는 각 기업이 배출하는 오염물질의 양은 감축목표에 의하여 E 로 제한된다고 가정한다. 즉, $\sum_j e_j \leq E$ 이다. 그러나 배출총량제약이 해당 시장에 참여하는 기업의 배출량의 합으로 규정되는 이러한 가정은 본고에서 상정하고 있는 상황과 정확히 일치하지는 않는다. 본고에서는 산출물시장이 불완전경쟁적이고 배출권시장이 경쟁적인 상황을 고려하고 있으며, 이는 배출권시장에 다양한 산업에 속한 기업들이 참여하고 있음이 암묵적으로 가정된다. 이러한 가정을 전제한다면, 배출권 거래제도의 적용을 받는 복수의 산업을 포함하고 총량규제는 전체 산업에 적용되는 모형을 구성하고, 그중 산출물시장이 불완전경쟁적인 산업을 분석의 대상으로 할 필요가 있다. 그러나 여기에서는 모형의 단순화를 위해 해당 산업에 배출총량의 제약이 부여되는 상황을 상정한다. 이는 산업에 대

10 박상하·이상호(2002)와 같이 상품차별화된 시장에서의 배출권 거래제도의 효율성도 흥미로운 주제이다. 다만, 온실가스 배출권 거래제도의 경우 주로 대규모 배출기업만을 적용대상으로 하는데, 이때 제도가 적용되는 기업은 주로 중간재를 생산하므로 차별적이지 않은 재화를 생산한다고 보는 것이 일반적이다(Table 1 참조). 따라서 본고에서처럼 산출물의 동질성을 가정하는 것이 합리적으로 판단된다. 다만, 이러한 시장에서도 품질차별화(quality differentiation)나 브랜드 경쟁(brand competition) 등의 상품차별적 요소가 존재할 수 있다.

11 일반적으로 생산비용과 배출에 대한 저감투자는 일정한 관계를 가질 수 있다. 예를 들어 에너지효율을 높이는 설비투자는 한계비용을 감소시킴과 동시에 배출량을 줄이게 된다. 여기에서는 논의의 단순화를 위해 생산비용이 저감투자에 직접적인 영향을 받지 않는 것으로 가정한다.

한 배출총량제약이 각 산업의 비용 및 수요 조건을 반영하여 효율적으로 설정되어 있을 을 암묵적으로 가정하는 것이다. 이때 배출권시장이 완전경쟁적임은 이 시장에서 기업이 가격순응자(price-taker)로 기능하는 것으로 직접 가정한다.

시장에 공급되는 산출물의 총량 $Q = \sum_j q_j$ 에 대한 역수요함수를 $P(Q)$ 로 표현하는데, 집계 문제(aggregation problem)를 배제하기 위하여 대표적 소비자(representative consumer)를 가정한다. 즉, 수요함수는 대표적 소비자의 소비로 인한 한계편익이 된다. P 는 연속적 미분 가능하며(continuously differentiable), $P'(q_j) < 0$ 이 성립한다고 가정한다.

III. 사회적 최적과 배출권 거래제도의 효율성

1. 사회적 최적 저감투자

본 장에서는 위의 기본모형하에서의 사회적 최적 배출량과 저감투자량을 살펴보고, 배출권 거래제도가 이를 달성함을 살펴본다. 이는 이후 불완전시장에서의 배출량 및 저감투자량과의 비교를 위한 벤치마크를 설정하기 위함이다.

사회적으로 최적인 산출량과 저감투자량(e_j^{so}, k_j^{so})은 다음과 같은 최적화 문제를 통해 결정된다.

$$\begin{aligned} \max_{q_j, k_j} & \int_0^{\sum_j q_j} P(Q) dQ - \sum_j (C_j(q_j) + k_j) \\ \text{s.t.} & \\ & \sum_j e_j(q_j, k_j) \leq E, q_j \geq 0 \text{ and } k_j \geq 0 \text{ for all } j \in J \end{aligned} \quad (1)$$

쿤-터커 조건(Kuhn-Tucker condition)을 이용하면 식 (1)의 해는 다음과 같은 조건을 만족한다.

$$\delta \geq 0, \delta \left(E - \sum_j e_j \right) = 0 \quad (2)$$

$$\lambda_j \geq 0, \lambda_j q_j = 0 \quad (3)$$

$$\gamma_j \geq 0, \gamma_j k_j = 0 \quad (4)$$

$$P(\sum_j q_j) - C_j'(q_j) + \lambda_j - \delta e_j^1 = 0, \text{ for all } j \quad (5)$$

$$-1 + \gamma_j - \delta e_j^2 = 0, \text{ for all } j \quad (6)$$

분석의 편의를 위하여, 각 산출물의 최초 단위의 수요가 충분히 커서 모든 기업이 양의 산출물을 생산한다고 하자. 즉, 최적해에서 $q_j^{SO} > 0$ 이 항상 만족되며, 따라서 식 (3)에서 모든 j 에 대해 $\lambda_j = 0$ 이 성립한다.

식 (2)의 δ 는 배출량을 통제하는 데에 소요되는 단위당 비용, 즉 배출가격을 의미한다. 우선 $\delta = 0$ 이라 하자. 이는 배출총량제약이 임의의 생산량과 저감투자에 대해 구속적이지 않은 (non-binding) 경우에 발생한다. 이때 식 (5)는 모든 j 에 대해 $P(Q) = C_j'(q_j)$ 가 되어 통상적인 한계편익·한계비용의 관계를 만족하게 되며, 식 (6)에서 모든 j 에 대해 $r_j = 1 > 0$ 이 되므로 식 (4)로부터 $k_j = 0$ 이 모든 j 에 대해 성립하게 된다. 즉, 이 경우 배출에 대한 투자는 발생하지 않는다.

다음으로 $\delta > 0$ 인 경우를 상정하자. 이 경우 배출총량제약은 구속적이 된다. 즉,

$$\sum_j e_j^{SO} = E$$

가 성립한다. 식 (5)는

$$P(\sum_j q_j^{SO}) = C_j'(q_j^{SO}) - \delta e_j^1(q_j^{SO}, k_j^{SO}) \quad (7)$$

이 되는데, 이는 생산량이 한계저감비용뿐만 아니라 생산이 배출량에 미치는 효과에 의해서도 영향을 받는다는 의미이다. 또한 식 (4)와 식 (6)으로부터, $\gamma_j > 0$ 이면 $k_j^{SO} = 0$, 그렇지 않은 경우 k_j^{SO} 는

$$-\delta e_j^2(q_j^{SO}, k_j^{SO}) = 1 \quad (8)$$

을 만족하도록, 즉 한계저감효과와 배출가격의 곱이 한계저감투자비용(=1)과 일치하는 지점에서 형성된다. 이상의 논의를 다음 명제에 기술한다.

명제 1. 역수요함수 P 가 $\lim_{Q \rightarrow 0} P(Q) = \infty$ 를 만족하고 비용함수 C 가 $C'(0) = 0$ 을 만족한다고 하자. 또한 $q_i > 0$ 인 임의의 기업 i 에 대해 $e_i(q_i, 0) > E$ 라 하자. 이때 양의 산출물을 생산하는 기업 j 의 사회적으로 최적인 산출물 생산량과 저감투자량 및 배출량은 다음을 만족한다.

$$P\left(\sum_j q_j^{SO}\right) = C'(q_j^{SO}) + \frac{e_j^1(q_j^{SO}, k_j^{SO})}{e_j^2(q_j^{SO}, k_j^{SO})} \quad (9)$$

$$e_j^{SO} = e(q_j^{SO}, k_j^{SO}), \quad \sum_j e_j^{SO} = E \quad (10)$$

(증명) 역수요함수 P 와 C 에 대한 조건에 의해 적어도 하나 이상의 기업이 양의 산출물을 생산한다. 0의 산출물을 생산하는 기업을 J 에서 배제하자. 이때 쿤-터커 조건에서 $\lambda_j = 0$ 이 성립한다. 가정에 의해 양의 산출물을 생산하는 어느 기업도 배출총량제약하에서 $k > 0$ 이 성립하므로, 모든 j 에 대해 $\gamma_j = 0$ 이 성립한다. 따라서 식 (6)으로부터 식 (8)이 성립하고, $e_j^2 < 0$ 이라는 가정에 의해 $\delta > 0$ 이 성립한다. 식 (7)과 식 (8)에서 δ 를 소거하면 식 (9)가 도출되며, 식 (10)은 $\delta > 0$ 을 쿤-터커 조건의 식 (2)에 적용하여 도출된다. **(증명 끝)**

명제 1의 식 (9)는 배출비용을 고려한 한계비용-한계편의 균등화 조건인 식 (7)과 최적 저감투자량 결정조건인 식 (8)로부터 유도되었으며, 식 (10)은 배출권시장의 청산조건(market clearing condition)이다.

위의 명제에서 임의의 기업에 대해 $e_i(q_i, 0) > E$ 이 성립한다는 가정은 매우 강한 가정¹²이며, 단지 일부 기업이 저감투자를 하지 않고 산출물을 생산하는 구석해(conner solution)를 배제하기 위해 편의상 도입하였다. 현실적으로는 생산의 한계비용이 낮은 일부 기업의 경우 저감투자가 없어도, 즉 $k = 0$ 인 상황에서 양의 산출물을 생산할 수도 있다는 점에 유의할 필요가 있다. 다만, 이 조건 및 명제 1의 수요 및 비용 조건은 이하에서도 동일하게 적용한다. 즉, 이하의 분석에서 다음과 같이 가정한다.

¹² 이 가정은 다른 완화된 가정으로 대체할 수도 있다. 예를 들어 저감투자의 효율성이 충분히 크도록 배출함수에 일정한 가정을 부여하거나 배출총량 대비 각 기업의 배출량이 크도록 수요함수와 비용함수에 가정을 부여한다면 동일한 결과를 얻을 수 있다. 다만, 이 경우 해당 함수의 형태(functional form) 등에 가정을 두어야 하므로 논의가 다소 복잡해지게 된다.

가정 1. $\lim_{Q \rightarrow 0} P(Q) = \infty$

가정 2. $C'(0) = 0$

가정 3. $q_i > 0$ 인 임의의 기업 i 에 대해 $e_i(q_i, 0) > E$

명제 1의 결과는 매우 직관적이다. 우선 총량제한 배출규제는 사회적 최적 상태에서 배출의 감소로 나타나는데, 이는 저감투자와 함께 생산량의 감소를 통해 나타나게 된다. 산출물시장이 완전경쟁적임을 가정하고 일반적인 소비자 선택이론과 산출물시장청산조건을 적용하면, 산출물 가격 p 에 대해 $p = P(\sum q_j^{SO})$ 가 성립한다. 이때 식 (7)로부터, 주어진 k_j 에 대해 생산량이 배출량에 미치는 한계적 영향이 작을수록 생산량의 감소폭과 산출물 가격의 상승폭은 줄어들게 된다.

또한 수요함수가 가격에 탄력적일수록 생산량의 감소폭은 커지지만, 산출물 가격의 상승폭은 작아짐을 쉽게 알 수 있다. 이는 배출비용의 가격으로의 전가가 용이하지 않을 경우, 생산량 감소폭이 커짐을 의미한다. 이 경우 생산량의 감소폭과 저감투자의 관계를 살펴보면, $\partial^2 e_j / \partial q_j \partial k_j < 0$ 을 가정하였으므로 식 (8)로부터 저감투지량은 줄어들게 된다. 다시 말해, 산출물로의 가격전가와 저감투지는 상호 대체적인 관계에 있게 된다.

마지막으로 저감투자의 효과성이 큰 경우, 즉 k_j 가 배출에 미치는 한계적 영향이 모든 k_j 수준에서 클 경우, 식 (8)로부터 저감투자의 크기는 커지게 되며, 이때 식 (7)로부터 산출물의 가격상승폭은 작아지게 된다.

2. 배출권 거래제도의 투자효율성

이제 배출권 거래제도에 대해 살펴보자. 여기에서는 벤치마크로 산출물시장과 배출권 거래시장이 모두 완전경쟁적이어서 모든 기업이 산출물 가격 p 와 배출권 가격 p_e 를 주어진 것으로 수용한다고 가정한다. 각 기업에게는 \bar{e}_j 만큼의 배출권이 주어지며, 이의 총합은 E 가 되도록 설정된다. 이때 기업 j 가 이윤을 극대화하는 생산량과 저감투자 조합(q_j^p, k_j^p)은 다음을 만족해야 한다. 논의의 단순화를 위해 가정 1~2를 적용하여 모든 기업이 양의 산출물을 생산한다고 하자. 이때 기업 j 의 이윤극대화 문제는 다음과 같이 기술된다.

$$\begin{aligned} \max_{q_j, k_j} & p_j q_j - (C_j(q_j) + k_j) + p_e(\bar{e}_j - e(q_j, k_j)) \\ \text{s.t.} & k_j \geq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

명제 2. 가정 1~3을 만족한다고 하자. 이때 배출권 거래제도는 효율적이다. 즉, 이윤극대화식 (11)을 만족하는 q_j^p 와 k_j^p , $j \in J$ 에 대하여 $(q_j^p, k_j^p) = (q_j^{SO}, k_j^{SO})$ 가 성립하고, $P(\sum_j q_j) = p^p$ 인 산출물가격 p^p 와 배출권시장을 청산하는 p_e^p 가 존재한다.

(증명) 이윤극대화식 (10)의 쿤-터커 조건은 다음과 같다.

$$\gamma_j \geq 0, \gamma_j k_j = 0 \quad (12)$$

$$p - C'(q_j) - p_e e_j^1 = 0 \quad (13)$$

$$-1 + \gamma_j - p_e e_j^2 = 0 \quad (14)$$

$p^p = P(\sum_j q_j^p)$ 로 두고, 식 (2)~식 (6)을 만족하는 δ 에 대해 $p_e = \delta$ 라 하면, 이때 각 기업의 산출량, 저감투자량 및 이로부터 유도되는 배출량은 사회적 최적과 동일하게 되며, 따라서 비용효율성은 달성된다. (증명 끝)

식 (13)과 식 (14)로부터, 배출권 가격은 저감투자의 효율성과, 저감투자가 산출물 생산으로 인한 한계배출량에 미치는 영향(혹은 그 역) 및 산출물 가격(즉, 수요함수의 조건)에 의해 결정됨을 알 수 있다. 사회적 최적 상황에서 논의한 정태분석은 배출권 거래시장에서도 동일하게 적용된다. 우선 생산량이 배출량에 미치는 한계적 영향이 작을수록 생산량의 감소폭과 가격의 상승폭은 줄어들게 된다. 또한 수요함수가 가격에 탄력적일수록 생산량의 감소폭은 커지지만, 산출물 가격의 상승폭은 작아지고, 저감투자량은 줄어든다. 저감투자의 효과성이 큰 경우, 저감투자의 크기는 커지게 되며, 이때 식 (7)로부터 산출물의 가격상승폭은 작아지게 된다.

3. 논의 및 시사점

이상에서는 이론모형을 통해 산출물시장과 배출권시장이 모두 완전경쟁적일 경우 배

출권 거래제도가 사회적 최적을 달성할 수 있음을 살펴보았다. 이러한 분석은 배출권 거래제도의 특징을 보여준다.

이론적 측면에서 배출권 거래제도의 가장 큰 특징은 배출권의 초기할당(initial allocation)이 산출물 및 배출권의 가격에 영향을 주지 못하며, 따라서 초기할당방식과 무관하게 효율성을 확보할 수 있다는 점이다.¹³ 본 모형에서 이는 식 (11)의 \bar{e}_j 의 분포가 기업의 최적 선택조건인 식 (12)~(14)에 영향을 미치지 않는다는 점에서 드러난다. 따라서 배출권 거래제도가 효율성 이외에도 정책의 수용성이나 형평성, 시점 간 규제 강도의 조절 등과 같은 다른 정책목표를 동시에 고려할 수 있다는 점에서 그 유연성(flexibility)에 강점을 가지고 있다고 볼 수 있다.

배출권 거래제도가 할당방식과 무관하게 효율성을 담보하는 이유는 각 기업들이 무상으로 할당된 배출권의 가격을 기회비용으로 인식, 산출물 가격에 전가함으로써 결국 최종재의 가격이 동일해지기 때문이다. 즉, 배출권의 그랜드파더링(grandfathering)에 의한 무상할당은 기업에의 일괄보조(lump-sum subsidy)에 해당하므로 배출권 가격과 산출물 가격에 영향을 주지 않는다.¹⁴

다만, 이러한 특성은 이론모형에서 암묵적으로 전제한 가정에 의존한다. 우선 이론모형은 고정비용(fixed cost)이나 매몰비용(sunk cost)을 고려하지 않으며, 따라서 장기균형(long-term equilibrium)이나 기업의 진입 및 퇴출 의사결정과 관련된 문제를 다루지 못한다. 특정 기업 혹은 산업에 배출권이 적게 할당될 경우 단기적 효율성은 확보될 수 있으나 수익성의 악화로 인한 투자저하로 장기적 비효율이 발생할 가능성이 있다. 또한 기존 기업에 배출권을 무상으로 할당하고, 신규기업은 시장에서 배출권을 구입해야 한다면, 배출권은 일종의 진입장벽으로 작용할 수 있으며, 역으로 시설을 폐쇄하는 기업에 무상으로 할당된 배출권이 회수·파기된다면, 기업은 배출권 할당을 연장하기 위해

13 이는 배출권 거래제도와 관련한 대표적 초기 연구들인 Montgomery(1972)와 Dales(1986)에서부터 주목되던 특징이다.

14 그랜드파더링은 각 기업의 과거 배출량, 예를 들어 특정 연도의 배출량을 기준으로 배출권을 할당하는 방식이다. 따라서 이 방식하에서는 현재의 투자·생산 의사결정과 무관하게 할당이 이루어지므로 무상할당이 일괄지불(lump-sum)의 성격을 가지게 된다. 반면, 벤치마크(benchmark) 방식은 현재 산업의 표준, 예를 들어 배출효율이 상위인 기업의 배출효율을 기준으로 하되, 각 기업의 산출량을 고려하여 배출권을 할당하는 방식이다. 벤치마크 방식은 생산량의 변동이 심하거나 기술이 빠르게 발전하는 산업에 적용하기에 적절하다. 다만, 이 방식하에서는 현재의 의사결정이 벤치마크 갱신에 영향을 주게 되어 배출 주체들이 전략적 행동을 하게 되고, 이로 인해 인센티브가 왜곡될 가능성이 존재한다. 이외에도 배출권 할당에 사용되는 방식으로 산출량기반갱신(output-based updating) 방식이 있다.

노후화된 시설의 폐쇄를 늦출 수 있다.¹⁵ 산업에의 진입·퇴출 의사결정에 자본조달의 제약이 존재할 경우 이러한 문제는 증폭된다.

두 번째로 이론적 모형은 가격규제를 전제하고 있지 않으나, 일부 온실가스 다배출 산업에서는 가격규제가 존재할 수 있다. 산출물 가격이 규제하에 있을 경우, 최종재 가격으로의 효율적인 비용전가가 어려워지므로 비효율성을 양산하게 된다. 이는 특히 전력부문에서 이슈가 될 수 있는데, 우리나라를 비롯 여전히 많은 국가에서, 특히 소규모 소비자에 대해서는 규제가격제도를 유지하고 있다. 중장기 투자의 효율성과 진입·퇴출 의사결정의 효율성을 확보하기 위해서는 초기할당의 유연성을 희생하더라도 경매할당을 시행해야 함을 주장하는 선행 연구들이 다수 존재하며,¹⁶ 이를 반영하여 유럽 배출권 거래제도(EU ETS)에서는 제3기(Phase 3)부터 경매할당의 비중을 대폭 늘리기로 한 바 있다.

마지막으로 표준적인 이론에서는 산출물시장과 배출권시장이 완전경쟁적이어서 시장 지배적 기업이 존재하지 않음을 가정한다.¹⁷ 불완전경쟁시장에서 배출권 거래제도의 효율성은 본고의 핵심 주제이며, 다음 장에서 이에 대해 분석한다.

IV. 쿠르노 경쟁시장에서의 배출권 거래제도

1. 모형

본 장에서는 산출물시장에서 두 기업이 쿠르노 경쟁을 하는 모형을 제시하고, 이 산업의 배출권 거래제도의 효율성을 분석한다. 즉, 각 기업 $j \in J = \{1, 2\}$ 는 산출물시장에서 생산량 q_j 를 전략변수(strategic variable)로 의사결정을 하며 산출물시장 가격 p^c 는 시장이 청산되도록 결정된다. 쿠르노 균형에서 상정하는 생산량 경쟁(quantity competition)은 설비투자에 따른 용량제약(capacity constraint)하에서의 가격경쟁(price competition)과 동일

¹⁵ 물론 이는 신규진입 기업과 시설폐쇄 기업에 대한 할당조항을 실질적으로 그 조건이 기존 기업과 동일하도록 설계한다면 어느 정도 완화할 수 있는 문제이다

¹⁶ 대표적으로 Crampton and Kerr(2002)를 참조하라.

¹⁷ Sorrell and Sijm(2003)은 여기에서 제기한 세 가지 이외에 대다수의 배출 주체가 배출권 거래제도에 참여하지 않을 경우 제도의 효율성이 초기할당에 의존함을 밝히고 있다.

한 결과를 양산한다(Kreps and Scheinkman[1983]). 이는 배출권 거래제도의 적용대상인 다배출 업종이 주로 대규모 장치산업이라는 점을 고려할 때 합리적인 가정으로 볼 수 있다.

모형에서 두 기업은 다음과 같은 순차게임(sequential game)을 진행한다.¹⁸ 우선 시장에 참여하는 두 기업은 저감투자량 k_j 를 결정한다. 다음으로 두 기업은 생산량 q_j 를 결정하고, 산출물시장에서 가격이 결정되며, 이에 따라 기업의 이윤이 실현된다. 배출권 가격 p_e 는 외생적으로 결정되며 두 기업은 이를 주어진 것으로 수용한다. 게임의 균형은 부분게임 내쉬균형(subgame perfect Nash equilibrium)을 적용한다. 그 외의 수요와 비용에 대한 가정은 기본모형에서와 동일하다. 특히 가정 1~3을 적용하여, 모든 선택변수들은 내부해(interior solution)를 가지도록 한다.

2. 쿠르노 균형

가. 부분게임에서의 균형: 생산량의 결정

저감투자량 k_j 가 결정된 후의 부분게임에서 기업 j 의 이윤은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \Pi_j |_{(k_j, k_{-j})}(q_j, q_{-j}) \\ = P(q_j + q_{-j})q_j - (C_j(q_j) + k_j) + p_e(\bar{e}_j - e(q_j, k_j)) \end{aligned} \quad (15)$$

기업 j 의 반응함수(reaction function)를 다음과 같이 정의하자.

$$R_j(q_i | k_j, k_{-j}) \equiv \operatorname{argmax}_{q_j} \Pi_j |_{(k_j, k_{-j})}(q_j, q_{-j}) \quad (16)$$

부분게임의 균형 (q_j^c, q_{-j}^c) 는 $q_j^c = R_j(q_{-j}^c)$, $q_{-j}^c = R_{-j}(q_j^c)$ 를 만족할 때 성립한다. 식 (14)의 이윤함수는 쿠르노 경쟁을 하는 기업의 통상적인 이윤함수에 배출비용/수익의 항이 더해진 것이다. 분석 중인 부분게임에서는 저감투자량이 이미 정해져 있으므로 각 기업의 선택변수는 q_j 뿐이다. 따라서 이 부분게임에서의 내쉬균형은 일반적인 쿠르노 균형의 유도과 유사한 방식으로 유도될 수 있다. 편의상 균형(unique equilibrium)의 존재성을

¹⁸ 제Ⅲ장의 완전경쟁시장에서의 배출권 거래제도 모형에서는 동시게임(simultaneous game)을 가정하였다. 그러나 완전경쟁시장에서는 전략적 행위가 존재하지 않으므로 이를 저감투자량을 먼저 결정하고 생산량을 후에 결정하는 모형으로 바꾸어도 그 결과는 동일하다.

위해 수요함수에 다음을 가정하자.¹⁹

가정 4. $QP''(Q) + P'(Q) \leq 0$, $P'(Q) \geq 0$

가정 4하에서 다음의 보조명제가 성립한다. 증명은 부록에 수록되어 있다.

보조명제 1. 가정 4가 성립하면 부분게임의 균형 (q_j^c, q_{-j}^c) 은 유일하게 존재한다.

나. 균형하에서의 저감투자량

앞 절에서는 저감투자량이 정해져 있을 때의 부분게임에서 최적생산량을 도출하였다. 이제 전체게임의 균형을 유도하자. 우선 유의할 것은 전체게임에서 부분균형의 해 (q_j^c, q_{-j}^c) 는 k_j 와 k_{-j} 의 함수라는 점이다. 1기의 저감투자량 k_j 는 2기의 생산량 q_j 및 q_{-j} 에 일정한 영향을 준다. 이를 직관적으로 설명하면 다음과 같다. 우선 주어진 상대 기업의 생산량 수준에서 저감투자량의 증가는 한계비용을 감소시키는 역할을 하게 된다. 이는 기업 j 의 반응함수를 증가시킨다. 따라서 균형하에서의 생산량은 증가하고, 상대기업의 생산량은 감소하게 된다. 이 내용을 정리한 것이 보조명제 2이다.

보조명제 2. 가정 1~4가 성립한다고 하자. 이때 다음이 성립한다.

$$\frac{\partial q_j^c}{\partial k_j} > 0, \quad \frac{\partial q_{-j}^c}{\partial k_j} < 0$$

보조명제 2의 증명은 부록에 수록되어 있다. 이제 부분게임의 균형 (q_j^c, q_{-j}^c) 을 반영하는 이윤함수 Φ_j 를 다음과 같이 정의하자.

$$\begin{aligned} \Phi_j(k_j, k_{-j}) &\equiv \Pi_j |_{(k_j, k_{-j})}(q_j^c, q_{-j}^c) \\ &= P(q_j^c + q_{-j}^c)q_j^c - (C_j(q_j^c) + k_j) + p_e(\bar{e}_j - e(q_j^c, k_j)) \end{aligned} \quad (17)$$

전체게임에서의 균형이 유일하게 존재함을 보이기 위해서는 Φ 의 교차도함수가 음의 값을 가짐을 보이는 것으로 충분하다. 다음의 명제 3은 부분게임에서의 쿠르노 균형반응함수가 일정한 조건을 만족할 때, 균형이 존재함을 보여준다. 그 증명은 부록에 수록되어 있다.

¹⁹ 가정 4가 균형 존재의 필요충분조건은 아니며, 보다 완화된 조건에서도 균형이 존재할 수 있다.

명제 3. 가정 1~4와 함께 다음의 전제 (1)과 전제 (2)가 성립한다고 하자.

$$\text{전제 (1) } j = 1, 2 \text{에 대해 } \frac{\partial q_j^c}{\partial k_j} + \frac{\partial q_{-j}^c}{\partial k_j} > 0,$$

$$\text{전제 (2) 어떤 크지 않은 실수 } B \text{에 대해 } \left| \frac{\partial^2 q_j^c}{\partial k_j \partial k_{-j}} \right| < B$$

이때 다음이 성립하며, 따라서 균형은 존재한다.

$$\Phi_j^{12}(k_j, k_{-j}) < 0 \tag{18}$$

명제 3의 전제 (1)과 전제 (2)는 전체게임의 균형이 반드시 존재하지 않을 수 있음을 암시한다. 여기에서 전제 (1)은 한 기업의 저감투자가 부분게임의 균형에서 자기 기업의 생산량에 미치는 영향이 다른 기업에 미치는 영향보다 큼을 의미한다. 저감투자는 그 기업의 비용만을 감소시키므로 전제 (1)은 부분게임에서의 반응함수의 기울기와 밀접한 관계가 있다. 예를 들어 부분게임에서의 반응함수의 기울기가 1보다 클 경우 이는 성립한다. 한편, 전제 (2)는 한 기업의 저감투자가 균형생산량에 미치는 영향이 다른 기업의 투자 변화에 크게 영향을 받지 않음을 의미한다.

쿠르노 반응함수가 위에서 언급한 전제를 만족할 때 명제 3은 두 기업의 저감투자 k_j 와 k_{-j} 가 전략적 대체관계(strategic substitute)에 있음을 보여준다. 이는 본 논문의 모형이 두 기업이 최종재시장에서 생산량 경쟁을 하고 있고, 각 기업의 저감투자가 다른 기업의 비용에 영향을 주지 못하고 있는 상황을 고려하기 때문이다. 예를 들어 최종재시장에서 두 기업의 전략변수가 보완관계(strategic complementarity)에 있다면 명제 3의 전제 (1)은 성립하지 않을 가능성이 크며, 이때 교차미분의 부호도 불확정적일 것이다. 또한 Montero(2002)에서 고려하는 모형과 같이 배출권시장도 불완전경쟁 상황일 경우, 한 기업의 저감투자는 배출권의 수요를 감소시켜 배출권 가격을 하락시키고, 이는 다른 기업의 비용을 감소시키는 역할을 하게 되므로, 두 기업의 저감투자 간에는 전략적 보완관계가 있을 수 있게 된다. 마지막으로, 저감투자가 기술개발과 관련되어 있을 경우 일출(溢出)효과(spillover effect)로 인한 외부성이 발생할 수 있다. 이 경우에도 두 기업의 저감투자 간에는 전략적 보완관계가 있을 수 있다.

본 논문은 이러한 다양한 가능성 중, 두 기업의 저감투자가 전략적 대체관계에 있는 경우만을 고려하고 있다. 즉, 본고의 모형은 동질적 상품시장에서 생산량 경쟁을 하고 있는 기업이 이미 알려진 저감설비 혹은 배출효율적 생산설비의 도입을 통해 배출규제에 대응하는 경우를 염두에 두고 있다.

3. 배출권 거래제도의 효율성

본 절에서는 본 논문의 주 결과인 배출권 거래제도의 효율성에 대해 살펴본다. 특히 산출물시장에서 기업들이 생산량 경쟁을 하고 있는 경우, 기업에 의해 선택되는 저감투자량이 어떠한지가 주된 질문이다. 이는 제Ⅲ장에서 살펴본 최적 저감투자량 k_j^{SO} 가 균형하에서 투자되는지의 여부를 검토함으로써 가능하다. 이는 식 (8)과 명제 2에 의해 다음 식이 성립했을 때 달성된다.

$$-p_e e_j^2(q_j^{SO}, k_j^{SO}) = 1 \quad (19)$$

식 (20)의 좌변은 저감투자로 인한 한계이윤을, 우변은 저감투자의 비용을 나타낸다. 배출함수 e 의 가정에 의해 좌변은 양의 값을 가지며 저감투자량에 대해 감소하는 함수이다. 한편, 산출물시장에서 생산량 경쟁을 할 경우 쿠르노 균형하에서는 식 (21)로부터 일계조건 $d\Phi_j(k_j, k_{-j})/dk_j = 0$ 이 다음과 같이 표현된다.

$$q_j^c P'(q_j^c + q_{-j}^c) \frac{\partial q_{-j}^c}{\partial k_j} - p_e e^2(q_j^c, k_j^c) = 1 \quad (20)$$

식 (23)을 식 (22)와 비교하면, 쿠르노 균형하에서는 저감투자로 인한 직접적인 한계이윤 증가효과(좌변의 두 번째 항) 이외에 다른 기업의 생산량에 영향을 주는 간접적 효과가 발생함을 알 수 있다. 한 기업이 저감투자를 하게 되면, 균형하에서 다른 기업의 생산량을 줄이는 효과를 발생시킨다. 식 (20)의 좌변 첫 번째 항은 이의 한계적 효과를 나타내며, 이것이 양의 값을 가지는 것은 저감투자의 간접적 효과가 주어진 저감투자량에 대해 한계이윤을 증가시킴을 의미한다.

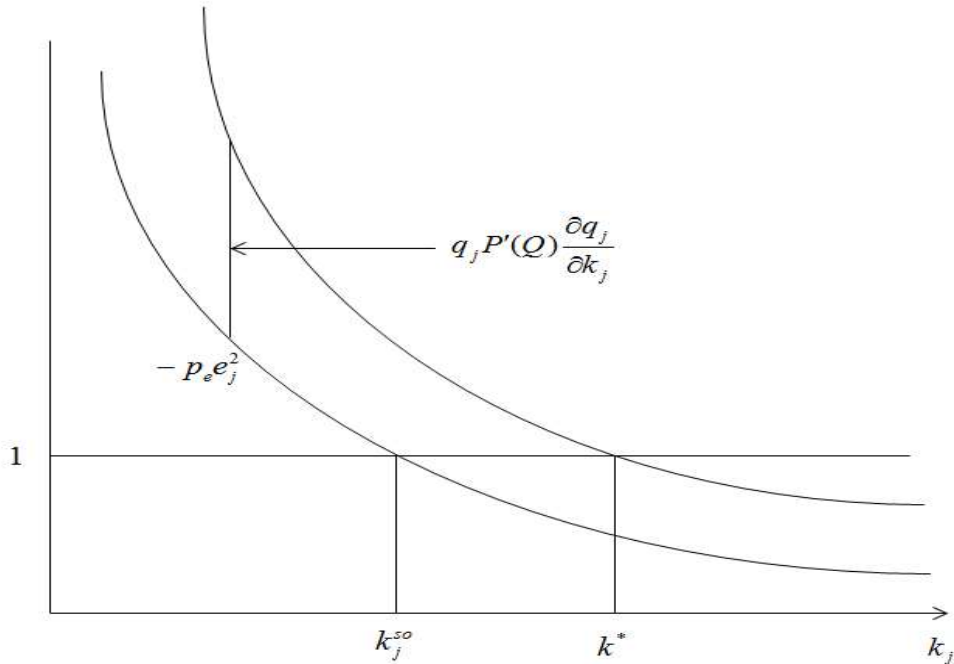
저감투자의 적정 수준을 논의할 때 주의할 점은 최종재시장이 쿠르노 경쟁하에 있을 때, 균형 생산량이 최적 수준에서의 생산량과 다르다는 점이다. 즉, 사회적으로 최적인

생산량, 혹은 가격경쟁하에서의 생산량과 비교했을 때, 쿠르노 경쟁에서는 과소생산이 발생한다. 따라서 최적 저감투자량과의 비교는 생산량의 감소를 고려하여 검토되어야 한다. 명제 4는 이러한 내용을 담고 있다.

명제 4. 명제 3의 모든 가정 및 전제가 만족된다고 하자. 이때 산출물 생산량 수준이 사회적 최적 생산량 수준에 해당한다면, 균형하에서의 저감투자량은 사회적 최적 수준보다 크다. 즉, 생산량 대비 과잉투자가 발생한다.

(증명) 식 (20)에서 q_j^c 를 식 (19)의 q_j^{SO} 와 같다고 하자. 이때 수요함수에 대한 가정과 보조 명제 2에 의해 $q_j^c \cdot P'(q_j^c + q_{-j}^c) \cdot (\partial q_{-j}^c / \partial k_j) > 0$ 이 성립하므로, 주어진 k_j 에 대해 식 (20)의 우변은 식 (19)의 우변보다 크다. 따라서 균형하에서의 저감투자량 k_j^* 는 k_j^{SO} 보다 크게 된다(Figure 1 참조). (증명 끝)

[Figure 1] Optimal Abatement Investment(k_j^{SO}) and Equilibrium Abatement Investment(k_j^*)



명제 4의 해석에 있어서 주의할 점은 이러한 과잉투자가 사회후생에 미치는 영향은 모호하다는 점이다. 저감투자는 배출효율을 제고하여 사회적 배출비용을 감소시킬 뿐만

아니라, 각 기업의 생산비용을 감소시키는 역할을 하게 된다. 특히 본고의 모형과 같이 기업들이 산출물시장에서 쿠르노 경쟁을 하는 경우, 균형하에서 산출물은 완전경쟁에 비해 과소생산된다. 따라서 과잉투자는 배출규제로 인한 비용을 감소시켜 산출물 생산량 수준을 사회적 최적에 보다 가깝게 만드는 효과가 있다. 따라서 저감투자의 적절성을 고려할 때에는 이러한 두 가지 효과를 동시에 감안하는 것이 필요하다.

이상의 논의는 일정한 정책적 시사점을 제공한다. 예를 들어 정부가 저감투자의 활성화를 위해 기업에 보조 혹은 지원을 한다고 가정하자. 이때 재원투자의 효율성을 위해서는 과점시장에서 생산량 경쟁을 하고 있는 기업보다는 완전경쟁하에서의 기업에 투자하는 것이 보다 효율적일 가능성이 높다. 특히 기업의 수가 적고 시장이 집중되어 있는 산업에 대한 재원투자는 주의할 필요가 있다. 다만, 현재 온실가스 배출저감에 있어서는 다양한 불확실성, 특히 규제제도의 불확실성과 저감기술에 있어서의 불확실성이 존재하여 과소투자가 일어나는 것이 일반적이라는 점 역시 고려할 필요가 있다. 또한 위에서 언급한 것처럼 이러한 과잉투자가 시장의 불완전성으로 인한 과소생산을 완화할 가능성도 고려할 필요가 있다.

V. 결론 및 정책적 시사점

본고에서는 산출물시장이 과점적이고 동질적 상품이 거래되어 기업들이 생산량 경쟁을 하고 배출권시장은 완전경쟁적일 경우, 기업이 지출하는 저감투자량의 적절성을 이론적으로 분석하였다. 일반적으로 배출권 거래제도는 초기할당방식과 무관하게 산출물시장, 배출권시장 및 저감투자량에 있어서 효율성을 달성한다. 그러나 산출물시장이 생산량 경쟁을 하는 경우, 저감투자는 직접적으로 배출비용을 줄이는 효과 이외에도 쿠르노 균형하에서 다른 기업의 산출물을 줄이는 간접적 효과를 발생시킨다. 이 경우 각 기업의 저감투자는 전략적 대체관계에 있게 되며, 이러한 효과를 고려한 기업은 사회적으로 최적인 저감투자량에 비해 생산량 대비 과잉투자를 하게 된다. 이는 정부의 저감투자 지원정책 및 할당방식에서 고려해야 할 중요한 요인 중 하나이다. 다만, 이 경우 과잉투자가 불완전경쟁으로 인한 산출물의 과소생산을 완화할 수 있음에 유의할 필요가 있다.

본 연구는 일정한 한계를 가지고 있다. 우선 본 연구에서는 쿠르노 경쟁하에서의 저감투자의 효율성을 검토함에 있어 산출물의 증가를 통한 후생 증가와 과잉투자로 인한 비효율을 정량적으로 비교하지 못하고 있다. 다음으로, 본고의 결과는 대부분 내부해가 도출되도록 하는 가정에 입각해 있다. 그러나 이러한 가정으로 인해, 예를 들어 구석해에서 발생할 가능성이 높은 기업의 진입·퇴출과 관련된 의사결정을 분석하지 못하고 있다. 보다 일반적인 가정하에서의 분석은 이를 포괄하게 될 것이며, 이는 특히 배출권의 초기할당방식에 중요한 시사점을 제공할 것으로 판단된다. 또한 본고는 시장에 두 기업만이 존재하는 모형을 제시하고 있는데, 이를 일반화하여 다수 기업이 존재하는 시장에서의 결과를 도출할 수 있다면 시장의 집중상황과 저감투자의 효율적 배분 간의 일반적 관계를 살펴볼 수 있을 것이다. 마지막으로 본고는 여타의 배출규제 정책수단과 배출권 거래제도를 비교하지 못하고 있다. 이상의 주제는 향후 연구주제로 남겨둔다.

본고에서의 이론적 분석과 관련 선행 연구는 불완전경쟁시장에서 배출권 거래제도를 설계할 때 정책의 효율성을 제고하기 위해 몇 가지 유의할 사항이 있음을 시사한다. 본고의 결론 이외에 선행 연구에서 제시된 주요 내용을 간략히 정리하면 다음과 같다. 주지하다시피 배출권 거래제도의 비용효율성은 몇 가지 가정 및 조건에 의해 달성될 수 있다. 그중 대표적인 것이 산출물시장과 배출권 거래시장이 모두 완전경쟁적이라는 가정이다. 만약 양자 중 하나 이상이 경쟁적이지 아닐 경우, 예를 들어 독과점으로 인한 시장력(market power) 행사가 가능하거나 가격규제 등이 존재할 경우, 비용효율성은 확보되기 어려울 수 있다.

우선 배출권 거래시장에서의 시장력(market power) 행사가 가능할 경우 배출권 가격이 왜곡될 소지가 있다. 시장력 행사는 발행시장과 유통시장 모두에서 발생할 수 있다. 먼저 배출권이 경매에 의해 할당되어 발행시장이 명시적으로 존재할 경우, 경매할당시장에서의 높은 시장집중도는 일부 참여자가 전략적인 수요감소(demand reduction)를 통해 청산가격을 낮출 수 있다.²⁰ 무상할당의 경우에는 발행시장이 존재하지 않으나, 할당기준을 설정하는 과정에서 대규모 사업자가 정치적 영향력을 통해 자신에게 유리한 기준을 관철시킬 여지가 있다.

20 배출권 경매는 그 특성상 다물량 경매(multi-unit auction)에 해당한다. 다물량 경매에서 전략적 수요 감소에 관한 일반적 논의로는 Ausubel and Cramton(2002)을, 배출권 발행시장 설계에 관한 논의로는 Evans & Peck(2007)을 참조하라. 다물량 경매이론을 직관적으로 설명한 국내 문헌으로는 김정욱·윤경수(2010)를 참조할 수 있다.

다음으로 유통시장, 즉 배출권 거래시장에서는 우선 시장지배적(market dominant) 기업이 소규모 경쟁자 및 신규진입자를 배제하기 위해 배출권을 필요 이상으로 축적(hoarding)할 수 있다. 또한 배출권이 비용효율적이지 않게 무상할당될 경우, 시장지배적 참여자가 거래시장에서의 가격을 인위적으로 조작하는 것이 가능하다(Hahn[1982]) 예를 들어 비용효율적 수준 이상으로 배출권을 할당받은 시장지배적 기업은 거래시장에서 판매독점자로 기능, 배출권 가격을 높일 가능성이 있으며, 그 이하로 할당받은 시장지배적 기업은 배출권 가격을 낮출 여지가 있다.

한편, 기업의 배출량에 대한 정부의 관찰이 완전하지 않을 경우, 기업은 초기 할당량과 배출권 가격 수준에 따라 배출권 규제의 준수(compliance) 여부를 결정하게 된다. van Egteren and Weber(1996)는 이러한 경우 기업의 규제위반(cheating or violation)과 시장력 간의 관계에 대해 분석하고 있다. 이에 의하면 배출권시장에서 시장력을 가진 기업, 즉 지배적 기업(dominant firm)의 초기 할당량을 줄이고 부수기업(fringe firms)의 초기 할당량을 늘리면 부수기업의 규제 준수의 수준은 증진되고, 지배적 기업의 준수 수준은 감소한다. 따라서 규제 감시(monitoring)에 대한 재원이 한정된(limited budget) 정부는 지배적 기업의 배출권 할당량을 줄이는 대신 이들 기업을 집중적으로 감시함으로써 전체적인 준수 수준을 제고하고 배출량을 효과적으로 감축할 수 있게 된다.

일반적인 배출권 거래제도를 대상으로 분석한 이상의 논의가 온실가스 배출권 거래제도에서 그대로 적용되지는 않을 것이다. 무엇보다 온실가스 배출권 거래제도의 경우 여러 부문·산업의 사업자들이 동시에 참여하는바, 시장참여자의 이질성이 상당하고, 참여자의 수가 충분히 크다는 점을 고려할 때, 배출권시장에서의 시장력 행사의 우려는 그다지 크지 않을 수 있다. 다만, 우리나라의 경우 시장집중도가 높은 일부 기업들 간에, 특히 발전회사들 간에 공조가 이루어질 경우, 집합적 시장지배력(collective dominance)을 활용하여 시장력 행사가 가능할 수 있다는 점은 유의할 필요가 있다.

다음으로, 비록 배출권 거래시장이 경쟁적이어도 산출물시장이 과점적일 경우 배출권 거래제도는 비효율을 양산할 수 있다. Sartzetakis(2004)는 각 기업의 생산비용과 저감비용이 고정되어 있을 때 특정 산업에서 기업들이 쿠르노 경쟁을 하는 경우를 분석하고 있다. 이에 의하면 발전비용과 저감비용이 모두 높은 기업은 배출권을 구매함으로써 공급물량을 늘리게 되고(more aggressive strategy), 효율적 기업은 공급물량을 더욱 줄이게 되어, 거래가 없는 배출규제에 비해 비효율이 발생한다. 이는 배출권의 이전이 감축한계비용이 높은 기업의 시장점유율을 높이는 효과가 있기 때문이다. 이러한 비효

율은 특히 생산한계비용이 높은 기업이 감축한계비용이 낮아서 감축의 효율화를 통한 생산량 증가효과보다 시장점유율 변화로 인한 생산량 감소효과가 클 경우 발생하게 된다. 또한 본고의 이론모형에서 분석한 바와 같이, 저감비용이 저감투자에 의해 결정될 경우, 기업들은 생산량 대비 사회적 최적보다 큰 저감투자를 하여 전체적인 투자효율성을 낮출 가능성이 존재한다.

한편, 시장집중도가 큰 일부 산업의 경우 가격이 규제에 의해 결정될 수 있다. 예를 들어 우리나라의 경우 망산업(network industry)의 성격이 큰 전력·가스 등의 산업에서는 규모의 경제적 성격과 함께 공익의 고려로 인해, 시장이 공기업에 의해 주도되고 있을 뿐만 아니라 소비자가격이 규제에 의해 통제되고 있다. 이러한 산업에서 기업들이 배출권 거래에 참여할 때, 효율적인 가격전가가 이루어지지 않을 가능성이 높다. 규제 가격이 비용으로부터 산정될 경우, 배출권이 모두 경매를 통한 유상할당일 경우 큰 문제가 없으나, 일부 배출권이 무상으로 할당될 경우, 이에 해당하는 부분은 비용 산정에서 제외되어 가격에 반영되지 않을 것이다. 이는 무상할당된 배출권도 기회비용으로 인식하는 다른 기업들의 의사결정과는 상이하며, 이러한 불완전한 가격전가는 장기적인 관련 투자를 저해할 뿐만 아니라, 경쟁하는 여타 에너지원, 예를 들면 석유와의 불균등한 배출권 비용 전가로 인해 소비 측면에서의 비효율을 야기할 수 있다. 따라서 전력부문에 배출권이 무상할당될 경우, 배출권 가격 전체가 전력가격에 반영될 수 있도록 규제가격을 설계할 필요가 있다.

배출권 거래제도의 효율성은 또한 진입과 퇴출에 구속적인 금융계약이 존재하지 않음을 전제하는데, 시장집중도가 높은 일부 산업의 경우 대규모 장치산업의 성격이 있어 기업의 진입과 퇴출에 상당한 제약이 있을 수 있다. 이는 특히 배출권의 할당과 관련하여 중요한 이슈가 된다. 예를 들어 온실가스 배출량이 높은 산업에 많은 무상배출권이 할당될 경우, 적정 수준으로 할당되었을 때 퇴출되었어야 할 기업이 생산을 지속할 가능성이 있다. 이는 산업구조조정을 통한 사회적 저감, 즉 배출집약적 산업의 축소와 저탄소산업의 활성화에 악영향을 미칠 수 있다. 또한 기존 기업과 신규진입 기업의 할당된 배출권의 차이 역시 이윤의 차이로 인해 진입·퇴출의 의사결정에 영향을 미칠 수 있다. 이와 함께 배출권 거래제도가 상당한 거래비용(transaction cost)을 수반함을 고려할 필요가 있는데, 거래비용의 존재는 거래량을 감소시키고, 저감비용을 높이며, 종종 총감축비용이 초기 할당에 민감하게 할 수 있다(Stavins[1995]).

마지막으로 본고에서 논의한 바와 같이 불완전경쟁시장에서는 저감투자의 효율적 수

준이 달성되지 않을 수 있다. 이는 온실가스 저감설비 혹은 저감기술 도입의 특성상 종종 요구되는 정부의 지원정책을 수립할 때 특히 유의할 사항이다.

이상의 논의를 종합해 볼 때, 시장구조는 배출권 거래제도의 효율성에 적지 않은 영향을 미칠 가능성이 있다. 이러한 문제의 완화를 위해서는 우선 산출물시장의 경쟁이 충분히 활성화되도록 유도하는 것이 필요하다. 그러나 상품의 특성 및 제반 여건으로 시장이 구조적으로 집중화되는 산업도 존재할 수 있다. 이때 시장력 행사의 상당 부분이 무상할당과 관련하여 발생함에 유의할 필요가 있다. 따라서 이 경우에는 경매할당을 보다 전향적으로 도입하거나, 배출권 거래제도 이외에 탄소세 등의 제도를 적용하는 것을 고려할 수 있다. 마지막으로 규제산업의 경우, 산출물로의 비용전가가 효율적일 수 있도록 가격체계를 설계하는 것이 필요하다.

참고문헌

- 공정거래위원회, 「2006년 시장구조 조사·분석결과」, 2008.
- 김승래, 「온실가스 감축정책의 설계: 녹색성장을 위한 조세정책 방향을 중심으로」, 『녹색성장: 국가성장전략의 모색』, 한국개발연구원, 미래기획위원회, 경제인문사회연구회 주관 심포지움 발표문, 2008.
- 김정욱·윤경수, 『국고채 경매에 관한 연구』, 정책연구시리즈 2010-15, 한국개발연구원, 2010.
- 김용진, 「온실가스 배출권 거래제도: 국제동향과 시사점」, 『녹색성장: 국가성장전략의 모색』, 한국개발연구원, 미래기획위원회, 경제인문사회연구회 주관 심포지움 발표문, 2008.
- 박상하·이상호, 「상품차별화된 시장에서 배출권 거래제도의 후생효과」, 『자원·환경경제 연구』, 제11권 제3호, 2002.
- 윤경수·송민규, 「감축정책의 프레임워크와 배출권 거래제도」, 한진희·윤경수 편, 『기후변화 문제의 주요 이슈 및 정책방향』 제4장, 경제·인문사회연구회 녹색성장 종합연구 총서 10-02-46, 한국개발연구원 연구보고서 2010-02, 2010.
- 한국은행, 「최근 우리나라의 산업별 온실가스 배출구조 분석 및 시사점」, 보도참고자료, 경제통계국 연간 I/O반, 2008.
- Ausubel, Lawrence M, and Peter Cramton, “Demand Reduction and Inefficiency in Multi-Unit Auctions,” Working Paper, No. 96-07, University of Maryland, 2002.
- Crampton, Peter and Suzi Kerr, “Tradeable Carbon Permit Auctions How and Why to Auction not Grandfather,” *Energy Policy*, Vol. 30, No. 4, 2002.
- Dales, J. H., *Pollution, Property and Prices*, Toronto: University of Toronto Press, 1986.
- Evans&Peck, “Possible Design for a Greenhouse Gas Emissions Trading System: Further Definition of the Auction Proposals in the NEIT Discussion Paper,” A Report submitted to National Emissions Trading Taskforce, Australia, 2007.
- Hahn, Robert W., “Market Power and Transferable Property Rights,” in Glen R. Cass, Robert W. Hahn, Roger G. Noll, William P. Rogerson, Georgy Fox, and Asha Paragjape (eds.), *Implementing Tradable Permits for Sulfur Oxides Emissions:*

- A Case Study in the South Coast Air Basin*, Vol. 3, CA: California Institute of Technology, 1982.
- International Energy Agency(IEA), *CO₂ Emissions from Fuel Combustion Highlights*, IEA Statistics, 2009.
- Kreps, D. and J. Scheinman, "Quantity Precommitment and Bertrand Competition Yields Cournot Outcomes," *Bell Journal of Economics*, Vol. 14, 1983, pp.326~337.
- Liski, Matti and Juan-Pablo Montero, "A Note on Market Power in an Emission Permits Market with Banking," *Environmental & Resource Economics*, Vol. 31, No. 2, 2005, pp.159~173.
- Montero, Juan-Pablo, "Permits, Standards, and Technology Innovation," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 44, 2002, pp.23~44.
- Montgomery, W. David, "Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs," *Journal of Economic Theory*, Vol. 5, No. 3, 1972.
- Murray, Brian C., Richard G. Newell, and William A. Pizar, "Balancing Cost and Emissions Certainty: An Allowance Reserve for Cap-and-Trade," *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol. 3, No. 1, Symposium: Alternative U.S. Climate Policy Instruments, 2009.
- Pizar, Williams A., "Combining Price and Quantity Controls to Mitigate Global Climate Change," *Journal of Public Economics*, Vol. 85, No. 3, 2002.
- Roberts, M. J. and M. Spence, "Effluent Charges and Licences under Uncertainty," *Journal of Public Economics*, Vol. 5, No. 3~4, 1976.
- Sartzetakis, Eftichios S., "On the Efficiency of Competitive Markets for Emission Permits," *Environmental and Resource Economics*, Vol. 27, 2004.
- Sorrell, Steven and Jos Sijm, "Carbon Trading in the Policy Mix," *Oxford Review of Economic Policy*, Vol. 19, No. 3, 2003.
- Sundaram, Rangarajan K., *A First Course in Optimization Theory*, Cambridge University Press, 1996.
- Tietenberg, Thomas H., *Emission Trading - Principles and Practice*, Resources for the Future, Washington DC, 2006.
- Topkis, Donald M., *Supermodularity and Complementarity*, Frontiers of Economic Research Series, Princeton University Press, 1998.
- van Egteren, Henry and Marian Weber, "Marketable Permits, Market Power, and Cheating," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 30, 1996, pp.161~173.

부록

보조명제 1의 증명

식 (14)의 일계조건은 다음과 같다.

$$P'(q_j + q_{-j})q_j + P(q_j + q_{-j}) - C'(q_j) - p_e e^1(q_j, k_j) = 0 \quad (\text{A1})$$

가정 4에 의해 기업 j 의 이윤함수의 교차도함수(cross derivative)는 다음과 같이 비양의 (non-negative) 값을 가지게 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Pi_j}{\partial q_j \partial q_{-j}} &= P''(Q)q_j + P'(Q) \\ &= P''(Q)Q + P'(Q) - P''(q_j + q_{-j})q_j \\ &\leq 0 \end{aligned} \quad (\text{A2})$$

식 (A2)는 기업 j 의 한계이윤(marginal profit)이 다른 기업의 생산량에 대해 감소함수임을 의미하며, 이에 따라 반응함수 R_j 는 q_{-j} 의 단조감소함수가 된다. 또한 Π 의 변수들이 유클리드 공간(Euclid space)의 부분집합인 응골집합(compact set)에서 정의되고 있으므로 이 부분게임은 submodular game이 된다. Submodular game에서 교차도함수의 부호만으로 내쉬균형의 존재성이 보장됨은 잘 알려진 사실이다.¹ 마지막으로 반응함수의 단조성으로부터 균형은 유일하게 된다. (증명 끝)

1 이에 대한 간략한 논의는 Sundaram(1996)의 10장을, 엄밀한 논의는 Topkis(1998)를 참조하라.

보조명제 2의 증명

부분게임에서의 일계조건인 식 (A1)을 다음과 같이 변형하자.

$$P'(q_j + q_{-j})q_j + P(q_j + q_{-j}) - C'(q_j) = p_e e^1(q_j, k_j) \quad (A3)$$

가정에 의해 식 (A3)의 우변은 q_j 에 대해 감소함수이며, 좌변은 증가함수이다. 한편, e 에 대한 가정에 의해 k_j 가 증가하면 주어진 q_j 에 대해 e^1 이 감소한다. 따라서 각 q_{-j} 에 대해 k_j 가 증가하면 이윤을 극대화하는 q_j 는 증가하게 되며, 이는 반응함수가 증가함을 의미한다. 다른 기업의 반응함수는 불변이므로, 균형하에서 q_j^e 는 증가하고 q_{-j}^e 는 감소하게 된다. (증명 끝)

명제 3의 증명

부분게임에서 쿠르노 균형의 생산량이 선택되므로 기업 j 의 전체게임에서의 이윤함수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Phi_j(k_j, k_{-j}) = \Pi_j(q_j^c(k_j, k_{-j}), q_{-j}^c(k_j, k_{-j}); k_j)$$

포락선 정리(Envelope theorem)를 이용하면 Φ_j 의 일계미분함수는 다음과 같이 전개된다.

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dk_j} \Phi_j(k_j, k_{-j}) \quad (A4) \\ &= \Pi_j^1(q_j^c(k_j, k_{-j}), q_{-j}^c(k_j, k_{-j}); k_j) \cdot \frac{\partial}{\partial k_j} q_j^c(k_j, k_{-j}) \\ & \quad + \Pi_j^2(q_j^c(k_j, k_{-j}), q_{-j}^c(k_j, k_{-j}); k_j) \cdot \frac{\partial}{\partial k_j} q_{-j}^c(k_j, k_{-j}) \\ & \quad + \Pi_j^3(q_j^c(k_j, k_{-j}), q_{-j}^c(k_j, k_{-j}); k_j) \\ &= q_j^c(k_j, k_{-j})P'(q_j^c(k_j, k_{-j}) + q_{-j}^c(k_j, k_{-j})) \cdot \frac{\partial}{\partial k_j} q_{-j}^c(k_j, k_{-j}) \\ & \quad - 1 - p_e e^2(q_j^c(k_j, k_{-j}), k_j) \end{aligned}$$

Φ_j 의 교차도함수는 다음과 같이 전개된다.

$$\begin{aligned} \frac{d^2\Phi_j}{dk_j dk_{-j}}(k_j, k_{-j}) &= \frac{\partial q_j^c}{\partial k_{-j}} P'(q_j^c + q_{-j}^c) \frac{\partial q_{-j}^c}{\partial k_j} \\ &+ q_j^c P''(q_j^c + q_{-j}^c) \left[\frac{\partial q_j^c}{\partial k_{-j}} + \frac{\partial q_{-j}^c}{\partial k_{-j}} \right] \frac{\partial q_{-j}^c}{\partial k_j} \\ &+ q_j^c P'(q_j^c + q_{-j}^c) \frac{\partial^2 q_{-j}^c}{\partial k_j \partial k_{-j}} \\ &- p_e e^{12}(q_j, k_j) \frac{\partial q_j^c}{\partial k_{-j}} \end{aligned}$$

수요함수에 대한 가정과 보조명제 2에 의해 우변의 첫 번째 항은 음의 값을 가지며, 가정 4, 보조명제 2 및 전제 (1)에 의해 두 번째 항이 음의 값을 가지며, 배출함수 e 에 대한 가정과 보조명제 2에 의해 네 번째 항 역시 음의 값을 가진다. 마지막으로 세 번째 항은 양 혹은 음의 값을 모두 가질 수 있는데, 전제 (2)가 성립한다면 우변은 음의 값을 가지게 된다. 이는 균형의 존재를 보장한다. **(증명 끝)**