

EU의 비시장적 환경규제가 전원 내 석탄비중과 배출권 가격에 미친 영향 분석

Effect of Non-Market Environmental Regulations on the Use of Coal and Emission Price in EU

한택환* · 임동순**

Teak-Whan Han · Dongsoon Lim

요약: 2010년경부터 EU의 배출권 가격이 하락하게 되면서 석탄 비중 감소 추세가 둔화되었다. 이와 시기적으로 병행하여 EU는 2008년 이후 IED, LCP BREFs 등 비시장적 환경규제를 강화하였는데 이후 EU 국가에서 석탄의 전원 내 비중이 다시 감소하게 되었다. 본 논문은 EU의 비시장적 환경규제정책들이 전원 내 석탄 비중과 배출권 가격 등에 미친 영향을 통계적으로 분석하였다. 분석 결과, 대기오염물질에 대한 규제와 온실가스에 대한 비시장적 규제는 석탄비중의 축소를 가져오는 것으로 나타났다. 반면에 배출권 가격에 대하여서는 온실가스에 대한 비시장적 규제는 배출권 가격의 하락을 그리고 대기오염규제는 배출권 가격의 상승을 가져오는 것으로 나타나서 온실가스 규제와 대기오염규제가 대기오염물질 배출과 온실가스 배출간에 일정 수준의 대체관계를 유발할 수 있음을 시사하였다.

핵심주제어: EU, 석탄, 환경정책, 배출권가격, IED, LCP BREFs, 비시장적 환경규제

Abstract: Since 2010, the decline of the share of coal in power generation has stalled, possibly due to the fall in the price of EUA. In parallel, the EU strengthened non-market environmental regulations (IED, LCP BREFs, etc.) and subsequently the share of coal in electricity declined again in late 2010 s. This paper statistically analyzed the effect of EU non-market environmental regulatory policies on the share of coal in the power sector and emission prices. We found that the non-market regulations on air pollutants and greenhouse gases led to a decrease in the share of coal. On the other hand, with respect to the emission prices, the non-market regulation on greenhouse gas caused a decrease in the emission price and the non-market regulation on air pollution caused an increase in the emission price. Therefore, it is speculated that non-market regulations may lead to a certain level of substitution between the two emissions.

Key Words: EU, Coal, EUA Prices, Environmental Policy, IED, LCP BREFs, Non-Market Regulations

* 주저자, 서경대학교 교수

** 교신저자, 동의대학교 교수

I. 서론

1. 연구 목적과 범위, 방법론 개요

EU국가에서는 2010년경부터 EU 배출권 가격 하락과 병행하여 석탄 소비의 감소세가 둔화되었다.¹⁾ EU는 2010년 이후 IED(the Industrial Emission Directive), BREFs(BAT reference), EIA(Environmental Impact Assessment) 등을 통하여 배출권거래나 환경세가 아닌 전통적인 비시장적 환경규제 수단을 강화하였다. 석탄비중은 이러한 조치의 실행 이후 다시 하락세를 유지하게 되었다.

본 논문은 비시장적 규제의 강화가 배출권가격의 하락에 따른 EU 당국의 대응으로서 결과적으로 유럽 주요국을 중심으로 EUA 가격의 하락에도 불구하고 석탄의 비중감소가 계속 진행되게 한 요인으로 작용하였는지를 분석·평가하고자 한다. 즉, 본 논문은 EU 주요국의 환경당국이 배출권거래제도의 무력화와 탄소세 제도의 약화 등 시장기반 정책이 실효성을 거두지 못하는 상황에 기민하게 대응하여 석탄에 대한 규제를 강화함으로써 석탄의 이용을 감소시키는 데에 성공하였다고 평가할 수 있는지를 검증하고자 한다. 방법론으로서는 EU의 비시장적 환경규제의 존재여부를 더미변수로 부여하고 내생성을 고려한 패널 데이터 2단계최소자승법 분석을 통하여 정책더미변수들의 유의성을 검정하였다.

본 논문은 제I장에서는 연구의 목적과 방법론을 간략히 설명하고 관련된 선행연구들을 검토하였으며 II장에서는 정책의 효과를 정책더미 변수들을 사용하여 계량적으로 분석하기 이전에 정책의 내용과 맥락에 대한 충분한 검토와 평가를 하였다. III장에서는 주요 변수들의 추세를 분석하고 II장의 논의를 바탕으로 정책더미변수를 부여하고 계량모형을 구축하

1) EU ETS는 석탄의 사용을 감소시키는 주요 동인으로 작용해왔다는 것이 정설이다. Delarue et al.(2008)에 따르면 실증연구 결과들은 EU ETS 초기 기간 중에 배출권 가격이 높을수록 석탄에서 가스로의 연료전환을 촉진하는 것으로 나타나고 있으며, 이는 후기에서도 마찬가지인 것으로 예측되었다.

여 실증분석을 행하였으며 IV장에서는 결론과 시사점을 도출하였다.

2. 관련 선행 연구

전원 내 석탄화력발전 비중에 대한 환경규제의 영향을 전체적으로 조망하고 분석한 문헌은 그리 많지 않다. EU의 비시장적 규제의 영향에 대한 연구로는 Bachmann and van der Kamp(2014)은 EU의 화석연료 연소설비의 탈질시설 개보수(retrofit) 투자(SCR: selective catalytic reaction)에 대한 BC(비용편익)분석 연구가 있다. 이에 따르면, IED에 의한 BAT 규제는 대상에 따라 음의 순편익을 나타내는 경우가 많았다. 이 분석결과는 석탄화력발전소의 경제성이 IED 규제로 인하여 감소하는 것을 보여주었으므로 간접적으로 규제에 의한 석탄비중의 감소를 예측하였다고 볼 수 있을 것이다. 한편 Sandbag(2014)에 따르면 EU의 석탄화력발전소에 대한 비시장적 규제에 대한 에너지업계의 대응은 2013년 이후 이미 시작되어 상당한 수준으로 이행되어, EU 전체로 약 35GW 규모의 석탄 발전이 가동을 중지한 것으로 나타났다. 대부분의 가동 중지가 결정된 발전설비는 부하율이 매우 낮거나 중유 발전설비에 대한 예비설비로 활용되던 발전설비로 파악되었다. 2013년 기준으로 불참 옵션을 채택한 석탄연료를 사용하는 발전설비 전체의 온실가스 배출량은 기존 배출량 대비 3% 정도 감소하는 정책 효과를 나타냈다.²⁾ IED 규제 영향에 대한 또 하나의 사례로 Remus et al.(2013)은 기존 발전설비에 대한 탈질설비개체에 대한 비용편익분석을 행한 결과 음의 값으로 나타나는 경우가 다수 발생한 것으로 나타났다. 이 또한 질산화물 규제가 석탄화력발전비중에 부정적인 영향을 미친 간접적인 증거에 해당한다.

미국의 경우, IEA(2013)는 셰일가스 혁명으로 인한 가스 가격의 하락이 미국 석탄화력발전 비중 감소의 주된 요인으로 작용하였으나 석탄화력발전소에서 가스로의 전환은 가스 가격만으로는 설명되지 않으며 미국 정부

2) Sandbag(2014), IED는 배출업체들이 불참옵션을 선택하는 것을 허용하고 있다.

의 환경규제가 중요한 역할을 하고 있다고 분석하였다. Geisbrecht and Dipietro(2009)는 CO₂ 배출 규제로 인하여 석탄화력발전소가 폐쇄되지 않으려면 상당한 규모의 기술개발 투자를 하지 않을 수 없게 되었다고 분석하였다. 기술개발 투자의 성격은 기존 석탄화력발전소의 개보수 혹은 재가동(re-powering), CCS(Carbon Capture and Storage) 기술 등으로서 상당한 규모의 투자수요가 예상된다고 보고 있다. Hanna(2010)는 1966년~1999년 패널데이터를 사용하여 분석한 결과 CAAA로 인해 미국에 기반을 둔 다국적기업이 미국이 아닌 국외로의 외국인 직접투자(FDI)를 증가시켰다고 분석했다. Sueyoshi, Goto and Sugiyama(2013)는 1990년~2007년 기간의 시계열 데이터를 사용한 DEA window 분석을 통하여 미국의 환경규제가 대기오염 저감에 결정적 기여를 하였으며 온실가스 규제가 강화되어야 한다고 분석하였다. 이러한 연구결과들은 오바마 행정부의 청정발전 계획(Clean Power Plan, CPP) 등 석탄발전에 대한 환경규제를 지지하는 것이라고 할 수 있다. 이처럼 선행연구들은 미국 석탄화력발전소 연료전환 의사결정에 환경규제로 인한 비용 상승이 중요한 역할을 하여왔음을 보여주고 있으며 동시에 가스 가격 하락 등 여타 요인도 작용하고 있음을 보여주고 있다.

Zeng et al.(2017)은 중국 베이징 탄소 배출권 가격 데이터에 대한 구조적 VAR 모델을 사용하여 탄소 배출권 가격, 경제 발전 및 에너지 가격 간의 동태적 관계를 분석하여 베이징 탄소 배출권 가격, 원유 가격, 천연 가스 가격 및 경제 발전은 유의하지는 않지만 양의 상관관계가 있다는 것을 보여주었다.

호주에 대한 Pearse(2016)의 연구는 배출권거래가 석탄발전비중 감소에 역할을 하지 못하고 있으며 직접규제만이 석탄비중을 줄일 수 있다고 주장하였다. Pearse(2016)는 호주에서 배출권 거래는 석탄의 배출감축을 다른 분야에서의 온실가스 감축으로 대체하려는 시도로 보고 있으며, 석탄 생산과 소비에 대한 직접적인 규제만이 석탄생산과 소비를 줄일 수 있다고 주장하고 있다. EU에서 배출권거래제도가 가격변동에 따라서 오히

려 석탄사용의 증대를 가져왔으며, 이에 대하여 EU가 직접규제로 대응했다는 점에서 이 논문은 호주에 대한 논의이지만 매우 시사적이라고 할 수 있다. 한택환 등(2017)은 미국의 전원내 석탄비중의 감소가 천연가스의 석탄대비 상대가격 하락 뿐만 아니라 미국의 대기오염 저감을 목적으로 한 각종 직접규제적 수단에 크게 힘입은 것임을 논증하였다. 본 연구는 한택환 등(2017)의 연구의 연장선상에서 미국과는 달리 배출권거래제도가 실시되고 있는 EU 국가들의 전원내 석탄 비중에 비시장적인 환경규제가 미친 영향을 분석하고자 한다.

II. EU의 화석연료 관련 온실가스 및 대기오염 규제 정책

이처럼 EU 에서 배출권거래제도가 석탄의 비중 축소에 큰 역할을 하지 못하게 된 결과 비시장적 직접규제를 통하여 석탄화력발전 비중을 축소하였는지를 실증적으로 검증하기 이전에, EU 의 주요 규제의 제정 동기와 기대된 효과 그리고 규제의 구체적 내용을 분석하고 평가할 필요가 있다. 이러한 평가를 거쳐야만 EU의 비시장적 환경규제가 석탄화력발전의 비중에 미친 영향을 분석하기 위한 실증모형에서 정책의 유무에 부여하는 더미변수에 대한 판단이 가능할 것이다.

1. 온실가스 규제정책

EU 회원국들의 국가 단위 온실가스 감축정책 대부분은 EU 공동의 정책 및 조치(Common and Coordinated Policies and Measures)에 의해 도입된 것이기 때문에 개별국가의 정책보다도 EU 차원에서 도입되어 시행되고 있는 감축정책들에 대해 이해하는 것이 중요하다. 석탄사용에 영향을 미치는 EU의 정책 중 온실가스 규제정책은 다양한 부문의 EU 지침(Directive)을 통하여 구현된다. 배출권거래 지침, 재생에너지 지침, 건물에너지 지침, 에너지 제품 및 전력량 과세에 대한 지침, 열병합발전 지침 등 다양한 세부

지침이 규제와 정책수단으로 활용되고 있고, 이는 발전부문이나 석탄을 사용하는 대규모 설비에서 발생하는 온실가스 배출에 직간접적인 영향을 준다. 이 가운데 발전부문의 온실가스 배출과 밀접한 관련이 있는 것은 배출권거래지침, 재생에너지지침, 열병합발전지침 등이 있다.

발전부문의 온실가스 배출에 영향을 미치는 EU의 주요 온실가스 감축 정책은 EU 배출권거래제도(EU-ETS), 유럽 기후변화 프로그램(ECCP), EU 기후와 에너지 패키지(EU Climate and Energy Package), 2050 저탄소사회를 향한 로드맵(Roadmap for moving to a low carbon economy in 2050) 등이 있다.

첫째, EU의 배출권 거래제(EU-ETS)는 2004년의 EU 지침에 의거하여 2005년부터 시행되고 있다.³⁾ EU-ETS는 Phase I(2005~2007년), Phase II(2008~2012년), Phase III(2013~2020년)의 세 단계로 나누어 진행되고 있는데, Phase III에서는 발전부문을 포함한 부문별 할당을 경매를 통한 전량 유상할당으로 전환하였다. EU-ETS는 2005년 실시된 이후 지속적으로 온실가스의 효율적인 할당에 기여하여 왔다. EUA(European Union Allowance: EU-ETS에서의 할당배출권) 가격이 25유로 수준에서 한때 4유로 수준까지 급락하였다. 2018년 배출권 공급과잉을 관리하는 내용을 포함한 4기 개정안 합의에 따라 상승하여 2018년 7월 현재 17유로 수준을 나타내고 있다. 그러나 국제경제동향, 탄소규제정책과 국제 공조 등 시장의 불안정성은 상존하고 있다. 그럼에도 불구하고 총량 목표가 언제나 달성되는 배출권거래제도의 특성상 온실가스 감축목표의 달성이라는 측면에서는 큰 문제가 없다고 할 수 있다.

둘째, EU 기후·에너지 패키지 정책은 2007년 유럽이사회(EU Council)의 정부 수반들은 EU를 저(低)배출 및 고에너지효율경제(a low emissions and highly energy efficient economy)로 전환시키고자 기후변화 문제에 대해 통합적 접근방법(integrated approach)을 채택하면서 시작되었다. 유럽위원회는 2008년 1월 2020년까지 EU가 배출하는 온실가스를 1990

3) European Commission(2004).

년 배출량 대비 20% 감축하고, EU의 에너지 소비량의 20%를 재생에너지로 공급하며, 에너지효율 개선을 통해 EU의 1차 에너지 소비량을 기준전망치 대비 20% 감축한다는 목표를 설정하였다. 이 패키지 정책은 여러 가지 정책수단을 통합한 정책조율의 개념이라고 볼 수 있다.

셋째, EU 2050 저탄소 로드맵에 의한 정책들이다. 2011년 3월 EU 집행위원회는 2050년까지 온실가스를 1990년 대비 80~95% 감축하겠다는 장기 목표를 담은 로드맵을 발표하였다.⁴⁾ EU 집행위원회의 시나리오 분석에 따르면 EU 역내에서 배출되는 온실가스를 1990년 대비 2020년까지 25%, 2030년까지 40%, 2040년까지 60% 수준에서 감축하는 것은 비용효과적인 경로를 통해 충분히 가능한 것으로 제시되었다. 감축 잠재력이 가장 높은 것으로 평가된 발전부문에서는 2050년경 CO₂ 순배출량이 무배출 수준에 도달하는 것을 목표로 하고 있다. 2011년 3월 현재 전력에너지 구성에서 45% 가량을 차지하고 있는 저탄소기술의 비중은 2020년 60%, 2030년 75~80%, 2050년에는 100%까지 증가될 전망이다.

2. EU의 비시장적 환경규제 개요

EU는 그동안 통합적인 오염물질규제를 위한 ‘통합오염예방 및 규제 지침(Integrated Pollution Prevention and Control Directive, IPPC(2008)), 통합환경관리(Integrated Pollution Prevention and Control, IPPC) 지침(96/61/EC)⁵⁾과 EU 대규모 연소시설 지침(Large Combustion Plant Directive (2001/80/EC)⁶⁾ 채택하여 석탄발전부문에 대한 환경규제정책을 시행하였다. 이후 규제강화 측면에서 최적가용기법(BAT: Best Available Technique)에 근거한 산업부문 오염물 배출지침(Industrial Emissions

4) European Commission(2011) 및 European Commission(2012a).

5) 통합환경관리(Integrated Pollution Prevention and Control, IPPC) 지침(96/61/EC)2은 EU내의 산업설비로부터 배출되는 오염을 최소한으로 억제하는 것을 목적으로 EU 환경 관련법 중 유일하게 산업 오염을 근원으로부터 총괄적으로 관리하는 지침이다.

6) 온실가스를 제외한 오염물질을 규제하는 지침으로써, 화석연료를 사용하는 발전설비는 이 지침을 통해 질소산화물과 아황산가스의 배출 규제를 받게 된다.

Directive, IED(2010/75/EU)이 기존 위의 지침과 더불어 기타 관련 지침(폐기물소각지침, 용매배출지침 등)을 대체하기 위해 2010년 채택되었다. 이에 따라 EU 회원국들은 2013년 1월 7일까지 새롭게 제정된 IED(산업부문 오염물 배출지침)을 자국법화하여 2016년 1월 1일부터 각 국의 세부 환경규제 기준을 설정하여 적용하고 있다.

EU에서 BAT는 1990년대 IPPC에서도 오염매체별 기술 규제 수준을 설정하는 근거로 도입되었다. 그러나 발전설비 등 대규모 연소시설에 대한 집중적인 환경관리의 필요성에 따라 2001년 대규모연소설비 지침(LCPD: Large Combustion Plants Directive)이 채택되면서 BAT를 개별 산업, 특정 설비에 대하여 적용하는 방안이 논의되기 시작하였다.⁸⁾ 이후 2010년 IED 지침과 2016년 개정 지침의 채택에 의하여 정유, 석유화학, 시멘트 등 제조업과 발전산업에 대한 산업별 환경규제가 개별산업별로 전면적으로 강화되면서 BAT에 의거한 규제가 핵심적인 수단으로 부상하였다.

EU는 2003년 섬유산업을 시작으로 EU 전체 회원국이 각국 환경규제에 참고하여야할 배출 허가조건인 BAT 참고 문건(BAT reference: BREFs)을 제정하였다. BREFs에서는 일반적으로 달성 가능한 배출 수준인 관련 배출 수준(Associated Emission Levels: AEL), 엄격한 수준인 최소 수준(lower BAT-AEL)과 완화된 수준인 최대 기준을 지속적으로 제시하여 채택하고 있다. BREFs는 개별 산업별로 오염물질 배출원에 대한 최적가용기술의 요건을 설명하고 이에 따른 배출규제수준의 설정에 관한 내용을 명기한 문서이므로 개별 규제대상 산업에 대한 BREFs 요건을 강화하여 신규로 도입하는 경우 환경규제가 강화되는 것을 의미한다.

BREFs(REFs 포함) 작성대상은 대규모 연소시설을 포함하여 모두 35개 활동(activities)이다. 대규모 연소시설에 대한 BREFs는 2017년 7월 최종적으로 채택되어 환경규제기준으로 적용되고 있다. BREFs는 일반 BAT와 특정 공정에 적용되는 BAT로 구성되어 있다. 일반 BAT는 산업 전체에 공

7) 5개 지침에는 Directive 78/176/EEC, Directive 82/883/EEC, Directive 92/112/EEC, Directive 1999/13/EC, Directive 2000/76/EC가 포함된다.

8) European Commission(2001).

통적으로 적용되는 것으로, 환경관리(EMS)와 에너지 효율, 물질의 저장과 취급, 공통 공정의 AEL로 구성된다. 특정 공정에 적용되는 BAT는 모니터링과 폐기물 관리에 대한 BAT, 대기배출 및 폐수배출 AEL 또는 관리기준, 그리고 폐기물과 화학물질관리 등이 포함되어 있다.

3. IED의 화석연료 설비 환경규제

2010년에 EU는 그 동안 별도로 존재하던 산업시설 관련 EU 환경규제의 여러 기본 지침들을 종합적으로 재검토하여 산업시설의 통합오염예방 및 관리에 관한 유럽연합지침(Directive 2010/75/EU on Industrial Emissions: IED)으로 재구성하였다. 이 IED는 산업 활동으로부터 발생하는 오염의 통합적 예방 및 관리의 규정에 목적을 두고 있다. 주요 내용을 요약하면, 전반적으로 높은 수준의 환경보호를 위해 대기, 수질, 토양으로의 오염배출을 사전에 예방하고 불가능한 경우 오염을 저감하여야 하며, 규정된 산업시설(Annex I, VII)의 운영을 위해서는 반드시 통합허가를 득하여야 하고, 허가조건(Permit conditions)은 규정된 오염물질(Annex II)에 대해 배출한계치(emission limit values(ELVs))를 포함하여야 하며, 이 ELVs는 최적가용기법(Best Available Techniques: BAT)에 근거하여야 한다고 기술하고 있다.⁹⁾

2013년 일부 규정이 강화되어 시행되고 있다. IED는 EU 환경규제에 있어서, 통합적인 접근, BAT의 사용, 유연성 확보, 공동 참여 등을 바탕으로 운영된다. 특히 BAT는 IED 규제 지침의 핵심 내용으로 EU 전체에 약 50,000여 개의 산업설비를 의정서 I의 대상으로 한다. IED에서 강제하는 오염물질에 대한 환경기준은 BAT에서 제시된 정보에 근거하여 설정된다. 그러나 BAT에 의거한 환경규제목표의 달성을 위하여 소요되는 비용이 막대한 부문에 대해서는 해당 산업설비의 설치 지역, 기술 특성, 환경 편익 등을 고려하여 다소 완화된 기준을 적용한다.

IED는 규제의 실효성을 높이기 위하여 규제대상 산업설비에 대하여 최

9) 김규연 등(2017) 및 산업통상자원부(2016) 참조.

소한 1~3년간 의무적으로 위험요인기준에 의거하여 환경상태를 감시하도록 규정하고 있다. 또한 일반 시민이나 이해 당사자들이 산업설비에 대한 환경기준 설정과 성과 모니터링에 의견을 개진하거나 사후에 정보를 확인하도록 명시하고 있다. 이해당사자들은 E-PRTR(the European Pollutant Release and Transfer Register: 유럽오염물질 배출 및 이전 기록부)을 자유롭게 열람하여 환경목표의 달성 정도를 확인할 수 있다.

IED가 시행되기 이전의 기존 IPPC 지침에서도 가동되는 연소 설비의 규정된 범위에 따라 기술적으로나 경제적으로 가장 효과적이고 진전된 최적 기법(BAT)을 채택하도록 하고 있다. 또한 BAT에 의거한 배출 상한 기준은 지역별 여건을 고려하여 설정된다. 그러나 IED에서는 석탄발전 등 기존 대규모 연소설비 지침(LCPD)의 본질적인 내용을 유지하면서, 산업 경쟁력 등을 고려하여 화석연료 연소설비에 대하여 개별 기업이 선택할 수 있는 조치를 마련하였다. 즉 IED에서 설정한 환경규제 준수를 이행하는데 있어서, 참여 옵션(opt-in)과 불참 옵션(opt-out)을 선택하도록 하였다. 예를 들어, 참여 옵션은 연도가스의 탈황 설비 등을 부착하여 IED의 환경규제항목을 준수하는 선택이다. 불참 옵션은 2015년 말까지 해당 규제를 준수하지 못하는 발전 설비의 경우, 규제 수준 준수에 상응하도록 가동률을 낮추거나 가동을 중지하는 선택방안이다.¹⁰⁾

온실가스 이외에 IED에서 정하고 있는 오염물질은 대기오염물질 13개 군, 수질오염물질 13개 군으로 Annex II에 구체적으로 명시되어 있다. 대기오염물질의 종류를 보면 구체적인 물질명도 있으나 발암성 또는 돌연변이 또는 생식에 영향을 주는 것으로 확인된 물질과 같이 포괄적으로 지정하는 것도 있다.¹¹⁾ 이는 우리나라 「대기환경보전법」상의 대기오염물질보다 다양한 물질이 포함된다는 것을 의미하는데, EU의 대기관리가 보다 엄격하다는 것을 보여주고 있다.

IED의 기본 목표는 EU 내 가동되는 모든 대규모 화석연료 연소설비에

10) Sandbag(2014).

11) European Commission(2010).

대하여 2016년 까지 SCR을 설치하여 NO_x 배출량을 90% 수준까지 저감하는 것이었다. 그러나 두 가지 측면에서 이러한 목표의 달성에 어려움이 나타났다. 규제 당국과 산업계 간의 협의 과정에서 다양한 의견 조율에 따라 약 4년 이상 당초의 계획이 지연되었다. EC는 독일, 영국 등 주요 국가에 대해서는 선도적으로 환경규제 국가전환계획(TNP: Transitional National Plan) 개념을 도입하여, 완전한 규제 준수 기간을 2020년 중반까지로 연장하였다. 또한 환경기술진보에 따라 NO_x의 경우 규제 협의 기간 중 보다 저비용의 저감 기술이 이용가능하게 됨에 따라 보다 유연한 정책 접근의 필요성이 제기되었다. 이를 환경규제정책에 반영하는 경우 보다 낮은 비용으로 NO_x 저감 목표를 준수하면서 부하율은 상대적으로 높게 유지하는 것이 가능해지는 것을 의미한다. 이는 국내 미세먼지나 기타 대기오염물질 배출규제에 있어서 기술진보에 따른 상황을 반영하는 정책의 유연한 적용 방식으로 고려될 수 있다.

2010년 개정 이후 IED의 NO_x 배출 저감 상한 기준은 상당히 강화되었다. 대규모 기준 일반 화석연료 연소설비의 경우 200mg/Nm³, SCR을 도입한 설비의 경우 80mg(신규발전의 경우 일반 석탄 연료 150mg, 미분탄 200mg)배출한다. EC SCR 장착 설비의 상한 기준 80mg을 보다 강화할 예정이나, 많은 피규제 발전운용사와의 마찰이 존재하고 있다.¹²⁾

주요국 기존 발전의 경우 강화된 상한 기준을 준수하기 위해서는 투자가 필요하다. 참여 옵션의 경우 모든 EU 내 일정 규모이상 화석연료 연소설비에 적용되며, 영국과 독일의 석탄화력발전 설비의 현황을 살펴보면, 기존 발전설비 평균 500mg/Nm³ 이상을 기록하고 있어 규제 준수를 위하여 2017년 이후 대규모 투자가 필요한 상태이다.

EU 각국은 2016년부터 시행되는 200mg/Nm³의 배출 상한 기준을 준수해야 한다. 그러나 앞서 설명한 것과 같이 규제 준수를 위하여 각 국별로 처한 상황이 상이한 현실을 고려하여 2020년 6월까지 국가전환계획을 제출해야 한다. 또한 2020년 6월 이전까지 기간에 대한 배출 총량 상한을

12) *Ibid.*

설정하며, 배출 상한 수준을 현재의 $500\text{mg}/\text{Nm}^3$ 에서 IED가 제시하는 $200\text{mg}/\text{Nm}^3$ 까지 낮추는 연도별 계획을 제시해야 한다.¹³⁾

설비별로 할당하여 거래를 통하여 설비별로 불균형을 해소하도록 하고 불참 옵션을 선택한 화석연료 연소설비는 2016~2023년 기간 중 17,500의 가동 시간만큼 (연평균, 2,187시간, 25% 부하율) 규제의 대상에 해당된다. 실제 이러한 규제 준수는 경제 및 영업적 측면에서 유리하지 않기 때문에 2023년까지 운영하는 불참 옵션의 화석연료 연소설비는 거의 존재하지 않을 것으로 예상된다.

화석연료 연소설비 측면에서는 개별 설비 운용사 여건에 따라 다르지만 대체로 특정 기술에 대한 논쟁이 지속되고 있다. 갈탄 및 무연탄 발전설비의 경우 NO_x 계수가 가장 심각한 논쟁 이슈로 부각되었다. 이처럼 IED의 도입과 적용은 기존의 IPPC규제를 더욱 통합적으로 적용하고 기준을 강화하여 기존의 석탄화력발전시설의 퇴출 혹은 기술투자를 강력하게 유도하고 있음을 알 수 있다.

4. 대규모연소설비(LCP) 부문에 대한 BREFs 개정

석탄화력 발전설비가 해당되는 대규모 연소설비의 BREFs는 애초에 IPPC 지침 가운데 하나로 2006년에 최초로 발간되었다. 그러나 2010년 제정된 IED 지침에 따라 구체적인 환경규제수준 설정이 진행되었다. 2013년 들어 개정 초안에서 대규모 연소시설에 대한 강화된 BAT 기준이 제안되었고, 이후 협의가 완료되어 규제가 시작되었다.¹⁴⁾ 대규모 연소시설(LCP)에 대한 BREFs는 개별 산업별, 오염매체별로 BAT에 의거하여 일정 규모 이상 설비의 오염물질 배출 기준을 설정하여 EU 모든 지역에 적용한다.

다만 앞서 설명되었듯이 규제 준수의 실효성을 위하여 지역, 산업 특징, 설비의 가동 연한 등을 고려하여 다양한 면제조항을 도입한다. 산업별로

13) European Commission(2012b).

14) 공성용·홍석표(2013).

는 개별적인 계획에 의거하여 이해당사자 협의 등을 통해 최종적으로 환경규제기준이 설정된다. 예를 들어 개별 EU 회원국의 허가 담당자는 예외 조항에 해당하는 경우 BAT 수준과 다른 수치, 적용 기간, 적용 조건 등 배출허용기준을 작성할 수 있다. BAT 배출수준이 환경 편익에 비하여 불균형적으로 높은 비용을 초래할 경우에는 그보다 낮은 수준의 배출허용기준을 설정할 수 있다. 예를 들어 EU의 대표국가인 독일의 허가관련 규정을 살펴보면, 독일의 배출시설 허가는 연방 매연방지법(Federal Emission Control Act: BImSchG)에서 규정하고 있는데 허가 대상은 IED가 요구하는 것보다 훨씬 넓고 세분화 되어 있으며 대규모 화석 연료 연소설비인 발전시설도 허가대상시설로 분류된다.

대규모 연소설비에 대해서는 2017년 최종적으로 BAT 기준이 채택되었다.¹⁵⁾ 2017년 대규모 화석연료연소시설에 대한 새로운 환경규제기준인 BREFs/BAT의 최종 결과물이 공식 문건으로 채택되었고, 약 4년간에 걸쳐서 기존 화석연료 연소설비에 할당하는 계획에 대한 검토와 2016~2020년 기간 중 각국의 이행 계획 수립 및 법제화 과정이 진행 중이다. 이러한 과정이 완료되면 2020년 1월 신규 규제 및 지침이 모든 화석연료 연소설비에 적용될 예정이고 또한 EU 공식 문건으로 BAT 논의에 대한 최종 결과를 수록할 예정이다.¹⁶⁾

대규모 화석연료 연소시설에 대한 최적기술규제인 LCP BREFs의 시행에 따라 2020년대 중반 이후에는 기존의 온실가스 규제(EU ETS 등), 국제 에너지 시장의 화석연료에 대한 비용증가 등의 요인과 통합적인 영향이 발생하여, EU 내 석탄화력발전의 점차적인 폐지가 유도될 전망이다. 물론 개별 설비의 가동 중단 시점과 속도에 대해서는 위에 언급한 요인들의 추이와 각 국 정부의 정책의지 등에 따라 차별적으로 진행될 것으로 예상된다. 이는 EU 내 대기 환경규제가 해당 분야 자체의 정책으로 결정되기 보다는 보건, 기후변화 등 통합적인 환경관리와 규제 정책이 수행된다는 측

15) European Commission(2017).

16) EU 환경관련담당자 인터뷰 결과, 2016년 2월 23일.

면에서 복합적인 요인이 존재하기 때문이다. 그러나 기본적으로 BREFs 방식의 환경규제의 도입과 진전은 기존 발전설비의 퇴장뿐만 아니라 갈탄 및 무연탄 발전의 신규 설비 투자에 대한 사전적인 억제 효과도 매우 클 것으로 분석된다. 2010년의 IED와 LCP BREFs의 규제 강도 비교는 일반적으로 기술 기준이 최소한 현재 수준의 규제를 고려하여 설정된다는 면에서 BREFs가 강한 것으로 판단되나 실제 효과는 다양한 여건에 대한 고려가 필요할 것이다. 석탄화력발전 측면에서는 개별 설비 운용사 여건에 따라 다르지만 대체로 특정 기술에 대한 논쟁이 지속되고 있다.

III. 규제추이와 EUA 가격, 그리고 석탄 비중

1. 온실가스, 오염물질 배출량, 석탄사용량, 석탄비중 추이

온실가스 규제와 대기환경 오염물질에 대한 규제와 관리 정책은 매우 밀접한 관련성이 있다. 그러므로 LCP BREFs의 강화, IED 등 비시장적 환경규제가 석탄의 비중과 사용량에 미친 영향은 EU의 석탄사용에 영향을 미치는 핵심적 변수의 하나인 배출권 가격 등의 온실가스 요인과 함께 고려하여 분석하여야 한다.

EU-ETS는 2005년 실시된 이후 지속적으로 온실가스의 효율적인 감축을 위하여 시행되어 왔다. EUA(European Union Allowance: EU-ETS에서의 할당배출권) 가격은 시행 초기 25유로 수준에 이르렀으나, 유럽지역의 경제성장 둔화, 국제탄소규제 공조의 약화 등으로 2013년 4유로 수준까지 급락하여 시장 규제의 한계를 드러냈다. 2018년 배출권 공급과잉을 관리하는 내용을 포함한 4기 개정안 합의에 따라 상승하여 2018년 7월 현재 17유로 수준을 나타내고 있다. 그러나 국제경제동향, 탄소규제정책과 국제 공조 등 시장의 불안정성은 상존하고 있다(<그림 1> 참조).

〈그림 1〉 EUA 거래 가격 동향



자료: EEA(2017) 및 EEX 웹사이트(<http://eex.com>)
 주: 2018년 7월은 유럽에너지거래소 일일가격 기준임

국제에너지기구 (IEA: International Energy Agency)에 따르면, 2017년 OECD국가의 석탄화력발전 총량은 3,011.3 Twh(terawatt hours)로 2016년 3,043.8 Twh 보다 32.5 Twh 감소한 수치이다. 이는 지난 10년 동안 지속적으로 감소하는 추세가 이어진 결과이며, 최근 들어 다소 둔화된 수치이다.¹⁷⁾ OECD국가의 석탄화력발전의 감소는 주로 EU회원국의 화석연료 사용규제에 기인한다. 〈표 1〉에서와 같이 2017년 석탄발전은 2016년 대비 32.5 Twh, 2010년 대비 725.4 Twh 감소하여 각각 0.9%, 19.4%의 감소율을 기록하였다. 2010년 대비 2017년 기간의 경우 미국의 감소 기여분이 가장 많으며, 유럽지역에서는 영국과 독일이 각각 85.5 Twh, 21.2 Twh로 석탄화력발전 감소에 가장 많이 기여한 국가로 나타났다. 독일과 영국의 급격한 석탄발전 감소는 2010년대 이후 지속적으로 신재생에너지 발전이 증가하는 한편 석탄관련 규제가 강화되었던데 기인한다.

17) IEA, 2017, Coal information 2017; IEA, 2018a, Coal information 2018.

〈표 1〉 2010~2017년 OECD 국가 석탄화력발전량 순 변화 추이 (단위: Twh)

	전체	아메리카	아시아/오세아니아	유럽	미국
2010	3736.7	2122.9	740.8	873.0	1994.2
2016	3043.8	1481.0	772.6	790.3	1354.0
2017	3011.3	1437.8	804.5	769.0	1316.3
2016-2017	-32.5	-43.2	31.9	-21.3	-37.7
2017-2010	-725.4	-685.1	63.7	-104.0	-677.9
	프랑스	독일	폴란드	터키	영국
2010	26.3	273.5	138.4	55.0	108.7
2016	10.5	273.2	132.9	92.3	31.5
2017	13.8	252.4	133.4	97.5	23.2
2016-2017	3.3	-20.8	0.5	5.2	-8.3
2017-2010	-12.5	-21.1	-5.0	42.5	-85.5

자료: IEA(2018a), Coal information 2018 overview

이와 같은 석탄의 사용감소에 따라서 EU 주요국인 프랑스, 독일, 영국의 전원 중 석탄화력발전의 비중은 2006년 각각 4.6%, 47.2%, 38.2%에서 2016년 2.1%, 42.5%, 19.8%로 대폭 하락하였다.¹⁸⁾ 그 원인을 유추하자면 우선 석탄의 상대가격(천연가스 대비)이 상승하였으며, 이와 더불어 EU 내에서 석탄발전에 대한 규제가 BAT 규제 도입 등으로 강화되고 있는 점에 기인한다. 또한 다수 석탄발전소가 노후화 되어 대체 혹은 폐기의 필요성이 대두된 점도 원인 중 하나이다. 또 다른 원인은 중장기적인 온실가스규제 강화와 이에 따른 저탄소 에너지 정책도 원인으로 작용하였다고 볼 수 있으나 이는 2010년경부터 시작되었던 배출권 가격의 하락으로 주춤하였다. 석탄의 비중 축소는 주로 가스로의 전환과 병행된 것이다. 2014년 들어 EU 지역의 전원구성은 천연가스 가격의 하락에 따라 가스로의 발전 연료 전환이 진행되고 있다. 네덜란드의 천연가스 기준가격(TTF: Title Transfer Facility)은 2013년 26유로/Mwh에서 2014년 들어 16유로/Mwh로 하락하였고, 석탄과 탄소 가격도 하락하였으나 상대적으로 하락폭은 적었다.¹⁹⁾

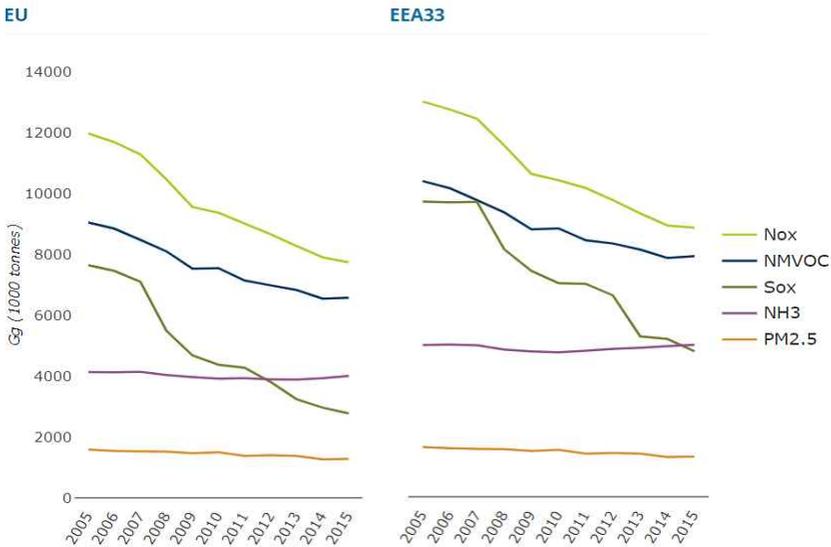
유사한 기간 동안 대기오염물질의 배출추이를 살펴보면 다음 〈그림 2〉

18) IEA, 2018b, Oil, gas, coal and electricity quarterly statistics.

19) International Energy Agency(2015).

와 같다. 비시장적 환경규제의 강화는 주로 대기오염물질의 저감을 목적으로 하는 것이며 그 성과는 대기오염물질의 배출량 동향을 보면 알 수 있다. 대기오염물질인 SO₂, NO_x, PM_{2.5}의 최근 배출 동향을 살펴보면 경제성장 둔화와 전력수요증가의 둔화 등으로 인하여 전반적으로 감소했다. NO_x의 경우에도 수송용 및 산업용 에너지 소비의 증가에 따른 상승 압력에도 불구하고 2008년 기후와 에너지 패키지(EU Climate and Energy Package) 지침 등의 영향으로 감소했다 (<그림 2> 참조). 이러한 대기오염물질의 배출 감소는 석탄의 사용감소에 주로 기인한다고 볼 수 있다. 석탄의 대기오염을 통한 환경피해는 심각한 수준이며 유럽의 대기 환경규제는 본질적으로 석탄의 사용감소를 목표로 하고 있다고 볼 수 있다.²⁰⁾

<그림 2> EU 및 EEA 회원국 주요 대기오염물질 배출 추이 (2005~2015년)

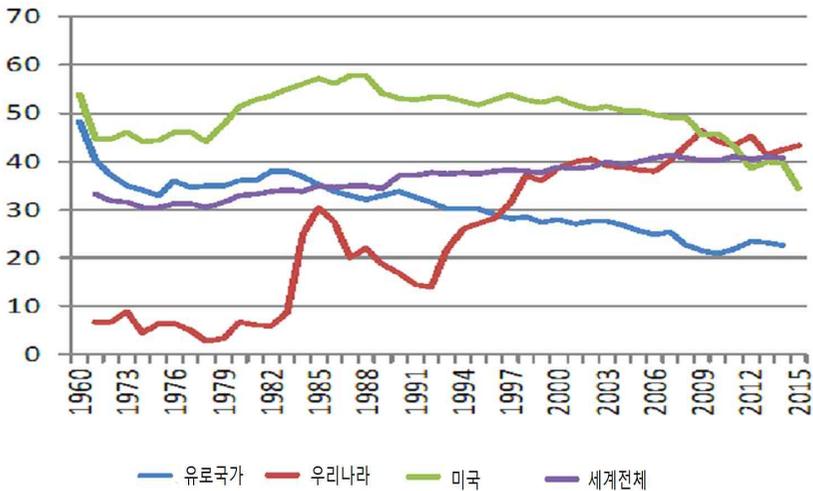


자료: European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/air-pollutants-emission-trends-in-1#tab-dashboard-01>)

20) EU에서 석탄화력발전소 대기오염 건강피해 비용은 연간 428억 유로에 달하는 것으로 조사되었다. 이는 PM_{2.5}, SO₂, NO_x 등만이 포함된 것이며 호흡기 및 순환기 질병으로 인한 연간 18,200명의 조기사망, 8,500명의 만성기관지염 신환, 400만일 이상의 노동손실 등이 포함되어 있다(HEAL, 2013, The unpaid health bill: How coal power plants make us sick).

유럽 주요국의 온실가스와 기타 대기오염물질의 감소는 온실가스, 미세먼지 등의 환경피해를 발생시키는 화석연료 규제정책의 결과이다. 그리고 이러한 대기오염물질은 큰 부분이 석탄 사용으로부터 오는 것이며 따라서 이러한 뚜렷한 대기오염물질 감소는 석탄사용의 감소를 나타내는 것이라 할 수 있다. <그림 3>은 주요국가에서의 연도별 전체 전력생산량 가운데 석탄발전의 비중을 나타내고 있다. 유로지역 국가의 석탄비중은 꾸준히 감소하다가 2010년 경 반등하였으나 그 후 다시 하락세로 돌아왔음을 알 수 있다. 한국은 석탄 비중이 지속적으로 증가하여왔으며 최근에는 안정화되었다. 미국은 최근 들어 급격한 감소추세를 보이고 있다.

〈그림 3〉 유로국가와 주요국의 석탄의 전원 내 비중 추이



자료: The World Bank Group World Bank Open Data (<https://data.worldbank.org/>)

2. 비시장적 환경규제의 배출권 가격 영향 및 전원 내 석탄비중 영향 평가

화석연료규제를 위한 EU의 비시장적 규제가 석탄의 사용에 미치는 영향을 간단히 분석하기 위하여 규제의 존재여부를 더미변수화 하였다. 이는 해당 규제가 시행된 이후 지속적으로 배출권 가격과 석탄 사용 비중에

영향을 준다는 가정을 분석하기 위한 것으로 규제의 영향을 정량적으로 파악하기 어려워 더미변수로 설정한 것이다. 본 논문에서 언급된 EU의 2005년 배출권거래제도 실시 이후 주요 환경규제를 연도별로 정리하여 주요규제 여부와 관련하여 부여된 더미변수 값과 값을 부여한 근거를 표로 보여주면 다음 <표 2>와 같다.

본 연구에서 주된 관심사는 과연 EU국가의 전원 내 석탄비중의 변화에 비시장적 환경규제가 배출권가격이나 석탄-가스 상대가격이 설명하는 것보다 추가적인 영향을 미쳤는가를 검증하는 것이다. 전원 내 석탄비중과 EUA배출권 가격에 미친 EU의 비시장적 규제의 영향을 추정하기 위하여 EU 회원국 중 26개국(몰타, 룩셈부르크 제외)의 2004-2017년의 패널데이터를 사용하여 분석을 수행하였다. 데이터의 출처는 다음과 같다. 우선 EU ETS의 배출권 가격과 변화율은 Sandbag에서 EEX 자료를 재정리한 2008년~2017년 EUA 가격 동향 자료를 이용하였다.²¹⁾ GDP와 인구는 World Bank가 발간하는 World Development Indicators 매년호의 자료를 사용하였고²²⁾, EU 회원국 전력부문에 사용된 석탄과 천연가스의 소비량은 Sandbag의 에너지 DB자료를 이용하였다. 비EU 회원국의 석탄과 천연가스의 소비량은 미국 에너지부 에너지정보청의 국제에너지전망 에너지 자료를 이용하였다.²³⁾ 지역별 가격 격차가 발생하는 석탄과 천연가스 가격 자료는 S&P Global Inc.의 S&P Global Platts, 독일 연방통계청의 Energy Data Statistics, Energy Intelligence Group의 Natural Gas Week, IEA의 Oil, Gas, Coal and Electricity Quarterly Statistics 등 공식 기관의 매년호의 자료를 이용하였다.²⁴⁾

21) Sandbag, <https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/>.

22) World Bank, 2019, World development indicators.

23) US DOE/EIA, 2019, International energy outlook 2019.

24) S&P Global Inc., 2018, S&P global platts; German Federal Statistical Office and German Federal Office of Economics and Export Control, 2018, Energy data statistics; Energy Intelligence Group, 2019, Natural gas week; IEA, 2018, Oil, gas, coal and electricity quarterly statistics.

〈표 2〉 정책더미변수로 사용되는 EU의 온실가스 및 대기환경 규제 내용

연도	규제/정책 명	비고	정책 더미변수
2005	EU ETS	EUA가격에 이미 반영되어 있으므로 본 연구에서는 규제더미로 간주하지 않음	더미변수에서 제외
2008	EU 기후·에너지 패키지의 정책	온실가스 감축에 대한 포괄적이고 강력한 정책 패키지임	EU회원국에서 2008년 이후 POLICY1=1, 이전=0
2010	IED 채택	중요한 산업오염물질 배출규제임	EU회원국에서 2010년 이후 POLICY2=1, 이전=0
2011	2050로드맵	배출권 가격이 낮아진 시점에서 포괄적인 온실가스 저감정책을 규정하고 있으나 IED와 시기적으로 거의 중복되므로 규제 더미에서 제외	더미변수에서 제외
2016	강화된 LCP BREFs 채택	LCP BREFs의 강화는 석탄연소 시설에 대하여서는 강력한 추가 비용 발생 요인임	EU회원국에서 2016년 이후 POLICY3=1, 이전=0

EU 국가들의 전원 내 석탄비중은 EU의 배출권 가격의 하락과 병행하여 상승하는 추세를 보여주었다. 그러나 2008년 이후 다양한 비시장적 규제가 고입된 이후 낮은 배출권 가격에도 불구하고 다시 석탄비중이 하락하는 추이를 보여주었다.²⁵⁾ 그러나 이러한 추론은 배출권가격을 외생변수로 처리하였다는 점에서 문제점이 있다. 배출권가격은 여러 요인에 의하여 결정되며 규제정책에 의하여서도 영향을 받으므로 내생성의 문제가 발생한다. 따라서 배출권가격의 변화율을 도구변수를 사용하여 추정하는 후 그로부터의 예측치를 전원 내 석탄비중을 종속변수로 하는 추정식의 독립변수로 사용하여 추정하는 2단계 최소자승법으로 추정하였다. 즉, 전원 내 배출권가격변화율에 대한 추정식은 다음 식 (1)과 같이 추정하여 이로

25) 전원 내 석탄비중 (SHARE)을 추정하기 위한 간단한 OLS 모형 추정결과는 다음과 같다. 추정식1은 배출권 가격만을 설명변수로 사용한 추정결과이고 추정식2는 배출권 가격(P)과 누적 규제지수(REG)를 사용한 것이다. 누적규제지수는 〈표 2〉에서 정책더미변수를 모두 더한 값이다. 추정식1은 유의하지 않지만 누적 규제지수를 사용하여 추정한 추정식2는 배출권 가격과 누적규제지수 공히 유의한 결과를 보여주고 있다 (괄호 안은 t통계량임).

$$\begin{array}{l}
 \text{(추정식1)} \qquad \qquad \qquad \text{(추정식2)} \\
 \text{SHARE} = -0.00227P_E + 3.13 \text{ SHARE} = -0.0991P_E - 0.14262REG + 3.648 \\
 \qquad \qquad \qquad (-0.93) \quad (97.2) \qquad \qquad \qquad (-3.0) \quad (-3.7) \qquad \qquad \qquad (23.4) \\
 R^2 = 15.0\% \qquad \qquad \qquad R^2 = 78.6\%
 \end{array}$$

부터 \dot{P}_E 에 대한 추정치인 \widehat{P}_E 를 추정하여 이를 독립변수의 하나로 식 (2)에 대입하여 추정하는 방식으로 추정하였다.

$$\dot{P}_E = a_0 + a_1 P_E + a_2 COGAS + a_3 POLICY1 + a_4 POLICY2 + a_5 POLICY3 \quad (1)$$

$$SHARE = b_0 + b_1 \widehat{P}_E + b_2 COALDEP + b_3 PCGDP + b_4 POLICY1 + b_5 POLICY2 + b_6 POLICY3 \quad (2)$$

위의 식 (1)은 \dot{P}_E (배출권가격변화율)가 P_E (배출권가격), $COGAS$ (석탄과 가스 상대가격), $POLICY1$ (EU 기후·에너지 패키지 정책 수행 유무), $POLICY2$ (IED 채택 유무), $POLICY3$ (강화된 BREFs 채택 유무) 등에 의하여 결정된다는 가설하에 채택된 식이다. 그리고 식 (2)는 $SHARE$ (석탄의 전원내 비중)가 \dot{P}_E (배출권가격변화율), $COALDEP$ (개별 국가의 GDP대비 석탄 비중), $PCGDP$ (일인당 GDP), $POLICY1$ (EU 기후·에너지 패키지 정책 수행 유무), $POLICY2$ (IED 채택 유무), $POLICY3$ (강화된 LCP BREFs 채택 유무) 등에 의하여 결정된다는 가설을 추정식화한 것이다.

추정방법은 Hausman 검정을 거쳐 패널 데이터에 대한 최우추정법에 의한 확률효과모형 (MLE Random Effect Model)을 채택·사용하였다. 아래의 <표 3>은 배출권가격변화율에 대한 1단계 추정결과이며 <표 4>는 1단계 추정결과를 독립변수의 하나로 사용한 2차 추정결과로서 전원내 석탄비중에 대한 추정결과이다.

<표 3>의 추정결과를 보면 상수항을 제외한 모든 변수가 유의한 것으로 나타났으며, \dot{P}_E 가 양의 그리고 $COGAS$ 가 음의 유의한 계수를 나타내고 있다. \dot{P}_E 에 대한 양의 유의한 계수는 배출권가격 수준과 배출권 가격의 변화율이 양의 관계를 가지고 있다는 것을 보여주고 있다. 그리고 음의 유의한 $COGAS$ 계수는 석탄-가스 상대가격이 높을수록 배출권 가격의

상승률이 높아지는 관계를 보여주고 있다. 한편 정책더미변수 중 *POLICY2*와 *POLICY3*의 계수의 부호가 유의한 양수이다. 이는 IED와 LCP BREFs 강화가 탄소배출권의 가격을 상승시켰다는 것을 의미한다. 그런데 대기오염물질의 배출과 온실가스 배출간에 보완성이 존재할 것이라는 전제하에서 보면, EU의 비시장적 환경규제는 석탄 등 대기오염물질 다배출 시설의 가동을 제한시켰을 것이므로 온실가스 배출권 가격은 하락할 것으로 기대하여야 할 것이다. 즉, 대기오염물질에 대한 규제강화는 주로 석탄과 같은 대기오염 다배출 연료의 비용상승을 가져오고 이는 대체 연료인 가스의 실효적인 상대가격을 하락시켜 온실가스 배출의 감소를 가져올 것이다. 그러므로 온실가스 배출의 감소는 결과적으로 배출권 가격 하락의 요인이 될 것으로 기대되었을 것이다. 그러나 결과는 반대로 나타났다. 그 이유를 분석하면 다음과 같다. 주어진 기술 하에서는, 대기오염물질의 배출을 감소시키는 연료투입의 저감은 온실가스 배출도 감소시키는 보완관계가 존재한다. 그러나 기술이 외생적으로 주어지지 않고 기술의 유형을 선택하는 상황에 처할 경우, 이윤극대화 발전업체들은 대기오염물질배출에 대한 직접규제에 대하여, 동일비용일 경우 대기오염물질의 저감을 위하여 온실가스의 저감을 희생하는 기술적 선택을 행할 것으로 예측된다. 즉, 한 경제 내에서 대기오염물질에 대한 직접규제의 강화는 온실가스를 더 배출하고 대기오염물질을 덜 배출하는 방향으로 대체가 이루어지게 하는 요인이 될 수 있다는 것이다.²⁶⁾ 이에 따라 온실가스의 배출 유인이 증대되고 한정된 배출권 양을 전제로 이는 배출권가격의 상승 요인이 되는 것으로 해석된다. 대기오염물에 대한 규제가 아닌 온실가스

26) 온실가스와 대기오염물질의 배출은 주어진 기술하에서 물리적으로는 보완관계라 할 수 있으나 기술선택과 관련한 경제적 의사결정에 있어서는 그렇지 않을 수 있다. 2개의 기술대안이 있고 온실가스 및 대기오염물질이 다같이 저감되지만 저감량의 상대적 비율이 다른 기술이 있다고 하자. 이 때 대기오염물질에 대한 규제가 강화되면 경제적 선택은 대기오염물질의 더 많은 저감을 위하여 온실가스의 저감을 부분적으로 희생하는 대안이 될 것이다. 이러한 상황에서는 명백히 대체관계가 존재하며 이러한 경우가 그리 드물지 않을 것이다. 이와 관련한 이론적인 분석은 한택환·임동순(2019)에 수식과 그래프 등으로 논증되어 있다. 또한 김승도(2018)도 BAT 규제에서 대기오염물질규제약화가 온실가스 배출을 증대시킬 수 있는 가능성을 언급하고 있다.

규제에 대한 정책더미변수인 *POLICY1*의 부호가 *POLICY2*와 *POLICY3*와 대조적으로 유의한 음수인 것은 이를 확인해주는 결과라고 할 수 있다. 온실가스 배출규제는 온실가스 배출을 저감시켜서 배출권가격의 하락요인이 되고 있다고 해석된다.²⁷⁾

〈표 3〉 배출권가격변화율(\dot{P}_E)에 대한 1단계 추정결과

변수	계수	z 통계량	p 값
<i>POLICY1</i>	-.3747943	-7.08	0.000
<i>POLICY2</i>	.4061028	6.06	0.000
<i>POLICY3</i>	.1352503	2.32	0.020
P_E	.0372685	8.89	0.000
<i>COGAS</i>	-.022246	-3.12	0.002
상수항	-1.1784007	-1.60	0.109

Log likelihood = -87.207285
LR chi2(5) = 126.87 Prob > chi2 = 0.0000

〈표 4〉는 2단계 추정식이고 본 논문의 주된 관심사인 전원내 석탄비중에 대한 회귀식 결과이다. *POLICY1*, *POLICY2* 및 *POLICY3*은 통계적으로 유의한 음의 부호를 가진 계수를 가진 것으로 나타났다. 그리고 배출권가격 변화율의 계수는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 배출권가격의 내생성을 고려하여 도구변수를 사용한 2단계최소자승법을 적용하고 누적 규제지수 대신 의미가 좀더 명확한 정책더미변수를 사용하였으나, 최종적인 분석결과는 당초의 단순 OLS분석 결과와 크게 상이하지 않았다. 다만 단순 OLS에서 배출권가격이 유의하게 나타났으나 본 추정 결과에서는 배출권가격변화율이 유의하지 않게 나타난 점만이 다른 점이라 할 수 있다. 한편, *PCGDP*의 계수는 유의하지 않았고 GDP 대비 석탄생산비중(*COALDEP*)은 양의 유의한 계수를 가지는 것으로 추정되었다.

27) 물론 이와 같은 해석은 잠정적인 것이며, 확실한 결론을 내리기 위하여서는 보다 보편적인 방법론을 채용한 연구가 필요하다.

〈표 4〉 전원 내 석탄비중(SHARE)에 대한 2단계 추정결과

변수	계수	z 통계량	p 값
<i>POLICY1</i>	-.0221317	-2.27	0.023
<i>POLICY2</i>	-.0158143	-2.38	0.017
<i>POLICY3</i>	-.0319747	-4.96	0.000
\dot{P}_E	-.0031086	-0.22	0.830
<i>COALDEP</i>	.0001085	2.31	0.021
<i>PCGDP</i>	.7939195	1.14	0.253
상수항	.2326304	5.44	0.000

Log likelihood = 583.87497
LR chi2(6) = 114.30 Prob > chi2 = 0.0000

이 추정결과들을 비교하고 종합하여 해석하면 다음과 같다. 배출권가격에 대한 영향 측면에서 보면 대기오염물질에 대한 규제는 배출권가격을 상승시키며 온실가스 전반에 대한 비시장적 규제는 배출권가격을 하락시키는 상반된 결과를 보이고 있다. 반면에 석탄의 전원내 비중에 대한 온실가스 규제와 대기오염물질 규제의 영향은 동일하게 유의한 음수로 나타났다. 이것은 두 유형의 규제정책들이 대기오염물질의 배출 변화율과 온실가스의 배출 변화율에 미치는 영향면에서는 반대방향의 움직임을 보이고 있지만 그 순효과면에서는 공히 석탄의 사용을 줄이는 방향으로 나타남을 보여주고 있다고 할 수 있다.

IV. 결론 및 시사점

80년대 이후 세계적으로 석탄의 비중이 꾸준히 증가해오고 미국은 여전히 매우 높은 비중을 유지해왔던 것과 달리, 유럽은 석탄의 전원내 비중이 지속적으로 감소해왔다. 그러나 2010년 이후 부터 미국의 석탄비중이 급격히 감소하고 있는 데에 비하여 유럽의 감소추세는 주춤한 편이었다. EU에서는 2009년 이후 EUA 가격의 하락과 시기적으로 병행하여 석탄비중의 감소세가 둔화하였다. EU는 이 시기에 2010년의 IED 규제, 2016년

의 LCP BREFs 등 비시장적 환경규제를 강화하였는데, 이러한 조치가 시행된 이후 EU 국가의 전원내 석탄비중이 다시 하락세로 반전하였다. 본 연구는 이러한 정책들이 석탄 비중의 감소에 기여하였는지 그리고 배출권 가격에도 어떤 영향을 미쳤는지 여부를 분석하고자 한 것이다.

정책에 대한 정성적 평가를 거쳐서 정책더미변수를 설정하고 내생성을 고려한 2단계최소자승법을 사용하여 분석한 결과 IED, LCP BREFs 기준 강화와 온실가스패키지 규제는 모두 전원내 석탄비중을 감소시키는 것으로 나타났다. 즉, EU 국가 및 유로 지역 국가의 석탄의 전원내 비중은 배출권 가격의 하락에 따라 감소세가 둔화되었으나 2010년을 기점으로 한 비시장적 환경규제 강화에 따라 다시 감소하게 되었다. 석탄의 전원내 비중에 대한 배출권가격변화율의 영향은 유의하지 않게 나타났다.²⁸⁾

이러한 추정 결과는 우리나라의 환경정책 및 에너지 정책에 있어서 다음과 같은 시사점을 가진다. 미세먼지 등 대기환경 정책은 온실가스 정책과 밀접한 관계를 가지고 있으나 배출권거래제도 등으로 온실가스 감축이 이루어진다고 하여도 대기오염이 해소된다는 보장이 없으며 대기오염물질에 대한 배출권거래제도나 강력한 부과금제도가 부재한 경우 직접규제를 중심으로 한 별개의 정책의 실시를 고려할 필요가 있다는 것이다. 우리나라에서도 최근 통합환경관리법의 도입과 최적이용기법(BAT: Best Available Technique) 규제가 시행되고 있으며 이는 배출권거래제도나 부과금 등의 적절한 집행이 이루어지지 못할 경우 유용한 정책수단이 될 수 있을 것이다.

그러나 우리나라의 경우는 석탄에 대한 복잡한 기술적 규제보다는 오염

28) 정책의 효과에 대하여 시차를 고려하여야 한다는 견해가 있을 수 있으나 일반적으로 환경규제의 시행이전에 5년 이상의 논의가 있고 이러한 논의 자체가 설비투자 등에 영향을 미쳐서 규제의 영향은 후행하기보다는 동행 혹은 선행할 수도 있다는 것이 일반적인 의견이다. 따라서 정책에 대한 시차의 적용은 불필요하다고 판단된다. 또한 온실가스와 대기오염물질간 부분적인 대체효과는 주로 기술의 선택에 의하여 발생하고 기술의 선택은 어느 정도의 시간이 소요된다. 그런데 전술한 바와 같이 정책이 5년 전부터 예고되어왔다는 점을 감안할 때 실증분석 결과 대기오염물질 규제정책이 대체효과를 통하여 온실가스 배출증대를 가져올 만큼의 시간경과가 있었을 것으로 유추할 수 있다.

물질 별로 부과금을 부과하거나 오염물질별 배출권거래제도 (수도권에 이미 적용)를 확대 적용하는 것이 더 바람직할 수 있다. 본 논문은 EU의 석탄 비중감소에 EU의 비시장적 규제가 큰 역할을 하였다는 사실을 분석한 것이지 그러한 정책이 우리나라에도 바람직스럽다고 주장하고 있는 것은 결코 아니다. 오히려 EU의 비시장적 규제는 그 정책들이 일부 비용편익 측면에서 비효율적으로 나타나고 있는데서 보듯이 문제점도 상당하기 때문이다. IED, LCP BREFs 등 비시장적 규제의 경제적 효율성에 관한 주제는 별도의 연구과제로 다루어져야 하며, 여기에 EU가 이러한 정책을 펼 수 밖에 없었던 제도적 역사적 특수성도 함께 분석되어야 할 것이다.

■ 참고문헌 ■

- 공성용·홍석표, 2013, 『국내 환경기술수준과 EU BREFs 비교 및 BAT 도입 시 비용 사례 분석』, (연구보고서; 2013-10), 서울: 한국환경·정책평가연구원.
- 김규연·신수정·문희성·전태완·신선경, 2017, “유럽연합의 통합환경관리 지침(IED)과 최적가용기법 참고문헌(BREF)의 이해와 고찰,” 『한국도시환경학회지』, 17(1), pp.109-117.
- 김승도, 2018, 『대기오염물질과 온실가스의 통합관리』, (기후변화법제연구사업 이슈페이퍼; 2018년 02호), 세종: 한국법제연구원.
- 산업통상자원부, 2016, 『석탄화력발전소에 대한 환경규제의 경제성 분석: 국외 사례 조사』, (연구용역보고서), 세종: 산업통상자원부.
- 한택환·임동순·박시용·김진태, 2017, “미국 전원 내 석탄화력발전 비중에 대한 환경규제 영향평가: 정성적 평가와 계량분석의 결합,” 『환경정책』, 25(2), pp.199-230.
- 한택환·임동순, 2019, “다오염물질 상황에서의 최적가용기법 기준의 경제적 효율성에 관한 연구,” 『환경영향평가』, 28(2), (계재예정).
- Bachmann, T. M. and J. van der Kamp, 2014, “Environmental cost-benefit analysis and the EU industrial emissions directive: Exploring the societal efficiency of a DeNO_x retrofit at a coal-fired power plant,” *Energy*, 68, pp.125-139.
- Delarue, E., K. Voorspoels, and W. D’haeseleer, 2008, *Fuel switching in the electricity sector under the EU ETS: Review and prospective*, (WP EN2007-004; TME WORKING PAPER - Energy and Environment), KULeuven Energy Institute TME Branch.

- Energy Intelligence Group, 2019, Natural gas week, http://www.energyintel.com/pages/about_ngw_datasource.aspx.
- European Commission, 2001, Directive 2001/80/EC of the European parliament and of the council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants, EC.
- _____, 2004, Directive 2004/101/EC of the European parliament and of the council of 27 October 2004, EC.
- _____, 2010, Directive 2010/75/EU of the European parliament and of the council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control).
- _____, 2011, Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions: A roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, EC.
- _____, 2012a, *Energy roadmap 2050*, Luxembourg: EC.
- _____, 2012b, Laying down rules concerning the transitional national plans referred to in directive 2010/75/EU of the European parliament and of the council on industrial emissions, EC.
- _____, 2017, Commission implementing decision (EU) 2017/1442 of 31 July 2017 establishing best available techniques (BAT) conclusions, under directive 2010/75/EU of the European parliament and of the council, for large combustion plants (Notified Under Document C(2017) 5225, EC.
- European Environment Agency, 2017, *Trends and projections in the EU ETS in 2017: The EU emissions trading system in numbers*, (EEA Report No 18/2017), Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Geisbrecht, R. and P. Dipietro, 2009, "Evaluating options for US coal fired power plants in the face of uncertainties and greenhouse gas caps: The economics of refurbishing, retrofitting, and repowering," *Energy Procedia*, pp.4347-4354.
- German Federal Statistical Office and German Federal Office of Economics and Export Control, 2018, *Energy data statistics*, Federal Publishing Office.
- Hanna, R., 2010, "US Environmental regulation and FDI: Evidence from a panel of US-based multinational firms," *American Economic Journal: Applied Economics*, 2, pp.158-1890.
- HEAL, 2013, *The unpaid health bill: How coal power plants make us sick*, Brussel:

HEAL.

International Energy Agency, 2013, *Gas to coal competition in the U.S power sector*, Insights series, Paris: IEA.

_____, 2015, Electricity information 2015, DOI: 10.1787/ electricity-2015-en.

_____, 2017, Coal information 2017, <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CoalInformation2017Overview.pdf>.

_____, 2018a, Coal information 2018 overview, https://webstore.iea.org/download/direct/1136?filename=coal_information_2018_overview.pdf.

_____, 2018b, Oil, gas, coal and electricity quarterly statistics, www.iea.org/statistics.

Pearse, R., 2016, "The coal question that emissions trading has not answered," *Energy Policy*, 9, pp.9319-9328.

Remus, R., M. A. A. Monsonet, S. Roudier, and L. D. Sancho, 2013, *Best Available Techniques (BAT) reference document for iron and steel production*, (Joint Research Centre Reference Report), Seville: European Commission.

Sandbag, 2014, *Europe's failure to tackle coal: Risks for the EU low-carbon transition*, (A report by Sandbag Climate Policy), London: Sandbag.

Sueyoshi, T., M. Goto, and M. Sugiyama, 2013, "DEA window analysis for environmental assessment in a dynamic time shift: Performance assessment of U.S. coal-fired power plants," *Energy Economics*, 40, pp.845-857.

S&P Global Inc., 2018, *S&P global platts*, New York.

US DOE/EIA, 2019, International energy outlook 2019, <https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/>.

World Bank, 2019, *World development indicators*, World Banking Publishing.

_____, 2019, World bank open data, <https://data.worldbank.org/>.

Zeng, S., X. Nana, C. Liua, and J. Chen, 2017, "The response of the Beijing carbon emissions allowance price (BJC) to macroeconomic and energy price indices," *Energy Policy*, 106, pp.111~121.

European Energy Exchange, <http://www.eex.com>.

European Environment Agency, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/air-pollutants-emission-trends-in-1#tab-dashboard-01>.

Sandbag, <https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/>.

한택환: 미국 University of Utah에서 경제학 박사학위를 취득하고 현재 서경대학교에 교수로 재직 중이다. 환경경제학과 환경정책의 다양한 주제들을 연구하여왔으며 통합적인 관점에서 환경과 경제를 분석하는 데에 주력하고 있다. 대외경제정책연구원, 산업연구원, 한국환경정책·평가연구원, 한화경제연구원 등에 재직한 바 있으며, World Bank, ESCAP, 환경부 등의 다양한 연구 과제를 수행한 바 있다(twhan@skuniv.ac.kr).

임동순: 미국 Pennsylvania State University에서 경제학 박사학위를 취득하였으며 현재 동의대학교 교수로 재직 중이다. 산업연구원 동향분석실장, 독일 Heidelberg 대학교 초빙교수 등을 역임하였으며 에너지 및 환경경제 분야에서 다양한 연구 실적이 있다(dslim@deu.ac.kr).

투 고 일: 2019년 02월 22일
심 사 일: 2019년 03월 10일
게재확정일: 2019년 03월 28일