

사업장 배출허용기준 강화가 대기오염도에 미치는 영향*

Impacts on the Degree of Air Pollution by Industrial Emission Limit Value

노상환**
Sangwhan Lho

요약: 본 연구는 한국의 배출허용기준(ELV) 강화가 대기오염도에 미치는 실질적인 효과를 분석하고자 하였다. 2015년부터 적용된 배출허용기준 강화가 주요 대기오염물질인 SO₂, NO₂, PM10, CO 오염도에 미치는 효과를 이중차분법(DID)으로 추정하였다. 분석 자료는 한국의 16개 광역지방자치단체를 대상으로 2010년부터 2018년까지 월별 패널 자료를 사용하였다. 모형 적합도를 판별하기 위한 하우스만 검정결과 확률효과모형 보다는 고정효과모형이 더 적절하였다. 기본모형의 확률효과모형 분석결과 2015년 배출허용기준 강화 전후 SO₂, PM10, CO의 오염도는 개선을 기대할 수 있었으나, 이중차분 추정계수는 10% 유의수준에서도 유의하지 않아 순 효과는 나타나지 않았다. 반면, NO₂는 정책 시행 효과만을 분석하면 개선 효과가 있다고 할 수 있었으나 이중차분 추정계수는 양(+)의 값을 가져 부정적 효과를 가진다. 지역내총생산(GRDP)을 포함한 모형에서 GRDP 성장률은 PM10 오염도에만 부정적이었고, 다른 대상 오염물질에는 유의한 영향이 없었으며, 이중차분 정책효과는 기본모형의 결과와 유사하였다. 결론적으로 대기환경 개선을 위해서는 사업장 배출허용기준 강화와 동시에 이동오염원이나 기타면오염원의 관리를 포함한 정책혼합(policy mixes)이 요구된다.

핵심주제어: 배출허용기준, 이중차분법, 패널 자료, 고정효과모형, 정책혼합

Abstract: This paper analyzes the ELV(Emission Limit Value) promotion effects through the DID (difference-in-differences) estimator. The model was estimated for the degree of air pollution using an annual panel dataset covering 16 provinces from 2010 to 2018. According to the Hausman test, it was desirable to use a fixed effects model rather than a random effects model. The major findings in the basic model were that 2015 ELV had a positive effect on the degree of SO₂, PM10 and CO, without other noises being equal, but had no effect with other noises being equal. However, in the case of the degree of NO₂, the former had a positive effect, but the latter had negative effects. In the model including GRDP(Gross Regional Domestic Product), the results are similar to the findings of the basic model. Therefore, to reduce the degree of air pollution, we need policy mixes, such as the management of moving source pollution and other point-source pollution.

Key Words: ELV(Emission Limit Value), DID(Difference in Difference), Panel Data, Fixed Effects Model, Policy Mixes

* 이 연구결과물은 2018학년도 경남대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 것임.

** 경남대학교 경제금융학과 교수

I. 서론

산업화와 도시화에 따른 생산활동과 생활양식의 변화는 기후변화, 미세먼지, 오존 등 심각한 대기오염 문제를 야기하여 오고 있다. SO_x, NO_x, PM₁₀, CO 등 주요 대기오염물질은 연료연소(에너지산업, 비산업, 제조업)나 자동차·항공기와 같은 이동오염원에서 주로 배출되고, CO, TSP, PM₁₀ 등은 폐기물처리와 기타면오염원에서 주로 배출되고 있다. 2016년 기준으로 연료연소에서 SO_x 56.4%, NO_x 32.8%, PM₁₀ 33.1%를, 이동오염원에서 NO_x 61.1%, CO 47.9%가 배출되고 있으며, 기타오염원에서 TSP 72.6%, PM₁₀ 52.8%가 배출되고 있다(환경부 보도자료, 2018).

이러한 대기오염물질은 관리하기 위하여 직접규제, 경제적 유인제도, 자발적 협약 등 다양한 수단이 사용되고 있다.¹⁾ 이들 중에서 가장 대표적인 정책수단인 직접규제는 특정 행위에는 명령·통제나 면허, 인허가와 같은 규칙과 환경기준 및 배출기준 등 기준을 설정하여, 오염물질 배출을 제한하는 수단이다. 사업장에서 배출되는 대기오염물질을 저감하기 위해 정부는 주기적으로 배출허용기준(Emission Limit Value, 이하 ELV)을 강화해 오고 있다. 한국 사업장 ELV 강화는 1996년, 2001년, 2007년, 2010년, 2015년 등 여러 차례 이루어져 왔고, 2020년부터 한층 강화된 사업장 배출허용기준 적용이 예고되어 있다. 구체적으로, 2015년 액체연료를 사용하는 일반보일러 SO₂ 배출허용기준은 50~85%, NO₂는 30~50%, 먼지는 50% 이상 강화되었으며, 액체연료를 사용하는 발전용 내연기관, 1차금속 제조시설 등에서 SO₂는 20%~50%, NO₂는 20~65%, 먼지는 33~60%가 강화되었다. 그리고 2020년부터 먼지 등 10종의 배출허용기준이 현행보다 평균 30% 강화될 예정이다(환경부 보도자료, 2018).

1) 경제적 유인제도는 시장기구를 통해 경제적 유인을 제공함으로써 오염저감을 유인하는 정책수단으로 부담금(charge), 보조금(subsidy), 예치금(deposit-refund), 배출권거래제(tradable permit system) 등이 있다. 그리고 자발적협약(voluntary agreement)은 환경목표를 달성하기 위해 기업과 정부가 협약을 체결하고 공동으로 이에 대한 이행 노력을 추진하는 제도이다.

ELV는 사업장에서 대기오염물질 배출량 저감을 위한 강력한 규제수단 중의 하나로 사용되어 오고 있다. ELV 강화가 비수도권의 대기오염물질을 저감하여 대기오염도에 어떠한 영향을 미쳤는지를 분석하여 정책의 적절성에 대한 분석이 필요하다. 그러나 지금까지의 연구는 ELV 강화가 기업 경쟁력이나 사회 경제에 미치는 효과에 대해서 다양한 연구(강만옥·임현정, 1999; 노상환, 2002; 강만옥·이상용, 2006; 김호석, 2009)가 이루어져 왔으나, ELV 강화 전후의 대기오염도 정책효과를 직접적으로 분석한 연구는 전무한 실정이다.

대기환경을 개선하기 위해서는 산업, 난방, 발전부문 등 종합적인 시책 추진이 필요하다. 본 연구는 2015년부터 시행되고 있는 ELV 강화의 실제 효과만을 분석하기 위하여 2015년 기준 강화 이전과 이후의 대기오염도를 비교 분석하여 2015 ELV 정책 효과를 평가하고자 한다. 이를 위해, II절에서는 사업장 대기환경기준 강화 동향을 살펴보고, 환경기준 강화가 기업의 경쟁력에 미치는 영향에 대한 선행연구를 고찰한다. 그리고 III절에서는 연구모형 및 사용자료를 정리하고, IV절에서는 분석 결과를 도출한다. 마지막으로, 요약 및 결론을 제시한다.

II. 사업장 대기배출허용기준과 선행연구

1. 대기 배출허용기준 현황

한국은 사업장 대기오염 배출 관리를 위해 환경기준 및 배출허용기준 설정, 배출시설 인허가 및 굴뚝자동측정장치(Telemetering System, 이하 TMS) 설치 운용 확대, 대기환경규제지역과 대기환경권역을 지정하여 대기환경개선 규제를 강화하여 왔다(김태현·박현주·김태현, 2018).

한국의 환경기준은 환경정책기본법에서 규율하고 있는데, SO₂의 환경기준은 24시간 평균 0.05 ppm이고, 1시간 기준으로는 0.15 ppm으로 1시간 미국 기준 0.075 ppm, 일본 0.10 ppm에 비해서 미흡한 수준이다. NO

는 24시간 평균 0.06 ppm이고 1시간 기준은 0.10 ppm으로 미국, 일본과 비슷한 수준이고, PM10의 연간 평균치는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간 평균치는 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 2015년부터 환경기준이 도입된 PM2.5는 연간 평균치는 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24시간 평균치는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 선진국 보다 덜 엄격한 수준이다(〈표 1〉 참조).

〈표 1〉 주요 오염물질 환경기준 국제비교(2017년 기준)

구분	한국	미국	EU	영국	일본	중국	호주	캐나다	WHO
SO ₂	연간 평균치	0.02 ppm	-	-	-	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.02 ppm	0.005 ppm	-
	24시간 평균치	0.05 ppm	-	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.08 ppm	-	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1시간 평균치	0.15 ppm	0.075 ppm	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.20 ppm	0.07 ppm	-
NO ₂	연간 평균치	0.03 ppm	0.053 ppm	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.03 ppm	0.017 ppm	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24시간 평균치	0.06 ppm	-	-	0.04~0.06 ppm	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
	1시간 평균치	0.10 ppm	0.10 ppm	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.12 ppm	0.06 ppm	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO	24시간 평균치	-	-	-	10 ppm	4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
	8시간 평균치	9 ppm	9 ppm	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	9 ppm	-	-
	1시간 평균치	25 ppm	35 ppm	-	20 ppm	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
O ₃	24시간 평균치	-	-	-	-	-	-	-	-
	8시간 평균치	-	0.075 ppm	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	0.062 ppm	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1시간 평균치	0.06 ppm	-	-	-	-	0.10 ppm	-	-
PM10	연간 평균치	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24시간 평균치	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5	연간 평균치	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12~15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24시간 평균치	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

자료: 환경부·국립환경과학원(2019)에서 발췌 정리

대기환경기준을 충족하기 위하여 대기오염 수준이 심각한 수도권지역은 대기관리권역으로 지정하여 대기오염원 관리를 위해 수도권대기환경특별법을 제정 시행하고 있다. 동 법은 대기환경보전법으로 수도권지역 대기환경을 개선하는데 한계가 있어, 오염총량관리제도를 도입하는 등 필요한 제도를 마련하기 위한 것이다. 동 법의 규제방식은 할당받은 배출허용총량을 초과하여 배출하면 총량초과과징금이 부과되는 총량규제이다. 그리고 총량관리사업자가 총량관리대상 오염물질의 배출을 그 배출 허용총량 보다 더 줄이기 위한 계획을 수립하여 자발적 협약을 체결하면, 이를 이행하기에 필요한 재원을 지원하고 과징금을 부과하는 경우 전년도에 할당된 배출허용총량 보다 더 줄인 양에 해당하는 금액을 감액하고 있다.

사업장 ELV는 대기환경보전법에서 규율하고 있는데, 이는 환경부장관이 정하고 전국적으로 적용하는 일반적인 ELV, 환경부장관이 정하지만 특별대책지역에 한정하여 적용하는 ELV, 지자체 조례로 설정하여 해당 지역에만 적용되는 ELV 등 세 가지로 구분할 수 있다(공성용·홍석표·안길수, 2014). 특별대책지역에 적용되는 ELV는 일반적인 ELV나 지자체 조례에 의한 ELV 보다는 엄격하므로 일반적인 사업장 ELV 강화는 수도권에 영향은 미미하지만 일반지역에 대기오염도 개선에는 영향을 미칠 것이다.

대기환경보전법에서 규율하고 있는 사업장 ELV는 환경오염 현황 및 방지기술 수준 등을 고려하여 5년 주기로 강화해 왔다(환경부 보도자료, 2018). 지난 5년간은 2015년 ELV가 적용되고 있지만 2020년부터 한층 강화된 기준이 적용될 예정이다.²⁾

〈표 2〉는 2015년부터 적용되고 있는 사업장 SO₂, NO₂, 먼지 등 대기오염물질의 배출허용기준(대기환경보전법 시행규칙 제15조 관련)에서는 일반보일러, 발전시설, 폐수, 폐기물, 폐가스, 소각처리시설, 1차 금속 제조시설, 금속가공제품 등 석유정제품 등에 기준을 설정하여 왔다.

2) 2020년부터 먼지 등 10종의 배출허용기준이 현행보다 평균 30% 강화 예정이다. 구체적으로 먼지는 평균 32%, 질소산화물 28%, 황산화물 28%, 암모니아 39%가 각각 강화된다. 그리고 황화수소 등 나머지 6종의 오염물질은 최대 67%까지 강화될 예정이다,

〈표 2〉 대기 오염물질 주요 배출허용기준(2015년 1월 1일 기준)

배출시설	SO ₂ (ppm)	NO _x (ppm)	먼지($\mu\text{g}/\text{Sm}^3$)
1) 일반보일러			
가) 액체연료사용시설(기체연료 혼합시설을 포함)	100(4)~540(4) 이하→ 50(4)~70(4) 이하	70(4)~150(4) 이하→ 50(4)~70(4) 이하	20(4)~50(4) 이하→ 10(4)~20(4) 이하
나) 고체연료 사용시설(액체연료 혼합시설을 포함)	150(6) 이하→ 70(6) 이하	100(4) 이하→ 70(4) 이하	50(6)~20(6) 이하→ 10(6)~20(6) 이하
다) 기체연료 사용시설	100(4) 이하→ 50(4) 이하		
2) 발전시설			
가) 액체연료 사용시설			
(1) 발전용 내연기관	25(15) 이하→ 20(15) 이하	70(15)~270(15)이하→ 50(15)~90(15) 이하	30(15) 이하→ 20(15) 이하
(2) 그 밖의 발전시설	70(4) 이하→ 50(4) 이하	70(4) 이하→ 50(4) 이하	20(4) 이하→ 10(4) 이하
나) 고체연료 사용시설(액체연료 혼합시설을 포함)	80(6) 이하→ 50(6) 이하	70(6) 이하→ 50(6) 이하	20(6) 이하→ 10(6) 이하
다) 국내생산 무연탄 사용시설	80(6) 이하→ 50(6) 이하		
라) 국내에서 생산되는 석유코크스 사용시설	210(6) 이하→ 50(6) 이하		
마) 기체연료 사용시설	35(15) 이하→ 20(15) 이하	50(4~15)~220(6) 이하→ 20(15)~180(6) 이하	15(15)~40(4) 이하→ 10(15)~15(6) 이하
3) 1차 금속제조시설, 금속가공제품·기계·기기·운송장비· 가구 제조시설의 용융·용해로 또는 열처리시설	130(15) 이하 →65(15) 이하	100~150(11) 이하 →80(11) 이하	30(11~15) 이하 →10(15)~20(11) 이하
6) 석유정제품 제조시설	240(4)~360(12) 이하→ 50(12)~150(4) 이하		
8) 석탄가스화 연료 제조시설	120(8)~250(8) 이하 →50(8)~150(4) 이하		
10) 폐수·폐기물·폐가스 소각처리시설(소각보일러를 포함)			20(12)~40(12) 이하 →10(12)~20(12) 이하
11) 시멘트·석화·플라스틱 및 그 제품 제조시설 중 시멘트 소성시설(액열시설을 포함한다), 용융·용해시설, 건조시설	20(13)~50(13) 이하 →10(13)~20(13) 이하	250(13) 이하 →100(13) 이하	
12) 유리 및 유리제품 제조시설(재생용 원료가공시설을 포함 한다) 중 용융·용해로	250(13)~300(13)이하 →200(13) 이하	230(13)~330(13) 이하 →180(13) 이하	

자료: 대기환경보전법 시행령 별표 8을 발췌 정리

2. 선행연구

본 연구에서 사용된 연구모형인 이중차분법은 경제, 사회, 의료 등 다양한 분야에 정책 시행 전후의 정책 효과 분석에 광범위하게 사용되어 오고 있는데, 처리집단(treated group)과 통제집단(control group)을 고려하여 특정 정책 시행 효과만을 추정할 수 있는 분석방법이다(Wooldridge, 2002, pp.131-132). 최근 국내에서는 FTA 발효로 인한 교역 효과를 분석하기 위하여 이중차분법을 활용한 다양한 연구가 수행되었다. 강다연·전영서(2014a, 2014b, 2015)는 패널 자료를 이용한 이중차분법으로 한국 FTA 발효 전후 수출에 미치는 효과와 중국의 FTA 교역효과의 분석 및 한국과 일본의 FTA 경제적 효과를 비교 분석하였다. 그리고 김범수·김낙현(2015) 역시 패널자료를 활용한 이중차분법으로 한미 FTA의 효과를 분석하였다. 국외에서 Milyo et al.(1999)은 이중차분법으로 광고가 가격에 미치는 효과를 분석하였고, Meyer et al.(1995)는 상해 시 유급휴가가 상해로 인한 휴업 일수에 미치는 효과를 분석하였다.

그리고 환경정책이 산업에 미치는 효과나 산업경쟁력에 미치는 효과는 강만옥·임현정(1999), 노상환(2002), 김호석(2009), 김종호(2010), 최진석(2004), 강만옥·이상용(2006) 등에서 다양하게 분석되어 왔다. 노상환(2002)은 오염다배출산업을 중심으로 환경규제 강화로 산업재배치 효과를 분석하였고, 김호석(2009)은 환경규제가 산업 및 사회에 미치는 경제적 효과를 이론적으로 고찰하고 사례를 중심으로 분석하였으며, 김종호(2010)는 녹색성장 추진의 관점에서 기존 환경규제의 유효성을 검토하였다. 또, 최진석(2004)은 환경규제가 산업경쟁력에 미치는 영향을 단기와 장기로 나누어 분석하였고, 강만옥·임현정(1999)과 강만옥·이상용(2006)은 환경규제 강화가 기술혁신을 유발한다는 Porter 가설을 산업별 패널 자료를 통해 검증하였다.

그리고 공성용·홍성표·안길수(2014)는 사업장 배출허용기준의 강화가 환경기술개발 및 배출량 저감에 미친 영향을 오염물질별(황산화물, 질소산화물, 먼지, 염화수소 등), 제도별(배출허용기준 제도 및 총량제)로 배출농도 저감효과, 기술개발, 방지시설 설치에 대한 영향을 분석하였다. 사용

자료는 한국환경공단(TMS)을 통한 연속측정 자료를 활용하여 사업장 총량제가 도입된 2007년과 ELV가 강화된 2010년 전후 년도를 비교하였다. 연구결과는 ELV 강화로 인해 배출농도와 기술개발에 효과가 있었으나 배출농도가 증가하는 경우도 발견되었다. 이는 한국 ELV가 최고값 관리체계를 가져 ELV에 여유가 있는 사업장은 반응하지 않기 때문이라고 진단하였다. Hoglund-Isaksson(2009)는 스웨덴의 경제적 유인제도의 하나인 NO_x 배출부과금제도 시행 효과를 분석한 결과 배출량 저감과 관련 기술개발 촉진을 유발하였다는 것을 실증적으로 보여 주었고, Hagstrom (2016) 역시 스웨덴 NO_x 배출부과금제도는 낮은 행정비용이 소요되는 비용효과적인 감축수단으로 기술개발을 유인할 수 있는 제도라는 것을 보여주었다(노상환, 2019).

지금까지의 연구는 환경정책이 산업경쟁력이나 기술혁신에 유효성이 미치는 영향을 분석하면서 통제변수를 고려치 않고 정책시행 전후의 효과를 분석하여 정확한 정책효과만을 나타내 주지 못하고 있는 실정이다. 그래서 본 연구는 ELV 강화이전과 이후의 정확한 정책 효과를 추정하기 위하여 다른 조건이 모두 동일한 상황 하에서 순수한 정책 효과를 추정한다.

Ⅲ. 연구모형 및 사용자료

1. 연구모형

이중차분법(Difference in difference)은 정책 시행에 따른 효과를 정확히 측정하기 위해서 널리 활용되고 있는 계량경제학 분석방법이다. 처리집단과 통제집단으로 구분하여 비교를 비교하는 방법으로 우리가 평가하려는 정책 시행 효과는 정책 시행 변수 이외에도 다양한 변수들에 의해 영향(noise)을 받기 때문에 정책시행의 효과와 여타 변수들에 의한 효과를 구분해 내기 어렵게 된다(김범수·김낙현, 2015).

2015년 ELV 강화가 대기오염 수준에 어떤 영향을 미쳤는지를 분석하기

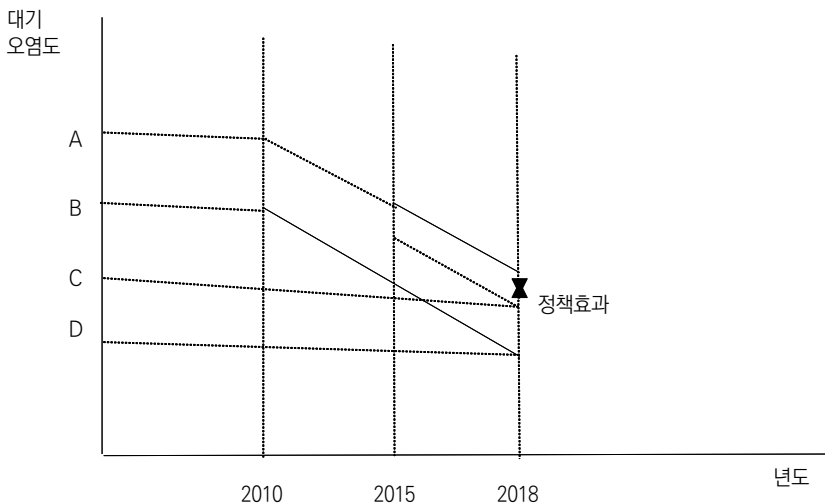
위해서는 2015년 이전과 이후를 비교한다. 먼저, 표준시장을 비교한 효과는 (A-B)이고, 전후 비교효과는 (A-C)이다. 이중비교를 통한 효과는 (A-C)-(B-D)=(A-B)-(C-D)이다(〈표 3〉 참조).

〈표 3〉 ELV 효과의 추정

구 분	비수도권	수도권
ELV 강화 이전	A	B
ELV 강화 이후	C	D

〈그림 1〉에서 Y축은 대기오염도를 나타내고, X축은 연도를 나타낸다. 일반적으로 시간이 지날수록 국내외 다양한 환경규제의 강화와 환경보전에 대한 경각심이 상승되어 대기오염도가 하락하는 추세를 보이는 것이 일반적이다. 그래서 ELV강화 정책의 효과를 정확히 추정하기 위해서는 새로운 정책이 없었더라도 대기오염도가 개선된다는 사실도 함께 고려해야 한다. 〈그림 1〉의 아래 실선은 정책의 실행에 영향을 받지 않는 종속변수로 통제집단으로, 정책 실행으로 영향을 받는 지역의 정책 효과는 (A-C)-(B-D)로 추정할 수 있다.

〈그림 1〉 이중차분법에 의한 정책효과



이를 회귀방정식으로 표현하면 다음과 같다. <식 1>은 이중차분법의 기본적인 모형이고, <식 2>는 대기오염도에 영향을 미치는 주요한 원인인 GRDP 성장률을 포함한 모형이다.³⁾

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 * ELV_{it} + \alpha_2 * Nonmetro_{it} + \alpha_3 * ELV_{it} * Nonmetro_{it} + \epsilon_{it} \quad (1)$$

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 * ELV_{it} + \alpha_2 * Nonmetro_{it} + \alpha_3 * ELV_{it} * Nonmetro_{it} + \alpha_4 GRDP_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

여기서, Y_{it} 는 t 시점에서 서울, 부산, 경기도, 경상남도 등 16개 광역시 및 광역지방자치단체의 SO_2 , NO_2 , PM_{10} , CO 오염도이고, ELV_{it} 는 배출허용기준 강화가 적용 해에는 1, 그렇지 않는 해는 0인 더미변수이며, $Nonmetro_{it}$ 는 광역시 및 광역지방자치단체 중에서 처리집단에는 1, 통제집단에는 0인 더미변수이다. 그리고 $ELV_{it} * Nonmetro_{it}$ 는 처리집단에서 배출허용기준 강화가 적용되면 1, 그렇지 않으면 0인 더미변수이고, $GRDP_t$ 는 t 시점에서 i 광역지방자치단체의 연간 GRDP 성장률이다. 추정계수 α_1 는 실험군과 대조군 모두에서 공통적으로 정책 시행 이후에 일어난 상황을 측정하고 있다. 추정계수 α_2 는 정책 시행이 없었을 경우의 대조군의 움직임을 예측하여 측정해 내고 있으며, 관심을 가지고 있는 정책 시행으로 인한 순수한 효과는 추정계수 α_3 에 포착되고 있는데 대조군과 실험군의 정책 시행으로 인한 차이만을 나타낸다.

2. 사용자료

연구대상 오염물질은 SO_2 , NO_2 , PM_{10} , CO 등 네 종류이고, 연구목표는 ELV 강화로 대기오염도 개선 효과 여부이다. 분석 기간은 기준 강화 이전은 2010~2014년 기간 동안 5년을 그리고 기준 강화 이후는 2015~

3) GRDP와 각종 오염도간에는 높은 상관관계를 가지고 있어 모형 적합도를 높이기 위해 GRDP를 대리변수로 포함한다.

2018년 동안 4년을 대상으로 한다. 대기오염도는 대기환경월보의 지역별 오염물질 농도를 이용하고 GRDP 성장률은 한국은행의 자료를 활용한다.

2016년 기준으로 대기오염물질은 연료연소(에너지산업, 비산업, 제조업)나 자동차, 항공과 같은 이동오염원에서 NO_x, SO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5} 등이 주로 배출되고, 폐기물처리와 기타면오염원에서 CO, TSP, PM₁₀, PM_{2.5} 등이 주로 배출되고 있다. 2016년 기준으로 연료연소에서 SO_x가 56.4%, NO_x가 32.8%, PM_{2.5}가 40.9%를, 이동오염원에서 NO_x가 61.1%, CO가 47.9%를 배출하고 있으며, 기타오염원에서 TSP가 72.6%, PM₁₀은 52.8%를 배출하고 있다(〈표 4〉 참조).

〈표 4〉 대기오염물질 배출원별 비중(2016년 기준)

단위: %

구 분	NO _x	SO _x	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO
연료연소(에너지산업, 비산업, 제조업)	32.6	56.4	21.1	33.1	40.9	18.2
생산공정	4.5	3.1	2.0	2.9	5.2	3.4
이동오염원(도로, 항공, 선박, 건설기계)	61.1	11.6	4.3	11.2	24.0	47.9
기타(폐기물처리, 기타면오염원, 비산먼지, 생물성연소 등)	1.8	0.6	72.6	52.8	29.9	30.4

자료: 국가환경과학원 국가대기오염물질배출량서비스 홈페이지

2010년에서 2018년 기간의 대기오염도는 〈표 5〉와 같다. 동 기간 동안 SO₂는 연평균 0.0046 ppm이었는데 ELV 강화로 연평균 16% 개선되었고, NO₂는 연평균 0.020 ppm이었는데 연평균 9.5%로 개선되었으며, PM₁₀는 연평균 45.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었는데 연평균 5.8%로 개선되었다. 그리고 CO는 연평균 0.49 ppm이었는데 연평균 4%로 개선되었다.⁴⁾

4) 지역별 대기오염도는 대기환경월보(환경부·국립환경과학원(2019))에서 나타내고 있다.

〈표 5〉 연도별 대기오염도(2010~2018)

구 분	SO ₂ (ppm)			NO ₂ (ppm)			PM10(μ g/m ³)			CO(ppm)		
	평균	최저	최고	평균	최저	최고	평균	최저	최고	평균	최저	최고
2010	0.0050	0.001	0.013	0.021	0.006	0.044	40.4	24	91	0.50	0.2	1.1
2011	0.0049	0.001	0.011	0.021	0.007	0.047	48.0	25	93	0.50	0.2	1.1
2012	0.0050	0.001	0.011	0.020	0.006	0.037	43.2	19	70	0.49	0.3	0.9
2013	0.0052	0.002	0.013	0.021	0.006	0.045	46.7	28	85	0.51	0.3	1.1
2014	0.0050	0.002	0.010	0.021	0.003	0.042	46.7	23	77	0.50	0.2	1.1
2010~2014	0.0050	0.001	0.013	0.021	0.003	0.047	46.8	19	93	0.50	0.2	1.1
2015	0.0047	0.002	0.012	0.020	0.007	0.040	46.2	25	88	0.50	0.2	1.0
2016	0.0044	0.002	0.009	0.020	0.006	0.038	44.9	23	76	0.48	0.2	0.9
2017	0.0040	0.001	0.009	0.019	0.007	0.038	44.8	20	71	0.48	0.3	0.8
2018	0.0038	0.002	0.009	0.018	0.006	0.039	40.7	20	65	0.45	0.2	0.8
2015~2018	0.0042	0.001	0.012	0.019	0.006	0.040	44.1	20	88	0.48	0.2	1.0
전체	0.0046	0.001	0.013	0.020	0.003	0.047	45.6	19	93	0.49	0.2	1.1

자료: 환경부(2018); 환경부·국립환경과학원(2019)

ELV 강화로 비수도권지역에는 직접적으로 영향을 받지만 수도권은 수도권대기환경개선특별법의 영향을 받고 있다. 그래서 2015 ELV에 직접적으로 영향을 받는 비수도권지역을 처리집단(treated group)로 분류하는 반면, 통제집단(controlled group)으로는 수도권대기환경개선특별법의 적용을 받는 서울특별시, 인천광역시, 경기도로 설정한다(〈표 6〉 참조). 동 특별법 제1조에서 대기오염이 심각한 수도권지역의 대기환경을 개선하기 위하여 종합적인 시책을 추진하고 대기오염원을 체계적으로 관리함으로써 지역 주민의 건강을 보호하고 쾌적한 생활환경을 조성함을 목적으로 하여 일반적인 ELV보다 강화된 법이 적용되고 있어, 2015 ELV에 직접적인 영향을 받지 않는다.⁵⁾

5) 수도권지역은 서울특별시, 인천광역시 및 경기도지역을 말한다.(수도권 대기환경개선에 관한 특별법 제2조 제1호)그리고 대기관리권역은 수도권지역 중 대기오염이 심각하다고 인정되는 지역이고(수도권 대기환경개선에 관한 특별법 제2조 제2호 가), 수도권지역 중 해당 지역에서 배출되는 대기오염물질이 수도권지역의 대기오염에 크게 영향을 미친다고 인정되는 지역이다(수도권 대기환경개선에 관한 특별법 제2조 제2호 나).

〈표 6〉 대기관리권역(수도권대기환경개선에관한특별법 시행령 별표1)

지역구분	지역범위
서울특별시	전지역
인천광역시	옹진군(옹진군 영흥면은 제외)을 제외한 전지역
경기도	김포시, 고양시, 의정부시, 남양주시, 구리시, 하남시, 성남시, 의왕시, 군포시, 과천시, 안양시, 광명시, 시흥시, 부천시, 안산시, 수원시, 용인시, 화성시, 오산시, 평택시, 파주시, 동두천시, 양주시, 이천시, 광주시, 안성시, 여주시, 포천시

3. 패널 단위근 검정

2010년부터 2018년까지의 월별 패널 자료이기 때문에 변수의 안정성(stationary) 분석을 한 결과는 〈표 7〉과 같다. 분석결과 SO₂, NO₂, PM10, CO의 패널 변수들은 모두 단위근이 존재한다는 귀무가설을 기각하므로 단위근(unit root)이 존재하지 않는 안정적이라는 것임을 알 수 있다.

〈표 7〉 단위근 검정 결과

구 분	ADF검정		PP검정	
	수준	차분	수준	차분
SO ₂	307.7990 (0.000) ***	1033.5802 (0.000) ***	394.6826 (0.000) ***	1081.8894 (0.000) ***
NO ₂	276.0274 (0.000) ***	1031.7162 (0.000) ***	380.9822 (0.000) ***	1142.3845 (0.000) ***
PM10	445.9125 (0.000) ***	1153.3969 (0.000) ***	484.0771 (0.000) ***	1151.5498 (0.000) ***
CO	218.9468 (0.000) ***	804.3712 (0.000) ***	371.4666 (0.000)	1121.3168 (0.000) ***
GRDP	57.2544 (0.0040) ***	1153.3969 (0.000) ***	51.5959 (0.0156) ***	1153.3969 (0.000) ***

주: *, **, ***은 각각 10%, 5%, 1% 유의수준을 의미함

IV. 분석결과

패널 분석 적합성을 분석하기 위해 고정효과모형(fixed effect model)과 확률효과모형(random effect model)을 비교하기 위한 하우스만 검정결과 1% 유의수준 하에서 귀무가설을 기각하지 못하므로 고정효과모형이 더 적절하다는 것을 알 수 있다.

2015년 ELV 강화가 SO₂, NO₂, PM10, CO의 저감효과가 <표 8>~<표 11>에 나타나 있다. SO₂는 1% 유의수준에서 배출허용기준 강화로 인해 0.0009 ppm 감소하였고, 정책시행 변수 이외에 다양한 변수들에 의한 영향을 배제한 정책실행 순 효과는 이중차분계수가 10% 유의수준에서도 유의하지 못했다. 대기오염도에 부정적인 영향을 주는 주요 요인인 GRDP 성장률을 포함한 모형에서는 GRDP 성장률은 SO₂에 영향을 미치지 못하였고 기본모형과 마찬가지로 정책 시행 이후 SO₂ 오염도는 개선되었으나, 이중차분계수가 10% 유의수준에서도 유의하지 못해 SO₂ 순 개선 효과는 나타나지 않았다고 할 수 있다(<표 8> 참조).

<표 8> SO₂ 분석결과

구 분	기본모형		GRDP 포함 모형	
	고정효과모형	확률효과모형	고정효과모형	확률효과모형
상수	0.0059 (45.90)***	0.0059 (8.56)***	0.0064 (41.53)***	0.0059 (8.77)***
ELV	-0.0009 (-4.59)***	-0.0009 (-5.98)***	-0.0007 (-3.09)***	-0.0007 (-3.95)***
NonMetro	-0.0011 (-7.71)***	-0.0011 (-1.44)	-0.0011 (-7.61)***	-0.0011 (-1.48)
ELV·Nonmetro	0.0001 (0.50)	0.0001 (0.66)	-0.0001 (-0.53)	9.49e-06 (0.05)
GRDP 성장률	-	-	-0.0001 (-5.55)***	-3.22e-07 (-0.02)
R ²	0.0988	0.0988	0.1006	0.0826
N	1,728	1,728	1,536	1,536
Hausman χ^2	0.0000(1.0000)		3.00(0.3923)	

주: 고정효과모형의 ()은 t값이고, 확률효과모형의 ()은 z값을 의미함

*, **, ***은 각 각 10%, 5%, 1% 유의수준을 의미함

다음으로, NO₂는 ELV 시행 전후의 오염도 개선 효과는 1% 유의수준에서 0.0028 ppm 개선을 기대할 수 할 수 있었으나, 정책 시행 변수 이외에 다양한 변수들에 의한 영향을 배제한 순 효과는 1% 유의수준에서 0.0017 ppm 만큼 오염도가 악화 되었다. GRDP 성장률을 포함한 모형에서도 기본모형과 마찬가지로 NO₂ 의 이중차분계수가 양을 가져 순 효과는 악화 된 것으로 나타났다(〈표 9〉 참조).

〈표 9〉 NO₂ 분석결과

구분	기본모형		GRDP 포함 모형	
	고정효과모형	확률효과모형	고정효과모형	확률효과모형
상수	0.0302 (70.41)***	0.0302 (16.03)***	0.0307 (61.94)***	0.0298 (15.29)***
ELV	-0.0028 (-4.41)***	-0.0028 (-5.16)***	-0.0024 (-3.50)***	-0.0024 (-4.04)***
Nonmetro	-0.0115 (-24.10)***	-0.1148 (-5.49)***	-0.0115 (-24.42)***	-0.0115 (-5.35)***
ELV·Nonmetro	0.0017 (2.44)**	0.0017 (2.86)***	0.0015 (1.99)*	0.0018 (2.69)***
GRDP 성장률	-	-	-0.0001 (-1.78)*	0.0001 (1.56)
R ²	0.3532	0.3532	0.3637	0.3579
N	1,728	1,728	1,536	1,536
Hausman χ^2	0.000(1.000)		1.16(0.7636)	

주: 고정효과모형의 ()은 t값이고, 확률효과모형의 ()은 z값을 의미함

*, **, ***은 각 각 10%, 5%, 1% 유의수준을 의미함

셋째, PM10은 정책 시행 전후 그 시점에서의 다양한 변수를 그대로 둔 채 분석한 개선 효과는 2.9639 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 개선하는 효과가 있었다고 할 수 있었다. 그러나 통제변수로 통제한 정책실행 순 효과는 10% 유의수준에서도 유의하지 못해 오염도 개선효과를 기대할 수 없었고, GRDP 성장률을 포함한 모형에서도 통제한 정책효과는 나타나지 않았다(〈표 10〉 참조).

〈표 10〉 PM10 분석결과

구분	기본모형		GRDP 포함 모형	
	고정효과모형	확률효과모형	고정효과모형	확률효과모형
상수	50.3667 (53.72) ***	50.3667 (23.33) ***	48.4723 (44.31) ***	48.6999 (20.74) ***
ELV	-2.9639 (-2.11) **	-2.9639 (-2.18) **	-0.8302 (-0.54)	-0.8666 (-0.59)
Nonmetro	-4.3949 (-4.23) ***	-4.3949 (-1.83) *	-4.3763 (-4.21) ***	-4.3785 (-1.75) *
ELV·Nonmetro	0.3799 (0.24)	0.3799 (0.25)	-0.2005 (-0.12)	-0.2389 (-0.14)
GRDP 성장률	-	-	0.5038 (3.35) ***	0.4433 (2.60) ***
R ²	0.0275	0.0275	0.0311	0.0310
N	1,728	1,728	1,536	1,536
Hausman χ^2	0.000(1.000)		0.09(0.9928)	

주: 고정효과모형의 ()은 t값이고, 확률효과모형의 ()은 z값을 의미함

*, **, ***은 각 각 10%, 5%, 1% 유의수준을 의미함

마지막으로, CO도 2015년 배출허용기준 강화로 인해 10% 유의수준에서 0.0294 ppm 개선하는 효과가 있었다고 할 수 있으나, 이중차분계수로 본 정책 시행 순 효과는 10% 유의수준에서도 유의하지 못해 오염도에는 개선 효과가 없다고 할 수 있다. GRDP 성장률을 포함한 모형에서도 SO₂와 PM10과 유사한 결론이 추정되었다(〈표 11〉 참조).

〈표 11〉 CO 분석결과

구분	기본모형		GRDP 포함 모형	
	고정효과모형	확률효과모형	고정효과모형	확률효과모형
상수	0.5628 (54.76)***	0.5628 (16.17)***	0.5555 (45.73)***	0.5540 (14.48)***
ELV	-0.0294 (-1.91)*	-0.0294 (-2.08)**	-0.0205 (-1.12)	-0.0207 (-1.32)
Nonmetro	-0.0762 (-6.69)***	-0.0762 (-1.97)**	-0.0762 (-6.60)***	-0.0762 (-1.82)*
ELV·Nonmetro	0.0088 (0.51)	0.0088 (0.56)	0.0099 (0.52)	0.0105 (0.60)
GRDP 성장률	-	-	0.0019 (1.14)	0.0023 (1.28)
R ²	0.0464	0.0464	0.0437	0.0437
N	1,728	1,728	1,536	1,536
Hausman χ^2	0.000(1.000)		0.000(1.000)	

주: 고정효과모형의 ()은 t값이고, 확률효과모형의 ()은 z값을 의미함

*, **, ***은 각 각 10%, 5%, 1% 유의수준을 의미함

V. 요약 및 결론

산업화와 도시화로 인한 기후변화, 미세먼지, 오존 등 대기오염 문제가 심각하게 대두되어 오고 있다. 이러한 대기오염문제를 발생시키는 주요 오염원은 산업공정, 자동차나 항공과 같은 이동오염원이나 난방 등이다. ELV는 사업장에서 배출량 저감을 위한 강력한 규제수단 중의 하나로 사용되어 오고 있다. 대기오염을 관리하기 위하여 직접규제, 경제적 유인제도, 자발적 협약 등 다양한 수단이 사용되고 있다. 한국의 사업장 ELV 강화는 1996년, 2001년, 2007년, 2010년, 2015년 등 여러 차례 이루어져 왔고, 2020년부터 한층 강화된 사업장 배출허용기준 적용이 예고되어 있다. 본 연구는 2015년 ELV 강화 정책으로 인한 오염도의 순 개선 효과를 추정하였다.

분석결과는 기본모형에서 2015년 배출허용기준 강화는 SO₂, PM₁₀, CO의 오염도에 일반적인 개선 효과는 기대할 수 있으나 순 개선 효과가

있다고 할 수 없었다. 정책 시행 전후의 다양한 조건 변화를 그대로 포함할 경우 SO_2 는 ELV 강화가 적용되는 지역은 0.0009 ppm이 개선되었고, PM10은 $2.9639 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 개선되었으며 CO는 0.0294 ppm 개선 효과가 있다고 할 수 있다. 그러나 정책 강화로 인한 순수한 효과는 SO_2 , PM10, CO는 10% 유의수준에서 오염도의 개선 효과가 나타나지 않았다. 그리고 NO_2 는 다양한 조건 변화를 고려치 않고 ELV 강화는 1% 유의수준 하에서 0.0028 ppm의 오염도 개선 효과가 있었으나 정책 시행으로 인한 순수한 효과는 0.0017 ppm의 오염도 악화를 가져왔다.

대기오염도에 주요한 영향을 미치는 GRDP를 포함한 모형에서도 기본 모형과 비슷한 결과가 도출되었다. 구체적으로, 정책 시행 전후의 다양한 조건 변화를 그대로 둘 경우 ELV 강화는 SO_2 는 0.0007 ppm가 개선되었고, PM10은 $2.9639 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 개선되었으나, CO에는 효과가 없었다. 그러나 정책 강화로 인한 순 효과는 SO_2 , PM10, CO 모두 10% 유의수준에서 오염도 개선 효과를 기대할 수 없었다. 그리고 NO_2 오염도는 다양한 조건 변화에서는 정책 시행 전후의 다양한 효과 변화를 제외하면 0.0024 ppm의 오염도를 개선 효과가 있었으나, 정책 시행으로 인한 순 효과는 0.0015 ppm의 오염도 악화를 가져왔다.

결론적으로, 2015년 ELV 강화만으로 획기적인 대기오염도 개선을 기대하기 어렵기 때문에 대기환경 개선을 위해서는 종합적인 시책을 추진하고 사업장뿐만 아니라 다양한 대기 오염원의 관리가 필요하다. 즉, 실효적인 대기오염도 개선을 위해서는 자동차나 항공기와 같은 이동오염원이나 폐기물처리와 같은 기타오염원 관리 등 종합적인 정책혼합(policy mix)을 하여야 한다.

■ 참고문헌 ■

- 강다연·전영서, 2014a, "FTA 체결효과가 한국 수출에 미치는 영향 연구," 『무역학회지』, 39(5), pp.21-41.

- _____, 2014b, “중국의 FTA 교역 효과에 대한 실증 분석,” 『국제지역연구』, 18(1), pp.141-172.
- _____, 2015, “한국과 일본의 FTA 경제적 효과에 관한 비교 분석,” 『국제경제연구』, 21(3), pp.23-51, DOI: 10.17298/kky.2015.21.3.002.
- 강만옥·임현정, 1999, 『환경규제가 경쟁력에 미치는 영향 연구』, (연구보고서 : 99-10), 서울: 한국환경정책평가연구원.
- 강만옥·이상용, 2006, “환경규제가 국내 제조업의 경쟁력에 미치는 영향: 패널데이터 분석,” 『환경정책』, 14(1), pp.169-193.
- 김범수·김낙현, 2015, 『한미 FTA가 경남지역 대미 기계 수출에 미친 영향과 정책과제』, (경남경제리뷰; 2015.7.27.), 창원: 한국은행 경남본부.
- 김태현·박현주·김태현, 2018, “환경오염과 환경약자, 환경피해와의 관계분석: 대기 및 수질을 중심으로,” 『환경정책』, 26(2), pp.1-18. DOI: 10.15301/jepa.2018.26.2.1.
- 김중호·김호석·한상운·최성운·임영신·김태형 등, 2010, 『녹색성장 촉진을 위한 환경 규제 선진화 방안』, (녹색성장연구: 2010-01), 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 김호석, 2009, 『환경규제로 인한 경제적 효과 사례 연구』, 과천: 환경부.
- 공성용·홍석표·안길수, 2014, 『사업장 배출허용기준 강화가 환경기술개발 및 배출량 저감에 미친 영향』, (연구보고서; 2014-09), 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 노상환, 2002, “환경규제 강화로 인한 산업재배치 효과에 관한 연구: 오염다배출 산업을 중심으로,” 『자원환경경제연구』, 11(1), pp.121-144.
- _____, 2019, “질소산화물 대기배출부과금제도의 평가와 개선 방향,” 『환경정책』, 27(1), pp.131-150, DOI: 10.15301/jepa.2019.27.1.131.
- 대기환경보전법 시행령, 2020, 대통령령 제29988호.
- 대기환경보전법시행규칙, 2020, 환경부령 제817호.
- 수도권 대기환경개선에 관한 특별법, 2018, 법률 제15274호.
- 최진석, 2004, 『환경규제와 산업경쟁력의 상관관계에 관한 연구』, 과천: 환경부.
- 환경부, 2018. 8.13., “일반 및 특정대기유해물질 배출기준 30% 강화 입법예고,” 보도자료.
- 환경부·국립환경과학원, 2019, 『대기환경월보』, 세종: 환경부.
- Hoglund-Isaksson, L., 2009, “Innovation effects of the Swedish NOx charge,” *OECD global forum on eco-innovation*, OECD, Paris, France.
- Meyer, B. D., W. K. Viscusi, and D. Durbin, 1995, “Workers’ compensation and injury duration: Evidence from a natural experiment,” *American Economic Reviews*, 85(3), pp.322-340.
- Milyo, J. and J. Waldfogel, 1999, “The effect of price advertising on prices: Evidence in the wake of 44 liquor stores,” *American Economic Reviews*, 89, pp.1081-1096.
- Wooldridge, J. M., 2002, *Econometric analysis of cross-Section and panel data*,

Cambridge, MA: MIT Press.

국립환경과학원 국가대기오염물질 배출량서비스, <http://airemiss.nier.go.kr>.

Hagstrom, P., 2016, "The Swedish charge on emissions of nitrogen oxides (the NOx charge)," Swedish Environmental Protection Agency, https://www.uncece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2016/AIR/WGSR/PPT_WGSR54/Item_5/8_Swedish_NOx_charge.pdf, [2019. 2. 20]

노상환: 미국 미시간대학교(The University of Michigan(Ann Arbor))에서 경제학 박사학위를 취득하고, 현재 경남대학교 경제금융학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 환경정책 및 환경규제의 효율성 분석이다. 주요 연구실적으로는 “한국의 광역지자체 제조업 효율성 및 생산성의 비교 분석”(지역산업연구, 2018), “질소산화물 대기배출부과금제도의 평가와 개선방향”(환경정책, 2019) 등이 있다(swlho@kyungnam.ac.kr).

투 고 일: 2020년 01월 05일

심 사 일: 2020년 01월 26일

게재확정일: 2020년 01월 30일