수도권 사업장 대기오염물질 총량관리제의 대기질 개선 효과 실증분석

임지원[1], 홍종호[2]
[[1]서울대학교 환경대학원/박사과정, [2]서울대학교 환경대학원/교수]

연구 배경

환경 정책은 사회 후생과 경제 성장에 지대한 영향을 주므로 신중한 설계가 필요하다. 이에 많은 국가들은 환경 정책 도입에 앞서 시범 정책(pilot policy)을 통한 정책 실험을 실시한다. 한국은 2005년부터 2019년까지 수도권 사업장 대기오염물질 총량관리제(이하, 수도권 총량제)를 실시하여 수도권 지역 내 대형 대기 사업장(1~3종)에 대한 오염물질 총량규제를 시도하였다.

수도권 총량제는 기존의 농도 중심 규제의 한계를 극복하여 수도권 대기질을 크게 개선한 정책으로 인정받아 2020년부터 전국단위로 확대 시행되고 있다(이혜경, 2019). 하지만 정부 보고서와 국내 선행연구의 정책평가 방식은 초기 사업연도인 2007년과 이후 년도 사업장 SO_2, NO_2 배출량에 대한 단순 비교로 **인과성 검증과정이 부재**하다(박민하, 김용표, 2019; 이혜경, 2019). 또한 사업장 배출량의 감소가 수도권 대기 SO_2, NO_2 농도의 유의미한 감축으로 나타나는지에 대한 **종합적 평가 역시 미비**하다. '탄소중립'이라는 시대적 요구에 부응하기 위해 국내에서 다양한 환경 정책을 시도되고 있는 만큼 이러한 **정책 실험-개선-적용의 선순환 구조**를 만들어야 한다.

이 연구는 generalized difference-in-difference와 event study 모형을 기반으로 인과적 정책평가를 진행하여 정책 효과성을 엄밀히 규명하고 유의미한 시사점을 준다.

데이터 수집

연구범위는 **2005년부터 2019년까지 전국 180개 도시 대기측정소의 SO_2, NO_2 농도**이다. 대상 측정소 중 84개는 수도권, 96개는 비수도권 내에 존재한다. 분석 기준연도는 **2016년으로 수도권 2차 총량제 시행 첫해**이다. 수도권 1차 총량제를 기준연도로 삼지 않은 이유는 총량제 과잉 할당과 참여 사업장 수 저조로 정책 시행 효과가 미비했다는 평가가 있기 때문이다(이혜경, 2019). 1차 총량제의 한계를 보완하기 위해 2차 총량제는 참여 대상을 확대하고 배출권 할당량을 기존의 60%로 감축하는 등 규제를 강화하였다. 따라서 본 연구는 '이러한 규제 강화가 수도권 대기질 개선에 유의미한 변화를 주었을 것'이라는 가설을 바탕으로 2016년 전후 수도권 SO_2, NO_2 농도 변화를 관찰하였다.

SO_2, NO_2 농도 변화에 영향을 줄 수 있는 요인을 통제하기 위해 **사회경제 요인**(자동차 등록 대수, 석탄화력발전소가동률, 지역 내 총생산, 인구밀도)과 **기상 요인**(기온, 강수량)에 대한 변수를 선정하여 수집하였다(He et al., 2016; Liu et al., 2020; Wang et al., 2019). 그 결과 2,700개의 관측치를 가진 균형패널을 구축하였다.

분석 모형

2차 총량제 시행 이후 오염물질 농도변화를 살펴보기 위해 generalized difference-in-difference 모형(1)을 사용하였다:

$$Y_{ist} = \beta^{DID} TCB_{is} + X'_{ist}\beta + v_t + u_{is} + \epsilon_{ist}, \quad (1)$$

- TCB_{is}: 수도권 2차 총량제 시행지역 = 1, 수도권 2차 총량제 미시행지역 =0
- β^{DID}: 정책효과에 대한 상관계수
- X'_{ist}: 통제변수
- Y_{ist}: SO_2, NO_2 농도
- ϵ_{ist}: 오차항, v_t: 시간고유 오차항, u_{it}: 지역 고유 오차항
- i: 관측소, s: 지역, t: 연도

동일 추세 가설(parallel trend assumption)을 위해 event study 모형(2)를 사용하였다:

$$Y_{ist} = \sum_{l=-4,\, l\neq -1}^{3} \widehat{\beta_l} 1\{F_s = t - l\} + v_t + u_{is} + \epsilon_{ist}, \quad (2)$$

- F_s: 도시 s에 정책이 시행된 첫 해
- l: 정책 시행 연도로 부터의 거리
- $1\{F_s = t - l\}$: 시간 지표 (지역 s가 1년 전 수도권 2차 총량제 시행대상이 되었다면 1로 나타남)

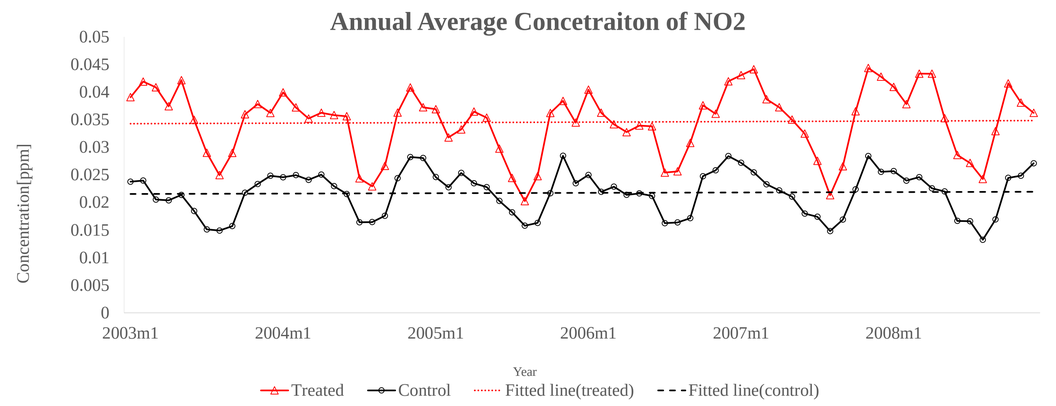
분석 결과

① 주요 결과

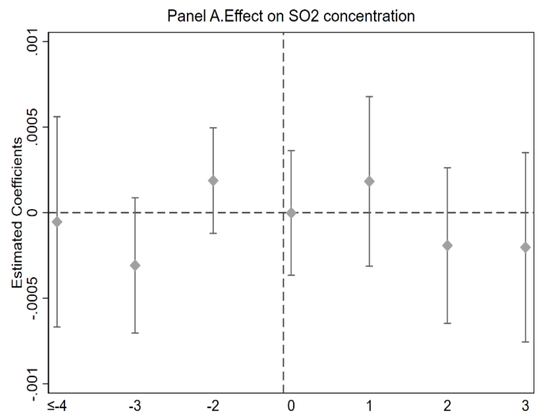
분석 결과, 수도권 총량제 시행은 SO_2 농도감소에 통계적으로 유의한 영향을 주지 못했으며, **NO_2 농도는 유의수준 1%로 0.002~0.003ppm 감소**시켜 오염물질별 상이한 효과를 준 것으로 나타났다. 이 결과는 통제변수 추가 후에도 동일하여 강건한 결과임을 알 수 있다.

② Pre-trend 분석 결과

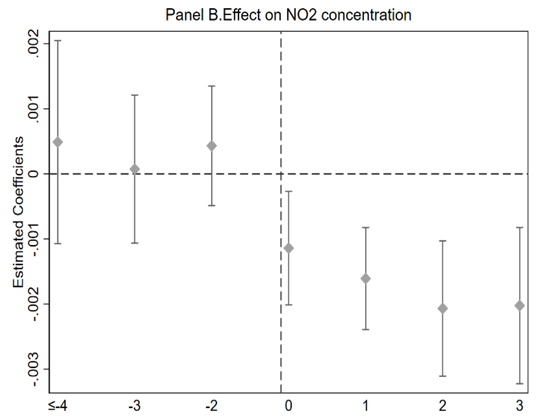
Difference-in-difference 분석을 인과적으로 해석하기 위해서는 동일 추세가설이 성립해야 한다. 이 가설은 만약 정책이 시행되지 않았다면 정책 대상과 비대상 집단의 종속변수 값이 정책 시행 전후로 비슷한 추세를 보였을 것이라는 가정이다. 동일 추세가설의 성립 여부를 확인하기 위해 event study plot을 그려 기준 연도 전과 후의 오염물질 농도 변화를 관찰하였다. 분석 결과, SO_2에서는 동일 추세가설이 성립하지 않았으며 **NO_2에서는 기준 연도 이후 농도가 감소하여 정책 시행 효과가 있음을 입증**하였다. 또한 농도 감소 수준이 꾸준히 증가하여 **정책효과가 누적됨**을 알 수 있었다.



[그림 1]



[그림 2]



[그림 3]

결론

수도권 2차 총량제 시행 효과를 살펴본 결과 수도권 NO_2 농도는 2차 총량제 시행 이후 0.002~0.003ppm 감소였다. 이는 **2007년 연평균 NO_2 농도의 약 10%에 해당하는 수준으로 유의미한 감소이지만 정부 보고서의 주장인 약 30% 감소에는 못 미치는 수치**이다. 이는 환경 정책 시행 과정에서 **과학적 후속 평가의 필요성**을 시사한다.

수도권 SO_2 농도의 경우 동일 추세가설이 성립하지 않아 수도권 2차 총량제의 영향으로 해석할 수 없다. 또한 generalized difference-in-difference와 event study 분석 모두에서 정책 시행과 SO_2 농도 변화에 유의한 상관관계가 관찰되지 않았다. 이는 1990년대부터 지속된 SO_2 농도 감축 정책과 그로 인한 **저황유 사용 증가**와 **FDG(Flue Gas Desulphurization) 기술 확산** 등이 총량제 이전부터 전국의 SO_2 농도를 낮춰왔기 때문으로 보인다. 이는 환경 정책의 비용효율적 시행을 위해 정책 간 상호관계를 고려한 **통합관리모델이 필요함**을 시사한다.

참고문헌

- 박민하, 김용표, 2019, 수도권 대기오염물질 배출권거래제에 대한 고찰 및 총량제 확대 시행을 위한 제언, 한국입자에어로졸학회지, 15(4), 159-171.
- 이혜경, 2019, 사업장 대기오염 총량관리제 현황과 개선방안, 입법, 정책보고서, 36.
- He, G., Fan, M., & Zhou, M., 2016, The effect of air pollution on mortality in China: Evidence from the 2008 Beijing Olympic Games. Journal of Environmental Economics and Management, 79, 18-39. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.04.004
- Li, K., Qi, S.-Z., Yan, Y.-X., & Zhang, X.-L., 2022, China's ETS pilots: Program design, industry risk, and long-term investment, Advances in climate change research, 13(1), 82-96. https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.11.002
- Li, X., Qiao, Y., Zhu, J., Shi, L., & Wang, Y., 2017. The "APEC blue" endeavor: Causal effects of air pollution regulation on air quality in China. Journal of cleaner production, 168, 1381-1388, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.164
- Liu, Y., Zhou, Y., & Lu, J., 2020, Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance. Scientific reports, 10(1), 14518-14518, https://doi.org/10.1038/s41598-020-71338-7
- Müller, D., 2020, The Regional Greenhouse Gas Initiative: Background, Impacts, and Selected Issues, United States: Nova Science Publishers, Incorporated,http://snu-primo.hosted.exlibrisgroup.com/82SNU:TN_cdi_proquest_ebookcentralchapters_6026297_6_27
- Wang, K., Yin, H., & Chen, Y., 2019, The effect of environmental regulation on air quality: A study of new ambient air quality standards in China, Journal of cleaner production, 215, 268-279, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.061
- Wang, W., Zhao, C., Dong, C., Yu, H., Wang, Y., & Yang, X., 2022, Is the key-treatment-in-key-areas approach in air pollution control policy effective? Evidence from the action plan for air pollution prevention and control in China. The Science of the total environment, 843, 156850-156850, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156850
- Yan, J., 2021, The impact of climate policy on fossil fuel consumption: Evidence from the Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI), Energy economics, 100, 105333, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105333