

# 이중차분법을 이용한 석탄화력발전소에 대한 미세먼지 계절관리제의 지역별 효과 분석<sup>†</sup>

강희찬\*

**요약** : 본 논문은 정부가 시행한 1차 계절관리제의 초미세먼지 농도 감소 효과를 통계적 기법을 통해 확인하는 것이다. 특히 본 논문은 이러한 정책효과가 지역별(서해안, 남해안, 동해안)로 차이가 발생할 수 있다는 가설을 검정하는 것이다. 이를 위해 본 논문은 이중차분법(DID, difference-in-difference)을 활용하여 정책 시행 기간(2019년 12월~2020년 3월) 지역과 무관하게 발생한 코로나19, 따뜻한 겨울 등 시간적 특이성을 제거하여 순수한 정책효과만 분석하였다. 분석 결과 석탄화력발전소에 대한 정부의 1차 계절관리제는 초미세먼지 감소 효과가 있었으나, 지역별로 그 효과에 차이가 존재하였다. 특히 서해안 지역의 감소 효과가 가장 크고, 남해안 지역이 그다음으로 효과가 있었으나 동해안 지역의 경우 감소 효과가 통계적으로 확인되지 못했다. 결과적으로 본 논문은 현재와 같이 지역과 무관하게 계절관리제를 운영하는 방식은 개선될 필요가 있다는 시사점을 도출하였다.

**주제어** : 계절관리제, 초미세먼지 농도, 이중차분법

**JEL 분류** : H2,H6,C6

접수일(2022년 8월 2일), 수정일(2022년 9월 6일), 게재확정일(2022년 9월 9일)

<sup>†</sup> 본 논문은 인천대학교 2020년 자체연구사업에서 연구비를 지원받아 수행한 결과를 바탕으로 작성되었음.

\* 인천대학교 경제학과 부교수, 교신저자(e-mail: henrykang@inu.ac.kr)

# Analysis of Regional Effects of the Seasonal Management Policy on Coal-fired Power Plant Using Difference-in-difference Method<sup>†</sup>

Heecha Kang\*

**ABSTRACT :** This paper tries to identify the effect of reducing PM2.5 concentration of the First Seasonal Management Policy implemented by Korean government by using statistical method. In particular, this paper tests the hypothesis that this policy effect may differ by region (west-coast, south-coast, and east-coast). To this end, this paper analyzed only pure policy effects by removing temporal abnormalities such as COVID-19, warm winter temperature during the policy implementation period (December 2019 to March 2020) by using the difference-in-difference method (DID). As a result of the analysis, this policy had the effect of reducing PM2.5, but the effect is not homogenous by region. In particular, PM2.5 reducing effect is the largest in west-coast region and south-coast region follows, but its effect is not statistically significant in the east-coast region. In conclusion, this paper drew implications that the current Seasonal management policy which is implemented regardless of the regional difference needs to be changed.

**Keywords :** The First Seasonal Management Policy, PM2.5 concentration, Difference-in-difference

---

Received: August 2, 2022, Revised: September 6, 2022, Accepted: September 9, 2022.

<sup>†</sup>This paper is based on the research funded by Incheon national university in 2020.

\* Associate Professor, The Associate Professor of the Department of Economics in Incheon National University, Corresponding author(e-mail: henrykang@inu.ac.kr)

## 1. 서론

한국에서 시행 중인 미세먼지 계절관리제는 미세먼지 고농도 예상 시기에 그 발생의 강도와 빈도를 완화하기 위해 평소보다 강화된 배출 저감을 시행하는 정책이다. 정부는 2019년 9월 국가 기후환경회의의 국민정책제안을 토대로 2019년 11월 1일에 열린 제3차 미세먼지특별대책위원회에서 계절관리제 도입을 결정하였고, 석탄화력발전 가동중단 및 발전용량 제약 등의 조치를 포함한 총 29개 이행과제<sup>1)</sup>를 선정하여 추진하였다. 이행과제의 하나로 전국에 있는 석탄화력발전 중 노후화 정도 등을 고려하여 2019년 12월~2020년 3월 말까지 제1차 미세먼지 계절관리제를 시행하였고, 다음 해 같은 기간으로 2020년 12월~2021년 3월 말까지 2차 미세먼지 계절관리제가 운영되었다. 국내 석탄화력발전소는 크게 세 지역에 건설되어 운영되고 있는데, 서해안 지역, 남해안 지역, 동해안 지역으로 나뉜다. 서해안 지역은 수도권, 충청, 전라북도 등 인구가 밀집한 지역에 영향을 미치고, 남해안 지역은 전라남도에도 영향을 미치며, 동해안 지역은 강원과 경상도 권역에 영향을 미친다. 이러한 계절관리제의 효과에 대해 환경부(2020)<sup>2)</sup>는 1차 계절관리제 기간 초미세먼지 농도는  $24\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 제도 시행 전 과거 2년 평균 초미세먼지 농도  $32\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 약  $8\mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였다고 발표하였다. 또한 초미세먼지 나쁨 일수 ( $36\mu\text{g}/\text{m}^3$ )가 충남은 9일, 전남 4일, 서울 2일 등 전국 평균 2일 감소하였다고 한다. 1차 미세먼지 계절관리제의 핵심이 석탄발전의 가동중단 및 발전용량 제약이었음을 비춰봤을 때 그 효과는 매우 긍정적이라고 볼 수 있다. 그러나 환경부도 시인한 바와 같이 이러한 초미세먼지 농도 저감효과는 전대미문의 코로나19(COVID 19)로 인한 영향일 가능성이 있으며, 당시 온화한 겨울철의 기후로 인한 난방에너지 사용 감소, 강한 북서풍 바람의 영향 등 다양한 변수에 의해 나타난 결과일 가능성이 존재한다. 따라서 환경부의 발표와 같이, 배출량의 감소와 초미세먼지 농도의 좋음 일수 증가와 나쁨 일수 감소의 효과는 코로나19 등의 영향과 기온 등의 영향을 모두 제거한 이후에 평가해야만 진정한 효과를 파악할 수 있다. 따라서 현재 환경부의 평가는 이러한 영향을 고려했다고 판단하기 어

1) 이행과제에는 석탄화력발전소 가동중단 및 발전용량 제한 이외에도 배출가스 5등급 차량 운영 제한, 영농폐기물 불법소각 예방, 사업장 불법행위 특별 단속 등 미세먼지를 발생시키는 여러 분야에 대한 규제 정책이 포함되어 있다.

2) 환경부(2020.5.13.), 첫 계절관리제 고농도 미세먼지 완화 효과 특보, 보도자료.

럽다.

한편, 현행 계절관리제는 화력발전소가 있는 해안지역(서해안, 동해안, 남해안)의 지리적, 환경적 특성을 고려하지 않고 일률적으로 시행하고 있다. 예를 들어 계절관리제는 12월에서 시작하여, 이듬해 3월까지 총 4개월 동안 시행되는 조치로, 같은 시기 한반도 전체는 북서풍의 영향을 크게 받는다. 이러한 계절풍의 영향을 고려할 경우, 계절관리제의 효과는 서해안과 남해안에서는 나타날 수 있으나, 북서풍의 영향으로 미세먼지가 대부분 내륙이 아닌 바다로 불어 나가는 동해안의 석탄화력발전소에 대한 계절관리제 효과는 다른 두 지역과 상이하게 나타날 수 있다. 또한 서해안과 남해안을 비교할 때도, 서해안 지역은 겨울철과 초봄에 북서풍의 영향을 고려할 경우, 석탄화력발전소 미세먼지는 내륙 쪽의 수도권, 충청권, 호남권의 미세먼지 농도 상승에 기여할 수 있다. 이에 반해 남해안에 있는 석탄화력발전소에서 발생하는 초미세먼지는 북서풍의 영향으로 바다 쪽으로 빠져나갈 수 있어 서해안과는 다른 영향이 있을 수 있다. 이에 본 연구에서는 다음과 같은 가설을 설정하고, 이를 검증하고자 한다.

가설: 계절관리제 효과는 서해안, 남해안, 동해안 지역별로 통계적으로 상이하게 나타날 수 있다.

본 논문은 계절관리제 동안 발생한 코로나19, 따듯한 겨울 등 시간적 특이성을 제거하여 정책의 효과를 분석하고, 그 효과가 지역별로 차이가 발생할 수 있다는 가설을 검증하는 것이다. 이를 위해 계절관리제가 적용된 서해안, 남해안, 동해안별로 석탄화력발전소 주변 지역 측정소의 쌍(pair)을 선정하여, 평소 석탄화력발전소에서 발생하는 미세먼지 영향을 받는 지역을 실험군(treatment group)으로 선정하고, 다른 여타 상황은 비슷하지만 석탄화력발전소로부터의 미세먼지 영향은 상대적으로 덜 받는 지역을 대조군(control group)으로 선정하였다. 여기서 얻은 데이터를 이용하여 실험군과 대조군에 대한 이중차분법(DID, difference in difference)을 통해 계절관리제 정책의 효과를 분석하고 그 결과를 바탕으로 개선방안을 제안하고자 한다.

## II. 선행연구

이중차분법을 이용한 환경정책의 효과를 분석하는 연구는 Auffhammer and Kellogg (2011)의 연구를 기점으로 발전하기 시작하면서 최근에 많은 주목을 받고 있다(Inoue et al., 2020; Qiu and He, 2017; Tanaka, 2015; 이동규·성재훈, 2018). Auffhammer and Kellogg(2011)는 미국의 휘발유 함유물질 규제가 오존 배출량을 감소시켰는지에 대해 이중차분법을 이용하여 분석하였다. 이에 대해 전반적인 유연성 메커니즘을 선택한 주에서는 오존 감축에 큰 효과가 없었던 반면, 통일된 규제를 택한 캘리포니아의 경우 감축 효과가 분명했음을 보였다. Inoue et al.(2020)은 이중차분법을 이용하여 일본의 자동차 배출량규제법이 배출량, 출산율 그리고 영아사망률에 미쳤는지를 분석하였다. 분석결과  $\text{NO}_x$ 와  $\text{SO}_2$  수준은 5~11% 감소하였고, 영아사망률도 개선되었음을 보여주었다. Qiu and He(2017)는 패널데이터에 대한 이중차분법 적용을 통해 중국의 친환경교통정책 시범사업이 대기질에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  농도 모두 유의한 감소가 있었던 것으로 확인했다.

석탄화력발전소에 관한 규제가(초)미세먼지 등의 대기오염물질 농도의 변화와 이로 인한 보건에 미치는 영향을 분석한 논문은 아직 그렇게 많지 않다. Tanaka(2015)는 중국의 석탄화력발전소 관련 대규모 감축정책으로 인한 영아사망률에 미치는 영향을 이중차분법을 이용하여 분석하였으며, 결론적으로 감축정책을 시행한 도시는 그렇지 않은 도시에 비해 영아사망률이 1,000명당 3.29명이 더 적은 것으로 나타났다. 이동규·성재훈(2018)은 노후 석탄화력발전소 가동중단에 따른 발전소 주변지역의 초미세먼지 농도의 변화를 분석하였다. 특히 이동규·성재훈(2018)의 논문은 중국발 미세먼지 영향을 통제 한 후 강원도 지역의 노후 석탄화력발전소에 대한 가동중단 조치로 인해 영동화력발전소 주변 지역에  $3.7\sim 4.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 초미세먼지 농도 감소효과가 발생한 것으로 분석하였다. 선행 연구들에서 이중차분법을 이용하여 미세먼지 감축 정책 효과를 많이 분석하지 못한 이유는 한국의 계절관리제도와 같은 거의 자연실험에 가까운 정책 시행의 사례가 많지 않기 때문이다. 앞서 Tanaka(2015)의 경우에도 중국의 석탄화력발전소 관련 대규모 감축정책의 효과를 이중차분법을 이용하여 분석하였으나, 이러한 국가 전체적인 감축 정책이 실질적으로 임의적 선택에 의한 것인지 대해서는 불확실하다고 볼 수 있다. 그

리나 다행히도 한국의 “노후 석탄화력발전소 가동중단”이나 “계절관리제도”와 같은 정책은 이중차분법의 적용이 가능한 자연실험에 가까운 조치라고 볼 수 있다.

본 논문은 현재 시행 중인 계절관리제가 미세먼지 농도 감소에 얼마나 효과가 있는지를 통계적으로 분석한 것으로, 미세먼지 확산모형과 같은 공학적인 연구에 대한 기초연구인 동시에, 비교를 위한 준거 연구의 역할을 할 것으로 기대된다. 아쉽게도 현재까지 계절관리제에 대한 미세먼지 확산모형을 이용한 공학적인 연구가 이뤄지지 않은 상태에서 통계학적인 연구를 통해 향후 연구의 기초연구로서의 가치가 있고, 향후 공학적인 분석을 통해 미세먼지 저감효과를 파악하게 될 때, 본 연구 결과와 비교를 통해 연구의 강건성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

### Ⅲ. 기간 설정 및 실험군과 대조군 설정

본 연구는 이중차분법(difference in difference)을 이용하여, 실험군과 대조군의 두 지역의 계절관리제 정책시행 전과 후, 두 시점 사이에 거의 동일한 추세를 갖는다는 전제 아래 정책효과를 추정하는 것이다. 본 연구에서 이중차분법을 방법론으로 선택한 이유는 실험군과 대조군 두 집단의 정책 시행 전과 후 두 시점 사이에 정책(계절관리제)과 관련된 부분을 제외하면 거의 동일한 추세를 갖는다고 보기 때문이다.<sup>3)</sup>

이중차분법은 실험집단과 동질적인 통제집단을 설정한 후, 전후관계를 비교함으로써 시간에 따라 변하는 관측 불가능한 요인이 제거되어 특정한 정책효과만을 식별함으로써 정책과 그로 인한 결과의 인과효과를 도출하는 데 유용한 방법이다. 정책 변화 이외에 다른 요인에 의한 변화를 통제하기 위해 일반적으로 통제집단(대조군 혹은 대조 지역)을 구성하여 통제할 수 있다.

물론 모든 경우에 이중차분법을 이용하는 것은 아니다. 이보다는 더 단순한 접근(한

3) 계절관리제는 석탄발전소 가동 중단이나 생산량 제한 등의 조치 이외에도 배출량이 과도한 차량 운영 제한, 산업단지 등 사업자 불법행위 단속 등 미세먼지를 발생시키는 다른 분야에 대한 규제 정책도 포함하고 있다. 따라서 이러한 다양한 요인이 통제되지 않는 상황에서 석탄화력발전소 운영에 대한 제한에 대한 변수만으로 초미세먼지 농도변화를 모두 통제할 수 없다. 하지만 다행히도 석탄화력발전소 부근은 대체로 해안에 존재해서 도심과 같이 자동차 운행이 많지 않고 주변 산업단지와 인접하고 있지 않아 사업장 불법행위 단속에도 큰 영향을 받지 않는다. 따라서 본 연구에서는 이러한 영향이 미미할 것이라고 가정한다.

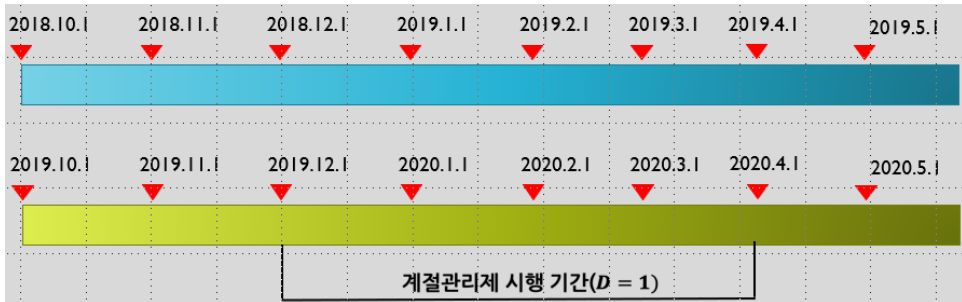
지역의 정책 시행 전·후 비교 혹은 같은 시점 실험지역과 대조지역 비교)도 가능하다. 그러나 이중차분법을 이용하게 되면 이러한 단순 방법이 유발할 수 있는 오관의 위험성을 현저하게 줄여줄 수 있다. 예를 들어 계절관리제의 시행 전·후로 한 지역의 농도측정을 통해 정책효과를 비교할 수 있다. 이 경우 정책 시행 전과 비교하여 시행 후 해당 지역의 초미세먼지 농도가 감소했다고 하자. 그런데 이 경우 정책효과가 있었다고 판단하기에는 다른 요인(온화한 겨울철 날씨나 코로나19 등의 영향으로 전력 수요가 감소하여 석탄발전소 운영 감소)의 개입 가능성을 완전히 배제할 수 없다. 한편 동일한 논리로, 특정 시점(기준 년도)을 기준으로 두 지역(실험지역과 대조지역)의 초미세먼지 농도 차이(효과)를 비교하는 것은 본래 각 지역이 가지고 있는 차이를 통제할 수 없다. 예를 들어 계절관리제가 시행됐음에도 실험지역과 대조 지역 모두 농도가 같다고 해보자. 그러나 실제로는 계절관리제로 실험지역의 초미세먼지 농도가 감소했지만, 실험지역은 본래 다른 농도 증가 요인(지형·바람 방향 혹은 산업단지 유무)이 있어 항상 초미세먼지 농도가 높을 수 있다. 이 경우 계절관리제에도 불구하고 실험지역과 대조지역의 초미세먼지 농도는 같게 나올 수 있다.

이중차분법으로 분석하는 것은 시간상으로 정책 시행 전/후 간 초미세먼지 농도의 변화와 공간적으로 석탄화력발전소의 초미세먼지 영향권 안/밖 지역 간 계절관리제 시행의 효과를 동시에 비교하는 것이다. 이러한 시간적·공간적 분석을 동시에 진행하는 이유는 시간상으로 비교 지역 모두에 나타나는 공통의 추세와 더불어 시간과 무관한 공간 특화 요인을 제거하여 오로지 계절관리제만의 영향을 파악하기 위함이다. 정책효과와는 무관한 시간적·지리적 특성을 통제할 수 있다면 정책효과는 실험군과 대조군의 평균적인 성과 차이로 추정할 수 있다.

<그림 1>에서 보는 바와 같이, 시간상으로, 본 연구에서 적용한 계절관리제 시행 기간은 2019년 12월 1일부터 2020년 3월 31일까지이다. 계절관리제로 인한 (초)미세먼지 농도 감소 효과를 비교하기 위한 준거점으로는 전년도 동 기간(2018년 12월 1일~2019년 3월 31일)을 분석에 포함한다. 해당 기간에는 아직 계절관리제가 시행되지 않아, 석탄화력발전소로 인한 초미세먼지 농도의 영향을 받을 수 있다. 한편 계절관리제로 인한 석탄화력발전소에서 발생하는 미세먼지 발생량 변화와 초미세먼지 전도물질 발생량 변화로 인한 주변 지역의 미세먼지 및 초미세먼지 농도변화에 이르는 메커니즘의 충분한 변화

를 고려하여, 계절관리제 시행 기간 및 그 전년도 동일 기간의 앞과 뒤의 두 달을 분석 기간에 포함했다. 결과적으로 2019년 10월, 11월 그리고 2020년 4월과 5월을 포함했으며, 동일한 논리로 전년도 2018년 10월, 11월 그리고 2020년 4월과 5월을 분석기간에 포함했다.

〈그림 1〉 분석기간

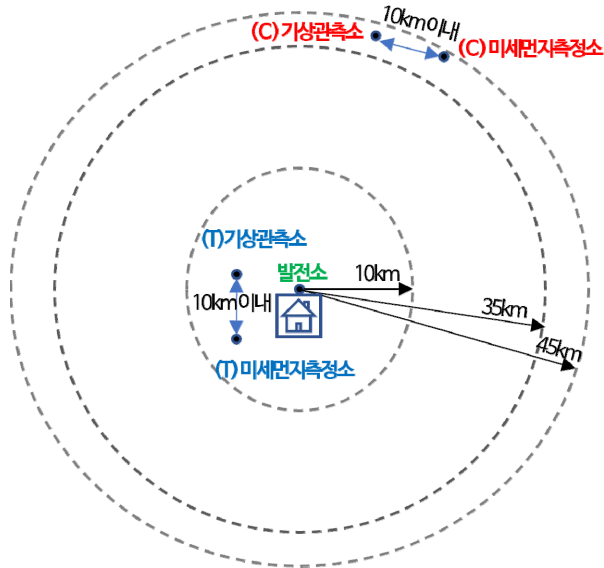


공간적으로는 실험군과 대조군 지역을 선정하되, 실험군은 석탄화력발전소의 미세먼지 영향을 지속해서 받는 지역으로, 대조군은 다른 지형적, 환경적 영향 등은 유사하되 이러한 발전소발 미세먼지 영향 밖에 있는 지역으로 선정<sup>4)</sup>한다. 이를 위해 본 논문에서는 일정한 기준을 두고 실험군 지역과 대조군 지역을 선정한다. <그림 2>에서 보는 바와 같이, 우선 실험군 지역은 발전소와 그 영향권 내에 존재하는 지역의 미세먼지 측정소 간 거리가 10km 이내로 제한하고, 대조군 지역은 발전소에서 미세먼지 측정소까지의 거리가 최소 35km, 최대 45km로 설정하였다. 추가로 초미세먼지 농도 자료 이외에도 강수량, 풍속, 기온 등 미세먼지 농도에 영향을 미칠 수 있는 지역별 특성을 통제하기 위해 관련 데이터를 지역별 기상관측소로부터 얻었다. 이 기상관측소도 실험군 지역은 발전소에서 10km 이내로 제한하고, 미세먼지 측정소와의 거리도 10km 이내로 제한하였다. 한편 대조군 지역은 발전소와 기상관측소 간 35~45km로 한정하고, 미세먼지 측정소와의 거리는 10km 이내로 설정하였다.

4) 대조군 지역은 발전소와의 거리가 충분히 멀어 이곳에서 발생하는 초미세먼지 영향을 거의 받지 않기 때문에 계절관리제 시행으로 인한 초미세먼지 농도의 변화는 없을 것으로 판단되는 지역이다.



<그림 2> 실험군과 대조군 지역 선정기준



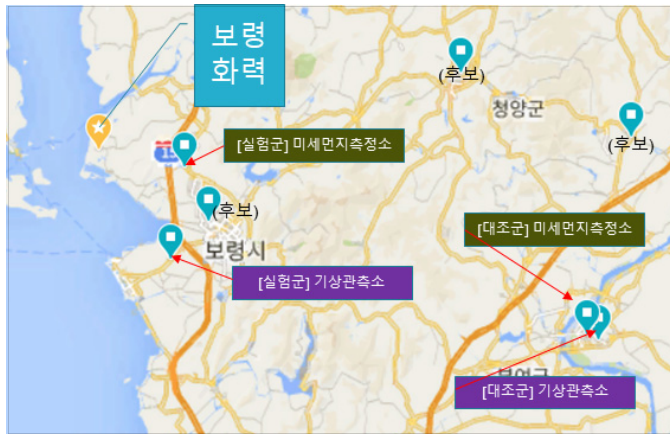
본 논문의 주요 관심사는 서해안, 남해안, 동해안에서 실험군이 될 수 있는 화력발전소와 대조군이 될 수 있는 비교 대상 지역의 지리적 여건이 체계적으로 다를 수 있다고 판단한다. 정책효과와 무관한 지역적, 지리적 특성을 통제하여 실험군과 대조군의 정책 효과에 대한 평균적인 성과를 추정할 계획이다. 본 연구에서 선택할 실험군 지역과 대조군 지역은 일정한 기준으로 선택되었다.

실험군 지역은 발전소와 미세먼지 측정소 간 거리가 10km 이내, 발전소와 기상관측소와의 거리도 10km 이내, 미세먼지 측정소와 기상관측소 간 거리도 10km 이내의 기준에 모두 만족하는 지역을 선택하였다.<sup>5)</sup> 대조군 지역은 발전소와 미세먼지 측정소와의 거리가 35~45km 이내, 발전소와 기상관측소와의 거리는 35~45km 이내, 미세먼지 측정소와 기상관측소 간 거리는 10km 이내의 모든 기준을 만족하는 지역을 선택하였다. 본 연구에서 기상관측소 자료를 활용하는 것은 강수량, 풍속, 기온 등 미세먼지 농도에 영향을 미칠 수 있는 지역별 특성 요소를 고려한 모형도 구축하기 위함이다.

5) 이러한 세 가지 기준이 필요한 이유는 발전소, 미세먼지측정소, 기상관측소는 시설의 특징상 항상 한 곳에 존재하는 것이 아니고, 특히 미세먼지측정소와 기상관측소도 분리되어 설치·운영되는 것이 일반적이기 때문이다.

본 연구는 서해안 지역, 남해안 지역, 동해안 지역에 대해 실험군 지역과 대조군 지역을 각각 하나의 쌍으로 선택하였다. 서해안 지역의 경우에는 <그림 3>과 같이, 보령시에 있는 보령화력발전소를 선택하였다. 2021년 기준 보령화력발전소는 보령 1, 2호기 981MW, 3~8호기 3,050MW, 신보령 1, 2호기 2,038MW를 운영하고 있다. 계절관리제로 인해 총 141일 동안 가동이 중단되었고, 출력상한제약도 총 950일 시행되었다. 계절관리제의 가동 정지 명령으로 1,606GWh, 출력상한제한으로 2,811GWh의 생산이 감소하였다. 서해안 실험군 지역 내 미세먼지 측정소는 보령화력발전소에서 6.78km 떨어진 주교면 사무소 미세먼지측정소로, 기상관측소는 해당 미세먼지 측정소에서 7.5km 떨어진 보령기상관측소로 결정하였다. 한편 대조군 지역은 보령화력발전소에서 39.7km 떨어진 부여군 부여읍 미세먼지 측정소로, 기상관측소는 해당 미세먼지측정소에서 1.26km 떨어진 부여기상관측소로 결정하였다.

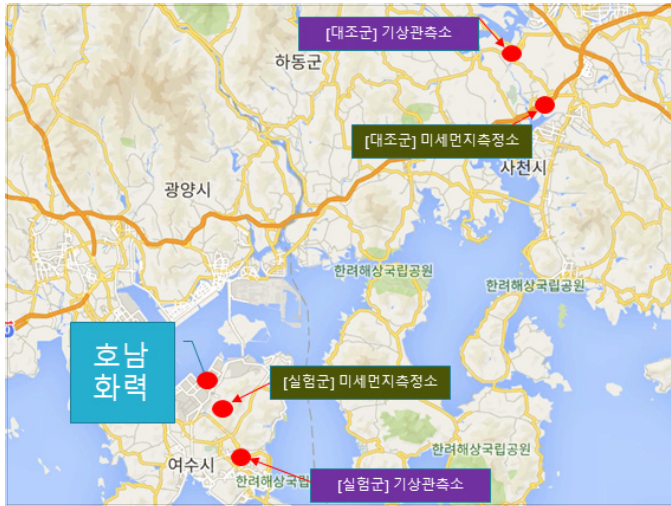
<그림 3> 서해안 지역 실험군 지역과 대조군 지역



다음으로 남해안 지역은 <그림 4>와 같이 여수시에 있는 호남화력발전소를 선택하였다. 2021년 기준 호남화력발전소의 경우에는 1, 2호기가 총 500MW의 설비로 운영되고 있다. 발전량은 2021년 1월 기준 280GWh가 생산되었다. 계절관리제 동안 가동중단은 시행되지 않았고, 출력상한제약은 총 198일이 시행되었고 이로 인해 총 223GWh의 전력생산이 감소하였다. 남해안 실험군 지역 내 미세먼지 측정소는 호남화력발전소에서

4.1km 떨어진 여수시 삼일동 미세먼지 측정소로, 기상관측소는 해당 미세먼지 측정소에서 9km 떨어진 광양기상관측소를 선택하였다. 한편 대조군 지역의 경우 호남화력발전소에서 39km 떨어진 경남 사천읍사무소 미세먼지 측정소로, 기상관측소는 해당 미세먼지 측정소에서 5km 떨어진 진주 기상관측소로 결정하였다.

<그림 4> 남해안 지역 실험군 지역과 대조군 지역



마지막으로 동해안 지역은 <그림 5>와 같이 동해시에 있는 동해화력발전소를 선택하였다. 2021년 기준 동해화력발전소의 경우에는 1, 2호기에서 400MW의 용량에서 238GWh의 전력을 생산하고 있다. 계절관리제 동안 가동중단은 시행되지 않았고, 출력상한제한은 총 198일이 시행되었고 이로 인해 총 190Gwh의 전력생산이 감소했다. 동해안 실험군 지역 내 미세먼지 측정소는 동해화력발전소에서 5km 떨어진 동해시의회 미세먼지 측정소로, 기상관측소는 해당 미세먼지 측정소에서 3km 떨어진 동해 기상관측소를 선택하였다. 한편 대조군 지역의 경우 동해화력발전소에서 42km 떨어진 강릉시 옥천동 미세먼지 측정소로, 기상관측소는 해당 미세먼지 측정소에서 4km 떨어진 강릉 기상관측소를 선택하였다.

〈그림 5〉 동해안 지역 실험군 지역과 대조군 지역



<표 1>은 본 논문이 선택한 서해안, 남해안, 동해안의 실험군 지역과 대조군 지역에서 미세먼지측정소와 기상관측소의 지역정보와 위치정보를 정리한 것이다.

〈표 1〉 실험군 지역과 대조군 지역의 미세먼지 측정소, 기상관측소 위치

	실험군			대조군	
	화력발전소	미세먼지측정소	기상관측소	미세먼지측정소	기상관측소
서해안 지역	보령화력	주교면사무소 (이격거리 6.78km)	보령 기상관측소	부여군 부여읍 (이격거리 39.7km)	부여 기상관측소
남해안 지역	호남화력	여수시 삼일동 (이격거리 4.1km)	광양 기상관측소	사천읍사무소 (이격거리 39km)	진주 기상관측소
동해안 지역	동해화력	동해시 의회 (이격거리 5km)	동해 기상관측소	강릉시 옥천동 (이격거리 42km)	강릉 기상관측소

자료: 에어코리아, 통계정보, 최종확정측정자료조회([www.airkorea.or.kr](http://www.airkorea.or.kr)), 기상청 기상자료개방포털([data.kma.go.kr](http://data.kma.go.kr))

#### IV. 분석 모형과 방법

본 연구에서는 정책효과를 추정하는 방법으로 이중차분법을 활용하였다. 이중차분법은 실험군과 대조군의 두 집단이 정책 시행 전과 후 두 시점 사이에 거의 동일한 추세를 갖는다는 전제 아래 실험군에서의 정책효과를 추정하는 것이다.

본 연구에서 활용한 이중차분법에 대한 회귀방정식은 아래 식 (1)과 같다.

$$PM_{jty} = \alpha + \beta D_{ty} + \gamma R_j + \delta D_{ty} \times R_j + \tau T_t + \theta Y_u + \epsilon_{jty} \quad (1)$$

변수와 하첨자에 대한 설명은 다음과 같다.

*PM*: 해당 지역의 일평균 초미세먼지(*PM*<sub>2.5</sub>) 농도

*D*: 정책 시행 더미(시행 기간: *D* = 1, 시행 이전 혹은 종료 이후: *D* = 0)

*R*: 지역 더미(실험군 지역: *R* = 1, 대조군 지역: *R* = 0)

*T*: 시간(날 수(day), 하첨자 *t*도 시간을 의미)

*Y*: 연도 더미(2019.10~2020.5: *Y* = 1, 2018.10~2019.5: *Y* = 0)

$\alpha$ : 상수항

*j*: 실험군과 대조군을 구분하는 하첨자(실험군: *j* = 1, 대조군: *j* = 0)

여기서 본 연구의 관심은 교차항( $D_t \times R_j$ )의 계수의 추정값인  $\hat{\delta}$  이 된다. 해당 추정값은 계절관리제도의 순수효과를 나타낸다. 왜 교차항의 계수가 순수효과를 나타내는지를 파악하기 위해 정책 시행과 지역 더미에 관한 네 가지 조합으로 기댓값을 구해보면 다음과 같다.

1) 정책 시행된 지역이 실험군이 경우

$$E_{11} = E(PM \parallel R = 1, D = 1) = \alpha + \beta + \gamma + \delta + \tau \bar{T}_{t \parallel D=1} + \theta$$

2) 정책 시행되지 않은 지역이 실험군이 경우

$$E_{01} = E(PM \parallel R = 0, D = 1) = \alpha + \beta + \tau \bar{T}_{t \parallel D=1} + \theta$$

3) 정책 시행된 지역이 대조군인 경우

$$E_{10} = E(PM \parallel R = 1, D = 0) = \alpha + \gamma + \tau \bar{T}_{t \parallel D=0}$$

4) 정책 시행되지 않은 지역이 대조군인 경우

$$E_{00} = E(PM \parallel R = 0, D = 0) = \alpha + \tau \bar{T}_t \parallel_{D=0}$$

계절관리제 정책의 순수효과를 파악하기 위해서는 첫 번째 경우와 두 번째 경우를 차분함으로써 정책 시행의 여부와 상관없는 실험군 지역의 초미세먼지에 영향을 미치는 공통된 효과를 제거할 수 있다.

$$E_{11} - E_{01} = \gamma + \delta$$

또한 세 번째 경우와 네 번째 경우를 차분함으로써 정책 시행의 여부와 상관없는 대조군 지역의 초미세먼지에 영향을 미치는 공통된 효과를 제거할 수 있다.

$$E_{10} - E_{00} = \gamma$$

최종적으로는 이렇게 차분된 두 경우를 차분함으로써 정책 시행으로 인한 실험군 지역과 대조군 지역의 초미세먼지 농도의 순수효과인  $\delta$ 를 구할 수 있게 된다.

$$(E_{11} - E_{01}) - (E_{10} - E_{00}) = \delta$$

본 연구에서는 기본 회기식인 식(1)과 더불어, 실험군 지역과 대조군 지역의 기후 특성을 반영하는 통제변수를 추가하여 식(2)를 구성하여, 두 식 모두에 대해서 추정하였다.

$$PM_{jty} = \alpha + \beta D_{ty} + \gamma R_j + \delta D_{ty} \times R_j + \tau T_t + \theta Y_u + \mu X_{jty} + \epsilon_{jty} \quad (2)$$

여기서,  $X$ 에는 실험군과 대조군 지역의 기후 특성 변수로 강수량, 일평균풍속, 일최대풍속, 일최저기온, 일최고기온을 사용하였다.

마지막으로, 본 연구에서는 중국발 초미세먼지의 국내 농도 영향을 포함시키기 위해 백령도 초미세먼지 농도를 식(2)에 포함시켜 본 연구 결과의 강건성을 점검하였다.

$$PM_{jty} = \alpha + \beta D_{ty} + \gamma R_j + \delta D_{ty} \times R_j + \tau T_t + \theta Y_u + \mu X_{jty} + \rho C_{ty} + \epsilon_{jty} \quad (3)$$

여기서  $C_{ty}$ 는 백령도 초미세먼지 농도를 나타낸다.

<표2>, <표3>, <표4>는 서해지역, 남해지역, 동해지역에서 선택한 실험군과 대조군 지역의 주요변수에 대한 기초통계량을 정리한 것이다.

<표 2> 분석대상 지역별 주요 변수 기초통계량(서해지역)

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mm, m/s,  $^{\circ}\text{C}$ )

지역	변수	기간	평균	표준편차	최댓값	최솟값
보령 (실험군)	$PM_{2.5}$	시행년도	21.81	13.29	85	2
		非시행년도	29.59	22.63	144	2
	강수량	시행년도	1.97	7.91	92.1	0
		非시행년도	1.53	6.88	63.7	0
	일평균풍속	시행년도	1.48	0.82	5.1	0.3
		非시행년도	1.40	0.71	5.4	0.4
	일최고풍속	시행년도	3.94	1.55	12.4	1.5
		非시행년도	3.79	1.58	12.6	1.5
	일최저기온	시행년도	4.12	6.05	20.8	-8.6
		非시행년도	2.94	6.37	18.8	-10.1
	일최고기온	시행년도	13.61	6.39	28.4	-0.6
		非시행년도	12.78	6.98	28.1	-4.0
부여 (대조군)	$PM_{2.5}$	시행년도	25.29	12.18	71	2
		非시행년도	26.91	16.63	108	5
	강수량	시행년도	2.24	9.30	92.5	0
		非시행년도	1.84	7.73	66	0
	일평균풍속	시행년도	1.19	0.57	3.6	0.3
		非시행년도	1.25	0.61	3.8	0.4
	일최고풍속	시행년도	3.70	1.30	9	1.2
		非시행년도	4.03	1.31	7.9	1.7
	일최저기온	시행년도	2.33	6.57	20.1	-10.7
		非시행년도	0.75	6.09	18.1	-12.3
	일최고기온	시행년도	14.86	6.84	28.7	-0.4
		非시행년도	14.09	7.73	31.2	-3.7
백령도	$PM_{2.5}$	시행년도	19.96	13.82	82	2
		非시행년도	22.81	19.32	126	4

〈표 3〉 분석대상 지역별 주요 변수 기초통계량(남해지역)

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mm, m/s,  $^{\circ}\text{C}$ )

지역	변수	기간	평균	표준편차	최댓값	최솟값
여수 (실험군)	$PM_{2.5}$	시행년도	15.56	6.36	47	2
		非시행년도	21.41	11.56	73	1
	강수량	시행년도	2.61	12.34	151.5	0
		非시행년도	2.62	13.89	180	0
	일평균풍속	시행년도	1.87	0.99	5.5	0.5
		非시행년도	1.74	1.06	6.4	0.4
	일최고풍속	시행년도	4.77	1.66	10.7	1.7
		非시행년도	4.53	1.85	11.3	1.7
	일최저기온	시행년도	6.73	5.72	20.8	-6
		非시행년도	5.87	5.92	19.7	-6.5
일최고기온	시행년도	16.39	6.00	29.3	2.4	
	非시행년도	15.93	6.55	31.5	0.5	
진주 (대조군)	$PM_{2.5}$	시행년도	15.11	7.31	57	2
		非시행년도	18.69	9.12	50	2
	강수량	시행년도	2.50	10.89	139.6	0
		非시행년도	2.57	13.17	165.8	0
	일평균풍속	시행년도	0.89	0.51	3.1	0.2
		非시행년도	0.96	0.51	3.1	0.2
	일최고풍속	시행년도	3.19	1.32	8.5	1.2
		非시행년도	3.26	1.15	7.5	1.3
	일최저기온	시행년도	3.13	6.62	20.2	-9.7
		非시행년도	1.95	6.35	17.1	-10.1
일최고기온	시행년도	16.23	6.13	28.9	2.4	
	非시행년도	15.86	6.64	32.2	1.9	
백령도	$PM_{2.5}$	시행년도	19.96	13.82	82	2
		非시행년도	22.91	19.32	126	4



<표 4> 분석대상 지역별 주요 변수 기초통계량(동해지역)

(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mm, m/s,  $^{\circ}\text{C}$ )

지역	변수	기간	평균	표준편차	최대값	최소값
동해 (실험군)	$PM_{2.5}$	시행년도	15.74	7.31	46	4
		非시행년도	20.86	10.89	79	5
	강수량	시행년도	4.03	18.70	231.4	0
		非시행년도	2.16	11.34	139.9	0
	일평균풍속	시행년도	2.26	0.88	6.7	0.7
		非시행년도	2.16	0.88	6.3	0.1
	일최고풍속	시행년도	5.44	1.19	12.1	2.4
		非시행년도	5.19	1.91	14.7	0.1
	일최저기온	시행년도	5.25	5.30	18.5	-6.2
		非시행년도	4.75	5.97	21.6	-8.4
	일최고기온	시행년도	13.36	5.56	30.9	1.6
		非시행년도	13.16	6.46	33.3	0.3
강릉 (대조군)	$PM_{2.5}$	시행년도	15.02	8.01	45	3
		非시행년도	21.49	12.74	96	2
	강수량	시행년도	4.25	22.08	310	0
		非시행년도	2.04	10.74	144.5	0
	일평균풍속	시행년도	2.57	0.87	5.2	1
		非시행년도	2.71	0.92	5.8	0.9
	일최고풍속	시행년도	5.17	1.51	10.6	2.3
		非시행년도	5.48	1.46	11.6	2.5
	일최저기온	시행년도	6.03	5.79	22.8	-7.1
		非시행년도	5.34	6.66	26.6	-9.9
	일최고기온	시행년도	14.82	6.35	32.5	0.4
		非시행년도	14.22	7.16	34.8	-0.1
백령도	$PM_{2.5}$	시행년도	19.95	13.82	82	2
		非시행년도	22.91	19.32	126	4

## V. 추정결과

이중차분법 회귀분석 결과는 아래 <표 5>와 같다. 우선 모형 1은 지역별 기상 특성을 나

타내는 변수를 포함하지 않은 기본식 식(1)을 회귀식으로 사용하는 경우이고, 모형2는 기상변수들과 중국발 요인을 명시적으로 통제한 식(3)을 회귀식으로 사용한 경우이다.

〈표 5〉 이중차분법 회귀분석결과

	서해지역		남해지역		동해지역	
	모형1	모형2	모형1	모형2	모형1	모형2
시간	0.21*** (0.007)	0.01** (0.006)	0.002 (0.004)	0.002 (0.004)	0.018*** (0.005)	0.009** (0.004)
연도 터미	-13.96*** (2.23)	-7.07*** (1.62)	-6.68*** (1.19)	-4.52*** (1.02)	-12.16*** (1.52)	-7.96*** (1.34)
정책 터미	10.41*** (1.95)	4.19*** (1.49)	4.31*** (1.02)	2.00** (0.96)	3.07** (1.23)	1.17 (1.12)
지역 터미	0.69 (1.22)	1.43 (0.94)	2.32*** (0.64)	5.85*** (0.65)	0.23 (0.78)	0.07 (0.70)
<b>교차항</b>	<b>-4.32*</b> <b>(2.45)</b>	<b>-3.41**</b> <b>(1.69)</b>	<b>-2.95**</b> <b>(1.25)</b>	<b>-2.46**</b> <b>(1.09)</b>	<b>0.77</b> <b>(1.48)</b>	<b>0.60</b> <b>(1.24)</b>
강수량	-	-0.01** (0.05)	-	-0.06*** (0.02)		-0.03* (0.018)
일평균풍속	-	-2.18** (0.98)	-	-2.65*** (0.56)		-1.07** (0.54)
일최고풍속	-	-1.09** (0.46)	-	-0.15 (0.30)		0.51* (0.28)
일최저기온	-	0.09 (0.12)	-	-0.30*** (0.07)		-0.18 (0.12)
일최고기온	-	-0.15 (0.13)	-	0.20*** (0.07)		0.19* (0.11)
백령도	-	0.67*** (0.02)	-	0.21*** (0.01)		0.31*** (0.016)
상수항	25.33*** (1.34)	17.05*** (2.04)	18.62*** (0.70)	14.50*** (1.28)	18.64*** (0.94)	10.66*** (1.50)
표본크기	961	953	970	961	889	881
F-value	12.19	110.12	19.27	52.63	20.12	50.05
Prob>F	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.000
R-squared	0.06	0.56	0.09	0.37	0.10	0.39

주: 추정계수값에 있는 별표는 유의수준을 나타내며, \*는 10%, \*\*는 5%, \*\*\*는 1%의 유의수준에서 통계적으로 유의미한 값을 의미함. 추정계수값 아래 괄호는 강건한 표준오차를 의미함.

식(1)을 활용한 모형 1의 경우, 계절관리제의 미시행 대비 제도 시행으로 인해 서해지역은  $4.32\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 초미세먼지 농도가 감소하였고, 남해지역의 경우  $2.95\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 초미세먼지 농도가 감소하였으나, 동해지역의 경우 초미세먼지 농도 감소가 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 추가 통제변수를 활용한 모형 2도 모형 1과 크게 다르지 않은 결과를 나타냈다. 서해지역의 경우  $3.41\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 초미세먼지 농도의 감소 효과가 있었고, 남해지역의 경우  $2.46\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 초미세먼지 농도 감소 효과가 있었으나, 동해의 경우에는 초미세먼지 농도 감소가 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다.

서해지역의 경우 추가적인 통제변수를 포함한 경우 그렇지 않은 경우에 비해 5% 이하의 유의수준에서 통계적으로 유의한 결과가 도출되었다는 점에서 통제변수를 포함할 경우 더 강건성 있는 추정이 가능하다는 것을 나타낸다. 또한 세 지역 모두에서 추가적인 통제변수를 포함시킬 경우  $R^2$  값이 크게 증가하는 것을 알 수 있어, 통제변수를 포함하는 것이 모형의 설명력을 높이는 데 크게 일조하는 것을 확인할 수 있다.

연도더미, 정책더미, 지역더미의 부호는 일반 상식에 부합하는 결과라고 할 수 있다. 우선 연도변수의 경우 해마다 추세적으로 초미세먼지 평균 농도가 낮아지고 있다는 점에서 음수로 나오는 것이 예상과 부합하는 결과이다. 특히 2019년 말부터 시작된 코로나 19의 영향에 초미세먼지 농도도 계속 감소했다고 볼 수 있다. 특히 이러한 연도 더미를 포함시킴으로써 코로나19와 같은 미증유의 외부 효과를 통제하게 되어서 계절관리제의 영향만을 분명하게 파악할 수 있게 되었다. 정책더미의 경우 계절관리제가 시행되는 12월부터 이듬해 3월까지의 에너지 사용량 증가에 대응하는 석탄화력발전량이 자체가 높기 때문에 초미세먼지 농도가 대체로 높은 편이다. 따라서 정책더미가 양(+)의 값이 나오는 것이 예상하는 결과와 부합한다. 그러나 동해지역 모형2의 경우에는 통계적으로 유의한 결과가 도출되지 않았다는 점에서 동해지역은 계절관리제도가 시행되는 시기에 도 초미세먼지 농도가 그렇지 않은 시기에 비해서 특별히 더 높아진다고 볼 수 없다. 이는 또한 동해지역에 대해서는 계절관리제도가 지금과 같이 다른 지역과 동일한 정도와 규모로 시행될 정당성이 약하다는 것을 의미한다. 마지막으로 지역더미의 경우 남해지역에서만 통계적으로 양(+)의 유의한 결과가 도출되고 서해와 동해안 지역의 경우에는 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 결과적으로 남해안 지역에서만 실험군 지역의 초미세먼지 농도가 대조군 지역과 비교하여 항상 더 높게 나타난다고 서해와 동해안 지역은

항상 그렇다고 볼 수 없다는 것을 나타낸다.

마지막으로 중국발 요인을 파악하기 위한 백령도의  $PM_{2.5}$ 의 농도가 서해안 지역뿐만 아니라 동해안과 남해안에도 모두 유의한 양의 추정치를 보여주고 있다는 점에서 한국이 중국의 초미세먼지에 크게 영향을 받고 있다는 점을 파악할 수 있다. 이러한 한국의 전국토에 걸친 중국발 초미세먼지의 영향을 통제하는 모형2의 경우 더 높은 모형 설명력을 나타낼 수 있다는 점과 이를 통해 중국발 미세먼지의 영향을 통제하고 오로지 계절관리제도의 영향을 파악할 수 있다는 점에서 의의가 있다.

환경부(2020)<sup>6)</sup>는 2020년 5월 계절관리제 기간 이행과제별 추진실적과 함께 초미세먼지 평균농도가 전년 동기 대비 약 27% 개선되었다고 발표하였다. 이를 수치로 판단해 보면, 2018년 12월~2019년 3월의 전국 초미세먼지 농도보다 2019년 12월~2020년 3월의 전국 초미세먼지 농도가  $1.9\mu\text{g}/\text{m}^3$  감소한 것이다. 이는 국가미세먼지정보센터에서 수치 모델링을 통해 계절관리제 시행 전후 초미세먼지 배출 감축량에 따른 농도변화를 모사한 것이다. 정부의 분석 결과에서는 지역별로 큰 편차를 보였다고 하면서, 석탄화력 발전소와 제철소 등 산업시설이 밀집된 충남, 전남, 경북지역에서 계절관리제의 효과가 더 크게 나타났다고 한다. 아래 <표 6>에서 보는 바와 같이, 서해안 지역에서는 서울과 충남 지역 중 충남 지역의 계절관리제로 인한 저감 효과가 컸고, 남해안 지역에서는 전남이 저감 효과가 크게 나타났다. 동해안 지역에서는 경북지역의 초미세먼지 저감효과가 크게 나타나고 있다.

<표 6> 환경부 발표 초미세먼지 농도 절감 효과(전년 동기 대비)

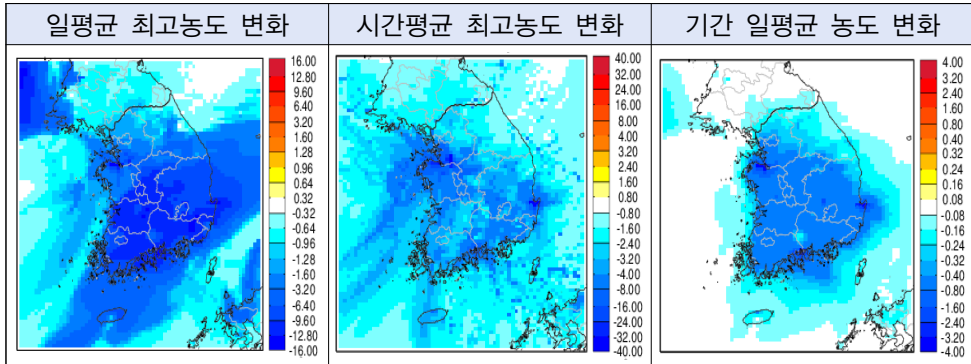
	시·도	초미세먼지 농도 절감 효과
서해안 지역	서울	$2.0\mu\text{g}/\text{m}^3$
	충남	$2.4\mu\text{g}/\text{m}^3$
남해안 지역	전남	$2.7\mu\text{g}/\text{m}^3$
	제주	$0.8\mu\text{g}/\text{m}^3$
동해안 지역	경북	$3.9\mu\text{g}/\text{m}^3$

자료: 환경부(2020.5.13.) 보도자료.

6) 환경부(2020.5.13.), 첫 계절관리제 고농도 미세먼지 완화 효과 특독, 보도자료.

<그림 6>은 본 논문과 동일한 시기에 환경부가 분석한 계절관리제 기간의 농도개선 효과에 대한 공학 모델링 분석의 결과를 나타내고 있다.

<그림 6> 계절관리제 기간('19.12~'20.3) 농도개선 효과 모델링 결과( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



본 연구의 이중차분법 분석결과에 따르면, <표 7>에서 보는 바와 같이, 정부의 1차 계절관리제도 시행으로 인해 서해안 지역은  $3.41\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 초미세먼지 농도 감소 효과가 있었고, 남해안 지역에서는  $2.46\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 초미세먼지 농도개선 효과가 있었다. 그에 반해 동해안 지역에서는 통계적으로 유의한 초미세먼지 감소 효과가 없는 것으로 나타났다. 환경부의 발표와 비교해보면, 수치모델링의 수치값이 서해안 지역과 남해안 지역 모두에서 95% 신뢰구간 안에 포함되고 있어, 본 연구의 추정 결과의 신뢰성을 제공한다. 하지만 동해안 지역에서는 환경부의 발표와는 달리 통계적으로 유의한 초미세먼지 절감 효과가 없었던 것으로 나타났다.

<표 7> 초미세먼지 농도개선효과 이중차분법 추정 결과(전년 동기 대비)

	추정치	95% 신뢰구간
서해안 지역	3.41	[0.09 6.74]
남해안 지역	2.46	[0.32 4.60]
동해안 지역	-	-

이처럼 환경부의 분석 결과와 차이가 발생하는 이유는 우선 본 연구에서 선택한 동해안 지역은 강원도 지역(실험군: 동해시, 대조군: 강릉시)인 반면, 환경부의 수치 모델링 대상 지역은 경북지역이기 때문에 지역적인 차이로 인한 결과일 가능성이 크다. 공개된 환경부의 수치 모델링 분석 결과에는 강원도 지역은 배제되어 있어 직접적인 결과 비교는 불가능하다.

## VI. 결론, 한계점 및 시사점

본 논문은 정부가 시행 중인 석탄화력발전소에 대한 계절관리제의 초미세먼지 감소 효과를 통계적 기법의 하나인 이중차분법을 이용하여 검증하였고, 분석 결과 계절관리제 정책은 효과가 있는 것을 발견하였다. 이와 더불어 계절관리제로 인한 미세먼지 감소 효과의 지역적 차이점을 검증한 결과 서해안 지역보다는 남해안 지역에서 더 효과적이었다는 결론을 얻었다. 그러나 동해안 지역에서는 석탄화력발전소에 대한 가동중단 및 출력상한제약과 같은 계절관리제 정책의 효과가 통계적으로 나타나지 않았다.

본 논문에서 데이터를 얻은 화력발전소 3곳과 미세먼지측정소 3곳, 기상관측소 3곳에 대한 선정은 사전에 설정한 거리 한계에 따랐다. 그러나 해당 각각의 측정소는 3곳의 화력발전소와의 이격거리가 물리적으로 완전히 동일하지 않다. 이러한 차이는 반드시 서해, 동해, 남해의 계절관리제로 인한 미세먼지 저감효과에 영향을 미쳤을 가능성이 존재한다.

마지막으로 현재 정부의 계절관리제(석탄화력발전소 가동중단 및 출력상한제약)는 초미세먼지 농도가 높은 매년 12월 1일부터 이듬해 3월 30일까지 시행되고 있고, 지형적, 기후적, 환경적 특성을 고려하지 않고 모든 석탄화력발전소의 노후화 정도와 발전량만을 고려하여 일률적으로 적용하고 있다. 그러나 본 연구의 이중차분법을 통한 계절관리제의 초미세먼지 농도 저감효과를 분석한 결과에 따르면, 정부의 계절관리제로 인한 초미세먼지 농도 저감효과는 지역별로 큰 차이를 보이고 있으며, 특히 동해안 지역의 해당 정책으로 인한 초미세먼지 농도 저감효과는 통계적으로 유의하지 않았다. 이러한 결과는 향후 정부의 계절관리제 정책이 지금과 같은 방식보다는 평소 해당 지역에 입지한 석탄화력발전소가 주변 지역의 초미세먼지 농도에 어느 정도 기여하고 있는지를 파악

하여 이에 기반한 차등적인 방식의 계절요금제로의 운영이 필요할 것이다. 특히 서해안, 남해안 그리고 동해안 지역을 동일한 기준으로 정책을 시행하기보다는 계절관리제로 인한 효과가 가장 높은 서해안 지역의 저감 효과를 기준으로 저감 효과에 따라 그보다 적은 남해안 지역과 동해안 지역에 완화된 기준의 계절관리제, 즉 지역 차등화된 계절관리 제도의 도입이 요구된다.

## [References]

- 기상청 기상자료개방포털, 2021.10.5., data.kma.go.kr.
- 에어코리아, 통계정보, 최종확정측정자료 조회, 2021.10.15.,  
[https://www.airkorea.or.kr/web/pastSearch?p\\_MENU\\_NO=123](https://www.airkorea.or.kr/web/pastSearch?p_MENU_NO=123).
- 이동규·성재훈, “노후 석탄화력발전소 가동중단에 따른 발전소 주변지역의 초미세먼지 농도 감소효과 분석”, 자원환경경제연구, 제27권 제2호, 2018, pp. 315~337.
- 환경부, 『첫 계절관리제 고농도 미세먼지 완화 효과 톡톡』, 2020. 5. 13, 보도자료.
- Auffhammer, M., and R. Kellogg, “Clearing the Air? The effects of Gasoline Content Regulation on Air Quality,” *American Economic Review*, Vol. 101, No. 6, 2011 pp. 2687~2722.
- Inoue, T., N. Nunokawa, D. Kurisu, and K. Ogasawara, “Particulate air pollution, birth outcomes, and infant mortality: Evidence from Japan’s automobile emission control law of 1992,” *SSM-Population Health*, Vol. 11, 2020, 100590.
- Qiu, L., and L. He, “Are Chinese Green transport polices effective? A new perspective from Direct Pollution Rebound Effect, and Empirical evidence from the road transport sector,” *Sustainability*, Vol. 9, No. 2, 2017, p. 429.
- Tanaka, S., “Environmental regulations on air pollution in China and their impact on infant mortality,” *Journal of Health Economics*, Vol. 42, 2015, pp. 90~103.