

관측 자료와 인지의 불일치: 대기 오염에 따른 의료 비용 및 소비 지출에 관한 분석[†]

윤성도*·김승규**

요약: 다양한 대기질 관측 자료는 우리나라의 대기 오염이 지속적으로 개선되고 있음을 보여준다. 하지만 일반 시민들은 최근 대기 오염 상태가 심각하며, 이로 인한 경제적 부담이 증가하였다고 인식한다. 본 연구는 이러한 인지와 관측된 자료의 차이 그리고 의료 비용 및 소비 지출에 대한 경제학적 쟁점을 세 가지로 분석하였다. 첫째, 검색량 분석과 시군구 단위 대기 오염 물질 농도 변화의 비교 분석을 통해 인지와 관측된 자료의 불일치를 확인하였다. 둘째, 의료경제모형을 이용하여 대기 오염과 의료비 지출의 이론 모형을 도출하고, 계량경제모형을 통해 대기 오염의 개선에 따른 의료 비용 감소를 실증하였다. 셋째, 소비 지출 분석을 통해 우리나라의 대기 오염에 의한 경제적 부담 증가는 소비 지출 항목에 의존하고 있음을 확인하였다. 본 연구의 결과는 우리나라 대기 오염의 사회경제적 영향을 분석 시, 분석항목에 따른 과대추정의 가능성과 대기 오염의 개선과 관련한 역해석의 문제가 있을 수 있음을 보여준다. 또한 본 연구의 결과는 대기질 관리의 보다 엄격한 기준 적용의 필요성, 방어적 소비재에 대한 사회취약층에 대한 고려 그리고 대기 오염 관련 정보의 접근성 향상 및 신뢰성 회복이 필요하다는 정책적 함의를 가진다.

주제어: 대기 오염, 방어적 소비재, 소비 지출, 의료 비용

JEL 분류: Q53, D83, I12

접수일(2020년 2월 27일), 수정일(2020년 4월 20일), 게재확정일(2020년 4월 24일)

[†]본 연구에서 사용한 한국노동패널 자료에 대해 도움을 준 한국노동연구원 강동우 박사님과 상세한 심사와 유익한 제언을 주신 익명의 심사위원님께 감사의 말씀을 전합니다.

* 미시시퍼주립대학교 농업경제학과 조교수, 제1저자(e-mail: seong.yun@msstate.edu)

** 경북대학교 농업경제학과 부교수, 교신저자(e-mail: sgkimwin@knu.ac.kr)

Mismatch of Perception and Data: Air Pollution, Medical Expenses, and Consumption in South Korea

Seong Do Yun* and Seung Gyu Kim**

ABSTRACT : Throughout various data sources, it is widely observed that air quality in South Korea has become improved. Koreans, however, insist that their health status and economic burden due to worsened air quality get degenerated. This study aims to explain the mismatch between perception and measured data, air pollution-led medical expenses, and consumption behaviors in the economics perspectives. First, we demonstrated data-driven evidence of mismatch in the perceived severity of air pollution and its enhancement in measured data. Second, using the health demand model, we theoretically derived and empirically showed a co-rising relation between air pollution severity and medical expenses. Last, we analyzed that the perception led to increased defensive expenditures in consumption. This result implies the possibility of overestimation in air pollution impacts on socioeconomic losses and its possible reverse interpretation from increased social benefit after improved air quality. Our results recommend policy consideration to strengthen air quality standards, to support socially vulnerable groups regarding defensive expenditures, and to improve the accessibility and credibility of air pollution information.

Keywords : Air pollution, Consumption, Defensive expenditure, Medical expenses

Received: February 27, 2020. Revised: April 20, 2020. Accepted: April 24, 2020.

[†]The authors are grateful for the help of Dr. Kang, Dong-Woo, Korea Labor Institute, on the data of Korean Labor and Income Panel Study and anonymous referees for their helpful comments.

* Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Mississippi State University, First author (e-mail: seong.yun@msstate.edu)

** Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Kyungpook National University, Corresponding author(e-mail: sgkimwin@knu.ac.kr)

I. 서론

대기 오염¹⁾ 또는 미세 먼지와 관련한 다양한 설문조사에서 일반 시민들은 최근 대기 오염, 특히 미세 먼지가 나빠졌으며 현재 심각한 수준에 있다고 인지하고 있음이 분명해 보인다. 환경정책평가연구원의 2019년 설문조사(신동원 외, 2019)에 따르면, 설문응답자의 92.3%가 10년 전보다 미세 먼지 농도가 나빠졌다고 응답하였다. 특히 선진국에 비해 미세 먼지 피해가 심각하다고 응답한 비율은 94.7%에 달하며, 미세 먼지로 인한 건강 피해를 경험한 적이 있다고 응답한 비율이 85.9%였다. 엄영숙 외(2019)의 2017년 설문조사에 따르면, 조사표본 중 44%가 미세 먼지에 대응하여 집에서 공기청정기를 사용하고 있으며, 46%가 마스크를 구입한 경험이 있는 것으로 나타났다. 이 외의 다양한 설문 조사와 연구에서도 유사한 응답 결과를 쉽게 확인할 수 있다.

대기 오염이 심각해지고 있다는 시민들의 인지와는 반대로, 다양한 관측 자료는 우리나라의 대기질 수준이 개선되고 있음을 보여준다. 여민주·김용표(2019)는 전국의 2001년부터 2017년까지의 PM10(Particulate Matter) 시계열 자료를 이용하여 우리나라 지역별 미세 먼지의 농도, 고농도 발생빈도 그리고 고농도 발생 연속일수가 평균적으로 감소하고 있음을 분석하였다. 환경부의 2018년 대기환경연보에서도, 대부분의 대기 오염 물질 농도가 감소하고 있으며, 1995년 이후 측정된 PM10 농도가 점차 감소하여 전년보다 $4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소한 $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 기록한 것으로 나타났다. 이 외에도 미국항공우주국(NASA)의 AOD(Aerosol Optical Depth) 자료를 비롯한 다양한 관측 자료에서 우리나라의 대기 오염은 점차 개선되고 있음을 확인할 수 있다.

경제학에서 경제적 주체(economic agent)의 인지(perception) 또는 인식(recognition)은 경제행위 또는 경제적 결정에 영향을 미치는 요인의 하나이다. 특히 오염의 심각성 또는 위험의 인지는 재화 및 서비스의 가치를 측정하는 데 있어 두 가지 방식으로 영향을 끼치는 것으로 연구되었다. 첫째는 인지가 비시장가치재의 가치를 실제 가치보다 과대 평가(overestimation) 할 수 있다는 것이다(Adamowicz et al., 1997; Ferreira et al.,

1) 최근 우리나라의 대기 오염의 문제는 미세 먼지 또는 초미세 먼지 농도의 증가로 인식된다. 대기 오염 관련 연구에서 미세 먼지나 초미세 먼지 모두 대기 오염을 측정하는 측정치(measurement)이기 때문에, 본 연구에서는 일반적인 연구의 관점에서 대기 오염이라는 용어를 쓰기로 한다.

2018). 이는 오염 물질 또는 위협에 대한 인지는 가설적 편의(hypothetical bias)를 증가시키기 때문에, 깨끗한 대기질의 가치를 실제보다 높게 평가하는 요인이 된다. 둘째는 오염 물질은 손해(loss)에 해당하기 때문에 손해 회피적(loss averse) 행위로 인해 대기질의 가치를 실제보다 높게 평가할 수 있다는 것이다. Kahneman and Tversky(1979; 1992)는 사람들은 이득(gain)보다 손해에 보다 민감하게 반응한다는 전망이론(prospect theory)을 제안하고 발전시켰다. 이 이론에 따르면, 대기 오염은 손해와 관계된 것으로 대기 오염이 심해지면, 사람들의 효용은 급격하게 떨어지게 된다. 대기질의 가치는 대기 오염 물질의 농도가 한 단위 변화함에 따른 효용의 변화인 한계효용이므로, 깨끗한 대기질의 가치는 반대로 급격하게 높아지게 된다.

관측된 자료와 인지의 차이는 대기 오염의 실제 가치를 분석하기 어렵게 만들 뿐 아니라, 분석된 가치의 해석도 어렵게 한다. 경제학의 관점에서 선행연구들은 우리나라 대기 오염의 사회경제적 비용을 다양한 방식으로 추정하고 있다. 대표적인 방법이 진술선호(stated preference) 또는 현시선호(revealed preference)를 통한 비시장가치평가법(nonmarket valuation)이다. 이들 방법은 대기 오염을 피하기 위해 개인이 지불할 수 있는 비용인 한계지불의사비용(marginal willingness to pay) 또는 한계수용의사비용(marginal willingness to accept)을 구하여 사회적 비용으로 치환하는 접근법이다. 그러나 대기 오염과 관련한 선행연구들은 관측 자료에서 확인된 바와 같이 대기 오염이 개선되었을 경우에 대한 해석을 결여하고 있는 경우가 많다. 예를 들어, 이론적으로 PM10 농도가 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가했을 때 한계지불수용비용이 \$10이라면, 반대로 PM10 농도가 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소했을 때 \$10의 한계지불의사비용으로 인한 효용증가가 존재한다. 관측 자료가 제공하듯, 현재 우리나라의 대기질이 과거보다 개선되고 있다면, 이들 연구의 결과는 우리나라의 사회적 비용은 증가가 아니라 감소하고 있다는 해석이 가능하다.

본 연구는 이러한 인지와 관측 자료의 불일치가 가져오는 가치평가의 어려움과 평가된 가치의 역해석에 대해 경제모형과 다양한 자료를 통한 경제학적 설명을 시도하였다. 시군구 단위의 대기 오염 물질 농도와 한국노동패널의 가구 및 개인 자료를 이용하여, 다음 두 가지의 가설에 대한 분석을 진행하였다. 첫째, 대기 오염이 인지된 바와 같이 심각하다면, 의료 비용은 증가하여야 한다. 즉, 대기 오염이 건강에 미치는 영향은 지대하므로 사망자 증가나 호흡기질환 증가와 같은 직접영향뿐 아니라 만성질환의 심화나 질환

의 발병 빈도를 높이게 된다. 따라서 대기 오염이 점점 심해지고 있다면, 의료 비용은 증가하여야 한다. 둘째, 대기 오염이 관측된 바와 같이 개선되고 있다면, 이와 상반된 사람들의 인지는 의료 비용이 아닌 소비 지출로 나타나야 한다. 대기 오염에 대한 인지는 대기 오염을 피하거나 피해를 최소화하려는 행위로 연결되어야 하고, 이는 공기청정기나 마스크 구매와 같은 소비 지출의 증가로 이어질 것이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 검색량 분석을 통해 대기 오염에 대한 인지경향과 대기 오염 물질 농도 측정 자료와의 불일치 현상에 대해 기술하였다. 제3장에서는 의료경제모형을 이용, 대기 오염과 의료 비용 지출에 대한 비교정태분석과 계량경제모형을 통한 실증 분석을 진행하였다. 제4장에서는 한국노동패널의 자료에 나타난 소비 지출의 변화에 대해 논의하였다. 제5장에서는 결론 및 정책적 함의를 기술하였다.

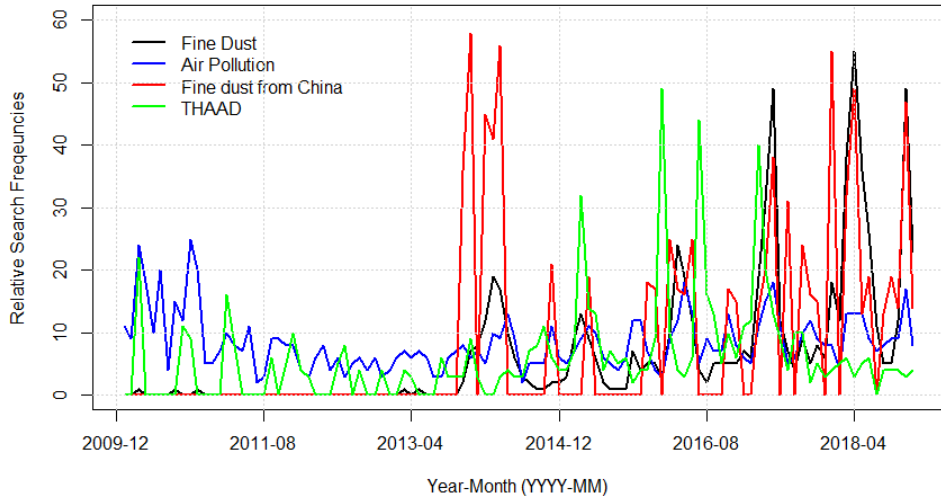
II. 대기 오염의 심각성 인지와 대기 오염 물질 농도

1. 대기 오염의 심각성 인지

다양한 연구와 설문조사를 통해 우리나라의 최근 대기 오염 또는 미세 먼지의 수준이 심각한 수준에 있다는 일반적인 공감대가 있는 것으로 보인다. 일반적으로 심리학 및 사회과학의 영역에서 개인 또는 사회가 어떠한 현상 및 사건에 대한 인지수준 측정하는 것은 대단히 어렵다. 하지만 인터넷과 소셜미디어의 보편화에 따라 인지의 경향과 시점을 간접적으로 설명하려는 시도가 계속되고 있다. 본 연구에서는 구글의 검색 트렌드 기능을 이용하여, <그림 1>과 같이 대기 오염과 관련한 네 개의 주요 검색어(즉, 미세 먼지, 대기 오염, 중국발 미세 먼지 및 사드)에 대한 대한민국 검색량의 2010년 1월부터 2018년 12월까지의 월별 시계열 변화를 정리하였다.

<그림 1>의 검색량 변화는 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 대기 오염(Air Pollution, 청색)에 대한 관심은 계절성이 있으며, 꾸준한 검색량을 보인다. 이는 사람들의 대기 오염에 대한 관심은 최근 몇 년의 경향이 아니라 오랜 기간 동안 지속되었음을 보여준다. 둘째, 미세 먼지(Fine Dust, 흑색)²⁾는 2013년 11월 이후 계절성을 띄며 급속한 검색량 증가를 기록한다. 중국발 미세 먼지(Fine Dust from China, 적색)가 동일한 시기부터 시작

〈그림 1〉 월별 구글 검색어 트렌드:
미세 먼지, 대기 오염, 중국발 미세 먼지 및 사드, 2010년 1월~2018년 12월



하여 폭발적인 검색량을 기록하고 있다는 점은 주목할 만하다. 특히 2013년 이후로 미세 먼지, 대기 오염 그리고 중국발 미세 먼지가 동일한 트렌드를 가지고 검색되고 있는데, 이는 최근 사람들은 이 세 가지 용어를 동일하게 인지하거나, 비슷한 개념의 용어로 인지하여 사용하고 있음을 보여준다. 셋째, 사드(THAAD, Terminal High Altitude Area Defense, 종말고고도지역방어)의 검색량이 2013년 이전에는 대기 오염과 2013년 이후에는 대기 오염, 미세 먼지 그리고 중국발 미세 먼지와 시차를 두고 검색량이 증가하고 있다. 이는 이명박·박근혜 정부의 사드와 관련한 중국과의 갈등을 중국발 미세 먼지로 화제전환을 시도했다는 정치적 해석의 근거로 활용되기도 한다. 이 주장의 진위여부와 관계없이 사드에 대한 갈등이 미세 먼지 또는 대기 오염에 대한 대중의 관심 증가와 상관 관계가 있는 것으로 판단된다.

2) 미세 먼지라는 용어의 공통된 영어표현은 존재하지 않는 것으로 보인다. 일반적으로 대기과학에서는 **Particulate Matter**를 미세 먼지로 번역하나, 우리나라에서 일반적으로 쓰는 표현은 의미상 초미세 먼지 또는 미세 먼지를 모두 지칭하므로 **Micro Dust**나 **Fine Dust**로 번역하는 것이 적당할 것이다.

2. 대기 오염 물질 농도의 변화

대기 오염의 사회경제적 효과에 관한 우리나라의 연구에서 가장 많이 쓰이고 있는 자료는 16개 광역시도 및 세종시 또는 관측소를 기준으로 한 PM10 및 PM2.5 농도 자료이다. 광역시도(또는 관측소)의 대기 오염 물질 농도 자료는 추가의 자료 가공 없이 바로 이용 가능할뿐더러, 사회경제적 변수를 제공하는 많은 자료들이 관측치의 소재를 시도까지 밝히고 있기 때문이다. 하지만 대기 오염 물질 농도 및 기상 자료는 일차적으로 관측소를 통해 수집된 geospatial data³⁾이며, 이를 광역시도 또는 다양한 단위의 면적의 대푯값으로 집계(spatial aggregation)하여 사용하게 된다. 면적 단위로 집계한 geospatial data는 일반적으로 평균값이 변화하고 분산이 줄어드는 통계적 오류인 집계편향(aggregation bias)가 발생한다(Yun and Gramig, 2019).⁴⁾ 본 연구는 시군구 단위의 가구 및 개인 자료를 제공하고 있는 20차 통합 노동패널 자료를 분석하기 위해 시군구 단위의 주요 오염 물질 농도와 기상 자료를 제공하는 Yun and Kim(2020)의 데이터를 사용하였다.

Yun and Kim(2020)은 주요 대기 오염 물질인 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 아황산가스(SO₂) 그리고 PM10의 농도를 제공하는 에어코리아(<https://www.airkorea.or.kr/web>)의 2001년부터 2018년까지의 시간대별 관측소 자료를 기반으로 한다. 각 시간대별로 관측이 된 자료만을 이용, 정규크리깅(Ordinary Kriging)을 통해 2017년 3월 행정구역도 기준 250개 시군구의 중심점(centroid)에서의 오염 물질에 대한 추정치를 계산한다. 본 연구는 이들 250개 시군구 중 2006년부터 2017까지 한국노동패널의 시군구 행정구역으로 분리 또는 통합 가능한 243개 시군구로 시간대별 자료를 재구성하였다. 이후, 각 오염 물질 농도를 일별 평균한 후, 다시 연평균을 계산하였다. 본 연구에 사용한 대기 오염 물질 농도 자료는 연평균 자료를 기준으로 다른 학술자료 및 기관 자료와 비교 검토하여, 자료의 신뢰성과 사용 가능성에 대한 논란을 최소화하기 위해 노력하였다. 대표적인 비교 자료는 여민주·김용표(2019), 이찬주·홍민선(2019), 환경부(2018)의 대기환경연보 그리고 세계보건기구(WHO, World Health Organization)의 Ambient

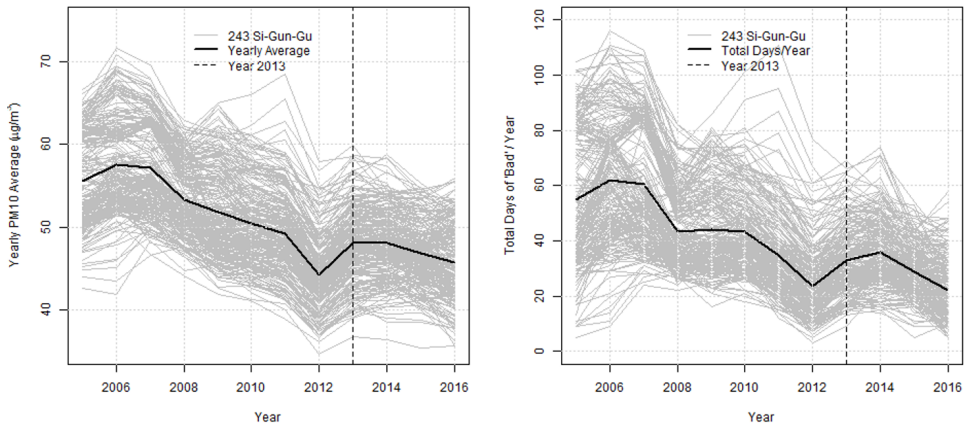
3) 공간통계학(spatial statistics)에서는 공간 자료를 geospatial data, lattice data 그리고 point process data 세 가지로 구분하여 데이터의 구분에 따라 서로 다른 분석 방법론을 개발해 왔다(Cressie, 2015).

4) 통계학에서는 공간 자료를 집계할 때 생기는 통계학적 오류를 Modifiable Area Unit Problem(MAUP)이라고 하며, 크게 scale effect와 aggregation effect로 나누는데, 이 두 가지 효과에 의해 발생하는 통계치의 편차를 집계편향(aggregation bias)이라고 한다(Gehlke and Biehl, 1934; Openshaw, 1977).

outdoor air quality database이다.

우리나라에서 일반 시민들이 가장 손쉽게 대기 오염에 대한 정보를 얻을 수 있는 통로는 대중매체, 온라인 매체 그리고 스마트폰의 앱 정도로 생각된다. 대기 오염의 일간 예보는 PM10 및 PM2.5의 시간별 농도를 기준으로 평가되는데, PM2.5의 경우 본 연구의 연구기간보다 짧은 시계열 자료만 가용하기 때문에 본 연구에서는 PM10을 기준으로 논의하였다. 우리나라에서는 대기 오염에 대한 실시간 상황정보는 시간별 PM10의 농도를 기준으로 네 단계로 표시하여 ‘ 좋음’ ($0 - 30\mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘ 보통’ ($31 - 80\mu\text{g}/\text{m}^3$), ‘ 나쁨’ ($81 - 150\mu\text{g}/\text{m}^3$) 그리고 ‘ 매우 나쁨’ ($151\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)으로 평가한다. 1995년 이후 대기 환경기준은 일평균 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 그리고 연평균 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정되었으며, WHO는 일평균 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 그리고 연평균 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. <그림 2>는 시군구 단위로 전국의 PM10 연평균 농도(왼쪽)와 연간 ‘나쁨’ 이상을 기록한 날짜의 수(오른쪽)를 시계열로 나타낸 것이다.

<그림 2> 시군구 단위 PM10 연평균 농도 및 연간 ‘나쁨’ 이상 날짜 수



<그림 2>에서 나타나듯, 우리나라 PM10 농도는 시군구별 차이는 있지만, 지속적으로 감소하는 경향이 있으며, ‘나쁨’ 이상의 기준에 노출된 날짜 수도 줄어드는 경향이 있음을 알 수 있다. 우리나라 대기환경기준으로는 연평균 PM10의 농도가 2011년 이후, $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비슷한 또는 낮은 수준을 유지하고 있으나 WHO 기준은 만족하고 있지 못하다. 하지만 대기 오염이 세계적인 문제로 지적되고 있는 중국 베이징은 PM10 연평균 농도

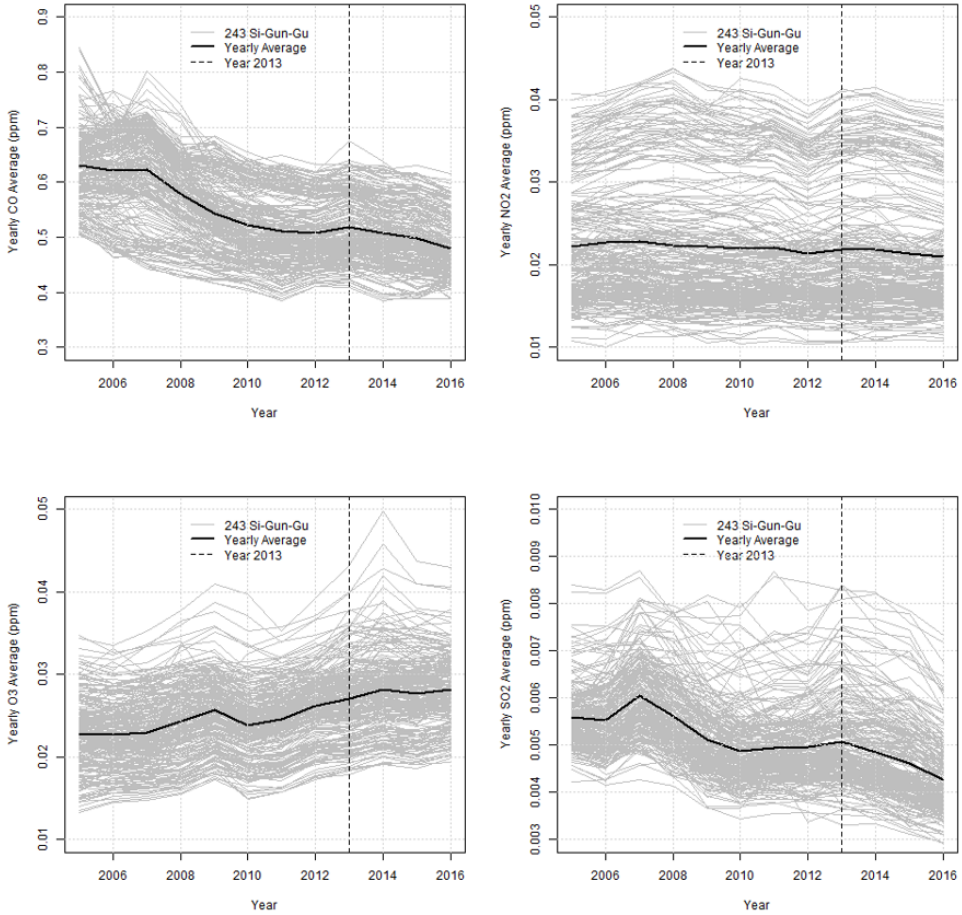
가 2014년 $116\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 2015년 $102\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기록했고, 인도 뭍바이의 경우 2014년 $105\mu\text{g}/\text{m}^3$ 그리고 2015년 $104\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 기록했다.⁵⁾ 이들 도시와 비교할 경우, 우리나라의 대기 오염 수준은 상대적으로 낮은 편이라 할 수 있다. <그림 2>의 경향성은 다른 나라의 대기 오염 기준이나 ‘나쁨’ 또는 ‘매우나쁨’으로 기록된 날짜의 수 등과 같이 측정방법을 바꾸어도 비슷한 경향성을 띤다. 따라서 PM10의 농도가 증가하여 대기 오염 심각성에 대한 인지가 증가하였다는 논거를 본 연구의 자료로는 확인할 수 없었다.

대기 오염 심각성에 대한 인지 증가의 가능성 있는 이유 중 하나로 오감에 의한 불쾌감의 직접적 증가를 고려할 수 있다. 보편적으로 대기 오염 수준을 측정할 때 수집하는 화학물질은 대기 중 CO, NO₂, O₃ 그리고 SO₂이다. CO는 불완전 연소에 의해 주로 발생하는 물질이지만, 무색 및 무취의 기체로 사람들이 일상생활에서 직접적으로 체감할 수 없는 오염 물질이다. NO₂는 적갈색의 자극성 냄새가 있고 노출되었을 경우 기침, 현기증 및 구토 증상이 나타나기 때문에 직접 체감이 가능한 오염 물질이다. O₃와 SO₂는 무색이나 O₃는 해초 냄새가 나며 SO₂는 불쾌하고 자극적인 냄새가 나기 때문에 체감에 의해 탐지 가능한 오염 물질이다. 만약, 오감에 의해 사람들이 대기 오염이 최근 심각해지고 있다고 인지한다면, 관측 자료에 의해 NO₂, O₃, 또는 SO₂의 대기 중 농도가 시간에 따라 증가하여야 한다. <그림 3>은 상기 네 가지 대기 오염 물질의 연간 평균 농도의 변화를 보여준다.

<그림 3>에서 확인 가능하듯, 2013년 이후 대기 오염의 심각성에 대해 체감을 통한 인지가 이루어졌다면, O₃의 냄새에 의한 탐지 가능성과 NO₂의 농도가 높은 지역에서의 시각 및 후각에 의한 탐지의 가능성이 높다. 그러나 <그림 3>에 제시된 연평균 오염 물질의 농도가 대기 중에서 날씨 변수와 공간적 특성을 고려하여 일반적인 사람이 탐지 가능한 수준인지는 확신할 수 없다. 그리고 환경정책평가연구원의 설문조사(신동원 외, 2019)에서와 같이, 국민의 90% 이상이 동일하게 대기 오염의 심화를 인지할 정도의 상당한 수준의 대기질 변화를 본 연구에서 사용한 관측 자료로는 확인하지 못하였다. 따라서 대기 오염의 심각성에 대한 인지 증가가 관측 자료의 변화 추이와 일치하지 않는다고 판단된다. 앞 절의 검색량 분석의 결과를 고려하여, 2012~2013년에 이르는 기간 동안 대기 오

5) WHO의 2018년 Ambient (outdoor) air quality database를 참조하였다.
(<https://www.who.int/airpollution/data/cities/en/>)

〈그림 3〉 연평균 CO, NO₂, O₃, SO₂ 농도



염 수준의 증가와 관련 없이 깨끗한 대기질에 대한 일반 사람들의 선호가 증가하는 불명의 계기가 존재하였다고 보인다. 이는 효용극대화 개인의 변화된 인지에 따라 경제적 선택의 변화를 추구하여 자신의 효용을 증가시키기 위한 행위를 동반하였을 것이라고 추측할 수 있다. 본 연구는 이 변화가 소비 지출에서 일어나고 있음을 논의할 것이다.

III. 의료경제모형 및 실증분석

대기 오염이 건강에 미치는 영향에 관한 연구는 국내외에서 활발히 이루어지고 있다. 대표적인 대기 오염의 건강에 대한 직접적인 효과로는 사망률의 증가(Deryugina et al., 2019; 손지영 외, 2009), 출산률 감소(Nieuwenhuijsen et al., 2014; 공경식, 2017) 그리고 호흡기 질환의 증가(Schwartz, 1996; 신영철, 2002) 등이 있다. 이 외에도 만성질환 환자의 사망률 증가 및 병세 악화, 기대수명의 단축 그리고 보건 및 의료 비용의 증가에 따른 사회경제적 부담의 증가 등의 다양한 연구를 쉽게 확인할 수 있다(Chen et al., 2013; Cohen et al., 2006). 이들 연구의 공통적인 결론은 대기 오염의 심화는 건강을 저해하는 요소이며, 건강에 대한 직접적 또는 간접적 영향으로 인해 의료 비용이 증가할 수 있음을 보여준다. 즉, 관측된 자료에서 볼 수 있듯 대기질이 개선되고 있다면 사람들의 건강상태가 양호해져야 하므로, 의료 비용은 증가할 수 없다. 다른 측면에서, 사람들이 대기질이 나빠졌다고 인식하는 효과에 의해 의료 재화 및 서비스를 상대적으로 많이 소비하여 의료 비용이 증가한다고 주장할 수 있다. 그러나 대기 오염이 건강에 미치는 심각성을 고려하면, 그 증가분이 건강을 해치는 요소가 감소함에 따라 전체적으로 줄어드는 의료 비용보다 더 많이 증가한다는 것은 논리적이지 않다. 본 절에서는 의료경제 모형에 의해 대기 오염과 의료 비용과의 관계를 이론적으로 도출하고, 이를 노동패널 자료를 이용해 실증 분석하였다.

1. 의료경제모형

의료 수요모형(Phelps, 2010)에 따라,⁶⁾ 개인의 효용(utility)은 시장에서 거래하는 일반재화(X)와 건강상태(H)의 함수 $U(X, H)$ 로 정의할 수 있다. $U(X, H)$ 는 표준적인 효용함수로 가정한다. 건강상태는 시장에서 거래되지 않지만, 의료 재화나 서비스(m), 건강 유지를 위한 활동(a), 대기 오염 수준(l)에 따라 결정된다고 가정하면 $H = h(m, a, l)$ 로 정의할 수 있다. 일반재화의 가격을 P_X , 의료 재화 및 서비스의 가격을 P_m 그리고 소

6) 본 연구의 이론모형의 유도는 Phelps(2010)의 모형을 수리적으로 유도한 Teng Wah Leo 교수의 Health Economics 강의노트를 참고하였다. 강의노트는 <https://people.stfx.ca/tleo/>에서 찾아볼 수 있다.

득을 I 라고 하면 다음과 같은 효용극대화 문제를 정의할 수 있다.

$$\text{Max}_{X,m} U(X, h(m, a, l)) \quad (1)$$

$$\text{subject to } P_X X + P_m m = I$$

식 (1)의 효용 극대화 문제를 일계조건(first order condition)을 적용하여 정리하면 다음의 한계대체율(marginal rate of substitution)을 구할 수 있다.

$$\frac{U_h(X, h(m, a, l))h_m(m, a, l)}{U_X(X, h(m, a, l))} = \frac{P_m}{P_X} \quad (2)$$

식 (1)의 해는 식 (2)의 한계대체율을 만족한다. 식 (2)으로부터 유도된 의료 재화 및 서비스의 수요함수를 m^* 라고 하면, 대기 오염의 증가에 의한 의료 재화 및 서비스의 반응함수를 비교정태분석(comparative statics analysis)을 통해 도출하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial m^*}{\partial l} = \frac{U_{hh}h_l h_m + U_h h_{ml} - \frac{P_m}{P_X} U_{Xh} h_l}{\frac{P_m}{P_X} \left(-U_{XX} \frac{P_m}{P_X} + U_{Xh} h_m \right) - U_{hh} h_m^2 - U_h h_{mm} + U_{hX} \frac{P_m}{P_X}} \geq 0 \quad (3)$$

식 (3)은 의료 비용 지출($P_m m$)의 대기 오염에 따른 한계효과는 $P_m \frac{\partial m^*}{\partial l} \geq 0$ 로 대기 오염이 증가하면 의료 비용 지출 또한 증가 또는 일정하게 됨을 설명한다. 즉, 대기 오염이 개선되면 의료 비용 지출은 감소하게 된다.

식 (3)의 결과는 일반재화의 소비 증가로 연결된다. 본 연구에서 가정한 식 (1)은 정상재(normal goods)인 두 재화 모형으로 의료재화 및 서비스는 일반재화와 대체재(substitutes)이다. 주어진 소득하에서 의료재화 및 서비스의 소비가 줄어들면 효용이 감소하게 되므

7) 식 (3)의 부호에 대한 증명은 부록 A1에 기술하였다.

로, 효용 극대화를 추구하는 경제적 주체는 감소한 효용만큼을 일반재화를 소비하여 증가시킴으로써 동일한 수준의 효용을 누리려 할 것이다. 따라서 대기 오염의 개선에 의한 의료 비용의 지출 감소는 본 연구의 이론 모형의 가정 하에서 일반재화의 소비 증가로 연결되어야 한다.

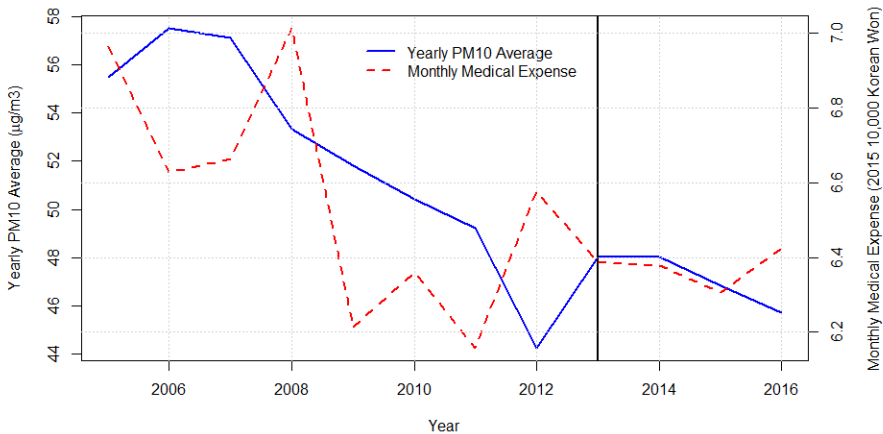
2. 실증분석 결과

식 (3)의 이론적 결과가 실제 우리나라에서도 적용되는지에 대한 실증분석을 위해 본 연구는 노동연구원이 제공하는 한국노동패널(Korean Labor and Income Panel Study: KLIPS) 조사자료를 이용하였다. 한국노동패널조사는 도시지역 거주 5,000가구와 가구원을 대표하는 패널 표본을 대상으로 1998년부터 구축한 노동관련 가구패널조사이다. 노동관련 분석을 위한 조사이긴 하지만 가구 및 가구의 인구, 사회 및 경제 변인들을 모두 포괄하고 있고 각 관측치의 시군구 정보를 제공하여 다양한 목적으로 활용될 수 있는 조사표본이다. 본 연구에서는 20차 통합노동패널 자료를 시간에 따른 행정구역의 변화와 대기 오염에 관한 일반인의 인지의 기준이 되는 2013년(또는 2012년 후반)을 기준으로 앞 뒤 약 5년간의 자료를 포괄할 수 있는 2006~2017년의 자료를 사용하였다. 또한 한국노동패널은 응답자의 대기 오염이나 미세 먼지에 대한 인지의 여부와 관계없는 설문이기 때문에 응답자의 대기 오염에 대한 사전인지나 편의의 개입이 없는 표본이라 할 수 있다. 다만, 노동패널은 의료관련 문항을 전문적으로 조사하지 않기 때문에, 본 연구에서 주요하게 사용하는 의료 비용에 대한 신뢰성을 검증할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구는 한국보건사회연구원과 국민건강보험공단이 공동으로 주관하는 한국의료패널 2006~2018년 연간 자료(Version 1.5)와 비교 검토하여 노동패널의 의료 비용 및 소비 지출 자료가 의료패널 자료와 비슷한 경향성을 가지고 있음을 확인하였다. 자세한 내용은 부록 A2에 기술하였다.

한국노동패널의 가구 조사항목 중 소비(생활비) 관련 문항은 해당 조사년도의 전년도 소비 지출과 비소비 지출에 대한 항목별 월평균 금액을 제공한다. 의료 비용은 소비 지출의 항목 중 하나로 집계되어 있다. <그림 4>는 연평균 PM10 농도와 한국노동패널의 2015년 기준 실질 의료 비용 지출 월평균 금액의 2005년부터 2016년까지의 시계열을 보

여준다. <그림 2>에서 확인하였듯, 연평균 PM10 농도(청색)는 최근이 될수록 감소하는 추세에 있다. 또한 식 (3)의 이론 모형의 결과에서 예측하였듯, 월평균 의료 비용(적색) 또한 감소하는 추세 있음을 확인할 수 있다. 의료 비용에 따른 소비 지출의 증가 경향을 보여주는 그림은 부록 A3에 첨부하였다. 앞 절에서 2012년 말에서 2013년에 이르는 기간 동안 사람들의 대기 오염의 심각성에 대한 인지가 증가하였음을 논의하였다. 하지만 2013년 이후의 시계열이 비교적 짧은 것을 고려하더라도 <그림 4>에서 2013년 이후, 심각한 대기 오염에 의한 피해가 의료 비용을 유의미하게 증가시키고 있다는 실증적 증거를 찾을 수 없었다.

<그림 4> 연평균 PM10 농도와 월평균 의료 비용(2005~2016)



주: PM10은 243개 시군구의 산술평균값이며, 월평균 의료 비용은 한국노동패널의 가구 가중치를 이용한 가중평균임.

<그림 4>의 시계열은 우리나라 전체의 평균적인 변화만을 보여주고 있으나, 각 가구, 지역, 또는 시간의 변화에 따른 변화를 통제된 상태에서 의료 비용과 대기 오염의 관계를 보여준다고는 할 수 없다. 식 (3)에서 설명된 $P_m \frac{\partial m^*}{\partial l} \geq 0$ 의 결론은 경제적 행위의 결과가 최적화되었을 때의 의료 비용과 대기 오염의 관계이기 때문에, 의료 비용이나 대기 오염에 영향을 끼치는 다른 변인들이 통제된 상태에서 식 (3)의 결론에 이를 수 있는지에

대한 추가적인 분석이 필요하다.

실증분석을 위한 모형을 유도하기 위해 식 (1)의 해인 식 (2)로부터 의료재화 및 서비스의 수요함수 $m^* = m^*(l, a, I, P_m, P_X, X^*)$ 를 유도하였다고 가정하자. 여기서 소비 지출의 수요함수도 $X^* = X^*(l, a, I, P_m, P_X, m^*)$ 로 유도되지만, 자료로부터 X^* 를 구할 수 있다면 X^* 는 변수로서 m^* 의 추정에 대입될 수 있다. 의료재화 및 서비스는 단일 품목이 아니기 때문에, 가격 벡터(P_m)를 다품목에 곱하여 총 의료 비용($P_m m^*$)으로 정의할 수 있고, 편의상 m 으로 표기한다고 하자. 동일한 논리로 총 소비를 $P_X X^*$ 로 정의하고, X 로 표기할 수 있다. 패널 자료가 이용 가능하다고 가정하면, 가구 i 의 t 연도 의료 비용은 다음과 같은 계량경제모형을 구성할 수 있다.

$$m_{it} = \beta_l l_{it} + \beta_a a_{it} + \beta_I I_{it} + \beta_X X_{it} + \beta_z z_{it} + g(t) + \alpha_s + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

식 (4)에서 모든 β 는 각 변수의 계수를, z 는 가구 또는 가구의 특성 벡터를, $g(t)$ 는 시간 추세(time trend) 함수를, α_s 는 시도 단위의 고정효과(fixed effects) 그리고 ε_{it} 는 모형에서 설명되지 않는 확률적 오차항(random error)을 나타낸다. $g(t)$ 와 α_s 는 시계열 또는 지역 단위의 특성을 통제하기 위해 포함한 변수로 다른 변인이 설명하지 못한 변인들을 통제한다. 예를 들어, 의료 비용은 의료보험제도 또는 정책의 변화에 따라 변화할 수 있는데, 이는 시간 추세를 통해 통제할 수 있다. 가격 변인의 경우, 지역의 시장구조나 환경 요인에 영향을 많이 받는데, 우리나라의 경우 이러한 변인은 시도 단위로 설명할 수 있는 부분이 크기 때문에 시도 단위의 고정효과로 설정하였다. 본 연구에서는 식 (4)를 한국노동패널에서 가용한 변인을 이용하여, 계량경제모형으로 분석하였다. 실증 모형에 사용된 변수들의 기술통계량은 <표 1>과 같다.

<표 1>의 모든 비용 및 소득 변수는 2015년 소비자물가지수(CPI, Consumer Price Index)를 기준으로 실질가격(real price)으로 변환하였다. 대기 오염의 수준(l)은 243개 시군구의 연평균 PM10 농도를 한국노동패널의 현재 거주지 정보를 기준으로 결합하였다. 건강 유지를 위한 활동(a)은 개인 변인 중 가구의 건강유지노력 방법을 더미 변수로 정의하여 사용하였다. 가구 및 가구의 특성은 식 (3)에 기술되지 않은 변인 중 의료

〈표 1〉 기술통계량

변수	Min	Median	Max	Mean	S.D.
월평균 의료 비용 (2015 CPI 적용 만 원)	0.00	3.00	1,995.00	6.499	14.41
평균 PM10 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	34.62	51.40	71.59	52.29	6.46
가구주 나이 (세)	15.00	51.00	97.00	53.26	14.94
가구주 교육 수준 (고졸 =1 / Otherwise=0)	0.00	NA	1.00	0.32	NA
가구주 교육 수준 (\geq 대졸=1 / Otherwise=0)	0.00	NA	1.00	0.37	NA
가구주 성별 (남=1 / 여=0)	0.00	NA	1.00	0.78	NA
가구원수 (명)	1.00	3.00	10.00	2.82	1.33
가구소득 (2015 CPI 적용, 만 원)	5.65	4,256.10	127,471.27	5,266.64	4,587.01
월평균 소비 지출 (2015 CPI 적용, 만 원)	0.00	160.54	1796.69	188.16	127.73
건강 유지 노력 유무 (노력함=1 / Otherwise=0)	0.00	NA	1.00	0.59	NA

주: 평균 및 표준편차는 한국노동패널의 가구 가중치를 적용한 값임. 월평균 소비 지출은 월평균 의료 비용을 제외한 값임. Dummy 변수에 대한 중간값과 표준편차는 계산하지 않음.

비용과 밀접한 관련이 있는 변수로서 누락변수(Omitted variable) 편익(bias)에 의한 내생성(endogeneity)을 줄이기 위해 사용하였다.

식 (4)의 추정에는 세 가지 계량경제학 모형을 고려하였다. 첫 번째 모형은 패널 계량 경제모형에서 표준적으로 쓰이는 기준모형(benchmark model)으로써 시간 및 시도의 고정효과 통제 없이 단순회귀모형(OLS, Ordinary Least Squares)으로 추정하였다. 두 번째 모형은 시간 및 시도의 고정효과를 포함하여 추정하였다. 세 번째 모형은 연평균 PM10 농도에 발생할 수 있는 내생성 문제를 도구변수(instrumental variable)를 이용하여 보정한 모형이다. Deryugina et al.(2019)는 대기 오염 물질이 바람의 방향이나 대기의 조건에 따라 변화하는 내생성 문제에 대해 지적하고, 이를 도구변수로 사용하여 Two

〈표 2〉 의료경제 패널 모형 결과

종속변수: log(월평균 의료 비용 (2015 CPI 적용, 만 원) + 1)			
	모형 (1)	모형 (2)	모형 (3)
대기 오염 수준(<i>l</i>)			
	OLS	Panel	IV Panel
연평균 PM10 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-0.0058*** (0.0004)	0.0033*** (0.0011)	0.0095*** (0.0026)
가구 및 가구주 특성			
가구주 나이(세)	0.0205*** (0.0003)	0.0247*** (0.0003)	0.0247*** (0.0003)
가구주 교육 수준 (고졸 =1 / Otherwise=0)	-0.0881*** (0.0102)	-0.0503*** (0.0101)	-0.0504*** (0.0101)
가구주 교육 수준 (\geq 대졸=1 / Otherwise=0)	-0.0154 (0.0110)	0.0294*** (0.0110)	0.0295*** (0.0110)
가구주 성별 (남=1 / 여=0)	0.0663*** (0.0097)	0.0473*** (0.0096)	0.0472*** (0.0096)
가구원수(명)	0.0953*** (0.0035)	0.0607*** (0.0037)	0.0607*** (0.0037)
소득 및 소비 지출			
log(가구소득 (2015년 CPI 적용, 만 원))	0.0598*** (0.0044)	0.1393*** (0.0054)	0.1388*** (0.0054)
log(월평균 소비 지출 (2015 CPI 적용, 만 원) +1)	-0.0376*** (0.0078)	0.0289*** (0.0080)	0.0295*** (0.0080)
건강유지 활동(<i>a</i>)			
건강 유지 노력 유무 (노력함=1 / Otherwise=0)	0.1156*** (0.0075)	0.1063*** (0.0075)	0.1067*** (0.0075)
Fixed Effect Controls			
Year trend (2006 = 1)		0.0265*** (0.0052)	0.0419*** (0.0079)
Year trend 제곱		-0.0028*** (0.0003)	-0.0034*** (0.0004)
시도 고정효과(Fixed Effects)	No	Yes	Yes
Bias correction			
Residuals			-0.0068*** (0.0026)
표본수 및 Model Fit			
표본수	62,016	62,016	62,016
R-Squared	0.7401	0.7465	0.7465
Adjusted R-Squared	0.7400	0.7464	0.7464
Overall F-test	19,570***	6,742***	6,502***

주: ***, ** 그리고 *는 1%, 5%, 10% 수준에서 추정치가 유의함을 나타낸다. 모든 모형의 추정치는 한국노동패널의 가구 가중치를 적용한 결과이다.

Stage Least Squares(2SLS)로 추정하였다. 모형 (3)은 Deryugina et al.(2019)의 방법을 적용하였다. 세 모형에서 가격 및 비용변수는 음의 값을 취할 수 없고, 두꺼운 꼬리 분포(fat-tailed distribution)이기 때문에 로그를 취하였다. 추정결과는 <표 2>와 같다. 모형 3의 첫 단계 계량경제모형(first stage) 추정 결과는 부록 A4에 첨부되어 있다.⁸⁾

<표 2>의 세 모형 모두 개별 추정치가 대부분 통계적으로 유의미하며, 모형의 전체 적합도도 70% 이상의 R²로 상당히 높은 편이다. 가장 관심 있는 추정치는 연평균 PM10 농도로서 식(3)의 결과 양의 값이 기대된다. 모형(1)의 경우 음의 값을 가지는데, 이는 시간 및 시도의 고정효과 통제가 없기 때문에 생략된 변수로 인한 편의가 있는 것으로 판단된다. 특히 가구주의 나이를 제외한 모든 추정치들이 모형(2)와 모형(3)의 결과와 상이하기 때문에, 시간 및 시도 변인의 통제가 추정에 큰 기여를 하고 있음을 알 수 있다. 모형(2)와 모형(3)의 차이점은 연평균 PM10 농도의 내생성을 통제하였는지 여부에 있다. 모형(2)와 모형(3)의 대부분의 추정치가 동일한 부호와 비슷한 크기를 가지고 있지만, 연평균 PM10 농도 및 Year Trend에서 크기의 차이가 나타나고 있다. 이는 연평균 PM10 농도의 내생성이 존재하며, 이를 첫 단계 계량경제모형을 통해 조정해주고 있음을 보여주는 결과이다. 모형(3)을 세 가지 모형 중 최선으로 판단할 때, 모든 변수의 부호가 기대 부호와 일치하고 통계적으로 유의미하고 높은 수준의 모형 적합도를 보여주고 있다. 특히 식(3)의 부등식을 만족하고 있기 때문에 실증분석의 결과로도 우리나라의 대기 오염의 개선에 따라 의료비용의 지출이 감소하고 있는 경향을 확인할 수 있다.

IV. 대기 오염과 소비 지출의 변화

대기 오염이 심각해지고 있다는 인지의 증가가 의료 비용의 증가로 연결되지 않는다면, 다양한 설문조사를 통해 90% 이상의 사람들이 동일하게 느끼고 있는 대기 오염의 심각성은 다른 형태의 경제 행위로 표출되어야 한다. 대기 오염은 인체에 해를 입히는 오염물질로, 비록 관측 결과와 다르다고 할지라도 심각성을 인지한 개인은 반드시 피해를 최

8) 식(4)의 추정에는 누락변수 편의(Omitted variable bias) 및 예상 가능한 내생성 요인을 제거하기 위해, 흡연 여부, 음주 여부, 및 다양한 다른 변인들을 함수형태를 바꾸어 강건성(robustness)을 확인하였다. 모형의 최소성 원칙(principle of parsimony)에 따라 가장 최소한의 모형의 추정결과를 <표 2>에 제시하였다.

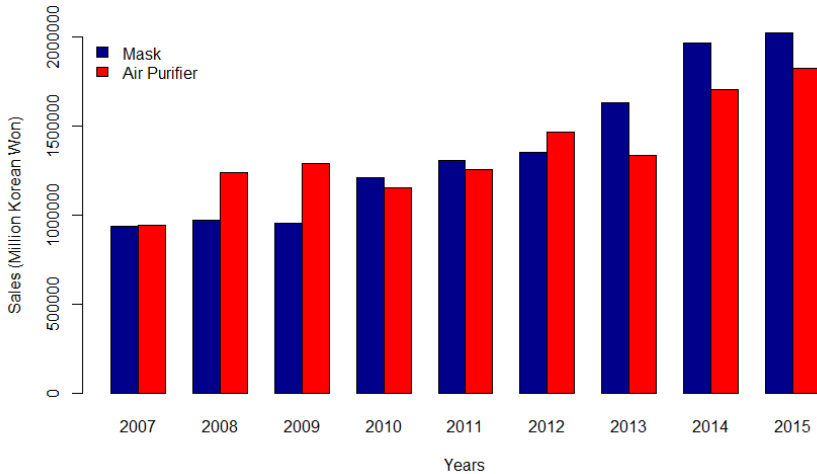
소화하거나 위험을 회피하기 위한 경제적 행위를 실행하여야 한다. 중국이나 인도와 같이 대기 오염의 문제가 매우 심각한 경우에는 이러한 행위가 거주지 이전이라는 형태로 나타나기도 한다(Freeman et al., 2019). 우리나라의 경우 국토 전체가 대기 오염에 비슷하게 노출된다는 점을 감안하면, 상대적으로 거주 이전을 통한 적극적인 해결방안 모색은 쉽지 않다고 보인다. 가장 현실적인 방법은 미세 먼지 마스크나 공기청정기 구입과 같은 방어적 지출(defensive expenditure)이다. 엄영숙 외(2019)나 Zhang and Mu(2018)는 이러한 방어적 지출을 통해 대기 오염을 피하기 위해 최대한으로 지불할 수 있는 의사를 측정하는 연구에 해당한다.

방어적 지출의 경제학적 이론은 Ehrlich and Becker(1972)에서 제안된 위험회피자(risk-aversion)의 자가보험(self-insurance)과 자가보호(self-protection)에 기인한다. 자가보험은 손해의 크기를 줄이기 위한 행위이며, 자기보호는 손해의 확률을 줄이기 위한 행위를 뜻한다. 예를 들어, 스프링클러의 설치는 화재에 의한 손해를 줄이기 위한 자가보험의 종류이고 보안시스템의 설치는 무단침입의 확률을 줄여주기 위한 자기보호의 일환이다. 자가보험과 자기보호는 일반적으로 혼합되어 나타나며(Shogren and Crocker, 1991), 이처럼 위험을 최소화하거나 회피하기 위한 지출을 방어적 지출로 정의할 수 있다. 앞 절에서 제시한 두 재화의 의료경제 모형에 따르면, 소비 지출과 의료재화 및 서비스의 지출은 대체재로서 의료재화 및 서비스에 대한 지출이 감소하면, 이를 보상하기 위한 소비재의 지출이 증가하여야 한다. 본 연구는 대기 오염의 심각성에 대한 인지의 증가가 소비 지출의 증가로 나타나고 있는지를 자료를 통해 분석하였다. <그림 5>는 대기 오염과 관련한 대표적 소비재인 보건용 마스크와 공기청정기의 연도별 출하액을 통계청 광업제조업조사 자료로부터 표현한 것이다. 연도별 증감의 변화는 있지만, 전체적으로 보건용 마스크와 공기청정기 모두 출하액이 증가하고 있음을 알 수 있다. 특히 공기청정기의 경우 2013년 이후 상대적으로 높은 출하액을 보이고 있음을 알 수 있다.

한국노동패널은 가구의 월평균 생활비 내역을 소비 지출과 비소비 지출의 항목별 내역을 자세하게 조사하고 있다. 본 연구에서는 2005~2007년 및 2014~2016년의 3개 연도에 대해 모든 항목별 소비 지출 내역의 증감을 <표 3>과 같이 계산하였다.⁹⁾ 모든 비용은

9) 본 연구에서 사용한 자료에서 2005~2007년은 2013년 이전 PM10 농도가 이후의 농도보다 상대적으로 높았을 때이며, 2014~2016년은 2013년 이후 대기 오염의 심각성에 대한 인지가 보편적이었을 때이다. 두 기간별 비교

<그림 5> 보건용 마스크와 공기청정기 출하액(백만 원)



출처: 통계청 광업제조업조사의 전국 10명 이상 기업의 출하액임.

2015년 CPI를 적용한 실질가격 기준이며, 가구 가중치를 적용하여 구하였다. <표 3>을 대기 오염과 관련한 소비 지출 문항에 연관하여 해석하기 위해서는 한국노동패널 설문 문항의 구성을 이해할 필요가 있다. 한국노동패널은 총 월평균 생활비 중 <표 3>의 소비 지출 항목과 <표 3>에 포함되지 않은 비소비 지출 항목에 대한 금액을 참여응답 가구에 조사하고 있다. 대기 오염에 관련한 소비재 구입을 각 항목에 대한 구체적인 품목이나 자세한 가이드라인 없이 설문하고 있기 때문에, 응답가구가 어떤 항목에서 보건용 마스크나 공기청정기를 포함하였는지 구분할 수 없다. 가구에 따라서는 보건의료비에 포함하였을 수도 있고, 내구재 또는 기타항목에 포함하였을 수도 있다.

항목 구분의 어려움에도 불구하고, 본 연구에서 확인하고자 하는 소비 지출의 증감은 <표 3>을 통해 확인가능하다. <그림 4> 및 <표 2>의 분석에서 확인하였듯, 보건의료비는 감소하고 있기 때문에, 이에 대한 소비 지출의 상쇄가 다른 항목에서 이루어져야 한다. 공기청정기, 미세 먼지 커튼, 또는 다른 관련된 내구재의 구입으로 나타날 수 있는데, 2005~2007년과 2014~2016년 사이 26.11% 증가하여 월 5,600원(2015년 기준)을 추가

이전에, 전체 지출항목별 시계열에 대한 고찰을 통해 2013년을 전후한 다양한 기간별 비교는 절대적 증감의 수치는 변화하지만 경향성은 동일하기 때문에 2005~2007년 및 2014~2016년 두 기간의 평균을 이용한 비교만을 논문에 기술하였다.

〈표 3〉 3개년도 월평균 소비 지출 평균 트렌드의 변화 (단위: 2015년 만 원)

월평균 비용	2005~2007 평균 (a)	2014~2016 평균 (b)	차이 (b-a)	증감 (%)
식비	37.48	39.29	1.81	4.84
외식비	8.14	11.48	3.34	41.00
공교육비	15.93	11.72	-4.21	-26.46
사교육비	19.43	13.06	-6.43	-33.00
차량유지비	19.80	18.97	-0.83	-4.17
주거비	20.87	20.44	-0.44	-2.10
교양오락비	4.79	9.67	4.89	102.10
내구재	2.13	2.68	0.56	26.11
통신비	13.74	12.62	-1.11	-8.10
부모님 용돈	0.75	0.50	-0.25	-33.09
자녀 용돈	11.88	11.97	0.09	0.75
그 외 용돈	19.45	21.96	2.51	12.89
피복비	7.12	7.75	0.63	8.90
대중교통비	5.72	6.13	0.41	7.21
생필품구입비	5.46	5.02	-0.44	-8.08
기타	0.44	1.87	1.43	328.68
보건의료비	6.75 (3.00%)	6.37 (2.74%)	-0.38	-5.66
총소비 지출	184.49 (81.95%)	194.04 (83.43%)	9.55	5.17
평균생활비	225.11	232.58	7.47	3.32

출처: 노동연구원 20차 통합 노동패널

주: 모든 비용은 노동패널의 가구 가중치를 적용한 가중평균값임. 총 소비 지출은 소비 지출 소비 항목의 합계임. 평균생활비는 소비 지출 및 비소비 지출을 포함. 생활비 비중 (괄호)은 평균생활비 대비 보건의료비 및 총소비 지출 비용의 비중임.

지출하고 있음을 알 수 있다. 미세 먼지 또는 일반 보건용 마스크는 응답자에 의해 생필품으로 분류될 수 있으나 생필품 항목은 감소하기 있기 때문에 고려할 수 있는 마지막 항목은 기타 항목이다. 기타 항목은 2014~2016년이 2005~2007년에 비해 무려 329% 증가하여 월 약 1.4만 원(2015년 기준)을 추가 지출함을 알 수 있다. 모든 조건이 동일하다면, 보건용 마스크 또는 대기 오염과 관련한 방어적 소비재의 구입이 포함되어 있을 가능성

이 가장 높은 항목은 기타 항목으로 판단된다. 즉, 대기 오염의 심각성에 대한 인지가 의료 비용 대신 방어적 소비재의 지출로 나타났다면 내구재 구입 또는 기타 구입을 통해 이루어졌을 가능성이 높다.

만약, 의료재화 및 서비스 지출의 감소가 방어적 소비재의 지출 증가로 직접 연결되지 않았다고 본다면, 다른 소비재에 의해 의료재화 및 서비스 지출의 감소가 대체되고 있다고 주장할 수 있다. <표 3>에서 방어적 소비재가 아닌 항목 중 큰 폭으로 상승한 부문은 외식비, 교양오락비 그리고 그 외 용돈이다. 용돈의 경우 대기 오염과 직접적인 연관관계를 설명할 수 없으므로 논의에서 제외한다. 외식비나 교양오락비의 상승은 대기 오염 심각성의 인지가 증가하였다는 내용과 상충하는 해석이 가능하다. 외식은 외출을 반드시 포함하는 소비행위이며, 교양오락비도 상당부분을 외출 또는 야외활동과 연계되어야 해석할 수 있다. 일반적으로 대기 오염이 심각한 날에는 야외 활동 및 외출 시간을 최소화함으로써 대기 오염 물질의 흡입을 피하게 되기 때문에 외식비나 교양오락비의 감소가 기대된다. 이를 <그림 5>에 제시된 방어적 소비재의 매출액 증가와 연계하여 해석하면, 사람들은 마스크 구매 등의 방어적 소비재를 통해 외출을 동반하는 활동을 유지하고 있다고 볼 수 있다. 따라서 <그림 5>와 <표 3>의 자료를 바탕으로 감소된 의료 비용을 방어적 소비재의 지출로 대체하여 외출과 연계된 외식 및 교양오락에 대한 소비를 지속할 수 있다는 설명이 가능하다. 이 경우, 대기 오염 심각성에 대한 인지의 증가는 방어적 소비재의 구입을 통한 소비 지출의 증가로 나타나고 있다는 본고의 논지와 상충되지 않는다.

V. 결론

최근 우리나라의 대기 오염이 심각해지고 있다는 인지가 광범위하게 받아들여지고 있는 반면, 관측된 자료들은 반대로 대기의 질이 개선되고 있다는 결과를 보여주고 있다. 본 연구는 대기 오염의 심각성 인지와 관측 자료의 불일치가 가져오는 상호 모순된 결과의 해석에 대해 이론 모형과 실증 분석을 통해 합리적인 경제학적 설명을 시도하고 있다. 243개 시군구 단위의 대기 오염 물질 농도 자료와 한국노동패널의 패널 자료를 이용한 의료경제 모형의 분석 결과는 다음과 같다.

의료경제 모형으로 유도한 비교정태분석의 결과는 대기 오염의 수준 감소는 의료 비용이 감소함을 보여준다. 또한 실증 분석과 다양한 자료의 해석을 통해 우리나라의 대기 오염 물질 농도가 감소함에 따라 의료 비용 또한 감소하는 경향이 있음을 확인하였다. 따라서 대기 오염 심각성에 대한 대중의 인지 증가는 의료 비용이 아니라 소비 지출의 증가로 설명될 수 있다. 즉, 사람들은 보건용 마스크나 공기청정기와 같은 방어적 소비재에 대한 지출을 통해 대기 오염 물질에 대한 노출을 최소화하고 위험을 회피하는 경제학적으로 합리적인 소비행위를 보인다고 할 수 있다. 본 연구의 결과는 대기 오염의 경제학적 분석과 관련해 두 가지 시사점을 제공한다. 첫째, 대기 오염의 사회경제적 효과를 분석할 시 대기 오염의 경제적 효과가 반대로 해석될 수 있음에 유의해야 한다. 대부분의 관측 자료가 최근 대기 오염이 개선되고 있음을 보여주고 있기 때문에, 대기 오염이 증가한 경우 뿐 아니라 대기 오염이 개선되었을 때의 효과를 고려할 필요가 있다. 둘째, 통계적으로 유의미한 추정치가 인과적으로 유의미한 값이 되지 않을 수도 있다. 우리나라 대기 오염에 대한 인지는 의료 비용이 아니라 소비 지출에 의해 표현되고 있다는 점을 감안하면, 대기 오염의 경제적 영향력이 평가 자료와 대상에 따라 과대평가될 수도 있다. 통계적으로 유의미한 결과는 통계적 상관관계를 설명하지만 그 효과가 인과관계가 되기 위해서는 보다 정교한 접근법이 필요할 것이다.

본 연구의 결과는 다음 세 가지의 정책 제안으로 연결된다. 첫째, 대기 오염 관리기준의 강화이다. 일부에서는 우리나라의 미세 먼지 농도 기준이 과도하게 엄격하여 미세 먼지 ‘나쁨’일 수가 실제보다 많이 집계되기 때문에 이를 세계적으로 보편적인 기준으로 완화해야 한다는 주장이 있다. 대기 오염은 그 정도와 관계없이 선호되지 않는 비시장 가치재이다. 또한 대기 오염은 개인의 건강 악화와 삶의 질 저하와 관계된 손해(loss)와 관계되어 있으므로 민감하게 가치를 부여하는 재화에 해당한다. 따라서 개인들의 대기 오염 심각성에 대한 인지가 현재와 같이 보편적인 경우, 상황의 개선 없이 기준의 완화만으로 사회적 비용이 감소할 것을 기대하는 것은 합리적이지 않다. 대기질 기준은 과학적 지식과 사회적 합의에 의해 결정되는 것이므로, 오히려 더 강한 기준을 적용하여 대기질을 개선함으로써 합리적인 개인의 소비 지출 감소 또는 소비항목 변경을 통해 효용 증대를 유도하는 것이 더 효과적일 수 있다.

둘째, 소비 지출에 대한 사회적 고려가 필요하다. 본 연구의 결과 대기 오염은 가구의

소비 지출을 증가시키는 것으로 판단된다. 특히 증가한 품목이 내구재와 기타에 해당하고 있는데, 이는 보건용 마스크 또는 공기청정기와 같은 방어적 소비재의 구입에 따른 증가로 보는 것이 타당하다. 그러나 방어적 소비재는 생활필수품에 해당하지 않기 때문에, 저소득층이나 사회적 약자 계층의 방어적 소비재 구입에 대한 부담은 주어진 소득 하에 다른 소비재의 지출을 줄일 가능성이 높다. 또는, 방어적 소비재의 소비가 불가능하거나 소비 자체를 포기함으로써 사회적 약자층이 대기 오염에 더 노출될 가능성이 높아져 환경적 불평등(environmental inequality)을 증가시킬 것이다. 정책적 고려를 통해 저소득층 및 사회적 약자층의 방어적 소비재에 대한 접근성을 향상시키는 방안이 필요하다.

셋째, 대기 오염 정보에 대한 접근성과 신뢰성을 향상시켜야 한다. 사람의 인지는 정보의 습득과 재해석에 의해 형성된다. 우리나라의 대기 오염 문제는 심각성에 대한 인지뿐 아니라 공해물질의 국내 생성 원인 및 중국발 미세먼지 논쟁까지 자연과학 및 사회경제적 문제까지 복합적으로 얽혀있다. 주요 대중매체 및 인터넷 포털을 통해 대기 오염에 관한 정보가 널리 유통되고 있지만, 정보의 질과 신뢰성에 관한 논쟁은 여전히 진행 중인 것으로 보인다. 고등어 구이가 미세먼지의 주요 원인으로 지목되는 등과 같은 일화는 정보의 질뿐만 아니라 신뢰성 자체를 무너지게 하는 원인이 된다. 우리나라는 세계적으로 통용되는 표준절차를 통해 양질의 대기 오염 물질 농도 및 관련 자료를 전 국토에 걸쳐 시간대별로 생성하고, 누구나 자료에 접근할 수 있게 되어 있다. 하지만 이를 가공하여 유용한 정보로 생성하거나 최종 사용자가 필요로 하는 형태로 재가공하는 일은 사용자의 몫으로 남아 있다. 기본 원자료를 다양한 형태로 가공하고 사용자의 목적에 맞게 제공할 수 있는 플랫폼을 제공하고, 충분한 설명을 제공함으로써 사용자의 집단지성이 동작할 수 있는 구조를 만드는 일은 신뢰성 회복을 위해 무척 중요하다. 대기 오염 심각성에 대한 인지가 개선되거나 대기 오염의 위험이 통제되고 있다는 인지의 증가는 본 연구에서 논의된 사회적 비용을 낮추는 데 도움이 될 것이다.

본 연구는 이론 모형과 실증 분석을 통해 관측 자료와 인지의 차이가 발생하고 있는 우리나라의 대기 오염에 대한 설명을 다양한 각도에서 시도하였다. 하지만 가용한 자료의 한계와 분석방법의 기술적 제한에 따라 다음과 같은 한계점을 내포하고 있다. 우선, 최근 우리나라에서 문제가 되고 있는 오염 물질은 PM2.5이다. PM2.5는 최근에 이르러서 집계를 시작하였고, 에어코리아(환경부, 2018)에도 2015년 이후 자료만 존재하기 때문

에 본 연구에서 필요로 하는 2013년 전후에 대한 비교연구를 진행하지 못하였다. 또한 본 연구는 경제적 주체의 동질성(homogeneity)을 가정하였으므로 경제 주체의 이질성(heterogeneity)을 가정한 추가 연구가 필요하다. 예를 들어, 2013년을 전후로 경제적 주체가 대기 오염에 대한 심각성을 일시에 인지하고 경제적 결정 및 행위가 즉시 나타난다고 가정하였으나, 인지와 행위 사이의 지연현상은 사람에 따라 다르게 나타난다. 그리고 인구고령화나 1인 가구의 증가 등 인구구조적인 문제와 분석 세대의 변화에 대해서도 반영하지 못하였다. 본 연구에서 사용한 의료 비용은 노동패널에서 집계된 의료 비용으로 지출 세부 내역이나 건강보험 본인부담액 등 엄격히 정의된 의료 비용을 대상으로 삼지 못한 한계가 존재한다. 끝으로, 본 연구가 고려하지 못한 대기 오염 문제와 관련된 사회적 비용을 줄일 수 있는 후속 연구가 이어질 수 있기를 기대한다.

[References]

- 공경식, “미세 먼지가 출산율에 미치는 효과”, 「한국재정학회 2017년도 추계학술대회 논문집」, 2017, pp. 1~29.
- 신동원·주현수·이고은, “미세 먼지 국민의식 조사”, 「KEI 포거스」, 제7권 제2호, 2019, 환경정책평가연구원.
- 엄영숙·김진옥·안소은, “미세 먼지 건강위험 감소에 대한 지불의사 측정: 마스크 착용과 공기청정기 사용에 따른 회피비용을 중심으로”, 「자원·환경경제연구」, 제28권 제3호, 2019, pp. 355~383.
- 손지영·조용성·김윤신·이종태·김연정, “도시 대기 오염의 위해 평가에 있어서 황사효과 분석-서울시 총사망 및 원인별 사망률에 미치는 영향-”, 「한국환경보건학회지」, 제35권 제4호 제4호, 2006, pp. 249~258.
- 신영철, “대기 오염으로 인한 건강효과의 경제적 비용-급성 호흡기 질환 외래환자를 중심으로-”, 「자원·환경경제연구」, 제11권 제4호, 2002, pp. 659~688.
- 여민주·김용표, “우리나라 미세 먼지 농도 추이와 고농도 발생 현황”, 「한국대기환경학회지」, 제35권 제2호, 2019, pp. 249~264.
- 이찬주·홍민선, “한반도 인근의 미세 먼지 시공간 농도 변화 연구”, 「한국대기환경학회지」,

- 제35권 제6호, 2019, pp. 675~682.
- 환경부, “에어코리아 대기환경연보”, 2018, (https://www.airkorea.or.kr/web/detailViewDown?pMENU_NO=125).
- Adamowicz, W., J. Swait, P. Boxall, J. Louviere, and M. Williams, “Perceptions versus Objective Measures of Environmental Quality in Combined Revealed and Stated Preference Models of Environmental Valuation,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 32, No. 1, 1997, pp. 65~84.
- Chen, Y., A. Ebenstein, M. Greenstone, and H. Li, “Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China’s Huai River Policy”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 110, No. 32, 2013, pp. 12936~12941.
- Cohen, A. J., H. R. Anderson, B. Ostro, K. D. Pandey, M. Kryzanowski, N. Kunzli, K. Gutschmidt, A. Pope, I. Romieu, J. M. Samet, and K. Smith, “The Global Burden of Disease Due to Outdoor Air Pollution,” *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 68, 2006, pp. 13~14.
- Cressie, N. A. C., *Statistics for Spatial Data*, John Wiley & Sons, 2015.
- Deryugina, T., G. Heutel, N. H. Miller, D. Molitor, and J. Rief, “The Mortality and Medical Costs of Air Pollution: Evidence from Changes in Wind Direction,” *American Economic Review*, Vol. 109, No. 12, 2019, pp. 4178~4219.
- Ehrlich, I. and G. S. Becker, “Market Insurance, Self-Insurance, and Self-Protection,” *Journal of Political Economy*, Vol. 80, No. 4, 1972, pp. 623~648.
- Ferreira, S., H. Liu, and B. Brewer, “The Housing Market Impacts of Wastewater Injection induced Seismicity Risk,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 92, 2018, pp. 251~269.
- Freeman, R., W. Liang, R. Song, and C. Timmins, “Willingness to Pay for Clean Air in China,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 94, 2019, pp. 188~216.
- Gehlke, C. E. and K. Biehl, “Certain Effects of Grouping Upon the Size of the Correlation Coefficient in Census Tract Material,” *Journal of the American Statistical Association Supplement*, Vol. 29, 1934, pp. 169~170.
- Kahneman, D. and A. Tversky, “Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk,”

- Econometrica*, Vol. 47, No. 4, 1979, pp. 263~291.
- Kahneman, D. and A. Tversky, "Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty," *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 5, No. 4, 1992, pp. 297~323.
- Nieuwenhuijsen, M. J., X. Basagana, P. Dadvand, D. Martinez, M. Cirach, R. Beelen, and B. Jacquemin, *Air Pollution and Human Fertility Rate*, Vol. 70, 2014, pp. 9~14.
- Openshaw, S., "A Geographical Solution to Scale and Aggregation Problems in Region- Building, Partitioning and Spatial Modelling," *Transactions of the Institute of British Geographers*, Vol. 2, No. 4, 1977, pp. 459~472.
- Phelps, C. E., *Health Economics (4th ed.)*, Addison-Wesley, 2010.
- Shogren, J. and T. D. Crocker, "Risk, Self-Protection, and Ex Ante Economic Value," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 20, 1991, pp. 1~15.
- Yun, S. D. and B. M. Gramig, "Agro-Climatic Data by County: A Spatially and Temporally Consistent US Dataset for Agricultural Yields," *Weather and Soils*, Data 4, 2019, p. 66.
- Schwartz, J., "Air Pollution and Hospital Admissions for Respiratory Disease," *Epidemiology*, Vol. 7, No. 1, 1996, pp. 20~28.
- Yun, S. D. and S. G. Kim, *Air Pollution and Weather Data by Si-Gun-Gu in South Korea (2001-2018)*, 2020, DOI:10.5281/zenodo.3685164.
- Zhang, J. and Q. Mu, "Air Pollution and Defensive Expenditures: Evidence from Particulate-Filtering Facemasks," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 92, 2018, pp. 517~536.

[부록]

A1. 식 (3)의 부등식 부호의 증명

건강상태의 함수 $H = h(m, a, l)$ 는 의료 재화나 서비스(m)가 증가할수록 그리고 대기 오염 수준(l)이 감소할수록 개선되므로, $h_m \geq 0$ 과 $h_l \leq 0$ 를 만족한다. 그리고 대기 오염이 심화되면 이를 의료재화의 소비로 건강상태의 악화를 상쇄시키려할 것이므로 이들의 교차편미분(cross partial derivative)은 $h_{ml} \geq 0$ 이다. 건강상태는 의료재화나 서비스(m)에 대해 한계체감(diminishing marginal health)하므로 $h_{mm} \leq 0$ 이다. 즉, 건강상태는 의료재화나 재화의 소비에 따라 증가하더라도 그 증가율은 체감할 것이다.

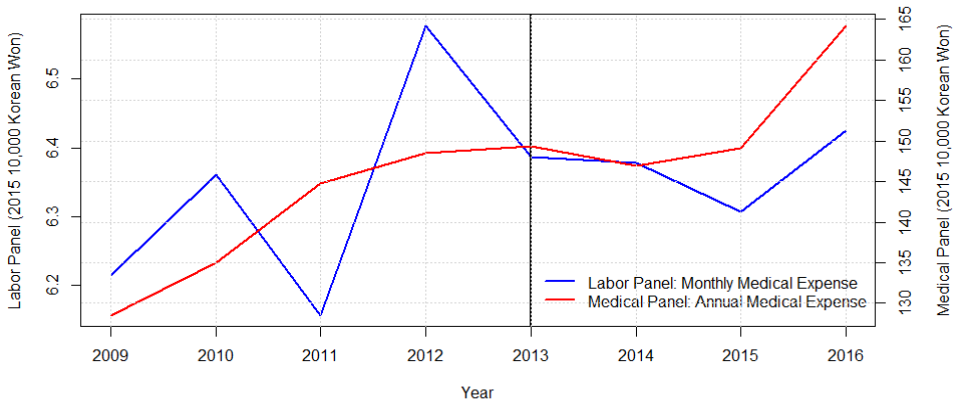
표준적인 효용함수의 성질에 따라 $U_m \geq 0$ ($h_m \geq 0$ 이므로), $U_h \geq 0$, $U_{hh} \leq 0$ 그리고 $U_{mm} \leq 0$ 를 만족한다. 효용함수 교차편미분($U_{Xh} = U_{hX}$)의 부호는 효용함수의 형태에 따라 달라진다. 본 연구에서는 의료경제모형에서 주로 사용되는 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 효용함수나 고정대체탄력성(Constant Elasticity of Substitution) 효용함수에 따라 $U_{Xh} = U_{hX} \geq 0$ 인 것으로 가정한다. 또한 두 재화의 가격, P_m 및 P_X 는 항상 양인 것으로 가정한다. 따라서 식 (3)을 구성하는 각 항의 부호에 따라 식 (3)의 부등식은 다음과 같이 증명된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial m^*}{\partial l} &= \frac{U_{hh}h_lh_m + U_hh_{ml} - \frac{P_m}{P_X}U_{Xh}h_l}{\frac{P_m}{P_X}\left(-U_{XX}\frac{P_m}{P_X} + U_{Xh}h_m\right) - U_{hh}h_m^2 - U_hh_{mm} + U_{hX}\frac{P_m}{P_X}} \\ &\Rightarrow \frac{(-)(-)(+) + (+)(+) - \frac{(+)}{(+)}(+)(-)}{\frac{(+)}{(+)}\left(-(-)\frac{(+)}{(+)} + (+)(+)\right) - (-)(+) - (+)(-) + (+)\frac{(+)}{(+)}} \geq 0 \end{aligned}$$

A2. 노동패널과 의료패널의 의료 비용 및 생활비 자료의 비교 검토

노동패널은 목적상 의료 비용을 전문적으로 세분화하여 설문하지 않기 때문에 의료비 설문자료의 신뢰성에 대한 비교검토를 진행하였다. 노동패널과 의료패널은 설문시기 및 방법이 차이가 나고, 패널설문을 시작한 기간이 다르기 때문에 두 패널자료를 공통적으로 비교할 수 있는 기간인 2009~2016년의 기간만을 비교하였다. 한국의료패널은 가구의 의료 비용을 보건의료 서비스, 의약품 그리고 보건의료용품 및 기구의 세부항목에 따라 집계한 총 다섯 가지의 의료 비용을 계산하여 제공한다. 이중 대기 오염 및 미세먼지와 관련성이 적은 장기요양 관련 비용과 한약, 건강식품, 안경 및 콘택트렌즈 등과 같은 비용이 제외된 “h_medicaexp2”의 비용을 이용하여 <그림 A2.1>에 나타내었다. 다른 네 가지 의료 비용 항목도 시계열로 분석하였을 때, 경향성은 <그림 A2.1>과 크게 다르지 않았다.

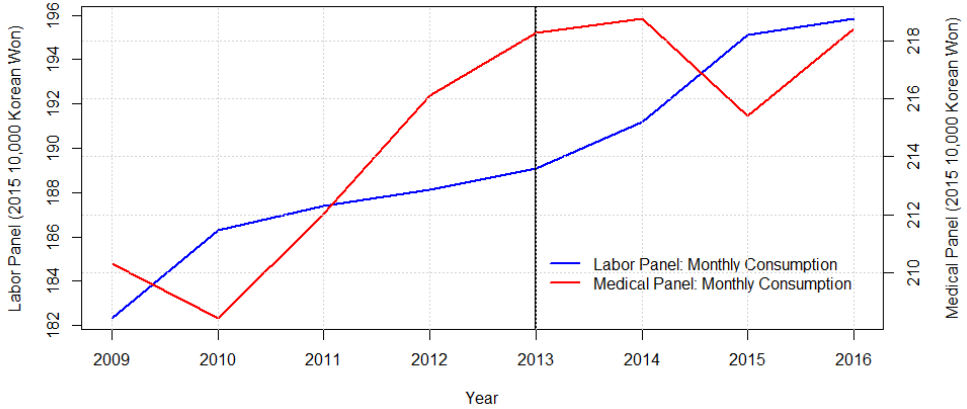
<그림 A2.1> 노동패널의 월평균 의료 비용과 의료패널의 연간 의료 비용의 비교, 2009~2016



주: 의료 비용은 각 패널자료에서 제공하는 가구가중치를 이용한 가중평균임.

<그림 A2.2>는 동 기간의 노동패널과 의료패널의 의료 비용을 제외한 월평균 생활비의 시계열을 비교하여 보여준다.

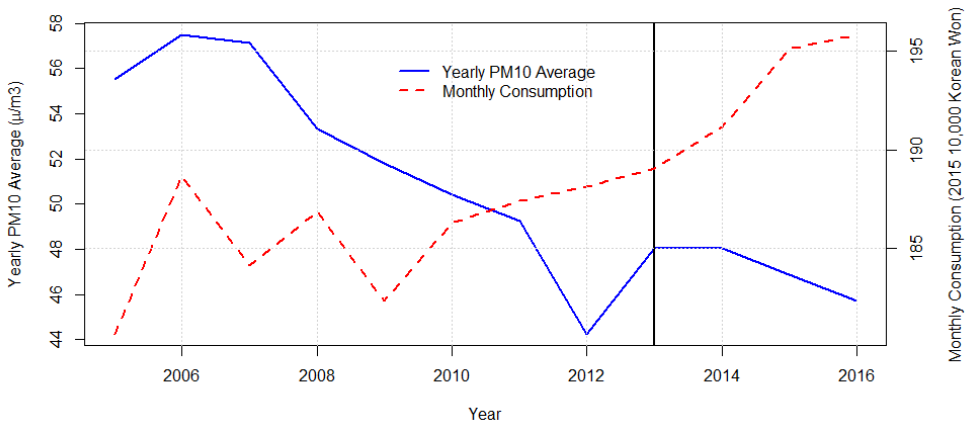
〈그림 A2.2〉 노동패널과 의료패널의 월평균 생활비(의료 비용 제외) 비교



주: 월평균 생활비는 각 패널자료에서 제공하는 가구가중치를 이용한 가중평균임.

A3. 연평균 PM10 농도와 월평균 소비 지출

한국노동패널의 월평균 소비 지출 항목에서 의료 비용을 제외한 후, 2015년 CPI를 이용하여 구한 실질 소비 지출 금액을 2005년부터 2016년까지의 시계열로 표현하였다.



주: PM10은 243개 시군구의 산술평균값이며, 월평균 소비 지출은 한국노동패널의 가구 가중치를 이용한 가중평균임.

A4. 도구변수 기술통계 및 계량경제모형 결과

Deryugina et al.(2019)는 식 (4)의 대기 오염 수준(l)이 Error term과 상관관계를 가지는 내생성 문제를 지적하며, 이를 해결하기 위해 도구변수를 제안하였다. 주요 대기변수들, 예를 들어, 기온, 강수량, 풍향 그리고 습도는 대기 오염의 수준을 결정하지만 의료 비용에 대해 직접적인 설명력을 가지지 않는다. 본 연구는 <표 2>의 모형 (2)에서 발생하는 내생성 문제를 Deryugina et al.(2019)와 동일하게 2SLS를 이용하여 모형 (3)을 추정하였다.

도구변수로 사용된 기상자료는 기상청 기상자료개방포털의 관측소별 일자료를 이용하여 각 시군구의 중심점에서 가장 가까운 측정소의 값을 일별로 계산한 후, 243개 시군구의 연도별 값을 계산하였다(Yun and Kim, 2020). 사용 변수는 PM10 및 다른 주요 대기 오염 물질의 농도와 관련이 깊은 연평균 기온, 연 강수량, 연평균 풍속, 연평균 상대습도 그리고 연평균 일조시간이다. 사용된 243개 시군구의 2005~2016년의 기상변수에 대한 기술 통계량은 <부록 표 1>과 같다.

<부록 표 1> 도구변인 기술통계량

도구변인	Min	Median	Max	Mean	S.D.
PM10 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	34.62	50.11	71.59	50.65	6.37
평균최대기온($^{\circ}\text{C}$)	0.00	18.29	21.27	18.09	1.81
평균최저기온($^{\circ}\text{C}$)	-0.02	8.60	14.44	8.51	1.97
총강수량(mm)	0.00	1,344.00	2,724.00	1,343.00	354.39
평균최대풍속(m/s)	0.01	4.86	9.63	4.94	1.04
평균상대습도(%)	0.13	66.36	84.46	65.99	6.93

<부록 표 1>의 도구변수를 이용한 첫 단계 계량경제모형의 추정결과는 <부록 표 2>와 같다.

〈부록 표 2〉 첫 단계 모형 추정결과

변수	추정치 및 유의수준
Intercept	77.1800*** (0.2827)
평균최대기온(°C)	- 1.3190*** (0.0161)
평균최저기온(°C)	0.7232*** (0.0193)
총강수량(mm)	- 0.0011*** (0.0001)
평균최대풍속(m/s)	- 1.3670*** (0.0283)
평균상대습도(%)	0.1857*** (0.0031)
Time trend(2006=1)	- 2.5380*** (0.0243)
Time trend squared	0.1004*** (0.0019)
표본수	62,016
R-squared	0.5202
Adjusted R-squared	0.5202
Overall F-test	9,711***

주: ***, ** 그리고 *는 1%, 5%, 10% 수준에서 추정치가 유의함을 나타낸다. 모든 모형의 추정치는 한국노동패널의 가구 가중치를 적용한 결과이다.

<부록 표 2>에서 볼 수 있듯, F값(F-statistic)이 경험법칙인 10이상이며, 모든 추정치가 통계적으로 유의하므로 이 결과를 <표 2>의 모형 (3)에 적용하였다.