자원·환경경제연구 제 28 권 제 3 호
Environmental and Resource Economics Review
Volume 28, Number 3, September 2019 : pp. 355~383
DOI: https://doi.org/10.15266/KEREA.2019.28.3.355

미세먼지 건강위험 감소에 대한 지불의사 측정: 마스크 착용과 공기청정기 사용에 따른 회피비용을 중심으로[†]

엄영숙* · 김진옥** · 안소은***

요 약 : 본 연구는 미세먼지(PM_{10}) 노출로 인한 건강위험을 줄이기 위한 소비재인 마스크 착용과 내구재인 공기청정기 사용에 따른 회피비용지출이 개인들의 주관적 위험인지 혹은 객관적 미세먼지 농도에 영향을 받는지 실증분석을 수행하고 미세먼지 위험감소에 대한 지불의사를 측정하였다. 회피비용함수 추정에 있어서 위험인지의 내생변수 가능성을 고려하여 도구변수접근법을 이용하여 2단계 추정방법과 결합추정방법을 시도하였다. 2017년 10월 후반에 실시된 웹설문조사에 참여한 1,224명의 분석표본을 대상으로 실증분석 결과, 마스크 착용 비용함수의 경우 위험인지변수의 외생성 가정을 기각할 수 없는 반면에, 공기청정기 사용 비용함수의 경우 내생성 편의를 고려할 경우 위험인지변수의 계수추정치가 6~7배 높은 것으로 나타났다. 주관적 위험인지 수준이 높을수록 마스크 착용이나 공기청정기 사용 비용지출도 높은 것으로 나타났으나 미세먼지 농도는 주관적 위험인지를 통해서 간접적으로 회피비용지출에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 위험인지 평균에서 1단위 감소에 대한 한계지불의사는 마스크 착용의 경우 월평균 1,000원 그리고 공기청정기 사용의 경우 월평균 6,000원 정도로 측정되었다.

주제어 : 미세먼지 건강위험, 회피행동접근법, 마스크 착용, 공기청정기 사용, 도구변수접근법, 지불의사

JEL 분류 : Q51, Q53, I12

접수일(2019년 4월 10일), 수정일(2019년 7월 5일), 게재확정일(2019년 7월 10일)

[†]본 연구는 한국환경정책·평가연구원의 일반연구 '환경·경제 통합분석을 위한 환경가치평가 종합연구'의 지원을 받아 수행되었음.

* 전북대학교 경제학부 교수, 지속가능발전센터 연구원, 제1저자 및 교신저자(e-mail: yeom@jbnu.ac.kr)

** 통계청 통계개발연구원 주무관, 공동저자(e-mail: jokim124@korea.kr)

*** 한국환경정책·평가연구원 지속가능전략연구부 선임연구위원, 공동저자(e-mail: seahn@kei.re.kr)

Measuring Willingness to Pay for PM_{10} Risk Reductions: Evidence from Averting Expenditures for Anti-PM_{10} Masks and Air Purifiers[†]

Young Sook Eom*, Jin Ok Kim** and So Eun Ahn***

ABSTRACT : This study is to investigate whether averting costs for wearing anti-PM_{10} masks and using air purifiers at home to reduce exposure from PM_{10} are influenced by subjective risk perceptions and/or objective PM_{10} concentration levels, whose estimates will be used to measure the willingness to pay for PM_{10} risk reduction. An empirical analysis was conducted on a sample of 1,224 respondents who participated in the web-based survey in the late October of 2017. As we reflect the potential endogeniety bias in the estimation of averting cost functions of using air purifiers, the coefficients of risk perception were differed by 6~7 times. Respondents. subjective risk perceptions were influenced by individuals' knowledge, attitudes and demographic variables, as well as the levels of PM_{10} concentrations in their residential region. The marginal willingness to pay for risk reductions at the mean levels of their risk perceptions were measured at 1,000 won per month from wearing anti-PM_{10} masks and 6,000 won for using air purifiers respectively.

Keywords : Risk perceptions from exposure to PM_{10}, averting behavior method(ABM), Wearing anti-PM_{10} masks and using air purifiers, instrument variable approach

Received: April 10, 2019. Revised: July 5, 2019. Accepted: July 10, 2019.

[†] This study is partly supported by the project 'An Integrated Approach to Environmental Valuation via Impact Pathway Analysis', KEI 2018-06

* Professor in the Department of Economics, Researcher in Sustainable Development Center, Chonbuk National University, First and Corresponding author(e-mail: yeom@jbnu.ac.kr)

** Assistant Director in Statistics Research Institute, Statistics Korea, Co-author(e-mail: jokim124@korea.kr)

*** Chief Research Fellow in Korean Environmental Institute, Co-author(e-mail: seahn@kei.re.kr)

I. 서 론

최근 들어 계절에 상관없이 발생하는 미세먼지에 대해 국민들의 관심과 불안이 증가하고 있다. 2018년에 실시된 국민환경의식 조사결과에 따르면 국민들이 가장 우려하는 환경문제로 단연 미세먼지를 꼽고 있는 것으로 조사되었다(안소은, 2018). 작은 입자의 미세먼지(PM_{10})는 급·만성 호흡기 질환을 유발하거나 악화시키고, 더 작은 입자의 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 심혈관질환이나 부정맥 또는 뇌혈관질환을 유발할 가능성을 높이고, 어린이나 노약자 등 민감 그룹은 이러한 환경성 질환으로 조기사망에 이를 수 있는 것으로 발표되고 있다(신동천, 2017). 더욱이 미세먼지 발생원이 국내에만 국한되지 않고, 중국 등 주변국으로부터의 유입 가능성도 배제할 수 없다(환경부, 2018). 미세먼지를 포함한 대기오염에 의한 환경성 질환이나 조기사망 가능성은 의료비 지출을 늘릴 뿐만 아니라 삶의 질을 낮추고, 근로자의 생산성을 낮추는 요인이 될 수 있어 미세먼지 건강위험에 대한 피해를 산정할 필요가 있다.

이렇듯 미세먼지에 대한 비자발적 노출에 따른 건강위험[1] 가능성이 커지면서 야외활동을 자제하거나 외출 시 마스크를 착용하거나 집에 공기청정기를 설치하여 작동하는 등 여러 가지 형태의 회피행동을 취하는 것으로 관찰되고 있다(Ito and Zhang, 2016; Lui, 2018; He and Lau, 2018; 매일경제, 2019.01, 2019.03). 이와 같이 미세먼지 농도변화에 따른 회피행동이나 지출과 같은 개인들의 현시선호를 관찰하여 건강위험에 대한 지불의사를 도출하는 방법은 회피행동접근법(averting behavior method, ABM)에 속한다. 미세먼지 이외에도 개인들은 오존과 같은 대기오염물질의 노출을 줄이기 위한 회피행동이나 지출을 하고 있는 것으로 관찰되었다(Gerking and Stanley, 1986; Berger et al., 1987; Bresnahan, 1997; Dickie and Gerking, 1996; 엄영숙, 1998; 신영철, 2002; Neidell, 2009). 만약 개인들이 건강위험을 줄이기 위해 회피행동을 취하고 있는데, 이러한 행동변화를 반영하지 않고 농도반응(concentration-response)함수를 통하여 건강영향을 측정한 후 이를 근거로 피해비용을 산정하게 되면 미세먼지 건강영향 측정에 있어서 편의

1) 정책적 견지에서 건강위험(health risks)은 잠재적인 유해시설이나 유해물질에 노출되어 건강상 위해가 발생할 확률로 정의되며, 건강위해 발생 가능성(likelihood)과 위해의 심각성(severity)의 두 가지 요소로 구성된다. 그러나 환경정책적 견지에서 건강위험은 환경오염물질에 노출되어 위해를 입을 가능성으로 사용되고 있다(Slovic et al., 1985, 2004). 건강위해는 조기사망(mortality)와 환경성 질환(morbidity)를 포괄한다.

가 발생할 수 있다.[2)]

다른 한편으로 미세먼지 건강위험에 대한 우려와 불안이 개인들의 주관적인 건강위험인지에 영향을 미칠 것이다. 그러나 미세먼지 노출에 의한 건강위험과 같이 작은 확률의 건강위해 가능성에 대해 일반인들이 정확히 인지하는 데 어려움을 겪고 있어서 전문가들이 평가하는 객관적 건강위험 수준과 차이가 있는 것으로 관찰되고 있다(Slovic et al., 1985, 2004; Eom, 1997). 나아가서 주관적 건강위험인지 수준은 개인들의 지식, 태도, 경험 그리고 인구통계학적 요인들에 영향을 받는 것으로 관찰되고 있다(Slovic et al. 2004; 엄영숙 · 최원철, 2004). 기존 회피행동접근법 적용사례들은 대기오염 농도와 회피행동의 연계에 주로 초점을 맞추고 개인들의 주관적 위험인지 형성과 영향을 분석에 포함하지 못했다.

본 연구는 최근 들어 크게 이슈가 되고 있는 미세먼지(PM_{10}) 노출로 인한 건강위험 저감을 위한 회피행동들 중 마스크 착용과 공기청정기 사용으로 지출되는 회피비용이 주관적 위험인지수준에 영향을 받는지 실증분석을 수행하고 위험감소에 대한 지불의사를 측정하고자 한다. 소비재인 마스크 착용은 미세먼지 차단효과와 함께 불편함 등의 부(-)의 동반효과를 가져오는 것으로 논의되고 있다. 반면에 내구재인 공기청정기는 미세먼지 제거 이외에도 실내 공기질 향상으로 쾌적함을 더해주는 정(+)의 동반효과를 가져온다고 볼 수 있다. 다시 말하면 마스크 착용과 공기청정기 사용의 회피행동은 결합생산(joint production) 효과가 있다고 볼 수 있다. 이와 같이 재화의 특성과 결합생산물의 성격도 다르다고 볼 수 있으므로, 마스크 착용과 공기청정기 사용에 따른 회피비용함수를 각각 독립적으로 추정하고자 한다.[3)]

다른 한편으로 미세먼지 건강위험에 대한 주관적 인지수준이 객관적 위험추정치와 상이할 수 있고, 인구통계학적 요인에 의해 영향을 받는 다는 점을 고려할 때 주관적 위

2) 대기오염으로 인한 건강위험이나 환경성 질환이 사회에 미치는 영향을 측정하는 데 질병비용접근법(Cost of Illness, COI)이 주로 적용되어 왔다. 다른 한편으로 가상시장에서 특정한 건강위험 감소에 대해 개인들의 지불의사를 직접 물어보는 진술선호에 근거하는 조건부 가치측정법(Contingent Valuation Method, CVM)이 적용되어 왔다(요약을 위해 안소은, 2017 참조). 최근 들어 앞서 언급한 현시선호에 근거하는 회피행동접근법(ABM)이 적용사례가 늘고 있다.

3) 마스크 착용이나 공기청정기 사용과 아울러 많이 논의되고 있는 회피행동이 야외활동 자제이다. 환경부에서 발행하는 미세먼지 예보제는 구간별로 민감그룹과 일반인으로 구분하여 야외활동 제한 정도를 표시하고 있다(환경부, 2019a). 그러나 야외여가활동 감소는 회피행동(활동) 수요함수 접근이 필요하여, 마스크나 공기청정기 사용과 같은 재화에 대한 지출함수와는 다른 분석모형으로 독립적인 연구로 수행될 수 있다.

험인지수준을 측정한 그대로 회피비용함수에 직접 포함하는 것은 생략된 변수편의(omitted variable bias) 등에 의한 내생성 편의(endogenous bias)에 노출될 수 있다(Dickie and Gerking, 1996; Whitehead, 2006; Lloyd-Smith et al., 2018). 미세먼지 건강위험에 대한 주관적 인지수준에 근거하여 회피행동접근법을 적용하고, 이럴 경우 발생할 수 있는 내생성 편의 가능성을 반영하기 위해 도구변수접근법(Instrument Variable Approach, IV)을 적용한 것이 본 연구의 기존연구와의 차별성이라고 볼 수 있다. 2017년 10월에 전국 16개 시도에 등록된 패널을 대상으로 지역·성별·연령별로 층화추출된 웹기반 설문조사에 응답한 1,224명을 분석표본으로 사용하였다.

본 논문의 구성은 먼저 제II절에서는 정부의 미세먼지 대책과 개인들의 회피행동 그리고 주관적 위험인지 형성에 대한 검토한다. 제III절에서는 도구변수접근법을 적용하여 회피비용함수를 위험인지함수와 결합추정하기 위한 실증모형을 검토한다. 제IV절에서는 분석자료 수집을 위한 설문조사와 표본의 특성 특히 회피비용 산출과정에 대해 설명하고, 제V절에서는 위험인지함수와 회피비용함수 추정결과를 설명하고 미세먼지 위험인지 감소에 따른 편익을 측정한다. 마지막으로 제V절은 분석의 결과를 요약하고 정책적 의미를 살펴본다.

II. 미세먼지 대책과 회피행동 그리고 위험인지

1. 미세먼지 대책과 회피행동

우리나라 미세먼지(PM_{10}) 오염수준의 추이를 살펴보면 연평균 환경기준 달성률이 2007년 24%에서 2016년 72%로 상당히 개선되었지만, 일평균 환경기준 달성률은 여전히 10% 수준에 불과하다.[4] 2015년부터 측정을 시작한 초미세먼지($PM_{2.5}$)의 경우 2016년 일평균 환경기준 달성률은 11% 정도로 미세먼지와 비슷한 수준이지만 연평균 환경기준 달성률은 47%로 현저히 낮은 수준이다. 또한 미세먼지 주의보나 경보 발령횟수도 최근 들어 급격하게 증가하고 있다. 일례로 미세먼지 주의보와 경보 발령 횟수가 2015년

4) 우리나라의 미세먼지와 초미세먼지 연평균 환경기준은 각각 50μg/m^{3}과 15μg/m^{3}로 WHO가 권고하는 기준(각각 20μg/m^3, 10μg/m^3)보다 상당히 높은 편이다.

72회, 2016년 66회인데 반하여 2017년 92회로 큰 폭으로 상승하고 있다. 초미세먼지는 상황이 더 안 좋아 초미세먼지 주의보 발령 횟수가 2015년 173회, 2016년에 90회, 2017년 128회 그리고 2018년에는 300회 이상인 것으로 보고되었다(환경부, 2018).

이러한 고농도 미세먼지 발생을 줄이기 위해 정부는 2017년 9월 미세먼지 특별대책을 수립하여 2022년까지 국내배출량을 30% 감축하겠다는 목표로 선제적인 정책을 추진하고 있다(환경부, 2017). 이어서 2019년 2월 15일부터 미세먼지 정책관련 전담조직을 강화하고 미세먼지 고농도 시 대기오염물질 배출시설 가동조정, 자동차 운행제한, 학교 수업시간 단축 등을 골자로 하는 미세먼지 특별법이 시행되고 있다(환경부, 2019b). 정부에서 이처럼 다양한 미세먼지 관리 방안을 마련하여 시행하고 있지만, 우리나라의 대기정체 현상이나 중국으로부터 미세먼지 유입 등을 고려할 때 미세먼지 저감정책의 실효성을 높이기 위해서는 국민들의 자발적인 참여와 노력이 필요하다.

이러한 필요성에 부응하여 환경부는 2015년 말부터 전국을 총 19개 권역으로 구분하여 24시간 주기로 측정된 미세먼지 농도를 대기환경정보 사이트를 통하여 실시간으로 예보하고 있다. 특히 미세먼지 예보는 미세먼지 농도 측정치를 국민들이 쉽게 알 수 있도록 통합대기환경지수(CAI)로 전환하여 미세먼지 좋음, 보통, 나쁨 그리고 매우 나쁨의 4단계로 구분하여 발표하고, 건강위해를 줄이기 위한 행동지침을 같이 제시하고 있다(환경부, 2019a). 환경부(2019a)는 미세먼지 고농도시 대처요령으로 야외활동 자제 및 금지, 외출 시 마스크 착용, 외출 후 깨끗이 씻기, 물과 비타민 C가 풍부한 과일 및 야채 섭취하기, 환기 및 실내 물청소 등 실내 공기질 관리하기, 대중교통 이용 등 생활건강수칙을 제시하고 있다.

2. 회피행동으로써 마스크와 공기청정기 효능

환경부에서 구체적인 미세먼지 대응요령까지 발표하는 상황이니 소비자들의 우려와 불안을 이해할 수 있다. 이러한 소비자들의 우려에 혜택을 보는 제품이나 서비스들이 바로 공기청정기, 마스크 등이며, 더불어 호흡기계 질환자 증가로 인해 병원과 관련 의약제품 판매업체 역시 혜택을 누리고 있다(브랜드타임즈, 2019.01). 특히 내구재인 공기청정기는 2014년 50만 대 정도가 팔리는 틈새 가전이었지만 2016년 100만 대를 넘어섰고,

2018년에서는 250만 대가 판매되어 2017년(160만 대) 대비 80% 가까이 증가세를 보이며 폭발적인 성장을 기록했다(매일경제, 2019.01).

미세먼지 농도가 높은 날이 많아지면서 소비재인 마스크의 판매량도 증가하고 있는 것으로 나타났다. 2019년 1-2월 두 달 동안에 2018년 연간 매출액을 달성했다는 보도도 나오고 있다(매일경제, 2019.03). 내구재인 공기청정기와는 달리 소비재인 마스크 구매는 개당 지출액은 적지만, 보통 가정에서 지속적으로 구매가 이루어지기 때문에 일정 기간 동안 가구당 지출액은 상당할 수 있다.

미세먼지 회피행동으로 많이 언급되는 공기청정기와 마스크 사용에 따른 미세먼지 저감효과에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다. 미국 에너지부에 의하면 고성능 먼지 집진장치(High Efficiency Particulate Arrestance, HEPA) 기능이 있는 필터를 장착한 공기청정기는 0.3μm 이상의 미세먼지를 99.97% 제거할 수 있다고 발표하고 있다. 특히 HPEA 공기청정기는 $PM_{10}, PM_{2.5}$와 같이 입자가 큰 미세먼지 제거에 더 효과적인 것으로 알려져 있다(DOE, 2005). 최근 임상연구결과에 의하면 HEPA 공기청정기는 다양한 환경에서 어린이들의 천식증상 완화로 외래진료 방문감소, 염증질환이나 심장질환 감소 등의 효과가 있는 것으로 관찰되고 있다(Lanphear et al., 2011).[5)]

미세먼지 농도가 높은 날 외출에 필수품이 되어 가고 있는 마스크 착용의 효과에 대해서는 아직도 논란이 계속되고 있다. 식품의약품안전처는 황사, 미세먼지 등에 대한 방지책으로 보건 마스크를 인증하고 있다. "허가된 '보건용 마스크' 포장에는 입자차단 성능을 나타내는 'KF80', 'KF94', 'KF99'가 표시되어 있는데,[6)] 'KF(Korea Filter)' 문자 뒤에 붙은 숫자가 클수록 미세입자 차단 효과가 더 크지만, 숨쉬기가 어렵거나 불편할 수 있으므로 황사·미세먼지 발생 수준, 개인별 호흡량 등을 고려하여 적당한 제품을 선택하는 것이 바람직하다"고 밝히고 있다(식품의약품안전처, 2018).

---

5) 우리나라 공기청정기협회에서도 성능실험을 통해 규격에 맞춘 제품에 한해 'CA 마크'를 부여하고 있으며, HEPA 필터의 등급을 달리하는 공기청정기를 여러 회사에서 판매하고 있다. 다른 한편으로 2019년 2월 말에 경기도 보건환경연구원에서 10일 간 도내 79.2m^2(24평형) 아파트 공간 내에서 공기청정기 효율실험을 진행한 결과, 실내면적에 맞는 적정용량의 공기청정기를 가동할 경우, 미세먼지 제거율은 81.7%로 환기(46.2%)나 자연강하(23.8%)보다 미세먼지 제거효율이 높은 것으로 나타났다. 실내면적보다 용량이 클 경우 미세먼지 제거율이 90% 이상으로 상승하는 효과를 볼 수 있는 것으로 조사됐다(CBS 노컷 뉴스 2019.04).

6) 'KF80'은 평균 0.6μm 크기의 미세입자를 80% 이상 걸러낼 수 있으며'KF94', 'KF99'는 평균 0.4μm 크기의 입자를 94%, 99% 이상 각각 걸러낼 수 있다.

미국 흉부학회(American Thoracic Society)나 미 식품의약국(FDA)도 호흡기 질환자나 노약자는 마스크 착용 시 호흡곤란으로 폐와 심장에 무리를 줄 수 있으므로 주의를 당부하고 있다.[7] 건강한 성인의 경우에도 미세먼지 방지 마스크의 효용성은 개인의 심리상태나 밀착률이나 착용기간 등 사용상황에 따라 다르게 적용된다고 보고 있다.

3. 마스크 착용과 공기청정기 사용의 결합생산 가능성

공기청정기 사용과 마스크는 착용은 내구재와 소비재라는 재화의 특성도 다르지만 미세먼지 저감의 효능에 대해서도 앞서 살펴본 바와 같이 다른 견해들이 제시되고 있다. 특히 마스크 착용은 미세먼지 차단의 효과도 있지만 호흡기나 심장질환을 악화시킬 수 있고 불쾌감이나 고통을 수반할 수 있다고 논의되고 있다. 다른 한편으로 공기청정기는 미세먼지뿐만 아니라 진드기, 곰팡이, 꽃가루 등을 정화해 주어서 실내의 쾌적함을 더해주고 집안청소 빈도도 줄여주는 기능을 하고 있다. 이처럼 회피행동들이 의도된 건강위험 이외에 복수의 건강영향을 가져오거나 효용에 직접 영향을 미치는 결합생산(joint production) 가능성이 있다는 것이 ABM 적용의 초기부터 인지되었다. 당면한 환경오염물질 변화와 행태적 관계를 쉽게 연계할 수 있는 회피행동을 찾아서 현시선호 데이터를 구축하는 것도 어렵지만, 결합생산의 가능성 역시 회피행동접근법 실증분석의 확장에 걸림돌이 되고 있다(Dickie et al., 1987; Freeman, 2003).

소비자들의 선택이나 행동으로 도출되는 다양한 결합생산물(혹은 서비스) 중 관련된 오염물질 노출에 따른 건강영향이라고 볼 수 있는 부분을 기술적으로 명확히 규명하는 것이 쉽지 않기 때문에, ABM 적용에 있어서 결합생산의 가능성을 인지는 하지만 실증분석을 수행하지는 않는 편이다. 대신에 회피행동 수요 혹은 비용함수 추정으로 도출되는 편익측정치는 관련 회피행동으로 발생할 수 있는 결합생산물로 인한 후생효과의 하한치(혹은 상한치)로 인정하고 있다(Bartik, 1988; Freeman, 2003). 내구재와 소비재로

7) 미국 흉부학회(American Thoracic Society)는 1996년 배포한 보호용 마스크 가이드라인을 통해 "보호용 마스크 착용이 숨쉬기를 힘들게 만들어 폐와 심장에 무리를 줄 수 있다"고 밝히고 있다. 또한 2008년 제작 배포한 환자용 교육자료를 통해, "폐 및 심장질환이 있는 사람은 마스크 착용 시 호흡 곤란이 있을 수 있으므로 의사와 상의해야 한다"고 권고하고 있다. 미 식품의약국(FDA)도 "만성적인 호흡기, 심장 질환 또는 다른 의학적 문제가 있는 경우 N95 마스크를 사용하기 전 의료진과 상담해야 한다. N95 마스크가 착용자의 호흡을 더욱 곤란하게 만들 수 있기 때문이다"고 경고하고 있다.

재화의 성격도 다르고 결합생산의 특성도 다르다고 판단되어, 본 연구는 마스크 착용과 공기청정기 사용의 회피비용함수를 각각 독립적으로 추정하였다.[8)]

4. 주관적 위험인지와 회피행동

대기오염물질 노출로 인한 건강위험에 대응하는 개인들의 회피행동을 위한 의사결정은 보통 주관적으로 인지한 위험수준에 근거하는 것으로 알려져 있다(Dickie and Gerking, 1996; Eom, 1997). 그러나 미세먼지 노출에 의한 건강위험과 같이 작은 확률의 건강위해 가능성에 대해 일반 개인들은 인지하는 데 어려움을 겪고 있어서 전문가들이 평가하는 객관적 건강위험 수준과 차이가 있는 것으로 관찰되고 있다(Slovic et al., 1985, 2004). 소비자들이 고농도 미세먼지 수준과 그에 따른 건강위해 가능성에 대해서 다양한 언론매체를 통해 계속 접하게 되면 공포수준에 가까운 우려를 하게 되어 주관적 위험인지수준이 일정수준 이상으로 높아질 수 있다. 정부가 이미 상당한 재원을 들여서 미세먼지 저감을 위한 적극적인 정책들을 수행하여 객관적 미세먼지 농도가 실제로는 감소하고 있는데도, 개인들은 높은 주관적 위험인지에 근거하여 적극적인 회피행동을 취한다면 사회전체가 치루는 사회적 비용은 효율적인 수준을 넘어 훨씬 커질 수 있을 것이다. 다른 한편으로 예상치 않은 기후상황으로 중국으로부터 다량의 미세먼지가 유입되는 상황이 발생하고, 예보제를 통하여 고농도 미세먼지 정보를 제공하는데도 개인들의 위험인지 수준이 낮아서 적극적으로 대응하지 않는다면, 미세먼지 농도-반응 관계를 통해 개인들이 입는 건강위해는 상당할 수 있을 것이다.

또한 주관적 위험인지 수준은 위험상황에 대해 형성된 신념이나 정보수준 정도에 따라 이질적일 수 있어서 개인들의 지식, 태도, 경험 그리고 인구통계학적 요인들에 영향을 받는 것으로 관찰되고 있다(Slovic et al., 2004; 엄영숙· 최원철, 2004; Whitehead, 2006). 이러한 측면에서 개인들의 회피비용 의사결정에 영향을 미치는 요인들을 추정할 때 객관적 위험측정치보다는 개인들이 인지하는 주관적 위험수준을 포함하는 것이 적절할 수 있다.

8) 최근에 중국에서 수행된 초미세먼지 건강위험에 대한 회피행동 실증분석 사례도 마스크와 공기청정기 구매행위를 각각 살펴보았다(Lui et al., 2018; Ito and Zhang, 2016).

III. 회피비용함수 실증모형: 주관적 위험인지와 도구변수접근법

미세먼지 건강위험을 인지하는 개인들이 미세먼지 차단용 마스크를 구매하여 외출 시 사용하거나 공기청정기를 구매하여 실내에서 사용하는 회피행동을 취한다고 하자. 개인들이 인지하는 주관적 위험수준 π에 근거하여 선택하는 회피행동에 따른 지출함수를 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다고 하자(Bartik, 1988; Whitehead, 2006; 엄영숙, 1998).[9)]

$$C_i = \beta' X_{1i} + \beta_\pi \pi_i + \epsilon_{1i}, \quad i = 1, ..., n \tag{1}$$

여기서 X_{1i}는 개인들의 회피행동 지출의사결정에 영향을 미치는 일련의 변수들을, π_i는 주관적인 건강위험 인지수준을 나타낸다. 회피행동 유형(마스크 착용 vs. 공기청정기 사용)에 따라서 포함되는 X_1 변수들이 다를 수 있다. 특히 객관적인 미세먼지 농도수준을 나타내는 α가 직접 회피비용함수에 영향을 미칠지(즉 $C(\pi_i, \alpha)$) 아니면 주관적 위험인지수준에 영향을 미침으로써 간접적으로 영향을 미칠지($C(\pi_i(\alpha))$는 실증분석의 몫이다. ϵ_{1i}는 정규분포를 취하는 오차항으로 가정한다.

개인들 중 일부는 회피행동을 전혀 취하지 않아서 회피비용이 발생하지 않는다면 회피비용함수 C_i는 식 (2)와 같이 0에서 절단된(censored) 토빗모형으로 설정할 수 있다.

$$C_i = \begin{cases} C_i^* = \beta' X_{1i} + \beta_\pi \pi_i + \epsilon_{1i} & \text{if } C_i^* > 0, \\ 0 & \text{if } C_i^* \leq 0, \end{cases} \tag{2}$$

여기서 C_i^*는 분석자들의 입장에서 관찰되지 않은 참 회피비용을 나타낸다. 회피비용함수가 토빗모형으로 추정되면 위험인지변수 1단위 변화에 따른 한계효과는 토빗모형의 계수추정치에 $C = C^*$일 확률을 곱하여 식 (3)과 같이 도출된다.

---

9) 식 (1)의 회피행동 지출함수는 Bartik(1988)이 도출한 특정 환경질을 일정수준으로 유지하기 위하여 개인들이 지출하는 방어적 지출함수(defensive expenditure)의 개념을 미세먼지 노출에 따른 건강위험 상황으로 확대 적용하였다. 즉 일정한 건강위험 인지수준에서 이루어지는 회피비용(C(π,α))을 항목으로 포함하는 소득제약조건 하에서 효용을 극대화하고자 하는 개인들은 위험인지에 대한 한계가치와 한계비용이 일치하는 점에서 회피행동 의사결정을 하게 된다고 보았다.

$$ME = \frac{\partial E(C_i/X_i, \pi_i)}{\partial \pi_i} = \beta_\pi \Phi(\frac{\beta' X_{1i} + \beta_r \pi_i}{\sigma}) \quad (3)$$

여기서 $\Phi(.)$는 표준정규누적분포로서 정의 회피비용을 관찰하게 될 확률을 의미한다. 식 (2)에서 위험인지변수 π_i의 계수추정치 β_π가 바로 식 (3)으로 표기된 위험인지 감소에 따른 한계지불의사를 측정하는 데 중요하기 때문에 β_π의 정확하고 일관성 있는 추정이 중요하다.

그런데 식 (2)의 오차항 ϵ_{1i}에 포함된 회피비용 의사결정에 영향을 미치는 관찰되지 않은 요소들 역시 건강위험 인지수준 π_i와 상관관계가 있다면 생략된 변수(omitted variable) 편의가 발생할 수 있을 것이다. 다시 말하면 π변수와 오차항 ϵ_1 사이에 상관관계가 존재할 수 있다(즉 $cov(\pi, \epsilon_1) \neq 0$)는 것이다. 그러한 상황에서 위험인지 수준(π_i)을 외생변수로 취급하여 토빗모형을 추정하는 것은 π_i변수의 계수추정치 β_π에 내생성 편의를 일으킬 수 있다. 이러한 편의 가능성을 반영하여 위험인지변수에 대한 도구변수(instrument variables)접근법을 적용하고자 한다.

앞서 언급한 바와 같이 개인들의 주관적 위험인지수준이 개인들의 지식, 태도 및 경험 그리고 인구통계학적 변수들에 의해 영향을 받고 있는 것으로 관찰되고 있다. 그리하여 내생변수 가능성이 있는 위험인지변수를 식 (4)와 같이 함수로 나타낼 수 있다.

$$\pi_i = \gamma_1' X_{1i} + \gamma_2' X_{2i} + \epsilon_{2i} \quad (4)$$

여기서 X_{2i}는 주관적 건강위험 인지에 영향을 미치는 도구변수들을 나타내며, 식 (4)의 위험인지수준 π와는 연관성이 강할수록 좋지만(즉 $cov(X_2, \pi) \neq 0$), 식 (2)의 회피비용함수 오차항과는 상관관계가 없는 도구변수들을($cov(X_2, \epsilon_1) = 0$) 찾는 것이 관건이라고 볼 수 있다(Cameron and Trivedi, 2005; Wooldridge, 2008). 다시 말하면 식 (4)의 위험인지함수에서 설명변수 X_2들은 회피비용함수에는 포함되지 않는식별변수들(identifying variables)로서, 위험인지함수 π_i에서는 설명력이 높지만 회피비용함수 C_i와의 상관성이 없는 변수들이 선정되는 것이 적절하다(Whitehead, 2006; Wooldridge, 2008).[10]

위험인지변수의 내생성을 통계적으로 검정하고 일관성 있는 추정을 위해 두 가지 추

정방법을 적용하고자 한다. 우선 식 (4)의 위험인지함수 π_i를 식 (2)의 회피비용함수에 대체하면 식 (5)와 같이 축약함수(reduced function)형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} C_i &= \beta' X_{1i} + \beta_\pi(\gamma_1' X_{1i} + \gamma_2' X_{2i} + \epsilon_{2i}) + \epsilon_{1i} \\ &= \beta' X_{1i} + \beta_\pi(\gamma_1' X_{1i} + \gamma_2' X_{2i}) + (\beta_\pi \epsilon_{2i} + \epsilon_{1i}) \end{aligned} \tag{5}$$

만약에 주관적 위험인지수준과 회피비용 모두에 영향을 미치는 관찰되지 않은 변수들이 있다면 오차항들 간에 상관관계가 존재할 수 있고, 결과적으로 위험인지함수 계수 β_π의 추정에 편의가 발생할 수 있다. 이러한 경우 먼저 식 (4)의 위험인지함수를 추정한 뒤 예측치 $\widehat{\pi_i}$ 를 식 (5)에 설명변수로 대입하여 식 (6)과 같이 추정하는 일종의 2단계 추정방법을 적용할 수 있다(Whitehead, 2006).

$$C_i = \beta' X_{1i} + \beta_\pi \widehat{\pi_i} + \nu_i \tag{6}$$

식 (2)와 (4)에서 설명변수들 X_1과 X_2는 식 (2)의 오차항과 상관성이 없는 것으로 가정하였기 때문에, 식 (6)의 오차항 υ_i가 식 (4)의 오차항 ϵ_2과 상관이 없을 때만이, 위험인지변수 π_i의 외생성이 담보된다고 볼 수 있다. 이 점을 이용하여 2단계 추정방법을 적용하였을 경우 π_i변수의 외생성 검정은 식 (4)에서 위험인지함수를 추정하여 잔차 $\widehat{\epsilon_{2i}}$를 구하고, 식 (2)에 설명변수로 추가하여 토빗모형을 추정한 뒤, 잔차예측치 $\widehat{\epsilon_{2i}}$ 계수추정치의 통계적 유의성을 살펴봄으로써 수행할 수 있다(Wooldridge, 2008).

다른 한편으로 식 (2)의 회피비용 토빗모형과 식 (4)의 위험인지함수를 식 (7)과 같이 연립방정식모형으로 간주하고, 두 오차항(ϵ_1과 ϵ_2)의 상관계수의 추정까지 가능한 완전정보최대우도(full information maximum likelihood) 기법으로 결합추정(joint estimate)할 수 있다(Whitehead, 2006; Lloyd-Smith et al., 2018).

---

10) 회피비용함수(식 (2))에서 외생변수들인 X_1가 식 (4)에도 포함된 것은 X_2 변수들과 마찬가지로 X_1 변수들도 회피비용함수와 위험인지함수의 오차항 ϵ_1과 ϵ_2와 상관성이 없다고 가정되었기 때문이다. 즉 $Cov(X_1, \epsilon_1) = 0$, $Cov(X_1, \epsilon_2) = 0$. 식 (4)에서 도구변수로서 식별조건은 $\gamma_2 \neq 0$이다.

$$
\begin{aligned}
C_i &= \begin{cases} C_i^* = \beta' X_{1i} + \beta_\pi \pi_i + \epsilon_{1i} & \text{if } C_i^* > 0, \\ 0 & \text{if } C_i^* \le 0, \end{cases} \\
\pi_i &= \gamma_1{}' X_{1i} + \gamma_2{}' X_{2i} + \epsilon_{2i} \\
\rho &= corr(\epsilon_{1i}, \epsilon_{2i})
\end{aligned} \tag{7}
$$

결합추정방법을 적용하였을 경우 회피비용함수 C_i에서 위험인지함수 π_i의 외생성 검정은 식 (7)에서 결합추정된 ρ의 통계적 유의성 검정을 통해 가능하다(Green, 2008; Wooldridge, 2008).

IV. 자료수집 및 표본의 특성

1. 설문조사 자료수집과 주요문항

본 연구의 실증분석에 쓰인 표본은 미세먼지에 대한 개인들의 인식 및 태도 그리고 회피 및 완화행동과 비용지출 등에 대해 살펴보기 위해 실시된 설문조사를 통하여 수집되었다. 본 설문조사는 전국의 만 19세 이상의 성인 남녀 1,224명을 대상으로 2017년 10월 23일부터 11월 6일 동안 웹기반 조사로 이루어졌다. 표본의 설계는 전국을 대상으로 지역별, 성별 그리고 연령별로 비례할당 추출로 이루어졌다. 총 2,108명에게 설문 참여의향을 물었고 그중 1,224명이 응답하여 설문응답율은 58.1%를 기록하였다.

설문지는 우선 응답자 거주지를 중심으로 미세먼지를 포함한 대기오염에 대한 인식과 지식 그리고 정보수집 등에 대하여 질문을 하였다. 뒤를 이어서 환경부나 언론 등에서 자주 논의되는 미세먼지 노출을 피하기 위하여 개인들이나 가구에서 취할 수 있는 활동이나 대응요령들을 제시하고 2017년 봄철(3월에서 6월)동안의 참여 및 수행 정도에 대하여 질문하였다. 이어서 같은 봄철 동안 응답자 본인이나 가족들이 경험한 미세먼지 노출관련 증상들과 이로 인한 외래진료나 입원치료 경험과 구체적인 시간과 비용관련 정보를 질문하였다. 나아가서 우리나라 대기오염 저감정책에 관한 질문과 자세한 인구통계학적 질문으로 설문을 마무리하였다.

본 연구는 미세먼지 노출 저감을 위한 회피행동들 중 언론이나 문헌에서 가장 많이 논

의되고 있는 2가지 유형의 활동에 대해 지출비용을 산정할 수 있도록 구체적으로 질문하였다. 즉 지난 봄철 동안 '미세먼지 노출을 줄이기 위하여' 실내에서 공기청정기를 사용하였는지 질문하고, 사용하였다고 응답한 가정에 대해서 구매하여 사용하는지 아니면 대여하여 사용하고 있는지 질문하였다. 공기청정기 구매 가정에는 구입가격과 필터 교환 및 유지비에 대하여 질문하였으며, 구매가격을 기억하지 못하는 응답자들에게는 제품모델과 집의 평수를 질문하였다. 공기청정기를 대여하고 있다는 응답자들에게는 월평균 렌탈비에 대하여 질문하였다. 지난 봄철 동안 '미세먼지 노출을 줄이기 위하여' 외출 시 마스크를 착용하였다고 응답한 사람들에게는 가족들이 대략 몇 개의 마스크를 구입하였는지, 낱개로 구입하였는지 혹은 묶음으로 구입하였는지 질문하였다.

다른 한편으로 미세먼지 노출에 따른 건강위해 가능성에 대한 주관적 인지수준은 '지난 봄철과 같은 수준의 미세먼지에 매년 노출된다고 가정할 때 호흡기 질환 등 건강상 해를 입어 결국 조기사망하게 될 가능성이 얼마나 된다고 생각하느냐?'는 질문에 0에서 10까지의 11단계 선형척도상에 응답하도록 질문하였다.[11] 여기서 0은 '전혀 위험이 없다'를 10은 '위험이 매우 높다'를 나타내는 것으로 설명하였다. 주관적 위험인지 수준을 초미세먼지와 미세먼지로 구분하지 않고 질문한 이유는 설문지 수정 단계에서 수행한 표적집단토론회(FGI)에서 여러 경로로 파악한 결과 일반인들이 미세먼지와 초미세먼지에 대한 지식이 많다고 볼 수 없었고, 둘의 차이에 대한 지식도 크지 않은 것으로 나타났다.[12] 그리하여 주관적 위험인지 질문은 미세먼지 노출관련 위험으로 한정하였다.

2. 표본의 특성

1) 마스크 착용과 공기청정기 사용에 따른 회피비용 산정

총 표본 중 535가구(44%)가 미세먼지 노출을 줄이기 위해서 집에서 공기청정기를 사용하고 있다고 응답하였다. 이들 중 439가구가 공기청정기를 구매하여 사용하고 나머지 66가구는 대여하여 사용하고 있으며, 나머지 30명은 구매와 대여 모두 하고 있다고 응답

11) 미세먼지에 의한 건강위험은 보통 상당히 작은 확률 수치이므로 직접 확률을 측정하기는 쉽지 않다, 그래서 설문조사에서 1에서 10 혹은 1에서 5(Whitehead, 2006) 또는 1에서 20(Dickie and Gerking, 1996)과 같이 선형척도상에서 개인들의 주관적 위험인지를 측정하는 대리변수를 사용하기도 한다.

12) 후술하겠지만 미세먼지와 초미세먼지에 대한 응답자들의 지식수준은 본 설문조사 결과에서도 표적집단토론회에서와 유사한 결과를 보였다.

하였다. 외출 시 미세먼지 노출을 피하기 위하여 마스크를 구입해 본 경험이 있는 응답자 565명으로 표본의 46% 정도를 점하였다. 표본에서 두 가지 유형의 회피행동을 모두 참여하고 있다고 응답한 사람은 286명으로 공기청정기 사용가구의 53% 그리고 마스크 착용자의 51%를 점하였다.

내구재인 공기청정기 사용에 따른 회피비용은 구입가격을 월 상환액으로 나타내기 위해서 공기청정기 구입비에 자본회귀계수를 곱하여서 산정하였다.[13] 보통 공기청정기의 내구연한은 브랜드에 따라 다를 수 있지만 고장이 나서 교체하기 보다는 더 좋은 기능의 모델이 나와서 바꾸기도 하여 내구연한은 평균 5년으로 산정하였다.[14] 할인율은 한국개발연구원(2008)에서 투자사업의 적정 사회적 할인율로 간주하고 있는 5.5%를 적용하였다. 소비재인 미세먼지 마스크는 한 개 단위로 구매하기도 하고 10개 이상 묶음으로 구매하기도 하여 단위당 가격에 대한 정보가 미흡하여 평균 단가를 1,500원으로 적용하였다.[15] 각각의 회피행동에 참여한 표본가구의 월 평균 공기청정기 사용관련 비용은 월 평균 42,692원, 마스크 구입비용은 19,895원으로 요약되었다.

2) 응답자들의 주관적 위험인지 등 표본의 특성

미세먼지와 초미세먼지에 대해서 얼마나 잘 알고 있다고 생각하는지 1에서 5점 척도상에 묻는 질문에 미세먼지에 대해서는 평균 2.9를 초미세먼지에 대해서는 2.8를 점하여 응답자들이 미세먼지와 초미세먼지에 대하여 잘 알고 있다고 보기 어려웠다. 또한 미세먼지(PM_{10})와 초미세먼지($PM_{2.5}$)의 차이에 대해 어느 정도 알고 있느냐는 질문에 대해 역시 5점 척도상 평균이 2.7로 차이를 잘 알고 있다고 보기도 어려웠다.

응답자들의 위험인지 평균이 6.7을 나타내어 미세먼지 노출에 의한 건강위험을 상당

---

13) 월상환액 = 초기 구입비*($\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n-1}$), 여기서 $\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n-1}$는 자본회귀계수이고 r는 연 할인율이며 n은 내구연한이다. 내구연한을 5년과 10년으로 구분하여 월 상환액을 산정한 결과 평균 4,000원 정도 차이가 났고 실증분석 결과에는 크게 영향을 미치지 않았다.

14) 10명으로 구성된 표적집단토론회(FGI)에 참석한 소비자 모니터링요원들에 따르면 모델에 따라 10년 정도도 쓸 수 있을 것이라고 생각하지만 기능이 개선된 제품의 출시주기가 빠르기 때문에 내구연한은 5년 정도가 적절하다고 보았다.

15) 미세먼지 차단용 마스크를 약국에서 낱개로 구입하면 3,000원~4,000원 정도하고, 묶음으로 인터넷에서 구입하면 개당 1,000원 이하로 계산되었다. 마스크 구매방식에 대한 질문이 없었으므로 개당 1,500원 정도로 계산하였다.

한 수준으로 인지하고 있는 것으로 나타났다. 위험인지 분포를 살펴보면 건강위험이 4 이하는 12% 정도를 점한 반면 8 이상이 37% 정도 그리고 매우 위험한 수준인 10이라고 응답한 사람도 10%가 넘었다. 객관적 위험추청치를 반영하는 2017년 봄철(3월에서 6월) 동안 미세먼지와 초미세먼지 농도는 응답자들 거주지가 속한 16개 시도의 시·군단위의 평균값으로 매칭하였다.[16] 동기간 동안 미세먼지 농도의 전국 평균은 55.7μg/m^3 이었고 초미세먼지 농도의 전국평균은 27.8μg/m^3이었으며, 미세먼지와 초미세먼지 농도의 상관계수는 0.57 정도로 나타났다. 같은 기간 동안 미세먼지 나쁨(80μg/m^3) 이상이 14일 정도인 반면에 초미세먼지 나쁨(35μg/m^3) 이상은 27일 정도인 것으로 측정되었다.

흥미롭게도 우리나라 대기오염원으로서 가장 크게 영향을 미치는 요인으로서 응답자들의 70% 이상이 중국으로부터 유입되는 황사나 미세먼지 등의 오염물질이라고 대답하였다. 응답자들의 70% 정도가 여러 형태의 호흡기 증상이나 질환을 경험한 것으로 대답하였다. 응답자들의 위험인지수준과 회피비용지출 의사결정에 영향을 미치는 인구·통계학적 변수들로는 응답자들의 성별, 연령, 교육수준 그리고 가구소득 변수가 포함되었다. <표 1>은 분석에 사용될 변수들의 정의와 표본의 특성을 요약하고 있다.

V. 실증분석 결과

마스크 착용에 따른 회피비용함수 추정결과는 <표 2>에 그리고 공기청정기 사용에 따른 회피비용함수 추정결과는 <표 3>에 제시하고 있다. 앞 절에서 살펴본 실증모형의 전개과정을 반영하여, <표 2>와 <표 3>에서 모형 (1)과 (2)는 각각 위험인지함수의 내생성을 고려하지 않고 독립추정 한 결과를 제시하고 있다. 반면에 내생성 편의 가능성을 고려했을 경우 모형 (3)은 2단계 추정결과를[17] 그리고 모형 (4)와 모형 (5)는 연립방정식 형태의 결합추정결과를 제시하고 있다. 위험인지함수는 최소자승법(OLS)을 적용하여 추정한 반면에,[18] 회피비용함수는 토빗모형으로 추정하였다.

16) 봄철기간 미세먼지 농도는 응답지 거주지의 GPS 좌표를 이용하여 환경부 예보 사이트인 *Air Korea*에서 전국 지역별 257개 측정망 중 응답자들의 거주지와 가장 가까운 동이나 구 단위가 속한 측정소와 세세하게 매칭을 시도하였지만, 시·군구 단위로 집계한 농도보다 실증분석 시 통계적인 유의성이 더 적었다.

17) 2단계 추정에서 1단계 위험인지함수 추정결과는 <표 1>과 <표 2> 모두 독립추정 결과인 <모형 1>과 같아서 생략하였다.

〈표 1〉 분석에 사용된 변수의 정의와 표본의 특성

변수명		변수의 정의	Mean (S.D)
대기질 관련 변수	SRisk_*PM*	미세먼지 노출에 의한 주관적인 건강위해 가능성: 0-10 선형척도	6.7 (2.1)
	SMean_PM_{10}	2017년 봄철(3월~6월) 동안 거주지 인근 미세먼지(PM_{10}) 농도(μg/m^3)	55.7 (8.1)
	ChinaSource	우리나라 미세먼지 발생이 중국으로부터 유입이 가장 큰 원인이라고 생각하면 =1;	0.72 (0.45)
지식/ 경험/ 행동 변수	Know_PM_{10}	PM_{10}에 대한 지식의 정도: 1: 전혀 알지 못한다, ... 5: 매우 잘 알고 있다.	2.8 (0.81)
	RSymptom	2017년 봄철(3-6월) 동안 호흡기 질환 경험 =1;	0.7 (0.46)
	Vitamin Take	비타민 C등 건강증진식품을 먹는다면 =1;	0.67 (0.47)
인구·통계학적 변수	Income	응답자 가구소득(백만원/월)	4.74 (2.5)
	Gender	응답자의 성별(남자=1)	0.49 (0.5)
	Age	응답자들의 나이(세)	44.9 (13.6)
	Over 50	응답자의 나이가 50세 이상이면 =1;	0.39 (0.49)
	College	응답자가 대학재학 이상이면 =1;	0.77 (0.42)
	Married	응답자가 기혼자이면 =1;	0.70 (0.46)
	# Child	5세미만 아동 수(명)	0.2 (0.55)
종속 변수	회피비용 *C*	구매 가구의 월간 마스크 구매비용(천원)	19.895 (21.571)
	회피비용 *C*	사용 가구의 월간 공기청정기 사용비용(천원)	42.692 (19.627)

1. 위험인지함수의 도구변수 선정과 추정결과

회피비용함수(식 (2)) 추정에 있어서 설명변수로 포함된 위험인지변수(π_i)의 내생성 우려를 반영한 위험인지함수(식 (4)) 추정에 포함 된 도구변수(X_{2i})로는 우선적으로 2017년 봄철동안 응답자 거주지가 속한 구나 시·군 단위의 미세먼지 평균농도 변수(*SMean_*PM_{10})이다. 나머지 도구변수들은 Wooldridge(2008)가 제시한 바와 같이 인식 및 태도 그리고 인구통계학적 변수 등 위험인지 문헌에서 제시하는 예상 가능한 외생변수들을 모두 포함하여 추정한 뒤, 위험인지 수준의 변화에 대한 설명력이 큰 변수들

18) 물론 주관적 건강위험인지수준은 0에서 10의 선형척도로 숫자가 커질수록 우려의 수준도 증가하는 일종의 순위서열척도로 측정되었다고 볼 수 있다. 그리하여 순위프로빗모형 등이 적용될 수 있으나. 토빗모형 회피비용함수와 결합추정 시 로그우도함수의 단순화를 위하여 최소자승법(OLS)을 적용하였다(Whitehead, 2006). 또한 <표 1>과 <표 2>의 모형 (1)에 제시된 OLS 추정결과는 순위프로빗모형으로 추정 했을 경우와 비교하여 설명변수들의 부호나 통계적 유의성에 차이가 없는 것으로 나타났다.

〈표 2〉 마스크 착용 회피비용함수 추정결과

변수 구분		독립적 추정		2단계 추정	결합추정	
		위험인지 모형 1	회피비용 모형 2	회피비용 모형 3	위험인지 모형 4	회피비용 모형 5
Intercept		4.732 (9.37)	-36.039 (-3.27)	-49.98 (-1.86)	4.682 (9.24)	-52.08 (-1.88
주관적 · 객관적 미세먼지 위험	SRisk_*PM*		2.683*** (3.24)	4.418 (1.10)		4.721 (1.14)
	SMean_PM_{10}	0.0185*** (2.53)			0.018*** (2.59)	
지식/ 경험/ 행동 변수	RSymptom	0.722*** (5.70)	9.776 (2.99)***	8.372* (1.83)	0.718*** (5.66)	8.171* (1.76)
	Know_PM_{10}	0.281*** (3.87)	4.094* (1.69)	3.598* (1.71)	0.207* (1.63)	3.531* (1.66)
	ChinaSource	0.366*** (2.90)			0.373*** (2.97)	
	Vitamin Take		10.198*** (3.00)	10.101*** (3.20)		10.131*** (3.20)
인구 · 통계학적 변수	HIncome		0.018 (0.34)	0.0014 (0.25)		0.0014 (0.24)
	Gender	-0.196* (-1.72)	-6.324** (-2.16)	-6.042** (-2.05)	-0.194* (-1.70)	-6.009** (-2.03)
	Age	-0.022*** (-5.11)	-3.025*** (-2.54)	-0.026* (-1.81)	-0.022*** (-5.08)	-0.253* (-1.74)
	College	0.443*** (3.29)			0.413*** (2.92)	
	# Child	0.359*** (3.59)			0.359*** (3.48)	
Sigma σ			43.24*** (7.53)		43.26*** (31.42)	
N		1,224				
R^2		0.11				
F or LOGL		18.1	4.47	58.8	58.8	
Wald χ^2 통계량[a]				0.24 (0.63)	0.22 (0.62)	

주: 괄호안의 수치는 t값을 의미함.
[a]: Wald χ^2 통계량은 내생변수 가능성이 있는 위험인지 π변수의 외생성 검정을 위한 통계량임.
*, **, ***는 각각 유의수준 10%, 5%, 1%에서 통계적으로 유의함을 나타냄.

〈표 3〉 공기청정기 사용 비용함수 추정결과

변수 구분		독립적 추정		2단계 추정	결합추정	
		위험인지 모형 1	회피비용 모형 2	회피비용 모형 3	위험인지 모형 4	회피비용 모형 5
Intercept		4.732 (9.37)	-66.765 (-7.81)	132.7 (-6.19)	4.546 (8.92)	-133.2 (-6.25)
주관적·객관적 미세먼지 위험	SRisk_*PM*		1.880*** (2.54)	12.714*** (3.92)		12.983*** (3.95)
	SMean_PM_{10}	0.0185*** (2.53)			0.020*** (3.06)	
지식/경험/행동 변수	RSymptom	0.722*** (5.70)			0.665*** (5.41)	
	Know_PM_{10}	0.281*** (3.87)	7.800*** (3.97)	4.664** (2.06)	0.17 (1.46)	4.734** (2.09)
	ChinaSource	0.366*** (2.90)			0.341*** (2.89)	
	Vitamin Take		8.769*** (2.64)	7.662** (2.13)		7.279* (2.02)
인구·통계학적 변수	HIncome		0.0245*** (4.08)	0.0231*** (3.47)		0.0234*** (3.51)
	Gender	-0.196* (-1.72)			-0.146 (-1.39)	
	Age/Over 50[a]	-0.022*** (-5.11)	-16.137*** (-4.64)	-6.865 (-1.51)	-0.022*** (-2.69)	-6.643 (-1.45)
	College	0.443*** (3.29)			0.452*** (3.52)	
	#Child	0.359*** (3.59)			0.358*** (3.58)	
	Married		23.886*** (6.14)	22.073*** (5.43)		21.914*** (5.36)
Sigma σ			46.26*** (29.11)	1.381*** (43.71)	46.0*** (28.54)	
상관계수 ρ					-0.46*** (-3.69)	
N		1,224				
R^2		0.12				
F or LOGL		18.1	17.22	100.6	-100.9	
Wald χ^2통계량[b]				13.4*** (0.0003)	12.4*** (0.0004)	

주: 괄호안의 수치는 t값을 의미함.

[a]: 위험인지함수(모형 1, 4)에서는 Age변수가 회피비용함수(모형 2와 5)에서는 50세 이상을 나타내는 Over 50 더미변수가 설명변수로 포함됨. Over 50 더미변수의 선정은 Age변수를 20대를 기준으로 나이 대 별로 더미변수를 형성하고 추정한 결과 50세 이후부터가 상대적으로 유의하였기 때문 임.

[b]: Wald χ^2 통계량은 내생변수 가능성이 있는 위험인지 π변수의 외생성 검정을 위한 통계량임.

*, **, ***는 각각 유의수준 10%, 5%, 1%에서 통계적으로 유의함을 나타냄.

위주로 선택하였다. 두 유형의 회피비용함수(<표 2>와 <표 3>) 모두 위험인지함수에 대해 똑같은 도구변수들을 선정하였다. 호흡기 증상경험여부(*RSymptom*)과 미세먼지 주오염원이 중국발이라는 인식(*ChinaSource*) 변수들과 아울러 대학재학 이상 더미변수(*College*), 나이(*Age*), 성별(*Gender*) 그리고 5세 미만 유아 수(*# Child*) 변수들이 도구변수로 포함되었다.

<표 2>와 <표 3>에서 독립적으로 추정하거나(모형 1) 결합적으로 추정하거나(모형 4) 상관없이 위험인지함수(*SRisk_PM*)에 포함된 설명변수들 대부분이 예상된 부호를 가졌고 통계적으로 유의하였다. 특히 미세먼지 농도가 높은 지역에 거주하는 응답자들일수록 주관적 위험인지도 높은 것으로 나타났다. 미세먼지 농도가 객관적 위험수준의 대리변수로 사용된 점을 고려하면 응답자가 거주하는 지역의 객관적 위험수준이 높을수록 주관적 위험수준도 높은 것으로 볼 수 있다. 우리나라 대기오염 발생의 주원인이 중국에서 넘어오는 미세먼지에 의한 것이라고 생각하는 사람들일수록 위험인지수준이 높았다. 인구통계학적 요인으로는 나이가 많거나 남성일수록 위험인지수준이 낮은 것이 눈에 띈다. 반면에 교육수준이 높거나 5세 미만의 어린이가 있는 응답자들의 위험인지수준이 높은 것으로 나타났다.

2. 마스크 착용 및 공기청정기 사용 회피비용함수 추정결과

마스크와 공기청정기 회피비용함수 추정결과는 위험인지변수의 내생성 반영방식에 따라서 구분하여 <표 2>와 <표 3>에 제시하고 있다. 위험인지함수 추정에 포함된 도구변수들은 같은 변수들을 선정한 반면에, 두 유형의 회피비용함수 추정에 포함된 설명변수들은 통계적 유의성과 위험인지변수 계수추정치의 보수적 추정이라는 기준에 의거하여 선정하였다.[19] 또한 응답자 거주지역의 미세먼지와 초미세먼지 평균농도변수를 회피비용함수(식 (5)) 추정에서도 설명변수로 직접 포함하였으나 통계적으로 유의하지

19) 후술하겠지만 마스크 회피비용함수에서 위험인지변수의 내생성이 통계적으로 검증되지 않았지만, 공기청정기 회피비용함수에서는 위험인지변수의 내생성이 통계적으로 유의하였다. 이렇게 다른 결론이 나오는데 도구변수들의 차이를 배제하기 위하여 같은 도구변수들을 포함하였다. 다른 한편으로 두 유형의 회피비용함수 추정에 동일한 설명변수들을 포함할 경우 공기청정기 회피비용함수에서 내생변수인 위험인지변수의 계수추정치가 훨씬 크게 추정되었다. 그렇지 않아도 <표 3>에서 결합추정 시(모형 (5)의 12.983) 독립추정 시(모형 (2)의 1.880)보다 위험인지변수의 계수추정치가 6-7배 크게 추정되기 때문에 내생변수의 보수적 추정을 염두에 두고 통계적으로 유의한 변수들을 공기청정기 비용함수 추정에 포함하였다.

않았다.

우선 <표 2>에 요약된 마스크 착용 비용함수에서 위험인지변수(*SRisk_PM*)는 내생성을 고려하지 않고 독립적으로 포함시켰을 때는(모형 2) 통계적으로 유의하였지만, 내생성을 반영한 2단계 추정(모형 3)이나 결합추정(모형 5)에서는 통계적으로 유의하지 않았다. 반면에 <표 3>에 요약된 공기청정기 사용 비용함수 추정결과는 위험인지변수는 3가지 추정방법 모두에서 통계적으로 유의하였다. 나아가서 내생성을 고려한 결합추정(모형 5)이나 2단계 추정모형(모형 3)의 위험인지변수 계수추정치(각각 12.983와 12.714)가 독립추정모형의 계수추정치(1.880)보다 6~7배가량 높은 것으로 나타났다.[20] 다시 말하면 미세먼지 노출에 따른 건강위험이 높다고 인지하고 있는 응답자들일수록 마스크 착용이나 공기청정기 사용으로 회피비용 지출이 많지만, 위험인지변수가 마스크 착용 비용함수에서는 내생적이라고 보기 어려운 측면이 있는 반면, 공기청정기 비용함수에서는 내생성을 고려하지 않으면 편의가 발생할 가능성이 크다고 볼 수 있다.

그리하여 마스크 착용 비용함수는 독립적 추정결과(모형 2)를 그리고 공기청정기 사용 비용함수는 2단계 추정(모형 3)이나 결합추정 결과(모형 5) 중심으로 살펴보고자 한다. 미세먼지에 대해서 잘 알고 있다고 생각하거나 평소에 건강보조식품 섭취 등 면역력 증강에 신경을 쓰는 사람들일수록 두 종류의 회피비용 지출이 모두 높은 것으로 나타났다. 다른 한편으로 마스크 착용의 경우 호흡기 증상을 경험한 사람들이 회피비용 지출이 높은 반면에, 나이가 많거나 남성들일수록 회피비용지출을 적게 하는 것으로 나타났다. 반면에 공기청정기 사용에 있어서는 기혼자들일수록 회피비용 지출이 높고, 50세 이상의 응답자들일수록 비용지출이 적은 것으로 나타났다. 나아가서 가구의 소득수준은 마스크 착용을 위한 비용지출에는 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않았지만, 공기청정기 사용 비용지출에는 통계적으로 유의한 양의 부호를 나타내 내구재인 공기청정기가 정상재임을 반영하였다.

20) 위험인지변수의 내생성 편의를 고려하였을 때 계수추정치 6~7배 정도 차이는 기존문헌 연구결과의 범위에 속하는 것으로 볼 수 있다. 일례로 Whitehead(2006)는 수질인지와 CVM 지불의사함수에서 먹는 물 수질인지의 내생성을 고려하였을 경우 계수추정치가 10배 이상 차이가 나는 것으로 관찰하였다. 최근의 Lloyd-Smith et al.(2018) 역시 먹는 물 회피비용함수에서 위험인지의 내생성을 고려하였을 경우 계수추정치가 4배 이상 차이가 나는 것으로 관찰하였다.

3. 위험인지변수의 내생성 검정 및 식별력 검정

앞서 살펴본 바와 같이 마스크 착용 비용함수 추정에서는 위험인지변수가 내생성이 없는 것으로 나타났으나, 공기청정기 사용 비용함수 추정에서는 내생성이 있는 것으로 관찰되었다. 더욱이 <표 3>의 공기청정기 사용 비용함수에서는 위험인지변수를 외생변수로 취급했는지(모형 2) 아니면 내생변수로 취급했는지(모형 3과 모형 5)에 따라 계수 추정치가 상당히 차이가 나는 것을 나타났다. 그러므로 위험인지변수의 외생성 여부에 대한 통계적 검정의 추가적 수행이 필요하였다.

우선 2단계 추정(모형 3)방법을 적용하였을 때는 앞 절에서 논의된 바와 같이 Durbin-Wu-Hausman가 제안한 일종의 모형표기검정(specification test)를 실시하였다(Green, 2008). 먼저 식 (4)의 위험인지함수(*SRisk_PM*)를 OLS로 추정하고 그 잔차항을 식 (2)로 표기된 토빗모형의 회피비용함수에 설명변수로 추가하여 추정한 결과 *t*-통계량이 −3.88로 1%의 수준에서 통계적으로 유의하였다. 즉 위험인지변수와 회피비용함수의 오차항의 상관성이 없다는 귀무가설이 기각되었다. 다른 한편으로 결합추정(모형 5)하였을 때 상관계수가 0.46으로 추정되고 통계적으로 유의하였으며, 내생변수의 외생성 가설에 대한 Wald 통계량이 $\chi^2_{df=1} = 12.4$로 측정되어 1%의 수준에서 통계적으로 유의하였다. 그리하여 공기청정기 사용으로 발생하는 회피비용함수에서 위험인지변수의 외생생 검정은 기각되고 내생변수라고 볼 수 있다.

나아가서 내생변수인 위험인지함수 추정에 7개의 도구변수들이(식 (4)에서 X_2)이 포함되어 과다식별제한(overidentifying restrictions) 가능성을 검정하기 위하여 Bassman 유형의 통계량을 계산하였다(Wooldridge, 2008; Whitehead, 2006).[21] 검정 통계량이 $\chi^2_{df=6} = 4.7 (= nR^2)$ 이고 유의확률(p_value)이 0.69로 산정되어서, 위험인지함수에 포함된 도구변수들이 토빗모형의 회피비용함수 오차항과 상관성이 없다는 귀무가설을 기각할 수 없었다. 즉 위험인지함수의 도구변수로 선정된 7개의 변수들은 적절하게 선정되었다고 볼 수 있다.

21) Bassman 유형의 통계량은 회피비용함수와 위험인지함수를 결합추정한 뒤 도출한 잔차항을 종속변수로 하고 내생변수인 위험인지함수에 포함된 모든 변수들(도구변수들 포함)을 설명변수로 회귀분석을 수행한다. 검정통계량은 회귀모형의 결정계수 R^2에 표본의 크기 n을 곱하여 산정하며 χ^2(df=6)분포를 취한다. 만약 검정통계량이 χ^2 분포의 임계치보다 적다면 도구변수들이 타당하다고 볼 수 있다(Wooldridge, 2008).

마스크 착용 비용함수 추정에 있어서도 위험인지변수의 외생성 가설에 대해 똑같은 검정절차를 거친 결과 통계량 $\chi^2_{df=1} = 0.81$이고 유의확률이 0.37 측정되어 외생성 가설을 기각할 수 없었다.

4. 미세먼지 위험인지 감소에 대한 지불의사 측정

<표 2>와 <표 3>에 제시된 마스크와 공기청정기 사용 회피비용함수 추정결과를 활용하여 미세먼지 노출에 대한 주관적 위험인지 변화에 따른 편익을 산정하였으며 <표 4>에 그 결과를 제시하고 있다. 위험인지변수의 외생성 검정결과에 의거하여, 마스크 착용 비용함수는 독립적 추정 결과를 그리고 공기청정기 사용 비용함수는 결합추정 결과를 적용하였다.

먼저 <표 2>의 마스크 착용에 따른 회피비용함수 독립추정(모형 2) 결과를 적용했을 때, 위험인지수준이 1단위 감소함에 따른 한계편익은 월 단위로 1,054원으로 측정되었다. 응답자들의 주관적 위험인지수준이 평균에서 30% 정도 감소(6.7에서 4.7로) 했을 때 봄철 기간 동안 월간 편익은 2,003원 정도인 것으로 나타났다. 다른 한편으로 <표 3>의 공기청정기 회피비용함수의 결합추정(모형 5) 결과를 적용하여 위험인지수준이 1단위 감소함에 따른 한계편익은 가구당 월 6,000원 정도로 측정되었다. 마찬가지로 응답자들의 위험인지수준이 평균에서 30% 감소했을 때 가구당 월간 편익은 10,725원 정도 측정되었다. 물론 가정 내에서 공기청정기 사용이 전적으로 미세먼지 노출을 회피하고자 노력에 기인한다고 보기는 어렵고 다른 형태의 서비스와 결합적으로 생산된다고 볼 수 있

〈표 4〉 미세먼지 위험인지 감소에 따른 편익측정

구분		마스크 착용	공기청정기 사용
미세먼지 위험인지 감소 편익	월간 한계편익	1,054원 (3.67)	6,036원 (3.97)
	위험인지 30% 감소에 대한 월간 편익	2,003원 (2.02)	10,725원 (4.41)

주: 괄호 안의 수치들은 *t-ratio*를 나타냄.
이때 편익 추정치들의 표준편차는 델타접근법(delta method)을 적용하여 계산하였음.
[a]: 비한계적 30% 위험인지수준 변화에 대한 지불의사는 각 위험인지수준(6,7과 4.7)에서 계산된 조건부 회피비용 예측치(즉 식 (2)의 $E(C^{\prime})$)들의 차이를 계산하였음.

다. 또한 설문조사에서 마스크 착용과 공기청정기 사용 이외에도 야외활동 제한 정도, 공기정화 식물 가꾸기, 대중교통수단 이용하기, 외출 후 손이나 얼굴 씻기 등 다양한 회피행동에 대해서 질문하였는데, 상당수 응답자들이 각 회피행동을 취하고 있는 것으로 나타났다.

미세먼지 건강위험 감소에 대한 편익을 종합적으로 측정하기 위해서는 이들 다양한 회피행동 수요함수나 지출함수를 추정하고, 이들 회피행동들의 결합생산 가능성이나 회피행동들 간의 상관계수도 고려하는 등 다양한 노력이 향후에 요구된다. 특히 미세먼지 예보제에도 명시된 행동지침인 야외활동 자제는 미세먼지 건강위험 회피행동으로 중요하다고 볼 수 있다. 본 연구에서 사용한 동일한 분석자료를 사용하여 2017년 봄철 동안 미세먼지 노출 저감을 위한 야외활동 감소 수요함수 추정결과를 활용한 위험인지 수준 1단위 개선에 대한 한계편익이 월 16,000원 정도로 측정되었다(엄영숙 · 오형나, 2019). 그런 측면에서 <표 4>에 제시된 마스크 착용과 공기청정기 사용으로 측정된 두 유형의 회피행동 지출함수에 반영된 한계편익 월 7,100원은 미세먼지 노출에 의한 건강위험 감소에 개인들이 부여하는 사적가치(private value)의 하한선이라고 볼 수 있다.

반면에 Kim et al.(2018)은 2017년 비슷한 시기에 CVM을 적용하여 초미세먼지 주의보를 2016년 대비 50% 감소를 목표로 하는 미세먼지 관리대책에 대해 국민들이 연평균 6,000원 정도의 공적가치(public value)를 갖는 것으로 분석하였다. 본 연구에서 고려한 두 가지 유형의 회피비용지출에 반영된 사적가치 하한선인 월평균 7,100원(연평균 약 85,000원) 보다 적은 금액으로서 미세먼지 위험감소에 대응하는 개인들의 사적가치가 공적가치보다 훨씬 큰 것으로 볼 수 있다.

Ⅵ. 결론 및 시사점

본 연구는 2017년 10월 후반에 실시된 전국기반 웹 설문조사에 참여한 1,224명의 분석 표본을 대상으로 미세먼지 노출에 의한 건강위험을 회피하기 위한 비용지출이 객관적 미세먼지 농도와 주관적 위험인지 수준에 의해 영향을 받는지 실증분석하였다. 분석대상 회피행동은 재화의 특성과 결합생산의 성격이 다른 외출 시 마스크 착용과 실내에서 공기청정기 사용이었다. 마스크 착용과 공기청정기 사용 두 회피행동 모두에서 0에

서 10의 선형척도상에서 측정된 위험인지 수준이 높은 응답자들일수록 회피비용 지출도 높은 것으로 나타났다. 그러나 마스크 비용지출함수의 경우 위험인지변수가 내생성으로 인한 편의발생이 없는 것으로 나타난 반면에, 공기청정기 사용 비용함수의 경우 위험인지수준이 내생변수인 것으로 나타났다. 공기청정기 비용함수와 위험인지함수를 결합추정한 결과, 계수추정치가 6-7배까지 차이가 나는 것으로 관찰되어 내생성 편의의 적절한 처리가 중요함을 시사하였다.

응답자들의 위험인지수준은 객관적 위험측정치의 대리변수로서 미세먼지 농도뿐 아니라 개인들의 지식, 경험, 태도 그리고 인구통계학적 변수들에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉 개인들이 직면하는 객관적 위험수준이 같더라도 주관적으로 인지하는 위험수준이 달라질 수 있어서 객관적 위험측정치와 주관적 위험인지 사이에 차이가 있을 수 있다는 기존문헌 연구결과와 맥락을 같이 한다고 볼 수 있다(Slovic et al., 1985, 2004). 또한 위험인지수준은 마스크 착용과 공기청정기 사용 회피비용 지출에 모두 통계적으로 유의한 영향을 미쳤으나, 미세먼지 농도수준은 공기청정기 사용 비용함수의 결합추정 시에만 위험인지함수에 영향을 미침으로써 회피비용지출에 간접적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다.

국내 발생원뿐만 아니라 중국 등 주변국가로부터 미세먼지 유입의 가능성이 있는 상황에서, 미세먼지 농도변화에 따른 미세먼지 예보정보를 반응하여 주관적 위험인지수준을 업데이트하고 적절한 회피행동을 취하는 것은 미세먼지에 따른 사회적 비용을 줄이는 데 매우 중요할 것이다. 이런 측면에서 본 연구의 결과는 미세먼지 저감대책으로 대기 중 미세먼지 농도를 감소시킬 수 있는 적극적인 정책집행도 중요하지만, 개인들의 위험인지과정을 이해하고 합리적으로 소통하려는 위험소통(risk communication) 노력 또한 중요함을 시사한다고 볼 수 있다.

물론 본 연구의 결과를 일반화하기 위해서는 선형척도상에서 상대적으로 측정한 주관적 위험인지수준을 확률로 정의되는 건강위험 개념을 좀 더 잘 반영할 수 있도록 측정방법을 개선시키고, 정부정책 시행 전과 후 혹은 미세먼지 농도 변화에 따른 주관적 위험인지의 변화와 그에 따른 회피행동이나 지출의 변화를 관찰할 수 있는 패널데이터 구축 노력이 필요하다. 또한 본 연구에서 회피행동 유형에 따라 위험인지변수의 내생성 검증 결과가 달라지는 점을 감안하여, 향후 다양한 회피행동 유형과 위험인지 간의 관계에 대

한 이해제고가 필요하다. 나아가서 본 연구에서 고려 된 두 가지 유형의 회피행동 이외에도 야외활동 자제 등을 포함하는 다양한 회피행동이나 회피비용에 대한 실증분석으로 확대하여 미세먼지 건강위험 저감을 위해 개인들이 부여하는 사적가치를 좀 더 정확하게 반영한 사회적 비용 측정을 위한 추가적인 노력이 필요하다. 다른 한편으로 본 연구에서 응답자들이 미세먼지(PM_{10})와 초미세먼지($PM_{2.5}$)에 대한 이해도가 높지 못하고 둘의 차이에 대해 잘 구분하고 있다고 보기 어려웠다. 초미세먼지가 미세먼지보다 건강위해의 가능성과 심각성이 더 큰 점을 고려하면, 앞으로 미세먼지와 초미세먼지에 대해 국민들의 인식을 높일 수 있는 적절한 정보제공이나 교육 등 효과적인 위험소통에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

[References]

매일경제, “한국은 글로벌 공기청정기 각축장”, 2019.01.23. https://www.mk.co.kr/news/business/view/2019/01/48571, 2019.06.12. 접속

매일경제, “마스크 벌써 1년치 팔렸다”, 2019.03.07. https://www.mk.co.kr/news/economy/view/2019/03/136633, 2019.06.12. 접속

브랜드 타임즈, “미세먼지 경제학, Airnomics vs. Brandnomics”, 2019.01.27. http://www.brandtimes.co.kr/news, 2019.0612 접속

CBS 노컷 뉴스, ‘공기청정기’ 미세먼지 효과 논란 종식?… 효율실험서 80%제거, 2019.04.22. https://www.nocutnews.co.kr/news/5138807, 2019.06.12 접속

식품의약품안전처, ‘보건용 마스크 구입요령,’ 2018.03 http://www.nifds.go.kr/brd/m_21, 2019.06.12 접속

신동천, “미세먼지의 건강 영향”, 한국의 사회동향 2017, 2017, pp. 92~97.

신영철, “대기오염으로 인한 건강효과의 경제적 비용-급성 호흡기질환 회래환자를 중심으로”, 「자원환경경제연구」, 제11권 제4호, 2002, pp. 659~687.

안소은『빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향평가 및 피해비용 추정(III)』, 환경정책평가연구원, 2017.

안소은『환경·경제 통합분석을 위한 환경가치 종합연구-2018 국민환경의식조사』, 환경정

책평가연구원, 2018.

엄영숙 · 최원철 “환경위험의 다면성과 일반인들의 주관적 위험인지: 쓰레기 소각시설로부터의 건강위험을 사례로”, 「환경정책」, 제12권 제2호, 2004, pp. 5~34.

엄영숙, “대기오염이 건강에 미치는 영향에 대한 가치평가: 회피행위접근법을 사용하여”, 「환경경제연구」, 제7권 제1호, 1998, pp. 1~23.

엄영숙 · 오형나, “미세먼지 건강위험과 회피행동: 야외여가활동수요 감소를 사례로”, 「경제학연구」, 제67권 2호, 2019, pp. 39~70.

환경부, 『미세먼지 도대체 뭘까』, 2016.4.

환경부, 『미세먼지 관리 종합대책』, 국무조정실 등 관계부처 합동, 2017.9.26.

환경부, 『환경백서』, 2018.

환경부, “미세먼지 예보제”, 대기환경정보 사이트(https://airkorea.or.kr), 2019a.

환경부, “미세먼지 특별법이 시행되면 무엇이 달라질까?” 2019b.

한국개발연구원, 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』, 한국개발연구원. 2008.

Bartik, T. J., “Evaluating the benefits of nonmarginal reductions in pollution using information on defensive expenditures,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 15, 1988, pp. 111~127.

Berger, M. C., G. C. Blomquist, D. Kenkel, and G. S. Tolley, “Valuing changes in health risks: A comparison of alternate measures,” *Southern Economic journal*, 1987, pp. 967~984.

Bresnahan, B. W., M. Dickie, and S. Gerking, “averting behavior and urban air pollution,” *Land Economics*, Vol. 73, No. 3, 1997, pp. 340~357.

Cameron, A. C. and P. K. Trivedi, *Microeconometrics: Methods and Applications,* Cambridge University press, 2005.

U.S. Department of Energy, “Specification for HEPA filters used by DOE contractors.” DOE TECHNICAL STANDARD DOE-STD-3020-2005, Washington, D.C., 2005

Dickie, M., S. Gerking, W. Schulze, A. Coulson, and D. Tashkin, “Value of symptoms of ozone exposure: An application of the averting behavior method Vol.Ⅱ,” in *Improving Accuracy and Reducing Costs of Environmental Benefit Assessments*, final report, U.S. Environmental Protection Agency, Cooperative Agreement #CR-812054-01-2(unpubl.), 1987.

Dickie, M. and S. Gerking, “Formation of Risk Beliefs, Joint Production and Willingness to Pay to Avoid Skin Cancer,” *Review of Economics and Statistics*, Vol. 78, No. 3, 1996, pp. 451~463.

Eom, Y. S., “Health risks in food products, learning opportunity and values of risk information: An application of self-protection model,” *Korean Economic Review*, Vol. 13, No. 2, 1997, pp. 193~213.

Freeman, A. M., *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*, Resource for the Future, Washington D.C., USA, 2003.

Gerking, S. and L. R. Stanley, “An economic anlaysis of air pollution and health: The case of St. Louis,” *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 68, No. 1, 1986, pp. 115~121.

Green, W. H., *Econometrics*, Pearson Publishing Co. 2008.

Ito, K. and S. Zhang, “Willingness to pay for clean air: Evidence from air purifier markets in china”, the National Bureau of Economic Research Working Paper No. 22367, 2016.

Kim, J. H., H. J. Kim, and S. H. Yoo, “Public value of enforcing the $PM_{2.5}$ Concentration Reduction Policy in South Korean Urban Areas,” *Sustainability*, Vol. 10, 2018, pp. 1144.

Lanphear, B., R. Hornung, J. Khoury, K. Yolton, M. Lierl, and A. Kalkbrenner, “Effects of HEPA air cleaners on unscheduled asthma visits and asthma symptoms for children exposed to secondhand tobacco smoke.” *Pediatrics*, Vol. 127, No. 1, 2011, pp. 93~101.

Liu, T., G. He. and A. Lau., “Avoidance behavior against air pollution: evidence from online search indices for anti-$PM_{2.5}$ masks and air filters in Chinese cities,” Environmental Economics and Policy Studies, Vol. 20, No. 2, 2018, pp. 325~363.

Lloyd-Smith, P., C. Schram, W. Adamowicz, and D. Dupont, “Endogeneity of risk perceptions in averting behavior methods,” *Environmental Resource Economics*, Vol. 69, 2018, pp. 217~246.

Neidell, M., “Information, avoidance behavior, and health: the effect of ozone on asthma hospitalizations,” *Journal of Human Resource*, Vol. 44, No. 2, 2009, pp. 450~478.

Slovic, P., B. Fischhoff, and S. Liechtenstein, “Regulation of risk: A psychological perspective,” in *Regulator Policy and the Social Science*, ed. R. Noll. Berkeley,

University if California Press, 1985.

Slovic, P., M. L. Finucane, E. Petere, and D. G. MacGregor, “Risk as analysis and risk as feelings: Some thoughts about affect, reason, risk and rationality,” *Risk Analysis*, Vol. 24, 2004, pp. 311~322.

Whitehead, J. C., “Improving willingness to pay estimates for quality improvements through joint estimation with quality perceptions,” *Southern Economic Journal*, Vol. 73, No. 1, 2006, pp. 100~111.

Wooldridge, J. M., *Introductory Econometrics: A Modern Approach*, Cambridge, MA, 2008.