

미세먼지 건강위험과 회피행동: 야외여가활동수요 감소를 사례로*

엄 영 숙** · 오 형 나***

논문 초록

본 연구는 2017년에 실시된 전국 웹설문 조사에 응답한 1,224명을 분석표본으로 미세먼지 위험에 대한 주관적 인지수준이 야외활동 제한 형태의 회피행동에 미치는 영향을 분석하였다. 위험인지변수의 내생변수 가능성을 고려하여 도구변수를 사용한 결합추정방식이 시도되었다. 개인들의 주관적 위험인지 수준이 일상적인 야외여가활동에 유의미한 변화를 주지는 않았지만, 봄철기간 동안 회피행동에의 참여여부와 회피행동 수요(일상적인 야외 여가활동의 제한 횟수)에는 통계적으로 유의한 영향을 미친 것으로 나타났다. 한편, 미세먼지 농도가 회피행동 여부나 수준에 직접적인 영향을 미친 것은 아니지만, 주관적 위험인지수준에 영향을 미침으로써 간접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 야외 여가활동을 줄인 응답자들은 마스크 착용이나 공기청정기 사용 등 미세먼지 관련 다른 종류의 회피행동도 취하고 있는 것으로 분석되었다. 회피행동 수요함수 추정결과를 근거로 위험인지수준이 평균에서 1단위 개선되면 야외활동을 평균적으로 월 1회 정도 감소시키지 않아도 되고, 이러한 개선효과의 편익이 월평균 16,000원 정도인 것으로 산정되었다.

핵심 주제어: 미세먼지 건강위험, 회피행동접근법, 야외여가활동 감소, 도구변수접근법
경제학문헌목록 주제분류: Q51, Q53, I12

투고 일자: 2019. 3. 11. 심사 및 수정 일자: 2019. 6. 7. 게재 확정 일자: 2019. 6. 18.

* 본 연구는 한국환경정책평가연구원의 일반연구 '환경·경제 통합분석을 위한 환경가치평가 종합연구'의 일부로 지원을 받아 수행되었다.

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

*** 공동저자, 경희대학교 국제학과 교수, e-mail: h.oh@khu.ac.kr

I. 서 론

도시화와 산업화가 진행되면서 증가한 국내 미세먼지 물질의 배출량 증가, 기후 변화에 따른 기온상승과 여름철 집중강우에 의한 2차적 미세먼지 생성량의 증가, 대기정체 현상, 편서풍을 따라 유입되는 중국 대기오염 물질의 월경 등으로 최근 계절에 상관없이 고농도 미세먼지 현상이 지속되고 있다. 잘 알려져 있듯, 미세먼지(PM_{10})는 작은 입자의 대기오염물질로 급·만성 호흡기 질환을 유발하거나 악화시키고, 더 작은 입자인 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 심혈관질환이나 부정맥 또는 뇌혈관질환 가능성을 높이며 어린이나 노약자 등 민감 그룹의 경우 조기사망에까지 이를 수 있다(신동천, 2017). 미세먼지에 의한 건강위험¹⁾이 알려짐에 따라 미세먼지에 대한 시민의 관심과 불안이 고조되고 있다. 최근 다음소프트 인터넷에서 실시한 한국사회 관심 키워드 조사에서 미세먼지에 대한 관심이 핵심 정책사안인 육아 및 출산보다 높았으며, 2013년 19위에서 2017년 6위로 13단계 상승했다(김용표, 2017). 2018년에 실시된 국민환경의식 조사에서 국민들은 가장 우려하는 환경문제로 단연 미세먼지를 꼽았다(안소은 외, 2018).

이러한 우려를 반영하여 정부는 미세먼지 농도를 국민들이 알기 쉽게 통합대기환경지수(CAI)로 전환하여 실시간으로 알려주거나 예보해주며, 고농도시 자제해야 할 야외활동의 범위와 수준 및 건강생활수칙 등을 알려주는 미세먼지 예보제를 전국적으로 실시해 왔다. 2018년 9월에 는 미세먼지 관리 종합대책을 수립하고 2019년 2월에는 미세먼지 특별법을 발효시키는 등 국민들의 우려에 선제적으로 대응하고자 노력했다(환경부, 2017, 2019b). 2019년에는 미세먼지를 국가재난의 범주에 포함시켜 전방위적인 해결에 박차를 가하고 있다.

정부의 대응수준이 적절한 것인가를 판단하기 위한 방법의 하나는 미세먼지 저감 정책의 효과를 정량적으로 측정하고 그 경제적 가치를 추정하는 것이다. 질병비용 접근법(Cost of Illness Method, 이하 COI)은 저감정책의 효과성 분석을 위해 광범위하게 사용되는 방법론으로, 미세먼지를 포함한 대기오염물질로 인해 개인들이 겪게 되는 건강피해와 사회전체의 총비용(의료비용과 소득손실 등을 포함)을 측정한다

1) 정책적 견지에서 위험(risk)은 미세먼지와 같은 오염물질에 노출되어 건강위해를 입게 될 가능성(확률)으로 정의하고 있다(Slovic et al., 2004). 건강위해는 조기사망(mortality)과 환경성 질환(morbidity)를 포괄한다.

(EPA, 2012; 신영철, 2002; 조용성·손양훈, 2002; 최종일·이영수, 2015; 안소은 외, 2016). COI는 개인들이 입는 건강위험의 정도가 미세먼지 농도에 의존한다는 물리적 농도-반응함수(concentration-response)에 기초하고 있다. 이러한 COI 접근법에 대해 건강위험을 줄이기 위해 개인들이 취하는 회피행동을 인정하지 않고 개인을 수동적인 수용체로 본다는 비판이 제기되어 왔다.

이러한 비판에 반응하여 가상시장에서 특정한 환경성 질병이나 건강위험 감소에 대한 시나리오를 설정하고 개인들의 선택이나 지불의사를 직접 물어보는 진술선호(stated preference)에 기초한 조건부 가치추정법(Contingent Valuation Method, CVM)이나 선택실험(choice experiment, CE)이 COI의 대안으로 부상했다(EPA, 2012; Kim et al, 2018). 진술선호에 의해 측정된 선택이나 지불의사는 질병발생에 따른 비용지출 뿐만 아니라 개인들이 느끼는 불쾌감이나 고통 등을 반영할 수 있다는 장점이 있으나, 가상 상황에 기초하고 있기 때문에 전략적 편이나 평가대상에 대한 생소함 등 여러 형태의 편(bias)에 노출될 가능성이 많다는 단점을 내재하고 있다(Freeman, 2003).

회피행동접근법(avoiding behavior method, ABM)은 개인들이 대기오염물질에의 노출을 줄이거나(Gerking and Stanley, 1986; Berger et al., 1987) 노출에 따른 건강위험을 완화(Dickie and Gerking; 1991; 엄영숙, 1998; 안소은 외, 2017) 하기 위해 회피행동을 취한다는 점을 중시한다. ABM은 이러한 회피행동을 현시된 선호(revealed preference)로 정의하고 이를 통해 지불의사를 추정한다. 미세먼지를 사례로 살펴보면, 초미세먼지 노출에 따른 건강위험 감소를 위해 중국에서 일어난 마스크의 구매행위(Lui, He and Lau, 2018; Zhang and Mu, 2018)나 공기청정기 구매행위(Ito and Zhang, 2014)를 관찰하여 대기오염 개선정책에 대한 지불의사를 추정한 경우를 들 수 있다. 그러나 공기청정기와 같은 내구재 구입의 경우 대기오염 노출 저감 이외의 실내의 쾌적성 향상 등 결합생산(joint production)의 가능성을 해결해야 하는 어려움이 ABM 실증분석의 확장에 걸림돌이 되고 있다(Freeman, 2003).

ABM이 대기오염 농도변화에 따른 야외활동 제한여부 및 정도에 적용한 사례는 많지 않다. 오존경보 발령이 개인들의 동물원 방문에 미친 영향을 분석한 Neidell (2009)과 Zvin and Neidell (2009)의 연구, 대기오염 농도와 야외활동 변화를 분석한 Bresnahan, Dickie and Gerking (1997) 등이 있다. 그마저도 전자의 경우 기후 변화 관련변수 및 오존 경보 발령여부에 대한 입장객 수의 변화를 분석하는데 그쳐

개인들의 회피행동 변화에 영향을 미치는 요인들에 대한 심도 있는 분석이 이루어지지 못했다. 또한, Bresnahan et al., (1997) 연구에서는 오존농도와 행동변화 간의 연결고리로서 개인들의 위험인지수준이 고려되지 않았다. 반면에 Bresnahan et al., (1997)은 한 시점이 아닌 1년간을 관찰기간으로 하는 패널자료를 구축함으로써 오존농도 변화에 따른 개인들의 야외활동 변화를 분석할 수 있었다.

본 연구는 미세먼지 노출에 따른 개인들의 주관적 위험인지 형성을 가계가 생산하는 최종생산물로 보고 가계생산이론(household production framework, HPF)의 틀 안에서 회피행동모형으로 연계하고자 한다. 다시 말하면 본 연구는 미세먼지로 인한 건강위험에 대한 우려로 야외여가활동을 줄이려는 노력을 회피행동을 보고, 개인들의 건강위험 인지수준이 회피행동 수요에 영향을 미치는지 실증분석하고자 한다. 분석 표본은 전국 16개 시도에 등록된 패널을 대상으로 지역별·성별·연령별로 층화 추출하여 2017년 10월 말에 시행된 웹기반 설문조사에 응답한 1,224명으로 구성되었다. 회피행동 수요함수 추정에 설명변수로 포함된 주관적 위험인지의 내생변수 가능성을 반영하여, 위험인지함수에 도구변수(instrument variables)들을 포함한 뒤 회피행동 수요함수와 결합추정 하였다. 외생성 검정과 식별 검정을 거친 뒤 회피행동 수요함수의 계수추정치를 사용하여 미세먼지 건강위험 감소에 대한 편익을 측정 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제Ⅱ장에서는 미세먼지 건강위험에 대해 설명하고, 가계생산함수와 효용극대화 틀 안에서 야외활동수요 감소행태를 회피행동이론으로 검토한다. 제Ⅲ장에서는 분석표본 자료구축과정과 표본의 특성에 대해 설명하고, 제Ⅳ장에서는 도구변수접근법을 적용하여 회피행동수요함수와 위험인지함수를 결합추정 한 실증분석 결과를 설명한다. 추가적으로 미세먼지 위험인지 감소에 따른 편익을 측정한다. 마지막으로 제Ⅴ장은 실증분석의 결과를 요약하고 위험소통(risk communication) 정책 측면에서 시사점을 도출한다.

Ⅱ. 미세먼지 건강위험과 회피행동으로서 야외활동수요 감소함수

1. 미세먼지 노출에 따른 건강위험과 미세먼지 예보제

미세먼지는 입자의 크기(직경)에 따라 미세먼지(PM_{10})와 초미세먼지($PM_{2.5}$)

로 구분된다. 미세먼지(PM_{10})는 1000분의 10mm보다 작은 먼지이며, 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 더 작은 먼지로서 사람 머리카락 직경의 1/20-1/30정도로 작다. 미세먼지(PM_{10})는 입자가 미세하여 코나 구강 또는 기관지에서 걸러지지 않고 몸속에 들어와서 눈에 염증이 생기거나 알레르기성 비염을 일으키거나 기관지염이나 천식 또는 만성폐쇄성 폐질환 등 호흡기 질환을 일으키거나 악화시킬 수 있다. 반면에 더 작은 입자인 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 기도에 더 깊숙이 들어갈 수 있을 뿐만 아니라 면역세포 염증반응 등을 증가시켜 호흡기 질환 이외에도 심혈관질환이나 부정맥 또는 뇌혈관질환의 위험과 관련이 있는 것으로 연구되고 있다(신동천, 2017; 명준표, 2016). 또한 세계보건기구(WHO)는 2013년에 미세먼지를 1군 발암물질로 신규 지정한데 이어 2014년에는 미세먼지로 조기사망한 사람이 7백만 명에 이른다고 발표하였다(환경부, 2018).

정부의 다양한 대기오염 저감정책 집행의 결과 우리나라의 대기오염 수준은 전반적으로 개선되고 있는 추세이다. 이러한 노력으로 미세먼지(PM_{10})의 경우 연평균 환경기준 달성률이 2007년 24%에서 2016년 72%로 상당히 개선되었지만, 일평균 환경기준 달성률은 여전히 10% 수준에 불과하다. 2015년부터 측정을 시작한 초미세먼지($PM_{2.5}$)의 경우 2016년 일평균 환경기준 달성률은 11% 정도로 PM_{10} 과 비슷한 수준이지만 연평균 환경기준 달성률은 47%로 현저히 낮은 수준이다. PM_{10} 이나 $PM_{2.5}$ 농도 모두 OECD 국가의 주요도시와 비교할 때 두 배 정도 높은 수준을 보이고 있다(신동천, 2017). 또한 우리나라의 미세먼지와 초미세먼지 연평균 환경기준(각각 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$)은 WHO가 권고하는 연평균 환경기준(각각 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ $10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 상당히 높은 편이다.

미세먼지 저감을 위해 정부는 2017년 9월 미세먼지 특별대책을 수립하여 2022년까지 국내배출량을 30% 감축하겠다는 목표로 국내 주요 배출원인 발전, 산업, 수송 그리고 생활부문 등 4대 주요 배출원 중심 중·단기 감축대책을 마련하고, 중국 등 주변국과 환경협력 강화로 동북아 대기질 개선을 목표로 하고 민감 계층 집중보호 인프라 및 서비스 개선을 위한 대책들을 마련하여 시행하고 있다(환경부, 2017). 이어서 2019년 2월 15일부터 미세먼지 정책관련 전담조직을 강화하고 미세먼지 고농도 시 대기오염물질 배출시설 가동조정, 자동차 운행제한, 학교 등 휴업 및 수업시간 단축 등을 골자로 하는 미세먼지 특별법이 시행되고 있다(환경부, 2019b). 분

아별로 다양한 미세먼지 관리 방안이 마련되고 있지만 중국으로부터의 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 <Table 1>에 요약 된 바와 같이 통합대기환경지수(CAI)로 전환하고, 미세먼지 농도에 따라서 건강위해를 줄이기 위한 행동지침을 같이 제시하고 있다(환경부, 2019a).²⁾

<Table 1> Comprehensive Air Quality Index for PM and Appropriate Responses.

Category	Unit	Measuring periods	Good	Moderate	Unhealthy	Very unhealthy
PM_{10}	$\mu g/m^3$	24 hours	0 ~ 30	31 ~ 80	81 ~ 150	151 이상
$PM_{2.5}$	$\mu g/m^3$	24 hours	0 ~ 15	16 ~ 35	36 ~ 75	76 이상
Appropriate Response ³⁾ (Degree of outdoor activity restrictions)				Sensitive group ^a be careful for outdoor activities	Sensitive group limit outdoor activities for long periods of time	Healthy people also refrain from outdoor activities for long periods of time

Notes: ^a: sensitive group include pregnant women, children and the elderly.

미세먼지 실시간 농도가 일정기준 이상으로 일정시간 계속 될 경우 주의보와 경보를 지방자치단체에서 발령하고 야외활동 자제를 요청할 수 있다. 우리나라의 미세먼지나 초미세먼지 연평균 농도추세가 악화되어가고 있는 상황은 아니나, 미세먼지 주의보나 경보 발령횟수는 최근 들어 급격하게 증가하고 있다. 일례로 미세먼지 주의보와 경보 발령 횟수가 2015년 72회, 2016년 66회인데 반하여 2017년 92회로

2) 환경부 대기환경정보사이트(www.airkorea.or.kr)에서는 전국 대기오염도 현황을 실시간으로 공개할 뿐만 아니라, ‘우리동네 대기질’ 메뉴를 통해 특정 지역의 대기질 농도도 확인이 가능하다. 그리고 스마트폰 모바일 서비스와 SMS 문자 서비스 등도 가능하므로 미세먼지 예보 정보와 함께 실시간 정보를 확인하여 활용할 수 있다.

3) 환경부(2019a)는 미세먼지 고농도시 대처요령으로 야외활동 자제 이외에도 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.

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

환경부에서 제공하는 미세먼지 예보제는 미세먼지 농도와 행동지침에 관련한 정보를 국민들에게 제공하고 회피행동을 취하도록 권고하는 위험소통(risk communication) 정책방안의 일종이라고 볼 수 있다. <Table 1>에서 볼 수 있듯이 미세먼지 노출 저감 행동지침으로 명시되어 있는 회피행동이 야외활동 자체이다. 국민들이 미세먼지 농도에 기초한 예보에 근거하여 주관적 위험인지수준을 형성하고 야외활동 감소 등의 회피행동을 취하는지 실증분석이 필요하다.

2. 야외여가활동 제한과 회피행동모형

미세먼지 노출에 따른 건강위험을 줄이기 위한 회피행동으로서 개인들의 야외여가활동 수요함수는 가계생산이론(HPF)의 틀 안에서 설명할 수 있다(Courant and Porter, 1982; Harrington and Portney, 1987; Bresnahan et al., 1997). 한 개인의 선호체계가 식 (1)과 같은 준오목 효용함수로 나타낼 수 있다고 상정하자.

$$U = U(X, L, H) \quad (1)$$

여기서 X 는 사적 종합재를 나타내고, L 은 개인의 야외여가활동을 나타내며, H 는 개인이 인지하는 건강상태로서 $U_X > 0$, $U_H \geq 0$ 이라고 가정하자. 나아가서 개인들의 건강상태 H 는 식 (2)와 같이 가계생산활동의 산출물이라고 볼 수 있다.

$$H = H(L, P(\alpha), K, S) \quad (2)$$

여기서 P 는 미세먼지 예보를 듣거나 보고 형성된 개인들의 주관적인 건강위험 인지수준을 나타내며, 미세먼지 농도수준(α)에 의해 영향 받고 이어서 건강수준 H 에 영향을 미치는 것으로 가정한다.⁴⁾ 즉 미세먼지 예보에 제시된 농도가 높을수록

4) 미세먼지 농도 α 가 높을수록 가시권이 흐려져 불쾌감을 자아내는 등 효용에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 상황은 배제하였다. 물론 미세먼지 농도 α 는 개인들이 인지하지 못하더라도

위험인자 수준이 높고 ($P_\alpha > 0$) 그에 따라 건강상태에는 악영향을 미치는 ($H_P < 0$) 특성을 갖는 것으로 가정한다.

야외여가활동 L 는 식 (1)에서와 같이 개인들의 효용수준 U 에도 영향을 미치지 만 식 (2)에서와 같이 건강상태 H 에도 영향을 미칠 수 있다고 보았다. L 이 H 와 U 에 미치는 한계효과의 방향은 미세먼지 농도수준 α (따라서 미세먼지 위험인자 수준 P)에 따라 다를 수 있을 것이다. 다시 말하면 미세먼지가 나쁜 수준이 아니라면 야외에서 여가활동에 많은 시간을 보내는 것은 건강상태에 도움이 될 것이고 ($H_L > 0$), 친구들과의 교류 또는 자연감상 등으로 효용에도 긍정적으로 작용할 것이다 ($U_L > 0$). 그러나 미세먼지 농도가 높다면 호흡기 증상이나 질환에 걸릴 가능성이 높아져 건강상태에 악영향을 끼칠 것으로 인지하여 ($H_L < 0$) 야외여가활동 L 을 줄이게 될 것이다.

K 는 개인들의 건강자본의 축적정도를 나타내고 S 는 인적자본 수준을 반영하는 인구통계학적 특성들을 나타내며, $H_K \geq 0, H_S \geq 0$ 의 특성을 갖는다고 가정 한다 (Bresnahan et al., 1997). 일례로 기관지 천식 등의 만성질환을 가진 사람들은 건강자본의 축적정도가 낮다고 볼 수 있고, 미세먼지 노출에 따른 단기 건강위험 역시 높다고 볼 수 있을 것이다. 마찬가지로 교육수준이 낮은 사람들은 건강서비스를 생산하는데 있어서 효율성이 떨어진다고 볼 수 있을 것이다.

개인들은 식 (2)의 건강생산함수와 식 (3)의 총소득예산제약 하에서 식 (1)의 효용을 극대화한다고 하자.

$$Y = I + wT = X + p_L L \quad (3)$$

여기서 I, w, T 는 비노동소득, 임금을 그리고 총가용시간을 나타내며 Y 는 비노동 소득과 노동소득의 합으로 총소득을 나타낸다. 그리고 X 재의 가격은 1로 표준화되고, L 의 가격은 $p_L = m_L + t_L$ 로서 야외여가활동 L 에 따른 화폐비용(m_L)과 시간

건강상태에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 개인들이 α 를 인지하지 못할 경우 회피행동으로 연계되지 못할 것이라는 측면에서 미세먼지 농도 α 를 위험인자 P 를 통하여 야외활동 수요에 영향을 미치는 것으로 가정하였다. 미세먼지 농도 α 가 야외활동 혹은 회피행동에 직접적으로 영향을 미치는지 아니면 위험인자함수를 통해 간접적으로 영향을 미치는지 실증분석에서 검토할 것이다.

비용(t_L)을 포함하는 총가격(full price)으로 상정한다(Becker, 1965). 예산제약 하의 효용극대화를 위한 제1계 조건은 식 (4)로 요약될 수 있다.

$$\frac{U_L}{U_X} + \frac{U_H H_L}{U_X} = p_L \quad (4)$$

식 (4)에서 볼 수 있듯이 개인들은 L 이 효용에 미치는 직접(U_L/U_X) 혹은 건강상태를 통한 간접적인 효과($U_H H_L/U_X$)가 순한계비용(p_L)과 일치하도록 야외여가활동 L 의 수준을 선택할 것이다. 제1계 조건들에 대한 해를 도출하는 과정에서 평상시의 야외여가활동에 대한 수요함수가 식 (5)와 같이 도출될 수 있다.

$$L^* = L(p_L, Y, P(\alpha); K, S) \quad (5)$$

미세먼지 농도가 높아짐에 따라 건강위험 인지수준이 높아지고 그에 따라서 야외활동이 감소된다면, 야외활동 감소분(ΔL)이 미세먼지 건강위험을 줄이기 위한 회피행동 A 이라고 볼 수 있고, 회피행동 수요함수는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} A = \Delta L &= L(p_L, Y, P^0; K, S) - L(p_L, Y, P^1; K, S) \\ &= A(p_L, Y, \Delta P(\Delta \alpha), K, S) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)의 회피행동에 영향을 미치는 요인들 중 먼저 미세먼지 농도변화 $\Delta \alpha$ 는 개인들의 주관적 위험인지 변화 ΔP 를 통하여 간접적으로 회피행동 A 에 영향을 미칠 것이다. 식 (2)와 관련하여 설명한 바와 같이 미세먼지 농도 α 와 그에 따른 건강위험 인지수준 P 는 개인의 건강상태 H 에 직접적으로 영향(H_P)을 미치기도 하고 동시에 야외활동의 한계생산성을 통해 간접적으로 영향(H_{LP})을 미치기 때문에 회피행동 수요함수 A 에서 건강위험 인지변수 P 의 부호가 사전적으로 결정되기 어려울 수 있다.⁵⁾ 미세먼지 농도 α 가 충분히 높은 상태이어서 H_P 와 H_{LP} 가 모두

5) 건강과 인적자본 K, S 도 역시 위험인지수준 P 와 마찬가지로 건강수준 H 에 대한 직접적인 영향과 회피행동 생산성을 통한 간접적인 영향을 미치기 때문에 이들 K, S 변수들의 회피행동

음수라면⁶⁾ 미세먼지 농도 P 의 증가는 확실히 야외활동의 순 한계비용을 증가시킬 것이고 L 의 감소로 이어질 수 있을 것이다(Bresnahan et al., 1997).

식 (6)으로 표기된 회피행동 수요함수를 실증적으로 추정하기 위해서는 미세먼지 농도의 변화($\Delta\alpha$)와 그에 따른 개인들의 주관적인 위험인지 수준 변화(ΔP)에 반응하는 개인들의 야외여가활동 수준의 변화(ΔL) 자료에 근거 한 일종의 패널형태의 데이터가 필요하다. 그러나 본 연구의 분석자료는 2017년 봄철(3월에서 6월) 동안의 월 평균 야외여가활동 빈도를 조사한 횡단분석 자료이어서, 미세먼지 농도 역시 거주지 지역의 봄철 평균농도로 매칭이 되었다. 그리하여 본 연구는 개인들이 거주하는 지역의 미세먼지 평균농도 α 에 따른 주관적 위험인지 P 수준의 차이에 따른 야외여가활동 감소의 변화를 분석한다고 볼 수 있다.

3. 회피행동 수요함수 계량경제모형

식 (6)에 기초하되 본 연구의 분석표본의 특성을 반영한 회피행동 수요함수를 추정하기 위하여 야외여가활동 감소수요함수를 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_i = \beta' X_{1i} + \beta_r P_i + \epsilon_{1i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$$

여기서 X_{1i} 는 회피행동 의사결정에 영향을 미치는 일련의 변수들(p_L, Y, K, S 등)을, P_i 는 개인들의 주관적인 건강위험 인지수준을 나타낸다. ϵ_{1i} 는 정규분포를 취하는 오차항으로 가정한다. 식 (7)에서 위험인지변수 P_i 의 계수추정치 β_r 가 바로 건강위험 감소에 대한 한계효과(즉 $\frac{\partial A}{\partial P} = \beta_r$)를 측정하기 때문에 일관성 있는 추정이 중요하다.

개인들 중 일부가 야외여가활동을 전혀 줄이지 않아서 회피행동을 취하지 않았다면 회피행동 수요함수 A_i 는 식 (8)와 같이 0에서 중도절단된(censored) 토빗모형

에 미치는 영향의 방향은 자료의 특성에 따라 달라질 수 있다(Berger, Blomquist, Kenkel, and Tolley, 1987).

6) $H_{LP} < 0$ 는 야외여가활동 L 의 증가가 미세먼지 농도 P 의 증가에 따른 건강위해를 증폭시킨다는 것을 의미하며, 야외활동기간이 많거나 오랜 시간 노출이 되면 호흡기 증상이나 질환도 많아지는 것으로 실제로 관찰되고 있다(Bresnahan et al., 1997).

으로 설정할 수 있다.⁷⁾

$$A_i = \begin{cases} A_i^* = \beta' X_{1i} + \beta_r P_i + \epsilon_{1i} & \text{if } A_i^* > 0, \\ 0 & \text{if } A_i^* \leq 0, \end{cases} \quad (8)$$

여기서 A_i^* 는 분석자들의 입장에서 관찰하기 어려운 개인들의 참 회피행동수준을 나타낸다. 또한 식 (8)의 오차항 ϵ_{1i} 에 회피행동 의사결정에 영향을 미치지만, 분석자들이 관찰하기 어려운 요소들이 포함되어 건강위험 인지수준 P_i 와 상관관계가 있다면 생략된 변수(omitted variable) 편의가 발생하여 식 (8)에서 P_i 변수의 계수 추정치 β_r 에 내생성 편의를 일으킬 수 있다. 이러한 내생성 편의 가능성을 반영하여 위험인지변수에 대한 도구변수접근법을 적용하였다.

기존문헌에서 개인들의 주관적 위험인지수준이 개인들의 지식, 태도 및 경험 그리고 인구통계학적 변수들에 의해 영향을 받고 있는 것으로 관찰되고 있다(Dicike and Gerking, 1996); Whitehead, 2006; Slovic et al., 2004; Eom, 1997, 엄영숙, 2004; Lloyd-Smith et al., 2018). 기존문헌에 기초하여 내생변수 가능성이 있는 위험인지변수를 식 (9)와 같이 함수로 나타낼 수 있다.

$$P_i = \gamma_1' X_{1i} + \gamma_2' X_{2i} + \epsilon_{2i} \quad (9)$$

여기서 X_{1i} 는 식 (8)의 회피행동 수요함수에 포함된 설명변수들을 나타내고, X_{2i} 는 주관적 위험인지에 영향을 미치는 도구변수들을 나타낸다.⁸⁾ 식 (9)의 위험인지

7) 식 (9)와 같이 회피행동 수요함수가 토빗모형으로 추정되면 위험인지변수 1단위 변화에 따른 한계효과는 토빗모형의 계수추정치에 $A = A^*$ 일 확률을 곱하여 다음과 같이 도출된다.

$$ME = \frac{\partial E(A_i/X_i, P_i)}{\partial P_i} = \beta_r \Phi\left(\frac{\beta' X_{1i} + \beta_r P_i}{\sigma}\right)$$

여기서 $\Phi(\cdot)$ 는 표준정규누적분포를 나타내며, 정(+)의 회피행동을 관찰하게 될 확률을 의미한다.

8) 식 (8)의 회피행동 수요함수에서 외생변수들인 X_1 가 식 (9)의 위험인지함수에도 포함된 것은 X_2 변수들과 마찬가지로 X_1 변수들도 회피행동 수요함수와 위험인지함수의 오차항 ϵ_1 과 ϵ_2 와 상관성이 없다고 가정되었기 때문이다. 즉 $Cov(X_1, \epsilon_1) = 0$, $Cov(X_1, \epsilon_2) = 0$. 그리고 식 (9)에서 도구변수로서 식별조건은 $\gamma_2 \neq 0$ 이다.

수준 P 와는 연관성이 강할수록 좋지만 (즉 $cov(X_2, P) \neq 0$), 식 (8)의 회피행동 수요함수 오차항과는 상관관계가 없는 도구변수들($cov(X_2, \epsilon_1) = 0$) 즉 식별변수들을 찾는 것이 관건이라고 볼 수 있다(Wooldridge, 2008, Cameron and Trivedi, 2005). 주관적 위험인지함수(식 (9))를 내생변수로 포함하는 토빗모형의 회피행동 수요함수(식 (8))는 최대우도추정법(MLE)을 적용하여 추정하였다(Wooldridge, 2010).

Ⅲ. 자료수집 및 표본의 특성

1. 설문조사 자료수집

본 연구의 분석 표본은 최근 이슈가 되고 있는 미세먼지에 대한 개인들의 인식 및 태도 그리고 회피 및 완화행동과 비용지출 등에 대해 살펴보기 위하여 실시된 설문조사를 통하여 수집되었다. 설문조사는 전국의 만 19세 이상의 성인 남녀 1,224명을 대상으로 2017년 10월 23일부터 11월 6일 동안 웹기반 조사로 이루어졌다. 표본의 설계는 지역, 성, 연령별로 비례할당 추출로 이루어졌다. 총 2,108명에게 설문 참여의향을 물었고, 그 중 1,224명이 응답하여 설문응답율은 58.1%를 기록하였다.

설문지는 우선 응답자 거주지를 중심으로 미세먼지를 포함한 대기오염에 대한 인식과 지식 그리고 정보수집 등에 대하여 질문한 뒤, 언론이나 환경부 발표자료 등에서 자주 논의되는 미세먼지 노출을 회피하기 위한 행동요령(외출시 마스크를 쓰는지, 실내 창문을 주로 닫아 놓는지, 실내에서 공기청정기의 사용하는지, 물을 자주마시나 외출 후 손을 자주 씻는지 등)들을 제시하고 2017년 봄철(3월에서 6월)⁹⁾ 동안의 참여여부 및 수행정도에 대하여 질문하였다. 이어서 같은 봄철동안 본인이나 가족들이 경험한 미세먼지 노출관련 증상들과 이로 인한 외래진료나 입원치료 경험과

9) 2015년부터 2017년까지 3년 동안 월별 전국 미세먼지 평균농도 추이를 살펴 본 결과 봄철인 3월부터 5월까지 상대적으로 높았고 6월부터 차츰 감소하기 시작하였다. 반면에 초미세먼지는 겨울이 시작되는 12월부터 높아지기 시작하여 4월까지 높은 농도를 유지하다가 차츰 낮아지기 시작하였다. 본 연구는 미세먼지 노출을 피하기 위한 야외활동 자제에 초점을 맞추기 때문에 야외활동량이 많은 봄철기간을 대상으로 분석하였다.

구체적인 시간과 비용관련 정보를 질문하였다. 나아가서 우리나라 대기오염 저감정책에 관한 인식관련 질문들과 자세한 인구통계학적 질문으로 설문을 마무리하였다.

본 연구의 분석대상 회피행동유형인 야외여가활동 제한여부와 감소정도를 측정하기 위하여, 우선 응답자들의 일상적인 야외활동을 업무용과 운동이나 산책 등 여가활동으로 구분하여 월간 빈도를 질문하였다. 연이어 봄철동안 미세먼지 때문에 야외여가활동을 줄였는지 여부를 질문 한 뒤, 줄였다고 응답한 사람들 대상으로 어느 정도 줄였는지 2단계로 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 선형척도 상에 응답하도록 질문하였다.¹⁰⁾ 여기서 0은 ‘전혀 위험이 없다’를 10은 ‘위험이 매우 높다’를 나타내는 것으로 설명하였다.

2. 표본의 특성

본 연구의 표본은 전국을 모집단으로 보고 지역별, 성별, 연령별 층화추출 하였지만 핸드폰 사용 웹기반 설문조사가 이루어졌다. 웹기반 조사방법에 따른 표본편의 가능성을 살펴보기 위해 주요 표본설계 변수들의 특성에 대해 통계청에서 발표한 2017년 전국자료와 비교한 결과를 <Table 2>에 요약하고 있다. 전국 평균연령(41세)에 비해 분석표본의 평균연령(45세)이 약간 높고, 고등교육이수 비율이 전국평균(47%)에 비해 분석평균(55%)이 높은 것으로 나타났다. 나아가서 표본가구의 월평균 소득(474만 원)이 2017년 전국 도시근로자 가구 월평균 소득(448만 원)보다 약간 높은 것으로 나타났다.¹¹⁾

10) 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)와 같은 선형척도 상에서 개인들의 주관적 위험인지를 측정하는 대리변수를 사용하기도 한다.

11) 통계청이 발표하는 자료는 전국 평균만 제공되고 표준편차 정보를 제공하지 않아서, 주요 표본설계 변수들이 전국평균과 유의한 차이가 있는지에 대한 통계적 검정은 수행할 수 없었다.

〈Table 2〉 Comparison of Sample Characteristics

구 분	표본평균	전국 평균
Percent of Female ^a (%)	49	49.9
Age ^a (years)	44.9	41.3
Monthly Household Income ^b (Million won)	4.74	4.48
Percent of Higher Education Completion ^c (%)	55	47

Source: Statistics Korea (2018).

Notes: ^a: Population status data by resident registration in 2017.

^b: Average monthly income per urban working family in 2017.

^c: Higher education completion rate is the percentage of those under the age of 25 and 64 who graduated from college.

1,224명으로 구성된 표본 중 9% 정도인 109명은 평소에 야외운동이나 여가활동을 거의 하지 않는다고 응답하였다. 야외활동을 한다고 응답자들은 월간평균 약 9.4회 정도 운동이나 여가활동을 하는 것으로 나타났다. 〈Table 3〉에 제시된 바와 같이 지난 봄철동안 미세먼지 때문에 야외활동을 줄였는지에 대한 질문에 60% 이상(739명)의 응답자들이 줄였다고 응답하였다. 나아가서 야외활동을 줄인 739명 중 5% 정도(39명)는 전면중단을 하였다고 답하였으며, 평균적으로 50% 이상 야외여가활동을 줄인 것으로 나타났다.

〈Table 3〉 Distribution of Outdoor Activity Reductions to Avoid PM Exposure

Category		Monthly outdoor leisure activity reduction		
Reduction in outdoor activities	739 persons (60.4%)	10% reduction	33 (4.5%)	On average, 51.2% Reduction
		30% reduction	179 (24.2%)	
		50% reduction	289 (39.1%)	
		70% reduction	203 (27.5%)	
		100% reduction	35 (4.7%)	
No reduction	485명 (39.6%)			

야외에서 행해지는 산책이나 운동 등 여가활동에 따른 비용은 주로 시간의 기회비용으로 보았다. 여가시간의 기회비용 산정을 위하여 설문조사에서 질문한 응답자들의 세분화된 직업 및 직종정보를 근거하여, 고용노동부의 「2017 고용형태별 근로실태조사」 자료를 이용하였다. 우선 각 직종별로 남·여를 구분하여 시간당 지불되

는 임금액을 계산한 뒤, 학력과 근무경력에 따른 임금격차를 반영하기 위해 ‘고졸’자인 ‘20~24세’계층의 임금을 기준(1.00)으로 하여 학력별·연령계층별로 시간당 임금수준을 조정하였다. 나아가서 미취업자로 분류된 주부, 퇴직자 등의 시간당 임금은 2017년 평균 시급을 적용하여 산정하였다. 표본 응답자들의 시간당 평균 임금액은 24,707원으로 산정되었다.

응답자들의 주관적 위험인지수준이 평균적으로 6.7을 점하여 미세먼지 노출에 의한 건강위험을 상당한 수준으로 인지하고 있었다. 건강위험 인지분포를 살펴보면 건강위험이 4이하는 12%정도를 점한 반면 8이상이 37% 정도 그리고 매우 위험한 수준인 10이라고 응답한 사람도 10%가 넘었다. 객관적 위험측정치의 대리변수로써 2017년 봄철(3월에서 6월) 동안 미세먼지(PM_{10})과 초미세먼지($PM_{2.5}$) 농도는 응답자들 거주지가 속한 시·군단위의 농도평균으로 매칭하였다.¹²⁾ 동기간 동안 PM_{10} 농도의 전국평균은 $55.7\mu g/m^3$ 이었고 $PM_{2.5}$ 농도의 전국평균은 $27.8\mu g/m^3$ 이었으며, 미세먼지와 초미세먼지 농도의 상관관계수는 0.57정도로 나타났다. 같은 기간 동안 미세먼지 나쁨(일평균 $80\mu g/m^3$) 이상이 14일 정도인 반면에 초미세먼지 나쁨(일평균 $36\mu g/m^3$) 이상은 27일 정도인 것으로 측정되었다.

우리나라 대기오염을 발생시키는 원인으로서 응답자들의 70% 이상이 중국으로부터 유입되는 황사나 미세먼지가 가장 큰 요인이라고 대답하였다. PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 에 대한 응답자들의 지식정도를 5점 척도 상에 질문한 문항에 대해서 각각 평균이 2.9와 2.8을 점하여 응답자들이 미세먼지나 초미세먼지에 대해 잘 알고 있다고 보기는 어려웠다. 응답자들의 70% 정도가 봄철 동안 여러 형태의 호흡기 증상이나 질환을 경험한 것으로 대답하였다. 응답자들의 야외여가활동 수요와 회피행동 관련 의사결정에 영향을 미치는 인구·통계학적 변수들로는 응답자들의 성별, 연령, 교육수준 그리고 가구소득 변수 등이 포함되었다. <Table 4>는 실증분석에 사용될 변수들의 정의와 표본의 특성을 요약하고 있다.

12) 봄철기간 미세먼지 농도는 응답지 거주지의 GPS 좌표를 이용하여 환경부 예보 사이트인 Air Korea에서 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.

(Table 4) Definitions of Variables and Sample Characteristics

Variable Names		Description	Mean	S. D.
Air Quality Variables	SRisk_PM	0 to 10 linear index of health risks from exposure to particulate matter (PM10)	6.7	2.1
	SMean_PM10	Concentration of PM10 in residential areas during Spring of 2017 (단위: $\mu g/m^3$)	55.7	8.1
	SMean_PM2.5	Concentration of PM25 in residential areas during Spring of 2017 (단위: $\mu g/m^3$)	27.8	4.1
	S. Neighbor	=1 if the surroundings of residential area is normal, satisfactory or very satisfactory; =0 otherwise	0.85	0.36
	ChinaSource	=1 if respondents feel that the main source of PM in Korea is from China; 0 otherwise	0.72	0.45
Knowledge/ Experience variables	CheckPM	Degree of PM forecast check on a 1 to 5 scale	2.8	1.1
	Know_PM10	Degree of knowledge about PM10 on a 1 to 5 scale.	2.9	0.79
	RSymptom	=1 if respondents experienced respiratory diseases during the spring season of 2017; 0 otherwise	0.7	0.46
	Rchronic	= 1 respondents have chronic diseases related to PM10 ; 0 otherwise	0.09	0.29
	Smoking	Numbers of cigarettes for a month	2.62	6.1
	Alcohol	Monthly alcohol drinking frequency	4.68	5.6
Behavior Variables	OutFreq	Monthly frequency of outdoor leisure activities	8.5	6.7
	OutWork	Numbers of hours spent outdoors for work a month	9.5	9.0
	WClose	Degree of closing windows at home during the Spring season on a 1 to 5 scale	3.99	0.9
	APUSe	=1 if respondents use air purifiers at home	0.41	0.5
	MaskUse	=1 if respondents wear masks when going out	0.46	0.5
	Vitamin Take	=1 if respondents take health supplement such as Vitamin C; 0 otherwise	0.67	0.47
Demo-graphic Variables	Income	Monthly household income (Million won/ month)	4.74	2.5
	Wage	respondents' hourly wage (Thousand won/hour)	24.707	21.3
	Gender	=1 if respondent is male; 0 if female	0.49	0.5
	Age	Respondents' age (years)	44.9	13.6
	College	=1 respondents are college graduates or higher; =0 otherwise	0.77	0.42
	# Child	Numbers of children under age 5	0.2	0.55

IV. 실증분석 결과

1. 야외여가활동 수요함수 추정결과

미세먼지 위험인지에 따른 회피행동 수요함수를 추정하기에 앞서 개인들의 야외여가활동 수요함수(식 (5))를 추정하였다. 설문조사에서 응답자들에게 산책이나 운동 등 야외여가활동에 대한 평소의 빈도를 월단위로 질문하였다. 즉 야외여가활동 수요량은 월간 빈도로 측정하였으며 0에서 30번의 범위에 있는 가산자료로 볼 수 있다. 월간 야외활동 빈도는 <Table 4>에 요약된 바와 같이 전체표본의 평균이 8.5인데 반하여 표준편차는 6.7로 측정되어 과산포(over-dispersion)의 가능성이 있다. 이러한 가능성을 반영하여 음이항 모형을 적용하여 야외여가활동 수요함수를 추정하고,¹³⁾ 그 결과를 <Table 5>에 제시하고 있다. 설명변수들로 야외활동시간에 대한 기회비용을 나타내는 임금수준과 거주지역의 미세먼지(PM_{10})와 초미세먼지($PM_{2.5}$) 봄철 평균농도 그리고 미세먼지 건강위험에 대한 주관적 인지변수(SRisk_PM)와 응답자들의 건강자본 K 과 인적자본 S 상태를 반영하는 변수들과 인구통계학적 변수들을 포함하였다.

우선 야외활동 시간에 대한 기회비용을 나타내는 시간당 임금액(Wage)은 야외여가활동 빈도에 부의 영향을 미쳤으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 거주 지역에 대한 만족도가 높은 응답자들일수록 야외활동의 빈도가 높은 것으로 나타났다. 반면에 담배를 많이 피우는 등 건강위험행동을 스스로 취해 온 사람들일수록 야외여가활동 빈도는 낮은 것으로 나타났다. 나아가서 나이가 들수록 남성들일수록 정기적인 야외여가활동의 빈도가 높은 것으로 나타났다. 미세먼지 노출에 대한 객관적 위험수준을 반영하는 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 농도수준은 정의 부호를 나타냈으나, 응답자들의 야외여가활동 수요에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 마찬가지로 미세먼지 노출로 인한 주관적 위험인지 변수 역시 정의 부호를 나

13) 과산포의 가능성이 있는 가산자료를 포아송 모형으로 추정하였을 경우 계수추정치의 표준오차가 과소평가 되어 계수추정치의 통계적 유의성이 과대평가 될 가능성이 있다(Cameron and Tiveldi, 2005). 그리고 음이항 모형 추정결과 제시되는 과산포 계수(α)를 통계적으로 검정하여 포아송 모형과 음이항 모형의 적절성을 비교할 수 있으므로 음이항 모형을 적용이 모형 선택에 있어 제약이 상대적으로 적다고 볼 수 있다.

〈Table 5〉 Estimates of Negative Binomial Model for Outdoor Activity Demand

Variables		Coefficients	t-ratio
Intercept		1.248	5.29
Opportunity costs	Wage	-0.0011	-0.80
Subjective · objective risks	SMean_PM10	0.0007	0.19
	SMean_PM25	0.0055	0.76
	SRisk_PM	0.0085	0.72
Health capital variables	S. Neighbor	0.135***	2.76
	OutWork	0.0128***	4.69
	Smoking	-0.012***	-2.65
Human capital variables	Income	0.005	0.58
	Gender	0.189***	3.34
	Age	0.008***	4.66
	College	0.022	0.35
Over-dispersion coefficient (α)		0.576***	19.39
N		1,224	
LR χ^2 statistic		67.6***	

타냈으나 통계적으로 유의하지 않았다. 〈Table 5〉의 마지막에 제시된 과산포 계수 (α)가 양의 부호를 나타내고 통계적으로 유의하므로 포아송 모형에 비해 음이항 모형의 선택이 더 적절하다고 볼 수 있다.

2. 회피행동 참여여부와 수요함수 추정결과

지난 봄철 (3월에서 6월) 동안 미세먼지 때문에 야외여가활동을 줄였느냐는 질문에 〈Table 2〉에 제시된 바와 같이 표본의 60% 이상 (739명)의 응답자들이 야외여가활동을 줄였다고 응답하였다. 나머지 485명은 야외여가활동 시간을 제한하지 않았다고 응답하였다. 즉 표본의 60%가 회피행동에 참여한 것이라고 볼 수 있다. 일단 회피행동에 참여한 사람들에게 대해서만 회피행동의 수준을 결정하도록 하는 두 단계 의사결정과정으로 질문하였다. 이러한 표본의 특성을 반영하여 회피행동 관련 실증 분석은 회피행동 참여여부 함수와 회피행동 수요함수로 구분하여 이루어졌다.

1) 회피행동 참여여부 프로빗 모형 추정결과

미세먼지 노출을 줄이기 위해 야외여가활동을 감소하기로 하는 회피행동 참여여부 결정에 영향을 미치는 요인들을 살펴보기 위하여 프로빗 모형을 추정하고, 미세먼지와 초미세먼지의 포함여부에 따라 <Table 6>의 모형 (1) 과 모형 (2) 에 추정결과를 제시하고 있다. 예상과 달리 거주지 지역의 $PM_{2.5}$ 농도평균(모형 1) 나 PM_{10} 농도평균(모형 2)은 응답자들의 야외여가활동 제한에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 못한 것으로 나타났다. 반면에 미세먼지 노출에 의한 위험인지 수준이 높은 응답자들일수록 그리고 미세먼지 농도예보를 자주 체크 하고, 미세먼지 발생의 가장 큰 원인이 중국발이라고 생각하는 사람들일수록 야외활동을 줄일 가능성도 높은 것으로 나타났다.

다른 한편으로 평소에 야외여가활동을 많이 해 온 사람들일수록 봄철 동안 호흡기증상을 경험한 사람들일수록 야외활동을 줄이는 회피행동에 참여할 가능성이 높았다. 나아가서 봄철 동안 실내에서 창문을 닫고 지내거나 공기청정기를 사용하거나 외출시 마스크를 사용하거나 면역력 증강을 위한 비타민제를 복용하는 등 이미 미세먼지 노출을 줄이기 위한 회피행동 유형에 참여하고 있는 사람들일수록 야외여가활동 감소에 참여할 가능성이 높았다. 인구통계학적 요소로는 소득수준이 높을수록 그리고 5세 미만 아동이 있는 여성일수록 회피행동에 참여할 가능성이 높은 것으로 나타났다.

2) 도구변수접근법을 적용한 회피행동 수요함수 추정결과

회피행동 수요함수와 위험인지함수의 결합추정

야외여가활동 빈도감소에 반영된 회피행동 수요함수 추정에서 주관적 위험인지 변수의 내생변수 가능성을 고려하여 도구변수접근법을 적용하여 회피행동 수요함수 (식 (8)) 와 위험인지함수(식 (9)) 를 결합추정 하고 <Table 6>의 모형 (3) 과 (4) 에 추정결과를 제시하고 있다.¹⁴⁾ 우선 회피행동 수요함수의 설명변수들은 야외활동 시

14) 미세먼지 위험인지 수준은 0에서 10의 선형척도 상에서 측정된 서열변수이기 때문에 순위프

간의 기회비용으로서 임금율(*Wage*), 응답자들의 주관적 위험인지수준(*SRisk_PM*), 만성호흡기 질환여부(*RChronic*), 야외활동 관련 변수들(*OutFreq*, *OutWork*), 다른 회피행동유형(*APUse*, *WClose*, *MaskUse* *VitaminTake*) 그리고 소득수준과(*Income*) 응답자의 성별(*Gender*) 변수들에 의해 영향을 받는 것으로 상정하였다.

다른 한편으로 내생변수인 주관적 위험인지합수 추정에 있어서 식별변수들로 사용된 변수들은 응답자 거주지 인근지역의 PM_{10} 봄철 평균농도(*SMean_PM10*), PM_{10} 에 대한 지식정도를 나타내는 변수(*Know_PM10*), 봄철동안 호흡기 증상 경험여부(*RSymptom*), 중국 발 미세먼지 오염원에 대한 인식변수(*ChinaSource*), 5세 미만 유아 수(*#Child*) 그리고 응답자의 나이(*Age*)와 대학 재학 이상 학력(*College*) 변수들이 포함되었다. 도구변수들의 선정은 Wooldridge(2008, 2010)가 제시한 바와 같이 회피행동 수요함수 추정에서 통계적으로 유의하지 않은 인식 및 태도 그리고 인구통계학적 변수들 중 위험인지 문헌에서 제시하는 예상이 능한 외생 변수들을 모두 포함하여 추정한 뒤, 위험인지 수준의 변화에 대한 설명력이 큰 변수들 위주로 선택하였다.

미세먼지 노출에 따른 위험인지합수 추정결과

위험인지합수 추정결과가 <Table 6>의 모형 (3)에 도구변수들(X_2) 위주로 제시되었다. 포함된 도구변수들 대부분이 예상된 부호를 가졌고 통계적으로 유의하였다. 특히 PM_{10} 의 농도가 높은 지역에 거주하는 응답자들일수록 주관적 위험인지 수준이 높은 것으로 나타났다. PM_{10} 농도가 객관적 위험측정치의 대리변수로 사용된 점을 감안하면 응답자가 거주하는 지역의 위험수준이 높을수록 주관적 위험인지 수준도 높은 것이라고 볼 수 있다.¹⁵⁾ 또한 PM_{10} 에 대해서 잘 알고 있다고 생각할수록, 봄철 동안 호흡기 증상이나 질환 경험자일수록 주관적 위험인지수준이 높았

로빗모형을 적용할 수 있지만 토빗모형의 회피행동 수요함수와 결합추정을 위해 OLS 회귀모형을 적용하였다. <Table 6>의 모형 (3)에 제시된 결합추정 결과는 순위프로빗모형으로 독립추정했을 경우와 비교하여 위험인지합수 설명변수들의 부호나 통계적 유의성에 차이가 없는 것으로 나타났다.

15) $PM_{2.5}$ 농도변수도 설명변수도 포함하였으나 PM_{10} 변수의 부호와 반대로 나타나고 통계적으로 유의하지 않아 최종 모형에서는 포함시키지 않았다.

〈Table 6〉 Estimates of Averting Behavior Participation and Demand Model

Variables		Averting behavior participation function		Joint estimation using IV	
		Probit Model (1)	Probit Model (2)	Risk perception Model (3)	Averting behavior demand Model (4)
	Intercept	-2.861 (-7.20)	-2.542 (-6.54)	3.765 (7.32)	-16.39 (-10.7)
PM health risks/ related variables	SRisk_PM	0.048** (2.34)	0.049** (2.38)		1.481*** (5.67)
	SMean_PM10		-0.005 (-0.11)	0.014** (2.31)	
	SMean_PM2,5	0.011 (1.14)			
	CheckPM	0.182*** (4.54)	0.184*** (4.60)		
	Know_PM10			0.196*** (2.93)	
	China_source	0.154* (1.75)	0.158* (1.78)	0.362*** (3.21)	
Opportunity costs	Wage				0.0104 (1.38)
Health capital	RSymptom	0.281*** (3.16)	0.283*** (3.18)	0.673*** (5.78)	
	R_Chronic				0.754 (1.55)
Outdoor activity related variables	OutFreq	0.0252*** (4.15)	0.0253*** (4.17)		0.379*** (17.39)
	Out_Work				-0.04** (-2.40)
Other types of averting behavior variables	WClose	0.241*** (5.00)	0.243*** (5.05)		0.792*** (3.94)
	APUse	0.346*** (4.04)	0.347*** (4.05)		1.082*** (3.53)
	MaskUse	0.428*** (5.18)	0.426*** (5.16)		1.419*** (4.79)
	VitaminTake	0.133 (1.56)	0.12* (1.51)		0.725** (2.36)
Human capital /demo-graphic variables	Income	0.036** (2.15)	0.038** (2.21)		0.0007 (1.14)
	Gender	-0.153** (-1.88)	-0.151* (-1.86)		-0.721** (-2.25)
	Age	-0.0025 (-0.85)	-0.0026 (-0.85)	-0.0182** (-4.36)	
	College	0.126 (1.32)	0.122 (1.27)	0.378*** (3.01)	
	#Child	0.217*** (2.67)	0.210*** (2.59)	0.307*** (3.28)	
N		1,224	1,224	1,224	
Wald χ^2 statistic ^a		-	-	18.32***	
χ^2 statistic ^b		298.7***	297.4***	508.8***	

Notes: ^a: Wald χ^2 Statistics is for an exogeneity test of the risk perception variable.

^b: χ^2 statistic is for the hypothesis test that all variables other than intercept are not statistically significant.

다. 우리나라 미세먼지 발생의 주원인이 중국발이라고 생각하는 사람들일수록 위험 인지 수준이 높았다. 다른 한편으로 나이가 적고 대학 재학 이상의 학력을 가진 응답자들일수록 그리고 5세 미만의 유아가 있는 응답자 일수록 위험인지 수준이 높은 것으로 나타났다.

회피행동 수요함수 추정결과

회피행동 수요함수 추정결과가 <Table 6>의 모형 (4)에 제시되었으며, 포함된 설명변수들의 부호들이 대체로 예상과 일치하였고 통계적으로 유의하였다. 우선 미세먼지 노출에 따른 건강위험이 높다고 인지하고 있는 응답자들일수록 회피행동에 대한 수요 즉 야외여가활동 감소폭이 큰 것으로 나타났다. 야외활동에 보낸 시간의 기회비용으로서 임금수준이 높을수록 야외여가활동 감소폭도 큰 것으로 나타났지만 통계적으로 유의한 수준은 아니었다. 마찬가지로 호흡기 관련 만성질환이 있는 응답자들일수록 회피행동에 대한 수요가 컸지만 역시 통계적으로 유의한 수준은 아니었다. 여성들이 남성들에 비해 야외여가활동 감소폭이 큰 것으로 나타났으나 소득이나 나이 그리고 교육수준 등의 다른 인구통계학적 변수들은 회피행동에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

평소에 야외여가활동을 즐겨온 사람들일수록 미세먼지가 악화된 봄철 야외활동 감소폭이 큰 것으로 나타났다. 반면에 평소에 업무상으로 야외활동이 많은 사람들은 미세먼지 악화에 따라 야외여가활동의 감소폭이 적은 것으로 나타난 것이 눈에 띈다. 또한 환경부에서 미세먼지 대처요령으로 제시하고 있는 외출시 마스크를 사용하거나 실내 창문을 닫아 놓는 등의 회피행동을 평소에 하고 있는 응답자들일수록 야외활동의 감소폭이 통계적으로 유의하게 큰 것으로 나타났다. 아울러서 집에서 공기청정기를 사용하거나 평소에 비타민 섭취 등으로 면역력 증강을 통한 회피행동에 참여하는 사람들도 야외활동 감소폭이 큰 것으로 나타났다.

위험인지변수의 내생성 검정 및 식별력 검정 결과

회피행동 수요함수와 위험인지변수의 결합추정의 결과물의 하나로 내생변수 P 의 외생성 가설에 대한 Wald 통계량이 $\chi^2=18.32(df=1)$ 로 도출되었다.¹⁶⁾ 이 통계량에

의하면 위험인지변수 외생성이 검정이 기각되고 내생변수로 보는 것이 적절하다.

다른 한편으로 내생변수인 위험인지함수의 추정에 7개의 도구변수들(식 (9)에서 X_2) 이 포함되었기 때문에 과다식별제한(overidentifying restrictions) 가능성을 검정하기 위하여 Basmann 유형의 통계량을 계산하였다 (Wooldrige, 2008).¹⁷⁾ 검정통계량이 $\chi^2_{df=6} = 2.8 (= nR^2)$ 로 유의확률(p_value)이 0.83으로 측정되어서, 위험인지함수에 포함된 도구변수들이 토빗모형의 회피행동 수요함수 오차항과 상관성이 없다는 귀무가설을 기각할 수 없었다. 즉 위험인지함수의 도구변수로 선정된 7개의 변수들은 타당하고 적절하게 선정되었다고 볼 수 있다.

3. 미세먼지 위험인지 및 농도감소에 대한 지불의사 측정

〈Table 6〉에 요약된 회피행동 수요함수 결합추정 결과를 활용하여 산정된 미세먼지(PM_{10})의 주관적 위험인지 변화와 농도감소에 따른 지불의사 표본평균과 신뢰구간을 〈Table 7〉에 제시하고 있다. 먼저 〈Table 6〉의 모형 (4)에 제시된 위험인지변수($SRisk_PM$)의 계수추정치를 이용하여 위험인지 평균수준에서 1단위 감소 시킴에 따른 야외여가활동 변화의 한계효과가 약 1.03회 정도로 산정되었다. 2017년 봄철 동안 야외활동을 제한했다고 응답자들은 월 평균 4.6회 정도 감소했으므로 약 20% 정도의 변화라고 볼 수 있다.

2014년 통계청에서 조사한 「생활시간조사」 결과 능동적 야외활동 평균시간이 38분 정도인 것으로 조사되었다. 야외여가활동 추가격(식 (4))의 일부로서 시간비용을 개인들의 임금율과 같다고 보면,¹⁸⁾ 위험인지 1단위 개선으로 야외활동을 줄이

16) 덧붙여서 Durbin-Wu-Hausman가 제안한 일종의 모형선택 검정을 실시하였다(Green, 2008). 먼저 식 (9)의 위험인지함수($SRisk_PM$)를 OLS로 추정한 뒤 잔차항을 식 (8)로 표기된 회피행동 수요함수에 설명변수로 추가하여 토빗모형을 추정한 결과 χ^2 통계량이 11.5이고 유의확률이 0.007로 계산되었다. 즉 식 (9)의 위험인지변수와 식 (8)의 회피행동 수요함수의 오차항의 상관성이 없다는 귀무가설이 기각되었다. 위험인지변수를 내생변수로 보는 것이 적절하다는 결론을 다시 한번 확인하였다.

17) Basmann 유형의 통계량은 회피행동 수요함수와 위험인지함수를 결합추정한 뒤 구한 잔차항을 종속변수로 하고 내생변수인 위험인지함수에 포함된 모든 변수들(도구변수들을 포함)을 설명변수로 회귀분석을 수행한다. 검정통계량은 회귀모형의 결정계수 R^2 에 표본의 크기 n 곱하여 산정하며 $\chi^2(df=6)$ 분포를 취한다. 만약 검정통계량이 χ^2 분포의 임계치보다 적다면 도구변수들이 타당하다고 볼 수 있다(Wooldrige, 2008).

지 않아도 되어서 누리게 되는 월간 한계편익이 16,077원(=1.03회x38/60시간 x24,707원)으로 산정되었다. 같은 맥락에서 응답자들의 위험인지수준을 현재의 평균수준에서 50% 정도 감소시킬 수 있다면, 야외활동을 감소하지 않아도 됨으로써 월간 31,700 원 정도의 편익이 발생하는 것으로 산정되었다.

〈Table 7〉 WTP Estimates for Reductions in PM₁₀ Risk Perception and Concentration
(unit: won)

WTP measures		WTP estimates	
		Sample Mean	95% Confidence Interval
Benefits for PM ₁₀ risk perception reduction	Marginal effects evaluated at the mean of risk perception $\frac{\partial E(A_i/P_i)}{\partial P_i}$	1.03/month	
	Lower bounds of monthly marginal WTP of risk perception reduction	16,077 (5.66) ^a	11,329 ~ 21,375
	Monthly WTP for 50 percent reduction	31,302 ^b (8.86)	35,404 ~ 38,842
Benefits for PM ₁₀ concentration reduction	Annual WTP for PM10 reduction from the spring mean (55.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) to WHO recommendation (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,977 ^c	-

Notes: ^a: statistics in parentheses; standard errors were calculated using the delta method.
^b: To calculate WTP estimates for the non-marginal 50 percent reduction in risk perception, the conditional forecasts of outdoor activity reduction ($E(A)$ at Eq. (8)) were calculated at the two points of risk perceptions (6.7 and 3.35), which were multiplied with respondents' opportunity costs of time.
^c: WTP estimate for PM₁₀ reduction was indirectly calculated through the effects on risk perceptions changes (Eq. (8) and (9)), which was multiplied with changes in the PM concentration reduction (35.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

18) 여가시간에 대한 기회비용을 얼마로 해야 할 것인가에 대해서는 아직도 의견이 일치되지 않고 있다. 시간의 기회비용 개념을 도입한 Becker(1965)는 시간의 기회비용을 임금율로 보았다. 반면에 레크레이션 수요에 있어서 여가시간을 임금율의 50% 전후로 보았다(엄영숙, 1998). 그리고 Lee and Kim(2005)은 한국자료를 사용하여 임금삭감에도 불구하고 여가시간 확보를 위해 근로시간을 얼마 정도를 줄일 의사가 있는지에 대한 질문에 기초하여 여가시간 잠재가격이 임금을 보다 9%정도가 높은 것으로 분석하였다. 최근 들어 Verbooy et al., (2018)은 유럽 몇 개국을 사례로 선호기반 시간배분모형에 기초하여 분석한 결과 효용에 기여하는 측면에서 여가시간의 가치가 업무하는 시간의 효용을 초과하는 것으로 관찰하기도 하였다. 본 연구에서는 다양한 여가시간 가치분포의 중간정도에 있고 한국자료를 사용한 Lee and Kim(2005) 분석결과를 사용하여 여가시간의 가치를 임금율과 같다고 보았다.

식 (8) 과 (9) 를 결합추정 한 결과인 <Table 6>의 모형 (3) 과 (4) 추정결과에 근거하여, 거주지역의 미세먼지 농도가 응답자들의 회피행동에 직접적으로 영향을 미치지 않지만 위험인지함수를 통하여 간접적으로 회피행동에 영향을 미치고 있다고 해석할 수 있다 (즉 $\frac{\partial A}{\partial \alpha} = \frac{\partial A}{\partial P} \frac{\partial P}{\partial \alpha}$). 미세먼지 농도의 간접적 영향으로 나타난 응답자들의 회피행동 변화에 반영된 2017년 봄철 평균 미세먼지(PM_{10})의 농도($55.7 \mu g/m^3$)로부터 WHO 권고기준($20 \mu g/m^3$)까지의 감소에 따른 연간 편익이 약 8,000원 정도로 산정되었다.

V. 결론 및 시사점

건강위해 가능성이 있는 미세먼지 노출우려에 대한 개인들의 반응을 이해하기 위해서는 개인들의 위험인지과정(risk perceptions), 회피행동(avoiding behavior) 그리고 이러한 행동변화에 함축된 위험감소에 대한 가치(values)의 세 가지 측면을 종합적으로 살펴보아야 한다(Freeman, 2003). 이 세 가지 측면을 체계적으로 살펴본 기존문헌이 미흡한 상황에서 개인들의 주관적 위험인지를 가계생산이론의 틀 안에서 회피행동접근법과 접목하고 실증분석을 수행하였다는 점이 본 논문의 차별성이라고 볼 수 있다. 2017년 10월 후반에 실시된 웹설문 조사 응답자 1,224명을 대상으로 추정된 위험인지와 회피행동의 결합추정 결과는 미세먼지 위험인지-회피행동-지불의사 측정이 체계적으로 분석될 수 있음을 보여주었다.

우선 0-10의 선형척도 상에서 측정된 미세먼지 위험인지 수준은 개인들의 일상적 야외여가활동 수준의 결정에는 영향을 미치지 않았으나, 미세먼지에 대한 우려로 야외활동을 감소시킬 것인지 여부와 감소수준으로 측정된 회피행동에 참여여부와 회피행동 수요에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 나아가서 개인들의 위험인지수준은 응답자 거주지역의 미세먼지 농도수준 뿐만 아니라 주변 환경에 대한 만족도, 미세먼지에 대한 지식정도, 호흡기 증상 및 질환경험, 그리고 대기오염 발생원에 대한 태도 등에 의해서 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 위험인지의 내생변수 가능성을 고려하여 도구변수접근법을 적용하여 위험인지함수와 회피행동 수요함수를 결합추정 한 것은 적절한 것으로 분석되었다.

다른 한편으로 봄철 기간 동안 응답자 거주지역의 미세먼지와 초미세먼지 평균농

도는 야외여가활동 빈도나 회피행동에 직접적으로 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 그러나 미세먼지 평균농도는 응답자들의 주관적 위험인지함수에서 적절한 도구변수로 사용되어 간접적으로 회피행동에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 또한 미세먼지 예보 체크 정도는 주로 야외활동 감소여부 결정에 영향을 미치고, 감소수준에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

평상시 야외여가활동 빈도가 높은 사람들일수록 미세먼지 노출에 대한 우려로 야외활동을 줄일 가능성이 높았고 감소 수준도 높았다. 아울러 공기청정기, 마스크 사용, 면역증강 보조식품 복용, 실내 창문 닫기 등 미세먼지 예보제에서 권고하는 미세먼지 대처 행동들이 야외활동 감소여부와 감소빈도에 모두 통계적으로 유의한 영향을 미쳤다. 즉 야외활동을 제한하는 사람들은 이미 다른 회피행동도 병행해서 취하고 있다고 볼 수 있다. 미세먼지 위험감소에 대한 편익을 정확히 추정하기 위해서는 향후 이러한 여러 유형의 회피행동들을 종합적으로 분석할 필요가 있다.

본 연구에서 추정한 회피행동 수요함수 추정치를 이용하여 위험인지 평균수준에서 1단위 감소에 대해 개인들은 월평균 16,000원 정도의 한계지불의사가 있는 것으로 나타났다. 또한 개인들의 위험인지 수준을 현재의 절반 수준으로 감소시킬 경우 지불의사는 월평균 31,000원 정도로 측정되었다. 표본 지불의사 산정에 있어 야외활동 총 가격으로 시간비용만 포함하였으므로, 화폐비용도 포함할 경우 편익은 더 커질 것으로 예상할 수 있다. 덧붙여서 야외활동을 제한하는 응답자들은 다른 유형의 회피행동들도 동시에 취하고 있어서 본 연구에서 측정한 편익은 미세먼지 위험감소 편익으로서 하한치라고 볼 수 있을 것이다. Kim, Kim and Yoo(2018)은 2017년 비슷한 시기에 CVM을 적용하여 초미세먼지 주의보가 2016년 대비 반절로 감소하는 미세먼지 관리대책에 대해 국민들이 연평균 6,000원 정도의 공익적 가치를 갖는 것으로 분석하였다. 본 연구 결과에 의하면 야외활동 감소라는 한 가지 회피행동 유형에 반영된 위험인지 수준 1단위 감소에 대한 사적가치가 연평균 190,000을 초과하는 것으로 나타났다. 즉 미세먼지 위험감소에 대한 사적가치가 공적가치보다 훨씬 큰 것으로 볼 수 있다.

물론 본 연구결과는 미세먼지 농도가 회피행동 수요에 직접적으로 영향을 미치지 않는 것으로 나타났고, 야외활동 감소가 미세먼지(PM_{10}) 위험을 회피하는 것인지 아니면 초미세먼지($PM_{2.5}$)를 회피하고자 하는 것인지 구분이 명확하지 않다. 앞서 언급한 바와 같이 식 (6)에 제시된 야외활동 감소함수를 추정하기 위해서는 미세먼

지와 초미세먼지를 구분하여 각각의 농도변화(혹은 미세먼지 예보제 정보변화)에 따른 위험인지 변화를 측정하고 이에 따른 회피행동의 변화를 측정할 수 있는 패널자료의 구축이 요청된다. 특히 패널자료 구축 시 기간을 본 연구와 같이 봄철 월간 평균자료가 아니라 시간별로 측정되는 미세먼지나 초미세먼지 농도의 변화에 개인들의 여가활동 제한정도를 직접 연계할 수 현시선호 데이터의 구축이 요청된다. 또한 개인들로부터 미세먼지 노출로 인한 건강위험 확률을 측정하기 위해 선형척도 보다는 좀 더 정교한 도구가 필요하고, 야외활동의 월간 빈도 이외에 야외에서 보내는 시간이나 금전적 비용지출 등에 대한 정보수집 등 추가적인 노력이 필요하다. 아울러서 본 연구결과의 해석에 있어서 분석표본의 특성이 전국 평균에 비해 대학교육 졸업자들의 비중이 약간 높고 가구소득도 약간 높은 점을 감안하는 것이 필요하다.

이렇듯 본 연구결과를 일반화하기 위해 개선의 여지가 있지만 미세먼지 저감정책과 대 국민 위험소통에 시사하는 바가 크다고 볼 수 있다. 우리나라와 같이 중국 등 주변국가로부터 미세먼지 유입이 큰 경우, 정부정책 만으로는 고농도 미세먼지가 국민들에게 미치는 건강위해를 감소시키기에 역부족이고 국민들의 자발적인 참여가 필요하다. 반면에 정부의 적극적인 저감정책으로 미세먼지 농도가 감소하여 건강위해가 줄었음에도 국민들의 우려가 높아 여전히 회피행동을 취한다면 필요 이상의 사회적 비용이 발생할 수 있을 것이다. 그러므로 미세먼지 저감대책의 방향은 대기 중 미세먼지 농도를 감소시킬 수 있는 적극적인 정책집행과 아울러 개인들의 위험인지과정을 이해하고 합리적으로 소통하려는 노력이 동시에 이루어져야 할 것이다. 특히 본 연구에서 미세먼지(PM_{10})와는 달리 초미세먼지($PM_{2.5}$)의 농도수준이 주관적 위험인지에 영향을 미치지 않았고 나아가서 회피행동에도 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 초미세먼지는 미세먼지보다 건강위해의 가능성과 심각성이 더 큰 점을 고려하면, 앞으로 초미세먼지의 농도측정의 정확도를 높이는 노력과 아울러 국민들의 인식과 행동을 변화시키는 위험소통에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

■ 참 고 문 헌

1. 김용표, “미세먼지 모두가 아는 위험,” 『지식의 지평』, 5, 2017, pp. 1-15.
(Translated in English) Kim, Yong-pyo, “Particulate Matters, Health Risk that everyone Knows” *Horizon of Knowledge*, 5, 2017, pp. 1-15.
2. 명준표, “미세먼지와 건강장애,” 『대한내과과학회지』, 제91권 제2호, 2016, pp. 107-113
(Translated in English) Myung, Joon-pyo, “Particulate Matters and Health Hazard,” *Journal of the Korean Society of Internal Medicine and Science*, Vol. 91, No. 2, 2016, pp. 107-113
3. 신동천, “미세먼지의 건강영향,” 『한국의 사회동향 2017』, 92, 2017
(Translated in English) Shin, Dong-chun, “Health Effects of Particulate Matters,” *Social Trends in Korea 2017*, 92, 2017.
4. 신영철, “대기오염으로 인한 건강효과의 경제적 비용-급성 호흡기질환 회래환자를 중심으로,” 『자원환경경제연구』, 제11권 제4호, 2002, pp. 659-687.
(Translated in English) Shin, Young Chul, “Economic Costs of Health Effects from Air Pollution: Focusing on Out-patients Visits with Acute Respiratory Diseases,” *Korean Environmental and Resources Economics Review*, Vol. 11, No. 4, 2002, pp. 659-687.
5. 안소은 외, 『빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향평가 및 피해비용 추정 (II)』, 환경정책평가연구원, 2016.
(Translated in English) An, So-eun, *Estimation of Health Effects and Estimation of Damage Costs of Air Pollution Using Big Data (II)*, Korean Environmental Institute, 2016.
6. _____, 『빅데이터를 이용한 대기오염의 건강영향평가 및 피해비용 추정 (III)』, 환경정책평가연구원, 2017.
(Translated in English) An, So-eun, *Estimation of Health Effects and Estimation of Damage Costs of Air Pollution Using Big Data (III)*, Korean Environmental Institute, 2017.
7. _____, 『국민환경의식조사』, 환경부, 2018.
(Translated in English) An, So-eun, *National Environmental Attitudes Survey*, Korean Environmental Institute, 2018.
8. 엄영숙, “대기오염이 건강에 미치는 영향에 대한 가치평가: 회피행위접근법을 사용하여,” 『환경경제연구』, 제7권 제1호, 1998, pp. 1-23.
(Translated in English) Eom, Young-sook, “Economic Valuation of Health Effects of Air Pollution: Application of Averting Behavior Method,” *Korean Environmental and Resources Economics Review*, Vol. 7, No. 1, 1998. 1-23.
9. _____, “환경위험의 다면성과 일반인들의 주관적 위험인지: 쓰레기 소각시설로부터의 건강위험을 사례로,” 『자원환경경제연구』, 제12권 제2호, 2004, pp. 5-34.
(Translated in English) Eon, Young-sook, “Multi-Dimensionality of Environmental Risks and Subjective Risk Perceptions: Health Risks from Waste Incinerators,” *Environmental Policy*, Vol. 12, No. 2, 2004, pp. 5-34.

10. 조용성 · 손양훈, “대기오염개선이 건강에 미치는 사회적 편익 추정,” 『응용경제』, 제6권 제1호, 2004, pp.133-149.
(Translated in English) Cho, Y. S and Y. H. Shon, “Measuring Social Benefits of Improving Air Pollution to Health,” *Applied Economics*, Vol. 6, No. 1, 2004, pp.133-149.
11. 통계청, 『생활시간조사』, 2014.
(Translated in English) Statistics Korea, *Time Use Survey*, 2014.
12. ———, 국가통계포털(KOSIS) 각종 데이터, 2018.
(Translated in English) Statistics Korea, Various data from Korean Statistics Information Service (KOSIS), 2018.
13. 최종일 · 이영수, “초미세먼지 배출량이 호흡기계 질환에 미치는 연구,” 『환경정책』, 제23권 제4호, 2015, pp.155-172.
(Translated in English) Choi, J. and Y. Lee, “A Study on Health Effects of PM2.5 Emissions on Respiratory Diseases,” *Environmental Policy*, Vol. 23, No. 4, 2015, pp.155-172.
14. 환경부, 『미세먼지 도대체 뭘까』, 2016. 4.
(Translated in English) Ministry of Environment (MOE), *What is Particulate Matters*, 2016. 4.
15. ———, 『미세먼지 관리 종합대책』, 국무조정실 등 관계부처 합동 2017.9.26.
(Translated in English) Ministry of Environment (MOE), *Comprehensive Measures of Managing Particulate Matters*, 2017.9.26.
16. ———, 『환경백서』, 2018.
(Translated in English) Ministry of Environment (MOE), *Environmental White Paper*, 2018.
17. ———, “미세먼지 예보제,” 대기환경정보 사이트(<https://airkorea.or.kr>), 2019a.
(Translated in English) Ministry of Environment, “Particulate Forecasts,” <https://airkorea.or.kr>, 2019a.
18. ———, “미세먼지 특별법이 시행되면 무엇이 달라질까?” 2019b.
(Translated in English) Ministry of Environment, “What are different after issuing Special Acts on Particulate Matters,” 2019b.
19. Becker, G. S., “A Theory of the Allocation of Time,” *Economic Journal*, Vol. 75, 1965, pp.493-517.
20. Berger, M., G. Blomquist, D. Kenkel, and G. Tolley, “Valuing Changes in Health Risks: A Comparison of Alternative Measures,” *Southern Economic Journal*, Vol. 53, 1987, pp.967-984.
21. Bresnahan, Brain, M. Dickie and S. Gerking, “Averting Behavior and Urban Air Pollution,” *Land Economics*, Vol. 73, No. 3, 1997, pp.340-357.
22. Cameron, A. Colin and P. K. Trivedi, *Microeconometrics: Methods and Applications*, Cambridge University Press, 2005.
23. Courant, P. and R. Porter, “Averting Expenditure and the Cost of Pollution,” *Journal of*

- Environmental Economics and Management*, Vol. 8, 1981, pp.321-329.
24. Dickie, M. S. and S. Gerking, "Willingness to Pay for Ozone Control: Inferences from the Demand for Medical Care," *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 21, 1991, pp.1-16.
25. _____, "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.
26. 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.
27. Freeman, A. M., *Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Method*, Resource for the Future, 2003.
28. Gerking, S. and L. Stanley, "An Economic Analysis of Air Pollution and Health: The Case of St. Louis," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 71, 1986, pp.28-234.
29. Green, William, H., *Econometrics*, Pearson Publishing Co. 2008.
30. Haab, T. C. and K. E. McConnell, *Valuing Environmental and Natural Resources: The Econometrics of Non-Market Valuation*. (Cheltenham, UK; Northampton, MA: Edward Elgar, 2002.
31. Harrington, W. and P. Portney, "Valuing the Benefits of Health and Safety Regulation," *Journal of Urban Economics*, Vol. 22, 1987, pp.101-112.
32. 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.
33. Kim, Ju-Hee, H. J Kim and S. H. Yoo, "Public Value of Enforcing the PM2.5 Concentration Reduction Policy in South Korean Urban Areas," *Sustainability* 2018, 10, pp.1144.
34. Lee, K. S. and I. M. Kim, "Estimating the Value of Leisure Time in Korea," *Applied Economics Letters*, Vol. 12, 2015 pp.639-641.
35. 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.
36. Lui, Tong, G. He and A. Lau, "Avoidance Behavior Against Air Pollution: Evidence from Online Search Indices for Anti-PM2.5 Masks and Air Filters in Chinese Cities," *Environmental Economics and Policy Studies*, Vol. 20, No. 2, 2018, pp.325-363.
37. Neidell, Mattew, "Air Pollution, Health, and Socio-economic Status: The Effect of Outdoor Air Quality on Childhood Asthma," *Journal of Health Economics*, Vol. 23, No. 6, 2009, pp.1209-1236.
38. 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.
39. U.S. EPA, Regulatory Impact Analysis for the Proposed Revision to the National Ambient

Air Quality Standards for Particulate Matter, 2012.

40. Verbooy, K., R. Hoefman, J. Van Exel, and W. Brouwer, "Time Is Money: Investigating the Value of Leisure Time and Unpaid Work," *Value in Health*, Vol. 12, 2018, pp. 1428-1436.
41. Whitehead, John 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.
42. Wooldridge, J. M., *Introductory Econometrics: A Modern Approach*, Cambridge, MA, 2008.
43. _____, *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, Cambridge, MA, 2010.
44. 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.
45. Zvin, J. S. and M. J. Neidell, "Days of Haze: Environmental Disclosure and Intemporal Avoidance Behavior," *Journal of Environmental and Economics Management*, Vol. 58, 2009, pp. 119-128.

Health Risks from Particulate Matters (PM₁₀) and Averting Behavior: Evidence from the Reduction of Outdoor Leisure Activities*

Young Sook Eom** · Hyungna Oh***

Abstract

Using a national panel web survey data with 1,224 respondents, the tobit demand model of outdoor leisure activity reduction was jointly estimated with risk perceptions about particulate matters (PM₁₀) using an instrument variable approach. Respondents' risk perceptions of PM₁₀ had significant influences on the participation and demand decisions of averting behavior, while they had no significant impact on demand for daily outdoor leisure activities. Whereas the objective measure of PM₁₀ concentration matched with respondents' residential region had indirect impacts on averting behavior through changes in respondents' subjective risk perceptions, Based on estimates of tobit demand model of averting behavior, respondents were willing to pay at least a monthly average of 16,000 won for a one unit reduction (based on a 0-10 linear likert) in their risk perceptions.

Key Words: health risks from exposure to PM₁₀, averting behavior method (ABM), reductions in outdoor leisure activity, instrument variable approach

JEL Classification: Q51, Q53, I12

Received: March 11, 2019. Revised: June 7, 2019. Accepted: June 18, 2019.

* This study is financially supported by the Korean Environmental Institute as part of the project 'A Comprehensive Study on Environmental Valuation for Integrated Analysis of Environment and Economy'.

** First & Corresponding Author, Professor in the Department of Economics, Researcher in Sustainable Development Center, Chonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 54896, Korea, Phone: +82-63-270-3036, e-mail: yeom@jbnu.ac.kr

*** Co-Author, Professor in the College of International Studies, Kyung Hee University, 1732 Deogyong-daero, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 17104, Korea, Phone: +82-31-201-2160, e-mail: h.oh@khu.ac.kr