

대기질 개선으로 인한 조기 사망률 감소의 편익추정*

The Benefits from Mortality Reduction by Air Quality Improvement

김수인** · 원두환***

Soojin Kim · DooHwan Won

요약: 본 연구는 대기오염 물질의 저감으로부터 얻는 편익의 크기를 정량화하였다. 편익을 측정하기 위해서 대기오염물질이 호흡기계 및 심혈관계 질환의 조기사망률에 미치는 영향을 농도-반응 함수 추정을 하고, 통계적 인간생명가치(Value of Statistical Life, VSL)값을 이용하여 편익의 크기를 정량화해주었다. 대기오염물질의 농도가 개선될 때, 각 질환으로 인한 조기사망률의 감소분을 추정해주었다. PM₁₀이 10% 개선되면 심혈관계 질환으로 인한 조기사망률 감소로부터 얻는 편익이 2,795억 원으로 추정되었다. 또 SO₂가 10% 개선되면 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 조기사망 감소로 인한 편익이 각각 1,254억 원 2,744억 원으로 추정되었다. 기존 연구에서 추정된 VSL값을 적용하느냐에 따라 편익의 크기가 크게 변하였다.

핵심주제어: 미세먼지, 아황산가스, 농도-반응 함수, 통계적인간생명가치(VSL), 편익이전

Abstract: This study quantifies the magnitude of the benefits from the reduction of air pollutants such as fine dust (PM₁₀) and sulfur dioxide (SO₂). In order to measure these benefits, the effects of air pollutants on early mortality from respiratory and cardiovascular diseases are analyzed by the exposure-response function. Then it is estimated how many people can be saved from the early mortality if PM₁₀ and SO₂ would be clean up. Then, through the benefit transfer, the values of statistical life (VSL) from the previous studies are used to quantify the benefit in monetary terms. The estimated benefit from 10% abatement in PM₁₀ is about 279 billion won that comes from reduction early mortality from cardiovascular diseases. In addition, if SO₂ is reduced by 10%, the benefit from the reduction premature death is estimated about 399 billion won.

Key Words: Particulate Matter, Sulfur Dioxide, Exposure-Response Function, Value of Statistical Life, Benefit Transfer

* 이 논문 또는 저서는 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A5B8057488).

** 주저자, 부산대학교 경제통상연구원 연구원

*** 교신저자, 부산대학교 경제학부 교수

I. 서론

소득 증가와 삶의 질 개선으로 쾌적한 환경에 대한 관심이 높아지고 있다. 우리나라도 마찬가지로 급격한 경제성장과 함께 환경에 대한 인식이 증가했으며(신동천, 2007), 최근 들어 미세먼지를 포함한 대기오염의 심각성이 강조되면서 이를 해결하기 위해 경유차에 대한 규제나 석탄 화력발전소 가동을 줄이려는 등의 정책들이 고안되고 있다. 그러나 미세먼지에 대한 높아진 관심도에도 불구하고 최근 몇 년 간의 미세먼지의 농도는 정체되고 있는 상황이다. 우리나라의 미세먼지 농도의 권고기준은 최근에야 미국과 일본과 같은 수준으로 강화되었으나, 여전히 세계 보건기구(world health organization; WHO)의 권고기준보다 높은 수치이다.¹⁾

OECD는 대기오염으로 인한 피해로 질병으로 인한 의료비 증가와 노동생산성 감소, 농작물 수확 감소를 들었으며, 2060년에 한국 GDP의 0.63%(1조 6천억 원)가량의 손실이 발생할 것으로 전망하고 있다. 또한 대기오염으로 인한 대표적인 피해는 인간의 조기 사망인데, WHO는 매년 대기오염으로 인해 3백만 명 이상이 사망하는 것으로 추산하고 있다. OECD는 실외 대기 오염으로 인한 조기 사망자 수가 2060년에는 6백9십만 명으로 증가할 것으로 예상하고 있으며 OECD 국가 중 우리나라와 일본에서 가장 큰 조기 사망자 수의 증가가 나타날 것이라고 보고하고 있다.²⁾

미세먼지와 아황산가스는 대표적인 대기오염물질로 사람에게 매우 유해하다. 이러한 대기오염물질은 단순히 코나 입뿐만 아니라 피부를 통해서도 체내로 들어올 수 있을 만큼 노출의 가능성이 크다. 미세먼지는 2013년 WHO산하의 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에 의해 1군 발암물질로 지정되었으며, 아황산가스는 호흡기 장애와 폐렴들을 유발하여 사망까지 이르게 할 수 있다(한화진·오소영, 1998). 따라서 미세먼지와 아황산가스 저감을 위한 효과적인 정책

1) 환경부는 지름 2.5 μm 이하인 미세먼지(PM_{2.5}) 환경기준을 일평균 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 연평균 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화하는 '환경정책기본법 시행령'을 2018년 3월 27일부터 시행하였다.

2) 조선일보, 2016.6.10., "한국 2060년 대기오염원인 조기 사망률·경제 피해 OECD 최고".

이 필요한 시기이다.

대기질 개선을 위한 규제 또는 정책 등을 집행하기 위해서는 많은 비용이 발생한다. 반면 대기질 개선의 편익은 조기 사망률 감소 또는 의료비 지출 감소 등이 있을 수 있다(신동천, 2007). 그러나 조기 사망률 감소와 같은 대기질 개선에 대한 편익의 가치는 화폐가치화가 어렵기 때문에 그 가치가 어느 정도인지 직접적으로 가늠하기는 어렵다.

따라서 본 연구에서는 대기오염이 개선되었을 때 조기 사망률 감소에 대한 편익의 크기를 정량화하고자 한다. 우선 미세먼지와 아황산가스의 농도와 사망률의 관계를 추정하고, 대기오염 저감으로 인한 사망률 감소를 예측할 것이다.³⁾ 그 다음, 인간생명가치(value of statistical life: VSL)를 추정한 국내외 연구들을 이용하여 대기오염 저감으로 인한 사망률 감소의 경제적인 가치를 편익이전(benefit transfer)할 것이다. 편익의 가치를 경제적 화폐 단위로 나타냈을 때 비로소 대기질 개선의 가치를 체감할 수 있을 것이며 이는 향후 대기오염 개선을 위한 정책의 비용-편익 분석에 있어서 중요한 정보를 제공할 수 있기 때문이다.

II. 선행연구

대기오염 저감을 통한 편익을 측정하는 연구들은 환경 정책결정에 매우 중요한 정보를 제공할 수 있기 때문에 세계 각국 또는 지역에서 다양한 방법론으로 추정되고 있다(Tientenberg, 2016).

대기오염 저감의 경제적 편익을 측정하기 위해서 대기오염과 질병발생과의 관계를 먼저 분석할 필요가 있다. 즉 농도-반응함수 (exposure-response functions: ERF)를 추정한다면 대기오염의 변화에 따른 유병률

3) 오염물질과 조기사망률과의 관계를 분석하는 것은 병리학적 또는 생물학적인 접근이 더욱 정확할 수 있다. 그러나 Lave and Seskin(1973)의 연구 이후 경제학에서도 이들 관계를 분석한 연구가 매우 활발한데, 생물학적인 변수와 더불어 사회경제학적 변수들이 조기사망률에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 함께 분석할 수 있기 때문이다.

및 조기 사망률을 예측할 수 있다. Aunan and Pan(2004)는 미세먼지(PM_{10})과 이산화황(SO_2)의 농도와 질병발생의 관계를 분석한 중국의 농도-반응 함수(ERF) 연구들을 요약 정리하였는데, 모든 연구에서 대기오염 저감으로 조기 사망률과 유병률이 유의하게 감소하는 것을 발생하였으나, 미국과 유럽의 연구들에 비해서 감소하는 정도가 적다는 것을 발견하였다. Shah et al.(2013)도 $PM_{2.5}$ 농도와 심장병 유병률과의 관계를 분석한 미국의 35개 농도-반응 함수(ERF) 추정 연구들을 분석하여, 미세먼지가 심장병 발생에 매우 치명적이라는 결론을 내었다. Kan and Chen(2004)은 상하이의 미세먼지가 건강에 관한 ERF를 추정하여 조기사망, 호흡기계 질환 및 심혈관계 질환으로 인한 입원 등의 건강반응 횟수(attributable number of cases)를 구하였다. 강충민·박성균·선우영·강병욱·이학성(2006)은 1996년 10월부터 2002년 2월까지의 일별 서울시의 초미세먼지로 인한 호흡기 질환 사망에 관한 농도-반응 함수(ERF) 추정하였다. Janke(2014)는 5세에서 19세까지의 인구를 대상으로 이산화질소와 오존의 농도와 그로인한 응급 입원을 변화를 연구하였다.

대기오염 저감으로 인해 경제적 가치를 추정하는 연구들은 방법론에 따라 구분할 수 있다. 연구방법론으로 많이 쓰이는 방법은 특성가격법(hedonic price method: HPM), 회피행위접근법(averting behavior method: ABM), 조건부가치법(contingent valuation method: CVM) 또는 컨조인트법(conjoint choice method: CCM)법 등이다(Tientenberg, 2016).

특성가격법(HPM)은 대기오염과 부동산의 관계를 분석하여 대기오염 저감으로 인해 부동산의 가치가 얼마나 상승하는지를 관찰하여 방법이다. 특성가격법(HPM)을 이용하여 대기오염저감의 가치를 추정한 기존의 연구들을 요약·정리한 Smith and Huang(1995)는 1평방미터에 1마이크로그램의 대기오염이 감소하면 평균적으로 \$98.52 정도의 편익이 각 가구에 발생하는 것으로 추정하였다. 김희재·전명진(2014), 임영식·전영섭(1993), 최종일·심성훈(2002) 등도 HPM을 이용하여 국내 부동산 자료를 이용하여 대기질 개선으로 인한 편익을 측정하였는데, 대기오염 감소가 부동산

가격 상승에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

회피행위접근법(avoiding behavior method: ABM)이란 소비자들이 오염물질에 대한 노출을 회피하기 위하여 지출하는 방어적 지출로부터 개인의 오염감소에 대해 지불의사(willingness to pay: WTP)를 추론하는 방법이다. Liu et al.(2017)은 회피행위접근법(ABM)을 이용하여 중국인의 PM_{2.5} 저감을 위한 지출을 추정하였다. PM_{2.5}의 농도가 1% 증가하면 이를 회피하기 위한 기구들에 대한 소비가 3.6%~8.4% 증가하는 것을 발견하였다. 엄영숙(1998)도 회피행위접근법(ABM)을 이용하여 국내 대기오염 저감의 가치를 추정하였는데, 아황산가스, 이산화질소, 일산화탄소, 오존의 농도를 통해 완화비용 지출함수를 추정하고 지출함수로부터 개인이 부여하는 대기 개선에 대한 한계편익을 추정하였다. 분석결과 오존만 통계적으로 유의했으며 오존오염도 50% 저감을 위해 1인당 월평균 지불의사액은 2,000원~2,900원으로 추정되었다. 이를 연평균으로 환산한 1인당 지불의사액은 약 23,500원~34,600원으로 추정되었다.

의료비용법(cost of illness method, COI)이란 질병을 회피하기 위하여 최소한 질병 치료비용 정도는 지불할 의사를 가질 것이라는 생각에 근거하여 질병의 가치를 추정하는 방법이다(환경부, 2006). 신영철(2002)은 의료비용법(COI)을 이용하여 1998년 우리나라 급성 호흡기 질환자 발생의 의료비용을 추정하였는데, 이산화질소의 농도가 10% 증가할 때, 전국 급성 호흡기 질환 발생건수는 2주간 약 15,770건 증가하게 되고, 그로 인해 환자가 직접 지불하는 의료비용은 8,800만 원으로 나타났다. Brandt et al.(2017)은 도로와 인접한 곳의 대기오염과 관련된 관동맥성 심장병과 조기사망의 비용과 입원비용을 추정하였다.

조건부가치법(CVM)과 컨조인트법(CCM)은 환경오염 저감에 대한 편익을 설문조사를 통해 추정하는 방법으로, 자료의 확보가 용의하지 않을 때 환경개선에 대한 지불의사액(WTP)을 직접 추정함으로써 편익을 계산한다. Carlsson and Johansson-Stenman(2010)은 CVM를 이용하여 스웨덴 국민들을 대상으로 대기오염 저감에 대한 지불의사액(WTP)를 추정하였는

〈표 1〉 선행연구

방법론	연구자	내용	오염물질	추정결과
ERF	Aunan and Pan(2004)	대기오염 농도와 질병발생의 관계를 분석한 중국의 농도-반응 함수 연구들을 요약.	PM ₁₀ SO ₂	모든 연구에서 대기오염 저감은 조기 사망률과 유병률을 감소시킴.
	Shah et al. (2013)	PM _{2.5} 농도와 심장병 유병률과의 관계를 분석함.	PM _{2.5}	PM _{2.5} 의 3.9 μ g/m ³ 감소는 심장병 환자를 7,978명 감소시킴.
	Kan and Chen(2004)	미세먼지로 인한 조기사망, 호흡기계 질환 및 심혈관계 질환으로 인한 입원 등의 건강반응 횟수를 구함.	PM ₁₀	건강영향으로 기인한 경제적 비용은 약 6억2,540만 원으로 추정됨.
	강충민 등 (2006)	일별 서울시의 초미세먼지로 인한 호흡기 질환 사망에 관한 농도-반응 함수 추정.	PM _{2.5}	미세먼지 22.6 μ g/m ³ 증가는 호흡기질환 사망건수 8.2% 증가시킴.
	Janke(2014)	이산화질소와 오존의 농도와 그로인한 응급 입원을 변화연구.	NO ₂ O ₃	NO ₂ 혹은 O ₃ 의 10% 증가는 호흡기 질환으로 인한 응급 입원율을 1% 증가시킴.
HPM	Smith and Huang(1995)	대기오염 감소에 대한 한계 지불의사액 연구들을 메타분석을 이용해 분석.	-	1평방미터에 1마이크로그램의 대기오염 감소는 가구당 평균 \$98.52의 편익을 발생시킴.
	김희재·전명진(2014)	수도권에서 거래된 아파트 전세가격을 이용해 대기오염이 아파트 전세가격에 미치는 영향을 분석.	-	대기오염정도가 심할수록 아파트 가격에 부정적인 영향을 미침.
	최종일·심성훈(2002)	평균 아파트 평당시세가격에 대한 대기질의 영향 분석.	SO ₂ O ₃	서울시 평균 대기오염 10% 개선시 MWTP SO ₂ : 월 3만 6,000원 O ₃ : 월 3만 9,000원.
ABM	Liu et al. (2017)	마스크와 공기정화장치의 검색과 구매를 통한 비용 추정.	PM _{2.5}	PM _{2.5} 의 1% 증가를 회피하기 위해, 가구들에 대한 소비가 3.6%-8.4% 증가
	엄영숙(1998)	대기오염 물질로 완화비용 지출함수를 추정. 지출함수로부터 대기 개선에 대한 한계편익 추정.	SO ₂ NO ₂ CO O ₃	O ₃ 의 50% 저감을 위한 1인당 월평균 WTP가 2,000원~2,900원으로 추정.
COI	신영철(2002)	우리나라 급성 호흡기 질환자 발생의 의료비용을 추정.	NO ₂	NO ₂ 의 10% 증가는 급성 호흡기 질환자에 대해 8,800만 원의 의료비용을 발생시킴.
	Brandt et al. (2017)	도로와 인접한 곳의 대기오염과 관련된 관동맥성 심장병과 조기사망의 비용과 입원 비용 추정.	PM _{2.5}	PM _{2.5} 로 인한 총 비용이 약 4,600만원으로 추정.
CVM, CCM	Carlsson and Johansson-Stenman (2000)	CVM를 이용하여 스웨덴 국민들을 대상으로 대기오염 저감에 대한 WTP 추정.	-	오염수준을 절반으로 낮추기 위한 WTP는 연간 가구당 2000SKE 추정.
	조승국 등 (2006)	대기오염저감에 대한 건강효과를 WTP로 도출함.	-	대기질 개선에 대한 건강효과와 가구당 연간 지불의사액(WTP)은 38,856원.

데, 현재 오염수준을 절반으로 낮추기 위해서 연간 가구당 2000SKE(스웨덴 크로나)의 지불의사가 있는 것으로 나타났다. 조승국·장정인·김정인(2006)은 대기오염저감에 대한 건강효과를 지불의사액(WTP)으로 도출하기 위해 컨조인트법(CCM)을 이용하였다. 그 결과 대기질 개선에 대한 건강효과의 가구당 연간 지불의사액(WTP)은 38,856원으로 나타났다.

본 연구는 대기오염 저감의 경제적 가치를 추정하기 위해서 농도-반응 함수(ERF)를 추정하여 대기오염으로 인한 조기 사망률의 관계를 밝히고, 대기오염 개선으로 인한 조기 사망률 감소와 인간생명가치(value of statistical life: VSL)를 편익이전함으로써 대기오염 저감에 대한 편익을 도출할 것이다. 아황산가스에 대한 농도-반응 함수(ERF)를 도출하였다는 점과, 지역별 세부 자료를 이용하여 패널 분석을 하였다는 점에서 그리고 보다 연구들 분석하여 편익이전을 하였다는 점에서 기존의 연구들과는 차별성이 있다.

III. 농도-반응 함수 추정

1. 연구 대상

본 연구의 연구 대상은 크게 대기오염물질과 그 영향으로 조기사망까지 이를 수 있는 질병으로 나뉜다. 대기오염 물질로는 미세먼지, 아황산가스, 이산화질소, 일산화탄소, 오존 등이 있다. 모든 대기오염물질들을 함께 분석한다면 대기오염물질들 간의 상관관계로 인해 연구의 정확성에 영향을 끼칠 것이라고 판단과 자료의 한계로 인하여 미세먼지와 아황산가스만을 중심으로 분석한다.

먼지는 입자의 크기에 따라 50 μm 이하인 총먼지(Total Suspended Particles, TSP)와 입자크기가 매우 작은 미세먼지(Particulate Matter, PM)로 구분한다. 미세먼지는 다시 지름이 10 μm 보다 작은 PM₁₀과 지름이 2.5 μm 보다 작은 PM_{2.5}로 나뉜다. PM₁₀은 사람의 머리카락 지름(50~70 μm)보다 약 1/7~1/5 정도로 작

은 크기이며, PM_{2.5}는 머리카락의 약 1/30~1/20에 불과할 정도로 매우 작다(환경부, 2016).

2018년 현재 우리나라의 연평균 PM_{2.5} 농도 권고기준은 일평균 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 연평균 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 미국과 일본 등 선진국과 같으나 강화된 권고기준을 적용하고 있다. 그러나 강화된 권고기준을 시행한지 얼마되지 않았기 때문에 선진국과 비교해 PM_{2.5} 농도에 대한 자료 부족과 PM₁₀만으로도 인체에 유해한 영향을 준다는 다수의 연구를 바탕으로 본 연구는 PM₁₀을 연구대상으로 두었다.

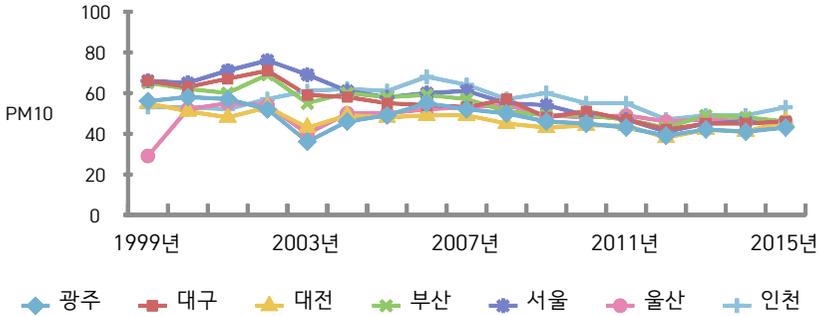
높은 수준의 PM₁₀의 농도가 나쁜 이유는 인체에 직접적인 영향을 주기 때문이다. 코털이나 기관지 점막에서 걸러져 배출되는 대부분의 먼지와 달리 미세먼지는 코, 구강, 기관지에서 걸러지지 않고 우리 몸속까지 스며들어 폐 등에 침투하거나 혈관을 따라 체내로 이동하여 들어감으로써 건강에 나쁜 영향을 미칠 수도 있다(환경부, 2016). PM₁₀은 천식, 만성기관지염, 기도폐쇄 등의 호흡기계 질환을 일으키거나 악화시킨다. 또한 최근에는 PM₁₀이 심근경색, 뇌졸중, 심박동수 이상, 급사 등과 같은 심혈관계 질환의 중요한 위험요인으로 받아들여지고 있다(신동천, 2007).

아황산가스(Sulphur Dioxide, 이하 SO₂)는 황을 포함한 화석연료(석탄, 가솔린, 천연가스 등)를 연소시킬 때 생기는 기체상태의 부산물이다. SO₂의 오염도는 꾸준히 감소하고 있는 추세지만(그림 2) 낮은 농도에서도 일별 사망률 증가, 호흡기 및 심혈관계 질환으로 인한 입원 등과 관련이 있는 것으로 유럽과 북미 연구결과 관찰되었다(환경부, 2006). 또 SO₂는 기관지, 눈, 코 등의 점막을 통해 자극을 주며 만성노출이 되면 폐렴, 기관지염, 천식, 폐기종 등 질환이 나타나게 된다.⁴⁾ 도노라 사건(1948), 런던 스모그(1952) 등은 실제로 SO₂가 원인이 되어 재난을 발생시킨 주요 사건들이다.⁵⁾

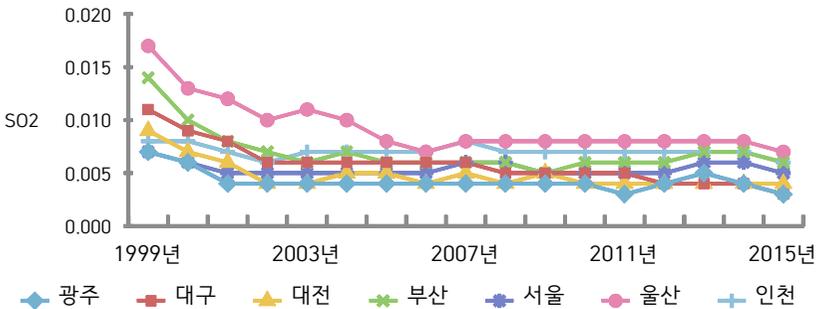
4) 국립환경과학원, <http://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/index.do>.

5) 도노라 스모그 사건: 미국 펜실베이니아주에 위치한 Donora는 주로 제철소와 황산 제련 공장이 있는 공업지대로 1948년 10월 27일부터 5일 동안 안개가 끼고 바람이 불지 않는 상태가 계속되면서 사건이 일어났다. 대기의 이동이 중단되자 여러 종류의 유해가스와 매연, 증기 등이 안개와 함께 대기오염을 가속시켜 20여 명이 죽고 6,000여 명이 호흡기 질병으로 입원 치료를 받는 참사를 치렀다.

〈그림 1〉 7대 주요도시 연도별 미세먼지 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



〈그림 2〉 7대 주요도시 연도별 아황산가스 농도(ppm)



대기오염물질은 호흡기계 및 심혈관계 질환에 주된 영향을 끼치는 것으로 보고되고 있으므로 본 연구에서 질병의 종류는 호흡기계 질환과 심혈관계 질환으로 두었다. 본 연구는 질병 중 만성(chronic)질환만을 조사하였는데, 그 이유는 대기오염 물질은 장기적, 지속적 노출 시 건강영향이 나타나며 단시간 흡입으로 갑자기 신체변화가 나타나지 않기 때문이다(환경부, 2016). 따라서 본 연구에서는 만성 호흡기계 질환과 만성 심혈관계 질환으로 인한 조기 사망자수를 연구의 대상으로 두고 분석하였다.⁶⁾

런던 스모그 사건: 1952년 당시 영국은 가정이나 산업체에서 석탄을 주로 연료로 사용하였다. 석탄 연소에 따른 아황산가스 배출과 때마침 나타난 무풍현상과 기온역전으로 인해 스모그가 발생하였다. 첫 3주 동안에 4,000명이 죽었고, 그 뒤 만성 폐질환으로 8,000명의 사망자가 늘어나 총 1만 2,000여 명이 죽었다.

호흡기계 만성 질환은 폐렴(J12-J18)과 만성 하기도 질환(J40-J47), 호흡기 결핵(A15-A16)이며, 심혈관계 질환의 만성 질환은 고혈압성 질환(I10-I13), 허혈성 심장 질환(I20-I25), 기타 심장 질환(I26-I51) 그리고 뇌혈관 질환(I60-I47)이다. 해당 질환들은 WHO에서 분류한 규정인 국제질병사인분류(The International Classification of Diseases, ICD-10)를 근거로 표준화한 한국표준질병·사인분류(Korean Standard Classification of Diseases, KCD7)로 분류된 것이다.

〈표 2〉 한국 표준질병·사인분류

질병분류	상위 항목	하위 항목
호흡기계 질환	호흡계통 질환 (J00-J98, U04)	폐렴(J12-18) 만성 하기도 질환 (J40-J47)
	특정 감염성 및 기생충성 질환 (A00-B99)	호흡기 결핵(A15-A16)
심혈관계 질환	순환계통 질환 (I00-I99)	고혈압성 질환 (I10-I13) 허혈성 심장 질환 (I20-I25) 기타 심장 질환 (I26-I51) 뇌혈관 질환 (I60-69)

2. 변수 선택

1999년부터 2015년까지의 서울특별시 및 6대광역시(부산, 인천, 대구, 광주, 대전, 울산)의 연도별 호흡기계 질환 및 심혈관계 질환으로 인한 사망률을 종속변수로 두었다. 7개 도시별로 정리한 패널 자료의 특성상 지역별 지역 간의 총 인구수 차이를 감안하기 위해 사망자수가 아닌 사망률(mortality)을 분석에 사용하였다.⁶⁾ 호흡기계 질환과 심혈관계 질환으로 인한 조기사망자수는 통계청의 사망통계연보로부터 받아 연도별 사망자수를 파악하였다.

설명변수는 크게 대기오염 물질변수, 사회·경제적 변수, 그리고 기상변수로 나누어 설정하였다. 대기오염 물질변수는 연평균 PM₁₀과 SO₂의 지연

6) 이하 '만성 호흡기계 질환'은 '호흡기계 질환'으로 '만성 심혈관계 질환'은 '심혈관계 질환'으로 언급함.

7) 현재 질병사인분류는 2015년에 개정된 제7차 한국표준질병·사인분류에 따라 작성된다.

8) 사망률은 통계분석에서 주로 사용하는 '1천 명당 사망자수'이다.

효과를 고려하여 1년전 시차값을 분석에 사용하였다.

사회·경제적 변수로는 1인당 지역내 총생산(GRDP), 65세 이상 인구비율(OLD65)을 두었으며, 1인당 담배 소비량(SMOKE)을 두었다. 1인당 담배 판매량을 1인당 담배 소비량으로 간주하여 흡연율의 대리변수로 두었으며 흡연이 건강에 미치는 지연효과를 고려하여 1년 전의 소비량을 사용하였다. 기상 변수로는 연평균 기온(TEMP), 연평균 상대습도(HUMID), 황사일수(YELLOW)를 포함하였다.

대기오염 물질의 농도는 환경부 환경통계포털 사이트를 통해서 파악하였고, 1인당 지역내총생산(GRDP), 65세 이상 고령인구수, 담배 판매량 자료는 국립통계청을 통해 확보하였다. 나머지 기상변수는 기상청을 통해 수집하였다.

편익이전을 위해 필요한 1인당 국내총생산(GDP)은 한국은행에서, 구매력 평가지수(PPP)는 World Bank, GDP 디플레이터는 OECD에서 수집하였다.

〈표 3〉은 농도-반응함수 추정에 사용될 8가지 변수들에 대한 기초통계량을 나타낸다. 종속변수의 기초통계량 분석결과 호흡기계 질환으로 인한 천 명당 사망률(RES)과 비교해 심혈관계 질환의 사망률(CIR)이 월등히 많음을 확인할 수 있다. 구체적으로는 종속변수인 호흡기계 질환의 사망률은 계속해서 증가하고 있으며 심혈관계 질환의 사망률은 호흡기계 질환과 비교해서 상대적으로 높은 수준을 계속해서 유지하고 있다.

〈표 3〉 종속변수와 설명변수

	분류	변수	변수설명	단위	평균	표준오차
종속 변수	모형(1)	RES	호흡기계 질환 조기사망률	천 명당	0.2716	0.0672
	모형(2)	CIR	심혈관계 질환 조기사망률	천 명당	0.9966	0.1986
설명 변수	대기오염 (X_{AP})	PM ₁₀	연중 미세먼지 농도	μg/m ³	52.0756	8.2566
		SO ₂	연중 이산화황 농도	ppm	0.0662	0.0022
	사회경제 (X_R)	GRDP	1인당 지역내총생산	백만 원	21.3876	12.3079
		OLD65	65세 이상 인구비율	%	13.7177	4.2285
		SMOKE	1인당 담배소비량	갑	12.2788	0.7108
	기상변수 (X_W)	TEMP	기온	0.1℃	137.6639	9.5751
		HUMID	습도	%	63.9411	4.7394
		YELLOW	황사	일	8.4117	5.6424

3. 추정 모형 및 결과

대기오염이 호흡기계 질환과 심혈관계 질환으로 인한 조기사망에 미치는 영향을 분석하기 위한 농도-반응 함수의 모형은 각각 다음과 같다. 모형(1)은 호흡기계 질환으로 인한 조기사망률에 대한 농도-반응 모형이며 모형(2)는 심혈관계 질환으로 인한 조기사망률에 대한 농도-반응 모형이다. 모든 변수에 로그(ln)를 취하여 추정되는 계수가 탄력성을 나타낼 수 있도록 하였다.

$$\ln(Y_{RES}) = \alpha + \beta_A \ln(X_{AP}) + \beta_R \ln(X_R) + \beta_W \ln(X_W) + \epsilon \quad (1)$$

$$\ln(Y_{CRR}) = \alpha + \beta_A \ln(X_{AP}) + \beta_R \ln(X_R) + \beta_W \ln(X_W) + \epsilon \quad (2)$$

7대 대도시의 연간자료를 분석에 이용하기 때문에 패널자료(panel data)이다. 패널자료 분석시 패널 개체와 시간에 따라 오차항의 분산이 변하지 않는다는 동분산성(homoskedasticity)을 만족해야한다. 동분산성의 기본가정을 위배하는 경우 OLS 추정량에 문제가 있을 수 있다(Hill, Griffiths, Lim, 2008). 따라서 모형의 오차항에 이분산성이 존재하는지부터 알아보기 위해 LR(Likelihood Ratio; 우도비 검정⁹⁾)을 시행하였다. 검정결과 모형(1)은 유의수준 5%에서, 모형(2)는 유의수준 1%에서 동분산이라는 귀무가설을 기각하여 두 모형 모두 이분산성(heteroskedasticity)이 존재하는 것으로 나타났다. 또한 자기상관 검정을 위한 Wooldridge test 결과 각각 유의수준 5%에서 자기상관을 가지지 않는다는 귀무가설을 기각하여 두 모형 모두 자기상관이 존재하는 것으로 나타났다.

9) $LR = -2(\ln L_R - \ln L_{UR}) \sim \chi_{df}^2$, $\ln L_R$ 은 제약이 가해진(restricted) 제약모형으로 오차항의 분산이 패널 그룹에 따라 다르지 않고 모두 같다고 가정한 것이며 $\ln L_{UR}$ 은 제약이 없는(unrestricted) 비제약모형으로 오차항의 분산이 패널 개체별로 서로 다르다고 가정하는 것이다(민인식·최필선, 2012).

〈표 4〉 이분산성검정과 자기상관 검정 결과

	모형(1)	모형(2)
LR test	0.0279	0.0000
Wooldridge test	0.0252	0.0061

일반적으로 오차항에 이분산이나 시계열 상관성이 있을 때에는 고정효과(fixed effect, FE) 추정보다 임의효과(random effect, RE) 추정이 더욱 좋다(한치록, 2017).¹⁰⁾

모형(1)과 모형(2)에 대한 고정효과(FE)와 임의효과(RE) 추정 결과는 〈표 5〉에 제시되어 있다. 임의효과(RE) 추정이 일치성을 검정하는 Hausman 검정을 통해서 귀무가설인 임의효과 추정의 불일치성을 두 모형에서 모두 기각할 수 없었기 때문에 임의효과(RE) 추정을 본 논의의 중심으로 한다.

〈표 5〉 패널모형 추정결과

	모형(1) 호흡기계 질환		모형(2) 심혈관계 질환	
	고정효과(FE)	임의효과(RE)	고정효과(FE)	임의효과(RE)
L. ln(PM ₁₀)	-0.1836	-0.1348	0.1101*	0.2868***
L. ln(SO ₂)	0.2500***	0.3219***	-0.0792*	0.2816***
ln(GRDP)	-0.2884	-0.1145***	0.0328	-0.1777***
ln(OLD65)	0.8624***	0.6742***	-0.0694	0.3738***
L. ln(SMOKE)	3.4686**	-0.7322**	-0.5098	0.0510
ln(TEMP)	0.3770	0.7037***	0.6105***	1.0773***
ln(HUMID)	0.5168*	0.6104***	-0.1130	0.2889
ln(YELLOW)	-0.0342**	-0.0422***	-0.0097	-0.0451***
_cons	-6.8920	-0.3632	-2.6022	-3.5406*
R-square	0.1697	0.7108	0.0232	0.6619
Hausman Test	$\chi^2=10.46$	Prob> $\chi^2=0.2344$	$\chi^2=9.14$	Prob> $\chi^2=0.2841$

***: p<0.01, **: p<0.05, *: p<0.1

모형(1)에서 L.ln(PM₁₀)의 값은 유의하지 못하였으나 L.ln(SO₂)는 유의수준 1%에서 모두 유의한 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 즉, 전년

10) 오차항에 이분산이나 시계열 자기상관이 있을 때, FE GLS(고정효과 GLS)추정량을 통해 값을 구해줄 수 있으나 n과 T가 매우 커야한다(한치록, 2017).

도 PM₁₀ 농도 변화는 호흡기질환 사망에 유의한 영향을 미치지 못하나 전년도의 SO₂의 농도가 악화되면 호흡기계 질환으로 인한 조기사망률이 높아짐을 의미한다. 모형(2)에서는 $L.\ln(\text{PM}_{10})$ 와 $L.\ln(\text{SO}_2)$ 의 계수가 모두 유의한 양수로 0.2868과 0.2816으로 나타났는데, 전년도 PM₁₀ 농도와 SO₂의 농도 변화가 심혈관계 질환으로 인한 조기사망률에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 각 오염물질의 농도가 각각 10%씩 증가한다면 심혈관계 조기사망률은 2.86%와 2.81%씩 증가할 수 있는 것으로 예상할 수 있다.

1인당 지역내총생산($\ln(\text{GRDP})$)의 추정계수는 모형(1)과 모형(2)에서 모두 유의한 음수로 나타났는데, 소득이 높아질수록 호흡기계 질환 및 심혈관계 질환 사망률이 낮아짐을 의미한다. 또 65세 이상 인구비율($\ln(\text{OLD})$)에 대한 계수도 두 모형 모두 유의수준 1%에서 조기사망률과 높은 양의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이는 각 질병이 나이에 가장 큰 영향을 받기 때문일 것이다. 1인당 담배소비량에 대한 추정계수는 의 모형(1)에서는 유의한 음수로 나타났으나, 모형(2)에서는 유의하지 않았다. 흡연율을 대리하여 담배소비량을 이용하였지만 담배소비량에 대한 변수는 기대했던 것과는 다른 결과를 가져왔다.¹¹⁾

기상변수인 연평균 기온($\ln(\text{TEMP})$)에 대한 추정계수는 두 모형에서 유의수준 1%에서 유의한 양의 값을 가져 고온일수록 각 질환으로 인한 사망률이 높아지는 것으로 나타났으며 연평균 습도($\ln(\text{HUMID})$)는 두 모형에서 유의하지 않았다. 반면 황사발생일수($\ln(\text{YELLOW})$)는 예상과 달리 음의 계수로 추정되어 황사와 사망률의 관계는 예상했던 결과와는 다르게 나타났다.¹²⁾

11) 기존의 연구에서도 (지선하, 2003) 담배소비량과 폐암사망률의 관계가 유의하게 있다고 분석하고 있기 때문에 본 연구에서도 담배소비량을 이용하였으나, 추정계수가 기대했던 것과는 달리 담배소비량이 흡연율을 대리하지 못하는 것으로 판단된다.

12) 황사로 인하여 사람들이 더욱 건강에 신경을 쓰는 방어적인 행동으로 오히려 사망률을 감소시키는 효과가 나타날 가능성도 있다.

IV. 대기오염 개선의 가치추정

1. 편익이전

본 연구의 농도-반응함수(ERF)와 기존 연구의 인간생명가치(VSL)를 이용하여 대기오염 개선을 통한 조기 사망률 감소의 경제적 가치를 추정할 수 있다. 이를 위해 기존의 추정된 인간생명가치(VSL)를 본 연구에 편익이전(benefit transfer)하였다. 편익이전이란 현재 존재하는 정보나 지식을 새로운 상황 또는 환경에 이전, 사용하는 것을 총체적으로 일컫는 용어이다(Desvousges, W. H., F. R. Johnson, and H. S. Banzhaf, 1998). 주어진 어떤 자원 및 정책 조건하에서 특정 대상지로부터 획득한 경제적 정보를 새로운 그러나 유사한 대상지에 조정하여 적용하는 기법으로 정의할 수 있다(안소은, 2007).

기존의 연구가 많지 않다면 편익이전 방법들 중에서 점 추정치 편익이전(single point estimate benefit transfer) 방법을 사용할 수 있다. Rosenberger and Loomis(2001)에 의하면 점 추정치 편익이전을 하기 위해서는 하나 이상의 선행연구들로부터 분석 대상에 대한 추정치를 조사한 후 study site 데이터가 policy site에 적합한지에 관한 관련성 및 적용 가능성을 평가한다.

즉 점 추정치이전은 절차상으로 단순해 보이지만, 기법을 적용할 때 몇 가지 점에서 주의를 요한다. 점 추정치이전이 이상적으로 이루어지려면 기존의 연구 대상이었던 'policy site'와 편익이전의 대상인 'study site'간의 가치추정 대상과 평가주체가 되는 모집단의 특성이 비슷해야 하며, 재산권 설정이 적절하게 되어 있어 이론적으로 타당한 후생척도(예: 지불의 사액 또는 보상수용액)를 도출할 수 있는 조건이 갖추어져야 한다. 그러나 이와 같은 엄밀한 기준을 가지고 편익이전을 위한 선행연구를 선정하려 한다면 실질적으로 적당한 선행 연구가 존재하지 않을 수도 있다. 또한 점 추정치 이전은 하나의 선행연구로부터 하나의 추정치를 옮겨오는 일대일 이전이므로 다른 유사한 선행연구로부터의 정보를 활용하지 못하는 단

점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위한 한 가지 방법은 다수의 유사한 선행연구로부터 가치 추정치를 그대로 가져오되 그 중 가장 낮은 추정치를 하한선으로, 가장 높은 추정치를 상한선으로 하여 편익이전 값에 구간을 주는 것이다(안소은·노백호, 2007).

〈표 5〉는 현재 국내외의 대기질 개선관련 인간생명가치(VSL) 추정에 관한 연구들과 점추정으로 편익이전을 한 값이다. 기존 연구들의 인간생명가치(VSL)값을 2016년 한국의 값으로 편익이전하기 위해서 식 (3)과 식 (4)를 이용하였다.¹³⁾

$$VSL_{korea, 2016} = VSL_{i, year} \times R_{adj} \quad (3)$$

여기서 i 는 기존의 인간생명가치(VSL)추정 국가(study site)

$year$ 는 조사연도

R_{adj} 는 조정계수

조정계수 R_{adj} 는 식 (4)와 같다.

$$R_{adj} = \left(\frac{PPP_{Korea, year}}{PPP_{i, year}} \right) \times \left(\frac{GDPP_{Korea, year}}{GDPP_{i, year}} \right) \times \left(\frac{DGDP_{Korea, 2016}}{DGDP_{Korea, year}} \right) \quad (4)$$

여기서 PPP 는 구매력평가지수(Purchasing Power Parity)

$GDPP$ 는 1인당 GDP(국내총생산)

$DGDP$ 는 GDP 디플레이터 (2010년 기준)

편익이전된 인간생명가치(VSL)는 최소 3,415만 원부터 최대 23억 7,114만 원까지 광범위한 범위로 나타났는데, 이는 연구방법 및 대상에 따라 VSL이 다르게 추정되기 때문이다.

13) 출처: 환경부, 2006, 『제3차 통합환경전략(IES) 연구』.

국내 연구의 VSL값은 국외 연구의 값보다 상대적으로 낮은 값을 갖는데 그 이유는 국외연구 지역이 영국, 미국, 캐나다, 유럽으로 선진국이기 때문에 우리나라보다 환경재에 대한 인식이 더 높기 때문일 것으로 판단된다.

국·내외 VSL값을 추정한 연구들이 있지만, 환경부의 제 3차 통합환경 전략(IES)연구 보고서에 따르면 국내 연구를 이용하는 것이 더 바람직하다고 보고하고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 연구만을 최종적으로 이용하였다.

〈표 6〉 통계적 인간생명가치(VSL) 편익이전

논문	조사 연도	연구방법	VSL(천)	편익이전 (천원) (2016,KOREA)	대상 지역
신영철·조승현(2003)	2000	CVM	₩ 466,000	653,844	서울
김예신·이용진·박화성·신동천(2003)	2001	CVM	₩ 287,000	388,630	서울
이용진·김예신·신동천·신영철(2004)	1998	CVM	₩ 356,444	499,482	울산
신영철(2007)	2006	CCM	₩ 27,930	34,157	전국
환경부(2007)	2000	CCM	₩ 80,978	113,620	전국
신동희·이나영·조용성(2015)	2014	CVM	₩ 481,110	492,646	전국
이건우·이용진·이한솔·홍지연·양지연(2015)	2014	CVM	₩ 796,000	815,718	전국
이수형·신호성·김대은(2016)	2016	CVM	₩ 369,760	369,760	전국
EPA(2013)	2000	메타분석	\$ 6,300	2,173,276	미국
Krupnick et al.(2002)	1999	CVM	\$C 1,452	729,471	캐나다
Kochi, Hubbell and Kramer(2003)	2003	CV	\$ 2,800	962,219	미국
		CV+HW	\$ 5,400	1,855,709	
Viscusi and Aldy(2003)	2000	OLS	\$ 6,900	2,371,184	미국
OECD(2015)	2005	CVM	\$ 3,000	1,216,177	유럽

2. 대기오염 개선의 가치

대기중 PM₁₀ 및 SO₂의 농도가 개선되었을 때의 사회 전체의 편익을 구

하기 위해 각 오염물질의 농도가 10% 감소하는 것을 가정하였다. 우선 오염물질 감소로 인하여 조기사망으로부터 회피된 인구수를 도출해야 한다. 대기 중 PM₁₀이 10% 개선될 경우 심혈관계 질환으로 인한 조기사망률은 약 2.86% 감소한다(〈표 7〉). SO₂ 농도가 개선된다면 호흡기계 조기사망률과 심혈관계 조기사망율이 각각 3.21%, 2.81% 감소할 것으로 예상할 수 있다. 따라서 두 오염물질이 각각 10%씩 줄어든다면 조기사망 회피 인구수는 모형(1)에서 298명, 모형(2)는 1,326명이다.¹⁴⁾

〈표 7〉 대기오염 저감으로 인한 회피사망인구수

	모형(1) 호흡기계 질환	모형(2) 심혈관계 질환
2016년 조기 사망자수	9,269명	23,142명
PM ₁₀ 10% 저감 회피사망인구수	0명 (--)	-664명 (-2.8680%)
SO ₂ 10% 저감 회피사망인구수	-298명 (-3.2194%)	-652명 (-2.8164%)

주: ()은 대기오염 물질 10% 저감으로 인한 조기사망률 탄력성

식 (5)는 대기질 개선으로 인한 편익의 가치를 구하는 식이다.

$$Benefit_i = death_i \times \Delta mortality_i \times VSL_{korea, 2016} \quad (5)$$

여기서, $death_i$ 는 각 질환으로 인한 7대 주요도시의 조기사망자수, $\Delta mortality_i$ 조기사망 감소율, 즉 $\ln(PM_{10})$, $\ln(SO_2)$ 의 계수값 (Coefficient), $VSL_{Korea, 2016}$ 우리나라의 2016년 통계적 인간생명가치(VSL)값

VSL는 최소값, 최대값, 평균값을 이용하였다. 국내 연구 8개의 평균 VSL은 420,982천 원이고 최소 VSL은 신영철(2007)의 추정값인 34,157천

14) 각 질환으로 인한 조기사망자수는 2016년 7대 주요도시의 조기사망자수를 기준으로 회피사망자수를 도출하였으며, 각각의 조기 사망자수는 9,269명과 23,142명이다(출처: 통계청, 2017, 『사망원인통계연보: 전국편, 2016』)

원, 최대 VSL은 이건우·이용진·이한슬·홍지연·양지연(2015)의 추정값인 815,718천 원이다. 먼저 PM₁₀의 10% 개선으로 얻는 조기사망률 감소의 편익은 심혈관계 질환에서 평균 2,795억 정도 나타나고 최대·최소 범위는 226억 원에서 5,416억 원까지 이다. PM₁₀은 호흡기계 질환에서는 통계적으로 유의하지 않은 감소분이 도출되었으므로, 호흡기계 질환으로 인한 조기사망의 회피 인구수에 주는 영향에 대해서만 편익을 도출해 주었다.

SO₂의 10% 저감에 대한 편익의 크기는 호흡기계 질환에서 평균 1,254억 원 정도 이고, 최대·최소 범위는 101억 원에서 2,430억 원이다. 심혈관계 질환에서는 평균 2,744억 원의 편익이 발생할 것으로 추정되며 최대·최소범위는 222억 원에서 5,318억 원으로 나타났다. 두 질환의 편익을 합산한다면 평균 3,999억 원의 편익이 발생하는 것으로 예상할 수 있다.

〈표 8〉 대기오염물질 10% 개선으로 얻는 사회적 편익의 가치

단위: 천원

단위: 천원	VSL	PM ₁₀ 저감편익		
		심혈관계 질환	호흡기계 질환	심혈관계 질환
최소값	34,157	22,680,248	10,178,786	22,270,364
평균값	420,982	279,532,131	125,452,673	274,480,346
최대값	815,718	541,636,752	243,083,964	531,848,136

V. 결론

본 연구는 대기오염물질의 저감으로부터 얻을 수 있는 조기사망률 감소의 편익의 크기를 정량화 하여 측정하였다. PM₁₀과 SO₂ 농도의 개선으로 인한 호흡기계 및 심혈관계 질환의 조기사망 회피 인구수를 추정하기 위해서 농도 반응 함수를 추정하였고, 대기오염 개선으로 인한 사망 회피 인구수에 편익이전된 VSL값을 곱하여 대기오염 개선으로 인한 편익의 크기를 정량화해주었다.

농도-반응함수(ERF) 추정결과 직전연도 PM₁₀의 농도가 10% 개선될 때,

당해연도의 심혈관계 질환의 조기 사망률은 각각 2.8%만큼 감소하는 것으로 추정되었다. 그러나 호흡기계 질환으로 인한 조기사망률에는 유의한 영향을 끼치지 않았다. 또 SO₂가 10%개선될 때에는 호흡기계 질환 및 심혈관계 질환으로 인한 조기사망률이 각각 3.21%, 2.81% 감소하는 것으로 나타났다.

2016년 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 조기사망자수에 대기오염 개선으로 인한 조기사망률 감소분을 각각 곱해준 결과, 호흡기계 질환의 경우 SO₂가 10% 개선될 때 298명이 조기사망을 회피할 수 있었으며, 심혈관계 질환은 PM₁₀ 과 SO₂이 각각 10%씩 개선되었을 때, 조기사망 회피 인구수는 664명 652명으로 추정되었다.

추정된 조기사망 회피인구수에 2016년 한국의 값으로 편익이전된 VSL 값을 이용해 편익의 크기를 정량화해주었다. VSL값을 편익 이전을 할 때에 기존 연구의 최대·최소값과 평균값을 이용하였다. 먼저 평균 VSL을 이용하여 편익추정을 하면, PM₁₀이 10% 개선되면 심혈관계 질환으로 인한 조기사망률 감소로부터 얻는 편익이 2,795억 원이며 최대·최소 범위는 226억 원 ~ 5,416억 원으로 추정되었다. 또한, SO₂가 10% 개선되면 호흡기계 및 심혈관계 질환으로 인한 조기사망 감소로 인한 편익이 평균적 1,254억 원, 2,744억 원으로 각각 나타났으며 이 값들 최대·최소 범위는 호흡기계 사망률에서 101억 원 ~ 2430억 원, 심혈관계 사망률에서 324억 원 ~ 7,749억 원으로 추정되었다.

본 연구는 편익이전된 단일 VSL값만을 통해 대기질 개선에 대한 편익의 가치를 추정해준 기존 연구들과는 달리 국내에서 연구된 여러 VSL값들을 2016년 한국의 값으로 편익이전하여 범위를 구해주었다. 편익의 단일 값이 아닌 구간은 편익의 최솟값과 최댓값을 알 수 있고, 이는 대기질 개선을 위한 정책의 비용-편익 분석에 있어서 예산의 범위 역시 최솟값과 최댓값으로 고안할 수 있게 한다. 즉, 정책을 고안할 때에 효율성을 고려한 비용의 범위를 예상 할 수 있게 함으로써 환경 정책의 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것이다.

환경부는 2005년 제1차 수도권 대기환경 기본계획을 통해 2015년까지 10년간 PM₁₀ SO_x 등의 배출량 저감을 위한 정책을 세웠다. 1차 기본계획에 세웠던 PM₁₀, SO_x의 목표 농도는 만족한 상태임에도 불구하고, 제 2차 수도권 대기환경 기본계획에도 비수도권 지역에 대한 정책이 포함되지 않았다. 비수도권 지역의 고령화 속도가 점차 빨라지고 있는 시점에서, 수도권 지역의 미세먼지 농도가 타 지역으로부터 영향을 받는다는 점(예를 들어, 충남 화력발전소 등)에서 정부는 좀 더 명확한 정책대상 집단 기준을 선정할 필요가 있다(한혁·정창훈·금현섭·김용표, 2017). 이렇게 수도권뿐만 아니라, 비수도권인 전국 각 시·도에 대한 대기질 개선을 위한 구체적인 예산이 도출된다면, 예산 대비 정책 시행으로 증가된 대기오염 개선의 편익을 추정해 정책의 타당성을 분석할 수 있을 것이다.

제1차, 제2차 수도권 대기오염 기본계획이나 환경부의 미세먼지 대책 마련에는 주로 대기오염물질의 배출량을 감축하는 것에 중점을 두고 있다. 하지만 같은 양의 농도에도 대기 중 화학반응을 통해 2차 오염물질로 전환되는 환경이 지역에 따라 다르고, 개인의 건강수준이 다르기 때문에 대기오염의 실질 체감 농도는 더 나쁠 것으로 판단된다. 따라서 정부는 수도권뿐만 아니라 전국의 각 지역에 맞는 구체적인 대기오염 대응 정책을 마련해야 하며, 고령화 비율과 같은 각 시·도의 건강 영향을 고려한 정책을 고안해야 할 것이다.

■ 참고문헌 ■

- 강충민·박성균·선우영·강병욱·이학성, 2006, “서울시 미세입자(PM_{2.5})의 호흡기 질환 사망과의 연관성 연구,” 『한국대기환경학회』, 22(5), pp.554-563.
- 김예신·이용진·박화성·신동천, 2003, “환경 오염으로 인한 인체 위해도에 입각한 사망 손실 비용 추정에 관한 연구,” 『예방의학회지』, 36(3), pp.230-238.
- 김희재·전명진, 2014, “대기오염수준이 수도권 아파트 전세가격에 미치는 효과에 관한 연구: 공간헤도닉 가격모형 접근법 분석,” 『지역연구』, 30(2), pp.27-48.
- 민인식·최필선, 2012, 『Stata 패널데이터 분석』, 경기: 지필미디어.

- 신동천, 2007, “미세먼지의 건강영향,” 『대한의사협회지』, 50(2), pp.175-182.
- 신동희·이나영·조용성, 2015, “폭염 발생에 따른 취약계층의 사망률 변화와 사회적 비용 추정: 7대 광역시의 65세 이상 고령층을 중심으로,” 『환경정책연구』, 14(1), pp.3-32.
- 신영철, 2002, “대기오염으로 인한 건강효과의 경제적 비용-급성 호흡기 질환 외래환자를 중심으로,” 『자원·환경경제연구』, 11(4), pp.659-688.
- _____, 2007, “선택실험법을 이용한 확률적 인간생명가치의 추정,” 『자원·환경경제연구』, 16(3), pp.683-701.
- 신영철·조승현, 2003, “미래의 사망가능성 감소에 대한 지불의사금액과 통계적 인간생명의 가치 측정-환경적 피해와 환경정책의 평가를 위한 통계적 인간생명의 가치,” 『자원·환경경제연구』, 12(1), pp.49-75.
- 안소은, 2007, “우리나라 습지의 환경적 가치: 메타회귀분석,” 『자원·환경경제연구』, 16(1), pp.65-100.
- 안소은·노백호, 2007, 『편익이전 기법을 이용한 습지 가치추정-메타회귀분석을 중심으로』, 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 엄영숙, 1998, “대기오염이 건강에 미치는 영향에 대한 가치평가: 회피행위접근법을 사용하여,” 『자원·환경경제연구』, 7(1), pp.1-23.
- 이건우·이용진·이한슬·홍지연·양지연, 2015, “Value of a statistical life estimation of carcinogenic chemicals for socioeconomic analysis in Korea,” 『환경건강과 독소학』, 30, pp.1-5.
- 이수형·신호성·김대은, 2016, “기후변화 폭염으로 인한 초과사망 위험 감소에 대한 통계적 인간생명가치 측정,” 『보건경제와 정책연구』, 22(2), pp.51-78.
- 이용진·김예신·신동천·신영철, 2004, “울산 지역에서 대기중 벤젠으로 인한 암 사망 손실비용 추정 모형에 관한 연구,” 『자원·환경경제연구』, 13(1), pp.49-84.
- 임영식·전영섭, 1993, “헤도닉가격기법을 이용한 대기질 개선시 편익추정,” 『자원경제학회지』, 3(1), pp.81-105.
- 조선일보, 2016.6.10., “한국 2060년 대기오염원인 조기 사망률·경제 피해 OECD 최고,” http://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1003618303#url.
- 조승국·장정인·김정인, 2006, “수도권 대기오염 개선으로 인한 건강효과의 경제적 가치평가-컨조인트 분석법을 이용하여,” 『자원·환경경제연구』, 15(5), 859-886.
- 지선하, 2003, “우리나라 흡연을 변화추이와 흡연의 사회적비용,” 『보건복지포럼』, 811, pp.25-31.
- 최종일·심성훈, 2002, “서울시 아파트 가격에 대한 대기질의 영향: 헤도닉 가격기법을 이용하여,” 『자원·환경경제연구』, 11(2), pp.261-279.
- 통계청, 2017, 『사망원인통계연보: 전국편. 2016』, 대전: 통계청.
- 한치록, 2017, 『패널데이터강의』, 서울: 박영사.

- 한혁·정창훈·금현섭·김용표, 2017, “미세먼지(PM₁₀) 저감 정책의 비판적 검토,” 『환경정책』, 25(1), pp.49-79, DOI:10.15301/jepa.2017.25.1.49.
- 한화진·오소영, 1998, 『대기오염 건강피해에 관한 연구』, (연구보고서: 98-18), 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 환경부, 2006, 『제3차 통합환경전략(IES)연구 -온실가스 및 대기오염 저감정책의 건강편익 분석체계 구축-』, 과천: 환경부.
- _____, 2007, 『환경오염 저감정책의 건강편익산정 모형확립 및 적용』, 과천: 환경부.
- _____, 2016, 『바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?』, 세종: 환경부 대변인실.
- Aunana, K. and X. Pan, 2004, “Exposure-response functions for health effects of ambient air pollution applicable for China-A meta-analysis,” *Science of the Total Environment*, 329, pp.3-16.
- Brandt, S., B. Dickinson, R. Ghosh, F. Lurmann, L. Perez, and B. Penfold et al., 2017, “Costs of coronary heart disease and mortality associated with near-roadway air pollution,” *Science of the Total Environment*, 601, pp.391-396, DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.05.073.
- Carlsson, F. and O. Johansson-Sternman, 2010, “Willingness to pay for improved air quality in Sweden,” *Applied Economics*, 32(6), pp.661-669.
- Desvousges, W. H., F. R. Johnson, and H. S. Banzhaf, 1998, *Environmental policy analysis with limited information: Principles and applications of the transfer method*, England: Edward Elgar Publishing.
- Hill, R. C., W. E. Griffiths, and G. C. Lim, 2008, *Principles of econometrics (Vol. 5)*, Hoboken, NJ: Wiley.
- Janke, K., 2014, “Air pollution, avoidance behaviour and children's respiratory health: Evidence from England,” *Journal of Health Economic*, 38, pp.23-42, DOI:10.1016/j.jhealeco.2014.07.002.
- Kan, H. and B. Chen, 2004, “Particulate air pollution in urban areas of Shanghai, China: Health-based economic assessment,” *Science of the Total Environment*, 322(1), pp.71-79, DOI:10.1016/j.scitotenv.2003.09.010.
- Kochi, I., B. Hubbell, and R. Kramer, 2001, “An empirical Bayes approach to combining estimates of the value of a statistical life for environmental policy analysis,” *Economic Valuation of Mortality Risk Reduction: Assessing the State of the Art for Policy Applications*, 1. EPA working paper, unpublished.
- Krupnick, A., A. Alberini, M. Cropper, N. Simon, B. O'brien, and R. Goeree et al, 2002, “Age, health and the willingness to pay for mortality risk reductions: A contingent valuation survey of Ontario residents,” *Journal of Risk and*

- Uncertainty*, 24(2), pp.161-186, DOI:10.1023/A:1014020027011.
- Lave, L. and E. P. Seskin, 1973, "An analysis of the association between US mortality and air pollution," *Journal of the American Statistical Association*, 68(342), pp.284-290, DOI:10.2307/2284064.
- Liu, T., G. He, and A. Lau, 2017, "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*, 20(2), pp.325-363, DOI: 10.1007/s10018-017-0196-3.
- OECD, 2015, *Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth*, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Rosenberger, R. S. and J. B. Loomis, 2001, *Benefit transfer of outdoor recreation use values: A technical document supporting the forest service strategic plan (2000 revision)*, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-72. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Shah, A. S., J. P. Langrish, and N. Harish, 2013, "Global association of air pollution and heart failure: A systematic review and meta-analysis," *The Lancet*, 382, pp.1039-1048, DOI:10.1016/S0140-6736(13)60898-3.
- Smith, K. V. and J. Huang, 1995, "Can markets value air quality? A meta-analysis of hedonic property value models," *Journal of Political Economy*, 103(1), pp.209-227, DOI:10.1086/261981.
- Tietenberg, T., 2016, *Environmental and natural resource economics*, New York: Pearson.
- U.S. Environmental Protection Agency, 2013, *Estimating the benefit per ton of reducing PM_{2.5} precursors from 17 sectors*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Viscusi, W. K. and J. E. Aldy, 2003, "The value of a statistical life: A critical review of market estimates throughout the world," *Journal of Risk and Uncertainty*, 27(1), pp.5-76, DOI:10.1023/A:1025598106257.
- 국가통계포털, <http://kosis.kr>.
- 국립환경과학원, <http://airemiss.nier.go.kr/mbs/home/mbs/airemiss/index.do>.

김수인: 부산대학교 경제학과 대학원과정에서 경제학 석사학위를 취득후, 현재 부산대학교 경제통상연구원에서 연구원으로 활동중이다. 환경 가치 추정 및 에너지 문제에 관한 연구들을 수행하고 있다(sooinkim@puan.ac.kr).

원두환: 부산대학교 경제학부 교수로 재직중이며, 자원 환경 정책 개발 및 경제분석에 관한 연구 등을 수행하고 있다(doohwan@puan.ac.kr).

투 고 일: 2018년 07월 13일
심 사 일: 2018년 07월 24일
게재확정일: 2018년 09월 13일