

## 초미세먼지(PM2.5) 배출량이 호흡기계 질환에 미치는 영향 연구

A Study on the Impact of PM2.5 Emissions on Respiratory Diseases

---

저자 (Authors)	최종일, 이영수 Jong-Il Choe, Young Soo Lee
출처 (Source)	<a href="#">환경정책 23(4)</a> , 2015.12, 155-172(18 pages) <a href="#">Journal of Environmental Policy and Administration 23(4)</a> , 2015.12, 155-172(18 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">한국환경정책학회</a> Korea Environmental Policy And Administration Society
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06586613">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06586613</a>
APA Style	최종일, 이영수 (2015). 초미세먼지(PM<SUB>2.5</SUB>) 배출량이 호흡기계 질환에 미치는 영향 연구. <a href="#">환경정책</a> , 23(4), 155-172
이용정보 (Accessed)	이화여자대학교 203.255.***.68 2020/01/27 13:48 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

## 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 배출량이 호흡기계 질환에 미치는 영향 연구

### A Study on the Impact of PM<sub>2.5</sub> Emissions on Respiratory Diseases

최종일\* · 이영수\*\*

Jong-Il Choe · Young Soo Lee

**요약** : 본 연구에서는 PM<sub>2.5</sub> 배출량이 인간의 건강, 특히 호흡기계 질환에 미치는 영향에 초점을 두어 배출량 감소의 원단위 건강 편익을 추정하였다. PM<sub>2.5</sub> 배출량 저감을 통한 편익을 추정하기 위해 동 오염물질 배출량 변화가 호흡기계 질환으로 인한 내원 및 입원 확률의 변화에 미치는 영향을 프라빗 모형과 토빗 모형을 통해 추정하였다. 추정결과에 따르면 PM<sub>2.5</sub> 배출량이 1% 변화 시 호흡기계 질환으로 인한 내원 확률은 0.755%에서 1.216% 증가하며, 입원확률은 0.150%에서 0.197% 증가하는 것으로 나타났다. 덧붙여, 추정된 내원 및 입원확률과 건강보험통계의 호흡기계 질환 환자의 진료비 자료를 이용하여 PM<sub>2.5</sub> 배출량의 원단위 편익을 추정하였다. PM<sub>2.5</sub> 배출량 1톤 저감의 건강 편익은 2.14억원으로 추정되었다.

**핵심주제어** : 초미세먼지, 프라빗 모형, 토빗 모형, 건강편익

**Abstract** : This research estimates the health benefits of PM<sub>2.5</sub> emissions reduction. The difference in probabilities of ambulatory care and inpatient care for respiratory diseases in the instance of changes in PM<sub>2.5</sub> emissions was estimated using the probit and tobit models. According to the estimations, a 1% increase from the current level of PM<sub>2.5</sub> emissions increased the probability of ambulatory care from 0.755% to 1.216% and increased the probability of inpatient care from 0.150% to 0.197%. In addition, using the above estimated probability the health benefits of a one ton reduction in PM<sub>2.5</sub> emissions was estimated along with data for medical expenses to treat respiratory diseases based on National Health Insurance statistics. The results showed that the health benefits from a one ton reduction in PM<sub>2.5</sub> emissions was 214 million Korean Won.

**Key Words** : PM<sub>2.5</sub>, Probit Model, Tobit Model, Health Benefits

\* 주저자, 조선대학교 경상대학 경제학과 부교수

\*\* 교신저자, 한국항공대학교 경영학부 교수

## I. 서론

미국은 2005년부터 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)에 대해 연간기준 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24시간 기준 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 관리 규제를 시행하고 있다. 호주의 경우 WHO 권고 기준보다도 엄격한 연간 기준 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24시간 기준 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM<sub>2.5</sub> 기준을 설정하여 규제하고 있다. 우리나라의 PM<sub>2.5</sub>에 대한 대기환경 기준은 미국이나 유럽연합, 호주 등에 비해 훨씬 느슨한 기준을 제시하고 있는데, 연간 기준 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24시간 기준 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 관리하고 있다. 이렇듯 선진국에 비해 느슨한 기준임에도 불구하고 2013년 환경부의 보도자료에 따르면 전국 측정소 절반 이상이 농도기준을 초과하고 있는 것으로 나타나 PM<sub>2.5</sub>로 인한 대기오염수준이 심각함을 보여주고 있다.

PM<sub>2.5</sub>는 공기역학적 입자직경이 2.5 $\mu\text{g}$  이하인 입자상 물질로서 천식과 같은 호흡기계 질병을 악화시키고 폐기능 저하를 초래한다. 그 외로 코 점막을 자극하면 알레르기성 비염, 알레르기성 결막염을 유발시키거나 악화시킨다(한국환경공단, AirKorea). 이러한 PM<sub>2.5</sub> 발생으로 인한 피해를 감소시키기 위해서는 배출량을 억제하는 관리 정책이 필요하다. 그러나 우리나라는 아직 관리 경험이 부족할 뿐만 아니라 자동차, 보일러, 화력발전소 등에서 배출된 1차 오염물질 뿐만 아니라, 이들의 대기 중 반응에 의한 2차 오염물질이 생성되므로 이를 관리하는 것 또한 매우 어려운 실정이다(공성용 등, 2012). 이러한 한계에도 불구하고 PM<sub>2.5</sub>의 배출량 규제 및 자동차, 보일러 등에서 배출되는 PM<sub>2.5</sub>를 감소시키는 기술개발 등 다양한 방법이 모색되지 않으면 안 된다.

PM<sub>2.5</sub> 생성을 감소시키기 위한 기술개발 및 규제는 필연적으로 연구개발비용 및 직간접적인 규제 비용을 발생시킬 것이다. 따라서 PM<sub>2.5</sub> 배출량 삭감의 각종 편익을 추정하는 것은 PM<sub>2.5</sub>의 배출량을 감소시키기 위한 연구개발 또는 규제의 타당성 분석에 매우 유용하게 활용될 것이다.<sup>1)</sup>

1) 예를 들어, 기술개발을 통해 PM<sub>2.5</sub> 배출을 100톤 감소시키는 경우, PM<sub>2.5</sub> 배출량 감소 단위 톤당 편익(원단위 편익)의 추정치를 이용한다면 간단히 원단위 편익에 100을 곱

PM<sub>2.5</sub>에 한정하여 건강에 미치는 영향을 분석한 국내 연구로는 공성용 등(2012, 2013)을 들 수 있다. 공성용 등(2012)에서는 서울시 거주 65세 이상 연령집단에 대해 미세먼지(PM<sub>10</sub>)와 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)의 농도 개선으로 기대되는 급성 및 만성 질환으로 인한 조기사망 감소의 건강편익을 산출하였다. 한편, 공성용 등(2013)에서는 2006년부터 2010년까지 서울시를 중심으로 전체 연령집단과 65세 이상 연령집단을 대상으로 PM<sub>2.5</sub> 농도 증가가 호흡기계 관련 질환으로 인한 입원과 심혈관계 관련 질환으로 인한 입원에 미치는 영향을 분석하였다. 동 연구 결과에 따르면 PM<sub>2.5</sub> 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가할 때 호흡기계 관련 질환 입원발생위험은 8.84%로 증가함을 보고하고 있다. 그러나 PM<sub>2.5</sub>의 영향을 연구한 이들 연구들은 모두 연구 대상이 서울시에 한정되어 있어 우리나라 전역으로 확대하여 적용할 수 없는 한계가 있다.<sup>2)</sup>

한편 해외의 연구로는 Dominici et al.(2006)은 1999년부터 2002년까지 미국 202개 도시의 65세 이상 노인을 대상으로 PM<sub>2.5</sub> 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가함에 따라 병원 입원이 1.39% 증가함을 발견하였다. Zanobetti et al.(2009)는 미국 112개 도시를 대상으로 PM<sub>2.5</sub>가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가 시 호흡기계 입원 발생위험을 2.07% 높이는 것으로 분석하였다. 마지막으로 Staforggia et al.(2013)은 유럽의 남부 8개 도시를 대상으로 PM<sub>2.5</sub>가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가 시 호흡기계 입원위험을 1.15% 높임을 보였다.

상술한 바와 같이 기존연구들은 PM<sub>2.5</sub>의 대기 중 농도 감소를 중심으로 호흡기계 질환 또는 심혈관계 질환 감소의 편익을 분석하고 있다. 이들 추정치를 활용하여 PM<sub>2.5</sub> 배출량 삭감 정책을 평가하거나 타당성을 분석하는데 활용하기는 곤란하다. 즉 PM<sub>2.5</sub> 배출량과 질환과의 관계를 규명하여 PM<sub>2.5</sub> 배출량 삭감의 원단위 편익을 추정한 연구결과가 없는 실정이므로 PM<sub>2.5</sub> 배출량 저감정책 및 저감기술의 직접적인 편익을 계산할 수 없다

---

함으로써 추정할 수 있다.

- 2) 우리나라 광역시도를 연구범위로 하여 분석한 유사 연구로는 총부유먼지(TSP) 농도가 급성 호흡기계 질환에 미치는 영향을 연구한 신영철(2002)과 만성 호흡기계 질환 사망률에 미치는 영향을 연구한 조용성(2003)이 있다.

는 것이다. 즉  $PM_{2.5}$  배출량 삭감을 위한 기술개발 및 규제의 환경 편익을 산출할 때 필연적으로 요구되는 배출량 기준 편익 추정치가 없으므로 편익을 적절히 산정하기 곤란하다.

본 연구에서는 2012년 『국민건강영양조사』를 이용하여  $PM_{2.5}$  배출량 변화에 따른 호흡기계 질환 발생 확률을 추정하였다.<sup>3)</sup> 조용성·손양훈(2004), 신영철(2002)의 연구 방법과 유사하게 호흡기계 질환으로 입원 및 내원할 확률을 프라빗 모형(Probit Model)을 이용하여 추정하였다. 입원 및 내원 횟수를 고려하여 토빗 모형(Tobit Model)을 이용하여  $PM_{2.5}$  배출량 변화가 호흡기계 질환으로 내원 또는 입원 확률에 미치는 영향을 추가로 분석하였다. 덧붙여, 건강보험통계의 진료비 자료를 이용하여 배출량 1톤 감소의 편익을 추정하여 제시하였다. 이 원단위 편익 추정치는 향후 발전소, 자동차, 보일러 등에서 배출되는  $PM_{2.5}$  저감 기술개발을 통해 연간 일정량의  $PM_{2.5}$  배출량을 삭감시킨다고 가정했을 때 환경편익이 얼마나 발생하는지를 손쉽게 시산할 수 있게 할 것이다.

본 논문의 의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는  $PM_{2.5}$  배출량 변화가 호흡기계 질환에 미치는 영향을 분석하기 위한 실증분석 모형 및 자료에 대해서 설명한다. 제3절에서는 추정결과를 제시하고, 이 추정 결과를 이용하여  $PM_{2.5}$  1톤의 원단위 편익을 시산하여 제시한다. 마지막으로 제4절에서는 결론을 기술한다.

---

3)  $PM_{2.5}$  배출량 톤 당 원단위 편익을 추정하기 위해서는 농도변화가 호흡기계 질환에 미치는 영향을 분석한 후, 농도와 배출량 간의 전환계수를 추정하여 배출량(ton)당 원단위 편익을 구하는 것이 최적의 방법이라고 판단된다. 그러나 우리나라의 경우 최근까지 서울시를 제외하고는  $PM_{2.5}$ 의 농도 자료를 제공하지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 해당 지역의  $PM_{2.5}$  배출량이 해당 지역주민의 호흡기계 질환에 미치는 영향을 추정하였다. 이러한 방법을 사용한 배경에는, 크든 작든 배출량의 증가가 농도의 증가에 영향을 미친다는 점을 인정한다면, 배출량 증가가 농도를 증가시켜 질환에 영향을 미칠 것이라는 논리에 근거한 것이다.

## II. 분석모형 및 자료

### 1. 분석모형

추정모형으로는 프라빗 모형(Probit Model)과 토빗 모형(Tobit Model)을 사용하는데, 이는 표본에 포함된 개인이 호흡기질환으로 병원에 내원한 적이 있는가 없는가 여부, 또는 호흡기질환으로 병원에 입원한 적이 있는가 없는가 여부와 같이 관측결과가 두개의 상황을 가지는 이항반응의 경우이기 때문이다. 이러한 경우, 한 편의 상태(질환으로 병원에 내원하는 경우)에서 1, 다른 편의 상태(병원에 내원하지 않은 경우)에서 0을 취하는 데미 변수  $Y_i$ 를 사용하여 관측결과를 나타낸다.

이러한 경우 일반적으로 사용되고 있는 것은 회귀 분석의 개념을 응용한 다음과 같은 모형이다.  $Y_i$ 가 0을 취할지 1을 취할지를 결정하는 가산적인 인자  $Y_i^*$ 가 있어서

$$Y_i^* = \beta X_i + u_i \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다고 한다.

$Y_i^*$ 는 직접적으로 관측하는 것이 불가능한 연속적인 변수이며, 직접 관측하는 것은 불가능하므로 그 부호에 의해 관측되는데,

$$Y_i = \begin{cases} 1 & Y_i^* > 0 \text{의 경우} \\ 0 & Y_i^* \leq 0 \text{의 경우} \end{cases} \quad (2)$$

로  $Y_i$ 의 값이 관측된다.  $F$ 를 위의 식 (2)의  $u_i$ 의 누적분포함수라고 가정하면  $Y_i = 1$ 이 되는 것은  $-u_i \leq \beta X_i$ 의 경우 이므로  $Y_i = 1$ 일 확률은  $P(Y_i = 1|X_i) = F(\beta X_i)$ 가 된다. 프라빗 모형은  $F$ 를 표준정규분포로 가정하고 있다. 즉,  $Y_i = 1$ 이 되는 확률을  $F(X_i) = \Phi(\beta X_i)$ 라고 한 것이다 (Madala, 1983).

모형의 추정에는 거의 모든 경우, 최우법(Maximum Likelihood Method)이 사용되며, 로그우도함수(Log Likelihood Function)는 다음과

같다.

$$L(\beta) = \prod_{Y_i=1} F(\beta X_i) + \prod_{Y_i=0} [1 - F(\beta X_i)] \quad (3)$$

최우추정량(Maximum Likelihood Estimates)은 우도함수  $L(\beta)$ 를 최대로 하는  $\hat{\beta}$ 를 찾는 것인데, 프라빗모형에서는 프라빗 최우추정량이라고 불린다.

한편, 토빗 모형은 위의 식 (2)에서  $Y_i^*$ 는  $Y_i^* > 0$ 이면 양(+)의 수치(내원 및 입원 횟수)가 관측되고  $Y_i^* \leq 0$  이면 관측되지 않는 경우, 관측된  $Y_i$ 는 다음과 같다.

$$Y_i = \begin{cases} \beta X_i + u_i & Y_i^* > 0 \text{의 경우} \\ 0 & Y_i^* \leq 0 \text{의 경우} \end{cases} \quad (4)$$

위의 식(4)에서 양(+)의 관측치  $Y_i$ 를 사용해서 OLS(Ordinary Least Square) 추정을 할 수 없는데, 표본에는  $u_i > -\beta X_i$ 일 경우에만 관측치를 포함하게 되기 때문이다. 즉,  $u_i$ 는 절단된 정규분포를 따르며, 기대치는 0이 아니다. 토빗 모형 추정을 위한 일반적인 방법은 최우법(Maximum Likelihood Method)이며 로그우도함수(Log Likelihood Function)는 다음과 같다.

$$L(\beta, \sigma) = \prod_{Y_i > 0} \frac{1}{\sigma} f\left(\frac{Y_i - \beta X_i}{\sigma}\right) \prod_{Y_i = 0} F\left(-\frac{\beta X_i}{\sigma}\right) \quad (5)$$

최우추정량은 우도함수  $L(\beta, \sigma)$ 를 최대로 하는  $\hat{\beta}$ 와  $\hat{\sigma}$ 를 찾는 것이다. 프라빗 모형과 토빗모형 분석에서는 계수 추정치보다는  $Y_i > 0$ 이 되는 확률  $P_i = P(Y_i > 0 | X_i)$ 의 한계효과 추정이 중요한 경우가 많다. 이 확률은 각각 최우추정량  $\hat{\beta}$ , 또는  $(\hat{\beta}, \hat{\sigma})$ 를 사용하여 추정할 수 있다(Greene, 2008, 참조).

## 2. 추정 모형

PM<sub>2.5</sub>가 호흡기계 질환에 미치는 영향을 추정하기 위해서는 상술한 바

와 같이 식(1)과 같은 추정식을 설정하여 식(3) 또는 식(5)의 우도함수를 극대화하는  $\beta$ 를 추정하여야 한다. 추정모형은

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 AGE_i + \beta_2 AGE_i^2 + \beta_3 CHILD_i + \beta_4 \ln(INCOM)_i + \beta_5 SEX_i + \beta_6 TEMP_i + \beta_7 HUM_i + \beta_8 PINDEX + \beta_9 \ln(PM_{2.5})_i + u_i \quad (6)$$

과 같다.

일반적으로 연령(AGE)가 낮거나 연령이 높을수록 호흡기 계통의 질환이 발생할 확률이 높고 청장년층 일수록 호흡기 계통의 질환이 발생할 확률이 낮으므로 2차 다항식의 형태를 취하였다. 덧붙여 어린이(CHILD)의 경우 호흡기계 질환이 발병 확률이 타 연령대에 비해 높으므로 '어린이'라는 특이성을 고려하기 위해 변수를 추가하였다.

한편 성별(SEX)은 일반적으로 여성의 경우 질환으로 인한 내원 확률이 높을 것으로 예상된다. 그러나, 남성의 경우 경제적 부담의 주책임자로서 외부 활동이 여성보다 빈번하거나 외부활동으로 인한 스트레스에 노출될 가능성이 높을 것으로 예상되므로 호흡기계 질환이 발생할 확률이 더 높을 것이라는 점도 예측할 수 있다(엄영숙, 1998).

가구 소득수준(INCOME)은 일반적으로 소득이 높을수록 건강 저량(stock)이 잘 관리되어 병원에 내원할 확률이 낮아질 것이나, 반면 소득이 높을수록 각종 보험에 가입하였을 확률이 높고 병원비에 대한 부담이 낮아지므로 소득이 높을수록 내원 또는 입원확률이 증가할 수 있다. 따라서 '소득'은 음(-) 또는 양(+)의 계수를 모두를 보일 수 있다.

관측자의 거주지역의 특성을 나타내는 변수들로는 거주 지역의 기온(TEMP) 및 습도(HUM), 오염도 지수(PINDEX), PM<sub>2.5</sub> 배출량의 자연대수값( $\ln(PM_{2.5})$ ) 변수가 포함된다. 기온 및 습도 변수는 기후 환경을 반영하기 위한 것으로 기온과 습도가 높은 지역일수록 호흡기계 질환 발생 확률이 높을 것으로 예상된다. 한편 오염도지수는 호흡기계 질환과 관련이 있는 기타 대기오염물질의 농도를 나타내며, 호흡기계 질환에 영향을 미치는 다른 오염물질의 영향을 통제하기 위해 포함하였다. 오염도지수는 이산화



황( $SO_2$ ), 이산화질소( $NO_2$ ), 일산화탄소( $CO$ ) 농도를 조용성·손양훈(2004)의 연구를 인용하여

$$\ln(SO_2) + 0.97 \times \ln(NO_2) + 0.74 \times \ln(CO) \quad (7)$$

로 정의하였다.<sup>4)</sup>

마지막으로 관심변수인  $PM_{2.5}$  배출량이 호흡기계 질환의 발병 확률에 미치는 영향을 분석하기 위해  $PM_{2.5}$  배출량의 자연대수값이 포함되어 있다.  $PM_{2.5}$  배출량 증가가 호흡기계 질환의 발생 확률에 영향을 미친다면 양(+)의 계수를 보일 것이다.

### 3. 자료 및 변수 설명

본 연구에서 사용된 자료는 보건복지부의 『2015년 국민건강영양조사』, 국립환경과학원의 『2012년 대기오염물질 배출량연보』, 한국환경공단(AirKorea)의 『시도별 대기오염 통계』이다. <표 1>에는 분석에서 사용된 자료들이 요약되어 있다.

질환으로 인한 내원 및 입원횟수, 질환자들의 소득 및 인구학적 특성들은 보건복지부의 『국민건강영양조사』 제5기 2012년 조사중 “건강설문조사” 자료로부터 구하였다. 제5기 조사의 조사기간은 1월부터 12월(12개월)이다. 동 자료에는 표본에 포함된 개인들의 질환으로 인한 내원 및 입원의 횟수가 제공되며, 그 외에 개인의 연령, 가구 소득, 성별과 같은 사회·경제적 특성과 관련된 자료들이 제공되고 있다. 2012년도에 호흡기 계통 질환으로 최근 2주 이내에 내원한 사람들의 평균 횟수는 0.169회이며, 1년간 입원한 사람들의 평균 횟수는 0.016회이다. 이 중 가장 내원 횟수가 많은 사람은 14회이며, 입원 횟수가 가장 많은 사람은 11회이다. 개인의 연령(AGE)은 최소 1세부터 최대 89세의 사람들로 구성되어 있으며 표본

4) 본 연구에서 관심 변수인  $PM_{2.5}$  이외의 오염 물질들은 오염물질들 간의 다중공선성 문제를 회피하기 위해 오염도지수를 이용하였다. 각 오염물질 농도에 곱해진 가중치는 인체위해도를 나타내며 한국과학기술원(1998)의 연구 결과를 인용하여 이산화황을 1로 보았을 때, 이산화질소는 0.97, 일산화탄소는 0.74로 하였다.

에 포함된 개인들의 평균 연령은 약 42세로 나타났다. 어린이(CHILD)는 연령이 12세 이하인 관측치로 정의하였으며 연령이 10세 이하이면 1, 아니면 0의 더미변수이다. 가구 소득수준은 월평균 가구 총소득(INCOME)으로 정의되어 있으며, 가구 총소득이 0인 가구를 고려하여 1+INCOME에 자연대수 값을 취하였다. 가구 소득수준 변수의 평균은 만원이며 최소치는 0, 최대치는 30,180만원이다. 성별(SEX)은 남성의 경우 1, 여성의 경우 0의 더미변수이다. 표본에는 남성이 44.4% 포함되어 있다.

거주 지역의 기온 및 습도는 기후 환경을 반영하기 위한 것으로 기상청의 『기상연보』에서 2012년의 지역별 평균 최고기온(TEMP)과 평균습도(HUM)를 구하였다. 2012년 평균 최고기온의 평균치는 17.3℃이며 최소치는 15.9℃, 최대치는 19.2℃이다. 2012년 평균습도의 평균치는 64.4%이며 최소치는 56.0%, 최대치는 72.7%이다.

거주지역의 오염도지수(PINDEX)는 2012년도 이산화황(SO<sub>2</sub>), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO)의 농도에 자연대수값을 취한 후, 가중치를 곱하여 합산한 값으로, 오염물질의 지역별 농도는 한국환경공단(AirKorea)에서 제공하는 『시도별 대기오염 확정자료』로부터 구하였다. 오염도지수의 평균치는 -9.4이다.

마지막으로 시도별 PM<sub>2.5</sub> 배출량은 국립환경과학원의 『2012년 대기오염물질 배출량연보』로부터 구하였다. PM<sub>2.5</sub> 배출량 변수는 2012년의 지역별 연평균 값을 사용하였는데, 평균치를 사용한 이유는 『국민건강영양조사』의 조사기간이 2012년 1월부터 12월까지 1년간이므로 특정시점을 설정하기 어려우므로 연간 평균 PM<sub>2.5</sub> 배출량을 이용하는 것이 바람직할 것이라는 판단에 따른 것이다. 덧붙여 PM<sub>2.5</sub>의 경우 장기적, 지속적으로 노출 시 건강 영향이 나타나며 단시간 흡입으로 갑자기 신체 변화가 나타나지는 않는다고 알려져 있기 때문이다. 지역별 PM<sub>2.5</sub> 배출량은 2012년 평균 4,702톤이며 최소치는 399톤, 최대치는 18,543톤으로 지역별로 편차가 큼을 알 수 있다.

〈표 1〉 연구에서 사용된 변수 요약

	평균	표준편차	최소치	최대치
조사 시점으로부터 2주 이내에 호흡기 계통 질환으로 인한 내원 경험 (있음=1, 없음=0)	0.105	0.306	0	1
조사 시점 1년 이내에 호흡기 계통 질환으로 인한 입원 경험 (있음=1, 없음=0)	0.012	0.108	0	1
조사 시점으로부터 2주 이내에 호흡기 계통 질환으로 인한 내원 횟수(회)	0.169	0.607	0	14
조사 시점 1년 이내에 호흡기 계통 질환으로 인한 입원 횟수 (회)	0.016	0.210	0	11
AGE(세)	41.89	22.97	1	89
CHILD(12세 이하 =1, 그외 = 0)	0.125	0.330	0	1
INCOME(월평균 가구총소득, 만원)	446.2	1114.1	0	30,180
ln(INCOME)	5.588	1.001	0	10.315
SEX(남성=1, 여성=0)	0.444	0.4969	0	1
TEMP (°C)	17.26	0.973	15.9	19.2
HUM (%)	64.38	5.368	56.0	72.7
PINDEX	-9.435	0.435	-11.07	-8.844
지역별 PM <sub>2.5</sub> 배출량 평균치(ton)	4,702.1	5,149.3	399	18,543
ln(PM <sub>2.5</sub> )	7.977	0.982	6.001	9.599

### III. 추정 결과

#### 1. 호흡기계 질환 발생 확률

지역별 PM<sub>2.5</sub> 배출량이 해당 거주민의 호흡기 질환에 미치는 영향에 관한 프라빗, 토빗 추정결과는 〈표 2〉에 제시되어 있다. 추정결과를 살펴보면, 모든 추정모형에서 PM<sub>2.5</sub> 배출량의 자연대수 값(ln(PM<sub>2.5</sub>))은 통계적으로 유의한 양(+)의 계수 값을 보이고 있다. 이는 거주지역의 PM<sub>2.5</sub> 배출량이 증가할수록 호흡기계 질환으로 인한 발병 가능성이 높아져 내원 또는 입원이 증가한다는 것을 의미한다. 즉 해당 지역의 PM<sub>2.5</sub>의 배출량 증가는 해당 지역의 PM<sub>2.5</sub> 농도의 증가를 야기하여 만성폐질환, 급만성 호흡기 질환, 천식, 폐암 등의 호흡기계 질환의 발병과 악화에 영향을 미치며, 이는

환자 증가로 인한 의료비 손실로 이어질 것임을 시사한다.

한편 내원 또는 입원하는 경우 모두의 추정모형에서 AGE와 AGE자승항이 각각 통계적으로 유의한 음(-)과 양(+)의 계수를 보이고 있는데 이는 연령과 호흡기계 질환 간에 2차 다항식의 관계가 성립한다는 것을 의미한다. 즉, 연령이 증가함에 따라 호흡기계 질환이 발생할 확률이 감소하나 일정 연령 이상에서 다시 호흡기계 질환이 증가한다는 것을 나타내고 있다. 이는 어린이와 노년계층이 호흡기계 질환에 상대적으로 취약하다는 특성을 반영하고 있다. 덧붙여 어린이(CHILD)는 입원하는 경우에서 통계적으로 유의한 양(+)의 계수를 보이고 있어 어린이의 경우 호흡기계 질환으로 인한 내원 확률이 높음을 나타내고 있다.

가구 소득수준을 나타내는 변수(ln(INCOME))는 내원의 경우와 입원의 경우 모두 음(-)의 계수를 보이나 모두 통계적으로 유의하지 않은 결과이다. 한편, 성별 변수(남성=1, 여성=0)는 내원의 경우에는 통계적으로 유의한 음(-)의 계수를 보이고 입원의 경우에는 통계적으로 유의한 양(+)의 계수를 보이고 있다. 여성의 경우에 남성의 경우보다 외래진료를 위해 내원하는 경향이 큰 반면 남성의 경우가 여성보다 입원하는 경향이 크다는 점을 의미한다. 이는 외부 활동이 여성보다 빈번하고 가계 소득의 주책임자로서 스트레스 강도가 높은 남성이 호흡기계 질환의 강도가 더욱 크다는 것을 간접적으로 시사한다.

〈표 2〉 호흡기계 질환에 미치는 영향

	Probit Model 추정		Tobit Model 추정	
	내원	입원	내원	입원
AGE	-0.0325*** (-6.0718)	-0.0504*** (-4.4776)	-0.0970*** (-6.1347)	-0.1839*** (-4.1093)
AGE <sup>2</sup>	0.0003*** (5.8095)	0.0006*** (4.8333)	0.0010*** (5.9473)	0.0021*** (4.2631)
CHILD	0.3991*** (4.4637)	0.1889 (1.1028)	1.1119*** (4.3134)	0.7652 (1.1252)
ln(INCOME)	-0.0155 (-0.6673)	-0.0171 (-0.3704)	-0.0367 (-0.5377)	-0.0728 (-0.4096)
SEX	-0.1037** (-2.4594)	0.1603* (1.7575)	-0.2886** (-2.4021)	0.6471* (1.6847)
TEMP	0.1167*** (3.4608)	0.1963** (2.3461)	0.3713*** (3.5405)	0.5900** (1.9707)
HUM	0.0030 (0.5936)	-0.0082 (-0.7238)	0.0063 (0.4319)	-0.0385 (-0.8623)
PINDEX	0.1866** (2.2694)	0.1428 (0.7533)	0.6253** (2.4638)	0.2694 (0.3669)
ln(PM <sub>2.5</sub> )	0.0462** (2.0206)	0.0798* (1.7873)	0.1310** (2.0357)	0.2827* (1.7568)
$\sigma$ (Sigma)			2.9707***	3.8480***
확률 (95% 신뢰구간)	0.00755 (0.00024 ~ 0.01487)	0.00150 (-0.00012 ~ 0.00312)	0.01216 (0.00048 ~ 0.02383)	0.00197 (-0.00024 ~ 0.00419)
표본수	7128	7128	7128	7128

주: 1) 추정모형에 상수항이 포함되어 있으나 보고하지 않음.  
2) 괄호안의 수치는 t-value임.  
3) \*\*\*, \*\*, \*는 각각 유의수준 1%, 5%, 10%에서 유의함을 나타냄.

평균 최고기온은 통계적으로 유의한 양(+)의 계수를 보이므로 기온이 높을수록 호흡기계 질환을 증가시키는 것으로 해석할 수 있다. 이 결과는 호흡기계 질환과 대기오염도를 분석한 조준모·유완식(1998)의 연구결과와 같다. 기온의 영향은 대기중의 오염농도를 증가시키고 꽃가루 등 호흡기 알레르겐 양을 변화시켜 천식 유병률을 증가시키고 천식 중증도를 증가시킨다. 또한 기온이 높은 지역일수록 일산화탄소, 질소산화물, 이산화

황을 증가시키고 이산화황이나 질소산화물은 산화하여 황산과 질산을 형성하는데 산화반응은 높은 온도에서 촉진된다. 따라서 기온이 높은 지역일수록 천식, 호흡기계 질환 또는 알레르겐 질환으로 병원에 내원 또는 입원 빈도를 높일 것이다. 한편 거주지역의 평균 습도는 통계적으로 유의한 영향을 보이지 않고 있다.

호흡기계 질환에 영향을 미치는 기타 오염물질들(SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO)의 영향을 통제하기 위한 오염도지수(PINDEX) 또한 통계적으로 유의한 양(+)의 부호를 나타내고 있다. 따라서 다른 오염물질의 대기중 농도가 호흡기계 질환에 미치는 영향을 통제한 후, PM<sub>2.5</sub> 배출량이 호흡기계 질환에 영향을 미치는지 확인하였다.

마지막으로 PM<sub>2.5</sub> 배출량 증가가 호흡기계 질환으로 내원 또는 입원할 확률에 미치는 영향은 <표 2>의 추정결과를 이용하여 구할 수 있다. 프라빗모형(Probit Model)과 토빗 모형(Tobit Model)에서 추정된 계수값 자체를 선택확률의 한계효과(Marginal Effect)로 해석할 수 없으며, 프라빗, 토빗 모형에서는  $Y_i > 0$ 이 되는 확률의 한계효과를 최우추정량  $\hat{\beta}$ 를 이용하여 추정할 수 있다(Maddala, 1983). 구체적으로, 프라빗 모형에서는 한계효과가  $\partial P(Y > 0 | X) / \partial X_i = \beta_i \phi(\beta X)$ 이므로 설명변수  $X_i$ 값이 1만큼 증가할 경우의 확률의 변화는  $\hat{\beta}_i \phi(\hat{\beta} \bar{X})$ 이다. 또한, 토빗 모형에서의 선택확률의 한계효과는  $\partial P(Y > 0 | X) / \partial X_i = \phi(\beta X / \sigma) \beta_i / \sigma$ 이므로 설명변수  $X_i$ 값이 1만큼 증가할 경우의 확률의 변화는  $\phi(\hat{\beta} \bar{X} / \hat{\sigma}) \hat{\beta}_i / \hat{\sigma}$ 이다. 내원 또는 입원의 유무를 분석하는 프라빗 모형에서는 PM<sub>2.5</sub> 배출량 1% 증가에 따른 내원 및 입원 확률의 증가는 각각 0.755%와 0.150%로 추정되었다. 한편, 토빗 모형에서는 PM<sub>2.5</sub> 배출량 1% 증가에 따른 내원 확률과 입원 확률이 각각 1.212%, 0.197%로 추정되었다.

『국민건강영양조사』의 자료는 <표 1>에서 본 바와 같이, 질환으로 인한 내원 및 입원 횟수 정보가 제공되므로 PM<sub>2.5</sub> 배출량 증가가 호흡기계 질환으로 내원 또는 입원할 확률을 추정할 경우에는 프라빗 모형 보다는 토빗 모형이 더 적절하며, 프라빗 모형은 입원 및 내원 확률을 과소추정 하는

것으로 볼 수 있다. 이하에서는 실제 의료비 손실을 추정함으로써 PM<sub>2.5</sub> 배출량 저감의 원단위 편익을 논의할 것이다.

## 2. 원단위 건강편익 추정

이 절에서는 PM<sub>2.5</sub> 배출량 감소로 인한 원단위 편익을 계산하여 제시하고자 한다. 2012년도 우리나라의 PM<sub>2.5</sub> 배출량은 총 76,287톤이다. 원단위 편익 추정을 위한 계수는 토빗 모형의 추정치를 사용하였다. <표 3>에는 PM<sub>2.5</sub> 배출량 감소에 따른 편익 추정치가 제시되어 있다.

PM<sub>2.5</sub> 배출량이 1% 변화시 호흡기계 질환으로 인한 내원 및 입원 확률은 각각 0.01216과 0.00197이다. 그러나 2012년 『국민건강영양조사』상의 조사대상자의 내원 유무에 대해서는 2012년 1월부터 12월까지의 특정 조사시점으로부터 2주 이내에 내원한 경우를 설문하였으므로 이를 연간 내원 확률로 보정하여야 하나, 보정할 수 있는 적절한 파라미터를 구할 수 없다. 한편, 조사대상자의 입원 유무에 대해서는 조사 시점으로부터 1년 이내에 입원한 경우를 설문하였다. 본 연구에서의 원단위 편익추정치는 내원 환자의 경우는 최근 2주 이내 내원한 경우의 내원 확률을 사용하였으며, 입원 환자의 경우는 1년 이내 입원한 경우의 입원 확률을 사용하였다.<sup>5)</sup>

PM<sub>2.5</sub> 배출량 증가로 인해 호흡기계 질환으로 내원한 환자수는 우리나라 인구수 50,948,272명에 0.01216을 곱하여 구할 수 있으며, 입원한 환자수는 50,948,272명에 0.00197을 곱하여 구할 수 있다(<표 2> 참조). 우리나라 전역에서 PM<sub>2.5</sub> 배출량 1%(즉, 762.9톤) 증가시 연간 내원환자 수의 증가는 619,531명이며, 연간 입원환자수의 증가는 100,368명으로 나타난다. 따라

5) 내원환자에 대해서는 설문항목이 가령 최근 4주, 8주, 또는 1년간으로 질문하였다고 한다면, 내원 횟수가 증가할 것이므로 내원할 확률이 명백히 높아질 것이다. 따라서 본 연구에서 제시된 내원환자 원단위편익 추정치는 내원 환자 원단위 편익의 최소치로 보는 것이 타당할 것이다. 한편, 엄영숙(1998)의 연평균 편익 추정방법과 같이 연평균으로 환산할 경우 2주간 편익치에 24(2주×24=48주)를 곱하는 것도 고려할 수 있으나 이는 명백히 과대 추정의 우려가 있다.

서 PM<sub>2.5</sub> 배출량 1톤 증가시 내원 환자수 증가는 812.1(=619,531/762.87)명이며, 입원 환자수 증가는 131.6명(=100,368/762.87)이다.

〈표 3〉 PM<sub>2.5</sub> 배출량 감소에 따른 호흡기계 질환 감소의 편익 추정

2012년도 PM <sub>2.5</sub> 배출량(ton)	76,287
2012년도 우리나라 인구수(명)	50,948,272
PM <sub>2.5</sub> 배출량 1% 증가(762.87톤 증가)시 내원확률 (95% CI: 0.00048~0.02383)	0.01216
PM <sub>2.5</sub> 배출량 1% 증가(762.87톤 증가)시 입원확률 (95% CI: -0.00024~0.00419)	0.00197
PM <sub>2.5</sub> 배출량 1톤 증가시 내원 환자수 증가(명)	812.1
PM <sub>2.5</sub> 배출량 1톤 증가시 입원 환자수 증가(명)	131.6
PM <sub>2.5</sub> 배출량 1톤 증가시 내원환자 의료비(백만원)	54.9
PM <sub>2.5</sub> 배출량 1톤 증가시 입원환자 의료비(백만원)	158.6
PM <sub>2.5</sub> 배출량 1톤 감소에 따른 건강 편익(백만원)	213.6

내원환자 1인당 진료비(본인부담금+급여비 및 약 구입비 포함)와 입원 환자 1인당 진료비는 국민건강보험공단의 『건강보험통계』를 활용하여 구하였다. 동 통계에 따르면 호흡기계 질환으로 병원에 내원하는 환자 1인당 진료비는 2012년 기준 67,650원이며, 입원환자 1인당 진료비는 1,205,770원이다. 건강보험통계를 이용하여 구한 PM<sub>2.5</sub> 배출량 1톤 증가시 내원 진료비 증가는 54.9백만원이며, 입원 진료비 증가는 158.6백만원이다. 따라서 PM<sub>2.5</sub> 배출량 1톤 증가시 연간 진료비 증가는 213.6백만원으로 나타난다. 즉, PM<sub>2.5</sub> 배출량 1톤 감소에 따른 원단위 건강편익은 연간 약 2.14억원임을 의미한다.

## IV. 결 론

최근 환경보건 분야에서 중요한 이슈로 부상하는 오염물질 중의 하나가 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)이다. 따라서 PM<sub>2.5</sub> 관리 정책 또한 중요한 환경 정책으



로 부상하고 있다.  $PM_{2.5}$  배출로 인한 피해를 감소시키기 위해서는 배출을 억제하는 기술개발 또는 규제가 필요하다. 이러한 기술개발 및 규제는 필연적으로 연구개발비용과 직간접적인 규제준수 비용을 발생시킬 것이다. 이에 본 연구에서는  $PM_{2.5}$  배출량 저감을 통한 호흡기계 질환 감소의 편익을 추정하였다.

$PM_{2.5}$  배출량 저감을 통한 편익을 추정하기 위해서 동 오염물질 배출량 변화가 호흡기계 질환으로 인한 내원 및 입원 확률의 변화에 미치는 영향을 프라빗 모형 또는 토빗 모형을 통해 추정하였다. 추정결과에 따르면  $PM_{2.5}$  배출량이 1% 변화시 호흡기계 질환으로 인한 내원 확률의 한계효과는 프라빗 모형의 경우 0.755%이며, 토빗 모형의 경우 1.216%로 제시되었다. 입원 확률의 한계효과는 프라빗 모형의 경우 0.150%, 토빗 모형의 경우 0.197%로 나타났다. 추정된 내원 및 입원 확률의 한계효과와 건강보험 통계의 진료비를 이용하여  $PM_{2.5}$  배출량의 원단위 편익을 추정하였으며,  $PM_{2.5}$  배출량 1톤당 호흡기계 질환의 편익은 2.136억원으로 추정되었다.

$PM_{2.5}$  저감과 관련된 정책을 추진할 경우, 정책 추진의 편익이 어느 정도 인가를 알기 위해서는  $PM_{2.5}$  배출량 삭감을 통한 원단위 환경편익(즉,  $PM_{2.5}$ 의 원단위 편익)을 파악하는 것은 필수적이다. 본 연구는 호흡기계 질환을 중심으로  $PM_{2.5}$  배출량 1톤당 원단위 편익 추정을 시도하였다는 점에서 유용한 연구로 판단된다. 다만, 본 연구에서 추정된  $PM_{2.5}$  배출량 저감의 원단위 편익 추정치는 병원에 내원 또는 입원하는 시간의 기회비용이 포함되어 있지 않은 점과 조기사망으로 인한 손실 등이 포함되어 있지 않은 점에서 과소평가되었을 가능성이 높다. 또한 심혈관계 질환 및 기타 질병 발생에 따른 건강편익 추정치도 추가되어야 할 것이다. 따라서 본 연구의 원단위 편익 추정치는  $PM_{2.5}$  원단위 편익으로써 하한으로 간주하는 것이 타당할 것이다. 상술한 과소평가 및 편익의 추가 문제는 향후 지속적으로 연구가 수행되어야 할 것이다. 덧붙여  $PM_{2.5}$  농도 자료가 입수 불가능한 상황에서 배출량 감소로 인한 건강편익을 추정하였다는 점에서 질환 확률에 왜곡이 발생할 수 있다는 점도 배제할 수 없다. 이에 대해서

는 향후 농도자료가 축적되는 상황에 따라 보완되어야 할 것이다.

## ■ 참고문헌 ■

- 건강보험공단, 2012, 『건강보험통계연보』, 서울: 건강보험공단.
- 공성용·배현주·윤대옥·홍석표·박해용, 2012, 『초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)의 건강영향 평가 및 관리정책 연구 I』, 서울: 한국환경정책평가연구원.
- 공성용·배현주·홍석표·박해용, 2013, 『초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)의 건강영향 평가 및 관리정책 연구 II』, 서울: 한국환경정책평가연구원.
- 국립환경과학원, 『2012 대기오염물질 배출량연보』, 인천: 국립환경과학원.
- 기상청, 2012, 『기상연보』, 서울: 기상청.
- 한국환경공단, AirKorea<http://www.airkorea.or.kr>.
- 보건복지부, 2012, 『국민건강영양조사』, 서울: 보건복지부.
- 신영철, 2002, “대기오염으로 인한 건강효과의 경제적 비용 - 급성호흡기 질환 외래환자를 중심으로 -”, 『자원·환경경제연구』, 11(4), pp.659-987.
- 염영숙, 1998, “대기오염이 건강에 미치는 영향에 대한 가치평가: 회피행위접근법을 사용하여”, 『환경경제연구』, 6(1), pp.1-24.
- 조용성, 2003, “대기오염 개선의 사회적 편익 추정 - 만성호흡기 질환 사망률 감소효과를 중심으로”, 『환경정책』, 11(1), pp.29-53.
- 조용성·손양훈, 2004, “대기오염개선이 건강에 미치는 사회적 편익 추정”, 『응용경제』, 6(1), pp.133-150.
- 조준모·유완식, 1998, “교통수요관리정책에 따른 대기오염의 사회적 편익 추정”, 『한국환경경제학회 학술논문 발표집』, pp.39-54.
- Dominici, F., R. D. Peng, M. L. Bell, L. Pham, A. McDermott, S. L. Zeger, and J. M. Samet, 2006, “Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases,” *Journal of American Medical Association*, 295, pp.1127-1134.
- Greene, W. H., 2008, *Econometric Analysis*, Pearson Prentice Hall.
- Maddala, G. S., 1983, *Limited Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*, Cambridge University Press.
- Stafoggia, M., E. Samoli, E. Alessandrini, E. Cadum, B. Ostro, G. Berti, et al., 2013, “Short-term associations between fine and coarse particulate matter and hospitalizations in southern europe: result from the MED-PARTICLES project,” *Environ Health Perspect*, 121(9), pp.1026-1033.

Zanobetti, A., M. Franklin, P. Koutrakis, and J. Schwartz, 2009, "Fine particulate air pollution and its components in association with cause-specific emergency admissions," *Environ Health*, 21(8), pp.58.

---

**최종일:** 일본 오사카대학교 경제학부 대학원과정에서 경제학 박사학위를 취득하고 현재 조선대학교 경제학과에 재직 중이다. 현재 주된 관심분야는 계량경제 분석, 복잡계네트워크 분석 등을 활용하여 국가 및 지역경제를 분석하는 것이다. "An Ordered Probit Analysis of Factors Promoting a Regional Information Policy: the Case of Japanese Local Government" 등 다수의 국내외 논문을 발표하였다(jichoe@chosun.ac.kr).

**이영수:** 대한민국 고려대학교 일반대학원 경제학과에서 박사과정을 취득하고, 현재 한국항공대학교 경영학부 교수로 재직 중이다. 현재 주된 관심사는 IT정책 및 R&D정책 효과, 경제성분석 및 성과분석 등을 포함하는 기술경제학 분야이다. "Does the Strengthening of IPRs widen the Growth gap?," Technological and Economic Development of Economy(SSCI) 등 이 분야에 대해 다수의 논문과 정책과제를 수행하고 있다(yslee@kau.ac.kr).

투 고 일: 2015년 11월 04일  
심 사 일: 2015년 11월 16일  
게재확정일: 2015년 12월 22일