

## PD1) 서울 지역에서 대기오염물질의 관리우선순위 선정에 관한 연구

### A study on priority ranking of air pollutants in Seoul

김예신, 임영욱<sup>1)</sup>, 박화성, 이용진, 신동천<sup>2),\*</sup>

연세대학교 환경공해연구소, <sup>1)</sup>서남대학교 환경보건학과, <sup>2)</sup>연세대학교 의과대학 예방의학교실

#### 1. 서 론

미국 환경보호청이나 세계보건기구를 포함한 유럽 등의 환경관리 기관에서는 1980년대 이후부터, 환경오염물질로 인한 인체 피해 정도를 위해도라는 확률의 개념을 도입하여 표현하고, 그 결과를 이용하여 오염물질 관리를 위한 기준치 등을 설정해 오고 있다(EPA, 1993). 국내에서도 이와 같은 위해성평가 연구가 10여년 이상 진행되어 왔고, 최근에는 환경오염물질의 위해성 평가나 관리정책의 중요성을 공히 인식하면서 이들 개념이나 연구결과들이 적절히 활용되고 있다. 위해도에 입각하여, 산재해 있는 환경문제의 정책 우선 투자 순위를 가려내어 제한된 인력이나 비용을 최대한 효율적으로 이용할 수 있으며, 위해성이 높은 문제에 대해 우선적으로 투자하여 최종적으로는 위해도를 감소시키는데 목적이 있다고 할 수 있다. 본 연구에서도 서울 지역의 대기오염에 대한 산재된 자료를 수집하고, 이들 문제에 대한 인체 위해도를 산출하고 이에 따른 우선순위를 결정하였다.

#### 2. 연구 방법

연구 대상은 대기 오염문제를 3개의 하위 문제(미세먼지, HAPs, 다이옥신류)로, 이는 다시 5가지 물질군으로 분류(미세먼지, 다이옥신류, HAPs; PAHs, VOCs, 중금속류)하였고, 물질군에 해당하는 오염물질은 총 43종이었다. 이들 물질에 대한 인체 위해도는 암 발생으로 인한 이론적 사망 위해도(theoretical mortality risk)이고, 이는 개인 위해도(=오염 농도×단위위해도)에 노출인구수를 곱한 값과 동일하다. 그리고 계산에 사용된 오염 농도는 측정시기가 동일하지 않고, 시료수도 다르기 때문에, 현재 오염도와 동일하다고 가정을 하였고, 서울지역을 대표한다고 가정하였다.

위해도 계산되는 사용되는 단위 위해도는 동물실험이나 역학자료로부터 도출된 결과를 이용하였으며, 일반적인 발암성 화학물질인 VOCs와 중금속은 일반적인 위해성 평가 방법을 적용하였다. 또한 PAHs 및 PCDD/PCDF와 같은 complex mixtures의 사망 위해도 계산을 위하여 독성 상대계수(toxic equivalency factor; 이하 TEF)를 이용하였다. 가능한 우리나라 상황에 맞는 결과를 얻기 위하여 주요 노출 인자 모수치(체중, 60kg; 호흡량, 20m<sup>3</sup>/day; 기대수명, 70년)를 적용하였다(환경부, 1999). 또한 노출 인구수는 최종 영향(target effect)이 암으로 인한 사망이므로 잠복기(latency period)를 고려하여, 20세 이상의 서울 지역 성인(7,651,408명)으로 하였다. 위해도 계산시 연간 위해도(annual risk)는 평생 위해도(lifetime risk)를 기대수명으로 동일하게 분할한 위해도와 같다고 가정하였다(EPA, 1993).

대기중 PM10의 사망 위해도 추정은 역학연구에서 도출된 용량-반응 함수 기울기, 즉 단위 농도당 연간 사망률의 변화폭(% change in annual mortality rate/( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) for mortality)에 평균 오염도와 사망자수를 고려하여 계산하였다(Extern E, 1999 ; 한국가스공사 연구개발원, 2001). 여기서는 미세먼지의 폐암으로 인한 만성 사망에 대한 용량-반응 함수의 기울기는 0.8%로서 Pope 등(2002)의 연구결과를 이용하였다. 사망자수는 서울시, 1999년도 연간 폐암 사망자수(통계청, 2000)를 인용하였으며, 만성사망의 경우는 30세 이상의 인구(1,007명)만을 고려하여 산정하였다.

\* Corresponding author

상위 물질군이나 문제에 대한 암 발생 사망자수를 계산하기 위해서는 다음과 같은 방법을 이용하였다. 물질군의 위해도는 각 물질군에 해당하는 물질의 위해도의 합이고, 각 하위문제에 대한 위해도는 각 물질군의 위해도의 합으로 계산하였다. 즉 여러 물질에 대한 위해도는 개개 물질의 위해도를 더한 결과(additive effect)와 같다고 가정하였다(EPA, 1993). 산출된 위해도 결과를 이용하여 우선순위를 도출하는 방법은 2가지를 적용하였는데, 첫째는 연속형 순위 설정으로 이론적 사망 추정치의 크기순으로 순위를 결정하였고, 둘째는 5가지 범주형 우선순위 지표(high, medium-high, medium, low-medium, low)를 설정하여 각 추정치의 크기에 해당하는 범주에 할당하였다.

### 3. 결과 및 고찰

대기오염으로 인한 물질별 이론적 사망수(연간 인구집단 위해도)는 PM<sub>10</sub>이 약 565명으로 가장 높았고, 그 다음으로는 크롬과 벤젠 순이었다. 물질군별 순위를 보면, 1순위는 PM<sub>10</sub>, 2순위는 중금속, 3순위는 VOCs, 4순위는 다이옥신류, 5순위는 PAHs 순이었다.

하위 문제별로는 규제물질(PM<sub>10</sub>), HAPs, Dioxins순으로 나타났으며, 서울의 경우 대기오염에 대해 가장 기여도가 높은 문제는 전체 사망자수의 약 90% 이상을 차지하는 PM<sub>10</sub>으로 인한 오염이었다. 또한 이들 위해도 추정치에 대한 다중 비교 결과, 하위 문제들의 평균 추정치 간에는 모두 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다.

산출된 이론적 사망수 추정치를 범주형 순위 결과는 PM<sub>10</sub>은 이론적 사망수가 500~1,000명인 medium-high 범주에, HAPs는 10~100명인 low-medium 범주에, Dioxins은 10명 미만으로 low 범주에 해당되었다.

인체 위해도 즉 암 발생으로 인한 이론적 사망수 추정치, 실측된 오염농도에 대한 대표성의 문제가 제기되기 때문에, 불확실성 분석을 실행하였다. 즉 이론적 사망수 추정치 평균 오염 농도의 하나의 값을 이용하기보다는 오염 농도의 분포를 입력하여 추정하였다. 또한 위해성 평가 과정에서 동물자료나 외국 역학 연구결과를 이용한 단위 위해도 적용시 불확실성, 노출 모수에 대한 불확실성, 자동차로 인해 발생하는 것으로 알려진 발암성이 큰 물질, 예를 들어 1,3-butadiene, formaldehyde 등이 포함되지 않은 문제 등은 차후 보완·해결해야 할 것이다. 따라서, 실제 이 연구에서 도출된 방법이나 수치적 결과들은 과학적으로 검증된 세밀한 자료이기보다는 정책적인 활용을 위한 screening tool로 해석하면 될 것이다.

### 참고 문헌

환경부 (1995~1998) 환경 위해성 평가 및 관리기술 - 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술 개발  
 환경부 (1999) 공공기반기술성과확산사업 - 환경 위해성 평가방법 제정 및 환경 독성 평가 기술이전  
 한국가스공사 연구개발원 (2001) 천연가스 자동차 보급 및 운영에 대한 경제성 평가  
 환경부 (2000) 대기오염 자동 측정망 자료, <http://www.me.go.kr>  
 Pope CA, Burnett RT, Michael J. Thun MJ, et al. (2002) Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA, 287(9): 1132-1141  
 US EPA (1993) Regional and State Planning Branch, A Guidebook to Comparing Risks and Setting Environmental Priorities, Washington D.C  
 Calabrese EJ, Kenyon EM (1991) Air toxics and risk assessment, Lewis Publishers  
 Nisbet ICT, Lagoy PK (1992) Toxic Equivalent Factors(TEFs) for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs). Regulatory Toxicology and Pharmacology, 16: 290-300  
 Ostro B (1994) Estimating Health Effects of Air Pollutants : A Methodology with an Application to Jakarta. Policy Research Working Paper 1301 Washington DC. the World Bank