

대기중 유해화학물질의 위해도 우선순위 선정 기법 및 적용성 연구
 Risk based Priority Setting Method and its Applicability
 for Hazardous Air Pollutants

박화성, 김예신, 이동수¹, 최성수², 신동천

연세대학교 환경공해연구소, ¹서울대학교 환경대학원, ²한국환경기술진흥원

1. 서론

이미 우리나라의 대기오염 수준은 심각한 것으로 평가되고 있으나(환경부, 2002a), 대기오염의 배출 및 노출 특성을 반영하지 못하고 오염물질의 독성 위주로 관리되고 있어, 사전예방의 저감 대책을 효율적으로 수립하지 못하고 있는 실정이다(환경부, 2002a; 박화성, 2003). 이러한 대기오염을 효율적으로 관리하기 위해 최근 위해도에 입각한 관리안이 수립되어야 한다고 제안되고 있으나(아주대학교, 2002) 실제 오염물질의 모든 측면을 평가하여 우선순위를 결정하는 것은 시간이나 재원이 부족한 실정으로 위해도에 기초한 논리적이고 손쉬운 방법 개발을 필요로 한다(Gary A.D. et al. 1994; Mary B.S. et al. 1997a). 이와 같은 필요로 대두된 것이 바로 화학물질 우선순위 선정 기법 개발 연구이다. 그러나 일반적으로 화학물질 우선순위 선정 기법은 다양한 목적에 따라 개발되므로, 모든 잠재적 용도에 부합하는 한가지 특정 시스템을 제시하는 것은 불가능하고, 이 때문에 시스템의 목적을 명확히 규명하는 것은 중요한 과정이다(Mary B.S. et al. 1997a). 본 연구에서는 현재 국내에서 구체적인 관리 기준이 제시되고 있지 않은 대기중 유해화학물질에 대한 인체 위해도 우선 순위를 도출하기 위한 기법을 개발하고, 그 결과를 평가하고 기법의 적용성을 검토하고자 하였다.

2. 연구 내용 및 방법

우선 기존의 화학물질 우선순위 선정 시스템을 고찰하고(김예신 등, 2003; US EPA, 1994), 본 연구의 목적에 적합한 지표 및 논리를 선정하여 우선순위 선정 기법을 구성하였다. 채택한 지표는 크게 6 가지로, 노출 잠재력과 관련된 지표는 물질의 이동성, 환경중 지속성, 배출량 범주에 대하여 각각 증기압, 공기 중에서의 반감기, 국내 TRI(Toxic Release Inventory) 자료에 보고된 대기 중으로의 배출량을 선정하였으며, 인체 영향 관련 지표는 포유류에 대한 흡입 만성 독성, 발암성, 돌연변이 원성 등의 5가지 독성을 포함한 기타 독성 결과 유무로 선정하였다. 이들 지표에 대하여, 현재 대기오염의 우려 수준이 높은 울산광역시에서 대기 중으로의 배출량이 보고되고 있는 46종의 화학물질을 대상으로 하여(환경부, 2002b), 각 지표에 대한 신뢰도가 높은 것으로 알려져 있는 데이터베이스를 이용하여 값을 결정하였다(Erin M.S. et al. 2000; Hansen G.B. et al. 1999; Environment Canada, 1994; US EPA, 1994). 각 자료를 기존의 기법 및 전체 분포에 기초하여 간격 척도를 결정하고 각각 1~5점씩 부여하고 이들 점수를 합산하여 각 파트의 점수로 이용하였다.

결국 독성에서 15점, 노출에서 15점이 도출되며, 이를 곱한 값의 최대값이 100점이 되도록 정규화 시켜주었다.

우선순위 선정 기법을 적용하여 도출된 결과를 평가하고, 기법의 적용성을 평가하기 위하여 대상 물질에 대한 정량적 위해성 평가를 실시였다. 위해성 평가는 화학물질의 노출량 정보 및 독성치가 수치로서 이용 가능한 경우에만 위해도가 결정되기 때문에, 우선 순위 선정 기법 결과와 공통적으로 비교 가능한 범위 내의 물질만을 대상으로 하였다(연세대학교 환경공해연구소, 1998). 또한 위해성 평가 과정에서 발암성 결과와 비발암성 독성 결과를 통합하기 위하여 각각 허용 위해도 수준을 설정하였다. 즉, 비발암 독성 평가시 참고치를 초과하여 노출량과의 비가 '1'을 넘으면 위험하다고 판단하고, 이와 마찬가지로 발암성 평가의 결과를 일반적인 발암성 위해도에 대한 허용 수준(10^{-6})(PCC, 1997)과 비교하여 그 비가 '1'을 초과하면 위험하다고 판단하여, 각각의 비를 순위 선정을 위한 지표로서 이용하였다. 그러나 실제 발암성 결과와 비발암성 결과를 통합하는 데에는 여전히 논쟁의 여지가 많으므로(박화성, 2003), 통합한 순위뿐 만 아니라 각각 발암성, 비발암성 결과를 따로 적용한 순위 역시 도출하였다.

조사된 자료를 각 물질에 대한 점수에 의해 몇 가지 군(High, Medium, Low)으로 분류하여 둘 간의 일치도가 높은 경우에는 절대적이지는 않지만 등급을 매긴 결과가 신빙성이 있어 유용하다고 평가한다. 본 연구에서는 우선순위 결과를 몇 가지 군으로 구분하여 순위를 범주형 변수로 표현하고 결과의 일치도를 측정하기 위하여, 한 자료에 대한 두 가지 방법의 결과를 적용하여 카파 일치도 계수를 계산하고 이를 판정 지표로 이용하였다(정광모 등, 1999).

3. 결과 및 고찰

위해도 우선순위 선정 기법을 적용하여 각 지표에 대해 모두 값이 있어 점수가 도출되는 물질은 25종이었으며, 상위에는 ethylene oxide, vinyl chloride, acrylonitrile, epichlorohydrin, benzene, methyl chloride 등이 나타났다. 또한 자료가 없는 지표에 대해서 default값을 적용하여 순위를 도출할 때, 상위 순위의 물질은 default를 적용하지 않는 경우와 유사하여 이에 따라 순위가 크게 변화하지는 않는다는 것을 알 수 있었으나, 이때 일부 물질은 지표에 대한 값이 부족하여 민감한 결과를 나타내었다. 정량적 위해성 평가 결과 각각 위해도 차원에 대한 허용 수준에 대한 초과율을 지표로 선정하였을 때, vinyl chloride, chloroform, 1,2-dichloroethane, formaldehyde, cadmium 등의 발암 위해도가 10^{-6} 보다 10배 이상 큰 물질들이 전체적 위해도가 큰 것으로 나타났다. 즉 우선순위 선정 기법과 정량적 위해성 평가, 두 가지 결과에서 공통적으로 vinyl chloride, formaldehyde가 상위에 선정되었다.

위해도 우선순위 선정 결과는 각 개별 순위에 대한 불확실성이 크므로 개별 순위 보다는 몇가지 군으로 비교하는 것이 더 바람직할 것이다(Mary B.S. et al. 1997b). 이에 각 결과를 몇 개의 군으로 분류하고 카파 계수를 이용하여 두 결과간의 일치

도를 평가한 결과 카파 일치도 계수가 '음(-)'의 값으로 나타나 두 결과간의 일치도는 그다지 좋은 편은 아니었다. 그러나 우선순위 선정 기법의 결과의 위해성 평가 순위에 대한 설명력은 50% 이상의 수준이었으며, 이는 인체에 대한 영향을 분리하여 적용하는 경우 더욱 명확하게 드러났다. 즉 본 연구에서 제안한 우선순위 선정 기법은 스크리닝 수단으로서 차후 대기오염물질을 관리하는 데에 있어서 지역별 특성을 고려하여 실제 현장에서 체계적인 노출 평가가 실시되어야 할 물질을 선정하고, 그에 대한 서베이 계획 수립에 효율적으로 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 김예신, 박화성, 이동수, 신동천 (2003) 화학물질 우선순위 선정 기법에 대한 비교 분석 연구, 한국환경독성학회지, 게재중
- 박화성 (2003) 대기중 유해화학물질의 위해도, 우선순위 선정 기법과 적용성 연구, 연세대학교 보건대학원 석사학위논문
- 아주대학교 (2003) 대기오염의 위해성평가 연구 및 관리를 위한 중·장기 연구계획, 환경부
- 연세대학교 환경공해연구소 (1998) 환경 위해성 평가 및 관리기술 - 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리기술 개발, 환경부
- 정광모, 최용석 (1999) SAS를 활용한 범주형 자료분석. 자유아카데미
- 환경부 (2002a) 수도권 대기질 개선 특별대책(시안) - 수도권 대기질 개선에 관한 공개토론회 발표자료
- 환경부 (2002b) 화학물질 배출량 조사 결과(1999~2000)
- Environment Canada (1994) The ARET substance selection process and guideline
- Erin M.S., Shane A.S., John P.G. et al. (2000) SCRAM : A Scoring and Ranking System for Persistent, Bioaccumulative, and Toxic Substances for the North American Great Lakes 7(1), pp.1-11.
- Gary A.D., Mary B.S., Sheila J. (1994) Comparative evaluation of chemical ranking and scoring methodologies
- Hansen B.G., Haelst A.L. et al. (1999) Priority setting for existing chemicals: The European Union risk ranking method. Environmental Toxicity and chemistry, 18, pp.772-779.
- Mary B.S. and Adam C.S. (1997a) Chemical ranking and scoring: Guidelines for relative assessment of chemicals, SETAC press.
- Mary B.S., Gary A.D., Lori E.K. et al. (1997b) A screening method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts. Environmental Toxicology and Chemistry, 16(2), pp.372-383.
- PCC(The Presidential/Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management) (1997) Risk Assessment and Risk Management In Regulatory Decision-Making(Final Report)
- US EPA (1994) Chemical hazard evaluation for management strategies: A method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts