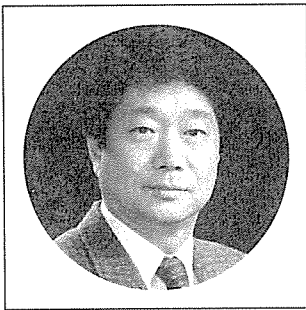


## 환경오염물질의 위해성평가와 관리

# 전문인력양성과 政府지원 절실



鄭 勇

연세대 환경공해연구소교수 · 환경보전

1970년 이래 환경오염이 사회문제로 대두되자 안전한 환경을 확보하기 위한 예방적 측면에서 위해성 평가(risk assessment)가 학문적으로 또한 제도적으로 관심의 대상이 되어왔다. 그러나 우리나라에서 이 분야가 논의되기 시작한 것은 최근으로 나날이 심각해져 가는 환경오염물질에 대한 과학적인 평가와 그에 대한 관리가 절대적으로 필요한 시기에 놓여 있다.

위해성 평가란 인간이 환경적 위험(environmental hazard)에 노출되었을 경우에 발생가능한 건강장해의 범위를 역학적, 임상적, 독성학적 및 환경학적 연구결과들로부터 모델을 이용한 외삽(extrapolation) 과정을 통해 예측하고 평가하는 방법이다. 이러한 건강위해도 평가의 분석은 크게 위험성 확인(hazard identification), 용량-반응평가(dose-response assessment), 노출평가(exposure assessment) 및 위해도 규정(risk characterization)의 4단계를 통해 수행되어진다.

이러한 위해성 평가의 궁극적인 목적은 위해성 관리를 위한 완전한 정보 특히, 정책입안 및 규제책을 제공하는데 있으며 이미 선진각국에서는 위해성 평가에 입각하여 음용수, 대기 환경기준 등을 설정하고 새로운 화학물질의 안정성 평가에 적용하고 있다.

### ○위해성평가의 개요

위험성 확인은 인간 또는 인간이 아닌 수용체(receptor)가 어떤 요인에 노출되었을 경우에 유해한 영향을 유발시키는가의 여부를 결정하는 단계로서, 그 물질에 대한 모든 물리·화학적, 독성학적, 동물실험 및 사람에 대한 자료(역학연구)를 근거로 수행된다.

용량-반응평가는 노출집단에 있어 투여된 용량과 유해건강 효과의 발생사이의 상관성을 규명하고 노출로 인한 효과의 발생률을 예측하는 과정이다. 이 과정에서는 노출강도, 노출기간, 성, 생활양식과 같이 반응에 영향을 끼칠

수 있는 변수들이 중요한 요소로 고려되어야 한다. 이러한 용량-반응 평가에서는 고농도에서 저농도로의, 동물에서 인간으로 또는 실험동물에서 야생동물로의 외삽과정이 반드시 필요하다. 이들 방법에 있어서는 통계학적 및 생물학적 불확실성(uncertainty factor)을 이용한 접근과 수학적인 모델(mathematical modeling)을 이용한 접근법이 있다.

노출평가는 각각의 환경매체를 통해 위험성이 확인된 유해물질에 대한 인간의 노출의 강도, 빈도 및 기간을 측정 또는 평가하는 과정이며 또는 환경중으로 방출되고 있는 새로운 화학물질로부터 발생할 수 있는 가설적 노출을 평가하는 단계이다.

위해도 결정은 수집된 모든 정보, 즉 용량-반응평가, 노출평가에서 도출된 정보를 종합하여 특정오염물질의 특정농도에 노출되었을 경우, 개인이나 인구집단에서 유해한 영향이 발생할 확률을 결정하는 단계이다. 이를 수행하기 위해 이 단계는 주어진 일련의 노출에 따라 위해도 추정뿐만 아니라 관련된 생물학적 정보, 사용된 가정 및 가정에 대한 제한성 그리고 위해성 평가에 있어서 불확실성에 대한 완전한 고찰 및 분석이 포함되어야만 한다.

### ○ 위해성관리와 우리나라에서의 위해성 평가

위해도 결정단계가 종결되면 각 단계에서 수집된 모든 정보를 토대로 하여 특히 발암물질의 경우는 단위 위해도 추계치를 중심으로 관리를 실행하게 된다. 여기서 위해성 관리(risk management)란 대체적인 법적 조치를 평가하고 이들중 최적안을 선택하는 과정으로 기술된다. 즉, 다양한 법률하에 규제기관에 의해 수행되어지는 위해성 관리는 어떤 잠재적인 만성 건강위험에 대한 규제조항을 발전, 분석 및 비교하고 적절한 규제대책을 선택하기 위해 위해성과 관련된 정보와 더불어 정치적, 사회적, 경제적 및 공학적 정보의 고려를 수반하는 결

정행위 과정이다. 특히 선택과정에는 필수적으로 위해성의 수용 및 합리적 제어 비용과 같은 문제에 대해 심사 숙고한 판단이 요구되어진다. 미국 환경보호처(EPA)에서는 이러한 위해성 관리의 일환으로 각종 오염물질의 환경기준 및 음용수 수질기준 설정을 위해 모든 제반여건(유독성, 사회·경제적 여건 등)을 감안하여 어느 유독물질이 10,000명중 1인에 대하여 질병을 유발하거나 사망하는 경우는 경고(alert) 수준으로, 100,000명중 1인에 대한 유해발생은 권고(recommendable warning) 수준으로, 그리고 1,000,000명중 1인은 건강상 유해성을 무시할 만한 수준(negligible)으로 간주하고 있다.

따라서 오염물질의 환경기준이나 음용수 수질기준을 설정할 때에 10<sup>5</sup>당 1명의 위해성을 가지고 선정하며 이것은 즉, 10<sup>5</sup>명당 1명의 유해치에 상응하는 각 화학물질의 농도가 기준치로 설정되는 것이다.

#### 1. 대기 환경오염물질의 위해성평가

대기중 규정된 오염물질들(nonregulated pollutants)은 그들의 영향을 평가하는데 많은 기간이 소요되거나 기술적으로 입증하기 어렵다. 더욱이 이들을 행정적으로 관리하기가 매우 힘들기 때문에 관리대상의 우선순위(priority pollutants)에서 제외되기가 쉽다.

그러나 이들 중에는 돌연변이원성이나 발암성인 것이 다수 포함되어 인체에 유의한 영향을 증가시키고 또한 가스상이나 부유분진에 흡착된 양상으로 호흡기를 통해 인체에 침투되어 노출기회를 증가시키므로 관리적인 측면에서 매우 중요하다.

우리나라의 경우 이러한 발암성 미량 오염물질에 대한 연구와 그에 대한 관리가 매우 미진한 상태에 있으나 대기 부유분진중 다환방향족 탄화수소류(Polycyclic aromatic hydrocarbons : 이하 PAHs)에 대해서는 일부 조사연구 되어진 바 있다. 이를 토대로 PAHs 가운데 이미 사람에게 있어 가능한 발암물질로

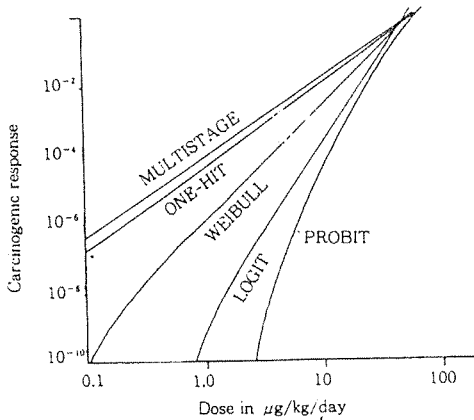


Fig. 1. A comparison of the results of various does-response model for the low-dose region.

Model	Unit risk estimates	Virtually safe dose(10 <sup>-6</sup> )
One-hit	2.8 × 10 <sup>-7</sup>	3.4ng/m <sup>3</sup>
Multistage	5.2 × 10 <sup>-7</sup>	1.9ng./m <sup>3</sup>

Table 1. The lifetime unit risk estimates and virtually safe dose for one-hit and multistage model.

위험성이 확인된 benzo (a) pyrene(이하 BaP)의 위해성을 평가해 보았다.

70kg의 건강한 성인이 70년 평생동안 BaP이 1mg/m<sup>3</sup>으로 오염된 공기를 호흡할 경우 호흡기계 암이 발생할 수 있는 확률을 구하기 위해 모델(Fig. 1)에 외삽한 결과 단위위해도치가 일점모델에서 2.8 × 10<sup>-7</sup>, 다단계 모델에서는 5.2 × 10<sup>-7</sup>으로 추계되었다. 서울시 일부지역의 현 오염도 수준에 이러한 결과를 종합하여 산출된 발암확률은 인구 100만명당 약 1명의 수준으로 나타났다(Table 2). 이러한 결과는 BaP의 단독물질에 대한 실질적인 위해도가 없을 것으로 간주되는 수준이나 역학자료에 근거한 WHO의 BaP의 단위 위해도치(9 × 10<sup>-5</sup>)을 적용하였을 때 발생할 수 있는 초과사망확률은 십만명당 10~40명 수준으로 나타났다. 실제적으로 대기중에는 BaP을 포함하는 PAH

Area	Concentration (ng/m <sup>3</sup> )	Excess risk estimates(per 10 <sup>6</sup> )	
		One-hit	Multistage
Heukseok	4.64	1.30	2.41
	1.44	0.40	0.75
	1.91	0.53	0.99
	3.29	0.92	1.71
	2.03	0.57	1.06
Shinchon	1.33	0.37	0.69
	3.46	0.97	1.80
	2.72	0.76	1.41
Bulkwang	2.50	0.70	1.30
	2.83	0.79	1.47

Table 2. The lifetime excess risk estimates due to benzo(a)pyrene in ambient air of Seoul.

가 동시에 공존하기 때문에 BaP을 지표로 하는 복합물질에 대한 위해 부분은 훨씬 더 심각할 것으로 예상된다.

이렇듯 대기중 미량오염물질에 대한 총체적인 위해성을 평가하기 위해서는 개개 오염물질에 대한 위해성 뿐만 아니라 복합물질에 대한 부분도 함께 고려해서 연구되어야만 한다.

## 2. 수질환경오염물질의 위해성평가

현재 우리나라에서 상수원으로 이용되고 있는 하천 및 호수는 주변의 공업단지, 도시 혹은 경작지로부터 배출되는 공장폐수, 생활하수, 경작지폐수 등으로 인하여 전국적으로 상수 급수원이 2급수 이상으로 보고되고 있어 이로 인한 공중보건학적인 문제가 제기되고 있다. 또한 화학물질 사용의 증가로 인해 음용수 중 미량 유기오염물질의 검출 또는 상수원수의 오염이 심각해지면서 염소소독에 의한 THMs과 같은 유독 염소화합물의 검출은 우리가 매일 약 2리터씩 평생 마시는 음용수를 통하여 건강을 위협하고 있다. 이로 인해 음용수의 안전성이 크게 제기되고 있으나 실제적인 연구가 미진한 상태이다.

음용수의 위해성을 평가하는데에 일반 수질 지표(general water quality index)만으로

파악할 수 없으므로 유독성 미량 유기 오염물질에 대한 오염도 자료가 필요하다. 그러나 일부 물질을 제외하고는 유용한 연구결과들이 거의 없는 상태이다.

우리나라의 경우 작년에 미량 발암오염물질인 THMs의 위해성이 대두되면서 기준이 설정되었지만 이는 체계적인 위해성 평가를 통해 이루어진 것은 아니었다.

한편, 대표적인 산업용제인 trichloroethylene은 아직 우리나라 음용수중 오염실태 파악조차 되어있지 않지만 일부 지역의 가정수에 대해 위해성을 조사한 결과가 있다.

그 결과에 의하면 적절한 동물자료를 이용하여 다단계 모델에 외삽해 95% 상한값(95% upper confidence limits : UCL)이  $1.73 \times 10^{-2}$ , 최대가능추정치(maximum likelihood estimates : MLE)가  $7.72 \times 10^{-3}$ 으로 산출값을 얻었다. 추계된 단위 위해도치를 근거로 대상 지역의 초과위험도는 Table 3에서와 같이 인구 백만명당 0.22~0.31인 것으로 나타났다.

Area	Concentration		Excess risk estimates( $\times 10^{-6}$ )		
	average ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	average daily ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ )	95% UCL	MLE	U.S. EPA
Kueuh	0.64	0.018	0.31	0.14	0.20
Bokwang	0.44	0.013	0.22	0.10	0.14
Paldang	0.64	0.018	0.31	0.14	0.20

Table 3. The lifetime excess risk estimates due to trichloroethylene in drinking water

수중에는 이외에도 600여가지의 화합물이 존재하는 것으로 알려져 있어 이들 물질에 동시에 노출될 때 발생하는 위해효과는 더욱 증가할 것이다.

따라서 각종 화학물질의 사용증가에 따른 수질오염도를 고려하여 지속적인 오염도 감시와 체계적인 실태파악에 주력하고 그 바

탕위에서 위해성 평가가 수행되어야 할 것이다.

## ○ 결 론

위해성 평가는 인간이 항상 접하면서 생활하고 있는 환경으로부터 위험요인을 제거하여 노출로 발생할 수 있는 위해효과를 최소화하는 예방적 견지에 있다.

위해성 평가의 응용적인 측면은 첫째, 오염물질의 위해성 평가에 따라 수질, 대기 또는 소음 환경기준으로 재 설정할 수 있다. 둘째, 환경기준 설정에 따른 오염원으로부터 오염물질 배출기준도 산정될 수 있으며 오염원 감축량(emission source reduction)도 결정된다. 셋째, 기존 유독성 환경오염 물질에 대한 인체 노출량을 평가할 수 있고 노출에 따른 위해성을 예측할 수 있다. 넷째로, 새로운 화학물질의 도입, 이용에 대한 안전성 또는 유독성을 판정할 수 있다.

우리나라의 경제수준이나 오염수준 및 양상을 비추어 볼 때 위해성 평가의 도입 및 시행이 이루어져야 한다.

그러나 이를 수행하기 위해서는 평가를 이끌어갈 만한 고도의 연구진과 전문인력의 양성이 필요하며, 수행비용이나 시간이 많이 소요되기 때문에 정부의 적극적인 장려와 보조가 요구되어진다.

또한 이러한 위해성 평가의 적용시 생활양식, 경제수준, 인종, 성, 연령 등과 같은 다양한 변수를 충분히 고려하여 우리나라 실정에 적합하도록 수정, 보완해야 할 것이다.

궁극적으로 위해성 평가는 자연환경 즉 인간과 서로 상호작용을 맺고 있는 생태계의 보존과 함께 동·식물의 피해를 미연에 방지하며 인간건강 및 사회복지에 필요한 하나의 중요한 방법론으로 제시되는 것이므로 환경오염 물질에 대한 공식적인 위해성 평가와 이를 토대로 위해성 관리가 조속히 실행되기를 바란다.