

4C3) 실내공기질 기준 결정을 위한 위해성평가 Risk Assessment for Indoor Air Quality

임영욱
 연세대 환경공해연구소

인체 위해성 평가를 바탕으로 환경 중 유해화학물질 관리를 하고 있는 미국, 유럽국가 및 세계보건기구에서는 건강 보호를 위한 건강 목표치 설정에 위해성 평가 기법을 활용하고 있다. 원칙적으로는 ALARA(As Low As Reasonably Achievable)에 의해, 인체 위해성 평가에 근거한 건강 목표치는 발암 물질의 경우 목표치는 '0(zero)'이어야 하지만, 실질적으로 이는 도달할 수 없는 이상치이므로, 실질적인 건강 목표치로서 미국 환경보호청에서는 10^{-6} ~ 10^{-4} 의 위해도 범위 내에서 기술·사회·경제적인 부분을 고려하여 설정하고 있으며, 세계보건기구에서는 10^{-5} 의 인체 위해도에 해당하는 농도를 근거로 권고 기준을 제안하고 있다. 비발암물질의 경우에는 비발암 독성 참고치를 기준으로 안전력을 고려하여 평생노출이 되어도 유해영향이 나타나지 않을 농도를 산출하고, 이를 건강 목표치로서 활용하게 된다. 이에 실내공기질 기준결정을 위한 위해성평가 기법은 미국(EPA) 및 세계보건기구(WHO)에서의 적용 원칙을 근간으로 한다.

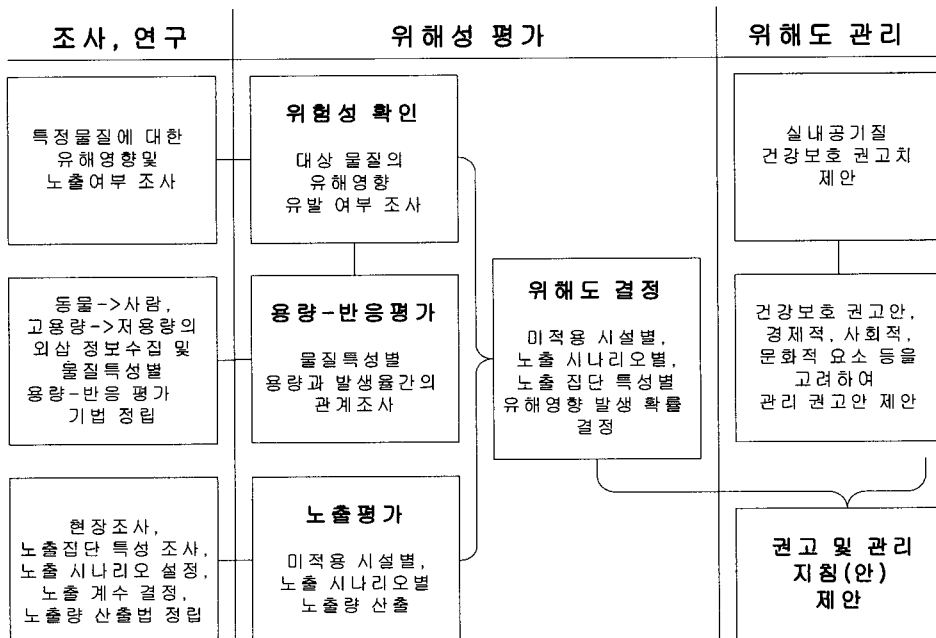


Fig. 1. 실내공기오염물질의 위해성평가 및 관리.

한 예로써 미적용 다중이용시설에 대한 건강 보호를 위한 실내공기오염 물질의 기준은 3단계 과정을 거쳐 기준을 설정한다.

우선, 1단계에서는 대상 물질의 독성 또는 발암성 자료에 의해서만 인체에 유해 영향이 유발되지 않을 독성 기준 농도를 설정한다. 1단계에서 설정된 농도는 각 물질별 건강 보호 상한 농도 기준으로 이용된다.

2단계에서는 각 시설별 노출 패턴을 고려한 실질적 안전 용량(virtually safety dose)을 산출하였다. 이때 물질의 독성 및 발암성 특성과 이용자 형태를 고려하여 실질적 안전 용량 설정 기준을 구분하여 고려하였다. 인체 발암성 물질의 경우에는 상시 근무자는 인구 만명당 1명(1×10^{-4})이 발생될 농도, 최빈 및 평균 이용자는 인구 십만명당 1명(1×10^{-5})이 발생될 농도를 기준으로 설정하였으며, 비발암독성 물질의 경우에는 상시 근무자는 위험값이 1에 해당하는 농도, 최빈 및 평균 이용자는 위험값이 0.1에 해당하는 농도를 기준으로 설정하였다.

마지막으로, 3단계에서는 1단계 및 2단계에서 산출된 대상 시설별, 물질별, 이용 형태별 건강 보호 농도 중 가장 낮은 수준을 건강 보호 기준(안)으로 제안한다.

실질적 안전용량은 인체 위해성 평가를 수행하는 과정과 유사하게 진행된다. 다만, 노출농도에 대한 인체 위해도를 산출하는 과정 대신, 달성하고자하는 위해 기준에 해당하는 노출 농도를 역산출하는 과정이 수행된다. 인체 발암성 물질의 경우, 인체에 가장 낮은 농도로 노출되어도 발암 위해가 나타나는 역학 또는 동물실험 자료를 이용하여 용량-반응 평가를 수행한다. 용량-반응 평가는 사람이 유해물질의 특정 용량에 노출되었을 경우, 과연 유해한 영향을 발생할 확률이 얼마인가를 결정하는 단계이다. 용량-반응 평가는 고농도 또는 동물실험 등을 통해 산출된 노출용량에 따른 중앙 또는 암 발생률 자료를 동물에서 사람으로의 용량 전환(dose scaling)과 수학적인 통계모델을 이용한 고용량에서 저용량으로의 외삽과정(extrapolation procedure)에 의해 환경 중 저농도로 평생 노출될 경우 발생할 수 있는 인체 발암 확률값을 결정하게 된다. 용량-반응 평가에 의해 산출된 단위위해도(성인이 평생동안 임의의 화학물질이 단위농도($1\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 오염된 공기를 마시고 살아갈 경우, 이로 인해 추가적으로 발생할 수 있는 발암 확률)를 기준으로 하여, 오염된 공기를 평생 마시고 살아감으로 인해 인구 만명당 1명(1×10^{-4}) 또는 십만명당 1명(1×10^{-5})의 초과 발암 위해가 나타날 수 있는 농도를 역산출하게 된다. 이와 같은 과정에서 산출된 농도를 실제적 안전용량(virtually safety dose: VSD)이라고 하고, VSD를 흡입 노출로 인한 건강 목표치(Indoor Air Level Goals : IALG)를 결정하게 된다.

비발암 물질의 경우에는 만성 호흡 독성 참고치(Reference concentration : RFC) 를 이용하여 건강 목표치를 결정할 수 있다. 만성 호흡 독성 참고치는 인체에 독성 영향을 나타내지 않을 것으로 기대되는 용량, 즉 안전 용량(safety dose)을 일컫는다. 만성 독성 참고치는 임의의 유해화학물질의 인체 혹은 실험동물을 대상으로 한 만성 및 아만성 실험에서 결정된 무관찰 유해영향수준(No Observed Adverse Effect Level : NOAEL) 또는 최저 관찰 유해영향 수준(Lowest Observed Adverse Effect Level : LOAEL)에 불확실성 상수를 고려하여 산출된다. 만성 호흡 독성 참고치에 일일 호흡량, 평균 체중 및 안전력을 고려하여 흡입 노출로 인한 실내공기 건강 목표치(Indoor Air Level Goals : IALG)를 결정하게 된다.

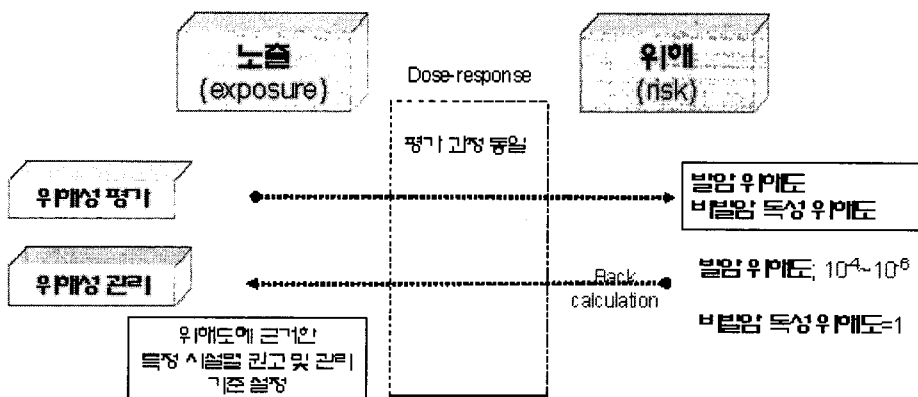


Fig. 2. 실내공기질의 건강기준(안) 설정 방안.