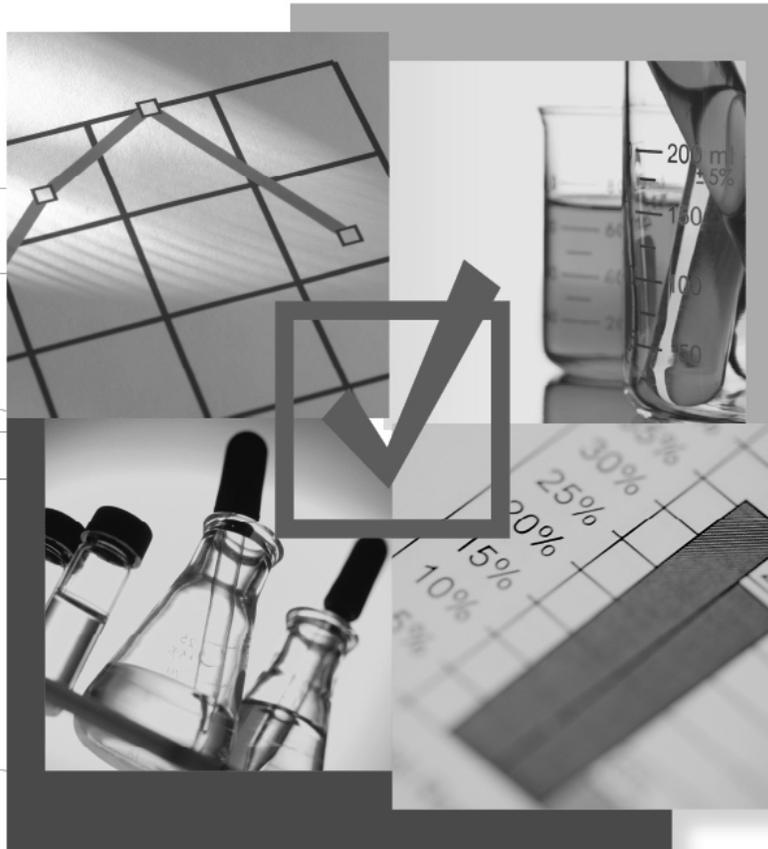


화학물질 배출량 정보를 이용한 초기 위해성 평가 해설서



2010

제 목 차 례

Part I 개요	1
제 1 장 해설서의 개요	3
제 1 절 해설서의 목적	3
제 2 절 해설서의 이용	6
제 2 장 위해성평가의 개요	7
제 1 절 위해성평가란?	7
제 2 절 위해성평가의 목적 및 절차	9
제 3 절 초기위해성평가와 상세위해성평가의 비교	13
제 4 절 배출량을 이용한 위해성평가 결과 활용	15
제 3 장 초기위해성평가의 구성	17
Part II 초기위해성평가 해설서	19
제 1 장 서론	21
제 1 절 연구 배경	21
제 2 장 일반 물질 정보	22
제 1 절 물리화학적 특성	22
제 2 절 환경 거동	23
제 3 절 분류 표시	24
제 4 절 노출 정보	25

제 3 장 유해성 확인	28
제 1 절 인체	28
제 2 절 환경	39
제 4 장 용량-반응 평가	45
제 1 절 인체	45
제 2 절 환경	52
제 5 장 노출평가	56
제 1 절 환경배출	58
제 2 절 예측환경농도 산정	61
제 3 절 인체노출량 산정	77
제 6 장 위해도 결정	86
제 1 절 인체	86
제 2 절 환경	88
참고문헌	91
부록 1	93
부록 2	97

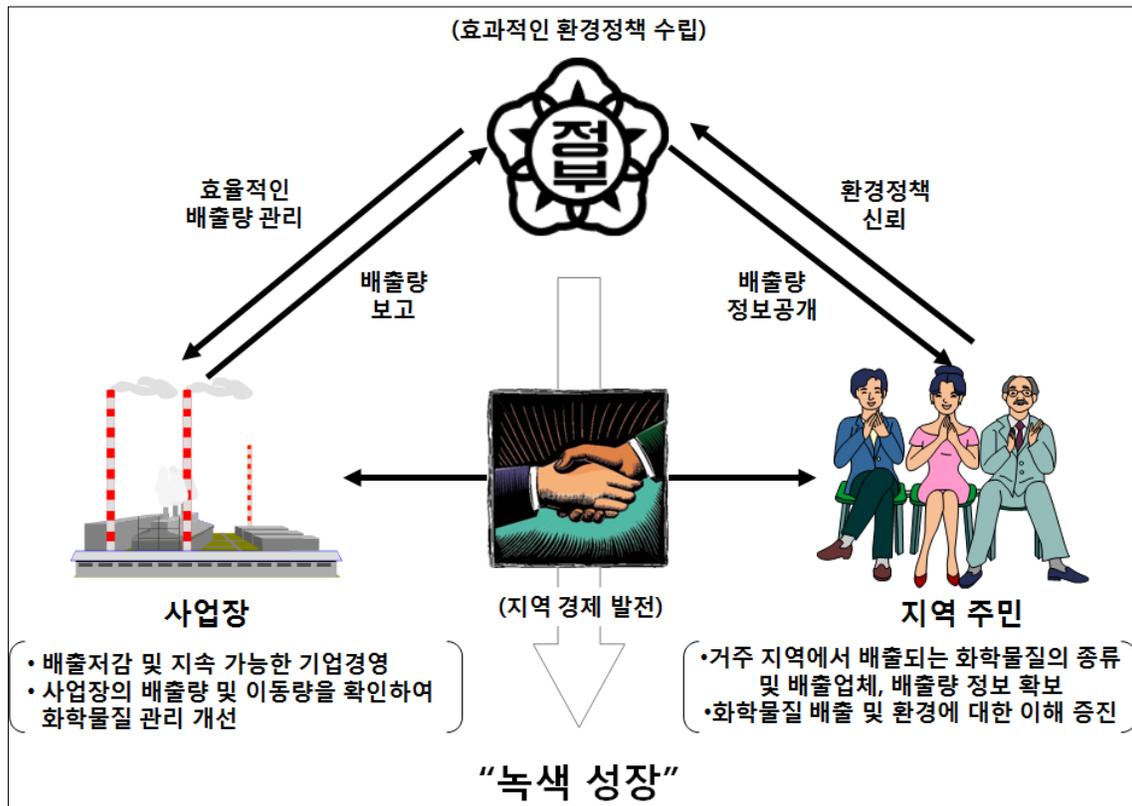
Part 1

개요

제 1 장 해설서의 개요

제 1 절 해설서의 목적

배출량 조사제도¹⁾의 목적은 화학물질의 제조 또는 사용과정에서 환경(대기, 수계, 토양)으로 배출되거나, 폐수와 폐기물에 섞여 나가는 화학물질의 양을 사업자 스스로 파악토록 함으로써, 사업자로 하여금 원료물질의 손실을 줄이고 환경오염을 최소화하려는 자발적인 노력을 유도하는데 있습니다.



우리나라는 '96년 OECD 가입시 화학물질 배출량조사제도 도입을 약속하고, 같은 해 12월 유해화학물질관리법을 개정하여 화학물질의 배출량 조사에 필요한 법적 근거를 마련한 바 있습니다. 이에 환경부는 1999년 석유정제 및 화학 등 2개 업종에 대한 배출량 조사를 시작으로, 2010년 현재 종업원 수 30인 이상인 39개 업종(화학업종 등)에서 388종의 조사대상물질에 대한 배출량을 매년 조사하고 있습니다.

1) OECD의 PRTR(Pollution Release and Transfer Registers), 미국의 TRI(Toxics Release Inventory), 캐나다의 NPRI(National Pollutants Release Inventory), 영국의 Pollution Inventory 등이 유사한 제도임

시행년도	대상업종	종업원수	조사대상물질
1999년	석유정제, 화학업종 (2)	100인 이상	80종
2000년	화학업종 등 (23)	100인 이상	80종
2001년	화학업종 등 (23)	50인 이상	160종
2002/2003년	화학업종 등 (28)	50인 이상	240종
2004년 ~ 2008년	화학업종 등 (36)	30인 이상	388종
2009년 ~	화학업종 등 (39)	30인 이상	388종

이와 같은 배출량 조사제도는 단지 정부의 화학물질 관리를 위한 제도뿐 아니라, 국민, 기업 모두에게 다음과 같은 다양한 긍정적인 효과를 얻을 수 있는 좋은 제도입니다.

▶ 국민이 얻을 수 있는 효과

- 배출량 정보를 통해 내가 살고 있는 지역의 화학물질 오염수준 및 배출원을 파악
- 배출원에 대한 자발적인 감시활동을 통해 환경문제에 대한 범국민적인 참여와 관심을 유도
- 정부와 기업에 적극적인 환경시정 요구

▶ 기업이 얻을 수 있는 효과

- 원료 손실원 파악을 통한 제품의 생산성 향상 및 기업의 이윤 창출
- 폐기물 관리를 통한 폐기물 처리비용 절감
- 배출원 및 배출량 파악을 통해 대체물질 또는 공정개선 등 배출저감을 위한 대책 마련
- 사전 안전점검 및 원인분석을 통한 작업장 안전증진
- 지속적인 관리를 통한 친환경적 기업으로서의 이미지 개선

▶ 정부가 얻을 수 있는 효과

- 환경중으로 배출되는 화학물질의 배출량 동향 파악
- 국민 건강에 미치는 위해성을 평가하여 환경매체별 관리정책 수립
- 환경관련 규제의 통합관리 기반 구축

현재 화학물질 배출량조사제도는 국가별로 조사대상, 보고의무, 자료공개 범위 등이 차별화되어 운영되고 있습니다. 미국, 일본, EU 국가들은 기업별 배출량 정보공개를 실시하고 있는 반면, 우리나라는 지역별, 물질별 및 업종별로 가공된 정보만을 제공하여 왔습니다. 이에 '04년 12월 개정된 유해화학물질관리법에 따라 사업장별 화학물질 배출량 조사결과를 위원회 심의를 거쳐 공개 가능하도록 되었습니다. 2008년 59개 사업장의 시범공개를 시작으로 단계적인 공개를 거쳐, 2010년 모든 사업장별 조사결과를 공개하도록 결정된 바 있습니다(유해화학물질관리위원회, '07.10, '08.4).

국가	시작년도	환경매체	보고의 강제성	대상물질수	이동량	비점 오염원	보고주기	정보공개
한국	1999	A.W.L	☆	388	○	○ (4년마다)	매년	●
호주	1998	A.W.L	☆	90	×	○	매년	●
벨기에*	1993	A	☆	63	-	○	매년	EU공개
캐나다	1993	A.W.L	☆	323	○	○	매년	●
덴마크*	1989	A.W	☆	300	○	×	매년	●
핀란드*	1988	A.W.L	☆	5	×	×	매년	EU공개
헝가리*	-	A.W.L	☆	200~250	○	×	-	●
아일랜드*	1995	A.W.L	☆	-	○	×	매년	EU공개
이탈리아*	1995	L	☆	-	○	×	매년	EU공개
일본	2001	A.W.L	☆	354	○	○	매년	●
멕시코	1997	A.W.L	△	191	○	○	매년	복미통합
네덜란드*	1976	A.W.L	☆	180	○	○	매년	●
노르웨이	1992	A.W.L	☆	250	○	○	매년	EU공개
영국*	1991	A.W.L	☆	183	×	○	매년	●
미국	1987	A.W.L	☆	666	○	×	매년	●

*EU 회원국 (EU 배출량 공개사이트, EPER에서 기업별 배출량 자료 공개)

- 환경매체 A:대기, W:수계, L:토양
- 보고의 강제성 ☆:강제적, △:절충형, ×:자발적
- 이동량 O:포함 X: 불포함
- 정보공개 ●:기업별 정보공개

사업장별 화학물질 배출량 정보공개에 따라 이해집단의 우려 최소화, 생산과정에서 화학물질 배출이 불가피함을 서로 공유하는 등 효율적인 화학물질 위해정보전달체계 구축의 필요성이 대두되었습니다. 또한 사업장별 배출량 정보공개 시 불필요한 불안감 해소와 보다 적극적인 배출저감 활동을 유도하기 위하여 배출량 정보만으로는 알 수 없는 주변 환경 및 주민건강에 미치는 영향에 대해 정량화가 필요하다는 인식이 확산되었습니다. 이에 배출량 시범공개 사업장에서 다수 배출되는 주요 화학물질의 배출량 정보를 활용하여 배출지역에 대한 초기 위해성평가를 실시하고, 각 단계별 투명한 세부절차와 평가결과를 알기 쉽게 정리한 “초기 위해성평가 절차 해설서” 마련이 추진되었습니다.

본 해설서는 시범사업으로 작성되었던 초기 위해성평가서 및 외국의 위해성평가서 등을 바탕으로 작성되었으며, 기업이나 일반 시민이 초기 위해성평가서를 이해하는데 도움이 되고자 작성되었습니다. 또한 배출량 정보를 이용하여 초기 위해성평가 및 상세위해성평가를 실시하고자 하는 기업이 해설서의 표준화된 절차에 따라 평가할 수 있는 지침이 되고자 작성되었습니다.

제 2 절 해설서의 이용

- ▶ **목차** : 본 해설서의 목차(Part II)는 시범작성된 초기위해성평가서의 목차와 동일하므로, 각 목차에 해당하는 해설서 내용을 참고하면 됩니다.
- ▶ **구성** : 자료에 대해서는 해당자료에 대한 간략한 설명과 자료 수집원 등이 명시되어 있으며, 관련 DB와 인터넷 주소 등을 표시하였습니다. 또한 평가 과정에 대한 설명뿐 아니라, 관련 모델 및 인자, 시행방법 등이 서술되어 있습니다.
- ▶ **예시** : 자료 수집 및 정리에 관한 설명을 정성적으로 서술한 뒤, '벤젠'을 예로 들어 각각의 단계별 간략한 예시를 정량적으로 제시하였습니다. 그러나 본 해설서에 예시로 제시된 자료는 해설서의 이해를 돕기 위한 가상의 자료이며, 특정 사업장에 대한 자료가 아닙니다.
- ▶ **평가** : 본 해설서의 이용자는 평가하고자 하는 화학물질 특성에 적합한 자료 및 모델 등을 선정하여 평가하여야 하며, 이때 해설서에 제시된 자료 또는 모델 이외에 다른 적절한 기법 및 자료를 수집하여 활용할 수 있습니다.

제 2 장 위해성평가의 개요

제 1 절 위해성평가란?

일반적인 개념으로 「위해성」이란 “어떤 바람직하지 않은 일이 일어날 가능성”을 나타냅니다. 위해성의 크기는 “어떠한 바람직하지 않은 일의 정도(사태, 결과)”와 “그 바람직하지 않은 일이 실제로 일어나 현실이 될 가능성”이라고 정의할 수 있습니다. “화학물질이 바람직하지 않은 영향을 줄 가능성”을 「화학물질의 위해성」이라고 합니다.

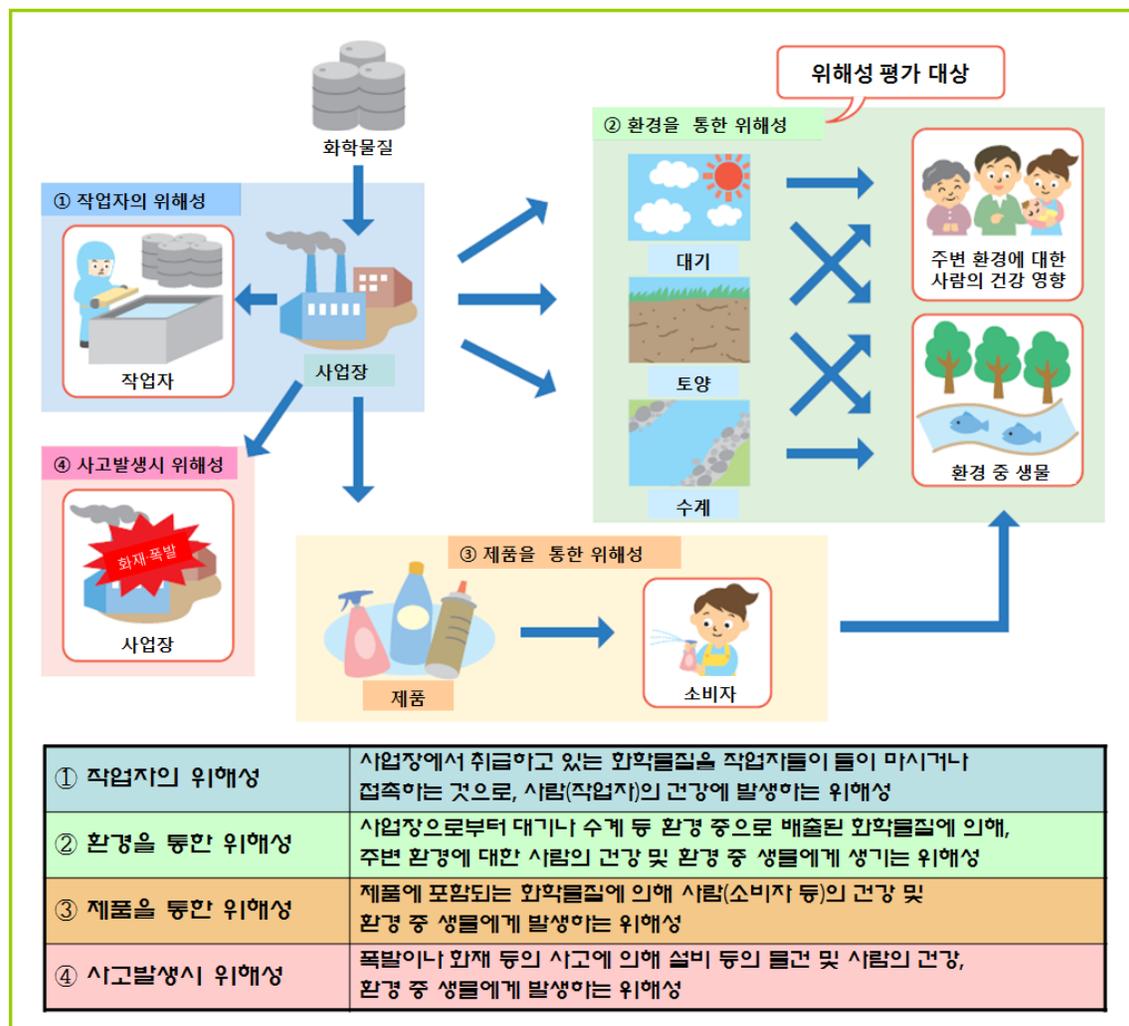


그림 1. 사업자가 취급하는 화학물질에 의한 여러 가지 위해성

사업자가 취급하는 화학물질로 인한 “바람직하지 않은 영향”으로는 화학물질의 환경을 통한 위해성뿐만 아니라 작업자에 대한 위해성, 제품을 통한 위해성, 사고로 인한 위해성이 있습니다. 그러나 작업자에 대한 위해성이나 사고로 인한 위해성은 주로 단기

간에 다량의 화학물질로부터 노출되는 영향 (급성 영향)을 대상으로 하지만, 환경 위해성은 일반적인 조업을 통해 환경 중으로 배출된 화학물질에 장기간 노출되어 발생하는 영향(만성 영향)을 대상으로 하기 때문에 평가방법에 차이가 존재합니다.

화학물질의 위해영향 평가는 사업장으로부터 환경 중(대기, 물 등)에 배출된 화학물질에 의해 사람의 건강(주로 사업장 주변 환경에서의 건강영향)을 평가하는 인체위해성평가와 환경 중 생물에게 나타나는 환경위해성평가(미국에서는 생태위해성평가로 구분)로 나뉩니다.

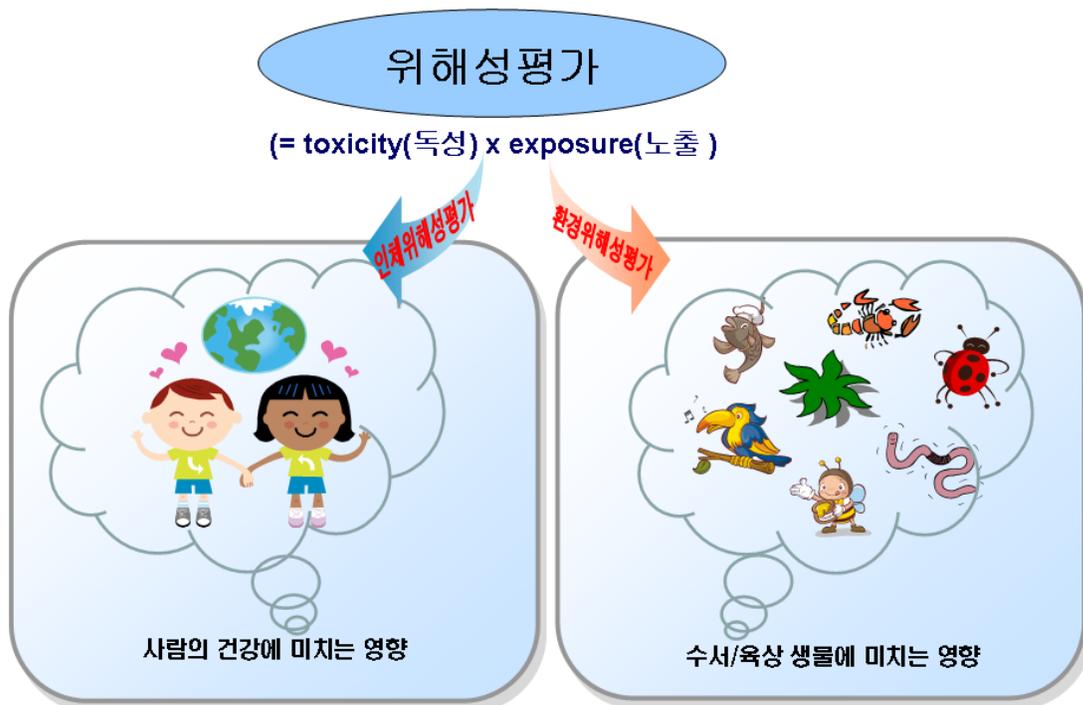


그림 2. 위해성평가의 종류

화학물질 위해성의 크기는 “그 화학물질이 사람이나 환경 중 생물에 대해서 어떠한 바람직하지 않은 영향을 미치는 성질(유해성)이 있는가”의 강약과 “사람이나 환경 중 생물이 어느 정도 양(농도)의 화학물질에 노출되어 있는가(노출량)”에 의해서 정해 집니다.

즉 유해성이 강한 화학물질이라도 노출량이 적으면 위해성은 낮고, 반대로 유해성이 낮은 화학물질이라도 노출량이 많으면 위해성은 높아집니다. 이러한 화학물질의 위해성을 저감하기 위해서는 유해성이 강한 화학물질에 대한 배출량을 저감하거나 또는 유해성이 약한 화학물질로 대체하는 방법을 생각할 수 있습니다.

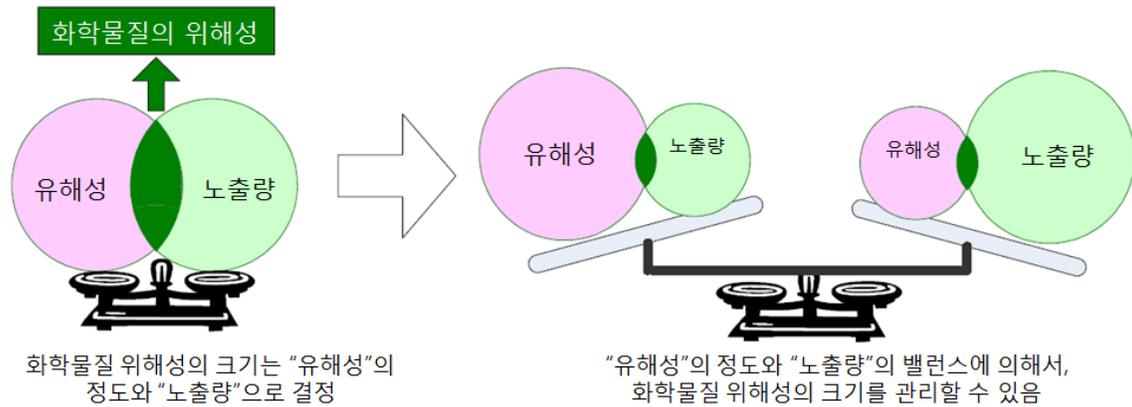


그림 3. 화학물질의 위해성의 크기

제 2 절 위해성평가의 목적 및 절차

1. 목적

화학물질의 위해성 평가의 목적은 화학물질 위해성 평가에 의한 효율적인 화학물질 관리, 위해성 평가 결과를 이용한 이해 관계집단과의 리스크 커뮤니케이션을 들 수 있습니다. 화학물질에 의한 사업장 주변 환경(사람·환경 중 생물)의 위해성은 환경 중 화학물질의 배출량 저감으로 낮출 수 있지만, 취급하고 있는 화학물질 모두를 한 번에 환경 중으로의 배출량을 저감하는 것은 어려우므로, 위해성이 큰 물질부터 저감 대책을 검토하는 것이 필요합니다. 또한 안전한 화학물질의 대체화는 새로운 위해성을 일으킬 가능성이 있으므로, 위해성 저감의 관점에서 효율적이라고 말할 수 없습니다.

그러므로 화학물질 위해성 평가 수행을 통해,

- 현재 상태에서 위해성이 생기고 있는지 어떤지
- 배출량 저감 등의 대책을 우선 수립해야 할 물질은 어떤 것인지
- 위해성에 대한 우려를 낮추기 위해서 어느 정도 배출량을 저감할 필요가 있는 것인지
- 대체물질로 바꾸었을 경우에 어느 정도의 위해성 저감으로 연결되는 것인지

등을 파악하여 사업장 주변에서의 화학물질 위해성을 효과적·효율적으로 저감 하는 것이 필요합니다.

또한 위해성 평가의 결과는 사업장 주변의 위해성에 대해, 주변 주민 등의 이해집단에게 알기 쉽게 정보를 전달하는데 이용할 수 있습니다. 사업자는 위해성 평가 결과에 근거하여 적절히 화학물질을 관리하고 있는 것으로 주민 등 이해집단에게 이해를 받아, 주변 주민과의 신뢰 관계를 구축 또는 강화하게 됩니다.

2. 절차

화학물질의 유해성과 노출량 모두를 조사하고, 사람의 건강이나 환경 중 생물에게 영향이 미칠지를 명확히 하는 것을 “위해성 평가”라고 합니다. 화학물질의 위해성을 평가하는 방법은 사업장의 주어진 상황에 따라 다릅니다. 사업장으로부터 환경 중으로 화학물질이 배출되었을 경우, 주변 환경에서 사람의 건강에 미칠 위해성을 고려하여 아래의 사항을 결정하게 됩니다.

- ① 평가하는 화학물질
- ② 영향을 받는 대상 (예 : 주변 환경에서 사람의 건강 영향)
- ③ 환경 중 배출 조건과 배출시설 (예 : 사업장의 배출시설에서 대기 중으로의 배출)
- ④ 배출된 후 환경 중에서의 거동 (예 : 바람으로 옮겨지고, 물에 희석됨)
- ⑤ 노출경로 (예 : 사람의 호흡에 의한 대기 흡입)

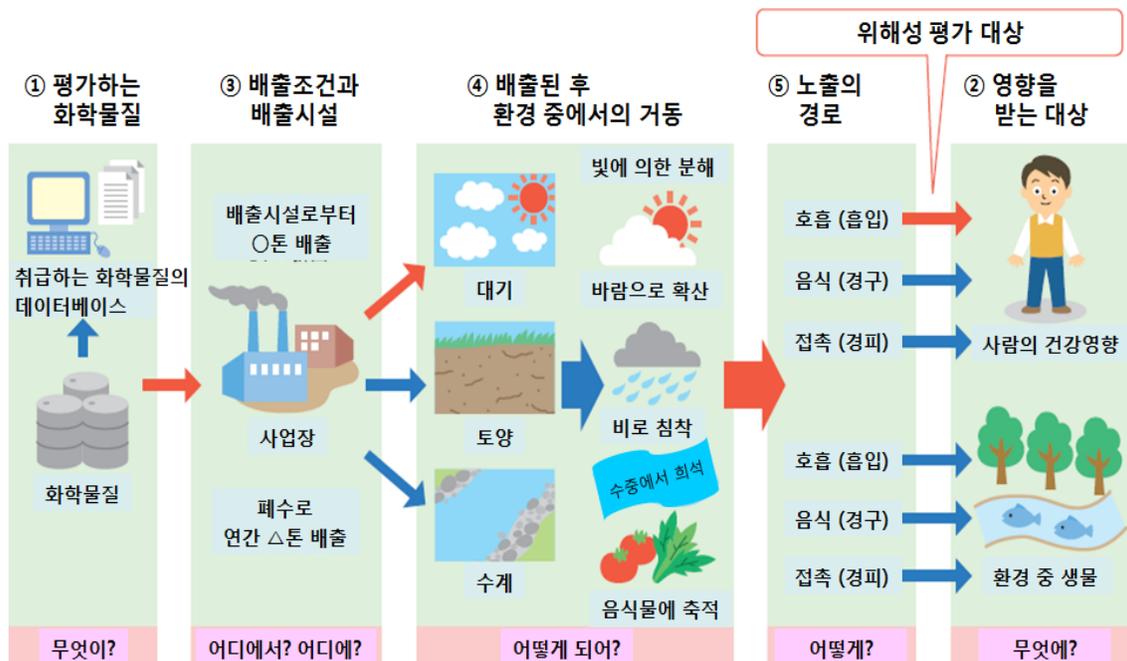


그림 4. 화학물질 위해성평가 순서

화학물질 환경 위해성 평가의 기본적인 개념이나 순서, 방법 등은 다음의 4가지 단계이며, 주요 내용은 다음과 같습니다.

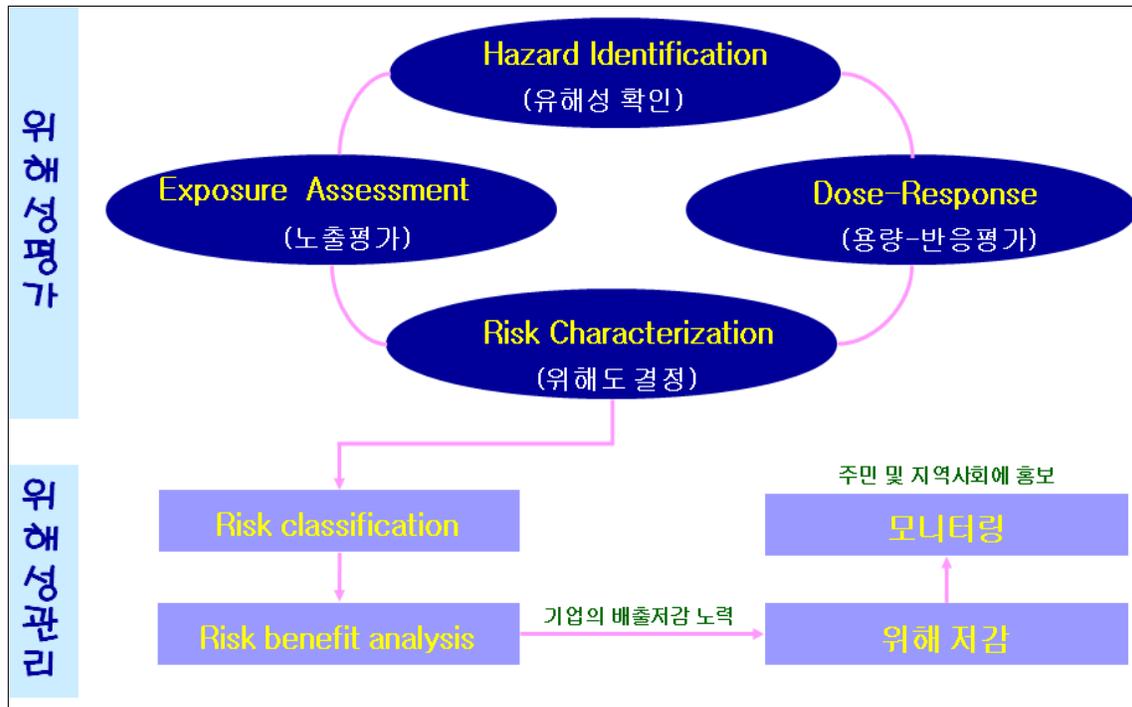


그림 5. 화학물질 위해성평가 절차

가. 유해성 확인

많은 화학물질의 경우, 극히 소량이 몸에 들어오는 것만으로는 나쁜 영향이 생기지 않습니다. 이 때문에 화학물질의 위해성을 평가하는 경우에는 “어느 정도의 양까지 몸에 들어와도 괜찮은가”, “그 양을 넘으면 어떠한 영향이 발생하는가”를 아는 것이 중요합니다. 대상 화학물질이 갖는 유해성의 종류나 정도를 파악하기 위해 대상 화학물질의 유해성에 관한 정보 및 데이터를 수집하는 것을 「유해성 확인」이라고 합니다.

나. 용량-반응 평가

용량-반응 평가는 유해한 영향이 어느 정도의 노출량으로 발생하는지를 조사하는 것입니다. 동물시험 결과 등에서 “유해한 영향을 나타내지 않는 양” (악영향무관찰량)을 참고하여 이 결과를 사람에게 적용하는 경우의 불확실성(종간 차이, 개인차 등)을 고려하고, “사람의 건강에 대해 유해한 영향을 나타내지 않는 양”을 산출합니다.

용량-반응 평가는 사람의 건강영향을 대상으로 하는 인체건강과 환경 중 생물에 대한 영향을 대상으로 하는 환경평가의 두 가지 경우로 나누어 수행됩니다.

다. 노출평가

노출평가는 어느 정도 양(농도)의 화학물질에 노출되어 있을지를 조사하는 것입니다.

앞 단계에서 “어떠한 영향이 어느 정도의 노출량으로 발생하는가”를 파악하기 위해서 용량-반응 평가를 실시하였습니다. 그 다음에는 “실제로 어느 정도 양(농도)의 화학물질에 노출되어 있는가”를 추정할 필요가 있습니다. 이것을 「노출평가」라고 합니다.

화학물질의 노출평가란, 화학물질이 영향을 받는 대상에 도달하는 환경거동과 노출량(농도)을 평가하는 것입니다.

라. 위해도 결정

위해도 결정 단계에서는 위해성이 있는지를 판정하는 것입니다. 위해도 결정은 용량-반응 평가의 결과값과 노출평가에서 추정된 노출량(농도)을 비교하여 실시합니다. 추정된 노출량(농도)이 용량-반응 평가 기준치보다 높은지 낮은지를 보는 것으로, 이를 통해 인체 건강과 환경에서의 위해성이 우려되는지를 결정합니다.

위해성의 판정 방법으로서 유해지수 (Hazard Quotient: HQ)가 사용됩니다. 산출된 유해지수(HQ) 값을 1과 비교하여 1 보다 큰 경우, 즉 추정된 노출량이 평가 기준치를 넘는 경우는 영향을 받는 대상에의 위해 우려가 있고, 1보다 작은 경우는 위해 우려가 낮다고 판정합니다.

(1) 인체건강 위해도 결정

인체 건강 위해도 결정은 발암물질과 비발암물질로 나누어 산정합니다.

발암물질의 경우, 용량-반응 평가 단계에서 산정된 발암력에 노출평가 단계에서 추정된 인체노출량(흡입, 경구, 피부섭취노출량 등)을 아래 식에 적용시키고, 초과발암확률을 산출합니다. 초과발암확률의 값이 10^{-6} 보다 큰지 여부에 의해, 사람에게의 위해 우려가 있을지를 판정합니다.

※ 발암물질

$$\begin{aligned} \text{초과발암확률} &= \text{인체노출량} \times \text{발암력} \\ \text{초과발암확률} &\geq 10^{-6} \Rightarrow \text{발암위해를 무시할만한 수준이 아님} \\ \text{초과발암확률} &< 10^{-6} \Rightarrow \text{발암위해를 무시할만한 수준임} \end{aligned}$$

용량-반응 평가 단계에서 산정된 평가 기준치에 노출평가 단계에서 추정된 환경 매체 중 화학물질의 농도(예, 사업장의 부지에서 대기중의 최대 농도)를 아래 식에 적용시키고, 유해지수(HQ)를 산출합니다. 유해지수 (HQ)의 값이 1 보다 큰지의 여부에 의해, 사람에게의 위해 우려가 있을지를 판정합니다.

※ 비발암물질

$$\begin{aligned} \text{유해지수 (HQ)} &= \text{환경매체 중 화학물질의 농도} \div \text{평가 기준치} \\ \text{유해지수(HQ)} &\geq 1 \Rightarrow \text{위해 우려 있음} \\ \text{유해지수(HQ)} &< 1 \Rightarrow \text{위해 우려 낮음} \end{aligned}$$

(2) 환경 위해도 결정

용량-반응 평가 단계에서 산정된 「평가 기준치(예, 수생생물)」에 노출평가 단계에서 추정된 환경 매체(예, 지표수) 중 예측농도를 아래 식에 적용시키고, 유해지수 (HQ)를 산출합니다. 유해지수 (HQ)의 값이 1 보다 큰지의 여부에 의해, 환경중에 서식하는 생물에의 위해 우려가 있을지를 판정합니다.

$$\begin{aligned} \text{유해지수 (HQ)} &= \text{지표수 중 농도} \div \text{평가 기준치} \\ \text{유해지수 (HQ)} &\geq 1 \Rightarrow \text{위해 우려 있음} \\ \text{유해지수 (HQ)} &< 1 \Rightarrow \text{위해 우려 낮음} \end{aligned}$$

제 3 절 초기위해성평가와 상세위해성평가의 비교

위해성평가는 초기와 상세 위해성평가로 크게 나눌 수 있습니다. 초기위해성평가는 배출에 따른 위해발생 가능성을 스크리닝 수준으로 진단하는 과정입니다. 따라서 가능하면 적은 시간과 비용을 투자하여 위해 가능성을 진단하고자, 기존의 연구자료를 활용하며 일부 급성독성에 한하여 부족한 자료만 실험을 통해 얻게 됩니다. 노출평가 단계에서도 주로 모델 등을 활용하여 환경농도를 예측하게 됩니다. 그러나 이와 같은 단계를 거쳐 얻은 초기위해성평가는 위해도 결과에 대한 불확실성이 크므로, 정확한 위해도를 정량적으로 표현한다기 보다는 대략적인 위해정도를 나타내게 됩니다.

이에 비해 상세위해성평가는 만성적인 영향까지 모두 고려하며, 기존자료 뿐 아니라 실험을 통한 독성자료를 확보하며, 특히 노출평가시에는 모델을 이용하기도 하지만 현장에 대한 모니터링을 통해 실측값을 구하여 활용하게 됩니다. 따라서 초기위해성평가에 비해 신뢰도 높은 위해성 평가결과를 얻을 수 있습니다.

배출량을 공개하는 모든 사업장에서 해당물질에 대한 상세위해성평가를 실시하면, 독성시험, 모니터링 수행 등에 시간과 비용이 많이 소요되기 때문에 모든 경우에 적용하기에는 기업에 경제적 부담이 될 것으로 사료됩니다. 따라서 선행연구로서 스크리닝 수준의 초기위해성평가를 수행하고, 그 결과 현 배출량에 대해 위해 우려가 있는 것으로 나타나면 상세 위해성평가의 수행하는 것이 적절하다고 판단됩니다.

표 1. 초기위해성평가와 상세위해성평가 수행 절차 비교

절차	초기위해성평가	상세위해성평가
목적	* 배출에 따른 위해발생 가능성의 진단 * 정확한 위해도 산출을 위한 상세 위해성평가 실시여부 결정	* 위해도 정량화를 통한 배출량 저감 목표 및 수단 결정
유해성 확인	기존 연구자료 활용	기존 연구자료 활용
용량-반응 평가	기존 연구자료 활용 (주로 급성독성만 고려)	기존 연구자료 활용 및 필요한 독성 시험 실시 (아만성 및 만성독성까지 고려)
노출평가 위해도 정량화	모델 등을 통한 환경농도 예측 동일 절차	모니터링 실시 및 예측자료 활용 동일 절차
특징	* 비용 및 시간 절약 * 위해도 결과에 대한 불확실성	* 상세 및 신뢰성 있는 위해성 결과 확보 * 고비용 및 장시간 필요 (독성시험 및 모니터링(샘플링) 기간 필요)

배출량 정보를 이용한 초기위해성평가 결과는 지역주민이나 시민단체 등 이해관계자와의 리스크 커뮤니케이션에 과학적 근거자료로 활용할 수 있으며, 향후 사업장에서의 배출량 저감의 필요성을 결정하는 데도 활용할 수 있습니다. 만약 초기위해성 평가결과 우려될만한 수준의 위해성이 확인되면, 이에 대한 상세위해성평가를 실시할 지의 여부도 결정하게 됩니다.



제 4 절 배출량을 이용한 위해성평가 결과 활용

배출량을 이용한 초기위해성평가 결과는 리스크 커뮤니케이션 (Risk communication, 이하 RC)이라는 위해정보 전달 활동에 활용될 수 있습니다. 리스크 커뮤니케이션이란 “화학물질에 의한 환경 위해성(risk)에 관한 정확한 정보를 시민, 산업, 행정 등 모든 관계자가 공유하며, 상호 의사소통을 도모하는 것”으로 정의합니다.

사업장별 배출량 공개에 따라 예상되는 관심과 우려는 다음의 것들이 있을 수 있습니다.

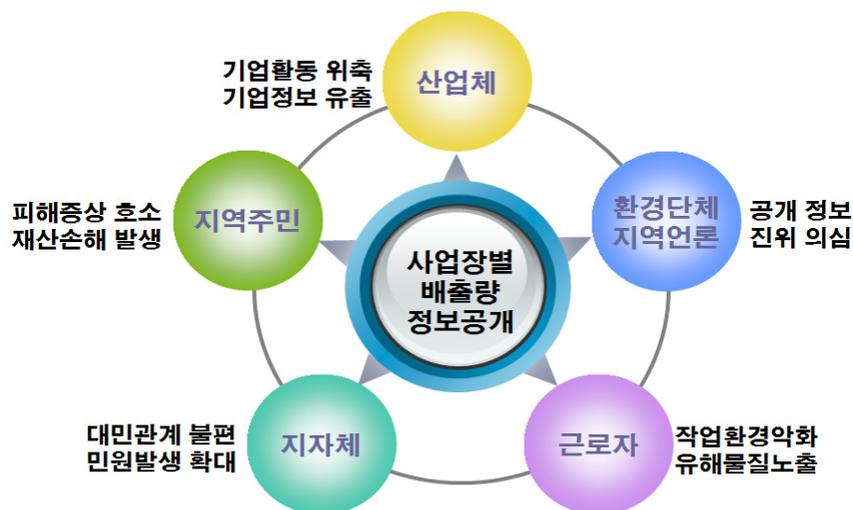


그림 6. 배출량 정보공개에 따른 이해관계자의 우려사항

따라서 배출량을 공개하는 사업장에서는 이러한 관심과 우려에 적절히 대응할 수 있도록 사전 준비가 필요합니다.

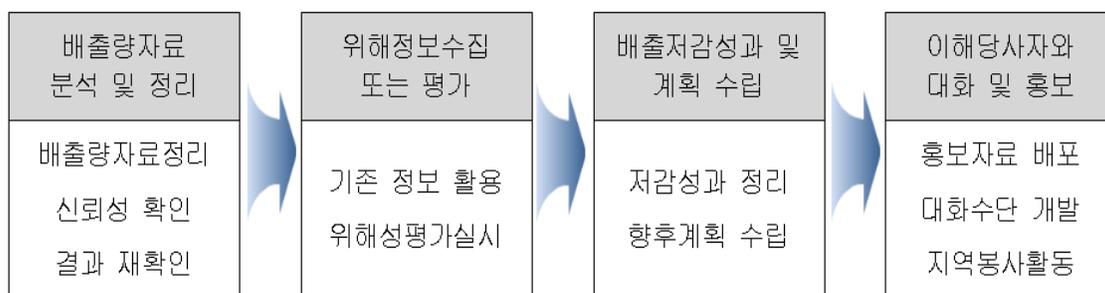


그림 7. 준비 절차

배출량을 이용한 초기위해성평가 결과가 우려될만한 수준보다 위해성이 낮게 나온 경우, RC를 이용하여 배출량 조사 및 위해성평가 정보에 대한 홍보 자료를 작성하여 사업장 인근 지역의 주민 등 이해관계자에게 설명할 수 있습니다.

그러나 배출량을 이용한 초기위해성평가 결과로 인해 우려될만한 수준의 위해성이

확인된 경우라면, 상세 위해성평가를 수행하여 실제적인 위해성을 재산정 하거나, RC를 통해 이해관계자에게 이해를 구할 수 있습니다. 이때 RC는 배출저감 추진 계획을 수립하고 홍보자료를 작성하여 주민자치회, 지자체, 기업간 협의회를 구성하여 운영하여, 지역 주민과 신뢰를 형성하여야 합니다. 홍보자료의 경우 사업장에서 배출되는 화학물질과 배출량, 그간의 배출저감 노력, 지역사회에 대한 경제적 기여, 유해화학물질 유해성 및 초기위해성평가 정보, 향후 배출저감 계획 등을 기재하여야 할 것입니다. 또한 사업장에서 스스로 문제를 해결하는데 어려움이 있을 경우에 관할 환경청으로 도움을 요청하여 환경청과 지역 조연자가 공동으로 기업의 어려움을 해결할 수 있도록 합니다.

※ 일본의 배출량 정보를 이용한 초기위해성평가

일본의 경우, 경제 산업성에서 2006년 11월 PRTR 데이터의 신고 및 보고를 하고 있는 사업자 중 업종·사업 규모·배출량 등을 참고하여 임의로 선정한 500개 업체를 대상으로 설문조사를 수행하였습니다.

그 결과, 약 1/4의 사업자가 “이미 위해성 평가를 수행하고 있다”라고 회답했습니다. 또한, “아직 위해성 평가를 수행하지 않았다”라고 회답한 사업자 중 절반 정도가 위해성 평가를 수행하는 필요성을 느끼고 있다고 회답했습니다. 위해성평가를 수행한 사업자들은 사업자의 자율적인 행동으로서 임하고 있는 것을 알 수 있었습니다. (“사용량 저감 등 자율적인 화학물질 관리 실천에 부합하기 위해” 및 “사업자로서의 책임이 있으니까”의 회답이 많았음) 또한 필요성을 느끼고 있는 사업자도 “사업자의 책임으로서 주변 환경 영향을 평가할 필요가 있기 때문” 이라고 회답하고 있는 곳이 많아, 향후에는 자율적으로 위해성평가에 근거하여 관리를 수행하는 사업자가 증가할 것으로 예상됩니다.

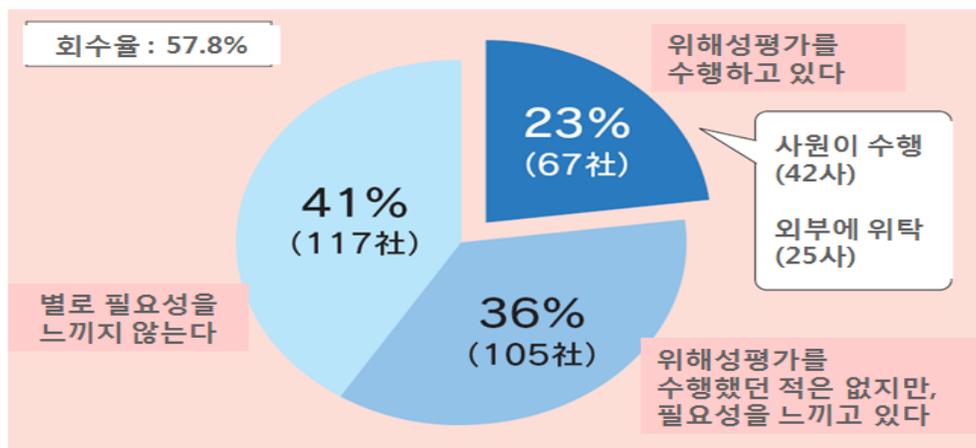


그림 8. 일본 경제 산업성에서 2006년 11월 배출량 조사 대상 사업장 500곳을 대상으로 설문조사

제 3 장 초기위해성평가서의 구성

목차		내용
제1장 서론		평가서의 배경 및 목적
제2장 일반 물질정보	<p>제1절 물리 화학적 특성</p> <p>제2절 환경 거동</p> <p>제3절 분류표시 1. 유독물 등의 분류 및 표시사항에 따른 분류표시</p> <p>제4절 노출정보 1. 일반 노출정보 2. 국내 유통 현황</p>	
제3장 유해성 확인	<p>제1절 인체 1. 약물동력학적 정보 2. 급성 독성 3. 자극성 및 부식성 4. 과민성 5. 반복투여독성 6. 발암성 7. 돌연변이원성 8. 생식발달독성 9. 기타독성 10. 요약</p> <p>제2절 환경 1. 수서 생물 2. 토양 생물 3. 생물농축성 및 잔류성 4. 요약</p>	<p>1. 물질의 흡수, 대사 분포 및 배설(제거) 2. 경구, 피부, 흡입 독성(LD50, LC50값) 3. 피부, 눈, 호흡기 자극성 및 부식성 4. 피부 및 호흡기 과민성 5. 아급성, 아만성, 만성 독성 6. 경구, 경피 및 흡입 발암성 7. 시험관내(in vitro)/생체내(in vivo) 시험/균주를 이용한 돌연변이원성(+/-)결과기술 8. 생식능력, 발달독성, 최기형성 9. 신경독성 등</p> <p>1. 반수치사농도(LC50), 악영향무관찰농도(NOEC), 급, 만성 독성비율(ACR), 독성종말점 2. 토양노출농도, 독성종말점 3. 생물농축계수(BCF)</p>

	목차 (계속)	내용 (계속)
제4장 용량-반응 평가	제1절 인체 1. 비발암 독성 2. 발암성 3. 요약 제2절 환경 1. 수생태계 2. 토양생태계 3. 퇴적토생태계 4. 요약	1. 경구/경피 독성 참고치(RfD) · 흡입 독성 참고치(RfC) 2. 경구/경피/흡입 발암력 · 경구/흡입 단위 위해도 1,2,3. 예측무영향농도 (PNEC)
제5장 노출평가	제1절 환경배출 1. 전국 배출량 2. 대상지역 배출량 3. 대상사업장 배출량 제2절 예측환경농도 산정 1. EUSES 모델 개요 2. 관심지역별 예측환경농도 제3절 인체노출량 산정 1. 대기오염에 의한 인체노출 2. 수계오염에 의한 인체노출 3. 토양오염에 의한 인체노출	
제6장 위해도 결정	제1절 인체 1. 비발암 위해도 2. 발암 위해도 3. 요약 제2절 환경 1. 수생태계 2. 토양생태계 3. 퇴적토생태계 4. 요약	1. 유해지수(R) 2. 초과발암확률 1,2,3. 유해지수(R)

Part II
초기위해성평가 해설

제 1 장 서론

초기위해성평가서의 서론 부분에는 우리나라의 화학물질 배출량 조사제도 및 각 사업장의 배출량 조사결과를 간략히 설명하고, 초기위해성평가의 대상물질 선정기준 및 배경을 서술한다. 또한 대상물질의 배출량 정보를 이용한 초기위해성평가 취지를 설명하고, 그 절차를 간략히 기술한다.

제 2 장 일반 물질 정보

제 1 절 물리화학적 특성

환경오염물질에 대한 물리화학적 특성이란 일반적인 상황에서 각 화학물질이 고유하게 갖는 특성(물질상태, 녹는점, 끓는점, 밀도 및 수용해도 등)을 확인하여 일반적으로 어떤 상태로 존재하는지, 환경 중에서 어떤 특성을 가질 잠재성이 있는지 또는 물리화학적 위험성(인화성 또는 폭발성 등)이 있는지 등에 대해 판단할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 물리화학적 특성 자료들은 대부분의 화학물질 평가 보고서에 제시되기 때문에 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development) 또는 유럽연합(EU, European Union) 등 다양한 정보원에서 확보할 수 있다.

- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECDSEIDS/sidspub.html>이다.²⁾
- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.³⁾

2) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 “환경(Environnement)”중 앞부분에서 확인 가능

3) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 “일반 물질 정보(GENERAL SUBSTANCE INFORMATION)” 중 “물리화학적 특성(Physico-chemical properties)” 부분에서 확인 가능

[예시]

벤젠은 녹는점 5.5℃, 끓는점 80.1℃의 무색 투명한 액체이다. 벤젠의 상대밀도는 0.0879(20℃), 증기압은 99.7 hPa(20℃), 수용해도는 1.8 g/L(25℃)이다. 옥탄올-물 분배계수 대수 값은 2.13 이다(OECD, 2005; EU, 2002). 또한 인화점은 - 11℃, 자연발화점은 555℃로 인화성이 있으며, 폭발성은 없는 것으로 보고되고 있다(EU, 2002).

표 X. 물리 화학적 특성

구분	내용	출처
물질 상태	무색 투명한 액체	OECD (2005); EU (2002)
녹는점	5.5℃	OECD (2005); EU (2002)
끓는점	80.1℃ (1기압 하에서)	OECD (2005); EU (2002)
밀도	상대밀도 : 0.879 (20℃ 하에서)	EU (2002)
증기압	99.7 hPa (20℃ 하에서)	OECD (2005); EU (2002)
수용해도	1.8 g/L (25℃ 하에서)	OECD (2005); EU (2002)
분배계수	Log Kow 2.13	OECD (2005); EU (2002)
인화점	- 11℃ (DIN 51755)	EU (2002)
자연발화점	555℃ (DIN 51794)	EU (2002)
폭발성	폭발성 없음	EU (2002)

제 2 절 환경 거동

환경오염물질에 대한 환경 거동이란 각 화학물질의 분해성(광분해성, 대기중 분해성, 가수분해성, 토양중 분해성 및 생분해성), 잔류성, 생물농축성 및 환경중 분포 특성 등을 확인하여 이 물질이 환경 매체(예. 대기, 물 또는 토양 등)중으로 배출된 후 어떻게 변화 또는 이동하는지 등에 대해 판단할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 환경 거동 자료들은 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development), 유럽연합(EU, European Union) 또는 미국 국립의학도서관(NLM, National Library of Medicine) 등 다양한 정보원에서 확보할 수 있다.

- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECD/SIDS/sidspub.html>이다.⁴⁾
- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.⁵⁾

4) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 “환경(Environment)”중 중간 부분에서 확인 가능

5) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 “환경(ENVIRONMENT)” 중 “환경노출(Environment exposure)” 부분에서

- 미국 NLM에서는 독성정보 제공 사이트(TOXNET, Toxicology Data Network)중 유해물질데이터뱅크(HSDB, Hazardous Substances Data Bank, HSDB)를 통해 각 화학물질에 대한 정보를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>이다.⁶⁾

[예시]

광분해성에 대한 벤젠의 특성을 살펴보면, 벤젠은 자외선 흡광도가 낮으므로(EU, 2002), 직접적으로 광분해되지 않는다(OECD, 2005; EU, 2002). 또한 모델을 이용한 계산 결과($K_{degr_{photo}} : 6.93 \times 10^{-7}$ per day), 반감기가 2,740일로 분해와 관련이 없는 것으로 평가된다(EU, 2002). 대기 중에서 벤젠은 주로 수산화 래디칼(-OH)과 반응하여 분해되는데, 이 반응의 반감기는 13.4일 정도로 확인되었다(OECD, 2005; EU, 2002). 수중가수분해에 대한 벤젠의 특성을 살펴보면, 벤젠은 구조상 반응기가 없으므로(EU, 2002), 가수분해되지 않는다(OECD, 2005; EU, 2002). 모델을 이용한 계산 결과($K_{hydr_{water}} : 6.93 \times 10^{-7}$ per day), 반감기가 2,740일로 분해와 관련이 없는 것으로 평가된다(EU, 2002). 벤젠은 하수처리설비, 물, 침전물 및 토양 중에서 쉽게 생분해된다(OECD, 2005).

벤젠의 환경중 분포 특성을 살펴보면, 휘발성이 높아 주로 공기중에 존재하며, 대기, 물 및 토양에서 다소 잔류성이 있으나, 생물에 농축되지는 않는다(EU, 2002). Level III 예측 모형에 따르면 벤젠이 대기 중으로 배출되면 주로 공기중 부유 상태로 머무르는 경향이 있다. 지표수로 배출되면, 물에서 공기로 휘발되는 경향이 있다(반감기는 약 11.5일). 즉 벤젠의 주요 이동 매체는 대기(99.0%), 물(0.9%) 순으로 평가되었다(OECD, 2005).

제 3 절 분류 표시

1. 유독물 등의 분류 및 표시사항에 따른 분류표시

유독물 등의 분류 및 표시사항에 따른 분류표시란 환경부 유해화학물질관리법에 따른 국립환경과학원 고시 제2008-26호(유독물 등의 분류기준 및 표시방법에 관한 규정, 2008. 7. 8) 내용을 확인하여 이 물질이 어떠한 물리화학적 위험성, 인체 건강 유해성 또는 환경 유해성을 갖는지 등에 대해 판단할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 분류표시 자료들은 국립환경과학원 고시 제2008-26호(유독물 등의 분류기준 및 표시방법에 관한 규정, 2008. 7. 8)에 따른 유독물 등의 분류 및 표시사항에 따른 분류표시([별표 4] 분류·표시 목록) 내용을 확인할 수 있다.

- 환경부 산하 국립환경과학원에서는 2008년 7월 8일 고시를 통해 유독물 등의 분류표시에 대한 기준을 고시하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.nier.go.kr/> 이다.⁷⁾

확인 가능

6) 각 물질별 HSDB 검색 결과중 “환경거동 및 노출(Environmental Fate & Exposure)”중 “환경거동/노출 요약정보 (Environmental Fate/Exposure Summary) 부분에서 확인 가능

7) 국립환경과학원-정보마당-법령/고시·예규

[예시]

벤젠은 국립환경과학원고시 제2008-26호에 의한 (안)에 따라 인화성 액체, 급성독성(경구), 피부/눈 자극성, 생식세포변이원성, 발암성, 생식독성, 특정 표적장기독성-반복노출 및 흡인 유해성이 우려되는 물질로 제안할 수 있다.

표 X. 분류 및 표시사항

항목	구분	그림 문자	신호어	유해·위험문구
인화성 액체	구분 2		위험	고인화성 액체 및 증기 (H225)
급성독성(경구)	구분 4		경고	삼키면 유해함 (H302)
피부 자극성	구분 2		경고	피부에 자극을 일으킴 (H315)
눈 자극성	구분 2		경고	눈에 심한 자극을 일으킴 (H319)
생식세포 변이원성	구분 1		위험	유전적인 결함을 일으킬 수 있음 (H340)
발암성	구분 1		위험	암을 일으킬 수 있음 (H350)
생식독성	구분 2		경고	태아 또는 생식능력에 손상을 일으킬 것으로 의심됨 (H361)
특정 표적장기 독성-반복 노출	구분 1		위험	장기간 또는 반복 노출되면 장기에 손상을 일으킴 (H372)
흡인 유해성	구분 1		위험	삼켜서 기도로 유입되면 치명적일 수 있음 (H304)

제 4 절 노출 정보

1. 일반 노출 정보

환경오염물질에 대한 일반 노출정보란 각 화학물질의 생산 공정 및 발생기원, 배출원 및 사용품목, 폐기물 처리방법 등을 파악하여 일상생활 중에서 어떤 화학물질이 어떠한 용도로 사용 및 처리되어 우리에게 영향을 미칠 수 있는지 판단할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 노출정보를 얻을 수 있는 자료들은 미국 독성물질 및 질병 등록청(U.S. ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry)과 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development), 유럽연합(EU, European Union) 등에서 확보할 수 있다.

- U.S. ATSDR에서는 각 화학물질에 대한 Toxicological profile을 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html> 이다.
- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening

Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECDSEDS/sidspub.html>이다.

- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.

[예시]

벤젠의 자연적 배출원은 화산폭발과 산불발생에 따른 가스 배출 등이 있으며, 인위적 배출원은 원유정제과정, 벤젠 생산 및 사용관련 산업공정, 그리고 비점오염원인 간접용도로의 벤젠사용(자동차오염, 주유시설, 폐수처리시설, 실험실에서의 용매), 사고누출, 흡연 등이 있다.

벤젠은 화학산업과 약품산업에서 용제로 뿐만 아니라 여러 화학물질의 합성에서 초기 물질 및 중간 생성물, 가솔린 첨가제로서 다양한 용도로 널리 보급되어 사용되고 있으며(NTP, 1994), 다른 화학물질과 최종제품을 제조하는 과정에서 중간물로 사용하였고, 주로 에틸벤젠과 스티렌, 큐멘(cumene), 시클로헥산(cyclohexane)과 같은 다른 화학물질의 제조와 고무, 윤활제, 염료, 세정제, 약품, 살충제 등의 제조에 사용하고 있다.

과거 페인트 제거제, 카브레터 세정제, 변성 알코올, 타이어 땀질용품의 고무 접착제, 미술품 및 공예재료와 같은 소비자제품들에는 소량의 벤젠이 포함되어 있었으며(Young et al. 1978), 그밖에 카펫 접착제, 직물로 된 카펫의 액체세제, 가구용 왁스에도 벤젠이 포함되어 있는 것으로 조사되었다(Wallace et al. 1987).

2. 국내 취급 현황

국내에서 각 화학물질의 제조·수입·사용·수출량·사용용도 등을 파악하는 것으로, 화학물질 관리대상의 우선순위 물질선정, 배출량 조사 및 위해성 평가의 기초 자료로 활용할 수 있으며, 화학물질 사고발생 시 누출원인 추적, 방제약품 및 장비의 신속한 파악 등 화학물질 관리정책의 중요한 자료로 활용될 수 있다.

국내 화학물질 취급현황 자료는 통계청 자료와 환경부 화학물질 유통량 조사 결과 등에서 확보할 수 있다.

- 통계청에서는 월별 및 연도별로 광공업 동태조사 생산, 출하, 재고(품목별 광공업 생산, 출하, 재고, 내수, 수출량)자료를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.kosis.kr/>이다.⁸⁾
- 환경부에서는 2009년 현재까지 4년마다 화학물질 유통량 조사를 통해 각 화학물질의 제조, 수입, 구매, 이월, 사용, 판매, 수출, 재고, 손실/폐기 자료와 통계자료를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.me.go.kr/>이다.⁹⁾

8) 국가통계포털-주제별 통계-광공업·에너지-광공업-광업·제조업 동향조사-생산, 출하, 재고-품목별 광공업 생산·출하·재고·내수·수출량

[예시]

2006년 통계청 자료로 국내 벤젠의 유통현황을 살펴보면, 생산량은 3,718,609톤, 출하량은 2,380,247톤, 재고량은 103,154톤, 내수량은 1,211,870톤, 수출량은 1,168,377톤으로 나타났다(통계청, 2008).

구분	생산량(톤)	출하량(톤)	재고량(톤)	내수량(톤)	수출량(톤)
2006년	3,718,609	2,380,247	103,154	1,211,870	1,168,377

2006년 제3차 화학물질 유통량 조사 결과(환경부, 2007), 113개 테트라클로로에틸렌 업체를 대상으로 한 국내 제조량은 1,348톤, 수입량은 5,180톤, 구매량은 1,583톤, 이월량은 570톤, 사용량은 1,302톤, 판매량은 5,724톤, 수출량은 1,054톤, 재고량은 578톤, 손실 및 폐기량은 23톤으로 이로부터 산정된 국내 테트라클로로에틸렌의 유통량¹⁰⁾은 5,474톤으로 조사되었다.

(단위 : 톤/년)

제조량 (혼합)	제조량 (합성)	수입량	구매량	이월량	사용량	판매량	수출량	재고량	손실/폐기
1,327	21	5,180	1,583	570	1,302	5,724	1,054	578	23

9) 환경부-법령/정책-주요정책-환경정책-화학·유해물질-화학물질

10) 화학물질의 국내 유통량은 “국내 제조량+국의 수입량-수출량”에 의거 산정됨 (제3차 화학물질 유통량조사 최종보고서, 환경부, 2007)

제 3 장 유해성 확인

제 1 절 인체

1. 약물동력학적 정보

환경오염물질에 대한 약물동력학적 정보란 각 화학물질이 인체 내로 어떻게 흡수되고 체내에서 분포·대사되어 제거되는지 등을 파악하고, 이 과정에서의 주요 독성 발현 표적 장기를 확인할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 약물동력학적 특성 자료들은 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development) 또는 유럽연합(EU, European Union) 등 다양한 정보원에서 확보할 수 있다.

- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECD/SIDS/sidspub.html>이다.¹¹⁾
- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.¹²⁾

[예시]

벤젠의 가장 중요한 노출 경로는 흡입이나, 모든 노출 경로(흡입, 피부 및 경구)를 통해 흡수되어진다. 벤젠은 체내에서 신속하게 분배되어, 혈액보다는 지방이나 지질이 조직에서 고농도로 존재한다. 벤젠의 주요 표적 장기는 간장이지만, 골수에 대한 영향으로 조혈 독성 및 백혈구 이상 영향과 관련된다(OECD, 2005).

2. 급성독성

환경오염물질에 대한 급성 독성이란 각 화학물질을 시험동물에 일회 또는 24시간 이내에 수회 투여(처리)하거나, 흡입될 수 있는 화학물질을 24시간이 넘지 않는 제한된 시간 동안 시험동물에 1회 노출시켰을 때 단기간(1~2주) 내에 나타나는 독성¹³⁾으로, 노

11) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 “인체건강(Human Health)”중 앞부분에서 확인 가능

12) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 “인체건강(Human Health)”중 “영향평가(EFFECTS ASSESSMENT)”중 “약물동력, 대사 및 분포(Toxicokinetics, metabolism and distribution)” 부분에서 확인 가능

13) 출처 : 국립환경과학원 화학물질정보시스템 용어사전(<http://ncis.nier.go.kr/>)

출 경로별(경구, 피부, 흡입 또는 기타)로 반수치사량 및 이에 따른 급성 증상을 확인할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 급성 독성 자료들은 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development) 또는 유럽연합(EU, European Union) 등 다양한 정보원에서 확보할 수 있다.

- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECD/SIDS/sidspub.html>이다.¹⁴⁾
- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.¹⁵⁾

[예시]

사람이 벤젠을 경구 섭취한 경우(176 mg/kg bw), 쇠약 증상, 기관지염 및 폐렴이 유발될 수 있다. 실험용 쥐(랫드)를 이용한 다수의 실험에서 급성 경구 독성 반수치사량(lethal dose, 이하 LD₅₀)은 2,000 mg/kg bw 이상으로 나타났다. 주요 임상학적 증상으로는 진정 작용 및 혼수 상태가 유발되는 것으로 나타났다. 병리학적 증상으로는 폐의 과민증상, 폐의 울혈 상태 등의 증상이 나타났다(OECD, 2005).

급성 피부 독성 LD₅₀은 토끼와 기니아 피그를 대상으로 시험한 결과 모두 8,260 mg/kg bw 이상으로 조사되었다(OECD, 2005).

급성 흡입 독성 반수치사 농도(lethal concentration, 이하 LC₅₀)는 실험용 쥐(랫드)에 4시간 노출 시킨 시험 결과 44,500 mg/m³으로 비교적 낮게 나타났다. 이때 주로 중추 신경계가 억제되어 사망률이 발생한 것으로 보인다. 또한 주요 병리학적 증상으로는 폐와 간의 울혈 증상이 나타났다. 증기를 고농도로 흡입하는 경우 혼수 증상이 유발될 수 있으며, 호흡기 이상으로 사망에 이를 수도 있다(OECD, 2005).

3. 자극성 및 부식성

환경오염물질에 대한 자극성 및 부식성이란 각 화학물질이 피부/점막 또는 눈에 노출되어 인체 및 실험 동물에 나타나는 증상(자극이나 조직 부식 등)을 확인할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 자극성 및 부식성 관련 자료들은 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development) 또는 유럽연합(EU, European Union) 등 다양한 정보원에서 확보할 수 있다.

14) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 “인체건강(Human Health)”중 앞부분에서 확인 가능

15) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 “인체건강(Human Health)”중 “영향평가(EFFECTS ASSESSMENT)”중 “급성 독성(Acute toxicity)” 부분에서 확인 가능

- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECDSIDS/sidspub.html>이다.¹⁶⁾
- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.¹⁷⁾

[예시]

토끼를 이용한 *Draize* 시험에서 벤젠은 피부에 자극성이 있는 것으로 나타났다. 인체의 경우, 고농도의 벤젠증기는 눈, 코 및 호흡기계의 점막에 자극을 주었다. 벤젠을 희석하지 않은 경우 눈에 심각한 손상을 유발하였다. 실험 동물의 눈꺼풀에 염증 및 약간의 부풀어 오름 증상이 있었으며, 각막의 일부 부위에서 원인을 알 수 없는 일시적인 표면 피사 증상이 나타났다(OECD, 2005).

4. 과민성

환경오염물질에 대한 과민성 정보란 각 화학물질이 인체 또는 실험동물이 해당물질에 노출되어 피부 또는 호흡기에 나타나는 이상 면역 증상을 확인할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 과민성 관련 자료들은 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development) 또는 유럽연합(EU, European Union) 등 다양한 정보원에서 확보할 수 있다.

- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECDSIDS/sidspub.html>이다.¹⁸⁾
- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.¹⁹⁾

16) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 “인체건강(Human Health)”중 앞부분에서 확인 가능

17) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 “인체건강(Human Health)”중 “영향평가(EFFECTS ASSESSMENT)”중 “자극성/부식성(Irritation/Corrosivity)” 부분에서 확인 가능

18) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 “인체건강(Human Health)”중 앞부분에서 확인 가능

19) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 “인체건강(Human Health)”중 “영향평가(EFFECTS ASSESSMENT)”중 “과민성(Sensitisation)” 부분에서 확인 가능

[예시]

과민성에 대한 동물 시험 자료는 보고된 바 없다. 또한 근로자에 대한 피부 과민성이나 호흡기 과민성에 대한 자료 역시 보고된 바 없다(OECD, 2005).

5. 반복투여독성

환경오염물질에 대한 반복투여독성 정보란 시험동물에 1개월 내지 3개월간 거의 매일 반복투여 또는 노출된 결과로 시험동물에 일어나는 좋지 않은 독성학적 영향²⁰⁾을 파악하고, 사람이나 실험동물에 대한 대표적 독성 증상 및 주요 독성 발현 표적 장기를 확인할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 반복투여독성 자료들은 미국 환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency), 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development), 유럽연합(EU, European Union) 또는 세계보건기구(WHO, World Health Organization) 등에서 확보할 수 있다.

- 미국 EPA에서는 각 화학물질에 대한 통합 위해성 정보를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.show_SubstanceList이다.²¹⁾
- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECDsids/sidspub.html>이다.²²⁾
- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.²³⁾
- WHO에서는 각 화학물질에 대한 대기 및 먹는물 기준치 설정 과정에서 사용된 독성 연구 결과들을 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 대기 기준치 가이드라인의 경우 http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_3, 먹는물 기준치 가이드라인의 경우 http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/이다.^{24),25)}

20) 출처 : 국립환경과학원 고시 제 2008-30호 (화학물질의 유해성심사 등에 관한 규정)

21) 각 물질별 EPA 통합위해성정보시스템(IRIS, Integrated Risk Information System) 검색 결과의 "비발암영향에 대한 만성건강유해성평가(Chronic Health Hazard Assessments for Noncarcinogenic Effects)"중 "만성 경구 노출에 대한 참고치(Reference Dose for Chronic Oral Exposure, RfD)"부분과 "만성 흡입 노출에 대한 참고치(Reference Concentration for Chronic Inhalation Exposure, RfC)" 부분에서 확인 가능

22) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 "인체건강(Human Health)"중 중간부분에서 확인 가능

23) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 "인체건강(Human Health)"중 "영향평가(EFFECTS ASSESSMENT)"중 "반복투여독성(Repeated dose toxicity)" 부분에서 확인 가능

[예시]

가. 역학자료

벤젠에 만성 노출되는 경우 골수의 기능이 저하되어, 백혈구 감소증, 빈혈 및 혈소판 감소증이 나타나고, 이로 인해 범혈구감소증 및 재생불량성 빈혈로 이어질 수 있다고 알려져 있다(WHO, 2000).

인체에서는 벤젠 만성 노출로 인해 백혈구 및 적혈구의 감소 영향이 유발되었다. 최근 환자-대조군 연구에서는 만성적 벤젠 노출에 대한 인체에서의 가장 민감한 반응으로 림프구 감소증을 제시하였다(OECD, 2005).

또한 직업적으로 벤젠에 고농도로 노출되는 근로자에게서 나타나는 혈액에 대한 영향(적혈구나 백혈구 감소)의 심각성 정도는 다양하게 나타나고 있다(WHO, 2000).

Rothman 등(1996)은 중국 상하이 지방에서 페인트 공장, 접착테이프 제조 공장, 인쇄시 사용되는 고무 패딩 제조공장에서 벤젠에 노출된 근로자와 비노출 대조군을 대상으로 단면 연구를 실시한 결과, 노출군에서 대조군 보다 림프구 수, 백혈구 수, 적혈구 수, 적혈구 용적을 및 혈소판 수는 모두 유의하게 감소하였다(US EPA IRIS, 2003).

나. 동물 시험자료

마우스에게 벤젠을 흡입 노출 시킨 결과, 혈구수가 감소하고, 골수 세포질이 감소하는 증상이 나타났다. 실험용 쥐(랫드)는 실험용 쥐(마우스)보다 덜 민감한 것으로 나타났다(WHO, 2000).

6. 발암성

환경오염물질에 대한 발암성 정보란 화학물질이 암을 유발하거나 암의 유발을 증가시키는 성질²⁶⁾ (출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호)로, 사람이나 실험동물에 대한 대표적 독성 증상 및 유사 발암성 증상을 확인할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 발암성 자료들은 미국 환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency), 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development), 유럽연합(EU, European Union) 또는 세계보건기구(WHO, World Health Organization) 등에서 확보할 수 있다.

- 미국 EPA에서는 각 화학물질에 대한 통합 위해성 정보를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList>이다.²⁷⁾

24) WHO (2000) Air Quality Guideline for Europe (2nd edition) "건강 위해성 평가(Health risk evaluation)" 부분에서 확인 가능

25) WHO (2006) Guidelines for drinking-water quality (3rd edition) "'독성학적 리뷰(Toxicological review)" 부분에서 확인 가능

26) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 (위해성 평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침)

27) 각 물질별 EPA 통합위해성정보시스템(IRIS, Integrated Risk Information System) 검색 결과의 "평생노출에 대한 발

- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECDSIDS/sidspub.html>이다.²⁸⁾
- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.²⁹⁾
- WHO에서는 각 화학물질에 대한 대기 및 먹는물 기준치 설정 과정에서 사용된 독성 연구 결과들을 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 대기 기준치 가이드라인의 경우 http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_3, 먹는물 기준치 가이드라인의 경우 http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/이다.^{30),31)}

암성 평가(Carcinogenicity Assessment for Lifetime Exposure)“중 ”인체 발암성 증거(Evidence for Human Carcinogenicity)“중 ”인체 발암성 데이터 (Human Carcinogenicity Data)“부분과 ”실험 동물 발암성 데이터(Animal Carcinogenicity Data)“ 부분)에서 확인 가능

28) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 “인체건강(Human Health)”중 중간부분에서 확인 가능

29) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 “인체건강(Human Health)”중 “영향평가(EFFECTS ASSESSMENT)”중 “발암성(Carcinogenicity)” 부분에서 확인 가능

30) WHO (2000) Air Quality Guideline for Europe (2nd edition) ”건강 위험성 평가(Health risk evaluation)“ 부분에서 확인 가능

31) WHO (2006) Guidelines for drinking-water quality (3rd edition) ””독성학적 리뷰“Toxicological review)“ 부분에서 확인 가능

[예시]

가. 역학자료

벤젠의 장기 노출로 인한 가장 심각한 유해 영향은 혈액 독성, 유전 독성 및 발암성이다(WHO, 2000). 벤젠의 발암성은 사람 및 실험 물에게서 모두 확인된 바 있다. 직업적으로 노출된 근로자에게서 백혈병으로 인한 사망률이 증가하였다. 특히, 화학산업, 제화산업, 원유 제련업에 종사하는 근로자들은 벤젠에 노출되면 백혈병의 위해도가 유의한 수준으로 증가하는 것으로 보고되었다(US EPA IRIS, 2003).

Aksoy 등(1974)은 제화산업에서 근무하는 28,500명의 터키 근로자중 벤젠 노출로 인한 영향을 보고하였다. 백혈병 사례는 26건이었으며, 초기증상까지 합하여 34건으로 관찰되었다. 일반 인구에서의 백혈병 발생률(6/100,000)보다 노출군에서의 발생률(13/100,000)이 높게 나타났다(US EPA IRIS, 2003).

Infante 등(1977b)은 후향적 코호트 연구를 실시하여, 고무 제조공장에서 근무하여 최소한 1일 이상 벤젠에 노출된 748명의 백인 근로자를 대상으로 백혈구 생성과 관련된 영향을 평가하였다. 그 결과, 백혈병의 위해도는 일반 인구 집단에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났다(US EPA IRIS, 2003).

Wong(1983, 1987)은 최소한 6개월 동안 화학물질공장에서 벤젠에 노출된 남성 근로자들의 사망률을 보고하였다. 노출 용량이 증가함에 따라 백혈병, 임파선암, 간암 등의 발생률이 증가하는 것으로 나타났다(US EPA IRIS, 2003).

나. 동물 시험자료

실험용 쥐(마우스, 랫드)에서 벤젠을 흡입 및 경구 투여한 결과, 다양한 부위에서 신생물(암) 형성을 유발하였다. 암의 표적 장기는 조혈계통 등이었다(OECD, 2005).

경구 노출되거나 흡입 노출된 실험용 쥐(마우스, 랫드)에서 다양한 부위(간, 유선, 비강 등)에서 종양이 유발되었다. 림프종 및 백혈병은 빈도는 낮지만 관찰되었다. 즉 벤젠은 여러 가지 부위에 암을 유발하는 물질임을 알 수 있다(WHO, 2000).

7. 돌연변이원성

환경오염물질에 대한 돌연변이원성 정보란 각 화학물질에 대한 시험관내 또는 생체내 실험 결과를 파악하여, 유전자 돌연변이를 유발하는지를 확인할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 돌연변이원성 자료들은 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development), 유럽연합(EU, European Union) 또는 세계보건기구(WHO, World Health Organization) 등에서 확보할 수 있다.

- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECD/SIDS/sidspub.html>이다.³²⁾

32) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 “인체건강(Human Health)”중 중간부분에서 확인 가능

- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.³³⁾
- WHO에서는 각 화학물질에 대한 대기 및 먹는물 기준치 설정 과정에서 사용된 독성 연구 결과들을 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 대기 기준치 가이드라인의 경우 http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_3, 먹는물 기준치 가이드라인의 경우 http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/이다.^{34),35)}

[예시]

벤젠은 시험관내(*in vitro*) 시험에서는 유전자 돌연변이를 유발하지 않았지만, 생체내(*in vivo*) 시험에서 벤젠에 노출된 실험동물에서 수적·구조적 염색체 변이, 자매염색체치환 및 소핵 형성 등의 영향이 나타났다. 이와 같은 생체내 시험 결과에 따르면 벤젠은 돌연변이원성 물질이다(WHO, 2000).

포유류를 이용한 돌연변이원성 시험 결과, 특히 염색체 이상 및 소핵시험 결과, 벤젠은 돌연변이성물질로 나타났다(OECD, 2005).

8. 생식발달 독성

환경오염물질에 대한 생식발달독성 정보란 각 화학물질에 대한 생식독성(생식력 저하, 생식기 이상 등) 영향 또는 발달독성(기형아, 발달 저하 등) 영향을 중심으로, 사람이나 실험 동물에 대한 대표적 독성 증상 및 유사 독성 영향을 확인할 수 있는 자료들을 말한다.

이러한 생식발달독성 자료들은 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development) 또는 유럽연합(EU, European Union) 등 다양한 정보원에서 확보할 수 있다.

- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECD/SIDS/sidspub.html>이다.³⁶⁾

33) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 “인체건강(Human Health)”중 “영향평가(EFFECTS ASSESSMENT)”중 “돌연변이원성(Mutagenicity)” 부분에서 확인 가능

34) WHO (2000) Air Quality Guideline for Europe (2nd edition) “건강 위해성 평가(Health risk evaluation)” 부분에서 확인 가능

35) WHO (2006) Guidelines for drinking-water quality (3rd edition) “독성학적 리뷰(Toxicological review)” 부분에서 확인 가능

36) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 “인체건강(Human Health)”중 끝부분에서 확인 가능

- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.³⁷⁾

[예시]

가. 역학자료

벤젠 노출로 인한 여성의 생식력에 대한 영향을 설명하기 위한 역학 연구 결과는 거의 존재하지 않으며, 대부분 연구 설계가 미흡하여 인과관계 확인이 어렵거나, 또는 다른 물질과 같이 노출되어 벤젠 노출을 정량화하기가 어렵다(OECD, 2005).

나. 동물 시험자료

실험용 쥐(랫드)를 이용한 흡입 독성 연구 결과, 노출군에서 골격형성이 지연 되는 등 태아 성장의 지연이 나타났다(OECD, 2005).

90일간의 반복 흡입 노출 독성 연구에서 CD-1 계통의 실험용 쥐(마우스)에서 조직형태학적 변화 및 평균 고환 무게 감소와 같은 생식계에 영향을 유발할 수 있는 것으로 나타났다. 이것이 생식력 손상의 지표가 되는지는 명확하지 않지만, 벤젠이 생식세포 돌연변이원성 및 유전독성을 가진 발암 물질이기 때문에, 생식 독성 물질의 잠재성을 갖는 물질이라고 보기에 충분하다고 사료된다(OECD, 2005).

9. 기타 독성

환경오염물질에 대한 기타 독성 정보란 해당 물질에 대한 신경 독성이나 면역 독성 등 앞서 확인되지 않은 종말점에 대한 독성 영향을 확인할 수 있는 자료를 말한다.

이러한 기타 독성 자료들은 경제협력개발기구(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development) 또는 유럽연합(EU, European Union) 등 다양한 정보원에서 확보할 수 있다.

- OECD에서는 대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECD/SIDS/sidspub.html>이다.³⁸⁾
- EU에서는 각 화학물질에 대한 European Union Risk Assessment Report를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation/>이다.³⁹⁾

37) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 “인체건강(Human Health)”중 “영향평가(EFFECTS ASSESSMENT)”중 “생식독성(Toxicity for reproduction)” 부분에서 확인 가능

38) 각 물질별 OECD SIAP(SIDS Initial Assessment Profile)의 “인체건강(Human Health)”부분에서 확인 가능

39) 각 물질별 EU Risk Assessment Report의 “인체건강(Human Health)”중 “영향평가(EFFECTS ASSESSMENT)”부분에서 확인 가능

[예시]

현재 이용 가능한 자료 없음.⁴⁰⁾

10. 자료의 타당성 평가

해당물질의 유해성확인을 위해 각 DB에서 조사된 독성정보는 다음 표 1과 같은 신뢰도 평가기준을 토대로, 신뢰도가 1과 2인 자료를 중심으로 작성한다.

표 2. 자료의 신뢰도 평가 기준

신뢰도	내용
1	제한점이 없는 신뢰성 높은 자료 (Reliable without restrictions) : GLP에 따라 수행된 국제적 시험지침에 따른 시험자료 예) OECD SIDS 보고서의 SIAP에 인용된 자료
2	제한적인 신뢰성 높은 자료 (Reliable with restrictions) : GLP, 국제적인 시험지침에 따르지 않았으나 과학적으로 허용 가능한 자료 예) HSDB, IPCS등과 같이 국제적 기관에 의해 평가받은 자료는 2로 분류 할 수 있음
3	신뢰성이 없는 자료 (Not reliable) : 허용할 수 없는 시험방법 또는 전문가의 판단에 대해 확신할 수 없어 평가에 사용되기에 불충분한 자료 예) IUCLID등에 사용되었으나 시험 방법이 구체적이지 않은 자료
4	지정할 수 없는 자료 (Not assignable) 예) 불충분한 시험기술, 초록 또는 책 등 2차 문헌 자료

11. 요약

해당 물질에 대해 앞서 조사된 유해성 자료들을 토대로 항목별로 주요 결과를 표로 작성하고, 이들 내용을 급성독성, 자극성 및 부식성, 과민성, 반복투여독성, 발암성, 돌연변이원성 및 생식발달독성 순으로 기술한 자료를 말한다.

발암성의 경우, IARC 및 EPA에서 발표한 해당물질에 대한 발암성 분류등급을 같이 제시하도록 한다. 발암성 분류 등급은 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer) 또는 미국 환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency) IARC(International Agency for Research on Cancer, 국제암연구소)에서 확보할 수 있다.

- IARC에서는 여러 화학물질에 대한 발암성 분류 등급을 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>이다.

※ 발암성 분류 등급이란, 인체 역학 연구 및 동물 실험 연구 결과를 토대로 어떤 물질이 인체에 암을 일으킬 가능성에 대해 정성적으로 평가한 것으로, IARC(International

40) 벤젠의 경우에는 관련 내용이 없음

Agency for Research on Cancer, 국제암연구소)의 발암성 분류 등급은 다음과 같음 :

구 분	내 용
1	인체 발암성 물질
2A	유리한 인체 발암성 물질
2B	인체 발암 가능 물질
3	인체 발암성 물질로 분류하기 어려운 물질
4	인체 비발암성 물질

- 미국 EPA에서는 각 화학물질에 대한 통합 위해성 정보를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList>이다.⁴¹⁾

※ EPA(US Environmental Protection Agency, 미국 환경보호청)의 발암성 분류 등급은 다음과 같음 :

구 분	내 용
A	인체 발암성 물질
B1, B2	유리한 인체 발암성 물질
C	인체 발암 가능 물질
D	인체 발암성 물질로 분류하기 어려운 물질
E	인체 비발암성 물질

41) 각 물질별 EPA 통합위해성정보시스템(IRIS, Integrated Risk Information System) 검색 결과의 "평생노출에 대한 발암성 평가(Carcinogenicity Assessment for Lifetime Exposure)" 중 "인체 발암성 증거(Evidence for Human Carcinogenicity)"부분에서 확인 가능

[예시]

앞서 조사된 벤젠에 대한 여러 연구 결과를 토대로 인체 유해성을 정리하여 매트릭스로 작성하였다. 공통적으로 벤젠에 노출되어 백혈병과 같은 발암성이 우려되며, 유전독성이나 태아 독성이 확인되는 경우가 있어 돌연변이원성 및 생식독성도 우려된다. 즉 벤젠은 CMR(Carcinogenicity, Mutagenicity, and toxic to Reproduction) 독성 물질로 평가된다. 그 외에도 만성 노출되면 혈액 세포에 이상을 유발하고, 급성 고농도 노출시에는 기관지염과 같은 폐를 표적으로 하는 유해 영향이 우려되며, 그 외에도 눈과 피부 자극성이 우려되는 물질이다.

표 X. 유해성 매트릭스

분류	결과	내용
급성독성	+	· 흡입시 : 중추신경계 억제, 폐와 간의 울혈 · 경구 섭취시 : 쇠약 증상, 기관지염 및 폐렴 유발
자극성 및 부식성 과민성	+	· 피부 자극성 있음, 눈, 코, 호흡기 점막에 자극 유발 · 눈에 심각한 손상 유발 (염증, 부풀어오름 증상, 각막 괴사 등) · 자료없음
반복투여독성	+	· 골수 기능 저하로 인한 백혈구 감소증, 빈혈 및 혈소판 감소증, 림프구 감소증
발암성	+	· 발암성 분류 - IARC : Group 1 (인체발암성물질) - US EPA : 발암등급 A (인체발암성물질) · 백혈병, 림프종 등
돌연변이원성	+	· 염색체 변이, 자매염색체 치환 및 소핵형성 등
생식발달독성	+	· 골격형성 지연, 생식계 영향 (고환 무게 감소 등) 등

제 2 절 환경

1. 수서 생물

수서생물에 대한 평가대상 화학물질의 유해성을 확인하는 이유는 해당 화학물질의 인체유해성을 평가하는 보조적 수단이 될 뿐만 아니라, 생태계 자체의 보존을 목적으로 하는 환경위해성 평가의 출발점인 문제점 구성(Problem Formulation) 단계의 핵심 정보이기 때문이다.

환경유해성 자료를 서식지 생물군별로 구분하는 까닭은 서식지 환경에 따라 화학물질에 대한 생물의 노출경로와 노출형태가 다른, 즉 서식지(환경매체)별 노출량이 달라지기 때문이다. 또한 유해성 자료 생산시 여타 생물군에 비해 수서생물은 시험조건(노출경로, 노출기간, 노출량 등)을 조정하기가 용이하기 때문에 비교적 많은 정보가 축적되어 있다. 그러므로 OECD 및 국립환경과학원 지침서에서는 수서생물을 타 서식지 생물군(예를 들면, 토양생물)과 구분하여 유해성정보를 확인하도록 하였다.

가. 생물군 세분화

국립환경과학원 지침서에서는 수서생물을 어류, 갑각류 및 조류(algae) 등 영양 단계별로 유해성 확인을 하도록 지시하고 있다(제5조 4항, 별표2). 동일 서식 매체내에서 영양단계별로 세분하는 이유는 먹이사슬에 의한 생물종간 이행 및 농축뿐만 아니라, 생물종별 화학물질에 대한 감수성 차이가 크기 때문이다. 한편, 미생물은 타 매체에 대한 자료 부족 현상과 대상 매체 특성을 고려하여 수서생물군에 포함시켰다.

나. 독성종말점

독성종말점(endpoint)이란 화학물질 위해성과 관련된 특정한 독성을 정성 및 정량적으로 표현한 것을 말한다(국립환경과학원 지침서 제2조 24항). 화학물질의 생태유해성은 다음과 같은 독성항목으로 표현한다.

- 반수치사농도(LC₅₀) : 화학물질의 급성독성을 표현하는 수단으로 구배를 둔 시험농도 범위 내에서 시험생물의 50%가 치사되는 때의 농도를 의미한다. 이때, 시험생물의 노출은 일반적으로 24-96시간의 범위에서 이루어진다. 이 값이 낮을수록 해당물질의 급성독성 수준은 높아진다.
- 악영향무관찰농도(NOEC) : NOEC란 만성독성 등 노출-반응 시험에서 노출군과 대조군 간 악영향의 발현 수준에 통계적 유의성이 없는 최고 시험농도를 말한다(국립환경과학원 지침서 제2조 14항). NOEC 값이 높을수록 해당물질의 만성독성 수준은 낮아짐을 의미한다.
- 급·만성 독성비율(ACR) : ACR(Acute-Chronic Ratio)은 급성독성 지표인 LC₅₀와 만성독성 지표인 NOEC의 비율이다. 이 값이 클수록 해당물질의 급성독성은 낮으나, 만성독성이 큼을 의미한다. 또한 ACR은 해당물질의 PNEC 값 도출시 불확실성에 의한 평가계수(assessment factor) 적용 범위를 결정하는 중요 항목이 되기도 한다.
- 서술형 독성종말점 : 생태유해성을 정량적으로 표시하기 어려운 경우, 독성종말점을 정성적 또는 서술형으로 표현한다. 예를 들면, 유생기형유발, 수정란 발생저해, 광합성 저해, 세포증식 억제, 최기형성, 근성장 저해 등이며, 주로 만성독성을 표현하는 수단으로 사용된다.

다. 자료 수집 범위

생태유해성 정보의 수집 대상 자료의 범위는 주기적으로 보완되는 최신 자료로서, 환경독성전문가의 검토과정을 통과한 신뢰성이 높은 자료로 제한한다. 신뢰성 제고를 위한 주요 검토 항목으로는 시험기간, 시험생물종, 노출조건 등의 생태독성 시험방법과 독성종말점 등이다.

- ECOTOX, AQUIRE, HSDB, 등 국내외에서 개발되어 현재 독성연구기관 및 독성학자들이 보편적으로 이용하고 있는 독성 데이터베이스
- OECD에서 발간되고 있는 화학물질 초기위해성평가 보고서
- 국제 공인학술지에 게재된 생태독성 연구자료
- 그 외 입수가 가능한 각 국가 정부보고서 및 산하기관들의 화학물질 관련 보고서류

[예시]

라. 어류독성

(1) 급성

벤젠수용액에 48시간 노출된 *Carassius auratus*(금붕어)와 *Lepomis macrochirus*(블루길)의 반수치사농도(LC₅₀)는 각각 34, 20 ppm이었다(Pickering G.H. and C. Henderson, 1966). 동일 노출조건하에서의 *Pimephales promelas*(Fathead minnow) LC₅₀는 32 ppm이었으나, 노출기간을 증가함에 따라서 LC₅₀값이 낮아졌다(Galassi, S.M. et al., 1988). 한편, *Oncorhynchus mykiss*(송어)와 *Oryzias latipes*(메다카)의 48시간 LC₅₀ 값은 각각 56, 54 ppm으로 보고되었다(Slooff, W. et al., 1983; Tsuji, S.Y. et al., 1986).

(2) 만성

10-45 ppm 농도 범위에 노출된 청어나 멸치의 경우, 수정란 발생이 늦어지고, 기형유생이 발현됨과 동시에, 유생발달, 먹이섭취율, 성장률, 그리고 호흡률 등이 늦어지거나, 저하되었다(Verschueren, K., 1996). *Pimephales promelas*의 NOEC(7일간 노출조건)는 10.2 ppm으로 급·만성독성비(acute-chronic ratio, ACR)은 3.0이었다(Marchini, S. et al., 1992).

※ '노출기간이 증가함에 따라서 LC₅₀값이 낮아졌다' 는 노출기간이 길어짐에 따라서 동일물질의 독성이 증가했다는 것을 의미함.

※ '수정란 발생이 늦어지고...' 는 물질이 발생독성을 가지고 있음을 의미함.

2. 토양 생물

가. 생물군 세분화

토양생물을 환형동물을 포함한 토양소동물, 양서.파충류, 및 식물류로 구분하여 생태유해성을 조사한다. 가금류 등 조류(avian)는 기존 자료가 부족하므로 조사대상 생물에서 제외한다.

나. 표준시험종

OECD등에서 토양독성 표준시험종으로 선정한 지렁이(*Eisenia fetida*)의 급.만성 자료가 있는 경우, 이 자료를 우선한다.

다. 토양노출농도 산정

토양내 처리된 시험 약제량(물질g/토양kg)은 표토층에 서식하는 생물이 영향을 받을 것으로 추정하여 토층 깊이를 10cm, 표준시험토양의 비중을 1.0으로 각각 가정하여 토양내 농도(ppm)를 산정한다.

라. 독성종말점

급성독성은 LC₅₀ (또는 EC₅₀), 만성독성은 NOEC 등으로 표현한다. 정량적 표현이 어려운 경우, 정성적 또는 서술형으로 생태유해성을 표현한다.

[예시]

마. 소동물 (환형동물포함)

토양독성평가 지표종인 *Eisenia fetida*(지렁이)의 48시간 LC₅₀은 98ug/cm²이었다(Neuhauser, E.F. et al., 1985). 이는 표층토양의 깊이와 비중을 각각 10cm와 1.0으로 가정하였을 때, 9.8 ppm에 해당하였다. 그 외 토양소동물의 독성시험 자료는 없었다.

※ 'LC₅₀은 98ug/cm²이었다....9.8ppm에 해당하였다' 는 시험시 토양에 처리된 물질이 표토층에서 10cm 깊이까지 혼합되었을 때를 가정한 결과이다. 이때 토양의 비중은 1.0으로 가정하였다.

3. 생물농축성 및 잔류성

가. 생물농축성

“생물농축성(bioconcentration)”이란 생물의 조직 중 화학물질의 농도가 환경매체 중에서의 농도에 비해 상대적으로 증가하는 것을 말하며, 그 농도비로 표시한 것을 생물농축계수(bioconcentration factor, BCF)라 한다(국립환경과학원 지침서 제2조 10항).

화학물질의 생물농축성이 높은 경우, 비록 실제 환경 중의 농도가 낮음에도 불구하고 물질에 노출된 생물체내에 축적될 가능성이 높으며, 먹이사슬의 상위층 생물로 이행되어 고농도로 농축된 후 생태독성이 유발될 우려가 있다. 따라서 해당 물질의 생물농축성 여부는 생태유해성을 결정하는 중요 항목이 된다. EU의 REACH에서는 BCF 범위가 2000이상인 물질을 환경유해성이 높은 PBTs(Persistent Bioaccumulative Toxics)로 구분하여 특별 관리를 하고 있다.

생물농축계수는 직접 실험을 통해서 도출하거나, 물질의 물리화학적 성질의 하나인 옥타놀-물 분배계수(Kow)로부터 실험식을 이용하여 도출한다.

나. 환경잔류성

화학물질의 환경잔류성은 배출원으로부터 환경내로 유입된 물질의 매체내 잔류 수준을 결정지어주는 항목이다. 환경잔류성이 크고 연속적으로 배출되는 경우, 물질의 매체내 잔류 수준이 높아지게 된다.

물질의 반감기는 매체내 환경잔류성을 표현하는 수단이다. REACH에서는 반감기가 일정 범위를 넘어서는 물질이 생물농축성이 있는 경우, PBTs 로 구분하여 특별 관리하고 있다.

문헌에 나타난 매체별 검출 범위나 검출 빈도를 조사함으로써 물질의 생태위해성 평가 대상 여부를 사전에 결정할 수 있다. 즉 문헌상 검출사례가 있는 경우, 해당물질의 초기생태위해성평가를 실시하는 근거가 된다. 조사대상 주요 매체로는 지표수, 지하수, 토양, 퇴적토, 그리고 각종 폐수 방류수 등으로 구분한다.

4. 요약

가. 요약표

앞서 조사된 각종 생태유해성 자료를 서식지 지표종별로 구분하여 급·만성 독성에 관한 요약표를 작성한다. 수서생물의 경우, 어류, 갑각류, 조류, 미생물군으로, 토양생물의 경우, 소동물, 양서·파충류, 식물군으로 나누어 급성(LC₅₀, 48시간)과 만성(NOEC)의 대표값을 기록한다. 그 외의 생태유해성은 간단한 서술형으로 표시한다. 한편, 생물농축성과 환경잔류성을 BCF와 매체별 검출수준으로 각각 정리하고, 생물농축성과 유해성 우려수준을 판정하여 간단히 표시한다.

나. 요약

요약표에 정리된 급·만성 독성지표외에 최기형성, 발생독성, 유영성저해 등 서술형 독성종말점과 세포독성 및 생화학적 독성지표 등을 요약하여 해당물질의 생태유해성 여부를 최종 판정한다.

[예시]					
표 X. 생태 유해성					
대분류	소분류	지표종	급성(LC ₅₀ ,48hr) ppm	만성(NOEC) ppm	유해성
수서 생물	어류	<i>Pimephales promelas</i>	32	10.2	유생기형유발, 수정란발생 저해
	갑각류	<i>Daphnia magna</i>	135-250	-	유영저해능(EC ₅₀) = 10 ppm
	조류	<i>Chlorella vulgaris</i>	250	80	광합성저해 세포증식 억제
	미생물	<i>Pseudomonas putida</i>	92*	-	*세포증식저해 역치값
토양 생물	소동물	<i>Eisenia fetida</i>	9.8	-	-
	양서·파충류	<i>Xenopus laevis</i>	190	-	최기형성 없음
	식물	<i>Lactuca sativa</i>	>80	-	근성장저해
생물농축성 및 잔류성		항목			비고
생물농축성		BCF: 어류의 경우 1.1-20 공단지역 지표수: 0-7 ppb			생물농축성 없음
환경 잔류 수준		공장폐수: 0.6-12 ppm			유해성 우려수준
		벤젠취급지역 토양: 1-191 ppb			유해성 우려수준
		항만 퇴적토: 0-20 ppb			-

제 4 장 용량-반응 평가

제 1 절 인체

1. 비발암 독성

환경오염물질에 대한 용량-반응 평가란 화학물질의 노출 수준과 이에 따른 인체 및 생태에 미치는 영향과의 상관성을 규명하는 과정⁴²⁾으로, 투여 용량과 특정 생물학적 반응(발생을 관찰 결과 또는 반응 수준 변화 비율 등)간의 관계를 결정⁴³⁾한 자료를 말한다.

특히 특정 생물학적 반응중 어느 한 노출수준 이하에서 독성이 관찰되지 않는 독성 항목은 역치를 가지는 건강영향으로 가정하는 독성⁴⁴⁾의 경우를 비발암 독성이라 한다.

비발암 독성 평가는 주로 역치로 추정되는 악영향무관찰량/농도(No Observed Adverse Effect Level/ No Observed Effect Concentration, NOAEL/ NOEC) 또는 “악영향최소관찰량/농도 (Lowest Observed Adverse Effect Level/ Lowest Observed Effect Concentration, LOAEL/ LOEC)”에, 화학물질의 독성에 대한 동물실험결과를 인체에 외삽하거나 민감한 대상까지 적용하기 위해 필요한 임의적 보정 값인 불확실성 계수(uncertainty factor)를 적용하여 도출된 “인체독성참고치((reference dose, RfD) 또는 (Reference concentration, RfC))”⁴⁵⁾를 이용하여 수행된다. 즉 “인체독성참고치 = 역치 독성값 (NOAEL 또는 LOAEL 등) ÷ 불확실성 상수”와 같다.

불확실성 상수는 종내 및 종간 다양성(intraspecies and interspecies variability), 동물실험의 질(quality) 및 기간(duration) 등을 고려하여 상이한 인구집단에 있어 실제적으로 허용가능한 용량을 결정하는데 사용된다. 미국 EPA에서 제안하고 있는 불확실성 계수 적용방법은 다음에 제시하였다.⁴⁶⁾

42) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

43) 출처 : US EPA IRIS Glossary - Dose-response assessment/relationship (http://www.epa.gov/ncea/iris/help_gloss.htm)

44) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

45) 정의 : 식품 및 환경매체 등을 통하여 화학물질이 인체에 유입되었을 경우 유해한 영향이 나타나지 않는다고 판단되는 노출량 (출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침)

46) 출처 : 환경부 (2003) 위해우려물질 선정 및 평가연구

표 3. 미국 EPA에서 제안하고 있는 불확실성 상수

불확실성이 발생 가능한 내용	적용 상수
인구집단내 개인 간의 민감성을 고려한 불확실성	10
동물에서 사람으로의 외삽과정에서의 불확실성	10
노출기간의 외삽과정에서의 불확실성	10
NOAEL 대신 LAOEL을 사용한 경우의 불확실성	10

기존의 이용 가능한 용량-반응 평가 자료가 충분할 경우에는 그 결과를 인용할 수 있으며⁴⁷⁾, 주로 미국 환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency) 또는 세계보건기구(WHO, World Health Organization) 등에서 확보할 수 있다. 또한 US EPA Health Advisories, US EPA Hazardous Air Pollutants 등에 제시된 용량-반응정보를 활용한다.

- 미국 EPA에서는 각 화학물질에 대한 통합 위해성 정보를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList>이다.⁴⁸⁾
- 미국 EPA에서는 각 대기중 유해 화학물질에 대한 건강영향 기록(Health Effects Notebook for Hazardous Air Pollutants)을 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapindex.html>이다.⁴⁹⁾
- WHO에서는 각 화학물질에 대한 대기 및 먹는물 기준치 설정 과정에서 사용된 독성 연구 결과들을 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 대기 기준치 가이드라인의 경우 http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_3, 먹는물 기준치 가이드라인의 경우 http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en이다.^{50),51)}

제시된 모든 자료원에서 신뢰성 있는 용량-반응 평가 정보가 확인된다면(GLP 준수 여부, 시험법이 명시된 자료), 경로별로 좀더 보수적인 수치(좀더 낮은 값)를 채택하여 적용하도록 한다.

47) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

48) 각 물질별 EPA 통합위해성정보시스템(IRIS, Integrated Risk Information System) 검색 결과의 "비발암영향에 대한 만성건강유해성평가(Chronic Health Hazard Assessments for Noncarcinogenic Effects)"중 "만성 경구 노출에 대한 참고치(Reference Dose for Chronic Oral Exposure, RfD)" 부분 및 "만성 흡입 노출에 대한 참고치(Reference Concentration for Chronic Inhalation Exposure, RfC)" 부분에서 확인 가능

49) EPA HAPs 건강영향 팩트시트 "건강유해성 정보(Health Hazard Information)"중 "만성 영향(비발암)(Chronic Effects(Noncancer))" 부분에서 확인 가능

50) WHO Air quality guideline "가이드라인(Guideline)" 부분에서 확인 가능

51) WHO (2006) Guidelines for drinking-water quality (3rd edition) "가이드라인 수치(Guideline value)" 또는 "가이드라인 도출 이력(History of guideline development)"부분에서 확인 가능

[예시]

가. 경구

참고치는 벤젠에 직업적으로 흡입 경로를 통해 노출된 근로자들에 대해 연구한 Rothman 등(1996)의 작업장 역학 연구에서의 절대 림프구수(absolute lymphocyte count, ALC)의 기준용량(benchmark dose 이하 BMD) 모델링의 결과를 경로 대 경로 외삽한 결과에 기초하여 도출되었다. 국립독성프로그램(National Toxicology Program, 이하 NTP)의 실험동물을 사용한 경구 노출 연구에서 도출된 BMD 모델링 결과와의 비교 역시 수행하였다(NTP, 1986). 또한 Rothman 등(1996)과 NTP(1986)에서 도출된 약영향최소관찰량(the Lowest-Observed-Adverse-Effect Level, LOAELs)을 이용한 비교 역시 수행하였다(US EPA IRIS, 1994).

Rothman 등(1996)의 연구에서 도출된 ALC 자료를 이용한 BMD 모델링 결과 대조군의 평균으로부터 하나의 표준 편차를 변화시킨 임의의 벤치마크 반응율을 고려하였을 때, BMC(benchmark concentration)가 13.7 ppm(8시간 TWA), BMCL(BMC의 95% 상한값)는 7.2 ppm(8시간 TWA)로 도출되었다. 단위환산 및 지속적인 노출 정도를 고려한 결과 BMCL_ADJ는 8.2 mg/m³였다(이상기체법칙에 따라, mg/m³ 농도= ppm 농도×분자량/24.45(25 °C, 760 mmHg). 즉 BMCL(mg/m³)=7.2×78.11/24.45=23.0 mg/m³. BMCL_ADJ=23.0mg/m³ 10 m³/20 m³×5일/7일=8.2 mg/m³, 여기서 10 m³란 8시간 작업장에서 근로자들이 흡입하는 공기량의 기본값, 20m³란 24시간동안 일반 인구가 흡입하는 공기량의 기본값(US EPA IRIS, 1994).

이 수치를 등가의 경구 용량비율로 전환하기 위해서, BMCL_ADJ에 기본 호흡율을 곱하고, 보수적인 경구 흡수율로 보정하기 위하여 0.5를 곱한 후, 성인 체중의 기본값(70kg)으로 나누어주었다(8.2 mg/m³×20 m³/day×0.5÷70 kg=1.2 mg/kg/day). 그 후 이 수치에 불확실성 상수 300을 나누어 RfD는 0.004 mg/kg/day로 산출하였다: RfD=등가의 경구 용량/불확실성 상수=1.2 mg/kg/day÷300=0.004 mg/kg/day). 불확실성 상수 300은 영향 수준의 외삽에 대해 3(LOAEL을 NOAEL로 적용), 사람간의 민감도 차이에 대해 10, 아만성 실험자료를 만성자료로 외삽한 데에 대해 3, 데이터베이스의 완성도 부족에 대해 3을 부여하였다(US EPA IRIS, 1994).

표 X. 경구 만성 독성 참고치(US EPA 결과)

주요 영향	실험 용량*	불확실성 상수	보정 상수	RfD** (mg/kg-day)
림프구 세포수 감소 (Rothman 등, 1996)	BMDL =1.2mg/kg/day	300	1	0.004

* 전환상수: 분자량=78.11. 25°C, 760mmHg하에서, BMCL(mg/m³)=7.2 ppm 분자량/24.45=23 mg/m³.BMCL_ADJ=23mg/m³ ×10m³/20m³×5일/7일=8.2mg/m³. BMDL은 BMC 근처 용량에서 경구 흡수율은 100%, 흡입 흡수율은 50% 수준일 것이라고 가정하여 노출 경로대 경로로 외삽하여 도출된 것이다. BMDL_ADJ=8.2mg/m³×20m³/일×0.5÷70kg=1.2mg/kg/day(원래의 BMC는 대조군 결과로부터 표준편차 1을 변화시켜 도출되는 벤치마크 영향에 기초한다).

** RfD : Reference Dose(인체독성참고치)

나. 흡입

벤젠의 흡입 노출에 대한 참고치는 벤젠에 직업적으로 흡입 경로를 통해 노출된 근로자들에 대해 연구한 Rothman 등(1996)의 작업장 역학 연구에서의 절대 림프구수(absolute lymphocyte count, ALC)의 BMD(benchmark dose) 모델링의 결과에 기초하여 도출하였다(US EPA IRIS, 1994).

EPA의 가이드라인에 따라(US EPA, 2000), BMCL이 RfC 도출의 출발점으로 사용되었다. ppm 농도 단위를 mg/m^3 으로 전환하고, 8시간 TWA 작업장 노출을 지속적인 환경노출 등가량으로 전환하는 과정을 통해 BMCL을 보정하였다. 우선 BMCL은 분자량(78.11)과 상온상압이라 가정하고($25^{\circ}C$, 760 mmHg), $7.2\text{ ppm} \times 78.11/24.45 = 23.0\text{ mg}/m^3$. 이를 다시 호흡율을 고려하여 지속적인 환경노출 등가량으로 환산하였다(US EPA, 1994): $BMCL_ADJ = 23.0\text{ mg}/m^3 \times (10\text{ m}^3/20\text{ m}^3) \times 5\text{ days}/7\text{ days} = 8.2\text{ mg}/m^3$. 그 후 이 수치에 불확실성 상수 300을 나누어 RfD를 산출하였다: $RfD = \text{등가의 경구 용량}/\text{불확실성 상수} = 8.2\text{ mg}/m^3 \div 300 = 0.03\text{ mg}/m^3$. 불확실성 상수 300은 영향 수준의 외삽에 대해 3, 사람간의 민감도 차이에 대해 10, 아만성 실험자료를 만성자료로 외삽한 데에 대해 3, 데이터베이스의 완성도 부족에 대해 3을 부여하였다. 전문가적 판단에 따른 보정 상수는 별도로 적용하지 않았다(US EPA IRIS, 1994).

표 X. 흡입 만성 독성 참고치(US EPA 결과)

주요 영향	실험 용량*	불확실성 상수	보정 상수	RfC** ($\mu\text{g}/m^3$)
립프구 세포수 감소 (Rothman 등, 1996)	$BMCL = 8.2\text{ mg}/m^3$	300	1	30

* 전환상수: 분자량=78.11. $BMCL = 7.2\text{ ppm}$. $25^{\circ}C$, 760 mmHg 하에서, $BMCL(\text{mg}/m^3) = 7.2\text{ ppm} \times \text{분자량}/24.45 = 23\text{ mg}/m^3$. $BMCL_ADJ = 23\text{ mg}/m^3 \times 10\text{ m}^3/20\text{ m}^3 \times 5\text{ 일}/7\text{ 일} = 8.2\text{ mg}/m^3$ (원래의 BMC는 대조군 결과로부터 표준편차 1을 변화시켜 도출되는 벤치마크 영향에 기초한다).

** RfC : Reference Concentration(인체독성참고치)

다. 경피

용량-반응 정보를 도출하기에 충분한 수준으로 피부 노출에 대한 독성 시험 결과가 확인된 바 없으며, 경피 노출로 인한 오염물질의 체내 거동이 경구 노출로 인한 것과 유사하므로 경구 노출에 대한 인체독성참고치($RfD = 0.004\text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$)를 사용하기로 한다.

2. 발암성

특정 생물학적 반응 중 모든 노출수준에서 유해 가능성을 보이는 독성항목으로 독성 역치가 없는 건강영향중 화학물질이 암을 유발하거나 암의 유발을 증가시키는 성질에 관한 것⁵²⁾을 발암성이라 한다.

발암 분류 등급의 경우, IARC 및 EPA에서 발표한 해당물질에 대한 발암성 분류등급을 확인한다. 발암성 분류 등급은 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer) 또는 미국 환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency) IARC(International Agency for Research on Cancer, 국제암연구소)에서 확보할 수 있다.

- IARC에서는 여러 화학물질에 대한 발암성 분류 등급을 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>이다.
- 미국 EPA에서는 각 화학물질에 대한 통합 위해성 정보를 제공하고 있으며, 웹사이트

52) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

주소는 <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList>이다.⁵³⁾

발암성 물질의 용량-반응 평가를 위해서 일반적으로 고농도 노출군을 대상으로 한 역학연구나 고용량에서 수행된 동물실험 평가 자료를 이용한다. 그러나 일반적으로 사람이 일상적으로 노출될 수 있는 환경 매체 중 오염물질의 농도는 매우 낮은 농도로 존재하기 때문에 고용량에서 저용량으로의 외삽절차(extrapolation procedure)가 반드시 필요하다.⁵⁴⁾ 발암성 평가는 주로 저용량 외삽을 통하여 추정된 발암잠재력(cancer potency, q1*)을 이용하여 수행된다.

기존의 이용 가능한 용량-반응 평가 자료가 충분할 경우에는 그 결과를 인용할 수 있으며⁵⁵⁾, 주로 미국 환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency) 또는 세계보건기구(WHO, World Health Organization) 등에서 확보할 수 있다. 또한 US EPA Health Advisories, US EPA Hazardous Air Pollutants 등에 제시된 용량-반응정보를 활용한다.

- 미국 EPA에서는 각 화학물질에 대한 통합 위해성 정보를 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList>이다.⁵⁶⁾
- 미국 EPA에서는 각 대기중 유해 화학물질에 대한 건강영향 기록(Health Effects Notebook for Hazardous Air Pollutants)을 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapindex.html>이다.⁵⁷⁾
- WHO에서는 각 화학물질에 대한 대기 및 먹는물 기준치 설정 과정에서 사용된 독성 연구 결과들을 제공하고 있으며, 웹사이트 주소는 대기 기준치 가이드라인의 경우 http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_3, 먹는물 기준치 가이드라인의 경우 http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/ \en이다.^{58),59)}

53) 각 물질별 EPA 통합위해성정보시스템(IRIS, Integrated Risk Information System) 검색 결과의 "평생노출에 대한 발암성 평가(Carcinogenicity Assessment for Lifetime Exposure)"중 "인체 발암성 증거(Evidence for Human Carcinogenicity)"부분에서 확인 가능

54) 출처 : 환경부 (2003) 위해우려물질 선정 및 평가연구

55) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

56) 각 물질별 EPA 통합위해성정보시스템(IRIS, Integrated Risk Information System) 검색 결과의 "평생노출에 대한 발암성 평가(Carcinogenicity Assessment for Lifetime Exposure)"중 "경구 노출로 인한 발암성 위해도에 대한 정량적 추정치(Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Oral Exposure)" 부분 및 "흡입 노출로 인한 발암성 위해도에 대한 정량적 추정치(Quantitative Estimate of Carcinogenic Risk from Inhalation Exposure)" 부분에서 확인 가능

57) EPA HAPs 건강영향 팩트시트 "건강유해성 정보(Health Hazard Information)"중 "발암 위험도(Cancer risk)" 부분에서 확인 가능

58) WHO Air quality guideline "가이드라인(Guideline)" 부분에서 확인 가능

59) WHO (2006) Guidelines for drinking-water quality (3rd edition) "가이드라인 수치(Guideline value)" 또는 "가이드라인 도출 이력(History of guideline development)"부분에서 확인 가능

제시된 모든 자료원에서 신뢰성 있는 용량-반응 평가 정보가 확인된다면(GLP 준수 여부, 시험법이 명시된 자료), 경로별로 좀 더 보수적인 수치(좀 더 높은 발암잠재력)를 채택하여 적용하도록 한다.

[예시]

가. 발암분류등급

벤젠의 발암분류등급은 국제암연구소(IARC)는 Group 1로 사람에게 암을 일으키는 물질로 분류하였고, 미국 환경보호청(US EPA)의 발암분류등급은 A로 사람에게 암을 일으키는 물질이다.

표 X. 발암분류등급

구분	분류등급
IARC*	<ul style="list-style-type: none"> · 인체발암성물질 (Group 1) · 인체 역학 연구에서 백혈병의 발생율이 증가하는 것으로 보고됨 · 동물 실험에서도 중앙 발생이 확인되었다는 연구 결과에 기초
US EPA	<ul style="list-style-type: none"> · 인체발암성물질 (발암등급 A) · 동물 실험뿐만 아니라 인체에서도 모든 노출 경로에 대해 발암성이 확인됨

* 국제암연구소 (International Agency for Research on Cancer)

나. 용량-반응 정보

(1) 경구

벤젠 노출로 인한 발암 위험도 평가를 위한 가장 유용한 인체 역학 자료는 작업장 흡입 노출 연구이다(Rinsky 등, 1981, 1987). 그러나 벤젠에 대한 경구 인체 노출에 관한 자료는 거의 없으며, 노출 경로대 경로로 외삽하여도 그 독성 영향은 유사한 것으로 조사되었다. 이에 US EPA에서는 Rinsky 등(1981, 1987), Paustenbach 등(1993), Crump and Allen(1984), Crump(1992, 1994), US EPA(1998)의 연구 결과를 활용하여, 작업장에서 벤젠을 섭취 노출한 사람에 대한 백혈병 발생 가능 확률을 추정하였다. 경구 노출에 대한 단위 위험도의 정량적 계산은 잘 알려진 흡입 노출에 대한 용량-반응 관계로부터 가능한 경구 노출 사이의 외삽을 이용한다. 흡입 위험성 계산 결과는 $2.2E-6 \sim 7.8E-6$ per $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위로 보고된다. 사람과 동물에 관련된 문헌에 근거하여 흡입 흡수율은 약 50%, 경구 흡수율은 100%로 추정된다(US EPA IRIS, 1999)(표준 공기 흡입율 : $20 \text{ m}^3/\text{day}$, 표준 체중 : 70 kg).

$$1\mu\text{g}/\text{m}^3 \times 20\text{m}^3/\text{day} \times 0.5 \times (1/70)\text{kg} = 0.143\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$$

$$\text{risk per } (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}) = 2.2E-6/0.143\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day} \sim 7.8E-6/0.143\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$$

$$= 1.54E-5 \sim 5.45E-5 \text{ per } \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$$

표 X. 경구 노출로 인한 발암 위험도 용량-반응 정보(US EPA 결과)

구분	정보
경구 발암력 (per mg/kg/day)	0.015 ~ 0.055
외삽 방법	인체 작업장 노출 자료의 선형적 외삽

[예시] (계속)

(2) 흡입

US EPA에서는 Rinsky 등(1981, 1987), Paustenbach 등(1993), Crump and Allen (1984), Crump(1992, 1994), US EPA(1998)의 연구 결과를 활용하여, 작업장에서 벤젠에 흡입 노출된 사람에게 대한 백혈병의 발생 가능 확률을 추정하였다.

표 X. 흡입 노출로 인한 발암 위해도 용량-반응 정보(US EPA 결과)

구분	정보
흡입 단위 위해도 (per $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$2.2 \times 10^{-6} \sim 7.8 \times 10^{-6}$
외삽 방법	최대우도추정치를 이용한 저용량 선형화 방법 이용 (Crump, 1992, 1994)

참고로, WHO에서 벤젠의 대기질 기준 설정시 참고한 독성 자료에 따르면, 벤젠은 인체에 발암성을 갖는 물질로, 노출 안전 수준은 권고할 수가 없다. 가이드라인을 도출하기 위하여, 다른 새로운 결과보다도 1994년 Crump의 연구 결과를 사용하기로 하였다. 대부분의 최근 에 업데이트된 코호트 분석 결과에는 앞서 기술한 분석의 내용들이 일부 배제되어 있음을 인지해야 한다. 공기중 농도 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 백혈병의 평생초과발암 위해도 추계 범위는 기하평균 6×10^{-6} 이다. 평생초과발암 위해도 1/10,000, 1/100,000 및 1/1,000,000에 해당하는 공기중 벤젠의 농도는 각각 17, 1.7 및 $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다(WHO, 2000).

US EPA와 WHO의 연구 결과를 검토한 결과, 본 연구에서는 좀더 보수적인 US EPA의 용량-반응 정보를 활용하기로 하였다. 이때 US EPA의 발암 위해성에 대한 용량-반응 정보는 범위로 제시되므로, 평가시 이를 모두 고려하였다. 흡입 노출에 대한 단위 위해도 범위 $2.2 \times 10^{-6} \sim 7.8 \times 10^{-6}$ per $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 미국의 위해성 평가시 사용하는 임의 입력 모수(흡입 노출량 $20 \text{ m}^3/\text{day}$, 체중 70 kg)를 적용하여, **벤젠의 흡입 노출에 대한 발암력을 $0.008 \sim 0.027$ per $\text{mg}/\text{kg}\text{-day}$ 로 도출하였다.**

(3) 경피

용량-반응 정보를 도출하기에 충분한 수준으로 피부 노출에 대한 독성 시험 결과가 확인된 바 없으며, 경피 노출로 인한 오염물질의 체내 거동이 경구 노출로 인한 것과 유사하므로 경구 노출에 대한 발암력($0.015 \sim 0.055$ per $\text{mg}/\text{kg}\text{-day}$)을 사용하기로 한다.

3. 요약

앞서 기술된 내용을 토대로, 노출 경로별 위해도 산출 과정에 적용할 비발암독성에 대한 인체독성참고치 및 발암성에 대한 발암력을 주요 영향과 함께 표 형식으로 제시한다.

[예시]
 벤젠에 대한 위해성 평가시 앞서 제시한 바와 같은 방법으로 도출된 용량-반응 정보를 활용한다.

표 X. 용량-반응 정보

구분	노출경로	독성값	주요영향	비고
비발암 독성	경구	인체독성참고치 (RfD)* = 0.004 mg/kg-day	림프구 세포수 감소	-
	흡입	인체독성참고치 (RfC)** = 30 µg/m³	림프구 세포수 감소	-
	경피	인체독성참고치 (RfD) = 0.004 mg/kg-day	림프구 세포수 감소	경구노출에 대한 인체독성참고치 차용
발암성	경구	발암력 = 0.015~0.055 per mg/kg-day	백혈병	-
	흡입	발암력 = 0.008~0.027 per mg/kg-day	백혈병	-
	경피	발암력 = 0.015~0.055 per mg/kg-day	백혈병	경구노출에 대한 발암력 차용

* RfD : Reference Dose(인체독성참고치)
 ** RfC : Reference Concentration(인체독성참고치)

제 2 절 환경

1. 수생태계

가. 예측무영향농도(Predicted-No-Effect-Concentration, 이하 PNEC)

“예측무영향농도”(Predicted-No-Effect-Concentration, 이하 "PNEC"이라 한다)란 인간 이외의 생태계에 서식하는 생물에게 유해한 영향이 나타나지 않는다고 예측되는 환경 중 농도를 말한다(국립환경과학원 지침서 제2조 22항).

PNEC는 장기간 연속노출시 해당 매체에 서식하는 생물에게 유해반응이 나타나지 않는 최고 농도를 의미한다. 그러므로 PNEC는 생태위해성평가의 기준이 되며 PEC와 비교하여 생태유해지수를 도출하게 된다.

나. PNEC 도출

OECD SIDS 지침서(OECD, 2007)와 국립환경과학원의 위해성평가 관련 지침(국립환경과학원, 2007)의 평가계수법에 의거하여 PNEC를 도출한다. 생태유해성 확인단계에

서 조사된 수서생물의 LC₅₀ 또는 NOEC 값에 불확실성을 고려한 평가계수를 적용하여 수 PNEC(PNECaqua)를 도출하는 방식이다.

한편, 해당물질의 OECD SIDS 보고서가 존재하는 경우, 보고서에서 밝힌 PNEC를 참고하며, 이 값과 평가계수법에 의해 도출된 PNEC 값 중 가장 낮은 값을 본 평가의 PNEC로 결정한다.

평가계수법은 국립환경과학원 지침서 발췌(별표6, 생태 PNEC 도출(제6조제6항 관련))하여 사용한다.

PNEC 결정

NOEC을 바탕으로 평가계수를 적용하여 PNEC값을 결정하는 단계이며 평가계수는 각 영양단계의 독성값에 따라서 10에서 1,000까지 차등하게 부여한다.

- 유해성 확인을 위해 고찰된 생태 유해 정보를 바탕으로 LC₅₀, EC₅₀와 같은 급성 독성치 또는 NOAEL의 독성값과 평가계수를 결정하고 아래의 식을 이용하여 국내에서 적용할 수 있는 PNEC을 결정한다.

- 이 때 가급적 OECD 시험종을 대상으로 도출된 독성값이거나 국내 서식어류와 동일한 종을 이용하여 얻은 값을 사용하고자 한다.

$$PNEC = \frac{\text{Lowest } LC_{50} \text{ or } NOAEL}{AF}$$

※ 평가계수 추론의 과정에서 고려되는 불확실성은 1) 실험실간·실험실내에서의 독성자료의 차이, 2) 종간·종 내에서의 생물학적 차이, 3) 단기노출을 장기간 노출로 외삽시 이에 따른 차이, 4) 실험실 내에서 생산된 자료를 실제 환경 중으로 적용할 때 발생할 수 있는 차이 등이며 각 불확실성에 대한 연구결과가 별도로 없으면 임의로 아래 표의 평가계수를 적용한다.

표 4. 이용 가능한 독성자료 수에 따른 평가계수

이용 가능한 독성자료	평가계수
급성독성값 1개 (1개 영양단계)	1,000
급성독성값 3개 (3개 영양단계 각각)	100
만성독성값 1개 (1개 영양단계)	100
만성독성값 2개 (2개 영양단계 각각)	50
만성독성값 3개 (3개 영양단계 각각)	10

※ 대표적인 영양단계: 어류(3단계), 물벼룩(2단계), 조류(1단계)

[예시]

본 조사에서 활용한 독성자료는 어독성 지표생물인 *Pimephales promelas*의 NOEC(10.2 ppm)와 LC₅₀(32 ppm) 이었다. LC₅₀/1000 < NOEC/100의 관계로부터 평가계수 100을 적용하였으며, 이로부터 PNEC는 32 ppb로 산정하였다. 이 방식으로 도출된 수계 PNEC는 PNECaqua-1 으로 명명하였다. 이와 병행하여, 조류, 물벼룩, 어류의 LC₅₀(또는 EC₅₀)를 상호 비교하고, 이들 가운데 최저값에 평가계수를 적용하는 방식으로 PNEC를 도출하였다. 물벼룩의 EC₅₀(10 ppm)가 조류 및 어류의 LC₅₀(각각 250, 32 ppm) 보다 가장 낮은 수준이었으며, 이에 평가계수 1000을 적용하여 산정된 PNEC (PNECaqua-2)는 10 ppb이었다. 한편, 벤젠의 OECD SIDS보고서(OECD, 2005)에 의하면 *Pimephales promelas*의 생육초기 발달영향 PNEC는 80 ppb로 보고되었다. 따라서 본 평가에서는 가장 낮은 값인 물벼룩의 PNEC(10 ppb)값을 평가용 PNEC로 선택하였다.

2. 토양생태계

가. 평가계수법에 의한 PNEC 도출

OECD SIDS 지침서의 평가계수법에 의거하여 토양 PNEC(PNECsoil)를 도출한다. 생태유해성 자료중 토양독성 지표생물종인 *Eisenia fetida*의 LC₅₀ 또는 NOEC 값이 존재하는 경우, 평가계수 100-1000을 적용하여 PNECsoil을 도출한다.

나. 수생태계 PNEC로부터 도출

토양독성 지표종의 급성 또는 만성독성 자료가 없는 경우, REACH에서 제시하고 있는 방식인 PNECaqua 와 유기물-물 분배계수(Koc) 간의 상관관계를 이용한 수식으로 토양 PNEC를 도출한다. 이때 적용한 수식은 다음과 같다.

$$PNEC_{soil} = (0.174 + 0.0104 \times Koc) \times PNECaqua$$

[예시]

(평가계수법에 의한 토양 PNEC 도출 사례)

OECD SIDS 지침서(OECD, 2007)의 평가계수법에 의거한 가용자료는 토양독성 지표생물인 *Eisenia fetida*의 LC₅₀(9.8 ppm)이었다. 단독 LC₅₀값에 평가계수 1000을 적용한 결과, 토양의 PNEC(PNECsoil)는 9.8 ppb로 산정되었다.

(수 PNEC로부터 토양 PNEC 도출 사례)

OECD SIDS 지침서(OECD, 2007)의 평가계수법에 의거한 토양 PNEC를 도출하였다. 수생태 PNEC로부터 다음의 식을 이용하여 계산하였으며, 그 결과 토양 PNEC(PNECsoil)은 126ppb로 나타났다. 이때 적용된 PCE의 Koc는 220이었다(USEPA, 2006).

$$PNEC_{soil} = (0.174 + 0.0104 \times Koc) \times PNECaqua$$

3. 퇴적토생태계

가. 수 PNEC로부터 퇴적토 PNEC 도출

퇴적토에 서식하는 지표생물종의 독성 자료가 부족하여 평가계수법에 의한 PNEC 도출 기법을 적용할 수 없다. 그러므로 퇴적토 PNEC(PNECsed)는 토양 PNEC의 경우와 유사한 방식인 수 PNEC와 물질의 물리화학적 특성간의 상관관계로부터 도출한다. 이때 적용하는 수식은 다음과 같다.

$$PNEC_{sed} = (0.783 + 0.0217 \times Koc) \times PNEC_{aqua}$$

[예시]

OECD SIDS 지침서(OECD, 2007)의 평가계수법에 의해 도출된 수생태계 PNEC와 분배계수간의 상관성을 이용하여 퇴적토의 PNEC를 도출하였다. 벤젠의 $\log(Koc)$ 는 1.8-1.9 이므로 산술 평균 Koc 를 71로 산정하였다(IPCS, 1993).

$$PNEC_{sediment} = (0.783 + 0.0217 \times Koc) \times PNEC_{aqua-2}$$

의 관계식을 이용하여 $PNEC_{sediment} = 23.2 \text{ ppb}$ 으로 산정하였다.

4. 요약

수, 토양, 및 퇴적토 PNEC 도출시 적용된 독성기준값, 평가계수, 도출과정, 그리고 결과를 요약하여 표로 작성한다. 대상물질이 벤젠인 경우, 요약표는 다음과 같다.

[예시]

표 X. 수, 토양, 및 퇴적토생태계의 PNEC

생태계	기준	AF	PNEC _{matrix}	도출 과정
수	어류 LC ₅₀ =32 ppm. NOEC=10.2 ppm	1000	PNECaqua-1 = 32 ppb	동일생물종의 LC ₅₀ /1000 < NOEC/100 인 경우
	물벼룩 EC ₅₀ =10 ppm	1000	PNECaqua-2 = 10 ppb	어류, 물벼룩, 조류의 L(E)C ₅₀ 중 최저값에 AF 적용
	어류 NOEC=0.8 ppm	10	PNECaqua = 80 ppb	OECD SIDS 보고서
토양	지렁이 LC ₅₀ =98ug/cm ²	1000	PNECsoil = 9.8 ppb	단일지표종의 LC ₅₀ 인 경우 (토양깊이는 10cm로 가정)
퇴적토	Koc = 71	-	PNECsediment = 23.2 ppb	PNECsediment=PNECaqua-2 x (0.0217Koc + 0.783)

※ AF: 평가계수(assessment factor)

※ 수생태계의 PNEC가 다양한 이유는 국립환경과학원 지침서에서 제시한 바와 같이, 시험생물종의 민감성 등 불확실성을 고려하여 평가계수를 적용하였기 때문이다.

제 5 장 노출평가

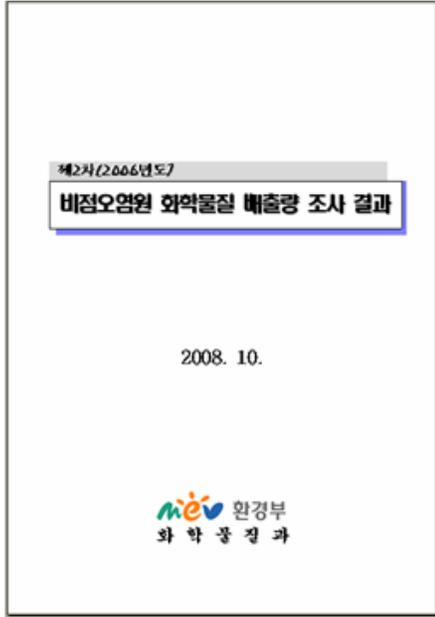
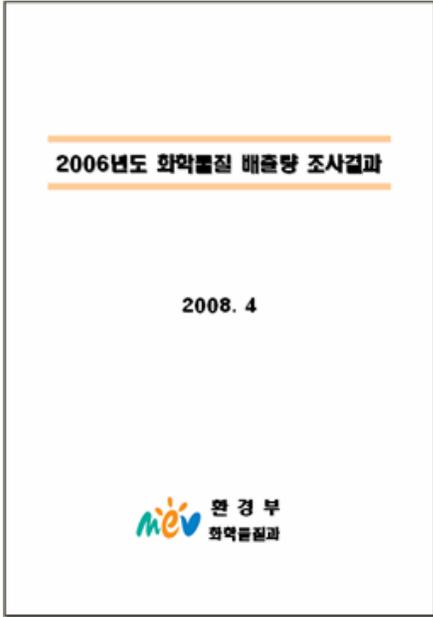
‘노출평가’란 화학물질에 대한 노출량, 노출빈도 및 기간, 노출경로, 노출집단의 규모 등을 정성적 또는 정량적으로 결정하거나 추정하는 것을 말하며, 얼마나 많은 양의 화학물질이 얼마의 주기 및 기간 동안 인체 또는 생태계에 노출되는지를 평가하는 것이다.⁶⁰⁾ 화학물질의 환경 중 위해수준은 대상 화학물질의 「위해성 정도」와 「노출량」에 의해 결정된다. 따라서 위해성이 존재하는지, 그 위해수준을 허용할 수 있는지에 대해서는 위해성의 유·무나 정도뿐만 아니라 어느 정도 양의 화학물질에 노출되어 있는지를 파악하여야 그 화학물질에 대한 위해수준을 판단할 수 있다.

사업장 배출원으로부터 환경을 통한 인체 및 생태 노출평가 모델은 다양한 점배출원 및 비산 배출원으로부터 인체에 대한 노출경로를 설정하고 이에 따른 노출량을 추정할 수 있도록 개발된 모델로, 각 매체에서 화학물질의 농도를 추정한다. 화학물질에 장기간 노출되어 발생하는 만성영향의 위해성 평가에서는 사람 또는 환경 중 생물에 대해 「생애 평생 노출 예상농도」를 전제로 하여 평가를 실시해야 하나, 실제로 과거나 미래의 상황을 예측하기 어렵기 때문에 「장기간(최소 1년 정도) 동안 평균적으로 노출되는 농도」를 노출평가에 사용하게 된다.

따라서 화학물질의 환경 중 위해수준 판단을 위한 노출평가를 수행하기 위해서는 화학물질의 환경 중 배출량 파악이 우선적으로 이루어져야 하며, 현재 국내에서 실시 중인 TRI 제도의 결과물로서 제공되고 있는 화학물질 배출량 조사와 비점오염원의 화학물질 배출량 조사 결과를 활용할 수 있다.⁶¹⁾

60) Risk Assessment, Toxicology Steering Committee(RATSC). 1999, Risk Assessment Approaches Used by UK Government for Evaluating Human Health Effects of Chemicals. Institute for Environmental and Health, UK.

61) 화학물질배출량 정보공개시스템, <http://tri.nier.go.kr/triopen/>



화학물질배출량 정보공개시스템

HOME | 사이트맵

TR 조사제도 | 화학물질 정보 | 배출 이동량 정보 | 배출량정보의 활용 | **배출량 조사결과** | 배출저감 | 참여마당

우리나라의 조사결과

우리나라의 배출량 조사결과

- 2003
 - 화학물질 배출량조사 보고서
- 2004
 - 화학물질 배출량조사 보고서
- 2005
 - 화학물질 배출량조사 보고서
- 2006
 - 화학물질 배출량조사 보고서
 - 화학물질 배출량조사 보고서(비점오염원)

Click ↑

TR 조사제도

화학물질 환경배출량 보고제도는 기업, 지방정부 등이 환경(대기, 수계, 토양, 폐기물) 중으로 배출되는 화학물질의 양을 파악하여 정부에 보고하고 정부는 보고결과를 정부, 민간, 기업이 공유하게 함으로써 기업들의 자발적 오염감소를 유도하는 정책입니다.

Click

공지사항 | 최신자료

공지사항	최신자료	more >
• 판공부고시 제2009-1호	2009-06-24	
• 배출량 정보공개에 이해된 대응	2009-06-16	
• 화학물질 배출량 정보공개에 위한 설명회 ...	2009-05-27	
• 화학물질 배출량 정보공개에 위한 설명회 ...	2009-05-27	
• 화학물질 배출량 정보공개에 위한 설명회 ...	2009-05-27	

배출량정보의 활용
활용방법, 활용시 고려사항

배출량 조사결과
화학물질배출량 조사보고서

화학물질 배출량저감
30/50 프로그램

방안을 환영합니다.
전체 방문 : 45,460

TR 조사제도

- 조사제도의 목적
- 조사제도의 체계
- 조사대상 업종
- 조사제도의 법적근거
- 기업의 배출량 조사절차
- 조사대상 물질

제 1 절 환경배출

1. 전국의 배출량

화학물질 배출량 조사와 비점오염원의 화학물질 배출량 조사 결과를 기초로, 해당 연도의 각 화학물질에 대한 국내 매체별, 배출원별 배출량 자료를 활용한다.

[예시]

2006년 국내에서의 전체 벤젠 배출량은 점오염원 420,291kg/년, 비점오염원 1,946,115kg/년으로, 총 2,366,406kg/년이 배출된 것으로 조사되었다.

연 도	환경배출량 (kg/년)												소계 (①+②)	
	점오염원 - ①				비점오염원 - ②									
	대기	수계	토양	소계	산업 도장	인쇄	가전 제품	가정 연료	폐기물	도로	연료 소매	철도		소계
2006	420,217	74	0	420,291	1,682	6	47	93,904	19	1,657,968	181,473	11,016	1,946,115	2,366,406

※ 출처 : 2006년 화학물질 배출량 조사, 2006년 비점오염원 화학물질 배출량 조사

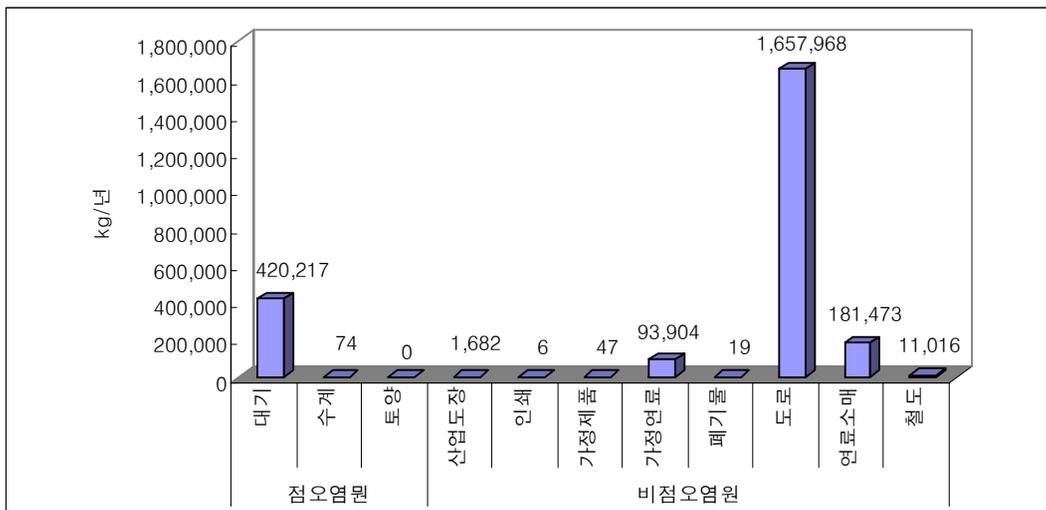


그림 X. 2006년 국내 벤젠 배출현황

2. 대상 지역의 배출량

화학물질 배출량 조사와 비점오염원의 화학물질 배출량 조사 결과를 기초로, 해당 연도의 각 화학물질에 대한 대상지역(시·도 단위 구분)⁶²⁾의 매체별, 배출원별 배출량 자료를 활용한다.

[예시]

2006년 임의의 대상지역에서 전체 벤젠 배출량은 점오염원 71,605kg/년, 비점오염원 96,905kg/년으로, 총 168,510kg/년이 배출된 것으로 조사되었다.

연 도	환경배출량 (kg/년)													소계 (①+②)
	점오염원 - ①				비점오염원 - ②									
	대기	수계	토양	소계	산업 도장	인쇄	가전 제품	가정 연료	폐기물	도로	연료 소매	철도	소계	
2006	71,605	0	0	71,605	34	0	2	12,643	0	74,123	9,589	514	96,905	168,510

※ 출처 : 2006년 화학물질 배출량 조사, 2006년 비점오염원 화학물질 배출량 조사

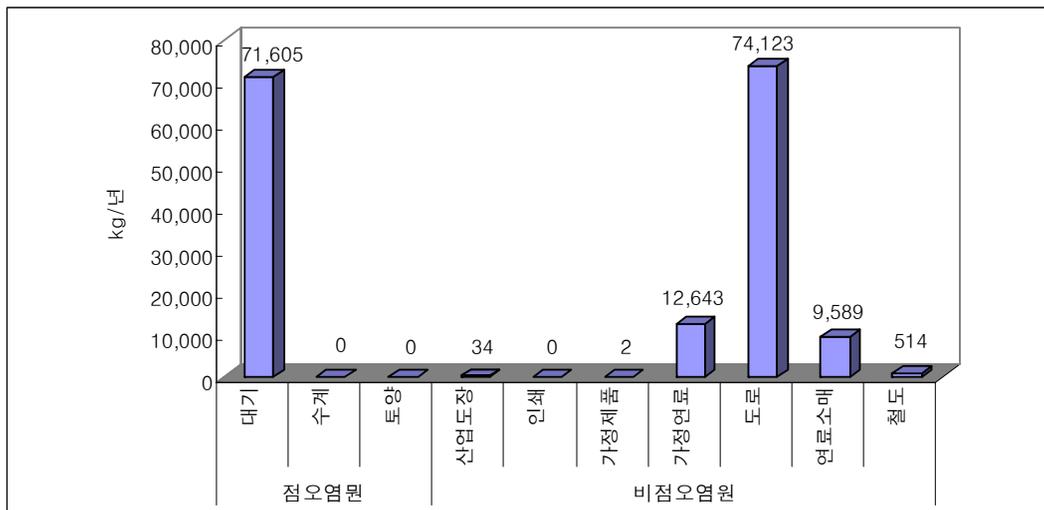


그림 X. 2006년 대상지역의 벤젠 배출현황

62) 시·도 단위 구분 : 강원, 경기, 경남, 경북, 광주, 대구, 대전, 부산, 서울, 울산, 인천, 전남, 전북, 제주, 충남, 충북

3. 대상 사업장의 배출량

화학물질 배출량 조사 결과 및 각 사업장의 배출량 보고 세부자료를 기초로, 해당 연도의 각 화학물질에 대한 대상 사업장의 매체별 배출량 자료를 활용한다.

[예시]
 2006년 임의의 대상 사업장(○○사업장)에서 전체 벤젠 배출량은 점오염원 77kg/년, 비산오염원 5,413kg/년으로 총 5,490kg/년이 배출된 것으로 조사되었다.

연도	환경배출량 (kg/년)					
	점오염원 - ①				비산오염원 - ②	소계 (①+②)
	대기	수계	토양	소계	비산대기	
2006	57	8	12	77	5,413	5,490

※ 출처 : 2006년 화학물질 배출량 조사

제 2 절 예측환경농도 산정

노출량을 결정하기 위해서는 일반적으로 실제 농도나 노출량에 대한 측정값을 사용하기도 하지만 이러한 실측값이 없는 경우에는 추정값(estimation) 또는 예측값(prediction)을 사용하는 것이 일반적이다.

노출모델(exposure model)이라 함은 '이론적 또는 경험적 관계식을 통해 가용한 입력 자료로부터 개별 혹은 집단 노출 변수 값을 추정하기 위한 틀'을 지칭하는 말로서, 실측자료가 없거나 실측이 불가능한 상황에서 노출평가에 적용되는 유용한 수단이다.

모델을 활용하기 위한 입력 변수로는 화학물질 배출량 이외에 환경 거동에 영향을 주는 요인(대상 화학물질의 물리화학적 성질과 상태, 풍향·풍속 등의 기상 인자, 지리적 특성 등) 등이 있으며, 이에 대한 자료 수집 후 모델을 통해 물질의 이동, 확산, 침강, 분해, 생물 축적 등이 계산되어 최종적으로 대기, 수역, 토양 등에서 화학물질의 양이나 농도를 얻을 수 있다.

하지만 모델을 활용하여 환경 중 농도를 추정하는 경우, 계산 조건(입력변수)이 변경됨에 따라 산출되는 결과는 크게 달라질 수 있으므로 실측치와 비교를 통해 계산 결과의 타당성을 검증할 필요가 있다. 또한, 모델은 실제로 일어나고 있는 현상을 가정하여 수식으로 표현한 것에 지나지 않다는 것을 인식하고, 모델에 적용되고 있는 가정 또는 한계를 이해한 다음 사용하는 것이 바람직하다.

1. 모델 개요

화학물질 배출량으로부터 환경 중 농도를 추정하기 위한 모델은 확산 방정식 등에 근거한 환경 매체간의 분배 또는 각 매체에서 물질의 이동, 확산, 분해 등을 고려하여 농도를 추정하는 것이다. 이러한 모델의 활용으로 향후·과거 등의 농도 분포를 추정하고, 한정된 실측 데이터를 기초로 하여 사업소 주변의 전체적인 상황을 파악할 수 있으며, 대표적인 모델은 다음과 같다.

- 단일매체 모델: 대기 중에서 물질의 확산을 다루는 ISCST3, AERMOD, CALPUFF, CMAQ 등
- 다매체 모델 : 대기·지표수·저질·토양 등 매체간의 거동을 모형화하여 인간과 환경에 대한 화학물질의 위해성을 평가하는 EUSES(European Union System for the Evaluation of Substances) 모델

표 5. 모델의 종류, 특성 및 출처

매질	종류	특성	장/단점	사용 난위도	출처 (다운로드 가능)
대기	ISCST	<ul style="list-style-type: none"> - 가우시안 플럼 방정식을 활용한 모델 - 일반적으로 50 km × 50 km이하의 범위에서 사용한다 	<ul style="list-style-type: none"> - 비교적 간단한 모델로 계산시간이 빠르다. - 오랜 기간 검증된 모델이다. - 복잡한 기상상황이나, 복잡지형에 적용이 어렵다. - 정상상태 모델로, 넓은 지역에 적용하기 어렵다. 	중간	USEPA-(http://www.epa.gov/ttn/scram/dispersion_alt.htm)
	ISCLT	<ul style="list-style-type: none"> - 가우시안 플럼 방정식을 활용한 장기예측 - 가우시안 방정식을 풍향, 풍속 등의 분류에 따라 계산한 후, 가중평균을 구하는 방식으로 구동됨 	<ul style="list-style-type: none"> - 장기예측 모델로, 단기예측 모델인 ISCST보다 계산시간이 더 빠르다. - 시간별 변화양상을 파악하지 못한다. - 그 외 ISCST와 동일한 단점을 가지고 있다. 	쉬움	
	AERMOD	<ul style="list-style-type: none"> - ISCST3 모델과 비슷한 방식으로 계산되는 모델이나, 복잡지형계산 등에 강점을 가지고 있는 모델 	<ul style="list-style-type: none"> - 계산시간이 빠른 모델이다. - 복잡한 기상상황이나, 복잡 지형에 적용가능하다. - 최근 EPA에서는 ISCST보다는 AERMOD를 추천하는 경향을 가지고 있다. - 넓은 지역에 적용하기 어렵다. 	중간	Lakes-(http://www.w.weblakes.com/1SCAERMOD/ISCAERFeatures.html)
	CALPUFF	<ul style="list-style-type: none"> - 가우시안 퍼프 방정식을 활용한 모델로 기간과 공간에 대한 탄력성이 큰 모델 	<ul style="list-style-type: none"> - 비정상상태 모델로 시간별 변화양상을 파악하기 용이하다. - 간단한 화학반응에 대한 적용이 가능하다. - 적용범위(지역적)의 탄력성이 높다. - 장기예측모델과의 호환이 가능하다 - 계산시간이 오래걸리며, 모델활용방법을 습득에 시간이 걸린다. 	어려움	TRC-(http://mercator.src.com/calpuff/calpuff1.htm)
	CMAQ	<ul style="list-style-type: none"> - 수치해석 기반의 오일러모델로, 화학반응 계산에 강점을 보임 	<ul style="list-style-type: none"> - 화학반응의 모사가 탁월하다. - 장기예측모델과의 호환이 가능하다. - 계산시간이 오래걸리며, 모델활용방법을 습득하기가 어렵다. 	어려움	CMAS-(http://www.w.cmascenter.org)

표 5. 모델의 종류, 특성 및 출처 (계속)

매질	종류	특성	장/단점	사용 난이도	출처 (다운로드 가능)
대기	PLUVUE-2	- 가우시안 플럼 방정식을 기반으로 입자상 물질에 의한 가시도(Visibility) 영향을 계산하는 모델	- ISCST와 동일한 장/단점을 가지고 있다. - 입자상 물질에 의한 가시도 파악이 가능하다.	중간	USEPA-(http://www.epa.gov/ttn/scram/dispersion_alt.htm)
수계	QUAL2E	- 1차원 정상상태 하천모델링이 가능한 모델	- 1차원 모델로 하천모델링에 좋은 성능을 보인다. - 정상상태 모델로 강수변화에 따른, 오염물질의 농도 변화 파악이 어렵다. - 복잡한 형태의 하천에 적용이 어렵다.	쉬움	USEPA-(http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/index.html)
	WASP	- 3차원 비정상상태 하천모델링이 가능한 모델	- 복잡한 형태의 하천에 적용이 가능하다. - 비정상상태 모델로, 강수변화에 따른 오염물질 농도 변화 파악이 가능하다. - 많은 종류의 전산모수를 필요로 한다.	중간	
	QUAL-NIER	- QUAL2E모델을 기반으로 국립환경과학원에서 QUAL-NIER모델을 개발하여 국내에 적용가능하게 개선함	- QUAL2E모델과 동일한 장/단점을 가지고 있다. - 국내에 적용가능한 전산모수 확보가 쉽다.	쉬움	
	EUSES	- 유럽연합에서 다중매질, 다중경로에 따른, 공간 크기별 위해성 평가를 위해서 개발한 모델	- 계산속도가 빠르며, Screening모델로 적합하다. - EU에서 Screening을 위해 추천하는 모델이다. - 시간별, 지역별 농도변화를 관찰할 수 없다.	쉬움	
다중매질	3MIRA	- 다중매질, 다중경로, 다중수용체 위해성 평가를 위해서 미국환경청에서 개발한 모델 - 넓은 지역에 대한 모사 위주	- 지역적 해상도를 가지는 모델로, 넓은 지역에 적용 가능한, 다중매질모델이다. - 국내에서 전산모수를 획득하기 어렵다.	중간	USEPA-(http://www.epa.gov/ceampub/1/mmedia/3mra/index.htm)
	LSRMFM	- 국내의 GIS정보를 내장한 다중매질, 다중경로, 다중수용체 노출평가 모델 - 좁은 지역에 대한 모사가 가능함	- 지역적 해상도를 가지는 모델로, 좁은 지역에 적용 가능한 다중매질모델이다. - 우리나라 전국에 대한 전산모수가 입력되어 있다. - 넓은 지역에 적용할 경우 오차가 수반된다.	중간	Seoul Nat'l Univ.-(http://empl.snu.ac.kr)

[예시]

ISCST3 모델은 ISCLT3와 ISCST3로 구분할 수 있는데 두 모형의 기본적인 큰 차이는 ISCST가 매 시간 기상자료를 필요로 하고, ISCLT는 정해진 풍속등급에 따라 대기 안정도별로 발생빈도를 보이는 JFF(Joint Frequency Function : 기상결합 빈도함수)로 기상자료를 입력한다는 점이다. 사용되는 확산방정식은 ISCST3가 정상상태(steady-state)의 가우시안(Gaussian) 확산방정식을 이용하는 반면 ISCLT는 Gaussian sector-average 확산방정식을 이용한다. ISCST3 모델은 입자상 물질의 침적, 가스상의 건성 및 습성침적, 면 오염원, 점 오염원, 체적 오염원, 그리고 지형고도 등의 다양한 부분을 고려하고 있으나, 기상조건과 배출량의 시간 변화가 없다고 간주하는 정상상태의 모델로 우리나라와 같이 복잡한 해안가의 지형과 역전에 의한 영향을 고려할 수 없다는 한계점을 가지고 있다.

AERMOD는 ISCST3모델의 가장 큰 단점이었던 대기상태가 공간적으로 균일하다는 가정과 복잡지형에서 적용 문제점을 보완하기 위해서 미국기상학회(AERMIC; American Meteorological Society)와 미국 환경청(EPA Regulatory Model Improvement Committee)이 공동으로 개발한 대기확산모델이다(EPA, 1998a). AERMOD는 기상에 대한 많은 개선을 이룬 정상상태의 가우시안 수치모델로서 공기의 흐름과 대기환경에 따라 플럼 모양의 변화를 모델링하여 원하는 지점에서의 농도를 알 수 있는 모델이지만, 정상상태 가정에 의한 한계점이 있다.

CMAQ 모델은 수치해석기법을 기반으로 하는 비정상상태 모델로서 자세하게 현상을 묘사할 수 있으며, 여러 가지 오염물질을 동시에 고려할 수 있고, 국지규모에서 뿐만 아니라 지역규모 모델링까지 다양하게 동시 모델링이 가능하나, 전산모사(Simulation) 시간이 오래 걸리고 대기에서 화학반응의 해석에 초점을 맞춘 모델이라는 단점이 있다.

CALPUFF 모델은 가우시안 퍼프(Gaussian Puff) 모델로서 시간 및 공간에 따른 바람장의 변화를 퍼프의 이동에 고려할 수 있기 때문에 비정상상태 모델이며, 굴뚝에서 연속적으로 배출되는 연기가 잘게 나누어진 각각의 연기덩어리(puff)로 배출된다고 가정하고, 이 배출된 퍼프가 공간적 해상도를 갖는 바람장을 따라서 이동 및 확산이 될 때 퍼프가 미치는 영향을 종합하여 농도를 계산하는 모델이다. 따라서 정상상태 모델인 ISCST3나 AERMOD보다 정확히 시간에 따른 풍향 및 풍속의 변화를 확산에 반영할 수 있다. CALPUFF모델은 복잡지형에서 산 꼭대기나 해륙풍 순환과 같은 급격한 바람장 변화를 나타내는 지역에 유용한 모델이다. CALPUFF 모델은 세계 각국의 연구자들에 의하여 상당한 시간동안 검증이 된 모델이며(Levy 외, 2002; Elbir, 2004; Holmes와 Morawska, 2006;), 최근에도 지속적으로 환경영향평가를 포함한 다양한 분야에서 활용되고 있는 모델이다(Hao 외, 2007; Henderson 외, 2008; Rood 외, 2008). 또한 시간과 공간의 크기에 대한 제약이 적고, 건물을 포함한 복잡한 지형상황에서도 모사할 수 있어, 3면이 바다이고 산악지대가 많은 우리나라의 환경에 적합한 모델이다(문난경 외, 2005).

EUSES(European Union System for the Evaluation of Substances) 모델은 인간과 환경에 대한 화학물질의 위해성을 평가하기 위한 decision-support 시스템으로, EU TGD(Technical Guidance Document)에 수록된 모델을 기초로 신규 및 기존 화학물질의 위해성 평가를 수행할 수 있도록 제작되어 EU 내 환경농도를 예측하기 위한 툴로서 가장 널리 수용되고 있다. EUSES 프로그램의 기존화학물질에 대한 평가방법은 분포평가와 노출평가, 영향평가 및 위해도 평가로 구성되어 있다. 분포평가는 매체별 배출량을 산정하여 환경에서의 분포를 평가(Multi-Media Model)하여 지역별, 매체별로 환경예측농도(PEC ; Predicted Environment Concentration)를 산정하는 것이고, 노출평가는 노출평가를 수행하여 2차 노출에 대한 환경예측농도를 산정하는 것이다. 영향평가는 생태독성자료를 분석하여 매체별 무영향예측농도(PNEC ; Predicted No-Effect Concentration)를 산정하여, 환경 및 인체에 대한 위해도 평가를 수행하는 것이다.

2. 다중매질 예측환경농도 산정(EUSES모델 활용)

배출량 데이터를 이용하여 환경농도의 사전예측을 수행하기 위해서는 국제적으로 공인이 되어있는 스크리닝 모델을 이용하는 것이 바람직하다. 따라서 EU에서 표준화되어 있는 위해성 평가 툴(tool)로서 사용되는 EUSES 모델을 사용하여 환경 중 농도를 예측한다.

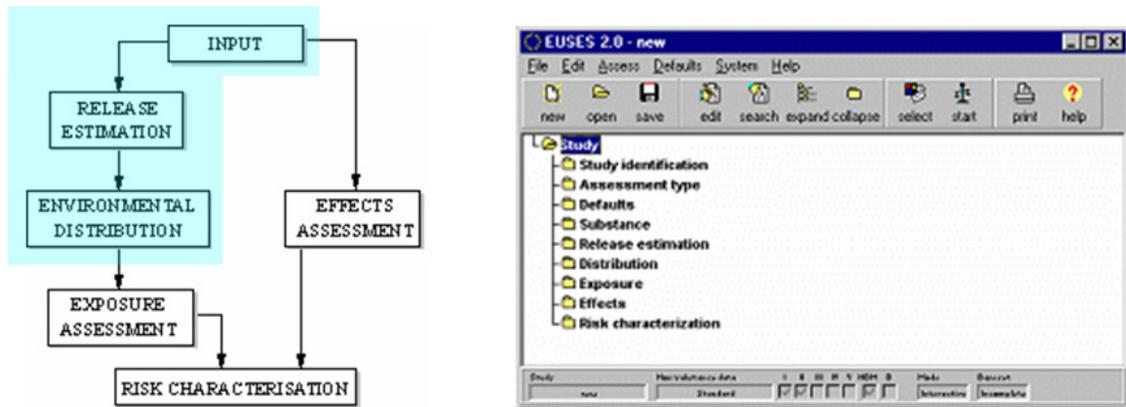
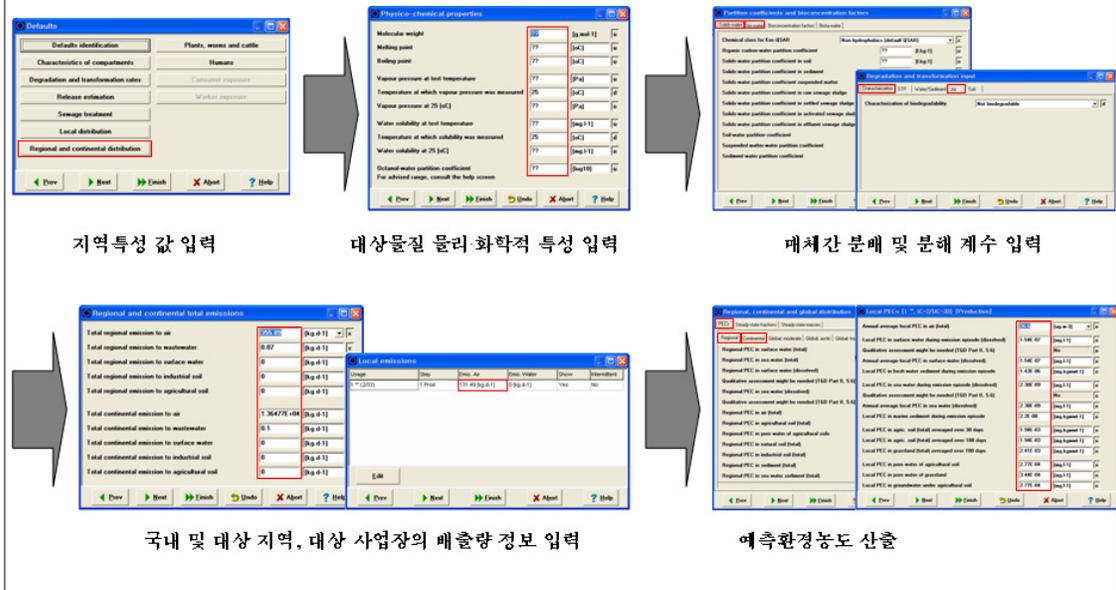


그림 8. EUSES 프로그램

[예시]

EUSES multi-media fate model에서는 기본적으로 지역에 관한 변수 및 각종매체에 대한 환경적 특징과 각 매체(대기, 수계, 퇴적물, 토양)에 따른 변수들을 입력하여 환경 분포평가를 수행한다.



변수 입력을 위해서 국내 기상청 통계자료, 환경부 통계연보 및 통계청 자료와 기존에 설계된 국내 환경거동 모델에서의 변수 등을 분석하여 신뢰성 있는 입력 값을 선택하고, 그 외 자료 확보가 어려운 변수들에 대해서는 EUSES 모델에서 기본적으로 적용하고 있는 기본 값을 사용하여 수행한다. 구동에 필요한 입력 값은 아래와 같다.

가. 지역 특성 값 입력

우리나라(해역 포함) 전역(Continental)과 대상지역(Regional), 해당지역(Local)에 위치한 OO사업장에 대한 지역특성 값 및 기상인자는 국내 통계자료를 이용하여 각 인구수, 면적, 면적비율, 연 평균 기온·풍속·강우량 등을 입력한다.

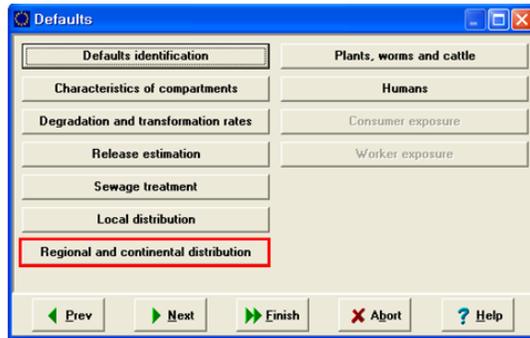
변수 목록	세부 목록	활용자료 목록
국토 면적	해역포함 또는 해역제외	국토해양부 2006년 건설교통분야 통계연보 국토 및 토지이용, 국토해양부 국립해양조사원 바닷물의 물리적 특성
면적 비율	수계	
	자연토양	
	농경지	
기상 자료	공단/도심	기상연보(2006)-기상 적요표, 기상청
	연 평균 기온	
	연 평균 풍속	
인구 자료	연 평균 강우량	국가통계포털-인구·가구-인구 총 조사(2005) 전수부문
	인구수	

$$AREA(cont) = AREA(EU) - AREA(reg)$$

AREA(EU) : 국내 전체 면적(해양포함) [m ²]
AREA(reg) : 대상지역의 면적(해양제외) [m ²]
AREA(cont) : 대상지역을 제외한 국내 배경지역의 면적 [m ²]

$$N(cont) = N(EU) - N(reg)$$

N(EU) : 국내 전체 인구수 [eq]
N(reg) : 대상지역의 인구수 [eq]
N(cont) : 대상지역을 제외한 국내 배경지역의 인구수 [eq]



지역특성 값 입력

Number of inhabitants of region	1.8895E+06	[eq]
Number of inhabitants in the EU	4.7279E+07	[eq]
Number of inhabitants of continental system	4.54E+07	[eq]
Area (land+rivers) of regional system	8.59987E+03	[km2]
Area fraction of fresh water, region (excl. sea)	0.055	[-]
Area fraction of natural soil, region (excl. sea)	0.581	[-]
Area fraction of agricultural soil, region (excl. sea)	0.324	[-]
Area fraction of industrial/urban soil, region (excl. sea)	0.04	[-]
Total area of EU (continent+region, incl. sea)	1.58668E+06	[km2]
Area (land+rivers+sea) of continental system	1.58E+06	[km2]
Area (land+rivers) of continental system	9.1E+04	[km2]
Area fraction of fresh water, continent (excl. sea)	0.047	[-]
Area fraction of natural soil, continent (excl. sea)	0.702	[-]
Area fraction of agricultural soil, continent (excl. sea)	0.215	[-]
Area fraction of industrial/urban soil, continent (excl. sea)	0.036	[-]
Area fraction of fresh water, continent (total)	2.71E-03	[-]
Area fraction of sea water, continent (total)	0.94229	[-]
Environmental temperature, regional scale	12.3	[°C]
Environmental temperature, continental scale	12.7	[°C]

나. 대상 화학물질에 대한 물리·화학적 특성

물리·화학적 특성에 대한 자료는 U.S. ATSDR(Agency for Toxic Substances and Disease Registry), UNEP Screening Information Datasets for High Volume Chemicals, European Union Risk Assessment Report 등에서 확보하여 분자량, 녹는점, 끓는점, 증기압, 수용해도, 옥탄올-물 분배계수 등에 대한 변수 값들을 입력한다. 추가 자료 수집을 위한 목록은 아래 표와 같다.

Property	Information	Reference
Molecular weight	78.11	Budavari et al. 2001
Color	Clear, colorless liquid	Budavari et al. 2001
Physical state	colorless to light yellow liquid	HSDB 2007
Melting point	5.5 °C	Budavari et al. 2001
Boiling point	80.1 °C	Budavari et al. 2001
Density at 15 °C, g/cm ³	0.8787	Budavari et al. 2001
Odor	Aromatic	NFPA 1994
Odor threshold:		
Water	2.0 mg/L	HSDB 2007
Air ^a	Detection range: 34–119 ppm (geometric mean: 61 ppm) Recognition: 97 ppm	AIHA 1989
Taste threshold:	0.5–4.5 mg/L	HSDB 2007
Solubility:		
Water at 25 °C	w/w: 0.188%	Budavari et al. 2001
Organic solvents	Alcohol, chloroform, ether, carbon disulfide, acetone, oils, carbon tetrachloride, glacial acetic acid	Budavari et al. 2001
Partition coefficients:		HSDB 2007; Karickhoff 1981; Kenaga 1980
Log K _{ow} ^b	2.13	
Log K _{oc} ^c	1.8–1.9	
Vapor pressure at 20 °C	75 mm Hg	NFPA 1994
Henry's law constant at 25 °C	5.5×10 ⁻³ atm·m ³ /mol	Mackay and Leinonen 1975
Autoignition temperature	498 °C	NFPA 1994
Flashpoint	-11 °C (closed cup)	Budavari et al. 2001
NFPA hazard classification:		HSDB 2007
Health	2.2	
Flammability	3.3	
Reactivity	0.0	
Flammability limits in air	1.2% (lower limit), 7.8% (upper limit)	NFPA 1994
Conversion factors	1 ppm=3.26 mg/m ³ at 20 °C and 1 atm pressure; 1 mg/m ³ =0.31 ppm	HSDB 2007
Explosive limits	1.4% (lower limit), 8% (upper limit)	HSDB 2007

Physico-chemical properties

Molecular weight	??	[g.mol-1]	u
Melting point	??	[oC]	u
Boiling point	??	[oC]	u
Vapour pressure at test temperature	??	[Pa]	u
Temperature at which vapour pressure was measured	25	[oC]	d
Vapour pressure at 25 [oC]	??	[Pa]	o
Water solubility at test temperature	??	[mg.l-1]	u
Temperature at which solubility was measured	25	[oC]	d
Water solubility at 25 [oC]	??	[mg.l-1]	o
Octanol-water partition coefficient	??	[log10]	u

For advised range, consult the help screen

Prev Next Finish Undo Abort Help

Molecular weight	78.11	[g.mol-1]
Melting point	5.5	[oC]
Boiling point	80.1	[oC]
Vapour pressure at test temperature	75	[mmHg]
Temperature at which vapour pressure was measured	20	[oC]
Vapour pressure at 25 [oC]	1.41E+04	[Pa]
Water solubility at test temperature	1.78E+03	[mg.l-1]
Temperature at which solubility was measured	25	[oC]
Water solubility at 25 [oC]	1.78E+03	[mg.l-1]
Octanol-water partition coefficient	2.13	[log10]

For advised range, consult the help screen

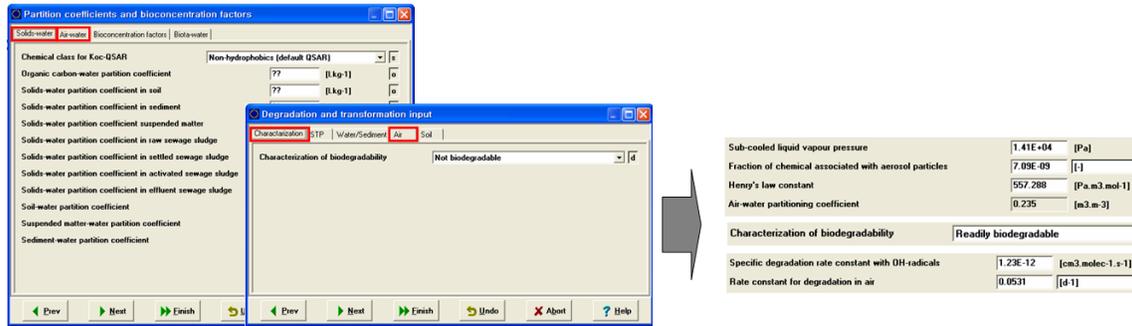
대상물질 물리·화학적 특성 입력

표 6. EUSES 모델에서 물리화학적 특성에 대한 정보 출처

Database	Address
Screening Information Datasets for high production chemicals (SIDS)	http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECD/SIDS/sidspub.html
Concise International Chemical assessment Documents - CICADs	http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/index.html
INERIS Chemical Substances Portal	http://chimie.ineris.fr/en/lien/basededonnees/environnementale/recherche/search1_1.php
IUCLID (International Uniform Chemical Information Database)	http://ecb.jrc.it/existing-chemicals/
TOXNET	http://toxnet.nlm.nih.gov/
Agency for Toxic Substances and Disease Registry - ATSDR	http://www.atsdr.cdc.gov/hazdat.html
International Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC	http://www.iupac.org/dhtml_home.html
European Water Quality Database - Waterbase	http://dataservice.eea.eu.int/dataservice/available2.asp?type=findkeyword&theme=waterbase
European Air Quality Database - Airbase	http://air-climate.eionet.eu.int/databases/airbase/
European landcover database - Corine	http://dataservice.eea.eu.int/dataservice/metadetails.asp?id=678
Catchment Characterisation and Modelling database - CCM	http://agrienv.jrc.it/activities/catchments/
European Rivers and Catchments database - ERICA	http://dataservice.eea.eu.int/dataservice/metadetails.asp?id=235
European Nature Information System - EUNIS	http://eunis.eea.eu.int/index.jsp
Towards a European Chemicals Information System : a survey on reported monitoring activities of chemicals in Europe	http://eea.eionet.eu.int/public/irc/eionet-circle/chemicals/library?l=/chemical_inventory&vm=detailed&Title
International Commission for the Protection of the Rhine (Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins - IKSR)	http://www.iksr.org/
Estimation of willingness-to-pay and cost-benefit analysis for reducing heavy metals occurrence in Europe (ESPreme)	http://espreme.ier.uni-stuttgart.de

다. 대상 화학물질의 매체간 분배 및 분해계수 입력

수집된 물리·화학적 특성에 대한 자료에서 각 매체에서의 분배 및 분해에 대한 값(Henry's law constant, Air-water partitioning coefficient, biodegradable, Specific degradation rate constant with OH- radicals)을 입력한다.

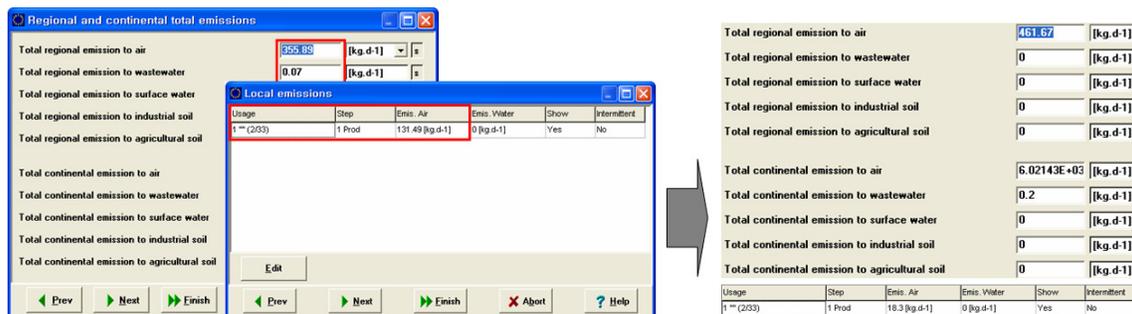


매체간 분배 및 분해 계수 입력

라. 배출량 정보 입력

EUSES에서 사용하고 있는 Simple Box model은 Continental scale, Regional scale 로 구분되어 있으므로, 각 Scale에서 매체별로 예측환경농도 값을 산출하기 위해서 배출량 정보를 입력해야 한다.

Scale	배출량 세부 항목	활용자료 목록
Continental	국내 점 배출량 + 비점배출량	2006년 화학물질 배출량 조사 2006년 비점오염원 화학물질 배출량 조사
Regional	대상지역 점 배출량 + 비점배출량	
Local	대상 사업장 점 + 비산배출량	



국내 및 대상 지역, 대상 사업장의 배출량 정보 입력

마. 각 Scale에서 매체별 예측농도 산출

EUSES 모델에서 산출되는 ○○사업장(Local)의 예측농도는 배출원으로부터 100m에 위치한 지점에서의 평균 농도로, 대기·지표수·토양·침전물에 대해 제시하고 있다.

Regional PEC in surface water (total)	2.33E-07	[mg.l-1]	Annual average local PEC in air (total)	5.13	[ug.m-3]
Regional PEC in sea water (total)	5.15E-08	[mg.l-1]	Local PEC in surface water during emission episode (dissolved)	2.33E-07	[mg.l-1]
Regional PEC in surface water (dissolved)	2.33E-07	[mg.l-1]	Qualitative assessment might be needed (TGD Part II, 5.6)		No
Qualitative assessment might be needed (TGD Part II, 5.6)		No	Annual average local PEC in surface water (dissolved)	2.33E-07	[mg.l-1]
Regional PEC in sea water (dissolved)	5.15E-08	[mg.l-1]	Local PEC in fresh-water sediment during emission episode	8.61E-07	[mg.kgwwt-1]
Qualitative assessment might be needed (TGD Part II, 5.6)		No	Local PEC in sea water during emission episode (dissolved)	5.15E-08	[mg.l-1]
Regional PEC in air (total)	0.04	[ug.m-3]	Qualitative assessment might be needed (TGD Part II, 5.6)		No
Regional PEC in agricultural soil (total)	5.28E-07	[mg.kgwwt-1]	Annual average local PEC in sea water (dissolved)	5.15E-08	[mg.l-1]
Regional PEC in pore water of agricultural soils	2.11E-07	[mg.l-1]	Local PEC in marine sediment during emission episode	1.91E-07	[mg.kgwwt-1]
Regional PEC in natural soil (total)	7.19E-07	[mg.kgwwt-1]	Local PEC in agric. soil (total) averaged over 30 days	1.05E-04	[mg.kgwwt-1]
Regional PEC in industrial soil (total)	7.19E-07	[mg.kgwwt-1]	Local PEC in agric. soil (total) averaged over 180 days	1.05E-04	[mg.kgwwt-1]
Regional PEC in sediment (total)	8.12E-07	[mg.kgwwt-1]	Local PEC in grassland (total) averaged over 180 days	1.13E-04	[mg.kgwwt-1]
Regional PEC in sea water sediment (total)	1.71E-07	[mg.kgwwt-1]	Local PEC in pore water of agricultural soil	4.18E-05	[mg.l-1]
			Local PEC in pore water of grassland	4.51E-05	[mg.l-1]
			Local PEC in groundwater under agricultural soil	4.18E-05	[mg.l-1]

국내 및 대상 지역, 대상 사업장의 매체별 예측환경농도 산출

바. EUSES 모델 수행 종합 (사례 제시)

임의의 대상지역 ○○사업장에서 배출되는 벤젠에 대하여 EUSES 모델을 통해 환경 중 농도를 예측해보고자 한다.

(1) 지역 특성 값

지역특성 값		전국	대상지역
연평균 기온(°C)		12.7	12.3
연강우량 총량(mm/yr)		1445.1	1088
연평균 풍속(m/s)		2.22	1.78
총 인구수 (명)		47,278,951	1,889,495
국토이용 면적(km ²)		1,586,678.12	8,599.87
국토이용 면적비율	수계	0.047	0.055
	자연	0.702	0.581
	농경지	0.215	0.324
	공단/도심	0.036	0.04

Number of inhabitants of region	1.8895E+06	[eq]
Number of inhabitants in the EU	4.7279E+07	[eq]
Number of inhabitants of continental system	4.54E+07	[eq]
Area (land+rivers) of regional system	8.59987E+03	[km2]
Area fraction of fresh water, region (excl. sea)	0.055	[-]
Area fraction of natural soil, region (excl. sea)	0.581	[-]
Area fraction of agricultural soil, region (excl. sea)	0.324	[-]
Area fraction of industrial/urban soil, region (excl. sea)	0.04	[-]
Total area of EU (continent+region, incl. sea)	1.58668E+06	[km2]
Area (land+rivers+sea) of continental system	1.58E+06	[km2]
Area (land+rivers) of continental system	9.1E+04	[km2]
Area fraction of fresh water, continent (excl. sea)	0.047	[-]
Area fraction of natural soil, continent (excl. sea)	0.702	[-]
Area fraction of agricultural soil, continent (excl. sea)	0.215	[-]
Area fraction of industrial/urban soil, continent (excl. sea)	0.036	[-]
Area fraction of fresh water, continent (total)	2.71E-03	[-]
Area fraction of sea water, continent (total)	0.94229	[-]
Environmental temperature, regional scale	12.3	[oC]
Environmental temperature, continental scale	12.7	[oC]

(2) 대상 화학물질의 물리·화학적 특성 및 매체간 분배 및 분해계수 입력

물리·화학적 특성 및 매체간 분배 및 분해계수	벤젠
분자량(g/mol)	78.11
녹는점(°C)	5.5
끓는점(°C)	80.1
시험온도에서의 증기압 25°C에서의 증기압	20°C - 75mmHg 1.41E+04 mmHg
시험온도에서의 물에 대한 용해도 25°C에서의 물에 대한 용해도	25°C - 1.78E+03 mg/ℓ 1.78E+03 mg/ℓ
옥탄올-물 분배계수(log10)	2.13
Koc-QSAR에 의한 화학물질 분류	Non-hydrophobics
헨리상수(Pa·m ³ /mol)	557.288
생분해능 의 특성	Readily biodegradable
OH-의 특정 분해율 상수	1.23E-12

Molecular weight	<input type="text" value="78.11"/>	[g.mol-1]
Melting point	<input type="text" value="5.5"/>	[oC]
Boiling point	<input type="text" value="80.1"/>	[oC]
Vapour pressure at test temperature	<input type="text" value="75"/>	[mmHg]
Temperature at which vapour pressure was measured	<input type="text" value="20"/>	[oC]
Vapour pressure at 25 [oC]	<input type="text" value="1.41E+04"/>	[Pa]
Water solubility at test temperature	<input type="text" value="1.78E+03"/>	[mg.l-1]
Temperature at which solubility was measured	<input type="text" value="25"/>	[oC]
Water solubility at 25 [oC]	<input type="text" value="1.78E+03"/>	[mg.l-1]
Octanol-water partition coefficient	<input type="text" value="2.13"/>	[log10]
For advised range, consult the help screen		
Sub-cooled liquid vapour pressure	<input type="text" value="1.41E+04"/>	[Pa]
Fraction of chemical associated with aerosol particles	<input type="text" value="7.09E-09"/>	[-]
Henry's law constant	<input type="text" value="557.288"/>	[Pa.m3.mol-1]
Air-water partitioning coefficient	<input type="text" value="0.235"/>	[m3.m-3]
Characterization of biodegradability	<input type="text" value="Readily biodegradable"/>	
Specific degradation rate constant with OH-radicals	<input type="text" value="1.23E-12"/>	[cm3.molec-1.s-1]
Rate constant for degradation in air	<input type="text" value="0.0531"/>	[d-1]

(3) 배출량 정보 입력

배출량 조사를 통해 얻은 자료의 배출량 단위는 kg/yr를 사용하고 있으므로, 모델에 적합하도록 배출량 단위를 kg/day로 조정하여 입력한다.

구분	매체	점원	비점원	합계	단위
전국	대기	1,151.28	5,331.82	6,483.10	kg/yr
	폐수	0.20	0	0.20	kg/yr
	공업토양	0	0	0	kg/yr
대상지역	대기	196.18	265.49	461.67	kg/yr
	폐수	0	0	0	kg/yr
	공업토양	0	0	0	kg/yr
OO사업장	대기	5,490	-	5,490	kg/yr

배출량 자료	전국	대상지역	OO 사업장
대기로 배출(kg/day)	6,021.43	461.67	15.04
폐수로 배출(kg/day)	0.2	0	0
지표수로 배출(kg/day)	0	0	0
산업토양으로 배출(kg/day)	0	0	0
농경토양으로 배출(kg/day)	0	0	0

Total regional emission to air	461.67	[kg.d-1]			
Total regional emission to wastewater	0	[kg.d-1]			
Total regional emission to surface water	0	[kg.d-1]			
Total regional emission to industrial soil	0	[kg.d-1]			
Total regional emission to agricultural soil	0	[kg.d-1]			
Total continental emission to air	6.02143E+03	[kg.d-1]			
Total continental emission to wastewater	0.2	[kg.d-1]			
Total continental emission to surface water	0	[kg.d-1]			
Total continental emission to industrial soil	0	[kg.d-1]			
Total continental emission to agricultural soil	0	[kg.d-1]			
Usage	Step	Emis. Air	Emis. Water	Show	Intermittent
1** (2/33)	1 Prod	15.04 [kg.d-1]	0 [kg.d-1]	Yes	No

(4) 각 Scale에서 매체별 예측농도 산출

EUSES 모델에서 산출되는 ○○사업장의 예측농도는 배출원으로부터 100m에 위치한 지점에서의 평균 농도로, 본 연구에서 산정한 각 매체별 예측환경농도는 일반 대기에서 대상지역이 0.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ○○사업장 인근이 5.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 대기를 제외한 다른 매체에서는 낮은 수준으로 나타났다.

물리·화학적 특성, 배체간 분배 및 분배계수	벤젠
분자량(g/mol)	78.11
녹는점(°C)	5.5
끓는점(°C)	80.1
시험온도에서의 증기압 25°C에서의 증기압	20°C - 75mmHg 1.41E+04 mmHg
시험온도에서의 물에 대한 용해도	25°C - 1.78E+03 mg/ℓ
25°C에서의 물에 대한 용해도	1.78E+03 mg/ℓ
옥탄올-물 분배계수(log10)	2.13
Koc-QSAR에 의한 화학물질 분류	Non-hydrophobics
헨리상수(Pa·m ³ /mol)	557.288
생분해능의 특성	Readily biodegradable
OH-의 특정 분해반 상수	1.23E-12

지역특성 값		전국	대상지역
연평균 기온(°C)		12.7	12.3
연강수량 총량(mm/yr)		1445.1	1088
연평균 풍속(m/s)		2.22	1.78
총 인구수 (명)		47,278,951	1,889,495
국토이용 면적(km ²)		1,586,678.12	8,599.87
국토이용 면적비율	수계	0.047	0.055
	자연	0.702	0.581
	농경지	0.215	0.324
	공단/도심	0.036	0.04

배출원 PEC		전국	대상지역	○○사업장
대기($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		1.84E-02	4.00E-02	5.13E+00
지표수(mg/ℓ)		1.10E-07	2.33E-07	2.33E-07
농경(mg/kg)	생태계(mg/kg)	2.47E-07	5.28E-07	1.05E-04
자연(mg/kg)	농경지(mg/kg)	3.28E-07	7.19E-07	1.05E-04
공업(mg/kg)	목초지(mg/kg)	3.28E-07	7.19E-07	1.13E-04
침전물(mg/kg)		3.84E-07	8.12E-07	8.61E-07

배출량 자료	전국	대상지역	○○사업장
대기로 배출(kg/day)	6,021.43	461.67	15.04
폐수로 배출(kg/day)	0.2	0	0
지표수로 배출(kg/day)	0	0	0
산림토양으로 배출(kg/day)	0	0	0
농경토양으로 배출(kg/day)	0	0	0

구분	매체	전국 ¹⁾	대상지역 ²⁾	○○사업장 ³⁾	단위		
배출량 ⁴⁾	대기	6,021.43	461.67	15.04	kg/d		
	폐수	0.20	0	0	kg/d		
	공업토양	0	0	0	kg/d		
PEC	대기	0.0184	0.04	5.13	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	토양	지표수	1.10E-07	2.33E-07	2.33E-07	mg/l	
		농경 생태계	농경지	2.47E-07	5.28E-07	1.05E-04	mg/kg
			자연 농경지	3.28E-07	7.19E-07	1.05E-04	mg/kg
		공업 목초지	3.28E-07	7.19E-07	1.13E-04	mg/kg	
	침전물	3.84E-07	8.12E-07	8.61E-07	mg/kg		
총합	- 대기, 토양, 지표수에 대하여 Continental, Regional, Local로 구분하여 농도 제시						

1) 국가전체의 점원 + 비점원 배출량(2006년 TRI + 2006년 비점오염원)

2) 대상지역의 점원 + 비점원 배출량(2006년 TRI + 2006년 비점오염원)

3) 대상지역에 위치한 사업장 배출량(2006년 TRI)

4) 대기배출량(대기점+대기비산), 폐수(수계배출량), 공업토양(토양배출량+자가매립량)

※ Continental(전국), Regional(대상지역)에서는 토양을 “농경·자연·공업토양”으로 구분하고, Local(사업장)은 토양을 “생태계·농경지·목초지토양”으로 구분한다.

3. 대기환경 예측농도 산정(CALPUFF모델 활용)

CALPUFF모델은 세계 각국의 연구자들에 의하여 상당시간 동안 검증된 모델이며 (Levy 외, 2002; Elbir, 2004; Holmes와 Morawska, 2006;) 최근에도 지속적으로 환경영향 평가를 포함한 다양한 분야에서 활용되고 있는 모델이다 (Hao 외, 2007; Henderson 외, 2008; Rood 외, 2008). CALPUFF모델은 ASG (Atmospheric Study Group) 홈페이지 (<http://www.src.com/>)에서 다운로드 받을 수 있다. CALPUFF 모델은 다음과 같은 특징을 가지고 있어, 사업장 주변 등 세부지역에 대한 대기환경 모사에 적합한 모델이다.

- 점·선·면 오염원에 대한 시간에 따른 농도변화 계산 능력이 있음
- 공간의 크기에 대한 제약이 적음(오염원에 대한 수십 미터에서 수백 킬로미터 까지 모델링이 가능함)
- 한 시간에서 1년까지의 평균화 시간에 대한 농도 예측이 가능함
- 비활성 오염물질은 물론 화학변화를 일으키는 오염물질에 대해서도 예측 가능함
- 건물을 포함한 복잡한 지형상황에서도 모사할 수 있다.
- 기상예측자료를 활용할 수 있다.

CALPUFF 모델은 크게 세 가지 요소로 구성되어 있다.(Scire et al., 1990a, 1990b)

첫째, 기상장에 대한 진단(Diagnostic)·예측(Prognostic)이 가능한 CALMET모델
둘째, 이류, 확산, 화학적 제거 및 침적, 복잡지형 알고리즘, 빌딩다운워시, 연기침강 등의 효과들을 계산하여 대기농도를 예측할 수 있는 CALPUFF모델
셋째, 기상 자료와 농도 및 침적량 등에 대한 결과를 확인할 수 있는, 후처리 모듈인 CALPOST모델

CALPUFF 모델의 사용방법은 본 해설서의 부록에 수록하였다.

[예시]

CALPUFF모델은 세계 각국의 연구자들에 의하여 상당시간동안 검증된 모델이며 (Levy 외, 2002; Elbir, 2004; Holmes와 Morawska, 2006;), 최근에도 지속적으로 환경영향평가를 포함한 다양한 분야에서 활용되고 있는 모델이다(Hao 외, 2007; Henderson 외, 2008; Rood 외, 2008). 또한 시간과 공간의 크기에 대한 제약이 적고, 건물을 포함한 복잡한 지형상황에서도 모사할 수 있어, 3면이 바다이고 산악지대가 많은 우리나라의 환경에 적합한 모델이다(문난경 외, 2005).

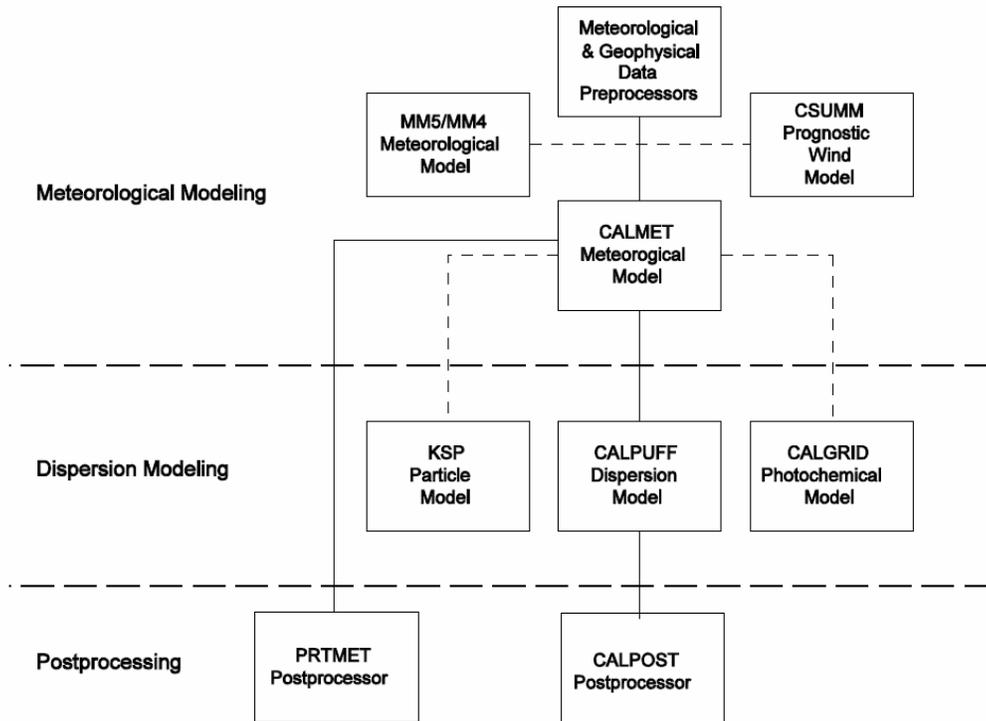


그림 X. CALPUFF모델의 실행 구조

제 3 절 인체노출량 산정

1. 대기오염에 의한 인체 노출

가. 개요

환경오염물질에 대한 인체 노출 평가란 각 화학물질의 정성 및 정량적 분석 자료를 근거로 화학물질이 인체 내부로 들어오는 노출 수준을 추정하는 과정⁶³⁾을 말한다.

나. 인체 노출량 산정 절차

환경 매체중 농도를 직접 측정하거나 환경내 거동모형 등의 시나리오를 이용하여 추정한 노출 농도 결과와 환경 매체와 관련된 노출 경로(예. 대기의 경우 흡입)별 노출 강도, 노출율, 노출기간 또는 노출빈도 등을 고려하여 인체 노출량을 산정한다.⁶⁴⁾

다. 인체 노출량 산정 방법

대기 중 오염물질의 흡입 노출량은 국립환경과학원 고시 제2006-30호(위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침)에 제시된 수식을 활용하여 산출한다.

대기 중 오염물질의 흡입 노출량 = 대기 중 오염물질 농도 × 호흡률 × 노출 기간 / 체중 × 평균 노출 기간	
$(L)ADD_{air,inh} = C_a \times IR_{inh} \times ED / BW \times AT$	

모수	내용	단위
(L)ADD _{air,inh}	대기 중 오염물질의 흡입 노출량	mg/kg-day
C _a	대기 중 오염도	μg/m ³
IR _{inh}	호흡율	m ³ /day
ED	노출기간	years
BW	체중	kg
AT	평균 노출 기간	days

라. 노출 모수 확보 방법

각각의 노출 모수에 대한 실측 결과가 있는 경우 이를 활용하고, 그렇지 않은 경우

63) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

64) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

에는 다음과 같은 자료원을 이용하도록 하도록 한다(출처 및 근거를 명기해야함).

- 대기중 오염도 (Concentration in air, C_a) : 실측 결과 또는 앞서 기술된 환경 예측 농도 산정 결과(전국, 지역, 사업장 부근에서의 모델 예측 농도)를 이용
- 호흡률(Inhalation Rate, IR_{inh}) : 호흡률이란 호흡을 통해 대기와 신체가 접하는 비율로, 일일 호흡율은 국립환경과학원 고시 제2006-30호 별표 7에 제시된 수치인 성인 평균 호흡률(평균 $13.0m^3/day$, 표준편차 $0.9m^3/day$)을 이용
- 노출기간 (Exposure Duration, ED) : 노출 기간이란 오염물질과의 접촉 기간으로 일반적으로 환경기준 설정시에는 70년을 가정하지만, 오염지역의 건강영향을 예측하는 경우에는 25년을 가정함(국립환경과학원, 2007)
- 체중 (Body Weight, BW) : 노출 대상 집단의 노출이 발생하는 기간동안의 평균 체중으로, 노출량 산정에 공통적으로 사용됨. 체중은 국립환경과학원 고시 제2006-30호 별표 7에 제시된 수치인 성인 평균 체중을 적용(평균 62 kg, 표준편차 8.8kg)
- 평균 노출 기간 (Averaging Time, AT) : 평균 노출 기간은 발암성 영향에 대한 평가시에는 기대수명 전체를 고려하고, 비발암 독성 평가시에는 노출 기간을 그대로 평균 노출 기간으로 적용(EPA, 1989)

마. 인체 노출량 산정 결과

인체 노출량 산정 수식에 각각의 노출 모수를 입력하여 인체 노출량을 산정한다. 예를 들어 산정된 흡입 노출량이 0.002 mg/kg-d 인 경우, 대상물질에 흡입 경로를 통해 일일평균 체중 1kg 당 0.002mg 정도로 노출된다는 것을 의미하나, 이 수치 자체의 의미는 해석하기 어려우므로 노출에 대한 최종 해석은 위해성 평가 결과를 참고하면 된다.

[예시]

※가상의 농도($5.13\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 이용한 벤젠에 대한 평생일일평균흡입노출량 (노출 기간 70년)
 $= \text{대기중 오염도} \times \text{호흡율} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간}$
 $= 5.13 (\mu\text{g}/\text{m}^3) \times 13.0 (\text{m}^3/\text{day}) \times 70 (\text{years}) / 62 \text{ kg} \times 28,900 (\text{days}) = 0.951 \mu\text{g}/\text{kg-day} = 9.51 \times 10^{-4} \text{ mg}/\text{kg-day}$

※가상의 농도($5.13\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 이용한 벤젠에 대한 일일평균흡입노출량 (노출 기간 25년)
 $= \text{대기중 오염도} \times \text{호흡율} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간}$
 $= 5.13 (\mu\text{g}/\text{m}^3) \times 13.0 (\text{m}^3/\text{day}) \times 25 (\text{years}) / 62 \text{ kg} \times 9,125 (\text{days}) = 1.08 \mu\text{g}/\text{kg-day} = 1.08 \times 10^{-3} \text{ mg}/\text{kg-day}$

2. 수계오염에 의한 인체 노출

가. 개요

환경오염물질에 대한 인체 노출 평가란 각 화학물질의 정성 및 정량적 분석 자료를 근거로 화학물질이 인체 내부로 들어오는 노출 수준을 추정하는 과정⁶⁵⁾을 말한다.

나. 인체 노출량 산정 절차

환경 매체중 농도를 직접 측정하거나 환경내 거동모형 등의 시나리오를 이용하여 추정한 노출 농도 결과와 환경 매체와 관련된 노출 경로(예. 먹는물의 경우 주로 섭취) 별 노출강도, 노출율, 노출기간 또는 노출빈도 등을 고려하여 인체 노출량을 산정한다.⁶⁶⁾

다. 인체 노출량 산정 방법

먹는물 중 오염물질의 섭취 노출량은 국립환경과학원 고시 제2006-30호(위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침)에 제시된 수식을 활용하여 산출한다.

$\text{먹는물 중 오염물질의 섭취 노출량} = \text{먹는물 중 오염물질 농도} \times \text{먹는물 섭취량} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간}$
$(L)ADD_{\text{water,ing}} = C_w \times IR_{\text{ing}} \times ED / BW \times AT$

모수	내용	단위
(L)ADD _{water,ing}	먹는물 중 오염물질의 섭취 노출량	mg/kg-day
C _w	먹는물 중 오염도	μg/L
IR _{ing}	먹는물 섭취량	L/day
ED	노출기간	years
BW	체중	kg
AT	평균 노출 기간	days

라. 노출 모수 확보 방법

각각의 노출 모수에 대한 실측 결과가 있는 경우 이를 활용하고, 그렇지 않은 경우에는 다음과 같은 자료원을 이용하도록 하도록 한다(출처 및 근거를 명기해야함).

65) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

66) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

- 먹는물 중 오염도 (Concentration in water C_w) : 실측 결과 또는 예측 농도를 이용 (단, EUSES를 이용하여 산출된 수계중 해당 물질의 농도 지표수의 것이므로 직접적 활용은 불가능함)
- 먹는물 섭취량(Ingestion Rate, IR_{ing}) : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 별표 7에 제시된 수치인 물 섭취률(평균 1.4 L/day)을 적용
- 노출기간 (Exposure Duration, ED) : 노출 기간이란 오염물질과의 접촉 기간으로 일반적으로 환경기준 설정시에는 70년을 가정하지만, 오염지역의 건강영향을 예측하는 경우에는 25년을 가정함(국립환경과학원, 2007)
- 체중 (Body Weight, BW) : 노출 대상 집단의 노출이 발생하는 기간 동안의 평균 체중으로, 노출량 산정에 공통적으로 사용됨. 체중은 국립환경과학원 고시 제2006-30호 별표 7에 제시된 수치인 성인 평균 체중을 적용(평균 62 kg, 표준편차 8.8kg)
- 평균 노출 기간 (Averaging Time, AT) : 평균 노출 기간은 발암성 영향에 대한 평가시에는 기대수명 전체를 고려하고, 비발암 독성 평가시에는 노출 기간을 그대로 평균 노출 기간으로 적용(EPA, 1989)

마. 인체 노출량 산정 결과

인체 노출량 산정 수식에 각각의 노출 모수를 입력하여 인체 노출량을 산정한다. 예를 들어, 산정된 섭취 노출량이 0.002 mg/kg-d인 경우, 대상물질에 섭취 경로를 통해 일일평균 체중 1kg 당 0.002mg 정도로 노출된다는 것을 의미하나, 이 수치 자체의 의미는 해석하기 어려우므로 노출에 대한 최종 해석은 위해성 평가 결과를 참고하면 된다.

[예시]

$$\begin{aligned}
 & \text{※가상의 농도}(5\mu\text{g/L})\text{를 이용한 벤젠에 대한 평생일일평균섭취노출량 (노출 기간 70년)} \\
 & = \text{먹는물중 오염도} \times \text{먹는물 섭취량} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간} \\
 & = 5 (\mu\text{g/L}) \times 1.4 (\text{L/day}) \times 70 (\text{years}) / 62 \text{ kg} \times 28,900 (\text{days}) = 0.010 \mu\text{g/kg-day} = 1.0 \times 10^{-5} \\
 & \text{mg/kg-day}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{※가상의 농도}(5\mu\text{g/L})\text{를 이용한 벤젠에 대한 일일평균섭취노출량 (노출 기간 25년)} \\
 & = \text{먹는물중 오염도} \times \text{먹는물 섭취량} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간} \\
 & = 5 (\mu\text{g/L}) \times 1.4 (\text{L/day}) \times 25 (\text{years}) / 62 \text{ kg} \times 9,125 (\text{days}) = 0.113 \mu\text{g/kg-day} = 1.13 \times 10^{-4} \\
 & \text{mg/kg-day}
 \end{aligned}$$

3. 토양오염에 의한 인체 노출

가. 개요

환경오염물질에 대한 인체 노출 평가란 각 화학물질의 정성 및 정량적 분석 자료를 근거로 화학물질이 인체 내부로 들어오는 노출 수준을 추정하는 과정⁶⁷⁾을 말한다.

나. 인체 노출량 산정 절차

환경 매체중 농도를 직접 측정하거나 환경내 거동모형 등의 시나리오를 이용하여 추정한 노출 농도 결과와 환경 매체와 관련된 노출 경로(예. 토양중 휘발성 물질의 경우 주로 섭취, 흡입 및 피부 접촉)별 노출강도, 노출율, 노출기간 또는 노출빈도 등을 고려하여 인체 노출량을 산정한다.⁶⁸⁾

다. 인체 노출량 산정 방법

토양 중 오염물질의 노출량은 환경부 예규 제283호(토양오염 위해성평가지침)에 제시된 수식을 활용하여 산출한다.

$$\begin{aligned} & \text{토양 경구 섭취 노출량} = \text{토양 중 오염물질 농도} \times \text{토양 섭취량} \\ & \quad \times \text{단위전환인자} \times \text{섭취흡수계수} \times \text{노출 빈도} \times \text{노출 기간} \\ & \quad / \text{체중} \times \text{평균노출시간} \\ (L)ADD_{\text{soil,ing}} &= C_s \times IR_{\text{soil}} \times CF_{1,2} \times FI \times EF \times ED / BW \times AT \end{aligned}$$

모수	내용	단위
(L)ADD _{soil,ing}	토양 중 오염물질의 섭취 노출량	ng/kg-day
C _s	토양 중 오염도	mg/kg
IR _{soil}	토양섭취량	mg/day
CF ₁	단위전환인자 1	kg/mg
CF ₂	단위전환인자 2	ng/mg
FI	섭취흡수계수	unitless
EF	노출빈도	days/years
ED	노출기간	years
BW	체중	kg
AT	평균 노출 기간	days

67) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

68) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

$$\text{토양 흡입 노출량} = \text{토양 중 오염물질 농도} \times \text{휘발계수} \times \text{노출 시간} \times \text{호흡율} \times \text{노출 시간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간}$$

$$(L)ADD_{\text{soil,inh}} = C_s \times VF \times ET_o \times IR_{\text{inh}} \times CF \times ED / BW \times AT$$

모수	내용	단위
(L)ADD _{soil,inh}	토양 중 오염물질의 흡입 노출량	ng/kg-day
C _s	토양 중 오염도	mg/kg
VF	휘발계수	[mg/m ³ -air]/ [mg/kg-soil]
ET _o	일일평균 실외 노출 시간	hours/day
IR _{inh}	호흡률	m ³ /day
CF	단위전환인자	ng/mg
ED	노출기간	years
BW	체중	kg
AT	평균 노출 기간	days

※ 중금속과 같이 휘발 가능성이 거의 없어 토양중 오염물질의 흡입 노출과 관련이 없는 물질의 경우에는 본 노출 경로에 대한 노출량을 산정하지 않음.

$$\text{토양 피부 접촉 노출량} = \text{토양 중 오염물질 농도} \times \text{단위전환인자} \times \text{노출체표면적} \times \text{토양-피부간 흡착계수} \times \text{피부흡수계수} \times \text{노출빈도} \times \text{노출기간} / \text{체중} \times \text{평균노출시간}$$

$$(L)ADD_{\text{soil,derm}} = C_s \times CF_{1,2} \times SA \times AF \times ABS_d \times EF \times ED / BW \times AT$$

모수	내용	단위
(L)ADD _{soil,derm}	토양 중 오염물질의 피부 접촉 노출량	ng/kg-day
C _s	토양 중 오염도	mg/kg
CF ₁	단위전환인자 1	kg/mg
CF ₂	단위전환인자 2	ng/mg
SA	노출체표면적	cm ²
AF	토양-피부간 흡착계수	mg/cm ²
ABS _d	피부흡수계수	unitless
EF	노출빈도	days/years
ED	노출기간	years
BW	체중	kg
AT	평균 노출 기간	days

라. 노출 모수 확보 방법

각각의 노출 모수에 대한 실측 결과가 있는 경우 이를 활용하고, 그렇지 않은 경우에는 다음과 같은 자료원을 이용하도록 한다(출처 및 근거를 명기해야함).

- 토양 중 오염도 (Concentration in soil, C_s) : 실측 결과 또는 앞서 기술된 환경 예측 농도 산정 결과(해당물질에 대한 배출량 정보를 활용하여 도출된 토양중 농도값(농경지, 자연토양지, 공업지 등 용도별 전국, 지역, 사업장 부근에서의 모델 예측 농도))를 이용
- 토양 섭취량(Soil Ingestion Rate, IR_{soil}) : 토양 섭취량은 국립환경과학원 고시 (2007)에 제시된 위해성 평가를 위한 인체 노출계수표에 따라 성인의 평균 토양 섭취량 50 mg/day를 적용
- 섭취흡수계수(Fraction of Ingestion, FI) : 토양 섭취량은 환경부 예규 제283호에 제시된 지침용 노출인자표에 따라 토양 섭취 흡수계수 '1'을 적용
- 휘발계수 (Vaporization Factor, VF) : 토양에서 공기로의 휘발계수(VF)란 토양 중 오염물질이 휘발하여 공기 중으로 이동하는 정도를 나타내며, 토양 중 오염물질의 휘발로 인한 흡입 노출량 산정시 토양 중 오염물질 농도와 곱하여 토양으로부터 휘발된 공기중 농도를 산정할 때에 사용됨. 주로 휘발성 물질과 관련되며, 환경부 예규 제283호(토양오염 위해성평가지침)에 제시된 주요 휘발성 유기물질(BTEX)에 대한 휘발계수를 이용
- 일일평균 실외 노출 시간 (Exposure Time, ET_o) : 노출 시간이란 하루중 오염물질에 노출되는 시간을 의미하며, 환경부 예규 제283호 토양 위해성 평가 지침(실외 노출 시간 1.4시간/일, 실내 노출 시간 22.9시간/일)에 따라 적용
- 호흡율(Inhalation Rate, IR_{inh}) : 호흡율이란 호흡을 통해 대기와 신체가 접하는 비율로, 일일 호흡율은 국립환경과학원 고시 제2006-30호 별표 7에 제시된 수치인 성인 평균 호흡률(평균 13.0m³/day, 표준편차 0.9m³/day)을 이용
- 노출체표면적 (skin surface area available for contact, SA) : 환경부 예규 제283호에 제시된 지침용 노출인자표에 따라 주거/농업지역 성인의 평균 토양접촉 노출 체표면적 5,700cm²를 적용(참고 : 주거/농업지역 성인 5,700cm², 주거/농업지역 어린이 2,800cm², 상업/산업지역 성인 3,300cm²)
- 토양-피부간 흡착계수 (Soil-Skin Adherence Factor, AF) : 환경부 예규 제283호에 제시된 지침용 노출인자표에 따라 0.07 mg/cm² 적용(참고 : 성인 0.07, 어린이 0.2)
- 피부흡수계수 (Dermal absorption rate, ABSd) : 토양 중 오염물질이 피부에 노출된 후 실제 피부로 흡수되는 비율을 말하며, 이는 물질 특성별로 서로 다

름. 환경부 예규 제283호에 제시된 지침용 노출인자표에 따르면 비소의 경우 0.03, 반휘발성 유기물은 0.1, 휘발성 물질은 0.5를 적용

- 노출 빈도 (Exposure Frequency, EF) : 노출 빈도는 환경부 예규 제283호에 제시된 지침용 노출인자표에 따라 연간 365일 노출되는 것으로 가정(참고 : 주거/농업지역 365일/년, 상업/산업지역 250일/년)
- 노출기간 (Exposure Duration, ED) : 노출 기간이란 오염물질과의 접촉 기간으로 일반적으로 환경기준 설정시에는 70년을 가정하지만, 오염지역의 건강영향을 예측하는 경우에는 25년을 가정함(국립환경과학원, 2007)
- 체중 (Body Weight, BW) : 노출 대상 집단의 노출이 발생하는 기간동안의 평균 체중으로, 노출량 산정에 공통적으로 사용됨. 체중은 국립환경과학원 고시 제2006-30호 별표 7에 제시된 수치인 성인 평균 체중을 적용(평균 62 kg, 표준편차 8.8kg)
- 평균 노출 기간 (Averaging Time, AT) : 평균 노출 기간은 발암성 영향에 대한 평가시에는 기대수명 전체를 고려하고, 비발암 독성 평가시에는 노출 기간을 그대로 평균 노출 기간으로 적용(EPA, 1989)

마. 인체 노출량 산정 결과

인체 노출량 산정 수식에 각각의 노출 모수를 입력하여 인체 노출량을 산정한다. 예를 들어 산정된 흡입 노출량이 0.002 mg/kg-d인 경우, 대상물질에 일일평균 체중 1kg 당 0.002mg 정도로 노출된다는 것을 의미하나, 이 수치 자체의 의미는 해석하기 어려우므로 노출에 대한 최종 해석은 위해성 평가 결과를 참고하면 된다.

[예시] 토양중 벤젠의 농도가 1.05×10^4 mg/kg인 경우

※ 벤젠에 대한 평생일일평균섭취노출량 계산 사례 (노출 기간 70년)

$$\begin{aligned} &= \text{토양중 오염도} \times \text{토양섭취량} \times \text{섭취흡수계수} \times \text{노출빈도} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간} \\ &= 1.05 \times 10^4 \text{ (mg/kg)} \times 50 \text{ (mg/day)} \times 1 \times 365 \text{ (days/year)} \times 70 \text{ (years)} / 62 \text{ kg} \times 28,900 \text{ (days)} = \\ &7.49 \times 10^5 \text{ ng/kg-day} \end{aligned}$$

※ 벤젠에 대한 일일평균섭취노출량 계산 사례 (노출 기간 25년)

$$\begin{aligned} &= \text{토양중 오염도} \times \text{토양섭취량} \times \text{섭취흡수계수} \times \text{노출빈도} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간} \\ &= 1.05 \times 10^4 \text{ (mg/kg)} \times 50 \text{ (mg/day)} \times 1 \times 365 \text{ (days/year)} \times 25 \text{ (years)} / 62 \text{ kg} \times 9,125 \text{ (days)} = \\ &8.47 \times 10^5 \text{ ng/kg-day} \end{aligned}$$

※ 벤젠에 대한 평생일일평균흡입노출량 계산 사례 (노출 기간 70년)

$$\begin{aligned} &= \text{토양중 오염도} \times \text{휘발계수} \times \text{일일평균실외노출시간} \times \text{호흡률} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간} \\ &= 1.05 \times 10^4 \text{ (mg/kg)} \times 7.8 \times 10^5 \text{ ([mg/m}^3\text{-air]/[mg/kg-soil])} \times 1.14 \text{ (hrs/day)} \times 13 \text{ (m}^3\text{/day)} \times 70 \text{ (years)} \\ &/ 62 \text{ (kg)} \times 28,900 \text{ (days)} = 7.21 \times 10^5 \text{ ng/kg-day} \end{aligned}$$

※ 벤젠에 대한 일일평균흡입노출량 계산 사례 (노출 기간 25년)

$$\begin{aligned} &= \text{토양중 오염도} \times \text{휘발계수} \times \text{일일평균실외노출시간} \times \text{호흡률} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간} \\ &= 1.05 \times 10^4 \text{ (mg/kg)} \times 7.8 \times 10^5 \text{ ([mg/m}^3\text{-air]/[mg/kg-soil])} \times 1.14 \text{ (hrs/day)} \times 13 \text{ (m}^3\text{/day)} \times 25 \text{ (years)} \\ &/ 62 \text{ (kg)} \times 9,125 \text{ (days)} = 8.16 \times 10^5 \text{ ng/kg-day} \end{aligned}$$

※ 벤젠에 대한 평생일일평균피부접촉노출량 계산 사례 (노출 기간 70년)

$$\begin{aligned} &= \text{토양중 오염도} \times \text{노출체표면적} \times \text{토양-피부간 흡착계수} \times \text{피부흡수계수} \times \text{노출빈도} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간} \\ &= 1.05 \times 10^4 \text{ (mg/kg)} \times 5,700 \text{ (cm}^2\text{)} \times 0.07 \text{ (mg/cm}^2\text{)} \times 0.5 \times 365 \text{ (days/year)} \times 70 \text{ (years)} / 62 \text{ (kg)} \times \\ &28,900 \text{ (days)} = 2.99 \times 10^4 \text{ ng/kg-day} \end{aligned}$$

※ 벤젠에 대한 일일평균피부접촉노출량 계산 사례 (노출 기간 25년)

$$\begin{aligned} &= \text{토양중 오염도} \times \text{노출체표면적} \times \text{토양-피부간 흡착계수} \times \text{피부흡수계수} \times \text{노출빈도} \times \text{노출 기간} / \text{체중} \times \text{평균 노출 기간} \\ &= 1.05 \times 10^4 \text{ (mg/kg)} \times 5,700 \text{ (cm}^2\text{)} \times 0.07 \text{ (mg/cm}^2\text{)} \times 0.5 \times 365 \text{ (days/year)} \times 25 \text{ (years)} / 62 \text{ (kg)} \times \\ &9,125 \text{ (days)} = 3.38 \times 10^4 \text{ ng/kg-day} \end{aligned}$$

제 6 장 위해도 결정

제 1 절 인체

1. 비발암 위해도

위해도 결정 단계에서는 용량-반응 평가와 노출평가의 결과를 바탕으로 산출한다.⁶⁹⁾

비발암 위해도의 경우 “유해지수 = 예측 대기중 농도 / 인체독성참고치”로 산정하며, 계산된 유해지수가 1보다 크거나 1보다 클 확률이 높을 경우 비발암독성에 대한 위해가 있다고 보며, 1보다 작을 경우 위해가 적다고 간주한다.⁷⁰⁾

[예시]

※ 벤젠의 경우, 예측 대기중 농도 ($5.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) / 인체독성참고치 ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) = 0.17
(비발암독성에 대한 위해가 없음)

※ 벤젠의 경우, 토양섭취노출량($8.47 \times 10^5 \text{ ng}/\text{kg}\cdot\text{day}$) / 인체독성참고치 ($0.004 \text{ mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$) = 2.12×10^8 (비발암독성에 대한 위해가 없음)

위해도 결정 과정 진행이 불가능한 경우, 그 이유와 함께 평가가 불가능함을 명기한다 (예. 「현재 공인된 용량-반응 평가 자료가 없으므로 평가할 수 없음」)

2. 발암 위해도

발암 위해도의 경우 해당물질에 대한 경로별 노출량과 이에 대한 발암력을 이용하여 초과발암확률을 산정한다. 즉 “초과발암확률 = 흡입, 섭취 또는 피부접촉 노출량 × 흡입, 섭취 또는 피부접촉 노출에 대한 발암력”으로 산정한다.

산출된 초과발암확률을 발암위해에 대한 안전허용수준(10^{-6})과 비교하여 그 이하이면 초기 위해성 평가 결과 발암위해를 무시할만한 수준인 것으로, 안전허용수준을 초과하는 경우에는 발암위해를 무시할만한 수준이 아닌 것으로 판정한다.⁷¹⁾

69) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

70) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

71) 출처 : 국립환경과학원 고시 제2006-30호 위해성평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침

[예시]

※벤젠의 경우, 대기중 벤젠 흡입 노출량(노출 기간 70년인 경우) $(9.51 \times 10^4 \text{ mg/kg-day}) \times$
흡입노출에 대한 발암력 $(0.008 \sim 0.027 \text{ per mg/kg-day}) = 7.32 \times 10^{-6} \sim 2.60 \times 10^{-5}$. 즉, 흡입
노출에 대한 초과발암확률이 “ 10^{-6} ” 보다 크므로 발암위해가 무시할만한 수준은 아닌
것으로 판별하였음.

※벤젠의 경우, 토양중 벤젠 섭취 노출량(노출 기간 70년인 경우) $(7.49 \times 10^5 \text{ ng/kg-day}) \times$ 섭취
노출에 대한 발암력 $(0.015 \sim 0.055 \text{ per mg/kg-day}) = 1.12 \times 10^{-12} \sim 4.12 \times 10^{-12}$. 즉, 사업장
부근에서의 농경지 토양중 벤젠 섭취 노출에 대한 초과발암확률이 10^{-12} 수준으로, “ 10^{-6} ”
이하이므로 발암위해를 무시할만한 수준인 것으로 판별하였음.

위해도 결정 과정 진행이 불가능한 경우, 그 이유와 함께 평가가 불가능함을 명기한다(예. 「현재 공인된 용량-반응 평가 자료가 없으므로 평가할 수 없음).

3. 요약

비발암 독성 위해도의 경우 앞서 평가된 해당물질에 대한 비발암 독성 위해도 산정 결과를 경로와 관계없이 매체별로 합산하여 전국, 지역, 사업장 부근에서의 비발암 독성 위해도 평가 결과를 요약 정리한다.

산출된 유해지수 값을 “1”과 비교하여 그 이상이면 초기 위해성 평가 결과 위해가 있는 것으로 판정하고, 그 미만이면 위해가 없는 것으로 판정한다. 유해지수가 1이상일 경우 해당 지점에서의 상세위해성평가가 필요하다.

발암 위해도의 경우, 앞서 평가된 해당물질에 대한 초과발암확률 산정 결과를 경로와 관계없이 매체별로 합산하여 전국, 지역, 사업장 부근에서의 발암 위해도 평가 결과를 요약 정리한다.

산출된 발암위해도 수치를 안전허용수준(10^{-6})과 비교하여 그 이하이면 초기 위해성 평가 결과 발암위해를 무시할만한 수준인 것으로, 안전허용수준을 초과하는 경우에는 발암위해를 무시할만한 수준이 아닌 것으로 판정한다. 만약 안전허용수준(10^{-6})을 초과할 경우 해당 지점에서의 상세위해성평가가 필요하다.

참고) 일본의 발암위해도 평가 기준(일본 초기위해성평가 지침, 2008)

10^{-5} 초과	상세평가가 필요함
$10^{-6} \sim 10^{-5}$	자료수집이 요구됨
10^{-6} 미만	현시점에서는 평가가 필요없음

제 2 절 환경

1. 수생태계

가. 생태위해도 결정

환경위해성평가의 제 4 단계로서, 화학물질의 PEC와 PNEC의 비율인 위해지수 (Risk Index, RI)를 계산하고, 생태위해성 여부를 판정하는 단계이다(USEPA, 1998).

노출평가의 결과인 환경매체별 PEC를 PNEC와 비교하여 그 비율 즉, 위해지수 (Risk Index, RI)가 1.0 이하인 경우, 해당 매체에 대한 생태위해성이 없다고 판정한다. 반면, 위해지수가 1.0을 초과하는 경우, 해당 매체의 PEC 수준에서는 위해성이 있음을 경고하게 되며, 차후 상세위해성평가를 수행할 필요가 있음을 시사하게 된다. 초기 생태위해성평가의 위해도결정 단계에서 위해지수를 산정하기 위해서 다음의 수식을 이용한다.

표 7. 매체별 위해지수 산정 수식

Compartment	Risk Index	Compartment	Risk Index
Water	$PEC_{water}/PNEC_{water}$	Soil	$PEC_{soil}/PNEC_{soil}$
Sediment	$PEC_{sed}/PNEC_{sed}$	Marine	$PEC_{marine}/PNEC_{marine}$

나. 위해지수(RI)와 위해도 결정

(1) 위해지수

유해지수(HQ)는 PEC와 PNEC값의 비로서 위해수준을 나타내며, 이때 PEC/PNEC 비가 1.0보다 클 경우에는 해당물질의 노출로 인한 위해 가능성이 있다고 간주한다(국립환경과학원 지침서 제8조 3항 ⑧). 본 평가서 및 해설서에서는 인체유해지수(HQ)와 차별하여 생태계내 유해지수를 위해지수(RI)로 명명하고 사용한다.

(2) 위해도 결정

위해지수가 1.0 이상인 경우, 해당물질의 생태 위해 가능성이 있다고 판정한다 (unacceptable). 위해지수가 1.0이하이나, 0.02 이상인 경우 위해 가능성은 낮으나 생태위해도 관리가 필요하다고 판정할 수 있다(acceptable but need risk management). 한편, 위해지수가 0.02 미만인 경우 해당 물질의 생태위해도는 전혀 무시할 수 있다 (negligible)(USEPA, 1998).

[예시]

지표수에 잔류하는 벤젠으로 인한 수계의 생태위해도는 다음 표와 같았다. 생태위해지수를 산정하기 위한 PNEC는 민감종(*Daphnia magna*)의 EC₅₀ 값으로부터 도출된 PNEC(10 ppb)를 적용하였다. 예상되는 PEC 수준에서 OO사업장, 대상지역, 및 전국 지표수에 대한 벤젠의 생태위해지수는 0.0001 미만으로 나타났다.

표 X. 지표수의 생태위해도

구분	지표수 PEC (mg/L)	PNECmatrix, ppb	위해지수	위해도 결정*
OO사업장 주변 (EUSES, Local)	2.33×10 ⁻⁷	10	<0.0001	N
대상지역 (EUSES, Regional)	2.33×10 ⁻⁷	10	<0.0001	N
전국 (EUSES, Continental)	1.10×10 ⁻⁷	10	<0.0001	N

* N : 전혀 위해하지 않음(negligible), UA : 초과 (unacceptable)

2. 토양생태계

토양생태계의 위해도 결정 과정은 수생태계 위해도 결정 과정과 유사하나, 위해지수를 산정할 때, 토양 PEC와 토양 PNEC를 사용한다.

토양생태계는 평가대상 사업장, 사업장이 위치하는 광역 수계(대상지역), 그리고 전국으로 구분하고, 각 구역별로 농경지, 자연토양, 및 공업지로 세분하여 위해지수를 산정한다. 이때, 위해지수를 산정하기 위한 PNEC는 해당물질의 PNECsoil 값을 동일하게 사용한다.

[예시]

토양에 잔류하는 벤젠으로 인한 토양생물에 대한 생태위해도는 다음 표와 같았다. OO사업장 주변 농경지, 자연토양, 공업지에 대한 벤젠의 생태위해지수가 각각 0.011, 0.011, 0.012로 평가되었다. 대상지역의 농경지, 자연토양, 그리고 공업지에 대한 벤젠의 생태위해지수는 0.0001 미만으로 나타났다. 전국의 농경지, 자연토양, 및 공업지에 대한 벤젠의 생태위해지수는 0.0001 미만으로 예측되었다.

표 X. 토양의 생태위해도

구분		토양 PEC (mg/kg)	PNECsoil, ppb	위해지수	위해도 결정*
OO사업장 (EUSES, Local)	농경지	1.05×10 ⁻⁴	9.8	0.011	N
	자연토양	1.05×10 ⁻⁴	9.8	0.011	N
	공업지	1.13×10 ⁻⁴	9.8	0.012	N
대상지역 (EUSES, Regional)	농경지	5.28×10 ⁻⁷	9.8	<0.0001	N
	자연토양	7.19×10 ⁻⁷	9.8	<0.0001	N
	공업지	7.19×10 ⁻⁷	9.8	<0.0001	N
전국 (EUSES, Continental)	농경지	2.47×10 ⁻⁷	9.8	<0.0001	N
	자연토양	3.28×10 ⁻⁷	9.8	<0.0001	N
	공업지	3.28×10 ⁻⁷	9.8	<0.0001	N

* N : 전혀 위해하지 않음(negligible), A : 초과하지 않음 (acceptable), UA : 초과 (unacceptable)

3. 퇴적토생태계

퇴적생태계의 위해도 결정 과정은 수생태계 위해도 결정 과정과 유사하나, 위해지수를 산정할 때, 퇴적토 PEC와 퇴적토 PNEC를 사용한다.

4. 요약

지표수, 토양, 및 퇴적토에 대한 생태위해지수를 요약하고, 이 값들로부터 생태위해도 수준을 결정한다. 위해지수가 1.0이상인 경우 생태위해도가 있다고 판정하는 반면, 1.0미만인 경우 생태위해도가 없다고 판정한다.

[예시]

지표수에 대한 벤젠의 생태위해지수는 1.0미만이였다. 토양에 대한 벤젠의 생태위해지수는 1.0미만이였다. 또한, 퇴적토에 대한 생태위해지수는 1.0 미만으로 나타났다.

※ 생태위해지수가 1.0미만인 경우, 생태위해도 우려가 없음을 의미함.

※ 특히, 위해지수가 0.02미만으로 나타날 때 생태위해도는 무시할 수 있는 수준임.

참고문헌

- 국가 환경기술정보센터(KONETIC) 유럽환경시장동향-유럽정책동향-화학물질 (2008), 배출량 데이터를 이용한 화학물질의 환경농도 모델링에 관한 실행 가능성 연구보고서 (<http://211.252.157.9/main/euronews/article.asp?ld=11&sd=6&ho=35&n=9135>)
- 국립환경과학원 (2007) 위해성 평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침 (국립환경과학원 고시 제2006-30호)
- 기상청, 기상측정자료 (2006) 상층기상자료(47122), 지표기상자료(AWS : 105, 108, 112, 119, 127, 133, 138, 143, 155, 156, 159, 168, 201, 202, 203)
- 문난경, 이영수, 강영현, 김영하 (2005) 환경영향평가지 대기확산모델의 적용에 관한 연구, 한국 환경정책평가연구원
- 일본 경제 산업성, 화학물질의 리스크 평가를 위한 가이드 북 입문편 및 실전편, (http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/law/prtr/pdf/guidebook_jissen.pdf)
- 환경부 (2006) 토양환경보전법 토양오염 위해성평가지침 (환경부예규 제 283호)
- 통계청 (2007) 2006년도 기대수명
- 환경부 (2007) 제3차 화학물질 유통량조사 최종보고서 및 통계 DB
- 환경부 (2007) 한국형 노출지수 개발 및 운영체계 구축 (한국형 노출 지수 핸드북)
- 환경부 (2008) 위해성평가 실시(비소, 크롬, 니켈, 벤젠) 및 위해관리대책 수립방안 마련 연구 - 최종보고서
- 환경부 화학물질과 (2008) 2006년도 비점오염원 화학물질 배출량 조사 결과, 환경부
- 환경부 화학물질과 (2008) 2006년도 화학물질 배출량 조사 결과, 환경부
- A. S. Rood, P. G. Voilleque, S. K. Rope, H. A. Grogan, J. E. Till (2008) Reconstruction of atmospheric concentrations and deposition of uranium and decay products released from the former uranium mill at Uravan, Colorado, Journal of Environmental Radioactivity, 99, p. 1258-1278
- Brief RS, Lynch J, Bernath T, et al. (1980) Benzene in the workplace. Am Ind Hyg Assoc J 41, p. 616-623.
- EEA Technical report (2007), Feasibility study: modelling environmental concentrations of chemicals from emission data, European Environment Agency(EEA), No 8/2007
- EU (2002) RISK ASSESSMENT Report - Benzene (draft)
- Holmberg B, Lundberg P. 1985. Benzene: Standards, occurrence, and exposure. Am J Ind Med 7, p. 375-383.
- International Programme on Chemical Safety(IPCS) (1993) Environmental Health Criteria(EHC) 150, Benzene. (<http://www.inchem.org>)
- IRIS (2007) Benzene. Integrated Risk Information System. Washington, DC: U.S.

- Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/iris/subst/index.html>. May 1, 2007.
- J. Hao, L. Wang, M. Shen, L. Li, J. Hu (2007) Air quality impacts of power plant emissions in Beijing, *Environmental Pollution*, 147, p. 401-408
- J. I. Levy, J. D. Spengler, D. Hlinka, D. Sullivan, D. Moon (2002) Using CALPUFF to evaluate the impacts of power plant emissions in Illinois : model sensitivity and implications, *Atmospheric Environment*, 36, p. 1063~1075
- N. S. Holmes, L. Morawska (2006) A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available, *Atmospheric Environment*, 40, p. 5902~5928
- OECD (2005) SIDS INITIAL ASSESSMENT PROFILE - Benzene
- S. B. Henderson, B. Burkholder, P. L. Jackson, M. Brauer, C. Ichoku, (2008) Use of MODIS products to simplify and evaluate a forest fire plume dispersion model for PM10 exposure assessment, *Atmospheric Environment*, 42, p. 8524 - 8532
- T. Elbir (2004) A GIS based decision support system for estimation, visualization and analysis of air pollution for large Turkish cities, *Atmospheric Environment*, 38, p. 4509~4517
- USEPA (1989) Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A)
- USEPA (1991) Risk assessment guidance for superfund volume I : Human Health Evaluation Manual - Supplemental Guidance "Standard Default Exposure Factors" (Interim Final)
- USEPA (1997) Exposure Factors Handbook
- USEPA (2003) Integrated Risk Information System (www.epa.gov/iris)
- Wallace LA, Pellizzari ED, Hartwell TD, et al. (1987) Exposures to benzene and other volatile compounds from active and passive smoking. *Arch Environ Health* 42, p. 272-279
- Young RJ, Rinsky RA, Infante PF, et al. (1978) Benzene in consumer products. *Science* p. 199:248

부 록 1

표 8. 일반 물질 정보 및 유해성 확인 관련 주요 정보원

정보원		URL	정보제공 범위
미국 Akron 대학	The Chemical Database	http://ull.chemistry.uakron.edu/erd	녹는점, 끓는점 등의 물리화학적 성질 제공
국제노동기구(ILO, International Labor Organization)	International Chemical Safety Cards	http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/icsc/dtasht	약 1,400물질에 대한 물리화학적 성질 정보제공
미국 환경보호청 (EPA, Environmental Protection Agency)	EPI Suite	http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuite.htm	EPA에서 개발한 QSAR 예측프로그램으로 녹는점, 끓는점, LogKow 예측 가능
Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials			반응성, 화재·폭발성에 관한 데이터 정보 수록
환경부(국립환경과학원)	국립환경과학원 화학물질정보시스템(NCIS)	http://ncis.nier.go.kr	
경제협력개발기구 (OECD, Organization for Economic Cooperation and Development)	대량 생산 화학물질에 대한 스크리닝 정보 데이터(Screening Information Dataset for High Volume Chemicals, SIDS)	http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/OECD/SIDS/sidspub.html	
유럽연합 (EU, European Union)	IUCLID(International Uniform Chemical Information Database)	http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/index.php?PGM=dat	화학물질에 대한 환경오염원, 환경동태, 약물동력학적 특성, 인체 및 생태 영향에 대한 정보제공
	European Union Risk Assessment Report	http://ecb.jrc.ec.europa.eu/documentation	
미국 국립의학도서관(NLM)	TOXNET	http://toxnet.nlm.nih.gov	
캐나다 산업보건 및 안전센터 (CCOHS, Canadian Centre for Occupational Health and Safety)	IPCS(International Programme on Chemical Safety)	http://www.inchem.org	
미국 독성물질 및 질병 등록청 (ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry)	TOXICOLOGICAL PROFILE	http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html	

표 8. 일반 물질 정보 및 유해성 확인 관련 주요 정보원 (계속)

정보원	URL	정보제공 범위
<p>세계보건기구 (WHO, World Health Organization)</p>	<p>Air Quality Guideline for Europe</p>	<p>각 화학물질에 대한 대기 기준치 설정 과정에서 사용된 독성 연구 결과 제공</p>
	<p>Guidelines for Drinking-water Quality</p>	<p>각 화학물질에 대한 먹는물 기준치 설정 과정에서 사용된 독성 연구 결과 제공</p>
<p>미국 환경보호청 (EPA, Environmental Protection Agency)</p>	<p>Health Advisories</p>	<p>먹는물 중 오염물질에 대한 건강영향 정보 제공</p>
<p>미국 환경보호청 (EPA, Environmental Protection Agency)</p>	<p>EPA 통합위해성정보시스템 (IRIS, Integrated Risk Information System)</p>	<p>화학물질의 포괄적인 독성자료를 바탕으로 위험성 확인 및 용량-반응 평가과정에 필요한 정보제공</p>
<p>국제암연구소 (IARC, International Agency for Research on Cancer)</p>	<p>AGENTS REVIEWED BY THE IARC MONOGRAPHS</p>	<p>화학물질에 대한 발암성 분류 등급 제공</p>
<p>환경부 (국립환경과학원)</p>	<p>국립환경과학원고시 제2008-26호 (유독물 등의 분류기준 및 표시방법에 관한 규정)</p>	<p>유독물 등의 분류기준 및 표시방법 제공</p>

부 록 2

◎ CALPUFF모델 활용법

1. CALMET모델

CALMET모델은 크게 세 종류의 기상자료를 활용할 수 있다.

- 첫째, CSUMM 진단 바람모델을 활용
- 둘째, MM5 기상예측모델결과 활용
- 셋째, 지형 및 기상 실측자료를 활용한 전처리(Pre-processing)

여기서는 가장 손쉽게 활용할 수 있는, 지형(고도자료, 토지피복자료)자료 및 기상 관측자료를 수집하여 전처리하는 방법을 활용하였다.

CALPUFF와 호환되는 전세계의 고도자료와 토지피복지도를 ASG (Atmospheric Study Group) 홈페이지(<http://www.src.com/>)에서 다운로드 받을 수 있으며, 국내에서도 환경지리정보서비스(<http://egis.me.go.kr/egis/>)에서 토지피복분류도(Land Cover Map) 및 수치표고모델(Digital Elevation Model)의 형태로 제공하고 있다. ASG에서 제공하는 자료는 약 1 km 수준의 해상도이며, 국내에서 생성된 자료는 수치표고모델 100 m, 토지피복분류도 30 m의 해상도이다. 넓은 지역을 모사할 때는 ASG에서 제공하는 자료를 사용해도 좋으나, 좁은 지역을 모사할 때는 국내에서 생성된 해상도 높은 자료를 사용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 국내에서 생성된 수치표고모델과, 토지피복분류도를 CALPUFF의 입력형태로 변환할 수 있는 SKYi모델(이종협 외, 2006)을 활용하였다. 아래의 그림에 대상지역의 지형자료와 토지피복자료를 나타내었다.

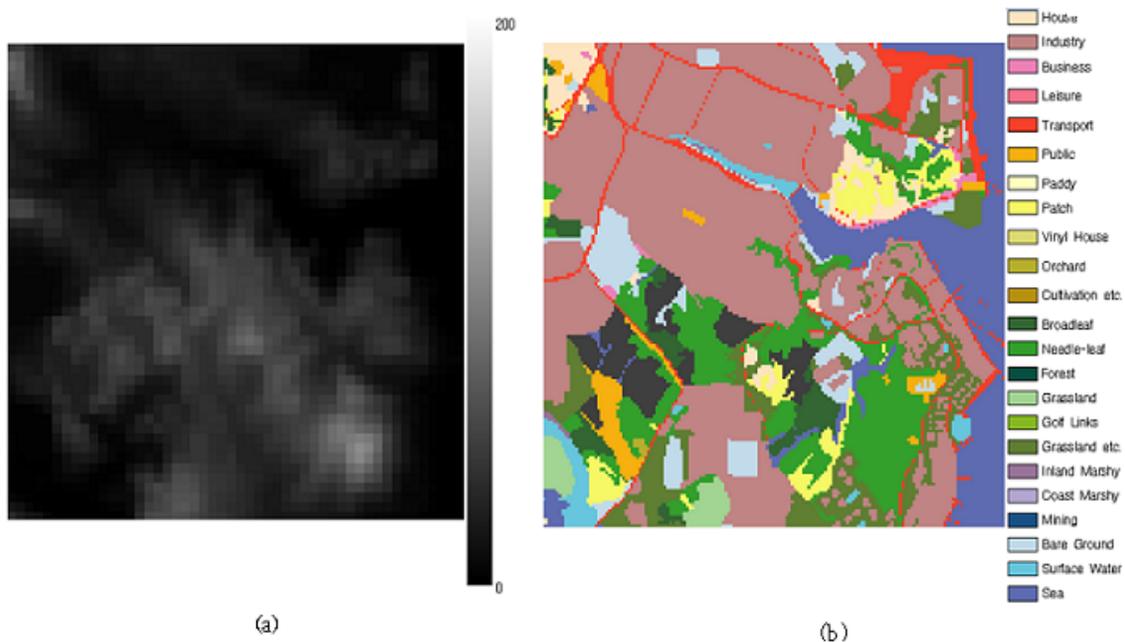


그림 9. 대상지역의 지형자료(a)와 토지피복자료(b)

기상자료는 기상청에서 측정하고 있는 ASOS (Automated Synoptic Observing System)자료와 AWS (Automatic Weather System)자료를 수집하고 가공하여 지리/지형자료와 함께 CALMET의 입력 자료로 활용하였다.

[예시]
 대기확산모델을 사용하기 위해서는 입력되어지는 모델의 형식을 따라야 한다. 그러나 각 나라들에서 제공되는 입력 자료들의 형식들이 각기 다르기 때문에 미국의 EPA에서 개발된 CALMET모델을 사용하기 위해서는 우리나라에서 제공되는 자료들의 형식을 변형하여야 한다. 형식을 변형하기 위해서 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 “다매체 모델을 이용한 전국규모의 환경오염지도 작성 및 오염원 관리시스템 개발”사업에서 개발된 SKYi 모델의 기상자료 전처리 모듈을 활용하였다.

2. CALPUFF모듈

CALPUFF모듈을 실행하기 위해서는 기상자료, 지형자료, 화학물질의 물리화학적 성질, 배출량자료, 수용체(Receptor) 등의 자료가 필요하다. 기상자료와 지형자료는 CALMET모듈로부터 처리된 자료를 활용하게 되며, 화학물질의 물리화학적 성질, 배출량자료, 수용체 등의 자료는 사용자가 CALPUFF모듈의 GUI(Graphical User Interface)에 입력을 하거나, 입력파일 자체를 편집하여 사용할 수 있다. 필요한 입력변수를 아래의 표에 나타내었다.

표 9. CALPUFF의 입력변수

입력자료의 종류	입력변수	
화학물질의 물리화학적 성질	Species	
	Diffusivity (cm ² /s)	
	Alpha Star	
	Reactivity	
	Meso. Resist. (s/cm)	
	Henry's Law Coeff.	
	Geometric Mass Mean Diameter (microns)	
	Geometric Standard Deviation (microns)	
	Scavengin Coefficient (s-1)	
배출량 자료	Geographical Style (Point, Line, Polygon, Volume)	
	Coordinate	
	Emission Height (m)	
	Base Elevation (m), Effective Height (m)	
	Stack Diameter (m)	
	Exit Velocity (m/s)	
	Exit Temperature (K)	
	BInitial Sigmas	
	Building Downwash	
	Momentum Flux Factor (0-1)	
	Platform Height (mAGL)	
	Emission Rate	
	수용체	Grided Receptor Coordinate
		Non-grided Receptor Coordinate
Receptor Height (m)		
건물정보	Flow Direction	
	Building Height (m)	
	Building Width (m)	
	Building Length (m)	
	X, Y Distance from Source (m)	

[예시]
 벤젠을 총 000 kg/yr 배출하는, OO지역의 OO회사 주변 5km×5km 지역을 대상지역으로 하였다. 사용된 좌표체계는 'WGS84 52N UTM'이다. 전산모사를 위한 격자간격은 100m×100m로 하였으며, 배출원은 다음 표에서 보이는 것과 같이 공장 전체의 모양을 1개의 비점오염원으로 가정하여 입력하였다. 전산모사 기간은 2006년을 대상으로 하였으며, 기상측정자료는 상층기상측정자료 1개와 지상기상측정자료 15개를 이용하였다. 다음 그림에 대상지역과 전산모사 격자를 나타내었다.

3. CALPOST모듈

CALPOST모듈은 CALPUFF모듈의 실행결과를 사용자가 그림이나, 아스키파일(Ascii File)로 - 바이너리파일(Binary File)은 메모장 등의 텍스트 뷰어(Text Viewer) 프로그램을 통해서 확인할 수 없으나 아스키파일은 확인할 수 있다. - 볼 수 있도록 후처리하는 프로그램이다. 후처리된 결과는 시간별 오염물질의 이동, 침적, 확산, 농도 등을

확인할 수 있으며, 지형자료와 기상자료도 그림이나 아스키파일로 확인할 수 있다.

가. 100 m 지점에서의 농도계산

산출된 농도결과는 추가적인 후처리(CALPOST로부터 생성된 아스키파일을 이용)가 가능하다. 여기서는 EUSES모델의 지역모델(Local Model)결과와 연계성을 유지하기 위하여, 시간별 농도를 년 평균농도로 환산하였으며, 공장주변 100 m 지점에서의 농도를 산출하였다. 100m 지점에서의 농도를 계산하기 위하여, 공장의 외곽선을 아래의 그림과 같이 100 m 더 확장한 확장외곽선을 생성하였다. 생성된 확장외곽선을 따라서 1 m 간격으로 농도의 값을 계산한 후, 이 농도값을 평균하여 결과를 산출하였다. 이 때 확장외곽선에서의 값은 주변 16개 격자의 농도를 비선형 내삽하여(Interpolation) 계산하였다.

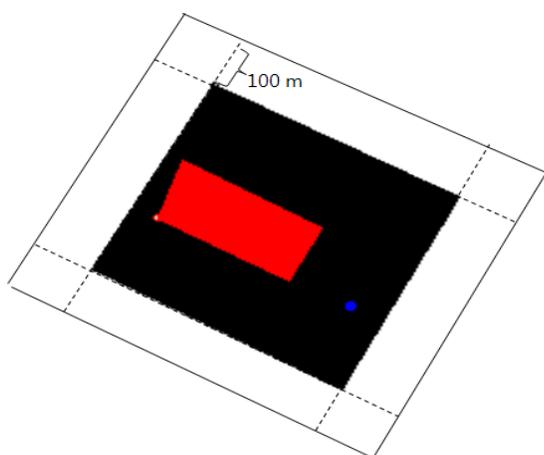


그림 10. 공장주변 100 m 의 확장외곽선

[예시]

CALPUFF 모델에서 산출되는 ○○사업장의 예측농도는 배출원인 사업장 외곽 100m에 위치한 지점에서의 평균 농도로, 본 연구에서 산정한 각 매체별 예측환경농도는 ○○사업장 주변 5×5km를 대상으로 산출하였다. 일반 대기에서 사업장 외곽 100m 지점에서의 평균 농도는 ○○ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 계산되었다.

나. CALPUFF모델 실행 종합(사례 제시)

1) CALMET 모델 실행

① 모델링 영역 정보

항목		수치
대상 지역	X 좌표	530.3336 km
	Y 좌표	3925.57 km
대상 지역 간격		5 km
UTM zone		UTM-52
No. vertical layers		5 (0,20, 100, 500, 1000, 2000)
Time zone		UTC+0900
Modeling period		2004.01.01 ~ 2004.12.31

Title 1:

2:

3:

Starting Time: Year: 2004, Month: 1, Day: 1, HH: 0, MM: 0, SS: 0, Base Time Zone: UTC+0900 Japan

Ending Time: 2004, 12, 31, 0, 0, 0

Run Length: 8760, Time-Steps: [dropdown], Time-Step [sec]: 3600

Update Run Length

Note: run for 1 day starts at time 00:00 and ends at 24:00 or at 00:00 of the next day

Run Options:

Compute All Data Fields Required by CALGRID or CALPUFF

Use surface, overwater, and upper air stations (NOOBS=0)

Use precipitation stations

Overwater Fluxes: COARE with Charnock for Open Ocean

Map Projection: UTM: Universal Transverse Mercator, Datum: 52

UTM Parameters

Zone (1-60): -999 N

Projection Parameters

Projection Origin (decimal deg): Latitude 0 N, Longitude 0 E

Matching Parallels (decimal deg): Latitude 0 N

False (X,Y) at Projection Origin: X(km) 0, Y(km) 0

Grid Origin: X(km) 530.333, Y(km) 3925.57, Grid Spacing: 0.1 km

Number of Cells: NX 50, NY 50, NZ 5

Edit Cell Face Heights

Geophysical Data File Name: GEO.DAT

Browse... Default

② 지표기상 자료 입력

Temperature Datasets Used: Use surface & upper air stations (for NOOBS = 0)

Interpolation Method: 1/R, Radius of Influence (TRADKM): 500 km

Spatial Averaging: [checked] Yes, Maximum Number of Stations: 5

Surface Temperature: [unchecked] Read from DIAG.DAT, Use surface station number: 70

Temperature Lapse Rate: [unchecked] Read from DIAG.DAT, Use upper air station number: 7, Over a Depth: 200 m

Default Temperature Gradient Over Water: Below Mixing Height: -.0098 K/m, Above Mixing Height: -.0045 K/m

Land Use Categories for Temperature Interpolation Overwater: From: 999, To: 999

Relative Humidity Dataset Used: Use surface stations for Relative Humidity (for NOOBS = 0.1)

- 전국의 총 70 개 측정소 자료

순 번	측 정 소 (ID)	X 좌표(km)	Y 좌표(km)	측 정 고 도(m)
1	90	461.919	4233.737	22.92
2	98	329.499	4196.69	112.45
3	99	303.59	4195.509	29.98
4	100	478.724	4170.797	843.65
5	101	388.848	4195.763	76.8
6	102	116.086	4210.741	145.53
7	105	490.404	4178.256	26.14
8	106	510.987	4151.133	39.52
9	108	320.359	4160.209	85.45
10	112	289.959	4150.495	54.6
11	114	406.681	4132.835	150.71
12	119	321.394	4127.043	34.48
13	121	451.844	4115.114	239.7
14	127	406.775	4092.099	113.66
15	129	276.346	4073.022	25.187
16	130	536.745	4094.044	49.36
17	131	360.599	4055.986	56.36
18	133	353.97	4026.439	62.59
19	135	409.623	4008.487	242.21
20	136	473.808	4047.551	140.66
21	137	424.451	4029.574	97.99
22	138	534.203	3987.641	1.29
23	140	298.236	3986.857	26.93
24	143	465.612	3971.277	57.28
25	146	333.325	3965.721	61.14
26	155	461.102	3891.999	36.8
27	156	308.001	3894.266	74.5
28	159	502.918	3884.652	69.23
29	162	448.399	3856.049	30.83
30	168	384.715	3844.854	73.32
31	170	288.74	3808.445	27.72
32	175	254.202	3817.75	476.35
33	184	270.551	3711.022	19.85
34	185	235.8	3687.453	70.85
35	189	273.17	3681.217	50.39

순 번	측 정 소 (ID)	X 좌표 (km)	Y 좌표 (km)	측정고도(
36	192	412.573	3891.628	27.13
37	201	274.909	4176.114	46.17
38	202	366.908	4150.142	47.407
39	203	365.596	4125.234	89.98
40	211	426.921	4212.794	198.71
41	212	401.273	4171.322	146.21
42	216	499.05	4113.774	714.2
43	221	413.451	4110.584	263.05
44	226	386.613	4038.777	172.99
45	232	332.153	4071.754	21.31
46	235	380.751	4023.012	17.9
47	236	313.24	4016.164	11.04
48	238	363.341	3996.731	170.62
49	243	293.479	3956.352	3.56
50	244	344.72	3942.295	248
51	245	306.606	3937.592	39.5
52	247	348.641	3919.275	93.52
53	248	366.054	3946.909	407
54	256	339.457	3882.775	74.4
55	260	309.421	3840.492	44.51
56	261	276.942	3826.226	4.58
57	262	341.922	3832.056	62.84
58	271	492.386	4088.619	320.91
59	272	456.941	4080.764	210.49
60	273	423.892	4053.863	170.75
61	277	536.649	4042.853	41.22
62	278	472.059	4023.485	82.56
63	279	438.865	3998.645	47.44
64	281	495.619	3981.445	93.27
65	284	401.445	3948.028	221.38
66	285	424.77	3936.016	32.95
67	288	476.792	3927.58	10.7
68	289	398.23	3919.42	138.65
69	294	463.863	3860.712	44.5
70	295	401.812	3853.232	43.19

③ 상층기상 자료 입력

- 전국의 총 7개 지점 측정소 자료

순번	측정소 (ID)	X 좌표 (km)	Y 좌표 (km)
1	47090	461.886	4233.947
2	47102	116.2	4211.428
3	47122	325.053	4108.095
4	47138	540.332	3988.072
5	47158	300.856	3888.506
6	47169	174.577	3844.014
7	47185	235.957	3686.647

2) CALPUFF 모델 실행

① 대상 화학물질의 물리 화학적 특성

물리·화학적 특성	벤젠
분자량(g/mol)	78.11
Dry (Gas)	
Diffusivity (cm ² /s)	0.1509
Reactivity	8.0
헨리상수 (Henry's Constant)	0.04
Wet	
Scavenging coefficient (1/s), Liquid	0
Scavenging coefficient (1/s), Frozen	0

Dry (Gas) Dry (Particle) Wet					
Species	Diffusivity (cm ² /s)	Alpha Star	Reactivity	Meso. Resist. (s/cm)	Henry's Law
SO2	0.1509	1000.0	8.0	0.0	4.00E-02
CH2CHCl	0.1509	1.0	8.0	0.0	4.00E-02
BENZENE	0.1509	1.0	8.0	0.0	4.00E-02
NOX	0.1656	1.0	8.0	5.0	3.50E+00
HNO3	0.1628	1.0	18.0	0.0	8.00E-08
NO	0.1345	1.0	2.0	25.0	1.80E+01

② 배출량 정보 입력

점 배출원

항목	수치
X 좌표	533.006
Y 좌표	3927.881
굴뚝높이 (m)	10
굴뚝직경 (m)	0.5
배출속도 (m/s)	5
배출온도 (°C)	30
배출량 (kg/yr)	71605

Number of Point Sources in Control File: 1 Downwash Method: ISC (Huber-Snyder / Schulman-Scire)

Source Name	X (km)	Y (km)	Stack Ht. (m)	Base Elev. (m)	Stack Diam. (m)	Exit Vel. (m/s)	Exit Temp. (K)	Building Downwash	Initial Sigmas	Momentum Flux Factor (0 - 1)	Platfd Heig (m)
P1	533.006	3927.881	10.0	0.0	0.50	5.00	303.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.0	0.0

Number of Point Sources in External File: 0

File Name:

Units: tons/yr

Source	BENZENE
P1	3.4891

면 배출원

항목	수치
X1 좌표 (km)	532.862
Y1 좌표 (km)	3927.951
X2 좌표 (km)	532.938
Y2 좌표 (km)	3928.09
X3 좌표 (km)	532.614
Y3 좌표 (km)	3928.269
X4 좌표 (km)	532.554
Y4 좌표 (km)	3928.118
배출높이 (m)	10
배출량 (kg/yr)	96905

Number of Area Sources in Control File: 1

Edit Emission Data

Source Name	Effect. Ht. (m)	Base Ele. (m)	Initial Sigma z
A1	10.0	0.0	0.0

Coordinates of the corners for the highlighted area source (can be any shape)

Upper Left (km): (532.862, 3927.951)

Upper Right (km): (532.938, 3928.09)

Lower Left (km): (532.614, 3928.269)

Lower Right (km): (532.554, 3928.118)

Buttons: Add Row, Insert Row, Delete Row, Row Down, Row Up

Number of Area Sources in External File: 0

File Name:

3) CALPOST 모델 실행

Title 1:

2:

3:

Run all periods in CALPUFF data file(s) Process every nth period: 1

Processing Period: Year: 2004, Month: 0, Day: 0, HH: 0, MM: 0, SS: 0, Base Time Zone: UTC+0900 Japan

Ending Time: 0, 0, 0, 0, 0, 0 Update Run Length

-or- Run Length: 0, Time-Steps: Time-Step (sec): 3600 Note: run for 1 day starts at time 00:00 and ends at 24:00 or at 00:00 of the next day

Source Contributions: Receptor: Gridded, Discrete, Subgrid Complex Terrain

Process TOTAL concentration/flux i Select Gridded Subset, Select Discrete Subset

Apply Scaling Method $\times(\text{new}) = \times(\text{old}) * 0 + 0$

Use Hourly Background Concentrations Browse..., Default

Background Data File:

위의 입력 자료를 바탕으로 전산모사한 결과는 매 시간별 수용체별로 결과가 산출된다. 결과자료는 수용체별로 평균을 구하였다. 아래의 그림은 업체 주변에 대상물질의 평균농도를 등고선으로 표현하였다. 주변 100 m 지점의 평균값은 $6.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 계산되었다.