

발 간 등 록 번 호

11-1480523-002802-01

NIER-GP2016-163

화학물질의 위해성에 관한 자료 작성지침(2017)

2017. 07

국립환경과학원
화학물질등록평가팀

본 지침(2017)은 화평법에 따른 등록 신청時 제출해야 하는 「위해성에 관한 자료」 작성에 도움을 주고자 발간하는 것입니다. 그러므로 본 지침서에 제시된 표, 그림, 기타 서식과 관련된 내용은 반드시 따라야 하는 규정이 아니라, 참고사항입니다. 또한 2015년 발간자료와 기술적으로 큰 차이가 없음을 알려드립니다.

따라서 종전의 지침에 따라 작성한 자료가 화평법 시행규칙 제5조제1항제2호 관련 별표 2와 관련 과학원 고시(유해성심사, 위해성평가)에 따른 것이라면 본 지침에 따라서 다시 수정, 보완할 필요는 없습니다.

목 차

1장. 개요

1절. 목적 및 활용	1
2절. 위해성에 관한 자료란?	2

2장. 관련 규정 및 사전 준비

1절. 서식 등 법령내용	9
2절. 위해성 자료 작성을 위한 항목별 자료 확인	41

3장. 화학물질의 위해성에 관한 자료 작성

1절. 위해성관리대책 요약	46
2절. 화학물질 식별정보 및 물리적·화학적 특성 확인	47
3절. 제조 및 확인된 용도	51
4절. 분류 및 표시	54
5절. 물리적·화학적 위험성 평가	56
6절. 환경에 대한 유해성(분해성·농축성 등 거동)	61
7절. 환경에 대한 유해성(생태영향)	67
8절. 인체 건강에 대한 유해성	81
9절. 잔류성·축적성 평가	101
10절. 노출평가	111
11절. 안전성 확인	201
12절. 화학물질의 위해성에 관한 자료 작성	209

4장. 용어 및 부록

1절. 용어설명	210
2절. 부 록	214

1장. 개요

1절. 목적 및 활용

본 지침서는 “화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률”(이하 “화평법”이라 한다) 제14조제1항제7호에 규정한 “화학물질 전 과정에서의 취급방법과 노출통제·관리방법을 기술한 노출시나리오를 포함한 위해성에 관한 자료(이하 “위해성 자료”라 한다)”를 화평법 시행규칙 제5조제1항제2호 [별표 2] “위해성 관련 자료의 작성방법”, “등록신청자료의 작성방법 및 위해성 심사방법 등에 관한 규정”(국립환경과학원고시 제2017-11호) 및 “화학물질 위해성 평가의 구체적 방법 등에 관한 규정”(국립환경과학원고시 제2014-48호) 등에 따라서 작성하는 제조·수입자를 위한 것이다. 본 지침서는 관련 법령과 고시에서 규정한 내용을 작성하는데 필요한 자료수집, 분야별 평가 절차와 방법, 용어, 부록 등으로 기술되어 있다. 다만, 고시 등에서 이미 상세하게 기술된 내용은 중복을 피하고자 본 지침서에는 간략히 서술하였다. 국립환경과학원은 2017년 7월 본 지침서에 대한 산업체의 이해와 활용을 돕기 위해 예시 위주의 “위해성에 관한 자료 작성 해설서”와 예시집(발암, 非발암)을 함께 제공하고 있다.

위해성 자료는 등록대상 화학물질을 연간 10톤 이상 제조·수입하는 경우에 작성하여 제출하여야 한다. 다만, 화평법 부칙 제1조에 따라 이러한 제조·수입량 한계는 2020년부터 적용되며, 2015년에는 100톤 이상, 2017년에는 70톤 이상, 2018년에는 50톤 이상, 2019년부터는 20톤 이상으로 확대된다. 따라서 본인이 위해성 자료를 작성·제출해야 하는가에 대한 판단은 제조·수입량과 등록 시기를 비교하여 결정한다. 참고로 2015년 7월에 고시한 등록대상 기존화학물질 510종에 포함되어 2018년 6월 30일까지 등록하려는 경우는 제조·수입량이 50~100톤임에도 위해성 자료를 제출해야 하는 경우가 발생할 수 있다. 또한 2018년 중반에 두 번째로 고시¹⁾할 등록대상 기존화학물질은 개략 2021년 중반기까지 등록하게 될 것이므로, 10톤 이상 제조·수입하는 물질 상당수는 위해성 자료 제출대상이 될 것이다. 이와 같이 등록 당시에는 부칙 제1조에 따라 제출대상이 아니었으나 추후 등록대상이 되는 경우, 위해성 자료를 추가로 작성하여 제출할 필요는 없다. 다만, 해당 제조·수입자가 어떤 이유에서건 변경등록을 하게 되는 경우로 위해성 자료 제출대상이 되면 제출하여야 한다.

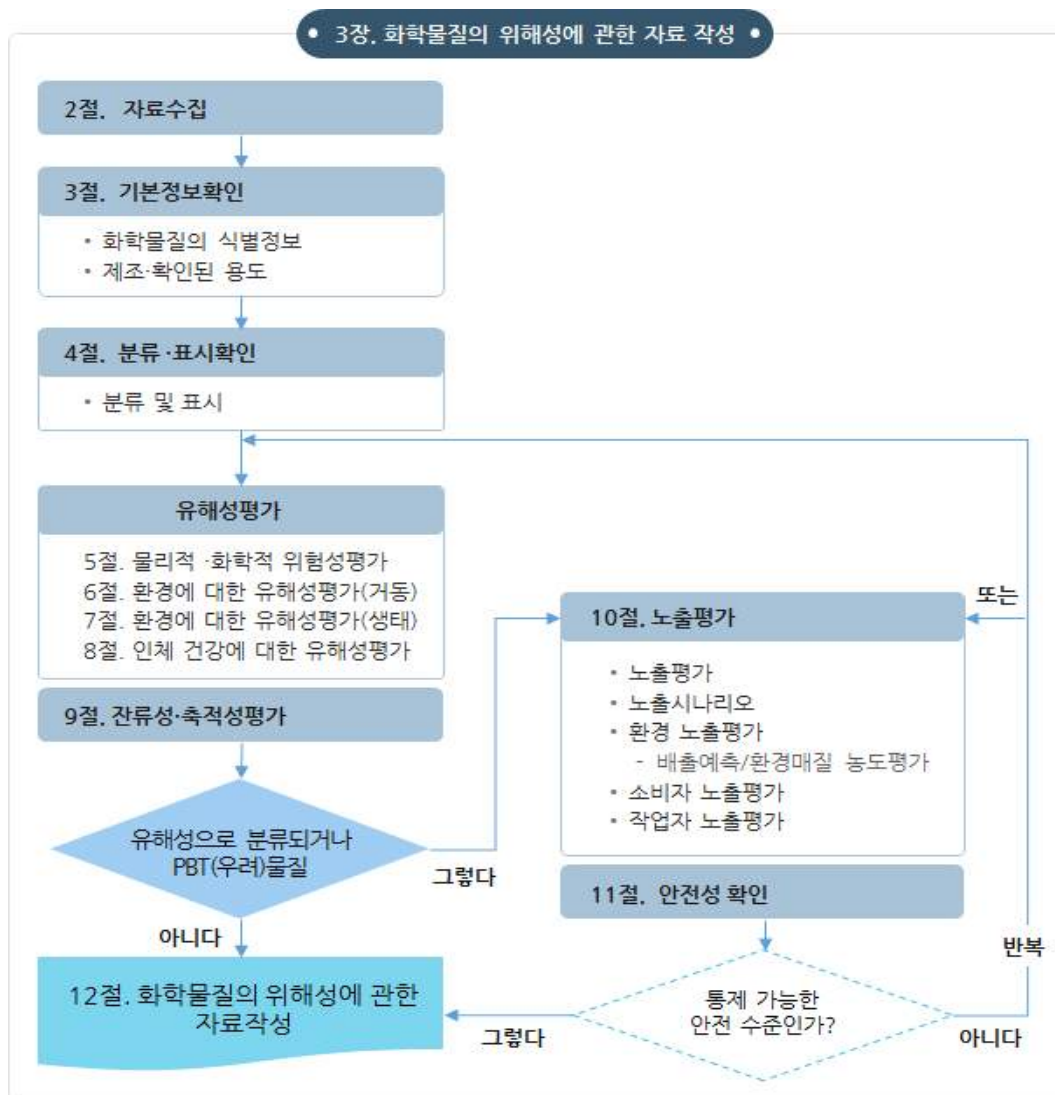
1) 현 화평법이 개정되는 경우는 전체적인 규정이 변경될 수 있음

2절. 위해성에 관한 자료란?

위해성에 관한 자료란 화학물질 제조·수입자가 해당 화학물질의 위해성을 제조 또는 사용 과정에서 적절한 방법으로 안전하게 통제하고 있는가를 평가하여 작성한 보고서다. 위해성 자료를 작성하기 위해 확인된 용도를 포함한 모든 용도에 따른 전 생애 단계를 고려하고, 잠재적 위해성과 권고하는 위해성관리대책 및 취급조건 등을 고려하면서 이미 알고 있거나 합리적으로 예상할 수 있는 사람 또는 환경에 대한 노출 수준이 비교되어야 한다.

법 제14조에 따르면 위해성 자료에는 전 과정에서의 취급방법과 노출통제·관리방법을 기술한 노출시나리오를 포함하여야 하며, 시행규칙 제5조제1항 제2호 [별표 2]에서 규정한 바와 같이, 1) 물리적·화학적 위험성 평가, 2) 환경에 대한 유해성(분해성 및 농축성 등 거동) 평가, 3) 환경에 대한 유해성(생태영향) 평가, 4) 인체 건강에 대한 유해성 평가, 5) 잔류성·축적성 평가, 6) 노출평가(노출시나리오 개발 및 노출예측), 7) 안전성 확인 등이 포함되어야 한다. 다만, 1)에서 5)까지를 평가한 결과 화학물질이 규칙 [별표 7](물질의 분류 및 표시 내용)에 따른 분류대상에 해당되지 않으면서, 영 [별표 4] 제2호 가목·나목의 잔류성·축적성 기준에 해당되지 않을 경우에는 6) 및 7)의 평가를 생략할 수 있다. 참고로 분류기준에 해당되는 유해·위험성이 없거나 잔류성, 농축성 기준에 해당되지 않을 경우 노출평가나 안전성 확인 과정을 거치지 않아도 되기 때문에 위해성관리대책 등 여러분야가 생략되거나 아주 간단하게 기술될 수 있을 것이다.

본 지침서 3장에서 다룰 위해성 자료 작성을 위한 위해성 확인의 주요 내용은 [그림 1]과 같다.



[그림 1] “위해성에 관한 자료” 작성 절차

화학물질 위해성은 일반적으로 기본정보 확인, 분류·표시 결정, 유해성 평가, 노출평가, 안전성 확인 및 화학물질의 위해성에 관한 자료 작성과 같이 6단계에 걸쳐 수행되며, 각 단계별 상세 내용은 본 지침서의 3장에 서술되어 있다. 위해성 자료는 규칙 제5조제1항제2호에 따라 등록신청 시 제출하는 자료 및 제출하지는 않지만 출처와 신뢰성을 알 수 있는 공개된 자료 등을 활용하여 작성하여야 한다. 아울러, 당장은 제출하지 않지만 추후 시험계획서 제출·승인 절차에 따르는 경우에는 해당 시험자료를 생산·확보한 후에 자료를 작성해야 한다. 이때 자료 작성에 직접 사용되지는 않지만 평가에 매우 중요한 기본정보를 사전에 확인하는 것이 매우 중요하다. 예를 들어, 화학물질의 식별정보나

물리적·화학적 특성, 제조 및 확인된 용도 등은 자료 작성에 필수적이다.

[1단계] 기본정보 확인

: 기본정보 확인은 자료 작성에 앞서 해당 물질에 대한 일반적인 사항을 검토하는 것으로 위해성 자료에 기재되는 기본정보의 구성은 다음과 같다.

- 화학물질 식별정보 및 물리적·화학적 특성 (3장 2절)
- 제조 및 확인된 용도 (3장 3절)

[2단계] 분류·표시 결정

: 제출하는 정보를 3단계 과정을 통해 평가하여 “화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정” (국립환경과학원고시 제2017-12호)에 따라서 분류하고, 표시요소를 결정해야 한다. 유독물질 등 유해화학물질인 경우 해당 고시의 [별표 4]를 참조할 수 있으나, 이 역시 제출하는 정보를 검토하여 필요한 경우 이를 반영하여야 한다. 제출 자료에 기초한 분류 및 표시가 국립환경과학원에서 제공하는 분류 및 표시와 다른 경우, 변경(안) 제시와 함께 근거를 기술해야 한다. 또한, 위해성에 근거할 때 특정 항목에 대하여 분류하여야 하는 경우에는 4단계와 5단계 평가를 수행해야 한다.

- 분류 및 표시 (3장 4절)

[3단계] 위해성 평가

: 위해성 자료를 작성할 화학물질의 기본정보를 확인하고 위해성 평가로부터 분류·표시가 결정되면, 본격적인 위해성 평가는 시작된다. 위해성 평가를 위해 수집되거나 생산된 정보는 분류·표시, 잔류성·축적성/고잔류성·고축적성 평가 및 인체/환경에 대한 역치 또는 비역치 수준 결정을 위해 사용될 수 있다.

인체 건강에 대한 위해성 평가에 관한 항목은 화학물질의 분류·표시 사항을 결정하고, 수집된 정보에 기초하여 사람에게 더 이상 노출되지 않아야 하는 화학물질의 노출 수준(무영향수준, 독성참고치, 최소영향수준,

초과 발암 위해도 등)을 도출하기 위해 작성한다. 일반적으로 인체 건강에 유해 영향을 일으키지 않을 것으로 예상되는 수준 이하의 외적 노출 수준으로 표현한다. 용량 수준 도출을 위해 주어진 노출형태(노출경로, 인구 집단 및 기간)에 대한 인체 건강 영향을 확인할 필요가 있으며, 인체 건강에 대한 무(최소)영향 수준에 평가계수를 적용하여 도출한다(국립환경과학원 고시 제2017-11호 제7조 등 참조).

환경에 대한 유해성 평가에 관한 항목은 화학물질의 환경 유해성에 대한 분류·표시 사항을 결정하고, 관심 환경영역에서 악영향이 발생하지 않을 것으로 예상되는 화학물질의 농도, 즉 예측무영향농도를 도출하기 위해 작성한다. 특정 환경 매체에 대한 예측무영향농도는 생태계에 유해 영향이 나타나지 않는 수준 이하의 농도를 의미한다. 환경 유해성 평가에서는 환경매체(물, 공기, 침전물 또는 토양) 내 생태계에 대한 유해성을 평가한다. 또한 하수처리시설은 수생환경 보호에 중요한 역할을 하기 때문에 하수처리 시설의 미생물 활동에 대한 유해성 평가도 이뤄져야 한다. 환경 매체별 생물종에 대한 독성 정보에 기초하여, 독성시험 평가항목에 적절한 평가계수를 적용하여 도출한다(국립환경과학원고시 제2017-11호 제8조 등 참조).

잔류성·축적성 평가에 관한 항목은 화학물질이 동법 시행령 제19조제2항 [별표 4]의 제2호 가목 및 나목에서 따른 잔류성·축적성 화학물질에 해당하는지를 결정하기 위해 작성한다. 잔류성·축적성 및 고잔류성·고축적성 평가는 잔류성이 있고 생물농축성이 있으며 독성을 지니는 물질, 또는 고잔류성 및 고축적성을 확인하는 것을 의미한다. 잔류성·축적성 및 고잔류성·고축적성 물질의 경우, 배출량을 최소화하기 위해 모든 배출원을 확인할 필요가 있다. 잔류성·축적성/고잔류성·고축적성 및 독성 평가 결과를 통해 잔류성·축적성/고잔류성·고축적성 및 독성물질로 확인되는 경우에는 4단계에 해당하는 노출평가를 수행해야 한다(예측자료를 이용한 평가 결과 ‘잔류성·축적성 우려물질’로 판단된 경우도 포함한다)(국립환경과학원고시 제2017-11호 제9조 등 참조).

- 물리적·화학적 위험성 평가 (3장 5절)
- 환경에 대한 유해성(분해성 및 농축성 등 거동) 평가 (3장 6절)
- 환경에 대한 유해성(생태영향) 평가 (3장 7절)
- 인체 건강에 대한 유해성 평가 (3장 8절)

- 잔류성 · 축적성 평가 (3장 9절)

[4단계] 노출평가 (3장 10절)

: 노출평가는 화학물질 제조자 자신의 용도와 하위 사용자의 용도를 확인하여 해당 화학물질이 전 생애 동안 제조 · 사용되는 방법과, 사람과 환경에 대한 노출을 통제하거나 하위 사용자에게 통제하도록 권고하는 방법과 관련한 세부 조건인 노출시나리오를 상세히 기술하는 것을 말한다. 확인된 용도에 대해 작성된 노출시나리오는 위해도를 통제하면서 사용될 수 있는 조건을 기술한 것으로, 노출시나리오는 공급망을 통해 사용자에게 위해도가 통제되는 취급조건 및 안전성 확보를 전달하는 수단이 된다. 또한 노출시나리오는 위해성 평가 과정에서의 4단계 노출평가와 5단계 안전성 확인을 위한 기초 과정으로, 배출/노출 형태와 수준을 결정하는 주요 인자를 의미한다. 여기에는 환경매체(대기, 물, 침전물 및 토양), 특정 표적집단(소비자 또는 작업자 등)에 대한 노출을 통제하기에 적절한 수단이 포함되어야 한다(국립환경과학원고시 제2017-11호 제10조 등 참조).

- 용도의 취급조건(사용된 양, 적용 공정, 사용 기간 및 빈도, 환경 조건 등)
- 위해성관리대책(폐수처리 및 국소배기장치 또는 노출 결정인자)

[5단계] 안전성 확인 (3장 11절)

: 안전성 확인에 관한 항목은 노출시나리오에 기술한 위해성관리대책이 이행된다는 것을 가정하여, 화학물질에 대한 노출을 이미 알고 있거나 합리적으로 예상할 수 있는 모든 인구집단(환경을 통해 간접적으로 노출될 수 있는 사람(일반인), 작업자, 소비자) 및 환경영역에 대하여 안전성을 확인하기 위해 작성한다. 이 경우 배출원에서 환경영역으로 화학물질이 유출 · 배출 및 손실되는 총 결과를 통합하여 전체적인 환경 위해성을 검토한다. 고유 특성에 대한 필요한 정보가 충족되고 위해성이 모든 노출 및 노출시나리오에 대해 통제되는 경우 위해성 평가, 노출평가 및 안전성 확인에 대한 반복적인 위해성 결정 과정은 불필요하다(국립환경과학원고시 제2017-11호 제11조 등 참조).

[6단계] 화학물질의 위해성에 관한 자료 작성 (3장 12절)

: 화학물질의 모든 노출시나리오에 대해 안전성 확인이 이뤄진 경우, 위해성 자료의 구성항목에 대한 내용을 기술한다. 본 지침서 3장은 화학물질의 위해성 자료의 기술 순서와 동일하게 작성되었다.

위해성 확인은 해당하는 특정 수량의 평가항목에 대한 이용 가능한 모든 물리적·화학적 특성, 환경거동, 독성 및 환경독성 등의 정보수집 과정에서 시작된다. 또한 등록자(신청인)는 노출, 사용 및 위해성관리대책에 대한 정보수집도 함께 수행하여야 한다. 여기에는 노출의 고유 특성(경로, 빈도, 기간, 사용, 취급 등)에 관한 정보가 포함되며, 수집된 정보가 이용 가능한 정보인지 등을 고려하여 추가 정보 생성 여부를 판단한다.

위해성 확인 과정 중 유해성 평가(인체의 건강에 대한 유해성 평가, 물리적·화학적 위험성 평가, 환경에 대한 유해성 평가) 및 잔류성·축적성/高잔류성·高축적성 평가는 모든 등록대상 화학물질에 대해 반드시 수행해야 한다. 화평법 규정에 따라 각 톤수별 해당 평가항목이 규정되어 있으므로 해당 자료를 제출하고, 지정되지 않은 평가항목에 대해서도 관련 자료를 보유하고 있다면 이 역시 제출한다. 인체 영향 및 환경에 대해 무영향수준, 독성참고치 또는 예측무영향농도를 도출할 수 없는 경우, 유해한 영향이 나타나지 않는다는 것을 확인할 수 있는 근거를 제시하여야 한다. 또한 위해성 자료를 작성하는 데 있어서 시험계획서에 따른 추가적인 시험 정보가 필요한 경우에는 해당 정보의 필요성을 함께 기재한다.

화학물질이 잔류성·축적성/高잔류성·高축적성 물질로 평가되는 경우, 제조 및 확인된 용도로 인한 물질의 제조부터 사용까지의 모든 배출을 확인하고, 인체 및 환경에 대한 배출과 노출을 최소화할 수 있는 위해성관리대책과 취급조건을 권고 한다. 물질이 유해성 분류가 이뤄졌거나 잔류성·축적성/高잔류성·高축적성 및 독성물질에 해당이 되는 경우 노출평가 단계를 수행한다.

노출평가에는 물질의 모든 확인된 용도와 제조 과정 등이 포함되어야 하며, 화학물질의 위해성이 충분히 통제됨을 입증할 목적으로 반복적으로 수정하는 과정을 거쳐 최종의 노출시나리오에 근거하여 작성 한다. 여기에는 해당물질, 혼합물 내 또는 제품 내 물질의 유통 단계 등이 모두 포함된다. 공급망을 통해 안전성 확인에 대한 실질적 조건을 전달하기 위한 수

단이 노출시나리오이다. 노출시나리오는 노출평가의 일부분으로서, 반복적인 방법을 통해 개발한다. 노출시나리오는 확인된 모든 유해성에 대한 위해도를 통제하도록 유도하는 적절한 취급조건 및 위해성관리대책을 기술한 것이다. 관련 정보는 하위 사용자에게 전달되며, 이를 통해 위해도 통제를 위한 적절한 조치에 대한 정보를 제공하고, 하위 사용자의 취급조건이 안전성 확인 단계에서 확인된 조건에 부합하는지를 확인할 수 있도록 한다.

이어서 수행되는 안전성 확인 단계는 초기 노출시나리오 작성과 이에 따른 노출량 추정에서부터 최종 노출시나리오 작성과 최종 노출량 추정에 이르는 동안에 수행하는 과정으로, 최종 노출시나리오 위해도 통제에 기초한다. 안전성 확인 단계에서는 인체 건강 및 환경 유해성에 대한 적절한 무영향 수준과 인체 및 환경 노출량 추정치를 비교하는 작업을 수행하고, 물리적·화학적 유해성을 평가한다. 또한 안전성 확인 과정에서는 다양한 발생원 또는 노출경로를 고려한 안전성 확인이 이뤄져야 한다. 위해도 통제가 불가능한 경우, 다음 방법을 통해 안전성 확인을 반복적으로 수행하여야 한다.

- 필요한 항목에 대해 유해성 정보를 수정하거나 생성할 수 있음
- 공급망을 통해 노출 정보를 수집하거나 측정 또는 모델을 적용한 신규 노출 데이터 생성
- 또는 두 가지 정보를 모두 수정 가능함

노출시나리오에 기술한 위해성관리대책이 이행된다는 가정하에, 화학 물질에 대한 노출을 이미 알고 있거나 합리적으로 예상할 수 있는 모든 인구집단(환경을 통해 간접적으로 노출될 수 있는 사람(일반인), 작업자, 소비자) 및 환경영역에 대하여 안전성을 확인하며, 모든 배출원에서 화학 물질이 모든 환경영역으로 유출·배출 및 손실되는 총 결과를 통합하여 전체적인 환경에 대한 위해성을 검토한다.

위해도 통제가 확인되는 경우, 제조 및 확인된 모든 용도에 대해 취급 조건과 위해성관리대책을 포함하는 최종 노출시나리오를 위해성 자료양식에 기술하고, 하위 사용자에게 그 정보를 전달한다.

2장. 관련 규정 및 사전 준비

1절. 서식 등 법령 내용

1. 시행규칙 [별표 2]

화평법 시행규칙 제5조제1항제2호에 따라 화학물질의 등록 신청 시에는 위해성 자료를 제출해야 하며, 이는 시행규칙 [별표 2] “위해성 관련 자료의 작성방법”에 따라 작성한다.

법령에서 제시하고 있는 위해성 자료의 작성방법에는 위해성 자료의 작성에 관한 일반 원칙과 각 항목별 평가 내용 작성에 포함되어야 할 사항과 함께 각 구성항목을 포함한 양식을 제시하고 있다.

[표 1] 시행규칙 [별표 2]의 위해성 자료 양식

1. 위해성 관리대책의 요약
2. 화학물질의 식별정보 및 물리적·화학적 특성
3. 제조 및 확인된 용도
4. 분류 및 표시
5. 물리적·화학적 위험성 평가
 - 가. 폭발성
 - 나. 인화성
 - 다. 산화성
6. 환경에 대한 유해성(분해성 및 농축성 등 거동) 평가
7. 환경에 대한 유해성(생태영향) 평가
 - 가. 수생 환경영역(침전물 포함)
 - 나. 육생 환경영역
 - 다. 하수처리시설의 미생물 활성
8. 인체 건강에 대한 유해성 평가
 - 가. 급성독성
 - 나. 자극성·부식성
 - 다. 과민성

라. 반복투여독성

마. 변이원성

바. 발암성

사. 생식독성

아. 다른 영향

자. 무영향수준 또는 독성참고치 도출

9. 잔류성 · 축적성 평가

10. 노출평가

[노출시나리오 1의 제목]

- 노출시나리오

- 노출 예측

[노출시나리오 2의 제목]

- 노출시나리오

- 노출 예측

.....(노출시나리오에 따라 추가)

11. 안전성 확인

[노출시나리오 1의 제목]

- 환경

- 인체 건강

[노출시나리오 2의 제목]

- 환경

- 인체 건강

.....(노출시나리오에 따라 추가)

[전체적인 노출(관련된 모든 배출/유출원의 조합)]

- 환경

- 인체 건강

2. 작성 양식에 따른 구성내용

1. 위해성관리대책 요약
2. 화학물질의 식별정보 및 물리적·화학적 특성 확인
- 2.1. 화학물질 식별정보

[표 1] 화학물질 식별정보

화학물질명(일반명)	
KE No.	
CAS No.	
IUPAC name	
분자식	
분자량	
구조식	
순도(%)	

2.2 확인된 불순물·부산물

[표 2] 확인된 불순물·부산물

물질명	CAS No.	대표농도	농도범위	비고

2.3 물리적·화학적 특성

[표 3] 물리적·화학적 특성

특성	값	비고(출처, 근거 등)
물질의 상태		
녹는점/어는점		
끓는점		
밀도		
증기압		
물 용해도		
입도 분석		
옥탄올/물 분배계수		
점도		
해리상수		
기타()		

3. 제조 및 확인된 용도

- ▶ 가능한 범위에서 제조, 수입, 사용관련 개요를 그림으로 제시
- ▶ 제조, 수입, 사용 등에 관한 개론적 설명

3.1. 제조·수입

- ▶ 제조에 대한 일반적인 방법(표 4에서 제시한 제조 중 서로 다른 방법이 있거나 특이한 제조방식이 있는 경우에는 구분하여 설명). 수입의 경우는 단일물질, 혼합물질 여부만 기술

3.2. 제조·수입 양

[표 4] 제조·수입 양

연도	제조	수입
(당해 연도)		

* 개별 등록신청서 상의 위해성자료 작성 대상이 되는 제조 또는 수입 총량

3.3 확인된 용도

- ▶ 제조를 제외한 노출시나리오 상에서 평가된 용도에 해당하는 사항을 기술

[표 5] 산업용도

사용업체	양	용도분류	용도에 대한 구체적 설명
1			
2			
3			
4			
5			

* 업체 명을 기재하는 것이 아님. 용도가 같더라도 사용업체는 원칙적으로 구분

[표 6] 소비자용도

- ▶ 소비자가 사용하는 제품을 생산하는 경우로 노출시나리오에 평가된 용도에 해당하는 사항을 기술

생산 또는 수입업체	양	용도분류	용도에 대한 구체적 설명
1			
3			
6			
7			
8			

* 업체 명을 기재하는 것이 아님. 용도가 같더라도 생산(혼합(조제)과정을 통한 제품 생산), 수입업체가 다르면 원칙적으로 구분하고, 표5와 동일한 업체일 경우는 번호도 같도록 표시

[표 6] 소비자용도

- ▶ 소비자가 사용하는 제품을 생산하는 경우로 노출시나리오에 평가된 용도에 해당하는 사항을 기술

생산 또는 수입업체	양	용도분류	용도에 대한 구체적 설명
1			
3			
6			
7			
8			

* 업체 명을 기재하는 것이 아님. 용도가 같더라도 생산(혼합(조제)과정을 통한 제품 생산), 수입업체가 다르면 원칙적으로 구분하고, 표5와 동일한 업체일 경우는 번호도 같도록 표시

3.4 사용하지 말아야 할 용도

- ▶ 특정용도를 사용하고자 했으나 노출시나리오에 따른 노출평가 및 안전성 확인 결과 안전성이 보장되지 않아 해당 용도를 포기한 경우 이를 기재. 등록물질을 공급받는 자로 하역금 사용하지 못하게 하거나, 새로운 용도를 개발할 때 참고할 수 있도록 하려는 목적임

이러한 사항은 없으나 등록물질에 대하여 국내에서 규제되는 사항이 있는 경우 법령별 규제를 간략하게 기술

4. 분류 및 표시

4.1. 등록대상 화학물질 분류 및 표시

4.1.1. 분류

국립환경과학원 화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정 제2017-12호 [별표 4]를 통해 유독물질, 허가물질, 제한물질, 금지물질 등에 대한 분류결과를 확인할 수 있으며, 이와 다른 분류 또는 새로운 유해성항목에 대해 분류하는 경우 해당 항목에 【 】 표시를 한다.

· 물리적 위험성

[표 7] 물리적 위험성 분류(분류·구분이 되는 항목만 기재)

유해성 항목	구분	구분근거	비고(EU 등 국외 분류)
폭발성			
인화성			
【 산화성 】			
기타()			

· 환경 유해성

[표 8] 환경 유해성 분류(분류·구분이 되는 항목만 나타냄)

유해성 항목	구분	구분근거	비고(EU 등 국외 분류)
수생환경 유해성			
오존층 유해성			

· 인체 건강 유해성

[표 9] 인체 건강 유해성 분류(분류·구분이 되는 항목만 기재)

유해성 항목	구분	구분근거	비고(EU 등 국외 분류)
급성독성			
피부 부식성/자극성			
심한 눈 손상/눈 자극성			
특정 표적장기 독성(반복 노출)			
발암성			
【 생식독성 】			
기타()			

4.1.2. 표시

국립환경과학원 화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정 제2017-12호 [별표 4]를 통해 유독물질, 허가물질, 제한물질, 금지물질 등에 대한 표시결과를 확인할 수 있으며, 이와 다른 그림문자, 신호어 또는 유해·위험문구를 추가 하는 경우 해당항목을 진하게 하고 밑줄을 한다.

· 그림문자와 신호어

· 유해 · 위험 문구

4.2. 수정 분류*

[표 10] 수정 분류 결과

유해성 항목	구분		변경 사유
	현행	수정(안)	
산화성			
생식독성			

* 4.1에 【 】로 구분된 항목, 즉 국립환경과학원에서 고시한 것과 분류한 결과가 다르거나, 고시에 없는 새로운 항목에 대해 분류하는 경우에만 해당항목을 기재한다.

5. 물리적·화학적 위험성 평가

* 분류표시를 한 유해성항목의 경우에는 분류 근거와 결과에 대한 기술이 포함되어야 함

5.1. 폭발성

5.2. 인화성

5.3. 산화성

[표 11] 물리적·화학적 위험성 평가 관련 연구 결과

방법	결과	비고	근거자료
〈시험방법〉 〈표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술〉	인화점 ...℃	〈신뢰도〉 〈자료의 구분〉 (주요자료 또는 참고자료의 구분) 〈결과 도출 방법〉	〈저자〉 또는 〈시험기관〉 〈시험년도〉

6. 환경에 대한 유해성(분해성 및 농축성 등 거동)평가

* 분류·표시를 한 유해성항목의 경우에는 분류 근거와 결과에 대한 기술이 포함되어야 함

6.1. 분해성

6.1.1. 이분해성

6.1.2. 본질적 분해성

6.1.3. pH에 따른 가수분해

[표 12] 분해성 관련 연구 결과

방법	결과	비고	근거자료
〈시험방법〉 〈표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술〉	반감기(DT50) 분해율	〈신뢰도〉 〈자료의 구분〉(주요자료 또는 참고자료의 구분) 〈결과 도출 방법〉	〈저자〉 또는 〈시험기관〉 〈시험년도〉

6.1.4. 분해성에 대한 요약 및 논의

6.2. 환경 분포

6.2.1. 흡착 및 탈착

[표 13] 환경 분포 연구 결과

방법	결과	비고	근거자료
〈시험방법〉 〈표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술〉	흡착계수 Koc	〈신뢰도〉 〈자료의 구분〉(주요자료 또는 참고자료의 구분) 〈결과 도출 방법〉	〈저자〉 또는 〈시험기관〉 〈시험년도〉

6.2.2. 환경 분포에 대한 요약 및 논의

6.3. 생물농축성

6.3.1. 수서 생물농축성

6.3.2. 육상 생물농축성

[표 14] 생물농축성 연구 결과

방법	결과	비고	근거자료
〈시험방법〉 〈표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술〉	농축 계수 BCF	〈신뢰도〉 〈자료의 구분〉(주요자료 또는 참고자료의 구분) 〈결과 도출 방법〉	〈저자〉 또는 〈시험기관〉 〈시험년도〉

6.3.3. 생물농축성에 대한 요약 및 논의

7. 환경에 대한 유해성(생태영향) 평가

* 분류 표시를 한 유해성항목의 경우에는 분류 근거와 결과에 대한 기술이 포함되어야 함

7.1. 수생 환경영역(침전물 포함)

7.1.1. 수생환경

7.1.1.1. 독성 자료

7.1.1.1.1. 어류 급성독성

7.1.1.1.2. 물벼룩 급성독성

7.1.1.1.3. 담수조류 생장저해

7.1.1.1.4. 어류 만성독성

7.1.1.1.5. 물벼룩 만성독성

[표 15] 수생환경 유해성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <수체의 형태> <노출방법> <시험방법>	<평가항목> <노출기간> <영향농도> <설정농도/측정 농도>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

7.1.1.2. 수생환경 유해성의 요약 및 논의

7.1.1.3. 예측무영향농도(PNEC) 계산

[표 16] 수생환경 PNEC

구분	값	평가계수	비고/근거
PNEC aqua-freshwater(mg/L)	PNEC	AF	<외삽방법>

7.1.2. 침전물

7.1.2.1. 독성 자료

7.1.2.1.1. 저서생물 만성독성

[표 17] 저서생물의 만성독성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <수체의 형태> <노출방법> <시험방법>	<평가항목> <노출기간> <영향농도> <설정농도/측정농도>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

7.1.2.3. 예측무영향농도(PNEC) 계산

[표 18] 저서생물 PNEC

	값	평가계수	비고/근거
PNEC sediment (mg/kg d.w.)	PNEC	AF	<외삽방법>

7.2. 육생환경영역

7.2.1. 독성자료

7.2.1.1. 육생식물 급성독성

7.2.1.2. 육생무척추동물 급성독성

7.2.1.3. 육생식물 만성독성

7.2.1.4. 육생무척추동물 만성독성

[표 19] 육생 환경 유해성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <수체의 형태> <노출방법> <시험방법>	<평가항목>: <노출기간> <영향농도> <설정농도/측정농도>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

7.2.2. 요약 및 논의

7.2.3. 예측무영향농도(PNEC) 계산

[표 02] 육생 환경 PNEC

	값	평가계수	비고/근거
PNEC soil (mg/kg d.w.)	PNEC	AF	<외삽방법>

7.3. 하수처리시설의 미생물활성

7.3.1. 독성자료

7.3.1.1. 활성슬러지 호흡저해

[표 21] 하수처리시설의 미생물활성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <노출방법> <시험방법>	<평가항목>: <노출기간> <영향농도> <설정농도/측정농도>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

7.3.2. 요약 및 논의

7.3.3. 예측무영향농도(PNEC) 계산

[표 22] 하수처리시설의 미생물활성 PNEC

	값	평가계수	비고/근거
PNEC stp (mg/L)	PNEC	AF	<외삽방법>

7.4. 환경 유해성 분류표시에 관한 결론

8. 인체 건강에 대한 유해성평가

8.1. 독성동태(흡수, 대사, 분포 및 제거)

[표 23] 독성동태 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <계통> <성별> <투여경로> <시험방법> <표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술>	<평가항목> <영향수준> <성별> <관찰결과>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

8.1.1. 독성동태에 대한 요약 및 논의

8.2. 급성독성

8.2.1. 급성 경구독성

8.2.2. 급성 경피독성

8.2.3. 급성 흡입독성

[표 24] 급성독성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <계통> <성별> <투여경로> <시험방법> <표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술>	<평가항목> <영향수준> <성별> <관찰결과>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

8.2.4. 급성독성에 대한 요약 및 논의

* 분류표시를 한 유해성항목의 경우에는 분류 근거와 결과에 대한 기술이 포함되어야 함

8.3. 자극성 및 부식성

8.3.1. 피부 자극성 · 부식성

8.3.2. 눈 자극성 · 부식성

[표 25] 자극성 및 부식성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <계통> <성별> <투여경로> <시험방법> <표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술>	<결과의 해석> 양성반응의 수: <비고> <관찰결과>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

8.3.3. 자극성 및 부식성에 대한 요약 및 논의

* 분류표시를 한 유해성항목의 경우에는 분류 근거와 결과에 대한 기술이 포함되어야 함

8.4. 과민성

8.4.1. 피부 과민성

8.4.2. 호흡기 과민성

[표 26] 과민성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <계통> <성별> <투여경로> <시험방법> <표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술>	<결과의 해석> 양성반응의 수: <비고> <관찰결과>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

8.4.3. 과민성에 대한 요약 및 논의

* 분류 · 표시를 한 유해성항목의 경우에는 분류 근거와 결과에 대한 기술이 포함되어야 함

8.5. 반복투여독성

8.5.1. 반복투여독성 (28일)

8.5.2. 반복투여독성 (90일)

8.5.2.1. 기타

[표 27] 반복투여독성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <계통> <성별> <노출방법> <노출경로> 용량/농도: 노출기간/빈도: <시험방법> <표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술>	<평가항목>: <영향수준> <성별> <관찰결과>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

8.5.3. 반복투여독성에 대한 요약 및 논의

* 분류·표시를 한 유해성항목의 경우에는 분류 근거와 결과에 대한 기술이 포함되어야 함

8.6. 변이원성

8.6.1. 복귀돌연변이

8.6.2. 포유류 배양세포를 이용한 염색체이상

8.6.3. 시험동물을 이용한 유전독성

8.6.4. 추가 유전독성 (생식세포 유전독성 등)

[표 28] 변이원성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <계통> <성별> <노출방법> <노출경로> 용량/농도: 노출기간/빈도: <시험방법> <표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술>	<평가항목>: <영향수준> <성별> <관찰결과>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

8.6.5. 변이원성에 대한 요약 및 논의

* 분류·표시를 한 유해성항목의 경우에는 분류 근거와 결과에 대한 기술이 포함되어야 함

8.7. 발암성

8.7.1. 동물에 대한 정보

8.7.1.1. 발암성: 경구

8.7.1.2. 발암성: 경피

8.7.1.3. 발암성: 흡입

8.7.1.4. 기타

[표 29] 발암성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <계통> <성별> <노출방법> <노출경로> 용량/농도: 노출기간/빈도: <시험방법> <표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술>	<평가항목>: <영향수준> <성별> <관찰결과>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

8.7.2. 인체에 대한 정보

8.7.3. 발암성에 대한 요약 및 논의

* 분류·표시를 한 유해성항목의 경우에는 분류 근거와 결과에 대한 기술이 포함되어야 함

8.8. 생식독성

8.8.1. 생식 및 발달독성 스크리닝

8.8.2. 초기형성

8.8.3. 2세대 생식독성

[표 30] 생식독성 연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <계통> <성별> <노출방법> <노출경로> 용량/농도: 노출기간/빈도: <시험방법> <표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술>	<평가항목>: <영향수준> <성별> <관찰결과>	<신뢰도> <자료의 구분>(주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

8.8.4. 생식독성에 대한 요약 및 논의

* 분류·표시를 한 유해성항목의 경우에는 분류 근거와 결과에 대한 기술이 포함되어야 함

8.9. 다른 영향(신경독성 등)

8.9.1. 동물에 대한 정보

[표 31] 기타 영향(동물)연구결과

방법	결과	비고	근거자료
<시험생물체(생물종)> <계통><성별> <노출방법> <노출경로> 용량/농도: 노출기간/빈도: <시험방법> <표준화된 시험방법 이외의 방법인 경우, 방법의 원리 서술>	<평가항목>: <영향수준> <성별> <관찰결과>	<신뢰도> <자료의 구분> (주요자료 또는 참고자료의 구분) <결과 도출 방법>	<저자> 또는 <시험기관> <시험년도>

8.9.2. 인체에 대한 정보

8.9.3. 다른 영향에 대한 요약 및 논의

8.10. 무영향수준 또는 독성참고치* 도출

* 발암물질로 분류되는 경우 최소영향수준 또는 초과발암위해도 도출 과정을 포함한다.

8.10.1. 평가항목별 대표 독성 값

[표 32] 평가항목별 대표 독성 값

평가항목		관련영향	연구에 대한 기타 사항
급성독성	경구		
	경피		
	흡입		
자극성 및 부식성	피부		
	눈		
과민성	피부		
유전독성	<i>in vitro</i>		
	<i>in vivo</i>		
반복투여독성	28일		
	90일		
발암성	경구		
	경피		
	흡입		
생식독성	경구		
	경피		
	흡입		

8.10.2. 평가항목별 무영향수준/최소영향수준 도출

[표 33] 평가항목별 무영향수준/최소영향수준

평가항목		보정된 용량 수준	적용된 전체 평가계수(AF)	평가항목별 무영향수준/최소영향수준 (단위)
급성독성	경구			
	경피			
	흡입			
자극성 및 부식성	피부			
	눈			
과민성	피부			
유전독성	<i>in vitro</i>			
	<i>in vivo</i>			
반복투여독성	28일			
	90일			
발암성	경구			
	경피			
	흡입			
생식독성	경구			
	경피			
	흡입			

8.10.3. 주요 건강 영향에 대한 무영향수준/최소영향수준 결정

[표 34] 소비자(일반인)에 대한 무영향수준/최소영향수준

노출형태	노출경로	용량수준	무영향수준/ 최소영향수준	가장 민감한 평가 항목
급성 영향	경구(mg/kg/day)			
	피부(mg/kg/day)			
	흡입(mg/m ³)			
만성 영향	경구(mg/kg/day)			
	피부(mg/kg/day)			
	흡입(mg/m ³)			

[표 35] 작업자에 대한 무영향수준/최소영향수준

노출형태	노출경로	용량수준	무영향수준/ 최소영향수준	가장 민감한 평가 항목
급성 영향	피부(mg/kg/day)			
	흡입(mg/m ³)			
만성 영향	경구(mg/kg/day)			
	피부(mg/kg/day)			
	흡입(mg/m ³)			

9. 잔류성 · 축적성 평가

9.1. 잔류성 · 축적성 / 고잔류성 · 고축적성 특성 평가

9.1.1. 잔류성 평가

9.1.2. 축적성 평가

9.1.3. 독성평가

9.1.4. 잔류성 · 축적성 / 고잔류성 · 고축적성 특성에 대한 요약 및 전체적 결론

9.2. 배출 특성 결정

10. 노출평가
노출시나리오 개요

10. 노출평가
노출시나리오 개요

[표 36] 노출시나리오 개요

[illegible]

10.1. 노출시나리오 1의 제목

10.1.1. 노출시나리오 1의 개요

10.1.1.1. 노출시나리오에 포함되는 활동 및 공정에 대한 기술

[표 37] 노출시나리오에 포함되는 활동 및 공정에 대한 기술

제목		
용도확인		
공정 범주		
제품 범주		
표준산업 분류코드		
환경	활동 및 공정 설명	
	위해성관리대책	
소비자	활동 및 공정 설명	
	위해성관리대책	
작업자	활동 및 공정 설명	
	위해성관리대책	

[표 38] 작업자 노출시나리오와 관련된 운영 조건 및 위해성관리대책

구분	공정 시나리오	공정 범주	위해성관리대책

10.1.2. 노출예측

10.1.2.1. 환경 노출 개요

10.1.2.1.1. 환경 배출예측

[표 39] 환경 배출 계수

구분	취급특성			사업장 배출계수			전국 배출계수		
	전체 (ton/yr)	사업장 (ton/yr)	조업일수	대기	수계	토양	대기	수계	토양

10.1.2.2.1.2. 토양오염에 의한 인체 노출

[표 44] 토양 중 화학물질에 대한 경로별 노출량 산정

(단위 : ng/kg-day)

구분*	평가항목		사업장	평가항목		전국
〈시나리오 1〉 ...	평생일일평균 노출량 (LADD)	농경지		평생일일평균 노출량 (LADD)	농경지	
		목초지			자연지	
					도시상업 용지	
	일일평균노출량 (ADD)	농경지		일일평균노출량 (ADD)	농경지	
		목초지			자연지	
					도시상업 용지	

* 전체 사업장을 대상으로 평가를 수행하거나, 배출량이 가장 많은 사업장을 대푯값으로 지정하여 평가를 수행할 수 있음. 시나리오 1에 해당하는 개별 사업장별로 구분하여 노출평가를 수행하고, 그 결과를 각각 작성.

10.1.2.2.2. 소비자 노출

[표 45] 소비자에 대한 노출 농도

구분*	노출경로	예측 노출 농도		측정 노출 농도		설명/측정 자료의 출처	대푯값 사용여부
		값	단위	값	단위		
<시나리오 1> ...	급성-경피 노출						
	급성-흡입 노출						
	급성-경구 노출						
	만성-경피 노출						
	만성-흡입 노출						
	만성-경구 노출						

* 시나리오 1에 해당하는 제품범주별로 구분하여 노출평가를 수행하고, 그 결과를 각각 작성.

[표 40] 환경 배출 정보

구분	사업장 배출(kg/yr)			전국 배출(kg/yr)			근거
	대기	수계	토양	대기	수계	토양	
<시나리오1-사업장1>							
<시나리오1-사업장2> ...							

10.1.2.1.2. 환경 노출수준 예측

[표 41] 환경 중 예측농도-사업장

구분	사업장 농도						근거
	대기	담수	침전물	토양		하수처리시설	
				농경지	목초지		
〈사나리오-사업장1〉							
〈사나리오-사업장2〉 ...							

[표 42] 환경 중 예측농도-전국

구분	전국 농도					근거
	대기	담수	토양			
			자연지	농경지	도시산업용지	
〈사나리오-사업장1〉						
〈사나리오-사업장2〉 ...						

10.1.2.2. 인체 노출

10.1.2.2.1. 환경을 통한 인체 간접 노출

10.1.2.2.1.1. 대기오염에 의한 인체 노출

[표 43] 대기 중 화학물질에 대한 흡입 노출량 산정

(단위 : mg/kg-day)

구분*	평가항목	사업장	전국
<시나리오 1> ...	평생일일평균 노출량 (LADD)		
	일일평균노출량 (ADD)		

* 전체 사업장을 대상으로 평가를 수행하거나, 배출량이 가장 많은 사업장을 대푯값으로 지정하여 평가를 수행할 수 있음. 시나리오 1에 해당하는 개별 사업장별로 구분하여 노출평가를 수행하고, 그 결과를 각각 작성.

10.1.2.2.3. 작업자 노출

[표 46] 작업자에 대한 급성 노출 농도

구분*	노출경로	예측 노출 농도		측정 노출 농도		설명/측정 자료의 출처	대푯값 사용여부
		값	단위	값	단위		
<시나리오 1> ...	흡입 노출						
	경피 노출						

* 시나리오 1에 해당하는 사업장별 공정분류에 따라 구분하여 노출평가를 수행하고, 그 결과를 각각 작성.

10.2. 노출시나리오 2의 제목

10.2.1. 노출시나리오 2의 개요

10.2.1.1. 노출시나리오에 포함되는 활동 및 공정에 대한 기술

[표 47] 노출시나리오에 포함되는 활동 및 공정에 대한 기술

제목		
용도확인		
공정 범주		
제품 범주		
표준산업 분류코드		
환경	활동 및 공정 설명	
	위해성관리대책	
소비자	활동 및 공정 설명	
	위해성관리대책	
작업자	활동 및 공정 설명	
	위해성관리대책	

[표 48] 작업자 노출시나리오와 관련된 운영 조건 및 위해성관리대책

구분	공정 시나리오	공정 범주	위해성관리대책

10.2.2. 노출예측

10.2.2.1. 환경 노출 개요

10.2.2.1.1. 환경 배출예측

[표49] 환경 배출 계수

구분	취급특성			사업장 배출계수			전국 배출계수		
	전체 (ton/yr)	사업장 (ton/yr)	조업일수	대기	수계	토양	대기	수계	토양

[표 50] 환경 배출 정보

구분	사업장 배출(kg/yr)			전국 배출(kg/yr)			근거
	대기	수계	토양	대기	수계	토양	
<시나리오2-사업장1>							
<시나리오2-사업장2> ...							

10.2.2.1.2. 환경 노출수준 예측

[표 51] 환경 중 예측농도-사업장

구분	사업장 농도						근거
	대기	담수	침전물	토양		하수처리시설	
				농경지	목초지		
<사나리오2-사업장1>							
<사나리오2-사업장2> ...							

[표 52] 환경 중 예측농도-전국

구분	전국 농도					근거
	대기	담수	토양			
			자연지	농경지	도시산업용지	
〈사나리오2-사업장1〉						
〈사나리오2-사업장2〉 ...						

10.2.2.2. 인체 노출

10.2.2.2.1. 환경을 통한 인체 간접 노출

10.2.2.2.1.1. 대기오염에 의한 인체 노출

[표 53] 대기 중 화학물질에 대한 흡입 노출량 산정

(단위 : mg/kg-day)

구분*	평가항목	사업장	전국
<시나리오 2> ...	평생일일평균 노출량 (LADD)		
	일일평균노출량 (ADD)		

* 전체 사업장을 대상으로 평가를 수행하거나, 배출량이 가장 많은 사업장을 대푯값으로 지정하여 평가를 수행할 수 있음. 시나리오 2에 해당하는 개별 사업장별로 구분하여 노출평가를 수행하고, 그 결과를 각각 작성.

10.2.2.2.1.2. 토양오염에 의한 인체 노출

[표 54] 토양 중 화학물질에 대한 경로별 노출량 산정

(단위 : ng/kg-day)

구분*	평가항목		사업장	평가항목		전국
<시나리오 2> ...	평생일일평균 노출량 (LADD)	농경지		평생일일평균 노출량 (LADD)	농경지	
					자연지	
		목초지			도시상업 용지	
	일일평균노출량 (ADD)	농경지		일일평균노출량 (ADD)	농경지	
					자연지	
		목초지			도시상업 용지	

* 전체 사업장을 대상으로 평가를 수행하거나, 배출량이 가장 많은 사업장을 대푯값으로 지정하여 평가를 수행할 수 있음. 시나리오 2에 해당하는 개별 사업장별로 구분하여 노출평가를 수행하고, 그 결과를 각각 작성.

10.2.2.2.2. 소비자 노출

[표 55] 소비자에 대한 노출 농도

구분*	노출경로	예측 노출 농도		측정 노출 농도		설명/측정 자료의 출처	대푯값 사용여부
		값	단위	값	단위		
〈시나리오 2〉 ...	급성-경피 노출						
	급성-흡입 노출						
	급성-경구 노출						
	만성-경피 노출						
	만성-흡입 노출						
	만성-경구 노출						

* 시나리오 2에 해당하는 제품범주별로 구분하여 노출평가를 수행하고, 그 결과를 각각 작성.

10.2.2.2.3. 작업자 노출

[표 56] 작업자에 대한 급성 노출 농도(안)

구분*	노출경로	예측 노출 농도		측정 노출 농도		설명/측정 자료의 출처	대푯값 사용여부
		값	단위	값	단위		
〈시나리오 2〉 ...	흡입 노출						
	경피 노출						

* 시나리오 2에 해당하는 사업장별 공정분류에 따라 구분하여 노출평가를 수행하고, 그 결과를 각각 작성.

11. 안전성 확인

11.1. 노출시나리오 1의 제목

11.1.1. 환경

[표 57] 환경에 대한 안전성 확인-사업장

매체		구분	PEC	PNEC	PEC/PNEC	비고
담수		<시나리오1-사업장1>				
		<시나리오1-사업장2> ...				
침전물		<시나리오1-사업장1>				
		<시나리오1-사업장2> ...				
토양	농경지	<시나리오1-사업장1>				
		<시나리오1-사업장2> ...				
	목초지	<시나리오1-사업장1>				
		<시나리오1-사업장2> ...				
하수처리설비		<시나리오1-사업장1>				
		<시나리오1-사업장2> ...				

11.1.2. 인체 건강

11.1.2.1. 환경을 통한 인체 간접 노출

11.1.2.1.1. 비발암 위험도

11.1.2.1.1.1. 대기

[표 58] 대기 중 흡입 노출로 인한 비발암 독성 위험도

구분*	지역	PEC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	노출량($\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$)	위해도 결정비
<시나리오 1> ...	전국			
	사업장			

* 전체 사업장 또는 배출량이 가장 많은 사업장을 대상으로 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 1에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.1.2.1.1.2. 토양

[표 59] 토양 중 노출(경구, 흡입, 경피)로 인한 비발암 독성 위해도

구분*	지역		PEC(mg/kg)	노출량(ng/kg-day)	위해도 결정비
<시나리오 1> ...	사업장	농경지			
		목초지			
	전국	농경지			
		자연지			
		도시상업용지			

* 전체 사업장 또는 배출량이 가장 많은 사업장을 대상으로 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 1에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.1.2.1.2. 발암 위해도

11.1.2.1.2.1. 대기

[표 60] 대기 중 흡입 노출로 인한 발암 독성 위해도

구분*	지역	PEC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	노출량(mg/kg-day)	위해도 결정비
<시나리오 1> ...	전국			
	사업장			

* 전체 사업장 또는 배출량이 가장 많은 사업장을 대상으로 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 1에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.1.2.1.2.2. 토양

[표 61] 토양 중 노출(경구, 흡입, 경피)로 인한 발암 독성 위해도

구분*	지역		PEC(mg/kg)	노출량(ng/kg-day)	위해도 결정비
<시나리오 1> ...	사업장	농경지			
		목초지			
	전국	농경지			
		자연지			
		도시상업용지			

* 전체 사업장 또는 가장 많은 배출량을 지니는 사업장을 대상으로 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 1에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.1.2.1.2.3. 소비자

[표 62] 소비자에 대한 안전성 확인

구분*	노출구분	노출경로	노출농도	독성 평가항목 /주요 영향	DN(M)EL	위해도 결정비
<시나리오 1> ...	급성	경피				
		흡입				
		경구				
	만성	경피				
		흡입				
		경구				

* 시나리오별 제품범주에 따라 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 1에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.1.2.1.2.4. 작업자

[표 63] 작업자에 대한 안전성 확인

구분*	노출경로	노출농도	독성 평가항목 /주요 영향	DN(M)EL	위해도 결정비
<시나리오 1> ...	흡입				
	경피				

* 시나리오별 사업장별 공정분류에 따라 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 1에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.2. 노출시나리오 2의 제목

11.2.1. 환경

[표 64] 환경에 대한 안전성 확인-사업장

매체		구분	PEC	PNEC	PEC/PNEC	논의
담수		<시나리오2-사업장1>				
		<시나리오2-사업장2> ...				
침전물		<시나리오2-사업장1>				
		<시나리오2-사업장2> ...				
토양	농경지	<시나리오2-사업장1>				
		<시나리오2-사업장2> ...				
	목초지	<시나리오2-사업장1>				
		<시나리오2-사업장2> ...				
하수처리설비		<시나리오2-사업장1>				
		<시나리오2-사업장2> ...				

11.2.2. 인체 건강

11.2.2.1. 환경을 통한 인체 간접 노출

11.2.2.1.1. 비발암 위험도

11.2.2.1.1.1. 대기

[표 65] 대기 중 흡입 노출로 인한 비발암 독성 위험도

구분*	지역	PEC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	노출량($\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$)	위해도 결정비
<시나리오 2> ...	전국			
	사업장			

*전체 사업장 또는 배출량이 가장 많은 사업장을 대상으로 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 2에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.2.2.1.1.2. 토양

[표 66] 토양 중 노출(경구, 흡입, 경피)로 인한 비발암 독성 위험도

구분*	지역		PEC(mg/kg)	노출량($\text{ng}/\text{kg}\cdot\text{day}$)	위해도 결정비
<시나리오 2> ...	사업장	농경지			
		목초지			
	전국	농경지			
		자연지			
		도시상업용지			

* 전체 사업장 또는 가장 많은 배출량을 지니는 사업장을 대상으로 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 2에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.2.2.1.2. 발암 위험도

11.2.2.1.2.1. 대기

[표 67] 대기 중 흡입 노출로 인한 발암 독성 위험도

구분*	지역	PEC($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	노출량($\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{day}$)	발암 위험도 결정비
<시나리오 2> ...	전국			
	사업장			

* 전체 사업장 또는 배출량이 가장 많은 사업장을 대상으로 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 2에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.2.2.1.2.2. 토양

[표 68] 토양 중 노출(경구, 흡입, 경피)로 인한 발암 독성 위해도

구분*	지역		PEC(mg/kg)	노출량(ng/kg-day)	위해도 결정비
<시나리오 2> ...	사업장	농경지			
		목초지			
	전국	농경지			
		자연지			
		도시상업용지			

* 전체 사업장 또는 배출량이 가장 많은 사업장을 대상으로 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 2에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.2.2.1.2.3. 소비자

[표 69] 소비자에 대한 안전성 확인

구분*	노출구분	노출경로	노출농도	독성 평가항목 /주요 영향	DN(M)EL	위해도 결정비
<시나리오 2> ...	급성	경피				
		흡입				
		경구				
	만성	경피				
		흡입				
		경구				

* 시나리오별 제품범주에 따라 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 2에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.2.2.1.2.4. 작업자

[표 70] 작업자에 대한 안전성 확인

구분*	노출경로	노출농도	독성 평가항목 /주요 영향	DN(M)EL	위해도 결정비
<시나리오 2> ...	흡입				
	경피				

* 시나리오별 사업장별 공정분류에 따라 수행한 노출평가 결과에 준하여 노출시나리오 2에 대한 안전성 확인 결과를 기술하도록 하며, 해당 사업장별 안전성 확인 결과도 함께 작성하여야 함.

11.3. 전체적인 노출(관련된 모든 배출/유출원의 조합)

11.3.1. 환경

[표 71] 환경에 대한 안전성 확인-전국

매체		PEC	PNEC	PEC/PNEC	비고
담수					
토양	자연지				
	농경지				
	도시산업용지				

11.3.2. 인체 건강

2. 국립환경과학원 고시

화학물질의 톤수별 제조·수입에 따라 작성해야 하는 “위해성에 관한 자료”는 화평법, 시행령 및 시행규칙에 규정되어 있으며, “위해성에 관한 자료”의 구체적인 작성방법에 대한 내용은 국립환경과학원에서 고시하고 있다. 화학물질의 제조 및 수입자는 “등록신청자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정”(국립환경과학원고시 제2017-11호), “화학물질 유해성 평가의 구체적인 방법 등에 관한 규정”(국립환경과학원고시 제2014-48호), “화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정”(국립환경과학원고시 제2017-12호), “위해우려제품 유해성 평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정”(국립환경과학원고시 제2016-30호) 등에 따르거나 참조하여 “위해성에 관한 자료”를 작성하여야 한다. 특히 본 지침서에서 사용하는 용어는 위의 고시에서 정의한 것과 동일하게 사용하였다. 각 고시별 본 지침서와 관련성이 크거나, 유해성 자료 작성 시 참고해야 할 내용은 [표 2]와 같다.

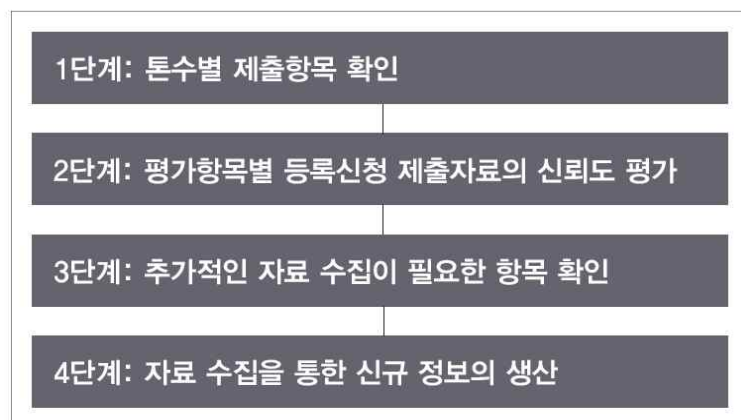
[표 2] 유해성 자료 작성 관련 과학원 고시별 주요 관련 내용

고시번호	고시명	지침서 관련 주요 내용
제2017-11호	등록신청 자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정	<ul style="list-style-type: none"> · 주요 용어(무영향수준, 최소영향수준, 노출 시나리오 등) · 유해성 평가, 노출평가, 안전성 확인 절차
제2017-12호	화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정	<ul style="list-style-type: none"> · 물리적·화학적 위험성, 환경유해성 및 건강 유해성 분류, 표시
제2017-4호	화학물질의 시험방법에 관한 규정	<ul style="list-style-type: none"> · 시험자료 생산
제2014-47호	위해성 평가 결과의 사용 승인 및 사용료 징수 등에 관한 규정	<ul style="list-style-type: none"> · 시험자료 확보
제2014-48호	화학물질 유해성 평가의 구체적인 방법 등에 관한 규정	<ul style="list-style-type: none"> · 예측무영향농도(PNEC), 예측환경농도(PEC) 결정 · 인체노출계수, 평가계수 등
제2014-49호	제공대상 화학물질 정보의 작성방법에 관한 규정	<ul style="list-style-type: none"> · 유해성 정보 자료 작성
제2016-30호	위해우려제품 유해성 평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정	<ul style="list-style-type: none"> · 노출량 계산식, 제품 노출계수

2절. 위해성 자료 작성을 위한 항목별 자료 확인

본 절에서는 위해성 평가를 위한 물리적·화학적 특성, 인체 건강 및 환경에 대한 위해성 항목 평가에 필요한 자료 수집, 수집한 자료에 대한 신뢰도를 평가하는 방법 및 자료 선택 시 주의사항 등에 대하여 기술하였다. 위해성 평가 수행 시에는 화평법 제14조제1항 및 시행규칙 제5조에 따라 제출된 자료를 사용할 수 있으며, 그 이외에 추가적으로 수집한 자료들을 선택적으로 이용할 수 있다. 다만, 평가 전에 자료의 신뢰도를 판단하여야 한다.

화학물질 위해성 평가에 활용 가능한 자료의 확보 단계는 [그림 2]와 같다. 자료 확보 단계는 물리적·화학적 특성, 인체 건강에 대한 위해성 및 환경에 대한 위해성 항목에 대해 모두 동일하게 적용한다.



[그림 2] 항목별 자료 확인 절차

1단계 : 톤수별 제출항목 확인

→ 등록자(신청자)는 제조·수입하는 물질에 대한 톤수별 제출항목을 확인한다.

2단계 : 평가항목별 등록신청 제출자료의 신뢰도 평가

→ 해당 물질의 톤수별 제출항목에 대해, “화학물질의 등록신청 시 제출 자료”의 신뢰도를 평가하여 위해성 평가에 활용 가능한지 여부를 판단한다.

3단계 : 추가적인 자료 수집이 필요한 항목 확인

→ 2단계에서 충분한 신뢰도가 인정되어 유해성 평가를 수행하기로 결정된 항목을 제외하고 추가적인 자료 수집이 필요한 항목을 확인한다.

4단계 : 자료 수집을 통한 신규 정보의 생산

→ 3단계에서 확인된 추가적인 자료 수집이 필요한 항목에 한하여 자료를 수집한다. 기존 자료를 활용할 수 없는 경우에는 직접 시험 수행을 통해 신규 자료를 생산해야 하며, 다양한 자료원으로부터 수집된 자료들의 적절성 및 신뢰성을 판단한다. 직접 수행을 통해 생산된 신규자료의 경우도 등록자 책임 하에 시험방법과 절차, 신뢰성 보증내용이 관련 법령을 준수한 것인지 등 그 적절성·신뢰성을 확인하여야 한다.

평가 시 활용하였으나 등록신청 시 미제출된 자료에 대해서는 추후 평가 기관의 자료제출 요청이 있을 때 제출하여야 한다.

1. 자료원

필요한 정보에 대해 다양한 자료원을 활용하여 정보를 수집하며, 기존 자료를 활용할 수 없는 경우에는 직접 시험을 수행하여 신규 자료를 생산해야 한다. 시험을 직접 수행하고자 할 경우에는 국립환경과학원 “화학물질의 시험방법에 관한 규정”을 참고하여 수행할 수 있으며, “등록신청 자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정”의 [별표 2]에 제시되어 있는 시험항목별 시험면제조건을 확인한 후 시험을 수행 한다. 시험 수행이 불가능한 경우, 이에 대한 사유를 기재하도록 한다. 화학물질과 관련된 국내·외 웹사이트 목록은 본 지침서의 부록 [별표 1]을 참조하도록 한다. 주요 자료원은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 기업 내부 자료(시험 자료)
- 공인된 국내외 보고서 자료(OECD, EU 및 미국 EPA 보고서 등)
- 화학물질 관련 국내외 웹사이트
- (Q)SAR 모델(예측 자료)

2. 적절한 자료 선택을 위한 고려사항

가. 시험자료

물리적·화학적 특성 항목의 경우 옥탄올/물 분배계수 시험을 제외하고는 우수실험실 운영기준(Good Laboratory Practice, 이하 “GLP”라 한다)이 아닌 조건(non-GLP 시험조건)에서도 수행할 수 있다. 다만, 독성시험이나 생태독성 시험과 그에 따른 분석은 대부분 GLP 원칙을 따라 수행해야 한다. 잔류성·축적성 시험의 경우 필수 시험항목에 대해서는 모두 GLP 원칙을 따르며, 그 외 시험항목은 GLP 및 non-GLP 시험조건이 모두 허용된다.

시험자료 활용 시에는 기술된 시험방법 외에 OECD TG(Test Guideline, 이하 OECD TG) 등 국제적으로 표준화된 시험법(미국 EPA, EU REACH 등)을 통해 도출된 시험자료를 이용하여야 한다.

나. 비시험 자료

(1) (Q)SAR

등록 목적으로는 제조·수입량이 10톤 미만인 경우에는 (Q)SAR 자료를 사용할 수 있다(시행령 제13조제3호). 그러나 위해성 자료 작성 시 톤수별 필수 제출항목 이외의 항목에 대해서 (Q)SAR 결과를 제한된 범위에서 활용할 수는 있다. 물론 과학적으로 증명된 (Q)SAR 모델 및 모델의 적합성 범위 내에서 도출된 결과에 한하며, 사용된 프로그램 및 예측 값에 대한 보고서를 첨부하여야 한다. 그러나 제출된 모든 (Q)SAR 자료가 대체시험 결과로 인정되는 것은 아니며, GLP 또는 non-GLP 기관에 의한 시험이 추가로 요청될 수도 있다. QSAR 자료 제출과 관련하여 과학원이 발간(2015.7)한 “산업체를 위한 QSAR 자료 제출 안내서”는 참고가 될 수 있다.

(2) 상관성방식(Read-across) 및 그룹핑

시험을 통해 얻은 물질 DB를 이용하여 예측하고자 하는 물질과 유사한 물질을 검색하여 그 시험 값으로부터 원하는 물성 값을 예측하는 방법으로, OECD application Toolbox²⁾ 또는 EU ToxMatch³⁾ 등의 프로그램을 사용할 수 있다. 그러나 이 부분은 매우 논리적인 해설과 근거가 제시되어야 한다. 지나치게 주관적인 판단이나 논리적 오류가 있는 경우에는 해당 자료를 사용한 위해성 자료 전체가 거부될 수도 있다. Read-across를 적용하기에 충분히 구조적으로 유사하여야 하며, 물리적·화학적 성질 등이 유사하다는 증거도 분명하게 제시되어야 한다. 또한, 활용하는 데이터의 신뢰도도 충분히 높아야 할 것이다(시행규칙 [별표 2]의 2호 라목 등 참고). 과학원이 2017.4월 발간한 “Read across 활용안내서”는 상관성방식의 개요나 활용 시 유의사항을 참고하는데 도움이 될 것이다.

(3) 자료의 신뢰도

수집한 원문의 제목, 출처, 물질, 실험 유형, 종, 노출 농도, 노출 시간, 종말점, 실험방법, 출처, 결과, 고찰 등의 항목을 바탕으로 수집한 자료에 대한

2) <http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-assessment/theoecdqsartoolbox.htm>

3) http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/our_labs/eurl-ecvam/laboratories-research/predictive_toxicology/qsar_tools/toxmatch

신뢰도 평가를 수행한다. 수집된 자료에 대한 신뢰도를 평가할 경우, 자료의 주요 내용에 근거하여 [표 3]의 Klimisch 평가방법에 따라 신뢰도를 1에서 4까지 부여하며, 신뢰도가 1 또는 2에 해당하는 자료를 유해성 평가에 사용한다.

[표 3] 자료의 신뢰도 평가방법 (Klimisch et al., 1997)

신뢰도 구분		내용
1	제한 없는 신뢰도 (Reliable without Restrictions)	<ul style="list-style-type: none"> - 일반적으로 유효한 또는 국제적으로 인증된 시험지침에 따른 연구 결과 및 정보 (GLP 기준 선호) - 기술된 시험 변수들이 특정(국내) 시험지침을 기초로 한 연구 결과 및 정보 - 모든 변수가 시험지침과 거의 상응하게 기술된 연구 결과 및 정보
2	제한적인 신뢰도 (Reliable with Restrictions)	<ul style="list-style-type: none"> - 기술된 시험변수들이 특정 시험지침에 완벽하게 부합하지는 않으나 (대부분 non-GLP 기준 사용) 연구 및 정보가 용인하기 충분한 근거가 있는 경우 - 기존의 시험지침으로는 평가할 수 없다고 기술되었으나, 과학적으로 용인 가능하고 우수하게 기술된 경우
3	신뢰할 수 없음 (Not Reliable)	<ul style="list-style-type: none"> - 측정 시스템과 시험물질이 상호 간 영향을 미친 경우 - 시험 생물 및 시험 계통이 노출경로와 무관한 경우 - 공인되지 않은 시험방법으로 시험이 수행된 경우 - 기술된 정보가 평가하기 충분하지 않고 전문가의 판단으로도 납득되지 않는 경우
4	신뢰도를 부여할 수 없음 (Not Assignable)	<ul style="list-style-type: none"> - 상세 시험 정보를 충분히 명시하지 않은 연구 결과 및 정보 - 짧은 초록 또는 2차 문헌(책, review 등)에서 인용된 연구 결과 및 정보

(4) 자료 선택 시 주의사항

인체 건강 및 환경에 대한 유해성 평가 자료의 경우, GLP 시험 자료를 사용하도록 명시하고 있으나, 시험이 어려운 경우에는 비시험 자료(예측 자료 등)를 허용하고 있다. 단, 비시험 자료 활용 시 해당 자료에 대한 신뢰성을 검증할 수 있는 자료를 첨부하여야 한다.

물리적·화학적 위험성 평가 자료의 경우, non-GLP 및 비시험 자료 등 다양한 범위의 자료를 허용하고 있으므로 수집 가능한 모든 자료를 활용하며, 시험이 불가능한 경우에는 그 근거를 위해성 자료에 기재하여야 한다. 또한, 시험 자료의 생략이 가능한 경우에는 그 사유를 작성하고 타당한 근거를 함께 제출한다.

3장. 화학물질의 위해성에 관한 자료 작성

1절. 위해성관리대책 요약

본 절은 화학물질의 위해성 자료에 제시된 최종 노출시나리오에 기초하여, 확인된 용도에 대한 적절한 위해성관리대책을 요약하여 작성한다.

위해성관리대책에 대한 요약을 작성하기 위해서 본 지침서의 3장 10절의 「1. 노출시나리오」에 기술된 위해성관리대책 내용을 바탕으로 작성한다.

2절. 화학물질 식별정보 및 물리적·화학적 특성 확인

화학물질의 식별정보(識別情報)는 말 그대로 해당 화학물질과 다른 물질을 구별하게 해주는 요소를 말한다. 예를 들어, 화학물질의 명칭(IUPAC Name 등), 분자식·분자량·구조식, 고유번호(CAS No., KE No. 등), 순도(%), 확인된 불순물·부산물의 명칭 및 함량 등이 포함된다.

[표 4] 화학물질 식별정보 및 물리적·화학적 특성 확인 구성항목

항목	구성
화학물질 식별정보	<ul style="list-style-type: none"> • 화학물질명, 고유번호, 분자식·분자량·구조식 • 순도(%)
확인된 불순물·부산물	<ul style="list-style-type: none"> • 확인된 불순물·부산물의 물질명(CAS No.), 대표농도, 농도범위
물리적·화학적 특성	<ul style="list-style-type: none"> • 물질의 상태 • 녹는점/어는점 • 끓는점 • 밀도 • 증기압 • 물 용해도 • 입도 분석 • 옥탄올/물 분배계수 • 점도 • 해리상수

기본정보의 경우, 제14조제1항 화학물질 등록신청 시 제출 자료에 포함되는 내용으로 등록신청 시 입력하는 자료와 동일한 정보를 기입하도록 한다.

1. 화학물질 식별정보

화학물질 식별정보의 경우, IUPAC에 따른 화학물질명 또는, CAS No., KE No., 분자식, 분자량, 구조식, 순도(%)를 기재한다. IUPAC명이 존재하는 경우, 화학물질명과 같이 기재하도록 한다. KE No.는 국내 기존화학물질에 부여된 번호를 의미하며, 화학물질정보시스템(NCIS, <http://ncis.nier.go.kr/>)에서 확인할 수 있다.

2. 확인된 불순물 · 부산물

확인된 불순물 · 부산물의 경우, 화학물질명(CAS No.), 대표농도, 농도범위를 기재하며, 그 외 기타 사항은 비고란에 기재한다.

3. 물리적 · 화학적 특성⁴⁾⁵⁾

기본정보 중 화학물질 식별정보와 제조 및 확인된 용도의 경우 평가대상 화학물질의 톤수와 무관하게 적용되는 항목이나, 물리적 · 화학적 특성의 경우에는 톤수(범위)에 따라 평가항목이 다르게 적용된다. 해당 톤수에 대하여 요구되는 물리적 · 화학적 특성 값을 각각 기재하고, 시험조건 및 참고문헌 등 추가적인 사항은 비고란에 기재하도록 한다.

화학물질의 물리적 · 화학적 특성에 대한 시험자료의 범위는 동법 시행규칙 [별표 1]에서 확인이 가능하며, 제5조제2항제4호에 따라 제출을 생략할 수 있는 시험자료는 동법 시행규칙 [별표 4]에서 확인이 가능하다. [표 5]는 그 내용을 요약한 것이다.

4) 국립환경과학원고시 제2017-4호 「화학물질의 시험방법에 관한 규정」.

5) ECHA(2011), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part B: Hazard assessment.

[표 5] 톤수별 물리적·화학적 특성 시험항목

시험항목	0.1~1톤	1~10톤	10~100톤	100~1,000톤	1,000톤 이상
물질의 상태	○	○	○	○	○
녹는점/어는점	○	○	○	○	○
끓는점	○	○	○	○	○
밀도		○	○	○	○
증기압	○	○	○	○	○
물 용해도	○	○	○	○	○
입도 분석		○	○	○	○
n-옥탄올/물 분배계수		○	○	○	○
점도				●	●
해리상수				●	●

○: 필수 시험항목, ●: 시험계획서 제출항목 (향후 시험자료 제출 필요)

끓는점, 증기압, 물 용해도, 옥탄올/물 분배계수와 같은 물리적·화학적 특성은 화학물질의 위해성 확인 과정에서 중요한 요인들로 작용하며, 환경 유해성 및 인체 건강에 대한 유해성 판단에도 사용될 수 있다. 물리적·화학적 특성 각각에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

가. 녹는점/어는점(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제2항 참고)

녹는점/어는점은 물질의 물리적인 상태를 결정한다. 대부분의 물리적·화학적 특성 분류는 물질의 상태에 따라 구분되므로 물질의 상태를 구별하는 것은 매우 중요하며, 녹는점/어는점은 증기압과 함께 특정 조건(환경, 제조 공정) 하에서의 물리적 상태를 결정하기 위한 지표로서 활용된다.

나. 끓는점(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제3항 참고)

끓는점은 유기화합물의 가장 유용한 특성 중 하나이다. 실온에서 물질의 물리적 상태(액체 또는 기체)를 나타내고, 높은 끓는점을 가진 물질의 경우 휘발성이 낮은 물질임을 쉽게 예측할 수 있는 지표가 된다. 또한 증기압을 예측하기 위해 반드시 필요한 인자이며, 물질의 순도를 예측하는 경우에도 녹는점과 함께 유용하게 사용된다. 끓는점은 특히 화학물질의 인화성 분류 판단에 사용되는 기준 중 하나이다.

다. 밀도(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제6항 참고)

고체 및 액체상 물질의 경우, 밀도는 물질의 단위중량과 순수한 물이 4℃ 일 때 단위중량의 비를 의미한다. 예를 들어 순수한 물이 4℃ 일 때 물의 밀도는 1.0이다. 기체상 물질의 경우, 밀도가 1보다 작으면 0℃ 1기압의 공기보다 가벼움을 나타낸다.

라. 증기압(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제5항 참고)

증기압은 화학물질이 작업자, 소비자, 환경에 노출된 이후의 거동을 평가하는 데 있어 가장 중요한 매개변수이다. 증기압을 이용하여 환경 중에 존재하거나 상업적인 용도로 사용되는 화학물질의 이동과 분포를 예측할 수 있다. 특히 순물질의 휘발성은 증기압에 의해 좌우되며, 대기 중에서 화학물질의 형태 역시 증기압을 통해 예측할 수 있다. 증기압 자료는 인체 건강에 대한 유해성 항목 중 급성 흡입독성(증기), 피부 부식성/자극성 시험의 전제 조건으로 요구될 수 있다.

마. 물 용해도(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제4항 참고)

물 용해도는 환경 유해성 평가에서 중요하게 사용되는 요인 중 하나이며, 특히 화학물질의 토양 이동성과 흡착, 탈착 등은 물 용해도에 의해 결정된다. 또한 물 용해도는 시험조건의 설정을 위해 필수적인 요소이다. 물질의 pH 4, 7, 9에서 가수분해되며 반감기가 12시간 미만인 경우, 물에서 빠르게 산화되는 경우, 물과 접촉 시 인화성이 있는 경우 등은 물 용해도를 계산할 필요가 없다.

바. 입도 분석(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제7항 참고)

물질의 입자 크기는 가공방법에 따라 달라지며, 환경이나 인간에 의해 많은 영향을 줄 수 있다. 입도 분석은 물질별로 특이적인 물리적·화학적 특성은 아니지만, 인체 흡입독성과 흡입 노출경로, 동물실험에서의 투여경로, 생물체의 흡수 효율성, 환경 분포 등의 특성 판단에 중요한 요인으로 작용한다. 특히 가연성/폭발성 분진을 형성할 가능성이 있는 물질의 경우에도 중요한 특성 중 하나로 작용한다. 물질이 비고체나 과립 형태로 시장에 출시되거나 사용되는 경우에는 본 시험을 수행할 필요가 없다.

사. 옥탄올/물 분배계수(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제12,13항 참고)

옥탄올/물 분배계수(Kow)는 환경 중에서의 분포, 수축, 생물 이용성, 생물 농축성, 생체 축적성 등을 평가하기 위한 모델이나 알고리즘에 다양하게 사용된다. Kow는 화학물질 안전성 평가, 잔류성·축적성 평가를 위한 중요한 매개변수이므로 가능한 정확하게 측정해야 하며, 순수 무기물의 경우에는 Kow를 측정할 필요가 없다.

아. 점도(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제10항 참고)

점도는 대부분의 물질에서 크게 중요하게 작용하지 않는다. 따라서 시험을 수행할 필요가 없으므로 모든 톤수에서 시험계획서만 제출하도록 설정하고 있다. 그러나 옥탄올/물 분배계수를 측정하거나, 시약의 안정성이나 보정 기준 등을 측정하는 등 일부 경우에서 점도의 시험이 필요할 수 있다.

자. 해리상수(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제9항 참고)

해리상수는 옥탄올/물 분배계수(Kow)를 결정하기 위한 중요한 요인이며, 해리상수에 따라 생체 이용률 및 독성이 다르게 나타날 수 있다.

3절. 제조 및 확인된 용도

제조 및 확인된 용도는 등록자에 의한 산업적 또는 전문가적 사용을 의미하는 등록자 고유의 용도와 공급망 내 관계자에 의해(고유 사용, 또는 다음 하위 사용자에게 의해 알려진 용도 등) 물질 그 자체 또는 혼합물 내 사용 등의 용도를 기재하는 것으로, 용도 확인은 다음 세 가지 과정을 통해 이뤄질 수 있다. 다만, 어느 용도이건 노출시나리오에 따른 노출평가 및 안전성 확인을 거친 것이어야 한다. 따라서 제10장 노출평가 부분에 기술되는 최종 노출시나리오와 완전하게 일치하여야 한다.

- 상·하위 공급망 내 공정에서 해당 물질 그 자체 또는 혼합물 내 또는 제품 내에 해당 물질을 사용하고자 하는 경우(혹은 실제 사용하는 경우) 또는,
- 공급망 내에서 특정 용도로 시장에 유통시키는 경우(직접 또는 유통업체를 통해) 또는,
- 공급망 내에서 기존 또는 예정된 용도에 대해 바로 다음 하위 사용자로부터 통보받은 경우

1. 제조 · 수입

제조 과정 및 방법에 대해서 구체적으로 작성한다. 이는 본 지침서의 3장 10절 「1. 노출시나리오」 항목에서 작성되는 내용을 뒷받침할 수 있도록 작성한다. 예를 들어, 노출시나리오에 포함된 활동이나 공정에 대한 기술 등을 포함한다. 수입의 경우 단일물질, 혼합물질 여부 등을 기재한다.

2. 제조 · 수입량

제조 · 수입을 알아보기 위해 당해 연도를 포함한 과거와 미래 2년간의 연도별 제조 및 수입량을 기재한다. 당해 연도에는 등록 신청 당시 해당 연도의 1월 1일부터 12월 31일까지의 연간 제조 또는 수입량을 예상하여 적는다. 가운데 칸의 경우 당해연도에 대한 제조, 수입량을 기재하되 이때의 제조·수입량은 등록신청서상의 업체 중 위해성자료 작성대상이 되는 업체의 제조, 수입총량이 될 것이다.

3. 확인된 용도

확인된 용도는 산업 용도와 소비자 용도로 구분하여 작성하며, 물질 그 자체 또는 혼합물 내 사용 등을 포함한 모든 확인된 용도와 그 설명에 대해서 기재한다. 산업용도의 경우 사용업체 란에는 확인된 업체 수만큼 칸을 만들어 일련번호를 부여하고(업체명을 기재하는 것은 아님), 다음 칸에 사용량을 기재한다. 용도분류는 화평법 시행령 제9조 화학물질 용도분류체계를 참고하여 기재하고, 용도에 대한 구체적 설명은 등록신청서에 제출하는 내용을 기재한다.

소비자용도의 경우 생산 또는 수입업체 란에는 소비자가 사용하는 제품을 생산하거나 수입하는 확인된 업체 수만큼 칸을 만들어 일련번호를 부여하고, 산업용 용도에서와 마찬가지로 용도분류와 용도에 대한 구체적 설명한다.

참고로 사용업체, 생산 또는 수입업체는 용도가 같더라도 업체가 다르면 다른 일련번호를 부여하되, 사용업체와 생산업체가 동일한 경우는 일련번호를 같도록 해야 한다.(특정 사용업체에 일련번호 5를 부여한 경우 소비자용도 생산 또는 수입업체 란에도 업체 수와 무관하게 해당 업체에는 5번을 부여)

4. 사용하지 말아야 할 용도

본 항목에는 해당 물질에 대해 사용하지 말아야 하는 용도에 대해 기재하며, 특히 위해성자료 작성과정에서 확인된 경우에는 반드시 기재한다. 또한 구체적 증거는 없으나 외국자료, 경험이나 시제품 생산과정에서 확인되어 등록물질 제공업체가 하위사용자에게 사용하지 말 것을 권고하는 경우도 기재한다. 이 밖에도 국내 관련 법령에서 사용 등을 금지, 제한하거나 노출기준 설정물질, 산업체에 취급상 특정한 의무나 요건이 규정된 내용이 있는 경우 기재한다.

4절. 분류 및 표시

국립환경과학원 고시 제2017-12호 “화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정”에 따라 화학물질의 분류 및 표시를 수행한다. 분류 및 표시 결과는 화평법 제14조(화학물질의 등록신청 시 제출 자료) 제1항제4호에 해당하는 “화학물질의 분류 및 표시”와 반드시 일치할 필요는 없다. 아울러 동일물질에 대해 특정 항목에 대해 업체별로 다를 수도 있다.

1. 등록대상 물질 분류 및 표시

분류 및 표시 결과는 물리적 위험성, 환경에 대한 유해성, 인체에 대한 유해성에 대해 각 항목의 분류 결과와 분류 근거를 기재한다. 인체에 대한 유해성 항목은 GHS(Globally Harmonized System) 분류기준의 건강 유해성 항목과 동일하게 적용한다. 분류할 수 없는 경우에는 그 사유에 대해 작성하도록 한다.

물질이 동법 제20조에 의해 고시된 유해화학물질에 해당하는 경우에는 유해화학물질 분류·표시 결과(국립환경과학원의 유해화학물질 분류·표시 지원시스템 <http://ncis.nier.go.kr/ghs/>)를 참조할 수 있다. 물론 제출항목이 과학원의 분류한 항목을 포함하지 않고, 따라서 관련 근거자료를 제출하지 않는 경우는 고시된 내용을 그대로 기재해야 한다. 유해화학물질이 아닌 일반 화학물질의 경우 국립환경과학원 고시에 제시된 기준에 따라 분류·표시를 수행한다.

이와 같이 물질의 분류 및 표시를 수행할 때에는 추가적으로 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- 함유된 불순물이 분류에 영향을 줄 수 있는지에 관한 사항
- 구조가 유사한 화학물질과의 분류 또는 구분의 일치성
- 국내외에 공개된 유해성 분류와의 일치성 (다만, 차이가 나는 경우 이를 입증하는 자료의 적절)

분류결과 과학원이 고시한 분류와 다른 경우(예, 새로운 항목을 추가 분류하거나 같은 항목이지만 구분이 다른 경우 등) 해당 칸의 항목을 대괄호 처리하는 등 구별이 되도록 하고, 관련 근거를 간단히 기술한(구체적인 내용은 5절~8절에 기술되어야 함) 분류결과 차이로 인한 표시요소(유해위험문구 등)가 바뀐 경우 또한 바뀌지 않은 것과 구별되도록 기재한다. 공동으로 제출하는

업체 간 분류나 표시 결과가 다른 경우 이에 대한 설명을 별도로 기술한다.

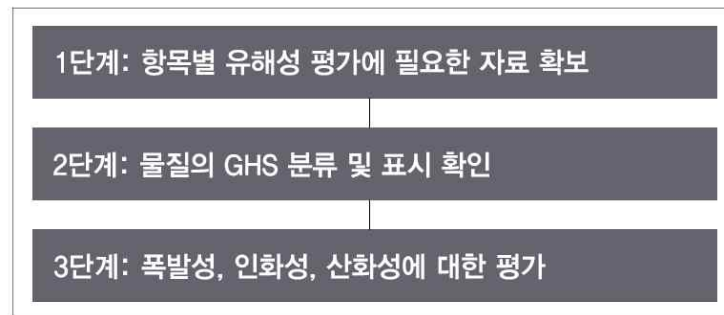
2. 수정 분류

1. 등록대상 물질 분류 및 표시에서 작성한 분류결과가 과학원에서 고시로 제공하고 있는 유해화학물질의 분류와 다를 경우, 변경된 항목에 대해 재분류된 결과를 요약하여 기재한다. 각 항목의 현행 분류와 수정(안)을 기재하도록 하며, 변경된 사유에 대해 작성한다. 과학원의 분류와 결과가 동일한 경우는 별도로 기술할 필요가 없다.

5절. 물리적·화학적 위험성 평가

1. 물리적·화학적 위험성 평가 절차

화학물질의 위해성 자료에서 물리적·화학적 위험성 평가는 폭발성, 인화성, 산화성에 대한 평가를 목적으로 하며, 별도의 시험 수행을 통한 확인이 어려운 경우 “화학물질의 등록신청 시 제출 자료”에 포함된 GHS 분류·표시 결과에 따라 평가를 수행하도록 한다. 물리적·화학적 위험성 평가의 평가 절차는 [그림 3]과 같다.



[그림 3] 물리적·화학적 위험성 평가 절차

1단계 : 2장 2절의 내용을 참고하여 물리적·화학적 위험성 평가에 필요한 자료를 확보한다. “화학물질의 등록신청 시 제출 자료”에서 활용할 수 있는 자료를 제외한 필수 시험항목의 경우에는 추가 자료를 확보하기 위한 시험을 수행한다.

2단계 : 화학물질의 특성에 따라 별도의 시험 수행을 통한 확인이 어려운 경우에는 GHS 분류·표시 결과에 따라 평가를 수행할 수 있으므로, 분류·표시 결과를 확인한다.

3단계 : 1단계에서 확보한 자료 또는 2단계에서 확인된 분류·표시 결과를 이용하여 폭발성, 인화성, 산화성에 대한 평가를 수행하도록 하며, 그 결과에 대해서 기재한다.

2. 물리적·화학적 위험성 평가

가. 1단계: 항목별 유해성 평가에 필요한 자료의 확보

화학물질의 유해성 자료 제출 시 인체 건강에 대한 잠재적 영향은 폭발성, 인화성, 산화성에 해당하는 세 가지 물리적·화학적 특성에 의해 평가되어야 하며, 여기에는 화학물질의 물리적·화학적 특성으로 인한 유해성, 저장·운반·사용의 위해요인 등의 내용이 포함된다. 톤수별 물리적·화학적 위험성 평가 항목은 [표 6]과 같다.

[표 6] 톤수별 물리적·위험성 시험항목

시험항목	0.1~1톤	1~10톤	10~100톤	100~1,000톤	1,000톤 이상
인화성			○	○	○
폭발성			○	○	○
산화성			○	○	○

나. 2단계: 물질의 분류·표시 확인

화학물질의 특성에 따라 별도의 시험 수행을 통한 확인이 어려운 경우에는, GHS 분류·표시 결과에 따라 평가를 수행할 수 있다.

화평법 제14조(화학물질의 등록신청 시 제출 자료)제1항제4호에 해당하는 “화학물질의 분류 및 표시”를 확인한다. 분류·표시를 확인하는 방법은 본 지침서의 3장 4절을 참고하도록 한다.

다. 3단계: 폭발성, 인화성, 산화성에 대한 평가⁶⁾⁷⁾

폭발성, 인화성, 산화성 물질의 해당 여부는 GHS 분류 결과에 따라 판단할 수 있다. 각 항목별 GHS 분류기준의 경우, 국립환경과학원 고시 제2017-12호 “화학물질의 분류 및 표시 등에 관한 규정”에 제시되어 있다. 별도의 시험 수행을 통한 확인이 어려운 경우에는 “화학물질의 등록신청 시 제출 자료”에

6) 국립환경과학원고시 제2017-4호 「화학물질의 시험방법에 관한 규정」.

7) ECHA(2011), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part B: Hazard assessment.

포함된 GHS 분류·표시 결과에 따라 평가를 수행할 수 있으며, 각 물리적·화학적 위험성 평가 항목에 따른 GHS 분류·표시 항목은 [표 7]과 같다.

[표 7] GHS 분류에 따른 물리적·화학적 위험성 평가 세부항목

물리적·화학적 위험성 평가 항목	GHS 분류항목
폭발성	2.1 폭발성 물질 또는 화약류, 2.8 자기반응성 물질과 혼합물(형식 A, B, C), 2.14 산화성 고체(구분 1), 2.15 유기 과산화물(형식 A, B, C)
인화성	2.2 인화성 가스, 2.3 인화성 에어로졸, 2.6 인화성 액체, 2.7 인화성 고체, 2.8 자기반응성 물질과 혼합물(형식 D, E, F, G), 2.9 자연 발화성 액체, 2.10 자연 발화성 고체, 2.11 자기발열성 물질과 혼합물, 2.12 물반응성 물질과 혼합물, 2.15 유기 과산화물(형식 D, E, F, G)
산화성	2.4 산화성 가스, 2.13 산화성 액체, 2.14 산화성 고체(구분 2, 구분 3)

(1) 폭발성(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제16항 참고)

폭발성이란, 적절한 조건하에서 열이나 가스를 생성하면서 어떤 물질이 급격하게 빠른 속도로 분해되는 경향으로 정의한다. 폭발성 물질인지 아닌지는 여러 요인에 의해 좌우된다. 대부분의 물질의 경우 구조를 고려하여 폭발성이 우려되지 않아 시험을 하지 않아도 된다. 가스의 경우 시험이 필요하지 않으며, 액체의 경우 마찰에 대한 민감성을 시험할 필요가 없다. 폭발성 시험의 면제 조건에 대한 자세한 내용은 국립환경과학원 고시 제2017-11호 “등록신청 자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정”의 [별표 2]에 제시되어 있으므로 확인이 필요하다. 폭발성 물질로 의심되는 물질의 경우, 시험에 앞서 스크리닝 방법을 통해 확인해 볼 수 있으며, 온도 및 압력을 빠른 속도로 증가시키는 분자를 포함하고 있는 작용기 확인을 통해 폭발성 물질 여부를 확인할 수 있다. 폭발성 물질의 작용기 그룹은 다음과 같다.

- C-C unsaturation (e.g. acetylenes, acetylides, 1, 2-dienes)
- C-Metal, N-Metal (e.g. Grignard reagents, organo-lithium compounds)
- Contiguous nitrogen atoms (e.g. azides, aliphatic azo compounds, diazonium salts, hydrazines, sulphonylhydrazides)
- Contiguous oxygen atoms (e.g. peroxides, ozonides)
- N-O (e.g. hydroxyl amines, nitrates, nitro compounds, nitroso compounds, N-oxides, 1, 2-oxazoles)
- N-halogen (e.g. chloramines, fluoroamines)
- O-halogen (e.g. chlorates, perchlorates, iodosyl compounds)

(2) 인화성(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제15항 참고)

물질의 인화성은 안전성에 중요한 고려 요인이다. 화재 또는 폭발을 피하기 위하여 인화성 물질의 취급, 사용 및 저장 시 특별한 주의가 필요하다. 인화성은 보통 물질이 연소하거나 인화하기 쉬운 특성으로 볼 수 있다. 드물게 물과 반응하여 인화하거나 자연적으로 발화하는 물질로 분류되는 경우도 있는데, 이러한 물질을 물반응성 물질이라 한다. 물반응성 물질 외에 열적으로 불안정하여 산소의 공급이 없이 강렬하게 발열·분해하기 쉬운 자기반응성 물질도 인화성에 포함된다. 수집된 정보에 기초하여 인체 건강에 심각한 영향을 유발할 수 있는 인화의 잠재적 원인에 대한 분류 표시를 할 수 있다. 인화성 평가에 대한 시험 면제조건은 국립환경과학원고시 제2017-11호 “등록신청자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정”의 [별표 2]에 제시되어 있다.

(3) 산화성(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제18항 참고)

산화성을 가진 물질은 다른 물질, 특히 인화성 물질과 접촉하여 고도의 발열 반응을 유발할 수 있다. 이들은 고온의 조건을 형성하여 인체 조직과 반응하여 생물학적 조직을 붕괴시킬 수 있기 때문에 피부, 눈 및 호흡기에 자극성을 유발할 수 있다. 대부분의 물질의 경우, 구조를 고려하여 산화성이 우려되지 않고 시험을 하지 않아도 되는 것으로 결정할 수 있다. 고체의 경우, 폭발성

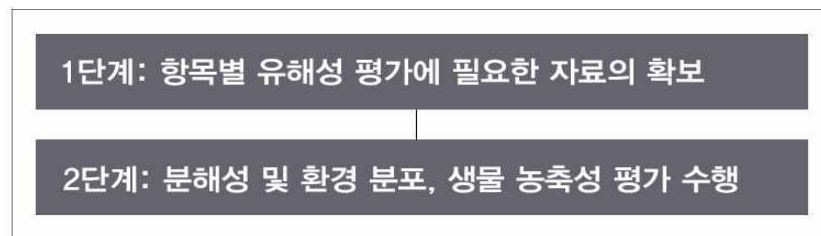
또는 고인화성 물질에 대해서는 시험을 수행할 필요가 없다. 유기과산화물은 항상 산화성의 상태이므로 별도의 집단으로 관리한다. 산화성 평가에 대한 시험 면제조건은 국립환경과학원고시 제2017-11호 “등록신청자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정”의 [별표 2]에 제시되어 있다.

6절. 환경에 대한 유해성(분해성·농축성 등 거동)

1. 환경에 대한 유해성(분해성·농축성 등 거동) 평가 절차

환경에 대한 유해성 평가는 크게 분해성·농축성 등 거동 평가와 생태영향 평가로 구분된다.

환경에 대한 유해성 중 분해성 및 농축성 등을 포함한 거동영향에 대한 평가 결과는 7절의 환경에 대한 유해성(생태영향) 평가와 9절의 잔류성·축적성 평가에 이용될 수 있다. 환경에 대한 유해성 중 분해성 및 농축성 등 거동 평가 절차는 [그림 4]와 같이 2단계로 나뉜다.



[그림 4] 환경 유해성(분해성·농축성 등 거동) 평가 절차

1단계 : 2장 2절의 내용을 참고하여 유해성 평가에 필요한 자료를 확보한다.

“화학물질의 등록신청 시 제출 자료”에서 활용할 수 있는 자료 외 필수 시험항목의 경우에는 추가 자료를 확보하기 위한 시험을 수행하고, 시험계획서 제출항목의 경우에는 시험계획서를 작성한다.

2단계 : 1단계에서 확보한 자료를 이용하여 분해성 및 환경 분포, 생물농축성에 대한 평가를 수행하도록 하며, 그 결과를 기재한다.

2. 환경에 대한 유해성(분해성·농축성 등 거동) 평가

가. 1단계: 항목별 유해성 평가에 필요한 자료의 확보

환경에 대한 유해성을 평가하기 위하여 항목별 유해성 평가에 필요한 자료를 확보해야 한다. 환경에 대한 유해성 중 분해성 및 농축성 등 거동 평가 항목의 경우 분해성, 생물농축성, 흡착 및 탈착을 포함하여 총 8개 시험항목으로 구성되어 있으며, 각 톤수별 해당 시험항목은 [표 8]과 같다. 화학물질의 환경에 대한 유해성(분해성·농축성 등 거동)에 대한 시험자료의 범위는 화평법 시행규칙 [별표 1]에서 확인이 가능하며, 제5조제2항제4호에 따라 제출을 생략할 수 있는 시험자료는 동법 시행규칙 [별표 4]에서 확인이 가능하다. [표 8]은 그 내용을 요약한 것이다. 또한 각 항목별로 시험을 수행하지 않아도 되는 시험 면제 조건들이 존재하므로, 국립환경과학원고시 제2017-11호 “등록신청자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정”의 [별표 2]에 해당하는 시험 면제조건을 확인하도록 한다.

[표 8] 톤수별 환경 유해성(분해성·농축성 등 거동) 시험항목

평가항목	시험항목	0.1~1톤	1~10톤	10~100톤	100~1,000톤	1,000톤 이상
분해성	이분해성(OECD TG 301/310)	○	○	○	○	○
	본질적 분해성(OECD TG 302)				●	●
	pH에 따른 가수분해(OECD TG 111)			○	○	○
	분해산물의 확인				●	●
	환경 거동/동태 추가정보(OECD 303A/303B/307/308/309)					●
흡착/탈착	흡착/탈착(TG 106)				●	●
	흡착/탈착 추가정보(TG 121)					●
생물농축성	생물농축성(OECD TG 305)					●

○: 필수 시험항목, ●: 시험계획서 제출항목 (향후 시험자료 제출 필요)

나. 2단계: 분해성 및 환경 분포, 생물농축성에 대한 평가 수행⁸⁾⁹⁾

(1) 분해성(시험방법고시 제2017-4호, 제4장 참고)

분해성은 생물적 또는 비생물적 방법으로 인하여 환경 중의 화학물질이 손실되거나 변형되는 것을 의미한다. 화학물질의 분해성 정보는 유해성 평가, (화학물질 안전성 평가를 위한) 위해성 평가 및 (잔류성·축적성/고잔류성·고축적성 평가를 위한) 잔류성 평가 등에 사용될 수 있다.

(가) 이분해성¹⁰⁾¹¹⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제4장제1~6항 참고)

이분해성 시험(TG 301)은 화학물질이 물속에서 미생물에 의하여 분해되는 정도를 측정하는 방법으로, 비휘발성이거나 $C_{\text{Water}} : C_{\text{air}} \geq 1$ 인 물질, 미생물에 대한 저해 작용이 없는 물질, CO₂ 흡수제와 반응하지 않는 물질을 대상으로 한다. 무기영양 배지 안에 시험대상 물질을 넣고, 시험대상 물질에 전혀 순응되지 않은 미생물을 접종한 후, 25 ± 2℃ 인 암소(暗所)에서 respirometry를 이용하여 미생물에 의한 산소섭취량을 측정한다. 생분해도는 이론적 산소요구량(TOD)에 대한 실제 산소요구량(BOD)의 %로 나타낸다.

이분해성 시험 CO₂ 밀폐용기 내 공간부분 시험(TG 310)은 화학물질의 생분해성 평가를 위한 스크리닝 시험에 해당한다.

(나) 본질적 생분해성¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제4장제7항 참고)

본질적 생분해성 시험(TG 302)은 스크리닝 수준에서의 생물학적 분해성 지표로서 이용될 수 있다. 본질적 생분해성 시험은 이분해성 시험보다 유리한 조건에서 수행되므로, 잠재적인 분해성이 있는지를 최적의 상태에서 평가할 수 있다.

본질적 생분해성 시험은 수정된 SCAS 시험(TG 302A), Zahn-Wellens/EVPA 시험(TG 302B), 수정된 MITI 시험(II)(TG 302C)으로 구분된다.

8) 국립환경과학원고시 제2017-4호 「화학물질의 시험방법에 관한 규정」.

9) ECHA(2011), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part B: Hazard assessment.

10) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 301: Ready Biodegradability.

11) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 310: Ready Biodegradability - CO₂ in sealed vessels (Headspace Test).

12) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 302A: Inherent Biodegradability: Modified SCAS Test.

13) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 302B: Inherent Biodegradability: Zahn-Wellens/ EVPA Test.

14) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 302C: Inherent Biodegradability: Modified MITI Test (II).

(다) pH에 따른 가수분해¹⁵⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제8항 참고)

pH에 따른 가수분해 시험(TG 111)은 일반적 환경의 pH 범위(pH 4~9)에서 수중에 존재하는 화학물질의 비생물적 가수분해 속도 및 가수분해 산물의 종류, 특성, 생성 속도 및 감소 속도를 측정하는 데 목적이 있다. 각기 다른 종류의 pH 값을 갖는 멸균 완충용액(pH 4, 7, 9)에 시험물질을 가하고 암조건에서 적당한 시간 간격을 두고 완충 용액 중 시험물질 및 그 가수분해 산물을 분석한다. 시험물질을 ¹⁴C와 같은 동위원소로 표지한 경우 질량분석법으로 분석할 수 있다. 가수분해 항목은 시험물질 및 가수분해 산물의 양을 초기 용량에 대한 % 값으로 표기하며, 가능하면 각각의 시료채취 시간, pH, 시험 온도에서 mg/L로 기재한다. 표지물질을 사용할 경우 질량 균형 값을 초기 용량에 대한 % 값으로 표기한다.

(라) 분해산물의 확인¹⁶⁾

분해산물의 확인 항목은 화학물질의 하수처리시설 처리 여부를 확인하기 위하여 하수처리시설과 유사한 시뮬레이션 환경을 만들어 환경에서 비생물적으로 분해되는 속도를 측정하여 시험물질의 생분해 정도와 속도를 평가하는 데 목적이 있다. 분해산물의 확인 항목에 대한 시험법은 특별히 국한하고 있지 않으며, 측정된 분해산물의 양은 초기 용량에 대한 % 값으로 표기한다. 가능하면 각각의 시료채취 시간, pH, 시험 온도에서 mg/L로 기재한다.

(마) 환경 거동 및 동태에 대한 추가정보¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제4장제10~12항 참고)

환경 거동 및 동태에 대한 추가정보 시험에는 호기성 하수처리 모의시험(TG 303) 및 토양 내 호기성 및 혐기성 전환시험(TG 307), 수중 퇴적물에서의 호기성 및 혐기성 전환시험(TG 308), 지표수의 호기성 분해-모의 생분해성 시험(TG 309)이 포함된다.

15) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 111: Hydrolysis as a Function of pH.

16) 국립환경과학원(2011), 한국형 REACH에 의한 등록서류 개발 및 평가기술 개발전략 수립.

17) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 303: Simulation Test - Aerobic Sewage Treatment -- A: Activated Sludge Units; B: Biofilms.

18) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 307: Aerobic and Anaerobic Transformation in Soil.

19) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 308: Aerobic and Anaerobic Transformation in Aquatic Sediment Systems.

20) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 309: Aerobic Mineralisation in Surface Water - Simulation Biodegradation Test.

호기성 하수처리 모의시험(TG 303)은 활성 슬러지 유닛(TG 303A)과 생물막(TG 303B)으로 구분되어 적용된다.

토양 내 호기성 및 혐기성 전환시험(TG 307)은 화학물질이 토양 중에서 호기성 조건이나 혐기성 조건하에서 다른 형태의 물질로 전환되는 과정을 평가하는 것을 말하며, 대상 시험물질의 전환률과 식물이나 토양 유기체 등에 노출될 수도 있는 전환물질의 속성이나 형성되는 속도, 감소비율 등을 평가한다.

수중 퇴적물에서의 호기성 및 혐기성 전환시험(TG 308)은 화학물질이 퇴적물 내의 호기성 또는 혐기성 조건하에서 다른 형태의 물질로 전환되는 과정을 평가하는 데 목적이 있으며, 대상 시험물질의 전환율과 수계 환경에 노출될 가능성이 있는 전환물질의 속성이나 형성되는 속도, 감소비율 등을 평가한다.

지표수의 호기성 분해-모의 생분해성 시험(TG 309)은 호기성 자연수에서 낮은 농도의 시험물질이 생분해되는 데 소요되는 시간을 측정하고, 관찰 결과를 반응속도 형태로 정량화하는 것이 목적이다. 본 모의시험은 자연 지표수(민물, 반염수 또는 해수) 시료에서 유기물질의 호기성 생분해율을 결정하기 위하여 실험실에서 교반 플라스크를 이용하여 실시하며, 그 결과를 기재한다.

(2) 흡착 및 탈착²¹⁾²²⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제2장제19~20항 참고)

흡착 및 탈착 시험은 흡착 및 탈착 스크리닝 시험(TG 106)과 흡착 및 탈착에 대한 추가정보 시험(TG 121)으로 분류된다.

흡착 및 탈착 스크리닝 시험(TG 106)은 각기 다른 종류의 토양에서 화학물질의 흡착 및 탈착 거동을 추정하기 위한 시험으로, 다양한 환경 조건하에서 분배를 예측할 수 있는 ‘sorption value’를 산출하는 것을 목적으로 수행한다. 최종적으로 다양한 토양의 특성(유기 탄소, 점토 함유량, 토성, pH)에 따라 화학물질의 흡착 평형계수를 결정할 수 있다.

흡착 및 탈착에 대한 추가정보 시험(TG 121)은 HPLC를 이용하여 토양과 하수 슬러지에서의 흡착계수(K_{oc})를 추정하는 시험이다. 흡착계수는 토양/슬러지 내의 화학물질 농도와 흡착 평형 상태의 수상(aqueous phase)에서의 화학물질 농도의 비로 결정된다.

21) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 106: Adsorption -- Desorption Using a Batch Equilibrium Method.

22) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 121: Estimation of the Adsorption Coefficient (K_{oc}) on Soil and on Sewage Sludge using High Performance Liquid Chromatography (HPLC).

(3) 생물농축성²³⁾ (시험방법고시 제2017-4호, 제4장제9항 참고)

생물농축성(Bioconcentration)이란 물에 용해된 물질이 수생생물에 의해 축적되는 것을 말한다. 생물농축계수(Bioconcentration Factor, BCF)는 정상상태에 도달하였을 때 물질의 수중 농도에 대한 생물체 내 농도의 비이다. 생물축적 잠재력은 잔류성·축적성/고잔류성·고축적성 평가의 부분이 된다. 어류 또는 무척추동물에 대한 신뢰성 있는 BCF 측정 자료는 잔류성·축적성/고잔류성·고축적성 평가에서 축적성에 대한 최종 결론 도출을 위해 필요한 정보이다.

스크리닝 평가는 수동 분배를 통해 축적될 것으로 예상되는 유기물질에 대한 log K_{ow}에 기초한 스크리닝 기준에 대해 수행될 수 있다.

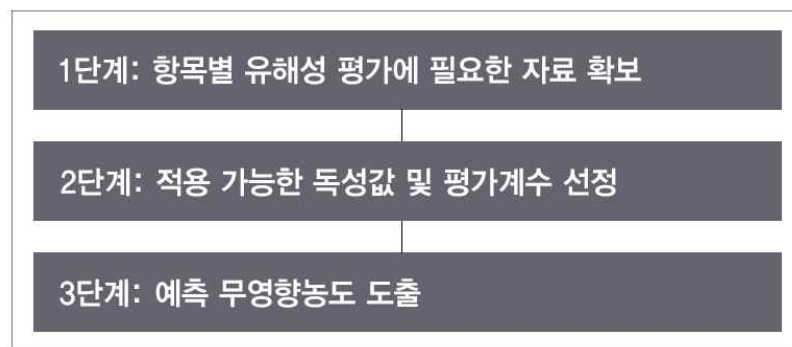
생물농축성 시험(TG 305)은 화학물질이 어류의 체내에 들어 왔을 때, 체내에 축적되는 정도를 측정하여 화학물질의 생물농축성을 평가하는 시험이다. 어류 체내에서 평형 농도에 도달하는 시간은 한 가지 농도의 측정 물질을 한 군의 시험 어류에 노출시켜 결정하며, 시험물질의 농도에 따른 생물농축 정도를 결정하고, 마지막으로 체내에서의 배출속도를 측정한다.

23) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 305: Bioconcentration: Flow-through Fish Test.

7절. 환경에 대한 유해성(생태영향)

1. 환경에 대한 유해성(생태영향) 평가 절차

환경에 대한 유해성 중 생태영향 평가 절차는 [그림 5]와 같이 3단계로 나눌 수 있다. 환경에 대한 유해성 평가 중 생태영향 평가에서는 해당 환경 매체의 단기 및 장기 노출에 대한 예측무영향농도(PNEC) 도출을 최종 목적으로 한다.



[그림 5] 환경 유해성(생태영향) 평가 절차

1단계 : 2장 2절의 내용을 참고하여 유해성 평가에 필요한 자료를 확보한다.

“화학물질의 등록신청 시 제출 자료”에서 활용할 수 있는 자료를 제외한 필수 시험항목의 경우에는 추가 자료를 확보하기 위한 시험을 수행하고, 시험계획서 제출항목의 경우에는 시험계획서를 작성한다.

2단계 : 1단계에서 확보된 자료를 검토하여 적용 가능한 독성 값 및 평가 계수를 선정한다.

3단계 : 최종적으로 독성 값과 평가계수를 이용해 PNEC를 도출한다.

만약 PNEC를 도출하는 것이 불가능한 경우, 이에 대한 정당한 사유를 제시하여야 한다.

2. 환경에 대한 유해성(생태영향) 평가

가. 1단계: 항목별 유해성 평가에 필요한 자료의 확보²⁴⁾²⁵⁾

환경에 대한 유해성을 평가하기 위하여 항목별 유해성 평가에 필요한 자료를 확보해야 한다. 환경에 대한 유해성 중 생태영향 평가 항목은 수생생물 독성, 침전물 독성, 육상생물 독성을 포함한 총 11개 시험항목으로 구성되어 있으며, 각 톤수별 해당 시험항목은 [표 9]와 같다. 화학물질의 환경 유해성(생태영향)에 대한 시험자료의 범위는 동법 시행규칙 [별표 1]에서 확인이 가능하며, 제5조 제2항제4호에 따라 제출을 생략할 수 있는 시험자료는 동법 시행규칙 [별표 4]에서 확인이 가능하다. 또한 각 항목별로 시험을 수행하지 않아도 되는 시험 면제조건이 존재하므로, 국립환경과학원고시 제2017-11호 “등록신청자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정”의 [별표 2]에 해당하는 시험 면제조건을 확인하도록 한다.

[표 9] 톤수별 환경 유해성(생태영향) 평가항목

대그룹	중그룹	0.1~1톤	1~10톤	10~100톤	100~1,000톤	1,000톤 이상
수생생물 독성	어류 급성독성(OECD TG 203)	○	○	○	○	○
	물벼룩 급성독성(OECD TG 202)		○	○	○	○
	담수조류 성장저해(OECD TG 201)			○	○	○
	어류 만성독성(OECD TG 210/212/215)				●	●
	물벼룩 만성독성(OECD TG 211)				●	●
침전물 독성	저서생물 만성독성(OECD TG 218/219)					●
육상생물 독성	육생식물 급성독성(OECD TG 208/227)				●	●
	육생 무척추동물 급성독성(OECD TG 207)				●	●
	육생식물 만성독성(ISO 22030)					●
	육생 무척추동물 만성독성(OECD TG 222)					●
하수처리시설 미생물활성	활성 슬러지 호흡저해(OECD TG 209)				●	●

○: 필수 시험항목, ●: 시험계획서 제출항목 (향후 시험자료 제출 필요)

24) 국립환경과학원고시 제2017-4호 「화학물질의 시험방법에 관한 규정」.

25) ECHA(2011), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part B: Hazard assessment.

(1) 수생 환경영역(침전물 포함)

수생독성은 해당 물질에 단기 및 장기 노출되어 수생생물에 유해성을 유발할 수 있는 물질의 고유 특성을 말한다. 보통 물로 인한 노출이 주요 노출 경로로 고려되지만, 먹이를 통해 노출될 가능성도 지니고 있다. 수생독성의 경우 단기(급성) 영향 및 장기(만성) 영향으로 구분된다.

- 급성독성 : 생물체의 전 생애주기에 비해 비교적 짧은 기간 물질에 노출된 수생생물에 대한 독성으로, 그 영향은 보통 반수치사농도(LC₅₀) 또는 반수영향농도(EC₅₀)로 표현된다. 이는 유해성 시험에서 시험군 내 생물체의 50%에 영향을 미칠 것으로 산정되는 농도를 의미한다.
- 만성독성 : 장기간 물질에 노출된 수생생물에 대한 독성으로, 노출기간은 생물종에 따라 다양하지만 일반적으로 생물체의 생애주기에 비하여 비교적 길다. 만성영향의 경우 성장 및 생식 등의 평가를 하며, 영향이 관찰되지 않는 무영향관찰용량(NOAEL) 또는 무영향관찰농도(NOEC)로 표현된다.

침전물은 입자성 물질에 대한 오염물질의 흡수를 통해 화학물질이 모이는 장소의 역할을 하며, 탈착을 통해 물로 입자 물질을 재부유 또는 되돌리는 화학물질의 발생원 역할을 하기도 한다. 이러한 과정으로 인해 침전물은 지표수 오염의 영향을 완충하지만, 수층 내 농도로부터 직접적으로 수생 환경영역에 대해 유해성을 나타내며, 시간이 지남에 따라 지속적으로 노출된다. 따라서 침전물에 침적되거나 흡수될 수 있는 물질은 침전물에 서식하는 저서생물에 대한 독성을 평가해야 한다. 저서생물은 침전물에 결합된 물질에 장기적으로 노출되므로, 주로 생식, 성장 또는 발생과 같은 치사 이외의 평가항목에 대한 장기 시험에 적합하다.

(가) 어류 급성독성²⁶⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장제3항 참고)

어류 급성독성시험(TG 203)은 수서생물 중 어류에 대한 화학물질의 단기적 영향을 평가하는 데 그 목적이 있다. 어류를 일정 조건하에서 시험물질에 노출시킨 후, 24, 48, 72, 96시간 경과 시 치사율을 기록하여 처리한 어류의 50%를 치사시키는 농도(LC50)를 구하며, 96시간 동안 먹이는 주지 않는다. 이때 시험물질의 ‘치사율에 대한’ 적절한 농도범위를 알기 위하여 예비시험(농도설정 시험)을 실시하고, 그 결과에 기초하여 본시험을 실시한다. 원칙적으로 시험조건하에서 시험물질의 물 용해도 자료 및 적절한 정량분석 방법을 확보하는 것이 필

26) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 203: Fish, Acute Toxicity Test.

요하다.

(나) 물벼룩 급성독성²⁷⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장제2항 참고)

물벼룩 급성독성시험(TG 202)은 화학물질의 수서 무척추 동물군에 대한 영향을 평가하기 위한 것으로, 수서 무척추 동물군 중에서 물벼룩류를 선정하여 유영능력에 대한 영향을 평가한다. 물벼룩에 시험물질을 처리한 후, 48시간 동안 관찰하여 처리한 물벼룩의 50%가 유영 저해를 받는 농도(48시간 EC₅₀)를 산출한다. 이때 시험물질의 유영저해에 대한 적절한 농도범위를 알기 위해 농도설정 시험을 실시하고, 그 결과에 기초하여 본시험을 실시한다.

(다) 담수조류 성장저해²⁸⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장제1항 참고)

담수조류 성장저해 시험(TG 201)은 수서생물 중 담수성 미세조류 및 남조류의 성장에 대한 화학물질의 영향을 평가하는 데 그 목적이 있다. 지수 생장기에 있는 조류를 여러 농도의 시험물질에 노출시킨 후 일정 조건하에서 배양하면서 조류의 성장률(Growth rate) 또는 수율(Yield)에 미치는 시험물질의 영향을 보는 것으로, 노출시간은 일반적으로 72시간이며 결과는 영향농도(ECx) 값으로 나타낸다. 이때 시험물질의 적절한 농도범위를 알기 위해 농도 설정 시험을 실시하고, 그 결과에 기초하여 본시험을 실시한다. 이 시험방법은 물에 잘 녹는 화학물질을 기준으로 하였기 때문에 용해도가 매우 낮은 물질의 경우 영향농도(ECx) 값을 구할 수 없을 수도 있다. 원칙적으로 시험조건하에서 시험물질의 물 용해도 자료 및 적절한 정량분석 방법을 확보하는 것이 필요하다.

(라) 어류 만성독성²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장제9, 11, 12항 참고)

어류 만성독성 시험은 어류 초기생장단계 독성시험(TG 210), 어류 배아 및 난황단계 치어 독성시험(TG 212), 어류 유생성장시험(TG 215)으로 분류된다. 어류 만성독성 항목은 최소영향관찰농도(LOEC) 및 NOEC 등을 도출하여 기재한다.

27) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 202: Daphnia sp. Acute Immobilisation Test.

28) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 201: Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test.

29) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 210: Fish, Early-Life Stage Toxicity Test.

30) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 212: Fish, Short-term Toxicity Test on Embryo and Sac-Fry Stages.

31) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 215: Fish, Juvenile Growth Test.

어류 초기생장단계 독성시험(TG 210)은 화학물질에 대한 수서생물의 생장 단계에 따른 독성영향을 평가하기 위한 것으로, 어류의 생장 초기단계에 미치는 화학물질의 영향을 측정하는 데 목적이 있다. 어류의 초기단계(수정란 단계)에서 일정 농도의 시험물질에 노출시킨 후, 일정 시간 동안의 치사 영향, 발생장애, 기형 등을 관찰하고 대조군과 비교하여 시험물질에 대한 LOEC 및 NOEC 등을 평가한다.

어류 배아 및 난황단계 치어 독성시험(TG 212)은 수서생물의 초기생장단계에 대한 화학물질의 영향을 단기간에 평가하기 위한 것으로, 어류의 수정란부터 부화 직후까지의 기간 동안 화학물질의 영향을 평가하는 데 목적이 있다. 어류의 초기단계(수정란 단계)에서 일정 농도의 시험물질에 노출시킨 후, 배아(embryo) 시기와 부화 직후의 난황단계 치어(sac fry)에서의 치사 영향, 발생장애, 기형 등을 관찰하고, 대조군과 비교하여 시험물질에 대한 LOEC 및 NOEC 등을 산출한다. 시험물질의 노출은 시험군 수정란부터 부화한 치어 개체의 난황이 완전히 흡수되기 직전 또는 대조군의 치어가 먹이 공급 없이 생존 가능한 기간 동안 실시한다.

어류 유생성장 시험(TG 215)은 화학물질의 장기간 노출이 어류 유생에 미치는 독성영향을 평가하는 데 목적이 있다. 지수 성장기 치어의 무게를 측정한 후 아치사(sublethal) 농도 범위의 시험용액에 시험개체를 28일간 노출시킨다. 이때 유수식 시험계를 사용하는 것이 바람직하나, 그렇지 못한 경우 반지수식 시험계를 사용하여 노출한다. 먹이는 매일 공급하며, 먹이량은 시험개체의 초기 무게를 기준으로 결정하고, 14일 후에 재산정하여 공급한다. 시험이 종료된 후에는 시험개체 무게를 다시 측정한다. 성장률에 x%의 변화(즉 ECx: EC₁₀, EC₂₀ 또는 EC₃₀)를 가져오는 농도를 평가하기 위해 회귀 모형을 사용하여 성장률에 대한 영향을 분석한다. 다른 방법으로는 대조군과 비교하여 LOEC 및 NOEC를 산출한다.

(마) 물벼룩 만성독성³²⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장제10항 참고)

물벼룩 만성독성 시험(TG 211)은 물벼룩의 생식능력에 미치는 시험물질의 영향을 파악하는 데 목적이 있으며, 물벼룩류 생식능 시험이라고도 한다. 노출 기간 동안 시험군 모체에서 태어난 자손의 개체 수를 조사함으로써 해당 물질의 생식능력에 대한 영향 여부를 파악하거나, 치사율, 최초 부화시기, 기타 독성 증상들을 대조군과 비교한다. 시험물질에 물벼룩을 21일 동안 노출하여 물벼룩의

32) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 211: Daphnia magna Reproduction Test.

생식능력에 영향을 나타내는 농도(예: EC₁₀, EC₅₀ 등)를 산출하며, 생식능력에 영향을 나타내지 않는 NOEC 또는 영향을 나타내는 농도 가운데 LOEC를 도출한다.

(바) 하수처리시설의 미생물 활동³³⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장제8항 참고)

하수처리설비(Sewage Treatment Plant, STP) 미생물에 대한 독성은 생분해 및 영양분 제거 기능을 보호하고 생활하수 및 산업용 STP 기능 수행을 위한 목적으로 평가한다. 하수처리설비 미생물에 대한 독성은 환경 유해성 분류 및 잔류성·축적성/고잔류성·고축적성 평가에는 사용되지 않으며, PNEC_{STP} 도출을 위해 활용된다.

활성 슬러지 호흡저해 시험(TG 209)은 호기성 미생물을 이용한 하수 또는 폐수처리장 기능을 억제할 수 있는 물질들을 신속하게 검색하고 미생물 분해 시험에서 미생물 활성을 저해하지 않는 시험물질의 적절한 농도를 설정하는 것을 목적으로 한다. 표준량의 합성 오수를 첨가한 활성 슬러지의 호흡률을 접촉 30분 후 및/또는 3시간 후에 측정한다. 다른 조건은 동일하게 한 조건에서 여러 농도의 시험물질이 있는 상태에서 동일한 활성 슬러지의 호흡률을 측정한다. 특정 농도에서 시험물질의 억제 효과를 두 대조군의 평균 호흡률로 표시하고, 서로 다른 농도에서의 측정 값들로부터 EC₅₀ 값을 계산한다.

(사) 저서생물 만성독성³⁴⁾³⁵⁾

Chironomus riparius, *Chironomus dilutus*와 같은 저서생물을 이용한 독성 시험은 물 또는 퇴적물에 존재하는 시험물질이 저서생물의 생존, 성장, 번식능력 등에 어떠한 영향을 미치는가를 평가하기 위해 퇴적물-물 시스템(sediment water system)에서 다양한 농도범위의 시험물질에 유충을 노출시켜 급성독성, 만성독성 등을 평가한다. 시험 결과를 통해 우화, 유충의 생존 및 성장에 대한 x% 감소 원인이 되는 농도(EC₁₅, EC₅₀ 등)를 추정하고, 대조군과 처리군의 영향을 통해 LOEC 및 NOEC를 산정한다.

33) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 209: Activated Sludge, Respiration Inhibition Test (Carbon and Ammonium Oxidation).

34) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 218: Sediment-Water Chironomid Toxicity Using Spiked Sediment.

35) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 219: Sediment-Water Chironomid Toxicity Using Spiked Water.

저서생물 만성독성 시험은 시험물질이 첨가된 퇴적물을 이용한 깔따구 독성 시험(TG 218)과 시험물질이 첨가된 물을 이용한 깔따구 독성시험(TG 219)으로 구분된다. 시험물질을 퇴적물에 첨가하고 1령의 깔따구 유충을 퇴적물과 물을 담은 비커에 넣은 후, 성충 깔따구의 출현과 발생률을 측정한다. 깔따구의 출현 또는 유충의 생존이나 성장에 대한 % 감소율을 나타내는 농도(예: EC₁₀, EC₅₀)를 구하기 위해 회귀 모델을 이용하거나, 통계학적 방법을 이용하여 LOEC 또는 NOEC를 산출한다.

(2) 육상 환경영역³⁶⁾³⁷⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장 참고)

육상 환경의 복잡함과 다양성으로 인해, 육상생물이 물질에 노출될 수 있는 다양한 노출경로(대기, 먹이, 공극수, 토양 등) 및 잠재적인 영향을 받게 되는 육상생물과 가장 많이 관련된 영양 단계 및 기능 그룹에 대한 평가가 이루어져야 하기 때문에, 화평법 내에서는 육상 영향평가의 범위로 식물과 지렁이의 급성 및 만성 평가를 적용하고 있다.

식물종자 발아 및 성장시험(식물 급성독성 시험)의 경우, 영양소를 외부로부터 받기보다 내부 저장 에너지를 사용하는 종자상태 식물의 특이성으로 인해 대다수의 화학물질이 뿌리에 흡수되지 않고 외부 영향에 대한 민감도가 저하될 가능성을 지니고 있다. 식물종자 발아 및 성장 독성시험의 경우, 대조군에서 50% 발아 후 14일까지의 영향을 관찰한 결과를 적용하여 L(E)C₅₀ 값을 산정한다. 식물 만성독성은 토양에 의한 고등식물의 성장 및 생식저해에 미치는 영향을 확인하여 평가한다.

토양오염에 대한 평가를 위해서는 지렁이에 대한 평가를 수행한다. OECD에서는 *Eisenia fetida*와 *Eisenia andrei*를 시험종으로 권장하고 있으며, 지렁이에 대한 급성독성 시험 시 유해물질 노출 시작일을 기점으로 14일 후 생존율 및 체중변화에 대한 LC₅₀ 값을 산정한다. 만성독성의 경우, 지렁이 생식저해 시험을 통해 NOEC 또는 ECx(예: EC₁₀, EC₅₀) 값을 산정한다.

(가) 육생식물 급성독성³⁸⁾³⁹⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장제6항 참고)

육생식물 급성독성 시험은 육생식물 성장시험(TG 208)과 육생식물 성장활성

36) 국립환경과학원고시 제2017-4호 「화학물질의 시험방법에 관한 규정」.

37) ECHA(2011), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part B: Hazard assessment.

38) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 208: Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and Seedling Growth Test.

39) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 227: Terrestrial Plant Test: Vegetative Vigour Test.

시험(TG 227)으로 분류된다.

육생식물 성장시험(TG 208)은 토양에 1회 처리한 고형 또는 액상의 시험물질이 여러 종의 육생식물의 발아 및 초기 성장에 미치는 영향을 평가하는 데 그 목적이 있으며, 본 시험은 많은 육생식물에 대해 적용된다. 시험방법은 여러 농도의 시험물질을 혼입한 토양에 종자를 심고난 후, 발아한 싹의 수를 기록하고 대조군의 싹이 50%가 발아하고 나서 적어도 2주 후에 식물을 잘라 중량을 측정한다.

육생식물 성장활성 시험(TG 227)은 일반 화학물질 및 살충제, 농작물 보호제품 등의 노출에 따른 육생식물의 성장 활성화에 대한 영향을 평가하기 위한 시험이다. 식물은 일반적으로 2~4 본엽령(true leaf stage)으로 성장한다. 시험물질을 식물의 잎 표면에 적당한 속도로 분사한 후 21~28일간 관찰, 대조군과 비교하여 생식 및 성장에 대한 영향을 평가한다.

(나) 육생무척추동물 급성독성⁴⁰⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장제5항 참고)

육생무척추동물 급성독성 시험(TG 207)은 토양을 수송매체로 하는 육생생물에 의한 기초단계 시험으로서, 토양을 이용한 지렁이의 단기간 노출을 통하여 화학물질의 유해성을 스크리닝하는 데 목적이 있다. 지렁이를 시험조건 하에서 여러 농도의 시험물질에 일정 기간 노출하여 그 사망수를 측정하여 LC₅₀ 값을 산출하며, 그 외의 독성영향도 관찰한다. 인공토양을 이용한 시험이 주로 사용되며, 필터페이퍼를 이용한 시험은 화학물질의 독성을 스크리닝하는 데 적용할 수 있다. 시험물질의 적당한 농도범위를 설정하기 위해 농도 설정 시험을 실시하고 그 결과에 기초한 농도 단계에 따라 본시험을 수행한다.

(다) 육생식물 만성독성⁴¹⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장제7항 참고)

육생식물 만성독성 시험(ISO 22030)은 통제된 조건의 토양에서 고등식물의 성장 및 생식능력 저해를 결정하기 위한 시험이다. 시험기간은 대조군과 시험식물의 생식능력을 비교하기 위한 만성 시험이 충분히 이루어지도록 설정해야 한다. 만성독성 시험은 시험물질을 단계별로 희석하여 수행될 수 있다.

(라) 육생무척추동물 만성독성⁴²⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제3장제13항 참고)

40) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 207: Earthworm, Acute Toxicity Tests.

41) ISO 22030:2005, Soil quality -- Biological methods -- Chronic toxicity in higher plants.

육생무척추동물 시험(TG 222)은 화학물질이 지렁이 번식능력에 미치는 영향을 파악하기 위함이며, 지렁이 번식독성 시험이라고도 한다. 노출시간 동안 태어난 유충(offspring, juvenile)의 개체수를 조사함으로써 시험물질의 생식능에 대한 영향 여부를 파악할 수 있으며, 그 밖에 성체의 사망 및 성장에 미치는 영향 등을 평가한다. 일정 농도의 시험물질을 함유한 인공토양에 넣은 지렁이의 생식, 성장 및 사망에 미치는 영향을 측정한다. 시험물질에 4주간 노출시킨 뒤 성체의 사망과 성장에 미치는 영향을 관찰하여 LC₅₀ 값을 산출한다. 생식에 대한 영향은 성체를 제거하고 4주간 더 노출시킨 다음, 난낭에서 부화한 유충의 수를 계수하여 측정한다. 대조군과 비교하여 시험물질에 대한 NOEC 및 영향농도(ECx)를 산출한다.

42) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 222: Earthworm Reproduction Test (*Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*).

나. 2단계: 적용 가능한 독성 값 및 평가계수 선정

환경에 대한 유해성 평가에서 최종적으로 PNEC를 도출하기 위해서는 적용 가능한 독성 값 및 평가계수를 선정해야 한다.

(1) 적용 가능한 독성 값 선정

1단계에서 확보된 환경 유해성 자료를 검토하여 환경에 대한 유해성 평가를 수행하기 위한 용량 수준을 선정한다. PNEC를 도출하기 위해서는 매체 내 생물체에 대한 가장 낮은 영향 농도가 필요하며, 급성독성의 경우 EC_{50} 또는 LC_{50} , 만성독성의 경우 NOEC 등의 값이 필요하다.

(2) 평가계수 선정⁴³⁾

환경에 대한 유해성 평가 과정에서의 불확실성 및 변이성을 설명하기 위해 사용되는 임의 입력 값인 평가계수(AF)를 선정한다. 평가계수는 화학물질의 유해성에 대한 동물실험 결과를 인체에 외삽하거나 민감한 대상까지 적용하기 위한 임의적 보정 값을 말하며, 불확실성 계수와 같은 의미로 사용된다.

평가계수 추론 과정에서 고려되는 불확실성은 1) 실험실 간 또는 실험실 내에서의 독성자료의 차이, 2) 종 간 또는 종 내에서의 생물학적 차이, 3) 단기노출을 장기노출로 외삽 시 이에 따른 차이, 4) 실험실 내에서 생산된 자료를 실제 환경 중으로 적용할 때 발생할 수 있는 차이 등이며, 각각의 불확실성에 대한 연구 결과가 별도로 없으면 수생생물 독성 평가의 경우 [표 10]의 미국 EPA 평가계수를 적용한다.

[표 10] 수생생물의 이용 가능한 독성자료별 평가계수 (US EPA)

이용 가능한 독성자료	평가계수
급성독성 값 1개 (1개 영양단계)	1,000
급성독성 값 3개 (3개 영양단계 각각)	100
만성독성 값 1개 (1개 영양단계)	100
만성독성 값 2개 (2개 영양단계 각각)	50
만성독성 값 3개 (3개 영양단계 각각)	10

43) 국립환경과학원(2012), 화평법 대비 화학물질 안전성평가 핵심기술 개발(I) 최종보고서.

수생생물 독성을 제외한 평가항목에 대해서는 EU REACH⁴⁴⁾에서 사용되고 있는 [표 11]의 평가계수를 적용하도록 한다.

[표 11] 수생생물 독성을 제외한 평가항목의 평가계수 (EU REACH)

환경매질		내용		평가계수
하수 처리 시설	미생물	OECD TG 209 활성 슬러지 호흡 저해 시험	이용 가능한 독성 값이 NOEC인 경우	10
			이용 가능한 독성 값이 EC ₁₀ 인 경우	10
			이용 가능한 독성 값이 EC ₅₀ 인 경우	100
침전물	담수	장기독성 시험 값이 세 가지 이상 존재하는 경우	이용 가능한 독성 값이 NOEC인 경우	10
			이용 가능한 독성 값이 EC ₁₀ 인 경우	10
		장기독성 시험 값이 두 가지 존재하는 경우	이용 가능한 독성 값이 NOEC인 경우	50
			이용 가능한 독성 값이 EC ₁₀ 인 경우	50
		장기독성 시험 값이 한 가지 존재하는 경우	이용 가능한 독성 값이 NOEC인 경우	100
			이용 가능한 독성 값이 EC ₁₀ 인 경우	100
육상 생태 환경	토양	3 영양단계에 대한 세 가지 생물종에 대해 장기독성시험(NOEC) 결과가 존재		10
		2 영양단계에 대한 생물종에 대해 장기독성시험(NOEC) 결과가 존재		50
		한 가지 생물종(예: 식물)에 대해 장기독성시험(NOEC) 결과가 존재		100
		단기독성시험 결과(예: 식물, 지렁이 또는 미생물)	LC ₅₀ 인 경우	1,000
			EC ₅₀ 인 경우	1,000

44) ECHA(2008), Guidance on information requirements and chemical safety assessment, Chapter R.10: Characterisation of dose [concentration]-response for environment.

다. 3단계 : 예측무영향농도(PNEC) 도출⁴⁵⁾(국립환경과학원고시 제2014-48호

[별표 3] 참고)

환경 유해성 평가는 환경 매체의 만성 및 급성 노출에 대한 PNEC 도출이 목적이다. PNEC는 수생태계 및 서식 생물체에 대해 화학물질이 영향을 일으키지 않는다고 추정되는 각 매체 내 화학물질 농도를 말하며, 시험 또는 비시험 방법을 통해 이상적으로 얻어진 각 매체 내 서식하는 생물체에 대한 독성 자료로부터 도출된다.

기본적으로 환경독성에 대해 이용 가능한 정보는 물질의 수량에 따라 달리 적용된다. 대상물질이 연간 10톤 이상 100톤 미만의 수량으로 제조 또는 수입되는 경우, 일반적으로 조류, 어류 및 물벼룩에 대한 급성독성 자료를 이용한다.

생태계 내 서식하는 생물종은 다양하지만, 실험실 내에서 이용 가능한 실험 생물종은 한정적이다. 생태계는 실험실 내 개별 생물체보다 화학물질에 민감하다고 간주하여 실험 결과를 직접 활용하지 않고, 평가계수를 이용한 PNEC 외삽을 기초로 사용한다.

평가계수 외삽은 실험 결과를 평가계수로 나누는 것으로 이용 가능한 자료가 부족할수록 평가계수는 커진다. 외삽 시 가장 낮은 독성 값을 적절한 평가계수로 나누어 PNEC를 추정하며, 그 절차는 다음과 같다.

- ① 환경 매체에 대해 각 영양단계/생물체 집단에 대한 핵심연구 선정
- ② 가장 낮은 영향농도를 이용하여 해당 생물종 집단 내 가장 민감한 영양 단계/생물체 집단 확인
- ③ 가용한 정보에 대한 함수로서 적절한 평가계수 확인
- ④ 가장 낮은 농도를 평가계수로 나누어 PNEC 도출

45) 국립환경과학원(2012), 화평법 대비 화학물질 안전성평가 핵심기술 개발(I) 최종보고서.

수생생물 평가계수를 적용한 PNEC 도출식은 다음과 같다.

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

* LC_{50} or $NOAEL$: 매체 내 생물체에 대한 가장 낮은 영향 농도

* AF : 평가계수, 가용한 독성 정보의 형태 및 양에 따라 크기가 결정됨

수생생물에 대한 이용 가능한 독성자료에 따라 수생환경 내 서식하는 생물체 보호를 위해 단일 생물종의 독성 실험 자료를 PNEC에 외삽하기 위하여 평가계수를 선택한다. 3단계에서 선정된 것과 같이, 수생생물 독성 평가항목과 수생생물 독성을 제외한 평가항목에 대해서 각각 다르게 적용한다. PNEC 도출식은 다음과 같다.

$$PNEC_{\text{comp}} = \frac{\text{Min}\{EC_{\text{comp}}\}}{AF}$$

* $\text{Min}\{EC_{\text{comp}}\}$: 매체 내 생물체에 대한 가장 낮은 영향농도. 즉, 급성독성의 경우 EC_{50} 또는 LC_{50} , 만성독성의 경우 EC_{10} /NOEC를 말하며 단위는 보통 mg/L, mg/kg

* AF : 평가계수, 가용한 독성 정보의 형태 및 양에 따라 크기가 결정됨

PNEC 도출 시 NOEC 값 대신 NOEL을 직접 사용할 수는 없으나, 다음과 같이 NOEL 값을 이용하여 NOEC 값을 유도할 수 있다. 단, LOEC의 비율을 확인할 수 없을 시 적용 불가능하다.

· $10\% < \text{LOEC} < 20\%$: NOEL는 $\text{LOEC}/2$ 로 계산

침전물이나 토양에 대한 예측무영향농도(PNEC) 도출 시 가용한 자료에 따라 평가계수방법과 평행분배방법으로 도출될 수 있다.

- 평가계수방법 : 침전물/토양 서식 생물체를 이용한 실험 결과 활용
- 평행분배방법 : 수생생물에 대한 독성자료만 가용한 경우 적용

침전물/토양 서식 생물체를 이용한 시험 결과는 거의 가용하지 않으므로, 대부분 수생생물에 대한 자료를 활용하여 $PNEC_{\text{sediment/soil}}$ 를 도출한다. 수생생물에 대한 자료를 활용할 경우에는 심해 및 침전물 서식 생물의 민감도가 침전물/토양 내 생물의 것과 유사하고 물질의 이용 가능성은 침전물/토양(유기물질)에 흡착하여 점점 감소한다고 가정하여 $PNEC_{\text{sediment/soil}}$ 을 추정한다.

- 평형분배방법

: 수생생물에 대한 자료만 가용하다면 평형분배방법을 통해 PNEC를 추정하며, 추정 단계는 다음과 같다.

- $PNEC_{water}$
- Koc 확인 (주요 연구에서 확인)
- 침전물 및 조건에 대한 표준 특성 사용
- 수식에 따른 계수 수행

▶ $PNEC_{sediment}$ 평가방법

$PNEC_{sediment}$ 를 결정하기 위해 다음과 같은 수식을 사용한다.

$$PNEC_{sediment} = (0.783 + 0.0217 \cdot Koc) \cdot PNEC_{water}$$

$PNEC_{sediment}$ 는 바로 가라앉은 부유 고형물(10% 고체 및 10% 유기탄소로 구성)에 기초하는 표준 침전물에 적용 가능하다.

▶ $PNEC_{soil}$ 평가방법

$PNEC_{soil}$ 을 결정하기 위해 다음과 같은 수식을 사용한다.

$$PNEC_{soil} = (0.174 + 0.0104 \cdot Koc) \cdot PNEC_{water}$$

$PNEC_{soil}$ 은 토양 고형물 내 60% 고체, 20% 물, 20% 공기 및 2% 유기탄소를 가진 표준 토양에 적용 가능하다.

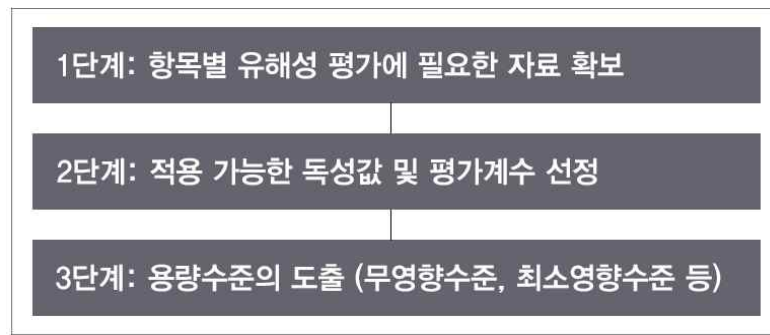
3. 환경 유해성 분류 표시에 관한 결론

환경 유해성 분류 표시의 경우, 인체와는 달리 환경에 대한 유해성 평가항목 결과만을 적용하여 분류하는 것이 아니라, 생물농축성 계수, 옥탄올/물 분배계수 등을 고려하여 평가하며, 급성 및 만성 독성을 구분하여 평가해야 한다.

8절. 인체 건강에 대한 유해성

1. 인체 건강에 대한 유해성 평가 절차

인체 건강에 대한 유해성 평가 절차는 [그림 6]과 같이 3단계로 나눌 수 있다. 인체 건강에 대한 유해성 평가에서는 비발암물질의 경우 무영향수준(DNEL) 또는 독성참고치(RfD, RfC), 발암물질의 경우 최소영향수준(DMEL) 또는 초과 발암 위해도(ECR)의 도출을 최종 목적으로 한다.



[그림 6] 인체 유해성 평가 절차

1단계 : 2장 2절의 내용을 참고하여 유해성 평가에 필요한 자료를 확보한다.

“화학물질의 등록신청 시 제출 자료”에서 활용할 수 있는 자료를 제외한 필수 시험항목의 경우에는 추가 자료를 확보하기 위한 시험을 수행하고, 시험계획서 제출항목의 경우에는 시험계획서를 작성한다.

2단계 : 1단계에서 확보된 자료를 검토하여 적용 가능한 독성 값 및 평가 계수를 선정한다.

3단계 : 최종적으로 독성 값과 평가계수를 이용하여 비발암물질의 경우 DNEL 또는 RfD, RfC, 발암물질의 경우 DMEL 또는 ECR을 도출한다.

최종적으로, 평가항목별로 보정된 용량 수준 및 적용된 전체 평가계수, DN(M)EL 또는 RfD, RfC 등을 도출한다. 이때 국소 및 전신으로 구분된 자료가 있는 경우에는 이를 구분하여 기재할 수 있다.

2. 인체 건강에 대한 유해성 평가

가. 1단계 : 항목별 유해성 평가에 필요한 자료의 확보⁴⁶⁾⁴⁷⁾

인체 건강에 대한 유해성 평가를 수행하기 위하여 항목별 유해성 평가에 필요한 자료를 확보해야 한다. 인체 건강에 대한 유해성의 경우, 15개 시험항목으로 구성되어 있으며, 각 톤수별 해당 시험항목은 다음 [표 12]와 같다. 급성독성(경구), 피부/눈 자극성 및 부식성, 과민성 등에 대한 평가는 필수항목에 해당하며, 일부 항목은 시험계획서로 대체하여 제출이 가능하거나 시험자료의 생략이 가능하다. 화학물질의 인체 건강에 대한 유해성 시험자료의 범위는 동법 시행규칙 [별표 1]에서 확인이 가능하며, 제5조제2항제4호에 따라 제출을 생략할 수 있는 시험자료는 동법 시행규칙 [별표 4]에서 확인이 가능하다. 또한 각 항목별로 시험을 수행하지 않아도 되는 시험 면제조건이 존재하므로, 국립환경과학원고시 제2017-11호 “등록신청자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정”의 [별표 2]에 해당하는 시험 면제조건을 확인하도록 한다.

확보된 자료는 동물에 대한 정보와 인체에 대한 정보로 구분하여 시험방법, 결과, 비교, 참고문헌에 대해 작성한다. 유해성 자료 작성에 사용되는 모든 자료는 신뢰도 평가 결과가 1 또는 2에 해당하여야 한다. 방법에는 생물종, 계통, 성별, 노출방법, 노출경로, 시험방법 등에 대해 기재하고, 결과에는 평가항목, 영향수준, 성별, 관찰 결과를, 비교에는 신뢰도, 자료의 구분 등을, 참고문헌에는 저자 및 연도를 각각 기재한다. 각 항목에 대한 연구 개요를 모두 작성한 뒤, 최종적으로 각 항목에 대한 요약 및 논의사항을 기재한다.

46) 국립환경과학원고시 제2017-4호, 「화학물질의 시험방법에 관한 규정」.

47) ECHA(2011), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part B: Hazard assessment.

[표 12] 톤수별 인체 유해성 시험항목

대그룹	중그룹	0.1~1톤	1~10톤	10~100톤	100~1,000톤	1,000톤 이상
급성 독성	급성 경구독성 (OECD TG 420/423/425)	○	○	○	○	○
	급성 경피독성 (OECD TG 402)			○	○	○
	급성 흡입독성 (OECD TG 403)			●	●	●
자극성 및 부식성	피부 자극성/부식성 (OECD TG 404)		○	○	○	○
	눈 자극성/부식성 (OECD TG 405)			○	○	○
과민성	피부 과민성 (OECD TG 406/429)		○	○	○	○
변이 원성	복귀 돌연변이 (OECD TG 471)	○	○	○	○	○
	포유류 배양세포를 이용한 염색체 이상(OECD TG 437/487)			○	○	○
	시험동물을 이용한 유전독성 (적혈구 소핵/골수 염색체, OECD TG 474/475)			○	○	○
	추가 유전독성(UDS(OECD TG 486)/생식세포(OECD TG 483/478))				●	●
반복 투여 독성	반복투여독성(28일) (OECD TG 407, 410, 412)			○	○	○
	반복투여독성(90일) (OECD TG 408/409, 411, 413)					●
발암성	발암성(OECD TG 451/453)					●
생식/ 발달 독성	생식 및 발달독성 스크리닝 (OECD TG421/422)			●	●	●
	최기형성(OECD TG 414)					●
	2세대 생식독성(OECD TG 416)					●

○: 필수 시험항목, ●: 시험계획서 제출항목 (향후 시험자료 제출 필요)

(1) 독성동태(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제14항 참고)

인체 건강에 대한 유해성 평가 시에는 화학물질의 독성동태학적 특성을 고려할 필요가 있다. 물질의 독성동태학적 특성은 시험 조건을 최적화하는 경우, 생체 내 시험의 적절한 용량을 결정하는 경우 등에 중요한 요소가 될 수 있으며, 흡수(absorption), 분포(distribution), 대사(metabolism) 및 배설(excretion)로 설명된다. 각각의 내용을 살펴보면 다음과 같다.

- 흡수(absorption): 물질이 신체 내로 들어가 생체 세포막을 투과하여 혈액 내로 이동하는 현상으로, 영향 요소로는 물질의 농도, 분자량, 용해성, 투여경로, 흡수 부위의 상태, pH 등이 있다.
- 분포(distribution): 물질이 흡수된 후 혈관과 림프관을 순환하다가 세포막을 통해 조직 속으로 침투하는 현상이다.
- 대사(metabolism): 물질이 생체 내에서 변화하는 과정으로서 물질의 작용 지속시간을 결정하는 요인의 하나이며, 주로 간에서 이루어지나 그 외에도 위장관 점막, 혈액, 근육조직 및 신장 등에서도 일어난다.
- 배설(excretion): 체내에 흡수된 약물은 일정한 작용을 발휘한 다음 체외로 배출된다. 가장 중요한 배설경로는 신장이며, 그 외에도 소화기(분변), 폐(호기), 피부(땀), 타액, 유즙, 태반을 통해 배설되는 경우도 있다.

독성동태 평가의 경우, 반복투여독성 및 생식/발달 독성 등의 시험 결과를 바탕으로 내용을 기술한다.

(2) 급성독성(시험방법고시 제2017-4호, 제5장 참고)

급성독성이란 단회 또는 단기 노출로 인해 발생하는 유해 영향을 말한다. 급성독성 시험의 방법은 매우 다양하며, 주로 사망을 유도할 수 있는 장기 및 조직 내 병리학적 변화를 관찰한다. 일반적으로 경구 및 경피독성의 정도는 시험군 내 생물체의 50%를 사망에 이르게 할 것으로 산정되는 용량을 의미하는 반수치사 용량(LD₅₀)으로 표현되며, 흡입독성의 경우에는 LC₅₀으로 표현된다. 급성독성 항목에는 반수치사 용량(LD₅₀) 또는 LC₅₀을 기재한다.

(가) 급성 경구독성⁴⁸⁾⁴⁹⁾⁵⁰⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제15,18항 참고)

급성 경구독성 시험은 시험물질을 24시간 이내에 1회 또는 수회 경구투여한 후 단시간 내에 나타나는 악영향(adverse effects)을 관찰하는 것으로, 경구독성 시험법은 고정용량법(TG 420), 독성등급법(TG 423), 용량고저법(TG 425)으로 구분된다.

고정용량법(TG 420)은 시험동물의 보호를 위해 치사량 이상의 화학물질 사용을 가급적 피하기 위한 방법으로 5, 50, 300, 2,000 mg/kg의 고정 용량을 단계별로 단일 성별의 동물 그룹에 투여하는 방법이다. 명백한 독성을 유발하는 용량이나 한 마리 이상의 사망을 유발하지 않는 용량이 확인될 때까지, 또는 최고 용량에서 아무런 영향이 관찰되지 않거나 최저 용량에서 사망이 발생할 때까지 반복하여 투여한다.

독성등급법(TG 423)은 단계적으로 한 성별의 동물 세 마리를 사용하는 시험 방법으로, 단일 성별(암컷을 우선으로 함)의 동물 세 마리를 사용하여 제시된 용량에 대해 단계적으로 투여한다.

용량고저법(TG 425)은 최대 다섯 마리의 동물을 사용하여 2,000mg/kg(특수한 경우 5,000mg/kg)을 순차적으로 투여하여 시험하는 한계시험과 시험물질을 정해진 농도로 최소 48시간 간격으로 투여하는 본시험으로 수행된다. 시험물질 투여 후 동물번호, 투여량, 공비(Dose progression factor) 및 사망동물의 발생 여부 등을 OECD 가이드라인에서 제공하는 AOT 425 StatPgm 전산 프로그램⁵¹⁾에 기입하여 전산 프로그램의 지시에 따라 추후 투여할 투여량을 산출할 수 있다.

(나) 급성 경피독성⁵²⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제1항 참고)

급성 경피독성 시험(TG 402)은 경피로 단기간의 노출에 의해 일어날 가능성이 있는 건강장해를 평가하는 시험이며, 시험물질을 여러 단계의 용량으로 군을 나누어 1군 1용량을 시험동물의 피부에 적용한 후 독작용 및 사망에 대하여 관찰한다. 시험기간 중 사망한 동물은 부검하고, 시험 종료 시 생존한 동물도 도살하여 부검 처리한다. 동물이 심하게 지속적인 고통의 징후를 나타내는 경우는 안락사를 시킬 필요가 있으며, 시험물질이 부식성과 자극성을 나타내어 동물에 현저한 고통을 일으키는 경우에는 시험할 필요가 없다.

48) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 420: Acute Oral Toxicity - Fixed Dose Procedure.

49) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 423: Acute Oral toxicity - Acute Toxic Class Method.

50) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 425: Acute Oral Toxicity: Up-and-Down Procedure.

51) Acute Oral Toxicity (OECD Test Guideline 425) Statistical Programme (AOT 425 StatPgm). Version: 1.0, 2001.

52) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 402: Acute Dermal Toxicity.

(다) 급성 흡입독성⁵³⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제2항 참고)

급성 흡입독성 시험(TG 403)은 흡입 가능한 물질(가스, 휘발성 물질 또는 입자상 물질)의 단기간 노출에 의해서 나타날 수 있는 건강장해를 평가하는 시험으로, 몇 개의 군으로 나눈 시험동물에 1군 1농도로 시험물질을 일정 기간 노출한다. 이때 노출환경 중에서의 적절한 농도를 유지하기 위하여 용매를 사용하는 경우에는 용매 노출군을 설정해야 한다. 그 후 시험물질에 의한 영향 및 사망에 대해 관찰하며, 시험 중에 사망한 동물은 부검하고 시험 종료 시까지 생존한 동물은 도살하여 부검한다.

(3) 자극성 및 부식성(시험방법고시 제2017-4호, 제5장 참고)

자극성 및 부식성은 피부, 눈 등에 대한 국소 영향을 말한다. 자극성은 회복이 가능한 피부 손상을 말하며, 부식성은 조직의 영구적인 손상을 유발하는 것을 의미한다. 자극성 및 부식성에 대한 인체 및 실험동물에 대한 모든 가용한 자료, 분류, 물질의 pH와 피부 경로를 통한 기존의 급성독성 시험 등에 대한 평가가 필요하며, 강산 또는 강알칼리 물질, 강산화제 등은 농도에 따라 자극성 또는 부식성이 있을 수 있다. 자극성 및 부식성 항목은 관찰된 자극/부식의 정도를 점수로 평가한 결과를 기재한다.

(가) 피부 자극성/부식성 시험⁵⁴⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제3항 참고)

피부 자극성 및 부식성 시험(TG 404)은 화학물질을 실험동물의 피부에 도포한 후 발생하는 피부의 자극 정도를 평가하는 시험이다. 기존의 연구 결과, 구조적으로 피부 자극성과 관련이 있는 화학물질 혹은 혼합물에 대한 자료, 화학물질의 강산 또는 강염기성, 검증된 생체 외 시험(*in vitro* test) 결과를 바탕으로 화학물질의 피부 부식성/자극성을 평가한 후, 잠재성이 있다고 판단 되는 경우에 본 시험을 수행할 것을 권고한다.

시험물질을 단회로 실험동물의 피부에 적용하고, 시험물질을 바르지 않은 실험동물을 대조군으로 하여 일정 시간 간격으로 자극/부식의 정도를 관찰한 후, 그 정도를 점수로 평가한다. 도포 완료 후 1시간, 24시간, 48시간, 72시간 후에 관찰되는 홍반과 부종에 관한 등급을 임상증상 및 피부반응 평가표에 따라 표로 요약하여 나타낸다.

53) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 403: Acute Inhalation Toxicity.

54) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 404: Acute Dermal Irritation/Corrosion.

(나) 눈 자극성/부식성 시험⁵⁵⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제3항 참고)

눈 자극성 및 부식성 시험(TG 405)은 화학물질이 안구나 점막에 노출되었을 때 나타나는 악영향을 평가하는 시험으로, 시험물질을 건강한 동물의 한쪽 안구에 1회 투여한 후 발생하는 독성을 관찰한다. 동물의 안구에 심각한 자극성이나 부식성이 있는 것으로 알려진 물질이나, 피부 자극성 시험 결과 심한 피부 자극성이나 부식성이 있는 물질은 본 시험을 수행하지 않아도 된다. 시험 결과는 각종 임상증상을 기록하며, 안구병변 등급과 임상증상을 고려하여 종합적으로 평가한다.

(4) 피부 과민성⁵⁶⁾⁵⁷⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제5항 참고)

피부 과민성은 면역체계를 활성화시킬 수 있는 물질에 의해 알레르기 반응을 유발하는 것을 말하며, 피부 노출에 의해 알레르기성 접촉 피부염 또는 아토피성 피부염 등이 유발될 수 있다. 피부 과민성 시험의 목적은 물질이 충분한 알레르기 발현성을 가진 물질인지 확인하기 위하여 선정된 방법에 따라 피부 과민성을 조사하는 데 있다. *in vivo* 시험에서 부식성이 관찰된 물질이나 물질의 pH에 따라 시험이 필요하지 않을 수 있다.

피부 과민성 시험은 기니피그를 이용한 과민성 시험방법인 Guinea Pig Maximisation Test(GPMT) 및 Buehler 시험법(TG 406)과 쥐의 국소 림프절을 사용한 과민성 시험방법인 Local Lymph Node Assay(LLNA) 시험법(TG 429)으로 구분된다.

과민성 항목은 각 시험에서 관찰된 동물의 피부 반응을 보여주는 데이터를 기재하며, 시험물질, 매개물질, 시험동물, 시험조건, 과민성 점수 등을 포함해야 한다.

(5) 반복투여독성(시험방법고시 제2017-4호, 제5장 참고)

반복투여독성은 28일 또는 90일 동안 물질을 매일 투여하여 발생하는 일반적인 독성 영향을 말한다. 이 시험에서는 형태, 생리적 기능, 성장 또는 수명, 임상 화학적 특성 또는 행동 변화 등이 평가될 수 있다. 반복투여독성 항목은

55) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 405: Acute Eye Irritation/Corrosion.

56) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 406: Skin Sensitisation.

57) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 429: Skin Sensitisation.

시험동물의 종, 계통, 성별 등에 대한 정보와 독성 징후, 혈액학적 분석 자료, 부검 소견, 병리학적 소견 등에 대해 자세히 기재한다. 가능한 항목에 대해서는 적당한 통계적 수법을 이용하여 처리한다. 28일 및 90일 반복투여독성 시험에서 노출 경로의 선택은 물질의 성상에 따라 결정될 수 있으며, 자료가 존재하지 않는 경우에는 성상에 따라 시험이 가능한 범위를 확인하여 시험을 수행하여야 한다.

(가) 반복투여 독성시험(28일)⁵⁸⁾⁵⁹⁾⁶⁰⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제 6,8,10항 참고)

28일 반복투여독성 시험은 아급성 독성시험이라고도 불리며, 포유류에 시험물질을 28일간 매일 반복 투여했을 때 나타나는 생체의 기능 및 형태의 변화를 관찰하기 위한 시험이다. 경구 반복투여 독성시험(TG 407), 경피 반복투여 독성시험(TG 410), 흡입 반복투여 독성시험(TG 412)으로 구분된다.

(나) 반복투여 독성시험(90일)⁶¹⁾⁶²⁾⁶³⁾⁶⁴⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제 7,9,11항 참고)

90일 반복투여 독성시험은 아만성 독성시험이라고도 불리며, 포유류에 시험물질을 90일간 매일 반복 투여했을 때 나타나는 생체의 기능 및 형태의 변화를 관찰하기 위한 시험이다. 설치류에 적용되는 경구 반복투여 독성시험(TG 408), 비설치류에 적용되는 경구 반복투여 독성시험(TG 409), 경피 반복투여 독성시험(TG 411), 흡입 반복투여 독성시험(TG 413)으로 구분된다.

(6) 유전독성(시험방법고시 제2017-4호, 제5장 참고)

유전독성은 DNA나 염색체 등 유전물질의 손상 및 변이를 일으키는 것을 말한다. 변이원성 항목은 양성, 음성의 결과로 나타내며, 시험 조건에 대해서도 기재하도록 한다(예: *in vitro* 시험의 경우 균주의 종류, 대사활성계의 조성, 시험 농도 등, *in vivo* 시험의 경우 투여경로, 투여용량 선정근거 등이 포함됨).

58) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 407: Repeated Dose 28-day Oral Toxicity Study in Rodents.

59) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 410: Repeated Dose Dermal Toxicity: 21/28-day Study.

60) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 412: Subacute Inhalation Toxicity: 28-Day Study.

61) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 408: Repeated Dose 90-Day Oral Toxicity Study in Rodents.

62) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 409: Repeated Dose 90-Day Oral Toxicity Study in Non-Rodents.

63) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 411: Subchronic Dermal Toxicity: 90-day Study.

64) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 413: Subchronic Inhalation Toxicity: 90-day Study.

(가) 복귀 돌연변이⁶⁵⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제23항 참고)

복귀 돌연변이 시험(TG 471)은 살모넬라균의 histidine 요구성 변이(his- → His+)와 대장균의 tryptophan 요구성 변이(trp- → trp+)를 지표로 하여 점 돌연변이(point mutation)를 야기하는 화학물질의 변이원성을 평가한다. 이 시험은 시험물질에 의한 DNA 염기쌍의 치환, 삽입, 결실과 관련된 점 돌연변이를 찾기 위해 수행되며, 시험물질에 의한 변이원성 및 필수 아미노산을 합성하기 위한 기능이 없는 균주의 회복을 통해 화학물질의 유전자 돌연변이 유발성을 평가한다.

(나) 포유류 배양세포를 이용한 염색체 이상 시험⁶⁶⁾⁶⁷⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제24항 참고)

포유류 배양세포를 이용한 염색체 이상 시험은 배양된 포유류 세포 내 염색체의 구조적 이상을 유발시키는 물질을 확인하기 위한 시험으로, 포유류 세포를 이용한 염색체 이상 시험(TG 473)과 포유류 세포 소핵 시험(TG 487)으로 구분된다.

(다) 시험동물을 이용한 유전독성 시험⁶⁸⁾⁶⁹⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제25항 참고)

시험동물을 이용한 유전독성 시험은 설치류와 같은 포유류에서 적혈구 소핵 또는 골수 염색체의 분석을 통해 시험물질에 의해 유발되는 염색체 및 유사분열기관 손상을 확인하기 위한 시험으로, 포유류 적혈구 소핵 시험(TG 474)과 포유류 골수 염색체 이상 시험(TG 475)으로 구분된다.

(라) 추가 유전독성 시험⁷⁰⁾⁷¹⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제26항 참고)

추가적인 유전독성을 알아보기 위해 수행되는 시험은 *in vivo* 포유류 간세포를 사용한 UDS(unscheduled DNA synthesis) 시험(TG 486) 및 생식세포를 이용한 시험인 포유류 정원세포 염색체 이상 시험(TG 483), 설치류 우성치사 돌연변이 시험(TG 478)으로 구분된다.

65) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 471: Bacterial Reverse Mutation Test.

66) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 473: In vitro Mammalian Chromosome Aberration Test.

67) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 487: In Vitro Mammalian Cell Micronucleus Test.

68) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 474: Mammalian Erythrocyte Micronucleus Test.

69) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 475: Mammalian Bone Marrow Chromosomal Aberration Test.

70) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 478: Genetic Toxicology: Rodent Dominant Lethal Test.

71) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 483: Mammalian Spermatogonial Chromosome Aberration Test.

(7) 생식독성(시험방법고시 제2017-4호, 제5장 참고)

생식독성은 생식력 저하, 생식선에 대한 영향 및 정자형성 교란 등과 같은 영향 또는 최기형성을 말한다. 최기형성에는 성장 및 발달의 지연, 자손에서의 기형 및 기능 결손 등이 해당된다. 생식독성 항목은 생식 및 발달독성 스크리닝, 최기형성, 2세대 생식독성에 대해 각각 동물과 인체에 대한 정보 등을 구분하여 기재한다. 시험물질 투여군과 대조군과의 관계, 이상의 발생 및 심각성뿐만 아니라, 전체적 이상 영향, 확인된 표적기관, 불임, 임상적 이상, 영향받은 생식 및 수태 능력, 체중 변화, 폐사에 대한 영향, 기타 모든 독성 영향에 대해 기재한다.

(가) 생식 및 발달독성 스크리닝⁷²⁾⁷³⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제16항 참고)

생식독성 스크리닝 시험(TG 421/422)은 생식 및 발달독성을 초기에 판단하기 위한 시험이며, 화학물질의 독성학적 정보가 거의 없는 경우나 생식/발달 독성 시험 결과의 범위 값이 큰 경우에도 수행될 수 있다.

반복투여독성과 결합된 생식/발달독성 스크리닝 시험(TG 422)에서는 생식/발달독성 스크리닝 시험(TG 421)과 고환, 부고환의 무게 이외에 추가적으로 부신의 무게를 측정하며, 난소 이외에 자궁, 부신, 갑상선의 병리학적 변화를 관찰한다는 점에서 차이가 있다.

(나) 최기형성⁷⁴⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제12항 참고)

최기형성 시험(TG 414)은 태아발달과 관련된 생식독성 시험을 의미하며, 시험물질을 태자의 기관 형성기 상태에 있는 임신동물에 투여하여 시험물질이 태자의 발생에 미치는 장애, 특히 최기형성을 밝히기 위한 시험이다. 시험물질을 태자의 기관 형성기에 투여한 후 분만 직전에 부검하여 임신 성립 여부, 황체수, 착상수를 조사하고, 내부기관을 육안으로 관찰한다.

72) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 421: Reproduction/Developmental Toxicity Screening Test.

73) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 422: Combined Repeated Dose Toxicity Study with the Reproduction/Developmental Toxicity Screening Test.

74) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 414: Prenatal Development Toxicity Study.

(다) 2세대 생식독성⁷⁵⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제13항 참고)

2세대 생식독성 시험(TG 416)은 시험물질이 암컷 및 수컷의 발정기, 교미, 수태, 임신, 분만 등을 포함한 생식 기능과 자손의 발달 및 성장에 미치는 영향을 평가하기 위한 시험이다. 특히 F1 세대의 성장 및 발달, 생식 기능뿐만 아니라, F2 세대의 성장과 발달도 평가된다.

(8) 발암성⁷⁶⁾⁷⁷⁾(시험방법고시 제2017-4호, 제5장제22항 참고)

발암성은 돌연변이성 및 비유전적 증상을 모두 포함한 노출 인구집단의 종양 발생의 가능성을 말하며, 화평법상에서의 발암성 물질이란 암을 일으키거나 암의 발생을 증가시키는 물질을 말한다. 대부분은 유전적인 손상으로 인해 발생하는 것이며, 지속된 세포 분화 및 세포 내부 전달체계 이상 등과 같은 비유전적 독성 기전도 있을 수 있다.

발암성 시험(TG 451/453)은 시험물질을 동물의 전 생애에 걸쳐 연속 투여하여 시험물질의 발암성 유무를 밝히기 위한 시험이다. 원칙적으로 사료나 음료수에 첨가하여 경구투여를 통해 시험하며, 1~3개월의 예비시험을 거쳐 대조군에 비하여 10% 정도의 체중감소가 나타나지만, 중독에 의한 사망은 나타나지 않는 양을 최고용량으로 하여 시험동물의 전 생애에 걸쳐 투여한다.

발암성은 경구, 경피, 흡입 등 노출경로에 따라 구분되어 기재되어야 하며, 관찰된 이상상태, 독성증상과 시험물질의 투여량과의 관계에 대해 작성한다.

(9) 기타 영향

제시된 항목 이외에 신경독성, 면역독성 등과 같은 인체에 대한 유해성이 있는 경우, 동물에 대한 정보 및 인체에 대한 정보를 구분하여 각각 기재한다.

75) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 416: Two-Generation Reproduction Toxicity.

76) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 451: Carcinogenicity Studies.

77) OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Test No. 453: Combined Chronic Toxicity/Carcinogenicity Studies.

나. 2단계 : 적용 가능한 독성 값 선정

인체 건강에 대한 유해성 평가에서 최종적으로 비발암물질에 대한 DNEL 또는 RfD, RfC, 발암물질에 대해서는 이외에도 DMEL 또는 ERC를 도출하기 위해서는 적용 가능한 독성 값을 선정해야 한다.

1단계에서 확보된 인체 유해성 자료를 검토하여 인체 건강에 대한 유해성 평가를 수행하기 위한 용량 수준을 선정한다. 비발암물질 평가(발암물질의 비발암 유해성평가 포함) 시에는 매체 내 생물체에 대한 가장 낮은 용량을 의미하는 NOAEL 값을 필요로 하며, 다른 용량 수준으로 도출된 결과 값은 적절한 용량 수준으로 수정하여 적용되어야 한다. 발암물질 평가 시에는 DMEL을 도출하는 경우 시험동물 25%에 종양을 유발하는 용량 수준을 의미하는 T25 값 또는 독성 영향이 대조집단에 비해 10%와 같은 특정 증가분이 발생했을 때 이에 해당되는 노출량을 추정한 값을 의미하는 BMD(L)10 값을 활용할 수 있다. ERC를 도출하는 경우 세계보건기구(WHO) 또는 미국 EPA 등에서 제공하고 있는 발암 잠재력 값을 사용하거나 직접 용량-반응 평가를 수행한 결과를 이용한다.

다. 3단계: 용량 수준의 도출

인체 건강에 대한 유해성 평가는 비발암물질과 발암물질에 따라 차이가 있다. 비발암물질의 경우(발암물질의 비발암 유해성 포함) DNEL 또는 RfD, RfC를 도출한다. 두 방법은 용어 및 적용하는 평가계수의 차이를 지니나, 도출 원리는 동일하다. 발암물질은 추가로 DMEL 또는 ECR의 도출이 목적이다. 기존에 계산된 자료가 있는 경우에는 ECR을 도출하고, 새롭게 시험자료를 생산하는 경우에는 DMEL을 도출한다.

(1) 비발암물질(발암물질의 비발암 유해성포함) 평가⁷⁸⁾

DNEL 또는 RfD, RfC의 도출은 각각의 인구집단(근로자, 소비자, 환경을 통한 간접노출 등) 및 특히 민감한 집단(어린이, 임산부 등), 노출경로(경구, 경피, 흡입) 및 노출기간 등에 따라 다양하게 확인할 필요가 있다. 노출시나리오 평가 결과 노출 수준이 DNEL, RfD, RfC 등을 초과하지 않는 경우, 인체에 대한 위해성이 적절히 통제되고 있다고 판단할 수 있다.

DNEL 또는 RfD, RfC의 도출은 크게 다음과 같은 3단계를 거친다.

- ① 용량 수준 확인 및 작용 기작의 결정
- ② 올바른 시작점에 대한 평가항목별 적절한 용량 수준의 결정
- ③ 평가계수(Assessment Factors, AFs)의 적용

먼저 평가항목에 대한 용량 수준(예: NOAEL, NOAEC, BMD, LD₅₀, LC₅₀ 등)을 확인해야 한다. 특정 평가항목에 대해서 하나 이상의 적절한 연구 자료를 이용해야 하며, 하나 이상의 용량 수준을 확인해야 한다.

일부의 경우 용량 수준이 노출경로 단위 및 차원과 관련하여 노출평가 결과와 직접적으로 비교하는 것이 불가능할 수 있다. 이런 경우 역치 영향에 대한 용량 수준을 적절한 시작점(예: 보정된 NOAEL)으로 전환하는 것이 필요하다 (NOAEL_{corr}). 다음 네 가지 경우에 해당하면 직접 비교가 불가능하여 전환이 필요할 수 있다.

78) 국립환경과학원(2013), 화평법 대비 화학물질 안전성평가 핵심기술 개발(II) 최종보고서.

- ① 실험동물과 사람 간 생물학적 이용 가능성에 차이가 있는 경우
- ② 인체 노출과는 다른 노출경로에 대한 동물 용량 수준이 있는 경우
- ③ 사람과 실험 노출 조건 간 차이가 있는 경우
- ④ 실험동물과 사람 간 호흡률 차이가 있는 경우

마지막 단계는 실제 인체 노출 상황에 대해 실험자료를 외삽할 때, 불확실성을 설명하는 것이다. 모든 불확실성에 대해 각각의 평가계수를 적용하며, 평가계수(AF)는 3단계에서 선정된 평가계수를 모두 곱한 전체 평가계수를 적용한다. 각각의 불확실성에 대한 연구 결과가 별도로 없으면 임의로 [표 13]의 평가계수를 확인하여 선택한다. 일반인은 EPA 및 EU 평가계수⁷⁹⁾ 중 선택하여 적용할 수 있으나, 작업자는 EPA 평가계수가 따로 존재하지 않으므로 EU에서 제공하는 평가계수⁸⁰⁾(표 14)를 적용한다. DNEL, RfD, RfC 또는 DMEL, ECR 도출 과정에서 전체 평가계수는 선정된 각각의 평가계수들을 모두 곱하여 산정한다.

[표 13] EPA의 불확실성 종류에 따른 평가계수

불확실성의 종류	평가계수
종 간 다양성(동물에서 사람으로)	10
종 내 다양성(노약자, 임산부 등 민감집단 고려)	10
노출기간(아만성 자료의 활용 고려)	10
용량-반응 관계(NOEL-LOEL 외삽)	10
조정상수(전문가적 판단에 의해 추가적으로 고려) *독성시험 전문가의 언급이 없을 시 1 적용	1~10

79) http://www.epa.gov/risk_assessment/glossary.htm

80) ECHA(2012), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.8: Characterisation of dose[concentration]-response for human health.

[표 14] EU의 불확실성 종류에 따른 평가계수

평가계수 -차이점에 대한 설명		기본 값-전신 영향	기본 값-국소 영향
종 간 다양성 (interspecies)	- 체중당 대사율의 차이	AS ^a	1 ^b
	- 기타 차이점	2.5	2.5 ^c
종 내 다양성 (intraspecies)	- 작업자	5	5
	- 일반인구	10	10
노출기간	- 아급성-아만성	3	3 ^d
	- 아만성-만성	2	2 ^d
	- 아급성-만성	6	6 ^d
용량-반응 관계	- 용량-반응 평가의 신뢰성 (예: 용량 수준의 외삽 등)	1	1
데이터의 질	- 이용 자료의 일관성 및 완전성	1	1
	- 대체 자료의 신뢰성	1	1

a) 상대성장 스케일링(Allometric factor, AS) 인자

b) 피부, 눈 및 위장관의 단순 막 파괴를 통한 영향

c) 피부, 눈 및 위장관의 국소 대사를 통한 영향; 호흡기도 영향

d) 호흡기도 영향

상대성장 스케일링(Allometric factor, AS) 인자⁸¹⁾는 종 간 다양성을 보정하기 위한 인자이며, 시험동물의 체중에 대사율을 고려하여 인체에 대한 비중을 보정한 것으로, [표 15]를 적용한다.

[표 15] 상대성장 스케일링 인자

실험동물 종	체중(kg)	대사율 vs. 사람*
랫(Rat)	0.250	4
마우스(Mouse)	0.03	7
햄스터(Hamster)	0.11	5
기니피그(Guinea pig)	0.8	3
토끼(Rabbit)	2	2.4
원숭이(Monkey)	4	2
개(Dog)	18	1.4

* 사람의 체중은 70kg으로 가정함.

81) ECHA(2012), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.8: Characterisation of dose[concentration]-response for human health.

DNEL 또는 RfD, RfC 도출을 위한 수식은 다음과 같다.

$$\text{무영향수준 또는 독성참고치} = \frac{NOAEL_{corr}}{AF_1 \times AF_2 \times \dots \times AF_a} = \frac{NOAEL_{corr}}{\text{전체 } AF}$$

* NOAEL : 매체 내 생물체에 대한 가장 낮은 영향 농도

* AF : 평가계수, 가용한 독성 정보의 형태 및 양에 따라 크기가 결정됨

(2) 발암물질의 평가

(가) 최소영향수준(DMEL)의 도출

역치가 존재하지 않는 발암물질에 대한 DMEL 도출은 ‘선형화 방법 (Linearised approach)’ 또는 ‘큰 평가계수 방법(Large assessment factor approach)’을 적용하여 도출할 수 있다. ‘선형화 방법’을 사용하는 경우에는 T25(실험동물 25%에 종양을 유발하는 용량 수준)를 시작점(임의 입력 용량 수준)을 사용하며, ‘큰 평가계수 방법’을 사용하는 경우에는 BMD10 을 선형 외삽의 시작점으로 사용한다. 선형화된 접근법과 대규모 평가계수 접근법을 적용할 수 없는 경우, PBPK 모델링을 활용하여 용량-반응 평가를 수행할 수 있다. 평가할 물질과 이 물질을 대사하는 생물체의 흡수, 분포, 대사 및 배설에 대한 신뢰성 있는 자료를 확보할 수 있다면, 적용 용량과 내적 용량 사이의 비선형적 관계를 밝혀 선형화된 접근법과 대규모 평가계수 접근법 대신 PBPK 모델링을 통한 용량-반응 평가가 가능하다.

‘선형화 방법’은 기본적으로 종양 형성과 노출기간에 선형의 용량-반응 관계를 가정하여 도출된다. 이러한 요소는 고용량에서 저용량으로의 외삽에 관한 평가계수로 반영되며, 표준 수명 내에 특정 조직에서 동물 25%에 종양을 일으키는 체중 1kg당 일일용량을 의미하는 ‘T25’를 용량 수준으로 사용한다. T25는 단일 데이터 포인트를 이용하여 결정하며, 실험 결과로 나온 용량과 반응 데이터를 가지고 선형 내삽 혹은 외삽을 통해 T25를 산출하도록 한다. 예를 들어, 실험 결과 어떤 특정 용량을 투여해 종양이 15% 발생했다면, 그 용량에 25/15를 곱해 25% 발생 용량을 구한다. 즉 실험으로 얻은 하나의 용량-반응 데이터 값을 원점과 선형으로 연결하여 용량-반응 곡선을 결정하고, 이에 따라 25%의 종양을 발생시키는 용량을 계산하는 것이다. 그러나 종양 발생률이

25% 이상이라면 고용량이 종양 형성을 방해할 가능성을 고려해야 하기 때문에, 종양 부위에서 증가한 일반 독성이나 국소 독성이 이와 연관이 없다면 앞서 언급한 방법으로 외삽하고, 연관이 있다면 종양 형성이 높은 용량으로 인해 저해되었음을 외삽 과정에 적용해야 한다. T25는 선형 내/외삽이고, BMD는 비선형 수학적 모델을 이용하기 때문에 DMEL 도출 시 용량-반응 곡선이 선형 반응이라면 T25를 주로 사용한다.

선형화된 접근법을 이용할 경우, 지정 용량 보정을 위해 DMEL의 도출대상인 비한계치 발암물질에서, 작업장과 전 생애 노출의 조건 차이를 반영해야 한다. 노출 지속시간뿐만 아니라 표준 수명 전에 실험이 종료되는 경우도 고려해야 한다. 이런 경우 발견된 종양의 수는 수명을 다 채우고 실험을 종료했을 때의 종양 수보다 낮게 측정된 것이라 가정한다($f_1 = \frac{\text{실험종료시점}}{\text{표준수명}}$, $f_2 = \frac{\text{관찰종료시점}}{\text{표준수명}}$)이라고 할 때 ($Dose-descriptor$) $\times f_1 \times f_2$ 로 보정).

또한 (T25_{corr}) 용량 수준을 ‘T25’가 아닌, 실험동물의 10%의 종양 발생을 가정한 용량 수준을 의미하는 ‘BMD(L)10’을 사용하는 경우에는 고용량에서 저용량으로의 위해도 외삽 인자를 달리 적용하여야 한다. 실험 결과 얻은 용량-반응 데이터를 토대로 비한계치에 입각한 수학적 모델을 사용해 얻은 데이터를 포괄하고 저용량에서의 영향을 정량적으로 예측할 수 있는 함수를 그려 저용량에서의 위해성을 추정한다. 고용량에서 저용량으로 외삽을 하는 경우, 일반적으로 환경을 통해 물질에 노출되는 일반인 집단에 대하여 10⁻⁶의 위해도를 적용하고, 근로자 집단에 대하여 10⁻⁵의 위해도를 적용할 수 있다.

위해도 외삽 인자는 [표 16]⁸²⁾에 따라 적용하며, ‘T25’를 사용하는 경우와 ‘BMD10’을 사용하는 경우를 각각 구분하여 적용한다.

[표 16] DMEL 도출에 이용되는 고용량에서 저용량으로의 위해도 외삽 인자

고용량에서 저용량으로의 위해도 외삽 인자(HtLF)	임의 입력 값(전신 종양)	
	T25	BMD10
10 ⁻⁵ 위해도인 경우	25,000	10,000
10 ⁻⁶ 위해도인 경우	250,000	100,000

82) ECHA(2011), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Part B: Hazard assessment.

상대성장 스케일링(Allometric factor, AS) 인자는 종(species) 간 다양성을 보정하기 위한 인자이며, 시험동물의 체중에 대사율을 고려하여 인체에 대한 비중을 보정한 것으로, [표 16]을 참고하여 적용한다.

예를 들어, 노출된 100,000명당 한 명의 발암 위험도(10^{-5})에 대한 DMEL은 선형화 방법을 이용하여 다음과 같이 도출할 수 있다. 10^{-5} 및 10^{-6} 발암 위험도 수준은 근로자 및 일반 인구집단, 각각에 대한 DMEL 설정 시 지표적 내성 위험도로 볼 수 있다.

$$10^{-5} \text{을 나타내는 최소영향수준} = \frac{T25_{corr}}{AF_1 \times \dots \times HtLF} = \frac{T25_{corr}}{AS \times 25,000}$$

* *HtLF*: 고용량-저용량 외삽 인자

* *AF*: 평가계수, 가용한 독성 정보의 형태 및 양에 따라 크기가 결정됨

* *AS*: 상대성장 스케일링(Allometric Scaling) 인자

‘큰 평가계수 방법’은 BMD(L)10을 이용하여 DMEL을 도출하는 방법으로, BMD(L)10의 사용이 적절치 않은 경우 T25의 사용을 권장한다. BMD(L)10이 해당 BMD의 값으로부터 투여량 단위를 하나 이상 벗어나면 T25를 사용하도록 한다. ‘선형화 방법’과의 차이점은 시작점에 평가계수의 적용을 포함하고 있다는 점이다. [표 17]⁸³⁾에 해당하는 모든 평가계수를 곱하여 적용하므로 일반인의 경우에는 10,000을, 작업자의 경우에는 5,000을 각각 적용한다.

[표 17] DMEL 도출을 위한 ‘큰 평가계수’ 방법에서의 평가계수

평가계수(AF)의 종류		전신 종양에 대한 기본 값
종 내 다양성		10
종 간 다양성	일반인	10
	작업자	5
발암성 과정의 기원		10
비교점(예: BMD/T25는 NOAEL이 아님)		10

83) ECHA(2012), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.8: Characterisation of dose[concentration]-response for human health.

예를 들어, 일반 인구집단에 대한 DMEL은 다음 수식과 같이 도출될 수 있다.

$$\text{최소영향수준} = \frac{BMDL10_{corr}}{AF_1 \times \dots \times AF_n} = \frac{BMDL10_{corr}}{10,000}$$

‘PBPK 모델링’은 한 가지 이상의 노출경로를 통한 한 가지 이상의 물질에 대한 노출을 시뮬레이션해 보고, 이러한 물질들이 체내에서 흡수, 분포 및 배설되는 과정을 구조적·수학적으로 설명하는 데 활용된다.

PBPK 모델을 적용하는 방법은 두 가지가 있는데, forward 접근법은 적용 용량과 관련한 설정된 노출 데이터로부터 PBPK 모델링을 이용하여 상응하는 표적 조직에서의 화학물질의 내적 용량을 예측한다. 반면 reverse 접근법은 혈액이나 소변, 조직의 실험 샘플 혹은 바이오 모니터링 샘플을 토대로 얻은 내적 용량과 관련한 내부 화학물질의 노출 측정 자료로부터 PBPK 모델링을 이용해 적용 용량을 예측한다. 이 두 가지 접근법을 활용해 적용 용량과 내적 용량의 관계를 밝힘으로써 용량-반응 평가를 수행할 수 있다.

(나) 초과 발암 위해도(ECR) 도출

미국 EPA 발암성 평가는 주로 저용량 외삽을 통하여 추정된 발암 잠재력 (cancer potency, q_1)을 이용하여 수행된다. 발암 잠재력은 다음 식과 같은 발암성 노출량-반응 평가 모형의 선형다단계 모형(LMS)에서 q_1 의 95% 신뢰상한 값을 추정하거나 혹은 선형 모형에서의 β 추정 값을 구한다.

[발암성 노출량-반응 평가 모형]⁸⁴⁾

선형다단계 모형(LMS, Linearized Multistage Model)

$$P(d) = 1 - \exp[-(q_0 + q_1d_1 + q_2d_2 + \dots + q_kd_k)]$$

$$q_i > 0 \text{ and } i = 0, 1, 2, 3, \dots, k$$

$$A(d) = 1 - \exp[-(q_1d + q_2d^2 + \dots + q_kd^k)] \approx q_1 \times d$$

$P(d)$: 노출(d)에서의 발암 확률

$$A(d) = [P(d) - P(0)] / [1 - P(0)]$$

선형 모형(linear model)

$$RR = 1 + \beta \times \text{노출농도}, \text{ 혹은 } RR = e(\beta \times \text{노출농도})$$

RR : 상대 위험비(relative risk)

β : cancer potency

기존의 이용 가능한 용량-반응 평가 자료가 충분할 경우에는 그 결과를 인용할 수 있으며, 주로 미국 EPA 또는 세계보건기구(WHO) 등에서 확보할 수 있다. 발암물질의 경우, 용량-반응 평가 단계에서 산정된 발암력에 노출평가 단계에서 추정된 인체 노출량(흡입, 경구, 피부 섭취 노출량 등)을 다음 식에 적용시키고, ECR을 산출한다. ECR의 값이 10^{-6} 보다 큰지 여부에 의해 사람에게 위해 우려가 있을지를 판정한다.

$$\text{초과 발암 위해도} = \text{인체 노출량(mg/kg/day)} \times \text{발암력(mg/kg/day)}$$

$$\text{초과 발암 위해도} \geq 10^{-6} \Rightarrow \text{발암 위해를 무시할 만한 수준이 아님}$$

$$\text{초과 발암 위해도} < 10^{-6} \Rightarrow \text{발암 위해를 무시할 만한 수준임}$$

84) 국립환경과학원고시 제2006-30호 「위해성 평가의 대상물질 선정기준, 절차 및 방법 등에 관한 지침」.

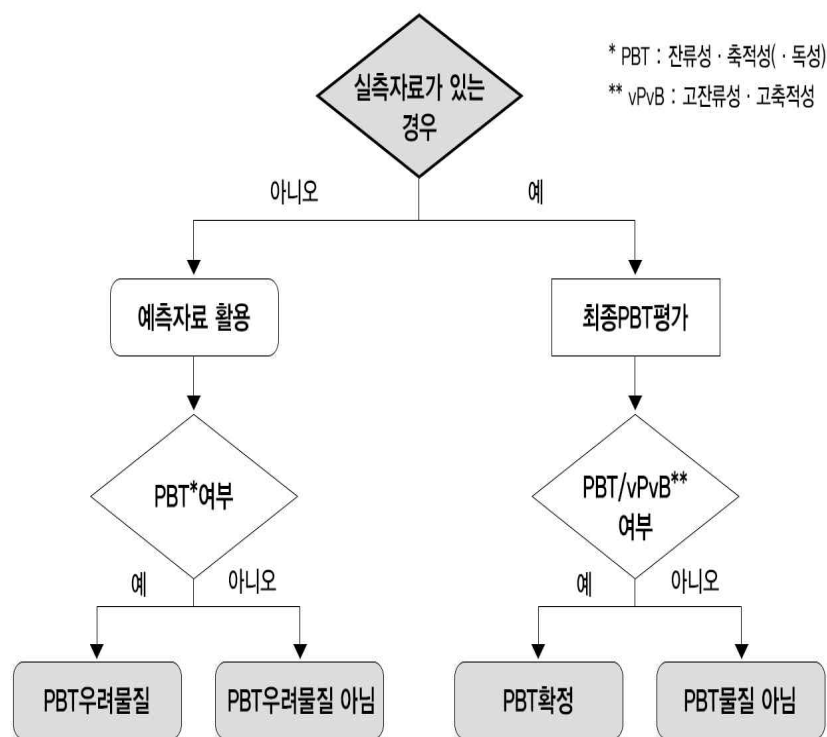
9절. 잔류성 · 축적성 평가

본 단계에서는 화학물질의 잔류성, 축적성 및 독성에 대해서 평가한다. 잔류성 · 축적성 평가에 관한 규정은 화평법에 별도로 규정된 것은 없고 다만 허가물질 지정(법) 및 지정기준(영)에 기술되어 있다. 따라서 평가기관은 우선 등록 화학물질이 동법 시행령 제19조제2항 [별표 4]의 제2호 가목 및 나목에서 따른 잔류성 · 축적성 화학물질에 해당여부를 결정하게 된다(모든 등록 물질에 대해 이를 평가할 수 있는 자료를 요구하지 않고 있음). 등록신청을 하는 산업체의 입장에서 잔류성이나 축적성평가는 매우 중요할 수 있다. 동법 시행규칙 [별표 2] 「10. 위해성 자료의 구성항목」에 「9. 잔류성 · 축적성 평가」로 명시되어 있어 위해성자료 작성 대상이 되는 경우는 이에 관한 평가를 해야 한다. 즉, 제조 · 수입자는 10톤 이상으로 제조 및 수입되는 화학물질에 대하여 실측자료 또는 예측자료를 활용하여 잔류성 · 축적성 평가를 해야 한다(단, 2015년에는 100톤 이상, 2017년에는 70톤 이상, 2018년 50톤 이상, 2019년 20톤 이상, 2020년 10톤으로 단계적으로 확대 시행한다). 시행규칙 [별표 2]의 2호 바목에 따르면 분류표시 대상이 아니더라도 잔류성 또는 농축성 물질인 경우는 위해성자료 작성 시 노출평가와 안전성확인을 해야 한다. 따라서 유해성이 적은 등록물질(예를 들어 고분자, 분류표시 대상이 아닌 일반물질 등)의 경우 잔류성, 농축성 검토가 특히 중요하다.

잔류성(Persistence)이란 화학물질이 분해되지 않은 상태나 그 화학적 구조 및 독성으로 보아 원래 물질과 크게 다르지 않은 상태로 토양·수질과 같은 자연환경이나 작물에 잔류하는 성질을 말한다. 더 오래 잔류할수록 인체나 환경에 노출될 확률이 더 높아진다. 이에 비해 축적성(Bioaccumulation)이란 모든 노출경로에 따른 화학적 섭취의 결과로 수생생물 내의 화학적 농도가 물에서의 농도를 초과하는 과정을 의미한다. 한편, 생물농축성(Bioconcentration)은 어류 등 생물의 조직 중 화학물질의 농도가 수중에서의 화학물질의 농도에 비해 상대적으로 증가되는 것을 말하며, 물보다 지방 중의 용해도가 높은 성향에 따라 먹이사슬의 이동에 의한 섭취로 화학적 농도가 초과하는 것을 의미한다. 여기서 축적성은 생물농축과 축적의 의미를 모두 포함한다. 또한 독성(Toxicity)이란 살아 있는 동 · 식물에 대해 해로운 영향을 미치는 성질을 말하며, 잔류성과 축적성을 가진 물질들 대부분 상위 먹이사슬 단계까지 축적되어 인체와 생태계에 독성을 나타낼 가능성이 높아진다.

1. 잔류성·축적성 평가 단계

앞서 설명한바와 같이 제조·수입자는 10톤 이상으로 제조 및 수입되는 화학물질에 대하여 실측자료 또는 예측자료를 활용하여 잔류성·축적성 평가를 진행한다(단, 위해성자료 제출과 관련한 부칙에 따라 2015년에는 100톤 이상, 2017년에는 70톤 이상, 2018년 50톤 이상, 2019년 20톤 이상, 2020년 10톤으로 단계적으로 확대 시행한다). 실측 자료를 이용할 경우에는, 좀 더 심도 있게 잔류성·축적성 평가를 통해 잔류성·축적성 및 고잔류성·고축적성 물질으로 판단한다. 예측자료를 통해 판단한 결과에서 잔류성·축적성·독성 중 하나의 특성에라도 해당이 되는 경우에는 ‘잔류성·축적성 우려물질’로 구분한다



[그림 7] 잔류성·축적성 평가 절차

2. 실측자료가 없는 경우의 평가

실측자료를 이용하여 잔류성·축적성에 대한 평가를 수행할 수 없는 경우에는 예측자료를 활용하여 빠르고 간단한 방법으로 ‘잔류성·축적성 우려물질’을 확인할 수 있다.

예측자료를 활용한 평가에서는 실질적인 시험 수행을 요구하는 것은 아니며, 물리적·화학적 특성 및 IT tool의 결과 등의 비시험 자료를 활용하여 ‘잔류성·축적성 우려물질’을 확인한다.

가. 비시험 자료의 활용

예측자료를 활용한 평가로 비시험 자료를 이용하여 잠재적 잔류성·축적성 우려물질을 판단한다. 비시험 자료로 물리적·화학적 특성 및 IT tool을 활용하여 잔류성·축적성 우려물질임을 확인할 수 있다. 대표적인 IT tool로는 PBT profiler와 (Q)SAR가 있으며, 특정 IT tool에 제한을 두지 않고 모든 평가 대상 물질에 대해 특성에 맞는 적절한 프로그램을 이용하여 잔류성·축적성 우려물질을 확인한다. 다만, IT tool 활용 시 유기화학물질만 이용 가능하며, 고분자, 무기물, 유기금속, 혼합물, 과불화 물질은 IT tool의 사용이 불가하다.

잔류성·축적성 우려물질을 확인하기 위한 대표적인 IT tool로는 앞서 언급하였듯이 PBT profiler⁸⁵⁾, Ambit XT⁸⁶⁾와 (Q)SAR가 있다. PBT profiler의 경우 CAS No. 또는 물질의 구조를 입력하는 것만으로도 결과를 확인할 수 있어 매우 유용하다.

Ambit XT는 시험 및 비시험 값들을 입력하면 잔류성·축적성을 판단해 주는 프로그램이다. 그러나 초기 입력 값이 많고 비시험 값들만 있는 경우, 불확실성이 크다고 판단하여 시험을 추가로 요구할 수 있다. 그러므로 비시험만으로 평가를 수행하는 단계에서보다는 시험자료를 보유한 최종 단계에서 더 유용하다고 볼 수 있다.

(Q)SAR 또한 IT tool의 일부이며, 물질의 구조와 생리활성 간의 정량적 상관관계를 이용하여 물질의 특성을 예측하는 방법이다. 구조적으로 유사한 물질들의 물성 및 독성 또한 유사하다고 전제하는 것이므로 구조가 복잡하거나 고분자 물질일 경우 (Q)SAR의 사용이 적합하지 않다. (Q)SAR을 활용한 프로그램들이 다양하게 개발되었으며, 대표적인 것으로 OECD의 Toolbox와 EPI Suite가 있다.

85) <http://www.pbtprofiler.net>

86) http://ambit.sourceforge.net/download_ambitxt.html

LMC의 웹사이트에서 OECD Toolbox⁸⁷⁾를 다운로드받을 수 있으며, Read-across와 Trend Analysis 방식 등을 통해 예측 값을 도출한다.

EPI Suite⁸⁸⁾는 단일 입력으로 다음의 예측 프로그램들은 모두 실행시킬 수 있으며, 다음 [표 18]의 예측 프로그램을 통해 잔류성·축적성 및 독성을 확인할 수 있다.

[표 18] 잔류성·축적성 평가에 이용 가능한 IT Tool 종류

예측 프로그램		내용	확인 가능한 특성	그 외
PBT profiler			P, B, T	AEROWIN, AOPWIN, BioHCwin HENRYWIN, KOAWIN, KOCWIN, LEV3EPI, MPBPWIN, STPWIN, WATERNT, WSKOWWIN, WVOWIN,
EPI Suite	KOWWIN	옥탄올/물 분배계수	P	
	BIOWIN	유기물의 호기성 및 혐기성 생분해도		
	BCFBAF	어류의 생물농축계수(BCF)	B	
	HYDROWIN	가수분해율 및 반감기		
ECOSAR		어류 독성	T	

나. 잔류성·축적성 평가 기준

예측자료를 활용한 평가 기준은 다음 [표 19]와 같이 적용되며, 잔류성·축적성 및 독성의 기준들 중 하나 이상 통과하면 ‘잔류성·축적성 우려물질’이라고 판단한다.

잔류성의 경우, IT tool 중 하나의 기준만 통과해도 잔류성을 가진 물질로 의심한다. 축적성도 잔류성과 마찬가지로 하나의 IT tool 기준만 충족하여도 축적성을 가졌다고 의심할 수 있다. 독성 역시 하나 이상의 기준을 통과하는 경우 독성물질로 의심할 수 있다.

87) <http://toolbox.oasis-lmc.org/?section=download&version=latest>

88) <http://www.epa.gov/oppt/exposure/pubs/episuitedl.htm>

[표 19] 예측자료를 활용한 잔류성·축적성 물질의 평가 기준

잔류성(P)의 평가항목 종류			잔류성	
			P	vP
PBT profiler	반감기	물	≥ 60일	> 180일
		토양	≥ 60일	> 180일
		대기		> 2일
		퇴적토	≥ 60일	> 180일
(Q)SAR 모델	BIOWIN 2와 3		분해가 빠르지 않음 (확률 < 0.5) 최종 생분해 예상 기간: ≥ 개월 (값 < 2.2)	
	BIOWIN 6과 3			
HYDROWIN	가수분해의 반감기		≤ 14일	
축적성(B)의 평가항목 종류			축적성	
			B	vB
(Q)SAR	옥탄올/물 분배계수 (LogKow)		4.7 < LogKow < 7.6	5.2 < LogKow < 7.1
PBT profiler	BCF (BCFWIN 모델로 추정)		≥ 1,000	≥ 5,000
먹이사슬에 생물확대가 될 수 있다는 확실한 증거 (예: 현장 데이터)			예) BMF > 1	
물질이 화학물질의 종류에 속하는 경우 살아 있는 생물에 축적된다고 알려진 물질과 구조적으로 유사한 경우			구조적 유사 물질들은 기준 충족 잠재적 B 또는 vB	
최대 지름의 평균 (Dmax aver)				
분자량 (MW)			≤ 700	
최대 분자 길이 (MML)			≤ 43Å	
측정된 옥탄올 용해도 (OS, mg/L)			OS ≥ 0.002 × MW	
독성(T)의 평가항목 종류			독성	
환경에 대한 유해성	급성	어류 독성	LC ₅₀ (96시간) < 1mg/L	
		물벼룩 독성		
		조류성장 저해		
	만성	어류 독성	NOEC < 0.01mg/L	
		물벼룩 독성		

3. 잔류성 · 축적성 최종 평가

잔류성 · 축적성의 톤수별 해당 필수 시험항목 및 시험계획서 제출 항목은 [표 20]과 같다. 高잔류성을 확인하기 위해서는 매체별 반감기가 필요하나, 필수 시험항목으로는 이를 확인하는 것이 불가능하므로 가용한 모든 정보(예: 기존의 시험 데이터, IT tool, 출판 문헌 등)를 토대로 최종적으로 고잔류성 물질임을 판단한다.

잔류성의 기준을 충족할 경우에만 축적성/고축적성에 대한 평가를 실시하며, 그렇지 않은 경우에는 평가를 종료한다. 물리적 · 화학적 특성에 따라 잔류성 시험이 어렵거나 불가능한 경우, 예외적으로 생물농축성에 대한 평가를 우선적으로 실시할 수 있다. 축적성/高축적성 평가를 위해 BCF 값 또는 Log Kow 값을 확인할 수 있는 시험법이 필요하다. 잔류성과 마찬가지로 시험자료가 없는 경우 가용한 모든 정보를 이용한다.

[표 20] 잔류성·축적성 물질의 톤수별 시험항목

항목		0.1~1톤	1~10톤	10~100톤	100~1,000톤	1,000톤~	평가 가능 항목
잔류성	OECD TG 111: pH에 따른 가수분해			○	○	○	P
	OECD TG 301: 이분해성	○	○	○	○	○	P
	OECD TG 302(A~C): 본질적 분해성				●	●	P
	OECD TG 303: 환경 거동/동태 추가정보					●	P
	OECD TG 307: 환경 거동/동태 추가정보					●	P 및 vP
	OECD TG 308: 환경 거동/동태 추가정보					●	P 및 vP
	OECD TG 309: 환경 거동/동태 추가정보					●	P 및 vP
	OECD TG 310: 이분해성		○	○	○	○	P
축적성	OECD TG 117: n-옥탄올/물 분배계수		○	○	○	○	B 및 vB
	OECD TG 305: 생물농축성					●	B 및 vB
독성	OECD TG 203: 어류 급성독성	○	○	○	○	○	T
	OECD TG 202: 물벼룩 급성독성		○	○	○	○	T
	OECD TG 201: 급성 담수조류 생장저해			○	○	○	T
	OECD TG 210/212/215: 어류 만성독성				●	●	T
	OECD TG 211: 물벼룩 만성독성				●	●	T
	OECD TG 420/423/425: 급성 경구독성	○	○	○	○	○	T
	OECD TG 402: 급성 경피독성			○	○	○	T
	OECD TG 403: 급성 흡입독성			●	●	●	T
	OECD TG 404: 피부 자극성/부식성		○	○	○	○	T
	OECD TG 451: 발암성			○	○	○	T
	OECD TG 471: 복귀 돌연변이		○	○	○	○	T
	OECD TG 473/487: 포유류 배양세포를 이용한 염색체 이상			○	○	○	T
	OECD TG 474/475: 시험동물을 이용한 유전독성			○	○	○	T
	OECD TG 486, 483/478: 추가 유전독성				●	●	T
	OECD TG 421/422: 생식 및 발달독성 스크리닝			●	●	●	T
	OECD TG 414: 최기형성					●	T
	OECD TG 416: 2세대 생식독성					●	T
	OECD TG 407,410,412: 반복투여독성(28일)			○	○	○	T
	OECD TG 408/409,411, 413: 반복투여독성(90일)					●	T

※ ○: 필수 시험항목, ●: 시험계획서 제출항목 (향후 시험자료 제출 필요)

가. 고잔류성·고축적성의 평가

제조·수입자의 혼란을 감소시키기 위해 최종 평가에서 단계적으로 시험자료를 활용할 수 있도록 다음과 같이 시험자료 활용 절차에 대해 기술하였다. 필수 시험항목(TG 111, 117, 301, 310)에 대해서는 반드시 GLP 기관의 시험자료를 제출해야 하며, 그 외 평가자료는 non-GLP 시험자료 보유 여부에 따라 결정되고, 비시험 자료로는 (Q)SAR을 포함한 IT tool 및 classification, grouping 등의 자료가 사용될 수 있다.

(1) 시험자료가 충분한 경우

시험자료가 충분하다는 근거는 고잔류성·고축적성 물질임의 확인이 가능한 여부에 따라 달라진다. GLP 시험자료가 있을 경우 추가적인 비시험 자료를 요구하지는 않으나, 비시험 자료를 보유하였다면 모든 자료에 대한 제출 의무가 있다.

잔류성의 필수 시험항목에는 TG 111, 301, 310이 있으나, 이를 통해서만 잔류성의 확인만 가능하고 고잔류성의 판단은 불가능하다. 따라서 고잔류성을 확인할 수 있는 TG 307/308/309(매체별 반감기)의 시험자료가 필요하며, TG 111, 301, 307, 308, 309, 310 시험자료가 모두 GLP 기준을 따랐을 때에만 고잔류성의 판단을 위한 시험자료가 충분하다고 할 수 있다.

축적성의 필수 시험항목은 TG 117(옥탄올/물 분배계수)이 유일하며, 이를 통해 축적성과 고축적성의 확인이 모두 가능하다. 그러나 축적성을 확인하는 척도로 BCF 값이 더 신뢰성을 가진다고 볼 수 있어, TG 305(생물 농축도)의 GLP 시험자료가 있다면 Log k_{ow} 값보다는 BCF 값을 우선적으로 판단한다.

(2) 시험자료가 불충분한 경우

필수 시험항목에 대해서는 반드시 GLP 시험자료를 제출하지만, 고잔류성·고축적성에 대한 시험법 중 GLP 시험자료가 일부만 존재하여 시험자료가 불충분한 경우가 이 단계에 해당된다. 부족한 데이터는 non-GLP 시험자료 및 IT tool을 포함한 비시험 자료를 활용하여 채울 수 있다.

예를 들어, 고잔류성을 위한 시험방법 TG 307, 308, 309(매체별 반감기) 중 TG 307, 308의 GLP 시험자료가 부재한 경우 이를 대체하기 위한 시험자료가

필요하다. TG 307은 non-GLP 시험자료가 있어 이를 제출할 수 있지만, TG 308의 경우 어떠한 시험자료가 존재하지 않는다면 비시험 자료(IT tool 등)가 반드시 필요하다. 이전의 평가에서 사용되었던 IT tool의 결과를 포함할 수 있으며, 가용한 모든 정보로 잔류성과 고잔류성을 최종적으로 판단해야 한다. 축적성의 경우, 필수 시험항목으로 축적성과 고축적성의 확인이 가능하므로 추가적인 비시험 자료 및 IT tool을 반드시 활용해야하는 것은 아니나, 이를 보유하고 있다면 모두 제출해야 한다.

(3) 시험자료가 없는 경우

잔류성의 경우, TG 307, 308, 309(매체별 반감기)에 대한 어떠한 시험자료도 없다면, IT tool을 포함한 모든 비시험 자료를 인정하고 전문가의 검증을 받아 잔류성 또는 고잔류성을 판단한다. 축적성의 경우, 필수 시험항목으로 축적성과 고축적성의 확인이 가능하므로 추가적인 비시험 자료를 요구하지 않으나, 위와 마찬가지로 평가 물질에 대한 모든 자료를 제출해야 한다. 단, 비시험 자료의 경우, 하나의 자료로 잔류성·축적성임을 판단하는 것은 매우 위험하며, 증거의 가중법을 활용하여 모든 자료를 종합적으로 검토하여 판단해야 한다. 잔류성과 생물농축성 시험만으로 고잔류성·고축적성 기준에 해당되면 추가적인 독성 시험을 요구하지 않는다.

나. 잔류성·축적성 최종 평가 기준

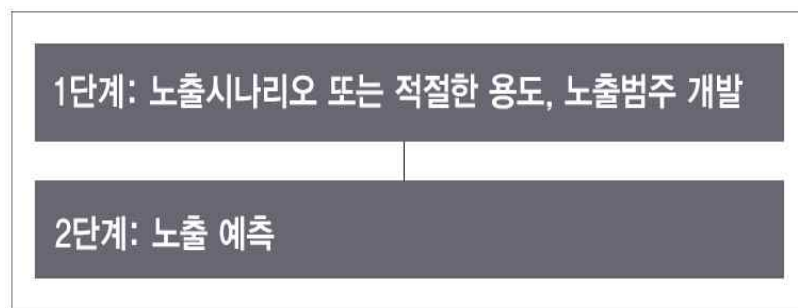
잔류성·축적성·독성의 기준 모두를 충족했을 경우에만 ‘잔류성·축적성 물질’이라 볼 수 있으며, ‘高잔류성·高축적성 물질’의 경우 高잔류성 및 高축적성의 기준만 충족해도 된다. 위에 설명된 시험자료 활용 절차에 따라 [표 21]의 평가기준을 적용하여 ‘잔류성·축적성 물질’ 또는 ‘高잔류성·高축적성 물질’임을 판단할 수 있다.

[표 21] 잔류성·축적성 및 독성 물질 최종 평가 기준

잔류성(P)의 평가항목 종류				잔류성	
				P	vP
시험 자료	OECD TG 309	반감기	해수	> 60일	> 60일
	민물		> 40일	> 60일	
	OECD TG 307	반감기	토양	> 120일	> 180일
	OECD TG 308	반감기	해수 퇴적토	> 180일	> 180일
			민물 퇴적토	> 120일	> 180일
	OECD TG 111	가수분해		시험법에 대한 해당 통과 기준 참고	
	OECD TG 301	빠른 생분해성 시험		시험법에 대한 해당 통과 기준 참고	
	OECD TG 302	고유 생분해성 시험		시험법에 대한 해당 통과 기준 참고	
	OECD TG 303	호기성 하수처리 모의시험		시험법에 대한 해당 통과 기준 참고	
OECD TG 310	빠른 생분해성		시험법에 대한 해당 통과 기준 참고		
축적성(B)의 평가항목 종류				축적성	
				B	vB
시험 자료	OECD TG 305	생물농축성 (BCF)		> 2,000L/kg	> 5,000L/kg
	OECD TG 117	옥탄올/물 분배계수 (LogKow)		4.7 < LogKow < 7.6	5.2 < LogKow < 7.1
독성(T)의 평가항목 종류				독성	
환경 유해성	OECD TG 203	급성	어류 독성	LC ₅₀ (96시간) < 1mg/L	
	OECD TG 202		물벼룩 독성		
	OECD TG 201		조류성장 저해		
	OECD TG 210/212/215	만성	어류 독성	NOEC < 0.01mg/L	
	OECD TG 211		물벼룩 독성		
인체 유해성	OECD TG 420/423/425	급성	경구 독성	LD ₅₀ < 300mg/kg	
	OECD TG 402		경피 독성	LD ₅₀ < 1,000mg/kg	
	OECD TG 403		흡입 독성	LC ₅₀ (4시간) < 2,500ppm(가스), 10mg/L (증기), 1mg (분진, 미립자)	
	OECD TG 404		피부 부식성	피부에 3분 노출시킨 경우, 1시간 이내에 표피에서 진피까지 괴사를 일으키는 물질	
	OECD TG 451	C	발암성	두 종류 이상의 발암성 시험에서 암 유발 증거 또는 국제 암 연구센터 등 국제적인 전문기관에서 1급 및 2A급 화학물질	
	OECD TG 471	M	In vitro 복귀 돌연변이	생식세포 변이원성 물질 등	
	OECD TG 473/485		In vitro 염색체 이상		
	OECD TG 476		In vitro 포유류 유전자 변이		
	OECD TG 474/475		In vitro 유전 독성		
	OECD TG 486		추가 In vivo 유전 독성		
	OECD TG 421/422	R	생식독성(스크리닝)	인체 및 동물실험 연구에서 생식능력과 발생에 악영향을 준다는 충분한 증거가 있는 물질	
	OECD TG 414		생식독성(태아발달)		
	OECD TG 416		생식독성(2세대)		
	OECD TG 407,410,412	만성	반복투여독성(28일)	반복노출에 의해 사람에게 중대한독성을 일으킬 가능성이 있는 물질	
	OECD TG 408/409,411, 413		반복투여독성(90일)		

10절. 노출평가

화평법 제14조, 제18조, 동법 시행규칙 제5조, 제23조에 따라 제정·고시된 국립환경과학원고시 제2017-11호 “등록신청자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정” 제10조에서는 노출평가에 관한 항목은 인체 및 환경에 노출되거나 노출될 수 있는 화학물질의 용량·농도를 정량적 또는 정성적으로 예측하기 위해 작성하는 것으로서, 일반적으로 [그림 8]과 같이 2단계로 구분된다.



[그림 8] 노출평가 단계

1. 노출시나리오

가. 노출시나리오 개요

「등록신청자료의 작성방법 및 유해성 심사방법 등에 관한 규정」 제2조에서는 “노출시나리오(Exposure Scenario, ES)란 전 과정 동안 물질을 제조하거나 사용하는 방법, 제조자 또는 수입자의 통제방법 또는 하위 사용자에게 권고하는 물질 통제방법, 인간과 환경에 노출되는 과정에 대해 여러 가지 조건을 설정하여 기술한 문서” 라고 규정하였다.

노출시나리오는 물질의 전 생애 단계에 따라 분류하여 작성하며, 각 단계에서 수행되는 용도, 제품범주 및 공정범주가 여러 가지 포함되면 이에 관하여 모두 기술하도록 한다.

이러한 노출시나리오의 초기에는 위해도가 충분히 통제되는지 확인하고, 이를 위해 수행해야 하는 위해성관리대책에 대해 기술하여, 확인된 관리수단들을 반영하여 최종 노출시나리오를 작성하고, 이를 안전성 확인의 결과물로 활용한다.

여기에는 취급조건(예: 사용기간 및 빈도, 사용된 양, 운영 온도 등) 및 필요한 위해성관리대책(예: 국소 배기장치 또는 특정한 형태의 장갑 등) 등이 포함된다.

- 취급조건에는 인체 노출 및 환경에 영향을 유발할 수 있는 물질의 제조 또는 사용 시 나타나는 조치, 평가 틀 또는 모수의 사용 등이 포함됨.
- 위해성관리대책에는 인체 및 환경노출 방지, 통제 또는 저감을 위해 물질의 제조나 사용 시 도입되는 특정한 조치, 평가 틀 사용, 모수 변경 등이 포함됨.

또한 노출시나리오의 정량적 노출량 추정의 기초가 되며, 정보전달의 평가틀이 된다. 노출시나리오의 개요에는 수량(톤), 산업적/전문적 용도, 소비자 용도, 제품범주, 공정범주, 한국표준산업분류(KSIC) 코드를 기입한다.

한국표준산업분류(KSIC) 코드는 통계청-통계분류 포털에서 확인할 수 있다 (http://kssc.kostat.go.kr/ksscNew_web/index.jsp).

[표 22] 노출 결정인자 예시

결정인자	변수의 예(일부)	비고
물질 특성		
물질의 성질	분자량, 분자 크기	생물학적 이용 가능성 (생체유효도)의 지표 제공
물리화학적 성질	증기압, 물 용해도 옥탄올/물 분배계수	작업장 및 환경 중 노출 결정인자
안정성	생분해성, 가수분해, 광분해성	환경매체 내 분해와 관련된 노출인자
노출시나리오 특성		
노출시나리오를 작성하는 물질 또는 제품의 전 과정	제조 또는 수입, 혼합, 생산, 사용	모든 집단과 관련된 노출 확인, 포괄적이고 적절한 노출시나리오 선정, 공정 또는 제품범주 선택
작업이나 공정 형태	물질 제조, 물질 혼합, 공정보조제로서 물질 사용, 제품 내 물질 사용	
사용시간 형태	작업/사용기간, 작업/사용빈도	노출(단기/장기) 형태
사용 기술적 조건	공정의 밀폐 정도, 온도, PH	인체 및 환경 노출과 관련된 노출 결정인자
화학제품의 특성	제품 내 중량 비율, 휘발도, 분진화 정도	혼합물 또는 제품에 대한 인체 및 환경노출과 관련된 노출 결정인자
사용량	시간당 또는 작업당 kg(톤)	시간당 또는 작업당 잠재적 노출과 관련된 노출 결정인자
위해성관리대책	국소배기장치, 개인보호장비 폐기물 처리, 하수처리설비	제품 또는 공정의 통합 요소, 노출이 저감되거나 방지될 수 있는 범위에 관한 결정인자
주변 환경 특성		
흡수 또는 희석 배출에 관한 주변 요건	방의 크기 및 환기율, 강의 유속, 하수 시스템 용량	물질의 분배가 발생한다는 가정에 따른 노출 결정인자
생물학적 노출인자	호흡률, 체중	인체 노출량 및 이에 상당하는 PNEC 또는 DNEL 설정에 관한 결정인자

노출시나리오의 내용은 다음과 같다.

- 제조 단계
- 고유의 용도, 화학물질 추가 공급망에서의 사용 및 소비자 사용 등을 비롯한 확인된 용도
- 제조 및 확인된 용도와 관련된 제조부터 사용까지의 단계

제조·수입자는 제조, 확인된 용도 및 그로 인한 전 과정 단계에서 취급 조건 및 기존의 위해성관리대책에 대해 모든 가용한 적절한 정보를 가지고 평가를 수행하며, 이에 대한 내용을 노출시나리오에 기재한다. 노출시나리오 구성 내용은 [표 23]과 같으며, 노출시나리오 형식의 경우 본 지침서 3장 10절에서 확인 가능하다.

[표 23] 노출시나리오 구성 내용

노출시나리오에 대한 간략한 제목	
용도 확인	
공정 범주	
제품 범주	
표준산업 분류코드	
환경	활동 및 공정 설명
	위해성관리대책
소비자	활동 및 공정 설명
	위해성관리대책
작업자	활동 및 공정 설명
	위해성관리대책

노출시나리오의 경우, 위에서 설명될 환경·소비자·작업자의 노출평가 과정을 거쳐 각각의 노출 특성에 맞게 노출경로에 따른 노출량을 산정하여 노출평가 및 위해도 결정비(RCR)를 완성한다. 이를 등록서류 형식으로 물질의 유해성과 사용 시 야기될 수 있는 위해성에 대한 정보를 보고하고, RCR 값이 1보다 작도록 최종적으로 생성된 노출시나리오를 작성한다.

최종 노출시나리오에는 노출시나리오에 포함되는 활동 및 공정에 대한 정보를 입력해야 한다. 노출시나리오 제목을 입력한 후, 노출시나리오에 포함되는 용도 등을 확인하여 입력하고, 용도에 대한 공정 범주 및 제품 범주, 표준산업 분류코드를 입력한다.

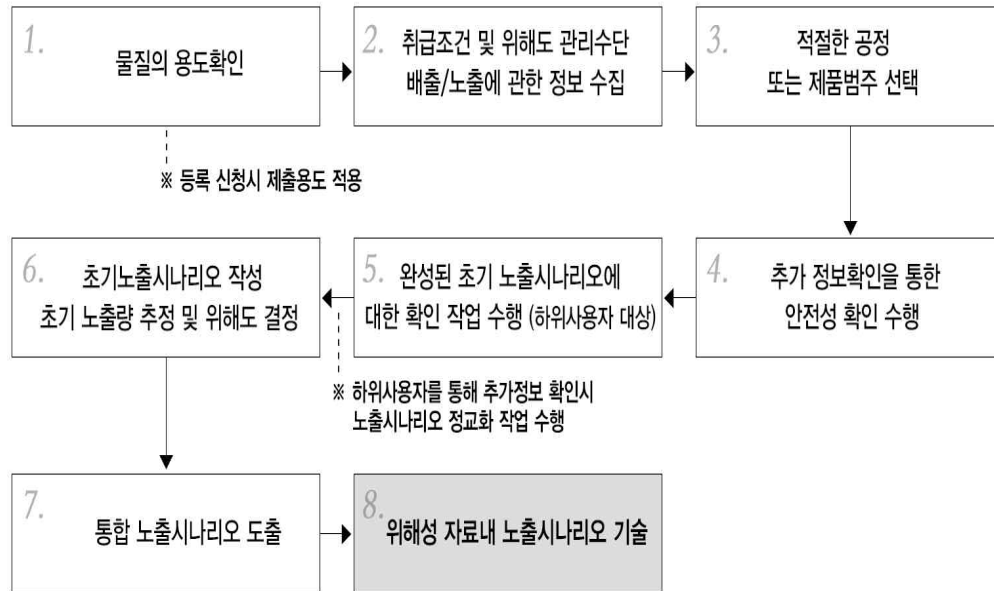
환경 노출평가의 경우, 활동 및 공정 설명에는 물질을 사용하는 동안 또는 물질을 포함하는 혼합물이나 제품을 사용·적용하는 동안 고려할 만한 배출이 일어나는 산업의 분류를 구체화한 산업분류체계(IC)를 기입하거나, 물질의 특정한 기능과 목적을 구체화한 화평법 시행령 제9조의 화학물질 용도 분류체계를 확인하여 기입한다. 위해성관리대책에는 사용량 혹은 배출량 정보를 포함한 매체별 배출계수 등을 입력하며, 매체별 위해성관리대책(RMM)을 확인하여 그에 대한 내용을 기술한다.

소비자 노출평가의 경우, 소비자 제품에 대한 활동 및 공정 설명에는 소비자 노출평가를 위해 사용한 모델의 입력변수들인 증기압, 체중과 같은 일반적인 정보들과 혼합물 및 완제품 내 물질의 단위질량당 면적 또는 물질 함량, 제품의 형태 등을 입력한다. 그 외에도 제품의 상세설명, 노출에 영향을 미치는 사용 공간의 크기와 환기율과 같은 기타 사용조건을 입력한다. 제품특성과 관련된 위해성관리대책에서는 안전한 사용을 위한 제품의 사용량, 사용빈도, 접촉시간, 사용시간 등 사용조건 등을 입력한다.

작업자 노출평가의 경우, 작업자에 대한 활동 및 공정 설명에는 작업자 노출평가를 위해 사용한 모델의 입력변수들인 물질의 성상, 작업시간, 국소배기 장치 사용 유무, 해당 물질을 취급하는 공간에 대한 정보, 노출에 대한 활동 및 공정 범주 등을 입력한다. 작업자에 대한 위해성관리대책에는 호흡용 보호구의 효율, 환기상태의 변경, 작업시간의 변경, 변경된 작업 공정들과 같은 위해성 관리대책을 수행한 조건들에 대해 입력한다.

나. 노출시나리오 작성 단계

노출시나리오 개발 절차는 가용한 정보에 따라 다양할 수 있으나, 특이한 사항이 없는 경우 일반적으로 [그림 9]의 평가 절차에 따라 수행한다.



[그림 9] 노출시나리오 작성 단계

위의 [그림 9]의 평가 절차를 세분화하면 14단계로 구분되며, 각 절차별 내용 및 도출 결과는 다음 [표 24]와 같다.

[표 24] 노출시나리오 작성 단계별 도출 결과

	작업 수준	결과
1	물질의 용도 확인 기존 기업 내 정보에 기초하여 물질의 특정한 기능과 목적을 구체화한 물질의 용도 자료를 분석함. 그 다음 단계의 하위 사용자를 넘어서서 확인된 용도를 포함하는 방법을 고려. 하위 사용자에게 의해 사전 정보가 제공된 경우 이를 활용함. 제품의 형태, 소비자 또는 관련 공정/작업 형태 구분	하위 사용자 및 소비자 사용 확인

2	물질의 제조-사용 과정 동안의 <u>모든 가용한 취급조건 및 위해성관리대책 정보, 배출/노출 수준 관련 정보 수집</u>	측정 자료를 비롯하여 가용한 정보의 목록
3	확인된 용도와 관련된 <u>적절한 공정 또는 제품 범주 선택</u> 위해성관리대책 및 취급조건 적절성을 비롯하여 범주 선택의 이유를 기술	제품에 할당된 용도 및 공정 범주 <ul style="list-style-type: none"> • 필요한 입력자료 확인 • 1단계 노출량 추정 평가틀로 입력 확인 • 적절한 범주가 없기 때문에 좀 더 높은 단계의 평가를 필요로 하는 용도
4	1단계 노출량 추정에 필요한 입력자료에 기초하여 <u>초기 노출시나리오 작성</u> 1단계 노출평가 틀 구동 또는 노출시나리오에 대한 적절한 노출자료 획득을 통한 <u>초기 노출량 추정 및 안전성 확인</u> ; 노출경로 설정 및 예상 노출 수준에 대한 우선적 예측. 안전성 확인과정에서 유해성 평가를 통해 가용한 독성학적 정보와 예측 농도 또는 알고 있는 노출량을 서로 비교. 특정 경로가 기술되지 않은 근거에 대해 명확히 기술해야 함.	<ul style="list-style-type: none"> • 정량화된 정보를 가지고 있는 초기 노출시나리오 • 위해도 통제가 확인되지 않은 경우에 대한 우선적 개요 • 주요 노출경로에 대한 가정
5	초기 노출시나리오 완성: 안전성 확인 결과에 기초하여 안전성 확보를 입증할 수 있는 경우, 이에 상당하는 취급조건 및 위해성관리대책을 기술하여 초기 노출시나리오를 완성 특정 용도에 대한 위해도를 통제할 수 없는 경우, 6단계 또는 그 이후로 진행하기에 앞서 추가로 정교화 작업 수행이 필요함.	<ul style="list-style-type: none"> • 위해성관리대책 조언 및 취급조건에 대한 기술을 포함한 초기 노출시나리오 • 가용한 정보에 기초하여 위해도 통제를 입증할 수 없는 용도
6	적절한 용도가 포함되었는지, 위해성관리대책 또는 취급조건이 적절한지(그렇지 않다면, 기존 위해성관리대책 및 취급조건에 대한 정보 제공), 노출시나리오 내용이 이해 가능한 수준으로 기술되었는지에 대해 하위 사용자 등에게 <u>확인 작업</u> 을 거침.	<ul style="list-style-type: none"> • 추가적 용도 • 용도 조건 수정 필요성 • 기존용도 조건에 대한 정보 • 하위 사용자에게 의해 수용된 초기 노출시나리오
7	확인된 내용에 기초하여 필요 시 <u>추가정보 확인 및 사용</u> <ul style="list-style-type: none"> • 바로 8단계 진행 또는, • 앞서 초기 노출시나리오 내의 위해성관리대책 및 취급조건 정교화 작업 • 물질 속성에 대한 정보 정교화 작업 	<ul style="list-style-type: none"> • 취급조건 및 위해성관리대책 정교화 • 물질 속성에 대한 정교화
8	<u>추가 안전성 확인 수행 진행</u> (노출량 추정, 안전성 확	<ul style="list-style-type: none"> • 유해성 평가 완료 및 시험

	<p>인 및 불확실성 분석) 및 반복 여부 결정:</p> <ul style="list-style-type: none"> · 추가 반복 작업 필요성 · 위해도 통제가 증명될 수 있는지의 여부 · 추가 시험의 필요성 	제안에 관한 입력 인자
9	<p>만약 위해도 통제 증명 없이 1단계 평가 틀의 유연성이 확보되지 않은 경우, 측정된 자료 또는 좀 더 높은 단계의 모델이 필요한지에 대한 결정 1단계에 기초하여 위해도 통제가 입증된다면 11단계로 진행</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 1단계 모델에 기초하여 위해도 통제가 확인될 수 있는지에 대한 결론
10	<p>다음을 위하여 추가 모델을 적용하거나 또는 측정자료를 사용: 노출시나리오 정교화 또는 위해도 통제 확인 이는 노출시나리오에 특정 용도를 포함할지에 대한 선택안, 또는 노출시나리오 내 용도에 대한 좀 더 구체적인 조건 기술을 위한 선택안이 될 수 있음.</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 좀 더 높은 단계의 평가에 기초하여 위해도 통제가 확인될 수 있는지에 대한 결론
11	<p>노출량 추정 및 안전성 확인(불확실성 분석 포함)에 대한 결론:</p> <ul style="list-style-type: none"> · 최종 노출시나리오에 기술된 위해도 통제를 확인하는 위해성관리대책 및 취급조건 · 시험이 제안되었으나 아직 이행되지 않은 경우, 안전성 확보를 위해 권고되는 용도에 대한 내부 조건 · 위해성 자료에 기술된 건강 및 환경적 우려로 인한 조건 제약이 제안된 용도 · 안전성 확인을 최종화하기에 필요한 용도에 대한 조건. 정보가 하위 사용자 또는 다른 정보원을 통해 가용하지 않은 경우(즉, 이 용도는 최종 노출시나리오에 포함되기 어려움) 	<ul style="list-style-type: none"> · 모든 필요한 위해성 정보에 기초한 노출시나리오 · 시험이 제안된 노출시나리오 · 건강 및 환경 우려에 기초하여 조건 제약이 제안된 용도
12	<p>노출시나리오 내 모든 취급조건 및 안전성 확보 조치를 연결하여 통합 노출시나리오 도출:</p> <ul style="list-style-type: none"> · 노출시나리오에 포함된 각각의 용도에 대한 인체 건강 및 환경에 대한 취급조건 및 위해성관리대책, 이와 관련된 노출경로 기술 · 노출경로에 대한 취급조건/위해성관리대책 영향 고려. 모든 노출경로와 관련된 위해도 통제를 위한 취급조건/위해성관리대책 선택 	강화된 위해성관리대책 이행을 반복하여 최종 노출시나리오 완성
13	<p>적절한 경우 노출시나리오를 통합: 최종 노출시나리오에 대한 상호 비교 수행, 안전성 확보 및 취급조건의</p>	서로 다른 통합 수준에서의 최종 용도 및 노출 범주

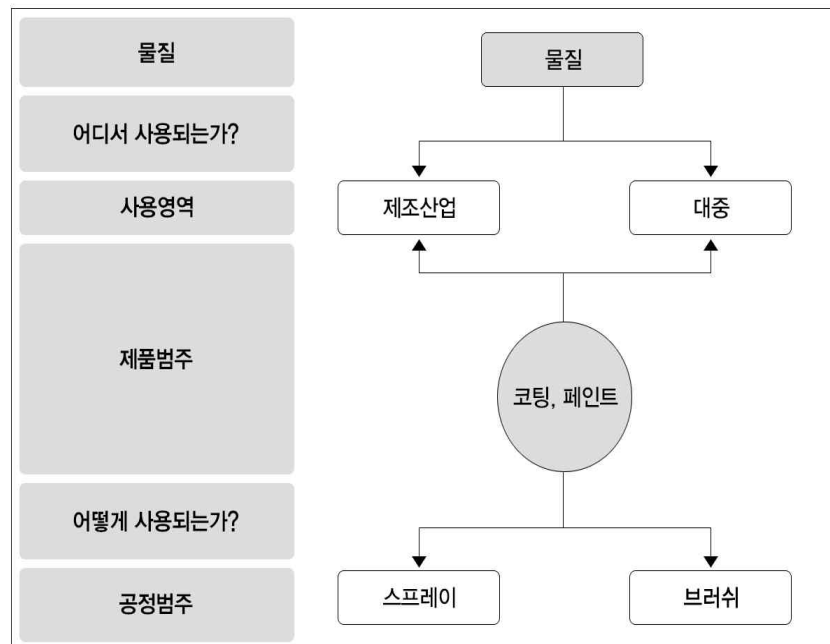
	유사성에 기초하여 어떤 노출시나리오를 통합할지 결정	
14	<p>노출평가의 구조 기술:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 최종 노출시나리오에서의 안전성 확보 조치와 취급 조건이 노출량 추정과 어떻게 연계되는지에 대한 내용이 명확해야 함. • 위해성 자료 시작 부분에 위해성관리대책 및 취급 조건에 대한 요약 • 위해성 자료 내 노출시나리오와 일관성 유지 • 화학물질 안전정보로 통합될 적절한 노출경로에 따른 DNELs 또는 PNEC 	<ul style="list-style-type: none"> • 위해성 자료 각 장

다. 노출시나리오 상세 내용 개발

위해성 확인 내에서 제조자 또는 수입자는 물질의 제조 및 사용으로 인해 발생하는 위해도가 통제됨을 평가하고 기술한다. 위해성 확인은 물질의 제조 및 확인된 모든 용도에 대해 설명해야 하고, 해당 사용으로 인한 소비자, 근로자 및 환경과 관련된 모든 위해에 대해서도 설명한다. 확인된 용도에 의해 규정된 바에 따라 물질 그 자체, 혼합물 내 또는 제품 내 물질의 사용을 고려하여 확인된 용도를 통해 결정되는 물질의 전 과정 단계를 평가해야 한다. 여기에는 물질의 제조, 혼합(조제), 산업적 또는 소비자 사용 등이 포함된다.

(1) 용도에 대한 일반적인 내용

용도에 대한 기술은 EU ECHA 용도기술어 시스템에 따라 사용 영역(Sector of use, SU), 화학제품 범주(Chemical product category, PC), 공정 범주(Process category, PROC)의 세 가지 요소에 기초한다.



[그림 10] 용도에 관한 일반적 기술_예시

- 사용 영역 : 물질 그 자체 또는 혼합물 내에서 사용되는 산업의 범주에 대해 기술하며, 개인 가정용품 및 공공재 등에서의 사용을 모두 포함함.
- 화학제품 범주 : 물질이 사용되는 혼합물의 형태에 대해 기술함.
- 공정 범주 : 물질 그 자체 또는 혼합물 내에서 사용되는 기술공정 범주 또는 운영단위 형태를 기술하며, 노출에 대한 영향이 예상되는 경우에 필요한 위해성관리대책을 기술함.

제품 및 공정 범주는 초기 노출평가 수행을 위한 노출경로, 대표적 취급조건 및 위해성관리대책에 대한 확인 과정에 적용한다. 초기 노출시나리오에는 항상 특정 용도 노출에 영향을 주는 모든 결정인자가 포함되는 것은 아니다. 따라서 이러한 결정인자가 갖는 노출에 대한 영향을 반드시 평가해야 한다.

(2) 배출·노출에 대한 결정인자 및 노출평가

배출 또는 노출 결정인자는 노출시나리오 작성 및 관련 노출량 추정에 있어 수집되어야 할 주요 정보를 나타낸다. 노출 결정인자는 물질 특성, 취급조건 및 위해성관리대책, 물질의 사용 또는 물질이 배출되는 주변 환경 등과 관련된다.

노출 결정인자는 용도별로 달라질 수 있으나, 현재의 상황에 기초하여 가장 관련성 있는 주 노출 결정인자들(물질의 휘발도, 물 용해도 및 분진화 정도, 사용량, 사용기간 및 빈도, 위해성관리대책 등)로 구성된다.

등록자는 주 노출 결정인자들에 기초하여 초기 노출시나리오 개발 및 노출량 추정 등의 목적하에 정보를 수집할 수 있다.

(3) 노출시나리오의 기능 및 내용

확인된 용도에 대한 노출시나리오는 위해도를 통제하면서 사용될 수 있는 조건을 기술한 것으로, 노출시나리오는 공급망을 통해 사용자에게 위해도가 통제되는 취급조건 및 안전성 확보를 전달하는 수단이 된다. 또한 노출시나리오는 위해성 확인 내 노출평가 및 안전성 확보에 대한 기초로 배출·노출 형태 및 수준을 결정하는 주요 인자를 설명한다. 여기에는 환경매체(대기, 물, 침전물 및 토양), 특정 표적 집단(소비자 또는 근로자 등)에 대한 노출을 통제하기에 적절한 수단이 포함되며, 다음 사항이 포함되어야 한다.

- 용도의 취급조건(사용된 양, 적용 공정, 사용기간 및 빈도, 환경조건 등)
- 위해성관리대책(폐수처리 및 국소배기장치 또는 노출 결정인자)

초기 노출시나리오에는 쉽게 이용 가능한 표준 정보를 이용하여 시장 내 존재하는 용도의 일반적 조건을 기술한다. 만약 이러한 용도조건이 위해도를 통제하는 것으로 확인된다면, 이때의 초기 노출시나리오가 최종 노출시나리오가 된다. 반면, 현실적으로 또는 가용한 정보에 기초하였을 때 위해도 통제가 불가능한 것으로 확인되거나 표준 결정인자 이외의 것이 주요 역할을 하는 것으로 확인된 경우에는, 위해도 확인 과정을 반복 수행한다.

노출시나리오를 설명하는 데 필요한 구체적인 기술 수준은 물질의 형태, 유해 특성 및 제조자·수입자의 이용 가능한 정보에 따라 달라질 수 있다. 노출시나리오는 물질의 다양한 공정 또는 용도에 대한 적절한 위해성관리대책 및 취급조건을 기술하므로 다양한 범위의 공정 또는 용도를 포함한다.

만약 평가할 물질이 혼합물에 포함될 경우, 물질의 용도에 대한 노출시나리오를 개발한다. 경우에 따라 제조·수입자 또는 하위 사용자는 혼합물 내 물질의 확인된 용도를 포함하는 초기 노출시나리오를 개발하기 위한 작업을 수행할 수 있다. 하부 사용을 포함하는 물질의 전 과정의 부분으로서 용도와 관련된 위해성은 노출평가에 포함시킨다.

제품(아티클)내 물질에 대한 노출시나리오의 경우를 살펴보면, 제품은 화학물질의 조성보다는 그 기능을 결정하는 특정 모양, 표면 또는 디자인을 갖도록 생산된 물체를 의미한다. 직물, 종이, 플라스틱, 유리병, 타이어 등이 대표적인 제품이라 할 수 있다. 제품에 포함된 물질은 직물제품의 염색재료, 플라스틱 제품의 안료 또는 타이어의 안정제 등을 예로 들 수 있다. 이 물질은 제품의 유통 단계로 들어가게 되며, 등록대상 화학물질 등록자는 확인된 모든 용도 및 안전성 확인 과정을 위해성 자료에 모두 기재해야 한다. 용도조건이 수렴한 노출시나리오의 범위를 벗어나는 경우, 하위 사용자는 해당 용도 내 물질에 대해 자체적인 안전성 평가를 수행하거나 해당 용도를 공급자에게 알려야 한다. 제품 생산자는 제품에서 배출되는 물질에 대해 등록해야 할 의무가 있으며, 특히 함유된 물질이 고위험성 물질인지를 확인하여 안전성 확인 수행 및 노출시나리오 준비를 위해 통지하여야 한다.

라. 위해성 자료 내 안전성 확인

고유 특성에 대한 필요한 정보가 충족되고 위해성이 모든 노출조건 및 노출시나리오에 따라 위해도가 통제되는 경우, 유해성 평가, 노출평가 및 안전성 확인에 대한 반복적인 안전성 확인 절차를 종료한다.

제조 및 확인된 용도에 대해 권고되는 취급조건 및 안전성 확보 조치를 비롯한 최종 노출시나리오를 위해성 자료에 기술하고 물질의 하위 사용자에게 정보를 전달해야 한다.

마. 위해성 자료 반복

초기 노출시나리오에 기초하여 위해성이 통제되는 것을 위해성 확인에서 증명할 수 없다면 추가 작업이 필요하다. 위해성 확인 반복 수행 시 평가 절차의 특정 지점에서 정보를 재평가하거나 정교화할 수 있다. 위해도가 통제된다고 확인될 때까지 노출 농도 값을 낮추기 위해 제품의 사용량, 사용빈도, 접촉시간, 사용시간 등에 대한 변수 값을 변화시켜 본다. 호흡기 보호구, 국소배기장치 등의 다양한 노출통제를 위한 조치를 여러 번 반복하는 과정을 통해 위해성 확인 과정을 정교화할 수 있다. 이러한 반복 과정을 통해 확인되는 취급조건 또는 위해성관리대책은 실제로 이행될 수 있는 범위 내에서 조정되어야 하며, 이때 정교화 작업이란 다음 두 가지 의미를 지닌다.

첫째, 위해성 확인에 포함되는 정보를 정교화 하여 사용조건에 실질적 변화 없이 현재의 조건을 좀 더 정확하게 반영하고자 한다.

둘째, 실제적으로 취급조건 및 안전성 확보(안)을 정교화하거나 개선하여 위해성 확인에 반영한다.

- 유해성 정보 개선 - PNECs나 DNEL, RfD, RfC 등의 도출에 제한된 독성 자료만 이용 가능하다면, 평가계수를 달리 적용해 본다. 이러한 경우 추가 정보를 수집하여 자료의 신뢰성을 향상시키고, 좀 더 낮은 평가계수를 적용할 수 있다. 그러나 안전성 확인 과정에서 특정 위해도가 통제되지 않는 것으로 확인되는 경우에는(예: 토양으로의 배출로 인해 위해도가 발생하는 경우) 해당 특정 독성자료를 추가로 수집해야 한다.
- 노출 정보 개선 - 필요한 경우 입력자료(물질의 특성, 배출 데이터, 노출, 모델 예측 결과 등)를 수정 또는 개선하여 반복 작업을 수행할 수 있다.

- 취급조건에 대한 정보 개선 - 취급조건(예: 작업시간 및 빈도 등) 조정을 통해 현 상황에 부합하도록 정교화 할 수 있다(예: 임의로 일일 8시간 교대근무로 가정하였으나, 실제로는 일일 4시간 근무로 확인).
- 안전성 확보에 대한 정보 개선 - 이행되고 권장되는 위해성관리대책에 대해 가용한 정보에 기초하여 초기 노출시나리오를 구성한다. 그러므로 노출이 여전히 위해의 잠재성이 있다고 나타나는 경우, 좀 더 엄격한 위해성관리대책을 적용하여 낮출 수 있다. 일부 조건을 통해 위해성 관리대책에 대한 정보를 개선할 수도 있다. 이행된 위해성관리대책의 효율을 임의로 가정한 수준보다 좀 더 높은 것으로 증명하고 이를 기술하거나, 현장 폐수처리 등과 같이 존재하지 않는 위해성관리대책을 추가하거나, 또는 화학물질 공정을 밀폐계 또는 순환이 잘 되는 공정으로 변경·개선하는 방법 등이 있다. 일반적으로 단순히 개인보호장비를 개선하는 것보다는 좀 더 안전한 대안 또는 공정, 기술적 통제수단 등을 도입하는 것이 더 우선시된다.

평가 단계에 따라 안전성 확인을 위해 적용 가능한 효과적인 방법은 차이가 있다. 일반적으로 가장 신속하고 비용면에서 효과적인 방법은 평가의 노출 및 안전성 확보에 대한 가정을 조정하는 것이다. 만약 초기 유해성 또는 노출정보가 개선되고 구체적인 정보에 의해 대체될 수 있다면, 추가 시험이나 추가 위해성 관리대책이 필요하지 않을 수 있다. 일단 가용한 자료를 이용하여 반복적인 작업을 수행하거나 추가 노출정보를 수집하여 적용하는 것이 최선의 방법이라 할 수 있다. 또한 충분한 노출정보가 적용된 경우 좀 더 정교한 노출모델을 적용하여 노출량을 산정할 수 있다.

2. 환경 노출평가

일반적으로 화학물질을 취급하는 과정에서 환경으로의 배출은 화학물질의 제조, 산업적 사용/개인적 사용, 서비스 생애, 폐기물 처리의 전 생애 단계에서 발생할 수 있다. 그러나 화평법에서의 환경 배출평가는 서비스 생애 및 폐기물 처리 단계를 제외한 사용에서의 배출을 바탕으로 배출평가를 수행한다. 환경으로의 배출을 예측하는 방법은 크게 업종과 용도를 기준으로 제시된 배출계수를 활용하는 방법과, 화학물질을 취급하는 공정 등의 정보를 기초하여 직접 배출량을 산정하는 방법이 있다. 이와 같이 예측 또는 직접 측정을 통하여 얻어진 배출량을 위해성 자료 양식에 기재한다.

각각의 시나리오에 따른 사업장 배출량과 전국 배출량을 매체별(대기, 수계, 토양)로 기입하고, 예측 값인지 아니면 직접 측정을 통한 값인지에 대해 근거란에 기재한다. 해당 배출량 값을 바탕으로 환경 중 예측 농도(PEC) 계산 모형 구동을 통해 사업장 환경 중 예측 노출 농도를 산정하여 값을 기재한다.

가. 환경배출 예측

전국 규모의 화학물질을 취급하는 과정에서 발생하는 전국 배출량을 예측하는 방법은, 크게 EU에서 제공하는 배출계수를 활용하는 방법과 일본에서 제공하는 배출계수를 활용하는 방법 등이 있다. 한편, 지역 단위의 화학물질을 취급하는 과정에서 발생하는 사업장 배출량 예측 방법으로는, EU에서 제공하는 배출계수를 활용하는 방법과, 화학물질 배출량 조사에서 제공하는 산정지침을 활용하는 방법 등이 있다. 각 예측 방법을 좀 더 상세히 살펴보면 다음과 같다.

전국 규모 및 지역 규모의 사업장 환경 배출량을 예측하는 방법은 1) EU의 배출계수(업종 및 용도 분류체계 활용) 2) 일본의 배출계수(용도 분류체계 활용) 3) 환경 배출범주를 활용하는 방법이 있다. 1)과 2)의 방법은 각각 분류체계를 확인하고, 결정인자에 따른 배출계수를 확인한 이후에 분류체계에 맞는 매체별 배출계수를 적용하여 산정한다. 3)의 방법은 환경 배출범주를 확인하여 최악의 경우(최대 배출량)를 가정하여 간단하게 매체별 배출 비율에 따른 배출량을 산정할 수 있다.

현재는 외국의 배출계수를 활용해야 하나, 향후 국내 업종과 용도체계를 고려한 배출계수가 개발되어 제공될 예정이다.

(1) 전국 규모의 환경배출 예측방법

(가) 업종 및 용도 분류체계 등에 따른 배출계수 활용방법

업종 및 용도 분류체계 등을 중심으로 EU에서 제공하는 화학물질의 환경 배출을 예측하기 위한 평가 절차에 따라, 주요 분류체계(Main category, MC), 산업 분류체계(Industry category, IC), 용도 분류체계(Use category, UC)의 분류체계를 확인하고, 결정인자를 확인한 후 배출계수를 확보하여 매체별 배출량을 예측할 수 있다.



[그림 11] 환경배출 예측 단계

1단계 : 주요 분류체계 확인

주요 분류체계(MC)는 물질의 사용과 노출 관련성의 일반적인 설명을 제공한다. 환경 위해성 평가에 있어서 주요한 카테고리는 물질의 제조 단계, 혼합(조제) 단계 및 공정 단계 등 전 생애의 구체적인 단계 동안 환경배출 예측을 위한 배출 시나리오의 특성을 기술하는 데 사용된다. 각 MC에 대한 설명은 [표 25]와 같다.

① MC I (밀폐공정에서 사용)

사고 이외에 인체노출 및 환경오염 가능성이 없음(예: 밀폐된 연속 공정에 사용되거나, 중간체가 반응조 및 해당 설비 내에서 제한적으로 사용되며, 분리된 중간체는 현장 저장되거나 제어된 조건하에서 이송)

② MC II (제품 내부 또는 표면의 함유물로써 사용)

물질이 제품이나 완제품으로 혼입되어 환경 중 배출이 발생하지 않거나 작업장 내에서 노출이 잠재적으로 줄어드는 것(예: 플라스틱 내 가소제, 플라스틱이나 섬유에서 염료 또는 색소 등의 첨가제, 코팅 물질 내 촉매, 혼합(조제) 단계에서 물질이 사진 필름의 에멀전 층에 포함되는 경우 또는 가공 단계에서 마감 코팅 층을 위한 페인트 내 광안정제 등)

③ MC III (비분산적 사용)

비분산적 사용으로 물질에 대한 기본 지식을 가진 특정 근로자가 해당 물질과 접촉하게 되는 공정 내에서의 사용(예: 대기오염 방지시설을 통한 환경 중 배출을 포함하며, 폐수처리, 대기포집으로 배출량 제한적인 공정)

④ MC IV (광범위한 분산적 사용)

화학물질의 광범위한 분산적 사용(예: 농약 살포 작업, 세제, 화장품 사용, 소독제 사용, 산업용 및 가정용 페인트 사용 등으로 작업자에게 노출이 조절되지 않는 활동)

[표 25] EU 배출예측 방법

주요한 사용 (MC)			단계	해석
I	밀폐공정에서 사용	Ia	제조	분리되지 않는 중간체 (IC=3, UC=33)
		Ib	제조	현장에서 분리된 중간체의 저장 또는 연속 생산 공정에서 생산된 중간체와 다른 물질
			혼합(조제)	전용 설비와 간헐적 세척 작업
		Ic	제조	현장에서 분리된 중간체 저장 또는 전용 설비에서 생산된 중간체와 다른 물질
			혼합(조제)	전용 설비와 빈번한 세척 작업
II	제품 내부 또는 표면의 함유물로써 사용	혼합(조제)		제품 내부 또는 제품 표면 함유물
		가공		제품 내부 또는 제품 표면 함유물
III	비분산적 사용	제조		복합 제조 설비
		제조		복합 제조 장치
		가공		비분산적인 사용 (산업적 점 오염원)
IV	광범위한 분산적 사용	가공		광범위한 분산적인 사용 (다수의 소규모 점오염원들 또는 비산 배출; 통상적으로 배출 저감, 농도 측정이 이루어지지 않음)

2단계 : 산업 분류체계 확인

산업 분류체계(IC)는 물질을 사용하는 동안 또는 물질을 포함하는 혼합물 또는 제품을 사용 및 적용하는 동안에, 고려할 만한 배출이 일어나는 개인적·가정 내의 사용과 공공영역에서의 사용을 포함한 산업분류를 구체화한 분류체계이다. 16개의 IC를 구축하고 있으며, 주요 대상은 [표 26]과 같다.

[표 26] EU 배출예측 방법 - 산업 분류체계

IC	대상업종
1 농업	작물 생산 (야채, 곡류 등), 목축(유제품, 육류, 양모) 활동, 해충관리와 같은 활동(농약, 동물 의약품은 적용하나 농약 가공은 제외), 비료 사용
2 화학 산업 : 기초 화학물질	화학물질 반응을 통해 제조되는 화학물질; 석유화학제품 산업(IC9 석유 및 연료 산업), 식물 또는 동물 원료, 석탄으로부터 오는 화학물질 산업의 원료 물질
3 화학 산업 : 합성에 사용되는 화학물질	화학물질 반응 과정의 공정 조절제 또는 중간체에 사용되는 화학물질로 합성에 사용되는 물질

4 전기/전자 산업	저항기, 트랜지스터, 콘덴서, 다이오드, 램프와 같은 구성성분의 생산, 텔레비전, 라디오, 컴퓨터, 레이더 설치, 전화기 교환기와 같은 제품의 생산. 다음 IC는 포함하지 않음. IC8 금속 추출, IC11 폴리머 산업, IC14 페인트 산업
5 개인/가정	개인/가정에서 화학물질의 사용과 적용, 가구, 부엌용품, 정원 수리, 개인용품(위생용품, 화장품 등)이 포함
6 공공영역	빌딩, 공공건물, 자동차 정비소와 같은 작업장, 직업적인 세탁, 빌딩, 거리, 공원의 유지와 같은 물질의 적용과 사용을 포함
7 가죽 가공 산업	원료 동물로부터 가죽을 생산·염색하는 산업과 제품이 가죽으로 만들어진 산업(예: 신발 제조) 등
8 금속추출, 제련 및 가공 산업	광석으로부터 금속정련, 1차/2차 철, 비철금속(합금뿐만 아니라 순수한 금속), 금속가공 과정(절단, 구멍 뚫기)
9 석유 및 연료 산업	원유로부터 가공하는 석유화학제품 산업을 포함
10 사진업	필름과 종이가공 bath에서 생산되는 사진원료(필름과 사진 종지와 같은 고형물 재료, 그러나 고형물 또는 액체 형태의 제제). 필름과 사진 종지의 가공은 사진 산업에 해당되고, 인쇄소에서의 전문적인 가공도 포함됨. 대규모로 공공지역에 의한 필름과 사진의 처리는 개인적 사용 단계로 고려됨
11 폴리머 산업	플라스틱(열가소성 플라스틱)은 화학적으로 제조되는 화학물질 산업의 branch를 포함하는 폴리머 산업과 열가소성 플라스틱과 prepolymer 가공 산업이 있다. 이러한 가공들은 모두 IC11에서 다루어지고, 화학 산업, IC4, IC16, IC0에서는 다루어지지 않음
12 펄프, 종이, 합판 산업	펄프, 종이, 나무합판 또는 폐종이 합판의 생산만 엄격히 적용됨. 복사본 산업은 IC0 기타로 포함됨
13 직물가공 산업	섬유의 처리(세탁, 방적, 염색 등), 직조, 마무리(침투, 코팅 등)를 포함
14 페인트, 라커 및 니스(광택) 산업	코팅 제품(혼합(조제) 단계)의 생산은 별개로 하고, 페인트 생산은 이 IC가 적용됨
16 공학산업 : 토목과 기계	나무 가공 산업(나무가구), 자동차 생산, 건축 산업이 포함됨
15/0 기타	식품 가공 산업과 같이 한 IC만 할당할 수 없는 모든 공정과 활동을 포함

3단계 : 용도 분류체계 확인

용도 분류체계는 물질의 특정한 기능과 목적을 구체화하여 55개의 목록을 [표 27]과 같이 분류한다.

[표 27] EU 배출예측 방법 - 용도 분류체계(UC)

분류 번호	용도	분류 번호	용도
1	흡수/흡착제(Absorbents and adsorbents)	29	열전달제(Heat transferring agents)
2	접착제(Adhesive, binding agents)	30	유압액(Hydraulic fluids and additives)
3	에어로졸 분사제(Aerosol propellants)	31	주입제(Impregnation agents)
4	응축 방지제(Anti-condensation agents)	32	단열재(Insulating materials)
5	냉각 방지제(Anti-freezing agents)	33	중간체(Intermediates)
6	접착 방지제(Anti-set-off and anti-adhesive agents)	34	실험용 화학물질(Laboratory chemicals)
7	정전기 발생 방지제(Anti-static agents)	35	윤활유/첨가제(Lubricants and additives)
8	표백제(Bleaching agents)	36	향료/향료 중간체(Odour agents)
9	세정제(Cleaning/washing agents and additives)	37	산화제(Oxidising agents)
10	착색제(Colouring agents)	38	식물보호제(Plant protection products, agricultural)
11	복합제(Complexing agents)	39	살균제, 비농업성(살균제, 방부제, 구충제)(Biocides, non-agricultural)
12	전도제(전해물, 전극물)(Conductive agents)	40	pH 조절제(PH-regulating agents)
13	건축 재료와 첨가물(Construction materials and additives)	41	의약품(동물 의약품)(Pharmaceuticals)
14	부식 억제제(Corrosion inhibitors)	42	광화학물(Photochemicals)
15	화장품(Cosmetics)	43	공정 조절제(Process regulators)
16	분진결합제(Dust binding agents)	44	환원제(Reducing agents)
17	전기도금제(Electroplating agents)	45	복사기의 토너(Reprographic agents)
18	화약, 폭발제(Explosives)	46	반도체(Semiconductors)
19	비료(Fertilisers)	47	연화제/경화촉진제(Softeners)
20	충전재(Fillers)	48	용매제(Solvents)
21	고정제(Fixing agents)	49	안정제(Stabilisers)
22	내화/방염제/난연제(Flame retardants and fire preventing agents)	50	계면활성제(Surface-active agents)
23	부유제(Flotation agents)	51	탄닌제(Tanning agents)
24	주물용 flux(Flux agents for casting)	52	점성조정제(Viscosity adjusters)
25	발포제/기포제(Foaming agents)	53	가황제/가황촉진제(Vulcanising agents)
26	식품/사료첨가제 (Food/feedstuff additives)	54	용접제 및 납땜(결합) (Welding and soldering agents)
27	연료(Fuels)	55/0	기타(Other)
28	연료첨가제(Fuel additives)		

4단계 : 결정인자(증기압, 물 용해도, 취급량) 확인

물질의 기본정보를 활용하여 증기압(Pa), 물 용해도(mg/L)를 확인하고, 화학 물질의 전 생애인 생산, 제조, 산업적 사용/개인적 사용, 서비스 생애, 폐기물 처리의 각 단계별 취급량(ton/yr 또는 kg/day)을 확인한다.

5단계 : 매체(대기, 수계, 토양)별 배출량 예측

위에서 분류한 주요 분류체계(MC), 업종(IC)을 확인하고, 생산, 제조, 산업적/전문적 사용, 개인적 사용, 회수 등의 생애 단계를 확인한다. 이를 기준으로 업종(IC)별로 제공되는 배출계수 표에서 대기·폐수·토양 등의 매체별로 취급량 및 결정인자(물 용해도, 증기압)에 따라 배출계수를 확인한다. 전체 취급(생산량+수입량-수출량)은 1년 동안 유통되는 물질의 전체 유통량으로 정의되고, 배출된 전체 양은 일 단위로 평균화되어 전국 규모 배출량($REASE_{reg\ i,j}$)으로 산정된다. 본 지침서 [별표 8]에 제시된 EU의 배출계수 표를 활용하여 전국 규모의 환경 중 예측농도(PECregional)를 산정할 수 있다.

배출계수를 확인한 후에, 다음 식과 같이 물질의 상태와 매체별 배출계수를 활용하여 배출량을 예측한다.

$$REASE_{reg\ i,j} = F_{i,j} \times Tonnage_{reg} \quad (i=\text{생애 단계}, j=\text{매체})$$

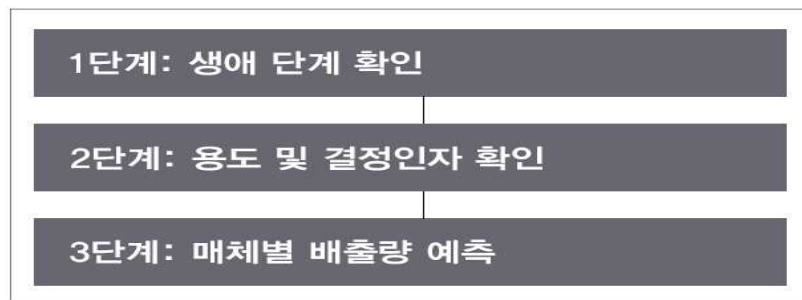
$REASE_{reg\ i,j}$: 전국 규모 생애 단계, 매체별 배출량 (kg/day)

$F_{i,j}$: 생애 단계, 매체별 배출계수 (-)

$Tonnage_{reg}$: 생애 단계의 사용량 (kg/day)

(나) 용도 분류체계에 따른 배출계수 활용방법

용도 분류체계를 중심으로 일본에서 제공하는 화학물질 환경배출 예측 절차에 따라, 생애 단계(Life Cycle), 용도(Industry category, IC), 용도 분류체계(Use category, UC)의 분류체계를 확인하고, 결정인자를 확인한 후 배출계수를 확보하여 매체별 배출량을 예측할 수 있다.



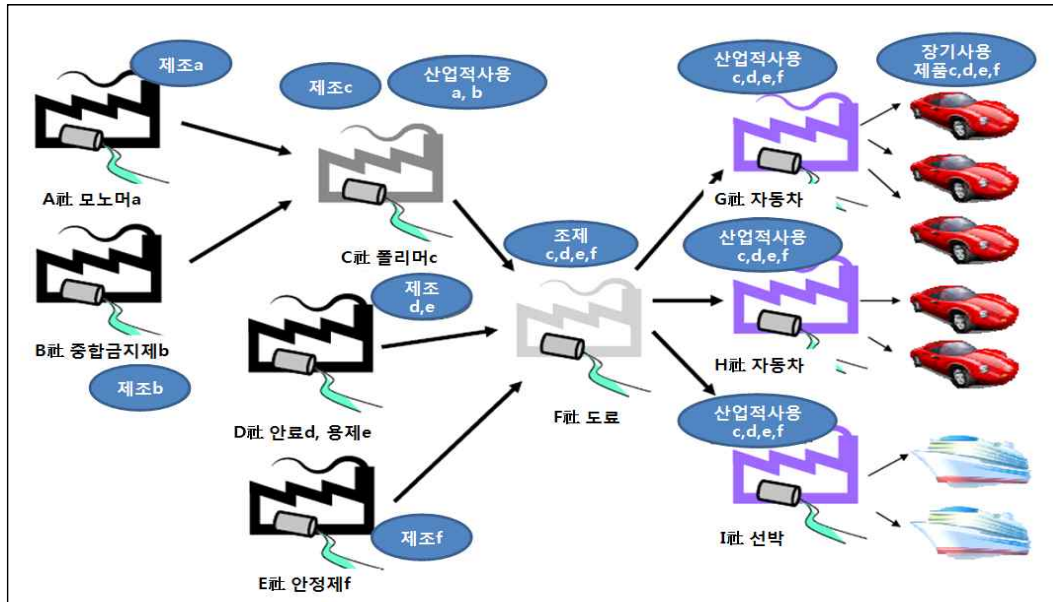
[그림 12] 용도 분류체계에 따른 배출 예측 단계

1단계 : 생애 단계 확인

일본 화심법에 따른 화학물질의 생애 단계는 제조(Production) 단계, 혼합(조제) 단계, 공업적 사용 단계, 가정용·업무용의 사용 단계, 장기 사용 제품의 사용 단계의 다섯 가지 단계로 구분된다.

예를 들어, [그림 13]에서는 페인트 내의 화학물질을 대상으로 생애 단계에 대해 설명하고 있다. 본 방법에서 정의되는 「제조 단계」와 「제조업(혹은 제조사)」과는 다르다. 이 그림에서는 A사도 C사도 제조업인 것으로 한다. 여기서 모노머 a라고 하는 화학물질에 주목하면, A사가 「제조 단계」에 해당하고, C사는 모노머 a를 구입하고 폴리머 c의 중합 원료로서 사용하고 있는 것으로 「공업적 사용 단계」에 해당한다. 한편, 폴리머 c에 주목하면, C사가 「제조 단계」에 해당한다.

또 「페인트」라고 하면 F사가, 「자동차」라고 하면 G사와 H사가 그러한 제조업(제조사)이지만, 이것들을 「제조 단계」라고는 부르지 않는다. 다만, 화학물질 c, d, e, f 개개의 생애 단계로부터 파악하여, F사와 같은 생애 단계를 「혼합(조제) 단계」, G, H사와 같은 생애 단계를 「공업적 사용 단계」라고 각각 부른다.



[그림 13] ‘페인트’ 화학물질의 생애 단계 예시

2단계 : 용도 및 결정인자(증기압, 물 용해도, 취급량) 확인

일본의 환경배출은 생애 단계와 용도에 따라 배출계수를 설정하여 예측한다. 즉, 용도분류·상세용도분류를 기준으로 생애 단계의 환경매체별로 배출계수가 설정되어 배출량을 예측할 수 있다. 이때 배출계수의 설정에는 증기압과 물 용해도가 고려된다.

① 제조 단계의 배출계수

「제조 단계」에 대해서는 「용도 분류」에 관계없이 물리화학적 성상 데이터(증기압, 물 용해도)에 따른 배출계수를 설정하고 있다.

② 혼합(조제) 단계의 배출계수

「혼합(조제) 단계」에 대해서는 「용도 분류」라는 물리화학적 성상 데이터(증기압, 물 용해도)에 대응한 배출계수를 설정하고 있다.

③ 공업적 사용 단계의 배출계수

「공업적 사용 단계」의 배출계수 값은 물리화학적 성상 데이터(증기압, 물 용해도)에 대응한 각 환경매체별 배출계수를 설정하고 있다.

④ 가정용·업무용으로부터의 사용 단계의 배출계수

「가정용·업무용으로부터의 사용 단계」에 대해서는 개방계에서의 사용이라고 생각할 수 있으므로 용도 분류와 물리화학적 성상 데이터(증기압, 물 용해도)에 대응하여 배출계수를 설정한다.

하수처리장이 보급되어 있는 지역(보급률 71.7%)에 대해서는 하수처리장에서의 배출계수가 되고, 나머지는 수계에서의 배출계수로 취급한다. 나아가 우선평가 화학물질 중에서 이분해성 판정 결과가 얻어진 물질에 대해서는 하수처리율이 고려된다.

⑤ 장기 사용 제품의 사용 단계의 배출계수

「장기 사용 제품의 사용 단계」의 배출계수는 통상 기본적인 배출계수의 값을 1로 설정하여 사용한다.

일본에서 사용되는 화학물질의 용도 분류체계는 [표 28]과 같으며, 용도 분류에 따른 배출계수는 다음 사이트에서 확인할 수 있다.

(http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/kasinhou/information/ra_emissionfactor-v02.html)

[표 28] 일본의 화학물질 용도 분류체계

코 드	용도 분류	코 드	상세 용도 분류
01	중간물	a	합성 원료, 중합 원료, 전구(前驅) 중합체
		b	중합 개시제
		z	기타
용제			
02	도료용 · 바니시용 · 코 팅제용 · 인쇄잉크용 · 복사용 · 살생물제용 용제	a	도료용 용제, 도료 희석제
		b	도료 박리제
		c	바니시용 용제
		d	코팅제용 용제, 바니시 도포용 용제
		e	인쇄잉크용 용제, 전자 디바이스용 용제, 잉크 용제, 잉크 세정제
		f	살생물제용 용제
		z	기타

코 드	용도 분류	코 드	상세 용도 분류
03	접착제용 · 점착제용 · 실링제용 용제	a	접착제용 용제, 점착제용 용제
		b	접착제 제거용 용제, 호제(풀)제거용 용제
		c	접착용 용제
		d	실링제용 용제
		z	기타
04	금속세정용 용제	a	금속세정용 용제(염소계)
		z	기타
05	클리닝 세정용 용제 《세탁업 용도》	a	드라이크리닝 용제
		b	탈염제, 드라이크리닝 용제 추출제
		z	기타
06	기타 세정용 용제 [#04, 05 제외]	a	포토레지스트 현상용 용제, 레지스트 박리용 용제
		z	기타
07	공업용 용제 [#02-06의 용제 제외]	a	합성반응용 용제
		b	방사용 용제, 제막용 용제
		c	추출용제, 정제용제
		d	희석용제
		z	기타
08	에어줄용 용제	a	에어줄 분사제, 희석제
		z	기타
09	기타 용제	a	기타 용제
용제 이외			
10	화학 프로세스 조절제	a	촉매, 촉매 담체
		b	이온교환수지, 이온교환막, 분리막, 격막, 여과제
		c	유화제, 분산제
		d	중합조절(정지)제, 중합금지제, 안정제
		e	광학분할제
		z	기타
11	착색제(염료, 안료, 색소, 색재) [#12, 13, 15, 16, 25, 26, 29 제외]	a	착색제(염료, 안료, 색소, 색재)
		b	형광 증백제
		c	발색제, 발색 혼합(조제)
		z	기타
12	수계 세정제 《공업용도》 [#25, 26 제외]	a	비누, 세제(계면활성제)
		b	무기알칼리, 유기알칼리, 무기산, 유기산, 표백제
		c	Builder(Chelate제, 재부착 방지제 등), 첨가(보조)제(소포제 등)
		d	방청제
		z	기타
13	수계 세정제2 《가정용 · 업무용》	a	비누, 세제, 유리창 세척액(계면활성제)
		b	유연제(계면활성제)
		c	무기제, 유기제, 무기산, 유기산, 표백제
		d	Builder(Chelate제, 재부착 방지제 등), 첨가(보조)제(효소, 형광 증백제, 자외선 흡수제 등)
		z	기타
14	왁스(바닥재용, 자동차용, 피혁용 등)	a	왁스
		b	유화제, 분산제
		z	기타

코 드	용도 분류	코 드	상세 용도 분류
15	도료, 코팅제 [프라이머 포함]	a	도료용 수지, 코팅제용 수지, 바인더 성분
		b	착색제(염료, 안료, 색소, 색재, 광휘제(光輝劑))
		c	열 · 광 경화도료 모노머 · 올리고머
		d	가교제, 경화제, 증감제, 중합 개시제, 광산발생제(光酸發生劑), 광염기 발생제
		e	가소제, 충전제
		f	안정화제(산화방지제 등)
		g	가죽쓰임 방지제, 증점제, 소포제, 블로킹 방지제, 평활제, 도전성 개량제
		h	유화제, 분산제, 누설제, 침투제, 표면조정제, 조막조제
		i	부식방지제, 방청제, 방부제, 항곰팡이제, 향균제
		j	건조촉진제, 습윤제, 난연제, 발수제
		z	기타
16	인쇄잉크, 복사용 약제(토너 등) [필기용구, 레지스트 잉크용 포함]	a	잉크용 수지, 토너용 수지
		b	착색제(염료, 안료, 색소), 감열색소, 감압색소, 형광증백제, 현색제
		c	자외선 · 전자선경화 잉크의 모노머 · 올리고머, 증감제, 중합개시제
		d	가소제, 충전제
		e	안정화제(산화방지제 등)
		f	가죽쓰임 방지제, 증점제, 소포제, 블로킹 방지제
		g	유화제, 분산제, 누설제, 침투제, 조막조제
		h	전하 제어제, 유동성 부여제, 연마성 부여제, 윤활성 부여제
		i	건조촉진제, 습윤제
		z	기타
17	선저도료용 방오제, 어망용 방오제	a	방오제용 수지[첨가제도 포함]
		b	선저도료용 방오제
		c	어망용 방오제
		z	기타
18	살생물제 1 [완제품에 포함되어 출하되는 것]	a	살균제, 살충제, 방부제, 항곰팡이제, 향균제(세균증식 억제제, 목재용 방부제, 개미방지제)
		b	전착제(展着劑), 유화제
		z	기타
19	살생물제 2 [공정 내 사용으로 완제품에 포함되지 않는 것] 《공업용도》	a	불쾌해충용 살충제(해충구제제, 곤충유인제, 공력제(共力劑))
		b	가스 감균제, 훈증제, 훈연제
		c	살균제, 소독제, 방부제, 향균제
		d	전착제(展着劑), 유화제
		z	기타
20	살생물제 3 《가정용 · 업무용》	a	불쾌해충용 살충제(해충구제제, 곤충유인제, 공력제(共力劑))
		b	섬유용 · 종이용 방충제(훈증제, 훈연제 등)
		c	흰개미 구제제, 개미방지제
		d	살균제, 소독제, 방부제, 항곰팡이제, 향균제, 제균제
		e	비농경지용 제초제
		f	전착제, 유화제
		z	기타

코 드	용도 분류	코 드	상세 용도 분류
21	화약류 [연화 포함]	a	화약, 폭약, 화공품[#21-b 제외], 연화(煙火)
		b	자동차 안전부품용 가스 발생제
		z	기타
22	방향제, 소취제	a	향료[#22-b,c 제외]
		b	방향제
		c	탈취제
		d	유화제, 분산제
		z	기타
23	접착제, 점착제, 실링제	a	접착제용 수지, 점착제용 수지, 실링제용 수지
		b	바인더 성분(모노머, 프리폴리머, 경화제, 경화촉진제, 개시제, 커플링제)
		c	가소제, 충전제
		d	안정화제(노화방지제 등)
		e	가죽당김 방지제(皮張り防止劑), 증점제, 소포제, 블로킹 방지제, 평활제
		f	표면 조정제, 분산제
		g	방부제, 향곰팡이제, 향균제
		h	난연제, 도전제
		z	기타
24	포토레지스트 재료, 사진재료, 인쇄판 재료	a	감광성 · 감전자성 수지(포토레지스트, 인쇄판 등)
		b	감광성 · 감전자성 수지의 모노머, 올리고머
		c	감광제, 전자사진감광제, 광중합개시제, 광산발생제(光酸發生劑), 광염기발생제
		d	색소형성 Coupler(Color 사진용)
		e	유화제, 분산제
		f	정착제, 안정화제
		g	경화제, 증감제, 감감제, 가교밀도 향상제, 중합개시제, 레지스트 첨가제
		h	현상제, 수용성 처리 약품, 레지스트 박리제
		z	기타
25	합성섬유, 섬유처리제 [부직포 처리 포함]	a	완제품 기재(합성섬유, 부직포)
		b	착색제(염료, 안료), 형광증백제
		c	집속제(集束劑)
		d	방염제, 난연제
		e	함침보강제, 염료고착제
		f	대전방지제, 친수가공제
		g	섬유유연제
		h	형태안정 가공제
		i	발수제, 발유제(撥油劑), 방수가공제, 방오가공제
		j	향균방취제, 변색방지제, 자외선흡수제
		k	방사 · 방적 · 직편유제(織編油劑), 방사 · 방적 · 직편유조제(織編油助劑)
		l	세정제, 정련세정제(精練洗淨劑, Soaping제), 윤활제
		m	Chelate
		n	표백제, 탈염제
		o	균염제(均染劑), 침투제, 축염제(염색조제), 매염제,

코 드	용도 분류	코 드	상세 용도 분류
			나염용 호(풀)제
		p	유화제, 분산제, 소포제
		q	마살화 조제(マーセル化助劑)
		r	풀빼기제
		z	기타
26	종이 · 펄프약품	a	착색제(염료, 안료), 형광증백제
		b	사이즈제, 정착제, 진료
		c	코팅제
		d	방염제, 난연제, 대전방지제
		e	합침보강제, 보류향상제(歩留向上劑), 고정제, 방청제
		f	발수제, 발유제, 방수가공제
		g	승고제(嵩高劑), 유연제, pH 조절제
		h	증해약액(蒸解藥液)
		i	슬라임콘트롤제(방부제), 피치 콘트롤제
		j	표백제, 표백욕 안정제
		k	유화제, 분산제, 소포제, 탈묵제(脫墨劑), 세정제
		z	기타
27	플라스틱, 플라스틱 첨가제, 플라스틱 가공혼합(조제) [#15, 16, 23, 25, 28 제외] [착색제는 #11]	a	완제품 기재(플라스틱, 합성피혁, 합성지, 발포체)
		b	고흡수성 재료
		c	가소제, 분산제
		d	안정화제(산화방지제 등)
		e	충진제, 희석제, 폴리머 분해촉진제
		f	결정핵제(結晶核劑)
		g	내부활제, 내부이형제
		h	방운제(防曇劑), 유적제(流滴劑)
		i	난연제, 대전방지제, 파장 변환제
		j	외부활제, 외부 이형제
		k	발포제, 라디칼 발생제
		l	주형용 · 주형발포용 재료(모노머, 프리폴리머 등)
		m	경화제, 가교제(FRP용 모노머 등), 가교조제, 증감제, 중합 개시제
		n	경화촉진제
		y	기타 첨가제(개질제 등)
		z	기타
28	합성고무, 고무용 첨가제, 고무용 가공혼합(조제) [착색제는 #11]	a	완제품 기재(엘라스토머(합성고무))
		b	가황 촉진제, 가황 촉진제 조제(가황 활성화제)
		c	가황제, 가교제, 가교조제
		d	가소제, 보강제(접착촉진제 등), 충진제
		e	안정화제(노화방지제 등)
		f	스코치(スコッチ) 방지제, 소련(素練)촉진제, 내부활제, 내부 이형제
		g	라텍스 응고제, 유화제, 분산제, 침강방지제
		h	난연제, 대전방지제
		i	외부활제, 외부 이형제

코 드	용도 분류	코 드	상세 용도 분류
		j	발포제
		k	고무 재생제(탈황제 등)
		y	기타 첨가제(개질제 등)
		z	기타
29	피혁처리제	a	가죽무두질제
		b	사상가공 약제(표백제, 착색제, 착색조제, 발수제, 발유제, 유제, 탈지제, 가지제 등)
		c	준비공정(가죽무두질 전) 약제(탈지제, 탈회제 등)
		z	기타
30	유리, 자기류, 시멘트 [착색제는 #11]	a	유리원료
		b	유리첨가제(강화제, 집소제(集束劑), 방운제(防曇劑), 자외선 Cut제 등)
		c	유리가공조제(이형제, pH 조절제 등)
		d	자기류 원료
		e	자기류 첨가제(그림부착용 전사제(繪付け用轉寫劑), FLIT 배합 약제 등)
		f	자기류 가공조제(중화제, 니켈 처리제 등)
		g	시멘트 원료
		h	시멘트 첨가제(혼합제, 팽창제, 고화제(固化劑) 등)
		z	기타
31	도자기, 내화물, Fine Ceramic [착색제는 #11, 전자용 Fine Ceramic은 #38]	a	도자기 원료, 내화물 원료, Fine Ceramic 원료
		b	도자기 첨가제, 내화물 첨가제, Fine Ceramic 첨가제(소결조제 등)
		c	성형조제(바인더, 증점제, 가소제, 윤활제, 분산제 등)
		d	활제, 이형제 등
		z	기타
32	연삭지석, 연마제, 마찰재, 고체 윤활제 [착색제는 #11]	a	연삭지석(研削砥石) 원료, 연마제 원료, 마찰재 원료, 고체 윤활제 원료
		b	연삭지석 · 연마제 · 마찰재 · 고체 윤활제 첨가제(바인더, 증점제, 연마조제, 분산제, 마찰 조정제, 윤활제 등)
		c	활제, 이형제
		z	기타
33	금속제조 가공용 자재 [금속 및 합금원료는 #1, 착색제는 #11, 표면처리제는 #34, 용접 · 랩접은 #35, 금속 가공유는 #37]	a	금속용 첨가제(접종제 등)
		b	가공조제(라텍스 등)
		c	주조용 점결제(鑄造用粘結劑), 주조용 경화제, 주조용 첨가제
		d	주조용 이형제, 주조용 도형제
		z	기타
34	표면처리제 [도금전처리제 · 후처리제 탈지 · 세정약제는 #04 금속세제, #12의 수계 정제 1] [#4-6, 12-15, 17,	a	도금약제(피막성분 원료)
		b	도금욕 첨가제(광택부여제, 연무방지제, 무전해 도금 환원제 등)
		c	화성처리약제(化成處理藥劑)
		d	진공도금(증착 등)약제, 용사처리약제(溶射處理藥劑)
		e	표면경화 처리제(침탄, 질화 등)

코 드	용도 분류	코 드	상세 용도 분류
	25-27, 30-32, 38, 44 제외]	f	표면불소화 처리제
		g	에칭 처리 약제, 스페터링 처리 약제 (スパッタリング處理藥劑), 브라스트 처리 약제
		z	기타
35	용접 재료 밀랍 재료, 용단용 재료	a	용접 플럭스
		b	밀랍 플럭스(산화방지제 등)
		c	용접용 가스, 용단용(溶斷用) 가스
		z	기타
36	작동유, 절연유, 프로세스유, 윤활유제(엔진유, 축수유, 압축기유, 그리스 등) [#37 제외]	a	작동유의 기유, 윤활유제의 기유
		b	절연유의 기유
		c	프로세스유의 기유
		d	그리스 증강제
		e	작동유 첨가제, 윤활유제 첨가제
		f	절연유 첨가제
		g	프로세스유 첨가제
		z	기타
37	금속가공유(절삭유, 압연유, 프레스유, 열처리유 등), 방청유	a	수용성 금속 가공유의 기유
		b	불수용성 금속가공유의 기유, 방청유의 기유
		c	수용성 금속 가공유 첨가제
		d	불수용성 금속 가공유 첨가제, 방청제 첨가제
		z	기타
38	전기·전자재료 [대상재료 등의 제조용 프로세스 재료 포함] [절연유는 #36]	a	자성 재료[#38-f 제외], 도전 재료, 초전도 재료, 형광체 재료
		b	반도체 재료, 유기반도체 재료, 액정 재료
		c	유도체 재료, 저항체 재료, 고체 전해질 재료, 전해액 재료, separator 재료
		d	광도파로(光導波路) 재료(광파이버 포함), 광학필름 재료, 전자기기 용광재료
		e	봉지재, 절연 재료, 실드 재료
		f	전자 기억매체 재료(자성 재료, 광흡수 색소 등)
		z	기타
39	전지 재료(1차 전지, 2차 전지)	a	전해질 재료, 전해액 재료, 절연 재료, separator 재료
		b	전극 재료(활물질(活物質), 집전체, 도전제, 바인더 등), 감극제
		z	기타
40	수 처리제	a	부식방지제, 방청제, 방식제, 방스케일제(防スケール劑), 방조제(防藻劑)
		b	금속이온 보충제(捕捉劑), 금속이온 봉쇄제(封鎖劑), 경수 연화제
		c	이온교환제(유기 및 무기이온 교환제), 분리막
		d	산화제, 환원제
		e	pH 조절제, 소포제, 응집제, 여과조제, 탈수조제, 이온교환 수지 재생제
		z	기타
41	건조제, 흡착제	a	건조제, 탈수제
		b	흡착제(탈취제, 탈질제, 가스흡착제 등)
		c	흡수제(탈산소제 등)
		z	기타

코 드	용도 분류	코 드	상세 용도 분류
42	열매체	a	냉매, 냉각제
		b	열매, 가열제
		z	기타
43	부동액	a	부동액(LLC 등)
		b	방청제, 방식제
		z	기타
44	건설자재 첨가물(콘크리트 혼화제, 목재보강 함침제 등)	a	표면경화제
		b	강화제, 감수제
		c	이형제, 소포제
		d	보강 함침제, 목질판 첨가제
		e	방오제(선저도료용 · 어망용 이외의 발수제 등), 방수제, 발수제
		z	기타
45	산포제, 매립처분 전처리 약제(응설제, 토양개량제, 소화제 등)	a	동결방지제(응설제 등)
		b	토양개량제, 지반개량제
		c	소화제(消火劑)
		d	인공강우제
		e	유처리제(油處理劑)
		f	분진결합제, 분진방지제, 모진처리제(煤塵處理劑)
		z	기타
46	분리 · 정제 프로세스제 《광업, 금속 제조업의 용도》 [추출 · 정제 용제는 #07]	a	부유선광제, 부유억제제, 응집제, 금속침출제
		b	금속보촉제(金屬捕捉劑)
		z	기타
47	연료, 연료첨가제	a	연료
		b	연료첨가제(청정분산제, 산화방지제, 점도지수 조정제, 마찰저감제, 방청제)
		c	연소 개량제(연소 촉진제, 세탄가 향상제, 안티옥제 등)
		d	빙결방지제, 착취제(着臭劑)
		z	기타
상기 이외			
98	기타 원료, 기타 첨가제	a	기타 원료, 기타 첨가제
99	수출용	a	수출용

3단계 : 매체(대기, 수계)별 배출량 예측

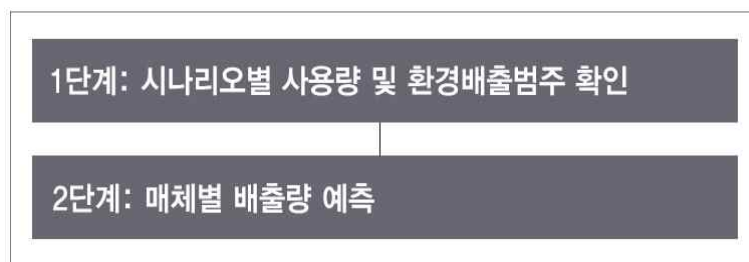
취급량과 물리화학적 성상 정보(증기압, 물 용해도)를 기초로 확인한 배출 계수를 활용하여 다음 식과 같이 배출량을 추정할 수 있다.

$$\text{배출량} = \text{취급량} \times \text{배출계수}$$

배출계수의 값은 「취급량」과 「배출량」에 관련되는 환경매체별, 용도별, 업종별 및 사용 공정별로 여러 가지 변수에 의해 영향을 받는다. 따라서 이용한 배출계수가 어떠한 특성으로 인해 산출된 것인지를 확인할 필요가 있지만, 기존의 많은 배출계수는 어떤 특성으로부터 산출되었는지 알 수 없는 것이 많다.

(다) 환경배출 범주 활용방법

화학물질을 취급하는 공정 특성을 고려하여 EU의 공정 범주와 환경배출 범주에서 해당되는 범주를 확인하고, 노출시나리오별로 최악의 경우를 고려한 매체별 배출량을 예측할 수 있다.



[그림 14] 노출시나리오별 환경배출 예측 단계

1단계 : 시나리오별 사용량 및 환경배출 범주 확인

환경 노출시나리오와 각 시나리오별로 사용량을 확인한 후에, [표 29]를 참고하여 환경배출 범주를 선택한다.

[표 29] 환경배출 범주

번호	환경배출 범주
1	화학물질의 생산 (예: 화학물질, 석유정제품, 1차 금속 등)
2	혼합을 통한 제품 제조 (예: 페인트, 가정용제, 접착제 등)
3	원재료와 화학적 결합을 통한 제품 제조 (예: PVC 가소제, 결정 성장 유도제 등)
4	공정 및 생산 공정에서 공정 보조제로 산업적 사용 (예: 금속 가공용 윤활제, 주조 공정 이형제 등)
5	가공품 내로 포함되는 산업적 사용 (예: 도료 또는 코팅액의 결합제, 금속 도금제 등)
6a	다른 물질로 변환되는 산업적 사용 (예: 의약품 제조용 원재, 고분자 제조용 단량체 등)
6b	공정 보조제 형태로 산업적 사용 (예: 종이 표백제, 섬유 탈지세정제 등)
6c	열가소성 수지 생산에 사용되는 모노머의 산업적 사용 (예: PVC 제조용 vinyl chloride monomer 등)
6d	수지/고무/폴리머 생산 공정 중 보조제로 산업적 사용 (예: PE 제조용 styrene, 고무 경화제 등)
7	밀폐계 내 물질의 산업적 사용 (예: 냉동설비의 순환냉매, 변압기의 절연유 등)
8a	개방된 형태로 공정 보조제의 비산업적 실내 사용 (예: 부식방지제, 윤활유 등)
8b	개방된 형태로 반응성 물질의 비산업적 실내 사용 (예: 세탁용 세정제, 소독용 과산화수소 등)
8c	가공품 내에 포함된 물질의 비산업적 실내 사용 (예: 도료 또는 코팅액의 결합제, 섬유 염료 등)
8d	개방된 형태로 공정 보조제의 비산업적 실외 사용
8e	개방된 형태로 반응성 물질의 비산업적 실외 사용
8f	가공품 내에 포함된 물질의 비산업적 실외 사용
9a	밀폐계 내 물질의 비산업적 실내 사용 (예: 냉장고 순환냉매 등)
9b	밀폐계 내 물질의 비산업적 실외 사용 (예: 자동차 엔진오일, 브레이크 오일 등)
10a	장기간 소량 배출되는 완제품 및 재료의 비산업적 실외 사용 (예: 금속, 목재, 플라스틱 등 건축재)
10b	의도적이거나 장기간 다량 배출되는 완제품 및 재료의 비산업적 실외 사용 (예: 차량 운전 등)

11a	장기간 소량 배출되는 완제품 및 재료의 비산업적 실내 사용 (예: 도서, 신문, 전자제품 등)
11b	의도적이거나 장기간 다량 배출되는 완제품 및 재료의 비산업적 실내 사용 (예: 실내 도장제 제거 등)
12a	소량 배출되는 연마 과정에서 완제품의 산업적 사용 (예: 섬유 제단, 금속 연마/가공 등)
12b	다량 배출되는 연마 과정에서 완제품의 산업적 사용 (예: 선박 도장제 제거 등)

환경배출 범주를 선택하기 위하여 공정 범주와 연계하여 [표 30]을 활용하여 선택할 수 있다.

[표 30] 공정 범주 - 환경배출 범주의 연계 관계

환경배출 범주	1	2	3	4	5	6a	6b	6c	6d	7	8a	8b	8c	8d	8e	8f	9a	9b	10a	10b	11a	11b	12a	12b
공정범주																								
1	○					○		○																
2	○					○		○		○														
3	○	○				○			○															
4	○					○		○	○															
5		○	○																					
6					○																			
7				○	○																			
8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○													○	○
9	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○													○	○
10				○	○						○		○	○		○								
11											○		○	○		○								
12					○																			
13				○	○		○				○	○	○	○		○								
14	○	○	○																					
15											○	○												
16																								
17				○										○										
18				○										○										
19											○	○	○	○	○	○								
20																	○	○						
21~27																								

2단계 : 매체(대기, 수계, 토양)별 배출량 예측

1단계에서 설정된 환경배출 범주에 따라 매체(대기, 수계, 토양)별로 해당 시나리오의 사용량 대비 배출 비율이 설정되고, 이를 활용하여 최악의 경우를 가정한 배출량을 예측할 수 있다.

[표 31] 환경배출 범주에 따른 매체별 배출 비율

범주	구분	밀폐 여부	배출원	실내외	매체별 배출 비율		
					대기	수계	토양
1	제조	Open/Closed	산업	실내	5%	6%	0.01%
2	혼합(조제)	Open/Closed	산업	실내	2.50%	2%	0.01%
3	혼합(조제)	Open/Closed	산업	실내	30%	0.20%	0.10%
4	사용	Open/Closed	산업	실내	100%	100%	5%
5	사용	Open/Closed	산업	실내	50%	50%	1%
6a	사용	Open/Closed	산업	실내	5%	2%	0.10%
6b	사용	Open/Closed	산업	실내	0.10%	5%	0.03%
6c	사용	Open/Closed	산업	실내	5%	5%	0%
6d	사용	Open/Closed	산업	실내	35%	0.01%	0.03%
7	사용	Closed	산업	실내	5%	5%	5%
8a	사용	Open/Closed	개인	실내	100%	100%	n.a.
8b	사용	Open/Closed	개인	실내	0.10%	2%	n.a.
8c	사용	Open/Closed	개인	실내	15%	1%	n.a.
8d	사용	Open/Closed	개인	실외	100%	100%	20%
8e	사용	Open/Closed	개인	실외	0.10%	2%	1%
8f	사용	Open/Closed	개인	실외	15%	1%	0.50%
9a	사용	Closed	개인	실내	5%	5%	n.a.
9b	사용	Closed	개인	실외	5%	5%	5%
10a	제품	Open	개인	실외	0.05%	3.2%	3.20%
10b	제품	Open	개인	실외	100%	100%	100%
11a	제품	Open	개인	실내	0.05%	0.05%	n.a.
11b	제품	Open	개인	실내	100%	100%	n.a.
12a	제품	Open/Closed	산업	실내	2.50%	2.50%	2.50%
12b	제품	Open/Closed	산업	실내	20%	20%	20%

(2) 지역 단위의 환경배출 예측방법

(가) 업종 및 용도 분류체계에 따른 배출계수 활용방법

업종 및 용도 분류체계를 중심으로 EU에서 제공하는 지역 단위의 화학물질 환경배출을 예측하기 위한 평가 절차에 따른다. 전국 단위의 환경배출 예측방법과 마찬가지로 산업 분류체계(Industry category), 용도 분류체계(Use Category)를 확인하고, 조업일수와 취급량을 확인하여 배출계수를 설정한다.

대량생산 화학물질이 주요 대상이 되며, 단일 점오염원을 통해 배출된다고 가정하여 배출 분율과 물질이 사용되는 일수(배출 일수)를 기초로 다음과 같이 지역 단위의 환경 중 예측농도(PEC_{local})를 산정할 수 있다.

$$E_{local\ i,j} = F_{mainsource\ i} \times RELEASE_{reg\ i,j} \times \frac{365}{T_{emission\ j}} \quad (i=\text{생애 단계}, j=\text{매체})$$

$E_{local\ i,j}$: 지역규모 생애 단계, 매체별 배출량 (kg/day)

$F_{mainsource\ i}$: 생애 단계별 배출 분율 (-)

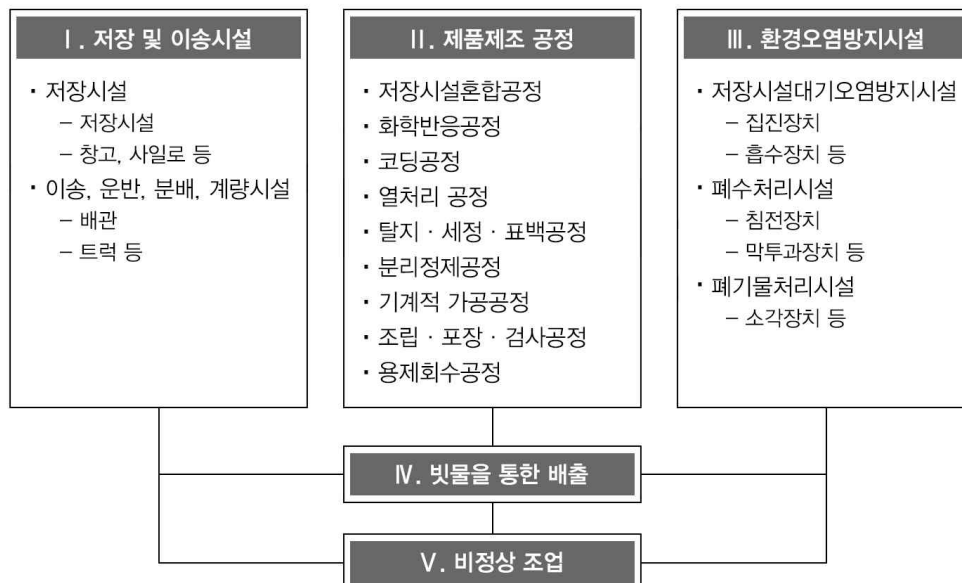
$T_{emission\ j}$: 생애 단계의 배출 일수 (day)

업종 분류체계(IC), 용도 분류체계(UC)에 따른 배출계수는 본 지침서 [별표 8]을 활용하여 확인할 수 있다.

(나) 화학물질 배출량 조사에 따른 산정지침 활용방법

지역규모의 환경 중 예측농도(PEC_{local}) 산정을 위해서 필요한 지역규모의 배출량($E_{local_{i,j}}$)은 ‘화학물질 배출량 조사제도’에서 제공하는 ‘화학물질 배출량 산정지침’을 준용하여 산정할 수 있다.

[그림 15]와 같이 화학물질 배출량 산정지침에 따라 공정을 구분하고, 물질 수지법, 배출계수법, 직접측정법, 공학적 계산법의 네 가지 기법을 활용하여 사업장에서 직접 취급하는 화학물질에 대한 배출량을 산정할 수 있다.



[그림 15] ‘화학물질 배출량 산정지침’의 공정 구분

나. 화학물질 환경매질 농도의 평가

환경 노출평가는 최종적으로 사업장 규모의 환경매질의 오염도를 통해 이루어지나, 이를 위해 전국 규모와 사업장 규모의 두 가지 공간 규모를 각각 계산하여야 한다. 본 단락에서는 다음의 내용을 설명한다.

- 환경농도 계산 기본 지침
- 다매체 모형 및 수식을 이용한 PEC 계산
- PEC 계산 모형 사용

실제 계산과 관련된 모형의 구조 및 세부 수식 등을 확인하고자 할 경우 “환경 중 예측농도 계산 모형” 매뉴얼(다운로드 경로 : www.nier.go.kr 및 본 지침의 별책에 수록)을 참조할 것을 권장한다.

(1) 환경농도 계산 기본 지침

환경농도의 계산은 노출평가 중 환경노출을 위한 사전 단계로서, 다음 세 과정에 따라 순차적으로 이루어진다.

- ① 취급조건과 위해성관리대책(예를 들면, 물질의 양, 공정 온도, 사용 및 활동의 기간 및 빈도, 폐수처리시설 등)의 결정
- ② 위 ①에 따른 대상물질의 배출량 계산
- ③ 배출량에 따른 환경농도 계산

이러한 과정을 거쳐 계산된 환경농도를 이용하여 환경 노출평가가 이루어질 수 있다. 이때 노출평가는 그 결과에 따라 필요한 경우 재평가를 할 수 있다. 즉, 안전성 확인 결과 취급조건과 위해성관리대책이 제조 및 사용에 있어 위험을 관리하는 데 미흡하거나 적절하지 않다고 판단되면, 이들 조건과 수단에 대한 재설정을 통하여 노출을 재평가를 할 수 있다. 이러한 재설정은 다음에 나열된 사항을 포함한 모든 절차 단계에서 가능하다. 단, 이때 재설정된 관리조건이나 수단은 현실을 좀 더 정확히 반영하는 것이어야만 한다.

- 특정 위해성관리대책/취급조건의 추가 또는 재설정
- 위해성관리대책/취급조건과 연결되어야 하는 대표적인 현장 데이터 (예: 배출 실측 값)에 기초한 배출 추정방법 적용변수 조정

- 사용량의 지도화 및 각각의 개별 사용량(예: 시장 데이터 등)에 할당된 톤수의 정확하고 정교한 조정
- 환경 측정 데이터 사용(대표적 환경 농도 혹은 측정된 하천 유량 등 수 용 환경의 특성)
- 높은 단계의 노출 추정 모형 사용
- 좀 더 정확한 물질의 물성 값(예: 물 용해도, 증기압, 옥탄올/물 분배계수, 분해 속도), 분배계수 등 사용

(가) 환경농도 계산

환경농도(혹은 노출평가)는 원칙적으로 두 가지 공간 규모에 대해 평가된다. 모든 점오염원 및 분산적 비점오염원을 포함하는 전국 규모의 regional assessment와 환경으로 배출되는 하나의 점오염원 혹은 분산적 비점오염원을 고려한 사업장 규모의 환경 오염도를 평가하는 local assessment가 그것이다. 환경농도는 일차적으로 주요 환경 매질인 대기, 물(민물), 침전물, 토양에 대해 계산되며, 이를 PEC라 부른다. PEC를 기초로 사업장/전국 규모의 환경오염에 따른 생태계의 노출 수준(지렁이류와 어류에 대한 이차 독성 등 포함)과 사람의 하루 섭취량을 평가할 수 있다.

1) 전국 규모 평가(Regional assessment)

넓은 영역에서 점오염원 및 분산성 비점오염원으로부터 배출되는 물질의 농도는 전국을 대표하는 환경에서 평가된다. 전국 규모에서 물질의 동태는 배출 이후 이동과 변환 과정에 더 긴 시간을 가질 수 있다는 점에서 사업장 규모에서의 동태와 다르다. 점오염원으로부터 먼 거리에 있거나 배출원들이 넓게 분산되어 있을 때, 물질의 추가적인 이동과 분배, 분해 등 다양한 환경 과정들이 관여하게 되므로 이들의 영향이 고려된다. 즉, 매질 간 이동과 분해 기작이 상대적으로 중요하게 포함되어야 한다. 따라서 전국 규모의 환경농도를 계산하기 위해서는, 이들 다양한 환경 과정들의 영향을 동시에 고려하는 한국형 다매체 동태 모형이 사용된다.

이 경우 각각의 환경 매질로의 모든 배출은 일정한 속도로 지속적으로 일어나는 것으로 가정하며, 충분한 시간이 지난 후 환경농도가 시간에 따라

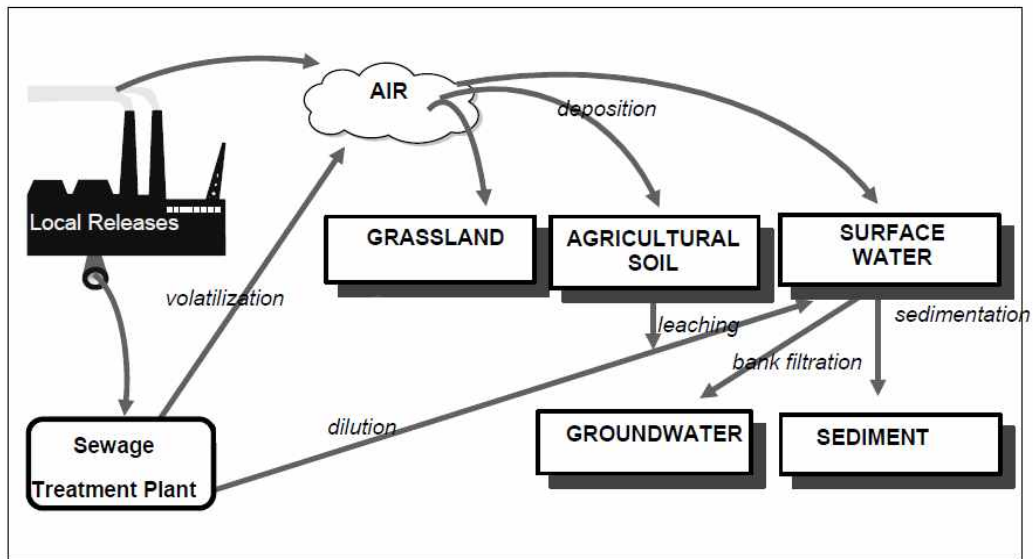
변하지 않게 될 때를 가정하는 정상상태의 농도가 계산된다. 또한 이렇게 계산된 전국 농도는 사업장 농도를 계산할 때 배경 농도 값으로 사용된다.

2) 사업장 규모의 평가(Local assessment)

사업장 규모의 평가는 제한된 공간 내의 소수의 특정 점오염원으로부터 배출이 일어나는 경우와, 그 공간 내에서 화학물질의 분산적 사용 등으로 인해 배출이 일어나는 경우의 두 가지를 다룬다. 하나의 점오염원으로부터 배출되는 대상물질의 농도는 사업장 규모의 일반적인 표준 지역환경에 대해 평가된다. 표준 지역환경은 특정 장소가 아닌 미리 정의된 특성을 갖는 가상의 지역으로서 미리 주어진 ‘표준 환경’으로 정의되며, 노출 대상은 그 지역 내부 혹은 경계에서 노출되는 것으로 가정한다. 이 경우 배출 에피소드 기간 중에 일어난 (배출이 간헐적인지 지속적인지에는 관계 없이) 배출 총량을 그 기간의 총 일 수로 나눈 평균 하루 배출량을 사용하여 농도를 계산한다. 이러한 농도는 배출이 일어날 때 하루 동안 오염원으로부터 어느 정도 이격된 거리(표준 100m)에서 예상되는 농도를 나타낸다.

사업장 규모에서의 농도는 상대적으로 배출과 노출 지점과의 거리가 짧기 때문에 초기의 혼합과 부유물질(대기 중 입자, 물속의 부유 고형물질)로의 흡착에 의한 영향만을 고려하여 계산된다. 따라서 분해나 타 매체로의 전이 등 다른 프로세스는 사업장 규모의 예측농도 계산에서는 고려되지 않는다.

[그림 16]에 사업장 규모에서의 배출 경로와 각 매질 사이에서의 주요 분배 프로세스를 타나내었다.



[그림 16] 사업장 규모에서의 분배(산업 시설에서의 배출 시나리오)

가) 산업 시설에서의 배출

산업 시설의 배출 시나리오는 점오염원인 특정 시설로부터 대기와 물, 토양으로 이루어지는 경우를 고려한다.

대기농도는 점오염원의 특정 높이에서 대기로 직접 배출이 된 후 확산이 일어나는 경우를 주로 고려하여 계산되며, 필요한 경우에 폐수나 하수처리 설비에서 일어나는 대기배출도 단독으로 혹은 추가적으로 고려할 수 있다. 수계의 농도는 산업 폐수처리시설(WWTP) 혹은 도시 하수처리시설(STP)에서 배출하는 경우를 고려하여 계산된다. 이때 산업시설 혹은 도시의 생물학적 처리시설에 대해서는 표준 모델을 사용해 처리 후의 배출량을 산정할 수 있다. 토양농도는 유럽에서는 STP의 슬러지를 농지에 활용할 때를 주로 고려하지만, 우리나라에서는 고려하지 않고 대기로 배출된 물질의 침적을 통해 일어나는 경우만 고려하여 계산된다.

나) 분산적 사용(wide dispersive uses)에 따른 배출

물질의 분산적 사용에 따른 배출은 소비자나 공공영역(소규모, 비산업 회사 포함)의 많은 이용자들에 의해 물질이 사용되며, 이 과정에서 배출되는 경우를 의미한다. 그러나 물질의 분산적 사용에 따른 배출에 의한 오염도를 **사업장** 규모에 대해서 평가하는 것은, 그 최초의 배출은 분산적이라 하더라도 그들이 다시 모두 모여져서 궁극적으로는 점오염원의 형태로 배출이 이루어지는 경우만을 포함한다. 따라서 배출이 기본적으로 표준지역 내의 하수처리시설로 모여져 처리된 후에 배출되는 경우만을 고려하며, 결과적으로 점오염원으로 간주되는 하수처리시설에서 물로의 배출만 고려된다. 그 밖의 분산적 사용에 따른 대기과 토양으로의 직접적 배출은 사업장 규모에서는 고려되지 않으며 전국 규모에서만 고려된다.

(나) 환경농도 계산을 위한 시간 기준

1) 전국 규모(Regional scale)

물질의 전국 규모 배출은 연간 지속적으로 발생한다고 가정한다. 따라서 평균 노출 수준(환경농도)은 전국 규모의 정상상태 모델로 연간 배출 속도를 이용해서 산정한다. 그리고 이들 PEC는 이어지는 위해성 평가 과정에서 장기 독성 자료와 비교한다.

특히 환경으로의 배출은 총 사용기간에 걸쳐 지속적으로 발생하는 것으로 가정한다. 한 시장 연도의 배출은 전년도 시장과 미래 시장의 배출량이 더해 지므로, 물질의 “market history”와 “market future”가 중요한 역할을 한다는 것이 고려되어야 한다. 따라서 등록자는 스스로 물질의 생산-주기가 정상상태에 도달하는지에 대해 인식해야 한다. 이러한 정상상태는 연간 판매량이 사용기간 끝에 폐기 처리되어 다른 제품으로 교체되거나, 또는 경쟁으로부터 시장 점유율을 잃거나 얻는 경우에 의해 도출됨을 의미한다. 따라서 이러한 경우, 현재의 연간 생산량에 사용기간 동안 제품의 배출계수를 곱하여 연간 배출량을 추정할 수 있다.

2) 사업장 규모(Local scale)

물질의 사업장 배출은 지속적일수도 혹은 간헐적일 수 있다. 지속적 배출의 특징은 거의 일정한 배출 속도로 장기적인 기간(예를 들어, 220일 작업일수)동안 배출된다. 대기와 물로의 배출속도는 하루(24시간) 평균으로 계산한다. 이것은 배출이 하루 중 단지 몇 시간만 일어나더라도, 이것을 24시간 평균으로 사용한다는 것을 의미한다.

한편, 대부분의 화학물질이 직접적으로 토양으로 배출되지 않으며 토양은 대기나 지표수와 비교해 덜 동적이므로, 육상생물로의 노출은 배출 속도의 일시적인 변동에 영향 받지 않는다고 가정한다. 또한 포식동물과 사람의 경우, 이러한 변동은 그들 수명과 만성 효과가 고려되는 시간 규모와 비교해 다소 단기적인 성향을 가진다. 따라서 포식동물과 사람, 육상생물들은 장기간의 평균 수준으로 노출된다고 가정하며, 이것은 연간 평균 배출 속도로부터 얻어진다.

각 매질의 PEC 계산을 위한 대상별, 매질별 시간적 길이의 기준은 [표 32]와 같다.

[표 32] 농도 계산 기준

환경	노출 매체	노출시나리오	
		전국 규모	사업장 규모
물	민물	민물의 정상상태 농도	배출이 발생할 동안의 농도(연평균)
	침전물	침전물의 정상상태 농도	위 민물과의 평형 농도
토양	농경지 토양	농경지의 정상상태 농도	농경지 30day 평균 농도
대기	대기	대기의 정상상태 농도	점오염원 or STP로부터 100m에서의 대기농도(연평균)

(다) 환경 매질의 특성

전국과 사업장 규모의 PECs는 우리나라 환경에서 물질의 위해성 초기 수준의 평가 결과를 획득하는 것이 일반적인 목적이기 때문에 우리나라의 환경을 잘 대표하는 각각 하나의 표준화된 일반적 환경이 정의될 필요가 있다. 따라서 현실의 환경 특성은 분명 시간과 공간에 따라 다양하겠지만, 이 평가의 목적상 우리나라를 잘 대표하도록 최적화된 환경 매질의 특성 변수들의 기본 값들이 결정되어 있으며, 그 값들이 환경 중 예측농도 계산 시 사용된다.

(2) 다매체 모형 및 수식을 이용한 환경 중 예측농도 계산

환경 중 예측농도의 계산은 환경 중 예측농도 계산 모형(다운로드 경로 : www.nier.go.kr)을 이용하여 계산할 수 있다. 모형 내에서 환경농도의 계산은 모형 내 한국형 다매체 동태모형을 이용한 정상상태에서의 전국 규모의 환경 농도와, 다매체 동태모형이 아닌 별도의 계산방법을 이용한 배출 에피소드 동안의 사업장 규모의 농도를 각각 계산하여, 이를 합산한 값을 최종 사업장 규모의 환경 예측농도로 산출한다.

단, 전국 규모의 농도를 계산할 때, 다음 각 경우에는 제공된 모형을 사용하지 않거나 제한된 방식으로 사용하는 것을 원칙으로 한다.

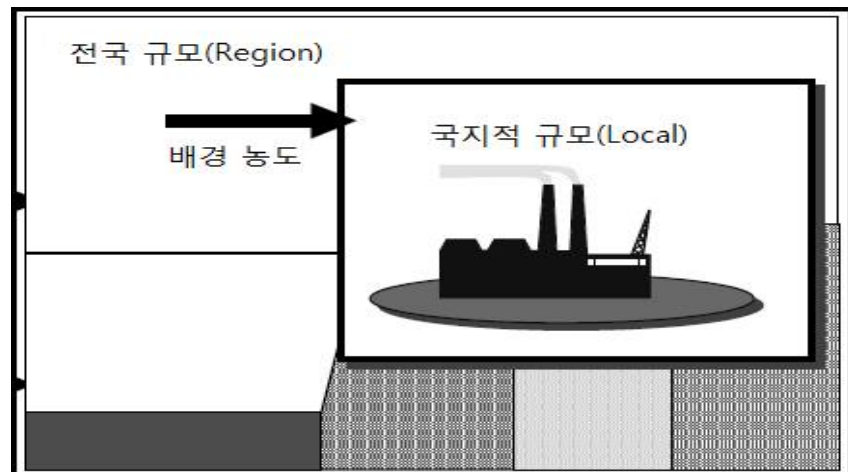
- ① 대상물질이 중금속이나 다른 무기물인 경우(수은을 제외한 일부 중금속의 경우, 초기 수준의 평가를 목적으로는 모형 사용 가능)
- ② 대상물질이 혼합물이며 혼합물 전체의 환경 농도를 예측하고자 하는 경우(혼합물 중의 특정 개별 물질의 농도를 예측하고자 하며 그 물질이 유기물질일 경우 모형 사용이 가능)
- ③ 분자구조가 명확하지 않은 유기물질(예: 생체에서 유래한 거대분자)

(가) 한국형 다매체 동태모형

한국형 다매체 동태모형은 스크리닝 수준에서 기존·신규화학물질의 전국 규모 환경농도를 계산하기 위하여, EU SimpleBox를 바탕으로 국내 환경에 적합하도록 주요 매개변수들을 최적화한 모형이다. 기본적으로 각 환경매질을 균질한 one box로 가정하고, 각 매질별로 하나의 정상상태 물질수지식을 세운 뒤 그 식들을 연립하여 해를 구함으로써 다매체 농도들을 동시에 계산하도록 되어 있다(Mackay level III인 정상상태).

한국형 다매체 동태모형의 공간 규모는 우리나라 전국 규모의 regional scale, 대륙규모의 continental scale, 그리고 continental scale을 포함하는 지구 규모의 global scale(arctic zone, moderate zone, tropic zone)로 5개의 범주로 구분된다. 범주 간의 오염물질 교환은 물과 공기의 이류에 의해 발생하며, 지구 규모의 global scale은 폐쇄계로서 경계층에서 물질의 이동이 발생하지 않는 것으로 가정된다. 그러나 환경 노출평가를 위해서는 실제 사용되는 공간적 규모는 전국 규모이다. 즉 지구적 규모, 대륙 규모의 계산은 추후에 필요한 경우

사용할 수 있도록 포함이 되어 있으나, 현재에는 전국 규모에 대한 환경농도 계산만을 수행하도록 설정되어 있다.



[그림 17] SimpleBox_Korea의 개념도

한국형 다매체 동태모형에서 다루는 중요한 환경매질로는 대륙 규모와 전국 규모에서는 대기, 물(민물, 해수), 침전물(민물, 해수), 토양(자연지, 농지, 도시산업용지), 식생(자연지, 농지)이 있으며, 이들 각 매질이 화학물질 농도 예측을 위한 기본 단위로 이루어져 있다.

(나) 배출 에피소드(release episode) 동안의 사업장 규모의 농도 계산

사업장 규모에서의 환경매질은 전국 규모와 달리 해수와 도시산업 용지가 없고 대기, 수체, 침전물, 토양(농경지, 목초지)으로 구성되어 있다. 배출 에피소드 동안의 사업장 규모의 농도는 다음에 설명되는 별도의 방법으로 1차 사업장 농도를 계산하고, 그 값에 다매체 모형을 통해 계산된 전국 규모의 농도를 합산하여 최종적으로 사업장 규모의 농도를 계산한다. 이 값이 환경 노출평가에 사용되는 환경 중 PEC이다.

사업장 규모의 배출 에피소드 동안의 농도 계산은 다매체 모형이 아닌 별도의 계산방법을 이용한다. 대기에서의 농도($PEC_{local\ air}$)는 오염원으로부터 100m 거리에서의 평균 농도를 계산한다. 이러한 거리는 배출시설의 평균 크기를 반영하고 있는 것으로 가정한 것이다.

대기 농도는 인간의 노출평가를 위해 사용되기 때문에 연평균 농도를 계산한다. 이때 토양으로의 침적량은 배출원으로부터 반경 1,000m 안에서의 평균 값으로 계산한다.

수체에서의 농도($PEC_{local\ water}$)는 원칙적으로 하수처리설비(STP)에서의 유출수가 완전히 혼합된 후에 계산된다. 유출과 노출지역 간의 거리가 매우 짧기 때문에 대개 희석이 주된 제거 프로세스가 된다. 따라서 수체에서의 분해, 휘발, 퇴적의 영향은 농도 계산에 반영하지 않는다. 표준 희석계수가 사용되며, 계산된 용존 농도가 $PNEC_{water}$ 와 비교된다.

침전물의 농도는 수체와 같은 지역에서 계산된다. 상대적으로 생애주기가 짧은 수서생물의 노출을 평가하기 위해서 배출 에피소드 동안의 농도가 계산된다. 반면에 인간과 포식동물의 직접 노출평가를 위해서는 보다 만성적 노출 관점이 적절하기 때문에 연평균 농도가 사용된다.

토양에서의 농도($PEC_{local\ soil}$)는 점오염원으로부터 대기로 배출된 오염물질이 침적 과정을 통하여 토양을 오염시키는 경우에 대해서, 오염이 지속적으로 발생한 특정 기간 동안의 평균 농도를 계산한다. 토양은 농경지와 목초지 두 가지 형태로 구분하며, 각각 적용되는 혼합 깊이가 다르다. 육상 생태를 평가하기 위해서 30일 평균 농도가, 사람의 간접노출을 평가하기 위해서 180일 평균 농도가 각각 사용된다. 지하수 농도는 농경지 토양에서 계산된다.

(다) 모형을 이용한 금속물질 노출 농도 계산

화학물질 안전성 평가를 위한 다매체 모형 사용법에 관한 지침과 모형 내의 수식들 대부분은 개별적 유기물질로부터의 정보를 토대로 작성되었기 때문에, 금속물질을 대상으로 모형을 이용한 경우 특별한 고려가 필요하다.

금속물질을 대상으로 전국 규모의 환경 중 예측농도를 계산하기 위해 모형을 이용한 경우 고려사항을 [표 33]에 나타내었다. [표 33]의 내용을 활용하기에 앞서 대상 금속물질의 관측 값 여부를 우선 확인하여 관측 값이 있는 경우에는 이를 우선적으로 사용하여야 한다.

환경 중 예측농도 계산 모형을 이용한 금속물질의 농도 계산은 초기 스크리닝 수준에서의 평가에서만 사용되어야 하며, 그 이상의 단계에서는 금속물질에 특화된 모형을 사용할 것을 권장한다.

[표 33] 금속물질에 대한 환경 중 예측농도 계산 모형 사용

Parameter	Value	Remark
Water solubility		<ul style="list-style-type: none"> • 환경 농도의 예측은 적절한 수용성 금속 이온/또는 bioavailable이거나 변환 과정을 거쳐 가용한 다른 금속 종을 기반으로 해야 한다. • 금속은 용해되지 않지만 변형되어 수용성 및 난용성 금속 화합물을 연속적으로 방출할 수 있다. • 어떤 경우에 금속화합물은 잘 녹지 않고 물에 잘 녹는 형태로 빠르게 바뀌지 못할 정도로 충분히 안정하다. 이런 상황에서 그 물질 자체는 물질의 분배 특성을 가지고 평가되어야 한다. 수중 환경의 경우 물질이 물에 대한 용해도 한계까지 녹는 양을 첫 추정량(first estimate)으로 가정할 수 있고, 이 분율만큼이 bioavailable form 이 될 것이다. kinetics of the dissolution을 고려함으로써 평가방법의 개선이 가능하다.
Vapour pressure	최소값으로 설정 (모형에서 $1E-6$ Pa)	<ul style="list-style-type: none"> • 수은 화합물과 몇몇 유기금속 화합물을 제외한 대부분의 금속은 매우 낮은 증기압을 갖는다. 따라서 모형에 증기압을 적용한다면 대기로의 분포를 무시할 수 있다.
Adsorption to aerosol particles		<ul style="list-style-type: none"> • 대기에 존재하는 대부분의 금속은 에어로졸에 붙어 있다. 따라서 에어로졸과 결합된 금속 분율(Fassauer)이 거의 1이 되려면 매우 작은 값(예: $1E-6$)이 증기압으로 사용되어야 한다. 만약 타당한 측정 값이 있다면 그 값을 사용한다.
Octanol-water partitioning coefficient	모형에서 도출된/ 측정된 분배계수 K_p water-soil, water-sediment, water-suspended matter 사용	<ul style="list-style-type: none"> • 옥탄올/물 분배계수는 금속에는 적절하지 않다. 대신 환경조건과 화학을 고려해서 모형에서 도출되거나 측정된 분배계수 K_p가 사용되어야 한다.
Biotic and abiotic degradation rates	0	<ul style="list-style-type: none"> • 금속에 대해서는 biotic and abiotic degradation rates가 0으로 설정되어야 한다.
Elimination in STP	측정된/모형에서 도출된 water-sludge 분배계수 사용	<ul style="list-style-type: none"> • 금속에 대한 이 값들은 찾기가 어렵다. 때때로 sludge-water 분배계수보다는 퍼센트로 표현되는 removal efficiency rates를 얻기가 더 쉽다.

Time scale	20~100년	<ul style="list-style-type: none"> 금속의 경우, 정상상태는 전형적으로 몇십년 혹은 몇천 년이 지나서야 도달한다. 그런 시간 규모에서는 정상상태 농도가 불확실하고 위해성 평가에서 그와 같은 시간 규모는 더 이상 적절하지 않다. 따라서 전망할 수 있는(surveyable) 기간인 100년 후의 PEC 값과 정상상태의 PEC 값 모두를 계산하는 것이 필요하다. PEC 값이 PNEC와 같아지는 기간 역시 위해성 관리 목적을 위해 계산되어야 한다.
Adsorption-desorption	관심 환경영역에 대한 측정된 분배계수 사용	<ul style="list-style-type: none"> aqueous phase에서 soil/sediment/suspended matter로의 금속의 이동은 측정된 soil/water, sediment/water, suspended matter/water 평형 분배계수(K_d; 분배계수 K_p라고도 함)에 기초하여 설명되어야 한다.

(3) 환경 중 예측농도 계산 모형의 사용방법

모형 실행을 위한 파일은 국립환경과학원 사이트(www.nier.go.kr)에서 다운로드할 수 있다. 다운로드한 압축 파일을 풀면 Environmental Concentration Estimation 폴더 내에 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산.xls’ 한 개의 엑셀 파일과 사용자 매뉴얼 한 개의 한글 파일을 확인할 수 있다.

실제 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산.xls’ 내에는 복잡하고 많은 매개변수 및 수식들이 사용되고 있으나, 사용자의 편의를 위해 사용자가 하나의 시트 (‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’ 시트) 안에서 기본적인 입력정보를 입력하면 바로 결과를 확인할 수 있도록 하였다. 따라서 사용자는 본 지침서의 사용방법에 따라 간단히 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’ 시트 내에 몇 가지 매개변수의 값을 입력하거나 선택하면 결과를 확인할 수 있다.

모형 내 세부 구조 및 수식에 관련된 내용을 확인하고자 할 경우에는 본 지침에 수록된 ‘화평법 이행을 위한 화학물질 환경 중 농도 예측모형 매뉴얼’을 확인하면 된다.

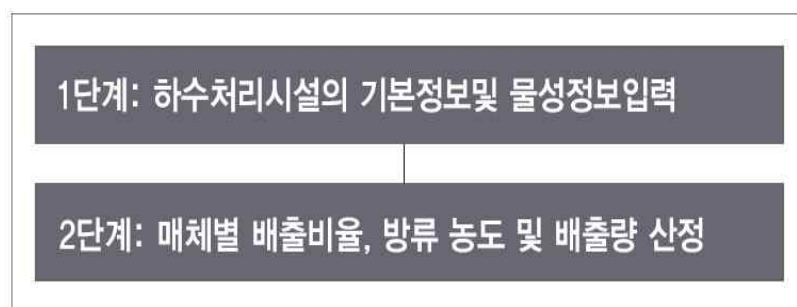
(4) 하수처리시설(STP)의 농도 계산

(가) 개요

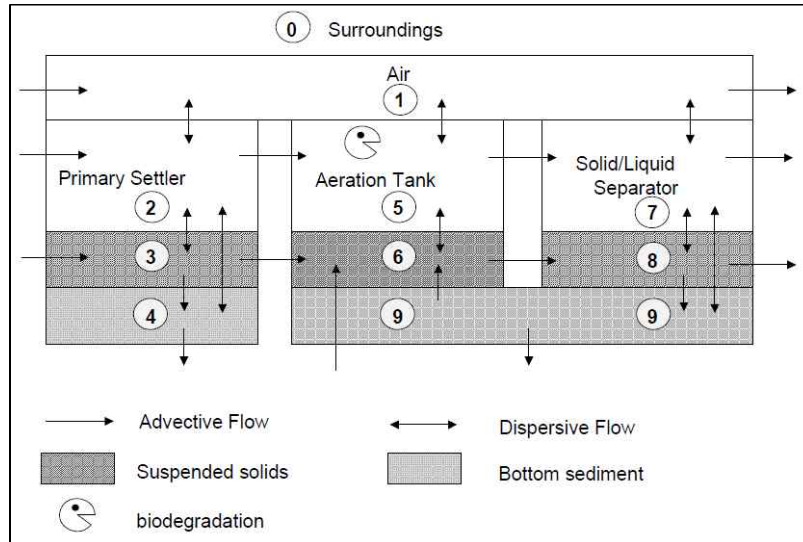
수계의 농도를 예측하는 데 있어 중요하게 다루어야 할 부분이 하수처리시설(Sewage Treatment Plant, STP)을 거치는지 여부이다. 우리나라는 2012년 말 기준 총 인구 중 하수처리시설 및 폐수처리시설을 통해 처리되는 하수처리구역 내 하수처리인구 비율로 산정한 하수도 보급률은 91.6%(2012 하수도통계, 환경부)로 확인되었다(참고로, EU에서는 REACH가 발효되는 직전인 1998년 말을 기준으로, 전체 발생하는 폐수 중에서 80%는 하수처리시설을 거치고, 나머지 20%는 지표수로 방류되었다).

화학물질이 수계로 배출된 이후, 지역 규모의 대기에서의 PEC_{local}, 수계에서의 PEC_{local} 두 가지 값을 계산하기 위하여 하수처리시설에서의 대기 배출량(Est_{pair}), 하수처리시설 방류수에 포함된 물질의 농도(C_{localeff}), 하수처리시설의 방류량(EFFLUENT_{stp}) 세 항목의 값이 필요하다.

이에 하수처리시설(STP) 모델을 활용해 [그림 18]과 같은 절차를 통하여 환경 중 농도 및 방류량 등을 산정한다.



[그림 18] 하수처리시설의 농도 예측 단계



[그림 19] 하수처리시설(STP) 모델 개요

(나) 하수처리시설의 배출량 및 농도 산정을 위한 기본 지침

하수처리시설(STP)의 배출량 및 농도 산정을 위해서는 하수처리시설의 용량, 처리량, 부유물 농도 등의 전형적인 기본 정보는 [표 34]와 같다.

[표 34] 하수처리시설의 기본 정보

Parameter	symbols	unit	value
Capacity of the local STP	CAPACITYstp	[eq]	10,000
Amount of wastewater per inhabitant	WASTEWinhab	[l.d-1.eq-1]	200
Surplus sludge per inhabitant	SURPLUSsludge	[kg.d-1.eq-1]	0.011
Concentration susp. matter in influent	SUSPCONCinf	[kg.m-3]	0.45

하수처리시설(STP)에 대한 기본 정보를 기초로, 헨리 상수, 옥탄올/물 분배 계수, 하수처리시설(STP)에서의 1차 생분해 속도 상수를 결정한다.

[표 35] 1차 생분해 속도 상수 산정 변수

symbols	explanation	unit
HENRY	Henry's law constant	[Pa.m ³ .mol ⁻¹]
Kow	octanol-water partitioning coefficient	[-]
k _{bio_{stp}}	first-order rate constant for biodegradation in STP	[d ⁻¹]

참고로, 헨리 상수를 확보할 수 없는 경우에는 다음 식을 활용해 산정할 수 있다.

$$HENRY = \frac{VP \cdot MOLW}{SOL}$$

[표 36] 헨리 상수 산정 변수

symbols	explanation	unit
VP	vapour pressure	[Pa]
MOLW	molecular weight	[g.mol ⁻¹]
SOL	solubility	[mg.l ⁻¹]

다음으로, 하수처리시설(STP)에서의 1차 생분해 속도 상수는 생분해도를 고려하여 [표 37]과 같은 기준으로 결정할 수 있다.

[표 37] 물질의 분해 특성에 따른 생분해 속도 상수 및 반감기

Test Result	Rate Constant k		Half-life [d]
	[h ⁻¹]	[d ⁻¹]	
Readily biodegradable	1	4.7 × 10 ⁻²	15
Readily, but failing 10-d window	0.3	1.4 × 10 ⁻²	50
Inherently biodegradable	0.1	4.7 × 10 ⁻³	150
Not biodegradable	0	0	∞

앞에서 결정한 하수처리시설(STP)의 기본 정보를 기초로, 유입되는 물질의 특성에 따라 [표 38]과 같이 매체별 배출 비율을 산정할 수 있다.

[표 38] 매체별 배출 비율

symbols	explanation	unit
$F_{stp_{air}}$	fraction of release directed to air by STP	[-]
$F_{stp_{water}}$	fraction of release directed to effluent by STP	[-]
$F_{stp_{sludge}}$	fraction of release directed to sludge by STP	[-]

즉 하수처리시설(STP)로 유입된 물질의 1차 생분해 속도 상수를 1, 0.3, 0.1, 0의 네 그룹으로 나누고, 헨리 상수 $\log H$, 옥탄올/물 분배계수 $\log Kow$ 를 기준으로 간이 계산표를 이용하여 하수처리시설(STP)을 통한 매체(대기, 수계, 슬러지)별 배출 비율을 산정할 수 있다.

다음으로, 하수처리시설(STP)의 기본 정보 및 배출 비율을 활용하여 방출 농도 및 배출량을 산정할 수 있다.

우선, 하수처리시설(STP)의 방류량은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$EFFLUENT_{stp} = CAPACITY_{stp} \cdot WASTEW_{inhab}$$

[표 39] 방류량 산정 변수

symbols	explanation	unit
$CAPACITY_{stp}$	Capacity of the local STP	[eq]
$WASTEW_{inhab}$	Amount of wastewater per inhabitant	[l.d ⁻¹ .eq ⁻¹]
$EFFLUENT_{stp}$	Effluent discharge rate of STP	[l.d ⁻¹]

다음으로, 하수처리시설(STP)의 방출 농도는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$C_{local_{eff}} = C_{local_{inf}} \cdot F_{stp_{water}}$$

[표 40] 방출 농도 산정 변수

symbols	explanation	unit
$C_{local_{inf}}$	concentration in untreated wastewater	[mg.l ⁻¹]
$F_{stp_{water}}$	fraction of release directed to effluent by STP	[-]
$C_{local_{eff}}$	concentration in substance in the STP effluent	[mg.l ⁻¹]

$$C_{local_{inf}} = \frac{E_{local_{water}} \cdot 10^{-6}}{EFFLUENT_{stp}}$$

[표 41] 유입 농도 산정 변수

symbols	explanation	unit
$E_{local_{water}}$	local release rate to (waste) water during episode	[kg.d ⁻¹]
$EFFLUENT_{stp}$	Effluent discharge rate of STP	[l.d ⁻¹]
$C_{local_{inf}}$	concentration in untreated wastewater	[mg.l ⁻¹]

마지막으로, 하수처리시설(STP)의 대기 배출량은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$E_{stp_{air}} = F_{stp_{air}} \cdot E_{local_{water}}$$

[표 42] 대기 배출량 산정 변수

symbols	explanation	unit
$F_{stp_{air}}$	fraction of release directed to air by STP	[-]
$E_{local_{water}}$	local release rate to water during release episode	$[kg.d^{-1}]$
$E_{stp_{air}}$	local release rate to air from STP during release episode	$[kg.d^{-1}]$

위와 같이 수식을 이용하여 산정된 하수처리시설(STP) 처리 결과는 지역 규모 대기에서의 PEC_{local} 과 수계에서의 PEC_{local} 을 산정하는 데 활용된다.

다. 환경을 통한 인체 간접 노출

환경오염물질에 대한 인체 노출평가란 각 화학물질의 정성 및 정량적 분석 자료를 근거로 화학물질에 대한 일반인 노출을 평가하는 과정이다. 시나리오에 따라 일반인 노출이 고려되지 않을 경우 본 항목을 평가에서 제외한다.

(1) 대기 중 화학물질에 의한 인체 노출

(가) 인체 노출량 산정 절차

환경매체 중 농도를 직접 측정하거나 환경 내 거동모형 등의 시나리오를 이용하여 추정한 노출 농도 결과와 환경매체와 관련된 노출경로(예: 대기의 경우 흡입)별 노출강도, 노출률, 노출기간 또는 노출빈도 등을 고려하여 인체 노출량을 산정한다.⁸⁹⁾

(나) 인체 노출량 산정 방법

대기 중 오염물질의 흡입 노출량은 「위해성 평가의 구체적 방법 등에 관한 규정」(국립환경과학원고시)에 제시된 수식을 활용하여 산출한다.

$\text{대기 중 화학물질의 흡입 노출량} = \text{대기 중 화학물질 농도} \times \text{호흡률} \times \text{노출기간} \times \text{흡수율} / \text{체중} \times \text{평균 노출기간(평균 수명)}$		
모수	단위	내용
대기 중 화학물질의 흡입 노출량	mg/kg-일	
대기 중 화학물질 농도	mg/m ³	
호흡률	m ³ /일	14.3
노출기간	일	9,125일(25년)
흡수율	-	자료가 없다면 100%로 가정
체중	kg	64.2
평균 노출기간 (평균 수명)	일	발암평가시: 28,689일(78.6년) 비발암평가시: 9,125일(25년)

89) 국립환경과학원고시 「화학물질 위해성평가의 구체적 평가 등에 관한 규정」.

(다) 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 명시해야 함).

- 대기 중 화학물질 농도 : 실측 결과 또는 앞서 기술된 환경예측 농도 산정 결과(전국, 사업장 모델 예측 농도)를 이용
- 호흡률 : 호흡률이란 호흡을 통해 대기와 신체가 접하는 비율로, 국립환경과학원고시 제2014-48호 [별표 5] 위해성 평가를 위한 인체 노출계수 자료 이용
- 체중 : 노출 대상 집단의 노출이 발생하는 기간 동안의 평균 체중으로, 국립환경과학원고시 제2014-48호 [별표 5] 위해성 평가를 위한 인체 노출계수 자료 이용
- 노출기간 : 노출기간이란 오염물질과의 접촉기간으로 일반적으로 환경기준 설정 시에는 70년을 가정(국립환경과학원, 2007)
- 평균 노출기간 : 평균 노출기간은 발암성 영향에 대한 평가 시에는 기대수명 전체를 고려하고, 비발암 독성 평가 시에는 노출 기간을 그대로 평균 노출기간으로 적용(EPA, 1989), 평균수명의 경우, 국립환경과학원고시 제2014-48호 [별표 5] 위해성 평가를 위한 인체 노출계수 자료 이용

(2) 수계 중 화학물질에 의한 인체 노출

한국형 거동모형을 이용하여 산출된 수계 중 화학물질의 농도는 지표수 및 지하수 농도로, 먹는 물 중 화학물질에 대한 농도 결과가 없으므로 인체 노출량 산정이 불가하다. 따라서 평가 시 수계오염에 의한 인체 노출평가는 생략한다.

(3) 토양 중 화학물질에 의한 인체 노출

(가) 인체 노출량 산정 절차

환경매체 중 농도를 직접 측정하거나 환경 내 거동모형 등의 시나리오를 이용하여 추정된 노출 농도 결과와 환경매체와 관련된 노출경로(예: 토양 중 휘발성 물질의 경우 주로 섭취, 흡입 및 피부 접촉)별 노출강도, 노출률, 노출 기간 또는 노출빈도 등을 고려하여 인체 노출량을 산정한다.⁹⁰⁾

(나) 인체 노출량 산정방법

토양 중 오염물질의 경구 노출량은 「위해성 평가의 구체적 방법 등에 관한 규정」(국립환경과학원고시)에 제시된 수식을 활용하며, 흡입 및 경피 노출량은 「토양오염물질 위해성 평가 지침」(환경부고시)에 제시된 수식을 활용하여 산출한다.

$$\text{토양 중 화학물질의 경구 노출량} = \text{토양 중 화학물질 농도} \times \text{토양섭취량} \times \text{노출기간} \times \text{흡수율} / \text{체중} \times \text{평균 노출기간(평균 수명)}$$

모수	단위	내용
토양 중 화학물질의 경구 노출량	mg/kg-일	
토양 중 화학물질 농도	mg/kg	
토양섭취량	mg/일	50
노출기간	일	9,125일(25년)
흡수율	-	자료가 없다면 100%로 가정
체중	kg	64.2
평균 노출기간 (평균 수명)	일	발암평가시: 28,689일(78.6년) 비발암평가시: 9,125일(25년)

90) 국립환경과학원고시 제2014-45호 「화학물질의 위해성평가의 구체적 평가 등에 관한 규정」.

$$\text{토양 중 화학물질의 흡입 노출량} = \text{토양 중 화학물질 농도} \times \text{노출빈도} \times \text{노출기간} / \text{평균 노출기간(평균 수명)}$$

모수	단위	내용
토양 중 화학물질의 흡입 노출량	mg/m ³	
토양 중 화학물질 농도	mg/m ³	
노출빈도	일/년	350일(1년)
노출기간	년	성인:25 어린이:6
평균 노출기간 (평균 수명)	일	발암평가시: 28,689일(78.6년) 비발암평가시: 9,125일(25년)

$$\text{토양 피부 접촉 노출량} = \text{토양 중 화학물질 농도} \times \text{토양접촉체표면적} \times (\text{토양-피부 간 흡착계수} \times \text{피부흡수계수} \times \text{단위환산인자}) \times \text{노출빈도} \times \text{노출기간} / \text{체중} \times \text{평균시간}$$

모수	단위	내용
토양 중 화학물질의 경피 노출량	mg/kg-일	
토양 중 화학물질 농도	mg/kg	
토양-피부 간 흡착계수	mg/cm ²	0.07
토양접촉체표면적	cm ² /일	4,271
피부흡수계수	-	
노출빈도	일/년	350/365
단위환산인자	kg/mg	1.0E-06
노출기간	일	9,125(25년)
체중	kg	64.2
평균시간 (평균수명)	일	발암평가시: 28,689일(78.6년) 비발암평가시: 9,125일(25년)

(다) 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 명시해야 함).

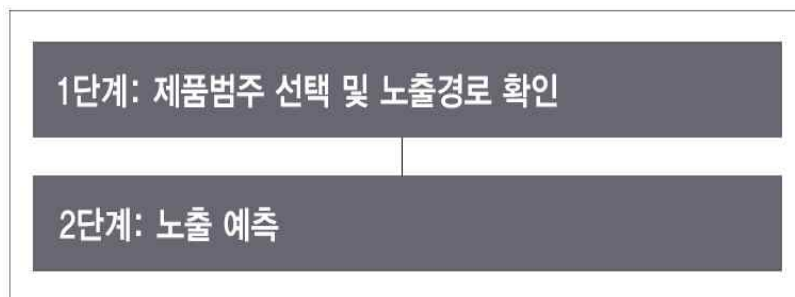
- 토양 중 화학물질 농도 : 실측 결과 또는 앞서 기술된 환경 예측 농도 산정 결과(해당 물질에 대한 배출량 정보를 활용하여 도출된 토양 중 농도 값(농경지, 자연지, 도시 상업용지 등 용도별 전국, 사업장 모델 예측 농도))를 이용
- 토양 섭취량 : 국립환경과학원고시 제2014-48호 [별표 5] 위해성 평가를 위한 인체 노출계수 자료 이용하며, 인체 노출계수표에 따라 성인의 평균 토양 섭취량 50mg/day 를 적용
- 흡수율 : 국립환경과학원고시 제2014-48호 [별표 5] 위해성 평가를 위한 인체 노출계수 자료 이용하며 자료가 없다면 100%로 가정
- 일일평균 실외 노출시간 : 노출시간이란 하루 중 화학물질에 노출되는 시간을 의미하며, 환경부 예규 제283호 토양 위해성 평가지침(실외 노출 시간 1.4시간/일, 실내 노출시간 22.9시간/일)에 따라 적용
- 호흡률 : 호흡률이란 호흡을 통해 대기와 신체가 접하는 비율로, 국립환경과학원고시 제2014-48호 [별표 5] 위해성 평가를 위한 인체 노출계수 자료 이용
- 체중 : 노출 대상 집단의 노출이 발생하는 기간 동안의 평균 체중으로, 국립환경과학원고시 제2014-48호 [별표 5] 위해성 평가를 위한 인체 노출계수 자료 이용
- 노출체표면적 : 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-피부 간 흡착계수 : 환경부 예규 제283호에 제시된 지침용 노출인자표에 따라 0.07 mg/cm² 적용(참고 : 성인 0.07, 어린이 0.2)
- 피부흡수계수 : 토양 중 화학물질이 피부에 노출된 후 실제 피부로 흡수되는 비율을 말하며, 이는 물질 특성별로 서로 다르다. 환경부 예규 제283호에 제시된 지침용 노출인자표에 따르면, 비소의 경우 0.03, 반휘발성 유기물은 0.1, 휘발성 물질은 0.5를 적용

- 노출빈도 : 토양오염물질 위해성 평가 지침 별지 6호(11) 표에 따라 연간 350일 노출되는 것으로 가정
- 노출기간 : 노출기간이란 화학물질과의 접촉기간으로, 일반적으로 환경 기준 설정 시에는 70년을 가정(국립환경과학원, 2007)
- 평균 노출기간 : 평균 노출기간은 발암성 영향에 대한 평가 시에는 기대수명 전체를 고려하고, 비발암 독성 평가 시에는 노출기간을 그대로 평균 노출기간으로 적용(EPA, 1989)하며, 평균수명의 경우 국립환경과학원고시 제2014-48호 [별표 5] 위해성 평가를 위한 인체 노출계수 자료 이용

3. 소비자 노출평가

소비자 노출평가란, 말 그대로 소비자를 대상으로 하는 화학물질에 대한 노출평가를 의미하며, 소비자 제품의 사용 과정에서 발생하는 화학물질에 대한 인체 노출을 평가하는 것이다. 소비자 제품의 사용에 따라 화학물질 노출이 인체 건강 위협의 주요 요소로 작용하고 있어 화학물질 노출 방안 설정을 통한 위해성 저감 노력이 필요하다.⁹¹⁾ 본 단락에서는 소비자 노출평가 수행방법에 대해 기술하고자 한다.

소비자 노출평가는 일반적으로 다음 [그림 20]과 같이 2단계에 따라 수행된다.



[그림 20] 소비자 노출평가 단계

1단계 : 소비자 제품의 범주 및 노출 기간, 빈도 및 경로 등에 대해 기술한 임시 노출시나리오에서 노출평가를 위해 필요한 인자들을 확인한다.

2단계 : 1단계에서 확인된 임시 노출시나리오에 따라 예상 노출량을 산정한다. 소비자 제품으로 인한 노출량을 측정을 통해 얻어진 농도를 이용하여 노출량을 직접 산정하거나, 산정식에 적용하여 노출량을 계산하는 노출 알고리즘 방법, 또는 노출평가 모델을 활용하여 예측할 수 있다.

91) 국립환경과학원(2012), 소비자노출계수 개발 및 검증.

가. 1단계: 소비자 노출평가에 해당하는 제품범주 선택 및 노출경로 확인

(1) 소비자 노출량 산정 범위

소비자 노출량의 산정은 일반 대중들이 소매점에서 구입할 수 있는 소비자 제품을 대상으로 다루어진다. 소비자 제품의 사용으로 발생하는 물질에 대한 소비자 노출의 예는 다음과 같다.⁹²⁾

- 옷의 염료나 직물에 처리된 화학물질의 노출
- 제품으로부터 물질의 용출(예: 아기 젖병 및 물병의 사용)

또한 제품에 대한 소비자 노출은 직접 사용 또는 간접 사용으로 인한 노출을 포괄한다. 간접 노출은 작업 또는 환경을 통한 노출을 의미하며, 다음과 같은 예시를 들 수 있다.

- 전문가들에 의한 장식 또는 청소 제품의 사용 후 집에서 물질에 노출
- 건축 자재에서 발생하는 먼지 입자에 흡착된 물질이 포함된 실내공기의 노출
- 공용 구역 내에서의 물질의 노출(예: 수영장, 레크리에이션 구역)

(2) 노출경로

소비자 노출평가는 외부 노출과 관련 있다. 외부 노출은 흡입, 피부 접촉(경피), 섭취(경구)로 흡수되는 물질의 양에 의해 결정된다. 소비자 노출평가의 목적은 DNEL과의 비교를 통해 제품에 의한 노출 정도를 표현할 수 있는 정보를 생성하는 것이다. 세 가지 노출경로(흡입, 경피, 경구)에 따른 노출량 산정은 각각 해당 경로에 대해 적용 가능한 수식을 통해 분리하여 계산하여야 한다.⁹³⁾

92) ECHA(2010), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.15: Consumer exposure estimation.

93) ECHA(2010), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.15: Consumer exposure estimation.

(가) 흡입 노출

흡입 노출은 소비자 제품의 실제 사용(예: 용액 또는 에어로졸 형태의 혼합물의 증발)이나 제품 사용 후 휘발로 인한 결과로 발생한다(예: 페인트에서 용매의 증발). 또는 완제품에서 배출로 인해 소비자의 호흡 영역에 도달하는 물질의 경우에도 발생할 수 있다. 흡입에 의한 노출은 호흡 영역에서 물질의 농도로서 표현되며, 통상적으로 기준 시간 동안(예: 하루당)의 평균 농도로 표현된다. 간헐적으로 짧은 기간의 노출의 경우도 짧은 기간을 통한 노출로 표현할 수 있다(예: 사용 횟수당). 평가는 또한 다양한 시간에 걸쳐 수행될 수 있는 특정 작업 동안 노출에 기초할 수 있다. 흡입 노출은 일반적으로 mg/m^3 같은 농도로 외부 노출의 면에서 표현된다.

(나) 경피 노출

경피 노출은 피부의 노출된 표면을 접촉하는 물질량에 대한 산정치로, 노출된 신체 표면의 여러 부분에 대한 노출량 산정의 합이다. 피부 노출은 소비자 제품 사용으로 인한 신체 접촉을 통해 발생한다. 세탁 또는 드라이클리닝 후 의류의 잔류물과 같은 물질의 피부 접촉, 공기 중의 입자 또는 에어로졸에 노출된 피부에 침착으로도 발생할 수 있다(혼합물에 포함된 물질의 피부의 직접 접촉, 완제품으로부터 전이되는 물질의 접촉). 물질의 양 및 농도, 피부 노출 면적, 노출 지속시간 및 노출의 빈도는 물질의 실제 경피 노출에 영향을 미칠 수 있다. 경피 노출은 노출된 피부의 단위 면적당 물질의 양(mg/cm^2) 또는 외부 투입량($\text{mg}/\text{kg}(\text{체중})/\text{day}$)과 같이 표현된다.

(다) 경구 노출

정상적 사용 시 비의도적으로 삼킬 수 있는 제품 내의 물질 또는 제품으로부터 전이될 수 있는 물질로 인해 경구 노출이 일어난다. 흔한 예는 가정용 제품의 사용으로부터의 노출이다. 경구 노출은 아이들이 도서, 장난감 등을 빨거나 씹거나 또는 핥음으로써 물질의 이동한 결과로 발생할 수 있다. 이는 특히 손을 입에 대는 아이들의 행동과 관련이 있다.

경구 노출의 구체적인 예로 식물 또는 건축자재와 같은 완제품으로부터 물질의 방출과 같이 소비자 제품의 사용으로 인해 마모된 물질 또는 떨어져

나온 물질이 먼지나 흙의 형태로 어린이들에게 섭취되는 것이다(예: 세제, 접착제, 플라스틱의 모노머 잔류물 및 유연제와 PVC-제품).

노출량 분석에서 고려해야 할 중요한 사항으로는 물질의 이동 특성, 용해도 및 일반적으로 사용되는 양이다. 이런 변수와 함께 농도와 접촉 매개변수는 각각의 노출을 정량화하는 데 사용된다. 경구 노출은 체중 kg당 섭취한 물질의 양으로 표현하고, 일반적으로 일평균 외부 투입량(mg/kg(체중)/day)으로 표현한다.

나. 2단계: 노출 예측

노출량을 예측하기 위해서는 노출량 예측 변수들을 산정식에 적용하여 노출량을 계산하는 노출 알고리즘 방법과, 노출평가 모델을 활용하여 노출량을 예측하는 방법이 있다.

(1) 노출 알고리즘

소비자 노출량 평가 시 세 가지 노출경로를 고려해야 한다. 각각의 노출 경로는 분리하여 계산할 필요가 있다. 노출량 산정에 단계적 접근방법을 사용하여 노출시나리오를 도출할 수 있다. 소비자 노출평가에서 노출량 산정은 합리적 최악 노출 상황을 도출하는 데 사용된다.

- 흡입 : 2개의 선택사항이 있음
 - A. 거치식 방향제와 같이 공기 중으로 지속적으로 방출되며 환기를 통해 일부 제거되고 호흡을 통해 노출되는 경우
 - B. 스프레이 탈취제와 같이 공기 중으로 분사 후 즉시 휘발되며 환기를 통해 일부 제거되고 호흡을 통해 되는 노출되는 경우
- 경피 : 2개의 선택사항이 있음
 - A. 화학물질이 포함된 용액에 손을 담글 때 피부 접촉을 통해 노출
 - B. 물체의 표면에 제품 도포 등 사용 시 피부 접촉을 통해 노출
- 경구 : 제품의 섭취를 통해 노출되는 경우로, 제품 사용 시 비의도적인 섭취를 통해 노출

소비자 제품 사용에 따른 인체 노출량 추정은 국립환경과학원고시 제2016-30호 “위해우려제품 위해성 평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정”[별표 3]에 제시된 노출경로별 계산식에 의한다. 환기율, 체표면적 등 일반 노출계수와 사용시간, 사용빈도 등 제품 노출계수는 국립환경과학원고시 제2016-30호 [별표 4] 및 [별표 5]에서 제시한 자료를 우선적으로 이용한다. 다만, 필요에 따라 기타 국외 자료를 이용할 수 있다.

(가) 흡입 노출

물질은 표준 실내 공간으로 가스, 증기 또는 공기 부유성 입자로 배출된다고 가정한다. 이는 직접 배출 또는 액체/고체로부터의 휘발을 통해 발생하기 때문이다. 다음 산정식은 물질이 가스 또는 증기와 같이 직접 사용할 수 있음을 가정하여 합리적 최악 노출 상황을 나타낸다. 산정식은 휘발성 물질과 공기 중 부유성 입자에 모두 적용된다. 흡입 노출의 경우, 실내 공기 중에 있는 물질의 농도를 산정해야 한다(예: mg/m³). 사건 발생 기간은 최악의 경우 24시간으로 간주된다. 평가를 위해 소비자제품에 있는 물질의 100%가 한꺼번에 방으로 방출되며, 환기는 없는 것으로 가정한다. 사용되는 두 가지 중요한 매개변수는 다음 [표 43]과 같으며, 좀 더 높은 단계의 평가 또는 수반되는 반복 단계에서 공기 중 물질의 농도, 실내공간의 수, 실내공간의 환기율, 실내공간으로의 물질의 배출 비율 등이 고려해야 할 기타 요소이다.

- A. 거치식 방향제와 같이 공기 중으로 지속적으로 방출되며 환기를 통해 일부 제거되고 호흡을 통해 노출되는 경우

$$C_a = \frac{G}{N \times V}, \quad G = \frac{A_p \times W_f}{t}$$

- B. 스프레이 탈취제와 같이 공기 중으로 분사 후 즉시 휘발되며 환기를 통해 일부 제거되고 호흡을 통해 노출되는 경우

$$C_a = \frac{A_p \times W_f}{V} \times \exp(-N \times t)$$

공기 중 노출 농도 C_a 결과로 인한 흡입 노출량 D_{inh} 는 다음과 같다.

$$D_{inh} = C_a \times IR \times abs \times ET \times n / BW$$

[표 43] 흡입 노출 산정식 변수

구분	변수	변수 설명	단위
입력 변수	G	방출량	mg/h
	N	환기율	회/h
	V	공간 체적	m ³
	t	제품 사용시간	h
	A _p	제품 사용량	mg
	W _f	제품 중 성분비	-
	IR	호흡률	m ³ /h
	abs	체내 흡수율	-
	n	사용빈도	회/day
	BW	체중	kg
	ET	노출시간	h/event
결과 변수	C _a	노출농도	mg/m ³
	D _{inh}	노출량	mg/kg/day

출처: 국립환경과학원고시 제2016-30호 「위해우려제품 위해성 평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정」 별표 3.

이것으로 충분하게 평가가 되지 않는다면, 상세 노출평가를 위한 모델의 사용이 더 적절할 수도 있다. 흡입 노출은 고체 또는 액체 상태에서 상대적으로 천천히 방출되는 물질에서 발생할 수 있다(예: 페인트, 가소제, 단량체, 폴리머의 용제, 가구 광택제의 향료). 이런 경우는, 보통 스크리닝으로 인한 노출이 과대평가되므로 상세 노출평가가 가능한 모델로 평가할 수 있다.

(나) 경피 노출

국소적인 피부 노출의 영향은 mg/cm²로 나타내고, cm² 단위당 침착량을 노출된 실제 신체 면적에 곱하여 계산하며, 이것을 피부의 부하라고 한다. 경피 노출의 전신 효과의 경우는 하루에 체중당 노출량(mg/kg/day)으로 외부 투입량을 나타낸다.

A. 화학물질이 포함된 용액에 손을 담글 때 피부 접촉을 통해 노출(예: 합성 세제 이용 손세탁)

$$C_d = \frac{A_p \times W_f}{V_p \times D}$$

$$L_d = C_d \times TH \times As$$

B. 물체의 표면에 제품 도포 등 사용 시 피부 접촉을 통해 노출(예: 물체 표면을 광택, 세정)

$$L_d = R \times t \times W_f$$

피부 접촉 양 농도 L_d 결과로 인한 경피 노출량 D_{der} 는 다음과 같다.

$$D_{der} = L_d \times abs \times n / BW$$

[표 44] 경피 노출 산정식 변수

구분	변수	변수 설명	단위
입력 변수	A_p	제품 사용량	mg
	W_f	제품 중 성분비	-
	V_p	사용 전 부피	m ³
	D	제품 희석률(D=1)	-
	As	피부 접촉 면적	cm ²
	TH	피부 접촉 두께(D=0.01cm)	cm
	R	피부 점착량	mg/min
	t	사용시간	min/event
	n	사용빈도	회/day
	abs	체내 흡수율	-
	BW	체중	kg
결과 변수	C_d	노출농도	mg/cm ³
	L_d	피부 접촉 양	mg
	D_{der}	노출량	mg/kg/day

출처: 국립환경과학원고시 제2016-30호 「위해우려제품 위해성 평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정」 별표 3.

(다) 경구 노출

경구 노출은 제품의 섭취를 통해 노출되는 경우로, 제품 사용 시 비의도적인 섭취를 통해 노출되며 제품 섭취로 흡수된 양(mg/kg)으로 나타낸다. 비의도적으로 삼킬 수 있는 제품의 농도에 대한 산정식은 다음과 같다.

$$D_{oral} = A \times W_f \times abs \times n / BW$$

[표 45] 경구 노출량 산정식 변수

구분	변수	변수 설명	단위
입력변수	A	제품 섭취량	mg
	W _f	제품 중 성분비	-
	abs	체내 흡수율	-
	n	사용빈도	회/day
	BW	체중	kg
결과 변수	D _{oral}	노출량	mg/kg/day

출처: 국립환경과학원고시 제2016-30호 「위해우려제품 위해성 평가의 대상 및 방법 등에 관한 규정」 별표 3.

(2) 노출평가 모델

노출량을 결정하기 위해서는 일반적으로 실제 농도나 노출량에 대한 측정 값을 사용하기도 하지만, 이러한 실측 값이 없는 경우에는 산정 값 또는 예측 값을 사용하는 것이 일반적이다. 노출평가 모델(Exposure model)이라 함은 ‘이론적 또는 경험적 관계식을 통해 가용한 입력 자료로부터 개별 혹은 집단 노출 변수 값을 산정하기 위한 Tool’을 지칭한다. 실측자료가 없거나 실측이 불가능한 상황에서 노출평가에 적용되는 유용한 수단이다. 노출평가 모델은 초기 노출시나리오와 확보된 물질 정보 및 자료에 기초하여 인체에 대한 노출평가 및 위해성 평가를 실시하는 소프트웨어로서, 인체 유해에 대한 주요 노출 형태는 흡입, 경피, 경구의 세 가지 주요 노출경로를 고려하여 개발되었다. 노출평가 대상은 작업자, 환경, 소비자로 분류되어 평가 대상별로 개발된 노출평가 모델이 활용되며, 평가 목적에 따라 적합한 모델 선택이 요구된다. 소비자 노출평가 모델 역시 이러한 노출 모델의 한 종류로서 다양한 대상제품으로부터 인체에 대한 노출경로를 설정하고, 이에 따른 노출량을 산정할 수 있도록 개발된 모델이다.

소비자 노출평가를 위해서 사용되는 주요 모델은 ConsExpo(CONSUMER EXPOSURE models)와 ECETOC TRA, EUSES 등이다.

ConsExpo는 각각의 제품군에 대한 노출 특성에 맞게 노출경로가 설정되어 있어, 급성 및 만성 노출에 대한 노출경로별 노출량을 예측할 수 있는 소비자 노출평가 모델이다. 다양한 연구를 통해 소비자 제품 사용과 관련된 노출 계수 값을 기본 값으로 제공하고 있다. 또한 모델 내 기본 값 변경이 가능하여 국내 실정에 맞는 국내 노출계수를 반영하여 노출량 산정 값을 얻을 수 있다. 추가 평가가 요구되는 경우 노출시나리오를 수정하여 재평가하거나, 상세 평가 단계 틀을 사용하여 보다 정확한 상세 평가를 수행할 수 있는 장점을 지니고 있어 가장 선호되는 소비자 노출평가 모델이다.

ECETOC TRA는 작업자, 소비자, 환경에 대한 노출량을 산출하는 노출평가 모델로서, 가장 큰 장점으로 꼽히는 것은 기본 값을 가진 데이터베이스를 포함하고 있어 이 제품군에 대해서는 필수 입력변수를 입력하면 노출량을 산정할 수 있다. 그러나 기본 값이 제공된 제품군은 모델 내 기본 값 변경이 불가능하여 국내 실정에 맞는 국내 노출계수를 반영할 수 없는 한계성을 지니고 있다.

EUSES 모델은 기본적으로 환경에 대한 위해성과 환경을 통한 인체 위해성을 평가하기 때문에 다른 모델과는 다르게 환경 중 거동을 고려한다. 인간에 대한 위해성 평가는 소비자, 작업자, 환경을 통한 인체 노출에 대해서 이루어지고 있으나, EUSES는 소비자 노출에 대해 다른 모델보다 비교적 최악의 시나리오를 다루고 있기 때문에 선호되지 않고 있다.

모델마다 다소 차이는 있으나 일반적으로 소비자 노출평가 모델에서 요구되는 입력변수는 다음 [표 46]과 같다.

[표 46] 소비자 노출평가의 주요 노출 입력자료

구분	입력자료	비고
생리적 모수	<ul style="list-style-type: none"> · 체중(연령대별, 성별) · 평균수명(성별) · 호흡률(성별, 연령대별, 시간대별) · 체표면적(성별, 연령대별) 등 	통계청 및 한국노출계수 핸드북 등 자료 활용
제품 고유 정보	<ul style="list-style-type: none"> · 제품 내 성분함량 정보(중량비, 농도 등) · 제품 물리적 특성(제품형태-액상, 고상, 기체, 스프레이, 밀도) · 제품 사용방법(사용용법, 희석비율, 포장재, 분무량, 일회 사용량 등) 	생산자 정보 활용
성분의 물리화학적 특징	<ul style="list-style-type: none"> · 성분명 · CAS 번호 · 분자량 · 용해도 · 증기압(온도별) · 분배계수(Kow, Kp) 등 	사용자 조사 필요 (MSDS, Merck Index, EU RAR 등 참고)
제품으로부터 성분 배출 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 용출률(속도, 분율) · 휘발률(속도, 분율) · 증발률 · 피부 흡수 속도 · 피부 접촉 면적 등 	모델 내 기본 값 이용 또는 실험자료 참고
제품 사용 행태	<ul style="list-style-type: none"> · 제품 사용량(회당 제품 사용량, 적용 면적) · 사용 패턴(연간/월간/주간/일간 사용빈도) · 노출기간(이벤트당 노출/접촉시간) · 생활주기(활동공간별 체류시간, 시간대별 활동공간) 등 	제품군별 조사 필요 (국내 소비자 노출평가 연구 결과 활용)
사용공간 정보	<ul style="list-style-type: none"> · 대상공간 정보(구획별 면적, 체적, 층고) · 대상공간 활용(구획구분, 구획별 제품적용 상태) · 환기율(환기주기, 환기율, 기류속도) · 대상공간 환경정보(입자물질 분포) 등 	일반적인 환경에 대한 조사 필요

(가) ConsExpo

ConsExpo 4.1은 화장품, 페인팅 제품, 가정용 살충제 등을 비롯한 소비자 제품의 노출량을 계산하기 위해 RIVM(the Dutch National Institute of Public Health and the Environment)에서 개발한 모델로, 각각의 제품군에 대한 노출 특성에 맞게 노출경로가 설정되어 있어 상세한 노출량을 예측할 수 있는 모델이다.⁹⁴⁾ ConsExpo 모델을 사용하면 표준화 방식으로 소비자 제품에 대한 노출을

94) RIVM(2006), General Fact Sheet. ventilation, room size, body surface area Updated version for ConsExpo 4. RIVM report 320104002.

계산하는 것이 가능하고, 숫자 값뿐만 아니라 분포에 대한 계산 및 민감도 분석도 수행할 수 있다. 단일화합물에 대한 흡입, 피부, 경구 노출과 같은 각 노출경로에 대하여 노출량을 추정할 수 있다. ConsExpo 모델은 제품과 사용범위에 대한 기본 값을 가진 데이터베이스를 포함하고 있고, 기본 값에 대한 설명이 fact sheet에 제공되어 있다. 이 모델은 소비자 노출평가에만 사용되며, 화장품류⁹⁵⁾, 소독살균제류⁹⁶⁾, 페인트 제품⁹⁷⁾, 세정 제품⁹⁸⁾, 해충관리 제품⁹⁹⁾, DIY 제품¹⁰⁰⁾, 어린이 용품¹⁰¹⁾ 총 7개 제품군의 평가가 가능하다. ConsExpo에는 노출시나리오가 내재되어 있어, 각각 제품의 노출 특성에 맞게 노출경로가 설정되어 노출량을 평가할 수 있다. 제품은 각각에 대한 제품 범주가 정해져 있어, 제품을 선택하면 특정 입력변수에 대한 모수 값들이 초깃값으로 정해진다.

ConsExpo 모델에서는 일반적으로 사용자가 미리 설정된 노출 모델과 시나리오를 선택하여, 피부 접촉, 흡입, 경구 노출에 대한 노출량을 산정할 수 있다. 초기 시나리오를 기반으로 추가로 사용자의 입력이 요구되는 변수는 3~11개에 해당된다. 노출 산정을 위해 필요한 사용빈도, 접촉시간, 사용시간 등에 대한 정보입력이 끝나면, 접촉, 흡입 및 경구 노출 산정을 위한 계산이 진행된다. 흡입 노출의 경우 전형적인 물질수지(mass balance) 모델이 이용된다. ConsExpo의 산정 결과는 점 추정 값 또는 그래프 형태로 제공된다. Fact sheet에 기본 값이 제공된 제품군 이외의 제품으로도 평가가 가능하며, 이 경우에는 사용자가 직접 노출 산정을 위한 입력변수 자료를 입력하면 된다.¹⁰²⁾

[표 47] ConsExpo 모델 내 기본 값 내장 제품군

구분	제품군	세부 분류
세정 제품	세탁 제품	가루 타입, 액상, 섬유유연제, 빨래 전 처리 제품
	주방 세정제	설거지용, 식기세척기용
	다목적 세정제	액체, 스프레이, 멀티슈

95) RIMV(2007), Cosmetic Fact Sheet. To assess the risks for the consumer. RIVM report 320104001.

96) RIMV(2006), Disinfectant Products Fact Sheet. To assess the risks for the consumer. RIVM report 320005003.

97) RIMV(2007), Paint Products Fact Sheet. To assess the risks for the consumer. RIVM report 320104008.

98) IMV(2006), Cleaning Products Fact Sheet. To assess the risks for the consumer. RIVM report 320104003.

99) RIMV(2006), Pest Control Products Fact Sheet. To assess the risks for the consumer. RIVM report 320005002/2006.

100) RIMV(2007), Do-It-Yourself Products Fact Sheet. To assess the risks for the consumer. RIVM report 320104007.

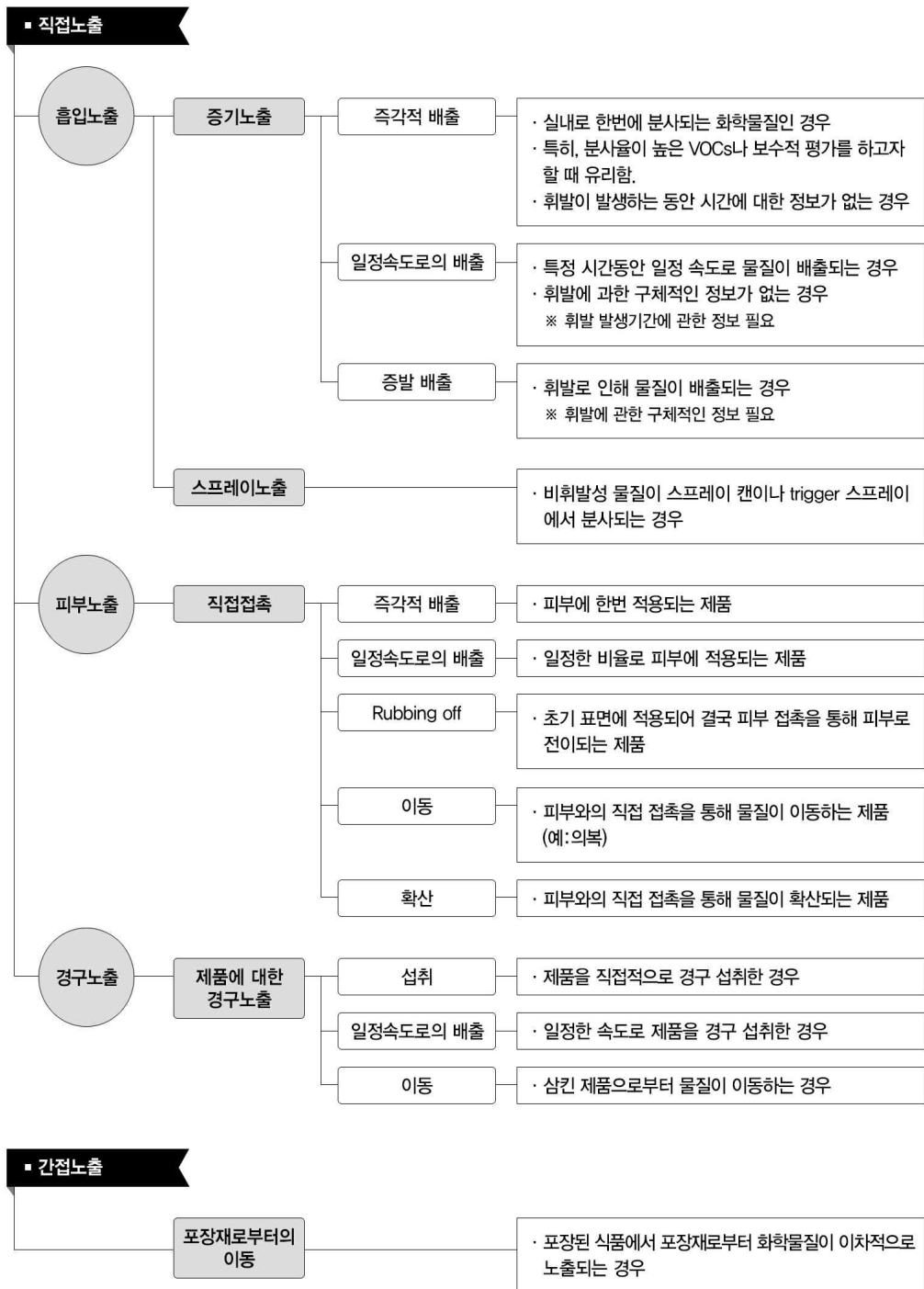
101) RIMV(2002), Children's Toys Fact Sheet. To assess the risks for the consumer. RIVM report 612810012/2002.

102) RIMV(2005), ConsExpo 4.0 Consumer Exposure and Uptake Models Program Manual. RIVM report 320104/2005.

구분	제품군	세부 분류
	연마제	액체, 분말
	욕실 세정제	스프레이, 액체, 화장실용
	가구 및 바닥 세정제	바닥용(바닥결레용, 바닥용 세정제, 폴리시), 카펫용(카펫 세정용, 얼룩 제거제 스프레이, 분말), 가구용 폴리시, 가죽용 스프레이)
	기타	유리용 세정제, 오븐 클리너, 금속 세정제, 하수구용, 신발용 세정제, 고압세척기
소독살균제	이끼 제거제	
	곰팡이 제거제	
	실내용 소독제	
	수영장 소독제	
	물침대 관리제품	
	화장실용 소독제	
	쓰레기통 소독제	
	가죽용 위생 살충제	
	음용수 소독제	
DIY 제품	실링제(실란트)	Joint sealants, Assembly sealants
	접착제	튜브형 접착제, 강력 접착제, 2성분 접착제(이핵형 접착제), 나무 바닥용 접착제, 카펫 접착제, 타일 접착제, 벽지 접착제, 핫멜트 접착제, 스프레이형 접착제
	필러 및 퍼티	분말용, 튜브형, 2성분(이핵형) 필러, 스프레이형 퍼티
	코팅제	일반용, 흙통용
	석고	바닥용, 벽용
	제거제(리무버)	페인트 제거제, 접착제 제거제, 벽지 제거제, 실란트 제거제
	기타	단열폼, Joint colour
페인트 제품	브러시, 롤러 페인트	
	스프레이형 페인트	
어린이용품	발치기	
	섬유 인형	
	플라스틱 인형	
	점토	
	장난감 자동차의 페인트	
	볼펜	

구분	제품군	세부 분류
	분필	
	물감	손가락 물감, 얼굴용 물감
	펠트펜(매직)	
	장난감 텐트	
	놀이용 의상	
	텐트 시트	
	방부목재	
	그림물감	
	어린이용 화장품	립스틱, 매니큐어, 아이섀도, 볼터치
해충관리 제품	스프레이형	에어로졸 스프레이, 트리거 스프레이
	카트리지 및 조각으로부터 휘발형	작은 공간용(옷장 및 트렁크), 실내용
	전기휘발형	
	방충제	
	미끼형	
	분말형	
	가스 및 분무형	
화장품	모발 관리용	샴푸, 컨디셔너, 헤어 스프레이, 무스, 젤, 염색약, 퍼머약
	목욕 샤워용	핸드워시(비누, 젤), 보디클렌저(비누, 젤), 입욕제
	피부 관리용	크림, 스크럽/필링제, 팩, 미백 제품
	화장품 및 손톱 관리용	메이크업 제품, 클렌저, 아이섀도, 마스카라, 아이라이너, 아이메이크업 리무버, 립스틱, 매니큐어
	데오도란트	
	구강 관리용	치약, 구강 청결제
	발 관리용	발한억제 크림, 무좀약
	향수	
	남성용 화장품	면도용 비누/크림/거품, 애프터셰이브
	자외선 보호용	
	유아용 제품	
	기타	제모 제품, 에센셜 오일, 얼굴 페인트

출처: RIMV(2006), Fact Sheet. To assess the risks for the consumer.



[그림 21] ConsExpo 내 노출경로별 노출시나리오

ConsExpo 모델에 사용되는 노출경로별 변수는 [표 48]과 같다.

[표 48] ConsExpo 모델에 사용되는 입력변수

경로	경로 분류	모수
흡입	증기	노출기간
		제품의 양
		중량 비율
		실내 부피
		환기율
		배출기간
	스프레이	스프레이 기간
		노출기간
		실내 부피
		실내 높이
		환기율
		노출된 사람으로의 분사 여부 선택
		질량 생성 비율
		호흡성 비율
		질량 비율(비휘발성 성분)
		중량 비율
		밀도(비휘발성 성분)
		초기 입자 분포
		흡입 cut-off 직경
경피	즉각적 접촉	중량 비율
		제품의 양
	일정 속도로의 접촉	중량 비율
		제품의 양
		일정한 속도
		배출기간
	Rubbing off	전이계수
		Dislodgeable amount
		접촉시간
		문지른 표면적
		중량 비율
	이동	용출 비율
		제품의 양
		피부 접촉 인자
	확산	물질 농도
		확산 계수
		층의 두께
		노출시간

경구	직접 섭취	중량 비율
		섭취량
	일정한 속도의 섭취	중량 비율
		소화율
		노출시간
	이동	노출시간
		제품의 양
		중량 비율
		접촉 면적
		초기 이동 비율
공통	포장재로부터의 이동	물질의 농도
		포장재의 두께
		접촉 면적
		포장된 양
		섭취된 양
공통	생리적 보수	체중
		평균수명
		호흡률
		체표 면적

출처: RIMV(2006), Fact Sheet. To assess the risks for the consumer.

내장된 기본 값 데이터베이스의 활용 및 직접 입력 평가 선택 전에 필수항목인 물질명, 물질 고유번호, 온도 단위, 분자량, Kow, 증기압 항목을 입력하고, 제품군과 세부 제품을 선택하여 노출평가를 위한 입력변수 값을 입력한다. 그러면 해당 제품에 대한 노출시나리오에 따라 노출경로별 기본 값이 자동 입력된다. 내장된 기본 값 데이터베이스를 활용하더라도 모든 항목에 대해 자동 입력되는 것은 아니므로 입력계수 중 공란이 없도록 추가 기재·확인이 필요하다. 정보를 다 입력하고 수행하면 최종 노출 농도 값을 얻을 수 있다. 이 프로그램 내에서는 위해도 결정비(RCR)를 직접 산정하지 않으므로, 산출된 최종 노출 농도 값과 DNEL 값을 비교하여 위해도 결정비(RCR)를 결정한다. 위해도 결정비(RCR)가 1 이하일 경우 노출에 따른 위해도가 없는 것으로 판단하고 노출평가를 종료한다. 그러나 위해도 결정비(RCR)가 1 이상일 경우, 노출량을 낮추기 위해 제품의 사용량, 사용빈도, 접촉시간, 사용시간 등에 대한 변수 값 변화를 통하여 소비자의 안전한 사용을 위한 조건들을 도출한다. 이러한 과정을 통하여 위해도 결정비(RCR)가 1이하로 얻어지는 최종 노출시나리오를 완성한다.

(나) ECETOC TRA

2002년부터 ‘유럽화학물질 생태독성 및 독성센터(ECETOC)’가 개발한 ECETOC TRA(Targeted Risk Assessment)은 다양한 수준의 데이터와 정보를 바탕으로 화학물질의 위험성을 정량적으로 예측하고자 만들어졌다.¹⁰³⁾ 2006년부터 시행된 유럽 화학물질 규제(REACH)하에서 수입 혹은 생산된 화학물질을 등록하고자 할 경우 공식적으로 위해도 평가를 결정할 수 있는 툴로 사용이 권장되고 있다.¹⁰⁴⁾ 초기 버전은 웹 기반 형태로 이용되어 왔으나, 2009년 버전 2부터는 엑셀 기반의 모델 툴로 배포되고 있다. 웹 기반에서 엑셀 기반으로 변화되면서 가장 큰 장점으로 꼽히는 것은 정보 입력에 따른 노출 산정 과정이 투명하여 사용자가 직관적으로 결과를 확인하고 필요한 조치를 취할 수 있다는 점이다. ECETOC TRA v3.0 프로그램은 공식 홈페이지(<http://www.ecetoc.org/tra>)를 통하여 다운로드하여 사용할 수 있다.¹⁰⁵⁾ 본 모델에는 16개의 제품에 대해 기본 값을 가진 데이터베이스를 포함하고 있어, 이들에 대해서는 필수 입력변수를 입력하면 노출량을 평가할 수 있다. 기본 값이 제공된 제품군 이외의 제품으로도 평가가 가능하며, 이 경우에는 사용자가 직접 노출 산정을 위한 입력변수 자료를 데이터베이스에 입력하면 된다.¹⁰⁶⁾

ECETOC TRA에서는 ECHA 용도기술어 시스템 지침에 따라 본 지침서 [별표 4]에 제시된 제품범주(PC, Product Category)로 구분된 제품 분류를 사용하고 있다. 사용자의 편의를 위해 이러한 목록이 포함되어 있어 평가 시 선택할 수 있도록 하고 있다.¹⁰⁷⁾

- 제품범주(PC)에서는 화학물질이 사용된 물품에 따라 종류가 기술된다. 제품범주는 제조 단계에서는 고려되지 않지만, 혼합(조제) 단계와 최종 사용 단계에서 화학물질이 사용되는 분야와 관련하여 고려된다. 이는 환경에 대한 노출량 산정 시 사용 분야에서의 사용량을 확인하는 데 이용되며, 소비자의 최종소비에 대한 노출평가를 위해 고려된다.

103) 한국생산기술연구원(2011), 유럽 신화학물질관리제도의 eSDS에 첨부되는 노출시나리오 작성법 개발 동향.

104) ECETOC(2004), Targeted Risk Assessment, Technical report no. 93.

105) <http://www.ecetoc.org>

106) ECETOC(2009), Technical Report No. 107. Addendum to ECETOC Targeted Risk Assessment Report No. 93.

107) ECHA(2010), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.15: Consumer exposure estimation.

화평법 시행령 제9조에서는 화학물질 용도 분류체계를 총 55개의 범주로 분류하였다. 화평법에서는 용도를 기준으로 분류를 하고 있는 반면, ECHA의 제품 범주와 완제품 범주는 제품 유형에 따라 분류되어 있다. 화학물질 용도 분류체계와 ECHA의 소비자 제품 분류를 비교·분석하여 용도와 제품 간의 연계가 가능한지에 대해 알아보기 위해 소비자 제품의 용도 확인을 하였고, 해당내용은 본 지침서 [별표 5]에서 확인할 수 있다.

[표 49] ECETOC TRA 내 기본 값 내장 제품군

범주	상세 제품 범주
PC1: 접착제, 실란트	접착제, 취미용
	DIY용 접착제(카펫, 타일, 나무세공용)
	스프레이 접착제
	실란트
PC3: 공기정화 제품	공기정화, 일시적 사용(에어로졸 스프레이)
	공기정화, 계속적 사용(액상&고체)
PC9a: 코팅제, 페인트, 시너, 리무버	수성 라텍스 벽 페인트
	진한 용제, 고체, 수계 도료
	에어로졸 스프레이 캔
	리무버(페인트-, 접착제-, 벽 페인트-, 실란트- 리무버)
PC9b: 필러, 퍼티, 석고, 점토	필러와 퍼티
	석고 및 바닥 기기
	모델링 점토
PC9c: 손가락 물감	손가락 물감
PC12: 비료	잔디 및 정원 가꾸기
PC13: 연료	액상
PC24: 윤활류, 그리스 및 방출 제품	액상
	반죽
	스프레이
PC31: 광택제, 왁스 혼합물	광택제, 왁스/크림(바닥, 가구, 신발)
	광택제, 스프레이(가구, 신발)
PC35: (솔벤트 제품 포함) 세척 및 청소 제품	세탁 및 주방 세정용품
	세정제, 액상(다용도 세정제, 소독용, 바닥 세정제, 유리 세정제, 카펫 세정제, 금속 세정제)
	세정제, 분무 스프레이(다용도 세정제, 소독용, 유리 세정제)

출처: ECHA(2010), Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.15: Consumer exposure estimation.

ECETOC TRA는 필요 데이터를 입력할 수 있고 노출평가 결과가 출력되는 메인 파일(ECETOC TRAM.xls)과 연산식 그리고 인자 값들을 포함하여 연계되어 있는 부수 파일들로 구성되어 있다. 메인 파일을 실행하면 자동으로 연계된 부수 파일들도 연동하여 실행되도록 연산 준비가 이루어져 있으며, 모델 내 산정식은 본 지침서 [별표 6]에 제시하였다. 실제 노출 농도 값을 연산하기 위하여 필요한 필수입력 항목과 입력변수 값은 [표 50]과 같다.

[표 50] ECETOC TRA에 사용되는 입력변수 (*: 필수입력 사항)

구분	입력 변수
Step 1. 물질정보	물질명*
	일반적 설명
	CAS no.
	EC no.
	사용 확인
	평가 ID
	평가 날짜
	비고
Step 2. 물리-화학적 특성	분자량*
	증기압*
	물 용해도*
	Kow(옥탄올/물 분배계수)*
	생물분해성 시험 결과*
	화학적 분류
	Koc(유기탄소 분배계수)
	Ksoil/water 분배계수
Step 3. 소비자 노출 부분	Ksediment/water 분배계수 등
	시나리오 no.
	시나리오 이름
	제품 범주*
	제품 하부 범주*
	적용된 제품의 양
	제품의 성분 비율
	피부 표면적(경피, 경구)
	전이 계수(소화, 피부)
	소비자 흡입 기준치(DNEL)*
	소비자 경피 기준치(DNEL)*
	소비자 경구 기준치(DNEL)*

출처: ECETOC TRA(Ver.3.0).

필수입력 항목과 노출평가를 위한 입력변수 값을 입력하여 수행하면 최종 노출 농도 값과 RCR 값을 얻을 수 있다. RCR 값은 산출된 최종 노출 농도 값과 DNEL 값을 비교하여 결정된다. RCR 값이 1 이하일 경우, 노출에 따른 위해도가 없는 것으로 판단하고 노출평가가 종료된다. 그러나 RCR 값이 1 이상일 경우, 입력 제품의 사용량, 사용빈도, 접촉시간, 사용시간 등에 대한 변수 값 변화를 통해 위해성관리대책을 수행하여 소비자의 안전한 사용을 위한 조건을 도출한다. 이와 같이 반복계산(iteration)을 수행하여 RCR 값이 1 이하로 얻어지는 최종 노출시나리오를 완성하게 된다. 노출 농도 값을 낮춤으로써 RCR 값을 최종적으로 1 이하로 제어하기 위해 소비자에 대한 노출 저감 조치들을 취할 수 있다. 프로그램에 반영되어 있지 않다고 하더라도 ECETOC TRA 내 내장된 위해성 관리대책 데이터베이스를 통하여 위해 저감 조치가 가능하며, 그에 해당하는 reduction factor를 적용하여 최종 노출 농도를 재산정할 수 있으므로 프로그램 상의 한계에 국한하지 않고 확대 적용이 가능한 프로그램이라 할 수 있다.

(다) EUSES

EUSES는 EU 집행위 주관하에 개발된 위해성 평가 툴로서, EU 내 위해성 평가 기술지침서에 부합하는 모델로 1997년부터 개발·사용되어 오고 있다. EUSES 모델은 환경 및 인체 노출에 대한 노출량 산정이 가능한 모델이기 때문에 구동을 위해 요구되는 입력변수는 다른 모델에 비해 상대적으로 많은 정보를 요구하고 있다. 이러한 이유로 사용자들이 모델 사용에 어려움을 겪거나, 모델 예측 결과가 매우 보수적으로 나오는 등 기업들이 실질적으로 사용하기에 어려움이 따른다. EUSES는 노출평가에 필요한 전체 입력정보를 받아 환경 및 인체(환경 노출을 통한 인체 노출)에 대한 노출평가 결과를 보여주는 구조로 되어 있으며, 사용자는 산출 결과 값을 확인할 수 있다¹⁰⁸⁾.

108) 한국생산기술연구원(2011), 유럽 신화학물질관리제도의 eSDS에 첨부되는 노출시나리오 작성법 개발 동향.

4. 작업자 노출평가

가. 작업자 노출평가 개요

화학물질 안전성 확보를 위해 작업자 노출평가는 사업장에서 화학물질 취급 시 안전성이 충분히 확보되는지를 확인하는 과정이다. 수행해야 하는 위해성관리대책에 대해 기술하여, 확인된 조치들이 반영된 최종 노출시나리오를 작성한다. 작업자 노출평가는 [그림 22]의 2단계로 이루어진다.



[그림 22] 작업자 노출평가 단계

1단계 : 화학물질의 사용 범위 및 공정, 작업 조건 등에 대해 기술한 임시 노출시나리오에서 노출평가를 위해 필요한 인자들을 확인한다.

2단계 : 1단계에서 확인된 임시 노출시나리오에 따라 예상 노출량을 산정한다. 작업환경의 측정을 통해 얻어진 농도를 이용하여 노출량을 직접 산정하거나, 노출평가 모델을 활용하여 노출량을 예측할 수 있다.

나. 노출경로

사업장에서 작업자의 노출경로는 주로 흡입 노출과 경피 노출로 이루어지며, 작업 공정의 형태에 따라 노출경로가 다르게 나타날 수 있다. 일반적으로 작업자 노출평가에서 경구 노출은 고려되지 않는다.

(1) 흡입 노출

많은 화학물질에 대한 노출이 흡입 경로를 통하여 이루어진다. 흡입을 통한 노출은 작업자의 대기 중 호흡대역의 물질 농도와 밀접한 연관이 있으며, 이는 조사기간의 평균 농도로 대표된다. 조사기간은 일반적으로 하루 8시간이 사용된다. 물질이 잠재적으로 급성 건강영향이 있는 물질이거나 짧은 기간 동안에 간헐적으로 노출되는 물질이라면 짧은 기간 내에 평가를 수행해야 한다.

노출평가는 다양한 작업시간 중 특정한 업무시간의 노출을 기초로 하여 수행되어야 한다. 흡입 노출은 주로 작업 환경 중에 존재하는 기체, 증기, 에어로졸(액체 및 고체) 등을 통해 이루어진다. 특히 에어로졸 상태의 화학물질은 입자 크기가 다양하고 입자의 크기에 따라 인체의 호흡기를 통한 흡수율이 다르기 때문에 노출평가가 어려운 점이 있다. 대부분의 1단계 모델에서 먼저 입자가 고체 및 고체-입자 에어로졸 노출의 잠재성을 대신하여 사용된다.

흡입 노출은 공기 중 물질의 농도, 노출기간, 노출빈도와 함께 설명되어야 한다. 일반적으로 흡입 농도는 ppm으로 표현되거나, 관련 작업 수행 시 흡입한 단위 공기 부피당 물질의 양으로 표현된다.

(2) 경피 노출

일부 화학물질은 주로 경피를 통해 노출되기도 한다. 이러한 화학물질은 피부에 국소적인 영향을 주거나 피부를 투과하여 신체로 흡수된다. 경피 노출을 설명하기 위한 두 가지 경우는 다음과 같다.

첫 번째는 잠재적인 경피 노출로 작업복의 외부가 오염되어 화학물질이 피부 표면에 노출되는 경우이다. 이 경우에는 손과 발을 포함한 다양한 신체 부위의 노출 추정량을 합하여 계산한다.

두 번째는 피부에 직접적으로 노출된 화학물질의 양을 추정하는 경우이다. 이 경우에는 작업복이 피부 노출을 최소화하며, 작업복의 효율에 따라 화학물질이 피부로 노출되는 양이 달라진다.

경피 노출량은 일반적으로 노출된 피부 표면적에 대한 오염물질의 양으로 표현된다.

(3) 경구 노출

에어로졸에 노출되거나 피부, 옷 등에서의 오염물질이 경구 노출로 이어질 수 있다. 작업 공간과 배식 장소의 분리, 음식 섭취 전 손 닦기 등으로 어느 정도 경구 노출을 방지할 수 있으므로, 작업자 노출평가에서는 일반적으로 경구 노출을 고려하지 않는다.

다. 작업자 노출평가 수행

(1) 1단계: 임시 노출시나리오 확인

작업자 노출평가를 위해서는 작성된 임시 노출시나리오의 “노출 결정인자”에 포함된 항목들을 검토하여 평가에 사용할 수 있는 인자를 확인해야 한다. 임시 노출시나리오에 포함되어 있는 모든 항목이 작업자 노출평가에 필요한 것은 아니며 모델을 이용하여 노출평가를 수행하는 경우, [표 52]의 물성, 공정범주, 작업조건에 해당하는 일부 항목을 모델링 시 필수로 입력해야 한다.

(2) 2단계: 노출 예측

노출 예측에는 직접적인 작업환경 측정을 통해 얻어진 농도를 이용하여 노출량을 계산하는 방법과, 노출평가 모델을 활용하여 노출량을 예측하는 방법이 있다. 국내에서는 산업안전보건법 제42조(작업환경 측정) 제1항에 따라 유해화학물질에 대해 노출을 평가하고 작업환경을 관리하고 있으며, 이에 따른 작업환경 측정 결과를 활용하여 노출평가를 수행할 수 있다. 그러나 노출되는 모든 화학물질에 대한 작업환경 측정이 어렵거나, 소규모 사업장의 작업환경 측정 및 관리에 어려움이 있는 경우에는 이를 해소하기 위하여 노출평가 모델을 사용할 수 있다. 위해성 자료에는 예측 노출 농도와 측정 노출 농도를 모두 기입할 수 있으며, 다양한 결과 값들 중 대푯값으로 사용하고자 하는 값에는 이를 명시하도록 한다.

(가) 작업환경 측정을 통한 노출 예측

화학물질이 발생 가능한 각각의 다른 공정에서 작업하는 근로자를 대상으로 개인별로 시료 채취를 하여 작업환경을 측정한다. 작업환경의 측정은 고용노동부 고시 제2013-39호 “작업환경 측정 및 지정측정기관 평가 등에 관한 고시”에 따라 수행할 수 있으며, 측정을 통해 얻어진 노출 농도를 이용하여 일일평균 노출량을 다음과 같이 산정한다.

$$\text{일일평균노출량} = \frac{[\text{노출 농도} \times \text{접촉물}]}{\text{체중} \times \text{노출시간}}$$

접촉물(호흡률)은 성별, 나이 등 다양한 요인의 영향을 받으며, [표 51]에 주어진 바와 같이 인체 노출계수를 적용한다.

[표 51] 노출량 산정을 위한 인체 노출계수

노출계수	구분		대푯값
체중(kg)	성인 남자		69
	성인 여자		56
	성인 전체 평균		62
	어린이		20
접촉물 (호흡량(m ³ /8hr): 18~75세 성인)	경작업	남자	6.4
		여자	3.0
		전체	4.8
	중등작업	남자	20.0
		여자	12.8
		전체	16.8
	중작업	남자	38.4
		여자	23.2
		전체	31.2

* 작업 강도

- 경작업: 앉아서 또는 서서 기계의 조정을 하기 위해 손 또는 팔을 가볍게 쓰는 일 등을 말함
- 중등작업: 물체를 들거나 밀면서 걸어다니는 일 등을 말함
- 중작업: 곡괭이질 또는 삽질하는 일 등을 말함

(나) 노출평가 모델링을 통한 노출 예측

1) 노출평가 모델링 개요

노출평가 모델링은 평가대상 물질의 노출시나리오와 확보된 자료를 기초로 하여, 작업자에 대한 노출평가 및 위해성 평가를 실시할 수 있도록 개발된 소프트웨어를 사용하여 노출량을 예측하는 방법이다.

2) 작업자 노출평가 모델

작업자 노출평가에서 사용될 수 있는 모델은 대상과 단계에 따라 여러 종류가 존재하지만, 대부분의 작업자 노출평가에서 사용되는 ECETOC TRA¹⁰⁹⁾는 기본적인 물질 정보에 기초하여 수행되는 스크리닝 단계를 포함하는 노출 모델이다. ECETOC TRA는 비교적 간단한 변수 입력을 통해 노출량을 산정할 수 있다는 장점을 지니고 있으며, 산정된 노출량으로 계산한 RCR을 통해 위해도의 통제 수준을 확인할 수 있다.

ECETOC TRA의 작업자 평가 시 엑셀 시트에서의 노출인자 입력 흐름도는 다음과 같으며, ECETOC TRA의 노출인자 필수 입력항목의 세부적인 내용은 [표 52]를 통해 확인할 수 있다. 필수 입력항목에 해당하는 정보는 1단계에서 언급한 바와 같이 임시 노출시나리오 노출 결정인자 중에서 “물질 특성” 항목과 “노출시나리오 특성” 항목을 확인하여 입력하도록 한다.

물질 정보 입력 → PROC 종류 선택 → 산업 또는 전문가 사용 중 선택
→ 고체 여부 → 분진도 → 작업시간 → 국소배기장치 사용 유무
→ 호흡 보호구 효율 → 혼합물 조성(해당물질이 고체가 아닌 경우)

109) <http://www.ecetoc.org/>

[표 52] ECETOC TRA를 활용한 작업자 노출평가 모델링의 필수입력 항목

입력 항목		구분
물성	분자량	-
	증기압 (hPa, Pa)	-
	물 용해도	-
	옥탄올/물 분배계수	-
	생분해성 시험 결과	빠르게 생분해됨, 본질적으로 생분해됨, 생분해되지 않음(세부분류)
공정 범주	공정범주 (PROC)	1, 2, ... 25c (7,22는 산업용으로 선택 11,20은 반드시 전문가용으로 선택해야 함)
	산업/전문가 사용 여부	산업용, 전문가용
작업 조건	물리적 상태 (고체 여부)	예, 아니오
	분진 발생 정도(고체)	비분진성 고체, 소량의 분진, 보통의 분진, 다량의 분진
	작업시간(hrs/day)	>4시간, 1~4시간, 15분~1시간, 15분 미만
	국소배기장치 사용 유무	실외, 국소배기장치가 설치된 실내, 일반적인 환기가 이루어지는 실내, 일반적인 환기가 매우 잘 이루어지는 실내, 국소배기장치가 설치되었으며, 일반적인 환기가 이루어지는 실내 국소배기장치가 설치되었으며, 일반적인 환기가 매우 잘 이루어지는 실내(산업용만 선택 가능)
	호흡용 보호구 효율(%)	미착용, 90%, 95%
	혼합물 조성	혼합물 아님, <1%, 1~5%, 5~25%, >25%

[표 53] 공정 범주

번호	공정 설명	설명 및 예시
1	노출 우려가 거의 없는 밀폐된 연속 공정	노출 가능성이 매우 낮은 물질을 사용하는 밀폐, 연속 공정(예: 밀폐 시스템을 활용한 샘플링)
2	간헐적인 노출이 있는 밀폐된 연속 공정(운전자 설비 보수)	배출 및 노출을 최소화하기 위하여 설계되어 간헐적인 노출만 있는 공정(예: 유비보수, 샘플링, 설비 고장 등)
3	밀폐된 회분 공정(합성 또는 배합)	밀폐된 주입 공정 및 용기를 활용하여 회분 공정으로 화학물질을 제조하거나 제품을 혼합(조제)하는 공정(예: 샘플링)
4	간헐적인 노출이 있는 회분 또는 합성 공정(작업자가 직접 원료 주입/제품 포장)	작업자가 간헐적으로 작업하여 화학물질을 제조하거나 제품을 혼합(조제)하는 회분 공정(예: 원료 투입, 샘플링, 제품의 출하 등)
5	개방된 회분 공정에서의 혼합 또는 분산 공정	작업자가 직접 고체나 액체 물질을 혼합하거나 분산시켜 화학제품을 제조하거나 혼합(조제)하는 공정(예: 원료 투입, 혼합, 샘플링, 제품의 출하 등 모든 공정)
6	광택 작업	온도를 상승시키거나 넓은 면적에 대하여 제품에 광택을 내는 공정(예: 자동차 광택 등)
7	산업적 스프레이 작업(폐수, 폐기물이 추가적으로 발생)	공기 분사 작업. 코팅제, 고정제, 광택제, 세정제 등의 제품을 산업적으로 도포하는 작업으로 에어로졸의 흡입 가능성이 높고 다량의 폐수 및 폐기물이 발생하는 공정(예: 코팅제를 과다 분사하는 방식의 자동차 도장 등)
8a	비고정형 저장용기에 저장 또는 저장용기로부터 이송, 운반	샘플링, 출하, 투입, 이동, 들이붓기, 포장 등의 비고정형 용기를 활용하여 화학물질을 취급하는 공정(예: 분진, 증기, 에어로졸 발생, 용기 세척 등)
8b	고정형 저장시설에 저장 또는 저장시설로부터 이송, 운반	샘플링, 출하, 투입, 이동, 들이붓기, 포장 등의 고정형 설비를 활용하여 화학물질을 취급하는 공정(예: 분진, 증기, 에어로졸 발생, 설비 세척 등)
9	지정된 주입 라인에서 소형 용기에 주입하는 공정	증기와 에어로졸을 포집할 수 있도록 설계된 장치를 통하여 용기에 주입하는 공정(예: 페인트 주입 공정)
10	롤러 및 브러시 작업	작업자가 직접 롤러 및 브러시를 통해 표면을 세척하거나 코팅하는 작업(예: 도장제 흘림, 튀김 등)
11	비산업적 스프레이 작업(폐수, 폐기물 발생이 없음)	공기 분사 작업. 코팅제, 고정제, 광택제, 세정제 등의 제품을 이용한 소규모 스프레이 공정(예: 가정용 도장 등)
12	발포제 주입 작업	발포제를 주입하는 공정(예: 샌드위치 패널 제조 등)
13	담그거나 들이부어 완제품 처리(염색, 도금 등)	기계적 가공이나 가열 없이 담그기, 들이붓기, 세척 등의 공정을 거쳐 완제품을 처리하는 공정(예: 염색, 도금 공정 등)

14	정제, 압축, 압출, 펠렛타이징으로 만든 제품 또는 완제품 생산 공정	액체/고체 화학물질에 기계적 또는 열에너지를 가하여 제품/완제품을 생산하는 공정 (예: 유증기, 분진 등 발생)
15	소규모 연구소에 실험실 시약으로 사용	작업장에서 소규모로 화학물질을 취급하여 연구, 개발 용으로 사용(예: 1L 또는 1kg 미만의 화학물질을 실험실 규모로 사용)
16	불완전 연소된 연료 또는 첨가제가 발생하는 공정	연소 시 불완전 연소된 연료 또는 첨가제가 노출되는 공정. 단, 연소 생성물은 제외(예: 내연기관 등)
17	개방된 공정에서 고온, 고압 기계에 윤활제 주입	고온, 고압으로 운전되는 금속 재료의 개방된 설비에 윤활제 등을 주입하는 공정(예: 펌프 회전축에 윤활제 주입 등)
18	고온, 고압 기계의 윤활제 사용 공정	고온, 고압으로 운전되는 밀폐된 설비의 윤활제가 증발하는 공정(예: 펌프 회전축에서 윤활제 증발 등)
19	개인보호구(보안경, 방독면 등)만 착용한 채로 노출이 많은 수동 작업	개인보호구(PPE) 외에 특별한 장비 없이 직접 화학물질을 취급하는 작업(예: 도장 작업 등)
20	밀폐된 상태에서의 열 및 압력 전달 액체 사용(엔진·브레이크 오일 등)	윤활제가 직접 노출되거나 고온, 고압의 조건에서 화학 반응을 통해 노출될 수 있는 경우(예: 자동차 또는 동력기 엔진 오일 등)
21	금속/완제품의 상온 가공(수동 절단, 냉연, 조립, 분해 등)	금속을 수동 절단, 냉연 또는 가공, 조립하는 작업(예: 금속 가루, 금속 증기 또는 분진 발생 등)
22	밀폐 상태로 금속의 고온처리(용융로, 용광로 등)	분진 또는 금속 증기가 발생하는 용융로, 용광로, 정련로, 코크스 오븐 등의 공정(예: 제철 공정 등)
23	금속의 고온처리 및 운반(주조, 도금 등)	모래, 금형을 활용하여 용융된 고체를 가공하거나 도금하는 공정(예: 용융 금속에서 증기 또는 분진 발생 등)
24	금속/완제품의 기계적 가공(절삭, 연마 등)	금속을 기계적으로 가공하여 절곡, 연마, 절삭 등의 공정(예: 가공 공정에서 분진 발생 등)
25	금속을 활용한 고온 가공(용접, 땀질 등)	용접, 땀질, 화염 절단 등의 작업 공정(예: 금속 증기 또는 가스 발생 등)
26	상온에서 고체 무기화학물질의 취급	광석, 정광, 원료 금속 산화물 및 스크랩의 처리하는 공정(예: 포장 및 해체, 혼합하는 과정에서 금속 분진 발생)
27a	금속 분말 제조(고온 공정)	고온의 금속 분말 제조 공정(예: 분무 또는 건식 분사 등)
27b	금속 분말 제조(습식 공정)	습식의 금속 분말 제조 공정(예: 전기분해 또는 습식 분사 등)

11절. 안전성 확인

1. 환경

가. 환경에 대한 안전성 확인

모든 환경매체에 대해 수행된 유해성 평가(본 지침서 3장 7절) 및 노출평가(본 지침서 3장 8절) 결과를 이용하여 안전성 확인 과정을 수행한다. 안전성 확인은 PNEC와 PEC를 서로 비교하여 수행하며, 환경매체별로 구분하여 수행한다.

(1) 유해성 및 노출정보 수집

모든 환경매체에 대해 도출되는 PNECs로 표현하며, PNECs 도출은 본 지침서 3장 7절에 기술되어 있다. 환경 노출량은 환경 중 농도, 즉 PECs로 표현된다. 환경매체에 대한 PECs 도출 또한 본 지침서 3장 7절을 통해 확인할 수 있다.

(2) 안전성 확인

환경매체별 안전성 확인은 RCR 계산을 통해 수행한다.

[표 54] 환경매체별 PEC/PNEC 개요

지역(Local)	광역(Regional)
수계 : $PEC_{local_water}/PNEC_{water}$	수계 : $PEC_{regional_water}/PNEC_{water}$
침전물 : $PEC_{local_sediment}/PNEC_{sediment}$	침전물 : $PEC_{regional_sediment}/PNEC_{sediment}$
토양 : $PEC_{local_soil}/PNEC_{soil}$	토양 : $PEC_{regional_soil}/PNEC_{soil}$

만약 안전성 확인 수행에 대한 자료가 충분하지 않을 시 추가 정보 및 시험 수행이 필요하다. PEC 및 PNEC에 대해 모두 확인이 이뤄져야 하는지, 또는 하나에 대해 확인이 이뤄져야 하는지를 결정해야 한다. 만약 추가 정보가 필요할 경우, 불필요한 동물실험을 피하고 비용과 시간을 고려하여 정보를 생산하도록 한다.

(가) 수생 환경영역 (침전물 포함)

1) 수생 환경

지표수 내 화학물질의 농도는 수생생물에 대한 무영향농도와 비교한다. 이는 지역뿐만 아니라 광역 수준에서의 담수에 대해 수행한다. 지역 규모에서는 배출기간 동안의 농도를 활용한다.

[표 55] 수생 환경

지역(Local)	광역(Regional)
$RCR_{localwater} = \frac{PEC_{localwater}}{PNEC_{water}}$	$RCR_{regwater} = \frac{PEC_{regwater}}{PNEC_{water}}$

$PEC_{localwater}$ = 배출 시 지표수 내 지역 수준의 PEC (kgc/m3)

$PEC_{regwater}$ = 배출 시 지표수 내 광역 수준의 PEC (kgc/m3)

$PNEC_{water}$ = 수계 환경에 대한 PNEC (kgc/m3)

$RCR_{localwater}$ = 지역 수준의 수계에 대한 RCR

$RCR_{regwater}$ = 광역 수준의 수계에 대한 RCR

2) 침전물 환경

① 침전물 환경

침전물 내 화학물질 농도는 침전물 서식 생물에 대한 무영향농도와 비교한다. 이는 지역 수준뿐만 아니라 광역 수준의 담수 및 해양환경에 대해서도 수행한다. log Kow 값이 5보다 큰 물질의 경우 균등배분법을 적용하며, 이러한 물질의 경우 침전물 섭취를 통한 흡수를 고려하기 위하여 침전물 내 PEC/ PNEC에 대해 10이라는 상수를 사용하여 증가시켜 준다.

[표 57] 침전물 환경

지역(Local)	광역(Regional)
$RCR_{local\ sed} = \frac{PEC_{local\ sed}}{PNEC_{sed}}$	$RCR_{reg\ sed} = \frac{PEC_{reg\ sed}}{PNEC_{sed}}$
<p>• log Kow > 5 이상?</p> $RCR_{local\ sed} = \frac{PEC_{local\ sed}}{PNEC_{sed}} \times 10$	<p>• log Kow > 5 이상?</p> $RCR_{reg\ sed} = \frac{PEC_{reg\ sed}}{PNEC_{sed}} \times 10$

$PEC_{local\ sed}$ = 침전물 내 지역 수준의 PEC (kgc/kgwwt)
 $PEC_{reg\ sed}$ = 침전수 내 광역 수준의 PEC (kgc/kgwwt)
 $PNEC_{sed}$ = 침전물에 대한 PNEC (kgc/kgwwt)

$RCR_{local\ sed}$ = 지역 수준의 침전물에 대한 RCR
 $RCR_{reg\ sed}$ = 광역 수준의 침전물에 대한 RCR

(나) 육상 환경영역

농경지 토양 내 화학물질의 농도는 육상생물에 대한 무영향농도와 비교한다. 이 역시 지역뿐만 아니라 광역 수준에 대해서도 수행하며, 지역적 규모에 대해서는 30일 이상의 평균농도를 사용한다. log Kow 값이 5보다 큰 물질의 경우 균등배분법을 적용하며, 이러한 물질의 경우 토양 섭취를 통한 흡수를 고려하기 위해 토양 내 PEC/PNEC에 대해 10이라는 상수를 사용하여 증가 시켜준다.

[표 58] 육상 환경

지역(Local)	광역(Regional)
$RCR_{localsoil} = \frac{PEC_{localsoil}}{PNEC_{soil}}$	$RCR_{regsoil} = \frac{PEC_{regagric}}{PNEC_{soil}}$
<p>• log Kow > 5 이상?</p> $RCR_{localsoil} = \frac{PEC_{localsoil}}{PNEC_{soil}} \times 10$	<p>• log Kow > 5 이상?</p> $RCR_{regsoil} = \frac{PEC_{regagric}}{PNEC_{soil}} \times 10$

$PEC_{localsoil}$ = 평균 30일 동안, 농경지 토양 내 지역 수준의 PEC (kgc/kgwwt)

$PEC_{regagric}$ = 농경지 토양 내 광역 수준의 PEC (kgc/kgwwt)

$PNEC_{soil}$ = 토양 환경에 대한 PNEC (kgc/kgwwt)

$RCR_{localsoil}$ = 지역 수준의 토양에 대한 RCR

$RCR_{regsoil}$ = 광역 수준의 토양에 대한 RCR

(다) 하수처리시설의 미생물 활성

① 하수처리설비 내 미생물

하수처리설비 내 화학물질의 농도는 미생물에 대한 무영향농도와 비교한다. 이는 지역 수준의 환경에 대해서만 수행하며, 배출기간 동안의 농도를 적용하도록 한다.

[표 56] 하수처리설비 내 미생물 환경

$RCR_{stp} = \frac{PEC_{stp}}{PNEC_{micro-organisms}}$
--

PEC_{stp} = 배출 시 하수처리설비 내 지역 수준의 PEC (kgc/m³)

$PNEC_{micro-organisms}$ = 하수처리설비에 대한 PNEC (kgc/m³)

RCR_{stp} = 하수처리설비에 대한 RCR

2. 인체 건강

가. 환경을 통한 인체 간접 노출

(1) 비발암 위해도

위해도 결정 단계에서는 용량-반응 평가와 노출평가 결과를 바탕으로 산출한다. 환경거동 모형에서 얻은 매체별 노출농도(PEC)로부터 산정된 일일 평균노출량(ADD), DNEL 또는 RfD, RfC, 호흡률, 체중을 고려하여 산정한다. 비발암 위해도의 경우 “위해도 결정비(RCR) = 환경매체 중 인체노출량/DNEL 또는 RfD, RfC”로 산정한다. 계산된 유해지수가 1보다 크거나 1보다 클 확률이 높을 경우 비발암독성에 대한 위해가 있다고 보며, 1보다 작을 경우 위해가 적다고 간주한다.

$$\text{위해도결정비(흡입)} = \frac{\text{환경매체 중 인체노출량}}{\text{무영향수준 또는 독성참고치} \times \text{호흡률} \times \text{체중}}$$

$$\text{위해도결정비(경피, 경구)} = \frac{\text{환경매체 중 인체노출량}}{\text{무영향수준 또는 독성참고치}}$$

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

(2) 발암 위해도

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

$$\text{초과발암확률} = \text{환경 매체 중 인체노출량} \times \text{발암력}$$

산출된 초과발암확률을 발암위해에 대한 안전허용 수준(10^{-6})과 비교하여 그 이하이면 초기 위해성 평가 결과 발암위해를 무시할 만한 수준인 것으로, 안전허용 수준을 초과하는 경우에는 발암위해를 무시할 만한 수준이 아닌 것으로 판정한다.

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

나. 소비자에 대한 안전성 확인

안전성 확인은 화학물질의 잠재적 위해도의 크기를 평가하기 위해 유해성 평가 결과와 노출평가 결과를 바탕으로 수행하는 단계이다. 안전성 확인은 필수적으로 이루어지는 과정으로, 이는 위해도 결정비(RCR)로 정량화되어 이뤄진다. 인체에 대한 위해도 결정비(RCR) 값이 1보다 작아야 유해한 물질의 위해 관리가 이루어진다는 개념으로, 만일 인체에 대한 위해도 결정비(RCR) 값이 1보다 크게 나오면 1보다 작은 값을 얻기 위한 추가적인 작업(강화된 위해성관리대책 적용 등)이 필요하다. 이러한 추가적인 작업은 위해도 결정비(RCR) 값이 1보다 작게 도출될 때까지 되풀이하여 수행한다.

$$\text{위해도결정비(RCR)} = \frac{\text{인체노출량}}{\text{무영향수준}*}$$

- 노출량이 DNEL보다 작은 경우

*RfD, RfC를 적용할 수 있음

위해도가 적절히 관리됨 → 추가 조치 요구되지 않음

- 노출량이 DNEL보다 큰 경우

위해도가 적절히 관리되지 못함 → 자세한 평가와 위해성관리대책이 필요

소비자에 대한 안전성 확인의 경우, 전신 영향 - 경피, 흡입, 경구 노출과 국소 영향 - 경피, 흡입 노출에 대한 평가가 가능하며, 이때 적용되는 값의 경우 앞에서 도출된 노출량과 DN(M)EL을 통해 평가한다.

다. 작업자에 대한 안전성 확인

(1) 안전성 확인

안전성 확인은 화학물질의 노출에 의한 정량적인 위해 수준을 추정하는 것을 의미하며, 노출량 산정이 완료되면 인체 노출량을 DNEL로 나누어 위해도 결정비(RCR)을 계산한다. DNEL은 본 지침서 3장 8절의 “인체 건강에 대한 유해성” 항목에서 도출된 값을 적용하며, RfD, RfC를 적용할 수 있다.

$$\text{위해도결정비(RCR)} = \frac{\text{인체 노출량}}{\text{무영향수준*}}$$

위해도 결정비(RCR) 값이 1 미만이면 위해도가 적절히 관리되고 있다고 판단되어 추가 조치가 요구되지 않는다. 위해도 결정비(RCR) 값이 1 이상이면 위해도가 충분히 통제되고 있다고 할 수 없으며, 적절한 위해성관리대책을 강구해야 한다.

(2) 위해성관리대책(RMM)

화학물질의 위해성이 충분히 통제되지 않는다고 판정되는 경우에는 유해성 평가 및 노출평가에서 하나 또는 다수의 요소를 수정하는 반복 과정이 필요하다. 위해성관리대책 또한 노출량 산정의 결정요인 중 하나로, 호흡기 보호구, 국소배기장치 등 다양한 노출통제 조치들이 포함될 수 있다.

위해도가 충분히 통제되는 수준(RCR < 1.0)이 될 때까지 반복적으로 노출평가를 수행하여야 하며, 수행된 모든 위해성관리대책은 본 지침서 [별표 7]을

참고하여 기술하도록 한다. 위해성 자료 작성 시에는 급성 - 전신 영향, 국소 영향, 장기 - 전신 영향, 국소 영향에 대해 각각 노출경로에 따른 노출 농도, 독성 평가항목 및 주요 영향, DNEL, RCR을 기재한다.

12절. 확인화학물질의 위해성 자료 작성

화학물질의 위해성 자료 작성은 본 지침서 및 절차에 따라 작성하도록 한다.

4장. 용어 및 부록

1절. 용어설명

본 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

1. “기준용량(Benchmark Dose, BMD)”이란 독성영향이 대조집단에 비해 5% 혹은 10%와 같은 특정 증가분이 발생했을 때 이에 해당되는 노출량을 추정된 값을 말한다.
2. “노출경로(Exposure Pathway)”란 화학물질이 환경 배출원으로부터 인체 혹은 생태계에 노출될 때까지의 이동 매개체와 그 경로를 말한다.
3. “노출계수(Exposure Factor)”란 노출평가를 할 때 환경유해인자의 노출량 결정과 관련된 계수를 말하며, 노출계수는 국가별, 연령별, 시대별 특성 등이 반영되므로 제품의 연령별 이용 빈도, 사용량, 체표면적, 사용방법을 포함하여 노출량 산정에 직접 이용될 수 있는 인자들을 포함해야 한다.
4. “노출 알고리즘(Exposure Algorithm)”이란 노출량 산정을 위한 필요한 절차로써, 노출량을 도출하기 위해 수행해야할 과정을 나타낸 것이다.
5. “노출 모델(Exposure Model)”이란 이론적 또는 경험적 관계식을 통해 가용한 입력 자료로부터 개별 혹은 집단 노출 변수 값을 추정하기 위한 Tool을 지칭하는 말로서 실측자료가 없거나 실측이 불가능한 상황에서 노출 평가에 적용되는 유용한 수단을 말한다.
6. “노출시나리오(Exposure Scenario, ES)”란 전과정(life-cycle) 동안 물질이 제조되거나 사용되는 방법과 제조자 혹은 수입자의 통제방법 또는 하위사용자에 대한 물질통제 권고방법, 인간과 환경에 노출되는 과정에 대해 여러 가지 조건을 설정하여 기술해 놓은 것을 말한다.
7. “노출평가(Exposure Assessment)”란 환경 중 화학물질의 정성 및 정량적 분석자료를 근거로 화학물질이 인체나 기타 수용체 내부로 들어오는 노출 수준을 추정하는 것을 말한다.

8. “독성참고치(Reference Dose, Reference Concentration, RfD, RfC)”란 경구, 경피, 흡입 등의 노출경로를 통하여 화학물질이 인체에 유입되었을 경우 유해한 영향이 나타나지 않는다고 판단되는 노출량(노출 농도)을 말한다.
9. “무영향수준(Drived No-Effect Levels, DNEL)”이란 화학물질이 인체에 일정기준 이상 노출되어서는 안 되는 수준을 말한다.
10. “반수영향농도(Effective Concentration 50%, EC50)”란 일정 시험기간 동안 통계적으로 시험생물 수의 50%가 독성영향을 받는 농도를 말한다.
11. “반수치사농도(Lethal Concentration 50%, LC50)”란 통계적으로 시험생물의 50%를 죽게 하는 수용액상의 시험물질의 농도를 말한다.
12. “소비자 노출평가(Consumer Exposure Assessment)”란 소비자를 대상으로 하는 화학물질에 대한 노출평가를 의미하며, 소비제품의 사용과정에서 발생하는 화학물질에 대한 인체노출을 평가하는 것을 말한다.
13. “생물농축계수(Bioconcentration Factor, BCF)”란 일정시간이나 일정노출기간 중 수중생물체 내 오염물질농도와 수중 오염물질농도의 농도비(quotient)를 말한다.
14. “무영향관찰용량/농도 (No Observed Adverse Effect Level/ No Observed Effect Concentration)”란 만성독성 등 노출량-반응시험에서 노출집단과 적절한 무처리 집단간 악영향의 빈도나 심각성이 통계적으로 또는 생물학적으로 유의한 차이가 없는 노출량 혹은 노출농도를 말한다. 다만 이러한 노출량에서 어떤 영향이 일어날 수도 있으나 특정 악영향과 직접적으로 관련성이 없으면 악영향으로 간주되지 않는다.
15. “최소영향관찰용량/농도 (Lowest Observed Adverse Effect Level / Lowest Observed Effect Concentration)”란 노출량-반응시험에서 노출집단과 적절한 무처리집단 간 악영향의 빈도나 심각성이 통계적으로 또는 생물학적으로 유의성 있는 증가를 보이는 노출량 중 처음으로 관찰되기 시작하는 가장 최소 노출량을 말한다.
16. “역치(threshold)”란 그 수준 이하에서 유해한 영향이 발생하지 않을 것으로 기대되는 용량을 말한다.

17. “예측무영향농도(Predicted-No-Effect-Concentration, PNEC) “란 인간 이외의 생태계에 서식하는 생물에게 유해한 영향이 나타나지 않는다고 예측되는 환경 중 농도를 말한다.
18. “외삽(Extrapolation)”이란 관찰할 수 없는 저농도 화학물질의 위해수준을 관찰 가능한 범위로부터 추정하는 것을 말한다.
19. “용량-반응 평가(Dose-Response Assessment)”란 화학물질의 용량수준과 이에 따른 인체 및 생태에 미치는 영향과의 상관성을 규명하는 것을 말한다.
20. “안전성 확인”이란 노출평가와 노출량-반응평가 결과를 바탕으로 화학물질의 노출에 의한 정량적인 위해수준을 추정하고 그 불확실성을 제시하는 것을 말한다.
21. “위해성평가(Risk Assessment)”란 화학물질이 인체와 생태계에 미치는 결과를 예측하기 위해 관련 노출 및 독성 정보를 체계적으로 검토 및 평가하는 것을 말한다.
22. “위해성관리대책(Risk Management Measures)”이란 물질의 물리화학적 거동특성으로 인해 발생하는 노출이 환경 및 인체 건강의 위해수준을 초과할 경우, 이를 제한 또는 저감시키기 위해서 취해지는 위해성통제 조치로 정의할 수 있다. 개인보호장비, 국소배기장치, 자동화설비 등의 다양한 노출통제 조치들이 포함될 수 있다.
23. “유해성확인(Hazard Characterization)”이란 화학물질의 독성 및 작용기작에 대한 연구 자료를 바탕으로 화학물질이 인체나 생태에 미치는 유해영향을 규명하고 그 증거의 확실성을 검증하는 것을 말한다.
24. “취급조건”이란 화학제품 제조 시 요구되는 일련의 공정조건으로서, 공정형태, 작업환경 조건, 작업장 면적, 공정온도, 작업시간, 사용량, 노출빈도 및 노출시간 등과 같은 노출결정 정보를 포함한다.
25. “종말점(Endpoint)”이란 화학물질 위해성과 관련된 특정한 독성을 정성 및 정량적으로 표현한 것을 말한다.

26. “초과 발암 위험도(Excess Cancer Risk, ECR)”란 인체가 유해물질에 일정기간 지속적으로 노출되었을 경우, 대상물질에 의하여 발현될 수 있는 추가적인 발암 위험의 가능성을 말한다.
27. “최소영향수준(Drived Minimal-Effect Levels, DMEL)”이란 사람에게 영향을 나타내는 가장 낮은 수준으로 도출된 값을 말한다.
28. “평가계수(Assessment Factor, AF)”란 화학물질의 독성에 대한 동물실험 결과를 인체에 외삽하거나 민감한 대상까지 적용하기 위한 임의적 보정값을 말한다.
29. “GLP(Good Laboratory Practice)”란 우수 실험실 관리기준으로, 화학물질의 안전성 평가를 위해 실시하는 각종 독성 시험의 신뢰성을 보증하기 위한 기준을 말한다.
30. “PBT(Persistence, Bioaccumulation and Toxicity)”란 잔류성과 생물농축성 및 독성을 말한다.
31. “QSAR(Qualitative or Quantitative Structure-Activity Relationship)”란 유해성 시험을 하지 않고도 물질의 분자 또는 분자 구조의 연관성을 비교하여 유해성을 예측하기 위해 개발된 프로그램을 말한다.
32. “Read-across”란 유해성 자료 등 정보가 있는 물질과 대상 물질을 비교하여 유해성을 도출하는 방법을 말한다.
33. “vPvB(very Persistent, very Bioaccumulative)”란 고잔류성 및 고생물농축성을 말한다.

2절. 부 록

[별표 1]

유해성 자료 수집을 위한 데이터베이스 목록

국외 자료원 목록
1. ECB ESIS (European chemical Substances Information System) 2. EPA IRIS (Integrated Risk Information System) 3. EU RAR (European Union Risk Assessment Report) 4. IARC (International Agency for Research on Cancer) 5. IPCS INCHEM (International Programme on Chemical Safety) 6. IUCLID (International Uniform Chemical Information Database) 7. NITE (National Institute of Technology and Evaluation) 8. NLM (National Library of Medicine) -ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) -CCRIS (Chemical Carcinogenesis Research Information System) -GENETOX (Genetic Toxicology) -HSDB (Hazardous Substances Data Bank) 9. NTP (National Toxicology Program) 10. OECD SIDS (Screening Information Dataset for High Volume Chemicals)
국내 자료원 목록
1. 국립환경과학원 - 화학물질정보시스템 (NCIS) 2. 국립환경과학원 - 유해화학물질 분류·표시 지원시스템 3. 소방방재청 - 국가위험물정보시스템 4. 화학물질안전원 - 화학물질안전관리정보시스템 (KISChem)

[별표 2]

작업자 노출평가를 위한 공정 번호

공정 번호	공정 설명
1	노출 우려가 거의 없는 밀폐된 연속 공정
2	간헐적인 노출이 있는 밀폐된 연속 공정 (운전자 설비 보수)
3	밀폐된 회분 공정(합성 또는 배합)
4	간헐적인 노출이 있는 회분 또는 합성 공정 (작업자가 직접 원료주입/제품포장)
5	개방된 회분공정에서의 혼합 또는 분산 공정
6	광택 작업
7	산업적 스프레이 작업 (폐수, 폐기물이 추가적으로 발생)
8a	비고정형 저장용기에 저장 또는 저장용기로부터 이송, 운반
8b	고정형 저장시설에 저장 또는 저장시설로부터 이송, 운반
9	지정된 주입 라인에서 소형 용기에 주입하는 공정
10	롤러 및 브러시 작업
11	비산업적 스프레이 작업 (폐수, 폐기물 발생이 없음)
12	발포제 주입 작업
13	담그거나 들이부어 완제품 처리 (염색, 도금 등)
14	정제, 압축, 압출, 펠렛다이징으로 만든 제품 또는 완제품 생산 공정
15	소규모 연구소에서 실험실 시약으로 사용
16	불완전 연소된 연료 또는 첨가제가 발생하는 공정
17	개방된 공정에서 고온, 고압 기계에 윤활제 주입
18	고온, 고압 기계의 윤활제 사용 공정
19	오직 개인보호구(보안경, 방독면 등)만 착용한 채로 노출이 많은 수동 작업
20	밀폐된 상태에서의 열 및 압력 전달 액체 사용 (엔진 · 브레이크 오일 등)
21	금속/완제품의 상온 가공 (수동절단, 냉연, 조립, 분해 등)
22	밀폐상태로 금속의 고온처리 (용융로, 용광로 등)
23	금속의 고온처리 및 운반 (주조, 도금 등)
24	금속/완제품의 기계적 가공 (절삭, 연마 등)
25	금속을 활용한 고온 가공 (용접, 땀질 등)
26	상온에서 고체 무기화학물질의 취급
27a	금속 분말 제조 (고온 공정)
27b	금속 분말 제조 (습식 공정)

[별표 3]

환경 노출평가를 위한 환경배출범주(ERC)

ERC #	ERC 명	ERC #	ERC 명
ERC1	화학물질의 생산	ERC8c	기질내로 포함되는 광범위한 실내 사용
ERC2	혼합물의 혼합(조제)	ERC8d	개방계내 공정보조제의 광범위한 실외 사용
ERC3	재료내 혼합(조제)	ERC8e	개방계내 반응성 물질의 광범위한 실외 사용
ERC4	공정 및 생산품내 공정보조제의 산업적 사용 (완제품에 포함되지 않은 물질)	ERC8f	기질내로 포함되는 광범위한 실외 사용
ERC5	기질내로 포함되는 산업적 사용	ERC9a	밀폐계내 물질의 광범위한 실내 사용
ERC6a	다른 물질로 생산되는 산업적 사용 (중합체의 사용)	ERC9b	밀폐계내 물질의 광범위한 실외 사용
ERC6b	반응공정 보조제의 산업적 사용	ERC10a	적게 배출되는 긴 수명의 완제품 및 재료의 광범위한 실외 사용
ERC6c	열가소성 수지 생산에 사용되는 모노머의 산업적 사용	ERC10b	의도적이거나 많이 배출되는 긴 수명의 완제품 및 재료의 광범위한 실외 사용 (연마 공정 포함)
ERC6d	수지/고무/폴리머생산내 중합공정 중 사용되는 공정 조절장치의 산업적 사용	ERC11a	적게 배출되는 긴 수명의 완제품 및 재료의 광범위한 실내 사용
ERC7	밀폐계내 물질의 산업적 사용	ERC11b	의도적이거나 많이 배출되는 긴 수명의 완제품 및 재료의 광범위한 실내 사용 (연마 공정 포함)
ERC8a	개방계내 공정보조제의 광범위한 실내 사용	ERC12a	연마 기법이 사용되는 완제품의 산업적 공정 (적은 배출)
ERC8b	개방계내반응성 물질의 광범위한 실내 사용	ERC12b	연마 기법이 사용되는 완제품의 산업적 공정 (많은 배출)

[별표 4]

ECETOC TRA 내 평가 가능한 제품 범주 (PC;Product Category)
및 완제품 범주(AC; Article Category)

구분	범주 분류	제품 목록
제품 범주	PC1	접착제, 실란트
	PC2	흡착제
	PC3	공기정화제품
	PC4	부동액과 제빙제품
	PC7	기본 금속 및 합금
	PC8	살충제
	PC9a	코팅제, 페인트, 시너, 리무버
	PC9b	필러, 퍼티, 석고, 점토
	PC9c	손가락물감
	PC11	폭발물
	PC12	비료
	PC13	연료
	PC14	금속 표면 처리 제품
	PC15	비금속 표면 처리 제품
	PC16	열매체
	PC17	유압유
	PC18	잉크 및 토너
	PC19	매개체
	PC20	pH 조절기, 응집제, 침전제, 중화제 같은 제품
	PC21	실험용 화학물질
	PC23	가죽 태닝용, 염색, 마무리, 수정 케어 제품
	PC24	윤활유, 그리스 및 방출 제품
	PC25	금속 가공유
	PC26	종이와 보드 염색, 마무리 및 수정 제품
	PC27	식물보호제품
	PC28	향수
	PC29	제약
	PC30	광 화합물
	PC31	광택제, 왁스 혼합물
	PC32	폴리머 준비 및 화합물
	PC33	반도체
	PC34	섬유 염료, 마무리 및 수정 제품
	PC35	(솔벤트 제품 포함) 세척 및 청소 제품
	PC36	연수기
	PC37	정수 물질
	PC38	용접 및 납땜 제품, 플럭스 제품
	PC39	화장품, 개인 위생용품
	PC40	추출물

완제품 범주	AC1	차량
	AC2	기계, 기계제품, 전기/전자 제품
	AC3	전기 배터리 및 전지
	AC4	돌, 석고, 시멘트, 유리, 세라믹 제품
	AC5	식물, 섬유 및 의류
	AC6	가죽 제품
	AC7	금속 제품
	AC8	종이 제품
	AC10	고무 제품
	AC11	나무 제품
	AC13	플라스틱 제품

출처: ECHA(2010). Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.15: Consumer exposure estimation

[별표 5]

화학물질 용도분류 체계와 ECETOC TRA 내 분류체계 연계

용도분류	화학물질 용도분류체계	PC 분류코드	PC 제품 분류
1	흡수제 및 흡착제	PC2	흡착제
2	접착제, 바인더	PC1	접착제, 실란트
3	에어로졸 추진제	PC3	공기정화제품
4	응축방지제		
5	부동액	PC4	부동액과 제빙제품
		PC25	금속 가공유
6	접착방지제	PC24	윤활류, 그리스 및 방출 제품
7	정전기 방지제		
8	표백제	PC26	종이와 보드 염색, 마무리 및 수정 제품
		PC34	섬유 염료, 마무리 및 수정 제품
9	세정/세척제	PC35	(솔벤트 제품 포함) 세척 및 청소 제품
10	착색제	PC23	가죽 태닝용, 염색, 마무리, 수정 케어 제품
		PC26	종이와 보드 염색, 마무리 및 수정 제품
		PC34	섬유 염료, 마무리 및 수정 제품
		PC9a	코팅제, 페인트, 시너, 리무버
		PC9c	필러, 퍼티, 석고, 점토
		PC18	잉크 및 토너
		PC26	종이와 보드 염색, 마무리 및 수정 제품
		PC32	폴리머 준비 및 화합물

용도분류	화학물질 용도분류체계	PC 분류코드	PC 제품 분류
11	착화제		
12	전도체		
13	건축용 물질 및 첨가제		
14	부식방지제		
15	화장품	PC39	화장품, 개인 위생용품
16	분진결합제		
17	전기도금제	PC14	금속 표면 처리 제품
		PC15	비금속 표면 처리 제품
18	화학, 폭발제	PC11	폭발물
		PC37	정수 물질
19	비료	PC12	비료
		PC27	식물보호제품
20	충전제	PC9b	필러, 퍼티, 석고, 점토
21	정착제		
22	내화·방연제 및 난연제	PC32	폴리머 준비 및 화합물
		PC34	섬유 염료, 마무리 및 수정 제품
23	부유제		
24	주물용 용제		
25	발포제·기포제	PC3	공기정화제품
26	식품 및 식품첨가제		
27	연료	PC13	연료
28	연료첨가제	PC13	연료
29	열전달제	PC16	열매체
		PC17	유압유
30	유압유 및 첨가제	PC4	부동액과 제빙제품
		PC16	열매체
		PC17	유압유
		PC25	금속 가공유
31	함침제		
32	절연제		
33	중간체	PC19	매개체
34	실험실용 물질	PC21	실험용 화학물질

용도분류	화학물질 용도분류체계	PC 분류코드	PC 제품 분류
35	윤활제 및 첨가제	PC24	윤활유, 그리스 및 방출 제품
36	비농업용 농약 및 소독제	PC12	비료
		PC27	식물보호제품
		PC3	공기정화제품
		PC8	살충제
37	향료	PC3	공기정화제품
		PC28	향수
38	산화제	PC11	비료
		PC37	정수 물질
39	pH 조절제	PC20	pH 조절기, 응집제, 침전제, 중화제 같은 제품
		PC37	정수 물질
		PC40	추출물
40	농약		
41	의약품	PC8	살충제
		PC27	식물보호제품
		PC30	광화합물
42	사진현상재료 등 광화학물질	PC30	광화합물
43	공정속도조절제	PC0	
44	환원제	PC11	폭발물
		PC37	정수 물질
45	복사용 물질		
46	반도체용 물질	PC33	반도체
47	연화제	PC1	접착제, 실란트
		PC9a	코팅제, 페인트, 시너, 리무버
		PC18	잉크 및 토너
		PC32	폴리머 준비 및 화합물

용도분류	화학물질 용도분류체계	PC 분류코드	PC 제품 분류
48	용제	PC1	접착제, 실란트
		PC8	살충제
		PC9a	코팅제, 페인트, 시너, 리무버
		PC9c	손가락물감
		PC18	잉크 및 토너
		PC35	(솔벤트 제품 포함) 세척 및 청소 제품
		PC40	추출물
49	안정제		
50	계면활성제 · 표면활성제	PC31	광택제, 왁스 혼합물
		PC35	(솔벤트 제품 포함) 세척 및 청소 제품
		PC39	화장품, 개인 위생용품
		PC23	가죽 태닝용, 염색, 마무리, 수정 케어 제품
51	탄닌제		
52	점도조정제		
53	가황제 · 가황촉진제		
54	용접제	PC38	용접 및 납땜 제품, 플럭스 제품
0	기타		

[별표 6]

ECETOC TRA 모델에서 사용되는 경로별 산정식

경로	산정식	변수	변수 설명	단위
흡입	$C_{inh} = (PI \times A \times FQ \times F \times 1000) / V$	C _{inh}	노출된 공기 농도	mg/m ³
		PI	제품성분 양	g/g
		A	한 사건에서 사용되는 제품의 양	g/event
		FQ	사용빈도	events/day
		F	공기분산율	g/g
		1000	변환계수	
		V	실내 부피	m ³
	$D_{inh} = (PI \times A \times FQ \times F \times ET \times IR \times 1000) / (V \times BW)$	D _{inh}	흡입 노출 양	mg/kg/day
		PI	제품성분 양	g/g
		A	한 사건에서 사용되는 제품의 양	g/event
		FQ	사용빈도	events/day
		F	공기분산율	g/g
		ET	노출시간	h
		IR	흡입률	m ³ /h
		1000	변환계수	
		V	실내부피	m ³
		BW	체중	kg

경로	산정식	변수	변수 설명	단위
경피	$Dder = (PI \times CA \times FQ \times TL \times D \times 1000) / BW$	Dder	경피 노출 양	mg/kg/day
		PI	제품 성분 양	g/g
		CA	접촉면적	cm ²
		FQ	사용빈도	events/day
		TL	층 두께	cm
		D	밀도	g/cm ³
		1000	변환계수	
		BW	체중	kg
경구	$Doral = (PI \times V \times FQ \times D \times 1000) / BW$	Doral	경구 노출 양	mg/kg/day
		PI	제품 성분 양	g/g
		V	삼킨 제품 양	cm ³
		FQ	사용빈도	events/day
		D	밀도	g/cm ³
		1000	변환계수	
		BW	체중	kg

출처: ECHA(2010). Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.15: Consumer exposure estimation

[별표 7]

작업자 노출평가지 적용되는 위해성관리대책 (RMM)

[제품-물질 관련]	
1	유해 또는 비유해 성분의 농도 제한
2	물질상태 변경 (Ex. 분말 → 펠릿)
3	사용자 친화적 포장 (취급감소)
4	라벨 및 물질안전자료 이외의 정보/지침/매뉴얼
[유통 및 사용 제한]	
5	유통 및 사용 - 일반
6	제품안전/조언
[공정/관리 변경]	
7	공정 관리/변경
8	자동화
9	작업기기 봉쇄
10	공정기기 세척
11	누출 봉쇄 조치
12	대기배출의 저감 및 세척
13	폐수의 저감 및 세척
14	폐기물 저감 및 처리
[환기 관리]	
15	국소배기장치 - (부분적) 밀폐
16	층류형 부스 및 작업대
17	국소배기장치 - 포집형 후드
18	국소배기장치 - 수용후드
19	국소배기장치 - 특수화 적용
[일반 희석 환기]	
20	희석 환기
[조직적 지침]	
21	관리 시스템
22	실제 운영
23	자격양성 및 훈련
24	감독
25	모니터링
26	건강검진
[위생청결유지 및 시설관리]	
27	위생청결 및 시설관리
[개인 보호장비]	
28	신체 보호
29	손 보호
30	호흡기 보호
31	안면/눈 보호
[응급치료조치]	
32	응급치료조치

[별표 8]

EU 화학물질 배출계수

▪ IC = 1: 산업 및 농업

Table A1.1 - 제조에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수			
	물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	모든 MC	MC = 1b	MC = 1c	MC = 3 ⁽¹⁾
대기		<1		0	0	0.00001
		1-10		0	0.00001	0.0001
		10-100		0.00001	0.0001	0.001
		100-1,000		0.0001	0.001	0.01
		1,000-10,000		0.001	0.005	0.05
		≥10,000		0.005	0.01	0.05
	T(tonnes/year)					
폐수	<1,000		0.02			
	≥1,000		0.003			
토양			0.0001			

(1) : Default

Table A2.1 - 혼합(조제)에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수			
	물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	모든 MC	MC = 1b	MC = 1c	MC = 3 ⁽¹⁾
대기		<10		0.0005	0.001	0.0025
		10-100		0.001	0.0025	0.005
		100-1,000		0.0025	0.005	0.01
		≥1,000		0.005	0.01	0.025
	T(tonnes/year)					
폐수	<1,000		0.02			
	≥1,000		0.003			
토양			0.0001			

(1) : Default

Table A3.1 - 산업적 사용에 대한 배출계수

UC	배출계수		
	대기	지표수	산업적 토양
밑에 구체적인 UC보다 다른 UC의 디폴트 값	0.1	0.1	0*
3 (에어로졸 분사제)	1	0	0
9(세정제와 첨가제), 10(착색제), 36(향료/향료중간체)	0	0.1	0.4
19(비료)	0	0.05	0.95*
26(식품/사료첨가제)	0	0	0.05
38(식물보호제), 50(계면활성제)	0.05	0.1	0.85*
41(의약품, 외용약)	0	0	0.1
41(의약품, 내용약)	0	0	
48(용매제)	1	0	0

*은 regional과 continental 규모에서 농업토양으로 가고 나머지 UC는 산업적 토양으로 감

▪ IC=2: 화학공업: 기초 화학물질

제조 Table A1.1

혼합(조제) Table A2.1

산업적 사용 Table A3.2

Table A3.2 - IC=2: 화학공업: 기초 화학물질산업에서 산업적 사용에 대한 배출계수

상태		배출계수		
물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	대기	폐수	토양
<100	<100	0.65	0.25	0.0005
	100-1,000	0.8	0.1	0.0025
	≥1,000	0.95	0.05	0.001
100-1,000	<100	0.4	0.5	0.005
	100-1,000	0.55	0.35	0.002
	≥1,000	0.65	0.25	0.001
1,000-10,000	<100	0.25	0.65	0.005
	100-1,000	0.35	0.55	0.002
	≥1,000	0.5	0.4	0.001
≥10,000	<100	0.05	0.85	0.005
	100-1,000	0.1	0.8	0.002
	≥1,000	0.25	0.65	0.001

개인적 사용 : 적용할 수 없음

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 3: 화학공업 : 합성에 사용되는 화학물질

혼합(조제) Table A1.1 for UC ≠ 33 (중간체)

Table A1.2 for UC = 33 (중간체)

Table A1.1 - IC = 3: 화학공업 : 합성에 사용되는 화학물질산업에서 혼합(조제)(UC ≠ 33인 경우)에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수			
	물용해도 (mg/L)	증기압(Pa)	모든 MC	MC = 1a	MC = 1b	MC = 1c
대기		<1		0	0	0
		1-10		0	0	0.00001
		10-100		0	0.00001	0.0001
		100-1,000		0.00001	0.0001	0.001
		1,000-10,000		0.0001	0.001	0.01
		≥ 10,000		0.001	0.01	0.025
	공정	T(tonnes/year)				
폐수	습식	<1,000	0.02			
		≥ 1,000	0.003			
	건식		0			

Table A1.2 - IC = 3: 화학공업 : 합성에 사용되는 화학물질산업에서 혼합(조제)(UC = 33인 경우)에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수			
	물용해도 (mg/L)	증기압(Pa)	모든 MC	MC = 1a	MC = 1b	MC = 1c
토양				0	0.00001	0.0001

혼합(조제) Table A2.1

산업적 사용 Table A3.3

Table A3.3 IC = 3: 화학공업 : 합성에 사용되는 화학물질산업에서 산업적 사용에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수			
	물용해도 (mg/L)	증기압(Pa)	모든 MC	MC = 1b	MC = 1c	MC = 3 ⁽¹⁾
대기		<1		0	0	0.00001
		1-10		0	0	0.0001
		10-100		0	0.00001	0.001
		100-1,000		0.00001	0.0001	0.01
		1,000-10,000		0.0001	0.001	0.025
		≥10,000		0.001	0.005	0.05
	공정	T(tonnes/year)				
폐수	습식	<1,000	0.02			
		≥1,000	0.007	0.0005		
	건식		0			
토양			0.0001			

(1) : Default

※ 참조 : UC 카테고리 33(중간체)에 대한 산업적 사용에서 배출은 신고자가 물질이 다른 경우에 가공된다고 명시하지 않더라도 생산에서 배출로 첨가되어야만 한다.

개인적 사용 : 적용할 수 없음

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 4:전기/전자산업

제조 Table A1.1

혼합(조제) Table A2.1

산업적 사용 Table A3.4

Table A3.4 IC = 4:전기/전자산업에서 산업적 사용에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수	
	물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	MC = 2	MC = 3 ⁽¹⁾
대기		<100	0.0005	0.0005
		≥100	0.0005	0.001
폐수			0.0001	0.005
토양			0.0001	0.01

(1) : Default

개인적 사용 : 적용할 수 없음

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 5: 개인/가정 용도

제조 Table A1.1 for UC \neq 9(세정제와 첨가제), 15(화장품)

제조 Table A1.2 for UC = 9, 15

(만약에 생산량 < 1,000 tonnes/year Table A1.1 적용)

Table A1.2 - IC = 5: 개인/가정에서 제조에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수	
	물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	Batch 공정 ¹⁾	연속공정 ²⁾
대기			0.000001	0.000001
폐수			.3)	.4)
고형 폐기물			0	0

1) 비 이온 계면활성제에 대한 ethoxylation과 양성과 양이온 계면활성제의 생산

2) 예를 들면, 음이온 계면활성제의 sulphonation과 sulphation

3) 배출 시나리오 문서에 따르면 < 0.3 % (최악의 상황 = 0.003)

4) 배출 시나리오 문서에 따르면 < 0.1 % (최악의 상황 = 0.001)

혼합(조제) Table A2.1 for UC \neq 9 (세정제와 첨가제) and 15 (화장품)

혼합(조제) Table A2.2 for UC = 9 (세정제와 첨가제) and 15 (화장품)

Table A2.2 - IC = 5: 개인/가정에서 혼합(조제)에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수			
	물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	규칙적인 분말	치밀한 분말	액체	알수없음
대기			0.0002	0.002	0.00002	0.0002
폐수			0.0001	0.00001	0.0009	0.0009
고형 폐기물			0.0073	0.0081	0.0032	0.0081

산업적 사용 : 적용할 수 없음

개인적 사용 : Table A4.1

Table A4.1 - IC = 5: 개인/가정에서 개인적 사용에 대한 배출계수

매체	상태			배출계수
	UC	물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	
대기	2, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 41, 47, 50			0
	3			1
	5			0.0005
	26		<5,000	0
			≥ 5,000	0.01
	35		<5,000	0
			≥ 5,000	0.05
	36		<100	0.05
			100-2,500	0.2
			2,500-10,000	0.5
			≥ 10,000	0.9
	38(제조제)		0.01	
	38(농약, 정원용)			0.05
	38(농약, 애완동물)		<100	0.05
			100-5,000	0.1
			≥ 5,000	0.8
	48, 55	<10	<10	0.005
			10-100	0.015
			100-1,000	0.15
			1,000-10,000	0.4
			≥ 10,000	0.6
		10-100	<10	0.0015
			10-100	0.075
			100-1,000	0.125
			1,000-10,000	0.25
			≥ 10,000	0.4
		100-1,000	<10	0.0015
			10-100	0.025
			100-1,000	0.1
			1,000-10,000	0.15
			≥ 10,000	0.225
		≥ 1,000	<10	0.00075
			10-100	0.03
			100-1,000	0.075
			1,000-10,000	0.125
			≥ 10,000	0.175
지표수	5, 35(자동차 제품)		0.0005	

매체	상태			배출계수
	UC	물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	
폐수	2(접착제)	<25		0
		≥ 25		0.005
	3(에어로졸 분사제), 5(냉각방지제), 19(비료), 35(윤활유/첨가제)			0
	7			0.01
	8(가정용 제품)			0.95
	8(화장품)			0.8
	9,15			1
	50			0.99
	10(세정제품)			1
	10(화장품)			0.8
	10(그밖)			0.5
	11			0.8
	26			0.025
	36(화장품)		<2,500	0.8
			2,500-10,000	0.5
			≥ 10,000	0.1
	36(세정제품)		<100	0.9
			100-2,500	0.8
			2,500-10,000	0.5
			≥ 10,000	0.1
	36(기타)		<100	0.5
			100-2,500	0.3
			2,500-10,000	0.2
			≥ 10,000	0.05
	38(제조제)			0
	38(농약, 정원용)			0
	38(농약, 애완동물)			0.1
	41(외용약)			0.25
	41(구강)			0.05
	47			0.9
	48, 55	<10		0.1
		10-100		0.2
		100-1,000		0.4
		≥ 1,000		0.6

매체	상태			배출계수
	UC	물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	
토양	2			0.0001
	3, 36, 41			0
	5			0.0005
	7			0.001
	8(가정용 제품)			0.01
	8(화장품)			0.001
	9, 15			0
	47, 50			0.01
	10 (세정제품)			0.002
	10(화장품)			0.0001
	10(기타)			0.01
	11			0.0001
	19			1
	26, 35			0.002
	38(정원용품 : 제초제, 농약)			0.9
	38(농약, 애완동물)		<100	0.05
			100-5,000	0.01
			≥ 5,000	0.002
	48, 55		<10	0.2
			10-100	0.1
			100-1,000	0.05
			1,000-10,000	0.005
			≥ 10,000	0.002

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 6: 공공영역

제조 Table A1.1 for UC≠9 (세정, 세척제) and 15 (화장품)

제조 Table A1.2 for UC = 9 and 15

(만약에 생산량이 < 1000 tonnes/year이면 Table A1.1 적용)

혼합(조제) Table A2.1 for UC ≠ 9 (세정/세척제)

혼합(조제) Table A2.2 for UC = 9 (세정/세척제)

산업적 사용 Table A3.5

Table A1.2 - IC = 6: 공공영역에서 산업적 사용에 대한 배출계수

상태		배출계수		
UC		대기	폐수	토양
9	≤1,000 tonnes/year	0.0025	0.9	0.05
	> 1,000 tonnes/year	0	1	0
39	농약, 비농업적	0.1	0.05	0.8
전체	기타	0.05	0.45	0.45

개인적 사용 : 적용할 수 없음

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 7: 가죽가공산업

제조 Table A1.1 for UC ≠ 10 (착색제)

Table A1.3 for UC = 10 (착색제)

Table A1.3 - IC = 7: 가죽가공산업에서 생산(UC = 10인 경우)에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수
	물용해도(mg/L)	증기압 (Pa)	
대기			0.0008
폐수	<2,000		0.015
	2,000-10,000		0.02
	10,000-100,000		0.03
	100,000-500,000		0.05
	≥ 500,000		0.06
토양			0.0001

혼합(조제) Table A2.1

산업적 사용 Table A3.6

Table A3.6 - IC = 7: 가죽가공산업에서 산업적 사용에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수		
	물용해도(mg/L)	증기압 (Pa)	모든 MC	MC = 2	MC = 3 ⁽¹⁾
대기	<100	<100	0.001		
	<100	≥100	0.01		
	≥100		0		
폐수	<100			0.05	0.9
	100-1,000			0.15	0.99
	≥1,000			0.25	0.99
토양			0.01		

(1) Default

개인적 사용 : 적용할 수 없음

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 8: 금속추출, 제련 및 가공산업

제조 Table A1.1

혼합(조제) Table A2.1 for UC ≠ 29(열전달제) & 35(윤활유/첨가제)

Table A2.2 for UC = 29 & 35

Table A2.2 - IC = 8: 금속추출, 제련 및 가공산업에서 혼합(조제)(UC = 29 & 35인 경우)에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수
	물용해도(mg/L)	증기압 (Pa)	
대기		<1	0.00005
		1-10	0.00001
		10-100	0.0005
		100-1,000	0.0025
		≥1,000	0.025
폐수			0.002
토양			0.00001

산업적 사용 Table A3.7

Table A3.7 - IC = 8: 금속추출, 제련 및 가공산업에서 산업적 사용에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수	
	UC ≠ 29 & 35	물용해도(mg/L)	MC = 2	MC = 3 ⁽¹⁾
대기			0	0.25
폐수		<100	0.05	0.5
		100-1,000	0.1	0.5
		≥1,000	0.25	0.5
토양			0	0.05
매체	상태		배출계수	
	UC = 29 & 35	log Henry		
대기		<2	0.0002	
		≥2	0.002	
폐수	순수한 석유		0.185	
	물에 기초한 + 알려지지 않음		0.316	
토양			0.0001	

(1) Default

개인적 사용 : 적용할 수 없음

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 9: 석유 및 연료산업

제조 Table A1.1

혼합(조제) Table A2.1

산업적 사용 Table A3.8

Table A3.8 - IC = 9: 석유 및 연료산업에서 산업적 사용에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수
	물용해도(mg/L)	증기압 (Pa)	
대기		<1	0.0001
		1-10	0.0005
		10-100	0.001
		100-1,000	0.005
		≥1,000	0.01
폐수			0.0005
토양			0.001

개인적 사용 Table A4.2

Table A4.2 - IC = 9: 석유 및 연료산업에서 개인적 사용에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수
	물용해도(mg/L)	증기압 (Pa)	
대기		<10	0.005
		10-100	0.015
		100-1,000	0.15
		1,000-10,000	0.4
		≥10,000	0.6
폐수			0.0005
지표수			0.0001
토양			0.0001

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 10: 사진업

제조 Table A1.1

혼합(조제) Table A2.1 사진 수세(액체)에 사용되는 혼합(조제) 기본 값

Table A2.3 고형물 원료의 제조에서 UC=42(광화학물) 및 기타 UC

Table A2.3 - IC = 10: 사진업에서 혼합(조제)(고형물 원료의 제조에서 UC=42(광화학물) 및 기타 UC)에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수
		증기압 (Pa)	
대기	결정 성장 억제		0
	기타 기능들	<1	0.0001
		1-10	0.001
		10-100	0.3
		100-1,000	0.7
		≥1,000	0.99
폐수	결정 성장 억제		0.99
	기타 기능들		0.002
토양			0.00025

산업적 사용 Table A3.9

Table A3.9 - IC = 10: 사진업에서 산업적 사용에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수	
		증기압 (Pa)	MC = 2	MC = 3 ⁽¹⁾
대기	고형원료 (예, 필름)		0	
	그밖의	<1		0.000035
		1-10		0.00025
		10-100		0.0075
		100-1,000		0.025
		≥1,000		0.075
폐수	고형원료 (예, 필름)		0	
	액체 용액			
	-염료 연동장치(커플러)			0.15
	-그밖의			0.8
토양	고형 원료 (예, 필름)		0	
	그밖의			0.00025

(1) Default

개인적 사용 Table A4.3

Table A4.3 - IC = 10: 사진업에서 개인적 사용에 대한 배출계수

매체	상태	배출계수
	UC = 42(광화학물) 오직 액체 용액에 대해서	
대기		0
폐수		0.4
토양		0

폐기물 처리 Table A5.1

Table A5.1 - IC = 10: 사진업에서 폐기물 처리에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수
	UC = 42(광화학물) 오직 액체 용액에 대해서	증기압 (Pa)	
대기		<1	0.000005
		1-10	0.000025
		10-100	0.00075
		100-1,000	0.0025
		≥1,000	0.01
폐수			0.2
토양			0

▪ IC = 11:폴리머 산업

제조 Table A1.1

혼합(조제) Table A2.1

산업적 사용 Table A3.10 중합반응 공정(Polymerisation)

- 폴리머 산업에서 폴리머는 다음과 같이 생산됨 :

A) 중합반응: A.1) "습식" (예. 유화 중합)

A.2) "건식" (예. 가스상 중합)

B) 기타 (예. 중합첨가, 중합축합)

- 모든 유형의 화학물질에 대한 UC는 43, 공정조절제이고 다음과 같이 구분 됨

I 단량체(UC 43 공정조절제)

II 촉매(UC 43 공정조절제)

III 개시제, 억제제, 지연제, 교차결합제(UC 43 공정조절제), 가황제 (UC53 가황제) 등

※ 주의 1. 원칙적으로 단계 1 생산에서 고려될 수 있다.

2. 이용 가능한 정보가 없을 때, 공정유형 "A.1"과 "B" 는 동일한 배출계수를 가지는 것으로 고려된다.

Table A3.10 - IC = 11:폴리머 산업에서 산업적 사용(중합반응 공정)에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수					
	물용해도 (mg/L)	증기압 (Pa)	유형 I		유형 II		유형 III	
			습식	건식	습식	건식	습식	건식
대기		<1	0.00001	0.00001	0	0	0	0
		1-10	0.0001	0.0001	0	0	0	0
		10-100	0.001	0.001	0	0	0	0
		100-1,000	0.01	0.01	0.0005	0.0005	0	0
		1,000-10,000	0.05	0.05	0.001	0.001	0.0005	0.0005
		≥10,000	0.05	0.05	0.01	0.01	0.001	0.001
폐수	<10		0.00001	0	0.005	0	0.0005	0
	10-100		0.0001	0	0.01	0	0.001	0
	100-1,000		0.001	0	0.025	0	0.0025	0
	≥1,000		0.01	0	0.05	0	0.005	0
토양		<5,000	0	0	0.0005	0.0005	0.00025	0.00025
		≥5,000	0	0	0	0	0	0

산업적 사용 Table A3.11 폴리머 공정

- 폴리머 공정의 두 가지 카테고리는 다음과 같이 구분됨:

A 열가소성 공정

B 열경화성 수지 공정

- 배출계수를 위한 화학물질의 유형이 다음과 같이 구분됨

I (A, B) 첨가제 : UC7(정전기 발생방지제), 22(내화/방염제/난연제),

49(안정제), 55기타(예: 항산화제)

색소 : UC10(착색제)

충전제 : UC20(주입기, 충전기)

II (A) 가소제 : UC47(연화제/경화촉진제)

III (A,B) 용매 : UC48(용매제)

IV (A,B) 공정 보조제 : UC6(접착 방지제), UC35(윤활유/첨가제)

V (B) 경화제 : UC43(공정조절제, 예: 억제제)

교차결합제 : UC43(공정조절제: 단량체)

Table A3.11 - IC = 11:폴리머 산업에서 산업적 사용(폴리머 공정)에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수		화학물질의 유형
	증기압(Pa)	끓는점(℃)	A	B	
대기	<1	<300/알수없음	0.001	0	I
		≥ 300	0.0005	0	
	1-100	<300/알수없음	0.0025	0	
		≥ 300	0.001	0	
	≥ 100	<300/알수없음	0.01	0	
		≥ 300	0.005	0	
		<400/알수없음	0.01		II
		≥ 400	0.005		
	<100		0.1	0.1	III
	100-1,000		0.25	0.25	
	1,000-10,000		0.5	0.5	
	≥ 10,000		0.75	0.75	
	<1	<300/알수없음	0.01	0	IV
		≥ 300	0.005	0	
	1-100	<300/알수없음	0.025	0	
		≥ 300	0.01	0	
	≥ 100	<300/알수없음	0.1	0	
		≥ 300	0.05	0	
	<100			0.075	V
	100-1,000			0.15	
	1,000-10,000			0.25	
	≥ 10,000			0.35	
폐수			0.0005	0.0005	I
			0.001	0	II
			0	0	III
			0.0005	0.0005	IV
				0.00005	V
토양			0.0001	0.0001	I
			0.0005	0	II
			0.00001	0.00001	III
			0.001	0.001	IV
				0.00001	V

개인적 사용 : 적용할 수 없음

폐기물처리 : 아직 고려되지 않음

▪ IC = 12: 펄프, 종이 및 합판 산업

제조 Table A1.1 for UC ≠ 10 (착색제)

Table A1.3 for UC = 10 (착색제)

혼합(조제) Table A2.1 for UC ≠ 45 (복사기 토너)

Table A2.1 for UC = 45 (복사기 토너)

산업적 사용 Table A3.12 프린팅 및 결합된 공정

Table A3.12 - IC = 12: 펄프, 종이 및 합판 산업에서 산업적 사용(프린팅 및 결합된 공정)에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수	
	UC	증기압(Pa)	MC = 2	MC = 3 ⁽¹⁾
대기	디폴트	<100	0	0.01
		100-1,000	0.05	0.2
		1,000-10,000	0.25	0.5
		≥10,000	0.5	0.75
	10(착색제), 45(복사기토너)		0	
	48(용매제)	<100		0.05
		100-1,000		0.3
		1,000-10,000		0.65
		≥10,000		0.85
폐수		물용해도 (mg/L)	MC = 2	MC = 3 (1)
	디폴트	<100	0.0001	0.01
		100-1,000	0.005	0.05
		≥1,000	0.001	0.1
	9(세정제와 첨가제)			0.9
	10(착색제), 45(복사기토너)		0.0005	
	48(용매제)	<100		0.0005
		100-1,000		0.001
		≥1,000		0.005
		증기압(Pa)	MC = 2	MC = 3 (1)
토양	전체	<100	0.0015	0.0015
		100-1,000	0.0001	0.0001
		1,000-10,000	0.00001	0.00001
		≥10,000	0	0

(1) Default

산업적 사용 Table A3.13 펄프, 종이, 합판 생산

Table A3.13 - IC = 12: 펄프, 종이 및 합판 산업에서 산업적 사용(펄프, 종이, 합판 생산)에 대한 배출계수

매체	상태			배출계수	
	UC	물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	MC = 2	MC = 3 ⁽¹⁾
대기	전체	<100	<100	0	0.0001
			100-1,000	0.00001	0.001
			≥1,000	0.0001	0.01
		100-1,000	<100	0	0.00001
			100-1,000	0	0.0001
			≥1,000	0.00001	0.001
		≥1,000	<100	0	0
			100-1,000	0	0.0001
			≥1,000	0	0.001
폐수	디폴트	<100	<100		
			100-500		
			≥ 500		
		100-1,000	<100		
			100-500		
			≥ 500		
		1,000-10,000	<100		
			100-500		
			≥ 500		
		≥10,000	-		
	10(착색제):				
	-기초 염료, 음이온			0.023	0.023
	-직접 염료			0.04	0.04
	-직접 염료, 양이온			0.055	0.055
	-직접염료, 음/양이온			0.028	0.028
	-산염료, 양이온 /알수없음			0.079	0.079
	-광택제			0.064	0.064
	20(주입기, 충전기), 31(주입제)			0.05	0.05
토양	전체		<100	0.0015	0.0015
			100-1,000	0.0001	0.0001
			1,000-10,000	0.00001	0.00001
			≥10,000	0	0

(1) Default

개인적 사용 : 적용할 수 없음

Table A5.2 - IC = 12: 펄프, 종이 및 합판 산업에서 폐기물처리에 대한 배출계수

매체	상태	배출계수
대기		0
폐수	UC 10 (착색제)	0.1
	UC 45(복사기 토너) 종이 유형에 대해	
	-그래픽	0.2
	-판지	0.01
	-뉴스용지	0.15
	-위생종이	0.01
	-포장지	0.1
	-보관용	0.05
	-기타 또는 1개 이상 적용	0.2
토양		0

▪ IC = 13: 직물가공산업

제조 Table A1.1 for UC ≠ 10 (착색제)

Table A1.3 for UC = 10 (착색제)

혼합(조제) Table A2.1

산업적 사용 Table A3.14 UC =10 (착색제)에 대한 폐수

Table A3.14 - IC = 13: 직물가공산업에서 산업적 사용에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수	
	물용해도 (mg/L)	증기압 (Pa)	UC<>10	UC=10
대기	<100	<100	0.05	
		100-1,000	0.15	
		≥1,000	0.4	
	100-1,000	<100	0.025	
		100-1,000	0.05	
		≥1,000	0.15	
	1,000-10,000	<100	0.01	
		100-1,000	0.025	
		≥1,000	0.05	
	≥10,000	<100	0.005	
		100-1,000	0.01	
		≥1,000	0.025	
	상태			
	Batch 염색			0.0007
	연속적인 염색			
폐수	-thermosol/알수없음			0.05
	-기타			0.0025
	-프린팅			0.0025
	상태			
	물용해도 (mg/L)	증기압 (Pa)	UC<>10	
폐수	<100	<100	0.85	
		100-1,000	0.75	
		1,000-10,000	0.5	
	100-1,000	<100	0.875	
		100-1,000	0.85	
		≥1,000	0.75	
	1,000-10,000	<100	0.9	
		100-1,000	0.875	
		≥1,000	0.85	
	≥10,000	-	0.95	

배출계수 (EF) = 배출계수 염색공정(E.1) + 배출계수 “조작, 수세, 세척”(E.2)

E.1 = A/(1+K*B)B=1/매염액 비율(매염액 비율 : 디폴트 값 = 10kg 섬유/1L 용액)

A : 상수, K:평형상수

산업적 사용 Table A3.14(계속)

Table A3.14 - IC = 13: 직물가공산업에서 산업적 사용(UC =10 (착색제)인 경우)에 대한 배출계수(계속)

상태	UC = 10				
염료 유형	염색법 유형	K	A	B	E.2
분산	연속	115	5	1	0.055
	프린팅	115	2	0.5	0.12
직접	Batch	73	1	0.1 ⁽¹⁾	0.01
반응 - 모직	Batch	190	1	0.1 ⁽¹⁾	0.01
반응 - 면	Batch	23	1	0.1 ⁽¹⁾	0.01
반응 - 일반	Batch	57	1	0.1 ⁽¹⁾	0.01
염색조	연속	190	5	1	0.055
	프린팅	190	2	0.5	0.12
황	연속	40	5	1	0.055
	프린팅	40	2	0.5	0.12
산 - ISO3	Batch	90	1	0.1 ⁽¹⁾	0.01
산 - >ISO3	Batch	190	1	0.1 ⁽¹⁾	0.01
염기성	Batch	990	1	0.1 ⁽¹⁾	0.01
Azoic (naphtole)	연속	30	5	1	0.055
	프린팅	30	2	0.5	0.12
금속 복합체	Batch	150	1	0.1 ⁽¹⁾	0.01
색소	연속	5000	5	1	0.055
	프린팅	5000	2	0.5	0.12
알 수 없음, 낮은 수용성	연속	190	5	1	0.055
	프린팅	190	2	0.5	0.12
알 수 없음, 산 그룹	Batch	90	1	0.1 ⁽¹⁾	0.01

(1) Default

Table A3.14 - IC = 13: 직물가공산업에서 산업적 사용에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수	
	물용해도(mg/L)	증기압(Pa)	UC>10	UC=10
토양	<100			0.005
		<100	0.005	
		100-500	0.0025	
		≥ 500	0.001	
	≥ 100	<100	0.005	
		100-500	0.002	
		≥ 500	0.001	

개인적 사용 Table A4.4

Table A4.4 - IC = 13: 식물가공산업에서 개인적 사용에 대한 배출계수

매체	상태	배출계수
	물용해도 (mg/L)	UC = 10 ⁽¹⁾
대기		0
폐수	<250	0.1
	250-1,000	0.15
	1,000-5,000	0.2
	≥5,000	0.3
토양		0

(1) UC = 10 에 대해서만 해당됨. 예: Batch 염색동안 산업에 의해 정상적으로 사용되는 유형

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 14: 페인트, 락커 및 니스(광택) 산업

제 조 Table A1.1

혼합(조제) Table A2.1

산업적 사용 Table A3.15

Table A3.15 - IC = 14: 페인트, 락커 및 니스(광택) 산업에서 산업적 사용에
대한 배출계수

매체	상태			배출계수	
	UC	물용해도 (mg/L)	증기압 (Pa)	수성	유성
대기	3 (에어로졸분사제)				1
	10 (착색제), 14(부식억제제), 20(주입기, 충전기)			0	0
	50(계면활성제)			0	
	47(연화제,경화촉진제), 52(점성조정제), 55(기타)		<10	0	0
			10-500	0	0.001
			500-5,000	0.01	0.05
			≥5,000	0.05	0.15
폐수	48 (용매제)			0.8	0.9
	3 (에어로졸분사제)				0
	10 (착색제), 14(부식억제제), 20(주입기, 충전기)			0.005	0.001
	50(계면활성제)	<10		0.005	
		10-100		0.01	
		≥100		0.05	
	47(연화제,경화촉진제), 52(점성조정제), 55(기타)	<10		0.005	0.001
		10-100		0.01	0.005
		≥100		0.05	0.01
토양	48 (용매제)			0.1	0.02
	3 (에어로졸분사제)				0
	10 (착색제), 14(부식억제제), 20(주입기, 충전기)			0.005	0.005
	50(계면활성제)			0.005	
	47(연화제,경화촉진제), 52(점성조정제), 55(기타)			0.005	0.005
	48 (용매제)			0.001	0.001

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 16: 공학산업 : 토목과 기계

제 조 Table A1.1

혼합(조제) Table A2.1

산업적 사용 Table A3.16

Table A3.16 - IC = 16: 공학산업 : 토목과 기계에서 산업적 사용에 대한 배출계수

매체	상태		배출계수		
	물용해도(mg/L)	증기압 (Pa)	MC = 2	MC = 3(1)	MC = 4
대기	<100	<10	0.0001	0.001	0.01
		10-100	0.001	0.01	0.1
		100-1,000	0.01	0.1	0.25
		1,000-10,000	0.1	0.5	0.7
		≥ 10,000	0.5	0.75	0.9
	100-1,000	<10	0.00001	0.0001	0.001
		10-100	0.0001	0.001	0.05
		100-1,000	0.001	0.05	0.1
		1,000-10,000	0.05	0.1	0.5
		≥ 10,000	0.25	0.5	0.75
	≥ 1,000	<10	0	0.00001	0.0001
		10-100	0.00001	0.0001	0.001
		100-1,000	0.0001	0.001	0.01
		1,000-10,000	0.001	0.01	0.1
		≥ 10,000	0.01	0.1	0.5
폐수	<100	<10	0.01	0.1	0.5
		10-100	0.001	0.01	0.1
		100-1,000	0.0001	0.001	0.01
		1,000-10,000	0.00001	0.0001	0.001
		≥ 10,000	0	0.00001	0.0001
	100-1,000	<10	0.25	0.5	0.75
		10-100	0.05	0.1	0.5
		100-1,000	0.001	0.01	0.1
		1,000-10,000	0.0001	0.001	0.05
		≥ 10,000	0.00001	0.0001	0.001
	≥ 1,000	<10	0.5	0.75	0.9
		10-100	0.1	0.5	0.7
		100-1,000	0.01	0.1	0.25
		1,000-10,000	0.001	0.01	0.1
		≥ 10,000	0.0001	0.001	0.01

토양	<100	<10	0.005	0.01	0.05
		10-100	0.001	0.005	0.01
		100-1,000	0.0005	0.001	0.005
		1,000-10,000	0	0.0005	0.001
		≥10,000	0	0	0.0005
	100-1,000	<10	0.001	0.005	0.01
		10-100	0.0005	0.001	0.005
		100-1,000	0	0.0005	0.001
		1,000-10,000	0	0	0.0005
		≥10,000	0	0	0.0001
	≥1,000	<10	0.0005	0.001	0.005
		10-100	0	0.0005	0.001
		100-1,000	0	0	0.0005
		1,000-10,000	0	0	0.0001
		≥10,000	0	0	0

(1) Default

개인적 사용 Table A3.16

폐기물처리 : 적용할 수 없음

▪ IC = 0: 기타

제조	Table A1.1
혼합(조제)	Table A2.1
산업적 사용	Table A3.16

화평법 이행을 위한 화학물질
환경 중 농도 예측모형 매뉴얼

2017. 07

국립환경과학원
화학물질등록평가팀

목 차

1장. 개요

1절. 목적 및 활용	1
-------------------	---

2장. 환경농도 계산 기본 지침

1절. 환경농도 계산의 공간적 규모	4
2절. 환경 농도 계산을 위한 시간 기준	8
3절. 환경 매개변수들의 기본값	10

3장. 환경 중 예측농도 계산 모형

1절. 사용 방법	19
-----------------	----

4장. 모형을 이용한 금속물질 노출 농도 계산

5장. 한국형 다매체 동태모형

1절 환경매질(Compartments)	34
2절 오염물질의 환경동태 기작	38
3절. 모형 내 계산 수식과 매개변수	41
4절 다매체 동태모형 구조(excel) 설명	76

6장. 배출 에피소드(release episode) 동안의 사업장 규모의 농도 계산

1절. 대기에서의 PEClocal 계산	93
2절. 수체에서의 PEClocal 계산	95
3절. 저토에서의 PEClocal 계산	97
4절. 토양에서의 PEClocal 계산	98
5절. 지하수에서의 PEClocal 계산	103

6절. Koc 값의 추정	104
7절. 사업장 규모의 excel sheet 설명	106

7장. 하수처리시설(STP)

1절. 모형의 사용방법	108
--------------------	-----

1장. 개요

1절. 목적 및 활용

본 매뉴얼은 “화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률”(이하 “화평법”이라 한다) 제14조제1항제7호에 규정한 “화학물질 전 과정에서의 취급방법과 노출통제·관리방법을 기술한 노출시나리오를 포함한 위해성에 관한 자료(이하 “위해성 자료”라 한다)” 작성을 위한 노출평가 중 환경노출평가를 위한 환경매질의 오염도 계산을 위한 모형 구조 및 수식들에 대해 설명한다. 환경 노출평가는 최종적으로 사업장 규모의 환경매질의 오염도를 통해 이루어진다. 그리고 최종적인 사업장 규모의 농도는 전국규모의 농도를 배경농도로 하고 있기 때문에 이를 위해서는 전국 규모와 사업장 규모의 두 가지 공간 규모를 모두 계산하여야 한다.

따라서 다음의 내용들을 설명함으로써 사용자의 이해 및 활용을 높이하고자 한다.

- 환경농도 계산을 위한 기본 지침(2장)
- 환경 중 예측농도 계산 모형 사용(3장)
- 모형을 이용한 금속물질 노출 농도 계산(4장)
- 환경 중 예측농도 계산 모형 내 한국형 다매체 동태 모형(5장)
- 환경 중 예측농도 계산 모형 내 배출 동안의 사업장 규모의 농도 계산 (6장)

2장. 환경농도 계산 기본 지침

환경농도의 계산은 노출평가 중 환경노출을 위한 사전 단계로서 다음의 세 과정에 따라 순차적으로 수행한다.

- 1단계 : 취급조건과 위해성관리대책(예를 들면, 물질의 양, 공정 온도, 사용 및 활동의 기간 및 빈도, 폐수처리 시설 등)의 결정
- 2단계 : 위 1단계에 따른 대상물질의 배출량 계산
- 3단계 : 배출량에 따른 환경농도 계산

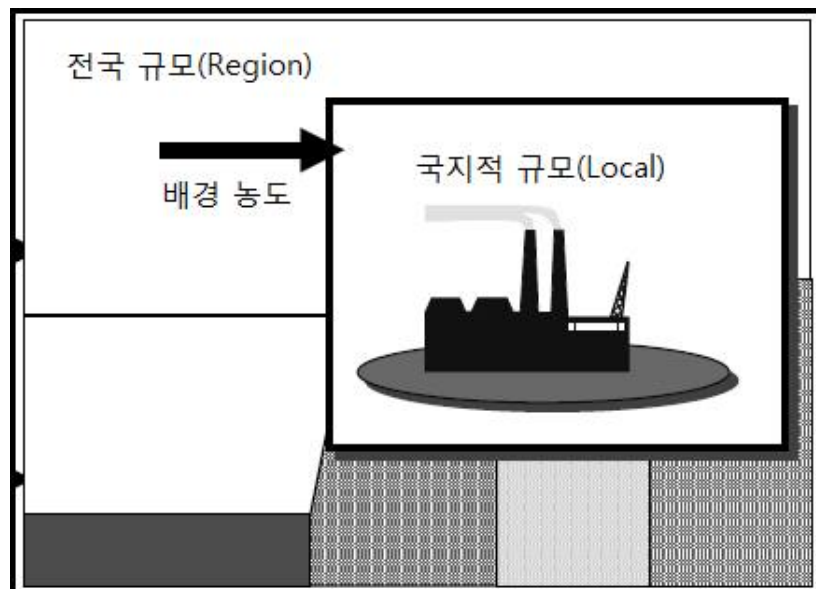
이러한 과정을 거쳐 계산된 환경농도를 이용하여 환경 노출평가가 이루어질 수 있다. 이때 노출평가는 그 결과에 따라 필요한 경우 재평가를 할 수 있다. 즉, 만약 안전성 확인 결과 취급조건과 안전성 확보조치가 제조 및 사용에 있어 위험을 관리하는데 미흡하거나 적절하지 않다고 판단되면, 이들 조건과 수단의 재설정을 통하여 노출에 대한 재평가를 할 수 있으며 이러한 재설정은 다음에 나열된 사항을 포함하여 모든 절차단계에서 가능하다. 단, 이때 재설정된 관리조건이나 수단은 현실을 좀 더 정확히 반영하는 것 이어야만 한다.

- 특정 위해성관리대책/취급조건의 추가 또는 재설정
- 위해성관리대책/취급조건과 연결되어야 하는 대표적인 현장 데이터(예: 배출 실측값)에 기초한 배출 추정 방법 적용 변수 조정
- 사용량의 지도화(mapping of uses) 및 각각의 개별 사용량(예: 시장 데이터 등)에 할당된 톤수(tonnage)의 정확하고 정교한 조정
- 환경 측정 데이터 사용 (대표적 환경 농도 혹은 측정된 하천 유량 등의 수용 환경의 특성)

- 높은 단계(higher tier)의 노출 추정 모형 사용
- 좀 더 정확한 물질의 물성값 (예: 물용해도, 증기압, 옥탄올/물 분배계수, 분해 속도), 분배 계수 등 사용

1절. 환경농도 계산의 공간적 규모

환경농도(혹은 노출평가)는 원칙적으로 두 가지 공간 규모에 대해 평가된다. 모든 점오염원 및 분산적 비점오염원(wide dispersive sources)을 포함하는 전국 규모의 regional assessment와 환경으로 배출되는 하나의 점오염원(a single point source) 혹은 분산적 비점오염원(wide dispersive sources)을 고려한 사업장 규모의 환경 오염도를 평가하는 local assessment가 그것이다. 전국 규모의 환경농도는 사업장 규모의 환경농도를 계산할 때 배경농도로 사용된다(그림 1). 환경농도는 일차적으로 주요 환경 매질인 대기, 물(민물), 침전물, 토양에 대해 계산되며, 이를 Predicted Environmental Concentration (PEC)라 부른다. PEC를 기초로 사업장/전국 환경오염에 따른 생태계의 노출수준(지렁이류와 어류에 대한 이차 독성(secondary poisoning) 등 포함)과 사람의 하루 섭취량을 평가할 수 있다.



[그림 1] 평가공간의 규모와 관계 (European chemicals bureau, 2003)

1. 전국 규모 평가(Regional assessment)

넓은 영역에서 점오염원 및 분산성 비점오염원으로부터 배출되는 물질의 농도는 전국을 대표하는 환경에서 평가된다. 전국 규모(regional scale)에서 물질의 동태는 배출 이후 이동과 변환 과정에 더 긴 시간을 가질 수 있다는 점에서 사업장 규모(local scale)에서의 동태와 다르다. 점오염원으로부터 먼 거리에 있거나 배출원들이 넓게 분산되어 있을 때, 물질의 추가적인 이동과 분배, 분해 등 다양한 환경과정들이 관여하게 되므로 이들의 영향이 고려된다. 즉, 매질 간(inter-media) 이동과 분해 기작이 상대적으로 중요하게 포함되어야 한다. 따라서 전국 규모의 환경농도를 계산하기 위해서는, 이들 다양한 환경과정들의 영향을 동시에 고려하는 한국형 다매체 동태모형이 사용된다.

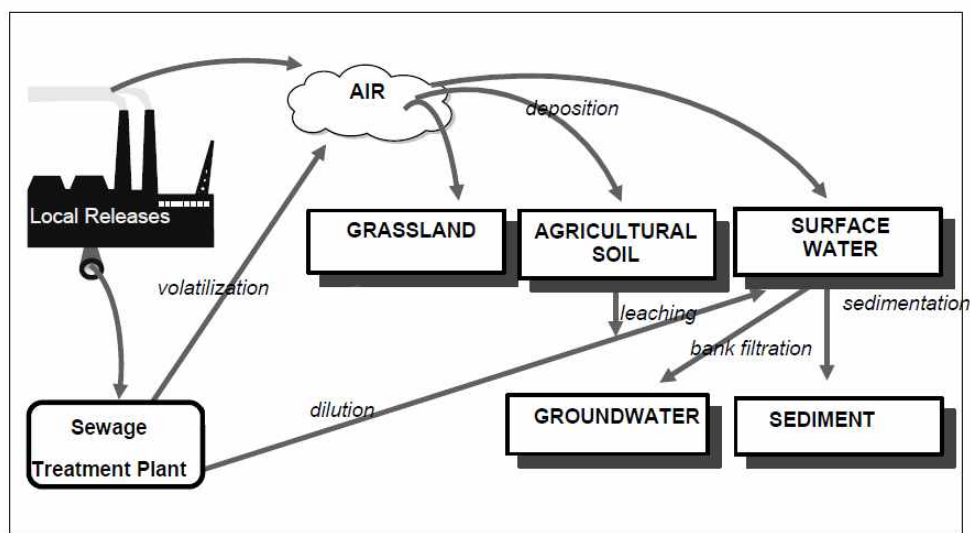
이 경우 각각의 환경 매질로의 모든 배출은 일정한 속도로 지속적으로 일어나는 것으로 가정하며, 충분한 시간이 지난 후 환경농도가 시간에 따라 변하지 않게 될 때를 가정하는 정상상태(steady-state)의 농도가 계산된다. 또한 이렇게 계산된 전국 농도(regional concentrations)는 사업장 농도(local concentrations)를 계산할 때 배경 농도 값으로 사용된다.

2. 사업장 규모의 평가 (local assessment)

사업장 규모의 평가는 제한적 공간 내의 소수의 특정 점오염원으로부터 배출이 일어나는 경우와 그 공간 내에서 화학물질의 분산적 사용 등으로 인해 배출이 일어나는 경우의 두 가지를 다룬다. 하나의 점오염원으로부터 배출되는 대상물질의 농도는 사업장 규모의 일반적인(generic) 표준지역환경에 대해 평가된다. 표준지역환경은 특정 장소가 아닌 미리 정의된 특성을 갖는 가상의 지역으로써 미리 주어진 ‘표준 환경’으로 정의되며 노출 대상은 그 지역 내부 혹은 경계에서 노출되는 것으로 가정한다. 이 경우 배출 에피소드(release episode) 기간 중에 일어난 (배출이 간헐적인지 지속적인지에는 관계없이) 배출총량을 그 기간의 총 일 수로 나눈 평균 하루 배출량을 사용하여 농도를 계산한다. 이러한 농도는 배출이 일어날 때 하루 동안(on a day) 오염원으로부터 어느 정도 이격된 거리 (표준 100m)에서 예상되는 농도를 나타낸다.

사업장 규모에서의 농도는 상대적으로 배출과 노출지점과의 거리가 짧기 때문에 초기의 혼합(mixing)과 부유물질(대기 중 입자, 물속의 부유고형물질)로의 흡착에 의한 영향만을 고려하여 계산된다. 따라서 분해(degradation)나 타매체로의 전이 등 다른 프로세스는 사업장 규모의 예측농도 계산에서는 고려되지 않는다.

[그림 2]에 사업장 규모에서의 배출 경로와 각 매질 사이에서의 주요 분배 프로세스를 나타내었다.



[그림 2] 사업장 규모에서의 분배 : 산업시설에서의 배출 시나리오 (ECHA, 2010)

가. 산업 시설에서의 배출

산업 시설의 배출 시나리오는 점 오염원인 특정 시설로부터 대기와 물, 토양으로 이루어지는 경우를 고려한다.

대기농도는 점오염원의 특정 높이에서 대기로 직접 배출이 된 후 확산이 일어나는 경우를 주로 고려하여 계산되며, 필요한 경우 폐수나 하수처리 설비에서 일어나는 대기 배출도 단독으로 혹은 추가적으로 고려할 수 있다. 수계의 농도는 산업 폐수처리시설(on-site industrial waste water treatment plant, WWTP) 혹은 도시하수처리시설(municipal sewage treatment plant, STP)에서 배출하는 경우를 고려하여 계산된다. 이때 산업시설 혹은 도시의

생물학적 처리시설에 대해서는 표준 모델을 사용해 처리 후의 배출량을 산정할 수 있다. 토양농도는 유럽에서는 STP의 슬러지를 농지(agricultural soil)에 활용할 때를 주로 고려하지만, 우리나라에서는 이를 고려하지 않고 대기로 배출된 물질의 침적(deposition)을 통해 일어나는 경우만 고려하여 계산한다.

나. 분산적 사용(wide dispersive uses)에 따른 배출

물질의 분산적 사용에 따른 배출은 소비자나 공공 영역(소규모, 비산업 회사 포함)의 많은 이용자들에 의해 물질이 사용되는 과정에서 배출되는 경우를 의미한다. 그러나 물질의 분산적 사용(wide dispersive use)에 따른 배출에 의한 오염도를 사업장 규모에 대해서 평가하는 것은 그 최초의 배출은 분산적이라 하더라도 그들이 다시 모두 모여져서 궁극적으로는 점오염원의 형태로 배출이 이루어지는 경우만을 포함한다. 따라서 배출이 기본적으로 표준지역 내의 하수처리시설로 모아져 처리된 후에 배출되는 경우만을 고려하며, 결과적으로 점오염원으로 간주되는 하수처리시설에서 물로의 배출만 고려된다. 그 밖의 분산적 사용(wide dispersive uses)에 따른 대기과 토양으로의 직접적 배출은 사업장 규모에서는 고려되지 않으며 전국 규모에서만 고려된다.

2절. 환경 농도 계산을 위한 시간 기준

1. 전국 규모(regional scale)

물질의 전국 규모(regional) 배출은 연간 지속적으로 발생한다고 가정한다. 따라서 평균 노출 수준(환경 농도)은 전국 규모(regional scale)의 정상상태(steady-state) 모델로 연간 배출 속도를 이용해서 산정된다. 그리고 이들 환경농도(PEC)는 이어지는 위해성평가 과정에서 장기 독성 자료와 비교된다.

특히, 환경으로의 배출은 총 사용기간에 걸쳐 지속적으로 발생하는 것으로 가정한다. 한 시장 연도(marketing year)의 배출은 전년도 시장과 미래 시장의 배출량이 더해지므로, 물질의 “market history“와 ” market future“가 중요한 역할을 한다는 것을 고려하여야 한다. 따라서 등록자(registrant)는 스스로 물질의 생산-주기(product-cycle)가 정상 상태(steady state)에 도달하는지에 대해 인식해야 한다. 이러한 정상 상태(steady state)는 연간 판매량(volume)이 사용기한 끝에 폐기 처리되어 다른 제품으로 교체되거나 또는 경쟁으로부터 시장 점유율을 잃거나 얻는 경우에 의해 도출됨을 의미한다. 따라서 이러한 경우, 현재의 연간 생산량에 사용기간 동안 제품의 배출 계수를 곱하여 연간 배출량을 추정할 수 있다.

2. 사업장 규모(local scale)

물질의 사업장 배출(local releases)은 지속적일수도 혹은 간헐적일 수 있다. 지속적 배출의 특징은 거의 일정한 배출 속도로 장기적인 기간(예를 들어, 220일 작업일수)동안 배출된다. 대기와 물로의 배출속도는 하루(24시간) 평균으로 계산한다. 이것은 배출이 하루 중 단지 몇 시간만 일어나더라도, 이것을 24시간으로 평균함을 의미한다.

한편 대부분의 화학물질이 직접적으로 토양으로 배출되지 않으며 토양은 대기나 지표수와 비교해 덜 동적이므로, 육상 생물로의 노출은 배출 속도의 일시적인 변동에 영향 받지 않는다고 가정한다. 또한 포식 동물과 사람의 경우, 이러한 변동은 그들 수명과 만성 효과가 고려되는 시간 규모와 비교해 다소 단기적인 성향을 가진다. 따라서 포식 동물과 사람, 육상 생물들은 장기간의 평균 수준으로 노출된다고 가정하며, 이것은 연간 평균 배출 속도

로부터 얻어진다.

각 매질의 PEC 계산을 위한 대상별·매질별 시간적 길이의 기준은 다음 [표 1]과 같다.

[표 1] 농도 계산 기준

환경	노출 매체	노출시나리오	
		전국 규모	사업장 규모
물	민물	민물의 정상상태 농도	배출이 발생할 동안의 농도(연평균)
	침전물	침전물의 정상상태 농도	위 민물과의 평형 농도
토양	농경지 토양	농경지의 정상상태 농도	농경지 30day 평균 농도
대기	대기	대기의 정상상태 농도	점오염원 or STP로부터 100m에서의 대기농도(연평균)

3절. 환경 매개변수들의 기본 값

전국과 사업장 규모의 PECs는 우리나라 환경에서 물질의 위해성에 관한 초기 수준의 평가결과를 획득하는 것이 일반적인 목적이기 때문에, 우리나라의 환경을 잘 대표하는 하나의 표준화된 일반적 환경이 정의될 필요가 있다. 따라서 현실의 환경 특성은 분명 시간과 공간에 따라 다양하겠지만, 이 평가의 목적상 우리나라를 잘 대표하도록 최적화 된 환경 매질의 특성 변수들의 기본값(default values)들이¹⁾ 결정되어 있으며 그 값들이 환경 중 예측농도 계산 시에 사용된다. 해당 매개변수들의 값 및 민감도 정도를 표 2-2에 나타냈으며 상세한 내용을 원할 경우 국립환경과학원 “화평법 대비 화학물질 안전성평가 핵심기술 개발(II)”¹⁾ 보고서를 참조 할 수 있다.

1) 국립환경과학원(2012), 화평법 대비 화학물질 안전성평가 핵심기술 개발(II) 최종보고서.

[표 2] 한국형 다매체 환경동태 예측모형 확정된 매개변수 대푯값

민감도	구분	Variable name	unit	국내 대푯값	문헌값	비고
“높음”	기상	TEMP.R	[K]	2.85E+02	2.85E+02	기상청
“높음”	기상	WINDspeed.R	[m.s ⁻¹]	2.13E+00	2.13E+00	기상청
“높음”	물질	Molweight	[kg.mol ⁻¹]	화학물질별	-	물질별
“높음”	물질	kdeg.soil	[s ⁻¹]	화학물질별	-	물질별
“높음”	물질	Kp	[-]	화학물질별	-	물질별
“높음”	물질	Kow	[-]	화학물질별	-	물질별
“높음”	물질	Pvap25	[Pa]	화학물질별	-	물질별
“높음”	물질	Sol25	[mol.m ⁻³]	화학물질별	-	물질별
“높음”	물질	Tm	[K]	화학물질별	-	물질별
“높음”	물질	kdeg.sed	[s ⁻¹]	화학물질별	-	물질별
“높음”	물질	kdeg.water	[s ⁻¹]	화학물질별	물질별	물질별
“높음”	물질	kdeg.air	[s ⁻¹]	화학물질별	물질별	물질별
“높음”	물질	H0vap	[J.mol ⁻¹]	5.00E+04	물질별	-
“높음”	환경	Q.10	[-]	2.85E+00	1.00E+00~2.85E+00 ²⁴⁾	최적화
“높음”	환경	EROSION.s2R	[m.s ⁻¹]	9.51E-13	6.34E-12~9.51E-12 ³⁾ 1.26E-11~6.34E-11 ³⁾ 4.87E-11 ³⁾	최적화
“높음”	환경	HEIGHT.aR	[m]	1.00E+03	6.09E+02~1.29E+03 ²⁰⁾	
“높음”	환경	CORGsusp1.R	[-]	1.00E-01	4.00E-02 ¹⁾ , 1.00E-01 ⁸⁾ , 2.00E-03 ¹⁰⁾	최적화
“높음”	환경	C.OHrad.aR	[cm ⁻³]	5.00E+05	1.50E+06 ¹²⁾ 5.50E+05 ¹¹⁾	최적화
“높음”	환경	COLLECTeff.R	[-]	2.00E+05	2.50E+02~ 3.10E+06 ¹⁷⁾	최적화

[표 2] 한국형 다매체 환경동태 예측모형 확정된 매개변수 대푯값(계속)

민감도	구분	Variable name	unit	국내 대푯값	문헌값	비고
“높음”	환경	FATfish1.R	[-]	5.00E-02	5.00E-03~2.00E-01, 평균 : 5.00E-02 ^{18),19)}	최적화
“높음”	환경	BACT.wR	[CFU.mL ⁻¹]	4.00E+04	4.00E+04 ¹⁵⁾ 9.00E+02~1.30E+05 ¹⁶⁾	최적화
“높음”	환경	BIOMass.w1R	[kg.m ⁻³]	1.00E-03	1.00E-03	최적화
“높음”	환경	CORG.s1R	[-]	7.00E-02	2.00E-02 ¹⁾ 4.53E-03 ¹⁰⁾ 7.00E-02 ¹³⁾	최적화
“높음”	환경	CORG.sd1R	[-]	1.00E-01	4.00E-02 ¹⁾ 0.03~0.05 ²⁾ 2.00E-01 ¹⁰⁾	최적화
“높음”	환경	g.v1R	[m.s ⁻¹]	3.17E-03	1.17E-05~3.17E-03 ¹¹⁾	최적화
“높음”	환경	RHOSolid	[kg.m ⁻³]	2.65E+03	2.65E+03 ⁵⁾	최적화
“높음”	물질	Efact.aR	[-]	화학물질별	물질별	물질의 배출특성 에 따라
“높음”	물질	E.aR	[mol.s ⁻¹]	화학물질별	물질별	물질의 배출특성 에 따라
“높음”	물질	Use.R	[mol.s ⁻¹]	화학물질별	물질별	물질의 배출특성 에 따라
“높음”	환경	kwsd.sed.sdR	[m.s ⁻¹]	2.78E-07	-	최적화
“높음”	환경	SOLIDdiff.s1R	[m ² .s ⁻¹]	6.37E-12	-	최적화
“높음”	환경	DEPTH.sd1R	[m]	1.00E-02	1.00E-02 ²⁶⁾	
“보통”	기상	RAINrate.R	[m.s ⁻¹]	4.32E-08	4.32E-08	기상청
“보통”	환경	JungeConst	[Pa.m]	1.72E-01	1.72E-01 ¹⁰⁾	
“보통”	환경	AREAland.R	[m ²]	1.00E+11	1.00E+11 ⁷⁾	통계청
“보통”	환경	FRACfresh.R	[-]	2.80E-02	2.80E-02	통계청

[표 2] 한국형 다매체 환경동태 예측모형 확정된 매개변수 대푯값(계속)

민감도	구분	Variable name	unit	국내 대푯값	문헌값	비고
“보통”	환경	FRACnatsoil.R	[-]	6.45E-01	6.45E-01	통계청
“보통”	환경	FRACagsoil.R	[-]	1.96E-01	1.96E-01	통계청
“보통”	환경	FRACothersoil.R	[-]	1.31E-01	1.31E-01	통계청
“보통”	환경	BACT.test	[CFU.mL ⁻¹]	4.00E+04		공통사용
“보통”	물질	Ea.OHrad	[J.mol ⁻¹]	6.00E+03	-13.97E+03 ~24.3E+03 ²³⁾	물질별
“보통”	물질	H0sol	[J.mol ⁻¹]	1.00E+04	물질별	
“보통”	환경	Kas.air.aR	[m.s ⁻¹]	1.57E-03	9.54E-04~3.29E-03, 평균 : 1.57E-03 ¹¹⁾	
“보통”	환경	EROSION.s1R	[m.s ⁻¹]	9.51E-13	6.34E-12 ~9.51E-12 ³⁾ 1.26E-11 ~6.34E-11 ³⁾ 1.11E-11 ³⁾	최적화
“보통”	환경	EROSION.s3R	[m.s ⁻¹]	9.51E-13	6.34E-12 ~9.51E-12 ³⁾ 1.26E-11 ~6.34E-11 ³⁾ 3.63E-11 ³⁾	최적화
“보통”	환경	AEROSOLdeprate.R	[m.s ⁻¹]	3.00E-03	3.00E-03 ¹⁾	
“보통”	환경	FRACa.s1R	[-]	2.40E-01	4.15E-01 ⁴⁾ 2.00E-01 ¹⁾ 3.00E-01 ¹⁰⁾ 2.40E-01 ¹³⁾	
“보통”	환경	FRACw.sdR	[-]	6.30E-01	6.30E-01 ^{1), 10)}	
“보통”	환경	DEPTH.w1R	[m]	4.34E+00	4.34E+00 ⁷⁾ 4.50E+00 ⁹⁾	
“보통”	환경	GROWTHrate.v1R	[s ⁻¹]	1.61E-07	1.61E-07 ²⁰⁾	
“보통”	환경	SUSP.w1R	[kg.m ⁻³]	1.77E-02	1.77E-02 ⁶⁾	
“보통”	환경	SURFaerosol.R	[m ² .m ⁻³]	2.64E-03	2.64E-03 ¹⁴⁾ 2.60E-04 ~3.30E-04 ¹⁷⁾ 1.50E-04 ~1.10E-03 ²⁵⁾	
“보통”	환경	HARVESTeff.v2R	[-]	1.00E+00	1.00E+00 ¹⁰⁾	

[표 2] 한국형 다매체 환경동태 예측모형 확정된 매개변수 대푯값(계속)

민감도	구분	Variable name	unit	국내 대푯값	문헌값	비고
“보통”	환경	LAI.v1R	[-]	3.90E+00	1.31E+00~5.70E+00, 평균 : 3.13E+00 ¹¹⁾	
“보통”	환경	SETTLvelocity. R	[m.s ⁻¹]	2.89E-05	1.00E-05~1.50E-03 ²⁷⁾	
“보통”	환경	AREAsea.R	[m ²]	6.06E+10	6.06E+10 ¹⁰⁾	
“보통”	환경	RHO.v1R	[kg.m ⁻³]	1.00E+03	1.00E+03 ²¹⁾	
“보통”	환경	FRACl.v1R	[-]	1.50E-02	2.00E-02, 1.00E-02, 6.00E-02 ²²⁾	
“보통”	환경	FRACw.s1R	[-]	1.60E-01	2.35E-01 ⁴⁾ 1.00E-01 ¹⁾ 2.00E-01 ¹⁰⁾ 1.60E-01 ¹³⁾	
“보통”	환경	IFWETaerosol.v 1R	[-]	1.00E-01	1.00E-01 ¹⁾	
“보통”	환경	SOLIDadv.s1R	[m.s ⁻¹]	6.34E-12	-	물질특성에 따라
“보통”	환경	SOLIDadv.s3R	[m.s ⁻¹]	6.34E-12	-	물질특성에 따라
“보통”	환경	g.v2R	[m.s ⁻¹]	1.00E-03	0.00E-00~3.95E-03 ¹¹⁾	
“보통”	환경	VEGmass.v1R	[kg.m ⁻²]	1.20E+00	-	
“보통”	환경	CORGsusp2.R	[-]	1.00E-01	-	민물값 적용
“보통”	환경	FRACrun.s1R	[-]	2.50E-01	-	
“보통”	환경	FRACinf.s1R	[-]	2.50E-01	-	
“보통”	환경	SOLIDdiff.s3R	[m ² .s ⁻¹]	6.37E-12	-	
“보통”	환경	Q.v1R	[m.s ⁻¹]	8.40E-09	-	
“낮음”	환경	k0.OHrad	[cm ³ .s ⁻¹]	7.90E-11	-	
“낮음”	환경	FRAC.w1C.w1R	[-]	0.00E+00	-	국내환경
“낮음”	환경	FRAC.wL.w1R	[-]	1.00E+00	-	국내환경

[표 2] 한국형 다매체 환경동태 예측모형 확정된 매개변수 대푯값(계속)

민감도	구분	Variable name	unit	국내 대푯값	문헌값	비고
“낮음”	환경	FRAC.w1R.w1C	[-]	0.00E+00	-	국내 환경
“낮음”	환경	DEPTH.w2R	[m]	1.00E+01	2.00E+01 ¹⁰⁾	
“낮음”	환경	FRACa.s2R	[-]	2.40E-01	4.15E-01 ⁴⁾ 2.00E-01 ¹⁾ 3.00E-01 ¹⁰⁾ 2.40E-01 ¹³⁾	
“낮음”	환경	FRACa.s3R	[-]	2.40E-01	4.15E-01 ⁴⁾ 2.00E-01 ¹⁾ 3.00E-01 ¹⁰⁾ 2.40E-01 ¹³⁾	
“낮음”	환경	CORG.s2R	[-]	7.00E-02	2.00E-02 ¹⁾ 4.53E-03 ¹⁰⁾ 7.00E-02 ¹³⁾	최적화
“낮음”	환경	CORG.s3R	[-]	7.00E-02	2.00E-02 ¹⁾ 4.53E-03 ¹⁰⁾ 7.00E-02 ¹³⁾	최적화
“낮음”	환경	FRACw.s2R	[-]	1.60E-01	2.35E-01 ⁴⁾ 1.00E-01 ¹⁾ 2.00E-01 ¹⁰⁾ 1.60E-01 ¹³⁾	
“낮음”	환경	FRACw.s3R	[-]	1.60E-01	2.35E-01 ⁴⁾ 1.00E-01 ¹⁾ 2.00E-01 ¹⁰⁾ 1.60E-01 ¹³⁾	
“낮음”	환경	IFWETgas.v1R	[-]	1.00E-01	1.00E-01 ¹⁾	
“낮음”	환경	FATfish2.R	[-]	5.00E-02	0.05 ¹⁸⁾ 0.005~0.2 ¹⁹⁾	
“낮음”	환경	GROWTHrate.v2R	[s ⁻¹]	1.26E-07	1.26E-07 ¹⁰⁾	
“낮음”	환경	HARVESTeff.v1R	[-]	1.63E-07	1.63E-07 ¹⁰⁾	
“낮음”	환경	kwsd.water.wR	[m.s ⁻¹]	2.78E-06	2.78E-06 ¹¹⁾	
“낮음”	환경	LAI.v2R	[-]	2.70E+00	0~3 ¹¹⁾	
“낮음”	환경	RHO.v2R	[kg.m ⁻³]	9.00E+02	-	
“낮음”	물질	biodeg	[r/r-i/p]	i	물질별	물질별
“낮음”	환경	CORG.sd2R	[-]	1.00E-01	-	민물값 적용
“낮음”	환경	FRACrun.s2R	[-]	2.50E-01	-	

[표 2] 한국형 다매체 환경동태 예측모형 확정된 매개변수 대푯값(계속)

민감도	구분	Variable name	unit	국내 대푯값	문헌값	비고
“낮음”	환경	FRACrun.s3R	[-]	2.50E-01	-	
“낮음”	환경	DEPTH.sd2R	[m]	3.00E-02	-	
“낮음”	환경	FRACinf.s2R	[-]	2.50E-01	-	
“낮음”	환경	FRACinf.s3R	[-]	2.50E-01	-	
“낮음”	환경	BIOMass.w2R	[kg.m ⁻³]	1.00E-03	-	
“낮음”	환경	FRACl.v2R	[-]	1.20E-02	-	
“낮음”	환경	FRACw.v1R	[-]	8.00E-01	-	
“낮음”	환경	FRACw.v2R	[-]	8.50E-01	-	
“낮음”	환경	IFDRYaerosol.v1R	[-]	1.00E-01	-	
“낮음”	환경	IFDRYaerosol.v2R	[-]	5.00E-02	-	
“낮음”	환경	IFWETaerosol.v2R	[-]	2.50E-02	-	
“낮음”	환경	IFWETgas.v2R	[-]	1.40E-01	-	
“낮음”	환경	kesc.aR	[s ⁻¹]	3.66E-10	-	
“낮음”	환경	PRODsusp.w1R	[kg.s ⁻¹]	8.88E-01	-	
“낮음”	환경	PRODsusp.w2R	[kg.s ⁻¹]	1.92E+01	-	
“낮음”	환경	SOLIDadv.s2R	[m.s ⁻¹]	6.34E-12	-	
“낮음”	환경	SOLIDdiff.s2R	[m ² .s ⁻¹]	6.37E-12	-	
“낮음”	환경	SUSP.w2R	[kg.m ⁻³]	5.00E-03	-	
“낮음”	환경	VEGmass.v2R	[kg.m ⁻²]	1.80E+00	-	
“낮음”	물질	Efact.s1R	[-]	0.00E+00	물질별	물질별
“낮음”	물질	Efact.s2R	[-]	0.00E+00	물질별	물질별

[표 2] 한국형 다매체 환경동태 예측모형 확정된 매개변수 대푯값(계속)

민감도	구분	Variable name	unit	국내 대푯값	문헌값	비고
“낮음”	물질	Efact.s3R	[-]	0.00E+00	물질별	물질별
“낮음”	물질	Efact.w1R	[-]	0.00E+00	물질별	물질별
“낮음”	물질	Efact.w2R	[-]	0.00E+00	물질별	물질별
“낮음”	환경	SEAcurent.w2C.w2R	[m.s ⁻¹]	3.00E-02	-	
“낮음”	환경	Q.v2R	[m.s ⁻¹]	2.50E-08	2.50E-08 ¹¹⁾	

- 1) 다매체 모델을 이용한 전국 규모의 환경오염지도 작성 및 오염원 관리시스템 구축, 2008
- 2) 하천, 호소 퇴적물 모니터링 시범사업, 국립환경과학원, 2008
- 3) 한국토양유실량 및 토양유실위험 지역분석, 김주훈 외, 2009
- 4) 한국 산림토양의 모암별 이화학적 특성, 정진현 외, 2003
- 5) 토양환경공학, 한국지하수토양환경학회
- 6) 2011년 환경부 전국 수질측정망 자료
- 7) 통계청(하천수량/하천면적)
- 8) 도시 산간지역의 통합환경관리를 위한 수용체 중심의 위해도 분석 시스템 개발 적용연구, 서울대학교 환경대학원, 2004 ; 한강 측정
- 9) 환경오염물질의 통합진단 평가 연구(3), 국립환경과학원, 2009 ; 2007 전 지점 측정 평균값(NIER)
- 10) 이윤아, 2005, 다매체모형(KoEFT-PBTs)을 통한 다이옥신류 화합물의 국가규모 환경거동 평가, 서울대학교 환경대학원, 박사학위논문
- 11) KOEFT-PBTs(v2.0) 모형 결과값
- 12) Globo-POP 모형 값(중국+한국+일본지역) : 겨울(5*105), 여름(25*105)
- 13) 토양오염 위해성 평가지침, 환경부, 2006
- 14) J.E. Jung et al, 2010, Proximity of field distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to chemical equilibria among air, water, soil, and sediment and its implications to the coherence criteria of environmental quality objectives, ES&T, 8056-8061.
- 15) Standardized biodegradability tests: Extrapolation to aerobic environments, 1995
- 16) Effects of bacterial counts and temperature on the biodegradation of bisphenol A in river water, 2002
- 17) 내분비계 장애물질의 환경 중 거동연구(II), 국립환경연구원, 2003
- 18) Determination of lipid content in fish samples from bioaccumulation studies: contributions to the revision of guideline OECD 305, Christian schlechtriem et al., 2012
- 19) The Relevance of Aquatic Organisms' Lipid content to the Toxicity of Lipophilic Chemicals: Toxicity of Lindane to Difference Fish Species, Harald J. Geyer et al., 1994
- 20) Holzworth 방법에 의한 한국의 혼합고 추정, 장영수 등, 1997
- 21) Bennett et al., 1998, General formulation of characteristic travel distance for semivolatile organic chemicals in a multimedia environment, ES&T, 32(24), 4023 - 4030
- 22) F.Wegmann et al., 2004, Influence of vegetation on the environmental partitioning of DDT in Two gloval multimedia models, ES&T, 38(5), 1505-1512
- 23) Beyer et al., 2003, Temperature dependence of the characteristic travel distance, ES&T, 37(4), 766-771
- 24) C.N.Sawyer and G.A Rohlich, Sewage Works J. 11:946(1939) , 환경화학 349~350
- 25) Kenneth T. Whitby, 1978, The physical characteristics of sulfur aerosols, Atmospheric environment, 12, 135-159
- 26) Development and evaluation of an environmental multimedia fate model CHEMGL for the Great Lakes region, 2003
- 27) 한강 하구역 점착성 퇴적물 침강속도와 지엽적/공간적 변화, 2008

3장. 환경 중 예측농도 계산 모형

환경 중 예측농도의 계산은 환경 중 예측농도 계산 모형(다운로드 경로 : www.nier.go.kr)을 이용하여 계산할 수 있다. 모형 내에서 환경농도의 계산은 모형 내 한국형 다매체동태모형을 이용한 정상상태(steady-state)에서의 전국 규모의 환경농도와 다매체동태모형이 아닌 별도의 계산방법을 이용한 배출 에피소드(release episode) 동안의 사업장 규모의 농도를 각각 계산하여 이를 합산한 값을 최종 사업장 규모의 환경예측농도로 산출한다.

단, 전국규모의 농도를 계산할 때, 다음의 각 경우에는 제공된 모형을 사용하지 않거나 제한된 방식으로 사용하는 것을 원칙으로 한다.

- ① 대상물질이 중금속이나 다른 무기물인 경우(수은을 제외한 일부 중금속의 경우 초기 수준의 평가를 목적으로 하는 경우 모형사용 가능, 본 매뉴얼의 4장 “모형을 이용한 금속물질 노출 농도 계산” 부분 참조)
- ② 대상물질이 혼합물이며 혼합물 전체의 환경 농도를 예측하고자 하는 경우(혼합물 중의 특정 개별 물질의 농도를 예측하고자 하며, 그 물질이 유기물이면 모형사용 가능)
- ③ 분자구조가 명확하지 않은 유기물질(예, 생체에서 유래한 거대분자)

1절. 사용 방법

다운로드한 압축파일을 풀면 Environmental Concentration Estimation 폴더 내에 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산.xls’ 1개의 엑셀 파일과 사용자 매뉴얼 1개의 한글파일을 확인 할 수 있다.

‘환경 중 예측농도(PEC) 계산.xls’ 모형은 한국형 다매체 동태모형과 사업장 규모의 배출 에피소드 동안의 농도 계산 수식이 합쳐진 것으로 실제적으로는 복잡하고 많은 매개변수들과 수식들이 사용되고 있으나 사용자의 편의를 위해 사용자는 하나의 시트(‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’ 시트) 안에서 기본적인 입력정보를 입력하면 바로 결과를 확인할 수 있도록 되어있다. 따라서 사용자는 본 지침서의 사용방법에 따라 간단히 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’ 시트 내에서 몇 가지 매개변수의 값을 입력하거나 선택하면 결과를 확인할 수 있다.

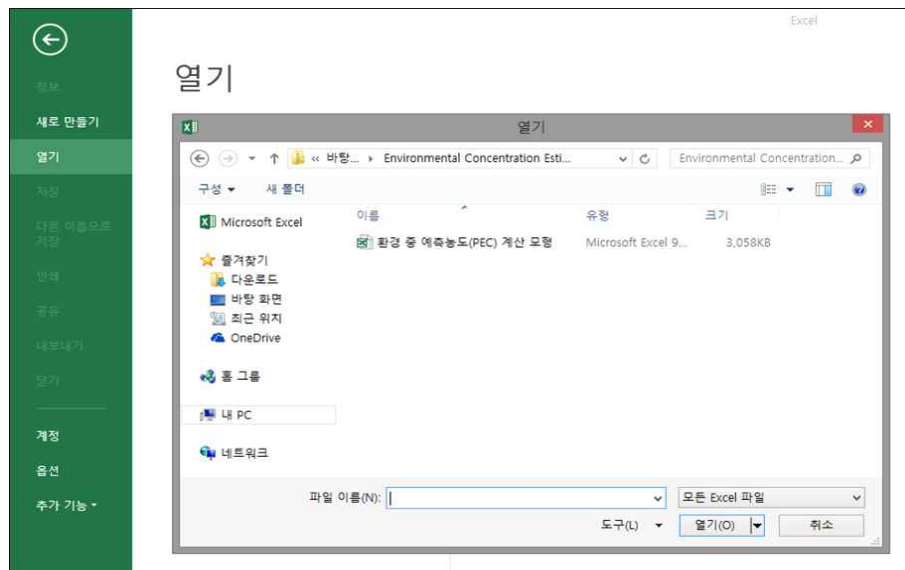
만일, 모형 구조, 사용 매개변수 그리고 수식 등에 대해서 확인하고자 할 경우에는 본 매뉴얼의 5장과 6장의 내용을 확인하면 된다.

모형 실행을 위해서는 사용자의 컴퓨터 환경 운영체제는 Windows XP, 7, 8, Mac 모두 가능하며, MS office Excel 2003, 2007, 2010, 2013 중 하나가 반드시 설치되어 있어야 한다.

1. 모형의 실행

가. 엑셀 프로그램에서 열기(그림 3)

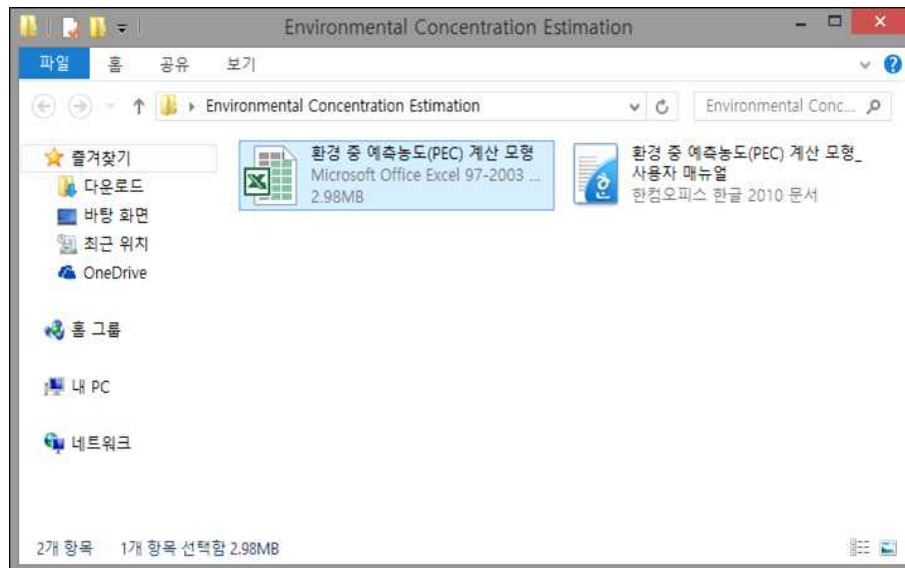
- 엑셀 프로그램을 실행한다.
- 메뉴에서 ‘열기’를 클릭하고 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산 모형.xls’ 파일을 불러온다.



[그림 3] 엑셀 프로그램으로 모형 열기

나. 폴더에서 모형 직접 열기(그림 4)

- Environmental Concentration Estimation 폴더를 더블클릭한다.
- 폴더 안 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산.xls’ 파일을 더블 클릭하여 파일을 연다.



[그림 4] 폴더에서 직접 모형 열기

모형은 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’이라는 이름을 가진 하나의 스프레드시트로 구성되어 있다(그림 6). 화면은 크게 2 부분으로 구분되는데 화면의 왼쪽 부분에는 사용자가 계산을 위해 필요한 데이터를 입력하는 입력칸이 있고, 화면의 오른쪽 부분에는 결과 값인 환경 중 예측농도(PEC)를 확인할 수 있는 출력칸이 있다.

SimpleBox_Korea

version 2.0

입력 (Input)		
배출정보 (Emissions) 사용자 입력 단위		
*배출계수(입력사항), 배출량(입력사항) 둘 중 하나의 입력. 둘 다 입력하면 배출량이 입력값으로 이용됨.		
전국규모 (Regional scale)		
전국 총 취급량 (Use volume)	100	톤/년
대기로의 배출계수 (Emission Factor air)	-	-
임수로의 배출계수 (Emission Factor water)	1	-
자연지로의 배출계수 (Emission Factor natural soil)	1	-
농경지로의 배출계수 (Emission Factor agricultural soil)	1	-
도시산업용지로의 배출계수 (Emission Factor other soil)	1	-
사업장 규모 (Local scale)		
사업장 취급량 (Tonnage)	10	톤/년
대기로의 배출계수 (Fraction of tonnage released to air)	0.1	-
임수(또는 하수처리시설)로의 배출계수 (Fraction of tonnage released to waste water)	0.01	-
대기로의 배출량 (Local direct emission to air during episode)	0.001	톤/년
임수(또는 하수처리시설)로의 배출량 (Local emission to wastewater during episode)	0.001	톤/년
1년당 배출일수 (Number of emission days per year)	220	일/년
물질정보 (Substance properties) 출력 사용자 입력 단위		
이름 (Substance name)	DEHP	-
분자량 (Molecular weight)	390.56	g/mol
녹는점 (Melting point)	-55	°C
옥탄올/물 분배계수 (Octanol/water Partition coefficient, Kow)	3.98E+07	-
증기압 (Vapor Pressure)	1.89E-05	Pa
용기압 측정온도	25	°C
물용해도 (Water Solubility)	2.70E-01	mg/L
물용해도 측정온도	25	°C
Biodegradability test result	readily biodegradable	-
kdeg air (Gas phase degradation Rate constant at 25 °C)	3.51E-06	s ⁻¹
kdeg water (Dissolved phase degradation Rate constant at 25 °C)	2.09E-06	s ⁻¹
kdeg sed (Bulk degradation Rate constant standard sediment at 25 °C)	1.04E-10	s ⁻¹
kdeg soil (Bulk degradation Rate constant standard soil at 25 °C)	1.94E-09	s ⁻¹
Chemical class for Koc-QSAR	Predominantly hydrophobic	-
유기탄소 분배계수 (Organic carbon - water partition coefficient, Koc)	6.69E+01	L/kg
하수처리시설(STP) 정보 (STP properties) 출력 사용자 입력 단위		
STP시설여부(y/n)	yes	-
하수처리시설 용량 (Capacity of the local STP)	10000	명

출력 (Output)		
전국 규모 농도 Regional concentration (steady-state) 농도 단위		
정상상태의 전국규모 대기농도(Air)	1.14E-07	mg m ⁻³
정상상태의 전국규모 임수농도(Fresh water)	1.32E-04	mg L ⁻¹
정상상태의 전국규모 자연지농도(Natural soil)	4.23E-01	mg kg(w) ⁻¹
정상상태의 전국규모 농경지농도(Agricultural soil)	7.29E-01	mg kg(w) ⁻¹
정상상태의 전국규모 도시산업용지농도(Other soil)	2.27E+00	mg kg(w) ⁻¹
사업장 규모 농도 Local concentration (during release episode) 농도 단위		
1기PEC (Annual average local PEC in air (total))	8.68E-04	mg m ⁻³
수용PEC (Annual average local PEC in surface water (dissolved))	1.17E-04	mg L ⁻¹
자토PEC (Local PEC in fresh water sediment during emission episode)	4.14E-04	mg kg(w) ⁻¹
농경지PEC (Local PEC in agricultural soil, averaged over 100 days)	5.13E-01	mg kg(w) ⁻¹
목초지PEC (Local PEC in grass land, averaged over 100 days)	5.22E-01	mg kg(w) ⁻¹
하수처리시설 유출수 농도 (Concentration in substance in the STP effluent)	1.59E-04	mg L ⁻¹

* Note: 위 사업장 규모 농도값은 전국규모 농도(배출농도) 값이 이미 첨산된 값이다.

[그림 5] 모형 화면 구성

2. 데이터 입력 및 출력 정보

입력(Input) 부분에 입력해야 할 정보는 대상 물질의 배출정보(Emissions), 물성정보(Substance properties), 하수처리정보(Sewage treatment)의 세 부분으로 나뉜다. 각각의 부분에 입력해야 할 매개변수는 다음 [표 3], [표 4], [표 5]와 같다. 배출정보 입력 부분에서 배출계수, 배출량 둘 중 하나만 입력하도록 하며, 배출계수 및 배출량을 둘 다 입력했을 경우 배출량을 기준으로 환경 중 농도가 산정된다.

[표 3] 배출정보(Emissions) 입력 매개변수

매개변수	단위
전국 총 취급량, 사용량 (Use volume)	tonnes.yr-1
전국 규모 대기로의 배출계수 (Emission Factor air)	-
전국 규모 담수로의 배출계수 (Emission Factor water1)	-
전국 규모 자연지로의 배출계수 (Emission Factor natural soil)	-
전국 규모 농경지로의 배출계수 (Emission Factor agricultural soil)	-
전국 규모 도시산업용지로의 배출계수 (Emission Factor other soil)	-
전국 규모 대기로의 배출량 (EMISSION to air)	tonnes.yr-1
전국 규모 담수로의 배출량 (EMISSION to water)	tonnes.yr-1
전국 규모 자연지로의 배출량 (EMISSION to natural soil)	tonnes.yr-1
전국 규모 농경지로의 배출량 (EMISSION to agricultural soil)	tonnes.yr-1
전국 규모 도시산업용지로의 배출량 (Emission to agricultural soil)	tonnes.yr-1
사업장 취급량, 사용량	tonnes.yr-1
사업장 규모 대기로의 배출계수 (Fraction of tonnage released to air)	-
사업장 규모 담수(or 하수처리시설)로의 배출계수 (Fraction of tonnage released to waste water)	-
사업장 규모 대기로의 배출량	tonnes.yr-1
사업장 규모 담수(or 하수처리시설)로의 배출량	tonnes.yr-1
1년 중 배출일수, 조업일수 (Number of emission days per year)	d.yr-1

[표 4] 물성정보(Substance properties) 입력 매개변수

매개변수	단위
대상 물질 이름 (Substance name)	-
분자량 (Molecular weight)	g.mol-1
녹는점 (Melting point)	oC
옥탄올/물 분배계수 (Octanol/water Partition coefficient, Kow)	-
증기압 (Vapor Pressure)	Pa
증기압 측정온도	oC
물용해도 (Water Solubility)	mg.L-1
물용해도 측정온도	oC
Biodegradability 테스트 결과	-
25℃ 기체상 분해속도상수 (kdeg.air)	s-1
25℃ 용해상 분해속도상수 (kdeg.water)	s-1
25℃ 표준토양에서의 분해속도상수 (kdeg.sed)	s-1
25℃ 표준토양에서의 분해속도상수 (kdeg.soil)	s-1
Chemical class for Koc-QSAR	-
유기탄소 분배계수 (Organic carbon-water partition coefficient, Koc)	L.kg-1

[표 5] 하수처리정보(Sewage treatment) 입력 매개변수

매개변수	단위
STP 사용여부 (y/n)	-
지역STP의 하수방출속도 (Effluent discharge rate of local STP)	L.d-1
처리되지 않은 하수에서의 농도 (Concentration in untreated waste water)	mg.L-1
STP에서 대기로의 배출계수 (Fraction of emission directed to air by local STP)	-
STP에서 수계로의 배출계수 (Fraction of emission directed to water by local STP)	-

출력창에서 확인할 수 있는 결과값은 정상상태(steady-state)를 가정하고 계산한 전국 규모 배경농도와 배출 에피소드 동안의 사업장 규모의 환경 중 예측농도(PEC) 이다. 전국 규모 농도는 대기, 민물, 자연지, 농경지, 도시산업용지의 결과값을 얻을 수 있다. 사업장 규모 농도는 대기, 수체, 침전물(저토), 농경지(배출 30일 후 평균)의 결과값을 얻을 수 있고, 또한 농경지(배출 180일 후 평균), 목초지(배출 180일 후 평균), 농경지 공극수, 목초지 공극수, 지하수에서의 예측농도 결과도 얻을 수 있다.

3. 사용자 입력값 입력 방법

사용자는 기본적으로 입력(Input) 부분의 ‘사용자 입력’ 열에 데이터를 입력하면 된다. 스프레드시트에서 하늘색 배경으로 표시한 셀이다(그림 6, 7, 8). 배출정보 중 배출계수의 값을 구하는 것에 대한 세부적인 내용은 ‘화학물질 위해성에 관한 자료작성 지침 10절’을 참조하여 확인할 수 있다. 물성정보에 대한 세부적인 내용은 ‘화학물질 위해성에 관한 자료작성 지침 2절과 6절’의 내용을 확인하면 된다. 물성정보의 분해속도상수를 구하는 것에 대한 정보는 ‘화학물질 위해성에 관한 자료작성 지침 9절’ 잔류성·축적성 물질 스크리닝 평가 시 사용한 환경 매질 반감기를 통해 간단히 계산할 수 있다. 반감기를 통해 분해속도를 계산하는 방법은 수식 (1)과 같다.

$$\text{분해속도상수 } (s^{-1}) = \ln(2) / \text{반감기} \quad (1)$$

계산 또는 직접적인 실험을 통해 확인된 분해속도상수는 해당 매개변수의 우측 사용자 입력 열 하늘색 배경 셀에 데이터를 입력하면 된다. 단, 분해속도 상수값을 직접 확인하지 못한 경우에는 대상 물질의 Biodegradability 테스트 결과를 통해 대략적인 값을 확인할 수 있다. 대상 물질의 Biodegradability 테스트 결과 콤보박스를 클릭하여 선택하면 모형 내에서 미리 지정한 분해속도 상수값이 계산에 이용된다. 이 값은 사용자 입력 열 왼쪽 노란색 셀에 표시된다. 만일 사용자가 ‘사용자 입력’ 열에 분해속도 상수를 직접 입력하고 동시에 콤보박스를 통해 분해속도 상수값을 선택하였다면, 사용자가 직접 입력한 데이터가 계산에 사용된다.

물성정보의 ‘유기탄소 분배계수’ 매개변수 역시 직접 값을 입력하기가 어려울 경우엔 대상물질의 QSAR 그룹을 선택하면 모형 내에서 유기탄소 분배계수 값을 결정해서 계산에 이용한다. 모형 내에서 결정된 값은 사용자 입력 열 왼쪽 노란색 셀에 표시된다. 이것 역시 사용자가 ‘사용자 입력’ 셀에 직접 값을 입력한다면 직접 입력한 값이 더 우선적으로 계산에 사용된다.

입력 (Input)		
배출정보 (Emissions)	사용자 입력	단위
*배출계수(실선사각형), 배출량(점선사각형) 둘 중 하나만 입력. 둘 다 입력하면 배출량이 입력값으로 이용됨.		
전국규모 (Regional scale)		
전국 총 취급량, 사용량 (Use volume)	100	톤/년
대기로의 배출계수 (Emission Factor air)	-	-
담수로의 배출계수 (Emission Factor water1)	-	-
자연지로의 배출계수 (Emission Factor natural soil)	1	-
농경지로의 배출계수 (Emission Factor agricultural soil)	1	-
도시산업용지로의 배출계수 (Emission Factor other soil)	1	-
대기로의 배출량 (EMISSION to air)	10	톤/년
담수로의 배출량 (EMISSION to water1)	20	톤/년
자연지로의 배출량 (EMISSION to natural soil)	-	톤/년
농경지로의 배출량 (EMISSION to agricultural soil)	-	톤/년
도시산업용지로의 배출량 (EMISSION to other soil)	-	톤/년
사업장 규모 (Local scale)		
사업장 취급량, 사용량	10	톤/년
대기로의 배출계수 (Fraction of tonnage released to air)	0.1	-
담수(or 하수처리시설)로의 배출계수 (Fraction of tonnage released to waste water)	0.01	-
대기로의 배출량 (Local direct emission to air during episode)	-	톤/년
담수(or 하수처리시설)로의 배출량 (Local emission to wastewater during episode)	0.001	톤/년
1년중 배출일수, 조업일수 (Number of emission days per year)	220	일/년

[그림 6] ‘사용자 입력’ 열에 데이터 입력 (배출정보)

물성정보 (Substance properties)	옵션	사용자 입력	단위
이름 (Substance name)		toluene	-
분자량 (Molecular weight)		92	g.mol ⁻¹
녹는점 (Melting point)		-95	°C
옥탄올/물 분배계수 (Octanol/water Partition coefficient, Kow)		490	-
증기압 (Vapor Pressure)		3800	Pa
증기압 측정 온도		25	°C
물용해도 (Water Solubility)		515	mg.L ⁻¹
물용해도 측정 온도		25	°C
Biodegradability test result	readily biodegradable		-
kdeg.air (Gas phase degradation Rate constant at 25 °C)		3.51E-06	s ⁻¹
kdeg.water (Dissolved phase degradation Rate constant at 25 °C)		2.09E-06	s ⁻¹
kdeg.sed (Bulk degradation Rate constant standard sediment at 25 °C)		1.04E-08	s ⁻¹
kdeg.soil (Bulk degradation Rate constant standard soil at 25 °C)		1.04E-07	s ⁻¹
Chemical class for Koc-QSAR	Predominantly hydrophobics		-
유기탄소 분배계수 (Organic carbon - water partition coefficient, Koc)		6.69E+01	L.kg ⁻¹

[그림 7] ‘사용자 입력’ 열에 데이터 입력 (물성정보)

하수처리정보 (Sewage treatment)	사용자 입력	단위
STP사용여부(y/n)	y	-
지역 STP의 하수방출속도 (Effluent discharge rate of local STP)	2000000	L.d ⁻¹
처리되지 않은 하수에서의 농도 (Concentration in untreated wastewater)	1.67E+00	mg.L ⁻¹
STP에서 대기로의 배출계수 (Fraction of emission directed to air by local STP)	-	-
STP에서 수체로의 배출계수 (Fraction of emission directed to water by local STP)	-	-

[그림 8] 사용자 입력’ 열에 데이터 입력 (하수처리정보)

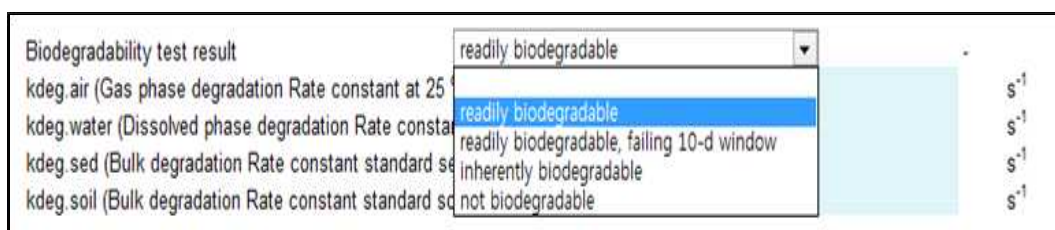
하수처리정보의 ‘처리되지 않은 하수에서의 농도’ 값은 모형 내에서 하수 방출속도에 따라 계산되어지기 때문에 사용자가 하수방출속도를 입력하면 노란색 셀에 계산된 값이 표기된다. 물성정보와 마찬가지로 사용자가 ‘사용자 입력’ 셀(하늘색 셀)에 직접 하수 농도의 측정한 값을 입력할 수도 있다. 이 때 사용자가 직접 입력한 값이 우선적으로 계산에 사용된다. 즉, ‘사용자 입력’ 셀을 비워두면 모형 내에서 계산된 값이 농도 결과값 계산에 사용되고, ‘사용자 입력’ 셀에 데이터를 채우면 그 데이터가 계산에 이용된다.

가. 콤보박스 선택 방법

앞 단락에서 ‘분해속도 상수’와 ‘유기탄소 분배계수’ 데이터가 없을 때 옵션을 선택할 수 있다고 했는데, 옵션을 선택하는 방법은 다음과 같다.

① ‘분해속도 상수’ 결정을 위한 Biodegradability 테스트 결과 선택

콤보박스 오른쪽 끝 역삼각형이 그려진 버튼을 클릭하면 아래로 선택할 수 있는 옵션이 나타난다(그림 9). ‘readily biodegradable’, ‘readily biodegradable, failing 10-d window’, ‘inherently biodegradable’, ‘not biodegradable’ 중 대상물질에 해당되는 옵션을 선택한다.



[그림 9] Biodegradability 테스트 결과 선택

해당되는 옵션을 선택하면 자동으로 콤보박스 아래 위치한 셀(노란색 셀)에 모형 내에서 결정된 분해속도 상수가 나타난다(그림 10).

Biodegradability test result	readily biodegradable	-
kdeg.air (Gas phase degradation Rate constant at 25 °C)	3.51E-06	s ⁻¹
kdeg.water (Dissolved phase degradation Rate constant at 25 °C)	2.09E-06	s ⁻¹
kdeg.sed (Bulk degradation Rate constant standard sediment at 25 °C)	1.04E-08	s ⁻¹
kdeg.soil (Bulk degradation Rate constant standard soil at 25 °C)	1.04E-07	s ⁻¹

[그림 10] Biodegradability 테스트 결과 선택으로 속도분해상수 결정

② ‘유기탄소 분배계수’ 결정을 위한 QSAR 화학 물질 그룹 선택

콤보박스 오른쪽 끝 역삼각형이 그려진 버튼을 클릭하면 아래로 선택할 수 있는 옵션이 나타난다(그림 11). 선택할 수 있는 QSAR 화학 물질 그룹 옵션은 [표 6]과 같다.

Chemical class for Koc-QSAR	Predominantly hydrophobics	-
유기탄소 분배계수 (Organic carbon - water partition coefficient, K _{oc})	Predominantly hydrophobics	L.kg ⁻¹
	Non hydrophobics	
	Phenols, anilines, benzonitriles, nitrobenzenes	
	Acetanilides, carbamates, esters, phenylureas,	
	Alcohols, organic acids	
	Acetanilides	
	Alcohols	

[그림 11] QSAR 화학 물질 그룹 선택

화학 물질 그룹을 클릭하면 자동으로 콤보박스 아래 위치한 셀(노란색 셀)에 모형 내에서 결정된 유기탄소 분배계수가 나타난다(그림 12).

Chemical class for Koc-QSAR	Predominantly hydrophobics	-
유기탄소 분배계수 (Organic carbon - water partition coefficient, K _{oc})	6.69E+01	L.kg ⁻¹

[그림 12] QSAR 화학 물질 그룹 선택으로 유기탄소 분배계수 결정

[표 6] QSAR Chemical class

QSAR Chemical class
Predominantly hydrophobics: 물에 거의 녹지 않는 물질
Non hydrophobics: hydrophobic이 아닌 물질
Phenols, anilines, benzonitriles, nitrobenzenes
Acetanilides, carbamates, esters, phenylureas, phosphates, triazines, triazoles, uracils
Alcohols, organic acids
Acetanilides
Alcohols
Amides
Anilines
Carbamates
Dinitroanilines
Esters
Nitrobenzenes
Organic acids
Phenols, benzonitriles
Phenylureas
Phosphates
Triazines
Triazoles

4. 출력결과 확인

스프레드시트 화면 오른쪽 출력(Output) 부분(그림 13)에서 한국형 다매체 동태모형을 통해 계산된 정상상태의 전국 규모(대기, 민물, 자연지, 농경지, 도시산업용지) 농도와 배출 에피소드 동안의 사업장 규모(대기, 수체, 침전물(저토), 농경지)의 농도를 확인할 수 있으며 여기서 사업장 규모의 농도 값이 최종 환경 중 예측농도(PEC) 값으로 사용된다.

출력 (Output)		
전국규모 농도 Regional concentration (steady-state)	농도	단위
정상상태의 전국규모 대기농도(Air)	1.84E-07	g.m^{-3}
정상상태의 전국규모 민물농도(Fresh water)	3.34E-07	g.L^{-1}
정상상태의 전국규모 자연지농도(Natural soil)	1.36E-05	g.kg(w)^{-1}
정상상태의 전국규모 농경지농도(Agricultural soil)	5.26E-06	g.kg(w)^{-1}
정상상태의 전국규모 도시산업용지농도(Other soil)	1.55E-05	g.kg(w)^{-1}
국지적규모 농도 Local concentration (during release episode)	농도	단위
대기PEC (Annual average local PEC in air (total))	9.46E-10	kg.m^{-3}
수체PEC (Annual average local PEC in surface water (dissolved))	3.34E-07	kg.m^{-3}
저토PEC (Local PEC in fresh water sediment during emission episode)	7.66E-10	$\text{kg.kg}_{\text{wwt}}^{-1}$
농경지PEC(30일 후) (Local PEC in agricultural soil, averaged over 30 days)	1.92E-08	$\text{kg.kg}_{\text{wwt}}^{-1}$
농경지PEC(180일 후) (Local PEC in agricultural soil, averaged over 180 days)	1.92E-08	$\text{kg.kg}_{\text{wwt}}^{-1}$
목초지PEC(180일 후) (Local PEC in grass land, averaged over 180 days)	1.98E-08	$\text{kg.kg}_{\text{wwt}}^{-1}$
농경지 공극수PEC (Local PEC in pore water of agricultural soil)	4.43E-06	kg.m^{-3}
목초지 공극수PEC (Local PEC in pore water of grassland)	4.55E-06	kg.m^{-3}
지하수PEC (Local PEC in groundwater under agricultural soil)	4.43E-06	kg.m^{-3}

[그림 13] 결과값(PEC) 확인

4장. 모형을 이용한 금속물질 노출 농도 계산

화학물질 위해성에 관한 자료 작성을 위한 다매체 모형 사용법에 관한 지침과 모형내의 수식들 대부분은 개별적 유기물질로부터의 정보를 토대로 작성되었기 때문에, 금속물질을 대상으로 모형을 이용하는 경우 특별한 고려가 필요하다.

금속물질을 대상으로 전국 규모의 환경 중 예측농도를 계산하기 위해 모형을 이용하는 경우 고려사항을 다음 [표 7]에 나타내었다. [표 7]의 내용을 활용하기에 앞서 대상 금속물질의 관측값 여부를 확인하여, 관측값이 있는 경우에는 이를 우선적으로 사용하여야 한다.

환경 중 예측농도 계산 모형을 이용한 금속물질의 농도 계산은 초기 스크리닝 수준에서의 평가에서만 사용해야 하며, 그 이상의 단계에서는 금속물질에 특화된 모형을 사용할 것을 권장한다.

[표 7] 금속물질에 대한 환경 중 예측농도 계산 모형 사용 시 고려사항

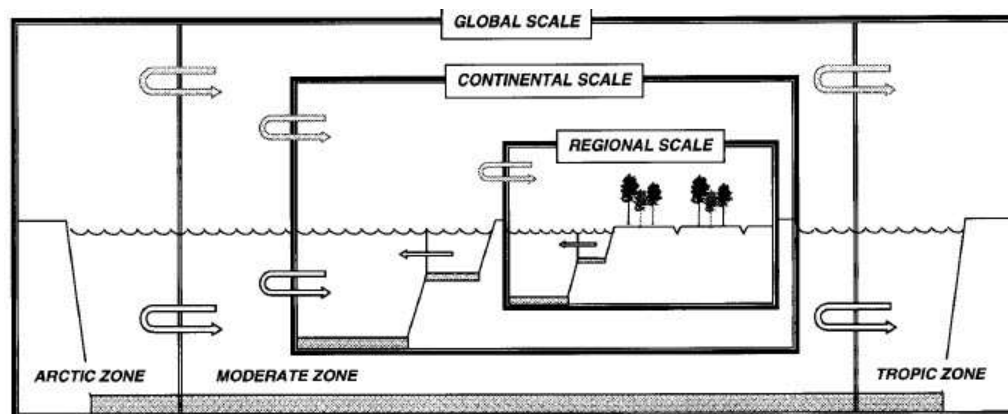
항목	값	비고
물에 대한 용해도 Water solubility		<ul style="list-style-type: none"> • 환경 농도의 예측은 적절한 수용성 금속 이온 /또는 bioavailable 이거나 변환 과정을 거쳐 가용한 다른 금속 종을 기반으로 해야 한다. • 금속은 용해되지 않지만 변형되어 수용성 및 난용성 금속 화합물을 연속적으로 방출할 수 있다. • 어떤 경우에 금속화합물은 잘 녹지 않고 물에 잘 녹는 형태로 빠르게 바뀌지 못할 정도로 충분히 안정하다. 이런 상황에서 그 물질 자체는 물질의 분배 특성을 가지고 평가되어야 한다. 수중 환경의 경우 물질이 물에 대한 용해도 한계까지 녹는 양을 첫 추정량(first estimate)으로 가정할 수 있고, 이 분을 만큼이 bioavailable form이 될 것이다. kinetics of the dissolution을 고려함으로써 평가 방법의 개선이 가능하다.
증기압 Vapor pressure	최소값으로 설정 (모형에서 1E-6 Pa)	<ul style="list-style-type: none"> • 수은 화합물과 몇몇 유기금속 화합물을 제외한 대부분의 금속은 굉장히 낮은 증기압을 가진다. 따라서 모형에 아주 작은 증기압을 적용한다면 대기로의 분포를 무시할 수 있다.

대기 중 입자로의 흡착 adsorption to aerosol		<ul style="list-style-type: none"> 대기에 존재하는 대부분의 금속은 에어로졸에 붙어있다. 따라서 에어로졸과 결합된 금속 분율(Fassaer)이 거의 1이 되려면 굉장히 작은 값(예: $1E-6$)이 증기압으로 사용되어야 한다. 만약 타당한 측정값이 있다면 그 값이 사용되어야 한다.
옥타놀/물 분배계수 Octanol-water partition coefficient	모형에서 도출된/측정된 분배계수 K_p water-soil, water-sediment, water-suspended matter 사용	<ul style="list-style-type: none"> 옥타놀/물 분배계수는 금속에는 적절하지 않다. 대신 환경조건과 화학을 고려해서 모형에서 도출되거나 측정된 분배계수 K_p가 사용되어야 한다.
생물학적 혹은 비생물학적 분해속도 상수 biotic and abiotic degradation rates	0.0	<ul style="list-style-type: none"> 금속에 대해서는 biotic and abiotic degradation rates가 0으로 설정되어야 한다.
하수처리장 제거율 Elimination in STP	측정된/모형에서 도출된 water-sludge 분배계수 사용	<ul style="list-style-type: none"> 금속에 대한 이 값들은 찾기가 어렵다. 때때로 sludge-water 분배계수보다는 퍼센트로 표현되는 removal efficiency rates를 얻기가 더 쉽다.
시간적 길이 Time scale	20-100년	<ul style="list-style-type: none"> 금속의 경우, 정상 상태(steady-state)는 전형적으로 몇 십 년 혹은 몇 천 년이 지나서야 도달한다. 그런 시간 규모에서는 정상 상태 농도가 불확실하고 위해성 평가에서 그와 같은 시간 규모는 더 이상 적절하지 않다. 따라서 전망할 수 있는(surveyable) 기간인 100년 후의 PEC 값과 정상 상태의 PEC 값 모두를 계산하는 것이 필요하다. PEC 값이 PNEC와 같아지는 기간 역시 위해성 관리 목적을 위해 계산되어야 한다.
흡착-탈착 Adsorption- desorption	관심 환경 영역에 대한 측정된 분배계수 사용	<ul style="list-style-type: none"> aqueous phase에서 soil/sediment/suspended matter로의 금속의 이동은 측정된 soil/water, sediment/water, suspended matter/water 평형 분배 계수(K_d; 분배계수 K_p라고도 함)에 기초하여 설명하여야 한다.

5장. 한국형 다매체 동태모형

한국형 다매체 동태모형은 스크리닝 수준에서 기존·신규 화학물질의 전국 규모 환경 농도를 계산하기 위하여, EU SimpleBox를 바탕으로 국내 환경에 적합하도록 주요 매개변수들을 최적화 한 모형이다. 기본적으로 각 환경매질을 균질한 one box로 가정하고, 각 매질별로 하나의 정상상태 물질수지식을 세운 뒤 그 식들을 연립하여 해를 구함으로써 다매체 농도들을 동시에 계산하도록 되어 있다(Mackay level III인 정상상태(steady-state)).

한국형 다매체 동태모형의 공간 규모는 우리나라 전국규모의 regional scale, 대륙규모의 continental scale, 그리고 continental scale을 포함하는 지구규모의 global scale (arctic zone, moderate zone, tropic zone)로 5개의 범주로 구분된다(그림 14). 범주 간의 오염물질 교환은 물과 공기의 이류에 의해 발생하며 지구규모의 global scale은 폐쇄계로서 경계층에서 물질의 이동이 발생하지 않는 것으로 가정된다. 그러나 환경노출평가를 위해서는 실제 사용되는 공간적 규모는 전국 규모로 한정한다. 따라서 지구적 규모, 대륙규모의 계산은 추후에 필요한 경우 사용할 수 있도록 포함 되어 있으나 현재에는 전국 규모에 대한 환경농도 계산만을 수행하도록 설정되어 있다.



[그림 14] SimpleBox_Korea의 개념도(Van de Meent et al., 1996)

1절 환경매질(Compartments)

한국형 다매체 동태모형에서 다루는 중요한 환경매질로는 대기, 물(담수), 저토(담수), 토양(자연지, 농지, 도시산업용지), 식생(자연지, 농지)이 있으며, 이들 각 매질이 화학물질 농도 예측을 위한 기본 단위로 이루어져 있다.

1. 대기

대기는 gas, rainwater, aerosol particles로 구성되어 있다. aerosol particles과 rain의 침적은 화학물질을 대기로부터 수체 및 토양으로 물리적 이동시키는 운반자의 역할을 한다. 본래 모든 서로 다른 규모의 대기는 서로 개방되어 연결되어 있다. 따라서 대기 중의 화학물질은 공기의 흐름을 타고 다른 규모의 대기들 사이에서 양방향으로 교환된다.

모형에서 대기의 특성은 다음의 매개변수들을 사용하여 설명된다(표 8).

[표 8] 대기 특성관련 매개변수

매개변수	단위
area	m ²
mixing height	m
residence time of air in the system	s
aerosol surface area	m ² /m ³
precipitation rate	m/s
aerosol-collection efficiency of rainwater	-
deposition velocity of aerosol	m/s
temperature	K

2. 물(담수)

모형에서 수체는 담수를 의미하는 것으로 담수에 대한 농도가 계산된다. 용존상 화학물질과 입자상 화학물질로 구분하여 농도를 계산하고 있다. 각 규모에 해당하는 수체들은 대기과 마찬가지로 서로 열려 있어서 연결되어 있지만 한국형 다매체 동태모형에서는 대륙 규모의 민물과의 유·출입 및 대륙 규모의 해수로부터의 유입은 차단되도록 설정하였다.

각 수체의 특성은 다음과 같은 매개 변수들을 사용하여 설명된다(표 9).

[표 9] 수체 특성관련 매개변수

매개변수	단위
area	m ²
water depth	m
residence time of water in the system	s
suspended solid concentration	kg/m ³
settling velocity	m/s

3. 저토(담수)

저토는 담수의 저토에 대한 농도가 계산된다. 저토는 고체입자와 공극수로 구성되어있다. 저토의 상층 몇 cm만 유효한 층의 두께로서 모형에 반영된다. 만일 저토의 침전속도가 재부유 속도보다 크면 저토의 상층은 지속적으로 새롭게 퇴적된 물질로 대체되어질 것이고 오래된 저토층은 묻히게 되어 사실상 고립되게 되기 때문이다.

저토는 다음과 같은 주요 매개변수들을 사용하여 설명된다(표 10).

[표 10] 저토 특성관련 매개변수

매개변수	단위
area	m ²
mixing depth	m
aerobic fraction	-
net sediment rate	m/s
- production of suspended solids	kg/s
- concentration of suspended particles in and out flowing rate	kg/m ³
- concentration of suspended solids in STP effluent	kg/m ³
- soil erosion rate	m/s

4. 토양

모형에서 토양은 3가지 유형(자연지, 농지, 도시산업용지)으로 구분되어 각각의 유형에 대한 농도가 계산된다. 이들 다른 토양유형은 특성(mixing depth, porosity 등)에서 전형적인 차이를 가지고 있다. 또한 화학물질의 유입에 있어서는 다음과 같은 차이가 있다.

- 1) 자연지 : 화학물질의 유입은 대기로부터의 침적작용에 의해서만 이루어진다.
- 2) 농지 : 화학물질의 유입은 대기로부터의 침적작용과 하수처리 공정에서 발생된 슬러지에 의해 이루어진다. 그러나 우리나라에서는 슬러지에 의한 유입은 무시한다.
- 3) 도시산업용지 : 대기로부터의 침적에 의한 유입뿐만 아니라 화학물질의 직접적인 배출이 발생한다.

토양은 다음과 같은 주요 매개변수들로 설명된다(표 11).

[표 11] 토양 특성관련 매개변수

매개변수	단위
area	m ²
mixing depth	m
fraction of rainwater infiltrating into the soil	-
fraction of rainwater running off to surface water	-
soil erosion rate	m/s

2절. 오염물질의 환경동태 기작

한국형 다매체 동태모형에서 고려한 환경동태기작들은 [표 12]에 나타난 것처럼 크게 매질 내 기작 (intra-media processes)과 매질 간 기작 (inter-media processes)으로 구분할 수 있는데, 매질 내 기작으로는 이류에 의한 유·출입 (import and export), 분해 (degradation), 토양침출 (leaching), 영구퇴적 (sediment burial) 등을 포함하고 있다. 매질 간 기작에는 휘발 (volatilization), 대기에서 토양, 수체 및 식생으로의 가스상 물질의 분자확산 (diffusion), 건식침적 (dry deposition), 습식침적 (wet deposition), 강우 지표유출 (surface run-off), 식생 뿌리에서의 섭취 (uptake), 식생표면에서의 강우에 의한 세정 (wash-off), 낙엽 중의 오염물질의 이동 (litter fall), 수체에서 저토로의 부유물질의 침강 (deposition), 저토에서 수체로의 부유물질의 재부유 (resuspension), 수체와 저토 간의 용존상 물질의 분자확산 (diffusion) 등을 고려하고 있다.

[표 12] 오염물질의 환경동태 기작

구 분		내 용
Emission		<ul style="list-style-type: none"> · 오염의 배출은 지속적으로 발생하며 즉시 확산으로 모의 · 공간적 규모와 환경매체에서 어느 공간에서 배출이 발생하는지 명시 · 하수시스템에서의 간접배출도 고려
Import and Export		<ul style="list-style-type: none"> · 공기와 물의 이류에 의한 오염물질의 전국규모 경계를 출입하는 수송
Degradation		<ul style="list-style-type: none"> · 대기, 수체, 저토와 토양에서의 분해속도 계산 · 입력값으로 1차 반응속도상수 (first order rate constant) 사용
Intermedia transport	Dry deposition	<ul style="list-style-type: none"> · 대기입자 - gas-aerosol partitioning과 aerosol-deposition velocity에 의해 조정된 에어로졸의 비율은 vapour pressure와 에어로졸의 총량 그리고 Junge's equation으로 추정
	Wet deposition	<ul style="list-style-type: none"> · 가스와 에어로졸 - chemical's scavenging ratio (the rainwater-air concentration ratio) - Henry's Law constant와 aerosol-collection efficiency

[표 12] 오염물질의 환경동태 기작 (계속)

구 분		내 용
	Sediment/ Resuspension	<ul style="list-style-type: none"> · suspended matter-water partition coefficient · 부유물질의 양 · 저토입자의 침전/재부유 속도
	Absorption	<ul style="list-style-type: none"> · 수체와 토양으로부터 gas absorption과 volatilization은 양방향 확산기작 <ul style="list-style-type: none"> - Henry's Law constant - solids-water partition coefficient - partial mass-transfer coefficient · 저토로부터의 adsorption과 desorption <ul style="list-style-type: none"> - sediment-water partition coefficient - partial mass transfer coefficient
	Runoff	<ul style="list-style-type: none"> · Run-off water 와 soil particles 사이는 평형으로 가정 <ul style="list-style-type: none"> - soil-water partition coefficient - run-off water는 침식된 토양 입자를 수송
	Leaching	<ul style="list-style-type: none"> · 지하수 compartment는 모형에서 고려하지 않기 때문에 토양의 상층에서부터 지하수로의 화학물질의 하방이동은 제거기작으로 간주 · 토양과 스며든 물과는 평형하다고 가정 <ul style="list-style-type: none"> - soil-water partition coefficient
	Burial	<ul style="list-style-type: none"> · 저토지역에서, 일정한 비율로 저토의 상층부에는 잘 혼합된 새로운 물질이 추가, 동시에 저토의 상층에서 깊은 층으로 화학물질의 하방이동을 의미 · 더 깊은 저토층은 모형에서 고려하지 않기 때문에 이러한 이동은 제거기작으로 간주

3절. 모형 내 계산 수식과 매개변수

1. 물질수지 방정식

다매체 동태 모형은 매질(bulk compartment)간에는 비평형(nonequilibrium)을 가정하여 물질전달속도를 통해 매질 간 오염물질의 이동량을 계산하며, 대기 중 가스상-분진상, 수체 내 용존상-입자상 등 상(phase or subcompartment) 간에는 평형상태를 가정하여 분배계수를 통해 오염물질의 분배량을 계산한다.

다음 식 (2)는 한국형 다매체 동태모형의 물질수지 방정식을 나타낸 것이다. 각 매질 내에서 오염물질의 변화량은 매질 내에서의 오염물질의 직접배출(EMIS_i), 인접 지역으로부터 매질로의 유입(IMP_i), 인접 지역으로의 유출(EXP_i), 분해에 의한 제거(DEGRD_i), 침출에 의한 유출(LCH_i), 퇴적에 의한 유출(BRL_i), 매질간의 이류(ADV_{ij}), 매질간의 확산(DIFF_{ij})의 합으로 이루어진다.

$$\frac{dM_i}{dt} = V_i \cdot \frac{dC_i}{dt} = EMIS_i + IMP_i - EXP_i - DEGRD_i - LCH_i - BRL_i + ADV_{ij} + DIFF_{ij} \quad (2)$$

여기서 M_i와 C_i는 각 매질의 오염물질의 몰농도(mol/m³)와 몰수(mol)를 나타내며, V_i는 매체의 용적(m³)을 나타낸다. 아래첨자 i는 대기, 수체, 토양, 저토 등 각각의 매체를 나타낸다.

다음 식 (3) ~ (6) 는 각 매체별 물질수지 방정식을 정리한 것이다.

가. 대기(Air)

$$\begin{aligned}
 V_{A(S)} \cdot \frac{dC_{A(S)}}{dt} = & EMIS_{A(S)} + IMP_{A(S)} - EXP_{A(S)} - V_{A(S)} \cdot DEGRD_{A(S)} \cdot C_{A(S)} \\
 & - \sum DEP_{A,Wi(S)} \cdot C_{A(S)} - \sum DEP_{A,Si(S)} \cdot C_{A(S)} - \sum DEP_{A,Vi(S)} \cdot C_{A(S)} \\
 & - \sum VOL_{Wi,A(S)} \cdot C_{W(S)} + \sum VOL_{Si,A(S)} \cdot C_{S(S)} + \sum VOL_{Vi,A(S)} \cdot C_{V(S)} \\
 & - \sum GASABS_{A,Wi(S)} \cdot C_{A(S)} - \sum GASABS_{A,Si(S)} \cdot C_{A(S)} \\
 & - \sum GASABS_{A,Vi(S)} \cdot C_{A(S)}
 \end{aligned} \tag{3}$$

$V_{A(S)}$: volume of the air compartment of scale S [mair³]

$C_{A(S)}$: total concentration in air at scale S(gas phase + aerosol phase + rain water phase) [mol·mair⁻³]

$EMIS_{A(S)}$: emission mass flow into the air compartment at scale S [mol·s⁻¹]

$IMP_{A(S)}$: import mass flow into air at scale S[mol·s⁻¹]

$DEGRD_{A(S)}$: pseudo first order transformation rate constant in air at scale S[s⁻¹]

$DEP_{A,Wi}$: transport coefficient for atmospheric deposition(wet and dry) to water i at scale S[mair³·s⁻¹]

$DEP_{A,Si}$: transport coefficient for atmospheric deposition(wet and dry) to soil i at scale S[mair³·s⁻¹]

$DEP_{A,Vi}$: transport coefficient for atmospheric deposition(wet and dry) to vegetaion i at scale S[mair³·s⁻¹]

$VOLW_{i,A(S)}$: transport coefficient volatilization from water i at scale S[mwater³·s⁻¹]

$VOLSi_{i,A(S)}$: transport coefficient volatilization from soil i at scale S[msoil³·s⁻¹]

$VOLVi_{i,A(S)}$: transport coefficient volatilization from vegetation i at scale S[mveg³·s⁻¹]

$GASABS_{A,Wi(S)}$: transport coefficient gas absorption to water i at scale S[mair³·s⁻¹]

$GASABS_{A,Si(S)}$: transport coefficient gas absorption to soil i at scale S[msoil³·s⁻¹]

$GASABS_{A,Vi(S)}$: transport coefficient gas absorption to vegetation i at scale S[mveg³·s⁻¹]

$CW_{i(S)}$: concentration in water i(dissolved) at scale S[mol·mwater⁻³]

$CS_{i(S)}$: concentration in soil i at scale S[mol·msoil⁻³]

$CV_{i(S)}$: concentration in vegetation i at scale S[mol·mveg⁻³]

나. 수체(Water)

$$\begin{aligned}
 V_{W(S)} \cdot \frac{dC_{W(S)}}{dt} = & EMIS_{W(S)} + IMP_{W(S)} - EXP_{W(S)} - V_{W(S)} \cdot DEGRD_{W(S)} \cdot C_{W(S)} \\
 & + \sum DEP_{A, Wi(S)} \cdot C_{A(S)} + \sum RUNOFF_{S, Wi(S)} \cdot C_{S(S)} \\
 & - \sum VOL_{Wi, A(S)} \cdot C_{W(S)} - \sum SED_{Wi, Sedi(S)} \cdot C_{W(S)} \\
 & + \sum GASABS_{A, Wi(S)} \cdot C_{A(S)} + \sum RESUS_{Sedi, Wi(S)} \cdot C_{Sedi(S)}
 \end{aligned} \tag{4}$$

$V_{Wi(S)}$: volume of water compartment i at scale S [mwater³]

$C_{Wi(S)}$: concentration in water i(dissolved) at scale S [mol·mwater⁻³]

$C_{A(S)}$: total concentration in air at scale S(gas phase + aerosol phase + rain water phase) [mol·mair⁻³]

$EMIS_{Wi(S)}$: emission to water compartment i at scale S [mol·s⁻¹]

$IMP_{Wi(S)}$: import mass flow into water compartment i at scale S [mol·s⁻¹]

$DEGRD_{Wi(S)}$: pseudo first order transformation rate constant in water i at scale S [s⁻¹]

$DEP_{A, Wi}$: transport coefficient for atmospheric deposition(wet and dry) to water i at scale S [mair³·s⁻¹]

$RUNOFF_{Si, Wi(S)}$: transport coefficient for run off from soil i to water i at scale S [msoil³·s⁻¹]

$SED_{Wi, Sedi(S)}$: transport coefficient for sedimentation for water i at scale S [msed³·s⁻¹]

$RESUS_{Sedi, Wi(S)}$: transport coefficient for resuspension for water i at scale S [msed³·s⁻¹]

$VOL_{W, A(S)}$: transport coefficient volatilization from water i at scale S [mwater³·s⁻¹]

$GASABS_{A, Wi(S)}$: transport coefficient gas absorption to water i at scale S [mair³·s⁻¹]

$C_{Si(S)}$: concentration in soil i at scale S [mol·msoil⁻³]

$C_{Sedi(S)}$: concentration in sediment i at scale S [mol·msed⁻³]

다. 저토(Sediment)

$$\begin{aligned}
 V_{Sed(S)} \cdot \frac{dC_{Sed(S)}}{dt} = & - V_{Sed(S)} \cdot DEGRD_{Sedi(S)} \cdot C_{Sed(S)} - SEDBURIAL \cdot C_{Sed(S)} \\
 & + SED_{Wi, Sedi(S)} \cdot C_{W(S)} - RESUS_{Sedi, Wi(S)} \cdot C_{Sedi(S)} \\
 & + DESORB_{Sedi, Wi(S)} \cdot C_{Sedi(S)} + ADSORB_{Wi, Sedi(S)}
 \end{aligned} \tag{5}$$

$V_{Sedi(S)}$: volume of water compartment i at scale S [mwater³]

$C_{Sedi(S)}$: concentration in sediment i at scale S [mol·msed³]

$C_{Wi(S)}$: concentration in water i(dissolved) at scale S [mol·mwater³]

$DEGRD_{Sedi(S)}$: pseudo first order transformation rate constant in sediment i at scale S [s⁻¹]

$SEDBURIAL_{i(S)}$: transport coefficient for sediment burial for water i at scale S [msed³·s⁻¹]

$SED_{Wi, Sedi(S)}$: transport coefficient for sedimentation for water i at scale S [msed³·s⁻¹]

$RESUS_{Sedi, Wi(S)}$: transport coefficient for resuspension for water i at scale S [msed³·s⁻¹]

$DESORB_{Sedi, Wi(S)}$: transport coefficient for desorb from sediment i at scale S [msed³·s⁻¹]

$ADSORB_{Wi, Sedi(S)}$: transport coefficient for adsorb by sediment i at scale S [mwater³·s⁻¹]

라. 토양(Soil)

$$\begin{aligned}
 V_{S(S)} \cdot \frac{dC_{S(S)}}{dt} = & EMIS_{S(S)} - V_{S(S)} \cdot DEGRD_{S(S)} \cdot C_{S(S)} - LEACHING_{S(S)} \cdot C_{Si(S)} \\
 & + \sum DEP_{A, Si(S)} \cdot C_{A(S)} - \sum RUNOFF_{S, Wi(S)} \cdot C_{S(S)} \\
 & - \sum VOL_{Si, A(S)} \cdot C_{S(S)} + \sum GASABS_{A, Si(S)} \cdot C_{A(S)}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$V_{Si(S)}$: volume of soil compartment i at scale S [msoil³]

$C_{Si(S)}$: concentration in soil i at scale S[mol·msoil⁻³]

$C_{A(S)}$: total concentration in air at scale S(gas phase + aerosol phase + rain water phase) [mol·mair³]

$EMIS_{Si(S)}$: emission to soil compartment i at scale S [mol·s⁻¹]

$DEGRD_{Si(S)}$: pseudo first order transformation rate constant in soil i at scale S[s⁻¹]

$LEACHING_{Si}$: transport coefficient for leaching from soil i at scale S[msoil³·s⁻¹]

$RUNOFF_{Si, Wi(S)}$: transport coefficient for run off from soil i to water i at scale S[msoil³·s⁻¹]

$DEPA_{Si(S)}$: transport coefficient for atmospheric deposition(wet and dry) to soil i at scale S[mair³·s⁻¹]

$VOL_{Si, A(S)}$: transport coefficient volatilization from soil i at scale S[msoil³·s⁻¹]

$GASABS_{A, Si(S)}$: transport coefficient gas absorption to soil i at scale S[mair³·s⁻¹]

2. 화학물질의 물성을 설명하는 매개변수

분자량, 증기압, 물용해도, 옥탄올/물 분배계수와 같은 물리적·화학적 특성은 화학물질의 위해성 확인 과정에서 중요한 요인들로 작용하며, 환경 유해성 및 인체 건강에 대한 유해성 판단에도 사용될 수 있다. 물리적·화학적 특성에 대한 간략한 내용은 아래를 통해 확인 가능하다.

가. 분자량 (Molecular weight)

화학물질의 분자 크기를 나타내는 지표로, 모형 내에서는 partial mass transfer coefficients를 계산하는데 사용

나. 옥탄올/물 분배계수 (Octanol/water partitioning coefficient)

n-옥탄올/물 분배계수(Kow)는 환경 중에서의 분포, 수착, 생물 이용성, 생물 농축, 생체 축적성 등을 평가하기 위한 모델이나 알고리즘에 다양하게 사용된다. Kow는 화학물질 위해성 평가, 잔류성·축적성 평가를 위한 중요한 매개변수이므로 가능한 정확하게 측정하는 것이 요구되며, 순수 무기물의 경우에는 Kow를 측정할 필요가 없다.

다. 녹는점 (Melting point)

녹는점(어는점)은 물질의 물리적인 상태를 결정한다. 대부분의 물리적·화학적 특성 분류는 물질의 상태에 따라 구분되므로 물질의 상태를 구별하는 것은 매우 중요하며, 녹는점/어는점은 증기압과 함께 특정 조건(환경, 제조 공정)하에서의 물리적 상태 결정을 위한 지표로서 활용될 수 있다.

라. 증기압

증기압은 화학물질이 작업자, 소비자, 환경에 노출된 이후의 거동을 평가하는데 있어 중요한 매개 변수이다. 증기압을 이용하여 환경 중에 존재하거나 상업적인 용도로 사용되는 화학물질의 이동과 분포를 예측할 수 있다. 특히 순물질의 휘발성은 증기압에 의해 좌우되며, 대기 중에서 화학물질의 형태 역시 증기압을 통해 예측할 수 있다. 증기압 자료는 인체 건강에 대한 유해성 항목 중 급성 흡입 독성(증기), 피부 부식성/자극성 시험의 전제 조건으로 요구될 수 있다.

어떤 물질에 대한 증기압은 온도에 따라 크게 변할 수 있다. 심지어 온도 10℃ 범위 내에서도 증기압이 크게 변할 수 있기 때문에 다음 식 (7)에 따른 일반적인 온도 보정이 필요하다.

$$VP_{temp_{env}} = VP_{temp_{test}} \cdot e^{\left(\frac{H_0 VP}{R} \cdot \left(\frac{1}{TEMP_{test}} - \frac{1}{TEMP_{env}} \right) \right)} \quad (7)$$

녹는점이 외삽된 범위 내의 온도일 때도 주의해야 한다. 고체상의 증기압은 항상 외삽된 액체상의 증기압보다 낮다.

마. 물 용해도

물 용해도는 특히 환경 유해성 평가에서 중요하게 사용되는 요인 중 하나이며, 특히 화학물질의 토양 이동성과 흡착, 탈착 등은 물 용해도에 의해 결정된다. 물 용해도는 시험 조건의 설정을 위해 필수적인 요소이다.

바. 분해속도 (Degradation rate)

물성정보의 분해속도상수는 ‘화학물질 위해성에 관한 자료 작성지침 9절’ 잔류성·축적성 물질 스크리닝 평가 시 사용한 환경 매질 반감기를 통해 간단히 계산할 수 있다.

3. 분배기작 (Partition coefficients)

이 절에서는 다음의 분배 과정들이 계산된다.

- ① 대기-수체 분배(Air-water partitioning).
- ② 에어로졸 입자로의 흡착(Adsorption to aerosol particles).
- ③ 토양, 저토, 부유물질, 폐수 슬러지에 포함된 고체로의 흡착/탈착 (Adsorption/desorption to solids in soil, sediment, suspended matter and sewage sludge).

가. 대기-물 분배(Air-water partitioning)

물질의 액체상(aqueous phase)에서 기체상으로의 이동(예: STP 폭기조에서의 스트리핑, 지표수에서의 휘발)은 그 물질의 헨리상수(Henry's Law constant)로부터 추정된다. 만약 헨리상수값을 모른다면, 헨리상수와 또는 무차원 헨리상수는 증기압과 물용해도의 비로부터 추정될 수 있다.

$$Kh = \frac{HENRY}{R \cdot TEMP} = \frac{VP/SOL}{R \cdot TEMP} \quad (8)$$

with :

Kh : air-water partition coefficient [$m^3 \cdot m^{-3}$]
HENRY : Henry's law constant [$Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1}$]
VP : vapour pressure [Pa]
SOL : water solubility [$mol \cdot m^{-3}$]
R : gas constant [$Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$]
TEMP : environmental temperature [K]

나. 대기-에어로졸(Air-aerosol)

에어로졸 입자에 붙은 물질의 분율은 Junge (1977) 식에 따라 물질의 증기압으로부터 추정할 수 있다.

$$FR_{aerosol} = \frac{JungeConst \cdot SURF_{aerosol}}{VP + JungeConst \cdot SURF_{aerosol}} \quad (9)$$

[표 13] 대기-에어로졸 분배 매개변수 값

symbols	explanation	unit	value
JungeConst	constant of junge equation	[Pa.m]	1.72E-01
$SURF_{aerosol}$	surface area of aerosol particles	[m ² .m ⁻³]	2.64E-03
VP	vapour pressure	[Pa]	물질별 값
$FR_{aerosol}$	fraction of the substance associated with aerosol particles	[-]	

다. 대기-강우(Air-rain)

Scavenging ratio 는 측정되거나, 다음 식에 의해 추정할 수 있다.

$$SCAVratio = \frac{1 - FR_{aerosol}}{Kh} + FR_{aerosol} \cdot COLLECTeff \quad (10)$$

첫 번째 항은 대기에서의 강우(rain water)와 기체상 사이의 분배 계산 값을 나타낸다. 두 번째 항은 빗방울에 의한 에어로졸 입자의 scavenging을 나타낸다. COLLECTeff는 $2 \cdot 10^5$ 값을 사용한다(Mackay 1991, 국립환경과학원, 2013).

with :

SCAVratio : scavenging ratio (quotient of the total concentration in rainwater and the total concentration in air) of the chemical [-]

FRaerosol : fraction of the chemical in air that is associated with aerosol particles [-]

Kh : air-water equilibrium distribution constant [-]

COLLECTeff : aerosol collection efficiency [-]

라. 고체-수체 분배(Solids-water partitioning in the environment)

저토-수체(공극수), 토양-수체(공극수)간 분배계수를 추정할 때 “소수성 수착 (hydrophobic sorption)” 메커니즘에 기초한 방법을 주로 사용한다. 이 메커니즘은 저토 혹은 토양의 유기탄소 함량과 물질의 옥타올/물 분배계수를 이용하여 설명된다. 일반적인 식은 다음과 같다.

$$Kp = (1.26 \cdot Kow^{0.81}) \cdot CORG \cdot RHOsolid/1000 \quad (11)$$

with :

Kp : solids-water partition coefficient [kg.m⁻³]
 Kow : octanol-water partition coefficient [-]
 CORG : standard mass fraction organic carbon in soil/sediment [-]
 RHOsolid : mineral density sediment and soil [kg.m⁻³]

(1) 저토-수체 분배(Sediment-water partitioning)

고체-수체 분배계수는 일반적으로 [mol.kg_{solid}⁻¹/mol.l_{water}⁻¹] 혹은 [l_{water}.kg_{solid}⁻¹] 와 같이 표현된다. “무차원” 형태([mol.m_{sorbent}⁻³/mol.m_{water}⁻³] 혹은 [m_{water}³.m_{sorbent}⁻³])로 만들기 위해서는 계산이 필요하다. 평형 분배 상수값은 다음과 같이 유도될 수 있다.

$$Ksdw = FRACw_{sed} + FRACs_{sed} \cdot Kp_{sed} \cdot RHOsolid/1000 \quad (12)$$

with :

Ksdw : dimensionless sediment-water partition coefficient [-]
 FRACwsed : fraction of water in sediment [-]
 FRACssed : fraction of solids in sediment [-]
 Kpsed : sediment-water partition coefficient [l.kg⁻¹]
 RHOsolid : mineral density sediment and soil [kg.m⁻³]

(2) 토양-수체 분배(Soil-water partitioning)

$$K_{sw} = \text{FRAC}_{w_{soil}} + \text{FRAC}_{s_{soil}} \cdot K_{p_{soil}} \cdot \text{RHO}_{solid}/1000 \quad (13)$$

with :

K_{sw} : dimensionless soil-water partition coefficient [-]

$\text{FRAC}_{w_{soil}}$: fraction of water in soil [-]

$\text{FRAC}_{s_{soil}}$: fraction of solids in soil [-]

$K_{p_{soil}}$: soil-water partition coefficient [l.kg^{-1}]

RHO_{solid} : mineral density sediment and soil [kg.m^3]

마. 수체, 토양 내 물질의 용해분율(Dissolved fraction of the chemical in water, soil)

총 수체(부유물질, 생물상, 수체)에 존재하는 화학물질의 분율은 분배계수와 bioconcentration factor로부터 추정된다.

$$FRw_{water} = 1 / \left(1 + \frac{Kp_{susp} \cdot SUSP_{water}}{1000} + \frac{BCF_{fish} \cdot BIOMass_{water}}{1000} \right) \quad (14)$$

$$BCF_{fish} = FAT_{fish} \cdot Kow \quad (15)$$

with :

FRwwater : dissolved fraction of water column [-]
 Kpsusp : suspended solids-water partition coefficient [l.kg⁻¹]
 SUSPwater : concentration suspended matter in water [kg.m⁻³]
 BCFfish : bioconcentration factor water fish [l.kg⁻¹]
 BIOMasswater : concentration biota in water [kg.m⁻³]
 FATfish : fat content water fish [-]
 Kow : octanol-water partition coefficient [-]

$$FRw_{soil} = \frac{FRACw_{soil}}{(FRACa_{soil} \cdot Kh + FRACw_{soil} + FRACs_{soil} \cdot Kp_{soil} \cdot RHOsolid/1000)} \quad (16)$$

with :

FRwsoil : fraction of chemical present in the water phase of soil [-]
 FRACwsoil : fraction of water in soil [l.kg⁻¹]
 FRACasoil : fraction of air in soil [kg.m⁻³]
 FRACsoil : fraction of solid in soil [l.kg⁻¹]
 Kh : air-water equilibrium distribution constant [-]
 Kpsoil : soil-water partition coefficient [l.kg⁻¹]
 RHOsolid : mineral density sediment and soil [kg.m⁻³]

4. 환경 특성 매개변수

가. 일반적인 환경 매개변수 기본(default)값

우리나라 환경에 맞게 설정된 환경 매개변수 기본값은 다음 [표 14]와 같다.

[표 14] 환경 특성 매개변수 값

Parameter	Symbol	Unit	Value
Density of solid phase	RHOsolid	[kg _{solid} ·m _{solid} ⁻³]	2650
Density of water phase	RHOwater	[kg _{water} ·m _{water} ⁻³]	1000
Density of air	RHOair	[kg _{air} ·m _{air} ⁻³]	1.3
Environmental temperature (12.5℃)	TEMP	[K]	285.5
Constant of Junge equation	JungeConst	[Pa·m]	1.72E-1
Specific surface area of aerosol particles	SURF _{aerosol}	[m ² ·m ⁻³]	2.64E-03
Gas constant	R	[Pa·m ³ ·mol ⁻¹ ·K ⁻¹]	8.314
Surface water			
Concentration of suspended matter in water	SUSP _{water}	[kg·m ⁻³]	1.77E-2
Suspended matter			
mass fraction of organic carbon in susp. solids	CORG _{susp}	[-]	0.1
Sediment			
Volume fraction of solids in sediment	FRAC _{s_{sed}}	[-]	0.37
Volume fraction of water in sediment	FRAC _{w_{sed}}	[-]	0.63
mass fraction of organic carbon sediment solids	CORG _{sed}	[-]	0.05
Soil			
Volume fraction of solids in soil	FRAC _{s_{soil}}	[-]	0.6
Volume fraction of water in soil	FRAC _{w_{soil}}	[-]	0.16
Volume fraction of air in soil	FRAC _{a_{soil}}	[-]	0.24
mass fraction of organic carbon in soil solids	CORG _{soil}	[-]	0.07

나. 면적(Area of the system)

모형의 대상 공간적 범위는 한국(34°- 39°N, 125°50'- 130°E)이다.

$$SYSTEMAREA = AREAland + AREAsa \quad (17)$$

[표 15] 면적 관련 매개변수 값

symbols	explanation	unit	value
SYSTEMAREA	total area of the regional scale (air/(fresh water sea) + air/soil interfaces)	[m ²]	1.606E+11
AREAland	area of land in the system	[m ²]	1.00E+11
AREAsa	area of sea in the system	[m ²]	6.06E+10

다. 대기(Air)

지역 내 대기의 부피는 다음 식으로부터 얻는다.

$$VOLUME_{air} = SYSTEMAREA \cdot HEIGHT_{air} \quad (18)$$

다매체 동태모형은 모형 대상 지역을 하나의 단위 부피로 다루어 대기 중 오염물의 이동을 계산하는데, 이 때 대상 지역을 동일한 면적을 갖는 원통(cylinder)으로 간주하고 Eulerian box model 체계로 시스템의 면적과 풍속을 가지고 대기 중 오염물의 체류시간을 계산한다.

$$TAU_{air} = \frac{\sqrt{SYSTEMAREA \cdot \pi/4}}{WINDspeed} \quad (19)$$

with :

VOLUME_{air} : volume of the air compartment [m³]
 SYSTEMAREA : total area (air/water + air/soil interfaces) [m²]
 HEIGHT_{air} : atmospheric mixing height [m]
 TAU_{air} : residence time of air [d]
 WINDSPEED : average windspeed at 10 m above the surface [m/s]

대기에서의 주요 매개변수 값은 다음 [표 16]에 나타내었다.

[표 16] 대기(air)에서의 주요 매개변수 값

Parameter	Symbol	Unit	Value
Atmospheric mixing height	HEIGHT _{air}	[m]	1000
Wind speed of system	WINDspeed	[m.s ⁻¹]	2.13
Residence time of air over region	TAU _{air}	[d]	1.93
Aerosol-deposition velocity	AEROSOLdeprate	[m.s ⁻¹]	3.10 ⁻³
Aerosol-collection efficiency	COLLETEff _{aer}	[-]	2.10 ⁵
Average precipitation	RAINrate	[mm.yr ⁻¹]	1.36.10 ³

라. 수체(Water)

지역 내 수체의 부피는 다음 식으로부터 얻는다.

$$VOLUME_{water} = SYSTEMAREA \cdot AREAFRAC_{water} \cdot DEPTH_{water} \quad (20)$$

with :

VOLUME_{water} : volume of water compartment [m³]

SYSTEMAREA : total area [m²]

AREAFRAC_{water} : fraction of the system area [-]

DEPTH_{water} : depth of water column [m]

수체의 체류시간은 수체의 부피를 계에서의 총 수체 흐름으로 나눈 것으로 주어진다. 더 큰 공간 규모로부터의 유입, 폐수, 토양 유출, 지표수로의 직접 강우로 인해 계에서의 총 수체 흐름이 생긴다.

$$TAU_{water} = \frac{VOLUME_{water}}{FLOWS + RUNOFFflow_{soil}} \quad (21)$$

$$RUNOFFflow_{soil} = (RAINrate \cdot \frac{FRACrun_{soil}}{Ksw} + EROSION_{soil}) \cdot SYSTEMAREA \cdot AREAFRAC_{soil} \quad (22)$$

with :

TAU_{water} : hydraulic residence time of water compartment [s]

VOLUME_{water} : volume of water compartment [m³]

FLOWS : sum of the discharges of all streams crossing the scale boundaries to water compartment [m³/s]

RUNOFFflow_{soil} : total run off from soil 1,(soil 2 and soil 3) into water compartment [m³/s]

FRACrun_{soil} : fraction of the wet precipitation that runs off soil to water [-]

EROSION_{soil} : erosion of soil [m/s]

SYSTEMAREA : total area [m²]

AREAFRAC_{soil} : soil fraction of the system area [-]

RAINrate : rate of wet precipitation [m/s]

수체에서의 주요 매개변수 값을 다음 [표 17]에 나타내었다.

[표 17] 수체(water)에서의 주요 매개변수 값

Parameter	Symbol	Unit	Value
Area fraction of fresh water	AREAFRAC _{water}	[-]	0.0174
Area fraction of marine water	AREAFRAC _{sea}	[-]	0.377
Water depth fresh water	DEPTH _{water}	[m]	4.34
Water depth marine	DEPTH _{sea}	[m]	10
Suspended-solids concentration in water	SUSP _{water}	[kg.m ⁻³]	0.0177
Suspended-solids concentration in sea	SUSP _{sea}	[kg.m ⁻³]	0.005
Concentration of biota in water	BIOMass _{water}	[kg.m ⁻³]	0.001

마. 수체 중 부유물질(Water, suspended matter)

저토와 수체 간 입자 교환이 일어난다. 부유물질 수지를 통해 net sedimentation rate를 계산할 수 있다. 부유물질은 내부생성, 바깥에서의 유입, 폐수 유입, 토양 표면 침식을 통해 계로 들어온다. 부유물질은 흐르는 물을 통해 계를 떠난다.

$$\text{IF } \frac{SETTLEvelocity \cdot SUSP_{water}}{(1 - FRACw_{sed}) \cdot RHOsolid} > NETsedrate \quad (23) \text{ 이면}$$

$$GROSSsedrate = \frac{SETTLEvelocity \cdot SUSP_{water}}{(1 - FRACw_{sed}) \cdot RHOsolid} \quad (24),$$

그렇지 않으면

$$GROSSsedrate = NETsedrate \quad (25)$$

$$RESUSP_{rate} = GROSSsedrate - NETsedrate \quad (26)$$

$$\begin{aligned} NETsedrate = & (SUSP_{water[C]} \cdot WATERflow_{[C][R]} + SUSP_{water[L]} \cdot WATERflow_{[L][R]}) \\ & + \sum_{i=1}^3 (EROSION_{soil i} \cdot AREAFRAC_{soil i} \cdot SYSTEMAREA \cdot FRACs_{soil i} \cdot RHOsolid) \\ & + \frac{PROD_{susp_{water}} - SUSP_{water} \cdot (WATERflow_{water-sea} - WATERflow_{[R][L]})}{(1 - FRACw_{sed}) \cdot RHOsolid} \cdot \frac{1}{(SYSTEMAREA \cdot AREAFRAC_{water}} \end{aligned} \quad (27)$$

with :

GROSSsedrate : gross sedimentation rate for sediment [msed/s]
 SETTLEvelocity : settling velocity of suspended particles [mwater/s]
 SUSPwater : concentration of suspended matter in water column [kgsolid/mwater3]
 FRACwsed : volume fraction water of the sediment [-]
 FRACssed : volume fraction solid of the sediment [-]
 RHOsolid : density of the solid phase of sediment [kg/m3]
 NETsedrate : net sedimentation rate for sediment [msed/s]
 RESUSPrate : resuspension rate for sediment [msed/s]
 SUSPwater[C] : concentration of suspended matter in water column at continental scale [kgsolid/mwater3]
 SUSPwater[L] : concentration of suspended matter in water column at continental scale [kgsolid/mwater3]
 WATERflow[C][R] : flow of continental water to regional water [m3/s]
 WATERflow[L][R] : flow of local water to regional water [m3/s]
 WATERflowwater-sea : flow of water to sea water [m3/s]
 WATERflow[R][L] : flow of regional water to local water [m3/s]

EROSIONsoil : erosion of soil [m/s]
AREAFRACsoil : area fraction of soil [-]
AREAFRACwater : area fraction of water [-]
FRACsoil : volume fraction solid of the soil [-]
SYSTEMAREA : area of system [m²]
PRODsuspwater : Autochthonous PRODUCTION of suspended matter in fresh water [kg/s]

바. 수체 중 biota(Water, biota)

“Biota” 는 수체에 존재하는 박테리아에서 포유동물에 이르는 모든 살아있는 유기체를 말한다. 수체의 biota 분율은 일반적으로 작는데 수체 내 부유물질 분율에 비해서도 작다. Biota와 수체 간 농도 비율은 종종 평형에 가깝기 때문에 모형 내에서는 수체와 biota 간 항상 평형을 가정한다.

BIOMass_{water} : concentration of biota in the water column [kg/m³]

사. 저토(Sediment)

저토의 부피는 다음 식으로 계산된다.

$$VOLUME_{sed} = SYSTEMAREA \cdot AREAFRAC_{water} \cdot DEPTH_{sed} \quad (28)$$

with :

VOLUME_{sed} : volume of sediment compartment [m³]

SYSTEMAREA : total area [m²]

AREAFRAC_{water} : water fraction of the area [-]

DEPTH_{sed} : mixing depth of sediment [m]

저토에서 화학물질의 이동은 저토의 가장 위층부터 더 깊은 저토로 향한다.

$$BURIAL_{sed} = NETsedrate \quad (29)$$

with :

BURIAL_{sed} : burial rate of old sediment under fresh deposits [msed/s]

NETsedrate : net sedimentation rate for sediment [msed/s]

저토-수체 분배계수의 추정에는 저토의 유기탄소 함량이 필요하다. 디폴트값으로 다음 값이 고려된다.

$$CORG_{sed} = 0.05$$

CORG_{sed} : organic carbon content of sediment [kg_{org.carbon}/kg_{solid}]

저토에서 사용되는 주요 매개변수의 값은 다음 [표 18과 같다.

[표 18] 저토(sediment)에서의 주요 매개변수 값

Parameter	Symbol	Unit	Value
Sediment mixing depth	DEPTH _{sed}	[m]	0.03
Settling velocity of suspended solids	SETTLvelocity	[m.s ⁻¹]	2.89.10 ⁻⁵
(Biogenic) production of suspended solids in fresh water	PRODsusp _{water}	[kg.s ⁻¹]	8.88.10 ⁻¹
(Biogenic) production of suspended solids in marine water	PRODsusp _{sea}	[kg.s ⁻¹]	1.92.10 ¹

아. 토양(Soil)

토양의 부피는 다음 식으로 계산된다.

$$VOLUME_{soil\ i} = SYSTEMAREA \cdot AREAFRAC_{soil\ i} \cdot DEPTH_{soil\ i} \quad (30)$$

with :

VOLUME_{soil i} : volume of the soil 1 (soil2 and soil 3) [m³]

SYSTEMAREA : total area [m²]

AREA_{FRAC}_{soil i} : soil 1 (soil2 and soil 3) fraction of the area [-]

DEPTH_{soil i} : mixing depth of soil i [m]

토양에서는 아래쪽으로의 advection(공극수, 작은 입자의)과 diffusion(공기, 물, 고체의) 그리고 분해과정들이 동시에 일어나고 있으며 이러한 과정들이 모형의 수식에 반영되어 있다. 결과적으로 토양 내 농도는 깊이에 따른 지수적 감소로 나타난다(Cz). 이 때 물질의 물성에 따라 도달하는 깊이가 다르며 그 에 따른 토양 부피 및 토양 농도가 계산된다.

$$C_z = C_0 \cdot e^{-z/d_p} \quad (31)$$

$$d_p = \frac{Veff_{soil} + \sqrt{Veff_{soil}^2 + 4Def_{soil} \cdot kdeg_{soil}}}{2kdeg_{soil}} \quad (32)$$

$$Veff_{soil} = RAINrate \cdot FRAC_{inf_{soil}} \cdot \frac{FRw_{soil}}{FRACw_{soil}} + SOLIDadv_{soil} \cdot \frac{FRs_{soil}}{FRACs_{soil}} \quad (33)$$

$$Def_{soil} = DIFFgas \cdot \frac{FRACa_{soil}^{1.5} \cdot (1 - FRw_{soil} - FRs_{soil})}{FRACa_{soil}} + \quad (34)$$

$$DIFFwater \cdot FRACw_{soil}^{1.5} \cdot \frac{FRw_{soil}}{FRACw_{soil}} +$$

$$SOLIDdiff_{soil} \cdot FRs_{soil} \cdot \frac{FRs_{soil}}{FRACs_{soil}}$$

$$FRw_{soil} = \frac{FRACw_{soil}}{(FRACa_{soil} \cdot Kh + FRACw_{soil} + FRACs_{soil} \cdot Kp_{soil} \cdot RHO_{solid}/1000)} \quad (35)$$

$$FRs_{soil} = \frac{FRACs_{soil}}{FRACa_{soil} \cdot \frac{Kh}{(Kp_{soil} \cdot RHO_{solid}/1000)} + \frac{FRACw_{soil}}{(Kp_{soil} \cdot RHO_{solid}/1000)} + FRACs_{soil}} \quad (36)$$

IF 0.03m < dp, then

DEPTHsoil = 0.03m, else

IF 0.03m ≤ dp ≤ 1m, then

DEPTHsoil = dp, else

IF dp > 1m, then

DEPTHsoil = 1m

단 농경지의 경우에는 아래와 같이 계산한다.

IF 0.2m < dp, then

DEPTHsoil = 0.2m, else

IF 0.2m ≤ dp ≤ 1m, then

DEPTHsoil = dp, else

IF dp > 1m, then

DEPTHsoil = 1m

with :

kdegsoil : rate constant for degradation in bulk soil [d-1]

RAINRATE : average daily rate of precipitation [m.d-1]

Finssoil : fraction of precipitation that penetrates into the soil. [-]

dp : substance-dependent penetration depth [m]

$V_{effsoil}$: effective advection (with penetrating porewater) [m.d-1]
 $D_{effsoil}$: effective diffusion coefficient [m².d-1]
 $FR_{a,soil}$: mass fractions of the substance in the air phases of the soil [-]
 $FR_{w,soil}$: mass fractions of the substance in the water phases of the soil [-]
 $FR_{s,soil}$: mass fractions of the substance in the solid phases of the soil [-]
 $F_{airsoil}$: volume fractions of air in the soil compartment [mair3.msoil-3]
 $F_{watersoil}$: volume fractions of water in the soil compartment [mwater3.msoil-3]
 $F_{solidsoil}$: volume fractions of solids in the soil compartment [msolid3.msoil-3]
 Kh : dimensionless partition coefficient between air-water [-]
 Kp' : dimensionless part. coeff. between pore water- and solid phases of soil [-]
 $DIFF_{gas}$: molecular diffusivity of the substance in the gas phases [m².d-1]
 $DIFF_{water}$: molecular diffusivity of the substance in the water phases [m².d-1]
 $SOLID_{adv,soil}$: rate of advective downward transport of soil particles [m.d-1]
 $SOLID_{diff,soil}$: solid phase diffusion coefficient in the soil compartment [m².d-1]
 $kaslsoil$: Partial mass-transfer coefficient soil side of air-soil interface [m.d-1]

토양에서 사용되는 주요 매개변수의 값을 다음 [표 19]에 나타내었다.

[표 19] 토양(soil)에서의 주요 매개변수값

Parameter	Symbol	Unit	Value
Area fraction of natural soil	$AREA_{FRAC_{soil1}}$	[-]	0.402
Area fraction of agricultural soil	$AREA_{FRAC_{soil2}}$	[-]	0.122
Area fraction of industrial/urban soil	$AREA_{FRAC_{soil3}}$	[-]	0.0816
Fraction of rainwater infiltrating soil	$FRAC_{inf_{soil}}$	[-]	0.25
Fraction of rainwater run-off from soil	$FRAC_{run_{soil}}$	[-]	0.25
Natural soil-erosion rate	$EROSION_{soil1}$	[m.s ⁻¹]	$1.11 \cdot 10^{-11}$
Agricultural soil-erosion rate	$EROSION_{soil2}$	[m.s ⁻¹]	$4.88 \cdot 10^{-11}$
Industrial/urban soil-erosion rate	$EROSION_{soil3}$	[m.s ⁻¹]	$3.63 \cdot 10^{-11}$

5. 매질 간 이동을 표현하는 매개변수

가. Partial mass transfer coefficient

대기-수체 접촉면에서의 partial mass transfer coefficient(PMTC)는 풍속과 물질의 분자량에 따라 달라진다.

대기-수체 접촉면에서의 air-side partial mass transfer coefficient 값은 다음의 식으로부터 유도된다(Schwarzenbach et al., 1993).

$$kaw_{air} = 0.01 (0.3 + 0.2 WINDspeed) (0.018 / Molweight)^{(0.67 \cdot 0.5)} \quad (37)$$

with :

kawair : partial mass transfer coefficient at the air side of the air-water interface [mair/s]

WINDspeed : wind speed [m/s]

Molweight : molecular weight of chemical [kg/mol]

0.018 : molecular weight of water

대기-수체 접촉면에서의 water-side partial mass transfer coefficient는 다음의 식으로부터 유도된다(Schwarzenbach et al., 1993).

$$kaw_{water} = 0.01 (0.0004 + 0.0004 WINDspeed^2) (0.032 / Molweight)^{(0.5 \cdot 0.5)} \quad (38)$$

with :

kawwater : partial mass transfer coefficient at the water side of the air-water interface [mwater/s]

WINDspeed : wind speed [m/s]

Molweight : molecular weight of chemical [kg/mol]

kasair = 1.05E-03 [m/s]

kasair : partial mass transfer coefficient at the air-side of the air-soil interface [m/s]

$$kas_{soil} = Veff_{soil} + \frac{Def_{soil}}{PENdepth_{soil}} \quad (39)$$

with :

kassoil : partial mass transfer coefficient at the soil air-side of the air-soil interface [m/s]

Veffsoil : Effective ADVECTIVE TRANSPORT in soil [m/s]

Defsoil : Effective DIFFUSION coefficient in soil [m/s]

PENdepthsoil : PENETRATION DEPTH soil [m]

나. 침적(Deposition)

침적물질 전달 계수 $DRYDEPaerosol$ 과 Washout 값은 다음 방법으로 도출된다.

$$DRYDEP_{aerosol} = AEROSOLdeprate \cdot (1 - FRg_{air}) \quad (40)$$

$$Aerosol\ Washout = RAINrate \cdot (1 - FRg_{air}) \cdot COLLECTeff \quad (41)$$

$$Gas\ Washout = RAINrate \cdot \frac{FRg_{air}}{Kh} \quad (42)$$

with :

$DRYDEPaerosol$: mass transfer coefficient for dry deposition of aerosol-associated chemical [m/s]

$AEROSOLdeprate$: deposition velocity of the aerosol particles [m/s]

FRg_{air} : fraction of chemical in air that is associated with gas phase [-]

$AerosolWashout$: aerosol washout [m/s]

$GasWashout$: gas washout [m/s]

$RAINrate$: rate of wet precipitation [mm/s]

$COLLECTeff$: aerosol collection efficiency [-]

Kh : dimensionless air/water partition coefficient [-]

다. 기체 흡수와 휘발(Gas absorption and volatilization)

기체 흡수와 휘발에 대한 전체 물질 전달 계수(overall mass transfer coefficient) 값은 고전적인 two-film resistance model로부터 추정될 수 있다. 대기-수체 접촉면을 통과할 때 전체 물질 전달 계수는 수체와 대기 각각의 저항의 합으로부터 나온다. 대기-토양 접촉면을 통과할 때 토양 쪽의 접촉면은 토양 내 공기상과 수체상의 저항을 병렬로 다룬다.

다음과 같은 식을 사용할 수 있다.

$$GASABSflow_{water} = FRg_{air} \cdot \frac{kaw_{air} \cdot kaw_{water}}{kaw_{air} \cdot Kh + kaw_{water}} \quad (43)$$

with :

GASABSflowwater : overall mass transfer coefficient for gas absorption across the air-water interface, referenced to air [mair/s]

kawair : partial mass transfer coefficient at the air-side of the air-water interface [mair/s]

kawwater : partial mass transfer coefficient at the water-side of the air-water interface [mwater/s]

Kh : dimensionless partition coefficient between air-water [-]

$$GASABSflow_{soil} = FRg_{air} \cdot \frac{kas_{air} \cdot kas_{soil}}{kas_{air} \cdot \left(\frac{Kh}{Ksw}\right) + kas_{soil}} \quad (44)$$

$$Ksw = FRACa_{soil} \cdot Kh + FRACw_{soil} \cdot Kp_{soil} \cdot RHOsolid/1000 \quad (45)$$

with :

GASABSflowsoil : overall mass transfer coefficient for gas absorption across the air-soil interface, referenced to air [mair/s]

FRg : fraction of chemical in air that is associated with gas phase [-]

kasair : partial mass transfer coefficient at the air-side of the air-soil interface [m/s]

kassoil : partial mass transfer coefficient at the soil air-side of the air-soil interface [m/s]

Kh : dimensionless partition coefficient between air-water [-]

Ksw : dimensionless soil/water partition coefficient [-]

FRACasoil : volume fraction air of the soil [-]

FRACwsoil : volume fraction water of the soil [-]

FRACssoil : volume fraction solid of the soil [-]

Kpsoil : solids-water partition coefficient [L/kg]

RHOsolid : density of the solid phase of sediment [kg/m³]

$$VOLATflow_{water} = \frac{kaw_{air} \cdot kaw_{water}}{kaw_{air} \cdot Kh + kaw_{water}} \cdot Kh \cdot FRw_{water} \quad (46)$$

with :

$VOLATflow_{water}$: overall mass transfer coefficient for volatilization across the air-water interface, referenced to water [m/s]

kaw_{air} : partial mass transfer coefficient at the air-side of the air-water interface [m/s]

kaw_{water} : partial mass transfer coefficient at the water-side of the air-water interface [m/s]

Kh : dimensionless partition coefficient between air-water [-]

Ksw : dimensionless soil/water partition coefficient [-]

$$VOLATflow_{soil} = \frac{kas_{air} \cdot kas_{soil}}{kas_{air} + kas_{soil} / \left(\frac{Kh}{Ksw} \right)} \quad (47)$$

with :

$VOLATflow_{soil}$: overall mass transfer coefficient for volatilization across the air-water interface, referenced to soil [m/s]

kas_{air} : partial mass transfer coefficient at the air-side of the air-soil interface [m/s]

kas_{soil} : partial mass transfer coefficient at the soil air-side of the air-soil interface [m/s]

Kh : dimensionless partition coefficient between air-water [-]

Ksw : dimensionless soil/water partition coefficient [-]

라. 수체-저토 교환(Water/sediment exchange)

저토-수체 접촉면에서 직접 흡착과 탈착에 대한 전체 물질 전달 계수 값은 대기-수체, 대기-토양 접촉면에서 물질 전달을 설명하는 방법과 유사하게 고전적인 two-film resistance model을 통해 얻을 수 있다.

$$ADSORBflow_{sed} = \left(\frac{kwsd_{water} \cdot kwsd_{sed}}{kwsd_{water} + kwsd_{sed}} \right) \cdot FRw_{water} \quad (48)$$

with :

ADSORBflow_{sed} : overall mass transfer coefficient for adsorption across the sediment-water interface, referenced to water [m/s]

kwsd_{water} : partial mass transfer coefficient at the water side of the sediment-water interface [m/s]

kwsd_{sed} : partial mass transfer coefficient at the pore water side of the sediment-water interface [m/s]

FRw_{water} : dissolved fraction of water column [-]

$$DESORBflow_{sed} = \left(\frac{kwsd_{water} \cdot kwsd_{sed}}{kwsd_{water} + kwsd_{sed}} \right) / Ksdw \quad (49)$$

with :

DESORBflow_{sed} : overall mass transfer coefficient for desorption across the sediment-water interface, referenced to sediment [m/s]

kwsd_{water} : partial mass transfer coefficient at the water side of the sediment-water interface [m/s]

kwsd_{sed} : partial mass transfer coefficient at the pore water side of the sediment-water interface [m/s]

Ksdw : dimensionless sediment/water partition coefficient water [-]

$$Ksdw = FRACw_{sed} + FRACs_{sed} \cdot Kp_{sed} \cdot RHOsolid/1000 \quad (50)$$

with :

Ksdw : sediment/water partition coefficient water [-]

FRACw.sdR : volume fraction water of the sediment [-]

FRACs.sdR : volume fraction solid of the sediment [-]

Kp.sd1R : sediment/water partition coefficient water [L/kg]

RHOsolid : density of the solid phase of sediment [kg/m³]

저토-수체 접촉면에서의 수체 쪽 물질 전달 계수(water-side mass transfer coefficient) 값은 다음의 고정된 값(Mackay et al., 1985)을 사용할 수 있다.

$$kws_{water} = 2.778 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1} \quad (51)$$

kws_{water} : partial mass transfer coefficient at the water-side of the sediment-water interface [mwater/s]

Mackay et al.,(1992)에 따르면 저토-수체 접촉면에서 공극 속 고체의 액상(aqueous phase)에서의 molecular diffusion을 통한 공극 쪽에서의 물질 전달도 다루어졌는데, 이 때 effective diffusivity는 $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{hr}^{-1}$, diffusion 거리는 2cm로 계산 되었다. 이것을 통해 다음의 값이 유도되었다.

$$kws_{sed} = 2.778 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1} \quad (52)$$

kwssed : partial mass transfer coefficient at the pore water-side of the sediment-water interface [mporewater/s]

마. 토양에서 수체로의 이동(Soil to water transfer)

토양의 가장 이층에서 수체로의 화학물질의 이동은 다음 식으로 표현된다.

$$RUNOFFflow_{soil} = \frac{FRACrun_{soil} \cdot RAINrate}{Ksw} + EROSION_{soil} \quad (53)$$

with :

RUNOFFflowsoil : mass transfer coefficient for run-off soil [msoil/s]

RAINrate : rate of wet precipitation [mrain/s]

FRACrunsoil : fraction of rain water that runs off from soil to water [-]

Ksw : dimensionless soil-water partition coefficient [-]

EROSIONsoil : rate at which soil is washed from soil into surface water [msoil/s]

마. 계에서의 제거기작(Removal from the system)

저토와 토양의 이층에서 깊은 층으로의 화학물질의 이동은 다음 식으로 표현되며 본 모형에서는 제거기작으로 간주된다.

$$BURIALflow_{sed} = NETsedrate \quad (54)$$

with :

BURIALflow_{sed} : sediment burial rate for water column [msed/s]

NETsedrate : net sedimentation rate for sediment/water [msed/s]

$$LEACHflow_{soil} = \frac{FRACinf_{soil} \cdot RAINrate}{Ksw} \quad (55)$$

with :

LEACHflow_{soil} : mass transfer coefficient for leaching from soil [msoil/s]

FRACinf_{soil} : fraction of rain water that infiltrates into soil [-]

RAINrate : rate of wet precipitation [mrain/s]

Ksw : soil-water equilibrium distribution constant [mwater3/msoil3]

6. 수체에서의 용존농도(dissolved concentration) 계산

모형에서 수체는 biota와 부유물질을 포함한 bulk로 취급된다. 따라서 모형의 계산결과는 지표수에서의 총 농도(total concentration)를 나타낸다. 이후의 계산과 위해도 결정에서는 용존 농도(dissolved concentration)가 필요하다. 따라서 총 농도는 다음에 따라 변환된다.

$$PEC_{reg_{water}} = \frac{PEC_{reg_{water,tot}}}{1 + Kp_{susp} \cdot SUSP_{water} + BCF_{biota} \cdot BIOTA_{water}} \quad (56)$$

with :

PEC_{regwater} : regional PEC in surface water [kgc.m⁻³]
 PEC_{regwater,tot} : regional concentration in total surface water [kgc.m⁻³]
 Kpsusp : solids-water partition coefficient of suspended matter [m³.kg solids⁻¹]
 SUSP_{water} : concentration of suspended matter in water of region [kgdwt.m⁻³]
 BCF_{biota} : BCF for aquatic biota in regional/continental model [m³.kgwwt⁻¹]
 BIOTA_{water} : concentration of aquatic biota in regional system [kgwwt.m⁻³]

7. 농경지의 공극수 농도 계산

공극수의 농도는 토양-수체 분배계수와 토양의 bulk density를 이용해 총 농도로부터 유도된다. 공극수의 농도는 간접적 인간 노출을 추정하기 위해 식물에서의 농도와 식수의 농도를 추정할 때 필요하다.

$$PEC_{reg_{agric,porew}} = \frac{PEC_{reg_{agric}} \cdot RHO_{soil}}{K_{soil-water}} \quad (57)$$

PEC_{reg_{agric,porew}} : regional PEC in porewater of agricultural soil [kgc.m⁻³]

PEC_{reg_{agric}} : regional PEC in agricultural soil (total) [kgc.kgwwt⁻¹]

RHO_{soil} : wet bulk density of soil [kgwwt.m⁻³]

K_{soil-water} : soil-water partition coefficient [m³.m⁻³]

4절 다매체 동태모형 구조(excel) 설명

환경 중 예측농도 모형 엑셀 파일을 실행시키면 현재 하나의 사용자 입력 및 결과값 확인 시트(sheet)만을 확인할 수 있다. 실제로는 이러한 입력 및 출력 시트 외에도 계산을 위한 다양한 시트들이 있으나 시트 숨김 기능을 통해 숨김 상태로 있다.

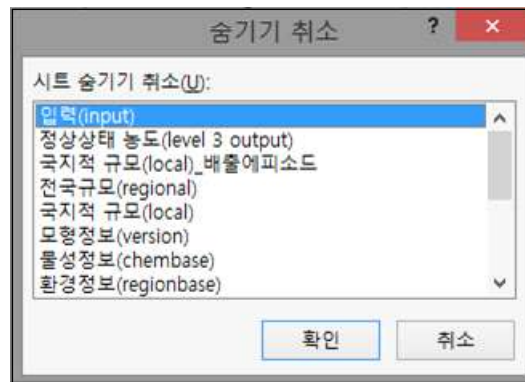
‘위해성에 관한 자료’ 작성 시에 사용 매개변수값 및 수식을 확인하고 refine 작업이 요구될 때, 사용자의 환경에 맞는 값으로 정밀하게 조정하고 싶을 경우 시트 숨김 기능을 통해 숨겨져 있는 시트를 열고 직접 사용자가 모형 내 값을 입력할 수 있다.

1. 숨겨진 시트 확인하기

모형 파일(환경 중 예측농도(PEC) 계산 모형. xls)을 실행한다. 창 하단에 있는 엑셀 시트 명에 마우스 커서를 위치시키고 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하면 옵션 메뉴가 나타나는데(그림 15), 메뉴 중 ‘숨기기 취소’를 클릭하면 숨겨진 시트들의 목록이 작은 창으로 뜬다(그림 16).

환경 중 예측농도(PEC) 계산		
version 2014-09-25		
입력 (Input)		
배출정보 (Emissions)	사용자 입력	단위
전국규모 (Regional scale)		
전국 총 취급량, 사용량 (Use volume)	10000	tonnes.yr ⁻¹
대기로의 배출계수 (Emission Factor air)	1	-
민물로의 배출계수 (Emission Factor water1)	0	-
해수로의 배출계수 (Emission Factor water2)	0	-
자연지토의 배출계수 (Emission Factor natural soil)	0	-
농경지토의 배출계수 (Emission Factor agricultural soil)	0	-
도시산업용지토의 배출계수 (Emission Factor other soil)	0	-
국지적규모 (Local scale)		
지역 취급량, 사용량	10	tonnes.yr ⁻¹
대기로의 배출계수 (Fraction of tonnage released to air)	1	-
민물로의 배출계수 (Fraction of tonnage released to waste water)	0	-
1년중 배출일수, 조업일수 (Number of emission days per year)	300	d.yr ⁻¹
물질정보 (Substance properties)		
이름 (Substance name)	toluene	-
분자량 (Molecular weight)	92	g.mol ⁻¹
녹는점 (Melting point)	-95	°C
옥탄올/물 분배계수 (Octanol)	490	-
증기압 (Vapor Pressure)	3800	Pa
증기압 측정온도	25	°C
물용해도 (Water Solubility)	515	mg.L ⁻¹
출력 (Output)		
전국규모 농도 Regional scale		
정상상태의 전국		
정상상태의 전국		
정상상태의 전국		
정상상태의 전국		
국지적규모 농도 Local scale		
대기PEC (Annual)		
수체PEC (Annual)		
저토PEC (Local)		
농경지PEC(30일)		
농경지PEC(180일)		
목초지PEC(180일)		
농경지 공공수체PEC		
목초지 공공수체PEC		
지하수PEC (Local)		

[그림 15] 모형에서 숨겨진 시트 확인



[그림 16] ‘숨기기 취소’ 메뉴

보고 싶은 시트 제목을 클릭하고 확인버튼을 누르면 숨겨져 있던 시트가 나타난다. 각 시트에 대한 설명은 다음 절을 참고한다.

한꺼번에 여러 개의 시트를 숨기기 취소하는 것은 불가능하고, 한 번에 하나씩만 가능하다. 모든 시트를 보이게 했을 때의 모습은 다음 [그림 17]과 같다.

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
STEADY-STATE COMPUTATION															
	g/L	w/L	g/L	s/L	s/L	s/L	v/L	v/L	a/R	w/R	w/R	s/R	s/R	s/R	s/R
v	1.00E+09	1.30E+05	9.00E+02	1.38E+04	1.20E+05	3.13E+03	3.24E+02	1.20E+03	1.61E+14	1.22E+10	5.05E+11	2.80E+07	1.82E+09	2.63E+09	3.92E+09
emis	0.00E+00	0.00E+00		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00			3.45E+00	0.00E+00	0.00E+00			0.00E+00	0.00E+00
REACTION (m3.s-1)															
	from aL	from wL	from sL	from sL	from sL	from sL	from vL	from vL	from aR	from wR	from wR	from sR	from sR	from sR	from sR
			1.32E-06	2.46E-04	3.03E-04	1.01E-05						1.30E-01	2.14E-02	3.28E+01	9.92E+00
	3.66E+01			0.00E+00	4.00E-05		8.50E-12	8.92E-05	5.88E+04					0.00E+00	1.31E+00
	3.15E+03	6.96E-02	2.41E-06	3.09E-04	3.21E-03	8.36E-05	1.47E-04	5.46E-04	5.09E+08	6.72E+03	3.35E+05	7.89E-02	5.12E+00	7.40E+01	1.10E+02
	1.53E-02			3.25E-04	7.21E-04	1.20E-04	7.39E-02	4.30E-02	2.40E+06						1.44E+01
	1.21E+02		4.08E-04	2.76E-05	3.04E-04	9.11E-05				0.00E+00					
		7.87E-03					5.22E-05	6.20E-05							
	1.24E+02														
	2.75E+02														
	5.02E+01														
	3.35E+03			5.93E-05											
	1.65E+03				3.92E-04									6.67E+01	2.03E+01
	2.40E+06									1.47E+03	3.17E+04	3.81E+01	8.02E+02	3.27E+01	9.94E+00
		1.03E-02								2.44E+08	1.17E+03	7.35E+02			6.64E+00
		0.00E+00													
										2.79E+07		1.55E+04			
										8.23E+06					
										6.06E+06					
										8.00E+08				1.42E+01	
										5.38E+07					1.28E+01
										9.63E+08					
											3.79E+03				
국지적 규모(local)_배출에피소드 전국규모(regional) 국지적 규모(local) 모형정보(version) 물성정보(chembase) 환경정보(regionbase) 대륙규모(continental) 계산(engine)															

[그림 17] 시트 숨기기 취소 실행 결과

2. 주요 시트 구성

환경 중 예측농도(PEC) 계산 모형. xls 파일의 숨겨져 있는 스프레드시트는 ‘모형정보(version)’, ‘물성정보(chembase)’, ‘환경정보(regionbase)’, ‘입력(input)’, ‘사업장 규모(local)_배출에피소드’, ‘전국규모(regional)’, ‘사업장 규모(local)’, ‘계산(engine)’, ‘정상상태 농도(level 3 output)’ 등이 있다. 앞 절에서 설명한 숨기기 취소 기능을 통해 필요한 시트를 숨김 해제 할 수 있으며 시트의 탭을 누르면 해당 시트로 이동할 수 있다. 주요 시트의 기능은 다음 [표 20]과 같다.

[표 20]에서 설명한 주요 시트 외에도 몇 개의 시트가 더 숨겨져 있는데, 그것은 우리나라 모형의 규모와 관련이 없기 때문에 본 매뉴얼에서는 별도의 설명을 생략한다.

[표 20] 모형 내 숨겨진 시트의 종류 및 내용

시트 이름	내 용
모형정보 (version)	모형의 기본 정보와 일자별 주요 업데이트 및 버그 수정이 기록되어 있다.
물성정보 (chembase)	주요 화학물질의 기본 물성 자료가 입력되어 있다.
환경정보 (regionbase)	우리나라 환경에 맞춘 전국규모(Regional scale)의 환경정보가 입력되어 있다.
입력 (input)	환경농도를 예측하기 위해 필요한 기본적인 입력정보(평가 공간의 특성값, 화학물질의 물성값, 배출량 등)를 입력하는 시트이다. 현재 '환경 중 예측농도(PEC) 계산' 시트에 입력값을 입력하게 되어있으므로 특별히 손 델 필요가 없다.
전국규모 (regional)	전국규모(Regional scale)의 정상상태(steady-state) 환경농도를 예측하기 위해 필요한 매개변수들과 해당 값들이 제시된다.
사업장 규모 (local)	사업장 규모(local scale)의 정상상태(steady-state) 환경농도를 예측하기 위해 필요한 매개변수들과 해당 값들이 제시된다.
계산 (engine)	규모별(local, regional), 매질별(대기, 수체, 저토, 토양) 농도를 계산하기 위한 물질수지식들의 연립해가 계산된다.
정상상태 농도 (level 3 Output)	계산된 정상상태의 환경농도값이 출력되어 표시되는 시트이다.
사업장 규모(local) _배출에피소드	사업장 규모(local scale)의 배출에피소드 동안의 환경농도를 예측하기 위해 필요한 매개변수들과 해당 값들이 제시된다. 정상 상태가 아닌 배출 에피소드 중의 농도를 계산하는 시트이다.

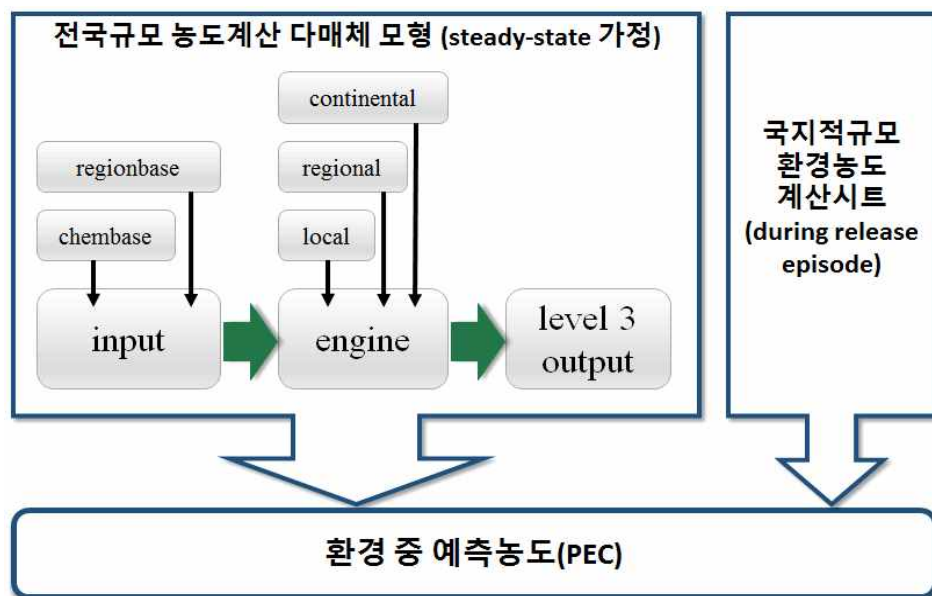
3. 모형의 입력 및 출력 흐름

전국규모의 정상상태 모형은 크게 입력, 계산, 출력의 세 부분으로 구성된다. 사용자는 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’ 시트에서 데이터 입력, 결과 확인을 모두 하게 되어 있다. 이 때 사용자가 입력한 값은 숨겨져 있는 ‘입력(input)’ 시트에 자동으로 입력된다. ‘계산(engine)’ 시트에서 전국적 규모의 매질별(대기, 수체, 저토, 토양) 농도가 계산되고 최종 결과가 ‘정상상태 농도(level 3 output)’ 시트에 출력된다.

이 값은 ‘사업장 규모(local)_배출에피소드’ 시트에서 계산되는 사업장 규모의 배출에피소드 중 농도의 배경농도로 사용된다.

사용자는 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’ 시트에서 전국규모의 정상상태 농도값과 사업장 규모 배출에피소드 중 농도값을 확인할 수 있다. 사용자는 결과값을 확인하고 추후 노출평가에 사용할 수 있게 된다.

환경 중 예측농도 계산을 위한 모형의 입력 및 출력 흐름도를 [그림 18]에 나타내었다.



[그림 18] 모형의 입력 및 출력 흐름도

4. 시트 세부 내용

가. ‘입력(Input)’ 시트

‘입력(Input)’ 시트는 크게 3부분으로 나뉜다. 환경 특성(Landscape properties), 물질 특성(Substance properties), 배출량 정보(Emissions)로 나뉘어 있고 각 부분에 속하는 여러 변수가 존재한다. 사용자는 각 매개변수에 미리 입력된 값을 그대로 사용하거나 필요한 경우 조정할 수 있다.

환경 특성 부분에 입력해야 하는 값은 평가공간의 면적, 기온, 풍속, 강수량 등이 해당되며 ‘환경정보(regionbase)’ 시트와 연결되어 있다. 모형에 한국 환경에 최적화된 값들이 디폴트로 제공되어 있으며 사용자가 이를 변경해서는 안 된다(그림 19).

GENERAL MODEL INPUTS							
LANDSCAPE PROPERTIES							
	Variable Name	Unit	Input	DataBase	Formula	Value	Used
Region Name	RegionName			South KOREA			South KOREA
Region DataBase row number	RegionBaseRowNr		26		10		26
REGIONAL SCALE							
Area land	AREALand.R	[km ²]		1.00E+05		2.29E+05	1.00E+11 m ²
Area sea	AREASea.R	[km ²]		6.06E+04		1.00E+03	6.06E+10 m ²
Fraction fresh water	FRACfresh.R	-		2.80E-02		3.00E-02	2.80E-02 -
Fraction natural soil	FRACnatsoil.R	-		6.45E-01		2.70E-01	6.45E-01 -
Fraction agricultural soil	FRACagsoil.R	-		1.96E-01		6.00E-01	1.96E-01 -
Fraction urban/industrial soil	FRACothersoil.R	-		1.31E-01		1.00E-01	1.31E-01 -
Temperature	TEMP.R	[°C]		1.25E+01		1.20E+01	2.85E+02 K
Wind speed	WINDspeed.R	m.s ⁻¹		2.13E+00		3.00E+00	2.13E+00 m.s ⁻¹
Average precipitation	RAIRate.R	mm.yr ⁻¹		1.36E+03		7.00E+02	4.32E-08 m.s ⁻¹
Depth fresh water	DEPTHfreshwater.R	m		4.34E+00		3.00E+00	4.34E+00 m
FRACTION discharge regional fresh water to continental scale	FRAC.w1R.w1C	-		0.00E+00		3.40E-02	0.00E+00 -
Fraction run off	FRACrun.R	-		2.50E-01		2.50E-01	2.50E-01 -
Fraction infiltration	FRACinf.R	-		2.50E-01		2.50E-01	2.50E-01 -
Soil erosion	EROSION.R	mm.yr ⁻¹		6.88E-01		3.00E-02	2.18E-11 m.s ⁻¹
CONTINENTAL SCALE							
Area land	AREALand.C	[km ²]		7.04E+06		3.71E+06	7.04E+12 m ²
Area sea	AREASea.C	[km ²]		3.52E+06		3.71E+06	3.52E+12 m ²
Fraction fresh water	FRACfresh.C	-		3.00E-02		3.00E-02	3.00E-02 -
Fraction natural soil	FRACnatsoil.C	-		2.70E-01		2.70E-01	2.70E-01 -
Fraction agricultural soil	FRACagsoil.C	-		6.00E-01		6.00E-01	6.00E-01 -
Fraction urban/industrial soil	FRACothersoil.C	-		1.00E-01		1.00E-01	1.00E-01 -
Temperature	TEMP.C	[°C]		1.20E+01		1.20E+01	2.85E+02 K
Wind speed	WINDspeed.C	m.s ⁻¹		3.00E+00		3.00E+00	3.00E+00 m.s ⁻¹
Average precipitation	RAIRate.C	mm.yr ⁻¹		1.20E+03		7.00E+02	3.81E-08 m.s ⁻¹

[그림 19] ‘입력(input)’ 시트 - 환경특성

다음은 화학물질의 주요 물성 정보를 입력하는 부분이다. 주요 매개변수는 분자량, 녹는점, 25℃에서의 증기압, 25℃에서의 물에 대한 용해도, 옥타올/물 분배계수(Kow), 환경매질 내에서의 분해속도(air, water, sediment and soil degradation rate) 등이 있다(그림 20). 가장 기본적인 입력값들은 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’ 시트에 입력하게 되어 있으므로 이 시트에서는 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’ 시트에 입력란이 없는 매개변수 중 사용자가 수정할 필요가 있는 매개변수를 수정할 수 있다.

SUBSTANCE PROPERTIES		Variable Name	Unit	Input	DataBase	Formula	Value	Used
Substance Name	ChemName	benzoic acid			benzoic acid		benzoic acid	
Substance ID	ChemID	000065-85-0			000065-85-0		000065-85-0	
Chemical DataBase row number	ChemBaseRowNr	16			16		16	
Gas phase DIFFUSION coefficient	DIFFgas	[m ² s ⁻¹]			9.87E-06		9.87E-06	m2 s-1
Water phase DIFFUSION coefficient	DIFFwater	[m ² s ⁻¹]			1.02E-09		1.02E-09	m2 s-1
MOLECULAR WEIGHT	Molweight	[g mol ⁻¹]		1.22E+02			2.00E+02	kg mol-1
Solids/water PARTITION COEFFICIENT for standard solids	Kp	[-]			7.94E+00		7.94E+00	-
Octanol/water PARTITION COEFFICIENT	Kow	[-]		7.76E+01			1.35E+03	7.76E+01
Standard mass FRACTION organic carbon in soil/sediment	CORG	[-]					7.00E-02	7.00E-02
Mineral DENSITY sediment and soil	RHOSolid	[kg m ⁻³]					2.65E+03	2.65E+03
Gas/water PARTITION COEFFICIENT at 25 °C	Kh	[-]			1.59E-06		1.59E-06	-
VAPOR PRESSURE at 25 °C	Pvap25	[Pa]		1.10E-01			1.33E-01	1.10E-01
ENTHALPY of vaporization	H0vap	[kJ mol ⁻¹]					5.00E+01	5.00E+04
Water SOLUBILITY at 25 °C	Sol25	[mg L ⁻¹]		3.40E+03	4.39E+03		2.78E+01	2.78E+01
ENTHALPY of dissolution	H0sol	[kJ mol ⁻¹]					1.00E+01	1.00E+04
Junge's constant	JungeConst	[Pa.m]					1.72E-01	1.72E-01
Melting point	Tm	[°C]		1.22E+02			4.30E+01	3.95E+02
Gas phase degradation RATE CONSTANT at 25 °C	kdeg.air	[s ⁻¹]		3.50E-06	3.51E-06		3.50E-06	s-1
OH radical CONCENTRATION	C.OHrad	[cm ³]					5.00E+05	5.00E+05
FREQUENCY FACTOR OH radical reaction	k0.OHrad	[cm ³ s ⁻¹]					7.90E-11	7.90E-11
ACTIVATION ENERGY OH radical reaction	Ea.OHrad	[kJ mol ⁻¹]					6.00E+00	6.00E+03
Dissolved phase degradation RATE CONSTANT at 25 °C	kdeg.water	[s ⁻¹]		3.50E-06	2.09E-07		3.50E-06	s-1
Biodegradability test result	biodeg	[r / c / i / p]						
CONCENTRATION BACTERIA in test water	BACT test	[CFU mL ⁻¹]					4.00E+04	4.00E+04
RATE INCREASE factor per 10 °C	Q.10	[-]					2.85E+00	2.85E+00
Bulk degradation RATE CONSTANT standard sediment at 25 °C	kdeg.sed	[s ⁻¹]		3.50E-07	1.04E-08		3.50E-07	s-1
Bulk degradation RATE CONSTANT standard soil at 25 °C	kdeg.soil	[s ⁻¹]		1.13E-06	1.04E-07		1.13E-06	s-1

[그림 20] ‘입력(input)’ 시트 - 화학물질 물성

배출량 부분에는 규모별(사업장, 전국적), 각 매질(대기, 수체, 자연지, 농지, 도시산업용지)로의 배출량을 입력하거나, 또는 총 사용량과 각 매질로의 배출계수(Emission factor)를 입력할 수 있다(그림 21).

사업장 규모(local scale), 대륙규모(continental scale), 전지구적규모(global scale)의 사용량(배출량)은 기본적으로 0으로 설정되어 있다. 단, 전국규모(regional scale)의 사용량(배출량)은 임시로 100톤/년으로 설정되어 있고, 그것이 모두 대기로 배출되는 것으로(Emission factor air = 1) 설정되어 있다. 따라서 사용자는 전국규모의 계산 시 대상물질의 사용량(배출량) 및 환경 매질(air, water, soil)로의 배출계수를 새롭게 입력해야 한다. 가장 기본적인 입력값들은 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’ 시트에 입력하게 되어 있으므로 이 시트에서는 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산’ 시트에 입력란이 없는 매개변수 중 사용자가 수정할 필요가 있는 매개변수를 수정할 수 있다.

EMISSIONS	Variable Name	Input	DataBase	Formula	Value	Used
LOCAL SCALE						
EMISSION to air	E.aL	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00		0.00E+00 mol.s-1
EMISSION to water	E.wL	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00		0.00E+00 mol.s-1
EMISSION to natural soil	E.s1L	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00		0.00E+00 mol.s-1
EMISSION to agricultural soil	E.s2L	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00		0.00E+00 mol.s-1
EMISSION to other soil	E.s3L	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00		0.00E+00 mol.s-1
USE volume	Use.L	[t.yr ⁻¹]			0.00E+00	0.00E+00 mol.s-1
EMISSION FACTOR air	Efact.aL	[-]			0.0025	2.50E-03 -
EMISSION FACTOR water	Efact.wL	[-]			0.03	3.00E-02 -
EMISSION FACTOR natural soil	Efact.s1L	[-]			0	0.00E+00 -
EMISSION FACTOR agricultural soil	Efact.s2L	[-]			0	0.00E+00 -
EMISSION FACTOR other soil	Efact.s3L	[-]			0.0002	2.00E-04 -
REGIONAL SCALE						
EMISSION to air	E.aR	[t.yr ⁻¹]		1.00E+02		2.60E-02 mol.s-1
EMISSION to water1	E.w1R	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00		0.00E+00 mol.s-1
EMISSION to water2	E.w2R	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00		0.00E+00 mol.s-1
EMISSION to natural soil	E.s1R	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00		0.00E+00 mol.s-1
EMISSION to agricultural soil	E.s2R	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00		0.00E+00 mol.s-1
EMISSION to other soil	E.s3R	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00		0.00E+00 mol.s-1
USE volume	Use.R	[t.yr ⁻¹]			1.00E+02	2.60E-02 mol.s-1
EMISSION FACTOR air	Efact.aR	[-]			1.00E+00	1.00E+00 -
EMISSION FACTOR water1	Efact.w1R	[-]			0	0.00E+00 -
EMISSION FACTOR water2	Efact.w2R	[-]			0	0.00E+00 -
EMISSION FACTOR natural soil	Efact.s1R	[-]			0	0.00E+00 -
EMISSION FACTOR agricultural soil	Efact.s2R	[-]			0	0.00E+00 -
EMISSION FACTOR other soil	Efact.s3R	[-]			0	0.00E+00 -
CONTINENTAL SCALE						
EMISSION to air	E.aC	[t.yr ⁻¹]		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00 mol.s-1

[그림 21] ‘입력(input)’ 시트 - 배출량 정보

모형의 계산에 실제로 사용되는 매개변수의 값은 데이터 소스에 따라 Input, DataBase, Formula, Value 열에 있는 값들 중의 하나가 사용된다. Input열에는 사용자가 직접 값을 입력할 수 있다. DataBase열은 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산 모형.xls’ 파일 내에 있는 ‘물성정보(chemBase)’ 시트, ‘환경정보(regionbase)’ 시트와 연결되어서 각각의 시트에서 미리 값을 제공하면 그 값을 불러와 사용할 수 있다. Formula열은 미리 입력되어 있는 수식을 통해 계산된 값들이 표기되며 사용자가 마우스로 해당 셀을 클릭하면 그 값을 계산한 수식을 확인할 수 있다. Value열의 값은 표준 환경에서의 디폴트값이다. 유의할 점은 Formula열과 Value열의 값은 국내 표준 환경에 최적화된 값으로 설정되어 있기 때문에 사용자에게 의해 임의로 수정되어서는 안 된다는 것이다.

제일 오른쪽에 위치한 Used열에 표시되는 값은 모형의 계산에 실제 사용되는 값이다. 이 값은 위에서 살펴 본 4종류의 값 중 왼쪽부터 우선순위를 부여하여 불러온다. 즉, Input열에 값이 입력되어 있다면 다른 열에 값이 입력되어 있어도 Input열의 값을 불러온다. Input열이 비어있고 Database열에 값이 입력되어 있다면 Database열의 값이 사용되며 Value열의 값은 우선순위가 제일 낮으므로 앞의 두 열이 비어 있는 경우에 사용된다.

나. ‘물성정보(chembase)’ 시트

‘물성정보(chembase)’ 시트에는 화학물질의 물성 자료를 미리 입력하고 저장해 둘 수 있다(그림 22). 사용자는 필요에 따라 새로운 물질에 대한 물성정보를 추가할 수 있다. 모형에서 사용되는 주요 물성매개변수를 다음 [표 21]에 나타내었다.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ID #	Name	MW	Tm	Pvap25	Sol25	K _{OW}	kdeg(air)	kdeg(water)	kdeg(sed)	kdeg(soil)	
g.mol ⁻¹		°C	Pa	mg.L ⁻¹			s ⁻¹	s ⁻¹	s ⁻¹	s ⁻¹	
000071-43-2	benzene	78	6	1.3E+04	1.8E+03	1.3E+02	1.1E-05	1.1E-06	1.1E-07	3.5E-07	
000050-00-0	formaldehyde	30	-92	5.2E+05	4.0E+05	2.2E+00	5.3E-05	2.0E-06	2.0E-06	2.0E-06	
000050-29-3	p,p'-DDT	355	109	2.0E-05	5.5E-03	1.5E+06	1.1E-06	3.5E-08	3.5E-09	1.1E-08	
000050-32-8	benzo(a)pyrene	252	175	7.0E-07	3.8E-03	1.1E+06	1.1E-06	1.1E-07	3.5E-09	1.1E-08	
000056-23-5	carbon tetrachloride	154	-23	1.5E+04	8.0E+02	4.4E+02	1.1E-08	1.1E-07	1.1E-08	3.5E-08	
000056-38-2	parathion	291	6	6.0E-04	1.2E+01	6.3E+03	1.1E-05	3.5E-07	1.1E-07	3.5E-07	
000056-55-3	benz(a)anthracene	228	159	5.3E-04	1.9E-02	6.8E+05	9.2E-05	9.2E-05	1.9E-09	1.9E-09	
000058-89-9	g-HCH (lindane)	291	112	3.7E-03	7.3E+00	5.0E+03	1.9E-07	1.1E-08	3.5E-09	1.1E-08	
000058-90-2	2,3,4,6-tetrachlorophenol	232	70	2.8E-01	1.8E+02	2.8E+04	3.5E-07	3.5E-07	3.5E-08	1.1E-07	
000060-57-1	dieldrin	381	176	5.0E-04	1.7E-01	1.6E+05	3.5E-06	1.1E-08	3.5E-09	1.1E-08	
000062-53-3	aniline	93	-6	6.5E+01	3.6E+04	7.9E+00	3.9E-05	1.1E-06	1.1E-07	1.1E-06	
000063-25-2	carbaryl	201	142	2.7E-05	1.2E+02	2.3E+02	3.5E-06	1.1E-06	1.1E-07	3.5E-07	
000065-85-0	benzoic acid	122	122	1.1E-01	3.4E+03	7.8E+01	3.5E-06	3.5E-06	3.5E-07	1.1E-06	
000067-56-1	methanol	32	-98	1.7E+04	1.0E+06	1.7E-01	4.9E-07	2.0E-06	2.0E-06	2.0E-06	
000067-63-0	isopropanol	60	-90	6.1E+03	1.0E+06	1.1E+00	4.9E-06	2.0E-06	2.0E-06	2.0E-06	
000067-66-3	trichloromethane	119	-64	2.6E+04	8.2E+03	9.3E+01	1.1E-07	1.1E-07	1.1E-08	3.5E-08	
000067-72-1	hexachloroethane	237	186	5.0E+01	5.0E+01	8.5E+03	1.1E-08	1.1E-07	1.1E-08	3.5E-08	
000069-72-7	salicylic acid	138	159	2.1E-02	2.3E+03	1.6E+02	3.5E-06	3.5E-06	3.5E-07	1.1E-06	
000071-41-0	1-pentanol	88	-78	3.0E+02	2.2E+04	3.2E+01	3.5E-06	3.5E-06	1.1E-06	3.5E-06	
000071-43-2	benzene	78	6	1.3E+04	1.8E+03	1.3E+02	1.1E-05	1.1E-06	1.1E-07	3.5E-07	
000071-55-6	1,1,1-trichloroethane	133	-33	1.8E+04	1.4E+03	3.1E+02	1.1E-08	5.7E-08	1.8E-08	2.2E-08	
000072-43-5	methoxychlor	346	86	1.3E-04	4.5E-02	1.2E+05	1.1E-05	1.1E-06	3.5E-08	1.1E-07	
000072-55-9	p,p'-DDE	319	88	8.7E-04	4.0E-02	5.0E+05	1.1E-06	3.5E-09	3.5E-09	3.5E-09	
000075-01-4	vinyl chloride	63	-154	4.0E+05	8.8E+03	4.2E+01	3.6E-06	7.7E-08	7.7E-08	7.7E-08	
000075-09-2	dichloromethane	85	-95	2.6E+04	1.3E+04	1.8E+01	1.1E-07	1.1E-07	1.1E-08	3.5E-08	
000075-25-2	tribromomethane	253	-8	7.3E+02	3.1E+03	2.4E+02	1.1E-07	1.1E-07	1.1E-08	3.5E-08	
000076-01-7	pentachloroethane	202	-29	6.3E+02	5.0E+02	7.8E+02	1.1E-08	1.1E-07	1.1E-08	3.5E-08	
000076-06-2	chlorophyll a	164	-64	2.4E+03	2.3E+03	1.2E+02	1.1E-06	3.5E-06	1.1E-06	3.5E-06	

[그림 22] ‘물성정보(chembase)’ 시트

[표 21] ‘물성정보(chembase)’ 시트 매개변수

매개변수		단위
ID	CAS registry number	-
Name	Chemical name	-
MW	분자량	g/mol
Tm	녹는점	°C
Pvap25	25°C에서의 증기압	Pa
Sol25	25°C에서의 물에 대한 용해도	mg/L
Kow	옥타올/물 분배계수	-
kdeg(air)	대기에서의 분해속도상수	1/s
kdeg(water)	수체에서의 분해속도상수	1/s
kdeg(sed)	저토에서의 분해속도상수	1/s
kdeg(soil)	토양에서의 분해속도상수	1/s

다. ‘환경정보(regionbase)’ 시트

‘환경정보(regionbase)’ 시트에는 평가 공간의 기본적 환경 특성 값들이 전국 규모(regional scale)에 대해 제시되어 있다(그림 23). 공간적 특성을 나타내는 주요 매개변수를 다음 [표 22]에 나타내었다. 이 시트에 저장된 공간 환경 특성 값들은 ‘입력(input)’ 시트와 연결되어서 모형의 입력 값으로 사용된다. 단, 한국 환경에 최적화된 값들이 디폴트로 이미 입력되어 있으므로 사용자가 이를 수정해서는 안 된다.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	ID #	Name	REGIONAL SCALE							
			Area land km ²	Area sea km ²	Areafrac fresh water [-]	Areafrac nat soil [-]	Areafrac agr soil [-]	Areafrac other soil km	Temp °C	W
6	KOREA	South KOREA	100034	60600	0.028	0.645	0.196	0.131	12.49118	2.1
7	SB-DEF	Default SimpleBox	2.29E+05	1.00E+03	3.00E-02	2.70E-01	6.00E-01	1.00E-01	1.20E+01	3.0
8	EU-DEF	Default EUSES	4.00E+04	4.00E+02	3.00E-02	2.70E-01	6.00E-01	1.00E-01	1.20E+01	3.0
9	US - MA	United States of America - Middle Atlantic	2.77E+05	1.50E+03	7.03E-02	5.91E-01	2.34E-01	1.04E-01	1.06E+01	4.2
10	US - NE	United States of America - New England	1.72E+05	9.26E+02	5.57E-02	7.59E-01	9.42E-02	9.07E-02	6.33E+00	5.2
11	US - ENC	United States of America - East North Central	7.81E+05	0.00E+00	1.92E-01	3.34E-01	4.26E-01	4.82E-02	8.51E+00	4.4
12	US - WNC	United States of America - West North Central	1.35E+06	0.00E+00	2.39E-02	1.52E-01	7.96E-01	2.79E-02	9.19E+00	4.6
13	US - SA	United States of America - South Atlantic	7.22E+05	4.25E+03	4.51E-02	6.08E-01	2.74E-01	7.26E-02	1.69E+01	3.6
14	US - ESC	United States of America - East South Central	4.71E+05	1.47E+02	1.84E-02	5.60E-01	3.87E-01	3.43E-02	1.59E+01	3.2
15	US - WSC	United States of America - West South Central	1.13E+06	1.22E+04	2.64E-02	2.86E-01	6.63E-01	2.48E-02	1.83E+01	4.6
16	US - M	United States of America - Mountain	2.24E+06	0.00E+00	8.67E-03	5.76E-01	4.08E-01	6.66E-03	1.09E+01	4.2
17	US - P	United States of America - Pacific	8.39E+05	4.99E+03	1.63E-02	6.67E-01	2.83E-01	3.41E-02	1.32E+01	3.2
18	CA - NL	Canada - Newfoundland and Labrador	4.05E+05	3.88E+03	7.73E-02	9.20E-01	1.00E-03	1.80E-03	-3.14E-01	4.6
19	CA - AM	Canada - Atlantic Maritime	1.34E+05	1.35E+03	2.54E-02	8.82E-01	7.89E-02	1.32E-02	5.50E+00	4.4
20	CA - Q	Canada - Québec	1.54E+06	1.49E+04	1.15E-01	8.58E-01	2.22E-02	4.86E-03	-1.15E+00	4.1
21	CA - O	Canada - Ontario	1.08E+06	2.91E+03	1.47E-01	7.95E-01	5.08E-02	7.10E-03	5.12E-01	3.7
22	CA - M	Canada - Manitoba	6.48E+05	2.71E+03	1.45E-01	7.36E-01	1.17E-01	1.37E-03	-2.15E+00	4.1
23	CA - S	Canada - Saskatchewan	6.51E+05	0.00E+00	9.12E-02	5.04E-01	4.03E-01	1.28E-03	2.07E-01	3.6
24	CA - A	Canada - Alberta	6.62E+05	0.00E+00	2.95E-02	6.47E-01	3.18E-01	5.03E-03	2.39E+00	3.6
25	CA - BC	Canada - British Columbia	9.45E+05	5.38E+03	2.07E-02	9.47E-01	2.74E-02	4.55E-03	4.74E+00	3.4
26	KOREA	South KOREA	1.00E+05	6.06E+04	2.80E-02	6.45E-01	1.96E-01	1.31E-01	1.25E+01	2.1
27										
28										
29										
30										
31										

[그림 23] ‘환경정보(regionbase)’ 시트

[표 22] ‘환경정보(regionbase)’ 시트 매개변수

매개변수		단위
Area land	대상 공간 면적. 하천 등 수체 면적과 자연 토양, 농경지 등 토양 면적을 전부 합친 값.	km ²
Area sea	바다 면적	km ²
Area fraction fresh water	전체 면적에서 담수 면적이 차지하는 비율	-
Area fraction natural soil	전체 면적에서 자연 토양 면적이 차지하는 비율	-
Area fraction agricultural soil	전체 면적에서 농경지 면적이 차지하는 비율	-
Area fraction other soil	전체 면적에서 자연 토양, 농경지를 제외한 토양 면적이 차지하는 비율	-
Temp	기온, 국내 기후 30년 평년값 적용	℃
Wind speed	풍속, 국내 기후 30년 평균값	m/s
rain rate	강수, 국내 기후 30년 평균값	mm/yr
Depth fresh water	담수 깊이	m
River flow reg - cont	대륙 규모로 빠져나가는 담수 비율	-
Fraction run off	지표 유출 비율	-
Fraction infiltration	토양으로 침투 비율	-
Soil erosion	토양 침식률	mm/yr

라. ‘전국규모(regional)’ 시트

‘전국규모(regional)’ 시트에는 전국 규모(regional scale)의 정상상태(steady state) 환경 농도를 계산하기 위해 필요한 regional 규모의 환경 매개변수들과 해당하는 값들이 제시되어 있다(그림 24). 이 시트에 입력한 매개변수 값들은 ‘계산(engine)’ 시트에서 실제 결과 계산을 할 때 변수들로 사용된다.

‘전국규모(regional)’ 시트에 포함된 환경 매개변수들은 크게 기본적 평가 공간의 환경정보(environment), 매질 간 분배(intermedia partitioning), 매질 간 이동 기작(intermedia transfer) 그리고 매질 내 제거 기작(removal from system) 부분으로 나뉜다.

매개변수 항목의 종류는 기본적으로는 ‘사업장 규모(local)’ 시트와 동일하다.

각각의 매개변수들에 대해 입력값은 Input, Formula, Value 등 3종류가 있다. Input 열에는 사용자가 값을 직접 입력할 수 있다. Formula 열은 해당 값을 식을 통해 계산할 수 있는 경우에 식을 통한 계산값을 나타낸다. Value 열은 해당 매개변수에 대한 표준 환경에서의 디폴트값이다. 유의할 점은 Formula 열과 Value 열의 값은 국내 표준 환경에 맞는 값으로 설정되어 있기 때문에 사용자에게 의해 수정되어서는 안 된다.

제일 오른쪽에 있는 Used 열이 실제로 모형의 계산을 위한 값으로 부분적으로 필요에 따라 단위가 환산되어 계산된다. 이 값은 살펴본 Input, Formula, Value 값 중 왼쪽부터 우선순위를 부여하여 불러온다. 즉, Input 열에 값이 입력되어 있을 경우 가장 우선적으로 그 값을 사용한다. Input 열에 값이 없고 Formula 열에 값이 입력되어 있을 경우에는, Formula 열의 값을 사용한다.

REGIONAL SCALE MODEL DEFINITION						
ENVIRONMENT	Variable Name	Unit	Input	Formula	Value	Used
System Name	SystemName.R				Region	Region
VOLUME air compartment	VOLUME.aR	[m ³]		1.61E+14		1.61E+14 m ³
VOLUME fresh water compartment	VOLUME.w1R	[m ³]		1.22E+10		1.22E+10 m ³
VOLUME sea water compartment	VOLUME.w2R	[m ³]		6.06E+11		6.06E+11 m ³
VOLUME fresh water sediment compartment	VOLUME.sd1R	[m ³]		2.80E+07		2.80E+07 m ³
VOLUME marine sediment compartment	VOLUME.sd2R	[m ³]		1.82E+09		1.82E+09 m ³
VOLUME natural soil compartment	VOLUME.s1R	[m ³]		3.16E+10		3.16E+10 m ³
VOLUME agricultural soil compartment	VOLUME.s2R	[m ³]		9.61E+09		9.61E+09 m ³
VOLUME other soil compartment	VOLUME.s3R	[m ³]		6.42E+09		6.42E+09 m ³
VOLUME natural vegetation compartment	VOLUME.v1R	[m ³]		8.60E+07		8.60E+07 m ³
VOLUME agricultural vegetation compartment	VOLUME.v2R	[m ³]		3.92E+07		3.92E+07 m ³
AREA regional system	SYSTEMAREA.R	[km ²]		1.61E+05		1.61E+11 m ²
AREA FRACTION fresh water	AREAFRAC.w1R	[-]		1.74E-02		1.74E-02 -
AREA FRACTION natural soil	AREAFRAC.s1R	[-]		4.02E-01		4.02E-01 -
AREA FRACTION agricultural soil	AREAFRAC.s2R	[-]		1.22E-01		1.22E-01 -
AREA FRACTION other soil	AREAFRAC.s3R	[-]		8.16E-02		8.16E-02 -
AREA FRACTION sea water	AREAFRAC.w2R	[-]		3.77E-01		3.77E-01 -
Mixed HEIGHT air compartment	HEIGHT.aR	[m]			1.00E+03	1.00E+03 m
Mixed DEPTH fresh water compartment	DEPTH.w1R	[m]			4.34E+00	4.34E+00 m
Mixed DEPTH sea water compartment	DEPTH.w2R	[m]			1.00E+01	1.00E+01 m
Mixed DEPTH fresh water sediment compartment	DEPTH.sd1R	[cm]			1.00E+00	1.00E-02 m
Mixed DEPTH marine sediment compartment	DEPTH.sd2R	[cm]			3.00E+00	3.00E-02 m
Effective DEPTH natural soil compartment	DEPTH.s1R	[m]		4.90E-01		4.90E-01 m
PENETRATION DEPTH natural soil	PEInDepth.s1R	[m]		4.90E-01		4.90E-01 m
Effective ADVECTIVE TRANSPORT in natural soil	Veff.s1R	[m s ⁻¹]		1.42E-09		1.42E-09 m s ⁻¹
SOLID phase advection velocity natural soil	SOLIDadv.s1R	[m s ⁻¹]			6.34E-12	6.34E-12 m s ⁻¹
Effective DIFFUSION coefficient in natural soil	Deff.s1R	[m ² s ⁻¹]		2.20E-08		2.20E-08 m ² s ⁻¹
SOLID phase turbation coefficient natural soil	SOLIDdiff.s1R	[m ² s ⁻¹]			8.07E-12	8.07E-12 m ² s ⁻¹
Effective DEPTH agricultural soil compartment	DEPTH.s2R	[m]		4.90E-01		4.90E-01 m

모형정보(version) / 물질정보(chembase) / 환경정보(regionbase) / 입력(input) / 국제적 규모(local) / 전국규모(regional) / 계산(engine) / 결과(level 3 output) / 크

[그림 24] ‘전국규모(regional)’ 시트

마. ‘사업장 규모(local)’ 시트

‘사업장 규모(local)’ 시트에는 사업장 규모의 정상상태(steady state) 환경 농도를 계산하기 위해 필요한 사업장 규모의 환경 매개변수들과 해당하는 값들이 제시되어 있다(그림 25). 이 시트의 매개변수 값들은 ‘계산(engine)’ 시트에서 실제 계산을 할 때 변수들로 사용된다.

‘사업장 규모(local)’ 시트에 포함된 환경 매개변수들은 크게 기본적인 평가공간의 환경정보(environment), 매질 간 분배(intermedia partitioning), 매질 간 이동 기작(intermedia transfer) 그리고 매질 내 제거 기작(removal from system) 부분으로 나뉜다.

각각의 매개변수들에 대해 입력값은 Input, Formula, Value 등 3종류가 있다. Input열에는 사용자가 값을 직접 입력할 수 있다. Formula열은 해당 값을 식을 통해 계산할 수 있는 경우에 식을 통한 계산값을 나타낸다. Value는 해당 매개변수에 대한 표준 환경에서의 디폴트값이다. 유의할 점은 Formula 열과 Value 열의 값은 국내 표준 환경에 맞는 값으로 설정되어 있기 때문에 사용자에게 의해 임의로 수정되어서는 안 된다는 것이다.

제일 오른쪽에 있는 Used 열이 실제로 모형의 계산을 위한 값으로 부분적으로 필요에 따라 단위가 환산되어 계산된다. 이 값은 Input, Formula, Value 값 중 왼쪽부터 우선순위를 부여하여 불러온다. 즉, Input 열에 값이 입력되어 있을 경우 가장 우선적으로 그 값을 사용한다. Input 열에 값이 없고 Formula 열에 값이 입력되어 있을 경우에는, Formula 열의 값을 사용한다.

LOCAL SCALE MODEL DEFINITION						
ENVIRONMENT		Variable Name	Unit	Input	Formula	Value
System Name		SystemName				Local
VOLUME air compartment		VOLUME aL	[m ³]	1.00E+09		1.00E+09 m ³
VOLUME fresh water compartment		VOLUME wL	[m ³]	9.00E+04		9.00E+04 m ³
VOLUME fresh water sediment compartment		VOLUME sdL	[m ³]	9.00E+02		9.00E+02 m ³
VOLUME natural soil compartment		VOLUME s1L	[m ³]	2.14E+05		2.14E+05 m ³
VOLUME agricultural soil compartment		VOLUME s2L	[m ³]	4.69E+05		4.69E+05 m ³
VOLUME other soil compartment		VOLUME s3L	[m ³]	7.71E+04		7.71E+04 m ³
VOLUME natural vegetation compartment		VOLUME v1L	[m ³]	3.60E+02		3.60E+02 m ³
VOLUME agricultural vegetation compartment		VOLUME v2L	[m ³]	1.20E+03		1.20E+03 m ³
AREA local system		SYSTEMAREA L	[km ²]			1.00E+00
AREA FRACTION fresh water		AREAFRAC wL	[-]	3.00E-02		3.00E-02
AREA FRACTION natural soil		AREAFRAC s1L	[-]	2.70E-01		2.70E-01
AREA FRACTION agricultural soil		AREAFRAC s2L	[-]	6.00E-01		6.00E-01
AREA FRACTION other soil		AREAFRAC s3L	[-]	1.00E-01		1.00E-01
Mixed HEIGHT air compartment		HEIGHT aL	[m]			1.00E+03
Mixed DEPTH fresh water compartment		DEPTH wL	[m]			3.00E+00
Mixed DEPTH fresh water-sediment compartment		DEPTH sdL	[cm]			3.00E+00
Effective DEPTH natural soil compartment		DEPTH s1L	[m]	7.92E-01		7.92E-01 m
PENETRATION DEPTH natural soil		PENdepth s1L	[m]	7.92E-01		7.92E-01 m
Effective ADVECTIVE TRANSPORT in natural soil		Veff s1L	[m s ⁻¹]	4.26E-09		4.26E-09 m s ⁻¹
SOLID phase advection velocity natural soil		SOLIDadv s1L	[m s ⁻¹]			6.34E-12
Effective DIFFUSION coefficient in natural soil		Ddiff s1L	[m ² s ⁻¹]	5.29E-08		5.29E-08 m ² s ⁻¹
SOLID phase turbulence coefficient natural soil		SOLIDdiff s1L	[m ² s ⁻¹]			6.37E-12
Effective DEPTH agricultural soil compartment		DEPTH s2L	[m]	7.81E-01		7.81E-01 m
PENETRATION DEPTH agricultural soil		PENdepth s2L	[m]	7.81E-01		7.81E-01 m
Effective ADVECTIVE TRANSPORT in agricultural soil		Veff s2L	[m s ⁻¹]	2.37E-09		2.37E-09 m s ⁻¹
SOLID phase advection velocity agricultural soil		SOLIDadv s2L	[m s ⁻¹]			6.34E-12
Effective DIFFUSION coefficient in agricultural soil		Ddiff s2L	[m ² s ⁻¹]	5.29E-08		5.29E-08 m ² s ⁻¹
SOLID phase turbulence coefficient agricultural soil		SOLIDdiff s2L	[m ² s ⁻¹]			6.37E-12

[그림 25] ‘사업장 규모(local)’ 시트

바. ‘계산(engine)’ 시트

실제 계산이 이루어지는 시트이다. 매질 내, 매질 간의 물질 이동을 고려하여 세워진 각 매질의 물질수지식들이 연립방정식의 형태로 계산된다. 모든 계산은 정상상태를 가정하고 이루어진다.

사. ‘정상상태 농도(level 3 output)’ 시트

‘계산(engine)’ 시트에서 정상상태를 가정하고 계산된 환경농도값이 표시된다.

아. ‘사업장 규모(local)_배출에피소드’ 시트

사업장 규모의 정상상태에 도달하기 전 배출에피소드 동안의 농도를 계산하는 시트이다. 다른 시트들과 별개로 이 시트 내부에서만 계산이 이루어지며 이 시트는 본 매뉴얼의 6장에서 다룬다.

6장. 배출 에피소드(release episode) 동안의 사업장 규모의 농도 계산

사업장 규모에서의 환경매질은 전국 규모와 달리 도시산업용지가 없고 대기, 수체, 저토, 토양(농경지, 목초지)으로 구성되어 있다. 배출 에피소드(release episode) 동안의 사업장 규모의 농도는 아래에 설명되는 별도의 방법으로 1차 사업장 농도를 계산하고, 그 값에 다매체모형을 통해 계산된 전국 규모의 농도를 합산하여 최종적인 사업장 규모의 농도를 계산한다. 이 값이 환경 노출평가에 사용되는 환경 중 예측농도(PEC) 이다.

사업장 규모의 배출 에피소드(release episode) 동안의 농도계산은 다매체모형이 아닌 별도의 계산 방법을 이용한다.

대기에서의 농도(PEC_{local air})는 오염원으로부터 100m 거리에서의 평균농도를 계산한다. 이러한 거리는 배출시설의 평균 크기를 반영하고 있는 것으로 가정한 것이다. 대기의 농도는 인간의 노출평가를 위해 사용되기 때문에 연평균 농도를 계산한다. 이때 토양으로의 침적량(deposition)은 배출원으로부터 반경 1,000m 안에서의 평균값으로 계산한다.

수체에서의 농도(PEC_{local water})는 원칙적으로 하수처리설비(STP)에서의 유출수가 완전히 혼합된 후에 계산된다. 유출과 노출지역 간의 거리가 매우 짧기 때문에 대개 희석(dilution)이 주된 제거(removal) 프로세스가 된다. 따라서 수체에서의 분해(degradation), 휘발(volatilization), 퇴적(sedimentation)의 영향은 농도계산에 반영하지 않는다. 표준 희석계수(dilution factor)가 사용되며, 계산된 용존 농도(dissolved concentration)가 PNEC_{water}와 비교된다. 저토의 농도는 수체와 같은 지역에서 계산된다.

상대적으로 생애주기가 짧은 수서생물의 노출을 평가하기 위해서 배출 에피소드(release episode) 동안의 농도가 계산된다. 반면에 인간과 포식동물의 직접 노출평가를 위해서는, 보다 만성적 노출관점이 적절하기 때문에 연평균 농도가 사용된다.

토양에서의 농도(PEC_{local soil})는 점오염원으로부터 대기로 배출된 오염물질이 침적(deposition) 과정을 통해 토양을 오염시키는 경우에 대해서, 오염이 지속적으로 발생한 특정 기간 동안의 평균농도를 계산한다. 토양은 농경지와 목초지 두 가지 형태로 구분하며, 각각 적용되는 혼합 깊이(mixing

depth)가 다르다. 육상 생태를 평가하기 위해서 30일 평균농도가, 사람의 간접노출을 평가하기 위해서 180일 평균농도가 각각 사용된다. 지하수 농도는 농경지 토양에서 계산된다.

1절. 대기에서의 PEClocal 계산

이 절에서는 다음의 매개변수들이 도출된다.

- ① 배출발생 동안의 사업장 대기 중 농도
- ② 연평균 사업장 대기 중 농도
- ③ 총 침적 플럭스(연평균)

PEClocal의 계산에서는 점오염의 배출뿐만 아니라 STP로부터의 배출도 고려해야 한다. 또한 PECregional(전국 규모 농도)은 배경농도로 사용되기 때문에, 사업장 농도에 합산되어야 한다. STP는 점오염원으로 가정되며, 물질의 농도는 점오염원으로부터 100m 떨어진 지점에서 계산된다. 상대적으로 배출과 노출지점과의 거리가 짧기 때문에 확산과 바람에 의한 이류에 의해 결정되며 배출량에 비례하기 때문에 가우시안 Plume 모형을 통해 Cstdair를 미리 계산하여 상수값으로 사용한다. 물질에 상관없이 동일한 값으로 3.24E-04 [mg·m⁻³] 이다. 배출량은 산업시설에서의 직접적 배출과 STP에서의 배출 중 큰 값을 PEClocal의 계산에 사용한다.

$$C_{local,air} = \max(E_{local,air}, E_{stp,air}) \cdot C_{std,air} \quad (58)$$

$$C_{local,air,ann} = C_{local,air} \cdot \frac{T_{emission}}{365} \quad (59)$$

with :

$E_{local,air}$: local direct release rate air during episode [kg·d⁻¹]

$E_{stp,air}$: local indirect release to air from STP during episode [kg·d⁻¹]

$C_{std,air}$: concentration in air at source strength of 1 kg·d⁻¹ (EU value : 2.78E-04) [mg·m⁻³]

$T_{emission}$: Number of emission days equal to : Annual Use(kg·y⁻¹)/Daily Use(kg·d⁻¹) [d·y⁻¹]

$C_{local,air}$: local concentration in air during release episode [mg·m⁻³]

$C_{local,air,ann}$: annual average concentration in air, 100 m from point source [mg·m⁻³]

$$PEC_{local_{air,ann}} = C_{local_{air,ann}} + PEC_{regional_{air}} \quad (60)$$

with :

$C_{local_{air,ann}}$: annual average concentration in air, 100 m from point source [mg·m-3]

$PEC_{regional_{air}}$: regional concentration in air [mg·m-3]

$PEC_{local_{air,ann}}$: annual average predicted environmental conc. in air [mg·m-3]

침적 플럭스(deposition flux)는 화학물질의 대기 중 입자에 수착되어 있는 비율에 따라 다르기 때문에 다소 복잡하다. 침적 플럭스의 계산에서 산업 시설에서의 직접적 배출과 STP에서의 배출이 합산된다.

$$DEP_{total} = (E_{local_{air}} + Estp_{air}) \cdot (F_{ass_{aer}} \cdot DEP_{std_{aer}} + (1 - F_{ass_{aer}}) \cdot DEP_{std_{gas}}) \quad (61)$$

$$DEP_{total_{ann}} = DEP_{total} \cdot \frac{T_{emission}}{365} \quad (62)$$

with :

$E_{local_{air}}$: local direct release rate air during episode [kg·d-1]

$Estp_{air}$: local indirect release to air from STP during episode [kg·d-1]

$T_{emission}$: Number of emission days equal to : Annual Use(kg·y-1)/Daily Use(kg·d-1) [d·y-1]

$F_{ass_{aer}}$: fraction of the substance bound to aerosol [-]

$DEP_{std_{aer}}$: standard deposition flux of aerosol-bound compound at a source strength of 1 kg·d-1 (EU value : 1.00E-02) [mg·m-2·d-1]

$DEP_{std_{gas}}$: deposition flux of gaseous compounds as a function of Henry's Law constant, at a source strength of 1 kg·d-1 ($\log HENRY \leq -2 \rightarrow 0.0005$, $-2 < \log HENRY \leq 2 \rightarrow 0.0004$, $\log HENRY > 2 \rightarrow 0.0003$) [mg·m-2·d-1]

DEP_{total} : total deposition flux during release episode [mg·m-2·d-1]

$DEP_{total_{ann}}$: annual average total deposition flux [mg·m-2·d-1]

2절. 수체에서의 PEClocal 계산

이 섹션에서는 다음의 매개변수들이 도출된다.

- ① 배출 에피소드(release episode) 동안의 수체 지역 농도
- ② 수체에서의 연평균 지역 농도

하수처리시설로부터 방류된 오염물질은 민물로 희석된다. 계산을 위해 다음을 가정한다.

- 수생태계의 대표적인 노출 환경으로서 민물로 방류된 이후 완전한 혼합이 일어나는 것으로 가정한다.
- 사업장 평가에서 방류지점과 노출지점 사이의 거리가 짧기 때문에 휘발(volatilization), 분해(degradation), 퇴적(sedimentation)은 무시된다.

수체에서의 PEClocal 계산은 STP로부터 수체로의 배출, 희석, 부유물질로의 흡착, 제거 등 순차적인 단계를 거친다.

희석(dilution)과 부유물질(suspended matter)로의 흡착(adsorption) 민물에서 사업장 농도는 다음의 수식에 따라 계산된다.

$$C_{local\ water} = \frac{C_{local\ eff}}{(1 + K_{p\ susp} \cdot SUSP_{water} \cdot 10^{-6}) \cdot DILUTION} \quad (63)$$

with :

Clocaleff : concentration of the substance in the STP effluent [mg·l⁻¹]

Clocalinf : concentration in untreated wastewater [mg·l⁻¹]

Fstpwater : fraction of release directed to water by STP [-]

Kpsusp : solids-water partitioning coefficient of suspended matter [l·kg⁻¹]

SUSPwater : concentration of suspended matter in the river [mg·l⁻¹]

DILUTION : dilution factor [-]

Clocalwater : local concentration in surface during release episode [mg·l⁻¹]

가용한 희석(dilution)을 고려할 때, 수체의 유량 변동을 고려해야 하는데 변동값 가운데 가장 낮은 유량(또는 10th percentile)이 언제나 사용된다. 단지 평균 유량만이 알려져 있다면 희석을 위한 유량은 평균유량의 1/3로 계산되어야 한다. 지점별-특정 평가가 적절할 때는 완벽한 혼합후의 실제의 희석 계수는 하천의 유량과 하수처리장의 유출속도로부터 계산할 수 있다.

$$DILUTION = \frac{EFFLUENT_{stp} + FLOW}{EFFLUENT_{stp}} \quad (64)$$

with :

DILUTION : dilution factor [-]

EFFLUENT_{stp} : effluent discharge rate of stp [l·d⁻¹]

FLOW : flow rate of the river [l·d⁻¹]

간접 인간 노출과 2차 독성 평가를 위해, 연평균 농도를 계산한다.

$$C_{local\,water,ann} = C_{local\,water} \cdot \frac{T_{emission}}{365} \quad (65)$$

with :

C_{localwater} : local concentration in surface during release episode [mg·l⁻¹]

T_{emission} : Number of emission days equal to : Annual Use(kg·y⁻¹)/Daily Use(kg·d⁻¹) [d·y⁻¹]

C_{localwater,ann} : annual average local concentration in surface water [mg·l⁻¹]

전국 규모 수체 농도(PEC_{regionalwater})는 사업장 규모의 배경농도로 사용된다. 따라서 전국 규모의 농도와 사업장 규모의 농도를 합산한다.

$$PEC_{local\,water} = C_{local\,water} + PEC_{regional\,water} \quad (66)$$

$$PEC_{local\,water,ann} = C_{local\,water,ann} + PEC_{regional\,water} \quad (67)$$

with :

C_{localwater} : local concentration in surface during release episode [mg·l⁻¹]

C_{localwater,ann} : annual average local concentration in surface water [mg·l⁻¹]

PEC_{regionalwater} : regional concentration in surface water [mg·l⁻¹]

PEC_{localwater} : predicted environmental concentration during episode [mg·l⁻¹]

PEC_{localwater,ann} : annual average predicted environmental concentration [mg·l⁻¹]

3절. 저토에서의 PEClocal 계산

이 절에서는 다음의 매개변수들이 도출된다.

- ① 배출 에피소드(release episode) 동안의 저토 지역 농도

새로이 침전된 저토의 농도가 저토의 PEC로 계산되기 때문에, 부유물질의 특성이 사용된다. 열역학적 분배평형을 가정하면, 저토의 농도는 수체 농도와 평형을 이룬다는 가정을 이용하여 유도될 수 있다. 생태 위해성 평가를 위해 저토에 대한 PEClocal은 저토에 거주하는 미생물의 예측무영향농도와 비교할 수 있다.

$$PEClocal_{sed} = \frac{K_{susp-water}}{RHO_{susp}} \cdot PEClocal_{water} \cdot 1000 \quad (68)$$

with :

PEClocalwater : concentration in surface water during release episode [mg·l-1]

Ksusp-water : suspended matter - water partitioning coefficient [m3·m-3]

RHOsusp : bulk density of suspended matter [kg·m-3]

PEClocalsed : predicted environmental concentration in sediment [mg·kg-1]

4절. 토양에서의 PEClocal 계산

이 절에서는 다음의 매개변수들이 도출된다.

- ① 농경지 토양에서의 사업장 농도(특정기간 동안의 평균)
- ② 목초지 토양에서의 사업장 농도(특정기간 동안의 평균)

토양에서의 노출평가는 육상 미생물의 노출 측면에서 중요하다. 더 나아가 농경지에서의 농작물은 인간이 소비를 하고, 목초지에서는 고기와 우유를 제공하는 가축이 방목된다. 따라서 토양에서의 PEClocal은 두 가지 목적으로 사용된다.

- 육상 생태의 위해성 평가
- 농작물과 가축 소비를 통한 간접적인 인간 노출의 계산

토양에서의 PEClocal은 다음의 오염경로를 가정하여 계산한다.

- 대기로부터의 건식과 습식 침적 (dry and wet deposition)

초기 농도인 $C_{soil}(0)$ 은 유럽에서는 STP의 슬러지를 농지(agricultural soil)에 활용할 때를 주로 고려하므로 하수슬러지를 통한 화학물질의 유입에 의해 좌우되지만, 우리나라의 경우에는 현재 슬러지를 농지에 활용하는 것을 고려하지 않으므로 화학물질의 토양으로의 직접적인 유입은 반영하지 않는다.

$$\frac{dC_{soil}}{dt} = -k \cdot C_{soil}(0) + D_{air} \quad (69)$$

with :

D_{air} : aerial deposition flux per kg of soil per day [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$]

t : Time [d]

k : first order rate constant for removal from top soil [d^{-1}]

C_{soil} : concentration in soil [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]

$C_{soil}(0)$: initial concentration in soil [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]

대기 침적 플럭스는 총 침적 플럭스로부터 도출한다.

$$D_{air} = \frac{DEP_{total_{ann}}}{DEPTH_{soil} \cdot RHO_{soil}} \quad (70)$$

with :

DEP_{totalann} : annual average total deposition flux [mg·m⁻²·d⁻¹]

DEPTH_{soil} : mixing depth of soil [m]

RHO_{soil} : bulk density of soil [kg·m⁻³]

D_{air} : aerial deposition flux per kg of soil [mg·kg⁻¹·d⁻¹]

당해 연도의 초기 농도를 알고 있을 때, 아래 식을 이용하여 시간에 따른 농도를 계산할 수 있다.

$$C_{soil}(t) = \frac{D_{air}}{k} - \left[\frac{D_{air}}{k} - C_{soil}(0) \right] \cdot e^{-kt} \quad (71)$$

토양에서의 사업장 농도는 특정 기간 동안의 평균 농도로 정의된다. T일 동안의 평균 농도는 다음 식(72)로 계산한다.

$$C_{local_{soil}} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T C_{soil}(t) dt \quad (72)$$

시간 0부터 T 까지에 대해 위 식을 풀면, 이 기간 동안 평균 농도를 위한 다음의 최종 식 (73)으로 전환된다.

$$C_{local_{soil}} = \frac{D_{air}}{k} + \frac{1}{kT} \left[C_{soil}(0) - \frac{D_{air}}{k} \right] \cdot [1 - e^{-kT}] \quad (73)$$

with :

D_{air} : aerial deposition flux per kg of soil [mg·kg⁻¹·d⁻¹]

T : averaging time [d]

k : first order rate constant for removal from top soil [d⁻¹]

C_{air}(0) : initial concentration (after sludge application) [mg·kg⁻¹]

C_{localsoil} : average concentration in soil over T days [mg·kg⁻¹]

1. 제거속도 상수의 계산

전체 제거속도 상수는 다음의 부분으로 구성되어 있다.

- 생물학적 분해 상수
- 토양에서 휘발
- 토양에서 침출

이러한 프로세스에 대한 값들을 안다면, 모두 합산해서 전체 제거 상수를 계산할 수 있다. 전체 제거 속도 상수는 다음의 합산식으로 계산한다.

$$k = k_{volat} + k_{leach} + k_{bio_{soil}} \quad (74)$$

with :

k_{volat} : pseudo-first order rate constant for volatilization from soil [d-1]
 k_{leach} : pseudo-first order rate constant for leaching from soil [d-1]
 $k_{bio_{soil}}$: pseudo-first order rate constant for biodegradation in soil [d-1]
 k : first order rate constant for removal from top soil [d-1]

토양으로부터 대기로의 휘발 속도 상수는 다음 식 (75)를 통해 계산된다.

$$\frac{1}{k_{volat}} = \left(\frac{1}{kasl_{air} \times K_{air-water} / K_{soil-water}} + \frac{1}{kasl_{soil}} \right) \cdot DEPTH_{soil} \quad (75)$$

with :

$kasl_{air}$: partial mass transfer coeff. at air-side of the air-soil interface [m·d-1]
 $kasl_{soil}$: partial mass transfer coeff. at soil-side of the air-soil interface [m·d-1]
 $K_{air-water}$: air-water equilibrium distribution constant [m³·m-3]
 $K_{soil-water}$: soil-water partitioning coefficient [m³·m-3]
 $DEPTH_{soil}$: mixing depth of soil [m]
 k_{volat} : pseudo first-order rate constant for volatilization from soil [d-1]

토양으로부터 침출 속도 상수는 다음 식 (76)을 통해 계산된다.

$$k_{leach} = \frac{Finf_{soil} \cdot RAINrate}{K_{soil-water} \cdot DEPTH_{soil}} \quad (76)$$

with :

$Finf_{soil}$: fraction of rain water that infiltrates into soil [-]
 $RAINrate$: rate of wet precipitation [m·d-1]
 $K_{soil-water}$: soil-water partitioning coefficient [m³·m-3]
 $DEPTH_{soil}$: mixing depth of soil [m]
 k_{leach} : pseudo first-order rate constant for leaching from soil layer [d-1]

2. 침적 10년 지속 후에 초기 농도의 계산

노출에 있어 실제적인 최악의 경우(worst-case)로서, 10년 동안 침적이 발생한 것으로 가정한다. T시간이 경과한 후 당해 연도의 평균농도를 계산하기 위해서, 당해 연도의 초기 농도가 요구된다.

10년 동안 지속적인 침적만 있을 때의 농도는 식 (77)을 적용하여 초기 농도를 0으로, 기간은 10년을 입력하여 계산한다.

$$C_{dep_{soil10}}(0) = \frac{D_{air}}{k} - \frac{D_{air}}{k} \cdot e^{-365 \cdot 10 \cdot k} \quad (77)$$

k : first order rate constant for removal from top soil [d^{-1}]

침적으로 인한 10년 초기 농도는 아래 식과 같다.

$$C_{soil10}(0) = C_{dep_{soil10}}(0) \quad (78)$$

이러한 초기 농도는 특정 기간 동안의 토양 평균농도를 계산하기 위해 식 (78)이 사용될 수 있다.

3. PEClocalsoil의 계산

토양에서는 3가지 PEClocal이 계산된다(표 23).

[표 23] 토양에서 계산되는 3종류의 PEClocal

	Depth of soil compartment [m]	Averaging time [days]	Rate of sludge application [$\text{kg}_{\text{dwt}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$]	Endpoint
$\text{PEClocal}_{\text{soil}}$	0.20	30	0.0 (0.5 in EU)	terrestrial ecosystem
$\text{PEClocal}_{\text{agr.soil}}$	0.20	180	0.0 (0.5 in EU)	crops for human consumption
$\text{PEClocal}_{\text{grassland}}$	0.10	180	0.0 (0.1 in EU)	grass for cattle

전국 규모 농도는 사업장 규모의 배경농도로 사용된다.

$$\text{PEClocal}_{\text{soil}} = \text{Clocal}_{\text{soil}} + \text{PECregional}_{\text{natural soil}} \quad (79)$$

with :

Clocalsoil : Local concentration in soil [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]

PECregionalnatural soil : regional concentration in natural soil [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]

PEClocalsoil : predicted environmental conc. in soil [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]

토양 공극수의 농도는 다음 식(80)을 통해 계산된다.

$$\text{PEClocal}_{\text{soil,porew}} = \frac{\text{PEClocal}_{\text{soil}} \cdot \text{RHO}_{\text{soil}}}{K_{\text{soil-water}} \cdot 1000} \quad (80)$$

with :

PEClocalsoil : predicted environmental conc. in soil [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Ksoil-water : soil-water partitioning coefficient [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$]

RHOsoil : bulk density of wet soil [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

PEClocalsoil,porew : predicted environmental conc. in porewater [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]

5절. 지하수에서의 PEClocal 계산

이 절에서는 다음의 매개변수가 도출된다.

지하수의 농도는 식수를 통한 인간의 간접 노출을 위해 계산된다. 지하수의 농도를 계산하기 위해 토양 공극의 농도가 사용된다. 여기서 주지할 점은 최악의 상태(worst-case)를 가정하는 것으로, 토양 깊은 곳에서의 변환과 희석은 무시한다.

$$PEC_{local,grw} = PEC_{local,agr.soil,porew} \quad (81)$$

with :

$PEC_{local,agr.soil,porew}$: predicted environmental conc. in porewater [mg·l⁻¹]

$PEC_{local,grw}$: predicted environmental conc. in groundwater [mg·l⁻¹]

6절. Koc 값의 추정

Koc값을 모를 경우 Kow 값으로부터 추정할 수 있다. 다양한 그룹의 화학 물질에 대한 여러 모형이 개발되어있다. 대부분 관계가 Kow에 기초해있는데, 소수성 상호작용이 비극성 유기화합물과 토양 유기탄소간의 우세한 상호작용이기 때문이다. 화학물질 그룹에 따른 Kow, Koc 관계식(Sabljić *et al.*, 1995)을 다음 [표 24]에 나타내었다.

$$K_{oc} = \frac{1.26 \cdot K_{ow}^{0.81}}{1000} \quad (82)$$

with :

Kow : octanol-water partition coefficient [-]

Koc : organic carbon-water partition coefficient [m³.kg⁻¹]

[표 24] QSARS for soil and sediment sorption for different chemical classes (Sabljić *et al.*, 1995).

Chemical class	Equation
Predominantly hydrophobics	$K_{oc} = \frac{1.26 \cdot K_{ow}^{0.81}}{1000}$
Nonhydrophobics	$K_{oc} = \frac{10.47 \cdot K_{ow}^{0.52}}{1000}$
Phenols, anilines, benzonitriles, nitrobenzenes	$K_{oc} = \frac{7.94 \cdot K_{ow}^{0.63}}{1000}$
Acetanilides, carbamates, esters, phenylureas, phosphates, triazines, triazoles, uracils	$K_{oc} = \frac{12.30 \cdot K_{ow}^{0.47}}{1000}$
Alcohols, organic acids	$K_{oc} = \frac{3.16 \cdot K_{ow}^{0.47}}{1000}$
Acetanilides	$K_{oc} = \frac{13.18 \cdot K_{ow}^{0.40}}{1000}$
Alcohols	$K_{oc} = \frac{3.16 \cdot K_{ow}^{0.39}}{1000}$
Amides	$K_{oc} = \frac{17.78 \cdot K_{ow}^{0.33}}{1000}$

Chemical class	Equation
Anilines	$K_{oc} = \frac{7.08 \cdot K_{ow}^{0.62}}{1000}$
Carbamates	$K_{oc} = \frac{13.80 \cdot K_{ow}^{0.37}}{1000}$
Dinitroanilines	$K_{oc} = \frac{83.18 \cdot K_{ow}^{0.38}}{1000}$
Esters	$K_{oc} = \frac{11.22 \cdot K_{ow}^{0.49}}{1000}$
Nitrobenzenes	$K_{oc} = \frac{3.55 \cdot K_{ow}^{0.77}}{1000}$
Organic acids	$K_{oc} = \frac{2.09 \cdot K_{ow}^{0.60}}{1000}$
Phenols, benzonitriles	$K_{oc} = \frac{12.02 \cdot K_{ow}^{0.57}}{1000}$
Phenylureas	$K_{oc} = \frac{11.22 \cdot K_{ow}^{0.49}}{1000}$
Phosphates	$K_{oc} = \frac{14.79 \cdot K_{ow}^{0.49}}{1000}$
Triazines	$K_{oc} = \frac{31.62 \cdot K_{ow}^{0.30}}{1000}$
Triazoles	$K_{oc} = \frac{25.70 \cdot K_{ow}^{0.47}}{1000}$

7절. 사업장 규모의 excel sheet 설명

1. 모형 개요

사업장 규모(local scale)에서의 배출 에피소드 동안의 매질별 농도 계산은 ‘환경 중 예측농도(PEC) 계산 모형.xls’ 파일의 ‘사업장 규모(local)_배출에피소드’ 시트에서 이루어진다.

앞에서 설명한 환경 중 예측농도(PEC) 계산 모형.xls 파일 내의 사업장 규모(local)_배출에피소드’ 시트를 제외한 다른 시트들은 모두 연결되어서 전국 규모(regional scale)의 다매체에서 정상 상태(steady-state)를 가정했을 때의 농도를 계산하지만, 이 시트는 다른 시트와는 별개로 이 시트 내에서만 계산이 이루어지고 사업장 규모에서 정상상태가 아닌 배출 에피소드 동안의 농도 계산을 하게 된다.

2. 숨겨진 시트 열기

‘환경 중 예측농도(PEC) 계산 모형.xls’ 파일을 연다. 5.4.1의 숨겨진 시트 확인하기와 같은 방법으로 숨겨진 시트를 열 수 있다. 화면 아래쪽 시트 이름 위에 마우스 커서를 이동시킨 후 오른쪽 버튼을 클릭해서 나온 메뉴 중 ‘숨기기 취소’를 클릭한다. 시트 목록 중 ‘사업장 규모(local)_배출에피소드’ 시트를 클릭한다(그림 26).

Substance

toluene

Input

parameter	variable name	user input	unit
Chemical class for Koc-QSAR	QSARclass	2	-
Release estimation	Temission	200	d.yr-1
Number of emission days per year	TONNAGEreg	10000	tonnes.yr-1
Tonnage Region	Femis air	0	-
Fraction of tonnage released to air	Femis water	0	-
Fraction of tonnage released to waste water	Fmainsource	0.001	-
Fraction of the main local source	Elocal air	0	kg d-1
Local direct emission to air during episode	Elocal water	0	kg d-1
Local emission to wastewater during episode	Clocal inf	0	mg L-1
Sewage treatment	Fstp air	0	-
Concentration in untreated wastewater	Fstp water	0	-
Fraction of emission directed to air by local STP	Elocal/STP air	0	kg d-1
Fraction of emission directed to water by local STP	Clocal/STP air	0	mg kgdwet-1
Local indirect emission to air from STP during episode			
Concentration in dry sewage sludge			

Output (Local release episode)

parameter	variable name
Annual average local PEC in air (total)	
Local PEC in surface water during emission episode	
Annual average local PEC in surface water (dissolved)	
Local PEC in fresh water sediment during emission episode	
Local PEC in agricultural soil, averaged over 30 days	
Local PEC in grass land, averaged over 180 days	
Local PEC in pore water of agricultural soil	
Local PEC in pore water of grassland	
Local PEC in groundwater under agricultural soil	

Default Settings

parameter	value	unit	status	ref L&P	variable name
LOCAL					
Local concentrations and depositions					
Concentration in air during emission episode	9.27E-09	kg _m m ⁻³	o	143	Clocal air
Annual average concentration in air at 100 m from point source	7.62E-09	kg _m m ⁻³	o	144	Clocal air ann
Total deposition flux during emission episode	4.47E-08	kg m ⁻² d ⁻¹	o	145	DEPtotal
환경 중 예측농도(PEC) 계산	국지적 규모(local), 배출예비조건				

[그림 26] ‘사업장 규모(local)_배출에피소드’ 시트

3. 시트 구성 및 사용자 입력

‘사업장 규모(local)_배출에피소드’ 시트는 크게 Input, Output, Default Settings 부분으로 나누어져 있다.

시트 위쪽에 위치하는 Input, Output 부분은 계산을 위해 필요한 입력값을 입력하고 결과를 확인하는 부분인데 ‘환경 중 배출농도(PEC) 계산’ 시트에 전부 포함되어 있으므로 Input, Output 부분은 수정할 필요가 없다.

시트 아래쪽에 위치하는 Default Settings 부분에는 사업장 규모의 배출 에피소드 동안의 농도 계산을 하기 위해 필요한 모든 변수들이 위치하고 있다 (그림 28). ‘환경 중 배출농도(PEC) 계산’ 시트 입력란에 없는 매개변수 중 사용자가 좀 더 믿을만한 값을 가져서 수정하고 싶은 매개변수가 있다면 Default Settings 부분에서 해당 매개변수를 찾아 값을 입력하면 된다. 사용자가 값을 입력할 때는 하늘색으로 표시된 user input 열에 입력해야 한다. user input 열에 입력된 값은 default 열에 입력된 값보다 높은 우선순위를 가지고 계산에 이용된다. 즉, user input 열의 셀이 비어 있다면 default 열의 값이 계산에 이용되지만, user input 열에 값이 입력되어 있다면 default 열 값의 입력 여부와 관계없이 user input 값이 계산에 이용된다.

Default Settings							
parameter	value	unit	status	ref L&R	variable name	user input	default val
LOCAL							
Local concentrations and depositions							
Concentration in air during emission episode	9.27E-09	kg _a m ⁻³	o	143	Clocal air		9.27E-03 f
Annual average concentration in air at 100 m from point source	7.62E-09	kg _a m ⁻³	o	144	Clocal air ann		7.62E-03 f
Total deposition flux during emission episode	1.67E-08	kg m ⁻² d ⁻¹	o	146	DEPtotal		1.67E-02 f
Annual average total deposition flux	1.37E-08	kg m ⁻² d ⁻¹	o	147	DEPtotal ann		1.37E-02 f
Concentration in grass land, averaged over 180 days	0.00E+00	kg _a m ⁻²	o	148	Clocal water		0.00E+00 f
Concentration in surface water during emission episode (dissolved)	0.00E+00	kg _a m ⁻³	o	150	Clocal water ann		0.00E+00 f
Concentration in agricultural soil, averaged over 30 days	5.63E-08	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	169	Clocal agric,30		5.63E-02 f
Concentration in agricultural soil, averaged over 180 days	5.66E-08	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	169	Clocal agric,180		5.66E-02 f
Concentration in grass land, averaged over 180 days	5.20E-08	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	169	Clocal grass,180		5.20E-02 f
Airborne deposition flux per kg of agricultural soil	3.91E-11	kg _a kg _{wet} ⁻¹ d ⁻¹	o	162	Dair agric		3.91E-11 f
Airborne deposition flux per kg of grassland soil	7.83E-11	kg _a kg _{wet} ⁻¹ d ⁻¹	o	162	Dair grass		7.83E-11 f
Concentration in agricultural soil due to deposition in 10th year at t=0	5.62E-08	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	163	Cdep10 agric		5.62E-08 f
Concentration in grassland soil due to deposition in 10th year at t=0	6.20E-08	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	163	Cdep10 grass		6.20E-08 f
Concentration in agricultural soil due to sludge in first year at t=0	0.00E+00	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	164	Csludge1 agric		0.00E+00 f
Concentration in grassland soil due to sludge in first year at t=0	0.00E+00	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	165	Csludge1 grass		0.00E+00 f
Fraction accumulating in one year in agricultural soil	7.96E-01	-	o	164	Facc agric		7.96E-01 f
Fraction accumulating in one year in grassland soil	8.34E-01	-	o	164	Facc grass		8.34E-01 f
Concentration in agricultural soil due to sludge in 10th year at t=0	0.00E+00	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	165	Csludge10 agric		0.00E+00 f
Concentration in grassland soil due to sludge in 10th year at t=0	0.00E+00	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	166	Csludge10 grass		0.00E+00 f
Initial concentration in agricultural soil (in 10th year at t=0)	5.62E-08	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	167	Clocal10 agric		5.62E-08 f
Initial concentration in grassland soil (in 10th year at t=0)	6.20E-08	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	167	Clocal10 grass		6.20E-08 f
Local PECs							
Annual average local PEC in air (total)	7.80E-09	kg _a m ⁻³	o	145	PEClocal air ann		7.80E-03 f
Local PEC in surface water during emission episode (dissolved)	3.30E-07	kg _a m ⁻³	o	153	PEClocal water		3.30E-04 f
Annual average local PEC in surface water (dissolved)	3.30E-07	kg _a m ⁻³	o	155	PEClocal water ann		3.30E-04 f
Local PEC in fresh water sediment during emission episode	7.58E-10	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	157	PEClocal sed		7.58E-04 f
Local PEC in agricultural soil, averaged over 30 days	7.03E-08	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	170	PEClocal agric,30		7.03E-02 f
Local PEC agricultural soil, averaged over 180 days	7.03E-08	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	170	PEClocal agric,180		7.03E-02 f
Local PEC in grass land, averaged over 180 days	7.58E-08	kg _a kg _{wet} ⁻¹	o	170	PEClocal grass,180		7.58E-02 f
Local PEC in pore water of agricultural soil	1.62E-05	kg _a m ⁻³	o	171	PEClocal agric,porew		1.62E-02 f

[그림 27] ‘사업장 규모(local)_배출에피소드’ 시트 Default settings

7장. 하수처리시설(STP)

1절. 모형의 사용방법

하수처리시설에 대한 배출계수 및 농도를 산정하기 위한 모형은 다매체 모형과 연계하여 아래 그림과 같이 엑셀창으로 구성된 입력 부분과 출력 부분으로 나누어져 구성되어 있다.

하수처리시설(STP) 계산

version 2014-09-25

입력 (Input)			출력 (Output)		
하수처리시설(STP) 정보 (STP properties)			배출계수 (Fraction of emission directed to media)		
기본값	사용자 입력	단위	결과	단위	
하수처리시설 용량 (Capacity of the local STP)	10000	eq	STP에서 대기로의 배출계수 (Fraction of emission directed to air by local STP)	0.83	-
1인당 하수처리량 (Amount of wastewater per inhabitant)	200	L d ⁻¹ .eq ⁻¹	STP에서 수체로의 배출계수 (Fraction of emission directed to water by local STP)	0.12	-
1인당 잉여 슬러지량 (Surplus sludge per inhabitant)	0.011	kg d ⁻¹ .eq ⁻¹	STP에서 슬러지로의 배출계수 (Fraction of emission directed to sludge by local STP)	0.05	-
폐수 중 부유물 농도 (Concentration susp. matter in influent)	0.450	kg m ⁻³			
물성정보 (Substance properties)			배출 속도 및 농도 (Effluent discharge rate and Concentration)		
사용자 입력	단위		결과	단위	
이름 (Substance name)	toluene	-	지역 STP의 하수배출속도 (Effluent discharge rate of local STP)	10000.00	L d ⁻¹
분자량 (Molecular weight)	92	g mol ⁻¹	처리되지 않은 하수에서의 농도 (Concentration in untreated wastewater)	2.30E-03	mg L ⁻¹
녹는점 (Melting point)	-95	°C			
옥탄올/물 분배계수 (Octanol/water Partition coefficient, Kow)	490	-			
증기압 (Vapor Pressure)	3800	Pa			
증기압 측정온도	25	°C			
물용해도 (Water Solubility)	515	mg L ⁻¹			
물용해도 측정온도	25	°C			
Biodegradability test result	inherently biodegradable	-			

[그림 28] 하수처리시설(STP) 계산을 위한 입력 및 출력

- 1단계 : 하수처리시설의 기본 정보 및 물성 정보 입력

하수처리시설의 용량, 처리량, 부유물 농도 등의 전형적인 기본 정보는 다음 [표 30]과 같다.

[표 30] 기본 입력 정보

매개변수	단위	기본값
하수처리시설 용량 (Capacity of the local STP)	[eq]	10,000
1인당 하수처리량 (Amount of wastewater per inhabitant)	[L.d ⁻¹ .eq ⁻¹]	200
1인당 잉여 슬러지량 (Surplus sludge per inhabitant)	[kg.d ⁻¹ .eq ⁻¹]	0.011
폐수 중 부유물 농도 (Concentration susp. matter in influent)	[kg.m ⁻³]	0.45

하수처리시설(STP)에 대한 기본 정보를 기초로, 아래 표와 같은 분자량, 물 용해도, 옥탄올/물 분배계수 등을 입력 값으로 생분해 속도 상수를 결정하여, 매체별 배출비율을 산정한다. 입력 매개변수를 다매체 거동모형과 동일하게 사용 가능하다.

[표 31] 물성 입력 정보

매개변수	단위
대상 물질 이름 (Substance name)	-
분자량 (Molecular weight)	g.mol ⁻¹
녹는점 (Melting point)	°C
옥탄올/물 분배계수 (Octanol/water Partition coefficient, Kow)	-
증기압 (Vapor Pressure)	Pa
증기압 측정온도	°C
물용해도 (Water Solubility)	mg.L ⁻¹
물용해도 측정온도	°C
Biodegradability 테스트 결과	-

입력 (Input)			
하수처리시설(STP) 정보 (STP properties)		기본값	사용자 입력
하수처리시설 용량 (Capacity of the local STP)	10000		eq
1인당 하수처리량 (Amount of wastewater per inhabitant)	200		l.d ⁻¹ .eq ⁻¹
1인당 잉여 슬러지량 (Surplus sludge per inhabitant)	0.011		kg.d ⁻¹ .eq ⁻¹
폐수 중 부유물 농도 (Concentration susp. matter in influent)	0.450		kg.m ⁻³
물질정보 (Substance properties)		사용자 입력	단위
이름 (Substance name)	toluene		
분자량 (Molecular weight)	92		g.mol ⁻¹
녹는점 (Melting point)	-95		°C
옥탄올/물 분배계수 (Octanol/water Partition coefficient, Kow)	490		-
증기압 (Vapor Pressure)	3800		Pa
증기압 측정온도	25		°C
물용해도 (Water Solubility)	515		mg.L ⁻¹
물용해도 측정온도	25		°C
Biodegradability test result	inherently biodegradable		

[그림 29] 하수처리시설(STP) 계산을 위한 입력 변수

위 [그림 29] 입력창과 같이 하수처리시설(STP)에 대한 기본 정보를 입력하고, 다매체 거동모형과 동일하게 사용 가능한 입력 변수를 확인한다.

- 2단계 : 매체별 배출비율, 방출 농도 및 배출량 산정

앞에서 결정한 하수처리시설(STP)의 기본 정보를 기초로 유입되는 물질의 특성에 따라 다음 [표 32]와 같이 매체별 배출 비율을 산정할 수 있다.

[표 32] 산정결과 - 매체별 배출계수

매개변수	단위
STP에서 대기로의 배출계수 (fraction of release directed to air by STP)	[-]
STP에서 수계로의 배출계수 (fraction of release directed to effluent by STP)	[-]
STP에서 슬러지로의 배출계수 (fraction of release directed to sludge by STP)	[-]

앞에서 결정한 하수처리시설(STP)의 기본 정보 및 배출 비율을 활용하여 방출 농도 및 배출량을 산정할 수 있다.

[표 33] 산정결과 - 방출 속도 및 농도

매개변수	단위
지역 STP의 하수방출속도 (Effluent discharge rate of local STP)	[L.d ⁻¹]
처리되지 않은 하수에서의 농도 (Concentration in untreated wastewater)	[mg.L ⁻¹]

출력 (Output)		
매체별 배출계수 (Fraction of emission directed to media)	결과	단위
STP에서 대기로의 배출계수 (Fraction of emission directed to air by local STP)	0.83	-
STP에서 수계로의 배출계수 (Fraction of emission directed to water by local STP)	0.12	-
STP에서 슬러지로의 배출계수 (Fraction of emission directed to sludge by local STP)	0.05	-
방출 속도 및 농도 (Effluent discharge rate and Concentration)	결과	단위
지역 STP의 하수방출속도 (Effluent discharge rate of local STP)	10000.00	L.d ⁻¹
처리되지 않은 하수에서의 농도 (Concentration in untreated wastewater)	2.30E-03	mg.L ⁻¹

[그림 30] STP(매체별 배출계수, 방출 속도 및 농도) 산정결과

입력창에서 입력된 값을 기준으로 하수처리시설(STP)에서의 매체별 배출 계수 및 방출 속도 및 농도에 대한 산정결과를 확인한다.

8장. 참고 문헌

- 국립환경연구원, 내분비계 장애물질의 환경 중 거동연구(Ⅱ), 2003
- 국립환경과학원, 하천, 호소 퇴적물 모니터링 시범사업, 2008
- 국립환경과학원, 환경오염물질의 통합진단 평가 연구(Ⅲ), 2009
- 국립환경과학원, 화평법 대비 화학물질 안전성평가 핵심기술 개발(Ⅱ), 2013
- 국립환경과학원, “화학물질의 위해성에 관한 자료” 작성지침, 2014
- 김주훈 외, 한국토양유실량 및 토양유실위험 지역분석, 한국공간정보시스템학회, 2009
- 다매체 모델을 이용한 전국 규모의 환경오염지도 작성 및 오염원 관리시스템 구축, 2008
- 서영덕 외, 한강 하구역 점착성 퇴적물 침강속도와 지엽적/공간적 변화, 한국해양공학회, 2008, 37-45
- 서울대학교 환경대학원, 도시 산간지역의 통합환경관리를 위한 수용체 중심의 위해도 분석 시스템 개발 적용연구, 2004
- 이윤아, 다매체모형(KoEFT-PBTs)을 통한 다이옥신류 화합물의 국가규모 환경거동 평가, 서울대학교 환경대학원, 박사학위논문, 2005
- 장영수 외, Holzworth 방법에 의한 한국의 혼합고 추정, 한국대기환경학회, 1997
- 정진현 외, 한국 산림토양의 모암별 이화학적 특성, 한국임학회지, 2003
- 환경부, 토양오염 위해성 평가지침, 2006

2011년 환경부 전국 수질측정망 자료

Data of Statistics Korea, <http://kostat.go.kr/>

Globo-POP 모형 값(중국+한국+일본지역) : 겨울(5×10^5), 여름(25×10^5)

Anereas Beyer, Frank Wania, Todd Gouin, Donald Mackay, and Michael Matthies, Temperature dependence of the characteristic travel distance, ES&T, 2003, 37(4), 766-771

A. Sabljic, H. Güsten, H. Verhaar, J. Hermens, QSAR modelling of soil sorption. Improvements and systematics of log K_{oc}, vs. log K_{ow} correlations, Chemosphere, 1995, 31, 4489-4514

Christian schlechtriem et al., Determination of lipid content in fish samples from bioaccumulation studies: contributions to the revision of guideline OECD 305, 2012

C.N.Sawyer and G.A Rohlich, Sewage Works J., 1939, 11-946

D.H. Bennett, T. McKone, M. Matthies, W.E. Kastenberg, General formulation of characteristic travel distance for semivolatile organic chemicals in a multimedia environment, Environmental Science & Technology, 32 (24) (1998), pp. 4023-4030

ECHA, Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.16: Environmental exposure estimation, 2010

European chemicals bureau, Technical guidance document on risk assessment, 2003

F.Wegmann et al., Influence of vegetation on the environmental partitioning of DDT in Two gloval multimedia models, ES&T, 2004, 38(5), 1505-1512

Harald J. Geyer et al., The Relevance of Aquatic Organisms' Lipid content to the Toxicity of Lipophilic Chemicals: Toxicity of Lindane to Different Fish Species, 1994

J.E. Jung, D.S. Lee, S.J. Kim, D.W. Kim, S.-K. Kim, Proximity of field distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to chemical equilibria among air, water, soil, and sediment and its implications to the coherence criteria of environmental quality objectives, Environ. Sci. Technol. 2010, 44, 8056-8061

Jeong-Hun Kang, Fusao Kondo, Effects of bacterial counts and temperature on the biodegradation of bisphenol A in river water, Chemosphere, 2002, 49(5), 493-498

J.Struijs, R. van den Berg, Standardized biodegradability tests: Extrapolation to aerobic environments, Water research, 1995, 29(1), 255-262

Junge, C.E., Fate of pollutants in the air and water environment (I.H.Suffet, ed), 1977, 7-25, Wiley Interscience.

Kenneth T. Whitby, The physical characteristics of sulfur aerosols, Atmospheric environment, 1978, 12, 135-159

Mackay, D., Paterson, S., Cheung, B. and Neely, W.B. Evaluating the environmental behavior of chemicals with a level III model, Chemosphere, 1985, 14, 335-374

Mackay, D., Multimedia environmental models. Lewis, Chelsea, MI. 1991

Mackay, D., Paterson, S. and Shiu, W.Y., Generic models for evaluating the regional fate of chemicals, Chemosphere, 1992, 24, 695-717

Q Zhang, JC Crittenden, D Shonnard, JR Mihelcic, Development and evaluation of an environmental multimedia fate model CHEMGL for the Great Lakes region, Chemosphere, 2003, 50(10), 1377-1397

Schwarzenbach, R.P., Gschend, P.M., and Imboden, D.M. Environmental organic chemistry. New York: Wiley., 1993

Van de Meent et al., SimpleBox 2.0:a nested multimedia fate model for evaluating the environmental fate of chemicals, 1996

화학물질의 위해성에 관한 자료 작성지침(2017)

편 집 : 환경건강연구부 화학물질등록평가팀

인 쇄 : 2017년 7월

발 행 : 2017년 7월

펴 낸 이 : 국립환경과학원장

주 소 : (우) 404-708 인천시 서구 환경로 42 종합환경연구단지
국립환경과학원 환경건강연구부 화학물질등록평가팀