

=총 설=

환경분석과 인체 위해성 평가(I)  
- 음용수 중 염소 소독부산물의 분석 및 인체 노출평가 -

표 회 수\* · 박 송 자  
한국과학기술연구원 생체대사연구센터

Environmental Analysis & Human Health Risk Assessment (I)  
- Analysis & Risk Assessment of Chlorinated Disinfection By-products  
in Drinking Water -

Heesoo Pyo\* and Song-Ja Park  
Korea Institute of Science & Technology Bioanalysis & Biotransformation Research Center

1. 개 요

20세기 인간의 삶의 향상을 위한 과학의 발달은 과거 어떤 기간보다도 획기적이고 눈부신 성장을 거듭해왔다. 특히 석유공업, 합성농약의 개발 등 화학 분야의 발달과 자동차 산업, 항공 산업 등 교통 분야의 발전 등은 인류의 삶을 보다 안락하고 풍요롭게 해준 것은 의심할 바 없는 사실이다. 그러나 이러한 문명의 발전은 인구의 증가와 더불어 급속한 도시화, 공업화 등을 초래하였으며 이에 따라 생활 양식의 대폭적인 변화가 야기되었을 뿐만 아니라 오염물질의 증가에 따른 지구의 생태계 및 환경에도 막대한 유해영향을 끼친 것이 사실이다. 지구의 온난화, 멸종 동·식물의 증가, 지구 오존층의 붕괴, 산성비 등 인간의 지구에서의 삶을 영위하는데 필수적인 환경의 파괴가 지속적으로 이루어졌으며, 이러한 현상은 생체의 기형화를 야기하는 등 더 이상 그대로 방치할 수 없는 상태까지 도달해 있다. 20세기 문명의 발달은 21세기에는 환경 산업이라는 막대한 대가를 요구하는 시점에 와 있으며, 환경 즉 대기, 토양, 물의 순환성을 미루어 볼 때 어느 한 분야만의 정화로는 건강한 지구 환경을 되살릴 수 없다는 것은 누구나 인식하고 있는 바이다.

특히 물은 생체의 대부분을 이루고 있는 기본 물질로서 현실적 뿐만 아니라 심리적으로도 인간의 환경 오염에 대한 심각성을 느끼게 하는 대표적인 지표 물질이다.

수질의 오염은 상대적으로 분석 기술의 비약적인 발전을 가져왔으며 기존의 액체-액체 추출법(liquid-liquid extraction method) 이외에도 고체상 추출법(solid-phase extraction method), 디스크 추출법(disc extraction method), SPME법(solid-phase microextraction method), 초임계유체 추출법(supercritical fluid extraction method) 등 많은 추출 및 농축법들이 개발되었으며, 분석기기도 GC/MS, LC/MS 등이 개발되고 발전되어 기존의 ppm(mg/L) 수준의 검출한계 기술에서 최근에는 ppb( $\mu\text{g/L}$ ) 혹은 ppt( $\text{ng/L}$ ) 농도 이하까지도 검출할 수 있는 수준에 도달해 있다. 이런 오염의 심화 및 분석 기술의 발달에 의해 분석 결과의 database화는 많이 이루어지고 있으나 실제로 이 데이터들을 어디에 어떻게 적용할 수 있는가는 또 다른 문제이다.

위해성 평가를 논할 때 가장 많이 인용되는 문구가 자동차와 비행기의 안전성 혹은 위험성 문제이다. 이 두 경우 사고의 크기는 비행기의 경우 대형사고이다. 그러나 발생 빈도는 자동차 사고가 훨씬 많다. 즉, 위험성 비교는 각각의 경우 발생 크기와 발생 확률의 곱으로 나타낼 수 있다. 유해 화학물질에 의한 위해성 평가 역시 같은 맥락으로 보면 좀 더 이해가 쉬울 것

\* Corresponding author  
Phone : +82-(0)2-958-5181 Fax : +82-(0)2-958-5059  
E-mail : pbs3692@kist.re.kr

같다. 수돗물에서 염소소독에 생성되는 소독 부산물의 인체 위해도 평가는 어떻게 계산될 수 있을까? 수돗물 중의 소독 부산물 농도를 어느 정도의 수준으로까지 억제해야 하는가? 과연 목표치를 이루기 위한 경제적 비용은 감수할 수 있는가? 이러한 문제들을 부족하나마 정량적으로 분석 및 평가하는 분야를 위해성 평가라고 한다. 예를 들어 수돗물 중 염소소독 부산물의 일종인 클로로포름이 50 µg/L 농도로 검출되었을 때 과연 이 농도에서 인체에 어떤 영향을 얼마큼 주는가? 인체 유해도를 줄이려면 어느 정도의 농도 수준까지 낮춰야 하는가? 안전한 수준까지 농도를 낮추는데 드는 방법 및 비용은 현실성이 있는가? 등의 문제점을 고려해 보아야 한다.

실제로 위해성 평가가 처음 수행되기 시작한 것은 원자력이 상업적으로 이용되기 시작한 이후이다. 즉, 원자력 발전소의 증가와 더불어 지역 주민들의 방사능에 대한 우려가 증가했으며 이에 따라 미국에서는 원자력 발전소의 안전성을 입증하기 위해 위해성 평가 작업을 수행하였다. 그 결과 원자력 발전소의 안전성을 수치화 하는데 성공하였으나, 최근까지도 원자력 발전소의 안전성을 완벽하게 입증하지 못하고 있다.

물론 이것은 원자력 제어기술이 아직 불완전하여 완벽한 평가를 내릴 수 없는 입장이라는 하나 또한 평가 분야 역시 수많은 불확실도에 의해 아직까지 거의 미개척 분야와 마찬가지로, 위해성 평가 자체가 그다지 정량적이지 못하다는 문제점을 지니고 있다. 그러나 현재까지는 위해성 평가를 대신할 수 있는 방법이 개발되지 못하고 있으므로 전 세계적으로 이 분야를 계속 보완 발전시키는 연구가 계속 진행중이다.

인체 위해성 평가를 크게 나누어 보면 위해성 평가(risk assessment)와 위해도 관리(risk management) 분야로 나눌 수 있으며, 위해성 평가는 다시 위험성 확인(hazard characterization), 노출평가(exposure assessment), 용량-반응 평가(dose-response assessment) 및 위해도 결정(risk assessment)으로 구분할 수 있으며 각각의 세부 내역은 Fig. 1에 나타내었다.

이번 호에서는 위해성 평가의 각 단계 중 위험성 확인과 노출평가에 대해서 간략히 소개하고, 수돗물에서 검출된 염소소독 부산물의 데이터를 가지고 간단하게 위해성 평가를 수행하는 과정 및 방법을 설명하고자 한다.

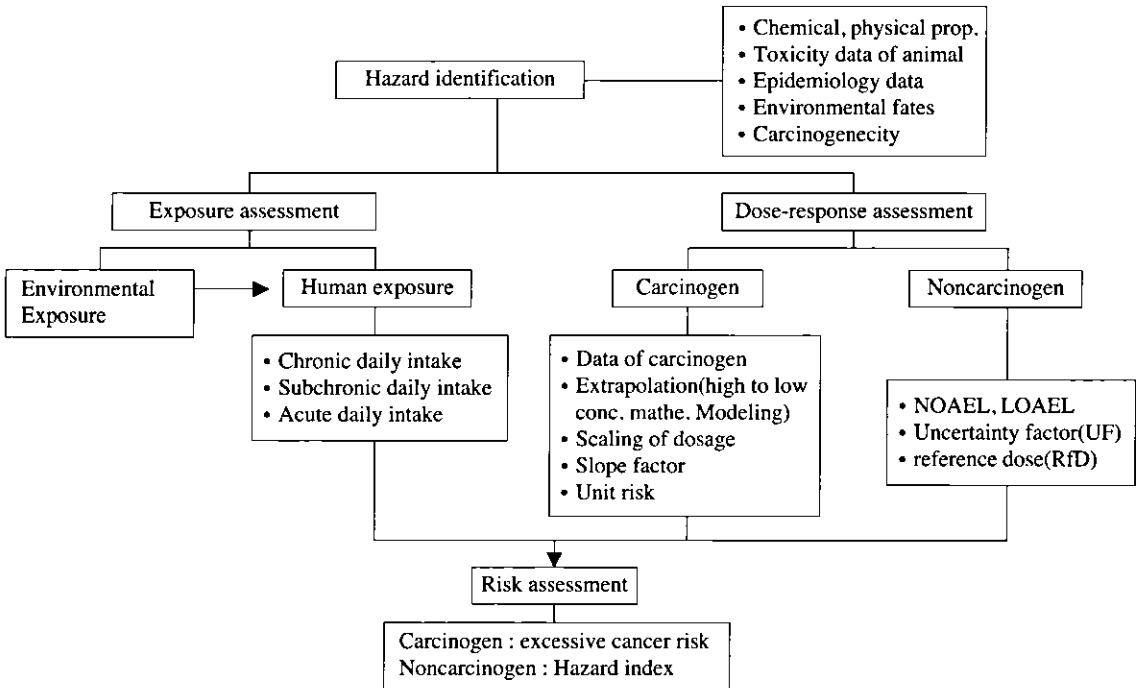


Fig. 1. Arrangement of risk assessment.

Table 1. Example of contents in hazard identification (chloroform)

Classification	Contents			
Chemical and physical properties	Mol	CHCl <sub>3</sub>	mp	-63.7°C
	MW	119.39	bp	61.7°C
	CAS No.	67-66-3	Vapor pressure	197 mm Hg (25°C)
	Solubility	7,950 mg/L (25°C)	k <sub>ow</sub>	log k <sub>ow</sub> = 1.97
	Color/form	Colorless liquid, Pleasant odor		
	Synonyms	Methenyl chloride, TCM, Formyl trichloride, Methane trichloride, Trichloromethane, Methenyl trichloride,		
	Henry's constant	3.67 × 10 <sup>-3</sup> atm cu m/mol (24°C)		
Sources	Emissions from its production and indirect production (in the manufacture of ethylene dichloride); chlorination of drinking water, Release of chloroform to the environment (air) from pulp and paper bleaching			
Fates in Environment	<b>Terrestrial</b> : When spilled on land, chloroform would be expected to evaporate rapidly into the atmosphere due to its high vapor pressure. It is poorly adsorbed to soil, especially soil with low organic carbon content such as subsoils and can leach into the groundwater <b>water</b> : When released into water, chloroform will be primarily lost by evaporation into the atmosphere. <b>air</b> : decompos by react with hydroxy radical (half life : 80days)			
Routes of exposure	Inhalation, Ingestion, Dermal			
Toxicity	LD <sub>50</sub> (rat intragastric) = 2,000 mg/kg, LD <sub>50</sub> (male rat-oral) = 908 mg/kg, LD <sub>50</sub> (female rat-oral) = 1,117 mg/kg			
Carcinogenicity	Group 2B(IARC), B <sub>2</sub> (US EPA) Q <sub>1</sub> *:0.061(mg/kg/day) <sup>-1</sup> , R <sub>1</sub> D; 0.01 mg/kg/day Potential human carcinogen-NIOSH			
Pharmacodynamics	Absorption	Chloroform can be absorbed through lung, skin, Absorption from the gastrointestinal tract approximates 100%		
	Distribution	Chloroform is rapidly distributed to all organs with relatively high conc. in nervous tissue.		
	Metabolism	Deuterium-labeled chloroform was less toxic and less readily metabolized than/normal/ chloroform The liver is the primary site for chloroform metabolism, other tissues, including the kidney, can also metabolize chloroform to carbon dioxide.		
	Excretion	4In rats, 40-81% of the compound was expired as (14)C- carbon dioxide and approximately 5-26% as unmetabolized parent. In mice, 4-18% was expired as (14)C- carbon dioxide and approximately 41-67% as parent In 6 acute fatalities due to the intentional or forced inhalation of chloroform, blood levels of 10-48 mg/l and urine levels of 0-60 mg/l were observed		

k<sub>ow</sub> : octanol-water distribution constant

## 2. 위험성 확인 (Hazard characterization)

위험성 확인은 어떤 특정 요인에 노출된 경우, 인체 발암 혹은 어떤 건강장해를 유발시키는지 결정하는 과정으로서 대상물질에 대한 물리 화학적 성질, 환경 내 동태<sup>1</sup> (environmental fate; transformation and transport) 및 독성자료<sup>2</sup> 등을 조사하여 인체에 대한 발암 등급<sup>3,4</sup>을 결정하는 단계이다.

위해성 평가는 환경(수질 토양 대기) 및 식품 중의 유해화학 물질의 인체로의 이동에 관한 연구 분야로서 대상물질의 종류(휘발성물질 혹은 준휘발성물질)에 따라 흡수 경로가 매우 차이가 난다. 따라서 육탄 올/불 분배계수(kow), 헨리상수, 물에 대한 용해도 등의 물리 화학적 성질을 파악하는 것이 매우 중요하다. 또한 환경 중에 오염된 물질이 직접 체내로 유입되는 지 혹은 분해 산물 등의 변형된 형태로 체내 흡수되

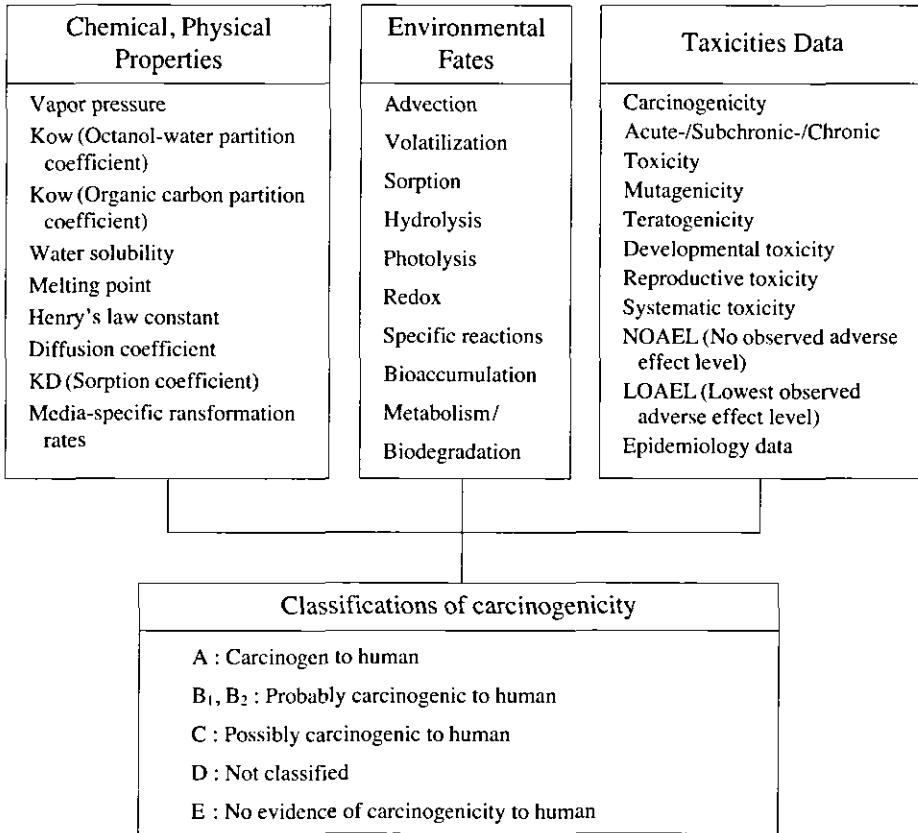


Fig. 2. Informations and data for hazard identification.

는지를 고려해야 한다(transformation). 그리고 한 지점에 노출된 유해물질이 대기, 지하수 등에 의한 이동 또는 확산이 얼마나 이루어지는가 하는 것도 인체 노출 평가를 하는데 있어 매우 중요한 요인이라 할 수 있다<sup>1</sup> (transport). 또한 대상물질의 독성 즉 발암성, 변이원성 및 급성 독성 영향은 어느 부위에 얼마나 작용하는지도 필수적인 자료이며 인체에 흡수된 독성 물질의 대사체는 무엇인가 하는 것도 역시 필수적인 자료라 할 수 있다. Table 1에는 chloroform에 대한 위험성 확인 단계에서 조사되는 항목들을 표시하였다.

발암 등급은 분류 기관에 따라 다소 차이는 있으나 일반적으로 5등급으로 분류된다. 미국 환경 보호청 (US EPA)에서는 인체에 발암성 있는 물질군(A: 발암에 대한 역학 자료가 충분함), 인체에 발암성을 나타낼 것으로 예상되는 물질군(B<sub>1</sub>: 제한적인 역학자료 제시, B<sub>2</sub>: 동물 실험적 입증자료는 충분하나 역학자료

가 불충분), 인체에 발암성을 나타낼 가능성이 있는 물질군(C: 동물 실험적 입증자료 및 역학자료가 불충분), 발암성에 관한 자료가 부족한 물질군(D: 동물 자료가 불충분) 및 인체에 발암성을 나타내지 않는 물질군(E: 비발암이 입증된 둘 이상의 동물자료나 역학, 동물실험자료 제시)으로 분류하고 있으며, IARC (International Agency for Research on Cancer) 도 이와 유사한 형태로 분류하고 있다(1, 2A, 2B, 3 group).

### 3. 노출평가 (Exposure assessment)

노출평가는 노출원인 물질에 대한 강도, 빈도 및 기간 등을 측정 또는 평가하는 과정으로서 일반적으로 환경 노출평가와 인체 노출평가로 분류할 수 있다 (Fig. 3). 환경 노출평가는 수질, 토양 및 대기 시료로부터 직접 유해화학물질을 분석하여 오염 정도를 측정하는 과정으로서 이 데이터에 의해 환경에서의 동

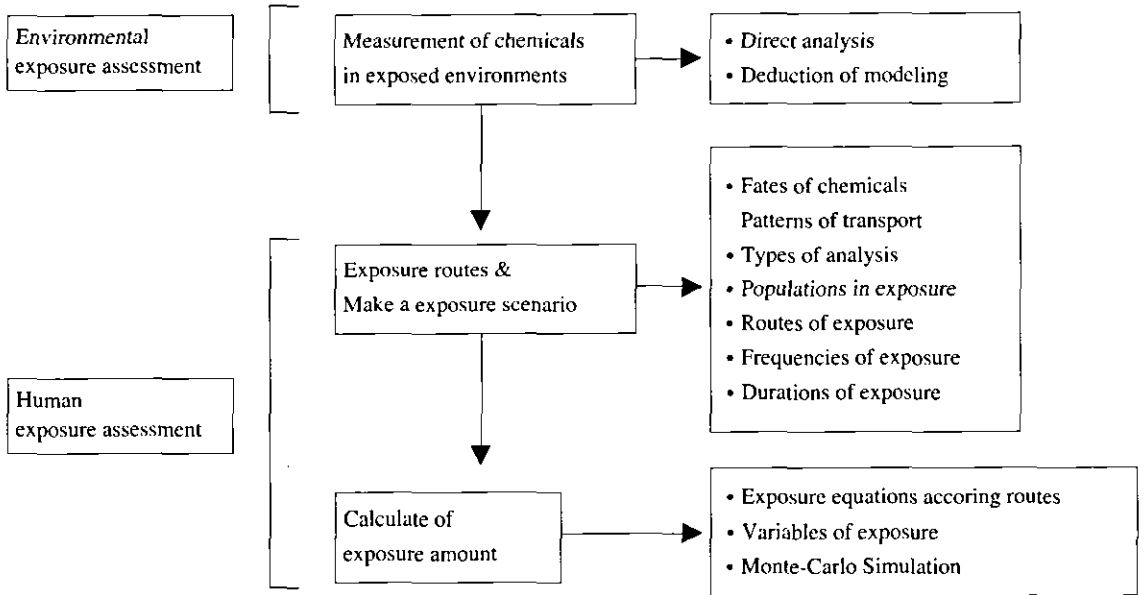


Fig. 3. Orders and contents of exposure assessment.

태를 예측할 수 있다. 환경 노출평가를 실시한 다음 인체 노출평가를 수행할 수 있는데 이때 여러 가지 노출 경로<sup>5</sup> 및 노출 시나리오를 사용하여 인체 노출 평가에 응용한다. 이때 사용되는 자료로는 노출경로(흡입, 섭취 및 피부), 노출기간, 노출빈도 및 노출형태(분해산물 및 변형물질 포함) 등을 고려하여야 하며 경로에 따른 노출 수식 및 노출변수 등을 사용해서 노출량(혹은 만성 1일 노출량, CDI : chronic daily intake)을 계산할 수 있다. 이때 각각의 경우에서 많은 불확실성(uncertainty)이 제기되며 이러한 불확실성을 최소화하기 위하여 분포 확률(probability of distribution)을 이용하여 노출량을 단일 값이 아닌 분포도 값으로 계산한다. 이 경우에 가장 많이 사용되는 것이 Monte-Carlo Simulation<sup>7</sup>이다. 기존에는 단일 노출량에 의한 단일 위험도(unit risk)를 계산하였으나 최근에는 분포확률에 의한 위험도의 발생 확률값으로 나타내고 있다.

#### 4. 인체노출평가 및 위험도 결정 예<sup>8</sup>

염소소독 부산물<sup>9</sup> 중 chloroform은 미국 환경보호청에서 B<sub>2</sub> group으로 분류하고 있다. 따라서 인체 노출평가를 수행할 경우 발암물질에 대한 평가와 더불어

Table 2. Chronic daily intake of chloroform in drinking water

Toxicity	Percentile values of CDI				
	Mean	25%	50%	75%	95%
Carcinogenicity	6.39E-05	1.96E-05	4.75E-05	9.43E-05	2.09E-04
Noncarcinogenicity	1.68E-04	4.83E-05	1.14E-04	2.29E-04	5.09E-04

unit : mg/kg/day

Carcinogen : oral slope factor(Q<sub>1</sub>\*) : 0.0061 (mg/kg/day)<sup>-1</sup>

Non-carcinogen : (ADI : Acceptable Daily Intake or R<sub>d</sub>D : reference dose) : 0.01 mg/kg/day

만성 독성에 의한 비발암 물질에 대한 평가를 동시에 수행해 줄 필요가 있다.

앞에서도 언급했다시피 인체노출 평가에서는 point value를 사용하여 올 수 있는 불확실성을 최소화하기 위하여 분포값을 이용하고, 그 분포값 범위 안에서 발생할 수 있는 여러 가지 상황을 고려해주고 최종적인 결과를 발생확률값으로 제시하는 Monte-Carlo simulation을 사용하여 오염도 자료로부터 인체노출평가를 수행하였다(Fig. 4). 검출한계 이하로 나타난 시료에 대해서는 chloroform의 검출한계 농도의 1/2 값을 사용하여 오염도 자료에 포함하여 사용하였다(경우에 따라서는 검출한계 이하인 경우 대상시료에서 제외하

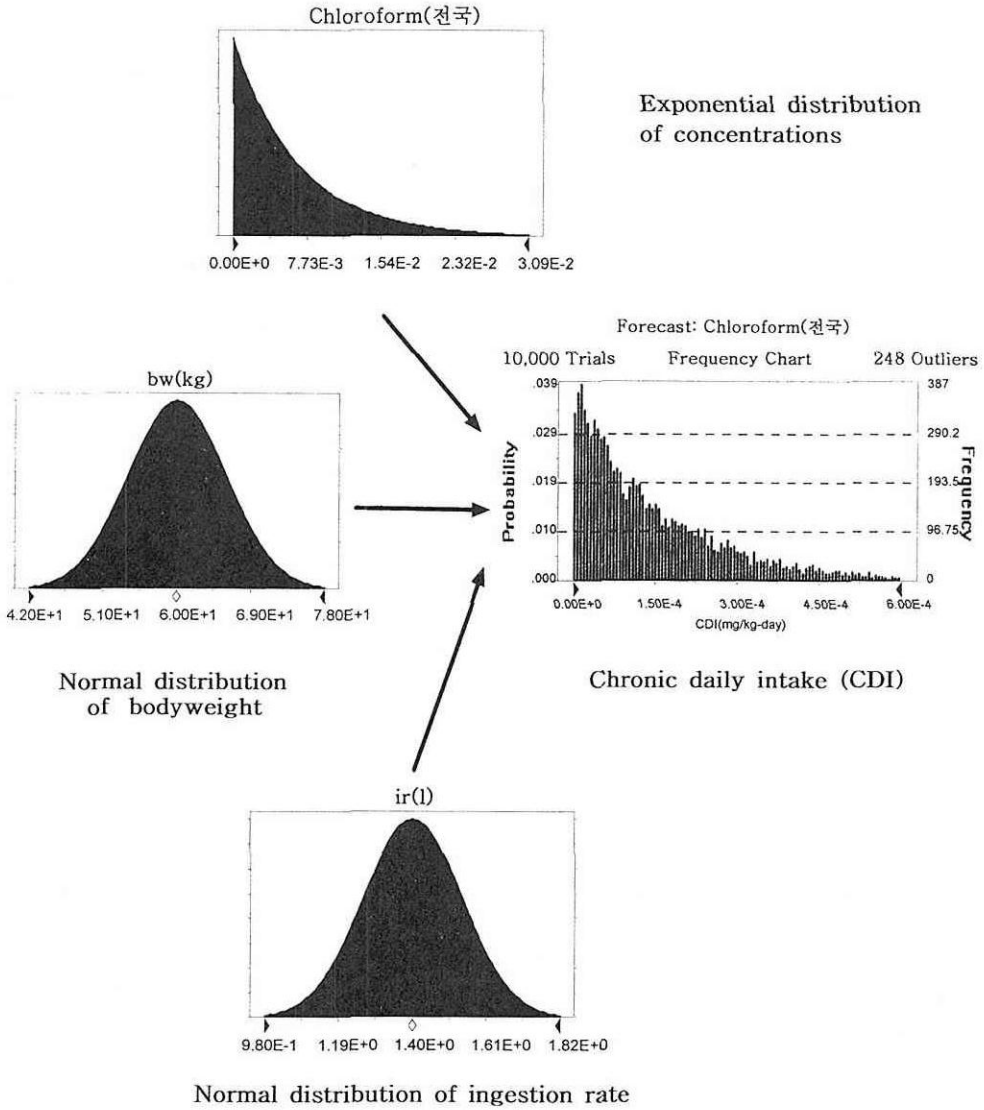


Fig. 4. Chronic daily intake (CDI; mg/kg-day) of chloroform by using Monte-Carlo Simulation.

고 검출된 자료만으로 계산함).

음용수의 노출 경로는 섭취(ingestion), 목욕할 경우의 피부 흡수(dermal) 및 휘발성에 의한 호흡(inhalation)의 경우를 들 수 있으나, 여기서는 기본적인 모델인 섭취 단일 경로에 의한 노출을 가정하여 인체 노출평가를 수행하고자 한다.

노출평가 계산에 사용한 여러 자료중 국내의 성인 평균 체중은 60 kg (공업진흥청, 1997년 표준체위 조사보고서)을, 일일 음용수 섭취량은 1.4 L/day (90% 값

이 2.0 L/day, U.S. EPA, 1989)를 사용하였으며, 이 값들은 각각 normal distribution을 사용하여 simulation을 수행하였다.

음용수를 통해 노출된 기간은 발암물질과 비발암물질 모두 30년(U.S. EPA, 1989)으로 각각 가정하여 계산하였다. 30년은 주거지역에 사는 주민들이 한 지역에서 생활하는 시간을 가정한 수치이다. 물론 대상지역(공단지역, 상업지역..)에 따라 적용하는 수치가 달라진다. 또한 평균시간(혹은 기대시간)은 발암물질일

경우 노출 기간 이후에도 발생할 수 있기 때문에 우리나라의 평균기대 수명인 73년(통계청, 1997년도 통계연보)을 사용하였으며, 비발암 물질의 경우 노출기간과 같은 30년을 사용하였다. 이때 만성 1일 노출량(chronic daily intake, CDI; 단위 : mg/kg/day)은 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$CDI = \frac{(\text{오염도} \times \text{노출기간} \times 365 \text{일} \times 1 \text{일 음용수섭취량})}{(\text{체중} \times \text{기대시간} \times 365 \text{일})}$$

단위 :

- CDI : mg/kg/day      오염도 : mg/L
- 노출기간 : year      1일 음용수 섭취량 : L
- 체중 : kg              기대시간 : year

위의 식에서 chloroform의 오염 농도는 총 420여개('97-'99년도)의 평균값을 사용하였으며 가장 잘 맞는 분포도는 exponential distribution에 적용할 경우였다.

또한 체중(bw)과 1일 음용수 섭취량(ir)은 정규분포도(normal distribution)를 사용하였으며, 노출기간과 기대시간은 노출 상수로 사용하였다. 이 값들을 사용하여 crystal ball program 하에서 계산 횟수를 10,000 번으로 하여 적용하면 만성 1일 노출량의 분포확률 값을 구할 수 있다.

Crystal ball을 사용한 chloroform의 발암성과 비발암성에 따른 각각의 만성 1일 노출량을 계산하여 Table 2에 나타내었다. 이때 주의할 점은 각 항목에 사용되는 단위이다. 일반적으로 chloroform은 음용수 중에서 µg/L 단위로 검출된다. 그러나 노출 평가에서는 mg/L 단위를 사용하기 때문에 농도 환산이 필요하다. 1일 만성 노출량 또는 위해성 결과를 나타낼 때 일반적으로 95 percentile 인체 노출 값을 사용하여 설명하는데 이는 실제 발생할 확률이 거의 없으나 매우 엄격한 값을 적용함으로써 국민 보건에 안전한 기준을 나타내 주는 값이라 할 수 있겠다.

Chloroform의 인체 노출 평가에 의한 만성 1일 노출량(발암성 및 비발암성)을 계산한 후 용량·반응 평가에서 구한 자료 즉, 발암물질에 대한 발암력(oral slope factor,  $Q_1$  \* unit : (mg/kg/day)<sup>-1</sup>)과 비발암물질에 대한 1일 허용 섭취량(ADI : acceptable daily intake or RfD : reference dose, unit : mg/kg/day)을 고려하여 위해성 평가를 수행한다. 여기서 oral slop factor는 경구 섭취의 경우 계산되어지는 발암력으로서 linear multi-stage model에 의해 계산된 값이다. -일반적으로 인체

Table 3. Results of risk assessments of chloroform in drinking water

Results	Percentile values of risk				
	Mean	25%	50%	75%	95%
Excessive cancer risk	4.20E-07	1.20E-07	2.90E-07	5.75E-07	1.27E-06
Hazard index	1.68E-02	4.83E-03	1.14E-02	2.29E-02	5.09E-02

노출평가 혹은 용량·반응 평가에는 많은 수학적, 통계학적 model(PBPK; physiological based pharmacokinetic model, PBTK; physiological based toxicokinetic model,..)들이 사용되는데 이들에 대한 설명은 다음 호에서 언급하고자 한다.-

먼저 chloroform의 발암성을 고려한 위해성 평가 결과를 살펴보면 인체 노출 평가에서 구한 만성 1일 노출량에 발암력을 곱한 값으로 표시할 수 있다. Table 3에서 보는 바와 같이 95 percentile 초과 발암위해도가  $2.09 \times 10^{-4}$ 로 나타나고 있다. WHO에서는 초과 발암위해도가  $10^{-6}$ - $10^{-5}$  정도의 값을 나타내면 안전한 것으로 평가하고 있어 본 결과에서는 음용수 중의 chloroform에 의한 초과 발암위해성은 거의 없는 것으로 나타났다고 할 수 있다.

다음 chloroform의 만성 독성에 의한 위해성 평가 결과를 살펴보면 비발암물질의 경우 위험지수(HI; hazard index)를 사용하여 표시하게 되는데 만성 1일 노출량(CDI) 값을 1일 허용 섭취량 혹은 참고값(reference dose)과 비교하여 1 이상이면 인체에 유해한 것으로 평가되고 1 이하이면 인체에 안전한 것으로 평가된다. 본 계산 결과 95 percentile에서의 chloroform의 위험지수는 0.0509로 계산되어 인체에 매우 안전한 값으로 평가되었다. 그러나 대상 환경 시료에서 인체 위해도를 계산할 경우에는 단일 유해화학물질에 의한 위해도만을 고려할 수 없다. 즉, chloroform 이외의 다른 소독 부산물들에 의한 초과발암위해도 혹은 위험지수를 계산하여 해당 항목들간의 합에 의한 위험지수 등을 계산해야 한다. 실제로 음용수 중에는 chloroform 이외에도 haloacetonitrile류, haloacetic acid류 등 많은 소독 부산물들이 검출되고 있으며 위해성 평가는 모든 유해화학물질에 대한 위해성 평가를 수행한 후 종합하여 평가 결과를 나타내야 한다. 그러나 아직까지 많은 유해화학물질들에 대한 자료 부족에 의하여 제대로 된 평가를 내리지 못하고 있는

실정이다.

## 5. 제 언

노출 평가 및 위해성 평가 분야는 분석 또는 독성 등의 단일 분야에서 독립적으로 수행 할 수 있는 분야는 아니다. 실제로 노출평가 혹은 위해성 평가를 수행하고자 할 경우에 일단 주변 환경에 대한 광범위한 사전 자료가 준비되어야 한다. 즉, 지질학적 정보(토양의 종류, 지하수, 풍향,..)에 따른 modeling 작업, 분석 대상 물질 및 변형물질들을 극미량까지 정량할 수 있는 분석 분야, 인체로의 흡수 경로를 예측해 노출 시나리오를 작성할 수 있는 능력, 인체내에 흡수된 후 독성 발현 기전 및 생체 대사를 규명할 수 있는 독성 및 약리학 분야, 이러한 자료를 종합해 program을 작성할 수 있는 전산 분야 등 많은 분야의 공조가 필요하다.

최근 국내에서 환경 분야의 연구에 많이 포함되고 있는 용어가 노출 평가 및 위해성 평가이다. 실제로 환경 분석에 있어 기기를 이용하여 분석 결과만을 제출하던 시대는 확실히 지난 것 같다. 그러나 무심히 지나칠 수 없는 것은 국내에서 수행하고 있는 위해성 평가 연구에서 대부분의 자료를 외국에 의존하고 있는 점이다. 노출 시나리오 및 다양한 노출 경로에 따른 modeling 등 많은 부분에서 우리나라 고유의 자료를 축적해야 할 필요가 있다. 외국의 경우 지역 특성에 맞는 노출 시나리오 및 여러 가지 modeling 기법이 만들어져 실제로 환경 복원 및 위해성 평가 분야에 적용되고 있다. 물론 외국에서 이미 밝혀진 결과를 국내에서 반복 답습할 필요는 없다. 그러나 국내 환경 자료가 고려되지 않고 외국의 데이터를 그대로 쓴다

는 것은 실질적인 국내 환경에 대한 평가라고 할 수 없다. 물론 국내 환경, 생태계 및 인체를 대상으로 한 기초 연구가 선행되어야 해결이 가능한 문제이며, 지속적으로 범 국가적인 지원이 기초연구에 더 투자되어야 할 것이다. 다음 호에서는 노출평가 연구에 관한 외국의 사례와 용량-반응 평가에 대해 설명하고자 한다.

## 참고문헌

1. H. F. Hemond and E. J. Fechner, "Chemical Fate and Transport in the Environment", Academic press, Inc., CA, USA, 1994.
2. TOMES PlusII System, "Knowledge Bases for Healthcare, Safety & Environment", Micromedex, Inc.
3. <http://www.epa.gov/OST/Tools/dwstds-s.html> US EPA, "Drinking Water Regulations and Health Advisories, EPA 822-B-96-002, 1996.
4. International Agency for Reaserch on Cancer. Lyon, 1986: 207-220 (IARC. Monographs on the evaluation of the carcinogenic Risk of Chemicals to humans, Volume 40.
5. CalTox (ver. 2.0.5): Eight Compartment Multimedia Exposure Model, University of California, 1994.
6. Exposure Factors Handbook (EHF), US EPA-ORD, National Center for Environmental Assessment, Feb. 1999.
7. Crystal Ball Pro Release Notes Version 4.0e, Decisioneering, Inc. April 1998.
8. 한국과학기술연구원 연차보고서 "수돗물에서의 미량 유해물질 분석법 연구 및 함유실태조사(8차)", 2000. 7.
9. WHO, "Guidelines for drinking-water quality", 2nd ed, pp. 2-6, pp. 121-131, pp. 885-900, pp. 903-907, pp. 917-949, WHO, Geneva(1996).