

화학물질 우선순위 선정 기법 (CRS-Korea)의 개발과 적용

박화성, 김예신¹, 이동수^{2,*}, 신용승³, 최승필²,
박성은⁴, 김명현⁴, 양지연⁵, 신동천⁵

국립환경연구원, ¹리스크, ²서울대학교 환경계획연구소,
³한국환경정책·평가연구원
⁴(주)엔바이오니아, ⁵연세대학교 환경공해연구소

Development of Korean Chemical Ranking and Scoring System (CRS-Korea) and its Application to Prioritizing National Toxic Chemicals

Hoa-sung Park, Ye-shin Kim¹, Dong Soo Lee^{2,*}, Yong-seung Shin³,
Seung-pil Choi², Seong-eun Park⁴, Myung-hyun Kim⁴,
Ji-yeon Yang⁵ and Dong-chun Shin⁵

National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

¹*Riskcom, Gyeonggi 435-040, Korea*

²*Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea*

³*Korea Environment Institute, Seoul 122-706, Korea*

⁴*Envioneer, Seoul 135-978, Korea*

⁵*Institute for Environmental Research, Yonsei University, Seoul 120-752, Korea*

ABSTRACT

A chemical ranking and scoring (CRS-Korea) system was developed and proposed to use as the first step to prioritize the toxic chemicals for the purpose of monitoring and detailed risk assessment that might follow as necessary. The CRS-Korea system takes a basic concept of risk assessment (both human health risk and ecological risk) in that risk score is determined by the product of toxicity score and exposure score. Included in the toxicity category are acute toxicity, chronic/sub-chronic toxicity, carcinogenicity, and other toxicity. The exposure category consists of quantity released to the environment, bioconcentration, and persistence. A consistent scheme and a comprehensive chemical data base are offered in the CRS-Korea system to calculate a score for the each component in the two categories by using specific physicochemical, fate, and toxic properties and the quantity of the chemical used. The toxicity score is obtained by adding up all the individual scores for the components in the toxicity category. The exposure score is determined by multiplication of the score of the quantity released with the sum of persistent score and bioconcentration score. Equal weight is given to the toxicity score and the exposure score. As the CRS-Korea system was applied to identify 50 national priority chemicals, it was found that significant data gap exists on toxicity and fate properties and that

※ To whom correspondence should be addressed.
Tel: +82-2-880-8522, E-mail: leeds@snu.ac.kr

the uncertainty associated with estimating the quantity released to the environment is notably high. The proposed CRS system is only a screening tool in the first step toward the priority setting and should be used with expert judgement and other considerations necessary.

Key words : chemical ranking and scoring system, toxic chemicals, priority, risk

서 론

화학물질의 위해성은 기본적으로 그 물질의 독성이나 위험성 (toxicity or hazard)과 그 물질에 대한 노출 (exposure)에 의해 크게 좌우된다. 따라서 화학물질에 의한 위해도를 최소화하기 위한 방안은 독성과 노출을 고려한 위해성 평가 (risk assessment)를 기초로 해야 한다 (국립환경연구원, 1996). 그러나 현재 사용 중에 있거나 가까운 장래에 사용될 모든 화학물질에 대해 위해성을 평가하여 상세한 정보를 생산하는 것은 큰 비용과 시간을 필요로 하기 때문에, 현실적으로 이루기 어려우며 한정된 자원을 고려하여 우선순위가 높은 물질을 먼저 관리하는 것이 효과적이다. 이에 위해도가 보다 큰 물질을 선별하고 그에 대해 관리를 위한 노력을 집중할 수 있도록 하는 방안의 개발이 지속적으로 강조되어 왔다 (Gary *et al.*, 1994). 여러 개발 국가에서는 위해도에 따른 화학물질의 우선순위를 확립하기 위해 첫 단계에서 우선순위가 높은 물질들을 크게 걸러내 고려 대상이 되어야 할 물질의 수를 일차적으로 줄인 다음 이들을 대상으로 필요한 세부적인 평가에 필요한 여러 작업을 진행시키는 단계적 접근 방식이 사용된다 (primary references). 이때 그 첫 단계에서 흔히 활용되는 도구가 CRS (Chemical Ranking and Scoring) 시스템으로서 구체적 목적에 따라 다양한 CRS 시스템들이 개발되어 사용되었다 (US EPA, 1994a). European Union Risk Ranking Method (EURAM) (Hansen *et al.*, 1999), Chemical Hazard Evaluation for Management Strategies (CHEMS-1) (US EPA, 1994b), Chemical Scoring and Ranking Assessment Model (SCRAM) (Erin *et al.*, 2000; Rachel *et al.*, 2002), Accelerated Reduction/Elimination of Toxics (ARET) (Environment Canada, 1994, 2003) 등이 그 중요한 사례이다.

그러나 국내의 경우는 이러한 개념이 도입되어

실행되는 초기 단계에 있다고 할 수 있는데 화학물질의 위해성 관리 측면에서 이들 선정 기법에 대한 제도적인 정착이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 기존의 국제적인 우선순위 기법들을 토대로 국내 상황에 적합한 우선순위 선정 시스템을 개발하고, 현재 화학물질 관리법상 유독물로 지정된 물질들을 대상으로 이들 시스템에 적용하여, 우선순위 물질을 도출하고자 하였다.

연구 방법

화학물질 우선순위 선정을 위한 기법을 구성할 때에는 그 목적에 대해 명확히 정의하는 것이 매우 중요하다 (Mary *et al.*, 1997a). 본 연구에서는 유독물로 지정된 화학물질 중 관리 우선순위가 높은 물질을 결정하는 과정인 세 단계, 즉, 스크리닝-전문가 평가-위해성 평가, 중 첫 단계인 스크리닝을 위한 CRS 시스템을 개발하고자 하였다. 또한 추후 대상 화학물질의 범위가 유독물 이외의 일반 화학물질에 대해서도 확대 적용될 수 있도록 고려하였다.

이를 위해 우선 기존의 다양한 CRS 시스템에 대해 각각의 개발 목적, 기법의 정교함, 적용 변수들의 특성, 기법의 타당성 등을 중심으로 비교·분석하여 국내 기법 개발시 적용가능성을 검토하였다 (Environment Canada, 1994, 2003; US EPA, 1994a, b; Hansen *et al.*, 1999; Rachel *et al.*, 2002; 김예신 등, 2003). 이를 참고로 화학물질의 물리화학적 성질, 인체 및 생태 독성, 환경 중 거동 특성 및 화학물질의 국내사용과 배출자료 등 주요 평가인자들을 선정하였다. 또한 이들의 특성에 따라 점수를 부여하는 방식을 검토하였다.

또한 개발된 기법을 편리하게 사용할 수 있도록 프로그래밍된 CRS 시스템을 만들어서 유해화학물질 관리법상의 유독물 (534여종, 2002년 11월 현재) (환경부, 2003)에 대한 데이터베이스를 구축하여

포함시켰다.

결과 및 토의

1. 우선순위 선정기법의 틀

화학물질 우선순위 선정을 위한 전체 체계는 위해성 평가의 틀을 유지하는 것을 원칙으로 하였다. 따라서 인체위해성과 생태위해성 모두 기본적으로 독성과 노출의 곱의 관계를 기본 구조로 한다. 또한 인체위해성과 생태위해성의 비중을 동일한 것으로 하여 각각의 점수를 합쳐서 최종 점수를 산정하고 최종 점수에 근거하여 순위를 결정한다 (Fig. 1) (Hansen *et al.*, 1999). 각 항목의 점수는 다섯 등급으로 구간을 나누고 구간별 점수를 부여하는 방식으로 정하였으며 또한 의음성 (false negative) 영향을 배제하기 위하여 각 항목의 구간 최소값을 0점으로 하지 않고 1점으로 설정하였다.

2. 인체 위해성

인체 위해성은 노출과 독성의 곱으로 평가하며 100점을 만점으로 하고, 이때 노출과 독성의 점수의 비중을 같게 유지하기 위하여 노출과 독성 모두 각각 10점을 만점으로 하였다 (Fig. 1).

1) 인체 독성

본 연구에서 고려된 인체독성 항목은 급성독성 (acute toxicity), 아/만성독성 (sub-/chronic toxicity),

발암성 (carcinogenicity), 기타독성 (other toxicity) 등 모두 4가지 범주로 이들 항목의 점수 합을 인체 독성 점수로 이용하였다. 각각의 범주는 5점을 만점으로 하며 독성점수는 각 범주의 점수를 합한 뒤 2로 나누어 최대값을 10점으로 조정하였다.

급성 독성에 대해서는 포유류에 대한 반수치사량 (lethal dose (LD₅₀) or lethal concentration (LC₅₀)) 수치를 이용하였다. 이때 랫트와 마우스에 대한 자료를 가장 우선순위로 두되 (US EPA, 1994b), 입력 자료의 범위를 최대화하기 위하여 이용 가능한 다른 포유류의 자료 역시 조사하여 이들 중 가장 민감한 수치를 이용하였다.

아/만성 독성에 대해서는 포유류에 대한 No Observed Adverse Effect Level (NOAEL)이나 Lowest Observed Adverse Effect Level (LOAEL) 자료를 사용하여 평가하였다. 이에 대한 자료 입력 시에도 급성 독성에서와 같은 방법을 적용하였다.

발암성에 대한 점수는 미국환경보호청 (US Environmental Protection Agency, 이하 US EPA), 국제암연구회 (International Agency for Research on Cancer, 이하 IARC) 등의 발암성 분류 결과를 이용하였다. 이때 제공 자료의 신뢰성 및 물질 포함 정도 등을 고려하여 EPA와 IARC의 자료를 주로 사용하고 (Mary *et al.*, 1997b), 자료의 결손을 방지하기 위하여 ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), NTP (National Toxicology Program), EC (European Commission)에서의 발암 분류 등급 역시 고려하였다 (박화성 등, 2004).

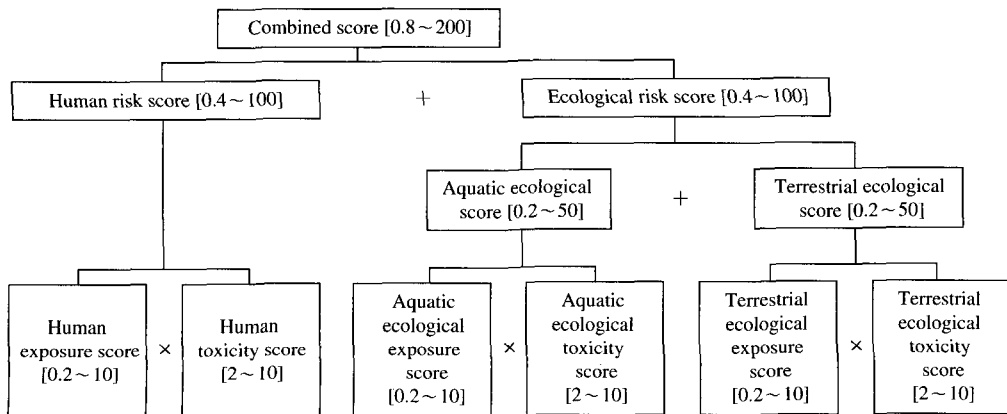


Fig. 1. Chemical ranking and scoring scheme proposed in this study.

Table 1. Scoring criteria for acute and sub-/chronic human toxicity

Endpoints	Score					
	5	4	3	2	1	
Acute toxicity	Oral LD ₅₀ (mg/kg)	≤ 5	≤ 50	≤ 500	≤ 5,000	> 5,000
	Inhalation LC ₅₀ (mg/m ³)	≤ 15	≤ 150	≤ 1,500	≤ 15,000	> 15,000
Sub-/Chronic toxicity	Oral NOAEL (mg/kg-day)	≤ 1	≤ 10	≤ 100	≤ 1,000	> 1,000
	Inhalation NOAEL (mg/m ³)	≤ 3	≤ 30	≤ 300	≤ 3,000	> 3,000

*LD₅₀ (lethal dose); LC₅₀ (lethal concentration); NOAEL (No Observed Adverse Effect Level)

Table 2. Scoring criteria for carcinogenicity

Data sources*	Score				
	5	4	3	2	1
IRIS	A	B (B1, B2)	C	D	E
IARC	1	2A	2B	3	4
ACGIH	A1	A2	A3	A4	
NTP	a	b			
EC	1	2	3		

*IRIS (Integrated Risk Information System); IARC (International Agency for Research on Cancer); ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists); NTP (National Toxicology Program); EC (European Commission)

위와 같이 인체 독성의 세부 항목별 등급과 구간에 따른 점수를 다음 Table 1과 2에 정리하였다.

마지막으로 기타독성은 변이원성/유전독성 (mutagenicity or genotoxicity), 생식독성 (reproductive toxicity), 발육독성 (developmental toxicity), 신경행태 독성 (neurobehavioral toxicity), 그리고 면역독성 (immunotoxicity) 등 다섯 가지의 세부항목으로 구성되어 있으며 이들 독성이 있는 각각의 세부항목에 대해 양성의 독성결과가 보고된 것이 있으면 1 점, 없으면 0점을 부여하여 세부항목의 점수를 모두 더하여 평가하였다. 단 세부항목의 총점이 0점인 경우에도 기타독성 영향이 배제되지 않도록 하기 위하여, 즉 의음성 영향을 배제하기 위하여 최저점을 1점으로 부여하였다.

2) 인체 노출

인체 노출 평가는 기본적으로 환경으로 인한 노출의 평가를 기본으로 하였다. 환경에서 노출의 정도는 배출량, 자연환경 중의 잔류성, 생물농축성 등 세 가지 항목을 이용해서 평가한다. 잔류성과 생물농축성은 서로 합의 관계에 두고 이들 두 항목의

합과 배출량은 곱의 관계로 설정하였다. 잔류성과 생물농축성의 최대값은 각각 5점이며 배출량의 최대값은 10점으로 노출평가의 최대점수는 100점이 되나, 독성 점수와와의 합산을 위해 계산된 점수를 10으로 나누어 최대 점수를 10점으로 조정하였다.

화학물질의 잔류성은 환경매질중의 반감기로서 평가하였다 (US EPA, 1994b). 대상 매질은 대기, 토양, 물, 퇴적토이며 이들 대상매질 가운데 가장 민감한 값을 사용하도록 하였다. 생물농축성은 자료의 이용가능성에 의한 제약 때문에 수생생물의 생물농축성 자료를 이용하기로 하였다. 대상 수생생물에는 어류, 조류, 물벼룩, 무척추동물 등을 모두 포함시켰으며, 이에 따라 여러 개의 생물농축성 값이 존재할 때는 가장 민감한 값을 선택하여 이용하도록 하였다 (Table 3).

배출량의 경우 이상적으로는 화학물질의 매질별 배출량을 사용해야 한다. 우리나라의 매질별 배출량의 보고는 대상업종을 기준으로 취급량이 연간 1톤 이상인 물질에 대해서 이루어져 왔으나 (환경부, 2004), 대상 물질 가운데 유독물의 수가 매우 제한적이며 배출량 자료의 신뢰도에 대한 평가가 제대로 이루어지지 않고 있기 때문에 본 연구에서 사용하기 어려웠다. 이에 배출량의 대리 지표로서 EURAM의 방법에 근거하여 사용량 자료를 배출량으로 환산하는 방법과 사용량을 직접 활용하는 방법을 비교한 결과 큰 차이가 없었으므로 본 연구에서는 사용량 자료를 배출량 자료의 대리지표로 직접 사용하는 것으로 결정하였다. 이 방법은 사용이 간단하며 추정 과정에서 용도의 다양성이나 불확실성으로 발생하는 추정치의 불확실성을 없앨 수 있다는 장점을 가지고 있으나 용도에 따라 배출량이 달라지기 때문에 불확실성이 특히 큰 부분이다. 한편 사용량은 그 수치의 변이가 매우

Table 3. Scoring criteria for persistence and bioaccumulation

Endpoints	Score					
	5	4	3	2	1	
Persistence	Half-life (in air, soil, water, sediment) (days)	≤4	≤20	≤50	≤100	>100
Bioaccumulation	BCF (bioconcentration factor) (unitless)	≤100	≤1,000	≤10,000	≤100,000	>100,000

Table 4. Scoring criteria for chemical quantity released to environment

Endpoints	Score									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Amount of Use (ton/year)	>5,000,000	≤5,000,000	≤1,000,000	≤500,000	≤100,000	≤50,000	≤10,000	≤5,000	≤1,000	≤500

Table 5. Scoring criteria for acute and sub-/chronic aquatic toxicity

Endpoints**	Score					
	5	4	3	2	1	
Acute toxicity	LC ₅₀ (mg/L)*	≤1	≤10	≤100	≤1,000	>1,000
Sub-/Chronic toxicity	NOEL (mg/L)*	≤0.1	≤1	≤10	≤100	>100

*LC₅₀ (lethal concentration); NOEL (No Observed Effect Level); **Test species are fish, algae, daphnia, and invertebrates.

크기 때문에 다른 항목과는 달리 배출량의 경우 모두 10등급으로 나누고 최대 점수를 10점으로 부여하였다 (Table 4).

3. 생태 위해성

생태위해성은 수생생물에 대한 항목과 육상생물에 대한 항목의 합으로 구성하였다. 각각의 위해성은 노출과 독성의 곱으로 평가하며 생태위해성점수의 최대값을 100점으로 조정하기 위하여 각각 50점을 만점으로 한다 (Fig. 1). 이때 역시 노출과 독성의 점수의 비중을 동일하게 유지하기 위하여 노출, 독성 모두 각각 10점을 만점으로 하여 계산한 뒤 2로 나누었다.

1) 생태 독성

본 연구에서 고려된 생태독성 항목은 크게 수생생태독성과 육상생태독성으로 분류할 수 있으며, 각각은 급성 독성 및 아/만성 독성으로 구성된다. 생태 독성에 대해서는 이들 항목에 대한 점수의 합으로 평가하기로 하고, 각각은 인체 독성과 마찬가지로

5점으로 만점으로 하며, 최대값은 10점이 되도록 조정하였다.

우선 수생생태독성의 경우 급성 독성에 대해서는 어류, 조류, 물벼룩, 무척추동물 등에 대한 실험 결과 중 LC₅₀값을 이용하였으며, 아/만성 독성에 대해서는 앞서 제시된 수생 생물종에 대한 NOEL (No Observed Effect Level) 자료를 사용하여 평가를 한다. 여러 종에 대한 실험 결과치가 동시에 존재하는 경우 가장 민감한 수치를 사용하였다. 항목별 등급과 구간에 따른 점수는 Table 5에 제시하였다. 육상생태독성은 인체와 마찬가지로 포유류에 대한 실험결과를 이용하였다 (Table 1).

2) 생태 노출평가

생태 노출 부분 역시 인체 노출과 마찬가지로 환경에서 노출의 정도는 배출량, 자연환경에서의 잔류성, 생물농축성 등 세 가지 항목을 이용해서 평가하였다. 물질의 잔류성 및 생물농축성은 인체 노출 평가와 동일하게 환경 매질의 반감기 및 수생생물에 대한 생물 농축성 자료를 이용하여 평가하

Table 6. Database for priority ranking of toxic chemicals

Variables (unit)		Additional contents	Data sources*
Physicochemical property	Molecular weight (g)	-	1, 2
	Boiling point (°C, 1atm)	-	1, 2
	Vapot pressure (mmHg, 25°C)	Experimental Temperature	1, 2
	Henry constant (atm·m ³ /mole)	Experimental Temperature	1, 2
	Solubility (g/L)	Experimental Temperature	1, 2
	Octanol-water coefficient	-	1, 2
	Bioconcentration factor	-	1, 2
	Half-life (days)	in Air/Water/Soil/Sediment	1, 2
Acute toxicity		LD ₅₀ (mg/kg), LC ₅₀ (mg/m ³) (for Rat, Mouse, Rabbit, Guinea pig etc.)	1, 2, 3, 4
Sub-/Chronic toxicity		Oral NOAEL/LOAEL (mg/kg/day), Inhalation NOAEL/LOAEL (mg/m ³) (for Rat, Mouse, Rabbit, Guinea pig etc.)	4, 5
Human toxicity	Carcinogenicity	EPA, IARC, ACGIH, NTP, EC	1, 2, 3, 5, 6
	Other toxicity	Mutagenicity or Genotoxicity	1, 2, 3
		Reproductive toxicity	
Ecological toxicity	Acute toxicity	LC ₅₀ (for Fish, Algae, Daphnia, Invertebrates)	1, 2
	Chronic toxicity	NOEL (for Fish, Algae, Daphnia, Invertebrates)	1, 2
Amount of Use (ton/year)		Year (1999~2001)	7

*Data sources 1: HSDB, 2003; 2: ME (the Ministry of Environment, Korea), 2003; 3: NTP, 2003; 4: EU, 1996; 5: US EPA IRIS, 2003; 6: IARC, 2003; 7: ME, 2002a

였으며, 자료 선정 기준 및 점수 척도 역시 동일하게 적용하였다 (Table 3). 또한 배출량의 대리 지표로서 사용량을 그대로 사용하였다. 단, 생태노출평가를 위해서는 전체 배출량 가운데 수계 (물과 퇴적층)로 배출되는 양과 육상으로 배출되는 양을 구분해야 한다. 이를 위해 Mackay Level I 모형을 사용하여 매질별 분배율을 구하였다 (Hansen *et al.*, 1999). 배출량 구간에 따른 점수는 Table 4와 동일하다.

잔류성과 생물농축성은 서로 합의 관계에 있으며 이들 두 항목의 합과 배출량은 곱의 관계에 두었다. 점수 배점은 인체 노출에서와 마찬가지로 잔류성과 생물농축성의 각각의 최대값은 5점, 배출량의 최대값은 10점으로 하였다. 노출평가의 최대 점수는 수생생태와 육상생태 각각 100점이 되나, 최종적으로 각 10점으로 조정하기 위해 계산된 점수를 10으로 나누어 주었다.

4. 연구 대상물질 및 데이터베이스 구축

본 연구에서 개발된 기법을 우선적으로 국내 유해화학물질관리법에 의해 지정된 유독물질을 대상으로 적용하기 위해 이들 물질에 대해 필요한 특성 자료를 모아 데이터베이스를 구축하였다 (Table 6).

연구대상물질의 물리·화학적 성질에 대해서는 주로 환경부, HSDB (Hazardous Substances Data Bank)를 활용하였으며, 이때 자료의 우선순위는 HSDB에 두었다. 또한 각 변수들에 대해서는 문헌값과 예측값으로 구분하여 정리하였고, 문헌값이 없을 경우는 US EPA (Environmental Protection Agency) (US EPA, 2000)에서 제공하고 있는 EPI-WIN (Estimation Program Interface for Windows) (EPA's Office of Pollution Prevention and Toxics & Syracuse Research Corporation (SRC) from US EPA (2000)) 패키지를 이용하여 값을 예측하였다.

인체독성 부분에서는 해당 지표에 대한 구체적인

Table 7. Change in the priority with default value

To water : 10%				Default = 1				To water : 10%				Default = 5			
CASRN	Chemical name	Score	Ranks	CASRN	Chemical name	Score	Ranks	CASRN	Chemical name	Score	Ranks	CASRN	Chemical name	Score	Ranks
000071-43-2	Benzene	72.9	1	007664-41-7	Ammonia	85.2	1	007664-41-7	Ammonia	85.2	1	007664-41-7	Ammonia	85.2	1
007723-14-0	Phosphorus	65.7	2	007738-94-5	Chromic acid	73.2	2	007738-94-5	Chromic acid	73.2	2	007738-94-5	Chromic acid	73.2	2
007664-41-7	Ammonia	63.6	3	000071-43-2	Benzene	72.9	3	000071-43-2	Benzene	72.9	3	000071-43-2	Benzene	72.9	3
000107-13-1	Acrylonitrile	61.3	4	000107-13-1	Acrylonitrile	70.3	4	000107-13-1	Acrylonitrile	70.3	4	000107-13-1	Acrylonitrile	70.3	4
000108-95-2	Phenol	59.1	5	000067-56-1	Methanol	68.9	5	000067-56-1	Methanol	68.9	5	000067-56-1	Methanol	68.9	5
001333-82-0	Chromic trioxide, Chromium trioxide, Chromic anhydride	58.2	6	000095-47-6	o-Xylene	68.4	6	000095-47-6	o-Xylene	68.4	6	000095-47-6	o-Xylene	68.4	6
000108-88-3	Toluene	56.7	7	007723-14-0	Phosphorus	65.7	7	007723-14-0	Phosphorus	65.7	7	007723-14-0	Phosphorus	65.7	7
000088-73-3	1-Chloro-2-nitrobenzene	56.3	8	007647-01-0	Hydrochloric acid (Hydrogen Chloride)	62.1	8	007647-01-0	Hydrochloric acid (Hydrogen Chloride)	62.1	8	007647-01-0	Hydrochloric acid (Hydrogen Chloride)	62.1	8
007647-01-0	Hydrochloric acid (Hydrogen Chloride)	54.9	9	000141-78-6	Ethyl acetate	60.0	9	000141-78-6	Ethyl acetate	60.0	9	000141-78-6	Ethyl acetate	60.0	9
000101-68-8	4, 4'-Methylenediphenyl diisocyanate (MDI)	52.8	10	001310-73-2	Sodium hydroxide	60.0	9	001310-73-2	Sodium hydroxide	60.0	9	001310-73-2	Sodium hydroxide	60.0	9
000141-78-6	Ethyl acetate	50.4	11	000108-95-2	Phenol	59.1	11	000108-95-2	Phenol	59.1	11	000108-95-2	Phenol	59.1	11
000098-95-3	Nitrobenzene	47.4	12	001333-82-0	Chromic trioxide, Chromium trioxide, Chromic anhydride	58.2	12	001333-82-0	Chromic trioxide, Chromium trioxide, Chromic anhydride	58.2	12	001333-82-0	Chromic trioxide, Chromium trioxide, Chromic anhydride	58.2	12
007738-94-5	Chromic acid	45.6	13	000108-88-3	Toluene	56.7	13	000108-88-3	Toluene	56.7	13	000108-88-3	Toluene	56.7	13
000095-47-6	o-Xylene	44.4	14	007790-94-5	Chlorosulfonic acid	56.7	13	007790-94-5	Chlorosulfonic acid	56.7	13	007790-94-5	Chlorosulfonic acid	56.7	13
000050-00-0	Formaldehyde	44.0	15	000088-73-3	1-Chloro-2-nitrobenzene	56.3	15	000088-73-3	1-Chloro-2-nitrobenzene	56.3	15	000088-73-3	1-Chloro-2-nitrobenzene	56.3	15
007664-93-9	Sulfuric acid	43.4	16	000095-70-5	2, 5-Diaminotoluene	55.2	16	000095-70-5	2, 5-Diaminotoluene	55.2	16	000095-70-5	2, 5-Diaminotoluene	55.2	16
000075-56-9	Propylene oxide, Methyloxirane	42.8	17	001345-04-6	Antimony trisulfide	54.0	17	001345-04-6	Antimony trisulfide	54.0	17	001345-04-6	Antimony trisulfide	54.0	17
000067-66-3	Chloroform	38.4	18	000101-68-8	4, 4'-Methylenediphenyl diisocyanate (MDI)	52.8	18	000101-68-8	4, 4'-Methylenediphenyl diisocyanate (MDI)	52.8	18	000101-68-8	4, 4'-Methylenediphenyl diisocyanate (MDI)	52.8	18
000106-89-8	Epichlorohydrin	36.6	19	007726-95-6	Bromine	52.8	18	007726-95-6	Bromine	52.8	18	007726-95-6	Bromine	52.8	18
000062-53-3	Aniline	36.3	20	000075-44-5	Phosgene	52.2	20	000075-44-5	Phosgene	52.2	20	000075-44-5	Phosgene	52.2	20
000095-48-7	o-Cresol	36.3	20	007719-09-7	Thionyl chloride	51.9	21	007719-09-7	Thionyl chloride	51.9	21	007719-09-7	Thionyl chloride	51.9	21
007790-94-5	Chlorosulfonic acid	36.3	20	000098-95-3	Nitrobenzene	47.4	22	000098-95-3	Nitrobenzene	47.4	22	000098-95-3	Nitrobenzene	47.4	22
000095-70-5	2, 5-Diaminotoluene	36.0	23	000302-01-2	Hydrazine/Hydrazine sulfate	46.9	23	000302-01-2	Hydrazine/Hydrazine sulfate	46.9	23	000302-01-2	Hydrazine/Hydrazine sulfate	46.9	23
000075-21-8	Ethylene oxide	36.0	23	007632-00-0	Sodium nitrite	46.5	24	007632-00-0	Sodium nitrite	46.5	24	007632-00-0	Sodium nitrite	46.5	24
000056-23-5	Carbon tetrachloride	33.9	25	000100-69-6	2-Vinylpyridine	46.0	25	000100-69-6	2-Vinylpyridine	46.0	25	000100-69-6	2-Vinylpyridine	46.0	25
000127-18-4	Tetrachloroethylene	32.1	26	000301-04-2	Lead acetate	45.9	26	000301-04-2	Lead acetate	45.9	26	000301-04-2	Lead acetate	45.9	26
000107-06-2	1, 2-Dichloroethane	31.0	27	000050-00-0	Formaldehyde	44.0	27	000050-00-0	Formaldehyde	44.0	27	000050-00-0	Formaldehyde	44.0	27
000067-56-1	Methanol	29.3	28	007664-93-9	Sulfuric acid	43.4	28	007664-93-9	Sulfuric acid	43.4	28	007664-93-9	Sulfuric acid	43.4	28
000301-04-2	Lead acetate	29.1	29	000075-56-9	Propylene oxide, Methyloxirane	42.8	29	000075-56-9	Propylene oxide, Methyloxirane	42.8	29	000075-56-9	Propylene oxide, Methyloxirane	42.8	29
007632-00-0	Sodium nitrite	28.5	30	007697-37-2	Nitric acid	42.0	30	007697-37-2	Nitric acid	42.0	30	007697-37-2	Nitric acid	42.0	30
000056-35-9	Bis(tributyl tin) oxide	27.2	31	007803-57-8	Hydrazine, monohydrate	41.7	31	007803-57-8	Hydrazine, monohydrate	41.7	31	007803-57-8	Hydrazine, monohydrate	41.7	31
000095-54-5	o-Phenylenediamine	26.7	32	007664-39-3	Hydrogen fluoride	39.9	32	007664-39-3	Hydrogen fluoride	39.9	32	007664-39-3	Hydrogen fluoride	39.9	32
000543-90-8	Cadmium acetate	26.4	33	000067-66-3	Chloroform	38.4	33	000067-66-3	Chloroform	38.4	33	000067-66-3	Chloroform	38.4	33
000077-78-1	Dimethyl sulfate	26.4	33	000106-89-8	Epichlorohydrin	36.6	34	000106-89-8	Epichlorohydrin	36.6	34	000106-89-8	Epichlorohydrin	36.6	34
007803-57-8	Hydrazine, monohydrate	26.1	35	000062-53-3	Aniline	36.3	35	000062-53-3	Aniline	36.3	35	000062-53-3	Aniline	36.3	35
000100-69-6	2-Vinylpyridine	25.0	36	000095-48-7	o-Cresol	36.3	35	000095-48-7	o-Cresol	36.3	35	000095-48-7	o-Cresol	36.3	35
000506-64-9	Silver cyanide	24.0	37	013530-68-2	Dichromic acid	36.2	37	013530-68-2	Dichromic acid	36.2	37	013530-68-2	Dichromic acid	36.2	37

Table 7. To be continued.

To water : 10%		Default = 1		To water : 10%		Default = 5	
CASRN	Chemical name	Score	Ranks	CASRN	Chemical name	Score	Ranks
007726-95-6	Bromine	24.0	37	000075-21-8	Ethylene oxide	36.0	38
000075-44-5	Phosgene	23.4	39	000077-78-1	Dimethyl sulfate	36.0	39
007722-84-1	Hydrogen peroxide	23.1	40	008014-95-7	Fuming sulfuric acid	34.4	40
000079-01-6	Ethylene trichloride	22.6	41	001310-58-3	Potassium hydroxide	34.0	41
001345-04-6	Antimony trisulfide	22.0	42	000056-23-5	Carbon tetrachloride	33.9	42
007440-66-6	Zinc	21.3	43	000095-54-5	o-Phenylenediamine	33.9	42
000793-24-8	N-(1, 3-Dimethylbutyl)- N-phenyl-p-phenylene diamine	20.5	44	000543-90-8	Cadmium acetate	32.4	44
000079-06-1	Acrylamide, 2-Propenamamide	20.1	45	000127-18-4	Tetrachloroethylene	32.1	45
000078-93-3	Methyl ethyl ketone (MEK)	19.4	46	000107-06-2	1, 2-Dichloroethane	31.0	46
000095-53-4	o-Toluidine	19.2	47	010026-13-8	Phosphorus pentachloride	30.9	47
000077-47-4	Hexachlorocyclopentadiene	19.2	47	000506-64-9	Silver cyanide	30.0	48
007719-09-7	Thionyl chloride	18.3	49	010025-67-9	Sulfur chloride	30.0	48
007719-12-2	Phosphorus trichloride	18.0	50	007440-66-6	Zinc	28.5	50
001310-73-2	Sodium hydroxide	18.0	50	-	-	-	-

인 수치 정보를 도출하기 위하여 기존의 화학물질 우선순위 선정 시스템에서 이용한 자료원의 신뢰성 및 가용성 등을 고려하여 각 지표에 대한 데이터베이스를 선택하고 이를 이용하여 유독물에 대한 데이터베이스를 구축하였다(연세대학교 환경공해연구소, 2003; 박화성 등, 2004). 자료의 결손을 방지하기 위하여 지표에 대해 가용한 정보를 모두 사용하고자 하였으며, 또한 이차적으로 사용할 수 있는 문헌상의 방법 등을 적용하였다. 수생생태독성의 경우는 환경부 유독물 정보와 HSDB에서 문헌값을 조사하였으며, 데이터가 없을 경우에는 EPIWIN을 이용한 예측치를 사용하였다.

5. 민감도 분석 및 불확실성 점수

각각의 항목에 있어서 측정값을 우선적으로 사용하며, 측정값이 존재하지 않을 때는 추정값을 사용하도록 하였다. 추정값을 얻기 위해서는 EPIWIN을 일관되게 사용하도록 하였다. 이때 추정 가능한 항목으로는 급성 독성 수치, 반감기, 헨리상수 등이었다. 추정이 가능하지 않은 경우에는 기본입력값(default value)을 사용하도록 하였다. 기본입력값으로서 최대값 5와 최소값 1을 각각 사용하여 별도의 우선순위를 도출하고 기본입력값의 변화에 따른 결과의 민감도를 비교하도록 하였다. 민감도 분

석의 경우 그 이외에도 Mackay Level I을 적용할 수 없는 물질들에 대해서 매질별 배분율에 대한 가정을 하는 과정에서 배분율을 물로의 분포 10% 또는 90%로 변화시켜 이에 따른 결과의 민감도를 검토하도록 하였다.

제안된 우선순위 선정 기법을 활용하여 국내 유해화학물질관리법에서 관리하고 있는 유독물에 대하여 우선순위가 높은 50개의 물질을 선정하였다(Table 7). 이 과정에서 우선 유독물의 독성 자료가 매우 부족한 것으로 드러났다. 특히 급성 흡입 독성, 아/만성 독성치, 발암성 분류 결과 등의 자료는 전체 물질의 약 20% 미만 수준으로 조사되었다. 이러한 자료의 부족으로 인해 기본입력값을 사용해야 하는 유독물질의 수가 매우 많아지게 되었는데 기본입력값에 따라 순위와 점수가 크게 변하는 물질들이 있어서 이들의 우선순위에 대해서는 다음 단계인 전문가평가에 의해서 정해질 수밖에 없었다.

반면에 본 논문에서는 따로 제시하지 않았지만 환경으로 배출된 물질이 어느 매질에 얼마만큼 분포하는가에 따른 영향은 크지 않았다(연세대학교 환경공해연구소, 2003). 그 이유는 이용한 데이터베이스 내에서 아/만성 독성 자료가 부족하여 독성점수는 결과적으로 급성독성에 의하여 결정이 되는 경향이 있으며, 따라서 육상생태에 대한 독성점수

Table 8. List of 50 national priority toxic chemicals selected by using CRS-Korea

Rank	Chemical name	Chemical score		Uncertainty (%)	Chemical groups	Use category	Hazards	Other information
		Default = 1	Default = 5					
1	Ammonia	58.2	79.8	37	Inorganics	Fertilizer, Intermediates etc.	Acute toxicity	Strong base
2	Chromic acid, salts	42.6	161.0	278	Metal compounds	Preservative, colorful glass, Raw material for pigment	Acute toxicity, Carcinogenicity, Reproductive toxicity	High uncertainty
3	Hydrochloric acid	52.2	69.0	32	Inorganics	Pigment, Manufacturing inorganic salt, Manufacturing nitrocompound	Acute toxicity, Irritant	Strong acid
4	Phosphorus	46.8	79.2	69	Pesticides	Raw material of organic synthesise, Germicide	Acute toxicity	-
5	4,4'-Methylene diphenyl diisocyanate (MDI)	51.6	60.0	16	Non-VOCs	Manufacturing poly-urethane resin	Acute toxicity, Irritant	-
6	Chromic trioxide, Chromium trioxide, Chromic anhydride	47.1	55.5	18	Metal compounds	Preservative, colorful glass, Raw material for pigment	Acute toxicity, Carcinogenicity, Reproductive toxicity	-
7	1-Chloro-2-nitro-benzene	40.5	67.5	67	Pesticides	Intermediate for pesticide, Pigment	Acute toxicity, Genotoxicity	-
8	Nitrobenzene	45.3	53.7	19	VOCs	Germicide, Raw material of organic synthesise, Extraction solvent	Acute toxicity	-
9	Methanol	29.3	68.9	135	VOCs	Solvent, Extractive solvent	Acute toxicity, Irritant	-
10	Phenol	42.8	51.8	21	Non-VOCs	Phenol resin, Germicide, Intermediate, Raw material of medicine etc	Acute toxicity, Irritant	-
11	Chlorosulfonic acid	36.3	56.7	56	Inorganics	Manufacturing of detergent and pigment	Acute toxicity	Strong acid
12	Benzene	46.8	46.8	0	VOCs	Pigment, Synthesized rubber, fiber and resin, antiseptic etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
13	Propylene oxide, Methylloxirane	42.8	42.8	0	VOCs	Germicide and Intermediate	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
14	Sulfuric acid	39.6	47.6	20	Inorganics	Fertilizer, Explosives, Raw materials for synthesizing chemicals etc.	Acute toxicity	Strong acid
15	Toluene	39.5	48.5	23	VOCs	Explosives, Pigment, Manufacturing synthesized leather, Cosmetics etc.	Acute toxicity, Irritant	-
16	Lead compounds	18.4	92.8	404	Metal compounds	Explosives, Pigment, Glaze etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity, Reproductive toxicity	High uncertainty
17	Bromine	24.0	52.8	120	Inorganics	Intermediate of organic synthesizing, Flame retardant, Raw material for pesticide and pigment etc.	Acute toxicity	Corrosive
18	Acrylonitrile	34.4	39.8	16	VOCs	Adhesive, Plastic coating etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-

Table 8. To be continued.

Rank	Chemical name	Chemical score		Uncertainty (%)	Chemical groups	Use category	Hazards	Other information
		Default = 1	Default = 5					
19	Hydrazine, monohydrate	21.6	41.7	60	Pesticides	Plastic blowing agent, Reducing agent, Polymerization catalyst etc.	Acute toxicity	-
20	Formaldehyde	36.2	36.2	0	VOCs	Germicide, Disinfectant, Medicine, Synthesized fiber and resin etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
21	Phosgene	21.6	50.4	133	VOCs	Germicide, Medicine	Acute toxicity	-
22	Thionyl chloride	19.2	52.8	175	Inorganics	Chemical manufacturing	Acute toxicity	Corrosive
23	Sodium hydroxide	18.0	60.0	233	Inorganics	Manufacturing synthetic fiber, Manufacturing pigment, Neutralizing agent etc.	Acute toxicity, Irritant	High uncertainty, Strong base
24	Tetrachloroethylene	27.9	36.3	30	VOCs	Manufacturing fiber, Refrigeration gas, Solvent etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
25	Carbon tetrachloride	33.9	33.9	0	VOCs	Gasoline additives, Refrigerant, Manufacturing semiconductor etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
26	Nitric acid	19.6	40.4	106	Inorganics	Medicine, Manufacturing chemicals, Chemical fertilizer etc.	Acute toxicity	Strong acid
27	Potassium hydroxide	20.5	37.5	83	Inorganics	Food additives, Raw material for organic synthesis	Acute toxicity	Corrosive
28	Chloroform	29.5	29.5	0	VOCs	Solvent, Washing agent, Manufacturing resin, Soil germicide etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
29	Ethyl acetate	25.2	30.0	19	VOCs	Pigment, Printing ink, Dyes, Synthetic leather, Film etc.	Acute toxicity	-
30	Ethylene oxide	24.0	30.0	25	Non-VOCs	Organic polymer	Acute toxicity	-
31	Xylenes (mixed isomers)	18.8	36.8	96	VOCs	Solvent, Pigment, Pesticide, Epoxy resin etc.	Acute toxicity, Irritant	-
32	Hydrogen fluoride	15.9	39.9	151	Inorganics	Freon gas, Luster remover for glass and electric bulb, Germicide, Washing metals, Inhibitor for fermentation etc.	Acute toxicity, Irritant	High uncertainty, Corrosive
33	N-(1,3-Dimethylbutyl)-N-phenyl-p-phenylene diamine	24.8	28.8	16	Non-VOCs	Antioxidant for rubber, Polymer stabilization agent etc.	Acute toxicity	-
34	Epichlorohydrin	25.4	25.4	0	Pesticides	Germicide, Epoxy resin, Ion exchange resin, Glycerin, Surfactant, Adhesives, Pigment etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
35	Dimethyl sulfate	21.9	29.1	33	Non-VOCs	Methylation agent for organic compound, Manufacturing pigment and medicine, Separating mineral oil etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-

Table 8. To be continued.

Rank	Chemical name	Chemical score		Uncertainty (%)	Chemical groups	Use category	Hazards	Other information
		Default = 1	Default = 5					
36	1, 2-Dichloroethane	22.6	28.2	25	VOCs	Extraction solvent, Raw material for organic synthesization	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
37	Hydrogen peroxide	17.6	34.4	18	Inorganics	Bleaching agent, Disinfectant	Acute toxicity	Corrosive
38	Fuming sulfuric acid	23.1	27.3	95	Inorganics	Pigment, Explosives, Petroleum refining etc.	Acute toxicity	Strong acid
39	Phosphorus pentachloride	15.3	30.9	102	Inorganics	Catalyst and Aluminium metallurgy	Acute toxicity	Corrosive
40	Sulfur chloride	17.2	30.0	74	Inorganics	Processing of fiber and rubber, Organic synthesization	Acute toxicity	Corrosive
41	Dichromic acid	14.4	33.6	133	Metal compounds	Antiseptic, colorful glass, Pigment etc.	Acute toxicity, Carcinogenicity, Reproductive toxicity	-
42	Allyl alcohol	20.4	24.0	18	VOCs	Perfume and Glycerol	Acute toxicity, Irritant	-
43	Sodium fluoride	15.0	30.6	104	Pesticides	Germicide, Metal treatment agent, Wood preservatives	Acute toxicity	-
44	Toluenediamine	17.0	29.8	75	Non-VOCs	Antiseptic, Antioxidant, Pigment, Polymer synthesization, Hair dyes, Epoxy resin etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
45	Acrylamide, 2-Propenamide	20.1	20.1	0	Non-VOCs	Adhesives, Soil fumigant, Pigment and organic synthesization	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
46	Hexachloro-cyclopentadiene	19.2	22.4	17	Pesticides	Adhesives, Polyester resin, Pigment etc.	Acute toxicity, Irritant	-
47	Ethylene trichloride	18.4	24.0	30	VOCs	Refrigerant, Washing solvent, Solvent extraction etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
48	2-Vinylpyridine	15.0	27.6	84	Non-VOCs	Pigment, Adhesives, Polymer etc. Resin synthesization etc.	Acute toxicity	-
49	Aniline	19.2	19.2	0	Non-VOCs	Solvent, Antioxidant, Germicide, Pigment, Resin synthesization etc.	Acute toxicity, Irritant, Carcinogenicity	-
50	Methyl ethyl ketone (MEK)	18.0	23.4	30	VOCs	Synthesized resin, Lacquer solvent, Printing ink, Synthetic leather etc.	Acute toxicity, Irritant	-

가 높은 물질은 대부분 수생생태에 대한 독성점수 또한 높았기 때문이다. 또한 아/만성 독성에 대한 자료가 없어서 기본입력값을 모두 최대로 부여하는 경우에 많은 물질이 최대점수를 부여 받게 되기 때문에 매질에 대한 분포 농도는 유의적인 차이를 나타내지 못하였다. 결과적으로 환경으로 배출되어 어떤 매질에 얼마나 분포하는가보다는 기본입력값에 따라 결과가 크게 변하므로, 순위의 불확실성이 크고 이에 대한 별도의 검토가 요구되었다. 또한 매질에 대한 분포 비율은 Mackay Level I 모델을 적용하고 이를 적용하지 못하는 경우 두 가지 분배 가정 시나리오중 타당성이 높은 것으로 평가되는 물로의 분포 비율 10%인 시나리오를 기본으로 지정하였다.

따라서 이 스크리닝 단계에서는 우선 기본입력값에 상관없이 우선순위가 항상 높은 물질을 위주로 다시 정리하였다(Table 8). 이 결과에 따르면 중금속, 강산, 강염기, 강산화제 등이 포함되어 있으며, 일부 물질은 단순히 사용량이 많아서 포함된 것도 있다. 따라서 스크리닝 단계라 할지라도 일부 적절하지 않은 물질들은 목록에서 제외하는 것이 타당하다. 즉, 이러한 간단한 검토를 통해 적절하지 않은 물질들은 제거하고 다음 단계에서 상세히 검토할 목록을 작성하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다. 또한 우선순위선정(스크리닝-전문가평가-위해성평가)을 위한 3단계가 유기적으로 운영될 필요가 있음을 알 수 있다.

결 론

본 연구에서 개발되는 선정기법은 전체적인 화학물질 우선순위 결정과정인 “스크리닝-전문가평가-위해성평가”의 세 단계 중 첫 단계에서 사용되는 것을 전제로 한다. 즉, 최종적인 우선순위는 전문가 평가와 위해성 평가를 통해서 확정되는 것으로 본 연구에서 개발되는 기법은 이와 같은 전체 과정의 효율성을 극대화하기 위해 검토의 대상이 되어야 할 대상물질의 수를 줄이는 기능을 수행할 수 있다. 이 기법을 적용하여 우선순위가 높은 상위 50여개의 유독물을 선정하였다. 이들을 고르는 과정에서 대상물질들의 독성 혹은 물성자료, 사용량 및 배출량자료 등의 부족으로 많은 기본입력값

을 사용해야 했으며 이때 사용된 기본입력값에 따라 우선순위의 결과가 크게 달라지는 물질들이 일부 있는 것으로 밝혀졌다. 따라서 우선순위 선정기법을 이용하여 신뢰도가 높은 결과를 얻기 위해서는 무엇보다도 부족한 자료의 보충과 신뢰도가 높은 자료의 확보가 절실하다. 또한 본 연구의 우선순위선정기법을 통해 얻어진 물질들 간의 개별적 우선순위 결과를 기계적으로 사용하는 것은 적절하지 않으며 순위의 신뢰도를 검토하는 작업이 반드시 뒤따라야 할 필요가 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 전체 유독물의 넓은 점수분포를 감안한다면 우선순위가 높은 물질군과 그렇지 않은 군으로 나누는 것은 이러한 불확실성에 의해 큰 영향을 받지 않는다. 따라서 본 기법은 위해성평가의 개념을 활용하여 체계적으로 우선순위가 높은 물질군을 선정하는 효율적인 방법이 될 수 있을 것이다. 따라서 본 기법은 다른 선정 목적으로 사용될 경우, 기법의 구조나 지표가 다소 변경될 수도 있지만, 화학 물질을 선정하는 일반적인 모델로 확장되어 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2003년 환경부의 “위해우려물질 선정 및 평가 연구”의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 국립환경연구원. 화학물질 관리 체계 개선을 위한 기반 연구, 1996.
- 김예신, 박화성, 이동수, 신동천. 화학물질 우선순위 선정 기법에 대한 비교 분석, 한국환경독성학회지 2003; 18 (3): 183-191.
- 박화성, 김예신, 이동수, 신동천. 대기중 유해 화학 물질의 인체 위해도우선순위 선정 연구, 한국환경독성학회지 2004; 19 (1): 81-91.
- 연세대학교 환경공해연구소. 위해우려물질 선정 및 평가 연구, 환경부 2003.
- 환경부. 유해화학물질관리법, 2004.
- 환경부. 화학물질정보센터 (KCIC, Korean Chemicals Information Center). <http://kcic.nier.go.kr/>, 2003.
- 환경부. 유독물 사용실적 보고(1999~2001), 2002.

- Environment Canada. The ARET substance selection process and guideline, 1994.
- Environmental Canada. www.ec.gc.ca/ARET, 2003.
- Erin MS, Shane AS, John PG *et al.* SCRAM : A Scoring and Ranking System for Persistent, Bioaccumulative, and Toxic Substances for the North American Great Lakes-Part I : Structure of the Scoring and Ranking System, *Environmental Science and Pollution Research* 2000; 7(1): 1-11.
- EU (European Union). IUCLID (International Uniform-Chemical Information Database), 1996.
- Gary AD, Mary BS and Sheila J. Comparative evaluation of chemical ranking and scoring methodologies, *US EPA* 1994.
- Hansen BG, Haelst AL *et al.* Priority setting for existing chemicals: The European Union risk ranking method, *Environmental Toxicity and chemistry* 1999; 18: 772-779.
- HSDB (Hazardous Substances Data Bank). <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>, 2003.
- IARC (International Agency for Research on Cancer). <http://www.iarc.fr/>, 2003.
- Mary BS and Adam CS. Chemical ranking and scoring : Guidelines for relative assessment of chemicals, SETAC press 1997a.
- Mary BS, Gary AD, Lori EK, Terry WS, John EB, Sheila LJ and Emma LG. A screening method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts, *Environmental Toxicology and Chemistry* 1997b; 16(2): 372-383.
- NTP (National Toxicology Program). <http://ntp-server.niehs.nih.gov/>, 2003.
- Rachel RM, Cheryl LS, Shari AB *et al.* SCRAM: A Scoring and Ranking System for persistent, bioaccumulative, and toxic Substances for the north american great lakes resulting chemical scores and rankings, *Human and Ecological Risk Assessment* 2002; 8(3): 537-557.
- US EPA IRIS. www.epa.gov/iris, 2003.
- US EPA. Comparative evaluation of chemical ranking and scoring methodology, 1994a.
- US EPA. Chemical hazard evaluation for management strategies; A method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts, 1994b.
- US EPA. EPIWIN (Estimation Programs Interface for Windows), 2000.