

## 화학물질 우선순위선정 시스템에서 고려되는 노출·독성인자 비교연구

안윤주\*, 정승우<sup>1</sup>, 김민진, 양창용

전국대학교 환경과학과, <sup>1</sup>군산대학교 환경공학과

### Comparative Study of Exposure Potential and Toxicity Factors used in Chemical Ranking and Scoring System

Youn-Joo An\*, Seung-Woo Jeong<sup>1</sup>, Minjin Kim and Chang-Yong Yang

*Department of Environmental Science, Konkuk University, Korea*

*<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Kunsan National University, Korea*

#### ABSTRACT

Chemical Ranking and Scoring (CRS) system is a useful tool to screen priority chemicals of large body of substances. The relative ranking of chemicals based on CRS system has served as a decision-making support tools. Exposure potential and toxicity are significant parameters in CRS system, and there are differences in evaluating those parameters in each CRS system. In this study, the parameters of exposure potential, human toxicity, and ecotoxicity were extensively compared. In addition the scoring methods in each parameter were analyzed. The CRS systems considered in this study include the CHEMS-I (Chemical Hazard Evaluation for Management Strategies), SCRAM (Scoring and Ranking Assessment Model), EURAM (European Union Risk Ranking Method), ARET (Accelerated Reduction/Elimination of Toxics), and CRS-Korea. An comparative analysis of the several CRS systems is presented based on their assessment parameters and scoring methods.

**Key words** : risk, toxicity, exposure, chemical ranking and scoring (CRS)

#### 서 론

산업의 발달과 더불어 유해화학물질의 사용과 배출은 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 유해화학물질은 생태계나 인체에 직·간접적으로 지속적인 위해성(Risk) 문제를 유발시킬 수 있다. 기존의 유해화학물질 관리는 독성기준체계로 되어 있어

노출에 따른 위해성은 고려되지 않았으나(최승필 등, 2005), 유해화학물질은 독성과 노출에 의해 그 위해성이 좌우되기 때문에 유해화학물질 관리 대상 선정 시에서는 기존 독성물질뿐 아니라 잠재적인 독성물질들을 모두 포함하는 것이 바람직하다. 그러나 모든 유해 화학물질들에 대하여 위해성 평가를 실시하고 관리하기에는 큰 비용과 많은 시간이 소요되기 때문에 현실적으로는 어려움이 있다. 따라서 선진국에서는 위해성이 높은 물질을 우선적으로 관리하기 위하여 우선순위 물질을 선별하는 chemical ranking and scoring (CRS) 시스템이 다

※ To whom correspondence should be addressed.  
Tel: +82-2-2049-6090, Fax: +82-2-2201-6295  
E-mail: anyjoo@konkuk.ac.kr

양한 목적에 따라 개발되어 있다(US EPA, 1994a, b; 김예신 등, 2003; 안윤주 등, 2008). 최근 국내에서도 독성과 노출이 고려된 화학물질 우선순위 선정 기법(CRS-Korea)이 개발된 바 있다(박화성 등, 2005).

우선순위 선정시스템에서 적합한 평가인자의 선정과 합리적인 점수 배점은 가장 중요한 부분이다. 우선순위 선정기법의 기본은 여러 평가 인자들의 점수화(scoring)인데, 점수화는 독성자료를 토대로 이루어지며 독성자료가 없는 결측치(missing data)는 표준값(default value)을 부여하게 되는데 모델에 따라 불확실성점수(uncertainty score)와 결합하여 화학물질 순위는 변동이 생긴다(최승필 등, 2005). 따라서 화학물질 우선순위를 선정할 때 점수체계에 따른 순위변동이 가장 적은 모델을 선정하기 위해서는 기존 여러 CRS 기법의 분석이 필요하다.

본 연구에서는 화학물질의 유해 우선순위를 도출하기 위한 평가 모델에 대하여 각 모델에 사용된 각각의 평가 인자와 평가 인자에 부여된 점수체계를 비교 분석하였다. 대상 모델로는 CHEMS-1 (chemical hazard evaluation for management strategies, 미국), SCRAM (chemical and scoring ranking assessment mode, 미국), EURAM (european union risk ranking method, 유럽연합), ARET (accelerated reduction/elimination of toxics, 캐나다) 그리고 CRS-Korea (한국) 5개의 모델을 선정하였다(EC, 1994; US EPA, 1994a, b; Snyder *et al.*, 2000; EU, 2001; Mitchell *et al.*, 2002; 박화성 등, 2005). 한편 선정된 모델에서 사용된 평가인자들을 점수화 하는데 필요한 자료의 활용과 배점의 범위 내용에 대하여 심도 있게 조사하였으며, “우선관리대상 토양오염물질 선정연구”(국립환경과학원, 2007)의 일환으로 토양오염 우선순위물질 선정 시 활용된 바 있다.

### 각 CRS 모델의 노출가능성 (Exposure potential) 비교

본 연구에서 조사한 CRS 모델에서는 노출가능성에 대하여 생물축적성(Bioaccumulation)과 잔류성(persistence)을 공통적인 평가인자로 고려하고 있으며 국내 모델인 CRS-Korea의 경우 토양배출량을 평가인자로 포함하고 있다.

## 1. 생물축적성 (Bioaccumulation)

생물축적성은 BCF, BAF, Kow 값을 사용하였으며, 모델마다 적용한 값이 다를 뿐만 아니라 모델에 따라 점수배점을 0점에서부터 최고 10점까지 부여한다(Table 1). CHEMS-1에서는 log BCF에 따라 점수를 부여하며 log BCF 값이 4 이상일 경우 2.5점, 1 미만일 경우 1점,  $1 < \log BCF \leq 4$ 의 범위일 경우 “ $0.5(\log BCF) + 0.5$ ”의 수식을 통해 점수를 배점한다. SCRAM에서는 BAF측정치와 예측치, BCF측정치와 예측치, Kow를 사용하고 있었으며, 100 미만에서 100,000 이상의 값을 1~5점으로 배점하였으며, 각각의 인자들은 불확실성 점수를 0~5점까지 차등 적용하여 신뢰도를 높였다. EURAM에서는 log BCF 값에 따라 2 미만에서 4 이상의 값을 0~3점으로 배점하였으며, 기본 값에 대하여 최고 3점을 부여하였다. ARET에서는 BCF와 log Kow에 대해 각각의 범위에 따른 점수를 부여하였다. BCF 값의 적용범위는 20 미만에서 15,000 이상으로  $\leq 20$ ,  $> 20 \sim 500$ ,  $> 500 \sim 15,000$  그리고  $> 15,000$ 을 각각 0, 4, 7 그리고 10점으로 배점하였다. log Kow 값을 적용할 경우에는 2 미만은 0점, 2~4는 4점, 6 이상은 10점으로 배점하였다. CRS-Korea에서는 BCF 값을 사용하고 있으며, 점수체계는 SCRAM과 동일하였다.

## 2. 잔류성 (Persistence)

잔류성은 CRS 모델 대부분 반감기를 적용하였으며, 모델에 따라 점수를 0에서 최고 10점까지 배점하였다(Table 1). CHEMS-1에서는 반감기 범위 4~500일을 적용하였으며, 반감기 4일 미만은 1점, 500일 이상은 2.5점, 4~500일 범위일 경우 “ $0.311(\log t_{1/2}) + 0.5684 - 20 \text{ days}$ ”의 수식을 통해 점수를 배점하였다. SCRAM에서는 반감기 4~100일을 적용하였으며, 이 범위의 값을 1~5점까지 배점하였다. EURAM에서는 분해성에 따라 0%, 50% 그리고 90%분해성에 대해 각각 1점, 0.5점, 0.1점으로 배점하였으며, 기본 값에 대하여 최고 1점을 부여하였다. ARET에서는 반감기 10~100일을 적용하였으며  $\leq 10$ ,  $> 10 \sim 50$ ,  $> 50 \sim 100$  그리고  $> 100$ 을 각각 0, 4, 7 그리고 10점으로 배점하였다. CRS-Korea에서는 반감기 4~100일을 적용하고 있었으며, 점수체계는 SCRAM과 동일하였다.

**Table 1.** Scoring comparison of bioaccumulation and persistence in CRS models

CHEMS-1		SCRAM		EURAM		ARET		CRS-Korea	
SV	BCF	SV	BCF	SV	BCF	SV	BCF	SV	BCF
2.5	log BCF >4.0	5	>100,000	3	Default	10	>15000 (BCF) >6.0 (log Kow)	5	>100,000
1	log BCF ≤1.0	4	>10,000 ~100,000	3	4<log (BCF)	7	>500~15000 (BCF)	4	>10,000 ~100,000
a	1.0<log BCF ≤4.0	3	>1,000 ~10,000	2	3<log (BCF) ≤4	4	>20~500(BCF) >2.0~4.0 (log Kow)	3	>1,000 ~10,000
-	-	2	>100 ~1,000	1	2<log (BCF) ≤3	0	<or=20(BCF) <or=2.0 (log Kow)	2	>100 ~1,000
-	-	1	≤100	0	log (BCF)≤2	-	-	1	≤100
SV	Half-life	SV	Half-life	SV	Half-life	SV	Half-life	SV	Half-life
2.5	>500 days	5	>100 days	1.0	Default	10	>100 days	5	>100 days
1	≤4 days	4	50~100 days	1.0	Persistent	7	>50~≤100 days	4	50~100 days
b	>4 days~ ≤500 days	3	20~50 days	0.5	Inherent biodegradable	4	>10~≤50 days	3	20~50 days
-	-	2	4~20 days	0.1	Ready biodegradable	0	≤10 days	2	4~20 days
-	-	1	<4 days	-	-	-	-	1	<4 days

a: 0.5 (log BCF)+0.5, b: 0.311 (log t<sub>1/2</sub>)+0.5684-20 days, SV: score values, BCF: bioconcentration factor

### 3. 배출량/사용량

배출량 또는 사용량의 경우 EURAM과 CRS-Korea에서 노출인자로 고려하였다. EURAM은 화학물질의 이용형태(T<sub>I</sub>, T<sub>II</sub>, T<sub>III</sub>, T<sub>IV</sub>)에 따라 사용되는 물질의 비율을 차등 적용한 후 합하여 배출량으로 적용하고 있으며, CRS-Korea에서도 EURAM에 근거하여 사용량 자료로부터 환산된 배출량 500~5,000,000 ton/year을 10단계로 나누어 1~10점까지 배점하였다. SCRAM와 ARET는 배출량 또는 사용량을 평가인자로 포함하지 않았으며, CHEMS-1은 배출량 또는 대기, 수계 이동량을 이용하고 있었으나 점수배점형식이 아닌 자연로그를 이용한 수식을 통해 가중치를 산출하여 적용하였다.

#### 각 CRS 모델의 인체독성 비교

인체독성 (Human toxicity)은 인간의 세포나 쥐, 랫트, 토끼, 원숭이 등 포유동물을 대상으로 하여

발암성, 급성독성, (아)만성, 기타 인체독성을 평가인자로 사용하고 있다.

#### 1. 발암성

발암성은 발암등급, ED10 (Effect dose 10), 발암성, R-phase의 자료가 사용되었으며, 각 모델에 따라 사용된 평가인자는 다르게 조사되었다 (Table 2). CHEMS-1은 IARC와 US EPA IRIS의 발암등급을 모두 사용하였으며, IARC와 IRIS의 유사한 등급을 5항목으로 분류하여 0~5점까지 배점하고 IRIS와 IARC의 등급이 모두 존재할 경우 합산하여 점수를 산정하였다. 예를 들면, 벤젠의 경우, IRIS와 IARC에서 각각 1등급에 해당함으로써 총점을 10점이 된다. SCRAM의 경우 1/ED10에 US EPA의 발암등급에 따른 가중치(1~3점)를 곱하여 1~5점을 부여하였다. EURAM은 EU ESIS R-phase에 따라 발암가능물질 (R45 or R49)에 대하여 10점, 제한된 실험조건에서 발암 영향이 유발된 경우(R40) 9점, R-phase가 없을 시에는 0점을 부여하였다. ARET

**Table 2.** Scoring comparison of human carcinogenicity in CRS models

CHEMS-1		SCRAM		EURAM		ARET		CRS-Korea	
SV	Carcinogen	SV levels	1/ED10 (mg/kg/d)	SV	R-pharse	SV	Carcinogenicity	SV	Carcinogen levels
5.0	IRIS A, IARC 1	5	≤1.5	10	R45 or R49	10	Direct acting human carcinogen	5	IRIS A, IARC 1
4.0	IRIS B1, IARC 2A	4	>1.5 to 5	9	R40	8	Indirect acting human carcinogen	4	IRIS B (B1, B2) IARC 2A
3.5	IRIS B2, IARC 2B	3	>5 to 15	0	No R-pharse	6	Carcinogenic in animal bioassay tests	3	IRIS C, IARC 2B
1.5	IRIS C	2	>15 to 45	—	—	4	Positive tumorigenic agent in humans	2	IRIS D, IARC 3
0	IRIS D, E, IARC 3, 4	1	>45	—	—	2	Tumorigenic in only one animal species	1	IRIS E, IARC 4
—	—	—	—	—	—	0	Not tumorigenic in an adequate animal bioassay	—	—

SV: score values, ED: effective dose

는 발암형태가 암 혹은 종양, 발생 개체의 인간유무에 따라서 6가지로 분류하고 0~10점까지 2점 간격의 배점을 적용하였다. CRS-Korea는 IARC, US EPA IRIS의 자료를 위주로 하며, 자료의 결손을 방지하기 위해 ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), NTP (National Toxicology Program), 그리고 EC (European Commission)의 자료를 참고하여 발암등급에 따라 5단계로 구분하여 1~5점 부여하였다.

## 2. 인체급성독성

급성독성은 LC50, LD50, R-pharse의 자료가 사용되었으며, CHEMS-1, EURAM, ARET 그리고 CRS-Korea 모델에서는 노출경로에 따른 경구독성과 흡입독성으로 구분하여 각각 점수배점을 하였으며, SCRAM은 인체 급성독성을 평가인자로 두지 않았다. CHEMS-1은 경구독성과 흡입독성을 각각 LD50과 LC50에 따라 0~5점까지 배점하였다(Table 3). 경구독성의 경우 LD50 값이 5 mg/kg 미만은 5점, 5,000 mg/kg 이상은 0점, 5~5,000 mg/kg의 범위는 수식 “6.2~1.7 (log LD50)”을 통해 점수를 배점하였으며, 흡입독성의 경우 LC50 값이 1.6 mg/m<sup>3</sup> 미만은 5점, 10,000 mg/m<sup>3</sup> 이상은 0점, 1.6~10,000 mg/m<sup>3</sup>의 범위는 수식 “8.0~2.0 (log LC50)”을 통해 점수를 배점하였다. EURAM은 R-

phase에 따라 경구독성과 흡입독성을 각각 4단계로 구분하여 0~3점까지 배점하였다. ARET는 경구독성과 흡입독성을 각각 LD50과 LC50에 따라 6단계로 구분하여 0~10점까지 2점 간격의 배점을 적용하였다. 경구독성의 경우 LD50 0.5~5,000 mg/kg의 범위를 적용하고 있으며, 흡입독성의 경우 LC50 1.5~15,000 mg/m<sup>3</sup>의 범위를 적용하였다. CRS-Korea는 경구독성과 흡입독성을 각각 LD50과 LC50에 따라 0~5점까지 배점하였으며, 경구독성의 경우 LD50 5~5,000 mg/kg의 범위로 CHEMS-1과 동일하였으며, 흡입독성의 경우 LC50 1.5~15,000 mg/m<sup>3</sup>의 범위로 ARET와 동일하였다.

## 3. 인체 (아)만성독성

인체 (아)만성독성은 5개의 모델에서 모두 고려하고 있다(Table 4). CHEMS-1과 EURAM의 경우 (아)만성독성과 기타독성을 뚜렷한 구분 없이 같이 적용하고 있다. CHEMS-1의 경우 발암성과 기타독성영향을 만성독성으로 평가하고 있으며, EURAM의 경우 다양한 독성종말점이 존재하므로 N(L)O-EAL의 값을 이용하여 평가하지 않고 종말점 별로 R-pharse로 구분하여 평가하고 있다. SCRAM은 NO(A)EAL 값을 사용할 경우 1~1,000 mg/kg/day의 범위를 적용하였으며, LO(A)EAL 값을 사용할 경우 10~5,000 mg/kg/day의 범위를 적용하여 1~5

**Table 3.** Scoring comparison of human acute toxicity in CRS models

Route	CHEMS-1		SCRAM	EURAM		ARET		CRS-Korea	
	SV	LD(C)50	LD(C)50	SV	R-pharse	SV	LD(C)50	SV	LD(C)50
Oral ingestion (mg/kg)	5	≤ 5		3	R28	10	≤ 0.5	5	≤ 5
	0	> 5,000		2	R25	8	> 0.5 ~ 5	4	> 5 ~ 50
	*	5 ~ 5,000	—	1	R22	6	> 5 ~ 50	3	> 50 ~ 500
	—	—	—	0	No R-pharse	4	> 50 ~ 500	2	> 500 ~ 5,000
	—	—	—	—	—	2	> 500 ~ 5,000	1	> 5,000
	—	—	—	—	—	0	> 5,000	—	—
Inhalation (mg/m <sup>3</sup> )	5	< 1.6 ppm		3	R26, 27	10	≤ 1.5	5	≤ 15
	0	> 10,000 ppm		2	R23	8	> 1.5 ~ 15	4	> 15 ~ 150
	**	—	—	1	R20	6	> 15 ~ 150	3	> 150 ~ 1,500
	—	—	—	0	No R-pharse	4	> 150 ~ 1,500	2	> 1,500 ~ 15,000
	—	—	—	—	—	2	> 1,500 ~ 15,000	1	> 15,000
	—	—	—	—	—	0	> 15,000	—	—

\*6.2 ~ 1.7 (log LD50), \*\*8.0 ~ 2.0 (log LC50), SV: Score values

**Table 4.** Scoring comparison of human (sub)chronic toxicity in CRS models

CHEMS-1	SCRAM		EURAM	ARET		CRS-Korea	
	SV	mg/kg/day		SV	NO(A)EL, mg/kg/day or mg/m <sup>3</sup>	SV	NO(A)EL mg/kg/day
Sub-chronic and chronic toxicity are assesment to carcinogenicity and others toxicity	5	≤ 10 (LO(A)EL), ≤ 1 (NO(A)EL)	Inclusion in Others toxicity	10	≤ 0.1 (Oral), ≤ 0.3 (Inhal.)	5	< 1 (Oral), < 5 (Inhal.)
	4	< 10 ~ 100 (LO(A)EL), < 1 ~ 10 (NO(A)EL)		8	> 0.1 ~ 1 (Oral), > 5 (Inhal.)	4	> 1 ~ 10 (Oral), > 5 ~ 50 (Inhal.)
	3	< 100 ~ 1,000 (LO(A)EL), < 10 ~ 100 (NO(A)EL)		6	> 1 ~ 10 (Oral), > 3 ~ 30 (Inhal.)	3	> 10 ~ 100 (Oral), > 50 ~ 500 (Inhal.)
	2	< 1,000 ~ 5,000 (LO(A)EL), < 100 ~ 1,000 (NO(A)EL)		4	> 10 ~ 100 (Oral), > 30 ~ 300 (Inhal.)	2	> 100 ~ 1,000 (Oral), > 500 ~ 5,000 (Inhal.)
	1	> 5,000 (LO(A)EL), > 1,000 (NO(A)EL)		2	> 100 ~ 1,000 (Oral), > 300 ~ 3,000 (Inhal.)	1	> 1,000 (Oral), > 5,000 (Inhal.)
	—	—		0	> 1,000 (Oral), > 3,000 (Inhal.)	—	—

LOAEL: Lowest observed adverse effect level, NOAEL: No observed adverse effect level

점까지 구분하였다. ARET는 90일 이상의 NOEAL을 사용하며 경로에 따라 경구독성과 흡입독성을 구분하여 각각 NOEAL 0.1 ~ 1,000 mg/kg/day, NOEAL 0.3 ~ 3,000 mg/kg/day 값에 따라 6개 단계

로 0 ~ 10점까지 2점 간격의 배점을 적용하였다. 만약 90일 미만의 경우 NOEAL에 안전계수(5)로 나눠주며 28일 미만의 독성자료는 사용하지 않았다. CRS-Korea는 NO(A)EAL을 경구독성과 흡입독성

**Table 5.** Scoring comparison of other toxicities of human in CRS models

CHEMS-1		SCRAM				ARET			CRS-Korea		
SV	Mutagenicity, Development, Reproduction, Neurotoxicity, Others	SV	Muta-genicity	Conduct disorder	Immu-notoxicity	EDs	SV	Teratogen-icity	Genotoxicity, Mutagenicity	SV	Mutagenicity/ Genotoxicity, Reproduction, Development, Neurotoxicity, Immunotoxicity
5	5	5	Positive germ line	Severe-irreversible	Severe-irreversible	—	10	Terata ≤ 0.1 without overt maternal toxicity	Mutagenic in vivo (no negative results from in vitro assays)	5	5
4	4	4	Possible germ line	Severe-reversible or moderate-irreversible	Severe-reversible or moderate-irreversible	—	8	Terata > 0.1 ~ 1 without overt maternal toxicity	Causes clastogenic effects, sister chromatid exchange, crosslink; no evidence of mutation	4	4
3	3	3	Positive somatic line	Moderate-reversible	Moderate-reversible	High potential	6	Terata or developmental anomalies at > 1 ~ 10	Auses DNA induction or repair, with no direct interaction with nuclear material	3	3
2	2	2	Possible somatic line	Slight effects	Slight effects	Moderate potential	4	Terata or developmental anomalies at > 10 ~ 50	Mutagenic in prokaryotic cells only; negative results in eukaryotic cell assays	2	2
1	1	1	No known effects	No known effects	No known effects	Low potential	2	Terata or developmental anomalies at > 50 ~ 1,000	Mutagenic in vitro assays only, negative in vivo	1	1
0	0	—	—	—	—	—	0	No terata, or terata only at > 1,000	Not genotoxic or mutagenic, negative results in vivo and in vitro	1	0

SV: Score values

으로 구분하여 각각 NO(A)EAL 1~1,000 mg/kg/day, NO(A)EAL 5~5,000 mg/kg/day의 범위를 5 단계로 나누어 0~5점까지 배점하였다.

#### 4. 인체기타독성

기타독성으로는 돌연변이성, 유전독성, 발육독성, 생식독성, 신경독성, 피부자극 등 다양한 인자에 대하여 평가하고 있다(Table 5). CHEMS-1은 돌연변이

이성, 발육독성, 생식독성, 신경독성, 기타 만성영향에 대하여 정성적으로 평가하여 flagged endpoint가 존재 시 각 영향별로 1점씩 적용하여 인자들을 합산하여 0~5점까지 배점하였다. SCRAM은 돌연변이성, 행동장애, 면역독성, 내분비계장애물질에 대해 영향정도를 구분하여 1~5점까지 배점하였다. ARET는 기형발생독성과 경우 유전/돌연변이독성에 대하여 영향 정도에 따라 6단계로 나누어 0~10점까지 2점 간격의 배점을 적용하고 있으며, 기

**Table 6.** Scoring comparison of acute terrestrial toxicity in CRS models

CHEMS-1		SCRAM			CRS-Korea			
SV	Biota (Oral-LD50, mg/kg)	SV	Plant (ED50 or LD50, kg/ha or lb/acre)	Mammals, Reptiles, Birds, Invertebrate (Oral ED50 or LD50, mg/kg/day)	EURAM	ARET	SV	Mammals (Oral LD50, mg/kg/day)
5	≤5	5	≤0.1	≤5	Assessment factor applied to the lowest of either the NOEC or L(E)C50	-	5	≤5
0	>5,000	4	>0.1~1	>5~50		-	4	>5~50
*	5~5,000	3	>1~10	>50~500		-	3	>50~500
-	-	2	>10~100	>500~5,000		-	2	>500~5,000
-	-	1	>100	>5,000		-	1	>5,000

SV: Score values

형발생독성에 대한 자료가 없을 경우 유전/돌연변이독성에 대한 배점을 사용할 수 있다. EURAM은 유전독성, 생식독성, 호흡증감, 반복용량독성, 자극 그리고 피부민감도에 대하여 R-phrase나 in vitro, in vivo test를 통한 영향정도에 따라 11단계로 나누어 0~10까지 점수를 배점하였다. CRS-Korea는 변이원성/유전독성, 생식독성, 발육독성, 신경형태독성 그리고 면역독성에 대하여 CHEMS-1과 같은 배점방식이 적용되었으며, 기타독성자료가 존재하지 않더라도 독성영향을 배제하지 않기 위해 1점을 부여하였다.

### 각 CRS 모델의 생태독성 비교

생태독성(Ecototoxicity)은 육상독성과 수서독성을 포함하고 있다. 육상독성에서는 포유류, 파충류, 조류(algae), 무척추동물류, 식물 등 다양한 종의 독성값이 이용되며, 수서독성에서는 어류, 양서류, 조류, 무척추동물류, 수서식물 등의 독성값이 이용되며, CRS 모델에 따라 적용되는 생물 종은 차이가 있다. 생태독성은 육상급성독성, 육상(아)만성독성, 수서 급성독성, 수서(아)만성독성으로 구분된다.

#### 1. 육상생태독성

육상생태독성은 급성과 (아)만성독성으로 구분된다. 육상생태에 대한 급성독성을 고려하고 있는 모델은 CHEMS-1, SCRAM, EURAM 그리고 CRS-Korea이며, ARET는 고려하지 않았다(Table 6).

CHEMS-1는 육상생물에 대하여 인체급성독성에서 경구독성의 배점 방식을 적용하였다. SCRAM은 식물, 포유류, 파충류, 조류, 무척추동물을 대상으로 식물과 동물의 점수 범위 값을 다르게 사용하였다. 식물과 동물의 범위를 각각 E(L)D50 0.1~100mg/kg과 5~5,000 mg/kg/day로 정하고 5단계로 구분하여 1~5점을 부여하였다. EURAM의 경우 만성 NOEC 값이 없을 경우 급성 값을 이용하며 급성 값 중 최저 값에 평가계수를 적용한 후 수식에 의해 점수를 산정하였다. CRS-Korea는 포유류에 대하여 경구독성 LD50 5~5,000 mg/kg/day를 범위로 정하고 SCRAM과 같은 방식으로 1~5점까지 배점하였다. 육상생태에 대한 (아)만성독성을 고려하고 있는 모델은 SCRAM, EURAM, ARET 그리고 CRS-Korea이며, CHEMS-1은 고려하지 않았다(Table 7). SCRAM은 식물, 포유류와 파충류, 조류, 무척추동물을 각각 구분하여 N(L)OEAL에 따라 점수를 배점하였다. EURAM은 수집된 독성 값 중 최저 값에 AF를 적용한 후 수식에 의해 점수를 산출하여 적용하였다. ARET는 식물의 경우 성장감소에 대한 NOEL, EC50에 대하여 대기, 물 토양매체별로 점수가 부여되며, 비포유류(non-mammals)의 경우 만성과 (아)만성으로 구분하고 각각 NOEL 0.5~500 mg/kg/day과 1~1,000 mg/kg/day으로 범위를 정하고 6단계로 나누어 0~10점까지 2점 간격의 배점을 적용하였다. CRS-Korea는 포유류에 대하여 노출 경로에 따른 경구독성과 흡입독성으로 구분하고 각각 NO(A)EL 1~1,000 mg/kg/day, 3~3,000 mg/kg/day으로 범위를 정하고 5단계로 나누어

**Table 7.** Scoring comparison of terrestrial (sub)chronic toxicity in CRS models

CHE MS-1	SV	SCRAM						EURAM	ARET		CRS-Korea		
		Plant	Mammals, Reptiles		Birds		Invertebrate		SV	Non-mammals (NOEL, mg/kg/d)	SV	Mammals	
		LO(A)EL or NO(A)EL (kg/ha or lb/acre)	LO(A)EL, mg/kg/day	≥90d NO(A)EL (mg/kg/day)	LO(A)EL, mg/kg/day	NO(A)EL, mg/kg/day	LO(A)EL or NO(A)EL (mg/kg/day)				Oral (NO(A)EL, mg/kg/day)	Inhalation (NO(A)EL, mg/kg/day)	
-	5	≤0.1	≤10	≤1	≤10	≤1	≤10		10	<1(SC)** <0.5(C)**	5	≤1	≤3
-	4	>0.1~1	>10~100	>1~10	>10~100	>1~10	>10~100	Assessment factor applied to the lowest of either the NOEC or L(E)C50	8	<1(SC)*** <0.5(C)***	4	>1~10	>3~30
-	3	>1~10	>100~1,000	>10~100	>100~1,000	>10~100	>100~1,000		6	1~<10(SC) 0.5~<5(C)	3	>10~100	>30~300
-	2	>10~100	>1,000~5,000	>10~1,000	>1,000~5,000	>10~1,000	>1,000~5,000		4	10~<100(SC) 5~<50(C)	2	>100~1,000	>300~3,000
-	1	>100	>5,000	>1,000	>5,000	>1,000	>5,000		2	100~<1000(SC) 50~<500(C)	1	>1,000	>3,000
									0	≥1000(SC) ≥500(C)			

\*\* in different genera, \*\*\* in one genus, SV: Score values; SC: Sub-chronic; C: Chronic

**Table 8.** Scoring comparison of acute aquatic toxicity in CRS models

CHEMS-1		SCRAM			ARET		CRS-Korea	
SV	LC50 (mg/L)	SV	E(L)D50 (mg/L)	EURAM	SV	LC50 (mg/L)	SV	Fish, Birds, Daphnia, Invertebrate LC50 (mg/L)
5	<1	5	≤1	Assessment factor applied to the lowest of either the NOEC or L(E)C50	10	≤0.1	5	≤1
0	≥1,000	4	>1~10		8	>0.1~1	4	>1~10
*	1~1,000	3	>10~100		6	>1~10	3	>10~100
-	-	2	>100~1,000		4	>10~100	2	>100~1,000
-	-	1	>1,000		2	>100~1,000	1	>1,000
-	-	-	-	0	>1,000	-	-	

\* -1.67(log LC50)+5.0, SV: Score values

1~5점까지 배점하였다.

**2. 수서생태독성**

수서생태독성은 급성과 (아)만성 독성으로 구분된다. 수서생태에 대한 급성독성은 5개 모델 모두 고려하고 있었다(Table 8). CHEMS-1은 어류에 대한 LC50 값에 대하여 5 mg/kg 미만과 5,000 mg/kg 이상을 각각 5점과 0점으로 배점하고 5~5,000 범

위의 값은 수식 “-1.67 (log LC50)+5.0”을 통해 점수를 배점하였다. SCRAM은 식물, 양서류, 온수생장어류, 냉수생장어류, 무척추동물 등 5종으로 분류하여 E(L)D50 1~1,000 mg/L의 범위의 값 5단계로 나누어 1~5점까지 배점하였다. EURAM은 최저독성 값에 AF를 적용한 후 수식을 통해 점수를 산정하여 적용하였다. CRS-Korea는 어류, 조류, 무척추동물에 대한 LC50 이용하였으며, SCRAM과 점수체계가 같았다. 수서생태에 대한 (아)만성독성



**Table 9.** Scoring comparison of aquatic (sub)chronic toxicity in CRS models

CHEMS-1		SCRAM			EURAM	ARET		CRS-Korea	
SV	LOEL (mg/L)	SV	Plant, Fish, Amphibis MATC, N(L)OEC (mg/L)	Invertebrate MATC, N(L)OEC (mg/L)		SV	EC50, MATC, NOAEC(mg/L)	SV	NOEL (mg/L)
5	<0.1	5	≤0.1	≤10		10	EC50<0.02** MATC<0.002** NOAEC<0.0002**	5	≤0.1
0	≥100	4	>0.1~1	>10~100		8	EC50<0.02*** MATC<0.002*** NOAEC<0.0002***	4	>0.1~1
*	0.1~100	3	>1~0	>100~1,000	Assessment factor applied to the lowest of either the NOEC or L(E)C50	6	EC50 0.02~<0.2 MATC 0.002~<0.02 NOAEC 0.0002~<0.002	3	>1~0
-	-	2	>10~100	>1,000~5,000		4	EC50 0.2~<2 MATC 0.02~<0.2 NOAEC 0.002~<0.02	2	>10~100
-	-	1	>100	>5,000		2	EC50 2~<20 MATC 0.2~<2 NOAEC 0.02~<0.2	1	>100
-	-	-	-	-		0	EC50 ≥20 MATC ≥2 NOAEC ≥0.2	-	-

\* 3.33~1.67 (log LOEL), \*\* in different genera, \*\*\* in one genus, SV: Score values, MATC: maximum acceptable toxic concentrations

또한 5개 모델 모두 고려하고 있다 (Table 9). CHEMS-1은 어류에 대한 LOEL값에 대하여 0.1 mg/L 미만과 100 mg/L 이상을 각각 5점과 0점으로 배점하고, 0.1~100 범위의 값은 수식 “3.33~1.67 (log LOEL)”을 통해 점수를 배점하였다. SCRAM은 급성수서독성과 마찬가지로 식물, 양서류, 온수생장어류, 냉수생장어류, 무척추동물의 5종에 대하여 점수를 부여하나 급성과 달리 (아)만성에서는 5종 중 무척추동물의 경우 점수별 평가기준이 달랐으며, MATC나 N(L)OEC의 값을 사용하여 식물, 어류 그리고 양서류는 0.1~100 mg/L, 무척추동물은 10~5,000 mg/L의 범위를 5단계로 나누어 1~5점까지 배점하였다. EURAM은 급성독성과 같은 방식을 통해 점수를 산정하여 적용하였다. ARET는 EC50, MATC, NOAEC에 대하여 독성종말점을 각각 구분하여 6단계로 나누어 0~10점까지 2점 간격의 배점을 적용하였다. CRS-Korea는 어류, 조류,

무척추동물에 대하여 LOEL 0.1~100 mg/L의 범위를 5단계로 나누어 1~5점까지 배점하였다.

### 결론

5개의 CRS 모델을 비교한 결과 노출평가, 인체독성평가, 생태독성평가 항목으로 구성되어 있으며, 각 모델에서 제시하고 있는 평가인자들은 모두 11개 항목으로 조사되었다. 노출평가에서는 생물축적성, 잔류성, 배출량/사용량 3가지로 구성되어 있으며, 인체독성평가에서는 발암성, 급성독성, (아)만성독성, 기타독성 4가지, 생태독성에서는 육상과 수서를 구분하여 각각 급성독성, (아)만성독성 4가지로 구성되어 있다. 각 모델에 따라 평가인자 항목의 채택은 조금씩 차이를 보였으며, 독성 값의 범위와 점수의 체계는 각 CRS 모델마다 다르게 적용되고

있다. CRS 모델에서는 각 평가 인자들을 점수화 하기 위한 자료의 확보와 신뢰도가 중요하다. 모델에 따라서 각각의 인자에 요구되는 독성지표수는 다르게 조사되었다. SCRAM은 9개의 평가인자 항목을 가지고 있으며, 평가인자에 대한 독성지표가 가장 다양하게 사용된 모델로 사료된다. SCRAM에서 사용되고 있는 평가인자는 모두 0~5점으로 배점하는 일관성이 있었다. CHEMS-1은 9개의 평가인자 항목을 가지고 있으며, 평가인자의 점수 배점은 각 평가인자 항목의 특성에 따라 노출평가항목은 0~2.5점, 인체독성과 생태독성평가 항목은 0~5점으로 배점되었다. CHEMS-1은 점수체계 방식에 있어서 특이성이 가장 높은 모델로 상용대수(logarithm)에 의한 점수를 산정하는 방식으로 각각의 독성값이 고유의 점수를 갖게 되어 화학물질별 점수가 차별화 될 수 있다. 독성자료의 점수화에 있어서 EURAM은 EU의 R-phrase를 사용하고 있다. R-phrase는 노출, 독성 그리고 물질의 특성까지 고려된 체계로서 유해·위해도나 독성 영향을 R1-68까지 다양하게 구분하고 R번호를 두 개 이상 사용함으로써 복합작용까지 함께 나타내고 있다. EURAM은 10개의 평가인자 항목을 가지고 있으며, 평가인자의 점수 배점은 최고점과 배점 간격이 항목에 따라 다양하였다. 특히 인체기타독성의 독성지표를 6가지 인자로 상세히 세분화하여 0~10점까지 배점함으로써 신뢰성을 높였다. 노출평가 항목과 인체독성평가 항목의 점수체계는 일정한 범위를 구분하여 점수를 부여한 반면, 생태독성평가 항목의 점수체계는 최저 독성값에 AF를 적용한 후 수식을 통해 점수를 산정하였다. ARET는 9개의 평가인자 항목을 가지고 있으며, 평가인자 항목 모두 0~10점까지 점수를 부여하였다. CRS-Korea는 11개 항목의 평가인자가 고려된 모델로 각 평가인자 항목의 점수체계는 노출평가항목에서 배출량/사용량이 1~10점까지 구분되어 있었고, 나머지 10개의 항목에서는 1~5점까지 배점하고 있다. 각 모델의 평가항목의 차이는 노출영향에서 배출량이 고려되지 않았거나 독성에서 (아)만성독성과 기타독성을 구분하지 않았기 때문으로 조사되었다.

본 연구는 화학물질 우선순위 선정기법에 대하여 새로운 모델을 개발하거나 보완할 때 기존의 CRS 모델의 점수체계를 용이하게 이용할 수 있는 자료로 활용성이 높다. 또한 CRS의 이용목적과 특

정매체를 대상으로 모델을 개발함에 있어 점수체계를 위한 평가인자 선택의 중요성이 크다. 따라서 본 자료를 토대로 기존의 CRS 모델에서 고려하고 있지 않은 평가인자에 대하여 우리나라 실정에 맞는 평가항목을 재구성 하는데 유용한 자료로 사용될 수 있을 것으로 여겨진다.

## 감사의 글

본 연구는 국립환경과학원 연구비 지원에 의해 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- 국립환경과학원. 우선관리대상 토양오염물질 선정 연구 2007.
- 김예신, 박화성, 이동수, 신동천. 화학물질 우선순위 선정 기법에 대한 비교 분석, 한국환경독성학회지 2003; 18(3): 183-191.
- 박화성, 김예신, 이동수, 신용승, 최승필, 박성은, 김명천, 양지연, 신동천. 화학물질의 우선순위 선정기법 (CRS-Korea)의 개발과 적용, 한국환경독성학회지 2005; 20(2): 109-121.
- 안윤주, 정승우, 김태승, 이우미, 남선화, 백용욱. 국내외 Chemical Ranking and Scoring 체계 비교분석을 통한 우선순위 토양오염물질 선정을 위한 평가인자 도출, 한국지하수토양환경학회지 2008; 13(6): 62-71.
- 최필승, 박화성, 이동수, 신승용, 김예신, 신동천. 개선된 화학물질 우선순위 선정기법 (CRS-Korea II) 그 활용을 통한 지역별 유독물 우선순위의 도출, 한국환경독성학회지 2005; 20(4): 311-325.
- EC (Environment Canada). The ARET substance selection process and guidelines, 1994.
- EU (European Union). General classification and labelling requirements for dangerous substances and preparations, Official Journal of the European Communities 2001; L: 225-263.
- Mitchell RR, Summer CL, Bush DM, Hurlburt GK, Snyder EM and Giesy JP. 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: 537-557.
- Snyder EM, Snyder SA, Giesy JP, Blonde SA, Hurlburt GK, Summer CL, Mitchell RR and Bush DM. SCRAM: A

scoring and ranking system for persistent, bioaccumulative, and toxic substances for the North American great lake, *ESPR. Environment Science and Pollution Research* 2000; 7: 116-121.

US EPA. Chemical hazard evaluation for management strate-

gies; A method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts 1994a.  
US EPA. Comparative evaluation of chemical ranking and scoring methodologies, 3N-3545-NAEX 1994b.