

환경성 내분비계장애물질(EDCs)의 우선관리순위 결정법 개발 및 적용

임미영* · 박지영** · 지경희*** · 이기영***†

*서울대학교 보건대학원 환경보건학과, **서울대학교 보건환경연구소,
***용인대학교 산업환경보건학과

Development and Application of a Chemical Ranking and Scoring System for the Management of Endocrine Disrupting Chemicals

Miyoung Lim*, Ji Young Park**, Kyunghye Ji***, and Kiyoung Lee***†

*Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University

**Institute of Health and Environment, Seoul National University

***Department of Occupational and Environmental Health, Yongin University

ABSTRACT

Background: Exposure to endocrine disrupting chemicals (EDCs) has been considered one of the main causes of a range of endocrine diseases in modern society. An EDC priority list considering exposure, toxicity, and societal concern should be established for EDC management.

Methods: The chemical ranking and scoring (CRS) system for EDCs was based on exposure, toxicity, and societal concern. The exposure score system was based on usage, circulation volume, bioaccumulation, and detection in consumer products. The toxicity score system was based on carcinogenicity and reproductive and developmental toxicity. The societal concern score system was based on domestic or international regulations and mass media reports.

Results: A total of 165 EDCs were considered in the CRS system. The top-five priority EDCs were Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), Benzene, Bisphenol A, Dibutyl phthalate (DBP) and Trichloroethylene. Phthalates, bisphenols and parabens were identified as priority chemical groups.

Conclusion: We developed a CRS system for EDCs to identify priority EDCs for management. This will be a foundation to provide an EDC management plan based on scientific decision-making.

Keywords: Endocrine disrupting chemicals, chemical ranking and scoring, priority list, chemical management

I. 서 론

내분비계장애물질(Endocrine Disrupting Chemicals, EDCs)은 인간과 야생동물의 체내 내분비계 시스템을 교란하고 발달, 생식, 신경 및 면역시스템에 부정적인 영향을 일으키는 외인성 화학물질이다.¹⁾ 남성불임, 선천성 성기 기형, 성조숙, 난임, 내분비 관

련 암발생, 발달장애, 지능저하의 유병률 증가 추세
가 지난 수십 년간 전세계적으로 뚜렷하게 나타나고
있으며, 화학물질 노출이 이러한 질병 증가의 중요
한 원인이라는 발표가 지속해서 이루어지고 있다.²⁻⁴⁾
EDCs 건강 영향은 노출되는 시기에 따라 커다란 차
이가 있을 수 있으며, 노출로부터 건강 영향이 발생
하기까지의 기간이 매우 긴 경우가 대부분이다.⁵⁻⁶⁾

†Corresponding author: Department of Environmental Health Sciences, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, 08826, Republic of Korea, Tel: +82-2-880-2735, Fax: +82-2-762-2888, E-mail: cleanair@snu.ac.kr
Received: 22 January 2018, Revised: 05 February 2018, Accepted: 09 February 2018

미래세대의 잠재적인 건강 영향과 사회적 비용을 고려하여 환경보건적인 관점에서 EDCs의 사전적(precautionary)인 관리가 이루어져야 한다.

EDCs 물질은 분자량, 용해성, 환경 중 반감기 등의 물리, 화학, 생물학적 특성이 매우 다양하다. 국제적으로 합의된 EDCs 물질 목록은 아직 존재하지 않으며, 국가별로 추정하는 EDCs 물질의 수와 종류에도 차이가 있다. 1990년대에 발표된 세계야생동물기금(World Wildlife Fund, WWF)의 68종, 미국 환경청(US Environmental Protection Agency, US EPA)의 60종, 미국 질병통제예방센터(US Centers for Disease Control and Prevention, US CDC)의 48종, 일본 환경성의 67종 EDCs 리스트는 잔류성유기오염물질(Persistent Organic Pollutants, POPs) 중심의 고전적인 EDCs 리스트이다.⁷⁾ 유럽연합(European Union, EU)은 기준에 발표된 논문, 보고서 등을 1999년, 2002년, 2006년 3회에 걸쳐 종합해서 총 564종의 EDCs 의심물질(suspected endocrine disruptors) 목록을 발표하였다.⁸⁾ 세계보건기구(World Health Organization, WHO)와 유엔환경계획(United Nations Environment Program, UNEP)은 2013년 인간과 야생동물의 내분비계에 영향을 주는 화학물질 182종의 목록을 발표하였다.²⁾ US EPA의 내분비계교란 스크리닝 프로그램(Endocrine Disruptor Screening Program, EDSP)은 Tier 1 모니터링 대상 EDCs 물질을 관리하고 있다.⁹⁻¹⁰⁾ 비정부기관인 The International Chemical Secretariat (ChemSec)은 EU의 화학물질 관리제도(Regulation, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, REACH)에 따른 고위험우려물질(Substances of Very High Concern, SVHC)과 동일한 기준을 적용하여 SIN (Substitute It Now!) 리스트를 업데이트하고 있다.¹¹⁾

EDCs 물질이 인체에 미치는 영향과 작용 기전이 명확하게 밝혀진 것이 없지만 화학물질 구조와 종류에 따라 주로 결합하는 호르몬 수용체와 내분비계 교란 영향도 상이하게 다르게 나타난다. 대표적인 EDCs 물질로 꼽히는 Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane (DDT) 등의 살충제, 소각과정에서 비의도적으로 발생하는 다이옥신(Dioxin), 일반 소비자제품에서 널리 사용되는 프탈레이트(Phthalate), Bisphenol A, 브롬화 난연제(Brominated Flame Retardant) 등은 제각각 다양한 독성 및 노출 특성을 가지고 있다. 한정

된 자원 내에서 효율적인 관리를 위해서는 다양한 EDCs 대상물질 중에서 우선관리대상 물질을 선정할 필요가 있다.

화학물질 우선순위 결정법(Chemical Ranking & Scoring, CRS)은 시스템 내에서 위험과 노출의 함수로 표현되는 화학물질의 위험도에 관한 지표로 점수를 매기고 순위를 매기는 기법이다. 이미 국내외에서 다양한 CRS 기법이 대상 화학물질과 목적에 따라 개발되어 정책적 의사 결정시 판단의 기준으로 활용되고 있다.¹²⁻²⁶⁾ 기준에 개발된 CRS 기법들은 각 기법의 개발처와 개발목적에 따라 다양한 구조와 배점체계를 가졌지만, 주로 환경질 관리를 목적으로 하여 환경 중 배출량을 주요 노출원으로 산정하기 때문에 소비자제품 사용, 식품 섭취 등의 EDCs 주노출원은 고려되지 않은 경우가 대부분이다. 이에 본 연구에서는 EDCs의 노출원과 독성 특성을 고려한 EDCs 맞춤형 CRS 평가 인자 및 알고리즘을 개발하고, 해당 기법을 적용하여 우선순위 EDCs 물질을 선정하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 대상 EDCs 선정

2010년 환경부는 타부처와 함께 “내분비계장애추정물질 부처간 통합정보시스템(Endocrine Disruptors Integrated Information System, EDIIS)”에서 131종의 EDCs에 대한 데이터베이스를 구축하였다.²⁷⁾ EDIIS 기본리스트에 특정 물질군이 하나의 물질처럼 다루어진 Dioxins, Polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), Polychlorinated biphenyls (PCBs)를 Chemical Abstract Service (CAS) 등록번호별 개별 물질로 추가하고, Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), Phthalates, Parabens 등 주요 물질군에 누락된 개별 물질을 추가하여 179종의 EDIIS 확장리스트를 작성하였다. 이를 토대로 국제기구인 WWF⁷⁾와 WHO/UNEP²⁾, 정부기관인 US EPA^{7,9-10)}, EU⁸⁾, 일본 환경성⁷⁾, 비영리단체인 ChemSec¹¹⁾이 발표한 EDCs 목록에 포함된 화학물질을 종합하였다. EU의 priority list의 경우, *in-vivo* 위해정보가 확실한 194종의 ‘Category 1’ 물질, *in-vitro* 위해정보가 존재하는 125종의 ‘Category 2’ 물질, 확실한 증거가 없는 ‘Category 3’ 물질로 나누어지며 본 연구에서는 Category 1과 2

의 물질만을 연구대상으로 고려하였다.

EDIIS 확장리스트와 외부 EDCs 목록 7개에 공통적으로 포함되는 물질은 총 117종이었으며, EDIIS 확장리스트에만 포함된 물질은 61종이었다. 여기에 EDIIS 확장리스트에 존재하지 않지만 2개 이상의 외부 EDCs 목록에 포함되는 물질 81종을 추가한 259종의 EDCs 기본리스트를 작성하였다. 추가된 81종 중 4개의 외부 EDCs 목록에 포함된 물질이 1종, 3개의 외부 EDCs 목록에 포함된 물질이 11종, 2개의 외부 EDCs 목록에 포함된 물질이 69종이었다. 이 중 사용금지물질 2종, 중금속류 4종, 농약류 88종을 제외하여 연구대상 EDCs를 165종으로 지정하였다.

2. 우선순위 선정 체계

EDCs의 우선관리대상 순위를 결정하기 위하여 노출, 독성, 사회적 관심도에 대한 평가인자를 도출하여 우선순위 선정 체계를 구축하였다. 총점을 500점으로 하여 노출(20점)과 독성(20점)의 곱으로 이루어진 위해성(400점)에 사회적 관심도(100점)를 더하는 방식으로 구성하였다. 하위입력항목으로는 노출의 경우 사용량 5점, 유통량 5점, 생물축적 5점, 소비자제품 검출 5점의 합으로 20점을 구성하였고, 독

성의 경우 발암성 5점과 생식발달독성 15점의 합으로 20점을 구성하였으며, 사회적 관심도의 경우 국내의 규제여부 50점과 보도건수 50점의 합으로 100점을 구성하였다(Fig. 1).

2.1. 노출

노출 부문의 입력항목과 배점방식은 Table 1과 같다. EDCs 물질의 사용량과 유통량은 환경부의 2010년 ‘화학물질 유통량 및 유통현황 조사 결과’ 자료를 사용하였다. 유통량은 제조량과 수입량의 합에서 수출량을 제외한 값이다. 연간 사용 혹은 유통량을 범위에 따라 1~5점을 분배하였다. 자료가 존재하지 않는 경우 0.5점을 부여하는데, 해당 자료가 없는 경우는 국내 유통이 이루어지지 않거나 유통량 조사의 기준 이하로 보고의 의무가 없는 경우이다.

생물축적은 옥탄올-물 분배계수(octanol-water partition coefficient, Kow)와 생물농축계수(bioconcentration factor, BCF)로 하위항목을 구성하였다. Kow와 BCF는 한국안전보건공단(KOSHA)의 ‘화학물질의 분류 및 표지에 관한 세계조화시스템(Globally Harmonized System Material Safety Data Sheet, GHS MSDS)’의 값을 사용하였다.²⁸⁾ Kow와 BCF 모두 값이 클수록 생물 내 축적 가능성이 커진다. Kow

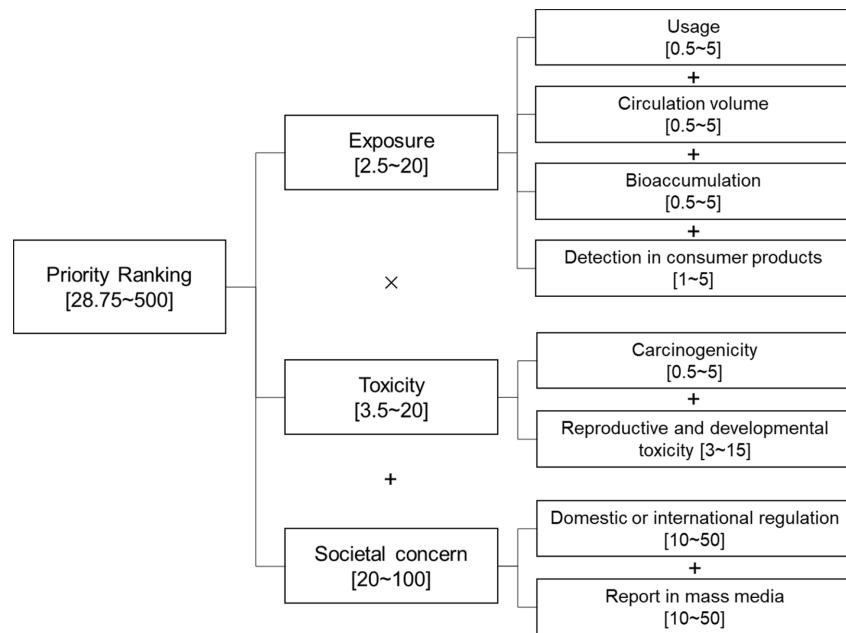


Fig. 1. Chemical ranking and scoring scheme for endocrine disrupting chemicals.

Table 1. Score for the exposure index

Index (score)	Source	Criteria	Value	
Usage (5)	Korea Ministry of Environment (2010)	≥100,000 ton per year	5	
		10,000-100,000 ton per year	4	
		1,000-10,000 ton per year	3	
		100-1,000 ton per year	2	
Circulation volume (5)		< 100 ton per year	1	
		no data	0.5	
Bioaccumulation (5)	Kow (3)	≥10,000	3	
		100-10,000	2	
		<100	1	
	BCF (2)	KOSHA GHS	no data	0.5
			≥10	2
Detection in consumer products (5)	Report, press release material (2003-2015)	<10	1	
		no data	0.5	
		≥100 case per 13 years	5	
		50-100 case per 13 years	4	
		10-50 case per 13 years	3	
		<10 case per 13 years	2	
		no data	1	

가 10,000 이상인 경우 3점을, 100과 10,000 사이인 경우 2점을, 100 이하인 경우 1점을 배점하였다. BCF는 10 이상인 경우 2점을, 10 이하인 경우 1점을 배점하였다. 자료가 존재하지 않는 경우 0.5점을 부여하였다.

소비자제품 검출은 해당 EDCs의 검출이 보도된 2003년부터 2015년까지 발간된 보고서 및 보도자료를 취합하였다. 검출보도 건수에 따라 1~5점을 차등 배점하였다. 여러 개의 EDCs가 합산 검출된 경우는 각 물질이 모두 배출된 것으로 가정하였다. 검출량이 검출한계 이하(Not Detected, ND)이거나 0인 경우는 검출건수 집계에서 제외하였다.

2.2. 독성

독성 부문의 입력항목 체계는 Table 2와 같다. 내분비계 작용을 교란하는 EDCs의 특성을 고려하여 발암성 5점, 생식발달독성 15점으로 생식발달독성을 더 크게 배점하였다. International Agency for Research on Cancer (IARC), American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), European Chemicals Agency (ECHA) 등 외부 기관에서 지정한 등급값에 따른 발암성 및 생식발달독성

점수는 Table 2와 같다. 발암성은 인체 발암성 확정 등급 5점, 인체 발암성 우려 등급 4점, 인체 발암성 가능 등급 3점, 발암성이 의심되나 자료가 부족한 경우 2점, 발암성 판단자료가 부족한 경우 1점을 부여하였다. 여러 기관이 동시에 발암 등급을 정한 경우 기관별 발암 등급에 따른 점수 중 최대값을 배점하였고, 등급 분류가 없어도 발암 잠재력(slope factor), 발암 위해도(unit risk) 등의 독성값이 존재할 경우 발암성이 의심되어 연구가 진행된 것으로 판단하여 2점을 부여하였다. 생식발달독성은 인체생식발달독성 확정 등급 15점, 인체생식발달독성 우려 등급 12점, 인체생식발달독성 가능 등급 9점, 생식발달독성이 의심되나 자료가 부족한 경우 6점, 생식발달독성 판단자료가 부족한 경우 3점을 부여하였다. 발암성과 마찬가지로, 여러 기관이 동시에 발암 등급을 정한 경우 기관별 발암 등급에 따른 점수 중 최대값을 배점하였고, 등급 분류가 없어도 No-observed-adverse-effect level (NOAEL), Reference Dose (RfD) 독성값이 존재하는 경우 6점을 부여하였다. 또한, EDCs 대상물질의 특징상 별도의 생식발달독성 등급값과 독성값이 존재하지 않더라도 판단자료가 부족한 경우로 판단하여 3점을 부여하였다.

Table 2. Category and score of toxicity index

Index (score)	Category	IARC*	ACGIH [†]	EU CLP [‡]	Cal EPA [§]	EPA IRIS	KOSHA [¶]	Value
Carcinogenicity (5)	Carcinogenic to humans	1	A1	C1A	Cancer	A	1A	5
	Probably carcinogenic to humans	2A	A2	C1B		B1, B2	1B	4
	Possibly carcinogenic to humans	2B	A3	C2		C	2	3
	Suspicious but not enough data	3	A4			D		2
	No adequate data	4				E		1
	No data							0.5
Reproductive and developmental toxicity (15)	Reproductive toxic to humans			C1A	Develop mental		1A	15
	Probably reproductive toxic to humans			C1B			1B	12
	Possibly reproductive toxic to humans			C2			2	9
	Suspicious but not enough data							6
No data							3	

*IARC, <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification>.

[†]ACGIH, <https://www.acgih.org/forms/store/ProductFormPublic>.

[‡]EU Classification, Labelling, and Packaging, <http://echa.europa.eu/information-on-chemicals>.

[§]California EPA Office of Environmental Health Hazard Assessment, Proposition 65. <https://oehha.ca.gov/proposition-65/proposition-65-list>

^{||}US EPA Integrated Risk Information System, <http://www.epa.gov/iris/rfd.htm>.

[¶]KOSHA, <http://www.kosha.or.kr/msds>.

Table 3. Score for societal concern index

Index (Score)	Source	Criteria	Value
Domestic or international Regulation (50)	Legal regulations by Korea, U.S., EU, Japan government	Domestic regulation, foreign regulation both exist	50
		Either domestic regulation or foreign regulation exist	30
		Neither domestic regulation nor foreign regulation exist	10
Report in mass media (50)	Media report at internet recent 10 years (2006-2015)	≥100 report per 10 years	50
		50-100 report per 10 years	40
		10-50 report per 10 years	30
		<10 report per 10 years	20
		no data	10

2.3. 사회적 관심도

사회적 관심도 부문의 입력항목 체계와 배점방식은 Table 3과 같다. 규제여부는 국내와 미국, EU, 일본 3개국에서 해당물질에 대한 규제가 존재하는지에 따라 차등 배점하였다. 환경부의 화학물질관리법, 산업통상자원부의 품질경영 및 공산품안전관리법(품공법) 및 어린이제품 안전 특별법, 식품의약품안전처의 식품위생법, 약사법, 화장품법 등 관련 품목에 대해 연구대상 EDCs 물질에 대한 규제가 존재하는지를 조사하였다. 해외에서는 미국의 소비자제품안전법(Consumer Product Safety Improvement Act,

CPSIA), 미국 식품의약국(US Food and Drug Administration, US FDA) 규제(regulation), US EPA의 먹는물안전법(Safe Drinking Water Act, SDWA) 및 중요신규사용규칙(Significant New Use Rule, SNUR), EU의 플라스틱 음식 용기에 대한 규정(Regulation (EU) 10/2011), 화장품 규정(Regulation (EC) 1223/2009), 고위험성우려물질(Substances of Very High Concern, SVHC)에 대한 규정(Regulation (EC) 1907/2006), 유해물질제한(Restriction of the use Of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment II, RoHS II)에 대한 지침

(Directive 2011/65/EC), PVC 및 어린이 장난감에 대한 지침(Directive 2005/84/EC), 일본의 식품위생법 등에서의 EDCs 물질에 대한 규제가 존재하는지를 조사하였다. 국내와 해외에서 모두 규제가 존재하는 물질은 50점, 국내와 해외 중 한 쪽에서만 규제가 존재하는 물질은 30점, 국내와 해외 모두에서 규제가 존재하지 않는 물질은 10점을 배점하였다.

보도건수는 동아일보, 한겨레, 경향신문, 국민일보, 문화일보 등 11개 국내 종합일간지와 KBS, SBS, MBC, YTN 등 15개 국내 방송통신, 오마이뉴스, 프레시안, 데일리안 등 6개의 인터넷신문을 수록한 네이버 뉴스 포털을 이용하였다. 포털에 해당 물질 이름을 입력하여 검색되는 '뉴스기사'의 수를 뉴스 보도량으로 간주하였다. 검색기간은 최근 10년으로 한정하여 2006년에서 2015년으로 결정하였다. EDCs 물질의 영문명과 영문명의 발음을 기준으로 한 한글명, 번역을 통한 한글명을 모두 검색하여 복수의 한글명을 키워드로 사용하였다. 영문명으로 검색된 기사의 건수와 한글명으로 검색된 기사의 건수의 합계를 총 미디어 노출 빈도수로 정하였다. 2006-2015년 10년 동안 100건 이상의 보도가 이루어진 경우 50점, 50-100건의 보도가 이루어진 경우 40점, 10-50건의 보도가 이루어진 경우 30점, 10건 이하의 보도가 이루어진 경우 20점, 단 한 건의 보도도 이루어지지 않은 경우 10점을 부여하였다.

3. 부문별 배점 비교

프탈레이트, 알킬페놀, 파라벤 등 대표적인 EDCs 물질군 내에서 대표 물질을 선정하여 부문별 하위점수를 비교하였다. 부문별 점수가 0.5~5점에 분포한 사용량, 유통량, 생물축적, 소비자제품 검출, 발암성 지표와 비교하기 위해, 생식발달독성 지표는 3~15점에 분포한 점수를 1/5 규모로 변환하였고, 법적규제와 보도건수 지표는 10~50점에 분포한 점수를 1/10 규모로 변환하였다.

프탈레이트 대상물질은 Bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP), Dibutyl phthalate (DBP), Benzyl butyl phthalate (BBP), Di-isodecyl phthalate (DiDP), Di-n-octyl phthalate (DnOP), Di-isononyl phthalate (DiNP)의 6종을 선정하였다. 알킬페놀은 비스페놀류와 노닐페놀류와 나누어서 Bisphenol A (BPA), Bisphenol F (BPF), Bisphenol S (BPS), Nonylphenol

(NP), Nonylphenol ethoxylate (NPE), 4-nonylphenol (4-NP)의 6종을 선정하였다. 파라벤은 Propylparaben (PrPB), Butylparaben (BuPB), Methylparaben (MePB)의 3종을 선정하고 유사하게 살균 및 보존제로 사용되는 Triclosan (TCS), Benzoic acid (BA)도 비교 대상에 포함하였다.

4. 시스템 검증

개발한 EDCs 우선순위 결정체계의 검증을 위해 우선순위 점수와 스크리닝 위해도(Risk)의 상관성을 IBM SPSS Statistics 24 (IBM, US)를 이용하여 분석하였다. 스크리닝 위해도는 EDCs 물질의 노출량과 독성을 동시에 고려한 값으로, EDCs의 사용량(톤)을 생식발달독성 NOAEL(mg/kg/day)로 나눈 값을 사용하였다. 하위지표 점수인 사용량, 유통량, 생물축적, 소비자제품 검출, 발암성, 생식발달독성, 국내외 규제여부, 보도건수 각각의 점수 점수와 우선순위 점수의 상관성 또한 분석하였다.

III. 결 과

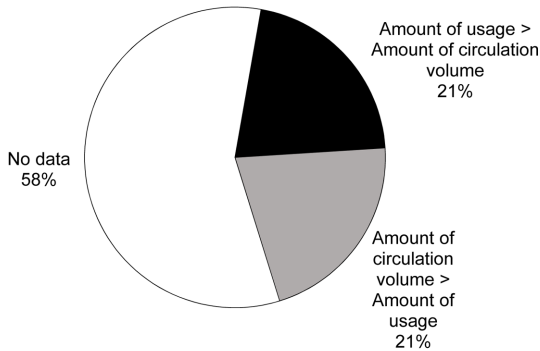
1. 입력값 현황

EDCs 165종의 입력 자료 특성은 Fig. 2와 같다. 사용량과 유통량 값이 모두 존재하는 물질은 총 70종이다. 사용량이 유통량보다 많은 물질은 Benzene, DEHP, Ethylbenzene, Naphthalene, DiNP 등이었으며, 유통량이 사용량보다 많은 물질은 MTBE, Hexane, Bisphenol A, Trichloroethylene, DiDP 등이었다. 독성의 경우 EDCs 165종 중 발암 등급 혹은 발암독성값을 가진 물질은 80종, 생식독성등급 혹은 생식독성값을 가진 물질은 94종이었다. EDCs 주요 특징인 생식발달독성은 발암성에 비해 독성값과 독성 등급이 모두 존재하는 경우는 적었으나 독성값 없이 독성 등급이 존재하는 경우와 독성 등급 없이 독성값만 존재하는 경우도 크게 나타났다.

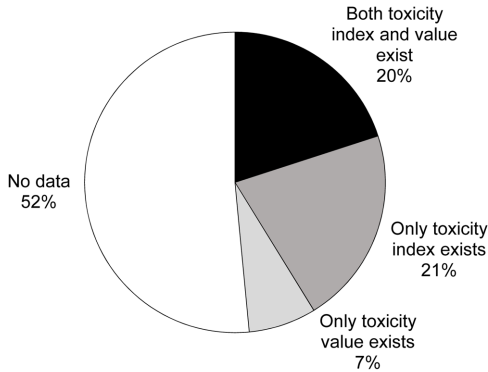
2. 우선순위 점수

Table 4는 EDCs 물질별 노출, 독성, 사회적관심도 점수를 계산하고 우선순위 점수와 랭킹을 도출한 결과를 상위 20%인 33종에 대해 나타난 결과이다. 우선순위 점수는 30.5점부터 500점까지 크게 분포하였으며, 우선순위 EDCs 랭킹은 DEHP, Benzene,

(a) Amount of usage and circulation volume



(b) Carcinogenicity



(c) Reproductive and developmental toxicity

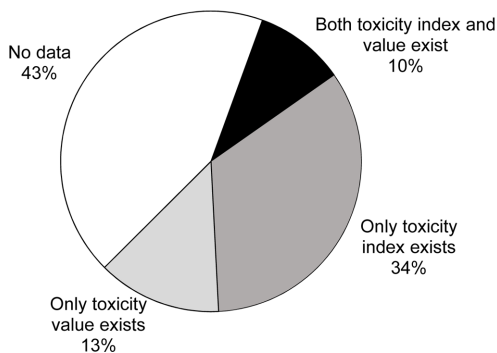


Fig. 2. Input data presence status for 165 EDCs.

Bisphenol A, DBP, Trichloroethylene의 순으로 나타났다. DEHP는 노출, 독성, 사회적 관심도의 모든 부문에서 최고점을 기록하였다. 상위 33위까지의 EDCs

물질을 살펴보면 프탈레이트가 DEHP (1위), DBP (4위), DiDP (6위), BBP (10위), DnOP (22위), DiNP (26위), DHP (30위), DiOP (33위)의 총 7개 물질이 차지했다. 비스페놀 중 Bisphenol A (3위), 노닐페놀 중 Nonylphenol (11위)와 Nonylphenoethoxylate (24위), 벤조페논 중 Benzophenone (25위), 파라벤 중 Propylparaben (32위)로 알킬페놀류 중 총 5개 물질이 상위 20%에 포함되었다. POPs 물질 중에서는 PCBs 중 PCB (9위), PBDEs 중 DecaBDE (17위), Dioxins 중 2,3,7,8-TCDD (13위), 과불화합물 중에서는 Perfluorooctanoic acid (PFOA, 23위)와 Perfluorooctane sulfonate (PFOS, 29위)로 총 5개 물질이 상위권에 포함되었다.

부문별 하위점수는 노출 부문이 3점에서 20점까지의 점수 분포를, 독성 부문이 3.5점부터 20점까지의 점수 분포를, 사회적 관심도 부문이 20점에서 100점까지의 점수 분포를 고르게 보였다. 노출 부문의 점수 순위는 DEHP (20점), Bisphenol A (18점), Epichlorohydrin (14점), DiDP (14점), MTBE (14점)의 순으로 나타났다. 독성 부문에서는 DEHP, Benzene, 2,3,7,8-TCDD, Trichloroethylene, PCB, 17-β-Estradiol, 2,3,4,7,8-PeCDF, 1-Bromopropene의 8개 물질이 최고점인 20점으로 배점되었다. 사회적 관심도 부문에서는 DEHP, Benzene, 2,3,7,8-TCDD, PCB, Benzo[a]pyrene, Bisphenol A, Furan, Nonylphenol, Ethylbenzene, Tetrachloroethylene, Naphthalene, DiNP, Propylene glycol, Sorbic acid, Styrene의 15개 물질이 최고점인 100점으로 배점되었다.

3. 주요 EDCs 물질의 부문별 배점

Fig. 3은 EDCs 물질군 내 물질별 비교를 위해 부문별 하위점수를 5점 척도로 변환하여 비교한 결과로 우선순위 랭킹이 1위인 DEHP는 모든 부문에서 최고점으로 나타났다. 프탈레이트 중 DBP와 DnOP는 사회적관심도 부문이 다른 부문에 비해 점수가 높은 것으로 나타났다. 독성부문의 점수에 비해 노출 부문과 사회적관심도 부문의 점수가 낮은 물질은 BBP였다. 알킬페놀류는 독성 부문에 비해 노출 부문과 사회적 관심도 부문이 모두 높은 경향을 보였으며, 파라벤류 및 보존제는 사회적 관심도 부문이 노출 부문과 독성 부문에 비해 높게 나타났다.

Table 4. EDCs priority score & ranking

Rank	CAS No.	Chemical name	Exposure	Toxicity	Societal Concern	Priority Score
1	117-81-7	DEHP	20	20	100	500
2	71-43-2	Benzene	13.5	20	100	370
3	80-05-7	Bisphenol A	17	15.5	100	363.5
4	84-74-2	DBP	13	17	90	311
5	79-01-6	Trichloroethylene	11	20	80	300
6	26761-40-0	DiDP	14	15.5	70	287
7	50-32-8	B[a]P	10	17	100	270
8	91-20-3	Naphthalene	15	11	100	265
9	1336-36-3	PCB	8	20	100	260
9	85-68-7	BBP	10	18	80	260
11	25154-52-3	Nonylphenol	12	12.5	100	250
12	100-41-4	Ethylbenzene	13.5	11	100	248.5
13	1746-01-6	2,3,7,8-TCDD	7	20	100	240
13	106-94-5	1-Bromopropane	8	20	80	240
15	106-89-8	Epichlorohydrin	13	11	80	223
16	103-23-1	DEHA	12	12	70	214
17	1163-19-5	DecaBDE	11	12	80	212
18	127-18-4	Tetrachloroethylene	10	11	100	210
19	110-54-3	Hexane	12.5	9.5	80	198.75
20	218-01-9	Chrysene	9	14	60	186
21	98-54-4	4-t-Butyl phenol	12	9.5	70	184
22	117-84-0	DnOP	9.5	9.5	90	180.25
23	335-67-1	PFOA	6	15	90	180
24	9016-45-9	Nonylphenoethoxylate	10.5	9.5	80	179.75
25	119-61-9	Benzophenone	7	14	80	178
25	28553-12-0	DiNP	12	6.5	100	178
27	128-37-0	Butylated hydroxytoluene	9	14	50	176
28	75-15-0	Carbon disulphide	7	15.5	60	168.5
29	1763-23-1	PFOS	6	16	70	166
30	84-75-3	DHP	8	15.5	40	164
31	90-43-7	o-Phenylphenol	7.5	11	80	162.5
32	94-13-3	Propylparaben	11	6.5	90	161.5
33	84-69-5	DiOP	7	12.5	70	157.5

4. 시스템 검증

우선순위 점수와 EDCs 물질의 사용량을 생식발달 독성 NOAEL 값으로 나눈 스크리닝 위해도의 분포는 Fig. 4와 같이 증가추세를 보였다. EDCs 우선순위 결정체계의 하위 입력변수와 우선순위 점수 간의 분포는 Fig. 5와 같으며, 모든 입력변수에서 양의 증

가 추세를 보였다. Spearman 상관계수 분석 결과, 모든 입력변수에서 우선순위 점수 간에 유의수준 0.01 수준에서 상관관계를 보였다. 우선순위 점수와 사용량 점수의 상관성이 61.4%로 가장 높았으며, 우선순위점수와 생물축적 점수의 상관성이 31.8%로 가장 낮았다.

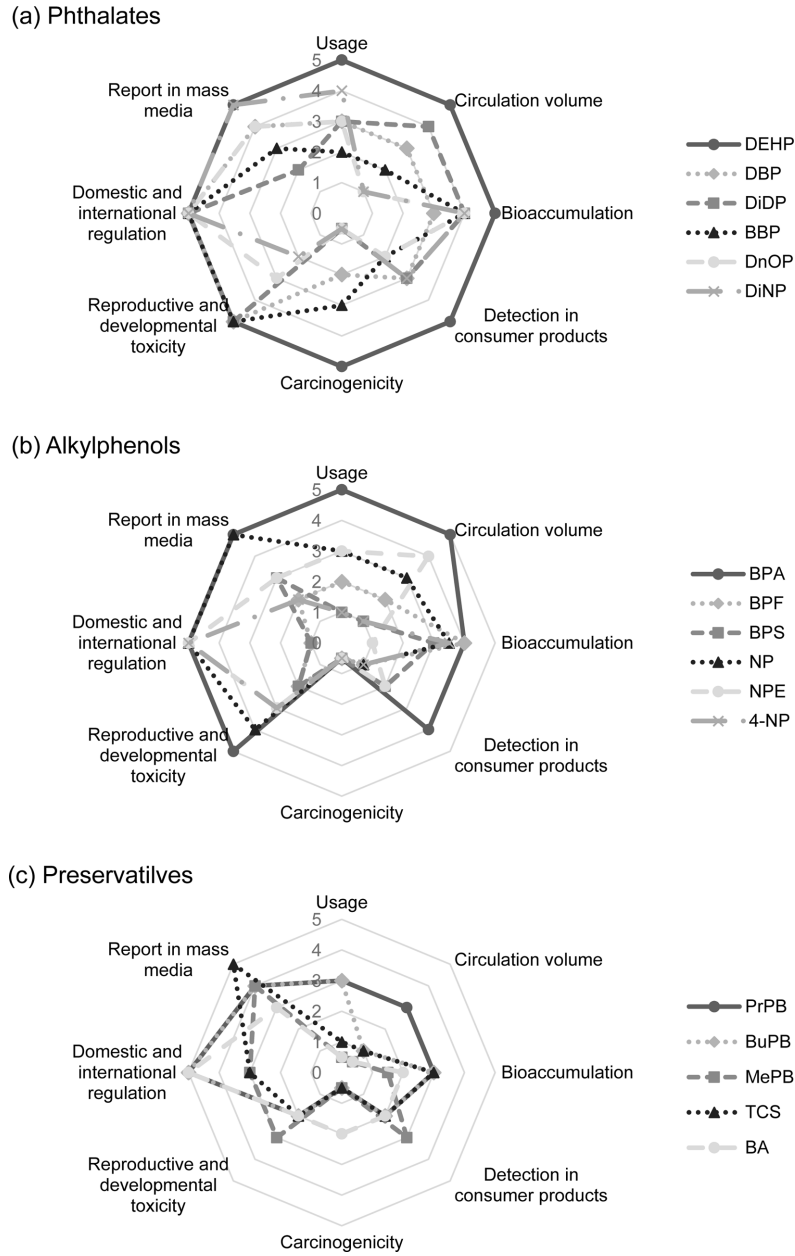


Fig. 3. Score distribution of major EDCs group chemicals.

IV. 고 찰

본 연구의 대상 EDCs는 환경부의 EDIIS 리스트를 기본으로 선정되었다. EDIIS 리스트는 정책적 관리의 편의성을 위해 EDCs로 추정되는 화학물질의 각 부처별 관리 현황과 연구 사업으로 축적된 발간

자료 목록을 합친 결과물이며, 정부 부처에서 향후 관리 가능 차원에서 관심을 가지고 있는 화학물질을 모은 것이기 때문에 외부의 EDCs 리스트에는 존재하지 않는 물질이 다수 리스트에 등재되어 있다. 연구대상 EDCs 165종은 EDIIS 확장리스트에서 '유독 물질 및 제한물질·금지물질의 지정(환경부고시 제

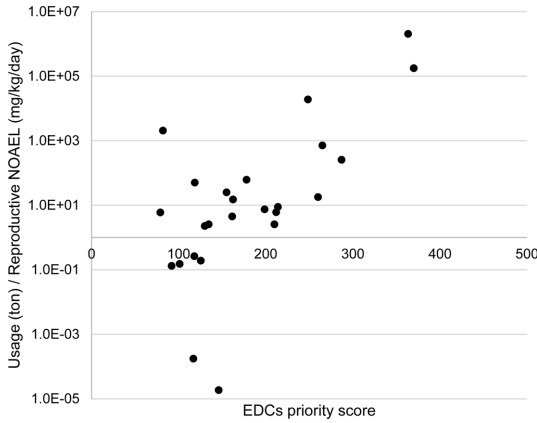


Fig. 4. Scatter plot between EDCs priority score and screening risk.

2015-29호)’에서 제시한 모든 용도로의 제조, 수입, 판매, 보관·저장, 운반 또는 사용을 금지한 Pentachlorophenol, Chlordimeform 2종과 납(Lead, Pb), 카드뮴(Cadmium, Cd), 수은(Mercury, Hg), 비소(Arsenic, As)의 중금속 4종 및 농약류 88종을 제외하여 선정하였다. 농약류는 주사용처 및 인체노출경로가 식품을 통해 이루어지며 프탈레이트, 알킬페놀, 파라벤 등 소비자제품에 주로 쓰이는 EDCs 물질과는 다른 노출 특성을 가지며, 정부의 관리 주체 또한 상이하다. 사용금지물질 2종은 농약으로 사용되었던 물질이다. 중금속류의 경우 자연적으로 존재하기 때문에 노출 특성에 차이가 있어 프탈레이트 등과 동일한 관점에서 노출 및 사회적관심도를 평가하여 우선순위 관리대상을 판단하기 어렵다. 주요 EDCs 물질인 농약과 중금속을 연구대상에서 제외한 것은 본 연구의 한계점이다.

CRS 알고리즘은 개발목적과 대상에 따라 다양한 구조를 가지지만, 화학물질의 위험도를 노출과 위험의 함수로 나타내며 이는 위해성의 개념과 유사하다. 미국 독성물질 및 질병관리처(Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR)와 US EPA는 국가우선순위목록(National Priority List, NPL) 대상지에서 빈번하게 검출되는 물질에 대해 우선관리대상 오염물질 목록을 환경매체 중 발견빈도, 독성, 인체노출가능성의 함수로 규정하여 우선관리대상 오염물질 목록을 작성하였다.¹⁵⁾ US EPA는 인체 및 환경에 유해한 화학물질을 대상으로 화학물질 배

출량 자료(Toxics Release Inventory, TRI)를 이용한 스크리닝 도구인 CHEMS-1 (Chemical Hazard Evaluation for Management Strategies)을 개발하였는데, 독성(35점)과 노출(7.5점) 및 가중치의 곱으로 우선순위를 산정하였다.¹⁶⁾ SCRAM (Chemical and Scoring Ranking Assessment Model)은 특정 지역의 오염물질 우선순위를 도출하기 위해 개발된 모델로 생물축적성, 환경 내 잔류성, 독성 인자와 각 인자별 불확실성을 고려해서 평가하였다.¹⁷⁾ EURAM (European Union Risk Ranking Method)은 EU에서 HPVCs (High production volume chemicals, 연간생산량 1000톤 이상 물질)의 유해화학물질 순위를 결정하기 위한 방법이며 환경영향과 인체영향 점수를 따로 계산한 후 전문가 집단의 판단을 토대로 최종 순위를 결정한다.¹⁸⁾ 캐나다의 ARET (Accelerated Reduction/Elimination of Toxics)은 PBTs (Persistent/Bioaccumulative/Toxic substances)와 잠재적 위해성을 지닌 독성물질을 독성지표와 생물농축성 점수에 따라 5단계로 분류하는 구조를 가지고 있다.¹⁹⁾

우리나라의 사례인 CRS-Korea (Korean Chemical Ranking and Scoring System)는 환경 및 인체 위해가 우려되는 유해화학물질을 대상으로 화학물질의 독성, 유통량, 배출량, 환경으로의 노출 경로를 고려하여 인체 영향과 생태 영향을 각각 노출과 독성의 곱으로 구한 후 불확실성 점수를 추가 합산하였다.^{20,21)} Food-CRS-Korea (Korean Food-Chemical Ranking and Scoring System)는 CRS-Korea를 식품으로 전이되어 섭취 시 인체에 유해한 물질 대상으로 확대시킨 것으로 환경 매체와 식품군내 화학물질 농도를 예측한 후 다매체거동모형을 구동하는 방식으로 구성되었다.²²⁾ 국립환경과학원은 토양오염물질 우선관리대상 선정 목적의 CROSS (Chemical Ranking of Soil Pollution Substances), 지하수오염물질 우선관리대상 선정 목적의 CROWN (Chemical Ranking of groundwater pollutaNt), 지표수오염물질 우선관리대상 선정 목적의 CRAFT (Chemical RANking of surFacewater polluTants) 등 유사한 목적을 가진 CRS 기법을 개발한 바 있다.²³⁾ CRS 시스템의 배점체계는 노출, 독성, 관심인자, 신뢰성의 합산을 기본으로 하며 매체에 따른 추가 항목이 존재하기도 한다.²⁴⁾ 식품의약품안전처가 Food-CRS Korea 시스템에 관심도 인자를 추가하여 통합노출을 고려한 위해평가

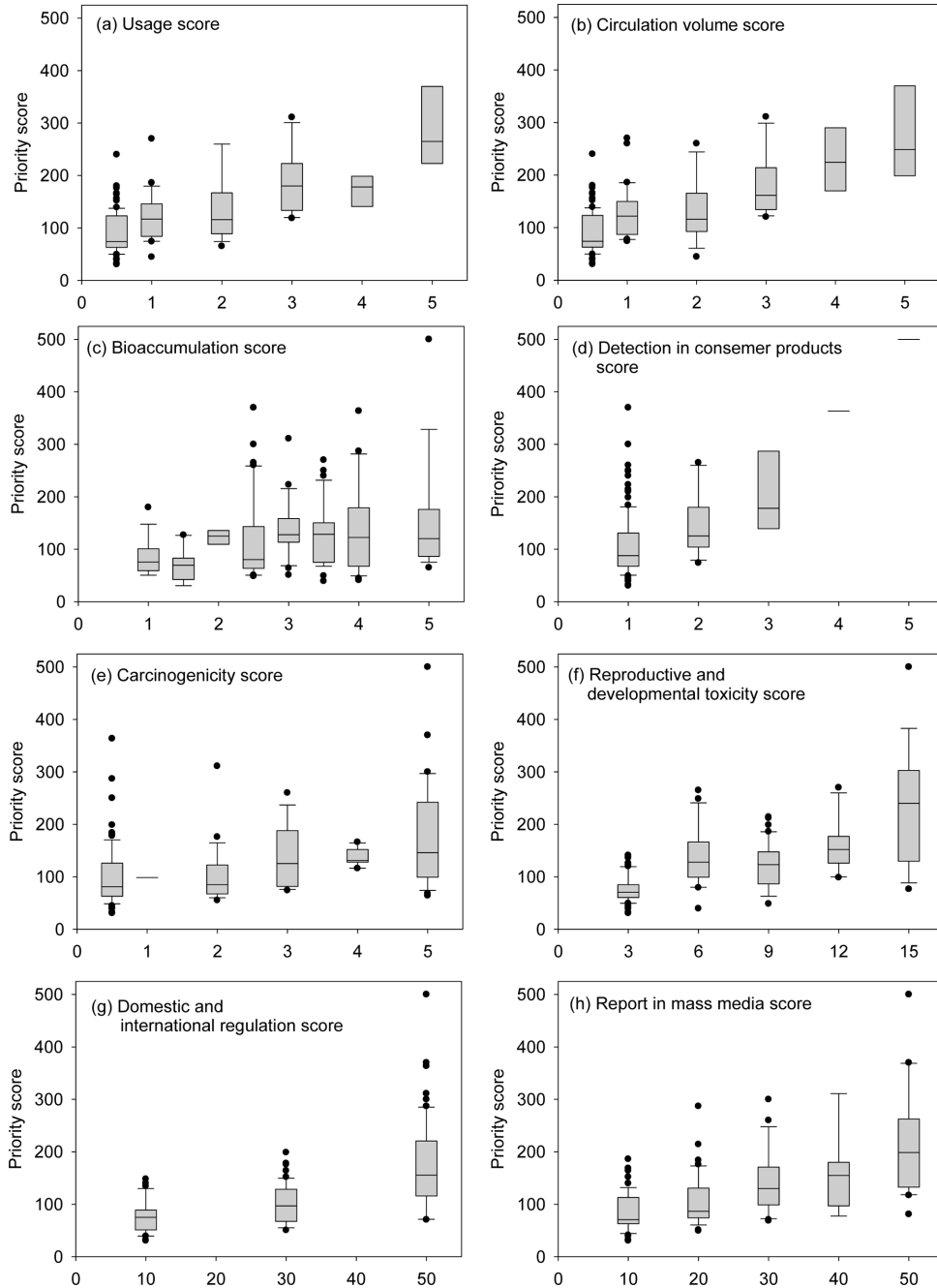


Fig. 5. Box plot between EDCs priority score and sub-category score.

및 위해관리가 필요한 유해물질의 우선순위를 도출한 바 있다.²⁵⁾ 서울시는 환경보건정책 로드맵을 수립하는 과정에서 화학물질의 노출과 독성뿐만 아닌 특정 민감계층, 사회적 관심, 정책실현가능성 등의

요인을 고려한 우선관리대상 유해물질 선정 방법을 제안한 바 있다.²⁶⁾

본 연구에서 개발한 EDCs의 노출원과 독성 특성을 고려한 우선순위 선정 체계는 선행 CRS 기법의

특징을 참고하여 노출 부문과 독성 부문이 절반씩 기여한 위해도를 80%, 사회적 관심도를 20% 비중을 두었다. 노출 부문의 하위 지표 비중은 사용량, 유통량, 생물축적, 소비자제품 검출 각각에 25%씩 동일한 비중으로 분배하였다. 독성 부문의 하위 지표 비중인 발암성과 생식발달독성 중 EDCs 독성 특성에 가까운 생식발달독성에 75% 비중으로 분배하였다. 사회적 관심도 부문의 하위 지표 비중은 국내의 규제여부와 매체보도건수를 동일하게 분배하였다.

우선순위결정기법을 통해 도출한 우선순위 점수 및 순위는 기존 자료인 입력값의 영향이 절대적이다. 우선순위가 23위, 29위로 선정된 과불화합물 PFOA와 PFOS의 경우 노출부문의 점수가 6점으로 상대적으로 낮게 배점되어 DEHP 등 프탈레이트류에 비해 우선순위가 낮게 나타났다. 이는 해당물질의 사용량과 유통량 정보가 존재하지 않아 각각 최저점인 0.5점을 책정하였기 때문이다. 신규 EDCs 물질의 경우 사용량 등의 노출부문 입력값과 독성값이 부재하여 우선순위가 과소평가되었을 가능성이 존재한다. 실제 프탈레이트류의 일종인 DBP의 대사산물 MBP는 독성 부문의 점수에 비해 노출 부문과 사회적 관심도 부문의 점수가 낮게 도출되었다. 반면, Bisphenol A의 대체물질인 Bisphenol S는 사회적 관심도 부문의 점수가 노출 부문 및 독성 부문의 점수보다 높게 도출되었다. 이는 시장에서 실제 사용되고 있으며 사회적 관심 또한 크지만 독성 연구가 이를 따라가지 못함을 의미한다.

입력값의 신뢰성 및 존재여부 또한 우선순위결정기법의 결과에 중요한 비중을 차지한다. 모든 하위 부문에서 입력값이 존재하지 않는 경우 부문별 배점이 현저하게 낮아져 우선순위 점수가 낮게 배점된다. 본 연구에서는 노출부문의 입력값으로 4년마다 실시되는 환경부의 화학물질 유통량 및 유통현황 조사 결과를 사용하였는데, 2014년 자료가 발표된 상황에서 2010년 조사 결과를 사용한 것은 ‘화학물질조사결과정보공개시스템’에 제시된 2014년 조사결과는 유통량이 존재하는 물질의 수가 37종뿐으로 2010년 조사 결과에서 다루는 물질의 수가 더 많았기 때문이다. 화학물질 유통량 조사결과에서 업종별 유통현황 및 사용하는 사업장 수는 입력값에 반영하지 않았다. 제조업 기준의 업종 분류는 일반인구가 일상에서 EDCs에 노출되는 현상을 반영하는데 적절성이 떨어진다.

생물축적 부문은 EDCs 물질이 외부에서 체내로 들어온 경우의 잔류 정도를 의미하는데 Kow와 BCF 모두 친지질성과 동일한 의미로 사용할 수 있다. 생물축적 부문의 점수가 낮은 물질은 빠르게 대사되어 체외로 배출될 것으로 가정한 것이다. Kow 값이 존재하지 않는 물질은 46종(27.9%)였으며, BCF 값이 존재하지 않는 물질은 70종(42.4%)였다.

소비자제품 내 검출 빈도는 생활용품, 물놀이용품, 스포츠용품, 의약품, 화장품 등의 소비자제품에서의 검출빈도는 물론 식이를 통한 노출을 의미하는 식품, 농산물, 해산물, 수산물, 건강식품에서의 검출빈도를 포함하여 조사하였다. 어린이용품과 유아용품도 조사대상에 포함하여 접근할 수 있는 모든 노출시기와 노출경로를 포함한 우선순위결정체계를 구축하고자 하였다. 이는 기존의 환경 중 유해물질을 대상으로 한 우선순위결정기법 연구에서는 고려되지 않은 항목이나, 프탈레이트류, 비스페놀류, 파라벤류의 고농도 검출이 다빈도로 존재하기 때문에 EDCs 노출부문에서 중요도가 높다고 볼 수 있다.

EDCs의 건강 영향은 물질별로 어떠한 내분비계에 작용하느냐에 따라 상이하게 나타나며, EDCs 독성 정도를 나타내는 하나의 값은 존재하지 않는다. 본 연구에서는 독성 부문의 입력값으로 발암성과 생식발달독성의 두 가지 값을 사용하였으며, 생식발달독성을 발암성보다 EDCs 특이적인 독성으로 판단하여 높게 배점하였다. 에스트로겐 활성(estrogenic effect) 혹은 안드로겐 활성(androgen effect) 등 호르몬의 영향을 나타내는 지표를 입력값으로 사용하지 않은 것은 연구대상 EDCs 165종에서 범용적으로 사용되며 범위에 따라 척도를 나눌 수 있는 값이 부재하기 때문이다. 독성연구에서 범용적으로 사용되는 발암성과 생식발달독성 양쪽에서 독성등급과 독성값이 모두 존재하지 않는 물질이 EDCs 165종 중 36종 (21.8%)로 나타났다. 발표된 독성값의 신뢰성을 배점에 고려하지 않았다.

사회적 관심도 부문의 입력값 중 법적 규제 여부는 기존의 사회적 관심도를 의미한다. 사회적으로 관심이 존재했기 때문에 과학적인 판단을 거쳐 법적인 규제가 이루어지는 셈이다. 반면, 미디어 보도 건수는 특정 사건 혹은 사고가 발생한 시기에 증가하는 경향이 있으므로 현재의 사회적 관심도를 뜻한다. Dioxins 및 PCBs 개별물질의 경우 환경 매체로의

배출량 등 법적인 규제가 존재하지만 최근 미디어 노출횟수는 적은 편이다. 반면, 프탈레이트류 중 DEP와 DMP 및 DBP의 대사산물인 MBP, Bisphenol A의 대체물질로 사용되는 Bisphenol S와 Bisphenol F, Benzophenone-2 등은 법적 점수보다 미디어 보도 점수가 높게 나타났다.

본 연구에서 제시한 EDCs 우선순위결정 시스템은 산출된 EDCs 물질별 우선순위 점수가 노출과 독성으로 이루어진 스크리닝 위해도와 양의 상관관계를 보여 화학물질의 위해성을 충분히 고려하였음을 확인할 수 있다. 또한, 우선순위 점수가 하위지표의 점수와 유의한 상관관계를 나타내 각 지표가 우선순위 선정에 충실히 고려되었음을 알 수 있다.

CRS 기법은 기존 정보와 보도 등을 이용하기 때문에 현재 알려지지 않은 물질이나 신종 물질에 대한 리스크를 반영하지 못하는 구조적인 한계가 있지만, 목적에 부합하는 지표 및 점수 결정 구조를 통해 우선관리대상을 선정하는 데 유용한 도구로 사료된다. 지속적인 데이터 보안을 통해 개발된 시스템의 활용도를 높일 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 국내외 EDCs 리스트를 종합하여 EDCs 165종을 선정하고 EDCs의 노출 및 특징을 고려한 우선관리순위 결정기법을 개발하고 적용하였다. 물질별 사용량, 유통량, 생물축적, 소비자제품 검출의 노출 부문 인자, 발암성과 생식발달독성의 독성 부문 인자 및 규제여부와 미디어 보도의 사회적 관심도 부문 인자를 활용하여 EDCs의 우선순위 목록을 도출하였다. 우선순위가 높은 물질은 대체로 프탈레이트, 알킬페놀, 파라벤 등의 물질이었다. 기존 자료를 종합하여 점수를 배점하기 때문에 신규유해물질의 중요도가 과소평가될 수 있는 한계가 있으나, 입력 부문별 상대적인 점수 배점을 고려한다면 우선관리대상 선정을 위한 정책적 의사결정의 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 환경부 한국환경산업기술원의 연구용역 생활공감 환경보건 기술개발사업의 지원으로 수행된

“EDCs 통합 위해성평가 기술 및 관리 플랫폼 개발 연구(연구과제 2015001940002)” 연구과제의 일환으로 수행하여 작성된 논문입니다.

References

1. United States National Institute of Environmental Health Sciences. Endocrine disruptors. Available: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/endocrine/index.cfm>. [accessed 3 January 2018].
2. World Health Organization, United Nations Environment Programme. The state of the science of endocrine disrupting chemicals-2012. Available: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78102/1/WHO_HSE_PHE_IHE_2013.1_eng.pdf [accessed 15 January 2018].
3. Gore AC, Chappell VA, Fenton SE, Flaws JA, Nadal A, Prins GS, et al. EDC-2: The Endocrine Society's Second Scientific Statement on Endocrine-Disrupting Chemicals. *Endocr Rev.* 2015; 36(6): E1-E150.
4. Sifakis S, Androutsopoulos VP, Tsatsakis AM, Spandidos DA. Human exposure to endocrine disrupting chemicals: effects on the male and female reproductive systems. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2017; 51: 56-70.
5. Botton J, Kadawathagedara M, Lauzon-Guillai B. Endocrine disrupting chemicals and growth of children. *Annales d'Endocrinologie.* 2017; 78: 108-111.
6. Meeker JD. Exposure to Environmental Endocrine Disruptors and Child Development. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 2012; 166(6): E1-E7.
7. Keith LH. Environmental endocrine disruptors. *Pure & Appl. Chem.*, 1998; 70(12): 2319-2326.
8. European Commission. Priority List. Available: http://ec.europa.eu/environment/chemicals/endocrine/strategy/substances_en.htm [accessed 3 January 2018].
9. United States Environmental Protection Agency. Final Second List of Chemicals for Tier 1 under the Endocrine Disruptor Screening Program. Available: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/1.pdf> [accessed 15 January 2018].
10. United States Environmental Protection Agency. Endocrine Disruptor Screening Program Tier 1 Screening Determinations and Associated Data Evaluation Records. Available: <https://www.epa.gov/endocrine-disruption/endocrine-disruptor-screening-program-tier-1-screening-determinations-and> [accessed 15 January 2018].

11. The International Chemical Secretariat. SinList all chemicals. Available <http://sinlist.chemsec.org/export/listall> [accessed 15 January 2018].
12. Kim YS, Park HS, Lee DS, Shin DC. Comparisons of Chemical Ranking and Scoring Methods. *Environmental Health and Toxicology*, 2003; 18(3): 183-191.
13. Rim KT, Lim CH, Kim HY, Cha SW, Heo Y, Yoon JH. Prioritization of Chemicals for Chronic/Carcinogenic Inhalation Testing. *Korean Journal of Environmental Health*, 2017; 43(1): 23-41.
14. United States Environmental Protection Agency. comparative evaluation of chemical ranking and scoring methodologies. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/78f9/4c7110993d259684c96ccfc61ef71bbf8b11.pdf> [accessed 15 January 2018].
15. United States Agency for Toxic Substances and Disease Registry. ATSDR's Substance Priority List. Available: <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html> [accessed 15 January 2018].
16. Davis GA, Kincaid L, Swanson, M, Schultz T, Bartmess J. Chemical hazard evaluation for management strategies : a method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency; 1994.
17. Mitchell RR, Summer CL, Blonde SA, Bush DM, Hurlburt GK, Snyder EM, 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.
18. Hanset BG, Haelst AG, Leeuwen K, Zandt P. Priority setting for existing chemicals: European union risk ranking method. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1999; 18(4): 772-779.
19. Antweiler W, Harrison K. Canada's Voluntary ARET Program: Limited Success Despite Industry Cosponsorship. *Journal of Policy Analysis and Management*. 2007; 26(4): 755-774.
20. Park H, Kim Y, Lee D, Shin Y, Choi S, Park S, et al. Development of Korean Chemical Ranking and Scoring System (CRS-Korea) and its Application to Prioritizing National Toxic Chemicals. *Environmental Health and Toxicology*. 2005; 20(2): 109-121.
21. Choi S, Park H, Lee D, Shin Y, Kim Y, Shin D. Development of CRS-Korea II and its Application to Setting the Priority of Toxic Chemicals for Local Provinces. *Environmental Health and Toxicology*, 2005; 20(4): 311-325.
22. Yang J, Jang J, Kim S, Kim Y, Lee H, Shin D, et al. Development of Korean Food-Chemical Ranking and Scoring System (Food-CRS-Korea) and Its Application to Prioritizing Food Toxic Chemicals Associated with Environmental Pollutants. *Environmental Health and Toxicology*. 2010; 25(1):41-55.
23. Nam S, Kwak J, Yoon S, Jeong S, An Y. Chemical Ranking and Scoring Methodology for the Protection of Human Health and Aquatic Ecosystem in Korean Surfacewater: CRAFT (Chemical Ranking of surFacewater polluTants). *Journal of Korean Society on Water Quality*. 2011; 27(6): 804-812.
24. An Y, Jeong S, Kim M, Yang C. Comparative Study of Exposure Potential and Toxicity Factors used in Chemical Ranking and Scoring System. *Environmental Health and Toxicology*, 2009; 24(2): 95-105.
25. Jeong J, Jung Y, Hwang M, Jung K, Yoon H. Prioritizing Management Ranking for Hazardous Chemicals Reflecting Aggregate Exposure. *Journal of Food Hygiene and Safety*. 2012; 27(4): 349-355.
26. Lim J, Kwon H, Kim S, Choi Y, Gu S, Jeong H, et al. Process and Results of Seoul Metropolitan Government's Environmental Health Policy Road Map. *Korean Journal of Environmental Health*, 2014; 40(5): 425-434.
27. Korea Ministry of Environment. Selection and evaluation of priority substances for endocrine disruptors. Available: http://www.prism.go.kr/homepage/researchCommon/retrieveResearchDetail-Popup.do?research_id=1480000-200600088 [accessed 15 January 2018].
28. The Korea Occupational Safety and Health Agency. Chemical Information. Available: <http://msds.kosha.or.kr/kcic/msds/msds.do?page=ghs02> [accessed 15 January 2018].