

수계 유출가능성이 있는 유해화학물질 분류화

안윤주[†] · 남선화 · 이재관*

건국대학교 환경과학과
*국립환경과학원 수질환경과

Categorization of Hazard Chemicals Potentially Discharged into Water System

Youn-Joo An[†] · Sun-Hwa Nam · Jae-Kwan Lee*

Department of Environmental Science, Konkuk University
*Water Quality Division, National Institute of Environmental Research (NIER)
(Received 23 January 2008, Accepted 14 March 2008)

Abstract

The utilization of a variety of hazard chemicals bears risks to human health and ecosystem. The increasing usage of various chemicals indicates the greater emission of those chemicals to water system, and the subsequent deterioration of water quality. Water system is vulnerable to many pollutants, however, there are limitations of managing a range of hazard chemicals based on insufficient legal foundations. Therefore it is needed to select hazard chemicals that can be potentially discharged into water system, and subsequently to classify a wide range of existing chemicals for better management of those chemicals. In this study, the 259 candidate chemicals of concern were selected from the lists of the toxic released inventory chemicals (148), hazard concern candidate chemicals (106), and wastewater effluent standard candidate chemicals (116). We suggested the category 1, 2, 3 and 4 of hazard chemicals potentially discharged into water system. The assessment factors considered for the classification were hazard potential, persistence and emission to water body. This work was conducted as a part of the project entitled 'Development of integrated methodology for evaluation of water environment', and the results were used to develop the monitoring lists of hazard chemicals in four major rivers in Korea.

keywords : Categorization, Hazard chemical, Risk, Water quality, Water system

1. 서론

다양한 화학물질의 생산 및 유통은 이들 물질의 환경으로의 유출과 직결된다. 유해화학물질의 환경유출은 인체 및 생태계의 건강을 위협하므로 유해화학물질을 체계적으로 분류하고 지속적으로 모니터링하기 위한 관리체계가 요구된다. 현재 기존화학물질을 통합적으로 관리할 수 있는 국내 환경관리체계는 매우 미약한 실정으로, 일부 화학물질을 대상으로 각 부처별 차등 기준을 적용하여 감시하고 있을 뿐이다. 2006년 환경부는 사람의 건강보호를 위한 수질환경기준을 기존 9개 항목(카드뮴, 비소, 시안, 수은, 유기인, PCB, 납, 6가 크롬, ABS)에 8개 항목(벤젠, 테트라클로로에틸렌, 사염화탄소, 1,2-디클로로에탄, 디클로로메탄, 클로로포름, 디에틸헥실프탈레이트, 안티몬)을 추가하여 총 17개 항목에 대한 건강보호목적의 수질환경기준을 설정한 바 있다. 한편 선진국의 기준 항목 수는 일본의 사람보호를 위한 수질환경기준 23개 항목(일본환경성, 1993), 유럽연합의 음용수로서의 지표수 수질환경기준 19개 항목(EC, 1991),

미국의 인체건강을 위한 연방권고기준 96개 항목(US EPA, 2006b)에 이른다. 따라서 환경부는 수질기준의 선진화를 위해 2015년까지 사람의 건강보호를 위한 수질환경기준을 30개 항목까지 확대할 계획이다.

현재까지 국내에서 주요 수질유해화학물질의 순위 그룹을 도출하기 위한 연구는 지속적으로 진행되어 왔다. 폐수 배출허용기준의 항목확대를 위한 순위 그룹 도출 연구는 국내 먹는물 기준 항목과 미국, 일본, 유럽 등 국외 수질기준 항목을 종합한 총 101개 항목을 대상으로 유통량 및 배출량, 인체독성, 생태독성을 고려하여 순위를 선정하였다. 이들 물질은 현재 우선순위에 따라 물질 특성, 인체 및 환경 노출로 인한 영향, 국외의 각종 기준, 처리 가능성 등을 중심으로 연차별로 연구되고 있으며, 2012년까지 확대 예정인 배출허용기준 개정안에 반영될 예정이다(환경부, 2001, 2002, 2003b, 2004, 2005c). 또한 위해우려물질 선정을 위한 수질유해화학물질 순위 그룹 도출 연구는 유독물, 국제적 관심 물질 그리고 국내 관심 물질 등을 대상으로 독성, 유통량, 배출량, 인체 및 환경으로의 노출 경로 등을 고려한 우선순위선정기법을 적용하여 수질유해화학물질 116종을 선정하였다. 이 때 유독물은 유해화학물질관리법에 의한 관리 물질을 말하고, 국제적 관심 물질은 국내 내분비계

[†] To whom correspondence should be addressed.
anyjoo@konkuk.ac.kr

장애물질 연구 사업 대상 물질, OECD SIDS(Organization for Economic Cooperation and Development Screening Information DataSets)의 대량생산화학물질(High Production Volume, HPV), 스톡홀름 잔류성유기오염물질(Persistence Organic Pollutants, POPs)을 포함하며, 국내 관심 물질은 국내 대기·수질·토양 특정 오염 관리 물질, 국내 화학물질 배출량 조사 대상 물질, 제품에 포함 가능한 인체 유해 물질을 포함한다. 위해우려물질로 선정된 수질유해화학물질 116종은 납, 수은, 카드뮴을 시작으로 지속적인 위해성 평가 연구에 적용되고 있다(환경부, 2003a). 마지막으로 사람의 건강보호를 위한 수질환경기준 항목 확대를 위한 수질유해화학물질 순위 그룹 도출 연구는 중금속류, 휘발성유기물질, 농약류, 폐놀류 등의 유해화학물질을 대상으로 각각 인체위해성 평가와 생태위해성평가가 수행되어 순위가 선정되었고, 이때 인체위해성평가에 의한 우선순위물질 중 일부는 2006년 사람의 건강보호를 위한 수질환경기준 개정안에 반영되었다(환경부·국립환경과학원, 2006).

본 연구에서는 유해성, 잔류성, 배출량을 주요 평가인자로 고려하여 수계로 유출가능성이 있는 광범위한 유해화학물질에 대해 1, 2, 3 그리고 4순위 그룹으로 분류하였다. 본 연구는 “물환경종합평가방법 개발 조사연구(III)” (환경부, 2006)의 일환으로 향후 사람의 건강보호를 위한 수질환경기준의 항목 확대에 필요한 위해성평가를 위하여 노출자료 구축을 위한 연차별 수질모니터링 계획수립에 반영되었다.

2. 연구방법

2.1. 조사 대상 물질

국내 수계로의 유출 가능성이 있는 수질유해화학물질 순위 그룹을 도출하기 위해 배출량 조사 물질 148종(환경부, 2005a), 위해우려후보물질 106종(환경부, 2003a), 그리고 폐수배출허용기준 후보물질 116종(환경부, 2001)을 종합한 총 259종의 화학물질을 조사대상물질로 선정하였다(Table 1). 한편 수질유해화학물질별 수질모니터링자료는 특정 물질을 제외하고 거의 자료가 전무하였고, 수질유해화학물질 유통량 자료는 시행 초기 단계로 누적된 현황 자료가 부족하여 본 연구의 대상 물질에서 제외하였다. 반면 위해우려후보물질 106종 중 국제적 관심 물질 61종은 참고문헌을 통해 과거 국내에서 사용하였거나 현재 사용하고 있는 것으로 확인되었으므로 본 연구의 조사 대상에 포함하였다.

2.2. 분류화 기준

Table 1. Target chemicals in this study

Substance	The number of chemicals	Reference
Toxic released inventory chemicals	148	Korean ME, 2005a
Hazard concern candidate chemicals	106 ¹	Korean ME, 2003a
Wastewater effluent standard candidate chemicals	116 ²	Korean ME, 2001
Target chemicals in this study	259	

¹ Fifty among the 106 chemicals were overlapped with 148 toxic released inventory chemicals.

² Forty five among 116 chemicals were overlapped with 148 toxic released inventory chemicals.

국내 수계로의 유출 가능성이 있는 수질유해화학물질 분류화는 유해성, 잔류성, 배출량의 평가 기준을 적용하였다. 유해성은 세계보건기구(World Health Organization, WHO) 산하 기구인 국제암연구소(International Agency of Research on Cancer, IARC)에서 제시한 발암등급과 세계생태보전기금(World Wildlife Fund, WWF)에서 제시한 내분비계 장애물질(Endocrine Disruptors, EDs) 목록을 사용하였다. 또한 잔류성은 미국 환경보호청에서 제시한 수생태계에서의 생물농축계수(Bioconcentration Factor, BCF)와 반감기(Half-Life)를 사용하였고, 각각의 수치를 활용한 고·중간·저 잔류성 여부는 미국 환경보호청의 잔류성 기준을 수정 및 보완하여 적용하였다. 배출량은 2005년 148종의 수질유해화학물질을 대상으로 조사된 수계 배출량과 폐수 이동량을 사용하였다. 분류화 기본체계는 Fig. 1과 같다.

2.2.1. 유해성

2.2.1.1. 발암등급

IARC는 독성물질을 대상으로 보고된 바 있는 역학 자료 및 동물 실험 자료를 바탕으로 그 자료의 충족도에 따라 인체발암물질 1급, 인체발암의심물질 2A급, 인체발암가능물질 2B급, 인체발암미확인물질 3급, 인체비발암물질 4급으로 분류하고 있다(US EPA, 2006a). 따라서 본 연구의 조사 대상 물질 중 IARC에 의해 발암 여부가 평가된 물질 932종에 포함되는 물질은 상위 평가 기준인 유해성에 따라 발암등급 1, 2A, 2B, 3급으로 분류하였고, 이 중 발암등급 1, 2A, 2B 급 물질은 우선적으로 상위 순위 그룹에 포함하였다.

2.2.1.2. 내분비계 장애물질(Endocrine Disruptors, EDs)

내분비계 장애물질은 환경으로 배출된 물질이 체내로 유입되어 호르몬처럼 작용함으로써 내분비계의 정상적인 기능을 방해하는 환경 호르몬으로서, 인체 및 생태의 생식기능 저하, 기형, 성장 장애, 암 등을 유발하는 유해화학물질이다. 이러한 물질은 생체 호르몬과 달리 쉽게 분해되지 않아 안정적이고 생체 내에 잔류하여 수년간 지속되며 생물체의 지방 및 조직에 농축되는 성질이 있어, 노출되었을 경우 인체 및 생태계에 유해한 영향을 미친다. 따라서 본 연구의 조사 대상 물질 중 세계생태보전기금(World Wildlife Fund, WWF)에 등재된 내분비계 장애물질 67종에 포함되는 물질(환경부, 2005b)은 상위 평가 기준인 유해성에 따라 EDs로 분류하여 상위 순위 그룹에 포함하였다(Table 2).

2.2.2. 잔류성

2.2.2.1. 생물농축계수(BCF)

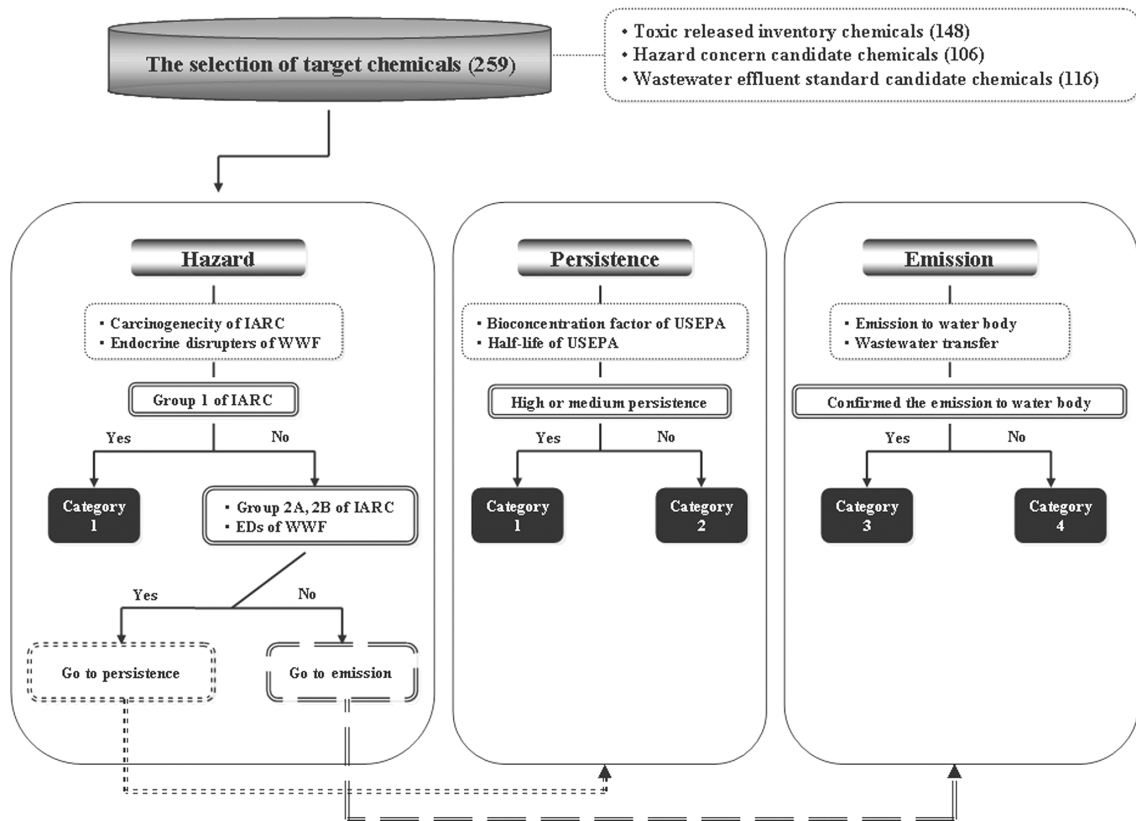


Fig. 1. Scheme of categorizing the hazard chemicals potentially discharged into water system.

Table 2. The list of endocrine disrupting chemicals (Korean ME, 1999)

Classification	Chemical
Persistent organohalogenes	Dioxins/furans, Hexachlorobenzene, Polybrominated biphenyls, Octachlorostyrene, Polychlorinated biphenyls, Pentachlorophenol
Pesticides	2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid, Amitrole, Carbaryl, Dichloro-diphenyl-trichloroethane, Endosulfan, Fenvalerate, Kepone, Methomyl, Nitrofen, Synthetic pyrethroids, Trifluralin, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid, Atrazine, Chlordane, Dichloro-diphenyl-trichloroethane metabolites, Esfenvalerat, Lindane, Malathion, Methoxychlor, Oxychlordane, Toxaphene, Vinclozolin, Alachlor, Benomyl, Cypermethrin, Dicofol, Ethylparathion, Heptachlor, Mancozeb, Metribuzin, Metiram, Transnonachlor, Zineb, Aldicarb, bata-hexachlorocyclohexane, 1,2-Dibromo-3-chloropropane, Dieldrin, Heptachlor epoxide, Kelthane, Maneb, Mirex, Permethrin, Tributyltin oxide, Ziram
Penta ~ Nonyl phenols	
Bisphenol A	
Phthalates	Di-ethylhexyl phthalate, Di-n-butyl phthalate, Di-hexylphthalate, Dicyclohexyl phthalate, Butyl benzyl phthalate, Di-n-pentyl phthalate, Di-propyl phthalate, Diethyl phthalate
Styrene dimers and trimers	
Benzo(a)pyrene	
Heavy metals	Mercury, Lead, Cadmium
Potential endocrine disrupting chemicals	2,4-dichlorophenol, Diethylhexyl adipate, Benzophenone, N-butyl benzene, 4-Nitrotoluene

수서 생물은 수중 호흡을 통해 수중 화학물질을 흡수하기 때문에 수계로 유출된 오염 물질이거나 지속적으로 수계에 잔류하는 화학물질에 노출될 경우 생체 내 화학물질 농도가 수중 해당 화학물질 농도보다 높아지는 생물농축 (Bioconcentration) 현상이 일어나게 된다. 또한 유해화학물질이 농축된 생물을 섭취할 경우 사람을 포함한 고등 생물은 생물확대(Biomagnification) 현상이 일어나 2차 독성에 노출될 가능성이 높아지게 된다. 따라서 본 연구에서는 미

국 환경보호청의 인체건강을 위한 국가 권고치를 산출하기 위해 사용된 BCF($BCF_{human\ health}$; US EPA, 2002)와 가용한 실험 자료가 없는 유해화학물질에 대한 잔류성, 생물축적성, 만성여류독성의 예측치를 제공하는 스크리닝 프로그램 PBT profiler에 제시된 BCF(BCF_{PBT})를 활용하였다. 이 때 $BCF_{human\ health}$ 는 실험 자료를 바탕으로 계산된 실측치 ($BCF_{measured}$)와 옥탄올-물 분배계수(P)를 바탕으로 계산된 예측치($BCF_{estimated}$)로 나뉜다. $BCF_{measured}$ 는 1%의 지질을 포

Table 3. The equation for calculating $BCF_{human\ health}$ (US EPA, 1980a, 1980b)

$BCF_{measured}$;	$BCF_{raw-measured} \times adjustment\ factor_m$	
$BCF_{estimated}$;	$BCF_{raw-estimated} \times adjustment\ factor_e$	
$BCF_{raw-measured}$ =	Measured steady-state bioconcentration factor (using bluegills containing about 1 percent lipids)	
adjustment factor _m =	Edible portion of all freshwater and estuarine aquatic organisms consumed by Americans	default : 0.625 = 3.0/4.8 ¹
$BCF_{raw-estimated}$ =	Estimated steady-state bioconcentration factor	$10^{(0.85 \times \text{Log } P) - 0.70}$
adjustment factor _e =	Edible portion of all freshwater and estuarine aquatic organisms consumed by Americans	(P) : octanol-water partition coefficient default : 0.395 = 3.0/7.6 ²

¹ An adjustment factor of 0.625 can be used to adjust the estimated BCF from the 4.8 Percent lipids of the bluegill to the 3.0 percent lipids that is the weighted average for consumed fish and shellfish.

² An adjustment factor of 0.395 can be used to adjust the estimated BCF from the 7.6 Percent lipids on which the equation is based to the 3.0 percent lipids that is the weighted average for consumed fish and shellfish.

함하고 있는 블루길(blugill)의 생물농축성을 측정한 $BCF_{raw-measured}$ 와 미국인이 섭취하는 담수와 하구 수서생물의 비율인 조정인자 0.625를 곱하여 산출한다. 반면 $BCF_{estimated}$ 는 가용한 생물농축성 측정 자료가 없기 때문에 옥탄올-물 분배계수(P)로부터 수식 $[\text{Log } BCF = (0.85 \text{ Log } P) - 0.70]$ 을 적용하여 예측된 $BCF_{raw-estimated}$ 와 미국인이 섭취하는 담수와 하구 수서생물의 비율인 조정인자 0.395를 곱하여 산출한다. 또한 BCF_{PBT} 는 US EPA에 의해 보고된 역치(threshold) 자료를 바탕으로 먹이 연쇄 내 화학물질의 생물축적성을 PBT profiler로 계산한 예측치이다. 그러므로 중위 평가 기준인 BCF는 $BCF_{human\ health}$ 의 실측치 $BCF_{measured}$ 를 우선적으로 고려하였고, 다음으로 $BCF_{human\ health}$ 의 예측치 $BCF_{estimated}$ 와 BCF_{PBT} 를 차례로 고려하여 Table 5에 제시한 기준에 따라 잔류성을 파악하였다.

한편 본 연구에서 사용한 제시한 고·중간·저 잔류성 기준은 US EPA의 우선순위 오염물질 순위 체계(Priority Pollutant Ranking System, PPRS; US EPA, 1984)와 PBT profiler의 생물농축성 기준(US EPA, 2004)을 수정 및 보완하여 활용하였다. US EPA의 PPRS는 수생생물에 대한 잠재성, 인체 영향에 대한 잠재성, 노출 잠재성의 3가지 인자를 0부터 10까지 점수화하여 오염물질의 우선순위를 선정하는 시스템이다. 특히 생물농축 인자에 대한 점수는 0, 2, 5, 8, 10으로 분류되고, 점수 범위에 따라 고(8~10)·중간(4~7)·저(0~3)로 나뉘어 최종 점수를 환산하는데 활용한다(Table 4). PBT profiler의 생물농축성 기준은 화학물질의 물리화학적

특성을 기초로 예측된 BCF를 비생물축적성(Not bioaccumulative)과 생물축적성(Bioaccumulative)으로 분류되고, 생물축적성은 수치 정도(예. 1000, 5000)에 따라 경중이 달라진다(Table 4).

2.2.2.2. 반감기(Half-life)

화학물질의 농도가 원래 상태에서 반으로 줄어드는데 소요되는 시간인 반감기(Half-life, HL)는 환경 내 잔존하는 화학물질의 양을 예측할 수 있게 한다. 화학물질의 잔존 가능성이 높을수록 그 화학물질에 대한 인체나 환경 노출 가능성도 높아지기 때문에 본 연구에서는 PBT profiler에 제시된 수체 내 반감기(HL_{PBT})를 활용하여 Table 5에 제시한 기준에 따라 잔류성을 파악하였다. 이 때 HL_{PBT} 는 US EPA에 의해 잔류성을 바탕으로 보고된 역치(threshold) 자료를 활용하여 PBT profiler로 계산한 예측치이다. 예외적으로 농약관리법에 의해 폐지되었거나 유해화학물질관리법에 의해 금지된 농약류 11종(클로르단, 특사펜, 헵타클로르, 알드린, 디엘드린, 엔드린, 펜타클로로페놀, 디클로로디페닐 트리클로로에탄과 그 부산물, 트리플루랄린, 니트로펜, 엔도설판)은 실험을 통해 산정된 실측치 반감기($HL_{CRCnetBase}$) (CRCnetBase, 1999)를 활용하여 현재 수체 내 잔류 비율을 예상하였다. 즉, 각각의 화학물질이 제도적으로 폐지 또는 금지된 시기(농약공업협회, 2000, 2003; 환경부, 2005b)로부터 수체 내 잔류 비율이 상당히 낮을 것으로 예상되는 시기까지 최소 7번의 $HL_{CRCnetBase}$ 를 적용하였다.

Table 4. US EPA's persistence classification

	Score ¹	Effects	Definition	Reference
BCF	10	Very high BCF	<10,000	US EPA, 1984
	8	High BCF	1,000 ~ 10,000	
	5	Moderate BCF	333 ~ 1,000	
	2	Low BCF	100 ~ 333	
	0	Very low BCF	<100	
	Not bioaccumulative		Bioaccumulative	Reference
	<1000	≥1,000	≥5,000	US EPA, 2004
HL	Environmental compartment	Not persistent	Persistent	Reference
	Water	<60 days	≥60 days	>180 days US EPA, 2004

¹Score of (8~10) = "high", (4~7) = "medium", (0~3) = "low"

Table 5. Persistence classification as related to bioconcentration factor (BCF) and half-life (HL) in this study

Classification	BCF		HL (day)
	PPRS ¹	PBT ²	
High	1,000 ≥	5,000 ≥	180 ≥
Moderate	333 ~ 1,000	1,000 ~ 5,000	60 ~ 180
Low	333 <	1,000 <	60 <

¹ PPRS is based on the BCF data from US EPA (1984).

² PBT is based on the BCF data from US EPA (2004).

한편 Table 5에 제시한 고·중간·저 잔류성 기준은 PBT profiler의 반감기 기준(US EPA, 2004)을 수정 및 보완하여 활용하였다. PBT profiler의 반감기 기준은 비잔류성(Not persistent)과 잔류성(Persistent)으로 분류되고, 잔류성은 수치 정도(예. 60, 180)에 따라 경증이 달라진다(Table 4).

2.2.3. 수계 배출량 및 폐수 이동량

수계 배출량 및 폐수 이동량은 화학물질의 인체 및 수생 대계로의 노출과 관련되므로 148종 화학물질 배출량 자료(환경부, 2005a)를 활용하였다. 한편 본 연구의 조사 대상 물질 275종 중 148종을 제외한 127종은 현재까지 수계 배출량 및 폐수 이동량 자료가 없으므로 수질유해화학물질 순위 도출의 상위 평가 기준으로 활용하기에 부적합하다. 따라서 수질유해화학물질 순위 도출 시 유해성과 잔류성을 우선적으로 고려하고 배출량은 하위 평가 기준으로 활용하였다.

한편 환경정책기본법, 수질환경보전법, 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙, 농약관리법 등의 국내 화학물질 관련 법령은 순위 평가 기준과는 무관하게 국내 화학물질에 대한 법적 관리 현황 자료로서 참고하였다(Table 6).

Table 6. Legal management of toxic chemicals in Korea

Classification		Chemical	Standard (mg/L)	Chemical	Standard (mg/L)	
Enforcement decree of the framework act on environmental policy	Environmental water quality	Protection substances for human health	Cadmium	0.01	Lead	0.1
			Arsenic	0.05	Hexavalent chromium	0.05
			Cyanide	Non detected	-	-
Enforcement decree of the water quality conservation act	Specific toxic substances	Copper and its compounds, lead and its compounds, arsenic and its compounds, cyanide and its compounds, hexavalent chromium and its compounds, cadmium and its compounds, trichloroethylene, tetrachloroethylene, phenols, selenium and its compounds, benzene, carbon chloride, dichloromethane, 1,2-dichloroethane, chloroform, 1,1-dichloroethylene				
	Pollutant	Copper and its compounds, lead and its compounds, nickel and its compounds, manganese and its compounds, barium and its compounds, arsenic and its compounds, selenium and its compounds, cyanide and its compounds, zinc and its compounds, chloride, tin and its compounds, cadmium and its compounds, chromium and its compounds, phenols, sulfur and its compounds, hexavalent chromium and its compounds, trichloroethylene, tetrachloroethylene, benzene, carbon chloride, dichloromethane, 1,2-dichloroethane, chloroform, 1,1-dichloroethylene				
Rule of drinking water standard and analysis	Drinking water quality	Inorganic substances	Lead	0.05	Hexavalent chromium	0.05
			Arsenic	0.05	Cadmium	0.005
			Selenium	0.01	Boron	0.3
			Cyanide	0.01	-	-
	Organic substances	Phenol	0.005	Dichloromethane	0.02	
		Diazinone	0.02	Benzene	0.01	
		1,1,1-trichloroethane	0.1	Toluene	0.7	
		Trichloroethylene	0.03	Ethylbenzene	0.3	
		Tetrachloroethylene	0.01	Xylenes	0.5	
		1,1-dichloroethane	0.03	-	-	
Disinfectant by-product	Chloroform	0.08	-	-		
Aesthetic effect substances	Zinc	1	Manganese	0.3		
	Chlorine	250	Sulfuric acid	200		
Enforcement decree of the agrochemicals control act	Toxic substances	2,4-dichlorophenoxy acetic acid, carbofuryl, carbofuran, cartap, diazinone, dichlorvos, dicofol, endosulfan, fenitrothion, Fenvalerate, iprobenfos, malathion, methomyl, molinate, Trifluralin, ethyl parnitrophenyl				

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질유해화학물질 순위 그룹

본 연구에서는 국내 수계로의 유출 가능성이 있는 수질 유해화학물질 그룹을 도출하기 위해 수질유해화학물질 259

종을 선정하였고, 화학물질의 유해성, 잔류성, 배출량의 평가인자를 적용하여 수질유해화학물질 1, 2, 3, 4 순위 그룹을 도출하였다.

3.1.1. 수질유해화학물질 1 순위 그룹

수질유해화학물질 1 순위 그룹에는 IARC 기준 1, 2A,

Table 7. Category 1 of hazard chemicals potentially discharged into water system

Chemical	CAS No.	Hazard	Persistence			Emission		The law related to toxic chemicals control
			BCF		HL (day)	Emission to water body (kg/yr)	Wastewater transfer (kg/yr)	
			PPRS	PBT	PBT			
Benzidine	000092-87-5	1	87.5 ⁷	2.2	38	-	-	
Arsenic and its compounds	007440-38-2	1	44 ⁷	-		123.00	0.00	D ¹ , Pr ² , S ³ , Po ⁴
Benzene	000071-43-2	1	5.2 ⁸	8.7	38	694.69	46050.98	D ¹ , S ³ , Po ⁴
Ethylene oxide	000075-21-8	1		3.2	15	284.42	453.88	
Chromium and its compounds	007440-47-3	1	-	-		527.17	108342.83	D ¹ (6+), Pr ² (6+), S ³ (6+), Po ⁴
Cadmium and its compounds	007440-43-9	1	-	-		7.72	20.40	D ¹ , Pr ² , S ³ , Po ⁴
Vinyl chloride	000075-01-4	1	1.17	3.6	15	0.00	795.00	
Heptachlor epoxide	001024-57-3	EDs	11200	1400	180	-	-	
Dioxin	001746-01-6	EDs	5000	34000	180	-	-	
Butyl benzyl phthalate	000085-68-7	EDs	414	880	15	0.00	0.00	
3,3'-dichlorobenzidine	000091-94-1	2B	312 ⁷	100	60	0.00	0.15	
Hexachloroethane	000067-72-1	2B	86.9	310	180	-	-	
Tetrachloroethylene	000127-18-4	2A	30.6	83	60	0.00	0.00	D ¹ , S ³ , Po ⁴
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	000193-39-5	2B	30	29000	60	-	-	
Dibenzo(a,h)anthracene	000053-70-3	2A	30	22000	60	-	-	
Benzo(k)fluoranthene	000207-08-9	2B	30	10000	60	-	-	
Benzo(b)fluoranthene	000205-99-2	2B	30	5600	60	-	-	
Benzo(a)anthracene	000056-55-3	2A	30	5400	60	-	-	
Carbon tetrachloride	000056-23-5	2B	18.75 ⁷	30	60	0.00	0.00	D ¹ , S ³ , Po ⁴
Hexachlorobenzene	000118-74-1	EDs	17.5	5200	180	-	-	
Mirex	002385-85-5	2B		36000	180	-	-	
Trans-nonachlor	039765-80-5	EDs		15000	180	-	-	
Fenvalerate	051630-58-1	EDs		12000	60	-	-	A ⁶
Benzo(a)pyrene	000050-32-8	2A		10000	60	-	-	
Oxychlorane	027304-13-8	EDs		3300	180	-	-	
Methoxychlor	000072-43-5	EDs	-	1600	180	-	-	
Dicofol	000115-32-2	EDs		1500	180	-	-	A ⁶
Hexachlorocyclohexane	000608-73-1	2B		310	180	-	-	
Cypermethrin	052315-07-8	EDs		210	180	-	-	
3,3'-dichloro-4,4'-diaminophenylemethan	000101-14-4	2A		200	60	0.00	0.00	
Alachlor	015972-60-8	EDs	-	60	100	-	-	
Vinclozoline	050471-44-8	EDs		49	60	-	-	
Atrazine	001912-24-9	EDs		9.8	60	-	-	
Simazine	000122-34-9	EDs		4.6	60	-	-	
Direct black 38	001937-37-7	2A		3.2	180	0.00	0.00	

¹ D : Drinking water standard

² Pr : Protection substances for human health

³ S : Specific toxic substances

⁴ Po : Pollutant

⁵ T(pro) : Prohibition substances in enforcement decree of the toxic chemicals control act

⁶ A(rep) : Repeal substances in enforcement decree of the agrochemicals control act

⁷ BCF_{measured}

⁸ BCF_{estimated}

Table 8. Category 2 of hazard chemicals potentially discharged into water system

Chemical	CAS No.	Hazard	Persistence			Emission		The law related to toxic chemicals control
			BCF		HL (day)	Emission to water body	Wastewater transfer	
			PPRS	PBT	PBT	(kg/yr)	(kg/yr)	
Chlordane	000057-74-9	2B	14100 ⁷	12000	180	-	-	A(rep at 1969), T(pro) ⁵
Toxaphene	008001-35-2	2B	13100	5600	180	-	-	A(rep at 1991), T(pro) ⁵
Heptachlor	000076-44-8	2B	11200 ⁷	9900	180	-	-	A(rep at 1979), T(pro) ⁵
Aldrin	000309-00-2	EDs	4670 ⁷	20000	180	-	-	A(rep at 1969)
Dieldrin	000060-57-1	EDs	4670 ⁷	2000	180	-	-	A(rep at 1970), T(pro) ⁵
Endrin	000072-20-8	EDs	3970 ⁷	2000	180	-	-	A(rep at 1972)
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	000117-81-7	EDs	130	310	15	232.00	6096.60	
Di-n-butyl phthalate	000084-74-2	EDs	89	580	8.7	-	-	
Diethyl phthalate	000084-66-2	EDs	73	15	15	-	-	
Nickel and its compounds	007440-02-0	2B	47	-	-	169.60	20925.95	Po ⁴
2,4-dichlorophenol	000120-83-2	EDs	40.7 ⁸	18	38	-	-	
Ethybenzene	000100-41-4	2B	37.5 ⁸	53	15	159.54	1346.11	D ¹
Acrylonitrile	000107-13-1	2B	30 ⁷	3.2	15	531.81	7616.00	
1,2-diphenylhydrazine	000122-66-7	2B	24.9	37	15	-	-	
Pentachlorophenol	000087-86-5	EDs	11	700	180	-	-	A(rep at 1991), T(pro) ⁵
Trichloroethylene	000079-01-6	2A	10.6	15	38	376.00	200.00	D ¹ , S ³ , Po ⁴
2,4-dinitrotoluene	000121-14-2	2B	3.8	6.7	38	-	-	
Dichlorobromomethane	000075-27-4	2B	3.75	6.9	38	-	-	
Dichloromethane	000075-09-2	2B	0.9	1.8	38	337.58	26439.75	D ¹ , S ³ , Po ⁴
DDT and its metabolites	000050-29-3	2B	-	42000	180	-	-	A(rep at 1971), T(pro) ⁵
Triflualin	001582-09-8	EDs	-	2600	180	-	-	A ⁶ , T(pro) ⁵
Nitrofen	001836-75-5	EDs	-	750	60	-	-	A(rep at 1982), T(pro) ⁵
17-beta-estradiol	000050-28-2	EDs	-	240	38	-	-	
Endosulfan	000115-29-7	EDs	-	180	180	0.00	0.00	A ⁶ , T(pro) ⁵
Naphthalene	000091-20-3	2B	-	69	38	-	-	
Bis(2-ethylhexyl)adipate	000103-23-1	EDs	-	61	8.7	47.00	7520.00	
1,2-dibromo-3-chloropropane	000096-12-8	2B	-	38	38	-	-	D ¹ , T(pro) ⁵
Styrene	000100-42-5	2B	-	37	15	631.72	5687.68	
Carbaryl	000063-25-2	EDs	-	13	38	-	-	D ¹ , A ⁶
Malathion	000121-75-5	EDs	-	13	15	-	-	A ⁶
2,6-dinitrotoluene	000606-20-2	2B	-	8.3	38	-	-	
Benzophenone	000119-61-9	EDs	-	8.1	15	-	-	
1,3-butadiene	000106-99-0	2A	-	6.8	15	65.28	190.20	
Metribuzin	021087-64-9	EDs	-	4.1	38	-	-	
2,4-diaminotoluene	000095-80-7	2B	-	3.2	38	221.29	238.00	
2,4-dichlorophenoxyacetic acid	000094-75-7	EDs	-	3.2	38	-	-	A ⁶
2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid	000093-76-5	EDs	-	3.2	38	-	-	A(rep), T(pro) ⁵
Acetaldehyde	000075-07-0	2B	-	3.2	15	677.74	0.00	
Propylene oxide	000075-56-9	2B	-	3.2	15	504.20	313.16	
Epichlorohydrin	000106-89-8	2A	-	3.2	15	154.02	109.00	
Formaldehyde	000050-00-0	2A	-	3.2	15	139.25	33180.38	
Acrylamide	000079-06-1	2A	-	3.2	15	51.00	170.08	
Methomyl	016752-77-5	EDs	-	3.2	15	-	-	A ₆
Amitrole	000061-82-5	EDs	-	3.2	15	-	-	A(rep at 1990)

Table 8. Category 2 of hazard chemicals potentially discharged into water system (Continued)

Chemical	CAS No.	Hazard	Persistence		Emission		The law related to toxic chemicals control	
			BCF		HL (day)	Wastewater transfer		
			PPRS	PBT	PBT	(kg/yr)		
1,2-dichloroethan	000107-06-2	2B	-	2.8	38	2.50	0.00	S ³ , Po ⁴
Creosote	008001-58-9	2A	-	-	-	0.79	3.34	
Tributyltin oxide (compounds)	000056-35-9	EDs	-	-	-	-	-	

¹ D : Drinking water standard

² Pr : Protection substances for human health

³ S : Specific toxic substances

⁴ Po : Pollutant

⁵ T(pro) : Prohibition substances in enforcement decree of the toxic chemicals control act

⁶ A(rep) : Repeal substances in enforcement decree of the agrochemicals control act

⁷ BCF_{measured}

⁸ BCF_{estimated}

2B급 유해성 물질, WWF 기준 EDs 유해성 물질, 고·중간 잔류성 물질을 중심으로 259종 중 35종의 화학물질이 선정되었다. 그룹에는 대체로 휘발성유기물질(예. 벤젠, 염화비닐 등)과 다환방향족탄화수소(벤조(a)안트라센, 벤조(a)파이렌) 그리고 농약류(디코폴, 시마진 등)가 주를 이루었다. 특히 기존 수질환경기준의 사람의 건강 보호 항목으로 채택된 비소, 벤젠, 크롬, 카드뮴, 테트라클로로에틸렌, 사염화탄소 등이 포함되어 있다(Table 7).

3.1.2. 수질유해화학물질 2 순위 그룹

수질유해화학물질 2 순위 그룹에는 1 순위 그룹에서 제외된 물질 중 IARC 기준 2A, 2B급 유해성 물질, WWF 기준 EDs 유해성 물질, 수계 배출량이 확인된 물질을 중심으로 259종 중 47종의 화학물질이 선정되었다. 그룹에는 대체로 농약류(클로르단, 독사펜, 헵타클로르, 알드린, 디엘드린 등), 휘발성유기물질(예. 에틸벤젠, 트리클로로에틸렌 등)이 주를 이루었다(Table 8).

한편 그룹에는 고·중간 잔류성 물질이지만 농약관리법에 의해 폐지되었거나 유해화학물질관리법에 의해 금지된 농약류가 포함되어었는데, 클로르단, 독사펜, 헵타클로르, 알드린, 디엘드린, 엔드린, 펜타클로로페놀, 디클로로디페닐트리클로로에탄과 그 부산물, 트리플루랄린, 니트로펜, 엔도설판 등 총 11종이다. 각각의 화학물질별 폐지 또는 금지 시기(1969~1991년)로부터 최소 7번의 HL_{CRCnetBase}를 적용한 결과 1980~2000년 무렵 수계 내 잔류 비율이 약 0.8%를 차지하게 된다. 따라서 현 시점에서 폐지 또는 금지된 농약류 11종의 수계 내 잔류 가능성은 배제하여도 무방할 것으로 판단되므로 1 순위 그룹에서 2 순위 그룹으로 하향 조정하였다.

3.1.3. 수질유해화학물질 3 순위 그룹

수질유해화학물질 3 순위 그룹에는 1, 2 순위 그룹에서 제외된 물질 중 수계 배출량이 확인된 물질을 중심으로 259종 중 52종의 화학물질이 선정되었는데, 대체로 안티몬, 구리, 납 등의 중금속류가 주를 이루었다. 특히 2006년 수질환경기준의 사람의 건강 보호 항목으로 확대된 안티몬은 IARC 기준 유해성 여부가 파악되지 않았으나, 20개 수질

유해화학물질에 대한 인체위해성평가 결과 다른 물질에 비해 상대적인 위해우려가 있는 것으로 평가되어 제도적으로 관리되고 있다(Table 9).

3.1.4. 수질유해화학물질 4 순위 그룹

수질유해화학물질 4 순위 그룹에는 1, 2, 3 순위 그룹에서 제외된 물질 중 수계 배출량이 미확인된 물질을 중심으로 259종 중 125종의 화학물질이 선정되었는데, 대체로 안트라센, 플루오렌, 파이렌 등의 다환방향족탄화수소가 주를 이루었다(Table 10). 한편 석면, 베릴륨은 IARC 기준 1급 물질이나 BCF, HL 등의 잔류성이나 수계 배출량에 대한 자료가 전무하고, 국내 대기환경보전법에 의해 관리되는 물질이다. 따라서 국내 수계의 유출 가능성이 비교적 낮은 것으로 예상되므로 1 순위 그룹에서 4 순위 그룹으로 하향 조정하였다.

3.2. 제한점 및 향후 방향 제시

본 연구에서 도출된 수질유해화학물질 그룹 및 순위는 화학물질별 물리화학적 특성, 인체 및 생태영향, 매체별 환경 노출 등 좀 더 세분화된 평가 인자를 적용하여 수정 및 보완될 필요가 있다. 이를 위해서는 화학물질별 실측치 중심의 물리·화학·독성학적 자료 수집 및 다회성 수질 모니터링 자료 구축이 선행되어야 한다. 환경으로의 노출 측면을 고려하기 위해서 수질 모니터링 자료를 활용하는데, 현재 일부 화학물질에 대해서만 수행되고 있기 때문에 자료가 매우 제한적이다. 따라서 다양한 화학물질로의 수질 모니터링 사업의 점진적 확대를 통해 지속적인 수질 모니터링 자료를 구축할 필요가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 수계의 유출 가능성이 있는 수질유해화학물질 순위 그룹을 도출하기 위해 배출량 조사 물질 148종, 위해우려후보물질 106종, 그리고 폐수배출허용기준 후보물질 116종을 종합한 총 259종의 화학물질을 대상으로 화학물질의 유해성, 잔류성, 배출량의 평가 기준을 적

Table 9. Category 3 of hazard chemicals potentially discharged into water system

Chemical	CAS No.	Hazard	Persistence			Emission		The law related to toxic chemicals control
			BCF		HL (day)	Emission to water body	Wastewater transfer	
			PPRS	PBT	PBT	(kg/yr)	(kg/yr)	
Pentachlorobenzene	000608-93-5		2125	1900	180	-	-	
Zinc and its compounds	007440-66-6	-	47	-		12325.12	28612.63	D ¹ , Po ⁴
Toluene	000108-88-3	-	10.7	25	15	1832.22	148261.68	D ¹
Selenium and its compounds	007782-49-2	-	4.8	-		1670.00	0.00	D ¹ , S ³ , Po ⁴
Phenol	000108-95-2	-	1.4	2.7	15	21.25	21009.42	D ¹ , S ³ , Po ⁴
Inorganic cyanide compounds		-	1			800.03	158.00	D ¹ , Pr ² , S ³ , Po ⁴
Antimony and its compounds	007440-36-0	-	1	-		98.21	25.00	
4,4'-diphenylmethane diisocyanate	000101-68-8	-		2100	38	1.86	0.00	
Pendimethalin	040487-42-1			1900	60	-	-	
Hexachlorocyclopentadiene	000077-47-4			1500	180	-	-	
N-(1,3-dimethylbutyl)-n'-phenyl-p-phenylenediamine	000793-24-8	-		800	38	0.89	0.00	
2,6-di-tert-butyl-4-dihydroxytoluene	000128-37-0	-		600	38	0.42	0.00	
N-hexane	000110-54-3	-		200	8.7	336.00	13936.95	
Cyclohexane	000110-82-7	-		89	15	1290.79	7552.95	
Tributylamine	000102-82-9	-		54	8.7	12.24	0.00	
Xylenes	001330-20-7	-	-	50	15	2707.99	92653.57	D ¹
Butane	000106-97-8	-		34	8.7	366.10	35.00	
Di-n-butylamine	000111-92-2	-		30	8.7	7.00	0.00	
1-chloro-2-nitrobenzene	000088-73-3	-		11	38	34.60	0.00	
Cresols	001319-77-3	-		6.3	15	79.20	0.99	
Carbon disulfide	000075-15-0	-		6.2	15	197.00	0.00	
Decabromodiphenyl oxide	001163-19-5	-		3.2	180	137.10	1337.00	
1-bromo-3-chloro-5,5-dimethylhydantoin	016079-88-2	-		3.2	38	359.00	3700.00	
Toluenediamine	025376-45-8			3.2	38	-	-	
2-propanol	000067-63-0	-		3.2	15	20224.28	566306.41	
Ethyl acetate	000141-78-6	-		3.2	15	2711.89	53545.95	
Chlorine	007782-50-5	-		3.2	15	2400.00	98.88	D ¹
Chlorosulfonic acid	007790-94-5	-		3.2	15	1798.71	0.00	
N,n-dimethylformamide	000068-12-2	-		3.2	15	286.83	52528.32	
Dimethylamine	000124-40-3	-		3.2	15	159.00	137.00	
2-furfuryl alcohol	000098-00-0	-		3.2	15	102.00	0.00	
Methylethylketone	000078-93-3	-		3.2	15	85.52	187268.12	
2-ethoxyethyl acetate	000111-15-9	-		3.2	15	40.00	65.00	
Aniline	000062-53-3	-		3.2	15	31.00	918.00	
Methanol	000067-56-1	-		3.2	8.7	9255.11	318458.46	
Acetic acid	000064-19-7	-		3.2	8.7	25.00	138270.75	
Cyclohexylamine	000108-91-8	-		2.8	15	153.00	0.00	
Ethylene	000074-85-1	-		1.5	15	0.00	0.00	
Manganese and its compounds	007439-96-5	-	-	-		14042.66	330.53	D ¹ , Po ⁴
Hydrogen peroxide	007722-84-1	-		-		10063.73	1578692.24	
Ammonia	007664-41-7	-		-		9971.72	394751.84	
Technical bisphenol A diglycidyl ether	025068-38-6	-		-		6286.69	0.00	
Boron and its compounds	007440-42-8	-	-	-		5099.78	33022.00	D ¹
Copper and its compounds	007440-50-8	-	-	-		2935.06	122748.15	S ³ , Po ⁴
Lead and its compounds	007439-92-1	-	-	-		359.47	553.90	D ¹ , Pr ² , S ³ , Po ⁴
Phosphorus	007723-14-0	-		-		345.00	0.00	
1,6-hexanediamine, polymer with n,n"-1,6-hexanediybis [n'-cyanoguanidine], hydrochloride	027083-27-8	-		-		108.00	8700.00	

Table 9. Category 3 of hazard chemicals potentially discharged into water system (Continued)

Chemical	CAS No.	Hazard	Persistence			Emission		The law related to toxic chemicals control
			BCF		HL (day)	Emission to water body (kg/yr)	Wastewater transfer (kg/yr)	
			PPRS	PBT	PBT			
Tin and its compounds	007440-31-5	-	-	-	-	44.00	65.57	Po ⁴
Sulfuric acid	007664-93-9	-	-	-	-	10.00	2680666.13	D ¹
Barium and its compounds	007440-39-3	-	-	-	-	0.95	19.60	Po ⁴
Sodium hydroxide	001310-73-2	-	-	-	-	0.02	38909023.90	
Hydrazine hydrate	007803-57-8	-	-	-	-	0.01	0.00	

¹ D : Drinking water standard² Pr : Protection substances for human health³ S : Specific toxic substances⁴ Po : Pollutant⁵ T(pro) : Prohibition substances in enforcement decree of the toxic chemicals control act⁶ A(rep) : Repeal substances in enforcement decree of the agrochemicals control act⁷ BCF_{measured}⁸ BCF_{estimated}**Table 10.** Category 4 of hazard chemicals potentially discharged into water system

Chemical	CAS No.	Hazard	Persistence			Emission		The law related to toxic chemicals control
			BCF		HL (day)	Emission to water body (kg/yr)	Wastewater transfer (kg/yr)	
			PPRS	PBT	PBT			
Asbestos	001332-21-4	1	-	-	-	0.00	0.00	
Beryllium and its compounds	007440-41-7	1	-	-	-	-	-	
Fluoranthene	000206-44-0	3	1150	1900	60	-	-	
Acenaphthene	000083-32-9		242	210	38	-	-	
Acrolein	000107-02-8	-	215 ⁷	3.2	15	0.00	0.00	
2-chloronaphthalene	000091-58-7		202	230	38	-	-	
2,4,6-trichlorophenol	000088-06-2		150	55	60	-	-	
N-nitrosodiphenylamine	000086-30-6		136	51	38	-	-	
1,2,4-trichlorobenzene	000120-82-1		114	250	60	-	-	
2,4-dimethylphenol	000105-67-9		93.87	12	15	-	-	
1,4-dichlorobenzene	000106-46-7	2B	55.6	89	38	0.00	0.00	
1,2-dichlorobenzene	000095-50-1		55.6	87	38	-	-	
1,3-dichlorobenzene	000541-73-1		55.6	100	38	-	-	
2-vinylpyridine	000100-69-6	-	47	3.1	15	0.00	0.00	
Dimethyl phthalate	000131-11-3		36	3.4	15	-	-	
Anthracene	000120-12-7	3	30	530	60	-	-	
Chrysene	000218-01-9	3	30	5900	60	-	-	
Fluorene	000086-73-7	3	30	330	15	-	-	
Pyrene	000129-00-0	3	30	1100	60	-	-	
Chlorobenzene	000108-90-7		10.3	31	15	-	-	
Bis(2-chloroethyl)ether	000111-44-4	3	6.9	2	38	-	-	
1,1-dichloroethylene	000075-35-4		5.6	8.7	38	-	-	D ¹ , S ³ , Po ⁴
2-methyl-4,6-dinitrophenol	000534-52-1		5.5	8.6	38	-	-	
1,1,2-trichloroethane	000079-00-5		4.5	5.7	38	-	-	
1,2-dichloropropane	000078-87-5	3	4.1	6.7	38	-	-	
Bromoform	000075-25-2	3	3.75	14	38	-	-	
Chlorodibromomethane	000124-48-1	3	3.75	9.2	38	-	-	
Chloroform	000067-66-3	2B	3.75 ⁷	6.6	38	0.00	0.00	D ¹ , S ³ , Po ⁴
Methyl bromide	000074-83-9	3	3.75	1.6	15	-	-	
Nitrobenzene	000098-95-3	2B	2.89	5.3	15	0.00	2128.00	
Hexachlorobutadiene	000087-68-3		2.78 ⁸	960	180	-	-	
Bis(2-chloroisopropyl)ether	000108-60-1	3	2.47	16	38	-	-	

Table 10. Category 4 of hazard chemicals potentially discharged into water system (Continued)

Chemical	CAS No.	Hazard	Persistence		Emission		The law related to toxic chemicals control	
			BCF		HL (day)	Emission to water body (kg/yr)		Wastewater transfer (kg/yr)
			PPRS	PBT	PBT			
1,3-dichloropropylene	008003-19-8		1.9	6.7	38	-	-	
1,2-trans-dichloroethylene	000156-60-5		1.58	8.1	38	-	-	
2,4-dinitrophenol	000051-28-5		1.5	3.8	38	-	-	
N-nitrosodi-n-propylamine	000621-64-7		1.13	2.2	38	-	-	
Argentum	007440-22-4		0.5	-	-	-	-	
N-nitrosodimethylamine	000062-75-9		0.026	3.2	38	-	-	
Benzo(ghi)perylene	000191-24-2	3	-	25000	60	-	-	
4-bromophenyl phenyl ether	000101-55-3		-	1300	38	-	-	
Chlorpyrifos	002921-88-2			1300	180	-	-	
Ethyl paranitrophenyl	002104-64-5			960	38	-	-	A ⁶
Isophorone diisocyanate	004098-71-9	-		910	38	0.00	0.00	
4-chlorophenyl phenyl ether	007005-72-3		-	830	38	-	-	
Phenanthrene	000085-01-8	3	-	540	60	-	-	
Nonylphenols	025154-52-3			540	15	-	-	
Permethrin	052645-53-1	EDs		450	60	0.00	0.00	
Octylphenols	001806-26-4			340	15	-	-	
Acenaphthylene	000208-96-8		-	220	15	-	-	
Diazinon	000333-41-5	-	-	170	38	0.00	0.00	D ¹ , A ⁶
Toluene-2,4-diisocyanate	000584-84-9	2B		150	38	0.00	0.01	
Dinoseb	000088-85-7	-		110	38	0.00	0.00	
Thiobencarb	028249-77-6			83	38	-	-	
Iprobenfos	026087-47-8	-		74	38	0.00	0.00	A ⁶
4,4'-bisphenol A	000080-05-7	EDs		72	38	0.00	0.00	
Trimethylhexadecylammonium chloride	000112-02-7	-		71	15	0.00	0.38	
Fenitrothion	000122-14-5	-		69	38	0.00	0.00	D ¹ , A ⁶
Di-n-octyl phthalate	000117-84-0		-	64	15	-	-	
Molinate	002212-67-1	-		59	38	0.00	0.00	A ⁶
Hexamethylene diisocyanate	000822-06-0	-		58	15	0.00	0.00	
3-methyl-4-chlorophenol	000059-50-7		-	49	38	-	-	
Chlorothalonil	001897-45-6			45	180	-	-	
1,1,2,2-tetrabromoethan	000079-27-6	-		18	38	0.00	0.00	
1,1,1-trichloroethan	000071-55-6	-	-	16	60	0.00	0.00	D ¹
4-Chlorophenol	000106-48-9		-	14	15	-	-	
1-butene	000106-98-9	-		14	8.7	0.00	0.00	
4-nitrotoluene	000099-99-0	EDs		13	38	0.00	0.00	
Carbofuran	001563-66-2	-		12	38	0.00	0.00	A ⁶
Xylenol	001300-71-6	-		12	15	0.00	0.00	
Dinitrotoluene	025321-14-6	2B		9.4	38	0.00	0.00	
Benomyl	017804-35-2	EDs		8.6	15	0.00	0.00	
Cis-1,2-dichloroethylene	000156-59-2			8.1	38	-	-	
Phosphorus trichloride	007719-12-2	-		7	15	0.00	0.00	
4-nitrophenol	000100-02-7		-	5.9	15	-	-	
1,1-dichloroethane	000075-34-3		-	4.8	38	-	-	
2-nitrophenol	000088-75-5		-	4.8	15	-	-	
Dimethyl disulfide	000624-92-0	-		4.6	15	0.00	0.00	
Propylene	000115-07-1	-		4.6	15	0.00	0.00	
Thirame	000137-26-8	-		4.3	38	0.00	0.00	
4,4'-methylenedianiline	000101-77-9	2B		3.3	38	0.00	0.00	
Dimethyl sulfate	000077-78-1	2A		3.2	15	0.00	0.00	

Table 10. Category 4 of hazard chemicals potentially discharged into water system (Continued)

Chemical	CAS No.	Hazard	Persistence			Emission		The law related to toxic chemicals control
			BCF		HL (day)	Emission to water body (kg/yr)	Wastewater transfer (kg/yr)	
			PPRS	PBT	PBT			
Vinyl acetate	000108-05-4	2B		3.2	15	0.00	726.40	
Saccharin	000081-07-2	2B		3.2	15	0.00	263.00	
1,4-dioxane	000123-91-1	2B		3.2	15	0.00	0.00	
Hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine	000121-82-4	-		3.2	38	0.00	1.00	
Cartap	015263-53-3	-		3.2	38	0.00	0.00	A ⁶
Paraquat	001910-42-5	-		3.2	38	0.00	0.00	
Phosphorus oxychloride	010025-87-3	-		3.2	15	0.00	1440.00	
Methyl chloride	000074-87-3	-	-	3.2	15	0.00	0.00	
2-ethoxyethanol	000110-80-5	-		3.2	15	0.00	0.00	
2-methoxyethanol	000109-86-4	-		3.2	15	0.00	0.00	
2-methylpropanenitrile	000078-82-0	-		3.2	15	0.00	0.00	
Acetylene	000074-86-2	-		3.2	15	0.00	0.00	
Chloroacetic acid	000079-11-8	-		3.2	15	0.00	0.00	
Diethyl amine	000109-89-7	-		3.2	15	0.00	0.00	
Furfural	000098-01-1	-		3.2	15	0.00	0.00	
Methy t-butyl ether	001634-04-4	-		3.2	15	0.00	0.00	
Phosgene	000075-44-5	-		3.2	15	0.00	0.00	
Thionyl chloride	007719-09-7	-		3.2	15	0.00	0.00	
Chloroethane	000075-00-3	3	-	2.5	15	-	-	
Thiophanate methyl	023564-05-8	-		2.4	60	0.00	0.00	
Ethyl acrylate	000140-88-5	2B		2.1	15	0.00	401.40	
Bis(2-chloroethoxy)methane	000111-91-1		-	2	38	-	-	
2-chloroethylvinyl ether	000110-75-8		-	1.6	15	-	-	
Dichlorvos	000062-73-7	2B		0.45	38	0.00	4.00	A ⁶
Hydrogen fluoride	007664-39-3	-		-	-	0.00	461564.06	
Hydrogen chloride	007647-01-0	-		-	-	0.00	282398.91	
Nitric acid	007697-37-2	-		-	-	0.00	239859.51	
Potassium hydroxide	001310-58-3	-		-	-	0.00	197385.00	
Ammonium bifluoride	001341-49-7	-		-	-	0.00	25439.00	
Sulfur	007704-34-9	-		-	-	0.00	8109.00	Po ⁴
Sodium chlorite	007758-19-2	-		-	-	0.00	390.00	
Bromine	007726-95-6	-		-	-	0.00	0.00	Po ⁴
Fenbutatin oxide	013356-08-6	-		-	-	0.00	0.00	
Fluoroboric acid	016872-11-0	-		-	-	0.00	0.00	
Fluorosilicic acid	016961-83-4	-		-	-	0.00	0.00	
Fuming sulfuric acid	008014-95-7	-		-	-	0.00	0.00	
Hydrogen bromide	010035-10-6	-		-	-	0.00	0.00	
Hydrogen sulfide	007783-06-4	-		-	-	0.00	0.00	
Hydroxylamine	007803-49-8	-		-	-	0.00	0.00	
Sodium fluoride	007681-49-4	-		-	-	0.00	0.00	
Trifluoroborane	007637-07-2	-		-	-	0.00	0.00	
Vanadium and its compounds	007440-62-2	-		-	-	0.00	0.00	
Molybdenum	007439-98-7	-		-	-	-	-	
Titanium	007440-32-6	-		-	-	-	-	

¹ D : Drinking water standard² Pr : Protection substances for human health³ S : Specific toxic substances⁴ Po : Pollutant⁵ T(pro) : Prohibition substances in enforcement decree of the toxic chemicals control act⁶ A(rep) : Repeal substances in enforcement decree of the agrochemicals control act⁷ BCF_{measured}⁸ BCF_{estimated}

용하여 수질유해화학물질 1, 2, 3, 4 순위 그룹을 도출하였다. 현재까지 국내 연구에서 다루었던 대부분의 수질유해화학물질을 종합하여 화학물질별 유해성, 잔류성, 배출량 순으로 순위 그룹을 도출한 결과 대체로 휘발성유기물질과 다방향족탄화수소 그리고 농약류에 대한 관리 시급성이 대두되었다. 또한 기존 수질환경기준의 사람의 건강 보호 항목으로 채택된 화학물질들이 상위 순위 그룹에 포함된 것으로 보아 우선적으로 관리해야 할 물질 중심의 기준 제정이 적절하게 이루어진 것으로 판단된다. 따라서 본 연구 결과를 중심으로 향후 선진국 수준 이상으로 사람의 건강 보호를 위한 수질환경기준의 항목 확대를 위해 시급히 검토되어야 할 수질유해화학물질 순위 그룹을 제안할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서 도출된 수질유해화학물질 그룹 및 순위는 화학물질별 물리화학적 특성, 인체 및 생태영향, 매체별 환경 노출 등 좀 더 세분화된 평가 인자를 적용하여 수정 및 보완될 필요가 있다. 이를 위해서는 화학물질별 실측치 중심의 물리·화학·독성학적 자료 수집 및 다회성 수질 모니터링 자료 구축이 선행되어야 하며, 궁극적으로 시급히 검토되어야 할 대상 화학물질에 대해서는 유해성 평가를 수행하여 사람의 건강보호를 위한 수질환경기준 항목 확대에 반영될 수 있어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 환경부·국립환경과학원 물환경종합평가방법 개발 조사연구(III)-인체 및 수생태계 위해성평가체계 구축 사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

농약공업협회(2000). *Pesticide handbook*.
 농약공업협회(2003). *2003 농촌사랑·우리 농산물 애용 농약사용지침서*, 삼정인쇄공사.

일본환경성(1993). 수질오염에 관한 환경기준에 대하여. <http://www.env.go.jp/kr/standards>.
 환경부(1999). 환경자료집.
 환경부(2001). 폐수배출허용기준 적용대상물질 확대지정을 위한 연구.
 환경부(2002). 특정수질유해물질 확대지정 및 배출허용기준 설정 연구 (1차년도).
 환경부(2003a). 위해우려물질 선정 및 평가 연구.
 환경부(2003b). 특정수질유해물질 확대지정 및 배출허용기준 설정 연구 (2차년도).
 환경부(2004). 특정수질유해물질 확대지정 및 배출허용기준 설정 연구 (3차년도).
 환경부(2005a). 2003년도 화학물질 배출량 조사결과.
 환경부(2005b). 6차년도 내분비계장애물질 조사·연구사업 결과보고.
 환경부(2005c). 특정수질유해물질 확대지정 및 배출허용기준 설정 연구 (4차년도).
 환경부(2006). 환경백서.
 환경부, 국립환경과학원(2006). 물환경종합평가방법 개발 조사연구(III) -인체 및 수생태계 위해성평가 체계 구축.
 CRCnetBase (1999). *Physical-chemical properties and environmental fate handbook*.
 EC (1991). Council Directive of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the member states. 75/440/EEC.
 US EPA (1980a). Ambient water quality criteria for 2,4-chlorophenol. EPA-440-5-80-034.
 US EPA (1980b). Ambient water quality criteria for 2,4-dichlorophenol. EPA-440-5-80-042.
 US EPA (1984). Priority pollutant ranking system.
 US EPA (2002). National recommended water quality criteria: 2002 - Human health criteria calculation matrix. EPA-822-R-02-012.
 US EPA (2004). PBT profiler. <http://www.pbtprofiler.net>.
 US EPA (2006a). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.
 US EPA (2006b). National recommended water quality criteria.