Journal of Korean Society on Water Quality, Vol. 24, No. 5, pp.592-597 (2008)

생태수질기준설정을 위한 대상물질의 생태위해성 평가

안윤주† · 남선화 · 김용화*

건국대학교 환경과학과
*한국화학연구원 안전성평가연구소 환경독성시험연구부

Ecological Risk Assessment of Chemicals of Concern for Initiation of Ecorisk-based Water Quality Standards in Korea

Youn-Joo An† · Sun-Hwa Nam · Yong-Hwa Kim*

Department of Environmental Science, Konkuk University
**Environmental Toxicology division, Korea Institute of Toxicology, KRICT*
(Received 2 July 2008, Accepted 19 August 2008)

Abstract

Current water quality standard (WQS) in Korea is based on the protection of human health, not considering the protection of aquatic organisms. Most of chemicals can be toxic to ecological biota as well as human. Health of aquatic biota is closely related to the human health via food chain, therefore ecological risk based-WQS needs to be developed to protect the aquatic ecosystem. In this study, we selected the 31 chemicals in the Project entitled 'Development of integrated methodology for evaluation of water environment'. The methodology for calculating water quality criteria was derived from the Australian and New Zealand processes for deriving guideline trigger value for aquatic ecosystem. The available ecotoxicity data were collected from US EPA's ECOTOXicology Database (ECOTOX), TOX-2000 Database, European Chemicals Bureau (ECB)'s International Uniform Chemical Information Database (IUCLID) and Environmental Protection Agency (US EPA)'s report 'Ambient Water Quality Criteria (AWQC)'. The aquatic toxicity data for the Korean species were selected for risk assessment to reflect the Korean water environment. The monitoring values were calculated from the water quality monitoring data four main Korean rivers. We suggested the order of priorities of chemicals based on ecological risk assessment. We expect that these results can be useful information for establishing the WQS for the protection of aquatic ecosystem.

keywords : Ecological risk assessment, Ecotoxicity, Water quality criteria, Water quality standard

1. 서 론

수체는 수질유해화학물질의 수용체로서 인체 및 수서생물의 건강성과 밀접한 관련이 있다. 다양한 화학물질이 수체 내로 유입되면 수질이 악화되고, 그에 따라 서식지 환경 및 서식지 내 분포하는 수서생물 등의 생물학적 요소의 기능이 저하되는 상황이 초래된다. 따라서 수체의 건강성을 유지하기 위해서는 이화학적 수질 개선 뿐 아니라 인체 및 수서생물과 같은 수용체 중심의 보건 정책이 종합적으로 이루어져야 한다. 우리나라의 환경정책기본법의 제10조 제1항에 의하면 환경기준은 국민의 건강보호와 쾌적한 환경조성을 목표로 설정하게 되어 있다. 그러나 국내 수질환경기준은 선진국의 수질환경기준 중 대체로 간단하게 설정되어 있는 일본의 수질환경기준을 모방하여 설정한 것이다. 그러다 최근 들어 위해성 중심의 환경 관리의 중요성이 인식됨에 따라 인체 위해성 평가를 기반으로 한 수질환경기준 개정이 단계적으로 반영되고 있다. 그러나 수질환경기준은 인체뿐만 아니라 수생 생물의 접근성이 높은 하천 및 호소 등 전수역을 대상으로 관리하는 법적 규제이므로 인체 위해성뿐 아니라 생태 위해성에 대한 부분도 고려할 필요가 있다. 특히 우리나라와 같이 담수 생물을 섭취하는 국가에서는 생물 농축 또는 생물 축적으로 인해 유해화학물질에 노출된 인체의 2차 독성 영향을 배제할 수 없다. 우리나라와 마찬가지로 담수 생물 섭취가 빈번한 미국 등 선진국에서는 이러한 생태 위해성에 대한 인식이 고조되면서 생태위해성 평가를 통한 유해화학물질 관리를 진행하고 있다(환경부·국립환경과학원, 2006). 특히 미국환경보호청(US Environmental Protection Agency, US EPA)에서는 수질유해화학물질을 관리하기 위해 인체 건강을 위한 국가 권고치 96개뿐 아니라 수서생물 보호를 위한 국가 권고치 24개를 제시하고 있다(US EPA, 2006). 또한 미국 뉴욕주에서는 물의 원수에 관한 건강, 물고기 소비에 관한 건강, 수생태 만성독성, 수생태 급성독성, 야생생물, 심미적 유형에 따라 350여 항목에 대한 수질환경기준을 제시하고 있다(NYDEC, 1999). 따라서 인체 및 수생태계의 종합적인 건강성을 유지

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

하기 위해서는 생태 위해성 기반 수질환경기준 설정을 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 생태 위해성 기반 수질환경기준 설정을 위해 수질유해화학물질에 대한 생태 위해성 평가를 기반으로 우선순위 물질을 선정하였다. 한편 본 연구는 “물환경종합평가방법 개발 조사연구(III)” (환경부, 2006)의 생태위해성 기반 수질환경기준 개정안 설정 연구에 반영되었다.

2. 연구방법

2.1. 대상 화학물질 선정

생태위해성 기반 수질환경기준을 설정하기 위해 수질평가 예비 항목(28개)과 먹는물 감시 항목(15개)을 포함한 총 43개 수질유해화학물질을 대상 화학물질로 선정하였다. 43개 수질유해화학물질은 수질환경기준 개정을 위해 2004년부터 2006년까지 환경부에서 검토된 ‘물환경종합평가방법 개발 조사연구’의 52개 유해화학물질에 포함되어 있다. 이 중 수서생물 보호를 위한 수질 준거치 산출을 위한 독성자료가 불충분한 Fluorine, Total organic carbon, Ammonia nitrogen, Nitrate, Diazinon, Parathion, Fenitrothion을 제외한 20개 수질평가 예비 항목과 Vinyl chloride, Chloroethane, Benzo(a)pyrene, Dichloroacetic acid를 제외한 11개 먹는물 감시 항목을 포함하여 최종 연구대상 화학물질로 총 31개 항목을 선정하였다(Table 1).

2.2. 생태독성자료 수집

상기 선정된 화학물질에 대한 생태독성자료는 US EPA의 ECOTOXicology Database (ECOTOX; http://www.epa.gov/ecotox), 호주/뉴질랜드의 TOX-2000 Database, 유럽연합의 International Uniform Chemical Information Database (IUCLID; http://ecb.jrc.it)와 같은 생태독성 데이터베이스와 US EPA의 Ambient Water Quality Criteria (AWQC) 보고서를 활용하여 수집하였다(ANZECC and ARMCANZ, 2000a; ECB, 2000; US EPA, 1980a, 1980b, 1980c, 1980d, 1980e, 1980f, 1980g, 1980h, 1980i, 1985a, 1985b, 1985c, 1985d, 1985e, 1985f, 1996, 2001a, 2005). US EPA의 ECOTOX는 수서생물, 육상식물, 육상동물에 대한 독성자료인 AQUatic toxicity Information REtrieval (AQUIRE), PHYTOTOX, TERRETOX를 통합한 생태독성 데이터베이스이고, 호주/뉴질랜드의 TOX-2000 Database는 화학물질의 물리・화학・독성학적 특성을 집약한 데이터베이스이다. 유럽연합의 IUCLID는 화학물질의 인체 및 환경 위해성 평가를 위한 기초 자료를 종합한 데이터베이스이며, US EPA의 AWQC는 수체 내 오염물질의 농도에 따른 수서생물의 영향에 관한 독성자료를 바탕으로 준거치(Criteria)를 제시한 정부보고서이다.

2.3. 생태독성자료 중 국내 생물종 선별

상기 수집된 생태독성자료는 먹이사슬을 통한 생물종간 상호관계를 고려하여 국내 실정을 반영할 수 있도록 국내 수계에 서식하는 생물종을 대상으로 한 자료를 사용하였다. 국내 수계에 분포하는 생물종을 선별하기 위해 학술논문(김영길, 1990, 2004; 김은주와 이성규, 2001; 김진화 등, 2004; 박미경 등, 1998; 박용석 등, 2003; 이찬원, 2003) 및 생물 도감(국립환경과학원, 2004; 김익수와 박종영, 2002; 김훈수, 1982; 문교부, 1968; 수자원연구소, 2000; 자연보호중앙협의회, 1996) 등의 참고 문헌을 활용하였으며, 선별이 불분명한 생물종에 대해서는 전문가의 의견을 반영하였다. 즉 국내 수계내 서식 여부가 문헌 상 보고되지 않은 생물종이라 할지라도 국내에 서식하고 있음이 확실한 생물종은 포함하였고, 자생종과 다름없이 국내 수생태계에 안정적으로 정착한 외래종도 포함하였다. 반면 국내 수계 내 서식 여부가 문헌상 보고되었으나 국부적 분포 범위를 나타내는 생물종은 전체 수생태계의 특성을 반영하기에 무리가 있으므로 제외하였다.

2.4. 생태 위해성 평가를 통한 우선순위 물질 선정

대상 화학물질의 우선순위를 선정하기 위해 수서생물 보호를 위한 수질 준거치와 수질 모니터링 값을 활용한 환경부・국립환경과학원(2006)에 근거하여 생태 위해성 평가를 수행하였다. 먼저 대상 화학물질별 생태독성자료의 신뢰도에 따라 호주/뉴질랜드의 고・중간・저 신뢰도 방식을 적용하여 수서생물 보호를 위한 수질 준거치를 산출하였다. 다음으로 대상 화학물질별 수질 모니터링 자료를 분석하여 수질 모니터링 값을 산출하였다. 마지막으로 앞서 산출된 수질 준거치와 모니터링 값과의 비(위해도)를 기준으로 우선순위 물질을 선정하였다.

2.4.1. 수서생물 보호를 위한 수질 준거치 산출 방법

2.4.1.1. 고 신뢰도 (High reliability)

고 신뢰도 방식은 Table 2에서 제시한 최소 4개의 생물분류군(단, 기본적인 영향 계급을 나타낼 수 있도록 어류 1종, 무척추동물 2종, 조류나 수생식물 1종을 포함해야 함)에서 최소 5개의 다른 생물종에 대한 만성 무영향관찰농도

Table 1. List of candidate substances for Korean WQS expansion

Item	Substance
Preliminary item for water quality assessment (20)	Iron, Zinc, Manganese, Trichloroethylene, Tetrachloroethylene, Dichloromethane, 1,1-dichloroethylene, Benzene, Carbon tetrachloride, Phenol, Copper, Selenium, Boron, 1,1,1-trichloroethane, Toluene, Ethylbenzene, Xylenes, 1,2-dibromo-3-chloropropane, 1,2-dichloroethane, Chloroform
Monitoring item for drinking water (11)	Styrene, Chlorophenol, 2,4-dichlorophenol, 2,4,6-trichlorophenol, Pentachlorophenol, Alachlor, Bis(2-ethylhexyl)adipate, Bis(2-ethylhexyl)phthalate, 2,4-dichlorophenoxyacetic acid, Trichloroacetic acid, Antimony

Table 2. Taxonomically different types of organisms

Major subdivisions of organisms	Types of organisms that are considered as being taxonomically different for AF method	Reference
Fish	Fish	ANZECC and ARMCANZ (2000b)
Invertebrates	Crustaceans, insects, molluscs, annelids, echinoderms, rotifers, hydra	
Plants	Green algae, blue algae, re algae, macrophytes	
Others	Blue-green algae (cyanobacteria), amphibians, bacteria, protozoans, coral, fungi and others	

(No Observed Effect Concentration, NOEC) 자료가 있을 경우, 통계 프로그램 BurrliOZ를 실행하여 도출된 종민감분포도(Species Sensitivity Distribution, SSD)의 유해농도(Hazard Concentration, HC)를 만성 준거치로 이용하는 것이다(ANZECC and ARMCANZ, 2000b).

2.4.1.2. 중간 신뢰도 (Moderate reliability)

중간 신뢰도 방식은 Table 2에서 제시한 최소 4개의 생물분류군(단, 기본적인 영향 계급을 나타낼 수 있도록 어류 1종, 무척추동물 2종, 조류나 수생식물 1종을 포함해야 함)에서 최소 5개의 다른 생물종에 대한 급성 반치사(영향)농도[Lethal(Effect) Concentration 50, L(E)C50] 자료가 있을 경우, 통계 프로그램 BurrliOZ를 실행하여 도출된 SSD의 HC를 최종급만성비(Final Acute to Chronic Ratio, FACR)로 나누어 만성 준거치로 이용하는 것이다. 이 때 FACR은 같은 참고문헌에서 나온 급/만성값으로부터 독성물질에 대한 모든 생물종별 급만성비(Acute to Chronic Ratio, ACR)의 기하평균을 의미한다(ANZECC and ARMCANZ, 2000b).

2.4.1.3. 저 신뢰도 (Low reliability)

저 신뢰도 방식은 OECD(1981)가 제시한 MPD(Minimum Premarketing Dataset; 어류 또는 무척추동물 또는 조류)를 충족시키는 독성 자료가 있을 경우, L(E)C50 또는 최저 NOEC 값을 Table 3에서 제시한 평가계수(Assessment Factor, AF)로 나누어 만성 준거치로 이용하는 것이다(ANZECC and ARMCANZ, 2000b).

2.4.2. 수질 모니터링 값 산출 방법

대상 화학물질별 수질 모니터링 값을 산출하기 위해 한강, 낙동강, 금강, 영산강 유역의 수질 모니터링 자료(환경부, 2005)를 활용하였다. 20개 수질평가 예비 항목은 4대강 유역의 113개 지점에 대한 2004년 4회, 2005년 4회 총 8회분 자료를 사용하였고, 11개 먹는물 감시 항목은 4대강 유역의 85개 지점에 대한 2004년 5회, 2005년 4회분 자료를 사용하였다. 한편 모니터링 자료 중 불검출(non-detected, ND) 값은 검출한계(detection limit, DL)의 반값(DL/2)으로 대체하였고(Quanxi Shao, 2000; US EPA, 2001b), 대표값은 전체 시료 측정값의 평균값(mean)으로 산출하였다.

2.4.3. 위해도 결정을 통한 우선순위 물질 선정

대상 화학물질별 우선순위는 수질 준거치와 수질 모니터링 값과의 비(수질 모니터링 값/수질 준거치)인 위해도에 따라 선정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 생태 위해성 평가를 통한 우선순위 물질 선정

대상 화학물질의 우선순위를 선정하기 위해 수서생물 보호를 위한 수질 준거치와 수질 모니터링 값을 활용한 생태위해성 평가를 적용하였다. 먼저 대상 화학물질별 생태독성자료의 신뢰도에 따라 호주/뉴질랜드의 고 · 중간 · 저 신뢰도 방식을 적용하여 수서생물 보호를 위한 수질 준거치를 산출하였다. 그 결과 2개 고 신뢰도 방식 수질 준거치, 10개 중간 신뢰도 방식 수질 준거치, 19개 저 신뢰도 방식 수질 준거치가 산출되었다(Table 4). 대상 화학물질에 대한 생태독성자료는 Boron과 Chloroform을 제외하고 고 신뢰도 방식을 적용하기 위한 만성독성자료가 충분하지 않았기 때문에 대체로 중간 신뢰도 방식이나 저 신뢰도 방식을 적용하여 수질 준거치를 도출할 수밖에 없었다. 다음으로 대상 화학물질별 수질 모니터링 자료를 분석하여 수질 모니터링 값을 산출한 결과 아연의 검출 농도와 검출 빈도가 다른 대상 화학물질에 비해 상당히 높은 것으로 확인되었다(Table 5). 마지막으로 앞서 산출된 수질 준거치와 모니터링 값과의 비(위해도)를 기준으로 1에서 31까지의 우선순위 물질을 선정하였다(Table 6). 생태 위해성 평가 결과 Cu, Fe, Zn가 각각 위해도 601.02, 312.32, 164.34로 위해 우려물질로 평가되었고, 특히 다른 대상 화학물질의 위해도가 0.51 이하인 것에 비교해 볼 때 이 세 가지 물질에 대한 시급한 관리가 필요한 것으로 판단된다.

Table 3. Assessment factors to derive ambient water quality criteria for the protection of aquatic organisms

Available data	Assessment factor	Reference
Acute L(E)C50 or QSAR estimate from a set of data on one or two aquatic species	1000	OECD (1995)
Acute L(E)C50 or QSAR estimate from a set of data at least consisting of algae, crustaceans and fish	100	OECD (1995)
One long-term NOEC (either fish or daphnia)	100	EC (2003)
Two long-term NOECs from species representing two trophic levels (fish and/or daphnia and/or algae)	50	EC (2003)
Long-term NOECs from at least three species (normally fish, daphnia and algae) representing three trophic levels	10	EC (2003)

Table 4. Ambient water quality criteria for the protection of aquatic organisms proposed in this study

Substance	Reliability	Criteria (ug L^{-1})
Iron	Low	0.56
Zinc	Low	0.31
Manganese	Low	90
Trichloroethylene	Moderate	327
Tetrachloroethylene	Moderate	180
Dichloromethane	Low	560
1,1-dichloroethylene	Low	74
Benzene	Moderate	7600
Carbon tetrachloride	Low	1.5
Phenol	Moderate	290
Copper	Low	0.02
Selenium	Low	1.6
Boron	High	240
1,1,1-trichloroethane	Low	150
Toluene	Low	90
Ethylbenzene	Low	10
Xylene	Low	11.7
1,2-dibromo-3-chloropropane	Low	24
1,2-dichloroethane	Low	530
Chloroform	High	1800
Styrene	Low	25
Chlorophenol	Low	2
2,4-dichlorophenol	Moderate	99.72
2,4,6-trichlorophenol	Moderate	29.31
Pentachlorophenol	Moderate	18.34
Alachlor	Moderate	4.83
Bis(2-ethylhexyl)adipate	Low	0.78
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	Moderate	27.23
2,4-dichlorophenoxyacetic acid	Moderate	16.6
Trichloroacetic acid	Low	277
Antimony	Low	34.7

3.2. 현재의 제한점 및 향후 방향 제시

선진국의 수질환경기준을 모방하는 수준에서 벗어나 인체 위해성 평가를 통한 수질환경기준 개정을 시도하는 현 시점에서 생태 위해성 평가를 통한 수질환경기준 설정은 보다 체계적인 기반 형성 후 단계적으로 추진될 필요가 있다. 먼저 생태 위해성 평가에서 가장 중요하게 활용되는 국내종 생태독성자료를 구축해야 한다. 본 연구에서 활용된 생태독성자료는 국외종 생태독성자료의 비중이 높아 국내 실정에 적합한 수질 준거치를 산출하기 위한 국내종 생태독성자료가 매우 부족하였다. 그리하여 수질 준거치를 산출하기 위해 대체로 호주/뉴질랜드의 중간·저 신뢰도 방식을 적용하였고, 이에 대한 불확실성을 고려하기 위해 ACR 또는 AF를 적용할 수밖에 없었다. 따라서 국내 수계에 서식하는 생물종을 이용한 생태독성자료를 지속적으로 축적하여 수질 준거치의 신뢰도를 향상시켜야 한다. 다음으로 국내 수계 내 화학물질의 실정을 파악하기 위해 수질 모니터링 자료를 축적해야 한다. 본 연구에서 활용된 수질 모니터링 자료는 2년 동안 측정된 8~9회분 다회성 자료이기는 하지만, 법적 규제 제정의 기반 자료로서 활용되는 것이므로 지속적인 모니터링 사업을 통해 자료의 모집단을 확대하여야 한다. 마지막으로 생태 위해성 평가 결과를 바탕으로 수질환경기준을 설정하기 위해서는 무엇보다 영향분석을 통해 기준치로 설정 가능한 수치를 제시하여야 한다. 그러나 생태 위해성 평가를 통해 산출된 수질 준거치는 오염물질과 수용체 간의 영향에 관한 과학적 자료를 바탕으로 수생 생물을 보호하는데 안정적인 수치를 제시한 것으로, 기술적·경제적 영향 분석을 통한 국내 실정은 반영하지 않은 것이다. 따라서 수질환경기준으로 설정되기 이전에 선진국의 사례 연구를 통해 적절한 영향 분석 방법을 규명하고, 그에 따른 적합한 관리수치를 제시하여야 한다. 그러므로 신뢰성 높은 국내종 생태독성자료 및 수질 모니터링 자료를 활용하여 생태 위해성 평가를 수행하고, 국내 실정에 적합한 기술적·경제적 영향 분석을 통해 관리수치를 제시한다면 궁극적으로 인체 및 수서생물을 포함한 수용체 중심의 보건 기능이 강화될 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 생태 위해성에 근거한 수질환경기준 설정을 위해 31개 수질유해화학물질을 대상으로 호주/뉴질랜드의 고·중간·저 신뢰도 방식을 적용하여 생태 위해성을 평가하였다. 그 결과 31개 우선순위 물질 중 위해우려가 가장 높은 물질로 Cu가 선정되었고, 위해도가 각각 601.02, 312.32, 164.34인 Cu, Fe, Zn는 대상 화학물질 비해 상당히 위해도가 높게 산정된 것으로 보아 우선순위 관리 물질로서 집중 관리가 필요한 것으로 사료된다. 한편 점진적으로 인체 위해성 평가를 통한 수질환경기준 개정을 시도하는 현 시점에서 생태 위해성 평가를 통한 수질환경기준 설정은 보다 체계적인 기반 형성 후 단계적으로 추진될 필요가 있다. 즉 신뢰성 높은 국내종 생태독성자료 및 수질 모니터링 자료 활용, 기술적·경제적 영향 분석을 통해 관리수치 제시 등의 측면을 보완하면 향후 생태 위해성 기반 수질환경기준을 설정하는데 유용한 자료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

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

참고문헌

국립환경과학원(2004). *팔당호의 식물플랑크톤 사진집*.

김영길(1990). 內水面 가두리 網에 着生하는 총담이끼벌레의 (Bryozoa, *Lophopodella carteri*)의 生態와 驅除에 關한 硏究. *한국어병학회지*, **3**(1), pp. 21-25.

김영길(2004). 아가미지렁이(*Branchiura sowerbyi*)에 기생하는

Table 5. Water quality monitoring values from major rivers in Korea

Substance	Mean (ug L^{-1})	Detection frequency (%)	Site numbers	Detection limit (ug L^{-1})	
Iron	174.90	99.77	113	0.1	
Zinc	50.95	92.21	113	0.1	
Manganese	45.52	93.49	113	0.1	
Trichloroethylene	0.12	8.11	113	0.1	
Tetrachloroethylene	0.07***	4.36	113	0.1	
Dichloromethane	0.65	11.50	113	0.1	
1,1-dichloroethylene	0.05***	0.36	113	0.1	
Benzene	0.07***	6.05	113	0.1	
Carbon tetrachloride	0.06***	1.69	113	0.1	
Phenol	2.59***	4.88	113	5	
Copper	12.02	88.72	113	0.1	
Selenium	0.31	16.98	113	0.1	
Boron	101.76	84.19	113	0.1	
1,1,1-trichloroethane	0.06	2.54	113	0.1	
Toluene	0.28	23.61	113	0.1	
Ethylbenzene	0.16	18.40	113	0.1	
Xylene	0.11	20.94	113	0.1	
1,2-dibromo-3-chloropropane	0.11	0.48	113	0.2	
1,2-dichloroethane	0.11	3.63	113	0.2	
Chloroform	0.49	20.22	113	0.1	
Styrene	0.08	20.51	85	0.01	
Chlorophenol	0.06	40.26	85	0.01	
2,4-dichlorophenol	0.006***	10.00	85	0.01	
2,4,6-trichlorophenol	0.01	29.49	85	0.005	
Pentachlorophenol	0.009***	4.36	85	0.01	
Alachlor	0.03	44.87	85	0.01	
Bis(2-ethylhexyl)adipate	0.03	21.54	85	0.01	
Bis(2-ethylhexyl)phthalate	0.66	36.41	85	0.01	
2,4-dichlorophenoxyacetic acid	0.05	2.82	85	0.1*	0.2**
Trichloroacetic acid	0.68	26.41	85	0.1*	0.2**
Antimony	0.79	56.67	85	0.15*	0.1**

* : Detection limit used in 2004

** : Detection limit used in 2005

*** : This value can be lower than the DL(detection limit) because non-detected values were replaced with the half of DL.

Table 6. The order of priorities of toxic substance based on human health risk assessment

Substance	Criteria (ug L^{-1}) [A]	Monitoring value [B]		Ratio [B/A]	Order
		Mean (ug L^{-1})	Detection frequency (%)		
Iron	0.56	174.90	99.77	312.32	2
Zinc	0.31	50.95	92.21	164.35	3
Manganese	90	45.52	93.49	0.51	4
Trichloroethylene	327	0.12	8.11	0.0004	17
Tetrachloroethylene	180	0.07	4.36	0.0004	16
Dichloromethane	560	0.65	11.50	0.001	13
1,1-dichloroethylene	74	0.05	0.36	0.001	14
Benzene	7600	0.07	6.05	0	20
Carbon tetrachloride	1.5	0.06	1.69	0.04	7
Phenol	290	2.59	4.88	0.01	10
Copper	0.02	12.02	88.72	601.00	1
Selenium	1.6	0.31	16.98	0.19	6
Boron	240	101.76	84.19	0.42	5
1,1,1-trichloroethane	150	0.06	2.54	0.0004	15
Toluene	90	0.28	23.61	0.003	12
Ethylbenzene	10	0.16	18.40	0.02	8
Xylene	11.7	0.11	20.94	0.01	9
1,2-dibromo-3-chloropropane	24	0.11	0.48	0.005	11
1,2-dichloroethane	530	0.11	3.63	0.0002	19
Chloroform	1800	0.49	20.22	0.0003	18

포자충류에 관한 연구 Ⅱ. *한국어병학회지*, **17**(3), pp. 207-211.
김은주, 이성규(2001). 환경독성 평가를 위한 좀개구리밥(*Lemna gibba*)의 성장저해시험법에 관한 연구. *한국환경독성학회지*, **16**(4), pp. 205-209.
김익수, 박종영(2002). *원색도감 한국의 민물고기*, 교학사.
김진화, 안용준, 김병석, 박연기, 신진섭(2004). 한국산 물벼룩의 먹이조건별 번식영향. *농약과학회지*, **8**(2), pp. 117-128.
김훈수(1982). *동물분류학*, 집현사.
문교부(1968). *한국 동식물 도감 제 9편 식물편(담수조류)*, 삼화출판사.
박미경, 이석준, 서현효, 김희식, 김영호, 윤병대, 오희목(1998). *Scenedesmus quadricauda*를 이용한 축산폐수의 고도처리. *한국조류학회지*, **13**(2), pp. 227-233.
박용석, 이상구, 이승진, 문성경, 최은주, 이기태(2003). Glucose-6-phosphate dehydrogenase를 이용한 *Moina macrocopa*의 중금속 독성 검정. *한국환경독성학회지*, **18**(4), pp. 305-310.
수자원연구소(2000). *댐저수지의 조류 사진집*, 아카데미서적.
이찬원(2003). *환경 독성도 평가를 위한 국내 물벼룩종의 배양 방법 및 이 물벼룩종을 이용한 환경 독성도 측정 방법*.
자연보호중앙협의회(1996). *한국생물종목록*.
환경부(2005). *2003년도 화학물질 배출량 조사결과*.
환경부(2006). *수질유해물질 통합독성 관리제도 도입을 위한 시범사업*.
환경부, 국립환경과학원(2006). *물환경종합평가방법 개발 조사연구(Ⅲ) -인체 및 수생태계 위해성평가 체계 구축*.
ANZECC and ARMCANZ (2000a). TOX-2000 Database.
ANZECC and ARMCANZ (2000b). Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality.
EC (2003). Technical Guidance Document on Risk Assessment.
ECB (2000). IUCLID. http://ecb.jrc.it.
NYDEC (1999). Surface Water and Groundwater Quality Standards and Groundwater Effluent Limitations 6 NYCRR Part 703.
OECD (1981). Guideline for Testing of Chemicals. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
OECD (1995). Guidance Document for Aquatic Effects Assessment.
Quanxi Shao (2000). Estimation for hazardous concentrations based on NOEC toxicity data: an alternative approach. *Environmetrics*, **11**(5), pp. 583-595.
US EPA (1980a). *Ambient Water Quality Criteria for 2.4-Dichlorophenol*. EPA-440/5-80-042.
US EPA (1980b). *Ambient Water Quality Criteria for Antimony*. EPA-440/5-80-020.
US EPA (1980c). *Ambient Water Quality Criteria for Arsenic*. EPA-440/5-80-021.
US EPA (1980d). *Ambient Water Quality Criteria for Cadmium*. EPA-440/5-80-025.
US EPA (1980e). *Ambient Water Quality Criteria for Chromium*. EPA-440/5-80-035.
US EPA (1980f). *Ambient Water Quality Criteria for Copper*. EPA-440/5-80-036.
US EPA (1980g). *Ambient Water Quality Criteria for Cyanides*. EPA-440/5-80-037.
US EPA (1980h). *Ambient Water Quality Criteria for Lead*. EPA-440/5-80-057.
US EPA (1980i). *Ambient Water Quality Criteria for Polychlorinated Biphenyls*. EPA-440/5-80-068.
US EPA (1985a). *Ambient Water Quality Criteria for Arsenic - 1984*. EPA-440/5-840-033.
US EPA (1985b). *Ambient Water Quality Criteria for Cadmium - 1984*. EPA-440/5-84-032.
US EPA (1985c). *Ambient Water Quality Criteria for Chromium - 1984*. EPA-440/5-84-029.
US EPA (1985d). *Ambient Water Quality Criteria for Copper - 1984*. EPA-440/5-84-031.
US EPA (1985e). *Ambient Water Quality Criteria for Cyanides - 1984*. EPA-440/5-84-028.
US EPA (1985f). *Ambient Water Quality Criteria for Mercury - 1984*. EPA-440/5-84-026.
US EPA (1996). *1995 Updates : Water Quality Criteria Documents for the Protection of Aquatic Life in Ambient Water*. EPA-820-B-96-001.
US EPA (2001a). *2001 Update of Ambient Water Quality Criteria for Cadmium*. EPA-822-R-01-001.
US EPA (2001b). Robust Estimation of Mean and Variance Using Environmental Data Sets with Below Detection Limit Observations.
US EPA (2005). ECOTOX. http://www.epa.gov/ecotox.
US EPA (2006). National recommended water quality criteria.