

수생태계 독성평가에 적용 가능한 국내 시험종 선정

안 윤 주* · 남 선 화 · 이 재 관¹(건국대학교 환경과학과, ¹국립환경과학원 수질환경과)

Domestic Test Species for Aquatic Toxicity Assessment in Korea. An, Youn-Joo*, Sun-Hwa Nam and Jae-Kwan Lee¹ (Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea; ¹Water Quality Division, National Institute of Environmental Research, Korea)

The use of aquatic species in ecotoxicity research is well established in developed countries. However, there are limitations of using the species that are not native to Korea, and the toxicity data produced by domestic test species are significantly needed to reflect the domestic situation. The purpose of this study was to investigate the domestic species that can be applicable for the aquatic toxicity assessment in Korea. Aquatic toxicity data were collected in the framework of the project 'Development of integrated methodology for evaluation of water environment' to obtain a range of test species used for aquatic toxicity assessment internationally. The test species collected were evaluated in terms of domestic distribution based on the reliable references and the advices of experts. We figured out the 71 test species native to Korea. They included 7 fish, 26 invertebrates (2 annelids, 2 bryozoa, 13 crustaceans, 3 insects, 4 mollusc, 1 platyhelminth, and 1 protozoan), 26 plants (9 diatoms, 14 green algae, 3 macrophytes), and 12 others (2 amphibians, 3 bacteria, 6 blue-green algae, and 1 fungus). The result of this study should be a very useful information for ecotoxicity assessment in aquatic ecosystem, especially in choosing the test species applicable for the ecotoxicity in Korea hereafter.

Key words : test species, domestic species, aquatic toxicity, ecotoxicity

서 론

현재 전 세계적으로 유통되고 있는 화학물질의 수는 10만여 종에 이르며 매년 2천여 종의 새로운 화학물질이 개발되어 상품화되고 있다. 우리나라는 현재 4만여 종의 화학물질이 사용되고 있고, 매년 400여 종의 새로운 화학물질이 국내 시장에 진입하여 화학물질 유통량도 증가하고 있다(환경부, 2006). 국내에서 화학물질은 그 이용 목적 및 성상에 따라 7개 부처의 13개 법률에 의하여 관리되고 있으나 이는 전체 화학물질의 일부에 불과한

실정이다(환경부, 2006). 이와 같은 화학물질의 유통량 증가로 인한 배출량 증가로 생태계에서 검출되고 있는 화학물질은 날이 갈수록 점차 다양화되고 있는 추세이다. 또한 생활하수나 공장폐수에 포함되어 공공수역으로 유입된 화학물질은 수생태계를 위협하고, 먹이사슬경로를 통해 결국은 인체건강에 영향을 미치게 된다.

환경매체내의 오염물질을 측정하기 위한 기존의 물리 화학적 분석방법은 물질의 개별농도를 측정하여 농도 수준만 알 수 있을 뿐, 생물체에 미치는 생태독성(Ecotoxicity)이나 위해성(Risk)에 대한 정보를 전혀 제공하지 못한다. 그러나 결국 중요한 것은 해당 오염물질이 생물체

* Corresponding author: Tel: 02) 2049-6090, Fax: 02) 2201-6295, E-mail: anyjoo@konkuk.ac.kr

에 미치는 유해 수준을 파악하여 위해성에 근거한 수질 관리대책을 수립하는 것이며, 이러한 정책은 우리나라도 경제협력개발기구 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 가입국으로서 국제적 관리 추세에 합류할 수 있는 방안이 될 것이다. 이미 미국, 캐나다, 독일 등의 선진국에서는 화학물질의 수계로의 유입으로 인한 잠재적 위험성을 인식하고 수서생물에 대한 독성시험 결과를 도입하고 있다(예: 독일 수질관리법(Wastewater Ordinance)의 물벼룩 검정)(환경부, 2006).

우리나라는 최근 들어 생태독성과 위해성에 대한 인식이 높아지고 있으며, 이화학적인 분석과 더불어 생물학적 독성평가를 제도적으로 반영하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 그러나 생태독성 평가에 사용되는 대부분의 시험종들이 국제기구나 외국에서 추천된 종들이며, 국내 생물종을 이용한 연구는 매우 제한적이다. 따라서 축적되어진 생태독성 자료가 부족하고 생태독성 시험법도 정립되어 있지 않기 때문에 외국의 생물종(예: *Daphnia magna*)을 이용한 생태독성 자료를 참고할 수밖에 없는 실정이다. 외국에서 생산된 독성자료들은 주로 OECD, 미국 환경보호청(U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA), 미국표준시험협회(American Society for Testing and Materials, ASTM) 등의 표준 시험법에 따라 진행된 실험 결과이기 때문에 시험종의 서식지가 달라도 독성 결과에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다. 그러나 특정 국가의 수생태계 관리를 위한 독성실험은 먹이사슬과 연관된 다른 생물종간의 상호관계도 고려할 수 있도록(박 등, 2003) 그 나라에 서식하고 있는 생물종을 대상으로 할 필요가 있다. 그 이유는 국제적으로 실험에 용이한 생물종이라 하더라도 국내 풍토와 자연 생태계에 맞지 않고, 수입으로 인한 경제적 비용 부담이 생기며, 예기치 않은 경로로 국내 자연환경에 유출될 경우 생태계 교란을 일으킬 가능성도 있기 때문이다(이, 2003).

본 연구의 목적은 수생태계 독성 평가에 사용되고 있

는 다양한 생물종 중에서 국내에 서식하고 있는 생물종을 파악함으로써, 향후 국내 생태독성 평가에 필요한 기반자료를 제시하는 것이다. 현재 국내 서식 여부에 대한 논란이 있는 생물종은 문헌연구와 전문가 자문에 의해 확인하였고, 국내 서식종이라 할지라도 독성 시험종으로서의 적합성 여부를 합리적으로 평가하였다.

연구 방법

1. 대상 화학물질 선정

생태독성 시험종 수집을 위해 선정된 대상 화학물질은 총 41개 항목의 수질유해화학물질이다. 이 물질들은 2005년 환경부에서 수행한 ‘물환경종합평가방법 개발 조사연구(III)’의 수질유해화학물질 52개 항목에 포함되어 있다. 대상 화학물질로는 사람의 건강보호 9개 항목과 수질평가 예비 28개 항목, 그리고 먹는물 감시 15개 항목이 포함된다. 이 중에서 수서독성자료가 전문한 유기인화합물(Organophosphorus compound)을 제외한 사람의 건강보호 8개 항목과 역시 수서독성자료가 거의 없는 불소(Fluorine, F), 총유기탄소(Total organic carbon, TOC), 암모니아성질소(NH₃-N), 질산성질소(NO₃-N), Diazinon, Parathion, Fenitrothion, Carbaryl을 제외한 수질평가 예비 20개 항목, 그리고 수서독성자료가 존재하지 않는 Chloroethane, Dichloroacetic acid를 제외한 먹는물 감시 13개 항목을 최종적인 연구대상 화학물질로 선정하였다(Table 1).

2. 생태독성 시험종 수집

위에서 선정된 화학물질을 대상으로 수행된 생태독성 시험종은 국제적으로 신뢰성이 높은 생태독성 데이터베이스와 보고서를 통해 수집되었다. U.S. EPA의 Ambient

Table 1. List of the toxic substance.

Item	Substance
Protection item for human health (8)	Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chromium (VI) (Cr ⁶⁺), Cyanide (CN), Lead (Pb), Mercury (Hg), ABS, Polychlorinated biphenyls (PCBs)
Preliminary item for water quality assessment (20)	Iron (Fe), Zinc (Zn), Manganese (Mn), Trichloroethylene (TCE), Tetrachloroethylene (PCE), Dichloromethane (DCM), 1, 1-dichloroethylene (1, 1-DCE), Benzene, Carbon tetrachloride, Phenol, Copper (Cu), Selenium (Se), Boron (B), 1, 1, 1-trichloroethane, Toluene, Ethylbenzene, Xylenes, 1, 2-dibromo-3-chloropropane (DBCP), 1, 2-dichloroethane, Chloroform
Monitoring item for drinking water (13)	Vinyl chloride, Styrene, Chlorophenol, 2, 4-dichlorophenol, 2, 4, 6-trichlorophenol, Pentachlorophenol (PCP), Alachlor, Bis (2-ethylhexyl) adipate (DEHA), Bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), Benzo(a)pyrene (BaP), 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid (2, 4-D), Trichloroacetic acid, Antimony (Sb)

Water Quality Criteria (AWQC), U.S. EPA의 ECO-TOXicology Database (ECOTOX; <http://www.epa.gov/ecotox>), 호주/뉴질랜드의 TOX-2000 Database, 유럽연합의 International Uniform Chemical Information Database (IUCLID; <http://ecb.jrc.it>)가 연구에 활용되었다. U.S. EPA의 AWQC는 수체에 있는 오염물질의 농도에 따른 수용체의 유해 영향에 관한 실험 자료를 바탕으로, 적합한 수질을 유지하기 위한 오염물질의 준거치(Criteria)를 제시한 정부보고서이다. U.S. EPA의 ECOTOX는 수생생물 독성자료인 AQUatic toxicity Information REtrieval (AQUIRE), 육상식물 독성자료인 PHYTO-TOX, 육상동물 독성자료인 TERRETOX를 통합한 생태독성 데이터베이스이다. 호주/뉴질랜드의 TOX-2000 Database는 Trigger value (TV)를 도출하기 위해 화학물질의 물리·화학·독성학적 특성을 통합해 놓은 시스템이며, 유럽연합의 IUCLID는 인체 및 환경에 대한 화학물질의 위해성 평가를 위한 기초 자료가 집약되어 있는 데이터베이스이다.

3. 국내 시험종 선별 과정

국내 생태독성 평가에 적용 가능한 시험종을 파악하기 위해 일차적으로 학술논문 및 생물 도감 등의 참고문헌을 통해 국내에 서식하고 있다고 보고된 생물종을 선별하였다. 일차적으로 선별된 생물종을 대상으로 분야별 전문가의 자문을 통하여 구별이 모호한 종들을 확인하였다. 그 결과 국내 서식 여부가 보고된 자료는 존재하지 않지만, 국내에 서식하고 있음이 확실한 생물종을 추가시키고, 또한 외국에서 도입되었지만 국내 생태계에 안정적으로 정착하여 자생종과 다름없는 외래종은 추가시켰다. 한편 국내 서식 여부가 보고되었으나 분포 범위가 매우 제한적이므로(예: 우포늪에만 서식 등) 국내종의 특성을 반영하기에 무리가 있다고 판단되는 생물종은 국내 생태독성 시험종으로 제안하기에 적합하지 못한 것으로 판단하여 제외시켰다.

결과 및 고찰

1. 국제적으로 이용되고 있는 생태독성 시험종

대상 화학물질 41개 항목에 대한 생태독성 시험종으로는 총 265종이 수집되었다. 생물 분류군별로 살펴보면, 어류군(Fish) 89종, 무척추동물군(Invertebrates) 125종, 식물군(Plants) 27종, 기타군 24종이다. 어류군은 어류 89

종으로 Table 2에 제시되어 있다. 무척추동물군은 환형동물(Annelids) 15종, 태형동물(Bryozoa) 3종, 갑각류(Crustaceans) 38종, 곤충류(Insects) 27종, 연체동물(Mollusc) 34종, 편형동물(Platyhelminthes) 4종, 원생동물(Protozoa) 2종, 윤형동물(Rotifera) 2종으로 Table 3에 정리하였다. 식물군은 규조류(Diatoms) 9종, 녹조류(Green algae) 15종, 대형수생식물(Macrophytes) 3종이며(Table 4), 기타군은 양서류(Amphibians) 12종, 세균류(Bacteria) 3종, 남조류(Blue-green algae) 7종, 균류(Fungi) 2종이다(Table 5).

2. 잠정적인 국내 시험종

전체 265종의 생태독성 시험종 중에서 국내 생태 독성 평가에 적용 가능한 시험종은 총 70종인 것으로 파악되었다. 생물 분류군별로 살펴보면, 어류군 7종(Fish), 무척추동물군(Invertebrates) 25종, 식물군(Plants) 26종, 기타군 12종으로 Table 6에 제시되어 있다.

어류군의 경우, 잉어목(Cypriniformes) 잉어과(Cyprinidae)에 속하는 Crucian carp (*Carassius auratus*)는 우리나라 담수역의 거의 전역에 서식하고 있으며, 잉어목(Cypriniformes) 잉어과(Cyprinidae)에 속하는 Common carp (*Cyprinus carpio*)는 우리나라 하천, 댐 및 저수지 등의 담수 전역에 분포한다. 또한 큰가시고기목(Gasterosteiformes) 큰가시고기과(Gasterosteidae)에 속하는 Three spine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*)은 우리나라 전 연안으로 유입되는 하천에 서식하고 있다. 한편 농어목(Perciformes) 검정우럭과(Centrarchidae)에 속하는 Blue gill (*Lepomis macrochirus*)은 외래종이나 1969년 우리나라에 도입되어 한강의 팔당댐 부근에 방류된 후 10여 년이 지나면서 국내 하천에 성공적으로 정착하여 팔당댐, 대청댐 및 안동댐 등에서 우점종으로 출현하는 종이다. 농어목(Perciformes) 검정우럭과(Centrarchidae)에 속하는 Large mouth bass (*Micropterus salmoides*) 역시 1973년 우리나라에 도입되어 10여 년이 지나고 동안 국내 하천에 정착하여 한강, 낙동강, 금강 및 섬진강 수계의 댐에서 우점종으로 출현하는 외래종이다. 잉어목(Cypriniformes) 미꾸리과(Cobitidae)에 속하는 Oriental weatherfish (*Misgurnus anguillicaudatus*)는 우리나라의 전 담수역에서 출현하는 종이고, 동갈치목(Beloniformes) 송사리과(Adrianichthyidae)에 속하는 Japanese medaka (*Oryzias latipes*)는 우리나라 전 연안으로 흐르는 하천 중·하류 및 서·남해 도서 지방의 담수역에 서식하는 종이다. 이와 같은 7종의 어류는 주로

Table 2. List of the fish for aquatic toxicity assessment.

No.	Species	
	Scientific name	Common name
1	<i>Ameiurus melas</i>	Black bullhead
2	<i>Anguilla rostrata</i>	American eel
3	<i>Aphyosemion gardneri</i>	Blue lyretail or toothed carp
4	<i>Barbus gonionotus</i>	Silver barb
5	<i>Barbus javanicus</i>	Java barb
6	<i>Barbus sophore</i>	Dotted barb or two spot barb
7	<i>Barbus ticto</i>	Two spotted or tic tac toe barb
8	<i>Brachydanio rerio</i>	Zebra danio or zebrafish
9	<i>Carassius auratus</i>	Crucian carp
10	<i>Catla catla</i>	Catla
11	<i>Catostomus catostomus</i>	Longnose sucker
12	<i>Catostomus commersoni</i>	White sucker
13	<i>Channa punctata</i>	Snake-head catfish
14	<i>Cichlasoma bimaculatum</i>	Black acara
15	<i>Cirrhinus mrigala</i>	Carp or hawk fish
16	<i>Clarias batrachus</i>	Walking catfish
17	<i>Colisa fasciata</i>	Giant gourami
18	<i>Coregonus hoyi</i>	Bloater
19	<i>Cyprinus carpio</i>	Carp
20	<i>Esox lucius</i>	Northern pike
21	<i>Faxonella clypeatus</i>	Crayfish
22	<i>Fundulus diaphanus</i>	Banded killifish
23	<i>Gambusia affinis</i>	Mosquitofish
24	<i>Gambusia holbrooki</i>	Eastern mosquitofish
25	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Three spine stickleback
26	<i>Gila elegans</i>	Bonytail
27	<i>Gymnocorymbus ternetzi</i>	Black tetra or blackamoor
28	<i>Heteropneustes fossilis</i>	Indian catfish
29	<i>Ictalurus punctatus</i>	Channel catfish
30	<i>Jordanella floridae</i>	Flagfish
31	<i>Labeo bata</i>	Fish
32	<i>Labeo calbasu</i>	Carp
33	<i>Labeo rohita</i>	Rohu
34	<i>Lepidomeda vittata</i>	Little colorado spinedace
35	<i>Lepomis cyanellus</i>	Green sunfish
36	<i>Lepomis gibbosus</i>	Pumpkinseed
37	<i>Lepomis macrochirus</i>	Blue gill
38	<i>Lepomis microlophus</i>	Redear sunfish
39	<i>Leuciscus idus</i>	Ide
40	<i>Luxilus cornutus</i>	Common shiner
41	<i>Micropterus dolomieu</i>	Smallmouth bass
42	<i>Micropterus salmoides</i>	Large mouth bass
43	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Oriental weatherfish
44	<i>Morone americana</i>	White perch
45	<i>Morone saxatilis</i>	Striped bass
46	<i>Mystus vittatus</i>	Striped catfish
47	<i>Notemigonus crysoleucas</i>	Golden shiner
48	<i>Notopterus notopterus</i>	Asiatic knifefish or bronze featherback
49	<i>Notropis atherinoides</i>	Emerald shiner

Table 2. Continued.

No.	Species	
	Scientific name	Common name
50	<i>Oncorhynchus clarki</i>	Cutthroat trout
51	<i>Oncorhynchus gorbusha</i>	Sakhalin salmon
52	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	Coho salmon
53	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Rainbow trout
54	<i>Oncorhynchus nerka</i>	Sockeye salmon
55	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	Chinook salmon
56	<i>Orconectes imosus</i>	Crayfish
57	<i>Orconectes immunis</i>	Crayfish
58	<i>Orconectes nais</i>	Crayfish
59	<i>Orconectes virilis</i>	Crayfish
60	<i>Oreochromis aurea</i>	Blue tilapia
61	<i>Oreochromis mossambica</i>	Tilapia
62	<i>Oryzias latipes</i>	Japanese medaka
63	<i>Perca flavescens</i>	Yellow perch
64	<i>Perca fluviatilis</i>	Perch
65	<i>Petromyzon marinus</i>	Sea lamprey
66	<i>Pimephales promelas</i>	Fathead minnow
67	<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy
68	<i>Pomoxis nigromaculatus</i>	Black crappie
69	<i>Procambarus clarkii</i>	Crayfish
70	<i>Procambarus</i> sp.	Crayfish
71	<i>Ptychocheilus lucius</i>	Colorado squawfish
72	<i>Ptychocheilus oregonensis</i>	Northern squawfish
73	<i>Rasbora heteromorpha</i>	Harlequin fish, red rasbora
74	<i>Rasbora</i> sp.	Harlequin fish
75	<i>Rhinichthys atratulus</i>	Blacknose dace
76	<i>Rutilus rutilus</i>	Roach
77	<i>Salmo gairdneri</i>	Rainbow trout or donaldson trout
78	<i>Salmo salar</i>	Atlantic salmon
79	<i>Salmo trutta</i>	Brown trout
80	<i>Salvelinus alpinus</i>	Arctic char
81	<i>Salvelinus confluentus</i>	Bull trout
82	<i>Salvelinus fontinalis</i>	Brook trout
83	<i>Salvelinus namaycush</i>	Lake trout, siscowet
84	<i>Tilapia melanopleura</i>	Red breasted bream
85	<i>Tilapia mossambica</i>	Mozambique tilapia
86	<i>Tilapia nilotica</i>	Nile tilapia
87	<i>Tilapia zillii</i>	Tilapia
88	<i>Trichogaster trichopterus</i>	Blue or 3-spot gourami
89	<i>Xyrauchen texanus</i>	Razorback sucker

※ Domestic test species

치사 독성 시험 (Mortality Toxicity Test), 생애초기단계 독성 시험 (Early-life Stage Toxicity Test), 생식 독성 시험 (Reproduction Toxicity Test) 등의 3가지 생태 독성 시험에 사용된다. 치사 독성 시험은 독성물질로 인한 어류의 생존 능력에 대한 영향을 평가하기 위한 실험이며,

생애초기단계 독성 시험은 어류의 성장 단계 (예: eggs, embryos, larvae, juvenile stages 등)별 독성물질의 유해 영향을 평가하기 위한 실험이다. 또한 생식 독성 시험은 어류의 부화율, 부화주기 등의 생식 능력에 대한 독성물질의 영향을 평가하기 위한 실험이다.

Table 3. List of the invertebrates for aquatic toxicity assessment.

No.	Scientific name	Common name
Annelids		
1	<i>Aeolosoma headleyi</i>	Oligochaete
2	<i>Branchiura sowerbyi</i>	Tubificid worm
3	<i>Dero</i> sp.	Oligochaete
4	<i>Glossipontia complanta</i>	Leech
5	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	Tubificid worm
6	<i>Lumbriculus variegatus</i>	Oligochaete
7	<i>Nais</i> sp.	Oligochaete
8	<i>Qulstadrillus multiretorus</i>	Tubificid worm
9	<i>Rhyacodrilus montana</i>	Tubificid worm
10	<i>Spirosperma ferox</i>	Tubificid worm
11	<i>Spirosperma nikolskyi</i>	Tubificid worm
12	<i>Stylodrilus heringlanus</i>	Tubificid worm
13	<i>Tubifex rivulorum</i>	Slug worm
14	<i>Tubifex tubifex</i>	Tubificid worm
15	<i>Varichaeta pacifica</i>	Tubificid worm
Bryzoa		
1	<i>Lophopodella carteri</i>	Bryozoan
2	<i>Pectinatella magnifica</i>	Bryozoan
3	<i>Plumatella emarginata</i>	Bryozoan
Crustaceans		
1	<i>Alona affinis</i>	Cladoceran
2	<i>Asellus bicrenata</i>	Isopod
3	<i>Asellus communis</i>	Isopod
4	<i>Bosmina longirostris</i>	Water flea
5	<i>Caridina nilotica</i>	Shrimp
6	<i>Caridina rajadhari</i>	Freshwater prawn
7	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Cladoceran
8	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	Cladoceran
9	<i>Corophium insidiosum</i>	Scud
10	<i>Crangonyx pseudogracilis</i>	Amphipod
11	<i>Cyclops</i> sp.	Cyclopoid copepod
12	<i>Cyclops varicans</i>	Copepod
13	<i>Cyclops viridis</i>	Cyclopoid copepod
14	<i>Daphnia carinata</i>	Water flea
15	<i>Daphnia magna</i>	Cladoceran
16	<i>Daphnia obtusa</i>	Cladoceran
17	<i>Daphnia pulex</i>	Cladoceran
18	<i>Daphnia pulicaria</i>	Cladoceran
19	<i>Daphnia</i> sp.	Water flea
20	<i>Diacyclops thomasi</i>	Calanoid copepod
21	<i>Diaptomus forbesi</i>	Calanoid copepod
22	<i>Diaptomus</i> sp.	Calanoid copepod
23	<i>Gammarus fasciatus</i>	Scud
24	<i>Gammarus fossarum</i>	Scud
25	<i>Gammarus pseudo</i>	Scud
26	<i>Gammarus pseudollmnaeus</i>	Scud
27	<i>Gammarus</i> sp.	Scud

Table 3. Continued.

No.	Species	
	Scientific name	Common name
28	<i>Hyalella azteca</i>	Amphipod
29	<i>Lirceus alabamiae</i>	Isopod
30	<i>Macrobrachium rosenbergii</i>	Giant river prawn
31	<i>Moina dubia</i>	Water flea
32	<i>Moina macrocopa</i>	Cladoceran
33	<i>Palaemonetes kadiakensis</i>	Grass shrimp or Freshwater prawn
34	<i>Simocephalus serrulatus</i>	Cladoceran
35	<i>Simocephalus vetulus</i>	Cladoceran
36	<i>Streptocephalus proboscideus</i>	Fairy shrimp
37	<i>Streptocephalus rubricaudatus</i>	Fairy shrimp
38	<i>Streptocephalus texanus</i>	Fairy shrimp
Insects		
1	<i>Acronurla lycorlas</i>	Stonefly
2	<i>Aedes aegypti</i>	Yellow fever mosquito
3	<i>Asellus communis</i>	Aquatic sowbug
4	<i>Asellus intermedius</i>	Aquatic sowbug
5	<i>Chironomus plumosus</i>	Midge
6	<i>Chironomus riparius</i>	Midge
7	<i>Chironomus</i> sp.	Midge
8	<i>Chironomus tentans</i>	Midge
9	<i>Chironomus thummi</i>	Midge
10	<i>Cloeon dipterum</i>	Ephemeroptera
11	<i>Corixa</i> sp.	Water boatman
12	<i>Culex pipiens</i>	Northern house mosquito
13	<i>Dytiscus</i> sp.	Diving beetle
14	<i>Ephemerella subvaria</i>	Mayfly
15	<i>Ephemerella grandis</i>	Mayfly
16	<i>Ephemerella</i> sp.	Mayfly
17	<i>Hydropsyche betteni</i>	Caddisfly
18	<i>Hydropsyche</i> sp.	Caddisfly
19	<i>Ischnura verticalis</i>	Damselfly
20	<i>Nepa</i> sp.	Water scorpion
21	<i>Paratanytarsus parthenogenetic</i>	Midge
22	<i>Pteronarcella badia</i>	Stonefly
23	<i>Pteronarcys callfornica</i>	Stonefly
24	<i>Pteronarcys dorsata</i>	Stonefly
25	<i>Ranatra</i> sp.	Water scorpion
26	<i>Ste-ma rubrum</i>	Mayfly
27	<i>Tanytarsus dissimilis</i>	Midge
Mollusc		
1	<i>Actinonaia pectorosa</i>	Mussel
2	<i>Amnicola</i> sp.	Spire snail
3	<i>Anculosa</i> sp.	Snail
4	<i>Apiexa hypnorum</i>	Snail
5	<i>Campeloma decisum</i>	Brown mystery snail
6	<i>Cipangopaludina malleata</i>	Mud snail
7	<i>Corbicula fuminea</i>	Bivalvia
8	<i>Dreissena polymorpha</i>	Zebra mussel

Table 3. Continued.

No.	Species	
	Scientific name	Common name
9	<i>Elimia livescens</i>	Liver elimia or river snail
10	<i>Goniobasis livescens</i>	River snail
11	<i>Goniobasis</i> sp.	Snail
12	<i>Helisoma trivolvis</i>	Ramshorn snail
13	<i>Indoplanorbis exustus</i>	Snail
14	<i>Lamellidens marginalis</i>	Mussel
15	<i>Lampsilis straminea claibornensis</i>	Mussel
16	<i>Lampsilis teres</i>	Mussel
17	<i>Lymnaea acuminata</i>	Pond snail
18	<i>Lymnaea emarginata angulata</i>	Pond snail
19	<i>Lymnaea luteola</i>	Pond snail
20	<i>Lymnaea</i> sp.	Pond snail
21	<i>Lymnaea palustris</i>	Snail
22	<i>Nitocris</i> sp.	Snail
23	<i>Perna perna</i>	Brown mussel
24	<i>Physa gyrina</i>	Snail
25	<i>Physa heterostropha</i>	Snail
26	<i>Physa integra</i>	Pouch snail
27	<i>Physella acuta</i>	European physa or bladder snail
28	<i>Physella heterostropha</i>	Pewter physa or snail
29	<i>Pila globosa</i>	Apple snail
30	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	Snail
31	<i>Semisulcospira libertina</i>	Marsh snail
32	<i>Utterbackia imbecilis</i>	Mussel
33	<i>Vilosa vibex</i>	Mussel
34	<i>Viviparus bengalensis</i>	Snail
Platyhelminthes		
1	<i>Dendrocoelum lacteum</i>	Planarian
2	<i>Dugesia japonica</i>	Flatworm
3	<i>Dugesia</i> sp.	Turbellarian or flatworm
4	<i>Dugesia tigrina</i>	Turbellarian or flatworm
Protozoa		
1	<i>Euglena gracilis</i>	Euglena
2	<i>Spirostomum ambiguum</i>	Protozoan
Rotifera		
1	<i>Brachionus calyciflorus</i>	Rotifer
2	<i>Philodina acuticornis</i>	Rotifer

* Domestic test species

무척추동물군에는 환형동물 2종, 태형동물 2종, 갑각류 12종, 곤충류 3종, 연체동물 4종, 편형동물 1종, 원생동물 1종이 포함되며, 이 중 갑각류에 속하는 12종의 물벼룩류는 대체로 치사 독성 시험 (Mortality Toxicity Test), 유영 장애 독성 시험 (Immobilization Toxicity Test), 생식 독성 시험 (Reproduction Toxicity Test) 등의 3가지 생태

독성 시험에 사용된다. 치사 독성 시험은 독성물질로 인한 물벼룩류의 생존 능력에 대한 영향을 측정하기 위한 실험이며, 유영 장애 독성 시험은 물벼룩류의 유영 능력에 대한 독성물질의 영향을 측정하기 위한 실험이다. 또한 생식 독성 시험은 물벼룩류의 생식율, 생식주기 등의 생식 능력에 대한 독성물질의 영향을 측정하기 위한 실험이다.

Table 4. List of the plants for aquatic toxicity assessment.

No.	Species	
	Scientific name	Common name
Diatoms		
1	<i>Gomphonema parvulum</i>	Diatom
2	<i>Navicula fonticola</i>	Diatom
3	<i>Navicula pelliculosa</i>	Diatom
4	<i>Navicula seminulum</i>	Diatom
5	<i>Nitzschia closterium</i>	Diatom
6	<i>Nitzschia fonticola</i>	Diatom
7	<i>Nitzschia palea</i>	Diatom
8	<i>Skeletonema costatum</i>	Diatom
9	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	Diatom
Green algae		
1	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	Green alga
2	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	Green alga
3	<i>Chlamydomonas</i> sp.	Green alga
5	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Green alga
4	<i>Chlorella</i> sp.	Green alga
6	<i>Chlorella vulgaris</i>	Green alga
7	<i>Dunaliella</i> sp.	Green alga
8	<i>Scenedesmus abundans</i>	Green alga
9	<i>Scenedesmus acutus</i>	Green alga
10	<i>Scenedesmus capricornutum</i>	Green alga
11	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Green alga
13	<i>Scenedesmus</i> sp.	Green alga
12	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	Green alga
14	<i>Selenastrum capricornutum</i>	Green alga
15	<i>Selenastrum</i> sp.	Green alga
Macrophytes		
1	<i>Lemna gibba</i>	Inflated duckweed
2	<i>Elodea canadensis</i>	Water weed
3	<i>Lemna minor</i>	Duckweed

* Domestic test species

식물군은 규조류 9종, 녹조류 14종, 대형수생식물 3종이 포함되며, 이 중 녹조류에 속하는 14종의 녹조류는 주로 성장 저해 독성 시험 (Growth Inhibition Toxicity Test)에 사용된다. 성장 저해 독성 시험은 녹조류의 성장에 미치는 독성물질의 영향을 평가하기 위한 실험이다.

기타군은 양서류 2종, 세균류 3종, 남조류 6종, 균류 1종이다.

3. 생태독성 시험종 중 국내 시험종의 비율

대상 화학물질 41개 항목에 대해 수집된 생태독성 시험종은 총 265종이었다. 이 중 국내 생태 독성 평가에 적

Table 5. List of the others for aquatic toxicity assessment.

No.	Species	
	Scientific name	Common name
Amphibians		
1	<i>Ambystoma gracile</i>	Salamande
2	<i>Ambystoma opacum</i>	Marbled salamander
3	<i>Bufo americanus</i>	American toad
4	<i>Bufo melanostictus</i>	Common indian toad
5	<i>Bufo woodhousei fowleri</i>	Fowler's toad
6	<i>Rana breviceps</i>	Frog
7	<i>Rana catesbeiana</i>	Bullfrog
8	<i>Rana cyanophlyctis</i>	Skipping frog
9	<i>Rana hexadactyla</i>	Frog
10	<i>Rana pipiens</i>	Leopard frog
11	<i>Rana temporaria</i>	Frog
12	<i>Xenopus laevis</i>	Clawed toad
Bacteria		
1	<i>Bacillus subtilis</i>	Bacterium
2	<i>Clostridium botulinum</i>	Bacterium
3	<i>Pseudomonas putida</i>	Bacterium
Blue-green algae		
1	<i>Anabaena flos-aquae</i>	Blue-green alga
2	<i>Anacystis aeruginosa</i>	Blue-green alga
3	<i>Anacystis nidulans</i>	Blue-green alga
4	<i>Microcoleus vaginatus</i>	Blue-green alga
5	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Blue-green alga
6	<i>Microcystis</i> sp.	Blue-green alga
7	<i>Oscillatoria agardhii</i>	Blue-green alga
Fungi		
1	<i>Geotrichum candidum</i>	Fungus
2	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Yeast

* Domestic test species

용 가능한 시험종은 총 71종으로 전반적으로 26.8%의 비율을 차지한다 (Table 7). 생물 분류군별로 살펴보면, 어류군은 전체 89종 중 7종으로 7.9%를 차지하고 무척추 동물군은 전체 125종 중 26종으로 20.8%를 차지한다. 식물군은 전체 27종 중 26종으로 96.3%를 차지하고 기타군은 전체 24종 중 12종으로 50.0%를 차지한다. 유해화학물질의 독성 정도에 따른 수생생물의 영향은 생물종마다 매우 상이하기 때문에, 충분한 생태계의 영양단계별 독성 자료가 있을 경우 축적된 생물종의 민감도 차이를 통해 독성물질의 수생생물에 대한 무영향농도를 예측할 수 있다. 그러나 이 결과는 국제적으로 사용되고 있는 시험종 중에서 국내 생태독성 평가에 적용 가능한 생물종의 수와 독성 자료가 비교적 부족하여 생물종의 민감도

Table 6. Korean test species used for aquatic toxicity assessment.

Classification	Species			Reference
	Scientific name	Common name	Korean name	
Fish				
Fish	<i>Carassius auratus</i>	Crucian carp	붕어	김과 박, 2002
	<i>Cyprinus carpio</i>	Common carp	잉어	김과 박, 2002
	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Three spine stickleback	큰가시고기	김과 박, 2002
	<i>Lepomis macrochirus</i>	Blue gill	블루길	김과 박, 2002
	<i>Micropterus salmoides</i>	Large mouth bass	배스	김과 박, 2002
	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	Oriental weatherfish	미꾸리	김과 박, 2002
	<i>Oryzias latipes</i>	Medaka	송사리	김과 박, 2002
Invertebrates				
Annelids	<i>Branchiura sowerbyi</i>	Tubificid worm	아가미지렁이	김, 2004
	<i>Glossiponia complanta</i>	Leech	-	-
Bryozoa	<i>Lophopodella carteri</i>	Bryozoan	총담이끼벌레	김, 1990
	<i>Pectinatella magnifica</i>	Bryozoan	-	-
Crustaceans	<i>Bosmina longirostris</i>	Water flea	긴빨물벼룩	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Cladoceran	니도민코물벼룩	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	Cladoceran	빗가시물벼룩	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Daphnia carinata</i>	Water flea	물벼룩	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Daphnia obtusa</i>	Cladoceran	몽당물벼룩	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Daphnia pulex</i>	Cladoceran	참물벼룩	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Daphnia</i> sp.	Water flea	-	김 등, 2004
	<i>Diacyclops thomasi</i>	Calanoid copepod	맷시검물벼룩	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Hyalella azteca</i>	amphipod	-	-
	<i>Moina dubia</i>	Water flea	-	-
	<i>Moina macrocopa</i>	Cladoceran	모이나물벼룩	김 등, 2004
	<i>Simocephalus serrulatus</i>	Cladoceran	털이마시모물벼룩	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Simocephalus vetulus</i>	Cladoceran	긴눈시모물벼룩	김 등, 2004
	Insects	<i>Chironomus plumosus</i>	Midge	장수갈따구
<i>Cloeon dipterum</i>		Ephemeroptera	쌍날개 꼬마하루살이	-
<i>Culex pipiens</i>		Northern house mosquito	빨간집모기	자연보호중앙협의회, 1996
Mollusc	<i>Corbicula fumeina</i>	Bivalvia	-	-
	<i>Indoplanorbis exustus</i>	Snail	-	-
	<i>Physella acuta</i>	Bladder snail	원돌이물달팽이	-
	<i>Semisulcospira libertina</i>	Marsh snail	다슬기	자연보호중앙협의회, 1996
Platyhelminthes	<i>Dugesia japonica</i>	Flatworm	플라나리아	-
Protozoa	<i>Euglena gracilis</i>	Euglena	-	-
Plants				
Diatoms	<i>Gomphonema parvulum</i>	Diatom	쪽배돌말	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Navicula fonticola</i>	Diatom	쪽배돌말	-
	<i>Navicula pelliculosa</i>	Diatom	쪽배돌말	-
	<i>Navicula seminulum</i>	Diatom	등침돌말	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Nitzschia closterium</i>	Diatom	등침돌말	문교부, 1968
	<i>Nitzschia fonticola</i>	Diatom	등침돌말	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Nitzschia palea</i>	Diatom	등침돌말	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Skeletonema costatum</i>	Diatom	끈원반돌말	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	Diatom	끈원반돌말	수자원연구소, 2000
	Green algae	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	Green alga	셀레나스트롭
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>		Green alga	-	-
<i>Chlamydomonas</i> sp.		Green alga	-	-
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>		Green alga	알주머니말	-
<i>Chlorella</i> sp.		Green alga	알주머니말	-

Table 6. Continued.

Classification	Species			Reference
	Scientific name	Common name	Korean name	
	<i>Chlorella vulgaris</i>	Green alga	알주머니말	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Dunaliella</i> sp.	Green alga	-	-
	<i>Scenedesmus abundans</i>	Green alga	코엘라스트롬	자연보호중앙협의회, 1996
	<i>Scenedesmus acutus</i>	Green alga	코엘라스트롬	국립환경과학원, 2004
	<i>Scenedesmus capricornutum</i>	Green alga	코엘라스트롬	-
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Green alga	코엘라스트롬	박 등, 1998
	<i>Scenedesmus</i> sp.	Green alga	코엘라스트롬	-
	<i>Selenastrum capricornutum</i>	Green alga	셀레나스트롬	-
	<i>Selenastrum</i> sp.	Green alga	셀레나스트롬	-
Macrophytes	<i>Elodea canadensis</i>	Water weed	좁개구리밥	-
	<i>Lemna gibba</i>	Inflated duckweed	-	-
	<i>Lemna minor</i>	Duckweed	좁개구리밥	김과 이, 2001
Others				
Amphibians	<i>Rana catesbeiana</i>	Bullfrog	황소개구리	김, 1982
	<i>Rana temporaria</i>	Frog	북방산개구리	자연보호중앙협의회, 1996
Bacteria	<i>Bacillus subtilis</i>	Bacterium	-	-
	<i>Clostridium botulinum</i>	Bacterium	-	-
	<i>Pseudomonas putida</i>	Bacterium	-	-
Blue-green algae	<i>Anabaena flosaquae</i>	Blue-green alga	염주말	문교부, 1968
	<i>Anacystis aeruginosa</i>	Blue-green alga	소구체	문교부, 1968
	<i>Microcoleus vaginatus</i>	Blue-green alga	흔들말	문교부, 1968
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Blue-green alga	흔들말	-
	<i>Microcystis</i> sp.	Blue-green alga	흔들말	국립환경과학원, 2004
	<i>Oscillatoria agardhii</i>	Blue-green alga	흔들말	문교부, 1968
Fungi	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Yeast	-	-

Table 7. The percentage of domestic test species.

Classification	Number of test species	Number of domestic test species	Domestic test species to test species ratio (%)
Fish	89	7	7.9
Fish	89	7	
Invertebrates	125	26	20.8
Annelids	15	2	
Bryozoa	3	2	
Crustaceans	38	13	
Insects	27	3	
Mollusc	34	4	
Platyhelminthes	4	1	
Protozoa	2	1	
Rotifera	2	0	
Plants	27	26	96.3
Diatoms	9	9	
Green algae	15	14	
Macrophytes	3	3	
Others	24	12	50.0
Amphibians	12	2	
Bacteria	3	3	
Blue-green algae	7	6	
Fungi	2	1	
Total	265	71	26.8

차이를 파악하는데 한계가 있음을 시사한다. 따라서 국내 종 중에서 독성 평가에 사용할 수 있는 시험종들이 지속적으로 개발되어 우리나라 실정에 적합한 생태독성 평가가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 국제적으로 이용되고 있는 생태독성 시험종 중에서, 국내 생태독성 평가에 적용 가능한 시험종을 파악해보았다. 대상 화학물질 41개 항목에 대해 수집된 생태독성 시험종은 총 265종으로, 이 중 국내 생태독성 평가에 적용 가능한 시험종은 총 71종으로 분류되었다. 생물 분류군별로 살펴보면, 어류 7종, 무척추동물군 26종 중 환형동물 2종, 태형동물 2종, 갑각류 13종, 곤충류 3종, 연체동물 4종, 편형동물 1종, 원생동물 1종, 식물군 26종 중 규조류 9종, 녹조류 14종, 대형수생식물 3종, 기타군 12종 중 양서류 2종, 세균류 3종, 남조류 6종, 균류 1종이다. 생태독성 시험종 중 국내 시험종의 비율을 살펴보면, 26.8%로 국내 생태독성 평가에 적용 가능한 시험종이 그리 넉넉하지 않은 실정임을 알 수 있다. 따라서 국내 생태독성 평가에 적용 가능한 국내 시험종을 개발하고 더 나아가 국내종을 이용한 생태독성 시험법을 정립함으로써 국내 생태독성 평가를 위한 독성자료 구축 연구가 장기적으로 추진되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 환경부·국립환경과학원 물환경종합평가 개발 조사연구 사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다. 자문을 해주신 김용화 박사님(안전성평가연구소), 안광국 교수님(충남대), 원두희 박사님(두희자연환경연구소), 황순진 교수님(건국대)께 감사의 뜻을 포함합니다.

인 용 문 헌

국립환경과학원. 2004. 팔당호의 식물플랑크톤 사진집.
 김영길. 1990. 丙水面 가두리 網에 着生하는 총담이끼벌레의 (*Bryozoa, Lophopodella carteri*)의 生態와 驅除에 關한 研究. 한국어병학회지 3: 21-25.
 김영길. 2004. 아가미지렁이 (*Branchiura sowerbyi*)에 기생하는 포자충류에 관한 연구 II. 한국어병학회지 17: 207-211.
 김은주, 이성규. 2001. 환경독성 평가를 위한 좀개구리밥 (*Lem-*

na gibba)의 성장저해시험법에 관한 연구. 한국환경독성학회지 16: 205-209.

- 김익수, 박종영. 2002. 원색도감 한국의 민물고기. 교학사.
 김진화, 안용준, 김병석, 박연기, 신진섭. 2004. 한국산 물벼룩의 먹이조건별 번식영향. 농약과학회지 8: 117-128.
 김훈수. 1982. 동물분류학. 집현사.
 문교부. 1968. 한국 동식물 도감 제9편 식물편(담수조류). 삼화출판사.
 박미경, 이석준, 서현효, 김희식, 김영호, 윤병대, 오희목. 1998. *Scenedesmus quadricauda*를 이용한 축산폐수의 고도처리. 한국조류학회지 13: 227-233.
 박용석, 이상구, 이승진, 문성경, 최은주, 이기태. 2003. Glucose-6-phosphate dehydrogenase를 이용한 *Moina macrocopa*의 중금속 독성 검정. 한국환경독성학회지 18: 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, 국립환경과학원. 2005. 물환경종합평가방법 개발 조사 연구(III).
 환경부. 2006. 수질유해물질 통합독성 관리제도 도입을 위한 시범사업.
 환경부. 2006. 환경백서 pp. 699-700.
 ANZECC and ARMCANZ. 2000. TOX-2000 Database.
 ECB. 2000. IUCLID (<http://ecb.jrc.it>).
 U.S. EPA. 1980. Ambient Water Quality Criteria for 2,4-Dichlorophenol. EPA-440/5-80-042.
 U.S. EPA. 1980. Ambient Water Quality Criteria for Antimony. EPA-440/5-80-020.
 U.S. EPA. 1980. Ambient Water Quality Criteria for Arsenic. EPA-440/5-80-021.
 U.S. EPA. 1980. Ambient Water Quality Criteria for Cadmium. EPA-440/5-80-025.
 U.S. EPA. 1980. Ambient Water Quality Criteria for Chromium. EPA-440/5-80-035.
 U.S. EPA. 1980. Ambient Water Quality Criteria for Copper. EPA-440/5-80-036.
 U.S. EPA. 1980. Ambient Water Quality Criteria for Cyanides. EPA-440/5-80-037.
 U.S. EPA. 1980. Ambient Water Quality Criteria for Lead. EPA-440/5-80-057.
 U.S. EPA. 1980. Ambient Water Quality Criteria for Polychlorinated Biphenyls. EPA-440/5-80-068.
 U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Arsenic - 1984. EPA-440/5-84-033.
 U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Cadmium - 1984. EPA-440/5-84-032.
 U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Chromium - 1984. EPA-440/5-84-029.

U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Copper - 1984. EPA-440/5-84-031.
U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Cyanides - 1984. EPA-440/5-84-028.
U.S. EPA. 1985. Ambient Water Quality Criteria for Mercury - 1984. EPA-440/5-84-026.
U.S. EPA. 1996. 1995 Updates : Water Quality Criteria

Documents for the Protection of Aquatic Life in Ambient Water. EPA-820-B-96-001.
U.S. EPA. 2001. 2001 Update of Ambient Water Quality Criteria for Cadmium. EPA-822-R-01-001.
U.S. EPA. 2005. ECOTOX (<http://www.epa.gov/ecotox>).

(Manuscript received 15 July 2006,
Revision accepted 23 December 2006)