생태독성시험을 위한 국내 자생생물종 선별 연구: (1) 수서시험종 Investigation of Korean Native Organisms for Development of Ecotoxicity Test : (1) Aquatic Test Species

남선화 · 안윤주^{*}
Sun-Hwa Nam · Youn-Joo An^{*}

건국대학교 환경보건과학과
Department of Environmental Health Science, Konkuk University

(Received July 12, 2017; Revised September 18, 2017; Accepted January 23, 2018)

Abstract : Ecotoxicity data in ecological risk assessment are obtained from test species recommended by international standard methods, and these test species are mostly non-native organisms in Korea. There are limitations to using non-native test species in Korea, due to lack of consideration of mutual relationships for food chain, excessive cost related to the import of non-native test species, and ecological disturbance. In this study, we collected test species recommended by international and domestic standard methods and selected native organisms in Korea. In addition, we collected studies on the Korean native organism for ecotoxicity testing. Furthermore, we investigated the possibility of deriving predicted no-effect concentrations, as presented by international methods. In total, 31 (25.8%) out of 120 test species in seven international and domestic standard methods were determined as native organisms in Korea. Additionally, 32 native organisms were used as test species in studies on Korean native organisms for ecotoxicity testing. Finally, 50 native organisms were extracted as test species for aquatic toxicity assessment in Korea. Based on these 50 native organisms, we verified the possibility of deriving the predicted no-effect concentration of the four international methods. Therefore, this study suggests potential aquatic test species, considering the characteristics of the Korean native water system.

Key Words : Native Organisms, Domestic Species, Aquatic Toxicity, Ecotoxicity

요약 : 생태위해성평가 시 활용되는 생태독성자료는 국제적으로 공신력있는 표준시험법에서 제시하는 시험생물의 독성자료를 주로 활용하나, 대부분 국외산 생물이다. 자생생물 대신 외국도입종을 활용할 경우, 먹이사슬에 의한 상호 관련성 비교, 수입으로 인한 비용 소모, 생태계 교란 등의 부작용이 발생하기 때문에, 외국도입 생태독성 시험생물을 대체할 수 있는 자생생물 연구가 필요하다. 본 연구에서는 수서 생태독성시험종 개발을 위한 국내 자생생물 선별 연구를 위해 국내·외 수서생태독성 표준시험법에서 제시하고 있는 생태독성시험종 사례를 수집하였으며, 이 중 국내 자생생물 비율을 분석하였다. 또한 국내 생태독성평가연구에서 사용한 시험종을 포함한 후, 도출된 국내 자생생물을 활용하여 수생태계 보호를 위한 예측무영향농도 산출 가능성을 분석하였다. 7가지 국·내외 표준시험법에서 제시하고 있는 생태독성시험종은 120개로, 11개 문(Phylum) 또는 계(Kingdom) 및 18개 강(Class)에 속하는 것으로 나타났다. 이 중 국내 자생생물은 총 31개로, 전체 생태독성시험종 중 25.8%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 국내 생태독성평가 연구에서 제시하고 있는 생태독성시험종은 32개로, 5개 문(Phylum) 또는 계(Kingdom) 및 11개 강(Class)에 속하는 것으로 나타났다. 최종적으로 선별된 50개의 국내 자생생물 생태독성 시험종을 대상으로 신뢰성 있는 급성 또는 만성 독성 자료가 존재한다는 전제 하에 생태계 보호를 위한 예측무영향농도를 산출 가능성을 분석한 결과, 4가지(캐나다, 미국, 호주/뉴질랜드, 유럽위원회) 국외 방법별 최고 신뢰성이 있는 생물분류학적 기준에 부합되어 생태독성 시험생물로 사용되고 있는 외국도입종을 대체 가능한 것으로 분석되었다. 본 연구는 국내 수계의 특성을 고려하기 위해 국내·외 수서생태독성 표준시험법에서 제시하고 있는 생태독성시험종 중 국내 자생생물을 선별함으로써, 잠재적인 수서 생태독성시험종을 제안하였다.

주제어 : 자생종, 국내종, 수서독성, 생태독성

1. 서론

환경매체 내 오염물질에 대한 이화학적 평가는 오염물질별 농도 수준을 측정할 뿐, 수용체에 대한 유해성 또는 위해성을 평가하는데 한계가 있다.¹⁾ 따라서 국내·외적으로 수용체에 대한 유해성 또는 위해성을 평가할 수 있도록 생태독성평가를 도입하여 환경매체 내 오염물질에 대한 유해성 또는 위해성을 평가하는 추세에 있다. 생태위해성평가 시 활용되는 생태독성자료는 국제적으로 공신력있는 OECD,

ASTM, ISO 등 표준시험법을 따른 시험생물의 독성자료를 활용해야 하나,²⁾ *Daphnia magna*와 같은 국외산 시험생물이나 *Oryzias latipes*와 같은 유전자 개량 시험생물이 포함되어 있다.^{3,4)}

국내 초기 생태위해성평가 시 활용되는 생태독성자료는 자생생물별 표준시험법이 미정립된 시기였기 때문에, 국외 표준시험법에 따라 권고된 시험생물을 도입하여 현재까지 보편적으로 활용하고 있다. 그러나 자생생물 대신 외국도입종을 활용할 경우, 특정 국가의 생태계 관리를 위한 독성

^{*} Corresponding author E-mail: anyjoo@konkuk.ac.kr Tel: 02-2049-6090 Fax: 02-2201-3211

자료로서 먹이사슬과 연관된 시험생물 간 상호 관련성을 고려할 수 없으며,⁵⁾ 수입으로 인한 경제적 비용이 발생하며,⁶⁾ 국내 환경매체로의 비의도적 유출에 의한 생태계 교란 현상이 발생할 수 있다.⁶⁾ 이러한 생태독성 시험생물로서 외국 도입종의 문제점을 개선하기 위해, 2000년대 초반부터 정부 사업 및 학술 연구를 통해 표준시험법에 제시되지 않은 생태독성 시험생물 대체 자생생물 연구가 문헌 고찰 및 실험적 평가를 통해 점진적으로 수행되어 왔다.⁵²⁻⁶⁹⁾ 이에 따라 어류(예: 왜물개 *Aphyocypris chinensis*),⁷⁾ 물벼룩류(예: 유리물벼룩 *Daphnia galeata*, 요술시모물벼룩 *Simocephalus mixtus*),⁷⁻⁹⁾ 깔따구류(예: 안개무늬날개깔따구 *Chironomus kiensis*, 요시마즈깔따구 *Chironomus yoshimatsui*),^{8,10-12)} 새우류(예: 새뱅이 *Neocardina denticulata*, 두가시육질꼬리옆새우 *Monocorophium acherusicum*, 소백옆새우 *Gammarus sobaegensis*),^{8,13-20)} 요각류(예: 가시검물벼룩 *Acanthocyclops vernalis*),⁸⁾ 양서류(예: 무당개구리 *Bombina orientalis*, 북방산개구리 *Rana dybowskii*, 계곡산개구리 *Rana huanrenensis*, 참개구리 *Rana nigromaculata*),^{8,21,22)} 다슬기류(예: 꽃체다슬기 *Semisulcospira gottschei*, 주름다슬기 *Semisulcospira forticosta*, 참다슬기 *Semisulcospira coreana*),^{13,14,16)} 대형수생식물류(예: 잠개구리밥 *Lemna gibba*)^{23,24)} 등의 국내 자생생물을 이용한 생태독성평가가 수행된 바 있다. 그러나 현재까지 기초적인 수준의 국내 자생생물을 이용한 생태독성평가기법 개발 및 표준화 작업이 수행됨에 따라, 생태위해성평가 시 활용 가능한 국내 자생생물을 이용한 정량적 생태독성자료는 제한적이다. 한편 국내 자생생물의 급·만성 독성자료를 활용하여 생태위해성평가를 수행한 연구가 정부 차원에서 수행된 바 있으며,²⁵⁻²⁷⁾ 생태위해성평가를 위한 국내 자생생물을 선별한 연구 역시 학술 논문을 통해 보고된 바 있다.²⁹⁻³²⁾ 특히, 남³³⁾과 이³⁴⁾는 카드뮴을 예시로 국내 자생생물의 급·만성 독성자료를 활용하여 수질준거치 및 토양준거치를 제시한 바 있다. 따라서 다양한 국내 자생생물을 이용한 생태독성평가기법 개발 및 표준화한 후, 국내 자생생물을 이용한 수서 및 토양 유해화학물질별 정량적 생태독성자료를 생성함으로써, 궁극적으로 국제적으로 신뢰성 있는 국내 자생생물의 생태독성시험종으로의 진출을 도모할 필요가 있다.

본 연구에서는 수서 생태독성시험종 개발을 위한 국내 자생생물 선별 연구를 위해 국내·외 수서생태독성 표준시험법에서 제시하고 있는 생태독성시험종 현황을 분석하였으며, 수집된 생태독성시험종 중 국내 자생생물을 선별하였다. 또한 국내 생태독성평가 연구에서 사용한 생태독성시험종을 고려하여, 국내 자생생물 목록을 도출하였다. 이 때 도출된 국내 자생생물을 활용한 신뢰성 있는 급성 및 만성 독성 자료가 존재한다는 전제 하에, 대표적인 선진국(캐나다, 미국, 호주/뉴질랜드, 유럽위원회)의 수생태계 보호를 위한 예측무영향농도 산출 방법론을 활용하여 확률론적 생태위해성평가의 가능성을 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1. 국내·외 수서생태독성 표준시험법 사례 조사 및 국내 자생생물 선별

수서 생태독성시험종 개발을 위한 국내 자생생물 선별 연구를 위해, 국내·외 수서생태독성 표준시험법에서 제시하고 있는 생태독성시험종 사례를 조사하였다. 한국표준협회,³⁵⁻⁴⁸⁾ 국립환경과학원 고시,⁴⁹⁾ 농촌진흥청 고시⁵⁰⁾에서 제시한 국내 생태독성 관련 표준시험법과 OECD,⁵¹⁻⁶⁵⁾ ASTM,^{3,66-77)} ISO,⁷⁸⁻⁹⁵⁾ USEPA⁹⁶⁻⁹⁸⁾에서 제시한 국외 생태독성 관련 표준시험법을 바탕으로, 생태독성시험종을 기준으로 분류하였다. 이 때, 생물분류군(예: Phylum, Class)은 국제분류정보시스템(Integrated Taxonomic Information System, ITIS)⁹⁹⁾을 우선 활용하였으며, ITIS 부재 시 국가생물종지식정보시스템,¹⁰⁰⁾ 한반도생물자원포털¹⁰¹⁾ 등의 생물종 관련 사이트를 활용하였다. 또한 수집된 생태독성시험종 중 국내 자생생물을 선별하기 위해, 학술논문,¹⁰²⁻¹⁰⁶⁾ 학위논문,¹⁰⁷⁻¹⁰⁹⁾ 정부보고서,¹¹⁰⁾ 생물도감¹¹¹⁻¹¹³⁾ 등의 참고문헌을 바탕으로 생태독성시험종의 국내 서식 여부를 검토하였다. 이 때 종(Species) 구분이 불분명한 *sp.* 및 *spp.*는 국내 자생종 선별 과정에서 제외되었다.

2.2. 국내 수생태독성평가연구에서 사용한 시험종 현황 조사

수서 생태독성시험종 개발을 위한 국내 자생생물 선별 연구를 위해, 학술논문,^{9,12,19-21,23,114-123)} 학위논문,¹¹⁾ 정부보고서^{7,8,10,13,14,16,22,24,124)}를 바탕으로 국내 고유생물종 개발을 위한 생태독성평가 연구 사례를 조사하였으며, 생태독성시험종을 기준으로 분류하였다.

2.3. 선진국의 수생태계 보호를 위한 예측무영향농도 산출 가능성 분석

상기 국내·외 수서생태독성 표준시험법 및 국내 생태독성평가 연구에서 제시하고 있는 생태독성시험종을 바탕으로, 선별된 생태독성시험종에 대한 신뢰성 있는 급성 및 만성 독성 자료가 존재한다는 전제 하에, 대표적인 캐나다, 미국, 호주/뉴질랜드, 유럽위원회의 수생태계 보호를 위한 예측무영향농도 산출 방법론을 활용하여 확률론적 생태위해성평가의 가능성을 분석하였다. 캐나다환경청(Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME)은 수서 생태계 보호를 위한 예측무영향농도로서, 수생생물 보호를 위한 수질권고치(Water quality guideline)를 제시하고 있다.¹²⁵⁾ 캐나다의 수질권고치는 장·단기 노출 권고치를 도출하기 위해 만성 또는 급성 독성 자료의 양질에 따라 A, B1, B2 방식을 적용하고 있으며, 각 방식별 독성 자료의 생물분류학적 필요조건은 CCME¹²⁵⁾을 참고하였다(Table 1). 미국환경보호청(United States Environmental Protection Agency, USEPA)은 수서 생태계 보호를 위한 예측무영향농도로서, 수생생물 보호를 위한 수질준거치(Water quality criteria)를 제시하고 있다.¹²⁶⁾

Table 1. Taxonomic data for deriving the predicted no effect concentration for the protection of soil ecosystem in CCME¹¹⁸⁾

Taxonomic classification	Method to derive water quality guidelines		
	A	B1	B2
Chronic	Fish	3 (at least 1 salmonid and 1 non-salmonid)	2 (at least 1 salmonid and 1 non-salmonid)
	Invertebrates	3 (at least 1 planktonic crustacean)	2 (at least 1 planktonic crustacean)
	Aquatic plants	1 (at least 1 freshwater vascular plant or algae)	Highly desirable, but not necessary
	Amphibians	Highly desirable, but not necessary	Highly desirable, but not necessary
	Preferred endpoints	No-effects threshold > EC ₁₀ /IC ₁₀ > LOEC > MATC > EC ₂₆₋₄₉ /IC ₂₆₋₄₉ > nonlethal EC ₅₀ /IC ₅₀	No-effects threshold > EC ₁₅₋₂₅ /IC ₁₅₋₂₅ > LOEC > MATC > EC ₂₆₋₄₉ /IC ₂₆₋₄₉ > nonlethal EC ₅₀ /IC ₅₀ > LC ₅₀
Acute	Fish	3 (at least 1 salmonid and 1 non-salmonid)	2 (at least 1 salmonid and 1 non-salmonid)
	Invertebrates	3 (at least 1 planktonic crustacean)	2 (at least 1 planktonic crustacean)
	Aquatic plants	Highly desirable, but not necessary	
	Amphibians	Highly desirable, but not necessary	
	Preferred endpoints	LC ₅₀ or equivalent (EC ₅₀ for immobility in small invertebrates)	

* ECx: Effective concentration at x%, ICx: Inhibitory concentration at x%, MATC: Maximum acceptable toxicant concentration, NOEC: No observed effect concentration, LOEC: Lowest observed effect concentration, LCx: Lethal concentration at x%

미국의 수질기준치는 장·단기 노출 준거치를 도출하기 위해 만성 또는 급성 독성 자료의 양질에 따라 준거치 지속농도(Criterion continuous concentration, CCC) 및 준거치 최대농도(Criterion maximum concentration, CMC) 방식을 적용하고 있다. CCC 방식은 최종만성치(Final chronic value, FCV) 또는 FCV/최종급만성비(Final acute-chronic ratio, FACR)를 활용하고, CMC 방식은 최종급성치(Final acute value, FAV)

의 반값을 활용하며, 각 방식별 독성 자료의 생물분류학적 필요조건은 USEPA¹²⁶⁾를 참고하였다(Table 2). 호주/뉴질랜드는 수생 생태계 보호를 위한 예측무영향농도로써, 수생 생물 보호를 위한 수질권고치(Water quality guideline)를 제시하고 있다.^{127,128)} 호주/뉴질랜드의 수질권고치는 만성 또는 급성 독성 자료의 양질에 따라 종민감분포도(Species sensitivity distribution, SSD) 및 평가계수(Assessment factor, AF)

Table 2. Taxonomic data for deriving the predicted no effect concentration for the protection of soil ecosystem in USEPA¹¹⁹⁾

Taxonomic classification	Method to derive water quality guidelines		
	FAV	FCV	
		FAC/FACR	FCV
Acute	Fish	2 (including family Salmonidae and second family in the class Osteichthyes)	-
	Invertebrates	3 (including a planktonic crustacean, a benthic crustacean, and an insect)	-
	Others	3 (a third family in the phylum Chordata, a family in a phylum other than Arthropoda or Chordata, and a family in any order of insect or any phylum not already represented)	-
	Note	3 for ACR (fish, invertebrate, and acutely sensitive freshwater species)	-
	Preferred endpoints*	EC ₅₀ or LC ₅₀	
Chronic	Fish	-	2 (including family Salmonidae and second family in the class Osteichthyes)
	Invertebrates	-	3 (including a planktonic crustacean, a benthic crustacean, and an insect)
	Others	-	3 (a third family in the phylum Chordata, a family in a phylum other than Arthropoda or Chordata, and a family in any order of insect or any phylum not already represented)
	Note	3 for ACR (fish, invertebrate, and acutely sensitive freshwater species)	-

* ECx: Effective concentration at x%, LCx: Lethal concentration at x%, FAV: Final acute value, FCV: Final chronic value, FACR: Final acute-chronic ratio

Table 3. Taxonomic data for deriving the predicted no effect concentration for the protection of soil ecosystem in The State of Queensland and ANZECC and ARMCANZ^{120,121)}

Taxonomic classification	Method to derive water quality guidelines	
	Species sensitivity distribution (SSD)	AF (Assessment factor)
Vertebrates	Fish and amphibians	Fish
Invertebrates	Crustaceans, insects, molluscs, annelids, echinoderms, rotifers, and hydra	Crustaceans
Plants	Green algae, diatoms, brown algae, red algae, and macrophytes	Algae
Others	Blue-green algae (cyanobacteria), bacteria, protozoans, coral, fungi, and others	-
Data condition*	The order of preference for data belonged to at least 4 taxonomic groups	
	1	Chronic data for ≥ 8 species (although an aspirational target ≥ 15)
	2	Chronic + converted acute data for ≥ 8 species
	3	Chronic data for 5-7 species
	4	Chronic + converted acute data for 5-7 species
	5	Converted acute data for ≥ 8 species
	6	Converted acute data for 5-7 species
	Application of AF dependent on data quality and quantity (20 for three NOEC, 100 for three LC ₅₀ or EC ₅₀ , and 1000 for the lowest LC ₅₀ or EC ₅₀)	

* NOEC: No observed effect concentration, ECx: Effective concentration at x%, LCx: Lethal concentration at x%

Table 4. Taxonomic data for deriving the predicted no effect concentration for the protection of soil ecosystem in EC²⁾

Taxonomic classification	Method to derive water quality guidelines	
	Species sensitivity distribution (SSD)	AF (Assessment factor)
Fish	1	1
Invertebrates	2 (including crustaceans and insects)	1 (including crustaceans)
Plants	2 (including algae and higher plants)	1 (including algae)
Others	3 (including a second family in the phylum Chordata, a family in a phylum other than Arthropoda or Chordata, and a family in any order of insect or any phylum not already represented)	-
Note*	-	Application of AF dependent on data quality and quantity (10 for three EC ₁₀ or NOEC, 50 for two EC ₁₀ or NOEC, 100 for 1 EC ₁₀ or NOEC, and 1000 for LC ₅₀ or EC ₅₀)

* NOEC: No observed effect concentration, ECx: Effective concentration at x%, LCx: Lethal concentration at x%

방식을 적용하고 있으며, 각 방식별 독성 자료의 생물분류학적 필요조건은 The State of Queensland^{127,128)}를 참고하였다 (Table 3). 유럽위원회(European Communities, EC)는 수서 생태계 보호를 위한 예측무영향농도(Predicted no effect concentration, PNEC)를 제시하고 있다.²⁾ 유럽위원회의 PNEC은 만성 또는 급성 독성 자료의 양질에 따라 종민감분포도(Species sensitivity distribution, SSD) 및 평가계수(Assessment factor, AF) 방식을 적용하고 있으며, 각 방식별 독성 자료의 생물분류학적 필요조건은 EC²⁾를 참고하였다(Table 4).

3. 결과 및 고찰

3.1. 수서생태독성 표준시험법 내 국내 자생생물 및 국내 생태독성평가 현황 분석

3.1.1. 수서생태독성 표준시험법 현황 분석

국내·외 수서생태독성 관련 7가지 표준시험법의 시험종별 생물분류군에 따라 표준시험법을 분석하였다. OECD의 Guidelines for the Testing of Chemicals은 인체 건강 및 환경에 관한 화학물질의 잠재적인 영향을 평가하는 지침서

로, OECD 회원국의 전문가들에 의해 지속적으로 업데이트되고 있다. 이 중 Section 2 Effects on Biotic Systems은 노출매체(담수, 해수, 토양, 퇴적물, 먹이)별 생태 수용체[조류(Algae), 물벼룩류, 어류, 대형수생식물류, 양서류, 복족류, 곤충류, 미생물류, 식물류, 지렁이류, 조류(Birds) 등]에 대한 생태독성시험법을 제시하고 있으며, 이 중 수서생태독성 표준시험법은 조류(Algae) 1개, 물벼룩류 2개, 어류 9개, 대형수생식물류 2개, 양서류 2개, 복족류 2개, 갈따구류 1개가 있다. ASTM의 Environmental assessment standards and risk management standards는 가능한 생물물리학적·사회적·기타 관련 영향을 규명 및 예측하는 지침서로, 이 중 Biological Effects and Environmental Fate는 노출매체(담수, 해수, 토양, 퇴적물)별 생태 수용체[조류(Algae), 물벼룩류, 어류, 복족류, 대형수생식물류, 양서류, 윤충류, 연갑류, 곤충류, 식물류, 지렁이류, 선충류, 조류(Birds) 등]에 대한 생태독성시험법을 제시하고 있으며, 이 중 수서생태독성 표준시험법은 조류(Algae) 2개, 물벼룩류 4개, 어류 4개, 복족류 2개, 대형수생식물류 1개, 양서류 2개, 윤충류 1개, 연갑류 1개, 강도래류 1개, 하루살이류 1개, 갈따구류 1개, 플라나리아류 1개가 있다. ISO의 biological methods는 수질 및

토질 매체에 대한 인체 건강 및 환경에 관한 생물학적 영향을 평가하는 지침서로, ISO 규제제정위원회에 의해 지속적으로 업데이트되고 있다. 이 중 ISO/TC (Technical committees) 147/SC (Subcommittees) 5는 수서 매체에 대한 생태 수용체[조류(Algae), 물벼룩류, 어류, 대형수생식물류, 패충류, 새각류, 선충류, 윤충류, 세균류 등]에 대한 생태독성시험법을 제시하고 있고, ISO/TC 190/SC 4는 토양 매체에 대한 생태수용체(지렁이류, 식물류, 톡토기류 등)에 대한 생태독성시험법을 제시하고 있으며, 조류(Algae) 2개, 물벼룩류 2개, 어류 4개, 대형수생식물류 1개, 패충류 1개, 요각류 1개, 선충류 1개, 윤충류 2개, 세균류 1개가 있다. USEPA의 Ecological Effects Test Guidelines은 미국유해물질 규제법(Toxic Substances Control Act, TSCA), 연방정부의 살충제, 살균제, 살서제법(Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act, FIFRA), 연방식품의약품화장품법(Federal Food, Drug and Cosmetic, FFDCA) 아래 육생 야생동물 및 수서 식물을 위한 독성 시험 요건을 충족시키기 위한 지침서로, 화학물질 안전 및 오염 예방국(Office of Chemical Safety and Pollution Prevention, OCSPP)에 의해 지속적으로 업데이트되고 있다. 이 중 Series 850 - Ecological Effects Test Guidelines은 노출매체(담수, 해수, 토양, 먹이)별 생태 수용체[조류(Algae), 대형수생식물류, 식물류, 지렁이류, 곤충류, 미생물류, 조류(Birds) 등]에 대한 생태독성시험법을 제시하고 있으며, 조류(Algae) 2개, 대형수생식물류 1개가 있다. 한국표준협회의 한국산업표준(Korean Standards, KS)은 ISO의 수질 및 토양 매체에 대한 생물학적 방법을 번역하여 기술적 내용 및 규격서의 서식을 변경하지 않고 작성된 지침서로, 환경부회 심의위원회에 의해 지속적으로 업데이트되고 있다. 이 중 수질 및 토양의 질별 생태 수용체[조류(Algae), 물벼룩류, 어류, 대형수생식물류, 윤충류, 미생물류, 식물류, 지렁이류, 톡토기류 등]에 대한 생태독성시험법을 제시하고 있으며, 조류(Algae) 2개, 물벼룩류 3개, 어류 4개, 대형수생식물류 1개, 윤충류 1개, 세균류 1개가 있다. 국립환경과학원 고시 제2012-23호[별표5] 화학물질유해성시험방법의 제2장 생태영향 시험분야에서 노출매체(담수, 해수, 토양, 퇴적물, 먹이)별 생태 수용체[조류(Algae), 물벼룩류, 어류, 식물류, 지렁이류, 조류(Birds) 등]에 대한 생태독성시험법을 제시하고 있으며, 조류(Algae) 1개, 물벼룩류 2개, 어류 4개가 있다. 농촌진흥청 고시 제2016-38호[별표 13] 환경생물 독성 시험기준과 방법에서 노출매체(담수, 토양, 먹이)별 생태수용체[조류(Algae), 물벼룩류, 어류, 지렁이류, 곤충류, 조류(Birds) 등]에 대한 생태독성시험법을 제시하고 있으며, 조류(Algae) 1개, 물벼룩류 3개, 어류 5개가 있다.

7가지 표준시험법 내 제시된 생태독성시험종은 11개 문(Phylum) 또는 계(Kingdom) 및 18개 강(Class)에 속하는 총 120종으로 분류되었으며(Table 1), 절지동물문(Phylum Arthropoda), 녹조식물문(Phylum Chlorophyta), 척삭동물문(Phylum Chordata), 크로미스타계(Kingdom Chromista), 남세균문(Phylum Cyanobacteria), 연체동물문(Phylum Mollusca), 선형

동물문(Phylum Nematoda), 식물계(Kingdom Plantae), 편형동물문(Phylum Platyhelminthes), 프로테오박테리아문(Phylum Proteobacteria), 윤형동물문(Phylum Rotifera)이 이에 속한다. 육생 야생동물 및 수서 식물을 위한 독성 시험법만을 목적으로 한 표준시험법인 USEPA를 제외하고, OECD, ASTM, ISO, 한국표준협회, 국립환경과학원 고시, 농촌진흥청 고시 모두 조류(Algae), 물벼룩류, 어류, 대형수생식물류를 공통적으로 제시하는 것으로 나타났다. 이 때, 한국표준협회, 국립환경과학원 고시, 농촌진흥청 고시의 표준시험법은 대체로 OECD, ASTM, ISO 등의 국외 표준시험법을 바탕으로 마련된 것으로 나타났다.

3.1.2. 수서생태독성 표준시험법 내 국내 자생생물 선별 현황

7가지 표준시험법 내 제시된 120종의 생태독성시험종 중에서 국내 자생생물은 총 31종(25.8%)으로 파악되었으며, 조기강(Class Actinopterygii) 30개, 새각강(Class Branchiopoda) 9개, 녹조강(Class Chlorophyceae) 2개, 트레복시강(Class Trebouxiophyceae) 1개, 규조강(Class Bacillariophyceae) 1개, 남조강(Class Cyanophyceae) 1개, Hormogoneae강(Class Hormogoneae) 1개, 곤충강(Class Insecta) 10개, 패충강(Class Ostracoda) 1개, 쌍떡잎식물강(Class Magnoliopsida) 10개, 단소강(Class Monogononta) 2개가 포함된다(Table 5).

3.1.3. 국내 생태독성평가연구에서 사용한 시험종 현황 분석

국내 생태독성평가 연구 사례 결과를 바탕으로, 생물분류군(Phylum, Class)에 따라 현황 분석하였고, 수서 자생생물 시험종은 5개 문(Phylum) 또는 계(Kingdom) 및 11개 강(Class)에 속하는 32개로 분류되었으며, 녹조식물문(Phylum Chlorophyta) 2개, 식물계(Kingdom Plantae) 2개, 연체동물문(Phylum Mollusca) 4개, 척삭동물문(Phylum Chordata) 9개, 절지동물문(Phylum Arthropoda) 15개가 이에 속하며, Table 5에 제시되어 있다.

3.1.4. 수서생태독성평가를 위해 선별된 국내 자생생물 현황

국내·외 생태독성 관련 표준시험법 7가지(OECD, ASTM, ISO, USEPA, 한국표준협회, 국립환경과학원 고시, 농촌진흥청 고시) 사례 및 국내 생태독성평가 연구 사례(국내 학술논문, 학위 논문, 및 정부 보고서) 조사 결과를 바탕으로, 국내 자생생물을 파악하였다. 현재까지 보고된 자생생물을 활용한 독성 연구를 바탕으로 자생생물 선별가능성을 확인한 결과, 국내 수서 자생생물 15개 강(Class)에 속하는 50개로 선별 가능한 것으로 분석되었다. 국내 자생생물은 새각강 8개, 곤충강 3개, 연갑강 3개, 소약강 1개, 패충강 1개, 녹조강 1개, 트레복시강 1개, 조기강 13개, 양서강 4개, 규조강 1개, 남조강 1개, Hormogoneae강 1개, 복족강 4개, 쌍떡잎식물강 6개, 단소강 2개로, Table 6에 제시되어 있다.

Table 5. List of aquatic test species presented in international and Korean standard methods

Taxonomic classification		References							
Species		OECD	ASTM	ISO	USEPA	KS	NIER	RDA	Others
Scientific name	Korean name								
Class Actinopterygii									
<i>Aphyocypris chinensis</i>	왜몰개	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Brachydanio rerio</i> (=Danio rerio)	-	8	-	5	-	5	4	-	-
<i>Carassius auratus</i>	붕어	1	1	-	-	-	1	-	1
<i>Catostomus commersoni</i>	-	1	1	-	-	-	-	-	-
<i>Cordalis cornutus</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Cyprinus carpio</i>	잉어	3	-	-	-	-	3	3	2
<i>Esox lucius</i>	-	1	1	-	-	-	-	-	-
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	큰가시고기	2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ictalurus punctatus</i>	찬넬동자개	-	2	-	-	-	1	-	-
<i>Jordanella floridae</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lepomis cyanellus</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lepomis macrochirus</i>	블루길	3	3	-	-	-	3	-	-
<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	미꾸리	-	-	-	-	-	-	4	8
<i>Morone saxatilis</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Notemigonus crysoleucas</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Oncorhynchus gorboscha</i>	곱사연어	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	은연어	1	1	-	-	-	1	-	-
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	무지개송어	4	2	1	-	1	4	-	-
<i>Oncorhynchus sp.</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	-	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Opsanus beta</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Oryzias latipes</i>	송사리	8	-	-	-	-	4	5	-
<i>Oryzias sinensis</i>	대륙송사리	-	-	-	-	-	-	1	2
<i>Pimephales promelas</i>	-	6	2	-	-	-	3	-	-
<i>Poecilia reticulata</i>	-	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Salmo salar</i>	연어	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Salmo sp.</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Salmo trutta</i>	-	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Salvelinus fontinalis</i>	-	1	2	-	-	-	1	-	-
<i>Salvelinus namaycush</i>	-	1	-	-	-	-	1	-	-
<i>Salvelinus sp.</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Class Branchiopoda									
<i>Branchinella kugenumaensis</i>	풍년새우	-	-	-	-	-	-	-	3
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	너도민코물벼룩	-	2	1	-	1	-	-	-
<i>Daphnia galeata</i>	유리물벼룩	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Daphnia magna</i>	-	2	2	2	-	2	2	3	-
<i>Daphnia obtusa</i>	몽당물벼룩	-	-	-	-	-	-	2	2
<i>Daphnia pulex</i>	참물벼룩	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Daphnia pulicaria</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Daphnia sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	3
<i>Moina macrocopa</i>	모이나물벼룩	-	-	-	-	-	-	3	3
<i>Simocephalus mixtus</i>	요술시모물벼룩	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Simocephalus vetulus</i>	긴눈시모물벼룩	-	-	-	-	-	-	2	2
<i>Thamnocephalus platyurus</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Class Chlorophyceae									
<i>Desmodesmus subspicatus</i> (=Scenedesmus subspicatus)	-	1	1	2	1	2	1	-	-
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> (=Selenastrum capricornutum =Raphidocelis subcapitata)	-	1	2	2	1	2	1	2	2
Class Trebouxiophyceae									
<i>Chlorella vulgaris</i>	-	-	1	-	-	-	-	1	2
Class Bacillariophyceae									
<i>Navicula pelliculosa</i>	-	1	1	-	1	-	1	-	-

Korean native organisms

A number in the table means the number of standard method for each test specie.

Table 5. Continued

Taxonomic classification		References							
Species		OECD	ASTM	ISO	USEPA	KS	NIER	RDA	Others
Scientific name	Korean name								
Class Hormogoneae									
<i>Anabaena flos-aquae</i>	-	1	1	-	1	-	1	-	-
Class Cyanophyceae									
<i>Microcystis aeruginosa</i>	-	-	1	-	1	-	-	-	-
Class Chromadorea									
<i>Caenorhabditis elegans</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Class Insecta									
<i>Baetis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chironomus dilutus</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chironomus kiensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Chironomus riparius</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chironomus</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Chironomus yoshimatsui</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2
<i>Ephemerella orientalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Ephemerella</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Hexagenia bilineata</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Hexagenia limbata</i>	-	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Hydroperla crosby</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Pteronarcys</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Class Maxillopoda									
<i>Acanthocyclops vernalis</i>	가시검물벼룩	-	-	-	-	-	-	-	1
Class Malacostraca									
<i>Cambarus</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Gammarus fasciatus</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Gammarus lacustris</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Gammarus pseudolimnaeus</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Gammarus sobaegensis</i>	보통옆새우	-	-	-	-	-	-	-	3
<i>Monocorophium acherusicum</i>	두가시육질꼬리옆새우	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Neocaridina denticulata</i>	새뱅이	-	-	-	-	-	-	-	6
<i>Orconectes</i> sp.	-	-	2	-	-	-	-	-	-
<i>Pacifastacus leniusculus</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Procambarus</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Class Ostracoda									
<i>Heterocypris incongruens</i>	조개물벼룩	-	-	1	-	-	-	-	-
Class Amphibia									
<i>Bombina orientalis</i>	무당개구리	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Bufo</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Pelophylax nigromaculatus</i>	참개구리	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Rana dybowskii</i>	북방산개구리	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Rana huanrenensis</i>	계곡산개구리	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Rana</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Xenopus laevis</i>	-	2	1	-	-	-	-	-	-
Class Gastropoda									
<i>Amnicola limosa</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Aplexa hypnorum</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lymnaea stagnalis</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Physa heterostrophia</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Physa integra</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Pomacea canaliculata</i>	왕우렁이	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Semisulcospira coreana</i>	참다슬기	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Semisulcospira forticosta</i>	주름다슬기	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Semisulcospira gottschei</i>	꽃체다슬기	-	-	-	-	-	-	-	3

Korean native organisms

A number in the table means the number of standard method for each test specie.

Table 5. Continued

Taxonomic classification		References							
Species		OECD	ASTM	ISO	USEPA	KS	NIER	RDA	Others
Scientific name	Korean name								
Class Trepaxonemata									
<i>Dugesia tigrina</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Class Gammaproteobacteria									
<i>Pseudomonas putida</i>	-	-	-	1	-	1	-	-	-
Class Bivalvia									
<i>Actinonaias ligamentina</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Actinonaias pectorosa</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Alasmidonta heterodon</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Anodonta anatina</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Anodonta cygnea</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Anodonta imbecillis</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Elliptic icterina</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Epioblasma capsaeformis</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lampsilis abrupta</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lampsilis cardium</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lampsilis fasciola</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lampsilis rafinesqueana</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lampsilis siliquoidea</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lampsilis straminea daibomensis</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lampsilis subangulata</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lampsilis teres</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Lampsilis ventricosa</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Leptodea fragilis</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Leptodea leptodon</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Medionidus conradius</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Megalonaias nervosa</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Pleurobema plenum</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Potamilus ohioensis</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Pyganodon cataracta</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Pyganodon grandis</i> (= <i>Anodonta grandis</i>)	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Quadrula pustulosa</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Quadrula quadrula</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Utterbackia imbecillis</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Venustaconcha ellipsiformis</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Villosa iris</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Villosa nebulosa</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Villosa villosa</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Villosaosa lienosa</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Class Monogononta									
<i>Brachionus calyciflorus</i>	-	-	-	2	-	1	-	-	-
<i>Brachionus rubens</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Class Magnoliopsida									
<i>Lemna aequinoctialis</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lemna gibba</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	1
<i>Lemna major</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lemna minor</i>	-	1	1	1	1	1	-	-	-
<i>Lemna paucicostata</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lemna perpusilla</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	1
<i>Lemna trisulca</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lemna valdiviana</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Myriophyllum Spicatum</i>	이식물수세미	1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Spirodela spp.</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-

Korean native organisms

A number in the table means the number of standard method for each test specie.

Table 6. Korean native organisms excavated for development of aquatic test species

Taxonomic classification		
Phylum (Kingdom)	Class	Species
Arthropoda	Branchiopoda (8)	<i>Branchinella kugenumaensis</i> , <i>Ceriodaphnia dubia</i> , <i>Daphnia galeata</i> , <i>Daphnia obtusa</i> , <i>Daphnia pulex</i> , <i>Moina macrocopa</i> , <i>Simocephalus mixtus</i> , <i>Simocephalus vetulus</i>
	Insecta (3)	<i>Chironomus yoshimatsui</i> , <i>Chironomus kiensis</i> , <i>Ephemera orientalis</i>
	Malacostraca (3)	<i>Gammarus sobaegensis</i> , <i>Monocorophium acherusicum</i> , <i>Neocardina denticulata</i>
	Maxillopoda (1)	<i>Acanthocyclops vernalis</i>
	Ostracoda (1)	<i>Heterocypris incongruens</i>
Chordata	Actinopterygii (13)	• Salmonidae: <i>Oncorhynchus gorbusha</i> , <i>Oncorhynchus kisutch</i> , <i>Oncorhynchus mykiss</i> , <i>Salmo salar</i> • Non-salmonidae: <i>Aphyocypris chinensis</i> , <i>Carassius auratus</i> , <i>Cyprinus carpio</i> , <i>Gasterosteus aculeatus</i> , <i>Ictalurus punctatus</i> , <i>Lepomis macrochirus</i> , <i>Misgurnus anguillicaudatus</i> , <i>Oryzias latipes</i> , <i>Oryzias sinensis</i>
		<i>Bombina orientalis</i> , <i>Rana dybowskii</i> , <i>Rana huanrenensis</i> , <i>Rana nigromaculata</i>
Chlorophyta	Chlorophyceae (1)	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> (= <i>Selenastrum capricornutum</i> = <i>Raphidocelis subcapitata</i>)
	Trebouxiophyceae (1)	<i>Chlorella vulgaris</i>
(Chromista)	Bacillariophyceae (1)	<i>Navicula pelliculosa</i>
Cyanobacteria	Cyanophyceae (1)	<i>Microcystis aeruginosa</i>
	Hormogoneae (1)	<i>Anabaena flos-aquae</i>
Mollusca	Gastropoda (4)	<i>Pomacea canaliculata</i> , <i>Semisulcospira coreana</i> , <i>Semisulcospira forticosta</i> , <i>Semisulcospira gottschei</i>
(Plantae)	Magnoliopsida (6)	<i>Lemna aequinoctialis</i> , <i>Lemna gibba</i> , <i>Lemna minor</i> , <i>Lemna paucicostata</i> , <i>Lemna perpusilla</i> , <i>Myriophyllum spicatum</i>
Rotifera		<i>Brachionus calyciflorus</i> , <i>Brachionus rubens</i>

3.2. 선별된 국내 자생생물을 활용한 수생태계 보호를 위한 예측무영향농도 산출 가능성 분석

선별된 국내 자생생물 생태독성시험종 50개를 활용함으로써 신뢰성 있는 급성 또는 만성 독성 자료가 존재한다는 전제 하에, 생태계 보호를 위한 예측무영향농도를 산출하기 위한 국외 4가지(캐나다, 미국, 호주/뉴질랜드, 유럽위원회) 방법론의 생물분류학적 기준을 바탕으로, 현 시점에서의 자생생물 독성 시험종의 예측무영향농도 산출 가능성을 분석하였다. 캐나다의 수질권고치 산출을 위한 독성 자료의 생물분류학적 필요조건과 선별된 국내 수서 자생생물 시험종을 바탕으로, 현 시점에서의 자생생물 독성 시험종의 수질권고치 산출 가능성을 분석한 결과, 연어 4개, 비연어 9개를 포함한 어류 13개, 부유성 갑각류 8개를 포함한 무척추동물 22개, 수서식물 11개, 양서류 4개를 포함하고 있으므로 3개 생물분류군의 7개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 장기 노출 A 방식으로 수질권고치 산출이 가능한 것으로 예측되었다. 또한 미국의 수질권거치 산출을 위한 독성 자료의 생물분류학적 필요조건과 선별된 국내 수서 자생생물 시험종을 바탕으로, 현 시점에서의 자생생물 독성 시험종의 수질권거치 산출 가능성을 분석한 결과, 연어 4개, 비연어 9개를 포함한 어류 13개, 부유성 갑각류 9개, 저서성 갑각류 4개, 곤충류 3개, 양서류 4개, 연체동물문 4개, 윤형동물문 2개를 포함하고 있으므로 8개 생물분류군의 8개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 FCV 방식으로 수질권거치 산출이 가능한 것으로 예측되었다. 호주/뉴질랜드의 수질권고치 산출을 위한 독성 자료의 생물분류학적 필요조건과 선별된 국내 수서 자생생물 시험종을 바탕으로, 현 시점에서의 자생생물 독성 시험종의 수질권고치 산출 가능성을

분석한 결과, 어류 및 양서류를 포함한 척추동물 17개, 갑각류, 곤충류, 연체류, 윤형류를 포함한 무척추동물 22개, 녹조류, 규조류, 수생식물을 포함한 식물 9개, 남조류를 포함한 기타 2개를 포함하고 있으므로 4개 생물분류군의 15개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 종민감분포도 방식으로 수질권고치 산출이 가능한 것으로 예측되었다. 유럽위원회의 예측무영향농도 산출을 위한 독성 자료의 생물분류학적 필요조건과 선별된 국내 수서 자생생물 시험종을 바탕으로, 현 시점에서의 자생생물 독성 시험종의 예측무영향농도 산출 가능성을 분석한 결과, 어류 13개, 갑각류 13개, 곤충류 3개, 조류 3개, 고등식물 6개, 양서류 4개, 연체동물 4개, 윤형류 2개를 포함하고 있으므로 8개 생물분류군의 10-15개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 종민감분포도 방식으로 예측무영향농도 산출이 가능한 것으로 예측되었다.

4. 결론

본 연구에서는 7가지(OECD, ASTM, ISO, USEPA, 한국표준협회, 국립환경과학원 고시, 농촌진흥청 고시) 국내·외 생태독성 관련 표준시험법에서 제시한 생태독성시험종 120개 중 국내 자생생물 31개를 선별하였고, 국내 생태독성평가 연구에서 제시한 생태독성시험종 32개와 종합하여, 총 50개의 선별된 국내 자생생물 목록을 도출하였다. 최종 선별된 50개의 수서 생태독성시험종 개발을 위한 국내 자생생물을 대상으로, 신뢰성 있는 급성 또는 만성 독성 자료가 존재한다는 전제 하에, 수서 생태계 보호를 위한 예측무

영향농도를 산출하기 위한 국외 4가지(캐나다, 미국, 호주/뉴질랜드, 유럽위원회) 방법론의 생물분류학적 기준을 바탕으로 현 시점에서의 자생생물 생태독성시험종의 예측무영향농도 산출 가능성을 분석하였다. 그 결과, 캐나다의 3개 생물분류군의 7개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 장기 노출 A 방식, 미국의 8개 생물분류군의 8개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 FCV 방식, 호주/뉴질랜드의 4개 생물분류군의 15개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 중민감분포도 방식, 유럽위원회의 8개 생물분류군의 10-15개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 중민감분포도 방식이 적용 가능한 것으로 예측되었다. 따라서 현 시점에서 국내 수서 자생생물 독성 시험종은 예측무영향농도를 산출하기 위한 4가지 국외 방법별 최고 신뢰성이 있는 생물분류학적 기준에 부합되므로, 생태독성 시험생물로 사용되고 있는 외국도입종을 대체 가능한 것으로 분석되었다. 다만, 선별된 50개의 수서 생태독성시험종의 급성 및 만성 독성자료가 존재한다는 전제 하에 수행된 분석법이므로, 확률론적 생태위해성평가를 위해, 본 연구에서 선정한 수서 생태독성시험종 50개를 대상으로 보고된 바 있는 생태독성 시험법을 통한 정량적 독성자료 산출, 미보고된 생태독성 시험법에 대해 다양한 종말점에 대한 생태독성시험법 개발, 자생 수서 생태독성시험종의 우선순위 선정 등 국내 자생생물을 이용한 생태독성평가 기반 구축이 장기적으로 추진되어야 할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 국립생물자원관, 환경부(화학사고 대응 환경기술포발사업) 및 한국연구재단(NRF-2016R1A2B3010445) 지원을 받아 수행되었음.

KSEE

References

1. An, Y.-J., Nam, S.-H. and Lee, J.-K., "Domestic test species for aquatic toxicity assessment in Korea," *Korean J. Limnol.*, **40**(1), 1~13(2007).
2. European Communities (EC), "Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC). Guidance document No. 27. Technical guidance for deriving environmental quality standards," p. 37~45(2011).
3. American Society for Testing and Materials (ASTM), "E729-96 Standard guide for conducting acute toxicity tests on test materials with fishes, macroinvertebrates, and amphibians," (1996).
4. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), "TG No. 203. Fish, acute toxicity test,"(1992).
5. Park, Y.-S., Lee, S.-G., Lee, S.-J., Moon, S.-K., Choi, E.-J. and Rhie, K.-T., "Heavy metal toxicity test in *Moina macrocarpa* with Glucose-6-phosphate dehydrogenase activity," *J. Environ. Toxicol.*, **18**(4), 305~310(2003).
6. Lee, C. W., "Culture method of *Simocephalus mixtus* (*S. mixtus*) to evaluate environment toxicity and measurement method of environment toxicity by *S. mixtus*,"(2003).
7. Ministry of Environment, "Establishment toxicity assessment system and management of hazardous chemicals,"(1999).
8. Ministry of Environment, "Development of water quality criteria for aquatic life I,"(2015).
9. Cui, R., Kwak, J. I. and An, Y.-J., "Characteristics and toxicity sensitivity of Korean dominant species *Daphnia galeata* for ecotoxicity testing : Comparative study with *Daphnia magna*," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **38**(4), 193~200(2016).
10. National Institute of Environmental Research (NIER), "Studies on plan for diversification of test species in ecotoxicity assessment I,"(2013).
11. Mo, H.-H., "Development of aquatic ecotoxicological test methods using Korean native indicator invertebrates," Thesis for the degree of doctor of philosophy, Korea University, (2011).
12. Yoo, D., Son, J., Mo, H.-H., Bae, Y. J. and Cho, K., "Comparing acute and swimming endpoints to evaluate the response of two freshwater midge species, *Chironomus yoshimatsui* and *Chironomus riparius* to heavy metals," *Korean J. Environ. Biol.*, **23**(2), 98~105(2005).
13. National Institute of Environmental Research (NIER), "Study on the Korean native organism for ecological toxicity evaluation,"(2006).
14. National Institute of Environmental Research (NIER), "Development and standardization of ecotoxicity tests using species indigenous to Korea,"(2007).
15. National Institute of Environmental Research (NIER), "Development and standardization of ecotoxicity tests using species indigenous to Korea II,"(2008).
16. National Institute of Environmental Research (NIER), "Development and standardization of ecotoxicity tests using species indigenous to Korea III,"(2009).
17. National Institute of Environmental Research (NIER), "Development and standardization of ecotoxicity tests using *Neocaridina denticulata*,"(2010).
18. National Institute of Environmental Research (NIER), "Studies on biological test system for environmental hazard assessment using indigenous species,"(2011).
19. Park, J.-H., Cho, D.-H. and Chung, K., "Ecotoxicological Study of *Gammarus sobaegensis* by pH Depression in Artificial Channels - Drift behavior -, " *Korean J. Environ. Biol.*, **18**(1), 153-161(2000).
20. Lee, J. S., Lee, S. M. and Park, G. S., "Development of sediment toxicity test protocols using Korean indigenous marine benthic amphipods," *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **13**(2), 147~155(2008).
21. Ko, S.-K., "A study on the evaluation of teratogenicity of chemical by Korean brown frog embryo, *Rana dybowskii*," *Korean J. Environ. Eco.*, **18**(3), 333~339(2004).
22. Korea Environmental Industry Technology Institute, "Dev-

- elopment of ecotoxicity test guideline and establishment of risk assessment for aquatic ecosystem with Korean amphibian embryos,”(2011).
23. Kim, E. J. and Lee, S.-K., “Use of duckweed (*Lemna gibba*) growth-inhibition test to evaluate the toxicity of chromate in Korea,” *Kor. J. Environ. Toxicol.*, **16**(4), 205~209(2001).
 24. Ministry of Environment, “Studies on development of field application method for ecotoxicity assessment of pollutants using bioindicator,”(2009).
 25. Ministry of Environment and National Institute of Environmental Research, “Development of integrated methodology for evaluation of water environment III,”(2006).
 26. National Institute of Environmental Research (NIER), Assessment method of hazard concern substance(II), (2005).
 27. Ministry of Environment, Implementation of risk assessment (Pb, Hg, and Cd) and preparation of establishment plan for risk management,(2007).
 28. Kim, S. W., Kwak, J. I., Yoon, J. Y., Jeong, S.-W. and An, Y.-J., “Selection of domestic test species suitable for Korean soil ecological risk assessment,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(5), 359~366(2014).
 29. An, Y.-J., Nam, S.-H. and Lee, J.-K., “Domestic test species for aquatic toxicity assessment in Korea,” *Korean J. Limnol.*, **40**(1), 1~13(2007).
 30. Nam, S.-H., Yang, C.-Y., An, Y.-J. and Lee, J.-K., “Fundamentals of ecotoxicity evaluation methods using domestic aquatic organisms in Korea: (I) Fish,” *Korean J. Limnol.*, **40**(2), 173~183(2007).
 31. An, Y.-J., Nam, S.-H. and Lee, J.-K., “Fundamentals of ecotoxicity evaluation methods using domestic aquatic organisms in Korea: (II) Water flea,” *Korean J. Limnol.*, **40**(3), 357~369(2007).
 32. An, Y.-J., Nam, S.-H. and Baek, Y.-W., “Fundamentals of ecotoxicity evaluation methods using domestic aquatic organisms in Korea: (III) Green algae,” *Korean J. Limnol.*, **41**(2), 117~127(2008).
 33. Nam, S.-H., Lee, W.-M. and An, Y.-J., “Derivation of ecological protective concentration using the probabilistic ecological risk assessment applicable for Korean water environment:(I) Cadmium,” *Toxicol. Res.*, **28**(2), 129~137(2012).
 34. Lee, W.-M., Nam, S.-H. and An, Y.-J., “Deriving ecological protective concentration of cadmium for Korean soil environment,” *Environ. Eng. Res.*, **18**(4), 241~246(2013).
 35. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO14442 Water quality - Guidelines for algal growth inhibition tests with poorly soluble materials, volatile compounds, metals and waste water,”(2012).
 36. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO7346-1 Water quality - Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)] - Part 1: Static method,” (2013).
 37. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO7346-2 Water quality - Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)] - Part 2: Semi-static method,”(2013).
 38. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO7346-3 Water quality - Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)] - Part 3: Flow-through method,”(2013).
 39. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO10229 Water quality - Determination of the prolonged toxicity of substances to freshwater fish - Method for evolution the effects of substances on the growth rate of rainbow trout - *Oncorhynchus mykiss* Walbaum - Teleostei, Salmonidae,”(2013).
 40. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO10712 Water quality - *Pseudomonas putida* growth inhibition test - *Pseudomonas* cell multiplication inhibition test,”(2013).
 41. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO6341 Water quality - Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) - Acute toxicity test,”(2014).
 42. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO8692 Water Quality - Freshwater algal growth inhibition test with unicellular green algae,”(2014).
 43. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO15088 Water quality - Determination of the acute toxicity of wastewater to zebrafish eggs (*Danio rerio*),”(2014).
 44. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO10706 Water quality - Water quality-Determination of long term toxicity of substances to *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea),”(2016).
 45. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO12890 Water quality-Determination of toxicity to embryos and larvae of freshwater fish-Semi-static method,”(2016).
 46. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO20079 Water quality - Determination of the toxic effect of water constituents and waste water on duckweed (*Lemna minor*) - Duckweed growth inhibition test,”(2016).
 47. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO20665 Water quality - Determination of chronic toxicity to *Ceriodaphnia dubia*,”(2016).
 48. Korean Standards Association (KSA), “KS I ISO20666 Water quality - Determination of the chronic toxicity to *Brachionus calyciflorus* in 48 h,”(2016).
 49. National Institute of Environmental Research (NIER) announcement 2012-23, Regulation for designation of research institute for testing chemical hazards.
 50. Rural Development Administration announcement 2016-38. Standard for registration of agricultural pesticides and technical product.
 51. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 212. Fish, short-term toxicity test on embryo and sac-fry stages,”(1998).
 52. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 215. Fish, juvenile growth test,”(2000).
 53. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 202. *Daphnia* sp. acute immobilisation

- test,”(2004).
54. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 221. *Lemna* sp. growth inhibition test,” (2006).
55. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 230. 21-day fish assay,”(2009).
56. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 231. Amphibian metamorphosis assay,” (2009).
57. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 201. Freshwater alga and cyanobacteria, growth inhibition test,”(2011).
58. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 234. Fish sexual development test,”(2011).
59. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 235. *Chironomus* sp., acute immobilisation test,”(2011).
60. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 211. *Daphnia magna* reproduction test,” (2012).
61. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 229. Fish short term reproduction assay,” (2012).
62. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 210. Fish, early-life stage toxicity test,” (2013).
63. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 236. Fish embryo acute toxicity (FET) test,”(2013).
64. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 240. Medaka extended one generation reproduction test (MEOGRT),”(2015).
65. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “TG No. 241. The larval amphibian growth and development assay (LAGDA),”(2015).
66. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E1415-91 Standard guide for conducting static toxicity tests with *Lemna gibba* G3,”(1991).
67. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E1440-91 Standard guide for acute toxicity test with the rotifer *Brachionus*,”(1991).
68. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E1768-95 Standard guide for ventilatory behavioral toxicology testing of freshwater fish,”(1995).
69. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E1192-97 Standard guide for conducting acute toxicity tests on aqueous ambient samples and effluents with fishes, macro-invertebrates, and amphibians,”(1997).
70. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E1193-97 Standard guide for conducting *daphnia magna* life-cycle toxicity tests,”(1997).
71. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E1295-01 Standard guide for conducting three-brood, renewal toxicity tests with *Ceriodaphnia dubia*,”(2001).
72. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E2172-01 Standard guide for conducting laboratory soil toxicity tests with the nematode *Caenorhabditis elegans*,”(2001).
73. American Society for Testing and Materials (ASTM), “D3978-04 Standard practice for algal growth potential testing with *Pseudokirchneriella subcapitata*,”(2004).
74. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E1218-04 Standard guide for conducting static toxicity tests with microalgae,”(2004).
75. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E1241-05 Standard guide for conducting early life-stage toxicity tests with fishes,”(2005).
76. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E2455-06 Standard guide for conducting laboratory toxicity tests with freshwater mussels,”(2006).
77. American Society for Testing and Materials (ASTM), “E1439-12 Standard guide for conducting the frog embryo teratogenesis assay-xenopus (FETAX),”(2012).
78. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 10229 Water quality - Determination of the prolonged toxicity of substances to freshwater fish - Method for evaluating the effects of substances on the growth rate of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum (Teleostei, Salmonidae),” (1994).
79. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 10712 Water quality - *Pseudomonas putida* growth inhibition test (*Pseudomonas* cell multiplication inhibition test),”(1995).
80. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 7346-1 Water quality - Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)] - Part 1: Static method,”(1996).
81. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 7346-2 Water quality - Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)] - Part 2: Semi-static method,”(1996).
82. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 7346-3 Water quality - Determination of the acute lethal toxicity of substances to a freshwater fish [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)] - Part 3: Flow-through method,”(1996).
83. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 20079 Water quality - Determination of the toxic effect of water constituents and waste water on duckweed (*Lemna minor*) - Duckweed growth inhibition test,”(2005).
84. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 14442 Water quality - Guidelines for algal growth inhibition tests with poorly soluble materials, volatile compounds, metals and waste water,”(2006).
85. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 15952 Soil quality - Effects of pollutants on juvenile land snails (*Helicidae*) - Determination of the effects on growth by soil contamination,”(2006).
86. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 15088 Water quality - Determination of the acute toxicity of

- waste water to zebrafish eggs (*Danio rerio*),”(2007).
87. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 20665 Water quality - Determination of chronic toxicity to *Ceriodaphnia dubia*,”(2008).
 88. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 20666 Water quality - Determination of the chronic toxicity to *Brachionus calyciflorus* in 48 h,”(2007).
 89. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 12890 Water quality - Determination of toxicity to embryos and larvae of freshwater fish - Semi-static method,”(2009).
 90. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 10872 Water quality - Determination of the toxic effect of sediment and soil samples on growth, fertility and reproduction of *Caenorhabditis elegans* (Nematoda),”(2010).
 91. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 14380 Water quality - Determination of the acute toxicity to *Thamnocephalus platyurus* (Crustacea, Anostraca),”(2011).
 92. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 6341 Water quality - Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) - Acute toxicity test,”(2012).
 93. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 8692 Water quality - Fresh water algal growth inhibition test with unicellular green algae,”(2012).
 94. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 14371 Water quality - Determination of fresh water sediment toxicity to *Heterocypris incongruens* (Crustacea, Ostracoda),”(2012).
 95. International Organization for Standardization (ISO), “ISO 19827 Water quality - Determination of the acute toxicity to the freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus*,”(2016).
 96. United States Environmental Protection Agency (USEPA), “OCSPP 850.4400 Aquatic Plant Toxicity Test Using *Lemna* spp.,”(2012).
 97. United States Environmental Protection Agency (USEPA), “OCSPP 850.4500 Algal Toxicity,”(2012).
 98. United States Environmental Protection Agency (USEPA), “OCSPP 850.4550 Cyanobacteria (*Anabaena flos-aquae*) Toxicity,”(2012).
 99. Integrated Taxonomic Information System (ITIS) Home Page, <https://www.itis.gov>, January(2017).
 100. Nature Korea biodiversity information system Home Page, <http://www.nature.go.kr/index.jsp>, January (2017).
 101. Species Korea Home Page, <https://www.nibr.go.kr/species/mobile/home/cls/cls010011.jsp>, January (2017).
 102. Kim, B.-S., Park, Y.-K., Yang, Y.-J., Hong, S.-S., Park, K.-H., Joeng, M.-H., Kim, S.-R., Park, K.-H., Yeh, W.-H., Kim, D.-H., Yun, J.-C., Hong, M.-K., Kyung, K.-S. and Ahn, Y.-J., “Comparison of toxic response of cladocerans to organic solvents to establish the standard test guidelines using Korean native species,” *Korean J. Pestic. Sci.*, **14**(1), 10~15(2010).
 103. Kim, J. H., Lee, K. D. and Min, T. J., “Purification and characterization of carboxypeptidase A from the eggs of wild salmon (*Salmo Salar*),” *Korean Biochem. J.*, **19**(3), 324~332(1986).
 104. Park, J. H. and Shim, S. I., “Influences of PAHs and ammonium on growth of duckweed (*Lemna perpusilla* Torr.),” *Korean J. Environ. Ecol.*, **28**(5), 510~515(2014).
 105. Ahn, K. H., Lim, J. C., Lee, Y. K., Choi, T. B., Lee, K. S., Im, M. S., Go, Y. H., Suh, J. H., Shin, Y. K. and Kim, M. J., “Vegetation classification and distributional pattern in damyang riverine wetland,” *J. Environ. Impact. Assess.*, **25**(2), 89~102(2016).
 106. Yoo, K.-I. and Lim, B.-J., “Seasonal variation in the zooplankton community structure of the lower Han river system,” *Korean J. Limnol.*, **24**(2), 85~91(1991).
 107. Song, M. A., “Taxonomic studies and community analysis on Order Chlorococcales (Chlorophyta, Chlorophyceae) in Hongcheon-River, Korea,” Thesis for degree of master, Kyonggi university,(2013).
 108. Oh, I. H., “A Study of Distribution of Giant Duckweed (*Spirodela polyrrhiza*) and Small Duckweed (*Lemna aegui-noctialis*) in Korea,” Thesis for degree of doctor of philosophy, Ewha Womans university,(1986).
 109. Lee, S. J., “Studies on the aquatic toxicity assessment technique based on *Lemna paucicostata*. Thesis for degree of master, Incheon university,(2006).
 110. The Korean National Council for Conservation of Nature, “Korean species list,”(1996).
 111. Kim, I. S. and Park, J.-Y., Freshwater fishes of Korea, 1st ed, Kyohak, Seoul,(2002).
 112. Jung, J., Illustration of the freshwater algae of Korea, 1st ed, Academy, Seoul,(1993).
 113. Computerized Numeric Control North Korea scholarly information, North Korea geographic information: Baekdu mountain animal,(1993).
 114. Ko, S.-K., “Toxicity evaluation of chemicals using black-spotted pond frog embryos, *Rana nigromaculata*,” *Korean J. Environ. Biol.*, **30**(3), 231~237(2012).
 115. Kim, Y.-B. Lee, S.-K., Kim, Y.-H. and Roh, J.-K., “Selective Toxicity and Acetylcholinesterase Inhibition of Diazinon and Carbofuran to Killfish (*Oryzias latipes*) and Loach (*Misgurnus anguillicaudatus*),” *Korean J. Environ. Agric.*, **7**(2), 117~123(1988).
 116. Kim, J.-H., Han, S.-Y. and Yeom, D.-H., “The ecological health screening assessment of agricultural area using biomarkers and bioindicators in *Misgurnus anguillicaudatus* (case study),” *Korean J. Pestic. Sci.*, **16**(1), 62~68(2012).
 117. Moon, S.-D., Cho, C.-H., Kwak, I.-S. and Lee, C.-H., “Effects of Cu, Cd, Fenbendazole and Sulfathiazole on the Survival of the Korean Fairy Shrimp *Branchinella kugenumaensis*,” *J. Environ. Toxicol.*, **24**(4), 311~320(2009).
 118. Park, K., Lee, D. J., Lee, C.-H., Won, D.-H., Lee, W. and Kwak, I.-S., “Studies on Endpoints of Toxicological Evaluation of Heavy Metals in *Branchinella kugenumaensis*,” *J. Environ. Toxicol.*, **24**(3), 241~249(2009).
 119. Park, Y.-K., Bae, C.-H., Kim, B.-S., Lee, J.-B., You, A.-S., Hong, S.-S., Park, K.-H., Shin, J.-S., Hong, M.-K., Lee, K.-S. and Lee, J.-H., “The risk assessment of butachlor for

- the freshwater aquatic organisms,” *Korean J. Pestic. Sci.*, **13**(1), 1~12(2009).
120. Bae, C.-H., Park, Y.-K., Kim, Y.-S., Cho, K.-W., Lee, S.-H., Jung, C.-K. and Lee, K.-S., “Correlation and sensitivity of acute toxicity of pesticides on the common carp (*C. carpio*) and killifish (*O. latipes*),” *Korean J. Pestic. Sci.*, **16**(1), 78~83(2012).
 121. Yeom, D.-H. and Lee, S.-K., “acute toxicity of four agrochemicals on larval and juvenile oriental weatherfish (*Misgurnus anguillicaudatus*),” *J. Environ. Toxicol.*, **21**(4), 311~316(2006).
 122. Yoon, S. J., Lee, S.-K. and Park, H. O., “Development of continuous water quality monitoring system using the Daphnid *Daphnia* sp.,” *J. Korean Soc. Water. Qual.*, **24**(1), 36~43(2008).
 123. Lee, J. Y. and Chin, P., “Acute toxicity of synthetic detergent on the larvae of loach, *Misgurnus anguillicaudatus*,” *Bull. Korean Fish Soc.*, **17**(2), 139~142(1984).
 124. Ministry of Agriculture, “Development of the standard ecotoxicological test methods of pesticides for the protection of agricultural environment,”(1999).
 125. Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), “A protocol for the derivation of water quality guidelines for the protection of aquatic life 2007,”(2007).
 126. United States Environmental Protection Agency (USEPA), “Guidelines for deriving numerical national water quality criteria for the protection of aquatic organisms and their uses,” (1985).
 127. The State of Queensland, “Revised method for deriving Australian and New Zealand water quality guideline values for toxicants,”(2015).
 128. Australian and New Zealand Environment and Conservation council (ANZECC) and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ), “Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality, Volume 2, Aquatic ecosystems - rationale and background information, Chapter 8,”(2000).