생태독성시험을 위한 국내 자생생물종 선별 연구: (2) 토양시험종 Investigation of Korean Native Organisms for Development of Ecotoxicity Test : (2) Soil Test Species

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

건국대학교 환경보건과학과
Department of Environmental Health Science, Konkuk University

(Received July 26, 2017; Revised September 18, 2017; Accepted January 23, 2018)

Abstract : Ecological risk assessment has been introduced and applied based on quantitative ecotoxicity data produced using international standard methods. When conducting ecological risk assessment for soil pollutants in specific countries, it is necessary to use organisms that are native to the countries in question. However, due to their widespread distribution and economic value, it is necessary to perform studies on native test species. In this study, we collected test species used in international and domestic standard methods and selected domestic organisms used. In addition, we surveyed studies on Korean domestic organisms used for ecotoxicity tests. Furthermore, we assessed the possibility of deducing predicted no effect concentrations, as suggested by international methods. Sixty-two out of 106 test species used in four international and three domestic standard methods were determined as domestic organisms in Korea. Five domestic organisms were used as test species in the studies on domestic organism for ecotoxicity tests. Finally, 65 domestic organisms were evaluated as test species for soil toxicity assessment. On the basis of the 65 domestic organisms, we verified the possibility of deducing predicted no effect concentrations suggested by three international methods. This study identified potential soil test species for assessing the characteristics of Korean soil systems.

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

요약 : 생태위해성평가를 도입 및 적용시키기 위해 국제적으로 공신력 있는 표준시험법에 따른 정량적인 생태독성자료가 생산되고 있다. 독성물질의 영향으로부터 자국 환경을 보호하기 위한 생태위해성평가 시, 자국 환경에 적합한 생물종을 활용할 필요가 있다. 국제 표준시험법에서 제시하고 있는 시험종은 국외종이 다수 포함되어 있어, 광범위한 분포성 및 경제성 측면에서 국내 환경에의 적합성이 낮으므로, 토양생태독성시험종으로서 국내 자생생물종 연구가 필요하다. 본 연구에서는 토양 생태독성시험종 개발을 위한 국내 자생생물 선별 연구를 위해 국내 · 외 토양생태독성 표준시험법에서 제시하고 있는 토양생태독성시험종 사례를 수집하였으며, 이 중 국내 자생생물종 비율을 분석하였다. 또한 국내 토양생태독성평가연구에서 사용한 시험종을 포함한 후, 선별된 국내 자생생물종을 활용하여 토양생태계 보호를 위한 예측무영향농도 산출 가능성을 분석하였다. 7개 국 · 내외 표준시험법에서 제시하고 있는 토양생태독성시험종은 106개로, 6개 문 또는 계 및 8개 강에 속하는 것으로 나타났다. 이 중 국내 자생생물종은 총 62개로, 전체의 58.5%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 국내 토양생태독성평가연구에서 제시하고 있는 토양생태독성시험종은 5개로, 4개 문 또는 계 및 4개 강에 속하는 것으로 나타났다. 최종적으로 선별된 65개의 국내 자생 토양생태독성시험종을 대상으로 토양생태계 보호를 위한 예측무영향농도의 산출 가능성을 분석한 결과, 캐나다 및 호주 방법의 고신뢰성 생물분류학적 기준에 부합되어 생태독성 시험생물로 사용되고 있는 외국도입종을 대체 가능한 것으로 분석되었다. 본 연구는 국내 토양의 특성을 고려하여 잠재적인 토양 생태독성시험종을 제안함으로써, 국내 토양 생태독성평가의 기반을 마련하였다.

주제어 : 자생종, 국내종, 토양독성, 생태독성

1. 서론

국내 · 외적으로 오염물질별 농도 수준만 측정할 수 있는 환경매체 내 오염물질에 대한 이화학적 평가의 한계를 벗어나, 생태계 내 잠재적인 위해성을 평가할 수 있는 생태위해성평가를 도입 및 적용시키고 있는 실정이다.¹⁾ 이를 위해 국제적으로 공신력있는 표준시험법이 제정되었으며,²⁻²⁵⁾ 이에 준하여 다양한 오염물질에 대한 생태독성평가가 수행됨으로써 정량적인 생태독성자료가 생성되고 있다. 한국 역시 이러한 추세에 맞춰 국제적인 표준시험법을 활용함과 동시에 국내 생태독성평가를 위한 표준시험법²⁶⁻³⁶⁾을 제정하여

이에 준한 국내 오염물질에 대한 생태독성자료를 생성하고 있다. 그러나 오염물질에 의한 영향으로부터 자국 환경을 보호하기 위한 생태위해성평가 시, 자국 환경에 적합한 자생생물종을 활용할 필요가 있다.³⁷⁾ 국제적인 표준시험법에서 제시하고 있는 시험종은 광범위한 분포성, 개체 확보 · 종 크기 · 배양 용이성, 지속적인 번식성, 오염물질에 대한 민감성, 경제성 등의 생태독성 시험종의 필요조건³⁷⁾을 만족시킬 수 있는 일부 생물종에 한해 권고하고 있으나, 이러한 필요조건에 대한 충족도는 자국 환경에 따라 상이할 수 있다. 국제적인 표준시험법에서 제시하고 있는 시험종은 국외종이 다수 포함되어 있어,^{2-25,38-41)} 광범위한 분포성 및 경제성 측

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

면에서 국내 환경에의 적합성이 낮다고 볼 수 있다.

2000년대 초반부터 정부 및 학계 연구 사업을 통해 국제적인 표준시험법에 미제시된 자생생물종에 대한 연구가 수행되어왔으며,^{37,42-58)} 특히 수서 생태독성시험종에 대한 개발 연구가 꾸준히 수행되어 왜물개(*Aphyocypris chinensis*), 유리물벼룩(*Daphnia galeata*), 요시마즈갈따구(*Chironomus yoshimatsui*), 새뱅이(*Neocardina denticulata*), 무당개구리(*Bombina orientalis*), 꽃체다슬기(*Semisulcospira gottschei*) 등의 자생생물종이 수서 생태독성평가를 목적으로 개발된 바 있다. 반면 토양생태독성 분야에서, 국·내외 표준시험법은 지렁이, 톱토기 등의 기타 생물종을 1-4개로 제시한 반면 쌍떡잎식물을 56개로 제시하였으므로,^{2-36,38-41)} 자생생물종을 이용한 확률론적 생태위해성평가를 위해 육상식물 중심의 토양독성평가에서 다양한 생물분류군에 속하는 시험종으로의 확대 연구가 필요한 실정이다. 그러나 현재까지 자생생물종을 이용한 토양 생태독성시험종 개발 연구는 꼬마혹무늬톡토기(*Lobelia sokamensis*),⁵⁹⁾ 늪마디톡토기(*Isoetum palustris*),⁶⁰⁾ 물푸른알말(*Chlorococcum infusionum*)^{61,62)}로 제한되어 있어 수서 생태독성시험종 개발 연구에 비해 매우 미진한 편이다. 따라서 다양한 국내 자생생물종을 이용한 토양생태독성평가기법을 개발하고 표준화하여, 국내 자생생물종을 이용한 토양 오염물질별 정량적 생태독성자료를 생성함으로써, 궁극적으로 국제적으로 공신력있는 국내 자생생물종의 토양생태독성시험종으로의 진출을 도모할 필요가 있다.

본 연구에서는 토양 생태독성시험종 개발을 위한 국내 자생생물종 선별 연구를 위해 국내·외 토양생태독성 표준시험법에서 제시하고 있는 시험종 현황을 분석하였고, 이 중 국내 자생생물종을 선별하였다. 또한 국내 토양생태독성평가 연구에서 사용한 시험종 현황을 고려하여, 국내 자생생물종 목록을 도출하였다. 또한 선별된 국내 자생생물종 자료를 바탕으로 캐나다, 호주, 유럽위원회의 토양생태계 보호를 위한 예측무영향농도(Predicted No Effect Concentration, PNEC) 산출 방법론을 활용하여 확률론적 생태위해성평가(Probabilistic Ecological Risk Assessment, PERA)의 가능성을 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1. 국내·외 토양생태독성 표준시험법 현황 조사 및 국내 자생생물종 선별

토양 생태독성시험을 위한 국내 자생생물종 선별 연구를 위해, 국내·외 생태독성 표준시험법에서 제시하고 있는 토양생태독성 시험종 현황을 조사하였다. 국내 생태독성 관련 표준시험법(한국표준협회,²⁸⁻³⁶⁾ 국립환경과학원 고시,²⁶⁾ 농촌진흥청 고시²⁷⁾과 국외 생태독성 관련 표준시험법(OECD,¹⁹⁻²⁵⁾ ASTM,²⁻⁴⁾ ISO,⁵⁻¹⁸⁾ USEPA³⁸⁻⁴¹⁾)에 제시된 토양생태독성 시

험종을 문(Phylum) 또는 강(Class)의 생물분류군을 기준으로 분류하였으며, 생물분류군 분류 시 국제분류정보시스템(Integrated Taxonomic Information System, ITIS),⁶³⁾ 국가생물종지식정보시스템,⁶⁴⁾ 한반도생물자원포털⁶⁵⁾ 등의 생물종 관련 사이트를 활용하였다. 또한 수집된 토양생태독성시험종 중 국내 자생생물종을 선별하기 위해, 국내 서식 관련 참고문헌(국가생물종지식정보시스템,⁶⁴⁾ 학술논문,⁶⁶⁻⁶⁸⁾ 사전⁶⁹⁾을 활용하였다. 이 때 *sp.* 및 *spp.*와 같이 종(Species) 구분이 불분명한 토양생태독성 시험종은 국내 자생종 선별 과정에서 제외되었다.

2.2. 국내 토양생태독성평가연구에서 사용한 시험종 현황 조사

토양 생태독성시험을 위한 국내 자생생물종 선별 연구를 위해, 국내 토양생태독성 평가연구 현황을 조사하였다. 국내 서식 여부가 검토된 정부보고서,⁷⁰⁾ 학술논문,^{59-62,66,68)} 학위논문⁷¹⁾에 제시된 토양생태독성 시험종을 문(Phylum) 또는 강(Class)의 생물분류군을 기준으로 분류하였으며, 국제분류정보시스템,⁶³⁾ 국가생물종지식정보시스템,⁶⁴⁾ 한반도생물자원포털⁶⁵⁾ 등의 생물종 관련 사이트를 활용하여 생물분류군을 분류하였다.

2.3. 선진국의 토양생태계 보호를 위한 예측무영향농도 산출 가능성 분석

상기 국내·외 표준시험법 및 국내 토양생태독성 평가연구에서 제시하고 있는 토양생태독성 시험종을 활용하여, 캐나다, 호주, 유럽위원회의 토양생태계 보호를 위한 예측무영향농도 산출 방법론을 바탕으로 확률론적 생태위해성평가의 가능성을 분석하였다. 캐나다 환경청(Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME)은 토양 생태계 보호를 위한 예측무영향농도로서, 토양생물 보호를 위한 토양 권고치(Soil quality guideline)를 제시하고 있다.⁷²⁾ 캐나다의 토양권고치는 식물 및 토양 무척추동물에 대한 직접적인 토양 접촉, 영양분 및 에너지 순환 과정, 야생생물에 의한 오염된 식물 및 토양 섭취, 지하수에서 잠재적인 축산관개수원 및 담수 서식처인 지표수체로의 오염물질의 이동을 평가하기 위해, 토지 이용도(농업용, 주거용, 상업용, 산업용)별·만성 또는 급성 독성 자료의 양질에 따라 weight of evidence, 최저관찰영향농도(Lowest observed effect concentration, LOEC), median effects 방식을 적용하고 있으며, 각 방식별 독성 자료의 생물분류학적 필요조건은 CCME⁷²⁾을 참고하였다(Table 1). 호주는 토양 생태계 보호를 위한 예측무영향농도로서, 토양생물 보호를 위한 Ecological Investigation Level (EIL)를 제시하고 있다.⁷³⁾ 호주의 EIL은 Added contaminant limit (ACL) 및 배경농도(Ambient background concentration, ABC)의 총합으로 산출되며, ACL은 만성 또는 급성 독성 자료의 양질에 따라 종민감분포도(Species sensitivity distribution, SSD) 및 평가계수(Assessment factor, AF) 방식을 적용하고

Table 1. Taxonomic data for deriving the predicted no effect concentration for the protection of soil ecosystem in CCME⁷²⁾

Taxonomic classification	Method to derive soil quality guidelines		
	Weight of evidence	Lowest observed effect concentration	Median effects
Plants	2	1	1
Invertebrates	2	1	1
Type of data	At least 10 data including plant and soil invertebrates; EC ₂₅ (agricultural and residential land) 또는 EC ₅₀ (commercial and industrial land)	At least 3 data including plant and soil invertebrates; LOEC**	At least 3 data including plant and soil invertebrates; EC ₅₀ or LC ₅₀ ***

* EC₂₅ or EC₅₀: Effective concentration at 25% or 50%. ** LOEC: Lowest observed effect concentration. *** LC₅₀: Lethal concentration at 50%.

Table 2. Taxonomic data for deriving the predicted no effect concentration for the protection of soil ecosystem in NEP⁷³⁾

Taxonomic classification	Method to derive added contaminant limit	
	Species sensitivity distribution	Assessment factor
Taxonomy	Mollusca, annelida, nematoda, hexapoda, myriapoda, chelicerata, crustaceans, algae, plantae, fungi, bacteria, protozoa, tardigrada, chordata	
Type of data	L(N)OEC, EC ₁₀ , EC ₃₀ , or EC ₅₀ including three taxonomic data	5-8 data SSD ₈₀ [*] 500: < 3 data, 100: ≥ 3 data in 1 group, 50: ≥ 3 data in 2 groups, 10: < 5 data in 3 groups, or field data/data of model ecosystems
		≥9 data SSD ₈₅ [*]

* SSD₈₀ or SSD₈₅: Species sensitivity distribution for 80 or 85 percentage of species to be protected

Table 3. Taxonomic data for deriving the predicted no effect concentration for the protection of soil ecosystem in EC^{74,75)}

Method to derive predicted no effect concentration	
Species sensitivity distribution	Assessment factor
At least 10-15 data including 8 taxonomic groups (No presentation of list for taxonomic groups)	Plant, earthworm, and microorganisms 1000: short-term-L(E)C ₅₀ * in 3 groups, 100: long-term-NOEC** in 1 group, 50: long-term-NOEC in 2 groups, 10: long-term-NOEC in 3 groups, SSD***: 5-1 (to be fully justified on a case-by-case basis, case-by-case: field data/data of model ecosystems)

* LC₅₀ or EC₅₀: Lethal concentration or effective concentration at 50%, ** NOEC: No observed effect concentration, *** SSD: Species sensitivity distribution

있으며, 각 방식별 독성 자료의 생물분류학적 필요조건은 National Environmental Protection (NEP)⁷³⁾를 참고하였다 (Table 2). 유럽위원회(European Communities, EC)는 토양 생태계 보호를 위한 PNEC을 제시하고 있다.^{74,75)} 유럽위원회의 PNEC은 만성 또는 급성 독성 자료의 양질에 따라 SSD 및 AF 방식을 적용하고 있으며, 각 방식별 독성 자료의 생물분류학적 필요조건은 EC^{74,75)}를 참고하였다 (Table 3).

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양생태독성 표준시험법 내 국내 자생생물종 및 국내 고유생물종을 활용한 토양생태독성평가 현황 분석

3.1.1. 토양생태독성 표준시험법 현황 분석

국내·외 토양생태독성 관련 7개 표준시험법의 시험종별 생물분류군에 따라 표준시험법을 분석하였다. OECD¹⁹⁻²⁵⁾의 Guidelines for the Testing of Chemicals에 따르면, Section 2 Effects on Biotic Systems에서 식물류 2개, 지렁이류 3개, 독토기류 1개, 진드기류 1개에 대한 토양생태독성 표준시험법을 제시하고 있다. ASTM²⁻⁴⁾의 Environmental assessment

standards and risk management standards에 따르면, Biological Effects and Environmental Fate에서 식물류 1개, 지렁이류 1개, 선충류 1개에 대한 토양생태독성 표준시험법을 제시하고 있다. ISO⁵⁻¹⁸⁾의 Biological methods에 따르면, ISO/TC (Technical committees) 190/SC (Subcommittees) 4는 토양 매체에 대한 생태 수용체(지렁이류, 식물류, 독토기류 등)에 대한 생태독성시험법을 제시하고 있으며, 지렁이류 4개, 식물류 5개, 독토기류 2개, 딱정벌레류 1개, 복족류 1개, 곰팡이류 1개에 대한 토양생태독성 표준시험법을 제시하고 있다. USEPA³⁸⁻⁴¹⁾의 Ecological Effects Test Guidelines에 따르면, Series 850 - Ecological Effects Test Guidelines에서 식물류 3개, 지렁이류 1개에 대한 토양생태독성 표준시험법을 제시하고 있다. 한국표준협회²⁸⁻³⁶⁾에 따르면, ISO의 토양 매체에 대한 생물학적 방법을 번역한 지침서인 한국산업표준(Korean Standards, KS)에서 식물류 4개, 지렁이류 3개, 독토기류 1개, 복족류 1개에 대한 토양생태독성 표준시험법을 제시하고 있다. 국립환경과학원 고시 제2012-23호²⁶⁾[별표5] 화학물질유해성시험방법의 제2장 생태영향 시험분야에서 식물류 1개, 지렁이류 2개에 대한 토양생태독성 표준시험법을 제시하고 있다. 농촌진흥청 고시 제2016-38호²⁷⁾[별표 13] 환경생물 독성 시험기준과 방법에서 지렁이

Table 4. List of soil 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 Magnoliopsida									
<i>Abutilon theophrasti</i>	어저귀	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Agrostis tenuis</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Allium cepa</i>	양파	2	1	-	3	-	-	-	-
<i>Alopecurus myosuroides</i>	쥐꼬리뚝새풀	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Anagallis arvensis</i>	뚜껑별꽃	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Atriplex patula</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Avena fatua</i>	메귀리	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Avena sativa</i>	귀리	2	1	3	3	3	1	-	-
<i>Bellis perennis</i>	데이지	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Beta vulgaris</i>	근대	2	-	-	3	-	-	-	-
<i>Brassica alba</i>	-	-	1	-	-	-	1	-	-
<i>Brassica campestris</i>	-	2	1	-	-	-	1	-	-
<i>Brassica napus</i>	유채	2	1	-	3	-	1	-	-
<i>Brassica oleracea</i>	-	2	1	-	3	-	-	-	-
<i>Brassica rapa</i>	배추	2	1	3	3	3	1	-	-
<i>Bromus tectorum</i>	털빚새귀리	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Cardamine pratensis</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Centaurea cyanus</i>	수레국화	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Centaurea nigra</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Chenopodium album</i>	흰명아주	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Cucumis sativus</i>	오이	2	1	-	3	-	-	-	-
<i>Cynosurus cristatus</i>	빗살새	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Cyperus rotundus</i>	항부자	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Daucus carota</i>	당근	2	1	-	3	-	-	-	-
<i>Digitalis purpurea</i>	디기탈리스	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Digitaria sanguinalis</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Echinochloa crusgalli</i>	물피	2	1	-	2	-	-	-	-
<i>Elymus canadensis</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Fagopyrum esculentum</i>	메밀	2	-	-	3	-	-	-	-
<i>Festuca pratensis</i>	넓은김의털	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Festuca rubra</i>	왕김의털	-	-	1	-	-	1	-	-
<i>Galium aparine</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Galium mollugo</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Geum urbanum</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Glycine max</i>	대두	2	1	-	3	-	-	-	-
<i>Gossypium spp.</i>	-	-	-	-	3	-	-	-	-
<i>Helianthus annuus</i>	해바라기	2	-	-	3	-	-	-	-
<i>Hordeum pusillum</i>	좁보리풀	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Hordeum vulgare</i>	보리	2	-	2	-	2	-	-	-
<i>Hypericum perforatum</i>	서양고추나물	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Inula helenium</i>	목향	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Ipomoea hederacea</i>	미국나팔꽃	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Lactuca sativa</i>	상추	2	1	1	3	1	1	-	1
<i>Leersia oryzoides</i>	좀거풀	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Leontodon hispidus</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Leonurus cardiaca</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Lepidium sativum</i>	큰다닥냉이	2	1	1	-	-	1	-	-
<i>Linum usitatissimum</i>	아마	2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Lolium perenne</i>	호밀풀	2	1	-	3	-	1	-	-
<i>Lotus corniculatus</i>	서양별노랑이	4	-	-	2	-	-	-	-
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Lycopersicon esculentum</i> (=Solanum lycopersicum =Solanum lycopersicon)	토마토	2	1	-	3	-	-	-	-

Korean native organisms

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

Table 4. Continued

Taxonomic classification		References							
Species		OECD	ASTM	ISO	USEPA	KS	NIER	RDA	Others
Scientific name	Korean name								
Class Magnoliopsida (continued)									
<i>Medicago sativa</i>	자주게자리	-	-	1	-	1	-	-	-
<i>Mentha spicata</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Nelumbo lutea</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Nepeta cataria</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Oryza sativa</i>	벼	2	1	-	-	-	1	-	-
<i>Papaver rhoeas</i>	개양귀비	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Phaseolus aureus</i>	-	2	1	-	-	-	1	-	-
<i>Phaseolus vulgaris</i>	덩굴강낭콩	2	1	-	3	-	-	-	-
<i>Phleum pratense</i>	큰조아재비	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Pisum sativum</i>	완두	2	-	-	3	-	-	-	-
<i>Polygonum convolvulus</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Polygonum lapathifolium</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Polygonum pennsylvanicum</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Polygonum periscaria</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Prunella vulgaris</i>	꿀풀	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Ranunculus acris</i>	애기미나리아재비	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Raphanus sativus</i>	무	2	1	-	-	-	1	-	-
<i>Rorippa nasturtium-aquaticum</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Rudbeckia hirta</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Rumex crispus</i>	소리쟁이	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Secale cereale</i>	호밀	2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Senna obtusifolia</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Sesbania exaltata</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Sida spinosa</i>	공단풀	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Sinapis alba</i>	-	2	-	1	-	-	-	-	-
<i>Solidago canadensis</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Sorghum bicolor</i>	수수	2	1	-	-	-	1	-	-
<i>Sorghum saccharatum</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
<i>Spartina alterniflora</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Stachys officinalis</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Torilis japonica</i>	사상자	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Trifolium ornithopodioides</i>	-	-	1	-	-	-	1	-	-
<i>Trifolium pratense</i>	붉은토끼풀	4	1	2	2	1	1	-	-
<i>Trigonella foenum-graecum</i>	-	2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Triticum aestivum</i>	밀	2	1	1	-	1	1	-	-
<i>Veronica persica</i>	클개불알풀	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Vicia sativa</i>	-	2	1	-	-	-	1	-	-
<i>Xanthium pensylvanicum</i>	-	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Xanthium spinosum</i>	바늘도꼬마리	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Xanthium strumarium</i>	도꼬마리	2	-	-	2	-	-	-	-
<i>Zea mays</i>	옥수수	2	1	-	3	-	-	-	-
<i>Zizania aquatica</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Class Oligochaeta									
<i>Eisenia andrei</i>	붉은줄지렁이	1	-	3	1	1	2	1	2
<i>Eisenia fetida</i>	줄지렁이	3	1	3	1	2	2	2	-
<i>Enchytraeus albidus</i>	흰애기지렁이	1	1	-	-	-	-	-	-
<i>Enchytraeus</i> sp.	-	-	-	1	-	-	1	-	-
<i>Lumbricus rubellus</i>	붉은지렁이	-	-	-	-	-	-	1	-
Class Collembola									
<i>Folsomia candida</i>	-	1	-	2	-	1	-	-	-
<i>Folsomia fimetaria</i>	톡톡이	1	-	-	-	-	-	-	-

Korean native organisms

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

Table 4. Continued

Taxonomic classification		References							
Species		OECD	ASTM	ISO	USEPA	KS	NIER	RDA	Others
Scientific name	Korean name								
Class Collembola (continued)									
<i>Lobelia sokamensis</i>	꼬마혹무늬톡토기	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>isotomurus palustris</i>	톡톡이불이	-	-	-	-	-	-	-	2
Class Arachnida									
<i>Hypoaspis aculeifer</i>	총채가시응애	1	-	-	-	-	-	-	-
Class Insecta									
<i>Oxythyrea funesta</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Class Chromadorea									
<i>Caenorhabditis elegans</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Class Gastropoda									
<i>Helix aspersa</i>	-	-	-	1	-	1	-	-	-
Class Glomeromycetes									
<i>Glomus mosseae</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Class Chlorophyceae									
<i>Chlorococcum infusionum</i>	물푸른알말	-	-	-	-	-	-	-	3

Korean native organisms

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

류 2개에 대한 토양생태독성 표준시험법을 제시하고 있다.

7개 표준시험법 내 제시된 토양생태독성 시험종은 6개 문(Phylum) 또는 계(Kingdom) 및 8개 강(Class)에 속하는 총 106개로 분류되었으며(Table 4), 식물계(Kingdom Plantae)의 쌍떡잎식물강(Class Magnoliopsida), 절지동물문(Phylum Arthropoda)의 주형강(Class Arachnida), 톡토기강(Class Collembola), 곤충강(Class Insecta), 환형동물문(Phylum Annelida)의 빈모강(Class Oligochaeta), 연체동물문(Phylum Mollusca)의 복족강(Class Gastropoda), 선형동물문(Phylum Nematoda)의 쌍선강(Class Chromadorea), 균계(Kingdom Fungi)의 취균강(Class Glomeromycetes)이 이에 속한다. OECD, ASTM, ISO, USEPA, 한국표준협회, 국립환경과학원 고시, 농촌진흥청 고시는 대체로 식물류와 지렁이류를 공통적으로 제시하는 것으로 나타났으며, ISO에서만 표준시험법을 토양 생물종별로 비교적 다양하게 제시하는 것으로 나타났다. 한국표준협회, 국립환경과학원 고시, 농촌진흥청 고시의 표준시험법은 대체로 OECD, ASTM, ISO 등의 국외 표준시험법을 바탕으로 마련된 것으로 나타났으나, 농촌진흥청 고시에서 유일하게 붉은 지렁이 *Lumbricus rubellus*를 단독으로 제시하고 있다.

3.1.2. 토양생태독성 표준시험법 내 국내 자생생물종 선별 현황

7개 표준시험법 내 제시된 106개의 생태독성 시험종 중에서 국내 토양 자생생물종은 총 62개(58.5%)로 파악되었으며, 쌍떡잎식물강 56개, 빈모강 4개, 주형강 1개, 톡토기강 1개가 이에 속한다(Table 4).

3.1.3. 국내 토양생태독성평가연구에서 사용한 시험종 현황 분석

국내 토양생태독성 평가연구를 바탕으로 생물분류군(Phylum, Class)에 따라 자생생물종 현황을 분석하였고, 토양 자생생물종은 4개 문(Phylum) 또는 계(Kingdom) 및 4개 강(Class)에 속하는 5개로 분류되었으며, 식물계의 쌍떡잎식물강 1개, 환형동물문의 빈모강 1개, 절지동물문의 톡토기강 2개, 녹조식물문(Phylum Chlorophyta)의 녹조강(Class Chlorophyceae) 1개가 이에 속한다(Table 4).

3.1.4. 토양생태독성평가를 위해 선별된 국내 자생생물종 현황

국내·외 토양생태독성 관련 표준시험법 7개(OECD, ASTM, ISO, USEPA, 한국표준협회, 국립환경과학원 고시, 농촌진흥청 고시) 사례 및 국내 토양생태독성평가연구 사례(학술논문, 학위 논문, 및 정부 보고서) 조사 결과를 바탕으로, 국내 자생생물종을 각각 62개와 5개로 파악하였다. 중복된 생물종 2개를 감안한 결과, 국내 토양 자생생물종은 5개 강(Class)에 속하는 65개가 선별된 것으로 분석되었다. 최종적으로 국내 자생생물종은 쌍떡잎식물강 56개, 빈모강 4개, 주형강 1개, 톡토기강 3개, 녹조강 1개로, Table 5에 제시되어 있다.

3.2. 선별된 국내 자생생물종을 활용한 토양생태계 보호를 위한 예측무영향농도 산출 가능성 분석

국내 자생생물종 65개 자료를 바탕으로 국외의 3개(캐나다, 호주, 유럽위원회)의 토양생태계 보호를 위한 PNEC 산출

Table 5. Korean native organisms excavated for development of soil test species

Taxonomic classification		
Phylum (Kingdom)	Class	Species
(Plantae)	Magnoliopsida (56)	<i>Abutilon theophrasti</i> , <i>Allium cepa</i> , <i>Alopecurus myosuroides</i> , <i>Anagallis arvensis</i> , <i>Avena fatua</i> , <i>Avena sativa</i> , <i>Bellis perennis</i> , <i>Beta vulgaris</i> , <i>Brassica napus</i> , <i>Brassica rapa</i> , <i>Bromus tectorum</i> , <i>Centaurea cyanus</i> , <i>Chenopodium album</i> , <i>Cucumis sativus</i> , <i>Cynosurus cristatus</i> , <i>Cyperus rotundus</i> , <i>Daucus carota</i> , <i>Digitalis purpurea</i> , <i>Echinochloa crusgalli</i> , <i>Fagopyrum esculentum</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Glycine max</i> , <i>Helianthus annuus</i> , <i>Hordeum pusillum</i> , <i>Hordeum vulgare</i> , <i>Hypericum perforatum</i> , <i>Inula helenium</i> , <i>Ipomoea hederacea</i> , <i>Lactuca sativa</i> , <i>Leersia oryzoides</i> , <i>Lepidium sativum</i> , <i>Linum usitatissimum</i> , <i>Lolium perenne</i> , <i>Lotus corniculatus</i> , <i>Lycopersicon esculentum</i> (= <i>Solanum lycopersicum</i> = <i>Solanum lycopersicon</i>), <i>Medicago sativa</i> , <i>Oryza sativa</i> , <i>Papaver rhoeas</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Pisum sativum</i> , <i>Prunella vulgaris</i> , <i>Ranunculus acris</i> , <i>Raphanus sativus</i> , <i>Rumex crispus</i> , <i>Secale cereale</i> , <i>Sida spinosa</i> , <i>Sorghum bicolor</i> , <i>Torilis japonica</i> , <i>Trifolium pratense</i> , <i>Triticum aestivum</i> , <i>Veronica persica</i> , <i>Xanthium spinosum</i> , <i>Xanthium strumarium</i> , <i>Zea mays</i>
Annelida	Oligochaeta (4)	<i>Eisenia andrei</i> , <i>Eisenia fetida</i> , <i>Enchytraeus albidus</i> , <i>Lumbricus rubellus</i>
Arthropoda	Arachnida (1)	<i>Hypoaspis aculeifer</i>
	Collembola (3)	<i>Isotomurus palustris</i> , <i>Folsomia fimetaria</i> , <i>Lobelia sokamensis</i>
Chlorophyta	Chlorophyceae (1)	<i>Chlorococcum infusionum</i>

방법론의 생물분류학적 기준을 적용하여, 자생 토양생태독성 시험종의 PNEC 산출 가능성을 분석하였다. 캐나다의 토양권고치 산출을 위한 독성 자료의 생물분류학적 필요조건을 바탕으로, 자생 토양생태독성 시험종의 토양권고치 산출 가능성을 분석한 결과, 식물 56개, 환형동물 4개, 절지동물 4개를 포함한 무척추동물 8개를 포함하고 있으므로 2개 생물분류군의 10개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 weight of evidence 방식으로 토양권고치 산출이 가능한 것으로 예측되었다. 또한 호주의 토양권고치 산출을 위한 독성 자료의 생물분류학적 필요조건을 바탕으로, 자생 토양생태독성 시험종의 토양권고치 산출 가능성을 분석한 결과, 식물 56개, 환형동물 4개, 곤충류 3개, 협각류 1개, 조류 1개를 포함하고 있으므로 3개 생물분류군의 9개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 SSD₈₀ 방식으로 ACL 산출이 가능한 것으로 예측되었다. 유럽위원회의 PNEC 산출을 위한 독성 자료의 생물분류학적 필요조건을 바탕으로, 자생 토양생태독성 시험종의 PNEC 산출 가능성을 분석한 결과, 식물 56개, 환형동물 4개, 곤충류 3개, 협각류 1개, 조류 1개를 포함하고 있으므로 2개 생물분류군(식물, 지렁이)의 2개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 AF 방식으로 PNEC 산출이 가능한 것으로 예측되었다. 단, 유럽위원회의 토양 SSD 방식에 적용하기 위한 생물분류학적 기준은 현재 명문화된 자료가 미제시된 상태로, 이를 충족시키기 위한 추가적인 토양 자생생물종의 판별이 불가한 상황이므로, 유럽위원회의 PNEC 산출 가능성에 의한 생태독성 시험생물로 사용되고 있는 외국도입종을 대체할 수 있는 자생생물 선별 가능성 검토는 배제될 필요가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 7개(OECD, ASTM, ISO, USEPA, 한국표

준협회, 국립환경과학원 고시, 농촌진흥청 고시) 국내 · 외 토양생태독성 관련 표준시험법에서 제시한 토양생태독성 시험종 106개 중 국내 자생생물종 62개를 선별하였고, 국내 토양생태독성평가연구에서 제시한 토양생태독성시험종 5개와 종합하여, 중복된 생물종 2개를 감안하여 총 65개의 국내 자생생물종 목록을 도출하였다. 최종 선별된 65개의 토양 생태독성시험종 개발을 위한 국내 자생생물종을 대상으로, 토양 생태계 보호를 위한 PNEC을 산출하기 위한 국외 3개(캐나다, 호주, 유럽위원회) 방법론의 생물분류학적 기준을 적용하여 자생 토양생태독성 시험종의 PNEC 산출 가능성을 분석하였다. 그 결과, 캐나다의 2개 생물분류군의 10개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 weight of evidence 방식, 호주의 3개 생물분류군의 9개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 SSD₈₀ 방식, 유럽위원회의 2개 생물분류군(식물, 지렁이)의 2개 이상의 만성독성자료를 포함해야 하는 AF 방식이 적용 가능한 것으로 예측되었다. 따라서 국내 자생 토양생태독성 시험종은 PNEC을 산출하기 위한 캐나다와 호주의 고 신뢰성(High reliability) 및 유럽위원회의 AF 방식의 생물분류학적 기준에 부합되므로, 생태독성 시험생물로 사용되고 있는 외국도입종을 대체할 수 있는 것으로 분석되었다. 단, 선별된 65개의 토양 생태독성시험종의 급성 및 만성 독성자료가 존재한다는 전제 하에 수행된 연구 결과이므로, 확률론적 생태위해성평가를 위해 본 연구에서 선정한 자생 토양 생태독성시험종 65개를 대상으로 정량적 독성자료 생성이 선행되어야 한다. 이를 위해 외국 도입종에 대해 제시된 토양생태독성 시험법에의 자생 토양 생태독성시험종의 적용성 검토, 일부 독성 종말점에 국한된 생태독성시험법의 독성 종말점 확대, 자생 토양 생태독성시험종의 우선순위 선정 등 장기적인 국내 자생생물종을 이용한 생태독성평가 기반 구축 연구가 추진되어야 할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

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

KSEE

References

- 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).
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "E1676-12 Standard Guide for Conducting Laboratory Soil Toxicity or Bioaccumulation Tests with the Lumbricid Earthworm *Eisenia Fetida* and the Enchytraeid Potworm *Enchytraeus albidus*,"(2012).
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "E1963-09 Standard Guide for Conducting Terrestrial Plant Toxicity Tests,"(2009).
- American Society for Testing and Materials (ASTM), "E2172-01 Standard Guide for Conducting Laboratory Soil Toxicity Tests with the Nematode *Caenorhabditis elegans*,"(2001).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 10832 Soil quality - Effects of pollutants on mycorrhizal fungi - Spore germination test,"(2009).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO ISO 11267 Soil quality - Inhibition of reproduction of *Collembola* (*Folsomia candida*) by soil contaminants,"(2014).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 11268-1 Soil quality - Effects of pollutants on earthworms - Part 1: Determination of acute toxicity to *Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*,"(2012).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO ISO 11268-2 Soil quality - Effects of pollutants on earthworms - Part 2: Determination of effects on reproduction of *Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*,"(2012).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO ISO 11269-1 Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora - Part 1: Method for the measurement of inhibition of root growth,"(2012).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO ISO 11269-2 Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora - Part 2: Effects of contaminated soil on the emergence and early growth of higher plants," (2012).
- 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).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 16387 Soil quality - Effects of contaminants on Enchytraeidae (*Enchytraeus* sp.) - Determination of effects on reproduction," (2014).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 17126 Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora - Screening test for emergence of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* L.),"(2005).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 17512-1 Soil quality - Avoidance test for determining the quality of soils and effects of chemicals on behaviour - Part 1: Test with earthworms (*Eisenia fetida* and *Eisenia andrei*)," (2008).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 17512-2 Soil quality - Avoidance test for determining the quality of soils and effects of chemicals on behaviour - Part 2: Test with collembolans (*Folsomia candida*),"(2011).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 18763 Soil quality - Determination of the toxic effects of pollutants on germination and early growth of higher plants," (2016).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 20963 Soil quality - Effects of pollutants on insect larvae (*Oxythyrea funesta*) - Determination of acute toxicity,"(2005).
- International Organization for Standardization (ISO), "ISO 22030 Soil quality - Biological methods - Chronic toxicity in higher plants,"(2005).
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), "TG No. 207. Earthworm, Acute Toxicity Tests," (1984).
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), "TG No. 208. Terrestrial Plant Test Seedling Emergence and Seedling Growth Test,"(2006).
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), "TG No. 220. Enchytraeid Reproduction Test," (2016).
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), "TG No. 222. Earthworm Reproduction Test (*Eisenia fetida* *Eisenia andrei*),"(2016).
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), "TG No. 226. Predatory mite (*Hypoaspis* (*Geolaelaps*) *aculeifer*) reproduction test in soil,"(2016).
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), "TG No. 227. Terrestrial Plant Test Vegetative Vigour Test,"(2006).
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), "TG No. 232. Collembolan Reproduction Test in Soil,"(2016).
- National Institute of Environmental Research (NIER) announcement 2012-23, Regulation for designation of research institute for testing chemical hazards.
- Rural Development Administration announcement 2016-38. Standard for registration of agricultural pesticides and technical product.
- Korean Standards Association (KSA), "KS I ISO 11267 Soil quality - Inhibition of reproduction of *Collembola* (*Folsomia candida*) by soil pollutants,"(2015).
- Korean Standards Association (KSA), "KS I ISO 11268-1

- Soil quality - Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia Fetida*) - Part 1: Determination of acute toxicity using artificial soil substrate,"(2013).
30. Korean Standards Association (KSA), "KS I ISO 11268-2 Soil quality - Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*) - Part 2: Determination of effects on reproduction," (2014).
31. Korean Standards Association (KSA), "KS I ISO 11269-1 Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora part 1 : method for the measurement of inhibition of root growth,"(2015).
32. Korean Standards Association (KSA), "KS I ISO 11269-2 Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora - effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants,"(2012).
33. Korean Standards Association (KSA), "KS I ISO 15952 Soil quality - Effects of pollutants on juvenile land snails (*Helicidae*) - Determination of the effects on growth by soil contamination,"(2012).
34. Korean Standards Association (KSA), "KS I ISO 16387 Soil quality - Effects of pollutants on Enchytraeidae (*Enchytraeus* sp.) - Determination of effects on reproduction and survival," (2015).
35. Korean Standards Association (KSA), "KS I ISO 17126 Soil quality - Determination of the effects of pollutants on soil flora - Screening test for emergence of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* L.),"(2011).
36. Korean Standards Association (KSA), "KS I ISO 22030 Soil quality - Biological methods - Chronic toxicity in higher plants,"(2011).
37. National Institute of Environmental Research (NIER), "Study on the Korean native organism for ecological toxicity evaluation,"(2006).
38. United States Environmental Protection Agency (USEPA), "OCSPP 850.3100 Earthworm Subchronic Toxicity Test," (2012).
39. United States Environmental Protection Agency (USEPA), "OCSPP 850.4100 Seedling Emergence and Seedling Growth," (2012).
40. United States Environmental Protection Agency (USEPA), "OCSPP 850.4150 Vegetative Vigor,"(2012).
41. United States Environmental Protection Agency (USEPA), "OCSPP 850.4230 Early Seedling Growth Toxicity Test," (2012).
42. National Institute of Environmental Research (NIER), "Development and standardization of ecotoxicity tests using species indigenous to Korea,"(2007).
43. National Institute of Environmental Research (NIER), "Development and standardization of ecotoxicity tests using species indigenous to Korea II,"(2008).
44. National Institute of Environmental Research (NIER), "Development and standardization of ecotoxicity tests using species indigenous to Korea III,"(2009).
45. National Institute of Environmental Research (NIER), "Development and standardization of ecotoxicity tests using *Neocaridina denticulata*,"(2010).
46. National Institute of Environmental Research (NIER), "Studies on biological test system for environmental hazard assessment using indigenous species,"(2011).
47. National Institute of Environmental Research (NIER), "Studies on plan for diversification of test species in ecotoxicity assessment I,"(2013).
48. National Institute of Environmental Research (NIER), "Studies on plan for diversification of test species in ecotoxicity assessment II,"(2014).
49. National Institute of Environmental Research (NIER), "Development of water quality criteria for aquatic life II,"(2016).
50. 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).
51. Ko, S.-K., "Toxicity evaluation of chemicals using black-spotted pond frog embryos, *Rana nigromaculata*," *Korean J. Environ. Biol.*, **30**(3), 231~237(2012).
52. Kim, E. J. and Lee, S.-K., "Use of duckweed (*Lemna gibba*) growth-inhibition test to evaluate the toxicity of chromate in Korea," *Korean J. Environ. Toxicol.*, **16**(4), 205~209(2001).
53. 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).
54. 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).
55. Korea Environmental Industry Technology Institute, "Development of ecotoxicity test guideline and establishment of risk assessment for aquatic ecosystem with Korean amphibian embryos,"(2011).
56. Ministry of Environment, "Establishment toxicity assessment system and management of hazardous chemicals,"(1999).
57. Ministry of Environment, "Development of water quality criteria for aquatic life I,"(2015).
58. Ministry of Environment, "Development of water quality criteria for aquatic life III,"(2017).
59. Kwak, J. I. and An, Y.-J., "Trophic transfer of silver nanoparticles from earthworms disrupts the locomotion of spring-tails (*Collembola*)," *J. Hazard. Mater.*, **315**, 110~116(2016).
60. Filser, J., Wittmann, R. and Lang, A., "Response Types in *Collembola* Towards Copper in the Microenvironment," *Environ. Pollut.*, **107**(1), 71~78(2000).
61. Nam, S.-H. and An, Y.-J., "An efficient and reproducible method for improving growth of a soil alga (*Chlorococcum infusionum*) for toxicity assays," *J. Microbiol. Methods.*, **119**, 59~65(2015).
62. Nam, S.-H. and An, Y.-J., "Paper-disc method: An efficient assay for evaluating metal toxicity to soil algae," *Environ. Pollut.*, **216**, 1~8(2016).
63. Integrated Taxonomic Information System (ITIS) Home Page, <https://www.itis.gov>, January(2017).

64. Nature Korea biodiversity information system Home Page, <http://www.nature.go.kr/index.jsp>, January(2017).
65. Species Korea Home Page, <https://www.nibr.go.kr/species/mobile/home/cls/cls010011.jsp>, January(2017).
66. Kim, T. H., Hong, Y. and Choi, N. J., "Selection of earthworm for bioindicators in agroecosystem," *Korean J. Environ. Biol.*, **27**(1), 40~47(2009).
67. Cho, I. H., Lee, C. K., Lim, H. G. and Lee, H. H., "Pharmaceutical characteristics of Korean *Lumbricus rubellus* lumbrokinase," *Korean J. Biotechnol. Bioeng.*, **19**(4), 274~283(2004).
68. Ham, E. H., Choi, Y. C., Lee, J. S. and Park, J. K., "Study on the cold storage condition of *Hypoaspis aculeifer* (Carnestrini) (acari: Gamasida) and *Tyrophagus putrescentiae* (Schränk) (Acari: Acaridae)," *J. Seric. Entomol. Sci.*, **50**(2), 109-111(2012).
69. Computerized Numeric Control North Korea scholarly information, North Korea geographic information: Baekdu mountain animal,(1993).
70. Ministry of Agriculture, "Development of the standard ecotoxicological test methods of pesticides for the protection of agricultural environment,"(1999).
71. 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).
72. Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), "A protocol for the derivation of environmental and human health soil quality guidelines,"(2006).
73. National Environmental Protection (NEP), "Guideline on methodology to derive ecological investigation levels in contaminated soils,"(2011).
74. European Communities (EC), "European union risk assessment report. Nickel and nickel compounds,"(2008).
75. European Communities (EC), "Technical guidance document on risk assessment Part II,"(2003).