웹 기반 EDCs 생태 독성 자료베이스 모델 및 시스템 개발

권바름·이현주[†]

캠아이넷(주)

Developing a Multi-purpose Ecotoxicity Database Model and Web-based Searching System for Ecological Risk Assessment of EDCs in Korea

Bareum Kwon and Hunjoo Lee[†]

CHEM. I. NET, Ltd., Seoul, 07964, Republic of Korea

ABSTRACT

Objectives: To establish a system for integrated risk assessment of EDCs in Korea, infrastructure for providing toxicity data of ecological media should be established. Some systems provide soil ecotoxicity databases along with aquatic ecotoxicity information, but a well-structured ecotoxicity database system is still lacking.

Methods: Aquatic and soil ecotoxicological information were collected by a toxicologist based on a human readable data (HRD) format for collecting ecotoxicity data that we provided. Among these data, anomalies were removed according to database normalization theory. Also, the data were cleaned and encoded to establish a machine-readable data (MRD) ecotoxicity database system.

Results: We have developed a multi-purpose ecotoxicity database model focusing on EDCs, ecological species, and toxic effects. Also, we have constructed a web-based data searching system to retrieve, extract, and download data with greater availability.

Conclusions: The results of our study will contribute to decision-making as a tool for efficient ecological risk assessment of EDCs in Korea.

Keywords: Ecological risk assessment, ecotoxicity database model, endocrine disrupting chemicals (EDCs), web-based, searching system

I. 서 론

내분비계 장애물질(Endocrine Disrupting Chemicals, EDCs)은 환경 중 광범위하게 존재하는 화학물질로써, 생체 내에서 정상적인 내분비계 체계의 작용을 변화시켜 호르몬의 항상성 유지와 발달에 이상 영향을 일으킨다. EDCs는 물리화학적 특성이 매우 다양하기 때문에 그에 수반하는 독성 영향도 다양하며, 생체 내에서 갑상선호르몬 및 성호르몬 등의 정상적

인 생산과 배출, 대사, 결합 작용을 방해하는 작용을 하므로 인체와 생물체 내의 발달 이상을 일으키고 생식에 부정적인 영향을 초래한다.¹⁾ 또한, 환경 생태 내의 수질 및 토양 등 다양한 매체로 배출되어 환경 및 생태계의 다양한 수용체에 전이된다. 환경으로부터 유입되는 다량의 EDCs에 생태계가 노출되고 먹이사슬을 통해 다양한 경로로 인간에게 영향을 미치기 때문에 EDCs에 대한 매체 통합적 접근방식에 의한 생태위해성 평가는 매우 중요하다.²⁻⁵⁾

[†]Corresponding author: CHEM.I.NET, Ltd, 43, Mokdongjungang-ro, Yangcheon-gu, Seoul, South Korea, Tel: +82-2-2647-4930, Fax: +82-2-2647-4932, E-mail: adstar@cheminet.kr

Received: 15 September 2017, Revised: 12 October 2017, Accepted: 23 October 2017

생태위해성 평가는 다양한 영양공급단계의 서식종에 대한 독성 자료를 요구하며, 수집된 독성 자료는 예측무영향농도(Predicted No Effect Concentration, PNEC)의 산출에 이용된다. 이는 현단계 또는 상위 영양단계와 같은 다중 요인에 대한 노출의 결과로 생태계에 부정적인 영향을 초래하거나 혹은 초래될 수 있는 가능성을 평가하는 절차이며, 환경 중 EDCs의 위해성에 대한 수용 가능성 유무를 결정하기 위한 과학적 토대가 된다.⁶⁾ 생태 위해성 평가 과정은 크게 두 가지 요소인 영향과 노출 특성의 정량화에 초점을 두고 있다. 기본적인 평가 절차는 문제설정(problem formulation), 분석(analysis), 그리고 위험도 결정(risk characterization) 단계로 실시한다. 첫 번째 단계로 문제설정은 평가목적을 명확히 하고 문제를 정의하며 평가계획을 수립하는 단계이다. 이 작업에는 발생원(sources), 발생요인(stressors), 영향(effects), 생태계(ecosystem) 및 수용체 특성(receptor characteristics)에 대해 가용한 정보를 조사하고 통합한다. 두 번째로, 분석 단계에서는 통합된 데이터에 대한 검토 및 정량화를 위한 분석을 하는 과정이 진행되며, 환경노출 농도에 근거한 노출평가와 수집된 독성 자료를 이용한 생태 영향평가를 실시한다. 마지막으로 위험도 결정단계는 과학적인 불확실성과 함께 생태 위험도를 제시하는 과정이다. 생태위해성 평가는 앞서 기술한 3단계 과정이 순차적으로 진행이 되지만, 분석이나 위험도 결정 단계에서 새로운 독성 자료의 발견 및 분석 실시에 따른 재평가 과정이 이루어진다.^{6,7)} 그러므로 평가 단계 전반에서 독성자료의 보다 빠르고 효율적인 정보 수집 및 독성참고치 등의 정량적인 정보를 효과적으로 추출할 수 있는 수단(tool)으로써 체계적으로 구조화된 독성 데이터베이스(database, DB) 모델 및 검색 시스템은 매우 중요하다.

기존의 수서 및 토양의 독성 데이터베이스 제공 사이트로는 The ECOTOXicology knowledgebase (ECOTOX)와 U.S. Geological Survey Acute Toxicity Data Base (Acute Toxicity Data Base)가 있다. 두 개의 사이트는 생태 중과 화학물질을 개별 혹은 조합하여 검색하는 이진(boolean) 검색을 지원한다. ECOTOX는 EDCs에 대한 물질분류가 잘 이루어져 있는 반면에 검색단계가 복잡하여 사용자가 숙지해야 할 사항이 많고, Acute Toxicity Data Base는 생

태 매체 분류체계가 잘 구축되어 있지만 물질의 종류가 다양하지 않아 검색의 가용성 측면에서 제한점을 가지고 있다.

현존하는 독성 데이터베이스 시스템은 대부분 텍스트형식의 비정형 데이터로 결과가 제공되어 정보 활용을 위해서는 추가적으로 자료 정리를 위한 정형화하는 과정이 요구되고 자료의 제공 수준이 서로 상이하여 자료 활용 시 많은 가공 시간이 소요된다. 또한, 다양한 기준으로 검색이 가능하지 않거나 검색 결과의 비교가 용이하지 않는 등 일반 사용자에게 대한 시스템 사용자 편의성(user-convenience) 측면에서 개선이 필요하다.

본 연구는 이러한 기존 데이터베이스의 제한점을 개선하고 EDCs의 환경 및 생태위해성 평가의 의사결정지원을 위하여 EDCs 수서 및 토양 생태계 독성 자료의 체계적인 지식 데이터베이스 모델 및 활용을 위한 검색 시스템을 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 생태 독성 자료베이스 모델링

생태 독성 자료베이스 모델은 크게 독성학자가 스프레드시트를 통하여 자료를 정리하는 형식인 Human Readable Data (HRD) 모델과 컴퓨터 시스템이 인식하는 Machine Readable Data (MRD) 모델로 나누어 HRD에 이어 MRD순으로 단계적으로 개발하였다. HRD는 중복이 없는 정규화된 형태는 아니지만 독성학자가 자료를 쉽게 인지하여 데이터를 입력할 수 있는 파일 형식을 말한다. MRD는 중복정보를 최대한 배제하고 정제된 데이터베이스 모델로써 HRD형 자료에 대하여 코드 정의, 코드 부여 가공 및 정제 작업을 거쳐서 관계형 데이터베이스관리시스템(Relational Database Management System, RDBMS)에서 적용 가능한 형식을 말한다.

1) 생태 독성 자료 정리를 위한 HRD 표준 양식 개발

EDCs 토양 및 수서 유해성 전문가들과 데이터베이스 전문가와의 융합 연구를 통해 독성관련 사이트인 ECOTOX, Toxnet 및 Pubmed와 같은 기존 웹사이트 정보 제공 내용 및 서비스 방법을 각 전문분야 관점에서 분석하였다. 또한, 국내의 관련 논문 및 보고서를 검토하여 EDCs 별 생태 독성 자료를

확보한 후 데이터베이스 구축을 위한 HRD의 자료 입력 파일형식을 도출하였다.

2. 생태 독성 HRD 자료 데이터베이스를 위한 MRD형 생태 독성 자료코드 표준화

1) EDCs 물질 코드 표준화

EDCs 기반 생태 위해성 평가 지원을 위한 통합 데이터베이스 마련을 위해 맨 먼저 화학물질 분류체계를 확립하고 및 시스템 구축을 위한 화학물질 코드 체계를 구축하였다. 코드 구조는 EDCs의 고유 시스템 코드(chemical code), 화학물질의 영문명, 화학물질의 국문명, 그리고 CAS No.로 정의하였다. 또한, 상위코드(parent code) 변수를 두어 계층적인 화학물질 분류 체계가 구성되도록 하였다.

2) MRD 생태 시험종(ecological test species) 분류 체계 확립 및 코드 표준화

생태 독성 자료의 특성상 화학물질의 대상 시험종이 연관되어 독성 값이 제시된다. 따라서, 표준화 작업의 일환으로써 생태 시험종 분류체계를 확립하고 시스템 구축을 위한 코드 체계를 구축하였다. 분류체계는 대분류로써 수서와 토양 생태의 2개 범주로 분류하고 시험종의 하위 분류 체계 작업을 실시하였다.^{8,9)} 기존의 공인시험법이나 논문에서 독성 자료최하위 생태시험종 정도만 명시되어 있으나 검색이나 비교와 같은 소프트웨어 기능을 확장성 있게 지원할 수 있도록 계통학적 측면에서 계(kingdom), 강(classification), 그리고 종(species)으로 세분화하였다. 또한, 다국어 호환성을 고려하여 생태시험종 코드외에 설명 변수로써 영문, 국문, 그리고 학명을 연관시켜 분류체계를 구축하였다. 더 나아가, 시험종 추가 설명 변수로써 국립환경과학원 고시 제2017-4호, 국제협력개발기구 표준 시험 가이드라인(OECD, TGs; 201, 203, 220, 227, 232, 234, 235, 245), 미국표준시험협회의회(ASTM) 및 미국 환경보호청(US EPA)의 표준 시험법 명시된 시험종에 대하여 ‘국제시험종’, 국내의 생태에서 서식하는 시험종을 ‘국내시험종’으로 구분하고 국내 시험종 중 대한민국 환경부에서 지표로써 지정된 시험종을 ‘국내지표종’으로 구분하여 분류 작업을 실시하였다.¹⁰⁻¹⁶⁾

3) 독성영향 지표 코드 개발을 위한 HRD 배포 후

정제 및 표준화

독성영향 지표의 경우 여러 이명으로 표기된 경우가 많음에도 불구하고 모든 문헌 조사를 통한 표준화에 어려움이 있었다. 따라서, 수서 및 토양 생태 독성 전문가에게 각각 자유 기술 형식(text style) 변수로 하여 HRD형식을 제공한 후 전문가들이 입력된 독성 자료를 토대로 역으로 코드 표준화를 실시하였다. 종말점의 경우 전문가들이 입력한 종말점 텍스트에 대하여, 원문 출처 확인 과정을 토대로 이명에 대하여 ECOTOX의 종말점 코드로써 대표 명칭을 도출하였다.¹⁷⁻¹⁹⁾

4) 도출된 MRD 모델에 대한 데이터베이스 정규화 실시

도출된 데이터 모델에 대하여 데이터베이스 정규화 이론에 따라 제3정규형까지 원시자료의 정규형 충족 여부를 분석하였고 변수들의 관계 및 이상 자료를 정제하였다.^{20,21)}

3. 검색 시스템 개발 환경

본 연구에서는 향후 정부 사이트의 이식성을 고려하여 전자정부 프레임워크 표준에 따라 시스템 개발을 완료하였다. 개발 환경은 아래 표와 같다(Table 1).

Table 1. Framework development specification

No.	Development items	Specification and version
1	Development language	Java/JSP J2EE Platform
2	Database management system	Oracle 10g
3	Web server	Apache-Tomcat 7.0
4	Operating system	(Server) Windows server 2008/UNIX (Client) IE8 above/Chrome
5	Development standard methodology	E-government framework 3.0

III. 결 과

1. 생태 독성 자료베이스 모델링

1) HRD 생태 독성 자료 표준 양식 개발

조사대상 물질에 대한 생태 독성 자료베이스 입력

양식은 물질정보, 시험생물 정보, 노출시험 및 독성 영향 지표, 참고문헌, 노출원으로 구성하였다. 이때 구축 양식은 물질과 생태시험종간의 조합으로 입력 하도록 하였다. 생태 독성의 결손 또는 부족 자료의 현황 파악하기에 충분한 정도의 입력 변수를 구성하고 화학물질 분류코드 등의 각종 코드를 집대성한 코드북을 개발하였다. 최종적으로, 독성 분야 연구자들에게 MRD형 독성 자료베이스 구축을 위한 기본 틀 및 표준 양식 작성을 위한 지침서를 개발하여 제공하였다(Table 2).

2. MRD 생태 독성 자료 표준화

1) EDCs 화학물질 코드 표준화

EDCs 표준화는 phthalates, phenols, dioxins, PCBs, PBBs, PBDEs, PAHs, PFCs, benzenes, ketones, aromatic carboxylic acids, organic compounds, tin compounds, chlorinated paraffins, hydrocarbons, hormones, camphor, mycotoxin, heavy metals 및 기타 화학물질에 대하여 1 depth로 20건, 2 depth 32건, 3 depth 37건, 그리고 4 depth는 394건에 대해 진행하였다. MRD화 과정에서 EDCs 코드 규칙은

Table 2. HRD styled format of ecotoxicological database

Field No.*	Field size**	Field name	Example of domain
01	N8	No.	1
02	AN255	Cas No.	80-05-7
03	AN255	Chemical categories	Phenol
04	AN255	Chemical name (KOR)	비스페놀 A
05	AN255	Chemical name (ENG)	Bisphenl A
06	AN255	Chemical code	P24101
07	AN255	Kingdom	Animalia
08	AN255	Class	Branchiopoda
09	AN255	Ecological species categories (aquatic/soil)	Common name (KOR)
10	AN255		Common name (ENG)
11	AN255		Scientific name (ENG)
12	AN255		Development stage
13	A3	Acute/chronic toxicity information	Development stage units
14	N3.5		Exposure concentration
15	A3		Exposure concentration units
16	AN255		Exposure duration
17	N3.5		Exposure duration units
18	AN255		Toxic effect
19	AN255		Endpoint
20	N3.5		Effect concentration
21	A3		Effect concentration units
22	AN255		References
23	AN255	Exposure source	-
24	AN255	Exposure route	Water
25	A3	Country	-
26	AN255	Remarks	-
27	AN255	References search engines	Pubmed

* Field No.: Data order

** Field size (length): Field size and maximum storage size; A; Alphabet, AN; Alphabet and numeric type composed of decimal or integer, N; Numeric type composed of decimal or integer

총 여섯 자리로(예: P12345) 첫 번째 자리(예에서 P)는 화학물질 대분류의 영문명의 알파벳 첫 자리를 부여하였다. 이후 한 자리(1)는 대분류 명칭이 겹칠 경우 순번을 부여하였다. 이후 두 자리(2,3)는 각각 한자리씩 중분류(2), 소분류(3)를 나타냈으며, 끝의 두 자리(4,5)는 개별 물질이 개별물질을 나타내도록 'chemical code'를 부여하였다(Table 3).

2) MRD 생태시험중 분류 표준화

MRD형 생태시험중 코드 부여 규칙은 총 일곱 자리(예: EA15432)로 구성하였다. 첫 번째 자리(E)는 'ecosystem'의 약자인 'E'로 통일하였고, 이후 2개 자리(A1)는 대분류 생태시험중의 '계'를 나타내는데 (class code), 2개의 자리 중 첫자리(A)는 '계'의 명

칭의 알파벳 첫자리를 의미하며, 2번째 자리(1)는 첫 자리(A)로 시작하는 '계'의 동일 명칭이 여러 개 있을 경우 순번을 부여한 것이다. 이후 1개의 자리(5)는 중분류 생태시험중 '강'의 고유 순번을 나타내며(class code), 그 이후 3개의 자리 즉 끝에서 3개의 자리는 최하위 생태시험중(species code)을 의미한다(Table 4). 최종적으로 생태시험중은 대분류, 중분류, 소분류가 각각 6개, 28개, 191개로 분류되고 각각의 코드가 부여 되었다.

분류된 코드를 국제시험중, 국내서식중, 국내지표중 및 기타(국제시험중으로 명명되지 않은 국외서식중으로 추정)의 관점으로 분석한 결과 각각 53종, 90종, 2종 및 85종이었다. 이중 국제시험중과 국내서식중에 공통적으로 속한 건은 총37종 이었다.

Table 3. Examples of established chemical substances classification system

Chemical code	Parent code	Chemical substances name	Chemical substances name (abbreviation)	CAS No.
P10000	000000	Phthalates		
P11101	P11100	Benzyl butyl phthalate	BBP	85-68-7
P11102	P11100	Diethyl hexyl phthalate	DEHP	117-81-7
P20000	000000	Phenols		
P21101	P21100	Nonylphenol	NP	25154-52-3
P21201	P21200	Octylphenol	OP	27193-28-8
P24103	P24100	Bisphenol S	BPS	80-09-1
P24105	P24100	Bisphenol AF	BPAF	1478-61-1
P60000	000000	PAHs		
P61101	P61100	Benzo(a)anthracene	BaA	56-55-3
P61103	P61100	Benzo(a)pyrene	BaP	50-32-8
...	...	...	...	...

Table 4. Examples of established ecological species classification system

Kingdom Code	Class Code	Species Code	Kingdom name	Class name	Species name
EA10000	EA15000	EA15001	Animalia	Branchiopoda	<i>Daphnia magna</i>
EA10000	EA18000	EA18010	Animalia	Clitellata	<i>Eisenia andrei</i>
EA10000	EA28000	EA28001	Animalia	Teleostei	<i>Danio rerio</i>
EF40000	EF41000	EF41001	Fungi	Agaricomycetes	<i>Trichaptum abietinum</i>
EF40000	EF42000	EF42001	Fungi	Sordariomycetes	<i>Fusarium oxysporum</i>
EP50000	EP51000	EP51013	Plantae	Liliopsida	<i>Zea mays</i>
EP50000	EP52000	EP52046	Plantae	Magnoliopsida	<i>Phaseolus vulgaris</i>
EP50000	EP54000	EP54002	Plantae	Chlorophyceae	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>
...	...	...	...	...	...

Fig. 1. Venn diagram of domestically and internationally inhabiting species.

3) 독성영향 지표 코드 개발을 위한 HRD 배포 후 정제 및 표준화

독성영향 지표 코드 규칙은 총 일곱 자리로(예: ATB1000 or STB1000) 첫 2개 자리는 ‘aquatic toxicity (AT)’와 ‘soil toxicity (ST)’를 의미한다. 이후 2개 자리는 독성영향지표 분류코드로써 ‘biochemical’, ‘hematological’, ‘histological’, ‘immunological’, ‘morphological’, ‘mortality’, ‘others’, ‘physiological’, ‘survival’을 알파벳의 첫자리와 첫자리가 중복되었을 시 순번을 부여한 것이다. 다음으로 이후 3개 자리는 최하위 개별 독성영향지표 명칭을 부여하도록 코드를 설계하였다. 개별 독성영향지표 명칭의 코드값의 결정을 위하여 HRD형식으로 배포한 독성 자료의 수집한 결과, 수서·토양 및 급·만성을 포함하여 각각 약 132건과 200건이 최초로 수집되었다. 그러나 중복제거를 비롯한 띄어쓰기 오류 등의 기초적인 작업을 실시한 결과, 수서 생태매체는 대분류 9건, 중분류 40건, 소분류 76건, 그리고 토양 생태매체는 대분류 8건, 중분류 63건, 소분류 111건으로 각각 분류되었다. 이어서 독성 영향에

맞는 종말점을 참고문헌의 원문 확인 및 ECOTOX 코딩 규칙에 따라 약 40건의 독성영향지표를 정제 및 표준화 하였다. 예를 들어, 수집된 독성 자료베이스의 물벼룩 독성영향 ‘immobilization’에 대하여 종말점을 lethal concentration (LC_x)으로 표기한 항목들에 대하여 effective concentration (EC_x)로 통일하였고, 독성영향 ‘mortality’에 대한 종말점이 EC_x 로 표기되어 있을 경우 LC_x 로 표준화 했다. 또한, 독성영향 ‘mortality’에 대하여 종말점이 ‘NR-LETH’ 또는 ‘NR-ZERO’로 표기되어 있는 경우에는 각각 absolute lethal concentration (LC_{100})과 no observed effect concentration (NOEC)으로 통일화 하는 작업을 진행하였다.

4) MRD 데이터베이스 정규화 이론에 따른 도메인 정제

데이터 수집 및 준비 과정에서 연구자들에게 HRD 형식의 입력양식이 배포 되었음에도 수기 입력 오류에 대한 다양한 양상이 발견되었다. HRD형식의 연구자가 경우는 일반 연구자가 데이터를 정리하기에

Table 5. Summary of toxicity database information system

No.	Country	Organization and system	Information	Aquatic ^A /soil ^S toxicity information	Species classification	Chemical substances classification
1	United States	US EPA (IRIS)	Human risk assessment	-	No	No
2		US EPA (RAIS)	Human risk assessment	-	No	No
3		US EPA (ECOTOX)	Ecotoxicity	A, S	Yes	Yes
4		NIH (HSDB)	Chemical, human risk assessment	A	No	No
5		ATSDR (Toxic substances portal)	Human risk assessment	-	No	No
6		USGS (Acute toxicity data base)	Ecotoxicity	A, S	No	No
7	Europe	OECD (eChemPortal)	Chemical, ecotoxicity, human risk assessment	A, S	No	No
8		ECHA (ECHA CHEM)	Chemical, ecotoxicity, human risk assessment	A, S	No	No
9	Australia	Ministry of H&W (NICNAS)	Chemical, human risk assessment	A, S	No	No
10	Republic of Korea	NICS (Chemical safety and management information system)	Chemical, ecotoxicity, human risk assessment	A	No	No
11		NIER (chemical substances information system)	Chemical, ecotoxicity, human risk assessment	A	No	No
12		KOSHA (Chemical information)	Ecotoxicity, Material safety data sheets	A	No	No
13		MFDS (Tox-info)	Chemical, human risk assessment	-	No	No
14		This study	Chemical, ecotoxicity, human risk assessment	A, S	Yes	Yes

Abbreviation: US EPA; United States Environmental Protection Agency, IRIS; Integrated Risk Information System, RAIS; The Risk Assessment Information System, ECOTOX; The ECOTOXicology knowledge database, NIH; National 375 Institute of Health, HSDB; Hazardous Safety Data Bank, ATSDR; Agency for Toxic Substances and Disease Registry, USGS; United States Geological Survey, eCHEM Portal; The Global Portal to Information on Chemical Substances, ECHA; European Chemicals Agency, ECHA CHEM; ECHA registered substances, NICS; National Institute of Chemical Safety, NIER; National Institute of Environmental Research, KOSHA; Korea Occupational Safety and Health Agency, MFDS; Ministry of Food and Drug Safety, Ministry of H&W; Ministry of Health and Welfare, NICNAS; National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme

현재까지 구축된 독성 자료는 주로 인체 위해성과 관련되어 있으며, 생태 독성 평가 역시 전 생태 매체가 아닌 수서 생물종 또는 양서류 등 한정적인 생태계의 독성 자료 중심으로 마련되어 있다. Table 5와 같이 IRIS, RAIS, ATSTR 및 Tox-info는 인체 위해성 관련 데이터는 존재하지만 생태 위해성 관련 데이터는 구축되어 있지 않다. ECOTOX, Acute Toxicity Data Base, eChemPortal, ECHA CHEM 및

NICNAS는 수서 생태 독성과 함께 일부 토양 생태 독성 자료를 제공하고 있으나 기반이 되는 생태독성 자료 구축이 현저히 부족하고, 제공되는 자료의 형태도 평면적이고 구조화되어 있지 않아 연구자들이 실제로 이러한 자료들을 위해성 평가에 이용하는 경우 본질적인 평가과정보다 자료처리에 더 많은 시간이 소요되어 이러한 개선점을 보완하였다. 또한, 독성 자료 검색 시스템 관점에서도 ECOTOX와 Acute

Toxicity Data Base의 검색 조건은 생태 종과 화학 물질의 and/or 검색을 지원하고 있지만 그 외 시스템은 화학물질에 대한 단일 검색 정도만 제공하고 있다.

이와 비교하여 본 DB 시스템은 독성학자들에 의해 수집된 HRD형식의 수기 입력자료의 MRD화 작업을 통하여 자료 결함의 포인트를 발견하고 그에 대한 정제를 실시함으로써, 데이터베이스의 일관성을 향상시키고 구조를 체계적으로 정립하였다. 또한 사용자로 인하여 발생한 오류나 엑셀 등의 수기 도구로 인한 오류에 대한 양상을 파악 가능하도록 하였고, 양질의 데이터 관리를 위한 자동 변환 도구개발의 필요성 및 자동 검출 시스템의 논리들이 확립되었다. 더불어 데이터 표현 방법을 체계화하여 화학물질 또는 생태 매체 별로 원하는 독성 자료를 편리하게 검색할 수 있도록 시스템을 개발하였다. 기존의 비정형 데이터 형태로 제공되었던 독성 자료베이스를 정량적으로 구조화 함으로써 보다 정확하고 세분화된 독성 변수들을 검색조건으로 하여 사용자가 원하는 형식으로 추출 및 다운로드가 가능하도록 시스템의 사용자 편의성(user-convenience)을 개선하였다. 더 나아가, 조성 및 자동완성 검색 기능을 구현함으로써 생태 종과 EDCs 분류 별 독성 자료를 신속하게 조회할 수 있도록 하였고, 기본정보의 연결성을 체계화하여 연관 정보들을 한 화면에서 추적할 수 있도록 했다. 향후에는 EDCs의 물질분류 코드를 여러 개 부여할 수 있도록 함으로써 독성영향과 종말점을 다각적(facets)으로 검색할 수 있도록 할 뿐만 아니라, 다양한 정보를 동시에 분석할 수 있도록 추가 구현하고 다매체 중심의 단계별 통합 평가 모듈을 마련할 예정이다.

마지막으로, 국제시험종 및 국내시험종을 표준화하여 생태시험종 및 화학물질 별 데이터 결손(data gap)을 분석할 수 있도록 지원하였다. 이것은 한국형 생태종에 대한 독성시험법 개발 연구의 우선순위를 결정하기 위한 정책지원에도 유용할 것이라고 판단되며, 지속적인 데이터베이스 업데이트를 통하여 누적된 결과값의 이력관리체계를 마련함으로써 향후 추이분석에도 활용 가능할 것으로 사료된다.

본 연구에서 구축된 데이터베이스 및 시스템은 기존 EDCs나 대체물질의 유해성 확인을 위한 스크리닝 및 생태 매체 별 노출경로의 다양성을 파악할 수 있는 틀로써, 생태 위해성평가 시 유용한 데이터베이스를 제공하고 또한 핵심 도구로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구를 통하여 수서 및 토양 생태 독성 자료를 HRD 및 MRD형식으로 나누어 관계형 데이터베이스 모델링을 단계적으로 수행하였고, 체계적으로 구축된 자료를 바탕으로 웹-기반 독성 검색 시스템을 개발하였다. 국내 환경 생태에 새로 유입되거나 생산되는 EDCs 물질 및 대체물질의 스크리닝 테스트 틀로써 개발된 본 시스템은 초기 생태위해성 평가 수행 및 노출평가에 대한 위해도 결정도구로 활용되어 정부 정책 결정에 다양하게 지원될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구를 통해 체계적으로 구축된 생태 독성 자료베이스와 웹 기반의 검색 시스템을 국가 수준의 독성 및 위해성 평가 도구로 활용할 수 있도록 발전시킬 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부 “생활공감 환경보건기술개발사업(EDCs 통합위해관리를 위한 한국형 환경 및 생태 위해성 평가 기술 개발, 과제번호: 1485014467)”의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

References

1. US EPA. 1996. Special report on environmental endocrine disruption: an effects assessment and analysis. EPA/630/R-96/012. Available <https://archive.epa.gov/raf/web/pdf/endocrine.pdf> [Accessed 21 Jul 2017].
2. Gomes RL, Deacon HE, Lai KM, Birkett JW, Scrimshaw MD, Lester LN. An assessment of the bioaccumulation of estrone in *Daphnia magna*. *Environ Toxicol Chem*. 2004; 23: 105-108.
3. Lai KM, Scrimshaw MD, Lester JN. Biotransformation and bioconcentration of steroid estrogens by *Chlorella vulgaris*. *Appl Environ Microbiol*. 2002a; 68: 859-864.
4. Lai KM, Scrimshaw MD, Lester JN. Prediction of the bioaccumulation factors and body burden of natural and synthetic estrogens in aquatic organisms in the river systems. *Sci Total Environ*. 2002b; 289:

- 159-168.
5. Ko A, Heo JY, Kang YW, Kang KJ, Chung MS, Lee H. Design of integrated reduction platform for food contaminants derived from environment by interagency collaboration network in Korea. *J Environ Health Sci.* 2017; 43(4): 1-7.
6. US EPA. 1998. Guidelines for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R-95/002F. Available <https://www.epa.gov/risk/guidelines-ecological-risk-assessment> [Accessed 21 Jul 2017].
7. Philips L, Johnson M, Deener K, Bonanni, C. EPA's Exposure Assessment Toolbox (EPA-Expo-Box). *J Environ Inform.* 2015; 25(2): 81-84.
8. Catalogue of life: August 2017. Available: <http://www.catalogueoflife.org/col/> [Accessed 5 Sept 2017].
9. Wikipedia. Available: <https://www.wikipedia.org/> [Accessed 31 Aug 2017].
10. Korean Ministry of Environment and National Institute of Environmental Research. 2006. Development of indigenous species for environmental toxicity assessment.
11. Korean National Institute of Biological Resources. 2016. 2016 List of national species.
12. Organisation for Economic Co-operation and Development guidelines for the testing of chemicals, section 2: effects on biotic systems. Available: http://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-guidelines-for-the-testing-of-chemicals-section-2-effects-on-biotic-systems_20745761 [Accessed 1 Sept 2017].
13. National Institute of Environmental Research. 2017. NIER notification No. 2017-4, standard test methods. Available: http://www.kcma.or.kr/bbs/view.asp?bbs_idx=5245&bbs_code=14&bbs_class=&bbs_search_type=1&bbs_search_word=&page=1 [Accessed 1 Sept 2017].
14. ASTM, 2003. ASTM standard guide for conducting acute toxicity tests on test materials with fishes, macroinvertebrates, and amphibians, Sept 13rd, 2004. E729-96(2002). Available: http://poseidon-sciences.com/ASTM_E_729.pdf [Accessed 13 Oct 2017].
15. US EPA, 2002. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms, Oct 2002. Available: https://www3.epa.gov/region6/water/npdes/wet/wet_methods_manuals/atx.pdf [Accessed 13 Oct 2017].
16. van Gestel Soil ecotoxicology: state of the art and future directions. *Zookeys.* 2012; 176: 275-296.
17. US EPA, 1996. Problems of aquatic toxicology bio-testing and water quality management. Proceedings of USA-Russia symposium, Borok, Jaroslavl Oblast, July 21st-23rd, 1992. EPA/600/R-96/090. Available: <https://www.cerc.usgs.gov/pubs/center/pdfdocs/90880.pdf> [Accessed 12 Sept 2017].
18. ECOTOXicology Knowledgebase system ECOTOX coding guidelines. Available: <https://cfpub.epa.gov/ecotox/blackbox/help/ecotoxsop.pdf> [Accessed 12 Sept 2017].
19. Lambers H, Chapin FS, Pons TL, Plant physiological ecology, 2nd ed. New York, Springer Science; 2016. p. 1-568.
20. Kwo N, Suh J, Lee H. Data cleaning and integration of multi-year dietary survey in the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) using database normalization theory. *J Environ Health Sci.* 2017; 43(4): 1-9.
21. Choi HS, Oh HJ, Choi H, Choi WH, Kim JG, Kim KM. Vitamin D Insufficiency in Korea—A Greater Threat to Younger Generation: The Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) 2008. 2011; 96(3): 643-651.
22. Korean Ministry of Environment, 2006. Pilot project for introduction of integrated toxicity management system for hazardous substances of water quality ('05).