

환경유래 식품오염물질의 범부처 통합 저감화 플랫폼 설계

고아라*·허지영*·강영운**·강길진**·정명섭***·이현주*

*캠아이넷(주)

**식품의약품안전처 식품의약품안전평가원

***중앙대학교

Design of Integrated Reduction Platform for Food Contaminants Derived from the Environment through Interagency Collaboration in Korea

Ahra Ko*, Ji-Young Heo*, Young-Woon Kang**, Kil Jin Kang**,
Myung-Sub Chung***, and Hunjoo Lee*

*CHEM.I.NET, Ltd, Seoul, Korea

**National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Chungcheongbuk-do, Korea

***Chung-Ang University, Anseong, Korea

ABSTRACT

Objectives: Chemicals derived from various environment media contaminates food across the food supply chain. In Korea, levels of contaminants in food have been sporadically measured by monitoring programs of different government agencies. There is difficulty with data compilation and integrated analysis across media. Therefore, the aim of this study was to propose an overall integrated database and analytical platform design for the 'ECO-FOOD NET (Environmental CONTaminant reduction platform for FOOD through an interagency collaboration NETwork)', a tool to support the reduction of environmental contaminants in food.

Methods: We developed a new data structure and standardized protocols for the compilation of integrated data. In addition, we conducted subject-oriented logical and physical relational database modeling and created the architecture design of the platform.

Results: We established a standardized code system related to exposure media and route, analysis method and food matrix. In addition, we designed the seven software modules of 'About the System', 'Introduction to Interagency Work', 'Media-Chemicals Profiles', 'Method Bank', 'Monitoring Data Base', 'Integrated Media Analysis', and 'Risk-Benefit Analysis'.

Conclusions: This study will contribute to decision-making as a tool for executing risk management, such as sustainable reduction policies of contaminants in food.

Keywords: Environmental contaminants, food supply chain, platform, reduction

I. 서 론

2012년도에 발표된 '과학기술기반 사회문제 해결 종합실천계획'에서는 삶의 질 위협도와 정부 역할

중요도에 따라 사회 환경 및 정책여건 변화 등을 고려하여 30개 주요 사회문제를 도출하였다. 이 중 10대 핵심 사회 문제가 선정되었고, 먹거리 안전 문제는 2위로 국민이 가장 필요로 하는 분야로 선

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

Received: 20 July 2017, Revised: 12 August 2017, Accepted: 16 August 2017

정된 바 있다.¹⁾ 2016년 한국보건사회연구원의 ‘식품 안전 체감도 조사’에 의하면 제조·유통 식품 안전 분야에서 ‘불안하다’고 응답한 비율은 2013년 19.2%, 2014년 20.5%, 2015년 28.1%, 2016년 30.7%로 국민의 불안감은 여전히 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.²⁾ 실제로 우리나라 국민의 식품 평균섭취로 인한 카드뮴의 일일노출량은 인체노출안전기준 대비 약 35% 수준으로,³⁾ 카드뮴이 검출된 낙지를 계속 섭취한다 할지라도 인체 안전에는 전혀 문제가 없음에도 2010년 낙지 카드뮴 사건은 사회적 갈등과 막대한 비용을 유발하였고, 2012년 미국 Consumer Report에 의해 발표된 미국산 수입 쌀의 무기비소 검출은 쌀을 주식으로 하는 우리나라 국민들의 농산물 안전성에 대한 우려를 가중시켰다.⁴⁾ 또한 최근 지구온난화에 따른 기후환경변화로 인한 생태계에서의 기온, 습도, 강수량 증가 등은 독소를 생성하는 곰팡이, 그리고 이들의 숙주식물과의 상호작용에 영향을 미쳐 재배 환경에서 곰팡이독소와 같은 오염물질을 증가시킨 바 있다.⁸⁾ 곰팡이독소를 비롯한 식품 중 중금속, 과불화화합물 등의 오염물질들은 공기, 수질, 토양을 오염시키고 잔류하면서 식품의 공급사슬에서 다양한 환경매체 및 경로로 노출되며, 먹이사슬을 통해 농·축·수산물로 유래되어 최종적으로 인체에 영향을 미치게 된다.⁵⁾ 이러한 환경 오염물질에 대한 인체 노출평가(exposure assessment)는 위해성 평가 및 역학연구 등 다양한 목적으로 활용되며, 이를 평가하기 위해서는 매체 통합적인 오염물질의 정보와 함께 다양한 변수(노출계수, exposure factors)의 값이 필요하다. 환경 오염인자의 노출 및 통합 위해성 평가의 기반이 되는 노출계수는 국가적 차원에서 대표성 있는 자료 생산을 위해 노력하고 있으며,⁶⁾ 서로 다른 이종의 국가 데이터베이스 융합을 통한 기후변화, 미래 영향 예측 등 새로운 정부의 정책마련에 활용하기 위한 시도들이 보고되고 있다.⁹⁾ 우리나라에서는 각 부처별로 역할체계를 분담하여 이러한 식품오염물질을 관리하고 있다. 국립농업과학원의 경우, 농산물과 농산물 생산환경 중 오염화학물질에 대한 연구를 담당하고 있으며, 국립환경과학원에서는 환경매체의 오염모니터링, 오염물질의 인체 노출 공헌도 파악을 중심으로 자료를 생산하여 관리하고 있다. 국립수산물과학원에서는

해수, 퇴적물, 수산생물 내 오염물질의 모니터링, 추적경로 추적, 평가기법 개발에 대한 연구를 수행하고 있다. 식품의약품안전평가원에서는 환경유래 식품오염물질의 안전관리 정책지원을 위해 식품 중 환경유래 오염물질의 위해성평가 연구를 진행하고 있으며, 도출된 위해성 평가 결과를 근거로 인체 위해성 측면의 제도적 관리방안에 대한 보완작업을 실시하고 있다.⁷⁾ 이렇듯 각 부처별로 환경오염으로 인한 식품 내 오염물질의 오염도 변화와 섭취를 통한 체내 축적 우려를 고려하여 환경유래 오염물질 모니터링을 정기적으로 실시하고 있음에도 불구하고 모니터링 자료가 표준화되고 상호 공유되어 통합적으로 제공되지 않아 데이터 연계 및 매체 통합적 해석에 난점을 가지고 있다. 이와 같은 이유로 2015년 식품의약품안전처(이하, 식약처)를 컨트론타워로 하여 범부처 공동으로 환경유래 식품오염물질의 저감화 구축 과제를 개시하였다. 이에 본 연구는 환경유래 식품오염물질의 식품 공급사슬 단계별 모니터링 결과를 통합하고 부처간 도출된 연구결과를 상호 연계한 매체 통합적 도구로서 국가 통합 저감화 플랫폼인 ECO-FOOD NET(Environmental Contaminant reduction platform for FOOD by interagency collaboration NETWORK)의 전체 프레임워크 설계 내용을 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 부처간 협업 대상 식품오염물질 모니터링 데이터 표준화

각 부처별 환경유래 식품오염물질의 모니터링 대상과 종류를 명확화하고 매체, 경로, 분석방법 및 식품 매트릭스 등에 대한 특이적 DB를 상세화하여 표준 프로토콜을 도출하였다. 표준 프로토콜의 각 변수별 데이터 타입 및 코드집 등을 담은 ‘환경유래 식품 오염물질 다부처 데이터 표준 기술서’를 문서화하여 모니터링을 시작하기 전에 각 연구진에게 선제적으로 배포하였다(Table 1).

2. 소프트웨어 플랫폼 설계

오염물질 거동(Trajectory)에 관한 컴퓨터 모델을 확립하여 시간, 공간 및 매체의 3차원 물질 거동 표현을 위한 컴퓨터 표현 모델을 도출하였다(Figs. 1, 2).

Table 1. Monitoring data format of ECO-FOOD NET

Field No.*	Descriptive field name	Field size (Length)†	Field No.*	Descriptive field name	Field size (Length)†	Field No.*	Descriptive field name	Field size (Length)†
S1	Sample number	N8	S16	Sample category	A1	A2	Contaminant category 1 depth	A1
S2	Sample name	AN255	S17	Full length	AN3.5	A3	Contaminant category 2 depth	A1
S3	Media category 1	A1	S18	Body length	AN3.5	A4	Cas number	AN255
S4	Media category 2	A2	S19	Moisture content	AN3.5	A5	Contaminant name	AN255
S5	Media category 3	A2	S20	Fat content	AN3.5	A6	Limit of Detection	N3.5
S6	Media category 4	A2	S21	Sampling date	D	A7	Limit of Quantification	N3.5
S7	Media category 5	A2	S22	Sampling amount	N3.5	A8	Recovery	N3.5
S8	Sample category code	AN3	S23	Sampling amount unit	A3	A9	Processing method	N1
S9	Food sample species	AN255	S24	Sampling area code	A3	A10	Storage method	N1
S10	Manufacturing company	AN255	S25	Sampling area	AN255	A11	Preprocessing	AN255
S11	Origin country code	A2	S26	Data production country	A3	A12	Analytical Instrument	AN255
S12	Origin area code	AN3	S27	Representatives of the Samples	A1	A13	Result unit code	AN3
S13	Sample area	AN255	S28	Confidentiality of Data	A1	A14	Result unit	AN255
S14	Sample area(Address)	AN255	S29	Note	AN255	A15	Reference	AN255
S15	Producing category	A10	A1	Contaminant code	AN5			

* Field No: Data type estimated from monitoring data structure

- S: Sample data, A: Analysis data

† Field size(Length): Field size and maximum storage size

- N: Numeric type composed of decimal or integer, A, AN: Analysis numeric type composed of decimal or integer, D: Sampling date

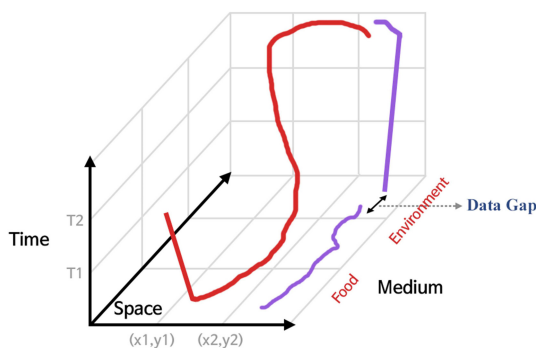


Fig. 1. Dimensional Trajectory Model for media integrated analysis

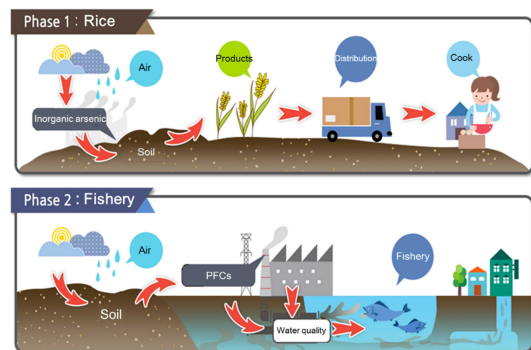


Fig. 2. Critical Collaboration Point and Mechanism through food chain

3. 개발 환경 및 아키텍처

1) 전자 정부 표준 적용 및 디자인 개선

국가 서버에 이식성 및 코드 재활용성 측면에서 효율성을 가진 행정자치부 표준인 전자정부 표준 프레임워크를 아키텍처로 채택하였다. 이로 인해 상용 솔루션과 연계가 가능한 표준을 제시하여 상호 운용성이 보장되며, 모듈 간 변경에 있어 영향을 최소화할 수 있도록 하였다.

- 웹서버·WAS: JEUS 5.0(WAS)-WebtoB
- 하드웨어 부분: UNIX Operating System or Windows NT계열 시스템
- DBMS 및 검색엔진: Oracle 10g이상

로그인 및 메인 페이지 등 시스템 내 디자인요소의 경우 HTML5 체계를 반영하여 최신 웹 분야 기술표준을 반영하고 마이크로소프트의 운영체제에서 사용 가능한 웹 브라우저인 인터넷 익스플로러(Internet Explorer)와 크롬(Chrome)을 통해 일관성, 가독성 그리고 사용자 편의를 고려한 사용자 인터페이스를 구성하였다(Fig. 3).

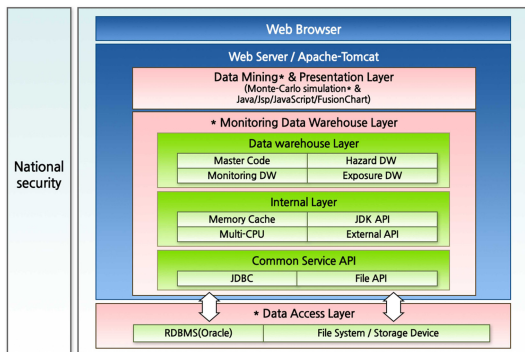


Fig. 3. System architectures

2) 단계별 메뉴 구성 및 DB 구축

각 부처별 식품공급기술을 중심으로 단계별 모니터링 데이터를 통합하기 위하여 매체(환경, 식품 등), 유입경로, 분석방법 및 식품 매트릭스 등에 대한 내용의 구성을 체계화하여 사용자가 효율적이고 효과적으로 이용할 수 있도록 상세 시스템 메뉴를 설계하였다. ECO-FOOD NET 시스템은 총 7개의 대메뉴(참여부처>About System, Introduction to Interagency Work), 독성 DB(Media – Chemicals Profiles), 분석법 DB(Method Bank), 저감화방법

DB(Risk-Benefit Analysis), 모니터링 DB(Monitoring Data Base), 매체통합분석(Integrated Media Analysis), 법령))로 구성(안)을 도출하였다(Table 2).

Table 2. Design results of sub-system for ECO-FOOD NET

No.	Main Menu	Sub Menu
1	About System	Introduction to System
2	Introduction to Interagency Work	NIFDS NAAS NIER NIFS
3	Media – Chemicals Profiles	Media Category Search Chemicals Category Search
4	Method Bank	Method Administration Analysis Instrument Administration
5	Monitoring Data Base	Sample Bank Statistics
6	Integrated Media Analysis	
7	Risk-Benefit Analysis	

III. 결 과

1. 부처간 협업 대상 식품오염물질 모니터링 데이터 표준화 결과

부처별 식품오염물질 모니터링 데이터는 방대하나 사람이 수기로 작성을 하다 보니 산발적으로 생산되고 있어 무결성(Integrity) 문제가 존재하였다. 이를 해결하기 위해 데이터 모순점(inconsistency) 포착, 결측치(Missing value) 처리 및 이상치(Outlier) 검출 등의 작업을 통해 데이터 정제를 단계적으로 수행하였다. 첫째, 생산한 환경유래 식품 오염물질 다부처 데이터 표준 기술서를 토대로 중금속(비소 포함), 과불화화합물에 대해 표준 코드를 부여하였다. 또한 물질의 국문명, 영문명, 축약어, CAS No. 등을 법정(고시상) 표기법 및 물질의 분류 체계(대분류, 중분류, 소분류)를 고려하여 표준화 하였다. 둘째, 각 부처에서 생산한 모니터링 자료를 통합적이고 복합적으로 활용할 수 있도록 데이터베이스 구축을 위한 정제 및 변환을 통해 최종 표준화 작업을 완료하였다. 또한, 자체 생산한 표준 분류 코드에 의해 매체 코드, 물질코드, 지역코드, 해구코드 및 단위코드 표준화 작업을 완료하였다(Table 3).

Table 3. MEIDA Category standardization of ECO-FOOD NET

MEIDA Category 1	MEIDA Category 2	MEIDA Category 3 Total of number (n)
Environment	Dust and Rainfall	5
	General Farmland	
	Vulnerable Farming Land	
	Other Soil	
Irrigation Waters	Chemical fertilizer	1
	Irrigation Waters	
Agricultural Water	Agricultural Water	1
	Oceans	3
Oceans	Livestock water	
	Food (Raw Food Materials)	Paddy Soil
Animal raw materials (Snake head, Amur catfish, Chinese muddy loach, Crusian carp, Pond smelt...)		
Vegetable raw materials (Rice, Barley, Wheat, Buckwheat, Foxtail millet...)		
Confectionery		
Food (Distribution & Processed foods)	Candy	82
	Breads or Rice Cakes	
	Cocoa Products or Chocolates	
	Jams	
	Sugars	
	Glutinous Rice Jellies (Yeat)	

2. ECO-FOOD NET 시스템 설계

1) ECO-FOOD NET 메뉴 설계

ECO-FOOD NET 시스템은 총 7개의 대메뉴(참여 부처, 독성 DB, 분석법 DB, 저감화방법 DB, 모니터링 DB, 매체통합분석, 법령 DB)로 구성(안)을 도출하였으며(Fig. 4), 각 메뉴의 세부 기능 설계 내용은 다음과 같다.

a. 참여 부처

참여부처 메뉴에서는 각 부처별로 ECO-FOOD NET에 참여하는 담당 부서 및 주요 업무 소개 등을 담는다.

b. 독성 DB

독성 DB에서는 화학 물질에 대한 독성 정보 확인이 가능하며, 사용자의 검색 목적에 따라 화학물질 분류별 조회, 매체별로(환경, 식품 등) 조회가 가능하도록 한다. 특히 화학물질 분류별 조회의 경우 오염성 프로파일, 관련 매체, 물리·화학적 특성 및 화학물질에 대한 분류표시를 국제조화시스템(Global Harmonized System, GHS)에 따라 분류하고 기타 독성정보 조회가 가능하도록 한다.

c. 분석법 DB

분석법 DB에서는 각 부처의 오염물질 분석법을 통합하여 분석법 DB 입력 플랫폼을 구축한 후 킨텐즈 등록 화면을 설계하였다. 분석법 기본 정보에서 가장 중요한 플로우차트(flowchart)를 이미지화하여 시험법의 단계를 쉽게 확인하고, 전처리 방법 및 본 분석법에 대한 체계적인 서비스를 제시한다.

d. 저감화 방법

저감화 연구결과를 담은 모듈로써 저감화 단계별 데이터를 평균값으로 제시하고, 저감화 프로세스를 시각화 한다. 저감화 방법은 사용자가 저감화 대상 매체와 물질명(CAS No.)을 선택하여 관련 내용을 검색할 수 있도록 하며, 저감화 대상 매체별로 대상 물질의 검출농도 및 감소율을 확인할 수 있도록 한다.

e. 모니터링 DB

사용자의 맞춤형 모니터링 자료 조회가 가능한 모니터링 DB는 크게 자료원 조회, DB 조회, 맞춤 통계로 설계하였다. 모니터링 DB 정제 결과, 각 부처의 오염물질 모니터링 DB의 결과 단위가 산재되어 있으므로 오염물질의 분석방법 조화를 위한 협의를 통해 시스템 내 구축된 농도 단위를 ppb(µg/kg, µg/L)로 통일하였다.

자료원 조회에서는 사용자가 구축된 자료원을 매체분류, 물질명, 주관기관, DB 구축 연도로 구분하여 조회하고, 자료원의 상세정보를 통해 관련 정보와 원데이터의 조회가 가능하도록 한다. DB 조회에서는 매체 분류(환경, 식품 등), 물질명 및 CAS No.(국문, 영문, 약어)에 따라 DB 조회가 가능하고, 매체별 모니터링 물질의 검출건수, 검출율, 모니터

링 건수, 평균농도 등을 한 눈에 파악할 수 있도록 한다. 이렇게 설계된 시스템은 관련 자료의 상세정보를 통해 기본정보(매체분류, 화학물질명, CAS No.)와 시료정보(검출시료, 불검출시료, 시료분포, 히스토그램)의 확인이 가능할 것이다. 맞춤통계에서는 사용자의 필요에 따라 맞춤으로 자료원을 선택할 수 있으며, 행(Row)항목(화학물질, 매체그룹, 시료채취 연도, 시료생산지, 시료채취장소), 출력항목(검출농도, 모니터링건수, 검출건수, 불검출건수, 검출비율)을 선택하여 표와 그래프(Column, Stack, Bar, Pie) 형태로 출력되도록 설계하였다.

f. 매체통합분석

ECO-FOOD NET에서는 향후 매체통합분석을 위해 각 부처에서 생산한 모니터링 자료원의 오염 정도를 파악할 수 있도록 시스템을 구현하고자 한다. 먼저 매체통합 분석의 오염지도를 위해 오염물질 DB의 해구 및 육상 지리정보시스템(Geometric Information System, GIS)을 적용하여 이를 컴퓨터 모델로 확립하였다. 오염지도에서는 사용자가 자료원을 복수 선택할 수 있으며 오염물질의 분류(중금속, 과불화화합물), 매체분류(환경, 식품 등), 출력항목(검출농도, 모니터링건수, 검출건수, 불검출건수, 검출비율)에 따라 조회가 가능하도록 설계하였다. 또한 사용자가 조회 기준인 검출건수와 모니터링 건수를 선택하고 상위 건수를 입력하게 되면 오염지도의 출력과 함께 '검출건수P(N)/모니터링건수(N)(검출율(%))'을 확인할 수 있도록 한다.

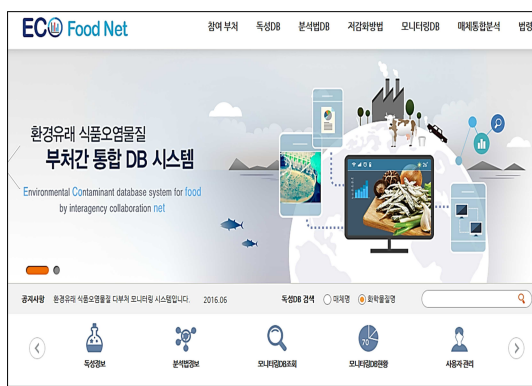


Fig. 4. Program main page of ECO-FOOD NET

g. 법령

마지막 법령 메뉴에서는 식품의 기준·규격 등 각 부처의 법령 자료와 법제처의 국가법령정보센터를 연계하여 최신 법령정보 및 관련 법규를 쉽게 확인할 수 있도록 설계하였다.

IV. 고 찰

환경유래 오염물질은 식품 자체만으로는 효율적인 안전관리에 한계가 있다. 따라서 안전성 확보를 위해서는 식품공급사슬 전반의 단계별 위해성 평가를 포함하는 통합적 관리 모듈이 중요하며, 이를 위해서는 각 부처별로 산재되어 있는 오염물질 모니터링 DB를 통합할 수 있는 시스템 구축이 필수적이다.

지금까지 각 부처별로 수행된 환경유래 오염물질에 관한 많은 연구들의 경우, 매체 통합적인 자료 관리가 부족하여 단발적 자료 생산으로만 이어지고 있을 뿐 아니라, 표준화된 형식이 없어 환경매체 및 농축·수산물 내 오염물질을 전체적으로 비교 분석하기에는 제한적이었다. 이에 본 연구에서는 미래부에서 주관하는 핵심 사회문제 해결을 위한 과학기술기반 다부처(식품의약품안전처(NIFDS), 해양수산부(NIFS), 환경부(NIER), 농림축산식품부(NAAS)) 연계·협력 방향에 근거하여 근원적인 오염원인 환경 분야 및 농작물의 이행 분야와의 연구 협업을 통해 식품공급사슬에 따른 오염물질(중금속, 과불화화합물 등) 저감화를 위한 ECO-FOOD NET 설계를 진행하였다.

먼저 부처간 협업 대상 식품오염물질 자료의 표준화를 실시하여 다양한 표준 코드를 기반으로 식품 매트릭스 등에 대한 내용의 구성을 체계화하였다. 또한 식품공급사슬에 따른 단계별 모니터링 자료를 바탕으로 모듈의 검색, 분석 및 시각화 방안을 수립하였다. 현재 ECO-FOOD NET은 모듈별로 개발 작업을 진행하고 있으며 구축이 완료되면 향후 다부처에서 생산되는 다양한 오염물질 모니터링 자료의 통합 관리, 저감화 노력에 대한 현황 파악 및 미래예측 도구로써 활용이 가능할 것으로 생각한다. 본 연구는 향후 식품공급사슬 전 주기에 걸친 식품오염물질의 저감화 체계를 마련하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

V. 결 론

ECO-FOOD NET 플랫폼은 특정 식품 공급사슬의 전반적인 차원에서 환경오염물질의 노출 모니터링 및 위해 수준 파악은 물론 공간적인 시각에서의 취약성 분석과 시간의 변화에 따른 위해 저감화 수준의 추이분석 등이 가능하도록 설계되었다. 따라서 향후에는 국가단위 식품 위해 관리 의사결정의 도구로써 범부처 차원에서의 사회 안전망 구축에 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 식품의약품안전처의 연구개발비(15162불량식077)로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

References

1. National Science & Technology Council. Science and Technology-based Social Problem Solving Comprehensive Action Plan. 2013. p. 18.
2. Choi JS, Jung KH, Kim DY, Lee KY. Consumer's Perception of Food Safety. Korea Institute for Health and Social Affairs. 2016. p. 9.
3. Kim DS, Kim HJ, Cho MJ, Kim SH, Koo YE, Hwang MS, Suh JH, Park JH. Cadmium Risk Assessment of Cadmium. NIFDS. 2016. p. 41.
4. Consumer Reports. Arsenic in rice test data prompt FDA to recommend diversifying grains in diet. <http://www.consumerreports.org/cro/news/2013/09/arsenic-in-rice-test-data-prompt-fda-to-recommend-diversifying-grains-in-diet/index.htm>. [Published 06 September 2013].
5. Yang JY, Jang JY, Kim SH, Kim YK, Lee HM, Shin DC, et al. Development of Korean Food-Chemical Ranking and Scoring System (Food_CRS-Korea) and Its Application to Prioritizing Food Toxic Chemicals Associated with Environmental Pollutants. *J. ENVIRON. TOXICOL.* 2010; 25(1): 41-55.
6. Yang WH, Song YW. Study on the Exposure Factors of Korean Children(III). NIER. 2015. p. 1.
7. Kong JS, Kim YH. Indoor Radon Risk Assessment by Applying Measurement Concentrations and Exposure Times for Military Facilities and Underground Shopping Malls near Subway stations. *J Environ Health Sci.* 2016; 42(5): 345-351.
8. Kim JG, Kim JS. Impact of Climate Change on Food Safety: A Mini-review. *J Environ Health Sci.* 2016; 42(6): 465-477.
9. Song BR, Lee HJ. The Development of Convergence Database and Data-Mining Systems between Climate Change and Food Safety. *Safe Food.* 2016; 11(1): 12-19.