J. ENVIRON. TOXICOL.
Vol. 25, No. 1, 41~55 (2010)

환경유래 식품오염물질의 우선순위 선정 기법 (Food-CRS-Korea)의 개발과 적용

양지연, 장지영, 김수환, 김윤관[1], 이효민[2], 신동천, 임영욱※

연세대학교 환경공해연구소, [1](주)이앤위즈, [2]식품의약품안전청

Development of Korean Food-Chemical Ranking and Scoring System (Food_CRS-Korea) and Its Application to Prioritizing Food Toxic Chemicals Associated with Environmental Pollutants

Jiyeon Yang, Jiyoung Jang, Soohwaun Kim, Yoonkwan Kim[1], Hyomin Lee[2], Dong-Chun Shin and Youngwook Lim※

The Institute for Environmental Research, Yonsei University, Seoul, Korea
[1]E & WIS Corp., 222-12 Guro-dong, Guro-gu, Seoul, Korea
[2]Korea Food & Drug Administration, Seoul, Korea

ABSTRACT

The aims of this study were to develop the suitable "system software" in chemical ranking and scoring (CRS) for the food hazardous chemicals associated with environmental emission and to suggest the priority lists of food contamination by environmental-origined pollutants.

Study materials were selected with reference to the priority pollutants list for environment and food management from domestic and foreign research and the number of study materials is 103 pollutants (18 heavy metals, 10 PBTs, 10 EDs, and 65 organic compounds). The Food-CRS-Korea system consisted of the environmental fate model via multimedia, transfer environment to food model, and health risk assessment by contaminated food intake. We have established that health risks of excess cancer risks, hazard quotients (HQs) by chronic toxicity and HQs by reproductive toxicity convert to score, respectively. The creditable scoring system was designed to consider uncertainty of quantitative risk assessment based on VOI (Value-Of-Information). The predictability of the Food-CRS-Korea model was evaluated by comparing the presumable values and the measured ones of the environmental media and foodstuffs.

The priority lists based on emissions with background-level-correction are 15 pollutants such as arsenic, cadmium, and etc. The priority lists based on environmental monitoring date are 17 pollutants including DEHP, TCDD, and so on. Consequently, we suggested the priority lists of 13 pollutants by considering the several emission and exposure scenarios. According to the Food-CRS-Korea system, arsenics, cadmium, chromes, DEHP, leads, and nickels have high health risk rates and reliable grades.

Key words : food CRS, environmental pollutants, food transfer, priority, health risk

※ To whom correspondence should be addressed.
Tel: +82-2-2228-1898, Fax: +82-2-392-0239
E-mail: envlim@yuhs.ac

서 론

화학물질은 현대 문명사회에서 없어서는 안 될 중요한 요소임과 동시에, 제조・사용・폐기 등의 모든 단계에서 환경 및 인체에 노출되어 돌이킬 수 없는 위해를 야기하는 원인이 되기도 한다. 특히 환경 중 잔류성이 있는 유해물질의 경우, 다양한 환경 매체를 통해 어패류 및 농작물 등의 식품 오염을 유발 시킬 수 있어 특별한 관리가 필요하다. 환경오염으로부터 기인된 식품 중 유해물질을 관리하기 위해 식품 중 환경오염물질을 측정하고, 이를 기반으로 한 인체 위해성 평가 및 관리 정책을 수립하는 과정은 많은 비용과 시간이 필요하기 때문에, 현실적 적용성이 다소 떨어진다. 한정된 자원을 고려하여 수많은 오염물질 중 우선순위가 높은 물질을 먼저 관리하도록 하는 것이 효과적이다. 위해도가 보다 큰 물질을 사전에 선별하고 이에 대한 관리 정책을 집중할 수 있도록 하는 방안 개발이 강조되어 왔다(Gary *et al*., 1994). 유해물질의 효과적 관리를 위한 첫 단계는 광범위한 물질 중 우선순위가 높은 물질의 수를 줄인 다음 이들에 대해 세부 평가에 필요한 과정을 진행하는 단계적 접근법이 사용되며(박화성 등, 2005), 그 첫 단계에서 활용되는 기법이 CRS (Chemicals Ranking and Scoring) 시스템이다(US EPA, 1994a). 화학물질에 대한 우선순위 선정을 위한 CRS 시스템은 위해성 평가와 일관성을 갖고 있는 개념으로, 시스템 내에서 위험(hazard)과 노출(exposure)의 함수로 설명되는 화학물질의 위협(threat)을 지표로 우선순위를 도출하는 방법이다(Swanson *et al*., 1997).

유해물질의 위해 관리를 위해 미국, 캐나다 등을 비롯한 선진국에서는 화학물질 중 인체 위해가 우려되는 물질을 우선적으로 관리하기 위하여 화학물질의 독성, 환경 중 거동, 인체 노출 가능성 및 인체에 영향을 줄 잠재 위해성 등을 종합적으로 고려하여 각 나라에 맞는 우선순위 선정 시스템과 위해관리 시스템을 운영하고 있다(Swanson *et al*., 1997; US EPA, 1994a; 김예신 등, 2003). 국내에서도 환경부에서 유독물로 지정된 화학물질을 대상으로 인체 및 생태 독성과 노출을 고려한 CRS 체계를 개발하였으며(박화성 등, 2005; 최승필 등, 2005), 이를 활용하여 상위 우선순위 물질에 대한 실질적인 위해성 평가를 수행한 바 있다(연세대학교, 2002, 2004; 서울시립대, 2005). 토양 및 지하수 오염물질 관리를 위한 우선순위 연구(안윤주 등, 2008), 유류 오염 토양 복원을 위한 우선순위 연구(노경희 등, 2000)와 같이 특정 환경 매체 관리를 위한 우선순위가 개발, 활용되기도 한다.

이와 같이 국외 및 국내에서 유해물질의 CRS 시스템은 환경 관리를 목적으로 하고 있으며, 환경 오염물질이 생태계로 유입되어 식품 오염에 의한 인체 영향을 예방하기 위한 과정까지는 포함되어 있지 않다. 과거 환경 오염물질의 식품 전이로 인한 사고들은 일본 미나마타병, 이따이이따이병 사건에서 경험했다시피, 사고 후 원인 및 관리 체계 구축을 하기 위해서는 많은 시간과 비용이 소비되기 때문에, 사전 관리가 매우 중요하다. 국내에서도 최근 다이옥신, 광산 지역의 카드뮴 등과 같은 환경 오염물질의 식품 전이로 인한 사건들이 발생되고 있어 이에 대한 사전 예견적 관리 체계가 필요하다.

이에 이 논문에서는 환경으로 배출되는 인체 유해물질이 대기, 수질, 토양 등의 환경 매체 접촉 및 생태계 축적성 등으로 인해 농작물, 낙농품, 어패류 등의 식품에 오염됨으로서 발생할 수 있는 인체 유해 영향을 사전에 예방 관리하고자 국내 처음으로 환경유래 인체유해물질의 식품관리 위해 우선순위 예측을 위한 체계적인 시스템(Food-CRS-Korea system)을 개발하고, 국내 유해물질 유통량 정보를 이용하여 국내 환경 유해물질 중 식품 전이 가능 위해물질 우선 관리 목록을 제안함으로서 개발된 Food-CRS-Korea 시스템의 적용성을 평가하였다.

재료 및 방법

1. 대상 물질 선정

화학물질의 우선순위 선정 기법을 구성할 때에는 그 목적에 대해 명확히 정의하는 것이 매우 중요하다(Swanson *et al*., 1997; 박화성 등, 2005). 본 연구에서 구성하고자 하는 Food-CRS-Korea 시스템은 환경으로 배출된 오염물질이 식품으로 전이되어, 사람이 오염된 식품을 섭취함으로서 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있는 물질 중 우선적으로 관리하여야 하는 물질을 선별하기 위한 것으로서 환경 배출 물질 중

식품으로의 전이 가능한 물질을 대상 물질로 선정하였다. 1차 대상물질 선정을 위해 EPA (Environmental Protection Agency)의 PBT (Persistence, Bioaccumulation and Toxic) 목록 (US EPA, 1998) 및 호주의 식품 위해성 평가 보고서 (final risk assessment report) (FSANZ, 2006), 뉴질랜드 FSANZ (Food Standards Australia New Zealand)의 "Report on a survey of Chemical Residues in Domestic and Imported Aquacultured Fish" (FSANZ, 2005), 네덜란드 RIVM의 위해성 평가 보고서 (RIVM, 2001), 덴마크의 식품 유해물질 모니터링 목록 (DVFA, 1999), 일본 환경성의 내분비계장애물질 및 잔류성유기오염물질 목록 (Japan MOE, 2006) 등을 고찰하였다. 또한 국제적인 식품관리대상 물질과 더불어 국가 유독물 물질 목록, 환경 매체별 (대기, 수질 및 토양) 국가 모니터링 대상 물질, 환경 매체별 특정 관리 대상 물질, 국가 내분비계장애 추정물질 목록에 대해서도 조사, 검토하였다. 본 연구에서 개발하고자 하는 Food-CRS-Korea 목적에 따라 식품 가공시 오염될 수 있는 포장재 함유 물질, 식품 첨가제, 가공시 발생하는 식품오염물질 등은 대상 물질에서 제외하였다. 그리고 현재 식품관련 법에서 관리하고 있는 농약에 대해서도 대상 물질에서 제외하였다.

2. Food-CRS-Korea 체계 구성

일차적으로 선정된 대상물질에 대한 Food-CRS-Korea 시스템을 구성하기 위해 국내외에서 활용되고 있는 우선순위 선정 기법에 대해 비교, 검토하였으며, 이들 기법의 Food-CRS-Korea 체계 개발시 적용가능성에 대해 검토하였다. 특히 환경으로 배출된 오염물질이 생태계로의 이동 및 식품으로의 전이 과정을 예측할 수 있는 환경 거동 모형의 적용 가능성에 대해 집중적으로 자료 검토 및 고찰을 수행하였다. 이와 더불어 식품 오염에 의한 인체 영향을 예측하기 위한 독성 정보의 범위 및 위해 추정의 과정에 대해서도 국내외 기법을 비교, 검토하였다.

국내외 화학물질의 CRS 기법 및 점수화 체계 고찰을 기반으로 국내 환경으로부터 기인된 식품 중 유해물질 우선순위 선정 체계 및 점수화 과정을 구성하였다. 본 연구에서 개발한 Food-CRS-Korea 시스템은 크게 2단계로 구성하였다. 첫 번째 단계는 환경 오염원으로부터 대기, 토양 및 수체 환경으로 배출되는 유해물질의 거동기작을 모사하는 다매체 거동모형을 이용하여 궁극적으로 환경매체 (대기, 토양, 수체)에서의 유해물질의 환경농도 (predicted environmental concentration: PEC)와 환경 매체에서 식품으로의 전이 과정 추정을 통한 주요 식품군에서의 유해물질 농도 (predicted food concentration: PFC)를 예측하는 과정이다. 두 번째 단계는 환경-식품 거동 모형을 통해 예측된 PFC값과 대상 물질의 독성 정보 및 대상 식품군 섭취량 등을 고려한 오염 식품 섭취 위해도 점수를 산출하는 과정이다.

첫 번째 단계 구성을 위해 환경 매체와 식품 전이 과정이 포함되어 있는 CalTOX (US EPA, 2002), CSOIL (RIVM, 2001) 및 SEDSOIL (RIVM, 2001) 모형을 고찰하여 국내 환경 매체와 연계된 식품으로의 오염물질 이동 과정을 수식화하였다. 환경 매체에서 식품으로의 오염물질 전이 과정에 대한 수식은 기본적인 물질수지방정식을 이용하였으며, 환경 매체에서 식품으로의 이동 과정은 정상 상태 (unsteady state) 모형을 구축하였다. 환경 매체에서 식품으로 이동한 물질은 다시 환경 중으로 재이동하지 않으며, 대상 식품군에서의 오염물질 변화량은 각 매체 (i-th compartment)에서의 시간에 따른 물질변화량의 합으로 나타낼 수 있다. 본 연구의 모형은 정상상태이므로 모든 식품에서 시간에 따른 물질 변화량의 변화가 없는 것으로 가정하여 식품 중 농도를 계산하였다.

두 번째 단계인 위해도 점수화를 위해 우선 환경-식품 거동 모형을 통해 예측된 PFC값과 성인의 해당 식품군별 일일 평균 섭취량을 이용하여 대상 물질에 오염된 식품을 섭취함으로 인한 일일평생평균 노출량, LADD (Lifetime Average Daily Dose, mg/kg-day)을 산출하였다. 그 다음으로 LADD와 대상 물질의 독성 정보를 이용하여 추정된 섭취 인체 위해도에 대해 점수화 하였다.

개발된 Food-CRS-Korea 기법을 편리하게 사용할 수 있도록 전산화 프로그램으로 개발하였으며, 관련 변수에 대한 데이터베이스를 구축하여 Korea-Food-CRS 시스템을 완성하였다 (Fig. 1).

개발된 Food-CRS-Korea 시스템의 예측 결과의 타당성 검증은 2단계로 수행하였다. 우선 환경 배출량을 바탕으로 한 환경 매체별 오염도 예측의 타당성 검증과 두 번째 과정으로서 환경 매체에서의 오염물질이 농작물, 낙농품 및 어패류 등의 식품으로

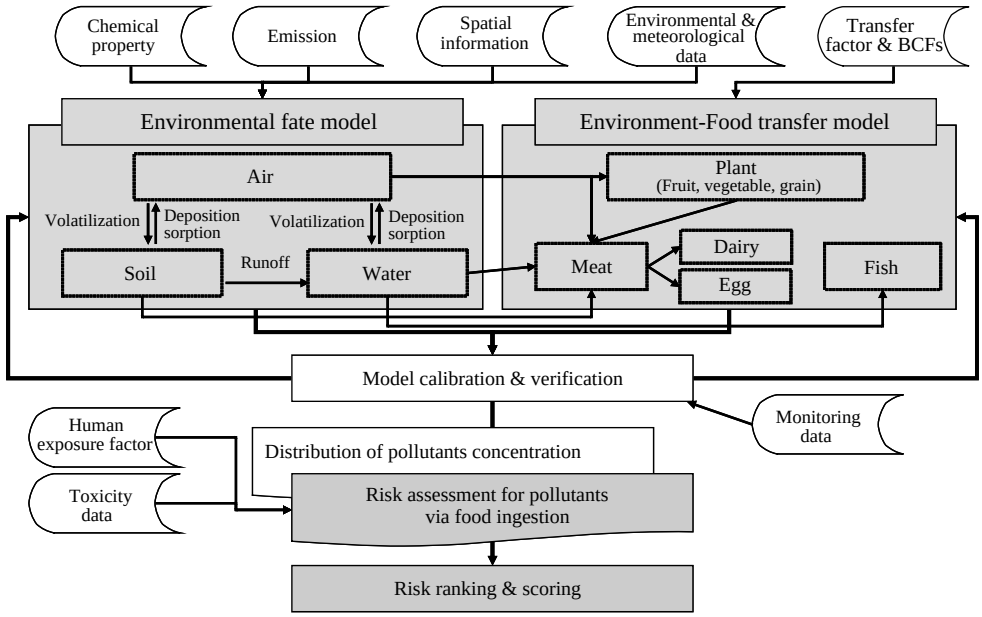

Fig. 1. Frame of Food-CRS-Korea system.

의 전이 예측 결과의 타당성 검증으로 개발된 시스템의 신뢰도를 평가하였다.

3. Food-CRS-Korea에 의한 환경유래 식품오염물질 우선순위 제안

Food-CRS-Korea 시스템에 의해 도출된 환경유래 인체유해물질의 식품관리 위해 우선순위 목록들을 비교 검토하여 최종 식품관리 물질 목록을 작성하였다. 일차적인 환경유래 인체유해물질의 식품관리 위해 우선순위 목록은 환경 배출량 정보에 의한 목록, 환경바탕값 및 배출량 정보에 의한 목록 및 환경 오염도에 의한 위해 점수를 각각 산출하고, 상위의 총 위해 점수 물질 목록을 작성하였다. 환경바탕값 및 배출량과 환경 오염도에 의해 반복적으로 상위에 선정되는 물질들을 중심으로 환경유래 인체유해물질의 식품관리 우선순위 목록을 작성하였다.

Food-CRS-Korea 시스템을 통해 제안된 환경유래 인체유해물질의 식품관리 우선순위 물질의 각각에 대해 환경바탕값, 배출 수준, 오염 정도, 식품 전이 가능성, 독성 유발 정도 등에 대한 기초 자료 등을 종합적으로 분석, 제시함으로서 선정 근거를 명확히 하였다. 또한 환경유해 인체유해물질의 식품관리 우선순위 물질의 환경 및 식품으로의 인체 노출 기여율을 제시함으로서 효과적으로 관리하기 위한 정보들을 추가적으로 제시하였다.

결과 및 고찰

1. Food-CRS-Korea 대상 물질 선정

국내외 식품 중 유해물질 관리 목록 검토를 통해 Food-CRS-Korea 대상 후보 물질로서 약 250종을 선별하였으며, 후보 물질에 대해 국내 유통 화학물질 여부 및 환경 배출량 정보 유무 등을 중심으로 재검토한 결과, 최종적으로 총 103종의 대상 물질이 선정되었다.

최종 선정된 Food-CRS-Korea 대상 물질, 103종은 중금속류 18종, 잔류성물질 10종, 내분비계장애물질 10종, 기타 유기물 65종으로 구성되었다. 최종 대상 물질 중 미국 환경보호청에서 식품 오염의 잠재성 때문에 관심을 가지고 있는 물질은 96종, 네덜란드에서 토양 · 지하수 오염으로 인해 농작물에 영향을 미칠 수 있어 관심을 가지고 있는 물질이 53종이 포함되어 있다. 또한 국내 유통량 조사 대상 물질은

Table 1. List of chemicals for Food-CRS-Korea

Chemicals	Selected reasons		Chemicals	Selected reasons	
	International	Domestic		International	Domestic
1,1,1-Trichloroethane	C	U,T	Chloromethyl methyl ether	C	T
1,2,4-Trimethylbenzene	C	U	Chlorpyrifos		T
1,2-Dichloroethane	C,R	U	Chromium (III)	C,R	U,T
1,3-Butadiene	C	U,T	chromium (VI)	C,R	U,T
1,4-Dichlorobenzene	C,R	T	Cobalt	C,R	T
1,4-Dioxane	C	T	Copper	C,R	T
1-Chlorobutane	C	U	Cresole	C,R	T
2,3,4,6-Tetrachlorophenol	C,R	P	Cyclohexane	C	U,T
2,3,7,8-TCDD (Dioxin)	C,R	P	Cyclohexanone	C,R	U
2,3′4,4′,5-Pentachlorobiphenyl	C,R	P	Di (2-ethylhexyl)phthalate	C,R	T
2,4,5-Trichlorophenol	C,R	U	Pentachlorophenol	C,R	U
2,4,6-Trichlorophenol	C,R	U	Styrene	C,R	U,T
2,4-Diaminotoluene	C	T	Tetrahydrofuran	R	U
2,4-Dichlorophenol	C,R	U	Thiram	C	T
2,4-Dinitrotoluene	C	U,T	trichloromethane	R	U,T
2,6-Dinitrotoluene	C	T	Vinyl chloride	C,R	U,T
2-Methoxyethanol	C	U,T	Vanadium	C	T
4,4′-bisphenol-A	C,R	T	Selenium	C	T
Acetaldehyde	C	U,T	zinc	C,R	T
Acetone	C	U	Diazinon	C	T
Acrolein	C	T	dichloromethane	R	T
Acrylamide	C	T	Diethyl sulfate	C	T
Acrylonitrile	C	T	Dimethyl sulfate	C	T
α-HCH	C,R	P	Dimethylamine	C	U,T
Allyl alcohol	C	T	DDVP (Dichlorvos)	C,R	U
Aniline	C	U	Endosulfan	C	T
Arsenic	C,R	T	Ethyl acetate	C	T
Nonylphenol	C,R	U	Ethyl acrylate	C	T
Pyridine	R	U	Ethylbenzene	C,R	U,T
Tetrachloroethylene	C,R	T	Ethylene oxide	C	T
Thiourea	C	T	Ethylenethiourea	C	T
Trichloroethylene	C,R	T	Formaldehyde	C	U,T
Vinyl acetate	C	U,T	Hexachlorocyclopentadiene	C	T
Antimony	C	U,T	Hexachloroethane	C	T
Aluminum	C	U,T	Hexachlorophenol	C,R	U
Atrazine	C,R	U	Hydroquinone	R	U
Barium	C,R	T	Lead	C,R	T
Benzene	C,R	U,T	mercury (inorganic)	C,R	T
Benzo (a)pyrene (PAHs)	C,R	T	Methyl chloride	C	T
Benzoic acid	C	U	Methyl ethyl ketone	C	U,T
Benzyl Chloride	C	U,T	Methylene chloride	C	U
Beryllium	C,R	U,T	molybdenum	C,R	U
butylbenzyl phthalate (BBzP)	C,R	T	Naphthalene	C,R	U,T
Cadmium	C,R	T	Nickel	C,R	U,T
Captan	C	T	Nitrobenzene	C	T
Carbaryl	R	T	Phenol	C,R	T
Carbofuran	C,R	T	Tetrachlorophenol	C,R	U
Carbon disulfide	C	T	Tetrahydrothiophene	R	U
Carbon tetrachloride	C	T	Toluene	C,R	U,T

Table 1. Continued

Chemicals	Selected reasons		Chemicals	Selected reasons	
	International	Domestic		International	Domestic
Catechol	C,R	T	Trichlorophenol	C,R	U
Chloroacetic acid	C	T	Xylenes	C	U
Chloroform	C	T	Manganese	C	U,T

*C: List of Caltox program, R: list of RIVM program, U: List of use inventory in Korea, T: List of TRI (Toxic release inventory) in Korea, P: List of POPs TRI in Korea

49종, 환경 배출량 조사 대상 물질은 76종이었으며, 국내 내분비계장애물질 모니터링 대상 물질이 4종 포함되어 있다(Table 1).

2. Food-CRS-Korea 개발

1) 환경 거동에 따른 식품 오염도 예측 모형 개발

위해도 기반의 CRS 시스템을 개발하고자 국내 차세대 R&D 지원으로 개발된 국내 환경오염물질의 다매체/다경로 거동 모형(서울대학교 환경대학원, 2007)을 기반으로 각 환경 매체에서 농작물 및 수서 생물로의 전이 과정을 확장하여 Food-CRS-Korea 시스템을 구축하였다(Fig. 2).

기본적인 CRS를 개발하기 위해 고려되어야 할 원칙을 토대로 본 연구의 Food-CRS-Korea는 대상 물질의 환경 배출량(전국 단위) 및 환경바탕값을 초기 입력 자료로 하여 대기, 수계 및 토양에서의 농도를 예측하였다. 대상 물질 중 국내 유통량만 존재하고 있는 23종의 물질은 유통량에 UNEP의 용도별 배출계수 적용하여 배출량을 산출하였으며, 그 외 물질은 국내 보고된 환경 배출량을 이용하여 Food-CRS-Korea에 적용하였다.

Food-CRS-Korea 시스템의 환경오염물질의 식품 전의 과정 중 대기 오염으로 인한 잎 식물로의 오염물질 전이 과정은 CalTOX 모델의 기본 수식을, 오염된 토양 및 지하수를 농경지 및 농업용수로 사용함으로 인한 뿌리 및 열매 식물로의 전이 과정은 RIVM 모델의 수식을 기본으로 하였다. 또한 오염된 목초 식물을 먹이로 하는 가축 사육시 육류 및 낙농품으로의 전이 및 수질 오염으로 인한 어패류 전이 수식은 CalTOX 모델의 기본 수식을 활용하였다. Food-CRS-Korea 모형에서의 식품 오염도는 오염된 환경매체에 의해 영향을 받는다는 가정 하에 이들 오염도(Ck)에 관련 환경 매체에서의 전이계수(Transfer Factor: TF)와 생체축적계수(Bioconcentration Factor: BCF)를 적용하여 구성하였다(Table 2).

$$C_i = TF_{(k \rightarrow i)} \times C_k \quad \text{(Eq. 1)}$$

C_k: concentration of the chemical in environmental medium k

C_i: concentration of the chemical in exposure medium i

$TF_{(k \rightarrow i)}$: transfer factor from chemical of environmental medium k to exposure medium i

k: environmental medium such as ambient air, surface water, and surface soil

i: exposure medium such as outdoor air, indoor air, drinking water, surface soil, plants and meats

Table 2에 제시된 수식을 이용하여 환경 배출량으로부터 예측된 환경 매체별 농도를 이용하여 물질별 BCF, Kow 값에 의한 농작물(잎 및 뿌리 식물), 사육 가축 및 부산물(낙농품 및 난류), 어류로의 오염물질 전이를 모사하였다. 또한 대상 물질의 배출량 정보로 인한 불확실성을 보완하기 위해 대상물질의 국내 환경 매체 중 오염도 자료를 이용하여 식품 중 농도를 예측하였다.

2) 예측된 식품 오염도에 의한 위해 점수 체계

Food-CRS-Korea 시스템은 위해 기반의 우선순위 체계 구성이 목표이므로, 예측된 식품 오염도를 바탕으로 오염된 식품 섭취시 인체 노출량 및 위해도를 추정하고, 추정된 위해도를 점수화하여 우선순위를 산출하였다.

Food-CRS-Korea 시스템의 위해 점수화를 위한 1단계 과정은 환경 배출량 및 오염도 자료를 이용하여 대상 식품군에서의 예측된 농도를 기반으로 국내 성인의 각 식품군별 일일섭취량에 의한 대상물질의 식품 섭취로 인한 일일인체노출량(Lifetime

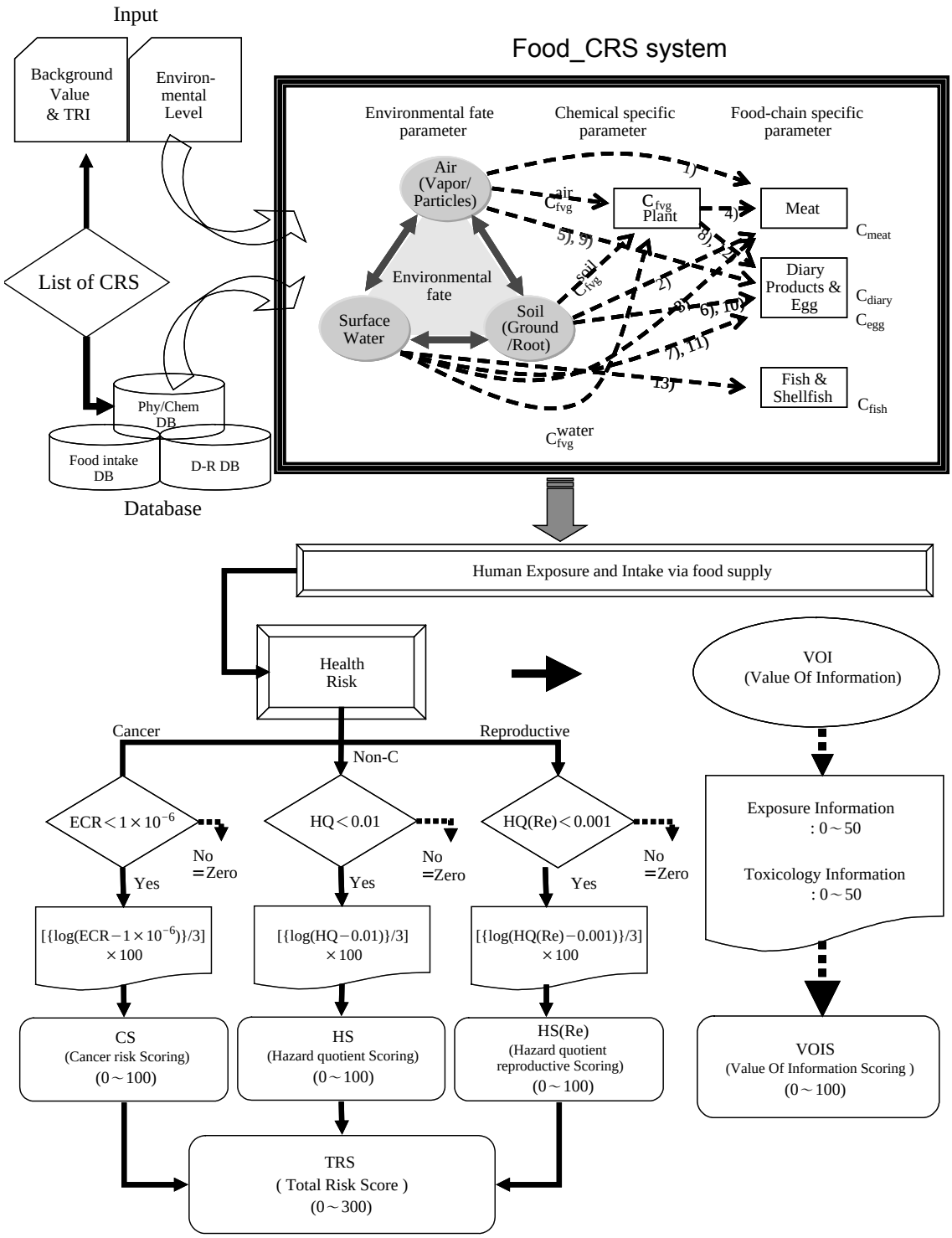

Fig. 2. Frame of environment-food transfer and risk scoring process in the Food-CRS-Korea.*1)～13): See the fomula of Table 2.

Table 2. Equations of food transfer process caused by environmental pollution in the Food-CRS-Korea

Equation	Reference
$C_{fvg}=\{(TF_{(av\rightarrow fvg)}\times C_{av})+(TF_{(ap\rightarrow fvg)}\times C_{ap})\}$ $+\{(1-f_g^w)\times(K_{ps}^{rain}+K_{ps})\times K_D\times f_{ir})\times C_w\}$ $+\{(K_{ps}^{rain}\times C_{s.s})+(K_{ps}\times C_{r.s})\}$	· C_{av}: concentration of the chemical in air vapor (mg/m^3) · C_{ap}: concentration of the chemical in air particle (mg/m^3) · $TF_{(av\rightarrow fvg)}$: transfer factor from chemical of air vapor to fruit, vegetable, or grain · $TF_{(ap\rightarrow fvg)}$: transfer factor from chemical of air particle to fruit, vegetable, or grain · f_{ir}: fraction of the chemical concentration in irrigation water retained in soil (unit less) · K_D: soil/soil-water partition coefficient (kg water/kg soil solids) · K_{ps}: plant-soil partition coefficient from root-zone soil to above ground plant parts due to uptake through roots (kg soil/kg plant fresh mass) · K_{ps}^{rain}: plant-soil partition coefficient for surface soil due to rainsplash (kg soil/kg plant fresh mass) · 1-f_g^w: the fraction of water irrigation needs provided by ground water (unit less) · $TF_{(w\rightarrow expp)}$: the ratio of chemical concentration of exposed produce to the chemical concentration in surface water · C_{av}: concentration of the chemical in air vapor (mg/m^3) · C_{ap}: concentration of the chemical in air particle (mg/m^3) · $TF_{(av\rightarrow fvg)}$: transfer factor from chemical of air vapor to fruit, vegetable, or grain · $TF_{(ap\rightarrow fvg)}$: transfer factor from chemical of air particle to fruit, vegetable, or grain · $C_{s.s}$: concentration of the chemical in surface soil (mg/kg) · K_{ps}^{rain}: plant-soil partition coefficient for surface soil due to rainsplash (kg soil/kg plant fresh mass) · $C_{r.s}$: concentration of the chemical in root-zone soil (mg/kg) · K_{ps}: the ratio of chemical concentration in exposed produce to chemical concentration in root-zone soil · $Bt_{(meat)}$: biotransfer factor in meat relative to cattle-diet contaminant intake (day/kg meat) · $Bk_{(milk)}$: biotransfer factor in milk relative to cattle-diet contaminant intake (day/kg milk) · $Be_{(egg)}$: biotransfer factor in egg relative to hen-diet contaminant intake (day/kg egg) · Z_w/Z_{water}: 1/H (H is the Henry's constant, Pa-m^3/mol) · C_k: concentration of the chemical in exposure medium k (mg/m^3, mg/L, mg/kg) · Inc: inhalation by cattle (m^3/day) · Ihh: inhalation by hen (m^3/day) · I_{sbc}: ingestion of soil by beef cattle (kg/day) · I_{sbh}: ingestion of soil by hens (kg/day) · I_{wbc}: ingestion of water by beef cattle (L/day) · I_{wdc}: ingestion of water by diary cattle (L/day) · I_{wbh}: ingestion of water by hens (L/day) · I_{vbc}: ingestion of pasture, beef cattle (kg fresh mass/day) · I_{vhc}: ingestion of pasture by hens (kg fresh mass/day) · I_{vdc}: ingestion of pasture, diary cattle (kg fresh mass/day) · BCF: bioconcentraion factor, fish/surface water
$C_{meat}=[1)+2)+3)+4)]\times Bt_{(meat)}$	
$C_{diary}=[5)+6)+7)+8)]\times Bk_{(milk)}$	
$C_{egg}=[9)+10)+11)+12)]\times Be_{(egg)}$	
$C_{fish}=13)$	
$1)=(C_{av}+C_{ap})\times Inc$	
$2)=C_{sg}\times I_{sbc}$	
$3)=C_w\times I_{wbc}\times(Z_w/Z_{water})$	
$4)=C_{fvg}\times I_{vbc}$	
$5)=(C_{av}+C_{ap})\times Inc$	
$6)=C_{sg}\times I_{sbc}$	
$7)=C_w\times I_{wdc}\times(Z_w/Z_{water})$	
$8)=C_{fvg}\times I_{vdc}$	
$9)=(C_{av}+C_{ap})\times Ihh$	
$10)=C_{sg}\times I_{sbh}$	
$11)=C_w\times I_{wbh}\times(Z_w/Z_{water})$	
$12)=C_{fvg}\times I_{vhc}$	
$13)=C_w\times BCF$	

Average Daily Dose: LADD)을 추정하는 것이다. 일일인체노출량을 위해 대상 식품군별 성인의 일일평균 섭취량은 '국민건강영향조사 보고서(보건복지부, 2005)'의 성인의 1인 1일 평균 식품 섭취량의 전국 평균값을 이용하여 산출하였다. 식물성 농작물의 식품 섭취량은 곡류 및 그 제품(321 g/day), 감자 및 전분류(20 g/day), 두류 및 그 제품(39 g/day), 채소류(327 g/day) 및 과실류(87 g/day)를 합산하여 795 g/day를 그 대푯값으로 선정하였다. 육류 및 그 제품(95 g/day), 난류(26 g/day), 유류 및 그 제품(90 g/day), 어패류(68 g/day)는 육류, 난류, 낙농품 및 어패류의 성인 1인 1일 섭취량의 대푯값으로 적용하였다. 또한 국내 성인의 평균 체중 및 평생 노출 기간 등은 식품의약품안전청의 인체 위해성 평가 지침에 제시하고 있는 국내 남녀 성인의 평균 체중을 이용하여 산출한 60 kg, 평균 노출 기간 및 기대 수명은 각각 70년을 적용하였다.

식품군별 일일평생평균노출량
(LADD_식품군) (mg/kg-day)=
[식품농도(μg/g)×일일식품섭취량(g/day)×
노출기간(70 yrs)×노출빈도(365 days/yr)] /
[성인 평균 체중(60 kg)×기대수명(25550 days)]
(Eq. 2)

일일평생평균노출량(LADD) (mg/kg-day)

$$= \sum_{i=1}^{n} (\text{LADD_i식품군}) \quad \text{(Eq. 3)}$$

Food-CRS-Korea 시스템의 위해 점수화를 위한 2단계 과정은 대상물질의 식품 섭취로 인한 발암 또는 비발암 위해도를 추정하는 것이다. 발암성 물질의 평생 초과발암위해도는 식품 오염 농도와 국내 성인의 식품 일일섭취량을 이용하여 산출한 일일평생평균노출량, LADD에 발암잠재력, q_1^* ($(mg/kg-day)^{-1}$)을 곱하여 산출하였다. 만성 독성 위험값 및 생식 독성 위험값은 일일평생평균노출량, LADD를 만성 독성 참고치, RfD_Ch (mg/kg-day) 또는 생식 독성 참고치, RfD_Rep. (mg/kg-day)로 나누어 산출하였다.

평생초과발암위해도(ECR)
=일일평생평균노출량, LADD (mg/kg-day)
×발암잠재력, q_1^* $(mg/kg-day)^{-1}$ (Eq. 4)

만성독성 위험값(HQ_Ch)

$$= \frac{\text{일일평생평균노출량, LADD (mg/kg-day)}}{\text{만성 독성 위험값, RfD_Ch (mg/kg-day)}} \quad \text{(Eq. 5)}$$

생식독성 위험값(HQ_Rep)

$$= \frac{\text{일일평생평균노출량, LADD (mg/kg-day)}}{\text{생식 독성 위험값, RfD_Rep. (mg/kg-day)}} \quad \text{(Eq. 6)}$$

Food-CRS-Korea 시스템의 위해 점수화를 위한 3단계 과정은 추정된 인체 위해도를 점수화하는 것이다. Food-CRS-Korea 시스템의 위해 점수화는 대상 물질의 발암 위해도와 만성 독성 및 생식독성 위험값을 모두 고려하여 위해 우선순위를 선정하기 위한 과정이다. 또한 Food-CRS-Korea 시스템에 의해 산출된 인체 위해도는 환경 배출량으로부터 수학적 모형에 의해 예측된 값으로서, 실제 식품 오염도를 측정하여 추정된 인체 위해도와의 혼란을 방지하게 되는 이점도 있다. 대상 물질의 발암 및 비발암독성 위해도는 모두 100점 만점 척도로 점수화하였다. 발암위해도의 경우에는 1×10^{-6} 이하의 발암위해도는 0점을 부여하고, 10^{-6} 수준은 1~35점, 10^{-5} 수준은 36~70점, 10^{-4} 수준은 70~99점이고, 10^{-3} 이상은 100점이 배점되도록 하였다. 또한 비발암독성위험값(만성 또는 생식)의 위해 점수는 0.001 미만의 위험값은 0점을 부여하고, 0.001~0.009 수준은 1~35점, 0.01~0.09 수준은 36~70점, 0.1~0.9 수준은 70~99점이고, 1.0 이상은 100점이 되도록 하였다. 이와 같이 점수화된 발암, 만성 독성 및 생식독성 점수는 모두 합산하여 총위해점수는 300점 만점이 되도록 하였다(Fig. 3).

인체초과발암위해점수

$$= \frac{\{\log(\text{초과발암위해도}) - \log(1\times10^{-6})\}\times100}{3} \quad \text{(Eq. 7)}$$

인체비발암독성(만성 또는 생식) 위해점수

$$= \frac{\{\log(\text{독성위험값}) - \log(0.001)\}\times100}{3} \quad \text{(Eq. 8)}$$

이와 같이 산출된 인체 발암, 만성 독성 및 생식독성 위해도를 위해 점수로 환산함으로써 발암 및

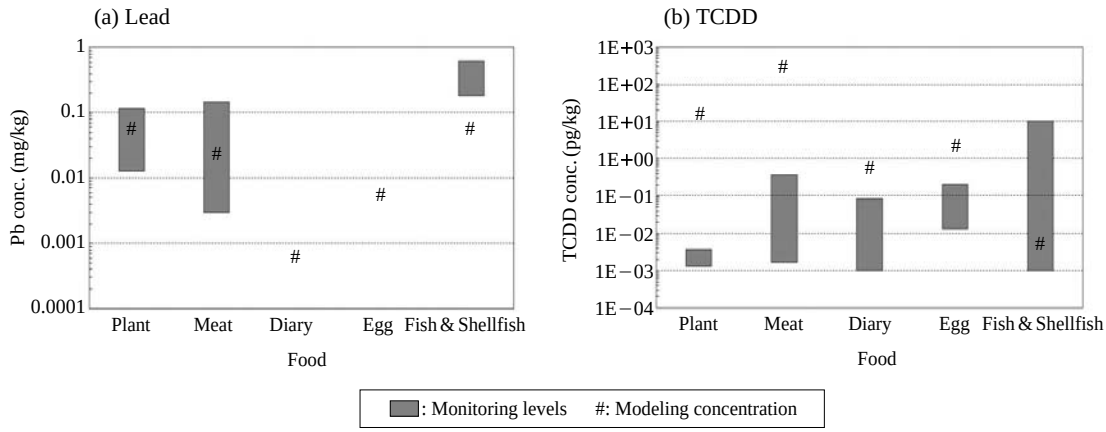

Fig. 3. Comparison of monitoring levels and modeling concentrations using the Food-CRS-Korea system in several foods.

독성 위해 기반의 우선순위를 도출할 수 있도록 하였으며, 이때 이용 자료의 불확실성에 의해 산출 결과의 신뢰도를 가름할 수 있도록 이용 자료의 신뢰도 점수를 0～100점 척도로 부여하였다. 배출 정보의 신뢰도는 환경부에서 4년(2003～2006)동안 매년 충실히 보고된 자료를 이용할 경우에는 50점, 2～3년간 정보 이용시는 40점, 단년 정보 이용시는 30점, 배출계수를 이용하여 추정한 자료는 20점의 신뢰도 점수를 부여하였다. 이와 유사하게 대상 물질의 독성 자료를 미국 EPA의 IRIS (Integrated Risk Information System) 및 ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), EU-ECB (European Chemicals Bureau)의 위해성 평가 보고서 (risk assessment report)에서 공식적으로 제공하고 있는 정보 중 섭취 노출 경로를 대상으로 한 역학 자료를 이용하여 산출된 정량적 독성 정보를 이용하였을 경우에는 신뢰도 점수를 50점, 동일 기관의 데이터베이스의 만성 동물 실험에 의한 정보 이용시 40점, 위 기관이외의 데이터베이스의 자료를 활용한 경우에는 30점, 그리고 섭취 노출 경로에 대한 자료 부재로 부득이하게 흡입 노출 자료를 환산하여 이용하였거나, QSAR (Quantitative Structure-Activity Relationship)에 의해 추정된 독성 정보를 이용하였을 경우에는 20점을 부여하였다. 이용 정보의 신뢰도 점수는 배출 정보 신뢰도와 독성 정보 신뢰도 점수를 합산하여 0～100점 점수로 제공함으로서 위해 우선순위 점수의 불확실성 정도를 추정할 수 있도록 하였다. 위해 점수가 상위에 랭크되어도 정보의 신뢰도 점수가 40점 미만일 경우에는 전문가의 검토가 필요한 물질로 제시하였다.

3) Food-CRS-Korea 데이터베이스 구축

대상물질의 물리적 특성에는 CAS 번호, 분자량, 증기압, 용해도, 헨리상수, 옥탄올-물 분배계수(Kow), 유기탄소 분배계수 (Koc), 옥탄올/공기 분배계수 (Koa), 하천수-퇴적물 분배계수(Kd_d), 피부 침투 계수(SP)등 15개의 변수에 대한 값들을 데이터베이스로 구축하였다. 각 변수들에 대한 값은 대부분 CalTOX 자료에서 참고할 수 있었다. 또한 환경 거동 예측을 위해 26개 변수의 지리환경정보 및 식품 전이 관련 16개 변수에 대해서도 데이터베이스를 구축하였다.

국내 배출량 정보는 환경부의 2003～2006년의 화학물질 배출량 조사 결과를 이용하였다 (환경부, 2003, 2004, 2005, 2006). 국내 화학물질의 점오염원 배출량은 4년 평균값을 이용하였고, 비점오염원은 2006년 자료만 존재하여 이를 적용하였다. 대상 물질 중 자일렌, 톨루엔, 메틸에틸케톤의 3종은 연간 10,000톤 이상의 높은 배출량으로 조사되었으며, 에틸아세톤, 스티렌, 폼알데히드, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 벤젠, 디클로로메탄, 에틸벤젠, 아세트알데히드, 1,3-부타디엔, DEHP (di-(2-ethylhexyl) phthalate)의 11종은 연간 1,000톤 이상이 배출되고 있었다. 이에 비해 비소, 베릴륨, 수은 등 총 37종 물질의 배출량은 연간 0.1톤 이하의 미미한 배출량으로 조사되었다. 대부분의 물질이 90% 이상이 대기로

배출되었으나, DEHP와 바륨은 수계, 카보퓨란, 카바닐, 2,4-디나이트로톨루엔은 토양으로 60% 이상이 배출되며, 비소 및 코발트는 대기와 수질에 50% 정도씩 배출되고 있었다.

대상 물질 중 벤젠, 카드뮴, DEHP 등 20종만이 전국 모니터링 수준의 국내 환경 오염도 자료가 보고되었다. 수질 오염도는 PCBs, 비소, 페놀 등 11종, 토양 오염도는 2,3,7,8-TCDD, 망간, 셀레늄 등 16종이었으며, 대기, 수질 및 토양의 모든 매체에 대한 오염도가 존재하는 물질은 2,3,7,8,-TCDD, 비소, 카드뮴, 크롬, 망간, PCBs의 6종이었다.

대상 물질의 독성 자료는 경구 발암잠재력, 섭취 및 흡입 독성참고치 등 22개 변수에 대한 데이터베이스를 구축하였다. 발암성 정보가 있는 물질로는 비소, 벤젠, 펜타클로로페놀, 아닐린 등 17종이며, 만성독성 정보는 아세톤, 구리, 티람 등 80종, 생식독성 정보는 2,3,7,8-TCDD, 납, DEHP 등 51종에 대해 수집하였다. 테트라클로로페놀, 테트라하이드로치오펜 및 2,3’4,4’,5-PCBs의 3종은 보고된 독성 정보가 불충분하여 QSAR 기법에 의해 추정된 만성독성값을 적용하였다.

이상의 데이터베이스를 바탕으로 Food-CRS-Korea 프로그램에서 사용된 테이블은 아래와 같이 5개이며, 화학물질의 CAS 번호를 기준코드로 하여 프로그램에서 사용되는 모든 정보의 흐름을 통제하였다.

- Parameter Table: 모형과 프로그램에 사용된 화학물질의 입력자료를 담고 있는 테이블
- Property Table: 화학물질의 일반정보와 각종 속성자료를 담고 있는 테이블
- Media_Conc. Table: 거동모형의 결과를 저장하는 테이블
- Model_Output Table: 위해도 평가 모형의 결과를 저장하는 테이블
- Risk_Score Table: 위해도 옵션 선택 사항에 따른 위해도 우선순위를 저장하는 테이블

4) Food-CRS-Korea의 타당성 검증

Food-CRS-Korea에 활용한 유해물질의 다매체 환경 거동 모형은 환경부 차세대 사업을 통해 개발된 모형이며, 환경 거동 모형에 대한 타당성 및 신뢰성 검증은 다수의 학술 논문 게재를 통해 입증된 바 있다(Hwang *et al*., 2002; Kim *et al*., 2002; Lee *et al*., 2004). PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), PCBs (Polycholorobiphenyl) 등 잔류성 유기오염물질은 환경 매체별 예측값과 실측값의 상대 농도비가 최대 10배 이하를 나타내며, 예측값의 분포가 실측값의 범위를 포함하고 있었다.

본 연구 다매체 환경 거동 모형과 연계하여 구성한 환경 매체 중 오염물질의 식품 전이 알고리즘의 타당성 평가를 위해 국내 생산 식품의 실측 오염도와 모형 예측값을 비교하였다. 대상 물질 중 국내 다양한 식품 중 오염도가 보고된 것은 납과 다이옥신 정도여서 이 두 물질을 대상으로 예측 모형의 타당성을 평가할 수 밖에 없었다. 납의 환경 배출량을 토대로 예측된 식품 중 농도는 곡류 및 채소류에서 0.056 mg/kg, 육류 0.024 mg/kg, 낙농품 0.00063 mg/kg, 어류 0.056 mg/kg로서, 실측값과 유사한 수준으로 평가되었다(Fig. 3(a)). 이에 비해 2,3,7,8-TCDD의 예측값은 실측 농도에 비해 다소 높은 수준으로 평가되었다(Fig. 3(b)). 본 모형에 적용한 2,3,7,8-TCDD 배출량은 2002년 산업 형태 및 에너지 사용량과 UNEP의 산업형태별 배출계수에 의해 국내에서는 처음으로 보고된 자료이며, 초기 배출량 추정 과정에 의해 다소 높게 예측된 배출량으로 인한 영향으로 분석되었다. 이와 같이 대부분의 예측 모형에서와 마찬가지로 식품 전이 예측 모형도 환경 배출량의 신뢰도에 의존적인 영향을 받고 있었다.

Food-CRS-Korea 시스템의 인체 위해도 산출 과정의 타당성 평가를 위해서 주요 물질의 인체 노출 특성이 기존에 보고된 형태와의 유사성이 있는지 비교하였다. 선행 보고서에 의하면 납, 카드뮴은 농작물 섭취가 주요 경로이며, 수은은 어류 섭취, 다이옥신 및 PAHs는 어패류 및 육류 섭취, 비스페놀-A와 같은 내분비계장애물질은 난류 섭취가 주요 인체 노출경로로 평가되고 있으며, 본 논문의 Food-CRS-Korea 시스템에 의해서도 이와 유사한 인체 노출 경로로 추정되었다(Fig. 4).

국내 식품 중 실측 오염도 자료와 각 식품군별 기여율을 통한 예측 농도의 타당성을 검증한 결과, 국내 배출량 자료의 불확실성이 낮은 물질의 경우에는 실측 자료와 10배 이내의 근접성 및 노출 경로의 타당성이 기존 문헌 자료와 일치하였고, 이로 인해 환경 매체에서의 식품 전이 알고리즘의 신뢰성은 비교적 우수한 것으로 평가되었다. 다만 비스페놀-A와 같이 배출량 산출 경험이 적은 내분비계 장

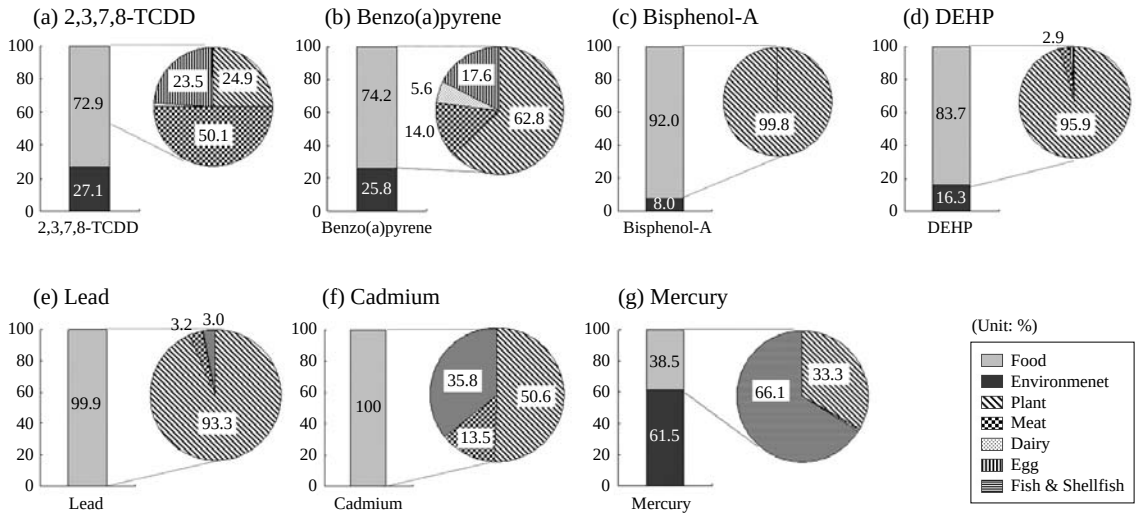

Fig. 4. Proportion of human exposure pathways for several pollutants using the Food-CRS-Korea system.

Table 3. Risk scores of major priority toxic chemicals selected by using the Food-CRS-Korea

Chemicals	Risk scores		Value of Informations
	Based on environmental background levels and emission data	Based on environmental levels	
Arsenic	300	234	100
Cadmium	179	200	100
Chromium	200	144	90
Diethylhexylphthalate	–	209	80
Lead	200	200	100
Nickel	200	–	90
Selenium	64	200	90
Acrylonitrile	54	–	90
α-HCH	–	100	60
Barium	87	–	90
Benzylbuthylphthalate	–	108	80
Benzo(a)pyrene	–	100	70
Copper	94	61	80
Ethylene oxide	58	–	70
Manganese	21	122	90
Mercury	146	–	60
Phenol	–	128	60
2,3,7,8,-TCDD	–	195	80
Aluminum	29	–	80
Antimony	49	–	80
Benzene	–	62	100
Bisphenol-A	13	–	80
Carbon tetrachloride	–	67	80
Ethylbenzene	–	79	90
Xylenes	–	50	90

Table 4. Proposed list of priority food toxic chemicals and selected factors associated with environmental pollutants based on the Food-CRS-Korea

Priority pollutants	Selected factors								
	Environments			Food chains			Toxicity		
	Emission	Concen-tration	Background level	Crops	Meat	Fish	Carcinogen	Chronic	Repro-ductive
Arsenic			○	○			◉		
Cadmium			○	○					◉
Chromium			◉	○		○		○	
Lead	○	○	○	◉				○	
Selenium		◉		○		○		○	
Nickel			◉	○				○	
Phhtalates									
Diethylhexylphthalate	○	○			○				◉
Benzylbuthylphthalate		◉		○		○	○		○
2,3,7,8,-TCDD		○			○	○			◉
Manganese	○	◉		○				○	
Mercury			○	○		○			◉
α-HCH		◉		○			○		
Benzo (a)pyrene		◉		○			○		

◉: Major factor, ○: Minor factors

애물질은 실측 오염도와의 차이는 있었으나, 인체 노출 경로에서의 유사성은 높게 관찰되었다.

3. Food-CRS-Korea에 의한 환경유래 식품오염물질 우선순위 제안

Food-CRS-Korea 시스템에 의해 위해 점수가 높은 상위 25개 물질 목록을 Table 3에 제시하였다. 비소, 카드뮴, 크롬, DEHP, 납, 니켈, 셀레늄의 7종은 환경바탕값 및 배출량에 의한 위해 점수 또는 환경오염도에 의한 위해 점수가 200점 이상이면서, 이용자료의 신뢰도 점수가 80점 이상으로서 예측 결과의 불확실성이 낮은 물질로 선정되었다. 2,3,7,8,-TCDD, 아크릴로니트릴, α-HCH (α-hexachlorocyclohexane), 바륨, BBzP (benzylbuthylphthalate), BaP (benzo (a)pyrene), 구리, 에틸렌오사이드 copper, EO (ethylene oxide), 망간, 수은, 페놀의 11종 물질은 예측된 위해 점수가 100점 이상이며 자료 신뢰도는 70점 이상으로서 평균 이상의 위해 가능성이 있는 물질이었다. 알루미늄, 안티몬, 벤젠, 비스페놀-A, 사염화탄소, 에틸벤젠, 자일렌의 7종은 위해 점수는 50～99점으로서 상위 물질에 비해 위해 가능성은 다소 낮았으나, 자료 신뢰도가 80점 이상으로 예측 결과의 불확실성이 매우 낮은 물질이었다. 대상 물질 중 PCBs와 톨루엔은 위해 점수는 100점 이상이었으나 자료 신뢰도가 20점으로서 예측 결과의 신뢰도가 낮아 상위 물질에서 제외하였다.

위해 점수 및 자료 신뢰도 점수가 높은 상위 물질 중 현재 환경 오염 및 배출 수준, 식품으로의 이동, 축적 가능성 및 독성 영향을 고려하여 중금속류 (비소, 카드뮴, 크롬, 납, 셀레늄, 니켈, 망간, 수은), 프탈레이트류 (DEHP 및 BBzP), 잔류성유기오염물질류 (2,3,7,8-TCDD, α-HCH, B(a)P)의 13종을 최종 우선 평가 대상 물질로 제안하였다 (Table 4). 최종적으로 제안한 13종은 예측 위해 점수 100점 및 자료 신뢰도 70점 이상의 신뢰할만한 위해 가능성이 높은 물질들이다. 최종 선정된 물질은 환경배출, 인체 노출 및 독성 점수가 고르게 높게 분포하고 있는 특징이 있었다. 위해 점수가 높게 산출되는 것에 기여율이 가장 큰 요인으로서 비소는 발암성, 카드뮴, DEHP, 2,3,7,8-TCDD, 수은은 생식 독성이었다. 크롬과 니켈은 높은 환경 (토양) 바탕값, 셀레늄, BBzP, 망간, α-HCH 및 B(a)P는 높은 환경 매체 농도 요인에 의해 선정된 것으로 분석되었다.

결 론

유해물질의 우선순위 선정 단계는 일반적으로 스크리닝 평가-전문가 평가-위해성 평가의 순차적 단계를 거쳐 최종적인 우선순위를 결정하게 된다 (US EPA, 1994b; 박화성 등, 2005; 최승필 등, 2005). 환경으로 배출된 유해물질이 식품으로 이동됨으로서 발생 가능한 인체 위해를 예방하고자 개발된 Food-CRS-Korea 시스템은 우선순위 결정과정 중 첫 번째 단계인 스크리닝 평가에 사용되는 것을 전제로 한다. 따라서 Food-CRS-Korea 시스템은 수 많은 대상 물질에 대해 동일한 중요도를 가지고 위해성 평가를 통한 우선순위를 선정할 때 발생하는 시간적·경제적 효율성을 극대화시키기 위해 위해성 평가 대상 물질의 수를 타당성있게 줄이는 기능을 수행하기 위한 도구이다.

Food-CRS-Korea 시스템에 의해 검토 대상 물질을 좁혀가는 과정에 있어서 위해 점수 산출을 위해 사용된 배출량, 독성 등의 입력자료에 의해 우선순위가 의존적 영향을 받는 것으로 나타났다. 이에 신뢰성있는 위해 우선순위를 도출하기 위해서는 입력자료의 불확실성을 줄이는 노력이 반드시 동반되어야 한다. 또한 입력 자료 및 산출 과정의 불확실성을 최소화하기 위해서는 우선순위선정기법을 통해 산출된 결과를 기계적으로 사용하지 말고 산출된 순위의 타당성에 대한 전문가 검토 과정이 반드시 함께 수행되어야 할 필요가 있었다.

그러나 평가 대상 물질의 규모를 고려한다면, Food-CRS-Korea 시스템을 이용하여 수십개 이상의 대상 물질 중 상대적 우선순위가 높은 상위 물질을 구분하는 과정은 이러한 불확실성에 의해 치명적 영향을 받지는 않는 것으로 평가되었다. 따라서 Food-CRS-Korea 시스템은 환경과 연계된 식품 오염으로 인한 인체 영향을 예방하기 위해 위해성 평가의 기본 개념에 의한 우선순위가 높은 물질을 선정하는 효과적인 방법이 될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 식품의약품안전평가원 용역연구개발과제의 연구개발비 지원 (08182유해물498)에 의해 수행 되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김예신, 박화성, 이동수, 신동천. 화학물질 우선순위 선정 기법에 대한 비교 분석, 한국환경독성학회 2003; 18(3): 183-191.

노경희, 양임석, 한 욱. 유류로 오염된 군사기지의 복원 우선순위 결정 모델 연구, 한국지하수토양환경학회 00년 춘계학술발표회 2000; 59-63.

박화성, 김예신, 이동수, 신용승, 최승필, 박성은, 김명현, 양지연, 신동천. 화학물질 우선순위 선정 기법 (CRS-Korea)의 개발과 적용, 한국환경독성학회지 2005; 20(2): 109-121.

보건복지부. 국민건강영향조사보고서, 보건복지부 2005.

서울대학교 환경대학원. 노출 모니터링 및 예측에 의한 지역단위 위해성평가-Vol 2. 위해성평가를 위한 오염물질의 다매체 거동 및 농도 평가, 환경부 2007

서울시립대학교. 위해우려물질 평가 기법 연구(III), 환경부 2005.

안윤주, 정승우, 김태승, 이우미, 남선화, 백용욱. 국내·외 Chemical Ranking and Scoring 체계 비교분석을 통한 우선순위 토양오염물질 선정을 위한 평가인자 도출, 한국지하수토양환경학회지 2008; 13(6): 62-71.

연세대학교 환경공해연구소. 위해우려물질 선정 및 평가 연구, 환경부 2002.

연세대학교 환경공해연구소. 위해우려물질 평가 기법 연구 (II), 환경부 2004.

최승필, 박화성, 이동수, 신용승, 김예신, 신동천. 개선된 화학물질 우선순위 선정 기법 (CRS-Korea II)과 그 활용을 통한 지역별 유독물 우선순위의 도출, 한국환경독성학회지 2005; 20(4): 311-325.

환경부. 화학물질 배출량 조사 보고서, 환경부 2003.

환경부. 화학물질 배출량 조사 보고서, 환경부 2004.

환경부. 화학물질 배출량 조사 보고서, 환경부 2005.

환경부. 화학물질 배출량 조사 보고서, 환경부 2006.

DVFA. Chemical contaminants; Food monitoring, Denmark Ministry of Food, Agriculture and Fisheries 1999.

FSANZ (Food Standards Australia New Zealand). Final assessment report, New Zealand 2006.

FSANZ (Food Standards Australia New Zealand). Report on a survey of chemical residues in domestic and imported aquacultured fish, New Zealand 2005.

Gary AD, Mary BS and Sheila J. Comparative evaluation of chemical ranking and scoring methodologies, US Washington DC 1994.

Hwang SI, Kwang PL, Lee DS and Powers SE. Models for

estimating soil particle-size distributions, Soil Sci Soc Am J 2002; 66: 1143-1150.

Japan-MOE (Ministry of Environment). Environmental monitoring report on Persistent Organic Pollutants (POPs) in Japan, Japan MOE 2006.

Kim SK, Lee DS and Oh R. Characteristics of trophic transfer of polychlorinated biphenyls in marine organisms in Incheon north harbor, Korea Environ Toxicol Chem 2002; 21(4): 834-841.

Lee YN, Lee DS, Kim SK, Kim YW and Kim DW. Use of the relative concentration to evaluate a multimedia model for PAHs in the absence of emission estimates, Environmental Science & Technology 2004; 38(4): 1079-1088.

RIVM. Technical evaluation of the intervention values for soil/sediment and groundwater; Human and ecotoxicological risk assessment and derivation of risk limits for soil, aquatic sediment and groundwater, Netherlands-RIVM 2001.

Swanson MB, Davis GA, Kincaid LE, Schultz TW, Bartmess JE, John SL and George EL. A screening method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts, Environmental Toxicology and Chemistry 1997; 16(2): 372-383.

US EPA, A Multimedia strategy for priority persistent, bioaccumulative, and toxic (PBT) pollutants, US Washington DC-EPA 1998.

US EPA, CalTOX; A multimedia total exposure model for hazardous waste site - Technical Report, US California-EPA 2002.

US EPA. Chemical hazard evaluation for management strategies; A method for ranking and scoring chemicals by potential human and environmental impacts, US Washington DC-EPA 1994b.

US EPA. Comparative evaluation of chemical ranking and scoring methodologies, US Washington DC-EPA 1994a.