



통합노출을 고려한 유해물질 관리의 우선순위 선정

정지윤 · 정유경 · 황명실 · 정기경 · 윤혜정*

식품의약품안전청 식품의약품안전평가원 식품위해평가부 위해분석연구과

Prioritizing Management Ranking for Hazardous Chemicals Reflecting Aggregate Exposure

Ji-yoon Jeong, Yoo-kyung Jung, Myung-sil Hwang, Ki-kyung Jung, and Hae-jung Yoon*

Risk Analysis & Research Division, Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Osong Health Technology Administration Complex, 187 OSongsaengmyeong2(i)-ro, Osong-eup, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do 363-700, Korea

(Received February 22, 2012/Revised April 9, 2012/Accepted September 18, 2012)

ABSTRACT - In this study, we configured a system which ranks hazardous chemicals to determine their management priorities based on experts' opinions and the existing CRS (chemical ranking and scoring). Aggregate exposure of food, health functional food, oriental/herbal medicine and cosmetics have been taken into account to determine management priority. In this study, 25 hazardous chemicals were selected, such as cadmium, lead, mercury, and arsenic, etc. These 25 materials were ranked according to their 1) risk (exposure or hazard) indexes, 2) exposure source-based weight, and 3) public interests, which were also formed based on the existing priority ranking system. Cadmium was scored the highest (178.5) and bisphenol A the lowest (56.8). Ten materials -- cadmium, lead, mercury, arsenic, tar, acrylamide, benzopyrene, aluminium, benzene, and PAHs -- scored higher than 100. Eight materials -- aflatoxin, manganese, phthalate, chromium, nitrate/nitrite, ethylcarbamate, formaldehyde, and copper -- recorded scores in the range from 70 to 100. Also evaluated as potential risks were 7 materials; sulfur dioxide, ochratoxin, dioxins, PCBs, fumonisin, methyl mercury, and bisphenol A, and these materials were scored above 50. Then we compared risk index and correlation coefficient of total scores to confirm the validity of the total scores; we analyzed correlation coefficient of parameter and indicator. We discovered that the total score and weight, which has incorporated public interests, were high and statistically significant. In conclusion, the result of this study contributes to strengthening risk assessment and risk management of hazardous chemicals.

Key words: hazardous chemical, chemical ranking and scoring

서 론

다양한 화학물질의 사용이 인간생활과 밀접해짐에 따라, 각국 규제기관은 유해화학물질에 의한 직·간접 피해를 최소화하기 위한 관리체계를 운용하고 있다. 기존의 유해화학물질 관리는 주로 물질의 독성 또는 위험성(toxicity or hazard)에 근거하여 이루어졌으나, 비의도적으로 식품·의약품에 혼입되는 유해화학물질의 인체 노출이 점차 중

요시됨에 따라 물질의 독성과 노출(exposure)정도를 함께 고려한 위해성평가 결과를 근거로 한 식품·의약품 안전 관리정책이 수행되고 있다. 식품위생법은 식품 중 유해물질을 관리하기 위해 위해성평가를 반드시 수행토록 규정하였다¹⁾. 특히, 최근 식의약품 중 위해관리에서는 다매체, 다양한 경로 등 실제 생활환경을 반영한 포괄적 접근을 통한 위해성평가를 요구하고 있다. 따라서 관리의 편의성, 실행가능성 등의 이유로 인하여 개별 매체 모니터링결과를 이용하여 추정하였던 노출량은 점차 식품, 건강기능식품, 한약제제 및 화장품 등 일상생활에서의 노출량 총합을 확 인함으로써 위해성평가결과의 신뢰성을 향상시키는 방향으로 발전되고 있다²⁾.

모든 화학물질에 대해 위해성평가를 실시하는 것은 큰 비용과 시간을 필요로 하기 때문에 현실적으로 불가능하

*Correspondence to: Hae-jung Yoon, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation Osong Health Technology Administration Complex, 187 Osongsaengmyeong2(i)-ro, Osong-eup, Cheongwon-gun, Chungcheongbuk-do, 363-700, Korea
Tel: 82-43-719-4501, Fax: 82-43-719-4500
E-mail: hjyoon@korea.kr

다. 따라서 선진국에서는 여러 개의 대상물질 중 위해성이 높은 물질을 우선적으로 관리하기 위하여 각 나라에 맞는 우선순위 선정시스템(chemical ranking and scoring system; CRS)을 개발하여 사용하고 있다³⁻⁷⁾. 국내에서도 환경부가 유독물로 지정된 화학물질을 대상으로 CRS-Korea를 개발하였으며, 특정 환경매체 (토양매체, 지하수매체)관리를 위한 우선순위 선정에 활용하고 있다⁸⁾. 식약청은 환경유래 인체유해물질의 식품관리 위해 우선순위 예측을 위한 Food-CRS-Korea 시스템을 개발하여 국내 환경 유해물질 중 식품 전이 가능 유해물질 우선 관리 목록을 제안하였고, 식품 중 화학물질 우선순위 관리시스템에 활용하고 있다⁹⁾.

그런데 식의약품 중 위해관리에 있어서 현재 화학물질에 적용되고 있는 CRS의 개념만으로는 부족한 점이 있다. 즉, 초기 위해관리활동은 독성을 비롯한 유해물질의 일반적인 특성 뿐만 아니라 사회경제적 영향, 소비자 관심 등을 포함하는 리스크프로파일을 토대로 수행되므로¹⁰⁾ CRS에서 산출된 단순한 수치 비교만으로 관리의 우선순위를 결정하는 데에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 식약청에서 관리하고 있는 관련물질을 대상으로 기존에 개발된 Food-CRS-Korea를 검토하고, 관심도 인자를 새로이 추가하여 통합노출을 고려한 위해평가 및 위해관리가 필요한 유해물질의 우선순위를 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

대상물질 선정

우선순위 선정은 식품의약품안전청 (평가원 포함)이 최근 5년간(2005년~2009년) 수행한 관리방안 및 모니터링관련 연구사업 중 사용허가 대상인 농약, 동물용의약품 등을 제외한 125개의 연구사업 보고서에서 언급된 총 145종의 후보물질로부터 노출원이 2개 이상인 25종의 유해물질 (Acrylamide, arsenic, aflatoxin, aluminium, benzene, benzo(a)-pyrene, bisphenol A, cadmium, chromium, copper, dioxins, ethyl carbamate, formaldehyde, fumonisin, lead, mercury, methyl mercury, manganese & its compounds, nitrite/nitrate, ochratoxin, PAHs, PCBs, phthalates, sulfur dioxide, tar)을 조사하였다.

화학물질의 우선순위 선정을 위한 점수체계

본 연구에서는 기존에 개발된 Food-CRS-Korea⁹⁾ 및 계층 분석적 의사결정방법¹¹⁾을 검토하여 우선순위 선정을 위한 점수화 과정을 구성하였다. 대상물질별로 1) 위해의 크기 (노출 또는 위해수준), 2) 노출원을 고려한 가중치, 3) 관심도 (사회·경제적 영향)를 추정하고 점수화하였으며 아래의 식에 따라 최종 점수를 산출하였다.

최종점수(Total score) = (위해크기 × 노출원을 고려한 가중치) + 관심도

위해 크기 (노출 또는 위해수준)

25개 대상물질에 대해 국내·외 보고된 위해평가 결과를 확보하여 각 매체별 노출 수준 또는 위해지수(Hazard Index, HI)를 검토하였다. 비유전독성 발암물질인 경우에는 위해지수를 3개군(HI < 0.1; HI = 0.1~1.0; HI > 1)으로 구분하고 각 군별로 점수화 (총 100점 기준)하였다. HI가 < 0.1의 경우에는 25점, 0.1~1.0의 경우에는 50점, > 1.0의 경우에는 100점으로 구분하였다. 또한 유전독성 발암물질인 경우에는 MOE (Margin of exposure)를 활용하여 MOE < 1,000,000는 25점, 10,000~1,000,000는 50점, > 10,000는 100점으로 구분하였다.

노출원을 고려한 가중치

통합노출의 우선순위 선정을 위해서는 식품이외 다른 노출원 (건강기능식품, 의약품, 생약/한약제제 및 화장품)이 고려되어야 하므로 25개 물질에 대해 추가 노출원을 확인하였다. 각 노출원에 대한 가중치는 노출원이 4개 이상인 경우, 노출원이 3개인 경우, 혹은 노출원이 2개 이하인 경우로 분류하고 각 군당 가중치를 각각 2.0점, 1.5점, 1.0점으로 배정하였다.

가중치는 위해평가를 수행하는 전문가를 대상으로 설문하여 우선순위 평가의 타당성을 확보하였으며, 전문가 회의를 통하여 평가 항목과 우선순위 선정 시스템 등을 검토하였다.

관심도 (사회경제적 영향)

사회경제적 영향을 평가하기 위하여 세부 측정지표로 식약청 연구사업, 국내사건 사고, 국내관리유무 및 일반인의 위험 인식수준을 지표로 선정하고 각 항목당 25점으로 환산하여 점수화하였다.

식약청의 최근 5년간 수행한 125개 연구사업에서 해당 물질이 식품, 건강기능식품, 생약 및 한약제제 및 화장품 분야에서 연구된 경험에 대해 매체별 5점씩을 배정하여 총 25점으로 하였다.

국내 사건사고와 국내 관리 유무는 Table 1과 같이 국내 웹리서치(web-research) 건수에 따라 최근 3년간(2008년 1월~2010년 9월) 다루어진 관심 대상물질을 평가하였다. 국내 관리 유무는 1) 식품공전 및 첨가물 공전, 2) 건강기능식품공전, 3) 대한약전 (생약/한약제제), 4) 화장품 원료지정에 관한 규정으로 분류하였으며 물질별 기준 설정 여부에 따라 점수를 부여하였다.

또, 일반인의 위험인식도는 국내에서 개발된 연구결과를 활용하여¹²⁾ 통제가능성 (물질을 관리, 회피할 수 있는 정도), 노출의 자발성 (물질에 자발적으로 노출될 가능성), 친

Table 1. Score by the degree of public interest

	Score value	
Domestic issues	10 ≤	5
	11~20	10
	21~30	15
	31~40	20
	41 ≥	25
Regulation areas ¹⁾	area : 1	6.25
	area : 2	12.50
	area : 3	18.75
	area : 4	25.00

¹⁾Korean Food Code and Korea Food Additives Code, Health Functional Food Code, Korean Pharmacopoeia, Cosmetic consulting.

근성 (물질을 알고 있는 지식 정도), 참담함 (물질로 인한 사고가 발생할 경우 피해의 크기 및 정도), 역사적 사례 (과거에 물질로 인한 사고발생 빈도)별 설문 평가를 평균한 것을 인용하여 그 정도를 총 25점으로 환산하여 표기하였다.

그리고 우선순위 선정을 위한 평가 배점시에 요구되는 자료들 중 결측치(missing data)가 존재하게 되는데 이러한 경우에는 Park 등¹⁴⁾과 같이 최소값을 0점으로 하지 않고 최하 점수를 배점하여 의음성(false negative)영향을 배제하였다.

지표와의 상관성 분석

위해크기와 최종 점수(Total score), 그리고 가중치를 적용한 위해크기와 최종점수에 대한 상관성 분석은 통계패키지 SAS (version 9.1)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

우선순위 선정 시스템 구성

연구 활동이나 관리방안마련에 대한 우선순위를 산출할 때 사용할 수 있는 모델은 적합한 지표선정과 합리적인 점수 배점이 가장 중요하며, 적절한 모델 선택이 필요하다. CRS는 일반적으로 위험과 노출의 함수로 설명되는 화학물질의 위해성을 지표로 하여 우선순위를 도출하도록 개발되었다¹⁵⁾. 그러나, CRS만으로 도출된 우선순위를 위해관리 시 위해평가방안(risk assessment policy) 제시나 관리대안 마련의 기초자료로 활용하는 것은 다소 제한적이다⁹⁾. 이를 보완하기 위해 유해물질의 위해관리 활동이 독성 뿐만 아니라, 노출량, 사회경제적 영향 및 소비자 관심 등을 포함하는 리스크 프로파일을 토대로 이루어짐을 감안할 때 다양한 지표들의 상대적 비교를 통해 우선순위를 선정하는 비교 위해분석(comparative risk analysis; CRA) 개념 도입이 추가적으로 필요하다¹⁶⁾. 본 연구에서는 기존 CRS에서 활용한 위해크기 뿐만 아니라 사회·경제적 영향을 포함하여 우선순위 선정 시스템을 구성하였다.

Table 2. Score for risk index

	Risk Index	Score value	
Acrylamide	0.7	50	
Arsenic	0.04~0.12	50	
Aflatoxin	0.015	25	
Aluminium	0.47	50	
Benzene	0.11~0.31	50	
Bisphenol A	0.0018~0.0004	25	
Cadmium	0.17~0.49	50	
Chromium	0.001~0.004	25	
Copper	0.0002~0.0016	25	
Dioxins	0.02~0.06	25	
Formaldehyde	0.0058	25	
HI*	Fumonisin	0~0.017	25
Lead	0.06~0.24	50	
Mercury	0.067~0.13	50	
Methyl mercury	0.09	25	
Manganese& its compounds	0.2	50	
Nitrite/Nitrate	0.12	50	
Ochratoxin	0.00284	25	
PCBs	0.02~0.06	25	
Phthalates	1.12 × 10 ⁻⁸	25	
Sulfur dioxide	0.05	25	
Tar	0.0004~0.16	50	
MOE*	Benzo(a)pyrene	2.48 × 10 ⁵ ~8.91 × 10 ⁸	50
	Ethyl carbamate	2.0 × 10 ⁴	50
	PAHs	2.5 × 10 ⁴	50

*Abbreviation; Hazard Index (HI) and Margin of Exposure (MOE).

위해 크기 (노출수준 또는 위해지수) 평가

대상물질 25개에 대하여 이미 보고된 위해평가 결과를 근거로 하여 위해크기를 점수화하였다. 카드뮴, 납, 비소 및 수은 등 13개 물질은 50점, 아플라톡신, 포름알데히드 등 12개 물질은 25점으로 평가되었다.

노출원을 고려한 가중치

여러 가지 평가 항목에 대하여 하나의 평균값을 산출할 때 단순한 평균만으로는 합리적인 수치를 뽑을 수가 없어 각 평가 항목에 알맞은 중요도를 결정하고 측정치 또는 얻어진 통계치에 부가적으로 곱하여 가중치를 구하였고 측정의 오차를 최소화할 수 있다. 계층 분석적 의사결정 방법보고서¹¹⁾는 전문가들에게 각 지표들 간의 중요도를 설문해 본 결과 노출원에 대한 중요도가 상대적으로 높게 나타남을 보고하였다. 본 연구에서는 다양한 매체로부터의 노출이 고려된 위해의 크기로 보정하기 위해 노출 가능한 매체의 수에 따라 각 물질에 대한 가중치를 배정하여 그 결과를 Table 3에 정리하였다. 중금속처럼 식품뿐만 아니라 화장품등 다른 매체로부터 노출 될 수 있는 물질 들은 통합 위해의 크기로 평가될 수 있도록 가중치 2를 다이옥신 등 환경유래오염물질의 경우는 주로 식품을 통

Table 3. Weighted index by exposure sources

Exposure sources ¹⁾			Exposure sources ¹⁾		
		Weighted index			Weighted index
Acrylamide	F, H, C	1.5	Fumonisin	F, M	1.0
Arsenic	F, H, M, C	2.0	Lead	F, H, M, C	2.0
Aflatoxin	F, H, M	1.5	Mercury	F, H, M, C	2.0
Aluminium	F, H, M	1.5	Methyl mercury	F, H	1.0
Benzene	F, H, C	1.5	Manganese& its compounds	F, H	1.0
Benzo(a)pyrene	F, H, M	1.5	Nitrite/Nitrate	F, H	1.0
Bisphenol A	F, H	1.0	Ochratoxin	F, H	1.0
Cadmium	F, H, M, C	2.0	PAHs	F, H, M	1.5
Chromium	F, H, C	1.5	PCBs	F, H	1.0
Copper	F, H, M	1.5	Phthalates	F, H, M, C	2.0
Dioxins	F, H	1.0	Sulfur dioxide	F, M	1.0
Ethyl carbamate	F, H	1.0	Tar	F, H, C	1.5
Formaldehyde	F, H, C	1.5			

¹⁾F; food, H; health functional food, M; oriental/herbal medicine, C; cosmetic.

Table 4. Score in terms of public interest

	R&D of KFDA	Domestic issues	Regulation areas	Hazard perception level	Score value
Acrylamide	5	5	25	16.0	51.00
Aflatoxin	10	5	18.75	17.5	51.25
Aluminium	5	5	12.5	13.5	36.00
Arsenic	10	10	25	18.0	63.00
Benzene	5	5	6.25	18.0	34.25
Benzo(a)pyrene	10	10	12.5	17.0	49.50
Bisphenol A	5	5	6.25	15.5	31.75
Cadmium	10	25	25	18.5	78.50
Chromium	5	5	18.75	17.0	45.75
Copper	5	5	18.75	12.5	41.25
Dioxins	5	5	12.5	18.5	41.00
Ethyl carbamate	5	5	6.25	15.0	31.25
Formaldehyde	5	5	12.5	16.5	39.00
Fumonisin	5	5	12.5	15.5	38.00
Lead	10	25	25	17.0	77.00
Manganese& its compounds	5	5	12.5	15.5	38.00
Mercury	10	15	25	17.5	67.50
Methyl mercury	5	5	6.25	17.5	33.75
Nitrite/Nitrate	5	5	6.25	16.0	32.25
Ochratoxin	10	5	12.5	15.5	43.00
PAHs	5	5	6.25	17.0	33.25
PCBs	5	5	12.5	18.0	40.50
Phthalates	5	5	12.5	15.0	37.50
Sulfur dioxide	5	10	12.5	16.0	43.50
Tar	20	10	18.75	15.0	63.75

한 노출을 고려하여 가중치1을 부여하였다.

관심도 (사회·경제적 영향) 평가

사회·경제적 영향 측면으로 식약청 연구사업, 국내 사건사고 및 국내관리 수행을 파악하고 일반인의 유해물질 위험인식 수준을 평가하여 점수화한 결과는 Table 4와 같다. 식약청 연구사업부분에서 타르의 경우 20점으로 가장

높은 점수를 얻었으며, 아크릴아미드 등 17물질의 경우 5점을 획득하였다. 최근 3년간 국내 사건사고를 점수화한 결과 카드뮴(47건)과 납(45건)이 가장 높은 25점을 획득하였으며, 에틸카바메이트(1건)와 메틸수은(1건)은 보도 건수가 가장 적었다. 한편, 국내 유해물질 관리여부 및 필요성을 판단하기 위하여 국내기준설정 유무를 검토한 결과, 아플라톡신, 구리, 타르 및 크롬은 세 개의 매체에서 기준이

설정이 되어 있는 것으로 조사되었다. 벤조피렌, 알루미늄 등은 식품공전 및 식품첨가물공전, 건강기능식품공전 등 국내 기준이 설정되어 관리되고 있었으며, 그 외 아질산염, 메틸수은, 비스페놀A는 식품에서 관리되고 있다. 한편, 에틸카바메이트와 PAHs는 국내 관리기준은 설정되어있지 않음에도 불구하고 식약청의 관심도가 높은 물질로서 저감화 정책이 추진되고 있는 점을 감안하여 결측치의 최하점수 6.25점을 획득하였다.

또, 일반인이 어떠한 위해의 사회적 파장과 그 위해를 일반인이 어떻게 인식하는 지와의 관련연구로 위해소통기법 개발연구에서 조사된¹²⁾ 통제가능성 (물질을 관리, 회피할 수 있는 정도), 노출의 자발성 (물질에 자발적으로 노출될 가능성), 친근성 (물질을 알고 있는 지식 정도), 참담함 (물질로 인한 사고가 발생할 경우 피해의 크기 및 정도), 역사적 사례 (과거에 물질로 인한 사고발생 빈도)의 설문평가를 검토하면 대체적으로 본 연구에서 대상물질로 선정된 25종의 유해물질 모두가 12.5~18.5의 수준으로 위험인식을 느끼는 것으로 파악되었다. Solvic¹³⁾은 통제가능성, 노출의 자발성, 친근성, 참담함 및 역사적 사례 등이 위험인식에 영향을 미친다고 제시하여 이를 토대로 위해의 특징들은 전문가가 평가할 수 있으며 위해의 사회적 파장을 간접적으로 한 위해의 사회적 파장을 평가할 수 있는 척도로 활용할 수 있다고 하였다¹²⁾.

이처럼 사회경제적 측면에서 납, 카드뮴은 관심도 점수가 70점 이상으로 높았으며, 비소, 수은, 타르, 아플라톡신 및 아크릴아마이드는 50점 이상이었으며, 아질산염, 에틸카바메이트는 관심도 점수가 30점대로 낮게 획득되었다.

통합노출을 고려한 유해물질 관리의 우선순위 도출

우선순위를 도출한 결과는 Table 5에 제시하였다. 카드뮴은 위해크기 50점, 관심도 78.5점으로 총 178.5점으로 위해크기와 관심도 모두 가장 높은 점수를 획득하였으며, 비스페놀 A는 위해크기 25점, 관심도 31.75점으로 최종점수가 56.8점으로 가장 낮았다. 에틸카바메이트의 경우 위해크기는 50점으로 높았으나 관심도가 31.25점으로 낮았고, 아플라톡신은 위해크기가 25점으로 낮았으나 관심도는 51.3점으로 높았다. 기존 Food-CRS-Korea는 환경오염원으로부터 식품으로의 유해물질 이동 과정을 수식화한 예측모델을 사용하여 식품 오염도를 예측하고 식품 섭취시의 위해도를 추정하여 이를 점수화함으로써 우선순위가 제안 되고 있다⁹⁾. 그러나 이러한 우선순위에는 아크릴아미드, 아플라톡신 등 환경 유래 및 배출량 등의 정보가 없거나, 타르색소처럼 식품, 의약품 및 화장품 등에 광범위하게 사용되는 물질들이 포함되어 있지 않음이 지적되어 왔다. 이에 따라 Food-CRS-Korea system⁹⁾의 물질과 본 연구의 통합노출을 고려한 유해물질을 비교한 결과, 14가지 (aluminium, arsenic, benzene, benzo(a)pyrene, benzylbutyl-

Table 5. The result of ranking and scoring system for determining management priority of hazardous chemicals

	Total Score
Cadmium	178.5
Lead	177.0
Mercury	167.5
Arsenic	163.0
Tar	138.8
Acrylamide	126.0
Benzo(a)pyrene	124.5
Aluminium	111.0
Benzene	109.3
PAHs	108.3
Aflatoxin	88.8
Manganese & its compounds	88.0
Phthalates	87.5
Chromium	83.3
Nitrite/Nitrate	82.3
Ethyl carbamate	81.3
Formaldehyde	76.5
Copper	78.8
Sulfur dioxide	68.5
Ochratoxin	68.0
Dioxins	66.0
PCBs	65.5
Fumonisin	63.0
Methyl mercury	58.8
Bisphenol A	56.8

phthalate, bisphenol A, cadmium, chromium, copper, diethylhexylphthalate, lead, manganese, mercury, 2,3,7,8,-TCDD)의 물질이 우선순위에 포함되었다. 본 연구에서 아크릴아마이드의 경우에는 위해크기와 노출 이외의 관심도 평가 항목을 추가함으로써 우선순위대상물질에 포함되고, 그 우선순위가 상위권에 포함되었다. 이는 Choi 등¹⁷⁾이 우선순위선정의 목적 및 지표 등에 따라 화학물질 순위가 변동될 수 있다는 보고와 유사한 결과로 보여진다. 따라서 향후 우선순위 선정의 목적과 그 목적에 부합되는 지표 및 모델 선정 등이 필요할 것이라 사료된다.

또한 선진국에서는 화학물질이 가지는 물리적 특성과 건강 유해성을 근거로 하여 위험성 혹은 위해성 평가를 하며 이를 토대로 화학물질에 대한 우선순위를 평가하여 화학물질 관리를 위한 유용한 평가 자료로 활용하고 있다¹⁸⁾. 사회·경제적 영향, 우선순위 결정 등 가능한 많은 정보를 DB화하는 것은 향후 신속한 위해평가를 수행하고 관리에 활용할 수 있도록 하기 위함이다. 따라서 부족한 데이터를 보완할 수 있는 연구가 지속되어야 현재 개발된 우선순위 선정 시스템의 활용도를 높일 수 있다고 볼 수 있다¹¹⁾.

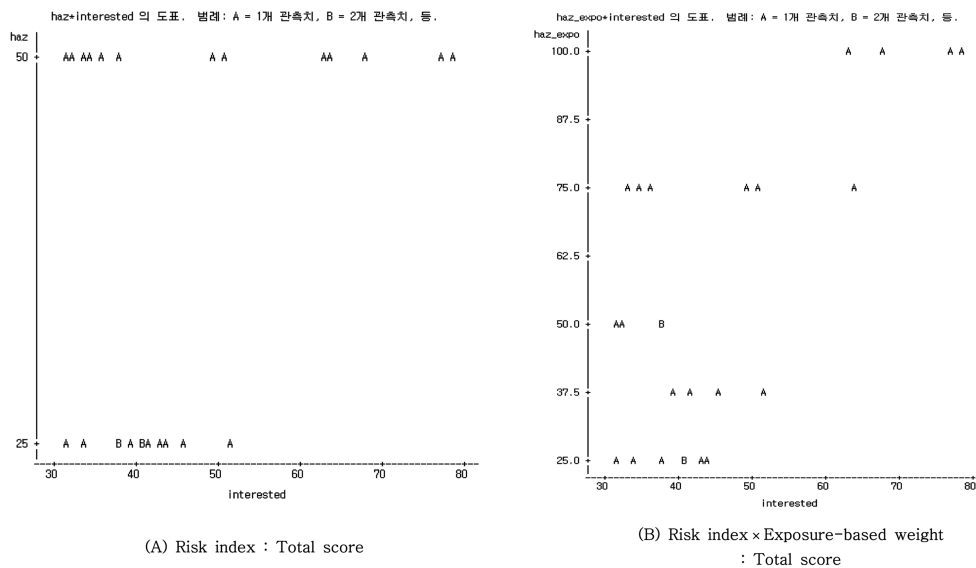


Fig. 1. Scatter plot between total score and (A) risk index and (B) risk index × exposure-based weight in chemical ranking and scoring system.

지표와 우선순위의 상관성 분석

CRS들은 지표간 비중을 각 평가의 목적이나 대상 물질에 따라 다르게 평가하여 순위를 도출하고 있다. CRS-Korea, EURAM (european union risk ranking method)은 노출과 독성 지표간 비중을 1:1로, SCRAM¹⁹⁾과 RCRA²⁰⁾는 1:1.5, 1:2로 독성보다는 노출에 더 큰 비중을, CHEMS-1 (chemical hazard evaluation for management strategies)은 노출보다는 독성에 더 큰 비중을 두어 평가하였다. 본 연구는 인체 중심의 통합노출을 위한 우선순위를 도출하기 위하여 독성인 위해의 크기보다는 노출에 비중을 두어 변수 간의 관련성과 지표간의 상관성을 분석하였다.

변수 간의 산점도 분석(Fig. 1)과 Pearson 상관계수를 이용하여 상관성 분석결과, 산점도는 최종점수가 높고 위해 크기가 높을수록 변수 간의 선형성이 있음을 보여주었다. 관심도와 위해크기의 상관성은 상관계수가 36.0%이었고 위해크기에 가중치를 고려한 경우는 68.5%이었다. 또한 최종점수와 위해크기의 상관성은 73.8%, 가중치를 고려한 경우는 96.4%로 가중치를 고려한 경우가 상관성이 높아지는 결과를 보였다. 그리고 관심도의 유의확률(p-value)은 위해크기에 가중치를 고려하지 않았을 때 0.209로 상관관계가 없는 결과를 보였지만 최종점수의 유의확률은 모두 0.05 이하의 값을 나타내어 통계적으로 매우 유의한 것으로 사료된다²¹⁾. 따라서 위해크기에 가중치를 고려하였을 때 두 변수 즉 관심도와 최종점수의 연관성이 높다고 볼 수 있다.

요 약

통합노출을 고려한 식품, 건강기능식품, 생약/한약제제, 화장품에서의 유해물질 관리의 우선순위를 선정하기 위해

기존 CRS에서 활용한 위해크기 뿐만 아니라 사회적 인식도를 조사한 후 전문가 평가를 통해 합의된 결과를 점수화하는 우선순위 선정 시스템을 구성하였다. 본 연구에서는 카드뮴, 납, 수은 및 비소 등 25종의 유해물질을 선별하고 선정된 25개 물질에 대해 기존의 우선순위 선정 시스템을 토대로 대상물질별 1) 위해의 크기 (노출 또는 위해수준), 2) 노출원을 고려한 가중치, 3) 관심도의 3가지 면에 대해 점수를 산출하였다. 그 결과 25개 물질 중 최종점수는 카드뮴이 178.5점으로 가장 높았으며, 비스페놀 A가 56.8점으로 가장 낮았다. 최종점수가 100점 이상인 물질은 카드뮴, 납, 수은, 비소, 타르, 아크릴아마이드, 벤조피렌, 알루미늄, 벤젠 및 PAHs의 10종이었으며, 아플라톡신, 망간, 프탈레이트, 크롬, 아질산염, 에틸카바메이트, 폼알데하이드 및 구리의 8종 물질은 70점 이상이었다. 그 외 이산화황, 오크라톡신 등 7종의 물질이 50점 이상으로 평가되었다. 평가된 최종점수의 타당성 평가를 위해 변수 간의 관련성과 지표간의 상관성분석을 분석한 결과, 노출원에 가중치를 고려한 위해크기가 가중치를 고려하지 않은 위해크기에 비해 최종점수와 관심도 모두 상관성이 높게 나타났으며, 통계적으로 매우 유의한 것으로 나타났다. 이처럼 통합노출을 고려한 유해물질 관리의 우선순위 연구는 위해평가 및 위해관리 측면에서 활용 가능 할 것으로 판단되어 진다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 식품의약품안전평가원의 연구비지원 (10161유해분678)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 식품위생법. 법률 제11048호 (2011).
2. Report Prepared for the WHO/UNEP/ILO International Programme on Chemical Safety. Framework for the integration of health and ecological risk assessment. WHO/IPCS/IRA/01/12. (2001).
3. Swanson, M.B., Davis, G.A., Kincaid, L.E., Schultz, T.W., Bartmess, J.E., John, S.L., George, E.L.: A screening method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts, *Environ. Toxicol. & Chem.* **16(2)**, 372-383 (1997).
4. US EPA.: Chemical hazard evaluation for management strategies; A method for ranking and scoring chemicals by potential human and environmental impacts, US WashingtonDC-EPA (1994).
5. US EPA.: Comparative evaluation of chemical ranking and scoring methodologies, US Washington DC-EPA (1994).
6. EC(Environment Canada):. The ARET substance selection process and guidelines (1994).
7. EU(European Union):. General classification and labelling requirements for dangerous substances and preparations. *Official J. European communities.* **L**, 225-263 (2001).
8. An, Y.J., Jeong, S.W., Kim, T.S., Lee, W.M., Nam, S.H. and Baek, Y.W.: Assessment factors for the selection of priority soil contaminants based on the comparative analysis of chemical ranking and scoring systems. *Korean Soc. Soil Groundwater Environ.* **13(6)**, 62-71 (2008).
9. Yang, J.Y., Jang, J.Y., Kim, S.H., Kim, Y.K., Lee, H.M., Shin, D.C. and Lim, Y.W.: 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.* **25(1)**, 41-55 (2010).
10. Risk management and food safety-FAO Food and nutrition. *WHO.* (1997).
11. 식품의약품안전청 연구보고서: 위해관리업무 수행을 위한 우선순위 결정 MODEL 개발 및 위해물질 홍보시스템 구축. 06032기타사730 (2006).
12. 식품의약품안전청 연구보고서: 실험연구결과의 위해소통 기법 개발연구. 11162유해분758 (2011).
13. Solvic, P.: Perception of Risk. *Science* **236(4799)**, 280-285 (1987).
14. Park, H.S., Kim, Y.S., Lee, D.S., Shin, Y.S., Choi, S.P., Park, S.E., Kim, M.H., Yang, J.Y., Shin, D.C.: Development of Korean Chemical Ranking and Scoring System(CRS-Korea) and its application to prioritizing national toxic chemicals. *J. Environ. Toxicol.* **20(2)**, 109-121 (2005).
15. Mary, B.S., Gary, A.D. Lori, E.K., Terry, W.S., John, E.B., Sheila, L.J., Emma, L.G.: Ascreening method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts. *Environ. Toxicol. and Chem.* **16(2)**, 372-383 (1997).
16. Kim, Y.S., Lim, Y.W., Nam, C.M., Jang, J.Y., Lee, D.S., Shin, D.C.: Comparative risk analysis for priority ranking of environmental problems. *J. Environ. Toxicol.* **17(4)**, 285-298 (2002).
17. Choi, S.P., Park, H.S., Lee, D.S., Shin, Y.S., Kim, Y.S., Shin, D.C.: Development of CRS-Korea II and its application to setting the priority of toxic chemicals for local provinces. *J. Environ. Toxicol.*, **20(4)**, 311-325(2005).
18. ATSDR.: <http://www.atsdr.cdc.gov/cercla/07list.html>, CERCLA Priority List of Hazardous Substances (2009).
19. SCRAM: Snyder, E.M., Snyder, S.A., Giesy, J.P., Blonde, S.A., Hurlburt, G.K., Summer, C.L., Mitchell, R.R., Bush, D.M.: SCRAM A scoring and ranking system for persistent, bioaccumulative, and toxic substances for the North American great lake, ESPR. *Environ. Sci. & Pollution Res.*, **7(1)**, 116-121 (2000).
20. RCRA : US EPA.: Chemical screening report for the RCRA PBT list docket., (1998).
21. 이훈영.: SPSS를 이용한 데이터 분석 (2006).