

## 한국인 상용 식품 중 수은 함량 데이터베이스 구축

김성아<sup>1</sup> · 신상아<sup>1</sup> · 이정원<sup>1</sup> · 정효지<sup>1,2†</sup>

서울대학교 보건환경연구소,<sup>1</sup> 서울대학교 보건대학원 보건영양학교실<sup>2</sup>

## Development of a mercury database for food commonly consumed by Koreans

Kim, Seong-Ah<sup>1</sup> · Shin, Sangah<sup>1</sup> · Lee, Jung Won<sup>1</sup> · Joung, Hyojee<sup>1,2†</sup>

<sup>1</sup>Institute of Health and Environment, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>2</sup>Department of Public Health Nutrition Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this study was to develop a mercury database for food commonly consumed by Koreans. **Methods:** Target foods for a mercury database were selected from dietary survey data of the 2007–2009 Korean National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES). Data for mercury contents of foods were collected through literature review. Among 702 food items reported by 24 hr dietary recall method, the contents of mercury for 300 food items were selected with systematic evaluation from the literature, which provided analytical values, and those of 56 food items were imputed by using a conversion factor. **Results:** The mercury database developed in this study covered 50.7% of all kinds of consumed foods and 95.1% of total amount of food intake reported by 2007–2009 KNHANES. In the database, the geometric mean of mercury contents in food items was the highest in the fishes and shellfishes group (41.13 µg/kg, n = 101) followed by mushrooms (18.93 µg/kg, n = 12) and seaweeds (5.92 µg/kg, n = 14), and the lowest in the meats group (0.15 µg/kg, n = 17). **Conclusion:** The developed mercury database can be used to estimate the dietary mercury exposure of Korean people, and the method for development of a mercury database would be helpful to researchers in development of a new database for other food borne hazardous substances.

**KEY WORDS:** dietary, mercury, intake, database, exposure

## 서 론

수은은 오염된 환경으로부터 식수 또는 식품을 통해 인간에게 노출되는 중금속이다. 인간이 수은에 중독되면 신경계와 신장의 기능에 이상을 초래할 뿐만 아니라, 호흡기계, 심혈관계, 위장관계, 면역계, 생식기계 등에 위해를 줄 수 있는 것으로 보고되고 있다.<sup>1</sup> 특히, 태아의 경우 성인에 비해 수은 중독에 대한 민감도가 5~10배 더 커서,<sup>2</sup> 자궁 내에서 수은에 노출될 경우, 모체에서는 그 독성이 나타나지 않는 수준에서도, 영아는 출생이후 신경발달 지연 등의 부작용이 나타날 수 있다.<sup>3,4</sup>

일반인이 수은에 노출되는 경로는 호흡을 통해 대기에 있는 수은에 노출되거나, 수은에 오염된 식수나 식품을 섭취할 경우, 그리고 치과나 의료 치료를 통한 노출 등이 있다.

그 중에서도 직업적으로 노출되는 경우를 제외하면, 수은에 노출되는 가장 주된 경로는 식품이다.<sup>5</sup> 따라서 수은으로 인한 건강문제를 예방하고 관리하기 위해서는 식품을 통한 수은의 노출수준과 노출경로를 평가하는 것이 필수적이다.

현재까지 국·내외에서 수행된 식품을 통한 수은의 노출 수준 평가 방법은 식품 내 유해물질 함량을 직접 분석하거나, 식품섭취량을 조사하여 식품별 수은 함량 데이터베이스와 연계하여 수은 섭취량을 추정하는 방법을 사용해 왔다.<sup>6-8</sup> 직접분석법은 섭취한 식품의 수은 함량을 직접 분석하는 것으로, 수은 노출량을 정확히 측정할 수 있으나, 시간과 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 따라서 국가차원의 대규모 조사에서는 총 식이조사나 식사조사를 통해 식품 섭취량을 조사한 후 수은의 노출 수준을 추정하는 방법을

Received: January 17, 2014 / Revised: March 24, 2014 / Accepted: September 29, 2014

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

tel: +82-2-880-2781, e-mail: hjjoung@snu.ac.kr

© 2014 The Korean Nutrition Society

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

많이 사용한다.<sup>6-8</sup>

2000년 이후부터 우리나라에서도 해마다 국가 차원에서 총 식이조사 (Total Diet Study, TDS)를 수행하고 있다. 총 식이조사는 대표식품을 대상으로 섭취 직전 단계 (Table-ready)의 유해물질 함량을 직접 분석하여, 섭취량과 연계하여 유해물질 섭취량을 추정하는 노출량 평가 방식이다.<sup>6</sup> 그러나 총 식이조사는 국민건강영양조사에 등장한 식품 중 일부 대표식품 (약 110개)만을 선정하여 분석하기 때문에, 분석되지 않은 나머지 식품 (약 400개)에 의한 노출량을 추정할 수 없어, 실제보다 노출량이 낮게 평가될 수 있다는 단점이 있다.

식사조사를 통해 식품으로 인해 노출되는 수은의 양을 추정하는 방법으로, 식품섭취빈도조사법과 24시간 회상법, 식사기록법 등을 이용할 수 있다. 식품섭취빈도조사법은 대표적인 일부 식품의 장기간의 대략적인 섭취빈도를 조사하는 방법으로, 조사된 식품의 섭취 빈도와 식품별 수은 함량자료를 연계하여, 대략적인 수은 섭취량을 추정할 수 있다. 비교적 비용이 저렴하고 쉽게 실시할 수 있다는 장점이 있으나, 조사목록에 제시되지 않은 식품에 대해서는 조사할 수 없기 때문에 수은 섭취량 추정의 정확도가 낮다는 단점이 있다. 반면, 24시간 회상법이나 식사기록법은 단기간 동안 개인이 섭취한 모든 식품의 종류와 양, 조리방법 등을 정확하게 조사하는 방법으로, 식품별 수은 함량자료와 연계하여 분석할 경우, 비교적 정확한 개인의 수은 섭취량을 추정할 수 있다. 그러나 평소 노출량을 추정하기 위해서는 여러 날에 대한 조사를 해야 하므로, 조사비용과 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

따라서, 식품으로 인한 수은의 노출수준을 평가할 때에는 평가대상을 집단으로 할 것인지, 혹은 개인으로 할 것인지, 그리고 노출수준을 얼마나 정확하게 측정할 것인지에 따라 조사방법을 선택해야 한다. 식품으로 인한 수은의 노출수준을 개인별로 정확하게 평가하고자 한다면, 24시간 회상법이나 식사기록법과 같은 개방형 식사조사를 통해 대상 집단의 식품섭취량을 조사하고, 이를 식품별 수은 함량 데이터베이스와 연계하여 수은 섭취량을 추정하는 방법을 이용하는 것이 권장된다. 그러나, 아직까지 국내에서는 상용 식품 중 수은 함량 데이터베이스가 공식적으로 발표된 바가 없기 때문에 식사조사 결과를 이용하여 식품으로 인한 수은의 노출수준을 추정하기에는 한계가 있다. 일부 식품이나 대표 식품의 수은 함량자료가 발표되고 있으나, 상용 식품을 포괄하는 완성도가 높은 데이터베이스는 매우 부족한 실정이다. 그러므로 식품으로 인한 수은의 노출수준을 정확하게 평가하기 위해서는 상용 식품 중 수은 함량 데이터베이스 구축작업이 반드시 선

행되어야 한다.

이에 본 연구는 한국인 상용 식품 중 수은 함량 자료를 수집하고 데이터베이스를 구축하여, 우리 국민의 수은 섭취량을 추정하기 위한 토대를 마련하고자 수행되었다.

## 연구방법

### 대상 식품 선정

우리나라 상용 식품의 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위해, 국민건강영양조사 4기 (2007~2009년)<sup>9-11</sup>의 24시간 회상법으로 조사한 식품섭취량 자료 중에서, 2차 식품코드를 기준으로 우리 국민 중 한 사람이 1번이라도 섭취한 702개의 식품을 데이터베이스 구축 대상 식품으로 선정하였다. 국민건강영양조사의 2차 식품코드란 식품코드는 상이하나 상용 식품명이 동일하고 수분 함량이 유사하여 섭취량을 산출할 때 합산이 가능한 식품을 묶어 1개 식품으로 분류한 것이다. 국민건강영양조사에서는 식품의 원재료 (Raw material)가 동일할 때, 조리·가공 등의 식품 상태에 차이가 없고, 수분 함량 차이가  $\pm 15\%$  범위 이내인 경우에 동일한 2차 식품코드를 부여한다.<sup>12</sup>

### 식품 중 수은 함량 값 수집

데이터베이스 구축대상인 702개의 식품에 대해 수은 함량을 조사하기 위해 문헌고찰을 실시하였다. 우리 국민의 상용 식품에 대한 수은함량을 조사해야 하므로, 국내에서 발표된 총 식이조사 (Total Diet Study, TDS) 보고서, 모니터링 보고서, 연구논문, 그리고 기타 자료를 중점적으로 검토하였다.

총 식이조사 보고서와 식품 중 수은 모니터링 보고서는 주관 연구기관인 식품의약품안전처의 연구관리시스템 홈페이지를 통하여 수집하였고, 연구논문은 한국학술정보 (Korean studies Information Service System, KISS) 홈페이지와 구글 학술 (Google Scholar) 홈페이지를 통하여 ‘중금속’, ‘수은’ 등의 키워드로 검색하였다. 문헌발표 시기는 2000년 1월 1일부터 2013년 3월 14일까지로 제한하였으며, 수집한 후, 검색 결과에서 ‘광산’ 등의 주변에서 수집한 시료를 분석한 경우와 인용하기에 적절하지 않다고 판단된 문헌을 제외하고 총 68건의 문헌을 검토하였다. 또한 수집된 문헌 중 2차 식품코드 부여가 어려운 식품이나 국민건강영양조사 결과 대상자들이 섭취하지 않은 식품은 제외하였다.

문헌자료로부터 식품 중 수은 함량값을 선택하기 위해, 미국 농무부 (United States Department of Agriculture, USDA)에서 이용한 데이터 질적 평가 시스템을 응용하여<sup>13</sup>

문헌자료의 질을 평가하였다. 데이터 질적 평가시스템은 시료수집계획, 분석정도관리, 시료의 개수 및 자료의 출처로 구성하였다. 시료수집계획의 경우 시료 수집에 관련된 내용이 구체적으로 기술되어 있는 정도에 따라 0점에서 2점까지 부여하였다. 분석정도관리는 기기에 대한 검증, 시험방법에 대한 분석자의 능력을 포함하며, 정도에 따라 0점에서 2점을 부여하였다. 시료의 개수는 시료 분석 값을 Mean  $\pm$  SD (min~max, median)으로 제시가능한 수준의 개수이면 1, 평균값 (또는 단일값)만을 나타낸 경우 0점을 부여하도록 하였다. 수집된 모든 자료에 대해 질 평가를 실시한 후, 동일한 식품코드에 여러 가지 값이 있는 경우에 질 평가 점수가 높은 것을 선택하였다. 데이터 질적 평가 점수는 0~5점 사이의 값을 가지며, 최소 2점 이상을 부여받은 데이터를 데이터베이스 구축에 사용하도록 하였고, 4점 이상의 데이터를 질적으로 우수한 수준, 3~4점 사이의 데이터를 질적으로 양호한 수준으로 보았다. 동일 점수일 때에는 자료의 출처에 따라 총 식이조사 (Total Diet Study, TDS), 모니터링, 연구논문, 기타 순으로 선택하였으며, 동일한 출처일 경우 분석년도가 최근인 것을 우선적으로 선택하였다.

### 대체값 적용

문헌고찰 결과 식재료가 동일하며, 수분함량에 대한 정보가 있는 식품의 경우에는 대체값을 계산하여 적용하였다. 동일한 원료이지만 수분 함량이 달라 2차 식품코드가 다른 경우에는 식품 중 수분 함량을 고려하여 수은 함량을 계산하였다. 즉, 조리과정에서 다른 재료가 포함된 경우를 제외하고 동일한 재료이지만 수분 함량에만 차이가 있는 경우에는 식품 간 수분 함량의 차이를 반영하여 설정된 환산계수로 대체값을 구하였다. 예를 들어, '취나물 (산채), 생것'에 대한 수은 함량 값이 있는데, 마른 것과 삶은 것에 대한 함량 값이 부재할 경우에, '취나물 (산채), 마른 것'과 '취나물 (산채), 삶은 것'에 대해 환산계수를 이용하여 대체값을 구했다.

### 데이터베이스 구축 및 완성도 (Coverage) 평가

식품 중 수은 함량 데이터베이스에는 수은 함량 자료의 출처, 문헌의 질 평가 점수, 구입처, 원산지, 가공형태, 조리법, 전처리, 분석방법, 검출한계, 불검출 (Non detected, ND) 처리방법, 검출률 (%), 자료 수, 표준편차, 중앙값, 최솟값, 최댓값 등의 정보를 모두 표시하였다. 데이터베이스에서 식품명은 한글명으로 국민건강영양조사의 표현을 그대로 사용하였고, 개별 식품의 수은 함량은 1 kg 당 mg으로 표시하였다. 식품군은 국민건강영양조사에서 분류하는 18개의 식품군으로 분류하였다.

구축된 데이터베이스의 완성도를 평가하기 위하여 국민건강영양조사 4기 (2007~2009년)<sup>9-11</sup>의 24시간 회상법 자료를 이용하여, 수은 함량이 구축된 식품의 가짓수와 대상자가 섭취한 식품섭취량을 전체 식품의 가짓수 및 섭취량과 비교하였다.

또한 우리나라 국민이 주로 섭취하는 식품 중에서 본 데이터베이스에서 함량값을 제시할 수 없었던 식품을 파악하기 위해 2007~2009년 국민건강영양조사의 식품섭취량 자료를 통해 대상자가 일 평균 0.1회 이상 섭취하거나, 일 평균 1 g 이상 섭취하는 식품을 다빈도·다섭취식품으로 정의하고 이들의 목록을 살펴보았다.

## 결 과

본 연구의 데이터베이스 구축 과정은 Fig. 1과 같다. 2007~2009년 국민건강영양조사에 등장한 총 702개의 식품에 대하여 수은 함량값을 수집하기 위해 문헌검색을 한 결과, 총 1864건의 문헌이 검색되었고, 그 중 제목과 초록 검토를 통해 문헌을 제외하고 기준에 부합하는 68건의 문헌을 고찰하였다. 미국 농무성의 데이터의 질적 평가체계를 적용하여 데이터를 평가한 후, 최종적으로 36개의 문헌이 데이터베이스 구축에 이용되었다.

구축된 데이터베이스의 형태는 식품군별로 예를 들어 제시하였다 (Table 1). 본 연구에서 구축한 한국인 상용 식품 중 수은 함량 데이터베이스는 국내 TDS 보고서로부터 170개 식품에 대한 수은 함량 자료를 인용하였고,<sup>6,14-17</sup> 모니터링 보고서로부터 28개 식품,<sup>18-23</sup> 논문으로부터 101개 식품,<sup>24-47</sup> 기타 자료로부터 1개 식품에 대한 수은 함량 자료를 인용하였다<sup>48</sup> (Table 2). 식재료의 수분함량을 고려하여 56개 식품에 대해서는 대체값을 사용하였고, 나머지 346개 식품에 대해서는 수은 함량에 대한 데이터가 없었고, 수분 함량을 이용한 대체값도 계산할 수 없어서 결측값으로 처리하였다.

본 연구에서 구축한 데이터베이스의 질적 신뢰도를 확인하기 위해 식품군별로 실측값 및 대체값의 분포, 자료의 출처, 수은 함량 분석 시 사용된 시료의 수, 문헌 평가에 따른 점수 등의 분포를 Table 3에 제시하였다. 식품별 분석 시료의 수는 두류에서 평균 45.4개를 분석하여 가장 많았고, 난류 (6.5개)와 기타 식품류 (9.3개)를 제외한 모든 식품군에서 한 식품당 평균 10개 이상의 시료를 분석한 것으로 나타났다. 육류, 난류, 우유 및 유제품, 유지류, 조리가공식품류, 기타 식품류의 경우 실측값의 비율이 100%였다. 자료의 질적 평가 체계에 따른 평가 결과, 전체적으로는 5점 만점에 4.2점으로 매우 높았으며, 버섯류와 육류, 우유 및 유제품,

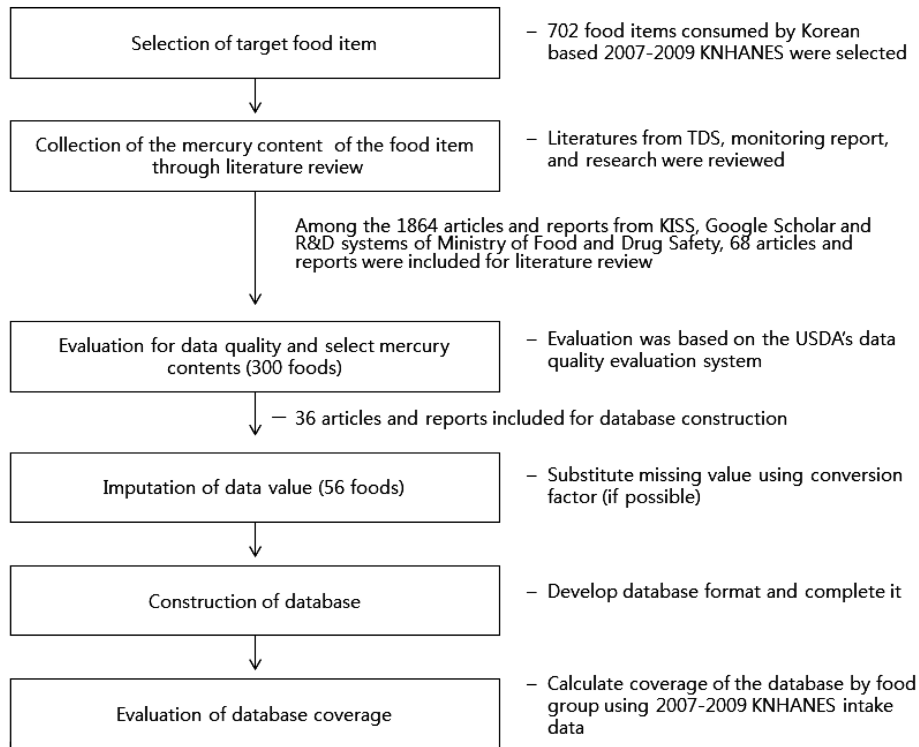


Fig. 1. Overall flow of developing mercury database.

유지류, 종실류, 조미료류 등이 4.5점 이상으로 평가 점수가 매우 높았던 반면, 기타식품류와 난류, 조리가공식품류, 두류 등은 평가 점수가 3점대로 상대적으로 낮았지만, 전체적으로 양호하였다 (Table 3).

본 연구에서 구축한 데이터베이스의 완성도를 평가하기 위해, 2007~2009년도 국민건강영양조사 식품섭취조사에서 우리 국민이 섭취하는 것으로 나타난 모든 식품 중에서 수은 함량이 존재하는 식품의 수와 섭취량을 총 식품의 수 및 식품 섭취량과 비교하였다.

우리 국민이 섭취한 총 702개의 식품 중에서 수은 함량이 있는 식품이 356개로 전체 식품의 50.7%인 것으로 확인되었다. 그리고 수은 함량이 있는 식품의 섭취량은 전체 식품 섭취량의 95.1%를 차지하였다. 따라서, 본 연구에서 구축한 수은함량 데이터베이스는 식품수로 평가할 경우에는 완성도가 낮은 편이지만, 섭취량 측면에서는 완성도가 매우 높아서, 우리나라 국민이 섭취하고 있는 식품들은 대부분 포함하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 수은 함량이 있는 식품의 비율을 식품군별로 확인한 결과, 버섯류, 두류, 어패류의 완성도가 각각 85.7%, 73.9%, 73.2%로 높았고, 종실류, 조리가공식품류, 유지류, 과일류의 경우 30% 미만을 나타냈다. 식품 섭취량으로 평가하였을 때 대부분의 식품군에서 90% 이상의 섭취량을 반영하였고, 종실류

(31.8%), 기타 (62.7%), 해조류 (77.1%), 당류 (79.1%), 조리가공식품류 (81.3%)는 상대적으로 낮은 완성도를 보였다.

식품군별 수은 함량의 분포를 확인하기 위해 수은 함량 값의 평균, 표준편차, 최소값과 최대값을 Table 4에 제시하였다. 식품군별 평균 수은 함량 값은 어패류에서 가장 높았고 (41.13 µg/kg), 버섯류 (18.93 µg/kg)와 해조류 (5.92 µg/kg)가 뒤를 이었다. 식품군 내 식품 간 수은 함량 값의 변이 또한 상대적으로 커서, 어패류, 버섯류, 해조류가 각 23.11 µg/kg, 16.60 µg/kg, 5.04 µg/kg로 확인되었다.

대상자가 일 평균 0.1회 이상 섭취하거나, 일 평균 1g 이상 섭취하는 식품을 다빈도·다섭취식품으로 정의하고 이들의 목록을 살펴본 결과, 이들 식품 중 데이터베이스가 구축되지 않은 식품으로는 곡류군에서 우동, 칼국수, 찹쌀떡, 채소군에서 고구마줄기, 열무물김치, 파김치, 오이소박이, 과일군에서 귤주스와 지두, 해조류에서 조미김, 유지류에서 들기름 등이 있었다 (표 미제시).

## 고 찰

본 연구는 문헌검색을 통해 우리나라 상용 식품의 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위해 수행하였고, 우리 국

Table 1. Example of data description for mercury database of commonly consumed foods among Koreans

Food group	Food code	Food name	Mercury (mg/kg)	Analytical method	LOD <sup>1)</sup> (mg/kg)	N.D. <sup>2)</sup> treatment	Detection rate (%)	No. of sample	SD	Median	Min	Max	Reference	Data evaluation <sup>3)</sup>	Data source <sup>4)</sup>
Grains	01019	Wheat flour	0.0012	Mercury analyzer	0.0001	N/A	N/A	12	Samples were analyzed as a whole after homogenization treatment.				Choi. <sup>14</sup>	2-2-1	1
Potatoes & starch	02022	Konjac	0.0004	Mercury analyzer	N/A	N/A	100	10	N/A	N/A	0.0002	0.0013	Kim et al. <sup>24</sup>	2-0-1	3
Sugars	03037	Yeast (crude maltose)	0.0008	Mercury analyzer	0.0001	N/A	N/A	20	0.0004	N/A	ND	0.0023	Chung et al. <sup>25</sup>	1-0-1	3
Legumes	04021	Soybean curd, fried	0.0003	Mercury analyzer	N/A	N/A	100	37	N/A	N/A	0.0001	0.0010	Kim et al. <sup>24</sup>	2-0-1	3
Seeds & nuts	05011	Petilla seeds	0.0009	Mercury analyzer	0.0006	N/A	N/A	19	Samples were analyzed as a whole after homogenization treatment.				Kim. <sup>6</sup>	2-2-0	1
Vegetables	06030	Red pepper	0.001	Mercury analyzer	N/A	N/A	100	10	N/A	N/A	0.0003	0.001	Kim et al. <sup>26</sup>	1-0-1	3
Mushrooms	07003	Oyster mushroom	0.002	Mercury analyzer	0.000005	N/A	100	74	0.002	0.001	0.0004	0.010	Kim. <sup>18</sup>	2-2-1	2
Fruits	08143	Kiwi fruit	0.0008	Mercury analyzer	0.0006	N/A	N/A	19	Samples were analyzed as a whole after homogenization treatment.				Kim. <sup>6</sup>	2-2-0	1
Meats	09063	Chicken, edible viscera	0.0005	Mercury analyzer	0.0000058	N/A	N/A	40	0.001	N/A	ND	0.006	Lee. <sup>19</sup>	2-2-1	2
Eggs	10005	Hen's egg	0.0007	Mercury analyzer	0.0001	N/A	N/A	12	Samples were analyzed as a whole after homogenization treatment.				Choi. <sup>14</sup>	2-2-1	1
Fishes & shellfishes	11582	Common octopus	0.0428	Mercury analyzer	0.00002	N/A	100	48	0.0253	0.0378	0.0113	0.1418	Kim. <sup>20</sup>	1.5-2-1	2
Seaweeds	12035	Sea mustard, dried	0.018	Mercury analyzer	0.000017	N/A	100	12	0.007	N/A	0.003	0.025	Joo et al. <sup>27</sup>	2-2-1	2
Milk & dairy products	13010	Milk	0.00015	Mercury analyzer	0.0001	N/A	N/A	12	Samples were analyzed as a whole after homogenization treatment.				Choi. <sup>14</sup>	2-2-1	1
Oils	14028	Soybean oil	0.000196	Mercury analyzer	0.0001	N/A	N/A	12	Samples were analyzed as a whole after homogenization treatment.				Choi. <sup>14</sup>	2-2-1	1
Beverages & alcohols	15078	Fruit tea pre-served with sugar	0.001	Mercury analyzer	0.0005	N/A	N/A	20	0.0004	N/A	ND	0.002	Chung et al. <sup>28</sup>	1-1-1	3
Seasonings	16027	Cooking wine	0.0003	Mercury analyzer	0.000002	N/A	100	6	N/A	N/A	0.0001	0.0005	No et al. <sup>29</sup>	2-2-1	3
Prepared foods	17013	Mandu	0.0005	Mercury analyzer	0.0001	N/A	N/A	12	Samples were analyzed as a whole after homogenization treatment.				Choi. <sup>14</sup>	2-2-1	1
Others	18031	Ginseng	0.0025	Mercury analyzer	0.0001	N/A	100	10	N/A	N/A	0.0020	0.0040	Hu et al. <sup>30</sup>	1-1-1	3

1) LOD: limit of detection 2) ND: Not-detected 3) Scoring on a scale of 0-0-0 to 2-2-1 according to sampling plan, analytical quality control, and number of samples 4) 1: Total Diet Study (TDS) report, 2: Monitoring report, 3: Research papers in journal, 4: other sources

**Table 2.** Literature sources for mercury content of commonly consumed foods among Koreans

Categories	Reference source	No. of food items	Percentage (%)
Literature review	TDS <sup>1)</sup>	170	24.2
	Monitoring <sup>2)</sup>	28	4.0
	Research paper <sup>3)</sup>	101	14.4
	others <sup>4)</sup>	1	0.1
	Imputation	56	8.0
	Missing	346	49.3
	Total	702	100.0

1) ref : 6, 14-17 2) ref : 18-23 3) ref : 24-47 4) ref : 48

민의 식품 섭취량의 95% 이상을 포함하는 완성도가 높은 데이터베이스를 구축하였다. 본 연구에서는 미국 농무성에서 사용하고 있는 데이터의 질적 평가시스템을 적용하여 문헌의 질을 평가하고, 질 평가 점수가 가장 높은 자료를 데이터베이스 구축에 사용하였다. 수은 함량값이 보고되지 않은 식품에 대해서는 원재료는 동일하나, 수분 함량의 차이가 있는 식품에 한해 환산계수를 적용하여 대체값을 산출하여 사용했고, 유사식품에는 대체값을 적용하지 않았다. 그 결과 데이터베이스의 정확도를 높일 수는 있었지만, 완성도를 최대한으로 높이지는 못하였다. 즉, 질 높은 문헌만을 사용함으로써, 데이터베이스의 양적인 완성도를 높이는 것 보다는 질적인 수준을 확보할 수 있었다.

일반적으로 식품 중 영양성분이나 기타 화합물의 데이터

베이스를 구축하는 방법은 식품 중 함량을 직접 분석하거나, 기존에 구축된 데이터베이스를 기본으로 문헌검색 등을 통해 데이터를 확장하는 방법 등이 있다. 최근 국내에서 식품 중 플라보노이드 데이터베이스를 구축하는 기법을 특허로 등록한 바 있는데,<sup>49</sup> Yang 등<sup>50</sup>은 한국 상용 식품에 대한 플라보노이드 데이터베이스를 구축하기 위해 국가 주도로 구축된 미국 농무성 플라보노이드 데이터베이스, 일본 기능성 식품인자 데이터베이스, 한국 농촌진흥청 기능성 성분표를 기본으로 하고, 그 외 문헌검색과 대체값 적용 등을 통해 데이터베이스를 구축하는 방법을 보고하였다. 본 연구는 문헌 검색을 통하여 여러 문헌에서 발표된 수은 함량을 수집하여 데이터베이스를 구축하였다는 점에서는 이전 연구와 유사하다. 그러나, 모든 문헌에 대해 미국 농무성의 데이터 질적 평가시스템을 적용하여 평가한 후에 점수가 높은 문헌만을 인용했다는 사실과, 자료를 수집할 때 국외 문헌이나 데이터베이스 등은 제한하고, 국내 문헌만을 참고로 하였다라는 점에서 차이가 있다. 식품 중 수은 함량은 토양과 물 등 지역 환경의 오염 정도에 매우 큰 영향을 받으므로, 한국인의 식품으로 인한 수은 노출 수준을 평가하기 위한 데이터베이스는 국내에서 생산·유통되는 식품을 분석한 국내 문헌을 대상으로 하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 문헌고찰을 통해 수은 함량 값을 얻을 수 없었던 식품에 대해 국민건강영양조사의 식품코드의 환산

**Table 3.** Characteristics of mercury database construction by food groups

Food group	Value sources <sup>1)</sup>		Literature sources <sup>1)</sup>				No. of analyzed samples per food in literatures (Mean ± SD)	Data evaluation score <sup>3)</sup> (Mean ± SD)
	Raw data	Imputed data	TDS <sup>2)</sup> report	Monitoring report	Research papers	Other sources		
Grains	30 (81.1)	7 (18.9)	28 (93.3)	0 (0.0)	2 (6.7)	0 (0.0)	15.6 ± 6.3	4.4 ± 0.8
Potatoes & starch	6 (85.7)	1 (14.3)	5 (83.3)	0 (0.0)	1 (16.7)	0 (0.0)	12.2 ± 6.7	4.0 ± 0.9
Sugars	6 (85.7)	1 (14.3)	3 (50.0)	0 (0.0)	3 (50.0)	0 (0.0)	19.3 ± 20.7	4.0 ± 0.9
Legumes	9 (52.9)	8 (47.1)	4 (44.4)	1 (11.1)	4 (44.4)	0 (0.0)	45.4 ± 47.6	3.9 ± 1.0
Seeds&nuts	2 (66.7)	1 (33.3)	2 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	15.5 ± 4.9	4.5 ± 0.7
Vegetables	47 (85.5)	8 (14.5)	33 (70.2)	1 (2.1)	13 (27.7)	0 (0.0)	14.9 ± 11.6	4.1 ± 1.1
Mushrooms	10 (83.3)	2 (16.7)	0 (0.0)	10 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	36.3 ± 25.6	5.0 ± 0.0
Fruits	16 (80.0)	4 (20.0)	16 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	12.8 ± 5.6	4.3 ± 1.0
Meats	17 (100.0)	0 (0.0)	8 (47.1)	9 (52.9)	0 (0.0)	0 (0.0)	22.4 ± 27.0	4.8 ± 0.6
Eggs	2 (100.0)	0 (0.0)	2 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	6.5 ± 7.8	3.5 ± 2.1
Fishes & shellfishes	87 (86.1)	14 (13.9)	20 (23.0)	6 (6.9)	60 (69.0)	1 (1.1)	14.1 ± 12.8	4.1 ± 1.2
Seaweeds	9 (64.3)	5 (35.7)	4 (44.4)	0 (0.0)	5 (55.6)	0 (0.0)	15.2 ± 12.0	4.2 ± 1.0
Milk & dairy products	6 (100.0)	0 (0.0)	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	10.2 ± 4.5	4.7 ± 0.8
Oils	5 (100.0)	0 (0.0)	5 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	14.8 ± 3.8	4.6 ± 0.5
Beverages & alcohols	23 (95.8)	1 (4.2)	17 (73.9)	0 (0.0)	6 (26.1)	0 (0.0)	21.0 ± 27.2	4.4 ± 0.9
Seasonings	16 (80.0)	4 (20.0)	14 (87.5)	0 (0.0)	2 (12.5)	0 (0.0)	11.3 ± 3.8	4.5 ± 1.0
Prepared foods	3 (100.0)	0 (0.0)	3 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	10.7 ± 9.1	3.7 ± 1.5
Others	6 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (16.7)	5 (83.3)	0 (0.0)	9.3 ± 1.6	3.2 ± 1.0
Total	300 (84.3)	56 (15.7)	170 (56.7)	28 (9.3)	101 (33.7)	1 (0.3)	16.8 ± 17.7	4.2 ± 1.0

1) N (%) 2) TDS: Total Diet Study 3) Scores ranged from 0 to 5



Table 4. Coverage and contents of mercury database by food groups

Food group	Number of food			Amount of food consumed			Mercury content ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) Geomean <sup>1)</sup> $\pm$ GSD <sup>2)</sup> (Min, Max)
	No. of food consumed	No. of food included	Coverage (%)	Wt. of food consumed (g/day/person)	Wt. of food included (g/day/person)	Coverage (%)	
Grains	67	37	55.2	284.4	269.6	94.8	0.92 $\pm$ 0.44 (0.00, 8.00)
Potatoes & starch	13	7	53.8	34.3	32.8	95.8	0.72 $\pm$ 0.22 (0.40, 1.26)
Sugars	15	7	46.7	6.6	5.3	79.1	0.52 $\pm$ 0.27 (0.25, 1.45)
Legumes	23	17	73.9	34.6	33.8	97.7	0.75 $\pm$ 0.99 (0.00, 20.13)
Seeds and nuts	17	3	17.6	2.5	0.8	31.8	0.74 $\pm$ 0.12 (0.65, 0.95)
Vegetables	143	55	38.5	272.7	255.2	93.6	1.11 $\pm$ 0.78 (0.00, 15.58)
Mushrooms	14	12	85.7	3.8	3.8	99.9	18.93 $\pm$ 16.60 (2.00, 246.74)
Fruits	67	20	29.9	169.2	161.5	95.4	0.64 $\pm$ 0.29 (0.00, 2.56)
Meats	28	17	60.7	71.2	69.4	97.5	0.15 $\pm$ 0.25 (0.00, 2.04)
Eggs	4	2	50.0	21.0	20.9	99.9	0.82 $\pm$ 0.16 (0.67, 1.00)
Fishes & shellfishes	138	101	73.2	45.0	43.0	95.5	41.13 $\pm$ 23.11 (0.00, 781.14)
Seaweeds	24	14	58.3	5.4	4.1	77.1	5.92 $\pm$ 5.04 (0.00, 30.00)
Milk & dairy products	13	6	46.2	98.0	96.0	98.0	0.17 $\pm$ 0.11 (0.03, 0.45)
Oils	17	5	29.4	6.5	5.9	91.4	0.52 $\pm$ 0.09 (0.20, 0.89)
Beverages & alcohols	44	24	54.5	126.3	123.3	97.7	0.28 $\pm$ 0.17 (0.00, 86.05)
Seasonings	41	20	48.8	28.0	25.4	90.9	0.77 $\pm$ 0.87 (0.00, 12.00)
Prepared foods	14	3	21.4	5.6	4.6	81.3	0.52 $\pm$ 0.52 (0.00, 0.52)
Others	20	6	30.0	0.4	0.2	62.7	5.12 $\pm$ 3.27 (1.10, 13.00)
Total	702	356	50.7	1215.4	1155.7	95.1	2.85 $\pm$ 1.70 (0.00, 781.14)

1) Geomean; Geometric mean 2) GSD; Geometric standard deviation

계수를 이용하여 수은 함량값이 존재하는 식품으로부터 대체값을 구했다. 국민건강영양조사의 식품코드의 환산계수는 식품의 에너지 함량을 기준으로 설정된 값이므로, 이를 수은 함량값을 환산하는 과정에 사용하면 오차가 발생할 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 실측값이 없는 모든 식품에 대체값을 구하지 않고, 실측값이 존재하는 식품과 수분 함량 이외의 식재료가 동일한 경우에만 환산계수를 적용하여 대체값을 구하였다. 즉, 식재료는 동일하나 건조정도 (수분 함량)의 차이로 인해 에너지 함량에 차이가 발생하는 경우에만 환산계수를 적용하였으므로, 이는 곧 수은 함량의 차이를 반영하는 것으로 볼 수 있다. 식품에 유입된 수은은 단백질과 결합하여 존재하므로,<sup>51</sup> 식품 중 수은의 분포는 단백질의 분포와 비슷할 것으로 유추할 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용한 에너지 함량 차이에 의한 환산계수는 식품 내 단백질과 결합하고 있는 수은 함량 값의 차이를 비교적 잘 반영할 것으로 생각된다.

본 연구에서 구축한 한국인 상용 식품 중 수은 함량 데이터베이스는 국내에서 발표된 자료 중 가장 많은 식품수를 포함하고 있다. 현재까지 국내에서 발표된 식품 중 수은 함량 자료로는 해마다 수행되는 총 식이조사가 가장 많은 수의 식품을 포함하고 있다. 2012년 유해물질 총 식이조사 연구에서는 2008-2010년도 국민건강영양조사의 식품섭취

량 자료에 등장한 734종의 식품 중 식품별 섭취량 누적비율 90%까지, 섭취빈도 5% 이상에 포함되는 식품과 특정 유해물질의 함량이 높을 가능성이 있는 식품을 포함한 167종의 대표식품을 선정하여 수은 함량을 분석하였다.<sup>6</sup> 이 연구에서는 처음으로 'mapping' 방법을 도입하여 수은 함량이 분석되지 않은 식품에 대해서도 수은 함량이 분석된 식품 중에서 가장 유사한 식품의 함량 값을 적용함으로써, 수은 섭취량 산출 시 모든 식품으로부터의 총 노출량 평가가 가능하도록 하였다. 그 결과 상대적으로 적은 수 (167개)의 식품에 대해 많은 (500개 이상) 식품이 mapping됨에 따라, 수은 노출량을 추정할 때 오차가 클 것으로 예측된다. 이에 반해 본 연구에서 구축한 상용 식품 중 수은 함량 데이터베이스는 총 300개의 식품에 대해 수은 함량값을 제시하였고, 오직 수분 함량만을 고려하여 56개 식품에 대체값을 적용하여, 총 356개 식품에 대한 수은 함량을 포함하고 있다. 따라서 수은 함량값을 제시한 식품의 가짓수는 상대적으로 작은 편이지만, 정확도가 높다는 강점이 있다. 특히, 수은 데이터베이스는 섭취량의 95% 이상을 설명하는 것으로 평가되어, 질적으로 양적으로 우수하다고 평가할 수 있다.

본 연구에서 구축한 수은 데이터베이스를 국내·외의 다른 수은 데이터베이스와 비교해 보았다. 미국 식품의약국 (US FDA, Food and Drug Administration)이 모니터링 프

로그래에서 제시하고 있는 어패류 수은 함량 데이터베이스<sup>52</sup>와 본 연구에서 구축한 수은 데이터베이스 중 어패류군의 수은 함량을 비교했을 때, 총 66개 어패류 식품을 포함한 미국 데이터베이스의 수은 함량 ( $106.9 \pm 74.2 \mu\text{g}/\text{kg}$ )은 101개 어패류 식품을 포함한 본 연구에서 구축된 데이터베이스의 평균 수은 함량 ( $41.1 \pm 23.1 \mu\text{g}/\text{kg}$ )보다 훨씬 더 높았다. 미국 데이터베이스의 경우, 수은 함량이 높은 것으로 알려진 대형 어류 (상어, 삼치, 황새치, 옥돔)의 수은 함량이  $730.0\sim 1450.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ 로, 본 연구에서 구축한 데이터베이스 중 이들 어류의 함량이  $31.0\sim 781.1 \mu\text{g}/\text{kg}$ 인 것과 비교할 때, 매우 큰 차이를 보였다. Sunderland 등은 북태평양 서쪽의 아시아 지역에서 방출된 수은이 해수에 농축되어 해류의 이동을 따라 북태평양 동쪽 해안에 축적되는 것을 밝혀낸 바 있는데,<sup>53</sup> 이와 같은 맥락에서 북태평양 서쪽의 아시아 연안에서 포획한 어류보다 북태평양 미국 인근 해역에서 포획한 어류의 수은 함량이 더 높을 수 있다.

국내 데이터베이스 중에서는 앞서 언급된 2012년 총 식이조사<sup>6</sup>에서 발표한 대표식품의 수은 함량 분석결과와 본 데이터베이스 결과를 비교해 보았다. 2012년 총 식이조사의 분석 결과, 167개 대표식품의 수은 함량 총 평균은  $5.1 \mu\text{g}/\text{kg}$  이었으며 식품군별 평균은 감자류  $0.7 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 견과류 및 종실류  $1.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 곡류  $0.7 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 과실류  $0.4 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 난류  $0.9 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 당류 및 그 제품  $0.5 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 두류  $0.8 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 버섯류  $1.3 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 어류  $60.3 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 패류  $19.6 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 우유류  $0.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 유지류  $1.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 육류  $0.7 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 음료 및 주류  $0.1 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 조리가공식품류  $0.0 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 조미료류  $1.2 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 채소류  $0.8 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 해조류  $6.7 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 기타  $0.8 \mu\text{g}/\text{kg}$  이었다. 수은은 다른 식품군에 비해 어류와 패류에서의 함량이 높았으며 우유류와 조리가공식품류에서는 거의 검출되지 않았다. 반면 본 연구에서 구축한 수은 데이터베이스의 경우 수은 함량 총 평균은  $2.9 \mu\text{g}/\text{kg}$ 로 총 식이조사에서 분석된 식품의 평균 수은 함량보다 낮았으나, 어패류의 경우  $41.1 \mu\text{g}/\text{kg}$ 로 유사하였고, 버섯류의 경우 본 연구의 데이터베이스에서  $18.9 \mu\text{g}/\text{kg}$ 로 상대적으로 매우 높았으며, 다른 식품군들의 경우에는 큰 차이를 보이지 않았다.

상용 식품의 유해물질 함량 데이터베이스는 주요 급원 식품을 어느 정도 포함하고 있는가 하는 것이 주요 쟁점이 될 수 있다. 미국 보건복지부 독성물질 질병등록국 (U.S. Department of Health and Human Service, Public Health Service, ASTDR; Agency for Toxic Substances and Disease Registry)이 발표한 보고서에 따르면, 여러 국가의 총 식이조사 (TDS) 결과로부터 어패류의 섭취가 가장 주요한 수은의 노출원이며, 수은 노출 수준이 어패류 섭취량에 따라 달라진다고 한다.<sup>5</sup> 국내 연구에서도 Kim과 Lee는 2005

년 우리나라 국민건강영양조사 결과, 혈중 수은 농도가 어패류 섭취 빈도에 따라 증가하는 것으로 보고하였는데, 어패류를 1주에 1회 이상 섭취하는 사람은 그렇지 않은 사람에 비해 혈중 수은 농도가 유의하게 높은 것으로 나타났다.<sup>54</sup> 이런 관점에서 볼 때, 본 연구에서 구축된 데이터베이스는 어패류 식품의 73.2%, 어패류 섭취량의 95.5%를 포함하고 있으므로, 이 데이터베이스를 이용할 경우 수은의 섭취 수준을 비교적 정확하게 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 몇 가지 제한점은 다음과 같다. 첫째로, 대상자가 섭취한 모든 식품의 수은 함량 값을 포함하지 못하였으므로, 본 연구에서 구축된 데이터베이스를 이용하여 수은 섭취량을 추정할 때에는 과소평가의 가능성이 있다. 그러나 데이터베이스가 식품 섭취량의 95% 이상을 반영하므로 이로 인한 섭취량 추정의 오차는 그리 크지 않을 것으로 예상된다. 두 번째 제한점은 데이터베이스에 사용한 수은 함량값으로 문헌에 제시된 평균값 (mean)을 이용하였다는 점이다. 식품 중 수은 함량은 단일의 값이 아니라 일정한 범위에 따라 분포하므로 평균값을 이용하여 수은 섭취량을 추정할 경우, 점추정으로써의 한계를 가진다. 즉, 평균값 이상의 수은을 함유하고 있는 식품의 섭취에 따른 위해도의 영향을 제대로 평가하지 못하는 단점이 있다. 위해성 평가에서 평균값과 같은 대표 오염치를 사용하는 것을 중앙경향노출 (CTE; Central Tendency Exposure)라고 하며, 이보다 더 보수적으로 사용되는 대표 오염치는 최적최대노출 (RME; Reasonable Maximum Exposure)로 대상집단에서 발생 가능한 최대 노출수준을 적용하여 노출량을 평가하는 것이다.<sup>55</sup> 본 데이터베이스를 이용하여 식품을 통한 수은 노출수준을 평가할 경우, 이 최적최대노출을 이용하지 않음으로써 덜 보수적인 노출 평가를 하게 될 수 있다. 본 연구에서 사용한 데이터베이스 구축 방법의 특성상 문헌에 제시된 수치만을 이용할 수 있었고, 식품 중 수은 함량 분포를 획득하는 데에는 제한이 있었기 때문이다. 추후에 식품 중 수은 함량을 분석하여 분포치를 제시한 문헌이 누적될 경우, 식품 중 수은 함량 값의 분포에 따른 노출량 분석이 가능해지리라 생각된다. 마지막으로, 본 연구에서는 수은 데이터베이스를 구축하는 과정에서 국외 문헌이나 데이터베이스 등은 제한하고, 국내 문헌만을 참고로 하였는데, 식품 시장의 세계화로 식품의 수입이 증가하여 먹거리의 지역성이 줄어들고 있는 시점에서 국외 자료를 제한하고 국내 자료만으로 데이터베이스를 구축한 것은 섭취량 평가에서 제한점이 될 수 있다. 또한 국내 자료 중에서도 국외에 출판된 경우가 있을 수 있으므로, 데이터베이스의 완성도를 높이기 위해서는 추후, 이러한 자료를 보완하는 과정이 필요할 것이다.



## 요 약

본 연구는 문헌검색을 통해 우리나라 상용 식품의 수은 함량 데이터베이스를 구축하기 위해 수행하였고, 식품 섭취량의 95%를 포함하는 완성도가 높은 데이터베이스를 구축하였다. 2007~2009년 국민건강영양조사 식품 섭취량 조사 결과를 기반으로 대상 식품을 선정하였고, 국내에서 식품 중 수은 함량을 분석한 문헌을 고찰하여 수은 함량값을 수집하였다. 미국 농무성의 데이터 질적 평가시스템을 적용하여 수집된 문헌의 함량자료를 선택했고, 함량값이 없는 식품은 식재료의 수분함량 차이를 고려하여 대체값을 적용하였다. 구축된 데이터베이스는 총 702개의 식품 중 356개의 식품에 대한 수은 함량값을 포함하였고 (50.7%), 대상자들이 섭취한 식품 섭취량으로는 95.1%에 달하는 식품을 포함하는 것으로, 질적으로 양적으로 완성도가 높은 것으로 평가되었다.

본 연구의 결과는 향후 식품을 통한 수은 노출량 추정 및 위해성 평가에 활용될 수 있으며, 본 연구의 데이터베이스 구축 방법론은 식품을 통해 노출되는 다른 유해물질의 함량 데이터베이스를 구축하는 데에 적용할 수 있을 것이다.

## References

- Hassett-Sipple B, Swartout J, Schoeny R, Mahaffey KR, Rice GE. Mercury study report to congress. Volume V: health effects of mercury and mercury compounds. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency; 1997.
- Clarkson TW. Mercury: major issues in environmental health. *Environ Health Perspect* 1993; 100: 31-38.
- Harada M. Congenital Minamata disease: intrauterine methylmercury poisoning. *Teratology* 1978; 18(2): 285-288.
- Marsh DO, Clarkson TW, Cox C, Myers GJ, Amin-Zaki L, Al-Tikriti S. Fetal methylmercury poisoning. Relationship between concentration in single strands of maternal hair and child effects. *Arch Neurol* 1987; 44(10): 1017-1022.
- U.S. Department of Health and Human Services; Public Health Service; Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for mercury. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry; 1999.
- Kim CI. Korean Total diet study - mycotoxins, heavy metals, acrylamide [Internet]. Cheongju: National Institute of Food and Drug Safety Evaluation; 2012 [cited 2013 Jul 10]. Available from: <http://rmd.mfds.go.kr/>.
- Mahaffey KR, Clickner RP, Bodurow CC. Blood organic mercury and dietary mercury intake: National Health and Nutrition Examination Survey, 1999 and 2000. *Environ Health Perspect* 2004; 112(5): 562-570.
- Nakagawa R, Yumita Y, Hiromoto M. Total mercury intake from fish and shellfish by Japanese people. *Chemosphere* 1997; 35(12): 2909-2913.
- Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2007: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES IV-1) [Internet]. Cheongwon: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2008 [cited 2013 Sep 1]. Available from: <https://knhanes.cdc.go.kr/knhanes/index.do>.
- Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2008: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES IV-2) [Internet]. Cheongwon: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2009 [cited 2013 Sep 1]. Available from: <https://knhanes.cdc.go.kr/knhanes/index.do>.
- Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Korea Health Statistics 2009: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES IV-3) [Internet]. Cheongwon: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2010 [cited 2013 Sep 1]. Available from: <https://knhanes.cdc.go.kr/knhanes/index.do>.
- Ministry of Health and Welfare, Korea Centers for Disease Control and Prevention. Guide to the utilization of the data from the Fourth Korea National Health and Nutrition Examination Survey [Internet]. Cheongwon: Korea Centers for Disease Control and Prevention; 2010 [cited 2013 Sep 1]. Available from: <https://knhanes.cdc.go.kr/knhanes/index.do>.
- Bhagwat SA, Patterson KY, Holden JM. Validation study of the USDA's Data Quality Evaluation System. *J Food Compos Anal* 2009; 22(5): 366-372.
- Choi DW. Dietary Intake and Risk Assessment of Heavy Metals (TDS) [Internet]. Cheongju: National Institute of Food and Drug Safety Evaluation; 2009 [cited 2013 Jun 20]. Available from: <http://rmd.mfds.go.kr/>.
- Kwon YT, Lee JA. Dietary intake and risk assessment of heavy metals in Korean foods. *Environ Res* 2001; 24: 33-44.
- Choi DW. Dietary intake and risk assessment of contaminants in Korean foods. In: *The Annual Report of KFDA. Vol 11*. Cheongju: Korea Food and Drug Administration; 2007. p.542-543.
- Park SO. Dietary intake and risk assessment of contaminants in Korean foods [Internet]. Cheongju: Korea Food and Drug Administration; 2006 [cited 2013 Jun 20]. Available from: <http://rmd.mfds.go.kr/>.
- Kim MH. Survey and risk assessment of heavy metals in mushroom [Internet]. Cheongju: National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. 2011 [cited 2013 Jun 20]. Available from: <http://rmd.mfds.go.kr/>.
- Lee KL. Survey for food contaminants and safety control [Internet]. Cheongju: National Institute of Food and Drug Safety Evaluation; 2005 [cited 2013 Jun 20]. Available from: <http://rmd.mfds.go.kr/>.
- Kim YJ. Heavy metal monitoring on aquatic products from the east-coast in Gangwon province [Internet]. Cheongju: National Institute of Food and Drug Safety Evaluation; 2010 [cited 2013 Jun 20]. Available from: <http://rmd.mfds.go.kr/>.
- Kim SH, Ko YS, Im SI, An KA, Lee KS, Kim SC, Jang JW, Kim HA, Lee RK, Park MW, Kim DB. Monitoring of heavy metals in Kimchi and Pickle. In: *The Annual Report of KFDA. Vol 11*. Cheongju: Korea Food and Drug Administration; 2007. p.115-116.
- Yoon HS. Simultaneous analytical method for mercury species in aquatic food [Internet]. Cheongju: National Institute of Food and Drug Safety Evaluation; 2010 [cited 2013 Jun 20]. Available from:

- <http://rnd.mfds.go.kr/>.
23. Lee KH. Investigation of heavy metals research on actual state of Chungchongnamdo, Chungchongbukdo area farm produce [Internet]. Cheongju: Korea Food and Drug Administration; 2005 [cited 2013 Jun 20]. Available from: <http://rnd.mfds.go.kr/>.
  24. Kim MH, Lee YD, Park HJ, Park SK, Lee JO. Contents of heavy metals in soybean curd and starch jelly consumed in Korea. *Korean J Food Sci Technol* 2005; 37(1): 1-5.
  25. Chung SY, Kim M, Kim JS, Hong M, Lee JO, Kim CM. Trace metal contents in sugar products and their safety evaluations. *Korean J Food Sci Technol* 2002; 34(6): 992-997.
  26. Kim M, Kim JS, Sho YS, Chung SY, Lee JO. The study on heavy metal contents in various foods. *Korean J Food Sci Technol* 2003; 35(4): 561-567.
  27. Joo H, Noh MJ, Yoo JH, Jang YM, Park JS, Kang MH, Kim M. Monitoring total mercury and methylmercury in commonly consumed aquatic foods. *Korean J Food Sci Technol* 2010; 42(3): 269-276.
  28. Chung SY, Kim JS, Kim EJ, Park SK, Kim M, Hong M, Kim MC, Lee JO. Trace metal contents in tea products and their safety evaluations. *Korean J Food Sci Technol* 2003; 35(5): 812-817.
  29. No KM, Kang KM, Baek SL, Choi H, Park SK, Kim DS. Monitoring of heavy metal content in alcoholic beverages. *J Food Hyg Saf* 2010; 25(1): 24-29.
  30. Hu SJ, Kim M, Park SK, Lee JO. Heavy metal contents in ginseng and ginseng products. *Korean J Food Sci Technol* 2005; 37(3): 329-333.
  31. Hwang YO, Kim SU, Ryu SH, Ham HJ, Park GY, Park SG. Contents of mercury, lead, cadmium, and arsenic in dried marine products. *Anal Sci Technol* 2009; 22(4): 336-344.
  32. Go MJ, Lee JH, Park EH, Park SW, Kim IK, Ji YA. Monitoring of heavy metals in vegetables in Korea. *J Food Hyg Saf* 2012; 27(4): 456-460.
  33. Kim M, Chang MI, Chung SY, Sho YS, Hong MK. Trace metal contents in cereals, pulses and potatoes and their safety evaluations. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2000; 29(3): 364-368.
  34. Kim M, Lee YD, Park HJ, Kim EJ, Lee JO. Contents of toxic metals in crustaceans consumed in Korea. *Korean J Food Sci Technol* 2004; 36(3): 375-378.
  35. Kim JH, Lim CW, Kim PJ, Park JH. Heavy metals in shellfishes around the south coast of Korea. *J Food Hyg Saf* 2003; 18(3): 125-132.
  36. Kim HY, Chung SY, Sho YS, Oh GS, Park S, Suh JH, Lee EJ, Lee YD, Choi WJ, Eom JY, Song MS, Lee JO, Woo GJ. The study on the methylmercury analysis and the monitoring of total mercury and methylmercury in fish. *Korean J Food Sci Technol* 2005; 37(6): 882-888.
  37. Kim HY, Kim JC, Kim SY, Lee JH, Jang YM, Lee MS, Park JS, Lee KH. Monitoring of heavy metals in fishes in Korea: As, Cd, Cu, Pb, Mn, Zn, Total Hg. *Korean J Food Sci Technol* 2007; 39(4): 353-359.
  38. Sho YS, Kim J, Chung SY, Kim M, Hong MK. Trace metal contents in fishes and shellfishes and their safety evaluations. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2000; 29(4): 549-554.
  39. Chung SY, Kim MH, Sho YS, Won KP, Hong MK. Trace metal contents in vegetables and their safety evaluations. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2001; 30(1): 32-36.
  40. Yoo CC, Kim DW. Studies on the heavy metal contents in some vegetable sales on markets in Korea. *Korean J Food Nutr* 2005; 18(3): 254-264.
  41. Lee MK, Park JS, Lim HC, Na HS. Determination of heavy metal contents in medicinal herb. *Korean J Food Preserv* 2008; 15(2): 253-260.
  42. Choi JD, Jeoung IG. Trace metal contents in cultured and wild fishes from the coastal area of Tongyeong, Korea and their safety evaluations. *J Food Hyg Saf* 2005; 20(4): 205-210.
  43. Choi SN, Chung NY. A study on the trace metals in potatoes and root vegetables. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 2003; 19(2): 223-230.
  44. Kim M, Chung SY, Sho YS, Kim MC, Kim CM. Establishments of lead standards through monitoring heavy metals in calcium, chitosan, and propolis health foods. *Korean J Food Sci Technol* 2001; 33(5): 525-528.
  45. Kim JH, Mok JS, Park HY. Trace metal contents in seaweeds from Korean coastal area. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2005; 34(7): 1041-1051.
  46. Ham HJ. Distribution of hazardous heavy metals(Hg, Cd and Pb) in fishery products, sold at Garak wholesale markets in Seoul. *J Food Hyg Saf* 2002; 17(3): 146-151.
  47. Heo YS, Kim KJ, Lee MY, Lee SJ, Park SM, Kim JD, Kim OH, Chong HS. A study on the component and heavy metal contents of Myeolchi Aekjeot. *Rep Seoul Metrop Gov Res Inst Public Health Environ* 1991; 2: 33-44.
  48. Kim SC, Ahn KA, Kim HA, Im SI, Jang JW, Kang NS, Cho CH, Ko YS, Kim DS, Lee SH. The monitoring of total mercury and methylmercury in abyssal fish by GC-ECD. *Proceedings of the 41th Korean Society of Analytical Sciences Conference*; 2008 Nov 20-21, Pyeongchang. Seoul: Korean Society of Analytical Sciences; 2008. p.258.
  49. Kwon O, Yang YK, inventors; Flavonoid database for estimation of flavonoid intake and constructing method thereof. *Korea Patent* 10-1294316. 2013 Aug 7.
  50. Yang YK, Kim JY, Kwon O. Development of flavonoid database for commonly consumed foods by Koreans. *Korean J Nutr* 2012; 45(3): 283-292.
  51. Mason RP, Reinfelder JR, Morel FM. Bioaccumulation of mercury and methylmercury. *Water Air Soil Pollut* 1995; 80(1-4): 915-921.
  52. U.S. Food and Drug Administration. Mercury levels in commercial fish and shellfish (1990-2010) [Internet]. Silver Spring (MD): U.S. Food and Drug Administration; 2014 [cited 2014 May 10]. Available from: <http://www.fda.gov/Food/FoodborneIllnessContaminants/TraceMetals/ucm115644.htm>.
  53. Sunderland EM, Krabbenhoft DP, Moreau JW, Strode SA, Landing WM. Mercury sources, distribution, and bioavailability in the North Pacific Ocean: insights from data and models. *Global Biogeochem Cycles* 2009; 23(2): GB2010.
  54. Kim NS, Lee BK. National estimates of blood lead, cadmium, and mercury levels in the Korean general adult population. *Int Arch Occup Environ Health* 2011; 84(1): 53-63.
  55. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response. Risk assessment guidance for superfund (RAGS), Volume I: human health evaluation manual (Part E, supplemental guidance for dermal risk assessment) interim [Internet]. Washington, D.C.; U.S. Environmental Protection Agency; 2004 [cited 2014 Sep 2]. Available from: <http://www.epa.gov/swerrims/riskassessment/rags/>.