

유통 환(丸)제품의 중금속 함량 및 위해성 평가

김성단[†] · 정선옥 · 김복순 · 윤은선 · 장민수 · 박영애 · 이웅철 · 채영주 · 김민영
서울시보건환경연구원

The Content of Heavy Metals in Herbal Pills Used as General Processed Food and Risk Assessment of Heavy Metal Intakes

Sung-Dan Kim[†], Sun-Ok Jung, Bog-Soon Kim, Eun-Sun Yun, Min-Su Chang,
Young-Ae Park, Young-Chul Lee, Young-Zoo Chae, and Min-Young Kim

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment,
Gyeonggi-do 427-070, Korea

Abstract

The purpose of this study was to investigate some heavy metals (Pb, Cd, Cr, Cu, Hg) in 52 commercial herbal pills used as general processed food, to identify weekly heavy metal intakes from herbal pills and to evaluate their potential health risks. The samples were digested with a microwave and determinations of heavy metal residues were carried out by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and mercury analyzer. The mean values of heavy metal contents for herbal pills used as general processed food were Pb 0.421 (0.032~1.630), Cd 0.157 (0.011~0.515), Cr 1.033 (0.112~9.933), Cu 6.923 (1.333~16.755), Hg 0.010 (0.001~0.088) mg/kg. Lead contents of herba and cadmium of algae, herba were high (ANOVA-test, $p < 0.05$). Levels of cadmium concentrations exceeding WHO reference values (0.3 mg/kg) were observed in 10 samples (4 species). The significant correlation was observed between Pb and Cd ($r = 0.633$, $p < 0.01$). The weekly intakes of Pb, Cd, Cr, Cu, Hg from herbal pills were 1.112 (0.072~5.088), 1.614 (0.029~9.257), 3.000 (0.252~23.690), 0.182 (0.008~1.235), 0.220 (0.000~0.420)%, respectively, as compared with the Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) established by Joint FAO/WHO Expert Committee for food safety evaluation. Our data suggest regulations limiting heavy metals in herbal pills used as general processed food.

Key words: herbal pills, heavy metals, ICP-MS, mercury analyzer, PTWI

서 론

천연식물은 예로부터 여러 가지 민간요법으로 사용 또는 섭취가 되어 오면서 효능이 검증되어왔으며, 최근에는 현대 의학의 대체요법으로 사용되고 있다. 선진국에서는 이미 전 세계에 분포하는 자원식물에 대한 의학예방 또는 치료기능과 경제적 효용가치를 평가하여 보다 다양한 식물 종의 확보에 주력하고 있다(1). 한편 민간요법은 예로부터 우리나라에서 매우 중시되어 왔으며, 각 왕조마다 민간에 손쉬운 의료 지식을 보급하기 위하여 노력하였는데 이러한 의학지식은 전문적인 의학지식보다는 민간에서 쉽게 이해하고 활용할 수 있는 편의성 측면에서 민간요법적인 지식이 위주가 되었다. 현대에는 경제발전과 더불어 식생활의 형태가 급변하고 평균수명 연장에 따른 인구의 고령화와 질병의 많은 변화로 건강에 대한 관심이 어느 때보다 높아짐에 따라, 천연물을 기원으로 하는 생약을 한방에서의 질병 치료제나 보

약 처방으로 널리 사용하여 왔으나 최근에 들어서는 각종 기능성식품 등의 소재로 다양하게 개발하고 있다(2).

그러나 한약재의 경우 소비가 늘어나면서 국내 자생 또는 재배 한약재의 수요를 충족할 수 없어, 많은 한약재들이 중국 및 베트남 등에서 수입하고 있는 실정이다(3). 식품원료 한약재는 순수 한약재와 같이 동일품목이 소비되고 있지만 식품위생법에 의해 규제되고 있어 수입 시 통관이 쉽고 극히 일부분만 검사하는 등 수입절차와 비용이 적게 들어 한약재를 식품으로 수입하는 경우가 있다.

또한 산업화 및 공업화로 인해 배출되는 각종 오염물질 중에서 납, 카드뮴, 비소, 수은 등과 같은 중금속 물질은 토양에서 이동성이 낮고 축적성이 높기 때문에 토양을 오염시킨다(4). 중금속 오염은 수확, 가공, 포장 등의 과정에서 우발적으로 일어나기도 하지만, 대부분 오염된 물과 토양 또는 대기오염이 심한 지역에서 재배되는 농작물에서 일어난다. 중금속의 오염은 인체에 유해할 정도로 심화되고 있으며, 극미

[†]Corresponding author. E-mail: Joyfulksd@seoul.go.kr
Phone: 82-2-570-3288, Fax: 82-2-570-3243

량 중금속일지라도 일단 생체 내에 들어오면 유기염화물이나 탄화수소 등의 기타 유기 오염물질보다 상대적으로 긴 반감기를 갖고 있다(5-8). 따라서 쉽게 분해되지 않고 축적되는 특성이 있어서 미량일지라도 장기간 섭취하는 경우 체내에 축적량이 문제가 되고 있어, 장기간의 한약을 섭취한 사람의 모발과 뇨에서 WHO 기준을 초과하는 중금속 양이 검출되기도 하였다(9).

한약재의 중금속 오염이 금속중독의 원인이 되는 몇 가지 사례가 있었으며(10-12), 이러한 이유로 최근 한약재의 중금속 오염에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(13-15). 따라서 한약재의 경우 모니터링사업을 통해 허용기준치 이상의 금속이 검출되는 약재를 조사하고 있으며(16-21), 실제 복용하는 제형형태(탕액과 환제)에 따른 금속함량의 변화비교(3,22-24), 한약에 따른 인체 및 실험동물의 축적정도(9, 14,25-27) 등이 보고되어, 종전의 한약재에 대한 안전성검사를 총 금속 30 ppm에서 개별금속에 따라 그 기준을 차등 적용하는 등 한약재 내의 금속 기준이 최근에 강화되었다.

한편 건강기능식품의 관리체계 개선방안으로 2004년 전면 시행된 「건강기능식품법률」에 따라 소비자보호가 강화되었으며, 그동안 다소 허술하게 생산, 유통, 관리되었던 건강기능식품의 안전성과 기능성이 체계적으로 검토되었다. 따라서 건강에 대한 관심이 높아지고 건강과 관련한 천연식품이 범람함에 따라 천연식품이 한약재나 건강기능식품이 아닌 일반가공식품으로 제조, 가공 및 유통되고 있으며, 소비자들 또한 건강유지 및 질병치료의 목적으로 환(丸)형태의 일반가공식품을 다양한 유통경로에 의해 손쉽게 선택하여 장기복용 하는 사례가 늘어나고 있다.

그러나 질병예방 및 건강증진 목적을 위하여 천연식품을 환(丸)형태로 가공하여 일반가공식품으로 유통시키고 있는 제품들에 대한 중금속 기준이 설정되어있지 않은 형편이다. 따라서 중금속으로 오염된 원재료의 사용 및 가공과정에서의 유해물질의 혼입 가능성에 대한 우려가 높아지고 있으며, 이러한 일반가공식품은 의약품과는 달리 장기간 섭취할 가능성이 높아 유해물질인 중금속의 섭취에 따른 국민건강이 위협받고 있다.

또한 중금속의 유형은 인체에 유해한 영향을 미치고, 체내 축적성이 강하여 장기간에 걸쳐 체내에 축적되면 급·만성 질환의 건강장해를 일으킬 수도 있는 Hg, Cd, Cr, Pb 등의 유독금속과 발암성 및 돌연변이성의 측면에서 유전자에 영향을 미치는 Cd, Mn, Cr 등의 유전독성 금속이 있고, 인체에 필수적인 금속이지만 과량 노출 시 위해를 입힐 수 있는 가능성을 가진 Cu, Zn 등이 있다(28-30). 그러므로 본 연구는 시중에 유통되고 있는 환(丸)형태의 일반가공식품의 중금속 함량을 조사하고 환(丸)제품을 통한 중금속 섭취량의 위해도를 평가함으로써, 질병예방 및 건강증진을 목적으로 유통되고 있는 환(丸)형태 규격 외 일반가공식품에 대한 중금속 규격설정을 제안하고자 한다.

Table 1. List of herbal pills used as general processed foods for analysis of heavy metals

Classification by used part	Main material	Number of Samples
Algae	<i>Laminaria Japonicae Thallus</i>	4
Cortex	<i>Eucommiae Cortex</i>	1
	<i>Acanthopanax Cortex</i>	1
Fructus	<i>Mume Fructus</i>	1
	<i>Rubi Fructus</i>	2
Radix	<i>Angelicae Gigantis Radix</i>	1
	<i>Platycodonis Radix</i>	4
Rhizoma	<i>Alli Bulbus</i>	3
	<i>Dioscoreae Rhizoma</i>	1
Semen	<i>Carthami Tinctorii Seed</i>	1
	<i>Dolichoris Semen</i>	17
	<i>Glycine Semen Nigra</i>	3
	<i>Oryzae Semen</i>	1
Herba	<i>Artemisiae Capillaris Herba</i>	7
	<i>Leonuri Herba</i>	2
	<i>Potentilla kleiniana</i>	1
Others	<i>Batryticatus Bombyx</i>	1
	<i>Lentinus edodes</i>	1

재료 및 방법

시료

2009년 1~11월중 서울지역 도매시장, 대형유통센터 등에서 규격 외 일반가공식품으로 유통되고 있는 환(丸)제품 총 52건을 구입하여 중금속함량을 분석하였다. Table 1과 같이 주원료를 사용부위별로 분류하면 해조류{다시마(*Laminaria Japonicae Thallus*) 4건} 1종, 나뭇가지를 포함한 줄기와 껍질{두충(*Eucommiae Cortex*) 1건, 오가피(*Acanthopanax Cortex*) 1건} 2종, 종자를 포함한 열매{매실(*Mume Fructus*) 1건, 복분자(*Rubi Fructus*) 2건} 2종, 뿌리{당귀(*Angelicae Gigantis Radix*) 1건, 도라지(*Platycodonis Radix*) 4건} 2종, 뿌리줄기{마늘(*Alli Bulbus*) 3건, 마(*Dioscoreae Rhizoma*) 1건} 2종, 종자{홍화씨(*Carthami Tinctorii Seed*) 1건, 콩(*Dolichoris Semen*) 17건, 검정콩(*Glycine Semen Nigra*) 3건, 쌀(*Oryzae Semen*) 1건} 4종, 잎{쑥(*Artemisiae Capillaris Herba*) 7건, 익모초(*Leonuri Herba*) 2건, 함초(*Potentilla kleiniana*) 1건} 3종, 기타{누에(*Batryticatus Bombyx*) 1건, 표고버섯(*Lentinus edodes*) 1건} 2종이었다. 유통 시 표시된 식품유형의 종류는 일반가공식품 중 기타가공품 40건, 두류가공품 6건, 수산물가공품 2건, 곡류가공품 1건 및 기타 3건으로 Fig. 1과 같다.

시약 및 기구

본 연구에 사용된 물은 PRIMA & UHQ-MKII water purification(ELGA, High Wycombe, Buckinghamshire, England)을 이용하여 18.2 MΩ 수준으로 정제하여 사용하였다. 모든 실험초차는 폴리에틸렌 및 폴리프로필렌 재질을 사용하였으며, PTFE(polytetrafluoroethylene) vessel은 7%

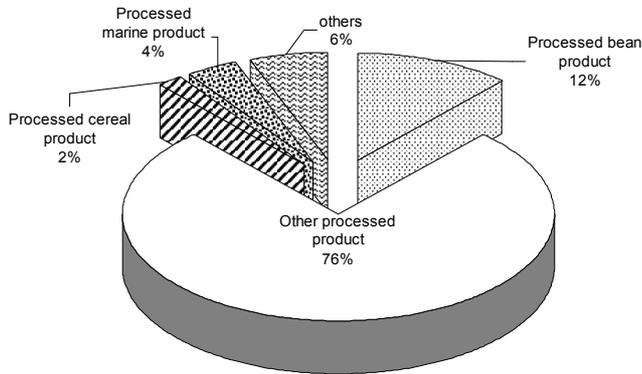


Fig. 1. Food type of herbal pills used as general processed foods.

(v/v) 질산에 24시간 보관한 후 초순수로 세척하여 사용하였다. 시료의 분해에 사용한 질산은 EP-S(Electronic grade, Dong Woo Fine Chem., Seoul, Korea)를 사용하였으며, 분해 후 여과를 위하여 Nylon syringe filter(13 mm 0.45 μm)는 Whatman(Middlesex, UK)을 사용하였다. 표준액은 납, 카드뮴, 크롬, 구리 혼합 표준액 1,000 mg/kg(MERCK, Darmstadt, Germany)를 5% 질산에 희석하여 사용하였고, 수은 표준품은 NRC (National Research Council Canada)에서 구입한 표준인증물질(certified reference material, CRM)인 Mess-3를 사용하였다.

시료를 균질화하기 위한 분쇄기(JAM 505, O.T wellbeing, Gyeonggi-do, Korea)를 사용하였으며, 분해 장치는 Microwave Digestion System(MARS 5 Version 194A06, CEM, North Carolina, USA)을 이용하였다. 시료 중 납, 카드뮴, 크롬, 구리는 ICP-MS(ELAN DRC-2, Perkin-Elmer, Concord, Ontario, Canada)를 이용하여 측정하였으며, 수은 함량은 Mercury Analyzer(DMA80, Milestone, Vergamo, Italy)를 이용하여 분석하였다.

시료의 전처리

시료 채취는 분석의 대표성과 공정한 검사를 위하여 용기 포장 된 환제품 전체를 분쇄기로 곱게 갈아 폴리에틸렌 필름에 밀봉포장 하여 실온에 보관하여 사용하였다. 시료 0.3 g을 마이크로웨이브용 PTFE(polytetrafluoroethylene) vessel (OMNI/XP 1500)에 정밀히 달아 질산(70%) 10 mL를 가한 후 Hood에서 16시간 방치하여 예비 분해하였다. Microwave Digestion System으로 1,200 W power에서 15분 동안 200°C (800 psi)까지 상승시킨 후 10분 동안 온도를 유지하여 분해하고 -20°C의 냉동실에서 2시간 방냉한 후 탈기하였다. 이후 분해에 사용된 산을 농축하기 위하여 800 W power에서 15분 동안 120°C까지 상승시키고, 5분간 400 W power에서 5분 동안 120°C를 유지하여 분해된 시료를 농축하고 초순수를 가하여 30 g으로 희석하고 여과 후 시험용액으로 사용하였다.

기기분석

시험용액 중 납, 카드뮴, 크롬, 구리는 ICP-MS를 이용하

Table 2. Operating conditions for ICP-MS instrument

Rf power	1,500 W
Lens voltage	6.75 eV
Ar plasma gas flow rate	19 L min ⁻¹
Ar nebulizer gas flow rate	0.86 L min ⁻¹
Nebulizer	Meinhard type
Spray chamber	Cyclonic type
Quadrupole chamber	1.23 × 10 ⁻⁵ torr
Dwell time	600 ms
Pb/Mass	208
Cd/Mass	114
Cr/Mass	52
Cu/Mass	63

Table 3. Operating conditions for mercury analyzer instrument

Decomp. temp.	650°C
Decomp. time	130 sec
Purse time	60 sec
Amalgam. time	12 sec
Record time	30 sec

여 측정하였으며, 기기분석 조건은 Table 2와 같다. 수은은 분쇄한 시료 약 30 mg을 자동시료주입기가 부착된 Mercury Analyzer를 사용하여 가열기화금아말감법(Combustion gold amalgamation method)(31)으로 측정하였으며, 기기조건은 Table 3과 같다.

표준인증물질 측정

분해효율과 측정감도를 비교하기 위하여 미국 표준과학 기술원(National Institute of Standard Technology, NIST)에서 구입한 표준인증물질(certified reference material, CRM)을 이용하여 회수율을 측정하였다. 납, 카드뮴, 크롬, 구리의 경우 표준인증물질은 Peach Leaves(NIST CRM 1547)를 사용하여 분석시료와 동일하게 처리하고 ICP-MS를 이용하여 측정된 뒤 회수율 및 변동계수를 구하였다. 수은의 경우 표준품으로 사용하였던 표준인증물질 Mess-3을 Mercury Analyzer로 측정하여 회수율 및 변동계수를 구하여 분석법을 검증하고 분석결과의 신뢰성을 확인한 결과는 Table 4와 같다.

통계처리

분석결과는 SPSS Version 12를 이용하여 식물의 이용 부위별 금속에 따른 평균, 표준편차와 상관관계를 구하였다. 식물의 이용 부위별 중금속의 차이는 ANOVA TEST를 이용하여 분산 분석 후 $\alpha=0.05$ 수준에서 던칸 다중위검정법(Duncan's multiple range test)을 실시하여 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

검출한계 및 정량한계

검량선은 납, 카드뮴, 크롬, 구리 혼합 표준액 1,000 mg/kg

Table 4. Elemental quantities by ICP-MS and mercury analyzer for certified reference material (CRM)

Element	CRM	N ¹⁾	Certified value	Determined value	Coefficient of variation (%)	Recovery (%)
			(mg/kg)	(mg/kg)		
			Mean ± SD	Mean ± SD		
Pb	NIST 1547 ²⁾	5	0.87 ± 0.03	0.63 ± 0.01	2	72.4
Cd	NIST 1547	5	0.026 ± 0.003	0.026 ± 0.002	6	99.5
Cr	NIST 1547	5	(1) ³⁾	0.83 ± 0.06	7	83.0
Cu	NIST 1547	5	3.7 ± 0.4	2.7 ± 0.1	4	73.8
Hg	NRC MESS-3 ⁴⁾	5	0.091 ± 0.009	0.089 ± 0.004	4	97.8

¹⁾Number of samples. ²⁾National Institute of Standard and Technology.

³⁾Values are not certified and are given for information only. ⁴⁾National Research Council Canada.

를 5% 질산에 희석하여 0.1~1000 µg/kg로 조제한 뒤, ICP-MS로 측정하여 검량선을 작성한 결과 납, 카드뮴, 크롬, 구리 모두 0.9999 이상의 정의 상관관계(r²)를 보였다. 수은은 2.53~1004.00 ng 범위가 되도록 표준인증물질 Mess-3을 취한 후 Mercury Analyzer로 측정하여 검량선을 작성한 결과 0.9999의 정의 상관관계(r²)를 보였다.

Miller와 Miller(32)의 방법에 따라 ICP-MS와 Mercury Analyzer를 이용한 각각 금속별 표준용액 측정값을 토대로 검출한계(Limit of detection, LOD) 및 정량한계(Limit of quantitation, LOQ)를 구한 결과, 납, 카드뮴, 크롬, 구리의 검출한계는 0.034, 0.004, 1.826, 0.448 µg/kg이고, 정량한계는 0.113, 0.013, 6.088, 1.493 µg/kg이다. 수은은 반응의 표준편차와 검량선 기울기에 근거하여 다음과 같은 방법에 따라 검출한계와 정량한계를 구한 결과 각각 0.047, 0.155 µg/kg 이었다.

$$LOD = 3.3 \times \frac{\text{Standard deviation of the blank}}{\text{The slope of the calibration curve}}$$

$$LOQ = 10 \times \frac{\text{Standard deviation of the blank}}{\text{The slope of the calibration curve}}$$

정확도 및 정밀도

실험방법의 유효성을 검증하기 위하여 회수율에 따른 정확성 및 정밀도를 살펴본 결과는 Table 4와 같다. 정확도를 확인하기 위하여 Table 4와 같이 납, 카드뮴, 크롬, 구리의 경우 표준인증물질인 Peach Leaves(NIST CRM 1547)를 사용하여 분석시료와 동일하게 처리한 후 ICP-MS로 측정하여 회수율을 구하였으며, 수은은 NRC의 Mess-3를 사용하여 Mercury Analyzer로 측정하여 회수율을 파악하였다. 그 결과 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은의 회수율은 각각 72.4, 99.5, 83.0, 73.8, 98.7%였다. 또한 정밀도를 파악하기 위하여 변동계수(Coefficient of variation, %)를 구하였으며, 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은 각각 2, 6, 7, 4, 4%였다.

중금속 함량

서울시 내에 유통 중인 환(丸)형태 일반가공식품 18종 총 52건을 대상으로 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은 함량을 측정된 결과는 Table 5와 같다.

우리나라의 식품관련 중금속 규제 현황을 살펴보면 농·

수산물, 가공식품 및 식품첨가물 등에 대하여 총 중금속 및 개별 중금속에 대한 기준이 다음과 같이 설정되어 있다. 농산물의 납, 카드뮴 기준은 0.1~0.3, 0.05~0.2 mg/kg 이하, 수산물의 납, 총 수은, 카드뮴 기준은 0.5~2.0, 2.0, 0.5 mg/kg 이하, 일반가공식품에 대한 중금속 기준은 식용유지 가공품 또는 당류가공품에 한해서 10 mg/kg 이하로 설정되어 있다. 또한 식품의약품안전청고시 제 2005-62호 “생약 등의 중금속 허용기준 및 시험방법”에서는 식물성 생약(한약)에서 납, 비소, 수은, 카드뮴 기준을 각각 5, 3, 0.2, 0.3 mg/kg 이하로 개별 중금속별 허용기준을 규정하고 있으며, WHO에서는 납, 카드뮴의 약재 내 허용량을 10, 0.3 mg/kg으로 규정하고 있다(33).

납, 카드뮴, 수은은 일본 국립의약품식품위생연구소에서 내분비계 장애 추정물질로 간주되고 있으며, 미국 일리노이주 환경청(IEPA; Illinois Environmental Protection Agency)에서는 가능성 있는 물질로(Probable Category: 동물실험 및 생물학적 실험에서 내분비계 장애 작용의 상당한 증거가 있는 화합물), 국제암연구기관(IARC; International Agency for Research on Cancer)에서는 납, 카드뮴, 수은 각각 Group 2B(사람에 대해 발암성이 의심됨), Group 1(사람에 대해 발암성 있음), Group 3(사람에 대한 발암성 여부에 대해 분류할 수 없음)으로 분류되어있다(34).

환(丸)형태 일반가공식품에서 조사된 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은 함량을 살펴보면 평균 0.421(0.032~1.630), 0.157(0.011~0.515), 1.033(0.112~9.933), 6.923(1.333~16.755), 0.010(0.001~0.088) mg/kg으로 Kim 등(35)의 농산물 중 납, 카드뮴, 수은 함량이 0.001~0.085, 0.000~0.108, 0.000~6.637 mg/kg과 비교해볼 때 납, 카드뮴은 다소 높은 수준이었으나, 수은 함량은 다소 낮았다. 또한 한약재 중 납, 카드뮴, 수은 이 ND~11.413, 0.001~1.989, 0.001~0.117 mg/kg이었다는 Han 등(21)의 보고와 Yim 등(36)의 납, 카드뮴, 수은의 함량이 0.00~307, 0.00~1.26, 0.001~1.59 mg/kg이었다는 보고와는 비슷한 수준이었다. 이것은 환(丸)형태로 유통 중인 일반가공식품 또한 제조과정에서 건조원료를 사용하기 때문이라고 생각한다. 또한 환(丸)형태 일반가공식품은 다소 저렴한 가격으로 손쉽게 구입해서 장기간 섭취하게 되므로, 원료의 수분함량에 따른 섭취량과 섭취횟수를 고려할 때 높

Table 5. The content of heavy metals in herbal pills

Classification by used part	Main material	N ¹⁾	Pb (mg/kg) mean (range)	Cd (mg/kg) mean (range)	Cr (mg/kg) mean (range)	Cu (mg/kg) mean (range)	Hg (mg/kg) mean (range)
Algae	<i>Laminaria Japonica</i>	4	0.375 ^{ab2)} (0.144~0.611)	0.304 ^c (0.193~0.431)	1.579 ^{ab} (0.444~3.020)	2.295 ^a (1.333~2.972)	0.023 ^c (0.017~0.028)
	<i>Eucommiae Cortex</i>	1	0.930	0.175	1.291	4.146	0.013
Cortex	<i>Acanthopanax Cortex</i>	1	0.328	0.287	0.370	6.836	0.007
	Total	2	0.629 ^b (0.328~0.930)	0.231 ^{bc} (0.175~0.287)	0.831 ^{ab} (0.370~1.291)	5.491 ^{ab} (4.146~6.836)	0.010 ^{abc} (0.007~0.013)
Fructus	<i>Mume Fructus</i>	1	0.409	0.011	0.512	1.695	0.001
	<i>Rubi Fructus</i>	2	0.128 (0.113~0.144)	0.096 (0.090~0.102)	0.783 (0.691~0.874)	5.890 (5.831~5.948)	0.002 (0.002~0.003)
	Total	3	0.222 ^a (0.113~0.409)	0.068 ^a (0.011~0.102)	0.693 ^{ab} (0.512~0.874)	4.491 ^{ab} (1.695~5.948)	0.002 ^a (0.001~0.003)
Mushroom	<i>Lentinus edodes</i>	1	0.526 ^b	0.394 ^d	0.574 ^{ab}	10.364 ^d	0.016 ^{abc}
Radix	<i>Angelicae Gigantis Radix</i>	1	0.830	0.338	2.230	5.867	0.004
	<i>Platycodonis Radix</i>	4	0.542 (0.304~0.914)	0.168 (0.129~0.204)	0.765 (0.270~1.264)	4.703 (2.726~6.100)	0.014 (0.002~0.045)
	Total	5	0.600 ^b (0.304~0.914)	0.202 ^b (0.129~0.338)	1.058 ^{ab} (0.270~2.230)	4.936 ^{ab} (2.726~6.100)	0.012 ^{abc} (0.002~0.045)
Rhizoma	<i>Alli Bulbus</i>	3	0.205 (0.114~0.254)	0.052 (0.035~0.066)	0.329 (0.118~0.528)	4.356 (3.407~5.950)	0.005 (0.003~0.008)
	<i>Dioscorea batatas Decaisne</i>	1	0.104	0.088	0.353	5.424	0.002
	Total	4	0.179 ^a (0.104~0.254)	0.061 ^a (0.035~0.088)	0.335 ^a (0.118~0.528)	4.623 ^{ab} (3.407~5.950)	0.004 ^{ab} (0.002~0.008)
Semen	<i>Carthami Tinctorii Seed</i>	1	0.168	0.238	0.515	10.102	0.001
	<i>Dolichoris Semen</i>	17	0.128 (0.032~0.328)	0.063 (0.035~0.120)	0.314 (0.112~1.209)	9.226 (4.091~12.459)	0.005 (0.001~0.031)
	<i>Glycine Semen Nigra</i>	3	0.322 (0.104~0.642)	0.086 (0.054~0.124)	2.020 (0.189~4.544)	10.924 (4.970~16.755)	0.007 (0.001~0.018)
	<i>Oryzae Semen</i>	1	0.054	0.031	0.219	4.460	0.035
	Total	22	0.153 ^a (0.032~0.642)	0.072 ^a (0.053~0.238)	0.552 ^{ab} (0.157~4.544)	9.280 ^c (6.962~16.755)	0.007 ^{abc} (0.001~0.035)
Herba	<i>Artemisiae Capillaris Herba</i>	7	0.979 (0.347~1.630)	0.353 (0.283~0.515)	1.420 (0.404~3.956)	6.610 (3.568~12.459)	0.007 (0.004~0.014)
	<i>Leonuri Herba</i>	2	1.292 (1.242~1.343)	0.143 (0.136~0.149)	1.519 (0.604~2.434)	5.684 (5.519~5.850)	0.049 (0.011~0.088)
	<i>Potentilla kleiniana</i>	1	0.884	0.227	9.933	7.165	0.014
	Total	10	1.032 ^c (0.347~1.630)	0.298 ^c (0.136~0.515)	2.291 ^b (0.404~9.933)	6.480 ^{bc} (3.568~12.459)	0.016 ^{abc} (0.004~0.088)
Others	<i>Batryticatus Bombyx</i>	1	0.557	0.045	1.412	3.876	0.019 ^{bc}
	<i>Lentinus edodes</i>	1	0.526	0.394	0.574	10.364	0.016 ^{abc}
	Total	1	0.542 ^b (0.526~0.557)	0.220 ^{bc} (0.045~0.394)	0.993 ^{ab} (0.574~1.412)	7.12 ^{bc} (3.876~10.364)	0.018 ^{abc} (0.016~0.019)
Total		52	0.421 (0.032~1.630)	0.157 (0.011~0.515)	1.033 (0.112~9.933)	6.923 (1.333~16.755)	0.010 (0.001~0.088)

¹⁾Number of samples.

²⁾Means with different letters differ significantly from each other (p<0.05).

은 수분함량과 일상적으로 섭취하게 되는 농산물보다는 높고 단기간 섭취하게 되는 한약재보다는 낮은 중금속의 기준 설정이 필요하다고 생각한다.

낮은 산업계에 다양한 사용으로 인해 주목받는 미량금속

으로 인체에 축적 독성이 강하고, 중독 증상으로는 헤모글로빈 합성저해 및 혈구 수명 단축으로 인한 빈혈, 식욕부진, 소화불량, 뇌신경 장애 등이 알려져 있다(37). 납의 평균 검출량은 평균 0.421(0.032~1.630) mg/kg으로 농산물, 수산물

의 기준인 0.1~0.3, 0.5~2.0 mg/kg보다는 다소 높은 수준으로 검출되었으나 국내 한약재의 기준인 5 mg/kg 또는 WHO 기준인 10 mg/kg보다는 낮게 검출되었다. 또한 제품에 사용된 부위별 납 검출수준을 살펴보면 잎(Herba) 1.032 mg/kg > 껍질(cortex) 0.629 mg/kg > 뿌리(radix) 0.600 mg/kg > 해조류(algae) 0.375 mg/kg > 열매(fructus) 0.222 mg/kg > 뿌리줄기(Rhizoma) 0.179 > 씨(semen) 0.153 mg/kg 순서였다. 사용된 식물의 부위 중 잎을 원료로 사용한 제품이 다른 부위에 비해서 유의적인 수준에서 높았으며, 과실, 뿌리줄기 및 씨 부위가 다른 부위에 비해 납 함량이 유의적으로 낮았다. 이것은 과실, 씨 부위가 다른 부위에 비하여 중금속 함량이 적었다는 Kim 등(38)의 보고와 유사한 결과를 나타내었다.

카드뮴은 중금속 중에서도 오염지역의 오염정도를 판단하는 기준적인 원소로 알려져 있다. 카드뮴이 심각하게 오염된 지역에서는 고혈압 등 순환기 계통의 환자들이 많고 사망과 빈혈이 초래된다는 것이 지적된 바 있는데 이는 카드뮴이 다른 2가 이온인 구리, 아연, 철의 흡수를 방해하기 때문인 것으로 추정되고 있다. 급성중독 증세는 멀미, 구토, 설사, 두통, 심한통증, 근육통 등이며 만성중독의 경우에는 간이나 신장에 피해를 주어 단백뇨를 일으키며 장기간 노출 시 빈혈, 골 소실 및 결절 등의 증상이 나타난다(39,40). 카드뮴의 평균 검출량은 평균 0.157(0.011~0.515) mg/kg으로 농산물의 기준인 0.05~0.2 mg/kg 이하를 초과하는 제품이 16건 있었으며, 한약재 카드뮴 기준인 0.3 mg/kg을 초과하는 품목이 10건 있었다. 이 결과는 총 315건 검사 중 29건의 한약재에서, 총 600건 중 69건의 한약재에서 카드뮴이 기준을 초과하였다는 Han 등(21)과 Yim 등(36)의 보고보다 더 높은 비율을 나타내었다. 한약재의 카드뮴 기준인 0.3 mg/kg을 초과하는 품목은 해조류인 다시마를 원료로 한 환제품 총 4건 중 2건(0.431, 0.370 mg/kg), 인진쑥환 총 7건 중 5건(0.315~0.515 mg/kg), 당귀환 1건(0.338 mg/kg), 표고버섯환 1건(0.394 mg/kg)이었다. 이것은 유통한약재의 약용부위에 따른 중금속 중 납, 비소, 수은에 비하여 카드뮴이 기준을 초과하는 부적합 제품이 많았다는 Kim 등(38)의 보고와 동일한 결과를 나타내었다. Seo 등(41)의 연구를 보면 한약재는 물에 달여서 탕액의 형태로 섭취하게 되는데, 약재에 존재하는 중금속이 탕액 제조 시에는 Pb, Cd, Hg 각각 94.8, 95.9, 33.3%로 감소하여, 원료자체의 잔류하는 중금속보다는 실제로 섭취하는 양은 미미한 수준이 된다고 보고하고 있다. 그러나 본 조사대상인 환(丸)제품은 제품 그 자체를 섭취하게 되므로 함유된 중금속에 대한 문제점이 더 커질 수 있다. 따라서 질병예방 및 건강증진을 목적으로 섭취하고 있는 환(丸)형태 일반가공식품에 대한 조속한 카드뮴의 기준설정 및 관리가 필요한 실정이다. 사용된 부위별 카드뮴 검출량을 살펴보면 해조류(algae) 0.304 mg/kg > 잎(Herba) 0.298 mg/kg > 껍질(cortex) 0.231 mg/kg > 뿌리(radix) 0.202 mg/kg > 씨(semen) 0.072 mg/kg > 열매(fructus) 0.068 mg/kg > 뿌리

줄기(rhizoma) 0.061 mg/kg 순서로 검출되었다. 카드뮴 또한 해조류와 잎을 사용한 제품에서 유의적인 수준으로 높게 잔류하여 납과 같은 양상을 나타내었다.

수은의 중독증상은 만성 시 입·잇몸에 염증, 신장손상, 경련, 신경과민, 중추·말초신경계에 영향, 빈혈 등을 일으키며 급성중독 시 혈 설사, 심한 오심, 구토, 복부 통증, 신장 손상 등을 일으키는 것으로 알려져 있다(42). 수은의 평균 검출량은 0.010(0.001~0.088) mg/kg으로 한약재 기준(0.2 mg/kg 이하)에 비해 낮은 수준이었다. 수은의 사용부위별 함량은 해조류(algae) 0.023 mg/kg > 잎(Herba) 0.016 mg/kg > 뿌리(radix) 0.012 mg/kg > 껍질(cortex) 0.010 mg/kg > 씨(semen) 0.007 mg/kg > 뿌리줄기(rhizoma) 0.004 mg/kg > 열매(fructus) 0.002 mg/kg이었다. 수은은 해조류를 원료로 사용한 제품에서의 잔류량이 다른 부위에 비해 유의적으로 높았다.

크롬이 인체에 유해하게 작용하는 것은 6가 크롬을 포함하는 크롬산과 중크롬산이며 호흡기, 피부 등을 통해 체내로 유입되어 간, 신장, 골수에 축적되며 신장, 대변을 통해 배출되나, 과량 섭취 시 간의 궤양이나 변성을 일으키며 호흡기암의 추정물질로 규정되어있다. 현재 농산물과 한약재에 기준이 설정되어있지 않은 크롬의 평균 검출량은 1.033(0.112~9.933) mg/kg이었다. 부위별 크롬의 검출함량은 잎(Herba) 2.291 mg/kg > 해조류(algae) 1.579 mg/kg > 뿌리(radix) 1.058 mg/kg > 껍질(cortex) 0.831 mg/kg > 열매(fructus) 0.693 mg/kg > 씨(semen) 0.552 mg/kg > 뿌리줄기(rhizoma) 0.335 mg/kg이었다. 크롬 또한 다른 중금속과 같이 잎을 원료로 사용한 제품에서의 잔류량이 다른 부위에 비하여 유의적인 수준으로 높았으며, 뿌리줄기를 사용한 제품에서의 잔류량이 유의적인 수준으로 낮았다. 식물은 토양을 기반으로 자라기 때문에 토양에 접촉하는 뿌리 및 뿌리줄기의 중금속함량이 높을 것이라는 예상과는 반대로 본 조사결과에서는 뿌리줄기의 중금속 함량이 낮았는데, 이것은 본 조사에 사용된 뿌리줄기는 마늘과 마로 중량에 비해 토양과의 접촉된 면이 다소 작기 때문으로 생각한다.

구리는 인체의 구성성분으로서 신장, 간장, 조직에 함유되어 있으며 단백질과 결합하여 금속의 운반체, 철의 산화에 관여하는 등 필수성분이나 과량 섭취 시 구토, 저혈압, 흑토증, 위장관의 자극, 황달 및 간장과 신장의 퇴화를 유발한다. 구리의 평균 검출량은 6.923(1.333~16.755) mg/kg이었으며, 부위별 구리의 검출량은 씨(semen) 9.280 mg/kg > 잎(Herba) 6.480 mg/kg > 껍질(cortex) 5.491 mg/kg > 뿌리(radix) 4.936 mg/kg > 뿌리줄기(rhizoma) 4.623 mg/kg > 열매(fructus) 4.491 mg/kg > 해조류(algae) 2.295 mg/kg이었다. 다른 중금속에 비해 구리의 경우 해조류를 사용한 제품에서의 잔류량이 유의적인 수준으로 낮았다.

대부분의 중금속에서 중량 당 표면적이 넓은 잎(Herba)이나 해조류(algae)에서의 중금속 잔류량이 높은 것으로 나타

Table 6. Correlation coefficients among heavy metal contents

	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg
Pb	1.000				
Cd	0.633**	1.000			
Cr	0.453**	0.354**	1.000		
Cu	-0.106	-0.160*	-0.060	1.000	
Hg	0.299**	0.142	0.109	-0.212**	1.000

*p<0.05, **p<0.01, respectively.

났는데, 잎(Herba)의 중금속별 평균 함량은 Cu 6.480 mg/kg > Cr 2.291 mg/kg > Pb 1.032 mg/kg > Cd 0.298 mg/kg > Hg 0.016 mg/kg 순서로 나타났다.

제품별 잔류되어있는 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은의 함량 간의 상관관계는 Table 6과 같다. 납은 카드뮴(r=0.633, p<0.01), 크롬(r=0.453, p<0.01), 수은(r=0.299, p<0.01)과 유의적인 정의 상관관계를 보였다. 이것은 카드뮴이 납광석과 항상 같이 존재한다는 보고(40)와 유사한 경향을 보였다. 카드뮴은 크롬(r=0.354, p<0.01)과 정의 상관관계를 보였으나 구리(r=-0.160, p<0.05)와는 부의 상관관계를 보였다. 구리는 수은(r=-0.212, p<0.01)과 부의 상관관계를 보였다.

위해성 평가

환(丸)형태 일반가공식품 섭취 시 중금속에 대한 안전성을 평가하기 위해 제품을 통한 중금속의 주간섭취량과 PTWI를 비교하여 %PTWI를 구하였다. 납, 카드뮴, 수은은 FAO/WHO 합동 식품첨가물전문가위원회(Joint Expert Committee on Food Additives: JECFA)에서 감시대상이 되는 금속으로서 인간에게 독성이 있어 잠정주간섭취허용량(Provisional Tolerable Weekly Intake: PTWI)을 각각 25, 7, 5 µg/kg/week로 정하여 권고하고 있다(43). 크롬에 대해서는 미국환경보호청(U.S. EPA)의 IRIS 데이터베이스에서 만성경구섭취 참고용량(chronic oral reference dose: RfD)을 찾아 3.0 mg/kg/day을 사용하였으며, 구리는 FAO/WHO 합동식품규격위원회(The Joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission)에서 제시한 1인 1일 최대섭취허용량 PMTDI (Provisional Maximum Tolerable Daily Intake) 0.5 mg/kg/day를 이용하였다(44).

ICP-MS 및 Mercury Analyzer를 이용하여 조사한 제품별 중금속 함량, 유통 환(丸)제품에 표시되어 있는 1회 섭취량 및 1일 섭취횟수에 따른 제품의 1일 섭취량, 한국표준과학연구원에서 제시하고 있는 2009년 성인 남자 69.5 kg과 여자 53.5 kg의 평균인 61.5 kg을 이용하여 유통 중인 환(丸)형태 일반가공식품을 통한 중금속의 주간노출량을 산출하였다. 또한 PTWI, chronic oral reference dose, PMTDI를 이용한 납, 카드뮴, 수은, 크롬, 구리의 PTWI를 각각 25, 7, 5, 21, 3500 µg/kg/week로 산정하여 금속별 주간노출량에 대한 %PTWI를 구하여 Table 7에 나타내었다.

납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은의 주간섭취량은 각각 평균 0.280(0.018~1.272), 0.113(0.002~0.648), 0.630(0.053~4.975),

6.366(0.289~43.217), 0.011(0.000~0.210) µg/kg bw/week 이었으며, %PTWI는 1.112(0.072~5.088), 1.614(0.029~9.257), 3.000(0.252~23.690), 0.182(0.008~1.235), 0.220(0.000~0.420) %이었다. 따라서 성인을 기준으로 한 %PTWI를 살펴본 결과 환(丸)형태 일반가공식품을 통한 중금속 섭취량은 안전한 수준으로 판단되었다.

또한 FAO/WHO에서 제시하고 있는 잠정1일섭취허용량(PTDI: Provisional Tolerable Daily Intake) 및 PMTDI, IRIS의 만성경구섭취 참고용량(RfD)을 참고로 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은의 PTDI를 각각 3.6, 1, 3, 500, 0.7 µg/kg/day로 하여, 환(丸)형태 일반가공식품을 통한 금속별 1일 섭취량에 대한 유해지수를 아래와 같은 방법으로 구하여 Table 8에 나타내었다. 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은의 유해지수는 평균 0.011(0.001~0.050), 0.016(0.000~0.093), 0.030(0.003~0.237), 0.002 (0.000~0.012), 0.002(0.000~0.043)이었다.

$$\text{유해지수} = \frac{\text{환(丸)형태 일반가공식품을 통한 체중 1 kg당 1일 중금속 섭취량}(\mu\text{g/kg bw/day})}{\text{잠정1일섭취허용량(PTDI)}(\mu\text{g/kg/day})}$$

이상으로 환(丸)형태 일반가공식품 섭취 시 중금속에 대한 유해성은 안전한 것으로 평가할 수 있으나, 본 조사대상 제품은 건강증진을 목적으로 섭취하는 것으로 일반 식생활에서의 중금속 섭취량과 함께 총 중금속 노출량 및 위해성을 평가하여야 할 것이다.

요 약

본 연구는 시중에 유통되고 있는 환(丸)형태 일반가공식품 18종 총 52건을 microwave로 습식분해 후 ICP-MS 및 Mercury Analyzer를 이용하여 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은 잔류량을 분석한 결과, 평균 0.421(0.032~1.630), 0.157(0.011~0.515), 1.033(0.112~9.933), 6.923(1.333~16.755), 0.010(0.001~0.088) mg/kg이 검출되었다. 사용된 부위별 납 검출 수준을 살펴보면 잎(Herba, 1.032 mg/kg)이 다른 부위에 비해서 유의적인 수준으로 높았으며, 열매(fructus, 0.222 mg/kg), 뿌리줄기(Rhizoma, 0.179), 씨(semen, 0.153 mg/kg) 부위의 납 함량이 유의적으로 낮았다(p<0.05). 카드뮴 또한 해조류(algae, 0.304 mg/kg), 잎(0.298 mg/kg)을 사용한 제품에서 유의적인 수준으로 높게 잔류하였다(p<0.05). 또한 카드뮴은 다시마를 원료로 한 환제품 총 4건 중 2건(0.431, 0.370 mg/kg)에서, 인진쑥환 총 7건 중 5건(0.315~0.515 mg/kg)에서, 당귀환 1건(0.338 mg/kg), 표고버섯환 1건(0.394 mg/kg)에서 한약재 기준인 0.3 mg/kg을 초과하는 수준으로 검출되었다. 따라서 환(丸)형태 일반가공식품에 대한 카드뮴의 조속한 기준설정 및 관리가 필요한 실정이다. 대부분의 중금속 잔류량이 높았던 잎(Herba)의 중금속별 평균 함량은 Cu 6.480 mg/kg > Cr 2.291 mg/kg > Pb 1.032 mg/kg > Cd 0.298 mg/kg > Hg 0.016 mg/kg 순서로 나타났다. 환(丸)형

Table 7. Total weekly intakes of heavy metals in herbal pills

Classification by used part	N ¹⁾	Pb		Cd		Cr		Cu		Hg	
		Total weekly intake (µg/kg bw/week) mean (range)	% PTWI ²⁾ mean (range)	Total weekly intake (µg/kg bw/week) mean (range)	% PTWI ²⁾ mean (range)	Total weekly intake (µg/kg bw/week) mean (range)	% PTWI ³⁾ mean (range)	Total weekly intake (µg/kg bw/week) mean (range)	% PTWI ⁴⁾ mean (range)	Total weekly intake (µg/kg bw/week) mean (range)	% PTWI ²⁾ mean (range)
Algae	4	0.207 (0.098~0.292)	0.829 (0.393~1.168)	0.169 (0.152~0.206)	2.421 (2.165~2.941)	0.836 (0.303~1.375)	3.980 (1.444~6.547)	1.378 (0.910~2.334)	0.039 (0.026~0.067)	0.013 (0.010~0.017)	0.268 (0.199~0.344)
Cortex	2	0.382 (0.097~0.667)	1.528 (0.389~2.667)	0.105 (0.085~0.125)	1.502 (1.215~1.789)	0.518 (0.110~0.926)	2.465 (0.522~4.408)	2.498 (2.023~2.973)	0.071 (0.058~0.085)	0.006 (0.002~0.009)	0.114 (0.044~0.184)
Fructus	3	0.068 (0.050~0.084)	0.271 (0.200~0.334)	0.033 (0.002~0.052)	0.475 (0.028~0.750)	0.301 (0.087~0.507)	1.431 (0.417~2.416)	2.105 (0.289~3.385)	0.060 (0.008~0.097)	0.001 (0.000~0.001)	0.018 (0.005~0.027)
Radix	5	0.402 (0.176~0.736)	1.608 (0.705~2.946)	0.135 (0.075~0.300)	1.924 (1.074~4.287)	0.736 (0.169~1.980)	3.505 (0.807~9.428)	3.091 (1.861~5.209)	0.088 (0.053~0.149)	0.007 (0.002~0.023)	0.131 (0.034~0.466)
Rhizoma	4	0.088 (0.040~0.177)	0.353 (0.162~0.707)	0.037 (0.006~0.072)	0.531 (0.080~1.030)	0.194 (0.053~0.379)	0.923 (0.250~1.803)	2.726 (0.543~4.445)	0.078 (0.016~0.127)	0.002 (0.001~0.005)	0.048 (0.011~0.109)
Semen	22	0.165 (0.018~0.798)	0.659 (0.070~3.192)	0.078 (0.021~0.219)	1.120 (0.304~3.125)	0.534 (0.089~2.222)	2.541 (0.422~10.579)	10.951 (1.358~43.217)	0.313 (0.039~1.235)	0.013 (0.001~0.210)	0.269 (0.012~4.199)
Herba	10	0.602 (0.097~1.272)	2.408 (0.387~5.088)	0.198 (0.029~0.648)	2.830 (0.414~9.260)	0.998 (0.239~4.975)	4.753 (1.137~23.689)	3.559 (0.598~6.740)	0.102 (0.017~0.193)	0.013 (0.001~0.090)	0.268 (0.012~1.794)
Others	2	0.386 (0.305~0.467)	1.542 (1.218~1.866)	0.188 (0.025~0.350)	2.675 (0.353~4.996)	0.640 (0.509~0.771)	3.049 (2.425~3.673)	5.659 (2.117~9.201)	0.162 (0.060~0.263)	0.013 (0.011~0.014)	0.251 (0.212~0.290)
Total	52	0.280 (0.018~1.272)	1.120 (0.072~5.088)	0.113 (0.002~0.648)	1.614 (0.029~9.257)	0.630 (0.053~4.975)	3.000 (0.252~23.690)	6.366 (0.289~43.217)	0.182 (0.008~1.235)	0.011 (0.000~0.210)	0.220 (0.000~0.420)

¹⁾Number of samples.

²⁾Total weekly intake ÷ PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake by Joint WHO/FAO).

³⁾Total weekly intake ÷ IRfD (Values are equivalent of PTDI derived from chronic oral reference dose available from U.S. EPA IRIS database) × 7).

⁴⁾Total weekly intake ÷ (PMTDI (Provisional Maximum Tolerable Daily Intake by Joint WHO/FAO) × 7).

Table 8. Hazard quotients of heavy metals in herbal pills

Classification by used part	N ¹⁾	Pb		Cd		Cr		Cu		Hg	
		Total daily intake (µg/kg bw/day) mean (range)	Hazard quotient ²⁾	Total daily intake (µg/kg bw/day) mean (range)	Hazard quotient ²⁾	Total daily intake (µg/kg bw/day) mean (range)	Hazard quotient ³⁾	Total daily intake (µg/kg bw/day) mean (range)	Hazard quotient ⁴⁾	Total daily intake (µg/kg bw/day) mean (range)	Hazard quotient ²⁾
Algae	4	0.030 (0.014~0.042)	0.008 (0.004~0.012)	0.024 (0.022~0.029)	0.024 (0.022~0.029)	0.119 (0.043~0.196)	0.040 (0.014~0.065)	0.197 (0.130~0.333)	0.0003 (0.000~0.001)	0.002 (0.001~0.002)	0.003 (0.002~0.004)
Cortex	2	0.055 (0.014~0.095)	0.015 (0.004~0.026)	0.015 (0.012~0.018)	0.015 (0.012~0.018)	0.074 (0.016~0.132)	0.025 (0.005~0.044)	0.357 (0.289~0.425)	0.001 (0.000~0.001)	0.001 (0.000~0.001)	0.001 (0.000~0.002)
Fructus	3	0.010 (0.007~0.012)	0.003 (0.002~0.003)	0.005 (0.000~0.007)	0.005 (0.000~0.007)	0.043 (0.012~0.072)	0.014 (0.004~0.024)	0.301 (0.041~0.484)	0.001 (0.000~0.001)	0.000 (0.000~0.000)	0.000 (0.000~0.000)
Radix	5	0.057 (0.025~0.105)	0.016 (0.007~0.029)	0.019 (0.011~0.043)	0.019 (0.011~0.043)	0.105 (0.024~0.283)	0.035 (0.008~0.094)	0.442 (0.266~0.744)	0.001 (0.000~0.003)	0.001 (0.000~0.003)	0.001 (0.000~0.005)
Rhizoma	4	0.013 (0.006~0.025)	0.004 (0.002~0.007)	0.005 (0.001~0.010)	0.005 (0.001~0.010)	0.028 (0.008~0.054)	0.009 (0.003~0.018)	0.389 (0.078~0.635)	0.001 (0.000~0.001)	0.0003 (0.000~0.001)	0.0003 (0.000~0.001)
Semen	22	0.024 (0.003~0.114)	0.007 (0.001~0.032)	0.011 (0.003~0.031)	0.011 (0.003~0.032)	0.076 (0.013~0.317)	0.025 (0.004~0.106)	1.564 (0.194~6.174)	0.003 (0.000~0.012)	0.002 (0.000~0.030)	0.003 (0.000~0.043)
Herba	10	0.086 (0.014~0.182)	0.024 (0.004~0.050)	0.028 (0.004~0.093)	0.028 (0.004~0.093)	0.143 (0.034~0.711)	0.048 (0.011~0.237)	0.508 (0.085~0.963)	0.001 (0.000~0.002)	0.002 (0.000~0.013)	0.003 (0.000~0.018)
Others	2	0.044 (0.044~0.067)	0.012 (0.012~0.019)	0.004 (0.004~0.050)	0.004 (0.004~0.050)	0.110 (0.073~0.110)	0.037 (0.024~0.037)	0.302 (0.302~1.314)	0.001 (0.001~0.003)	0.002 (0.002~0.002)	0.002 (0.002~0.003)
Total	52	0.040 (0.003~0.182)	0.011 (0.001~0.050)	0.016 (0.000~0.093)	0.016 (0.000~0.093)	0.090 (0.008~0.711)	0.030 (0.003~0.237)	0.909 (0.041~6.174)	1.819 (0.083~12.348)	0.002 (0.000~0.030)	0.002 (0.000~0.043)

¹⁾Number of samples.
²⁾Total daily intake ÷ PTDI (Provisional Tolerable Daily Intake by Joint WHO/FAO).
³⁾Total daily intake ÷ RfD (Values are equivalent of PTDI derived from chronic oral reference dose available from U.S. EPA IRIS database).
⁴⁾Total daily intake ÷ PMTDI (Provisional Maximum Tolerable Daily Intake by Joint WHO/FAO).

태 일반가공식품 섭취 시 중금속에 대한 안전성 평가를 위해 제품을 통한 중금속의 주간섭취량과 FAO/WHO에서 제시하는 잠정주간섭취허용량(PTWI), 1인 1일 최대섭취허용량(PMTDI)과 미국환경보호청(U.S. EPA)의 만성경구섭취 참고용량(RfD)과 비교하여 %PTWI를 구하였다. 금속별 주간섭취량과 %PTWI는 납, 카드뮴, 크롬, 구리, 수은 각각 평균 0.280(0.018~1.272), 0.113(0.002~0.648), 0.630(0.053~4.975), 6.366(0.289~43.217), 0.011(0.000~0.210) $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{week}$ 이었으며, %PTWI는 1.112(0.072~5.088), 1.614(0.029~9.257), 3.000(0.252~23.690), 0.182(0.008~1.235), 0.220(0.000~0.420) %로 환(丸)형태 일반가공식품을 통한 중금속 섭취량은 안전한 수준으로 판단되었다.

문 헌

1. Korea Health Industry Development Institute. 2006. *The tendency of research and development of internal and external natural source remedies. The second: Plan for promotion of natural medicine research & development.* p 1-20.
2. Park BG, Lee HS, Jung SH, Koo YC, Hong CO, Lee SJ, Lee KW. 2007. Single and 14-day repeated oral toxicity study and genotoxicological safety estimate of plantago-side isolated from *Plantago asiatica*. *J Toxicol Pub Health* 23: 79-86.
3. Kim JS, Hwang SW, Kim JM, Ma JY. 2001. Monitoring research for heavy metals as endocrine disruptors in Sibjeondaebotang and its ingredients herbal medicines (II). *YakHak Hoeji* 45: 448-454.
4. Massaro EJ. 1990. *Handbook of Human Toxicology*. Boca Raton Press, New York, USA. p 149-188.
5. Ten KH, King LD, Morris HD. 1971. Complex reaction of zinc with organic matter extracted from sewage sludge. *Soil Sci Soc Am Pro* 35: 748-752.
6. Pstruzzelli G, Guid G, Lubrano L. 1978. Organic matter as an influencing factor on copper and cadmium adsorption by soil. *Water Air Soil Pollut* 9: 263-269.
7. Rhee SJ, Kim SO, Choe WK. 1992. Effect of cadmium dose injection on peroxidative damage in rat liver. *J Korean Soc Food Nutr* 21: 601-607.
8. Jung SY, Rhee SJ, Yang JA. 1996. Effect of dietary vitamin E levels in lipid peroxidation and enzyme activities of anti-oxidative system in brain of cadmium administered rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 25: 575-580.
9. Park YC, Lee SD, Park HM, Kim JB. 2006. Urine and hair metal concentrations in subjects with long term intake of herbal medicine. *J Toxicol Pub Health* 22: 47-54.
10. Ernst E, Coon J. 2001. Heavy metals in traditional Chinese medicines: a systematic review. *Clin Pharmacol Ther* 70: 497-504.
11. Caldas ED, Machado LL. 2004. Cadmium, mercury and lead in medicinal herbs in Brazil. *Food Chem Toxicol* 42: 599-603.
12. Kang SH, Lee SS, Cho SY, Chung YS. 2002. Elemental analysis of herbal medicine, foundry air and hair for the study of human surroundings. *Kor J Env Hlth Soc* 28: 64-71.
13. Hasegawa S, Nakayama K, Iwakiri K, An E, Gomi S, Dan K, Katsumata M, Minami M, Wakabayashi I. 1997. Herbal medicine-associated lead intoxication. *Intern Med* 36: 56-58.
14. Cheng TJ, Wong RH, Lin YP, Hwang YH, Horng JJ, Wang JD. 1998. Chinese herbal medicine, sibship, and blood lead in children. *Occup Environ Med* 55: 573-576.
15. Barthwal J, Nair S, Kakkar P. 2008. Heavy metal accumulation in medicinal plants collected from environmentally different sites. *Kor J Env Hlth Soc* 21: 319-324.
16. Jung RS, Sin DW, Sim Y, Lee JH, Kim SE, Joo IS, Kang SK, Kim KH, Kim HJ, Heo OS, Bang OG. 2002. Monitoring hazardous metals of natural medicines. *The Annual Report of KFDA* 6: 694-702.
17. Jung RS, Sin DW, Lee JH, Kim SE, Joo IS, Kang SK, Heo OS, Shin HS. 2003. Monitoring hazardous metals of natural medicines. *The Annual Report of KFDA* 7: 529-537.
18. Cho JH, Kim DH, Seong RS, Oh MH, Kang IH, Shim YH, Kim EK, Cho CH, Ji SK, Lee CK, Song YS, Oh JS, Won DH, Myung SW, Kim NJ. 2000. Studies on monitoring hazardous substances of natural medicines (I)-Studies on heavy metals and bleaching agent of natural medicines in market-. *The Annual Report of KFDA* 4: 567-582.
19. Hong YJ, Kwak JE, Park WH, Hwang YS, Kim EJ, Park AS, Shin Y, Han EJ, Lee JM, Kim BS, Choi BH. 2006. Trace metal contents of herbal medicines in Seoul area by ICP-MS. *Report of S. I. H. E.* 42: 286-298.
20. Kwak JE, Shin Y, Han CH, Hwang YS, Park AS, Kim DG, Han EJ, Jung SJ, Kim BS, Choi BH, Kim MY. 2007. Heavy metal contents in herbal medicines used as food material from markets in Seoul. *Report of S. I. H. E.* 43: 129-140.
21. Han EJ, Kim DG, Han CH, Kim OH, Kwak JE, Jung SJ, Kim BS, Choi BH. 2008. Heavy metal contents of herbal medicines in common use for food and medicine from markets in Seoul. *Report of S. I. H. E.* 44: 126-139.
22. Lee SD, Park HM, Lee JC, Kook YB. 2003. Concentration of metal in herbal drugs-in crude, remnant after boiling and decoction of herbal drugs-. *J Korean Oriental Med* 24: 59-65.
23. Seo CS, Huang DS, Lee JK, Ha HK, Chun JM, Um YR, Jang S, Shin HK. 2009. Concentration of hazardous substances of before/after a decoction-in prescription of high frequency-. *Kor J Herbology* 24: 13-20.
24. Park MK. 2007. Concentration of heavy metals in Sagunjang-tang, decoction and its ingredient herbal medicines. *J Environ Sci* 16: 241-245.
25. Lee JY, Lee SD. 2002. Comparison of blood metal concentration in *Ohjeok-san (Wuji-san)* treated rats-dose-response relationship and mechanism-. *J Korean Oriental Med* 23: 67-82.
26. Buettner C, Mukamal KJ, Gardiner P, Davis RB, Phillips RS, Mittleman MA. 2009. Herbal supplement use and blood lead levels of United States adults. *J Gen Intern Med* 24: 1175-1182.
27. Park YC, Lee SD. 2009. Cross-sectional study for blood metal concentration in patients with herbal medicine intake. *Korean J Oriental Prev Med Soc* 13: 93-103.
28. WHO. 1997. *Lead (Environmental Health Criteria 3)*. World Health Organization. p 44-54.
29. Reilly C. 1980. *Metal Contamination of Food*. Applied Science Publisher Ltd., London, UK. p 119-122.
30. Reilly C. 1980. *Metal Contamination of Food*. 2nd ed. Elsevier Science Publisher Ltd., London, UK. p 95-98.
31. KFDA. 2008. *Korea Food Code*. Korea Food and Drug Administration. Munsyungsa, Seoul, Korea. p 10-6-11.
32. Miller JC, Miller JN. 1988. *Statistics for analytical chemistry*. 2nd ed. Ellis Horwood Ltd., Chichester, England.
33. WHO. 1998. Quality control methods for medicinal plant

- materials. WHO, Geneva, Switzerland.
34. National Institute of Environmental Research. 2005. The comprehension of endocrine disruptors. <http://www.nier.go.kr>.
 35. Kim HY, Kim JI, Kim JC, Kim JC, Park JE, Lee KJ, Kim SI, Oh JH, Jang YM. 2009. Survey of heavy metal contents of circulating agricultural products in Korea. *Korean J Food Sci Technol* 4: 238-244.
 36. Yim OK, Han EJ, Chung JY, Park KS, Kang IH, Kang SJ, Kim YJ. 2009. The monitoring of some heavy metals in oriental herbal medicines and their intake rates. *Anal Sci Technol* 22: 128-135.
 37. Chung MJ, Shin JH, Lee SJ, Hong SK, Kang HJ, Sung NJ. 1998. Chemical components of wild and cultivated horned rampion, *Phyteuma japonicum* Miq. *Korean J Food & Nutr* 11: 437-443.
 38. Kim DG, Kim BS, Han EJ, Han CH, Kim OH, Choi BH, Hwang IS, Chae YZ, Kim MY, Park SK. 2009. Distribution of hazardous heavy metals in commercial herbal medicines classified by plant parts used in Seoul. *Anal Sci Technol* 22: 504-513.
 39. Kim MH, Kim JS, Sho YS, Chung SY, Lee JO. 2004. Contents of toxic metals in fruits available on Korean markets. *Korean J Food Sci Technol* 6: 523-526.
 40. Ha DC, Ryu GH. 2005. Chemical components of red, white and extruded root ginseng. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 247-254.
 41. Seo CS, Huang DS, Lee JK, Ha HK, Chun JM. 2009. Concentration of heavy metals, residual pesticides and sulfur dioxide of before/after decoction. *J Sasang Constitutional Medicine* 21: 237-246.
 42. Friberg L, Nordberg GF. 1973. A toxicological and epidemiological appraisal. In *Mercury, Mercurials and Mercaptans*. Miller MW, Clarkson TW, eds. Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, USA. p 5.
 43. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). 2000. Safety Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. WHO Food Additives Series 44. International Programme on Chemical Safety and WHO, Geneva. p 273-391.
 44. FAO. 2003. "Summary of evaluations performed by the joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)". ILSI, Geneva.

(2010년 4월 9일 접수; 2010년 6월 10일 채택)