pISSN 1229-1153 *J. Fd Hyg. Safety*
Vol. 27, No. 4, pp. 375~387 (2012)

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

유통 환제의 유해 중금속 함량 및 위해도 평가

이성득* · 이영기[1] · 김무상 · 박석기[1] · 김연선[2] · 채영주
서울시보건환경연구원, [1]단국대학교, [2]한양여자대학

The Content and Risk Assessment of Heavy Metals in Herbal Pills

Sung-deuk Lee*, Young-ki Lee[1], Moo-sang Kim, Seok-ki Park[1], Yeon-sun Kim[2], and Young-zoo Chae
Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment
[1]Dankook University, [2]Hanyang Women's College
(Received June 15, 2012/Revised August 8, 2012/Accepted October 24, 2012)

ABSTRACT - The objective of this study is investigation of contamination levels and assessment of health risk effects of heavy metals in herbal pills. 31 Items and 93 samples were obtained for this investigation from major herbal medicine producing areas, herbal markets and on-line supermarkets from Jan to Jun in 2010. Inductively coupled plasma mass spectrometer method was conducted for the quantitative analysis of Pb, Cd and As. In addition, the mercury analyzer system was conducted for that of Hg without sample digestion. The average contents of heavy metals in samples were as follows : 0.87 mg/kg for Pb, 0.08 mg/kg for Cd, 2.87 mg/kg for As and 0.16 mg/kg for Hg, respectively. In addition, the average contents of heavy metals in different parts of plants, including cortex, fructus, herba, radix, seed, algae and others were 0.63 mg/kg, 3.94 mg/kg, 1.42 mg/kg, 1.05 mg/kg, 0.16 mg/kg, 22.31 mg/kg and 10.17 mg/kg, respectively. After the estimations of dietary exposure, the acceptable daily intake (ADI), the average daily dose (ADD), the provisional tolerable weekly intake (PTWI) and the relative hazard of heavy metals were evaluated. As the results, the relative hazards compared to PTWI in samples were below the recommended standard of JECFA as Pb 3.1%, Cd 0.9%, Hg 0.5%. Cancer risks through slope factor (SF) by Ministry of Environment Republic Korea and Environmental Protection Agency was 4.24×10^{-7} for Pb and 3.38×10^{-4} for As (assuming that the total arsenic content was equal to the inorganic arsenic). Based on our results, possible Pb-induced cancer risks in herbal pills according to parts used including cortex, fructus, herba, radix, seed, algae and others were 1.95×10^{-7}, 1.45×10^{-6}, 2.14×10^{-7}, 6.27×10^{-7}, 1.99×10^{-8}, 3.61×10^{-7} and 9.64×10^{-8}, respectively. Possible As-induced cancer risks in herbal pills by parts used including cortex, fructus, herba, radix, seed, algae and others were 1.54×10^{-5}, 7.24×10^{-5}, 1.23×10^{-4}, 2.02×10^{-5}, 3.25×10^{-6}, 2.18×10^{-3} and 5.67×10^{-6} respectively. Taken together, these results indicate that the majority of samples except for some samples with relative high contents of heavy metals were safe.

Key words: herbal pills, heavy metals contents, PTWI, cancer risks

서 론

과학기술의 발달로 평균수명이 연장되었고, 최근 의료기술의 동향은 치료의 사회적 비용을 감안하여 발생된 질병의 치료보다는 예방과 건강증진의 목적에 치중하고 있어 한약재의 안전성과 품질의 중요성이 강조되고 있다.

이들 한약재는 질병의 치료방법에 따라 탕제, 환제, 산제, 과립제 등의 형태로 제조되어 치료를 목적으로 사용되고 있으며, 최근에는 건강증진의 목적으로 환제의 사용이 증가하고 있다. 약의 제형 중 환제란 가루로 만든 약재에 꿀·풀 등의 부형제를 첨가하여 둥근 모양으로 빚은 약으로서, 부형제의 종류에 따라 밀환, 호환, 수환, 약즙환, 엑스환 등이 있으며, 이들 환제는 약재의 방향성이 커서 가열시 유효성분이 증발하는 경우 많이 제조되며, 약리성분의 흡수가 완만하여 만성질병의 치료에 많이 사용하고, 탕제에 비하여 복용이 편하고 이동과 저장이 간편한 이점이 있다[1]. 최근에는 이러한 장점으로 환제의 주성분이 한약재 외의 쑥, 도라지 등 약리성분을 함유하고 있는 약용식물들도 환제의 주재료가 되고 있으나 이들 환제의 주원료가 되는 약용식물들은 유용한 약리성분 뿐 아니라, 재배·가공 과정 중 유해 중금속에 오염될 가능성이 있다.

*Correspondence to: Sung-deuk Lee, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, 5, Yangnyeongjungang-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 130-864, Korea
Tel: 82-2-968-5098, Fax: 82-2-964-8175
E-mail:lesudu@seoul.go.kr

유통 환제는 의약품용과 식품용으로 구분할 수 있는데, 일반적으로 한방병의원에서 약으로 제조되는 환제를 제외하고, 약제상, 대형마트, 인터넷마트 등에서 유통되는 대부분의 환제는 기타식품으로 제조・분류되어 우리나라의 품질관리기준 중 성상 및 이물의 기준만을 적용받아 다른 유해물질에 대한 검증절차 없이 제조되어 유통되고 있다.

현대사회의 급속한 산업화와 공업화에 따른 매연, 폐수 등의 유출로 환경이 오염되었고, 토양이 산성화되면서 중금속의 용해도를 증가시켜, 토양 중 중금속의 오염 가능성을 높이고 있으며, 이들 지역에서 재배된 약용식물들은 중금속을 흡착하고 다시 먹이사슬을 통해 인체에 유입되어, 장기간 섭취되는 경우 만성중독을 일으킬 수 있다.

국제식품첨가물위원회(JECFA)[2]는 식물의 재배 토양, 수질 및 사용 용기 등에 관련되어 식품의 중금속 문제를 제기하였으며, 중금속의 인체 내 축적 독성 때문에 일일섭취허용량(ADI)보다는 잠정주간섭취허용량(PTWI)으로 오염도를 비교하도록 권장하고 있고, 세계보건기구(WHO)[3]는 의약품용 약용식물과 관련하여 중금속 함량(mg/kg)을 납 10, 카드뮴 0.3 이하로 권고하고 있으며, 우리나라[4]에서는 식약청 고시 중 “생약 등의 잔류허용기준 및 시험방법”에 중금속(mg/kg) 기준을 납 5.0, 카드뮴 0.3, 비소 3.0 및 수은 0.2와 생약 및 생약의 추출물에 총중금속을 30이하로 기준을 설정하여 관리하고 있다. 또한 미국의 독성물질질병등록국(ATSDR)[5]의 CERCLA (Comprehentive Environ mental Response, Compensation, and Liability act)는 발생빈도, 독성 및 노출가능성을 고려하여 인간에게 노출될 수 있는 유해독성물질 275종을 지정하고 있는데, 우선순위목록에서 비소, 납, 카드뮴, 수은이 10위내에 포함되어 있어 일상생활에 밀접한 유해물질로 인정되고 있다.

유럽연합도 약용식물 중 중금속 오염과 관련하여 허브 및 향료식물의 안전 생산기준을 제정하여 권장하고 있고, 호주와 뉴질랜드는 중금속 오염 특성을 감안하여 특정 인구집단에 대한 식이 교육 및 생산 환경관리를 통하여 위해도를 낮추도록 가이드라인을 정하고 있으며, 또한 캐나다는 원료물질 뿐 아니라 개별 생약제제에 대한 중금속 기준까지 설정하여 관리하고 있다[6]. 그러나 중국 등 세계 각지에서 발생하고 있는 급격한 산업화에 따른 환경의 중금속 오염은 계속되고 있고, 국외에서 수입되는 한약재의 80% 이상이 국외에서 수입되고 있는 상황에서 식품재료로 수입되는 한약재는 수입하는 동안 중금속 오염에 대한 검증절차가 없으며, 수입한 식품용 한약재를 가공하여 환제로 제조되어도 중금속에 대한 안전조치가 없는 실정이다. 또한 국내외에서 한약재 및 식품에 관련하여 중금속에 오염에 관한 연구가 진행되고 있으나, 기타식품으로 분류된 환제는 품질관리 기준 중 중금속 기준의 적용을 받지 않아 이에 대한 조사가 미흡한 실정이다.

본 조사에서는 최근 식품 중 기타가공품으로 분류된 환제의 주원료인 한약재 사용과 관련하여 유해 중금속인 납, 카드뮴, 비소 및 수은의 오염실태를 조사하였고 위해도를 평가하였다.

재료 및 방법

실험재료

2010년 1~6월 중 서울 경동약령시 한약재 판매업소, 인터넷 상점 등에서 기타가공품으로 분류되어 판매 중인 93품목 (31종 × 3건)의 환제를 수집하여 시험 재료로 하였다.

환제의 제조에 사용된 주원료를 기준으로 표피류 2종 (오가피, 유근피), 열매류 7종 (백년초, 구기자, 헛개열매, 오자[복분자, 구기자, 오미자, 토사자, 사상자], 석류, 속편[맥아, 진피, 산사, 창출, 백복령, 감초], 산수유), 잎류 8종 (뽕잎, 구절초, 익모초, 인진쑥, 민들레, 녹차, 삼백초, 솔잎), 뿌리류 8종 (칡, 도라지, 흑모[도라지, 하수오, 검정콩, 검정깨], 황기, 강황, 마늘, 하수오, 당귀), 종자류 2종 (은행, 홍화씨), 해조류 3종 (다시마, 함초, 톳), 기타 (청국장) 1종으로 분류하였다(Table 1).

수집한 환제는 균질화하기 위하여 믹서 (대성아트론 DA338, Seoul, Korea)로 100 mesh 이하의 분말로 만든 후 냉동고(–20°C)에 보관하면서 시험재료로 사용하였다.

분석시약

납, 카드뮴 및 비소의 시험용액의 조제에는 H_2O_2및 HNO_3 (Electronic grade, Dong Woo Fine Chem, Seoul, Korea) EP-S급을 사용하였고, 이들 중금속의 표준용액은 Multi-element standard (10 μg/mg, Agilent, Santa Clara, CA, USA)를 사용하였으며, 또한 회수율 검정에는 미국 국립 표준연구원의 표준인증물질(1547: Peach Leaves, National Institute of Standards & Technology)을 사용하였다.

수은 표준용액과 분석용 첨가제는 Hg standard solution (1,000 mg/kg, Kanto Chemical Co, Tokyo, Japan)과 HG-MHT, HG-BHT (Nippon Instrument Co., Japan)을 각각 사용하였다.

분석기기

납, 카드뮴 및 비소의 측정은 Microwave Digestion System (MARS 5 Version 194A01, CEM, North Carolina, USA)과 Octapole Reaction System이 부착된 Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (Agilent 7500ce, Tokyo, Japan)를 사용하였고, 수은의 측정은 수은분석기(Mercury analyzer NIC, MA-2, Nippon Instrument Co, Tokyo, Japan)를 사용하였다.

Table 1. Classification of medicinal herbs and food materials used in the experiment

Parts	Sample name	Scientific name of major component
Cortex(2)[1)]	Ogapihwan	*Acanthopanax sessiliflorum* Seem
	Yugunpihwan	*Ulmus macrocarpa* Hance
Fructus(7)	Baeyunchohwan	*Opuntia ficus-indica*(L.) Mill
	Gugijahwan	*Lycium chinense* Mill
	Hukgaehwan	*Hovenia dulcis* Thunb. ex Murray
	Ojahwan	*Rubus coreanus* Miq., *Lycium chinense* Mill, *Schisandra chinensis*(Trucz.) Baill., *Cuscuta chinensis* Lamark, *Torilis japonica* DC
	Seokruhwan	*Punica granatum* L.
	Sokpyunhwan	*Hordeum vulgare* L., *Citrus unshiu* Markovich, *Crataegus pinnatifida* Bunge, *Atractylodes japonica* Koidz, *Poria cocos* Wolf, *Glycyrrhiza uralensis* Fisch
	Sansujuhwan	*Cornus officinalis* Siebold. et Zucc.
Leaves(8)	Bbongiphwan	*Morus alba* L.
	Gujeolchohwan	*Chrysanthemum zawadskii* Herbich var. latilobum (Maxim.) Kitam
	Ikmochohwan	*Leonurus japonicus* Houtt.
	Injinssokhwan	*Artemisa iwayomogi* Kitamura
	Mindlrehwan	*Taraxacum platycarpum* Dahlst.
	Nokchahwan	*Camellia sinensis* Kuentze
	Sambaekchohwan	*Saururus Chinesis*(Lour.) Baill
	Soliphwan	*Pinus densiflora* Siebold & Zucc.
Radix(8)	Chikhwan	*Puerariae lobata*(Willd.) Ohwi
	Dorajihwan	*Platycodonis graniflorum* A. DC.
	Hookmohwan	*Platycodonis graniflorum* A. DC., *Polygoni multiflorum* Thunb., *Glycine Max.*(L.) Merrill, *Sesamum indicum* L.
	Hwanggihwan	*Astragalus membranaceus* Bunge
	Kanhwanghwan	*Curcumae Longa* L.
	Manulhwan	*Allium sativum* L.
	Hasuohwan	*Polygonum multiflorum* Thunb.
	Dangguihwan	*Angelicae gigas* Nakai
Seed(2)	Eunhanghwan	*Ginkgo biloba* L.
	Honhwasihwan	*Carthamus tinctorius* L.
Algae(3)	Dasimahwan	*Laminaria* Aresch
	Hamchohwan	*Salicornia herbacea* L.
	Tothwan	*Hizkia fusiforme* Harvey Okamura
Other(1)	Chunggukjanghwan	*Glycine max*(L.) Merrill

( )[1)] : No of samples.

실험 방법

납, 카드뮴, 비소

시험용액의 조제

균질화된 분말 시료 0.5 g를 정밀하게 칭량하여 분해 용기에 넣고 70% HNO_3 12 mL을 가하여 16시간 이상 방치한 후 microwave digestion system으로 600W power에서 15분간 200°C까지 상승시킨 후 5분간 온도를 유지하고, 1분간 210°C까지 상승시킨 후 5분간 유지하고 다시 1분간 220°C까지 상승시킨 후 5분간 유지하여 분해하였다. 분해 후 방냉, 탈기하고 분해 용기에 H_2O_2 1 mL을 가하여 탈색시킨 후 증류수를 사용하여 50 mL로 정용하고 5A여과지로 여과 후 시험용액으로 사용하였다.

기기 분석

납, 카드뮴 및 비소의 측정은 ORS (Octapole Reaction System)가 부착된 ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer)로 분석하였으며, 기기분석 조건은 Table 2와 같다. 검량선은 multi-element standard를 5% HNO_3 용액으로 희석한 후 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10, 20, 50 및 100 μg/kg의 농도로 조제하여, 시료와 동일한 방법으로 측정하였다.

수은

균질화된 분말 시료 50 mg를 정밀히 칭량 후 직접 수은분석기에 넣고 가열기화금아말감법을 적용하여 파장 253.7

Table 2. Operating conditions and data acquisition parameters for ICP-MS

Parameter	Operating conditions	Parameter	Operating conditions
Rf power(W)	1,500	Acquisition parameters	Quantitative
Argon gas flow rates		Points / mass	3
Plasma	15.0 L / min	Integration time / mass	0.1 sec
Auxiliary	0.27 L / min	Mean acquisition time / replicate	7.28
Carrier	0.85 L / min	Replicates	3
He gas flow rate	3.0 mL / min	Mean acquisition time / sample	21.84 sec
Sampling and skimmer cones	Nickle		

Table 3. Operating conditions for the mercury analyzer

Parameter	Operating conditions	Parameter	Operating conditions
Mode selector	Standard : 1, Sample : 2	Carrier gas	Purified dry air
Gas washing bottle	Buffer solution : H_2O = 1:1	Heating mode	Two available modes
Flow meter	0.5 L/min	Heating temperature	600°C
Mercury collector H3	Preheating at about 160°C	Additive	Standard: unnecessary Sample: M + S + M + B + M*
Decomposing furnace H2	Heated at about 850°C		

nm에서 흡광도를 측정하였으며, 기기분석 조건은 Table 3과 같다. 검량선은 수은 표준원액을 0.001% L-cysteine(98%, Nacalai Tesque Inc, Tokyo, Japan)을 사용하여 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10 및 20 μg/kg의 농도로 조제한 후 시료와 동일한 방법으로 측정하였다.

회수율 검정

미국 국립표준연구원의 표준인증물질(CRM)을 이용하여, 분석시료와 동일한 조건으로 3회 반복하여 측정하였다. 또한 검출한계(LOD)와 정량한계(LOQ)는 반응의 표준편차와 검량선의 기울기에 근거하는 방법에 따라 표준용액을 단계별로 5회 반복 측정하여 평균값으로 검량 y를 작성하여 다음의 식에 따라 계산하였다.

$LOD = 3.3 \times \sigma / S$, $LOQ = 10 \times \sigma / S$

σ : 반응의 표준편차, S : 검량선의 기울기

위해도 평가

위해도 평가는 위험성 확인, 양-반응 평가, 노출 평가, 위해도 결정의 과정으로 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서 제시하고 있으며[7]. 미국 환경보호청(U.S.EPA)과 국제암연구소(IARC)에서 제시하고 있는 유해물질 분류 등급과 일일섭취허용량을 기준으로 오염물질에 대한 발암가능성과 위험성을 확인하였고, 양-반응 평가 과정으로 미국 환경보호청(U.S.EPA)[8-11]에서 제안한 평생 노출로 인한 유해영향이 나타나지 않는 체중 당 참고 섭취량(RfD)을 적용하였으며, 노출 평가과정으로 우리나라 국민의 평균체중 및 기대 수명과 시료의 1일 섭취량을 고려하여 일일섭취허용량(ADI)을 구하였다.

위해도 결정은 일일섭취허용량(ADI)과 발암잠재력(SF)을 이용하여 위해지수(HI) 및 초과위해 발암도(Excess cancer risk)를 구하였다.

노출 평가에 필요한 통계 값들은 시료의 포장지에 표기되어 있는 1회 섭취량 및 1일 섭취 횟수에 따라서 1일 섭취량을 구하였으며, 평균체중은 2005년 산업자원부 기술표준원[12]에서 제시하고 있는 남자 69.6 kg, 여자 56.4 kg의 평균 63 kg을 이용하였고, 기대수명은 통계청[13]의 2009년 생명표의 남자 77세, 여자 83.8세의 평균 80세를 적용하여 계산하였다.

시료 섭취에 대한 중금속의 위해성은 환제의 일일평균섭취량(ADI)을 계산하여 미국 환경보호청(U.S.EPA)의 발암물질에 대한 발암잠재력(SF)을 이용하여 초과발암위해도(excess cancer risk)를 구하였으며, 미국 환경보호청(U.S.EPA)[8-11]의 비발암물질에 대한 참고섭취량(RfD) 및 우리나라 환경부 지침[14] 및 API[15]의 기준을 이용하여 비발암위해도를 구하였다(Table 4).

주간섭취량과 국제식품첨가물위원회(JECFA)[16-18]에서 제시하는 잠정주간섭취허용량(PTWI)인 납(25 μg/kg), 카드뮴(7 μg/kg) 및 수은(5 μg/kg)을 비교하여 %PTWI를 구하여 위해성을 평가하였다.

Table 4. Toxicity indices of heavy metals

Metals	Slope factor (mg/kg/day)	Reference dose (mg/kg/day)
Pb[1)]	0.0085	0.0005
Cd[2)]	ND[4)]	0.001
As[2)]	1.5	0.0003
Hg[3)]	ND	0.0003

[1)]MOE(Ministry of environment republic korea) (2006), [2)]EPA, IRIS (2011)
[3)]API(American petroleum institute) (1988), [4)]ND : Not Determined.

$$ADD(\text{mg/kg/day}) = \frac{CHi \times IRi \times ED}{BW \times AT}$$

ADD (Average daily dose): 일일평균섭취량(mg/kg/day)
CHi (Concentration of heavy metal): 시료(i) 중 중금속 농도(mg/kg)
IRi (Ingestion rate): 시료(i)의 섭취율(g/day)
ED (Exposure duration): 노출기간(year)
BW (Body weight): 체중(kg)
AT (Averaging time): 평균 수명(year)

$$Cancer\ risk = ADD \times SF(slope\ factor)$$

$$HQ(Hazardquoitent, non\text{–}cancer\ riks) = \frac{ADD}{RfD}$$

$$HI(Harzard\ index) = \sum HQ$$

통계분석

자료의 통계분석은 SAS package (version 9.2)를 이용하여 시료의 재료별로 평균, 표준편차, 상관관계를 구하였고, 이들 함량의 차이는 ANOVA TEST를 이용하여 분산 분석 후 $\alpha = 0.05$ 수준에서 던칸 다중위검정법(Duncan's multiple range test)으로 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

회수율

납, 비소 및 카드뮴의 검량선은 0.5~100 μg/kg의 농도에서 R = 0.9995 이상이었으며 납, 비소, 카드뮴 및 수은의 검출한계(μg/kg)는 각각 0.091, 0.011, 0.021, 0.001이었고, 정량한계(μg/kg)는 각각 0.275, 0.033, 0.064, 0.047이었다.

회수율은 미국표준과학원의 인증표준물질 1547인 Peach leaves를 분석시료와 동일한 조건으로 3회 반복 시험하여 인증표준물질의 평균값을 기준으로 측정한 결과, Table 5와 같이 평균 회수율은 납은 94.2%, 비소는 98.3%, 카드뮴은 96.2% 및 수은은 96.8%로 나타났다.

중금속 함량

전체 시료의 총 중금속 (납, 카드뮴, 비소 및 수은)의 평균 함량(mg/kg)은 3.97(0.01~44.37)이었으며, 개별 중금속의 평균 함량(mg/kg)은 납 0.87, 카드뮴 0.08, 비소 2.87 및 수은 0.16으로 비소의 함량이 가장 높았다(Table 6).

시료에 사용된 원료별 납, 카드뮴, 비소 및 수은의 전체 평균 함량(mg/kg)은 3.97이었고, 표피 0.63, 열매 3.94, 잎 1.42, 뿌리 1.05, 종자 0.16, 해조류 22.31 및 기타 10.17로 해조류로 제조된 시료에서 가장 높았고, 종자로 제조된 시료에서 가장 낮았다(Fig. 1).

본 조사에서는 해조류 > 기타 > 열매 > 잎 > 뿌리 > 표피 > 종자의 순으로 중금속 함량이 높았으며, 김 등[19]은 한약재의 약용부위별 중금속 조사 결과 표피 > 잎 > 뿌리 > 열매 > 종자로 차이가 있었는데 이는 대상 시료의 종류에 따른 차이로 추측된다.

각 시료의 납, 카드뮴, 비소 및 수은의 평균 함량을 측정한 결과는 Table 7과 같다.

재료별로 납의 함량(mg/kg)이 높았던 시료는 표피에서 오가피환 0.58, 열매에서 석류환 14.37, 잎에서 인진쑥환 0.56, 뿌리에서 5.02, 종자에서 홍화씨환 0.14, 해조류에서 톳환 1.05이었고, 카드뮴의 함량(mg/kg)이 높았던 시료는

Table 5. The certified concentration of heavy metals

Element	Certified (mg/kg) Mean ± SD	Measured[1] (mg/kg) Mean ± SD	Recovery (%)	C.V.[2] (%)	Detection limit (μg/kg)
Pb	0.872 ± 0.002	0.821 ± 0.005	94.2	6.09	0.091
As	0.060 ± 0.018	0.059 ± 0.003	98.3	5.08	0.011
Cd	0.026 ± 0.003	0.025 ± 0.002	96.2	8.00	0.021
Hg	0.031 ± 0.007	0.030 ± 0.001	96.8	3.33	0.001

[1] Mean : value of three measurements
[2] C.V. : coefficient of variation.

Table 6. Contents of heavy metals in herbal pills by parts used

Parts	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Total (mg/kg)
Cortex	0.38[1] (0.12~0.58)[2]	0.06 (0.01~0.13)	0.16 (0.06~0.27)	0.04 (0.02~0.07)	0.63 (0.46~0.74)
Fructus	3.04 (ND[3]~14.37)	0.06 (ND~0.13)	0.83 (ND~2.59)	0.01 (ND~0.04)	3.94 (0.01~17.09)
Herba	0.34 (ND~0.74)	0.06 (ND~0.22)	1.01 (0.02~8.21)	0.02 (ND~0.04)	1.42 (0.12~9.00)
Radix	0.78 (0.02~5.02)	0.06 (0.01~0.13)	0.16 (0.03~0.59)	0.05 (0.01~0.10)	1.05 (0.09~5.73)
Semen	0.05 (ND~0.14)	0.01 (ND~0.01)	0.04 (ND~0.12)	0.06 (0.01~0.16)	0.16 (0.02~0.28)
Alage	0.63 (0.17~1.05)	0.25 (0.09~0.54)	21.41 (1.24~42.74)	0.03 (0.01~0.04)	22.31 (2.00~44.37)
Other	0.15	0.12	9.90	ND	10.17
Average	0.87 (ND~14.37)	0.08 (ND~0.54)	2.87 (ND~42.74)	0.16 (ND~0.16)	3.97 (0.01~44.37)

[1]Mean : value of three measurements, [2]Range, [3]ND : Not Detected.

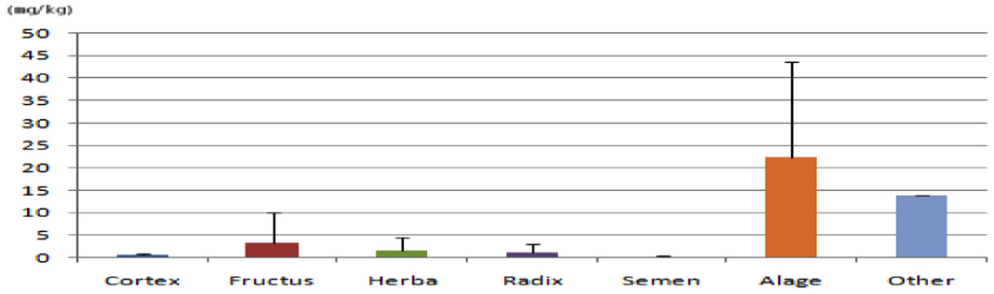

Fig. 1. The contents of heavy metal according to parts used.

Table 7. Contents of heavy metals in herbal pills

Sample name	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Total (mg/kg)
Ogapihwan	0.58 (0.46~0.67)	0.04 (0.04~0.05)	0.06 (0.03~0.09)	0.02 (0.01~0.02)	0.70 (0.01~0.67)
Yugunpihwan	0.43 (0.22~0.69)	0.01 (ND~0.02)	0.27 (0.06~0.49)	0.03 (0.02~0.04)	0.74 (ND~0.69)
Baeyunchohwan	ND[3)]	ND	ND	0.02 (0.00~0.01)	0.01 (ND~0.01)
Gugijahwan	0.18 (0.16~0.20)	0.03 (ND~0.07)	0.51 (0.02~0.97)	0.00 (ND~0.01)	0.72 (ND~0.97)
Hukgaehwan	0.42 (0.11~0.76)	0.06 (ND~0.09)	0.28 (0.02~0.76)	0.02 (0.01~0.05)	0.78 (ND~0.76)
Ojahwan	0.23 (0.14~0.35)	0.07 (0.05~0.09)	0.76 (0.06~1.41)	0.04 (0.02~0.06)	1.10 (0.02~1.41)
Seokruhwan	14.37 (0.04~43.01)	0.13 (0.05~0.23)	2.59 (0.54~5.10)	ND	17.1 (ND~43.01)
Sokpyunhwan	0.07 (0.04~0.09)	ND	0.05 (0.03~0.09)	0.00 (0.00~0.01)	0.12 (ND~0.09)
Sansujuhwan	ND	ND	0.01 (ND~0.02)	0.16 (0.15~0.18)	0.17 (ND~0.18)
Bbongiphwan	0.40 (0.10~0.83)	ND	0.09 (0.03~0.16)	0.02 (0.01~0.04)	0.51 (ND~0.83)
Gujeolchohwan	0.19 (ND~0.32)	0.12 (0.08~0.15)	0.07 (0.03~0.10)	0.02 (0.04~0.04)	0.40 (ND~0.32)
Ikmochohwan	0.37 (0.02~0.96)	0.03 (ND~0.05)	0.11 (0.05~0.19)	0.02 (0.01~0.03)	0.53 (ND~0.96)
Injinssokhwan	0.56 (ND~0.91)	0.22 (0.15~0.30)	8.21 (0.19~24.11)	0.01 (0.00~0.02)	9.00 (ND~24.11)
Mindlrehwan	0.74 (0.05~1.62)	0.06 (ND~0.15)	0.45 (0.02~0.80)	0.03 (0.00~0.07)	1.28 (ND~1.62)
Nokchahwan	0.25 (0.15~0.39)	ND	0.02 (0.01~0.03)	0.02 (0.01~0.03)	0.29 (ND~0.39)
Sambaekchohwan	0.17 (0.14~0.22)	ND	0.02 (0.02~0.03)	0.01 (0.01~0.01)	0.20 (ND~0.22)
Soliphwan	0.32[1)] (0.12~0.59)[2)]	0.01 (ND~0.02)	0.04 (0.03~0.05)	0.04 (0.01~0.09)	0.41 (ND~0.59)
Chikhwan	5.02 (0.05~14.85)	0.05 (ND~0.11)	0.59 (0.01~1.75)	0.07 (0.02~0.12)	5.73 (ND~14.85)
Dorajihwan	0.11 (0.09~0.14)	0.05 (0.03~0.06)	0.19 (0.16~0.22)	0.01 (0.00~0.01)	0.36 (ND~0.22)
Hookmohwan	0.04 (0.03~0.05)	0.13 (0.11~0.17)	0.18 (0.10~0.23)	0.07 (0.03~0.09)	0.42 (0.03~0.23)
Hwanggihwan	0.07 (0.05~0.09)	0.01 (0.01~0.01)	0.05 (0.03~0.06)	0.02 (0.01~0.03)	0.15 (0.01~0.09)
Kanhwanghwan	0.05 (0.03~0.09)	0.07 (0.06~0.09)	0.06 (0.03~0.09)	0.10 (0.06~0.12)	0.28 (0.03~0.12)
Manulhwan	0.02 (ND[3)]~0.04)	0.01 (ND~0.02)	0.03 (ND~0.05)	0.03 (0.01~0.06)	0.09 (ND~0.05)
Hasuohwan	0.16 (0.04~0.21)	0.09 (ND~0.26)	0.04 (0.02~0.05)	0.04 (ND~0.07)	0.33 (ND~0.26)
Dangguihwan	0.12[1)] (0.03~0.19)[2)]	0.13 (0.02~0.25)	0.14 (0.06~0.26)	0.07 (0.03~0.10)	0.46 (0.03~0.25)
Eunhanghwan	ND	ND	ND	0.02 (0.01~0.03)	0.02 (ND~0.03)
Honhwasihwan	0.14 (ND~0.27)	0.01 (0.01~0.01)	0.12 (0.01~0.23)	0.01 (0.02~0.02)	0.28 (ND~0.27)
Dasimahwan	0.17 (ND~0.29)	0.11 (0.05~0.14)	20.24 (11.77~28.86)	0.04 (0.01~0.07)	20.56 (ND~28.86)
Hamchohwan	0.66 (0.35~0.96)	0.09 (0.06~0.11)	1.24 (0.24~1.93)	0.01 (0.00~0.03)	2.00 (0.06~1.93)
Tothwan	1.05 (0.51~1.46)	0.54 (0.28~0.79)	42.74(21.30~71.40)	0.04 (0.03~0.07)	44.37 (0.03~71.40)
Chunggukjanghwan	0.15 (0.14~0.16)	0.12 (0.12~0.13)	0.11 (0.05~0.21)	ND	14.03 (0.12~10.21)

[1)]Mean : value of three measurements, [2)]Range, [3)]ND : Not Detected.

표피에서 당귀환 0.13, 열매에서 오자환 0.07, 잎에서 인진쑥환 0.22, 뿌리에서 0.13, 종자에서 홍화씨환 0.01, 해조류에서 0.54이었으며, 비소의 함량(mg/kg)이 높았던 시료는 표피에서 유근피환 0.27, 열매에서 석류환 2.59, 잎에서 8.21, 뿌리에서 0.59, 종자에서 하수오환 0.12, 해조류에서 톳환 42.74이었다. 또한 수은의 함량(mg/kg)이 높았던 시료는 잎에서 당귀환 0.07, 열매에서 오자환 0.04, 잎에서 민들레환 0.03, 뿌리에서 강황환 0.10, 종자에서 산수유환 0.16, 해조류에서 톳환 0.04이었다.

시료 중 납, 카드뮴, 비소 및 수은의 함량간의 상관관계는 Table 8과 같다.

카드뮴은 비소($r = 0.856$, $p < 0.01$)와 유의적인 정의 상

Table 8. The correlation coefficients among heavy metal contents

	Pb	Cd	As	Hg
Pb	-			
Cd	0.197	-		
As	0.057	0.856**	-	
Hg	−0.023	0.053	0.085	-

**P < 0.01.

관관계를 보였으나, 다른 중금속 들은 상관성이 없었다.

해조류로 만든 시료들은 다른 시료들에 비하여 카드뮴과 비소 함량이 높았으며, 재료별 납의 함량 차이는 유의성이 발견되지 않았다.

시료별 총 중금속 (납, 카드뮴, 비소 및 수은)의 함량(mg/kg)은 톳환 44.37, 다시마환 20.56, 석류환 17.09, 청국장환 10.18의 순으로 높았으며, 인진쑥환 9.00, 칡환 5.73, 함초환 2.00, 민들레환 1.28, 오자환 1.10의 9개 시료를 제외한 22개 시료는 1 이하이었으며, 톳환의 함량이 가장 높았고, 백년초환이 가장 낮았다.

납은 전체 시료인 31개 중 28개 시료에서 0.01 mg/kg 이상 검출되었으며, 재료별 평균 함량(mg/kg)은 표피 0.38, 열매 3.05, 잎 0.38, 뿌리 0.78, 종자 0.07, 해조류 0.63 및 기타 0.15이었으며, 재료에 따른 납의 함량 차이는 유의성이 없었다.

납의 함량 분포는 석류환 14.37, 칡환 5.02 및 톳환 1.05를 제외한 다른 28개 시료에서 납의 평균 함량은 1 이하이었고, 백년초환, 은행환 및 산수유환에서는 납이 전혀 검출되지 않았다.

시료 중 석류환과 칡환의 일부 시료는 생약 중 납의 기준인 5.0 mg/kg을 초과하였으나, 동일 품목 중 다른 시료에서는 납의 함량이 낮게 나타나서 기준을 초과한 시료는 토양 또는 제조과정에서 오염된 것으로 사료된다. 또한 농산물 중 납의 최대기준인 0.3 mg/kg를 적용할 경우 31개 시료 중 12개의 시료가 기준을 초과하지만, 우리나라와 국제식품첨가물위원회(JECFA)의 농산물의 기준[20-21]은 건조된 제품이 아닌 농산물 자체에 대한 기준으로서, 수분 함량을 감안하면 납의 함량은 높지 않은 것으로 생각된다(Table 9).

카드뮴은 전체 시료인 31개 중 24개 시료에서 0.01 mg/kg 이상 검출되었으며, 재료별 평균 함량(mg/kg)은 표피 0.06, 열매 0.07, 잎 0.06, 뿌리 0.06, 종자 0.01, 해조류 0.25 및 기타 0.12이었으며, 해조류로 제조된 시료가 가장 높았고 다른 시료들은 함량 차이가 없었다($p < 0.01$).

시료의 카드뮴 분포는 톳환, 당귀환, 청국장환, 석류환, 다시마환, 구절초환, 인진쑥환, 흑모환의 8품목은 0.11~0.54 mg/kg의 범위로 나타났으며, 23개의 품목들은 0.10 mg/kg 이하이었고, 백년초환, 속편환, 뽕잎환, 녹차환, 삼백초환, 은행환, 산수유환의 7품목은 카드뮴이 전혀 검출되지 않았다. 시료별로 톳환과 당귀환은 동일 품목간의 함량 차이가 많았으나, 그 외의 다른 품목들은 동일 품목간의 함량 차이가 적었다.

Table 9. National limits for heavy metals in agricultural products

	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)
Korea	0.1~0.3	0.05~0.2	-	-
JECFA	0.1~0.3	0.1~0.4	0.1[1)]	-

[1)]vegetable oil.

시료 중 톳환만 0.54 mg/kg으로 생약 중 카드뮴의 기준인 0.3 mg/kg을 초과하였으며, 또한 농산물 중 카드뮴의 최대기준인 0.2 mg/kg를 초과한 시료는 31개 중 4개 시료이었으나, 이들 시료 또한 수분 함량을 감안하면 높지 않은 수준으로 판단된다.

비소는 전체 시료 31개 중 29개 시료에서 0.01 mg/kg 이상 검출되었고, 재료별 평균 함량(mg/kg)은 표피 0.16, 열매 0.84, 잎 1.13, 뿌리 0.16, 종자 0.07, 해조류 21.42 및 기타 9.90으로 해조류의 함량이 가장 높았으며, 해조류를 제외한 다른 부위들은 비소 함량의 유의성이 없었다($p < 0.01$).

해조류와 기타를 제외한 대부분의 다른 시료들은 생약의 비소 기준 이하로 나타났다.

대부분의 시료에서 납, 카드뮴 및 수은의 함량(mg/kg)에 비하여 높았고, 톳환 42.74, 다시마환 20.24, 청국장환 9.90, 인진쑥환 8.21, 석류환 2.59, 함초환 1.24의 순으로 함량이 높았고, 나머지 23개 시료들은 1.0 이하로 나타났으며, 백년초환, 은행환은 전혀 검출되지 않았다.

톳환, 다시마환, 청국장환 및 인진쑥환은 생약의 비소 기준인 3.0 mg/kg 이하의 기준을 초과하였고, 대부분의 시료들과 기준 초과된 품목 중 청국장환은 동일 품목간의 함량 차이가 적었으나, 톳환, 다시마환 및 인진쑥환은 동일 품목간의 함량의 차이가 크게 나타났다.

수은은 전체 시료 31개 중 29개 시료에서 0.01 mg/kg 이상 검출되었으며, 재료별 평균 함량(mg/kg)은 표피 0.04, 열매 0.01, 잎 0.02, 뿌리 0.05, 종자 0.06, 해조류 0.03 및 기타 0.00이었으며, 원료의 부위에 따른 수은 함량 차이의 유의성이 없었다($p < 0.01$).

대부분 시료의 수은 함량(mg/kg)은 0.10이하이었으며 석류환과 청국장환은 전혀 검출되지 않았다. 또한 기준은 초과하지 않았지만, 당귀환, 칡환, 강황환 및 산수유환의 일부 시료는 다른 시료에 비하여 수은의 함량이 높았다.

환제는 부형제를 혼합하여 만든 제품으로 원재료와의 직접적인 중금속 함량 비교는 어렵지만 환제의 주성분이 한약재가 80~90%인 점을 감안하여 자연 함유량을 추정하였다.

다시마환, 도라지환, 마늘환의 중금속 함량(mg/kg)은 최 등[22]이 다시마에서 납 0.00~0.17, 카드뮴 0.00~0.06, 수은 0.00~0.08의 결과 및 도라지와 마늘에서 납 0.04~0.08, 카드뮴 0.00, 비소 0.01~0.02, 수은 0.01~0.04의 결과와 유사한 수준으로 나타났다.

유통 한약재 중 중금속 함량(mg/kg)에 관하여 이 등[23]은 오가피, 구기자, 칡 및 복분자에 대하여 납 0.00~1.02, 카드뮴 0.00~0.10, 비소 0.00~3.37 및 수은 0.00~0.02이었으며, 신 등[24]은 구기자, 갈근, 길경, 복분자, 산수유, 오미자, 오가피, 익모초에서 납 0.00~6.72, 카드뮴 0.01~0.41, 비소 0.00~5.85 및 수은 0.00~0.37로 보고하여, 시료에서 검출된 함량과 유사하였다. 또한 유통 식약공용한약재 중 중금속 함량(mg/kg)에 관하여 박 등[25]은 구기자, 갈근, 길경, 당귀, 복분자, 산수유, 오미자, 오가피, 인진쑥, 유근피, 익모초, 황기, 하수오, 헛개 열매에서 납 0.00~2.28, 카드뮴 0.00~0.27, 비소 0.01~0.91 및 수은 0.00~0.12이었고, 오가피, 인진쑥, 유근피 및 인진쑥은 납의 함량을 2.00 이상으로 보고하였다. 그러나 곽 등[26]은 구기자, 갈근, 길경, 당귀, 복분자, 산수유, 오미자, 오가피, 인진쑥, 유근피, 익모초, 황기, 하수오 및 헛개 열매에서 납 0.00~3.27, 카드뮴 0.00~0.47, 비소 0.01~1.44 및 수은 0.00~0.07로 보고하였고, 김 등[27]은 길경, 황기, 산수유, 복분자, 당귀, 구기자, 갈근에서 납 0.0~1.5, 카드뮴 0.00~0.42, 비소 0.0~0.7 및 수은 0.00~0.04로 보고하여 연구자별로 차이가 있었는데, 이는 식물체의 형상과 재배 원산지의 환경조건에 따라 차이가 있는 것으로 보고된 바 있다.

한약재 및 식약공용한약재의 중금속 함량과 시료의 제조에 사용된 원료의 중금속 함량을 비교해 본 결과 일부 품목에서 납과 비소의 함량 차이가 있었으나 대부분의 제조된 원료와 시료에서 중금속 함량이 유사한 범위로 나타났다.

의약품용으로 유통되는 환제의 중금속 함량(mg/kg)에 대하여 강[28]은 식물성 환제에서 납 0.00~17.60, 카드뮴 0.00~6.56, 비소 0.05~1.52 및 수은 0.00~0.02이었고, 배 등[29]은 환제와 과립제제에서 납 0.96~5.23, 카드뮴 0.03~0.85, 비소 0.22~1.24 및 수은 0.00~0.01로 보고하여 의약품용으로 제조된 환제가 기타 가공품으로 제조된 환제보다 납과 카드뮴의 함량이 높았다.

납의 기준(5.0 mg/kg 이하)을 초과한 석류환 43.01 mg/kg, 칡환 14.85 mg/kg 및 카드뮴의 기준(0.3 mg/kg 이하)을 초과한 톳환 0.54 mg/kg은 동일 품목의 일부 시료에서 기준을 초과하여 주원료인 식물체 자체에서 중금속에 오염되었거나, 환제의 제조 가공 중 오염되었을 가능성이 많으며, 비소의 기준(3.0 mg/kg 이하)을 초과한 톳환 71.40 mg/kg, 다시마환 28.86 mg/kg 및 인진쑥환 24.11 mg/kg은 다른 동일 시료에서도 비교적 높게 검출되어 원료 자체의 중금속 함량이 높은 것으로 추정된다.

토양 중의 중금속 농도에 대하여 윤 등[30]은 국내 토양에서 납 3.06, 카드뮴 0.04, 비소 0.09로 조사하였으며, 박[31]은 국내 약용작물 재배지에서 재배지역과 품종별로 차이는 있지만 구기자, 당귀, 오미자, 황기를 재배하는 토양의 평균 함량(mg/kg)은 납 1.07~2.53, 카드뮴 0.05~1.00, 비소 0.07~0.27 및 수은의 농도는 0.04~0.20로 보고하였고, 약용작물별 중금속 이행 특성으로 납은 토양의 농도와 비슷하거나 약간 낮은 수준을 보이며, 당귀, 황기, 오미자는 토양보다 줄기와 뿌리 및 열매부분이 토양 보다 더 높은 카드뮴 농도를 나타내는 것으로 보고하고 있어, 시료의 중금속 함량은 일부 시료를 제외하고 토양 중 자연함유량으로 추정되었다.

토양의 중금속은 약용식물이 재배되고 가공되는 동안에 쉽게 오염될 수 있고, 토양에서 사람에게 중금속이 전이될 수 있는 주요경로는 식물로 간주되고 있다. Basgel 등[32]은 중금속의 이용가능성에 대하여 토양의 구성성분에 대한 중금속의 결합의 형태에 따라 달라지며, 중금속의 흡수 경로는 토양에서 뿌리를 통해 이온상태 및 물에 녹아 있는 중금속을 흡수하거나, 잎을 통하여 빗물과 대기 중의 먼지, 비료에서 중금속을 흡수하며, Barthwal 등[33]은 같은 종류의 식물이라도 다른 지역에서 재배될 경우 식물내의 중금속 축적량은 매우 다양하여 토양과 식물사이에서 중금속 축적에 대한 명확한 상관관계를 입증하기 어려우며, 재배 토양과 식물의 중금속 함량을 비교한 결과 Abutilon indicum은 납의 함량이 토양의 71%, 카드뮴 함량은 33% 수준이었으며, Catotropis procera는 카드뮴의 축적은 없었고, 납은 토양의 25% 수준으로 재배 토양이 식물의 중금속 농도보다 높았다고 보고하였다. 또한 Sheded 등[34]은 약용식물에서 Zn, Cu, Se, Fe, K, Na, Ca, Mg 함량을 조사하였는데, 식물 내에서 금속 농도의 차이는 토양의 조성의 차이가 아닌 식물의 유전자형 및 금속 원소들의 상호작용에 달려 있다고 보고하였다.

Sawidis 등[35]은 토양에서 금속의 흡수는 토양의 pH, 식물체의 성장단계, 비료, 토양에 따라 달라지는데 Farooq 등[36]은 산업지역에서 재배한 시금치의 부위에 따른 납, 카드뮴 함량(mg/kg)을 조사한 결과 납은 잎, 줄기 및 뿌리에서 각각 2.25, 1.19 및 1.12 검출되어 잎에서 납의 함량이 높았고, 카드뮴은 잎, 줄기 및 뿌리에서 각각 0.04, 0.06, 및 0.05로 줄기에서 카드뮴의 함량이 높았으며 금속의 종류에 따라 축적되는 부위가 다른 것으로 보고하였다.

국외에서 조사한 약용식물의 중금속 함량(mg/kg)에 대하여 Basgel 등[37]은 7종의 약용 식물에서 납 0.00~4.80과 카드뮴 0.00~0.44이었으며, Caldas 등[38]은 10종의 약용식물에서 납 2.0이하~1,48, 카드뮴 0.20~074 및 수은 0.01이하~0.09이었고, De pasquale 등[39]은 약용식물에서 납 0.00~2.60, 카드뮴 0.01~0.75로 보고하였다. 또한 Arpadjan 등[40]은 7종의 약용식물에서 납 0.20~8.60, 카드뮴 0.02~0.27, 비소 0.01~0.23으로 보고하였다.

조 등[41]은 쑥 등이 생물량이 많은 식물로 중금속을 많이 흡수하며, 해조류 중의 비소와 카드뮴은 다른 중금속에 비하여 높은 것으로 보고하고 있다.

농산물의 비소에 대하여 최 등[42]은 쌀 등의 20품목에서

총비소 함량(mg/kg)은 0.00~0.72이었으나, 유기비소와 무기비소는 검출하지 않은 것으로 보고하였고, 해조류의 비소 함량에(mg/kg) 대하여 김[43]은 김 19.23, 미역 23.2, 다시마 21.87이었으나, 그 중 비소 종을 분리한 결과 김, 미역 및 다시마의 비소는 대부분 생체 내에서 안정하여 대사되지 않는 유기비소인 arsenocholine (AsC)와 arsenobetaine (AsB)으로 조사하였다. 그러나 류 등[44]은 톳에서 비소를 조사한 결과 비소가 45.65 mg/kg이었으며, 그 중 88.6%에 해당하는 40.46 mg/kg이 인체에 해로운 arsenate (As(V))로 조사하고 있어, 톳의 섭취에 대한 주의가 필요한 것으로 생각된다.

국내에서 유통 중인 한약재 및 식약공용한약재와 국외에서 연구된 자료를 바탕으로 판단하면 본 조사의 시료에서 검출된 납, 카드뮴, 비소 및 수은의 함량은 일부 시료를 제외하고 자연 함유량으로 추정할 수 있으며, 시료별 중금속 함량의 차이들은 시료의 종류와 재배원산지의 토양의 차이에 따른 것으로 판단된다.

위해도 평가

환제의 섭취로 인한 중금속의 위해성은 미국 환경보호청(U.S.EPA)[8-11]에서 제시하는 일일 노출허용량(RfD)를 활용하여 위해지수(HI)와 초과발암위해도를 산출하였고, 주간 중금속 섭취량과 국제 식품첨가물위원회(JECFA)[16-18]에서 제시한 잠정주간섭취허용량(PTWI)을 비교하여 %PTWI의 수준을 평가하였다.

전체 시료의 재료별 중금속 평균 위해지수는 Table 10과 같이 표피 0.09, 열매 0.51, 잎 0.33, 뿌리 0.21, 종자 0.02, 해조 4.84, 기타 0.05로 안전한 수준이었고, 시료별 위해지수는 0.00에서 10.00의 범위이었으며, 개별 시료에서는 석류환 2.51, 인진쑥환 2.11, 칡환 1.19, 다시마환 4.13, 및 톳환 10.00으로 위해지수의 기준인 1을 초과하였다(Table 11).

납은 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서 group B2 (probable human carcinogen, sufficient animal evidence)로 분류되고 있으며[8], 평균 주간섭취량(μg/kg/week)은 0.77로, 국제식품첨가물위원회(JECFA)의 잠정주간섭취허용량(PTWI) 25의 3.1% 수준이었으며, 납의 초과발암위해도는 환경부의 토양오염 위해성 평가 지침 중 납의 발암잠재력(SF)값을 참고하여 산출한 결과 표피1.95×10^{-7}, 열매 1.45×10^{-6}, 잎 2.14×10^{-7}, 뿌리 6.27×10^{-7}, 종자 1.99×10^{-8}, 해조 3.61×10^{-7}, 기타 9.64×10^{-8}이었으며, 전체 시료에서 4.24×10^{-7}로 산출되어 평생 동안 섭취할 경우 천만명당 4명의 비율로 암이 발생하는 수준으로 안전한 것으로 평가하였다(Table 12).

또한 각 시료의 초과발암위해도도 모두 10^{-7}이상으로 안전한 것으로 나타났다(Table 13).

카드뮴은 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서 group B1 (probable human carcinogen limited evidence)로 분류되고 있으며[9], 평균 주간섭취량(μg/kg/week)은 0.06로 국제식품첨가물위원회(JECFA)의 잠정주간섭취허용량(PTWI) 7과 미국 환경보호청(U.S.EPA)[9]의 참고섭취량(RfD) 0.001 mg/kg/day의 0.9%이었다.

비소는 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서 group A (human

Table 10. The hazard index of heavy metals in herbal pills by parts used

Parts	Hazard quotient				Hazard index
	Pb	Cd	As	Hg	
Cortex	0.05	0.00	0.03	0.01	0.09
Fructus	0.34	0.00	0.16	0.00	0.51
Herba	0.05	0.00	0.27	0.00	0.33
Radix	0.15	0.00	0.04	0.01	0.21
Semen	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
Alage	0.08	0.02	4.73	0.01	4.84
Other	0.02	0.01	0.01	0.00	0.05
Average	0.16	0.00	0.44	0.01	1.14

Table 11. The hazard index of heavy metals in herbal pills

Sample name	Hazard quotient				Hazard index
	Pb	Cd	As	Hg	
Ogapihwan	0.06	0.00	0.01	0.00	0.08
Yugunpihwan	0.06	0.00	0.06	0.01	0.13
Baeyunchohwan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gugijahwan	0.03	0.00	0.14	0.00	0.17
Hukgaehwan	0.05	0.00	0.06	0.00	0.12
Ojahwan	0.03	0.00	0.18	0.01	0.23
Seokruhwan	1.93	0.01	0.58	0.00	2.51
Sokpyunhwan	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
Sansujuhwan	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03
Bbongiphwan	0.05	0.00	0.02	0.00	0.07
Gujeolchohwan	0.03	0.01	0.02	0.01	0.07
Ikmochohwan	0.04	0.00	0.02	0.00	0.07
Injinssokhwan	0.08	0.02	2.01	0.00	2.11
Mindlrehwan	0.11	0.00	0.11	0.01	0.23
Nokchahwan	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04
Sambaekchohwan	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03
Soliphwan	0.04	0.00	0.01	0.01	0.05
Chikhwan	0.97	0.00	0.19	0.02	1.19
Dorajihwan	0.01	0.00	0.03	0.00	0.05
Hookmohwan	0.01	0.01	0.05	0.02	0.08
Hwanggihwan	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
Kanhwanghwan	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05
Manulhwan	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
Hasuohwan	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04
Dangguihwan	0.01	0.01	0.03	0.01	0.07
Eunhanghwan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Honhwasihwan	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04
Dasimahwan	0.02	0.01	4.10	0.01	4.13
Hamchohwan	0.09	0.01	0.28	0.00	0.38
Tothwan	0.14	0.04	9.81	0.01	10.00
Chunggukjanghwan	0.02	0.01	0.01	0.00	0.05

Table 12. Cancer risk of lead and arsenic in herbal pills by parts used

Parts	Pb	As
Cortex	1.95×10^{-7}	1.54×10^{-5}
Fructus	1.45×10^{-6}	7.24×10^{-5}
Herba	2.14×10^{-7}	1.23×10^{-4}
Radix	6.27×10^{-7}	2.02×10^{-5}
Semen	1.99×10^{-8}	3.25×10^{-6}
Alage	3.61×10^{-7}	2.18×10^{-3}
Other	9.64×10^{-8}	5.67×10^{-6}
Average	4.24×10^{-7}	3.38×10^{-4}

carcinogen)로 분류되고 있으며[10] 평균 주간섭취량(μg/kg/week)은 2.14이었으나, 비소의 %PTWI는 2010년 비소 독성에 대한 기존의 잠정주간섭취허용량(PTWI)값의 유지가 적절하지 못하다는 국제식품첨가물위원회(JECFA)[45]의 판단하에 폐지되어 비교할 수 없었고, 미국 환경보호청(U.S.EPA)[10]의 참고섭취량(RfD) 0.3 μg/kg/day을 기준으로 평가하면 RfD의 98.3%이었다. 또한 미국 환경보호청(U.S.EPA)의 발암잠재력(SF)값을 적용하여 시료 중의 비소종이 모두 무기비소라는 가정 하에 초과발암위해도를 산출한 결과 표피 1.54×10^{-5}, 열매 7.24×10^{-5}, 잎 1.23×10^{-4}, 뿌리 2.02×10^{-5}, 종자 3.25×10^{-6}, 해조 2.18×10^{-3}, 기타 5.67×10^{-6}이었고, 각 시료들의 초과발암위해도는 납에 비하여 높게 나타났다. 그러나 전체 시료에서 3.38×10^{-4}이었으나, 백 등[46]이 조사한 농산물 중의 무기비소 비율 23%를 감안하면 7.78×10^{-5}이며, 비소 함량이 높게 나타난 해조류를 제외한 다른 시료들의 초과발암위해도는 9.20×10^{-6}이었다.

해조류 중 톳을 제외한 다른 시료들의 비소종들은 유기비소로 체내에서 대사되지 않아 비교적 안전한 것으로 평가되지만, 톳의 경우는 무기비소의 비율이 높아 유해한 것으로 평가되고, 이 결과는 미국 환경보호청(U.S.EPA)[47]에서 제시하고 있는 최저 발암 기준인 백만 분의 1을 초과하는 것으로 높게 나타났다.

수은은 미국 환경보호청(U.S.EPA)에서 group D (classifiable as to human carcinogeni city)로 분류하고 있으며, 주간 평균섭취량(μg/kg/week)은 0.026로 국제식품첨가물위원회(JECFA)의 잠정주간섭취허용량(PTWI) 5의 0.5% 수준이었고, 미국 환경보호청(U.S.EPA)은 수은의 섭취로 인한

Table 13. Cancer risk of lead and arsenic in herbal pills

Sample name	Pb	As
Ogapihwan	2.64×10^{-7}	4.83×10^{-6}
Yugunpihwan	2.58×10^{-7}	2.86×10^{-5}
Baeyunchohwan	ND	ND
Gugijahwan	1.26×10^{-7}	6.28×10^{-5}
Hukgaehwan	2.18×10^{-7}	2.56×10^{-5}
Ojahwan	1.38×10^{-7}	8.03×10^{-5}
Seokruhwan	8.19×10^{-6}	2.60×10^{-4}
Sokpyunhwan	4.09×10^{-8}	5.16×10^{-6}
Sansujuhwan	ND	7.17×10^{-7}
Bbongiphwan	2.17×10^{-7}	8.61×10^{-6}
Gujeolchohwan	1.33×10^{-7}	8.62×10^{-6}
Ikmochohwan	1.89×10^{-7}	9.94×10^{-6}
Injinssokhwan	3.49×10^{-7}	9.03×10^{-4}
Mindlrehwan	4.56×10^{-7}	4.90×10^{-5}
Nokchahwan	1.19×10^{-7}	1.69×10^{-6}
Sambaekchohwan	9.14×10^{-8}	1.90×10^{-6}
Soliphwan	1.55×10^{-7}	3.42×10^{-6}
Chikhwan	4.14×10^{-6}	8.59×10^{-5}
Dorajihwan	4.71×10^{-8}	1.43×10^{-5}
Hookmohwan	2.81×10^{-8}	2.23×10^{-5}
Hwanggihwan	3.79×10^{-8}	4.78×10^{-6}
Kanhwanghwan	3.35×10^{-8}	7.09×10^{-6}
Manulhwan	1.23×10^{-8}	3.25×10^{-6}
Hasuohwan	8.94×10^{-8}	3.94×10^{-6}
Dangguihwan	6.17×10^{-8}	1.27×10^{-5}
Eunhanghwan	ND	ND
Honhwasihwan	5.97×10^{-8}	9.03×10^{-6}
Dasimahwan	8.77×10^{-8}	1.84×10^{-3}
Hamchohwan	3.82×10^{-7}	1.26×10^{-4}
Tothwan	6.14×10^{-7}	4.41×10^{-3}
Chunggukjanghwan	9.64×10^{-8}	5.67×10^{-6}

Table 14. The %PTWI[1] of heavy metals in herbal pills by parts used

Parts	Pb		Cd		As		Hg	
	Total weekly intake (ug/kg)	%PTWI	Total weekly intake (ug/kg)	%PTWI	Total weekly intake (ug/kg)	%PTWI	Total weekly intake (ug/kg)	%PTWI
Cortex	0.29	1.16	0.04	0.57	0.13	-	0.03	0.62
Fructus	2.13	8.52	0.03	0.57	0.60	-	0.01	0.30
Herba	0.31	1.24	0.05	0.71	1.02	-	0.02	0.36
Radix	0.92	3.68	0.05	0.71	0.17	-	0.05	0.92
Semen	0.03	0.12	ND	ND	0.03	-	0.04	0.78
Alage	0.53	2.12	0.21	3.00	17.65	-	0.03	0.52
Other	0.14	0.56	0.11	1.57	0.05	-	ND	0.02
Average	0.77	3.08	0.06	0.86	2.14	-	0.03	0.52

[1]PTWI : Provisional Tolerable Weekly Intake.

Table 15. The %PTWI[1)] of heavy metals in herbal pills

Parts	Pb		Cd		As		Hg	
	Total weekly intake (ug/kg)	% PTWI	Total weekly intake (ug/kg)	% PTWI	Total weekly intake (ug/kg)	% PTWI	Total weekly intake (ug/kg)	% PTWI
Ogapihwan	0.39	1.55	0.03	0.38	0.04	-	0.01	0.20
Yugunpihwan	0.38	1.51	0.01	0.13	0.24	-	0.03	0.55
Baeyunchohwan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.10
Gugijahwan	0.18	0.74	0.03	0.44	0.52	-	0.00	0.06
Hukgaehwan	0.32	1.28	0.05	0.65	0.21	-	0.02	0.36
Ojahwan	0.20	0.81	0.06	0.88	0.67	-	0.03	0.68
Seokruhwan	11.99	47.95	0.11	1.55	2.16	-	0.00	0.00
Sokpyunhwan	0.06	0.24	0.00	0.00	0.04	-	0.00	0.05
Sansujuhwan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-	0.10	1.94
Bbongiphwan	0.32	1.27	0.00	0.00	0.07	-	0.02	0.35
Gujeolchohwan	0.19	0.78	0.12	1.75	0.07	-	0.02	0.49
Ikmochohwan	0.28	1.11	0.02	0.32	0.08	-	0.01	0.24
Injinssokhwan	0.51	2.04	0.20	2.87	7.49	-	0.01	0.20
Mindlrehwan	0.67	2.67	0.05	0.77	0.41	-	0.03	0.51
Nokchahwan	0.17	0.70	0.00	0.00	0.01	-	0.01	0.28
Sambaekchohwan	0.13	0.54	0.00	0.00	0.02	-	0.01	0.11
Soliphwan	0.23	0.91	0.01	0.10	0.03	-	0.03	0.62
Chikhwan	6.06	24.25	0.06	0.86	0.71	-	0.08	1.57
Dorajihwan	0.07	0.28	0.03	0.45	0.12	-	0.00	0.06
Hookmohwan	0.04	0.16	0.13	1.91	0.19	-	0.07	1.34
Hwanggihwan	0.06	0.22	0.01	0.11	0.04	-	0.02	0.33
Kanhwanghwan	0.05	0.20	0.07	0.98	0.06	-	0.09	1.88
Manulhwan	0.02	0.07	0.01	0.13	0.03	-	0.03	0.61
Hasuohwan	0.13	0.52	0.07	1.05	0.03	-	0.03	0.67
Dangguihwan	0.09	0.36	0.10	1.40	0.11	-	0.06	1.11
Eunhanghwan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.01	0.27
Honhwasihwan	0.09	0.35	0.01	0.09	0.07	-	0.01	0.14
Dasimahwan	0.13	0.51	0.08	1.19	15.29	-	0.03	0.62
Hamchohwan	0.56	2.23	0.08	1.09	1.05	-	0.01	0.20
Tothwan	0.90	3.60	0.46	6.61	36.62	-	0.04	0.72
Chunggukjanghwan	0.14	0.56	0.11	1.61	0.05	-	0.00	0.03

[1)]PTWI : Provisional Tolerable Weekly Intake.

참고섭취량(RfD)은 설정하고 있지 않고 호흡에 의한 영향을 고려하여 총수은의 경우 RfC만을 0.0003 mg/cu.m을 제시하고 있어 비교할 수 없었다.

재료별 평균주간섭취량과 %PTWI는 Table 14와 같다. 납의 재료별 평균 %PTWI는 표피 1.16, 열매 8.52, 잎 1.24, 뿌리 3.68, 종자 0.12, 해조 2.12 및 기타 0.56이었고, 카드뮴의 재료별 평균 %PTWI는 표피 0.57, 열매 0.57, 잎 0.71, 뿌리 0.71, 종자 0.00, 해조 3.00 및 기타 0.11이었으며, 수은의 시료별 평균 %PTWI는 표피 0.62, 열매 0.30, 잎 0.36, 뿌리 0.92, 종자 0.78, 해조 0.52 및 기타 0.02로 안전한 수준이었다.

다른 재료군에 비하여 납의 %PTWI은 열매로 제조된 시료, 카드뮴과 비소의 %PTWI는 해조로 제조된 시료 및 수은의 %PTWI는 뿌리로 제조된 시료에서 높게 나타났다.

시료별 평균주간섭취량과 %PTWI(%)는 Table 15와 같다. 각 중금속에 대한 %PTWI는 품목별로 산수유환, 칡환, 흑모환, 강황환 및 당귀환은 각각 1.9%, 1.6%, 1.3%, 1.9% 및 1.1%이었으며, 이들 시료를 제외한 26개 시료의 %PTWI는 1.0% 이하이었다.

요 약

시중에서 유통 중인 환제 31종 93건을 수집하여 유해 중금속 (납, 카드뮴, 비소 및 수은)의 함량을 조사하고 유해성을 평가하였다.

중금속 중 납, 카드뮴, 비소는 Microwave dirgestion system를 이용하여 질산 분해 후 ICP-MS를 사용하였고, 수은은 시료를 수은분석기에 직접 주입하여 측정하였다.

중금속의 위해성 평가는 국제식품첨가물위원회(JECFA)의 잠정주간섭취허용량(PTWI)과 비교하여 %PTWI를 산

출하였고 또한 참고섭취량(RfD)과 발암잠재력(SF)을 이용하여 비발암위해도와 발암위해도를 평가하였다.

전체 시료의 중금속의 평균 함량(mg/kg)은 납 0.87, 카드뮴 0.08, 비소 2.87 및 수은 0.16이었고, 재료별 평균 함량(mg/kg)은 표피 0.63, 열매 3.94, 잎 1.42, 뿌리 1.05, 종자 0.16, 해조류 22.31 및 기타 10.17이었다.

납은 전체 시료인 31개 중 28개 시료에서 0.01 mg/kg이상 검출되었으며 카드뮴은 31개 중 24개 시료에서 0.01 mg/kg이상 검출되었고, 비소는 31개 중 29개 시료에서 0.01 mg/kg 이상 검출되었다. 또한 수은은 31개 중 29개 시료에서 0.01 mg/kg 이상 검출되었다.

시료 중 석류환과 칡환은 납의 함량이 높았고, 톳환은 수은의 함량이 높았으며 다시마와 톳환은 비소의 함량이 높았다.

중금속의 위해지수 (비발암위해도)는 표피 0.09, 열매 0.51, 잎 0.33, 뿌리 0.21, 종자 0.02, 해조류 4.84, 기타 0.05이었다.

납의 평균 주간섭취량(μg/kg/week)은 0.77로, 국제식품첨가물위원회(JECFA)의 잠정주간섭취허용량(PTWI) 25의 3.1% 수준이었으며, 납의 초과발암위해도는 표피 1.95×10^{-7}, 열매 1.45×10^{-6}, 잎 2.14×10^{-7}, 뿌리 6.27×10^{-7}, 종자 1.99×10^{-8}, 해조 3.61×10^{-7}, 기타 9.64×10^{-8}이었으며, 전체 시료에서는 4.24×10^{-7}로 산출되어 평생 동안 섭취할 경우 천만명당 4명의 비율로 암이 발생하는 수준이었다.

카드뮴의 평균 주간섭취량(μg/kg/week)은 0.06로 국제식품첨가물위원회(JECFA)의 잠정주간섭취허용량(PTWI) 7과 미국 환경보호청(U.S.EPA)의 참고섭취량(RfD) 0.001 mg/kg/day의 0.9%이었다.

비소의 평균 주간섭취량(μg/kg/week)은 2.14이었으나, 비소의 %PTWI는 2010년 비소 독성에 대한 기존의 잠정주간섭취허용량(PTWI)값의 유지가 적절하지 못하다는 국제식품첨가물위원회(JECFA)(140)의 판단 하에 폐지되어 비교할 수 없었고, 미국 환경보호청(U.S.EPA)의 참고섭취량(RfD) 0.3 μg/kg/day을 기준으로 평가하면 참고섭취량(RfD)의 98.3%이었다. 또한 미국 환경보호청(U.S.EPA)의 발암잠재력(SF)값을 적용하여 시료 중의 비소종이 모두 무기비소일 경우 초과발암위해도를 산출한 결과 표피 1.54×10^{-5}, 열매 7.24×10^{-5}, 잎 1.23×10^{-4}, 뿌리 2.02×10^{-5}, 종자 3.25×10^{-6}, 해조 2.18×10^{-3}, 기타 5.67×10^{-6}이었고, 전체 시료에서는 3.38×10^{-4}이었으나, 농산물 중의 무기비소 비율 약 23%를 감안하면 7.78×10^{-5}이었으며, 비소 함량이 높게 나타난 해조류를 제외한 다른 시료들의 초과발암위해도는 9.20×10^{-6}이었다.

수은의 주간 평균섭취량(μg/kg/week)은 0.026로 국제식품첨가물위원회(JECFA)의 잠정주간 섭취허용량(PTWI) 5의 0.5%의 수준이었다.

유통 환제에서 중금속의 함량을 분석하고 위해성을 평가한 결과 중금속이 비교적 높게 검출된 일부 시료를 제외하고 대부분의 시료에서 자연 함량의 수준으로 측정되어, 안전한 수준으로 평가되었다

참고문헌

1. 이상인: 새로운 한약제제의 개발에 관한 연구. 한국한의학연구원 연구보고서 (1998).
2. World health organization and food and agricultural organiazation. Report of the joint FAO/WHO consultation of food consumption and exposure assessment of chemicals. Report of a FAO/WHO consultation (WHO/FSF/FOS/97.5) Geneva, Switzerland, 10-14, February (1997).
3. World health organization. WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. whqlibdoc.who.int/publications/2007/ 9789241594448_eng.pdf (2007).
4. 식품의약품안전청 고시 제2010-75호 생약 등의 잔류오염물질 기준 및 시험방법 (2010).
5. Agency for toxic substances and disease registry.: CERCLA Priority list of hazardous substances. http://www.atsdr.cdc. gov/cercla/07list.html (2007).
6. 정진영: 한약재의 품질기준 확립 및 유해물질 등 안전관리. 식품의약품안전청 연구보고서 (2006).
7. US Environmental protection agency. Human health risk assessment. http://www.epa. gov/risk/health-risk.htm.
8. US Environmental protection agency, Integrated risk information system. Lead and compounds (inorganic). (CASRN 7439-92-1). http://www.epa.gov/iris/subst/0277.htm.
9. US Environmental protection agency, Integrated risk information system. Cadmium. (CASRN 7440-43-9). http://www.epa.gov/iris/subst/0141.htm
10. US Environmental protection agency, Integrated risk information system. Arsenic, inorganic.(CASRN 7440-38-2). http://www.epa.gov/iris/subst/0278.htm.
11. US Environmental protection agency, Integrated risk information system. Mercury elemental. (CASRN 7439-97-6). http://www.epa.gov/iris/subst/0370.htm.
12. 산업자원부 기술표준원: 한국인의 인체치수조사사업의 학술용역연구결과보고서 (2004).
13. 통계청 생명표 (2009).
14. 환경부 예규 283호. 토양오염 위해성 평가지침 (2006).
15. Lim, H.S., Lee, J.S., Chon, H.K. and Sager, M.: Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au-Ag mine in Korea. *J. Geochem. Explor,* **96**, 223-230 (2008).
16. JECFA. Lead. Summary of evaluations performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. http://www.inchem.org/documents/jecfa/jeceval/jec_1260.htm.
17. JECFA. Cadium. Summary of evaluations performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. http://www.inchem.org/documents/jecfa/jeceval/jec_ 297.htm.
18. JECFA. Mercury. Summary of evaluations performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. http://www.inchem.org/documents/jecfa/jeceval/jec_1373.htm.

19. 김동규, 김복순, 한은정, 한창호, 김욱희, 최병현, 황인숙, 채영주, 김민영, 박승국: 유통 한약재의 약용부위에 따른 유해중금속 분포. 한국분석과학회지, **22**, 504-513 (2009).
20. 식품의약품안전청식품공전. 식품일반에 대한 공통기준 및 규격 2-1-9 (2011).
21. FAO/WHO Food standards, CODEX alimentarius. CODEX STAN 193. General standard for contaminants and toxins in food and feed (1995). http://www. codexalimentarius.net/web/standard_list.do?lang=en.
22. 최순남, 이상업, 정근희, 고원배: 지역별 해조류의 중금속 함량. 한국식품조리과학회지, **14**, 25-32 (1998).
23. 이미경: 유통 한약재의 중금속 함량 조사. 한국식품저장유통학회지, **15**, 253-260 (2008).
24. 신영, 곽재은, 한창호, 황영숙, 박애숙, 김동규, 한은정, 정삼주, 김복순, 최병현: ICP-MS를 이용한 서울지역 유통 한약재 중 잔류 중금속 모니터링. 서울시보건환경연구원보, **43**, 226-246 (2007).
25. 박종우: 식품원료용 수입생약재 중금속 모니터링. 식품의약품안전청 연구보고서(2005).
26. 곽재은, 신영, 한창호, 황영숙, 박애숙, 김동규, 한은정, 정삼주, 김복순, 최병현, 김민영: 서울 지역 유통 식품원료 한약재 중 중금속 함량. 서울시보건환경연구원보, **43**, 129-140 (2007).
27. 김경희: 식약공용 원재료(한약재 과학화 연구). 식품의약품안전청 연구보고서 (2009).
28. 강문규: 생약(한약)제제의 개별중금속 기준개정 연구(I). 식품의약품안전청 연구보고서 (2006).
29. 배종섭, 박종필, 김용웅, 박문기: 과립제와 환제 및 현탁액으로 만들어진 생약제제의 중금속 농도. 한국생물공학회지, **25**, 91-96 (2010).
30. 윤정기, 김동호, 김태승, 박종겸, 정일록, 김종하, 김혁: 우리나라 토양이 중금속 자연 배경 농도 평가. 한국지하수토양환경학회지, **14**, 32-39 (2009).
31. 박희운: 국내재배 10대 약용작물 안전생산 재배기준(GAP) 설정연구. 농촌진흥청 연구 보고서 (2006).
32. Basgel, S. and Erdemoglu, S.B.: Determination of mineral and trace elements in some medicinal herbs and their infusions consumed in Turkey. *Sci. Total Environ*, **359**, 82-89 (2006).
33. Barthwal, J., Nair, S. and Kakkar, P.: Heavy metal accumulation in medicinal plants collected from environmentally different sites. *Biomed. Environ. Sci*, **21**, 319-324 (2008).
34. Sheded, M.G., Pulford, I.D. and Hamed A.I.: Presence of major and trace elements in seven medicinal plants growing in the south-eastern desert, Egypt. *J. Arid. Environ*, **66**, 210-217 (2006).
35. Sawidis, T., Chettri, M.K., Papaionnou, A., Zachariadis G. and Stratis J.: A study of metal distribution from lignite fuels using trees as biological monitors. *Ecotox. Environ. Safe*. **48**, 27-35 (2001).
36. Farooq, M., Farooq, A. and Rashid, U.: Appraisal of heavy metal contents in different vegetables grown in the vincinity of in industrial area. *Pak. J. Bot*, **40**, 2099-2106 (2008).
37. Basgel, S. and Erdemoglu, S.B.: Determination of mineral and trace elements in some medicinal herbs and their infusions consumed in Turkey. *Sci. Total Environ*. **359**, 82-89 (2006).
38. Caldas, E.D. and Machado, L.L.: Cadmium, mercury and lead in medicinal herbs in Brazil. *Food Chem. Toxicol*, **42**, 599-603 (2004).
39. De Pasquale, A., Paino, E., De Pasquale, R. and Germano, M.P.: Contamination by heavy metals in drugs from different commercial sources. *Pharmacol. Res*. **27,** 9-10 (1993).
40. Arpadjan, S., Celik, G., Taskesen, S. and Gucer, S.: Arsenic, cadimium and lead in medicinal herbs and their fractionation. *Food Chem. Toxicol,* **46**, 2871-2875 (2008).
41. 조도순, 김준호: 수종 초본식물의 중금속 내성에 대한 연구. 한국생태학회지, **18**, 147-156 (1995).
42. 최훈, 박성국, 김동술, 김미혜: 농산물 중 비소 위해평가. 한국환경농학회지, **29**, 266-272 (2010).
43. 김선태: 식품 중 무기비소에 관한 연구. 국립독성연구원 연구보고서 (2002).
44. 류근영, 심성례, 황인민, 정민석, 전삼녀, 서혜영, 박종석, 김희연, 엄애선, 박경수, 김경수: HPLC-ICP-MS를 이용한 톳의 비소 화학종 분석 및 위해성 평가. 한국식품과학회지, **41**, 1-6 (2009).
45. JECFA. Short information documents for decision makers (2010). http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/arsenic/en/.
46. 백민경, 김원일, 류지혁, 김진경, 김미진, 임건재, 홍무기, 엄애선: 농산물 및 농산가공품 중 비소 허용기준에 관한 국내외 동향. 한국식품위생안전성학회지, **25**, 16-23 (2010).
47. Rosemary, C.R. and Tracey, J. Woodruff, T.J.: Assessment of potential risk levels associated with U.S. environmental protection agency reference values. *Environ. Health Perspect,* **111**, 1318-1325 (2003).