

한약재 중 중금속의 모니터링 및 가용 섭취율 분석 연구

임옥경¹ · 한은정¹ · 정재연¹ · 박경수² · 강인호³ · 강신정³ · 김연제¹ ★

¹한국과학기술연구원, 에너지환경연구본부, 환경기술연구단

²한국과학기술연구원, 연구조정부, 특성분석센터, ³식품의약품안전청, 한약평가팀
(2008. 12. 29. 접수, 2009. 2. 18. 승인)

The Monitoring of some heavy metals in oriental herbal medicines and their intake rates

Okkyoung Yim¹, Eunjung Han¹, Jaeyeon Chung¹, Kyungsu Park², Inho Kang³,
Sinjung Kang³ and Yunje Kim¹ ★

¹Center for Environmental Technology, Korea Institute of Science and Technology,
P.O.Box 131, Cheongryang, Seoul, Korea

²Advanced Analysis Center, Korea Institute of Science and Technology,
P.O.Box 131, Cheongryang, Seoul, Korea

³Herbal Medicine Evaluation Team, Korea Food and Drug Administration, Seoul, Korea
(Received December 29, 2008; Accepted February 18, 2009)

요 약: 국내에 유통되고 있는 국산, 수입 한약재 60품목에 대하여 품목당 10개씩 총 600개를 선정하여 중금속 중 납, 카드뮴, 비소 와 수은 4가지의 오염현황을 파악하고, 한약재를 우리가 직접 섭취하는 제제 형태인 탕제로 만들어 중금속의 이행률을 산정하였다. 모니터링 결과 허용한계치를 초과한 납은 10개, 7 품목, 카드뮴은 69개, 19품목, 비소는 3개, 3품목, 수은은 13개, 10품목으로 이들의 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단되며, 93개의 한약재 중 72개의 원산지가 중국산임을 감안할 때, 한약재를 수입하고 유통하는 과정에서의 품질평가와 안전관리를 위한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 고농도 10 품목에 대한 탕제의 가용 섭취율 실험 결과, 이행률 평균값은 납의 경우 9.77%, 카드뮴은 6.72% 비소는 26.1%와 수은은 6.79%를 나타내었다.

Abstract: This paper is the monitoring results of some heavy metals (lead, cadmium, arsenic, mercury) in herbal medicines and their intake rates. The monitoring of lead, cadmium, arsenic and mercury was carried out on 600 samples with 60 kinds of herbal medicines. And the transfer ratio of heavy metals in the water-boiled drinks was as calculated. The results show that lead was detected over the Maximum Residue Limits (MRL) in 10 samples (7 species). Cadmium was detected over the MRL in 69 samples (19 species). Arsenic was detected over the MRL in 3 samples (3 species). Mercury was detected over the MRL in 13 samples (10 species). We need continuously monitoring to ensure confidence and safety for these herbal medicines. In case of the water-boiled drink, average intake rates of lead, cadmium, arsenic and mercury are 9.77%, 6.72%, 26.1% and 6.79%, respectively.

Key words : Herbal medicine, heavy metals (lead, cadmium, arsenic, mercury), ICP-MS, AAS

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)2-958-5060 Fax : +82-(0)2-958-5805

E-mail : yjkim@kist.re.kr

1. 서 론

최근 서양의학의 한계를 극복할 대체의약으로서 민족의학인 한의학에 대한 사회의 관심이 높아지면서 이와 함께 그 안전성에 대한 우려 역시 커지고 있는 실정이다. 특히 한약은 그 수요가 급증함에 따라 한약재의 중금속에 대한 걱정이 대두되고 있다.^{1,2} 산업화 및 공업화로 인해 배출되는 각종 오염물질 중에서 중금속은 일반적으로 비중이 물보다 4배 이상인 금속으로, 인간이 섭취 혹은 복용하는 한약재 및 식품 중 오염된 중금속 중 특히 사람에게 해를 주는 원소들은 수은, 카드뮴, 납, 비소 등이며, 생물체 내에서 생리적으로 적은 양이 꼭 필요한 경우도 있으나 대부분 어떤 한계치를 넘을 때에는 도리어 해를 끼치게 된다.³ 산업화의 영향으로 중금속의 오염은 인체에 유해할 정도로 심화되고 있으며, 극미량 중금속 일지라도 일단 생체 내에 들어오면 유기연화물이나 탄화 수소 등의 기타 유기 오염물질보다 상대적으로 긴 반감기를 갖고,^{4,7} 금속을 포함하는 여러 효소의 활성을 저하시키고 뼈, 신장, 간에 만성 중독증상을 유발하며,^{8,9} 다른 중금속 또는 무기질과 상호 작용하여 동물의 성장을 저해한다고 보고되어 있다.¹⁰ 특히, 한약재에 안전성에 문제를 일으키는 중금속 중 수은, 납, 카드뮴 등은 생물에서 필요성이 밝혀져 있지 않고 유해할 뿐이며 자체 독성뿐 아니라 축적성도 있어서 미량일지라도 장기간 섭취하는 경우 체내에 축적량이 문제가 되고 있다.¹¹⁻¹³ 결국, 인간에게까지 영향을 미치는 지속성 오염 물질이므로 그 기준을 설정하여 관리하는 것이 필요하며, 이에 대한 규제와 모니터링 등을 통하여 안전성을 확보하기 위한 연구의 필요성과 가치가 있다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 국내에 유통되고 있는 한약재의 중금속 분석법을 확립하고, 국·내외적으로 한약재에 함유된 중금속의 모니터링 자료가 매우 부족한 실정이기 때문에 이들에 대한 자료를 확보 및 구축하여 위해성 평가 활용 목적의 모니터링을 제시하였다. 또한 보다 세부적으로 수입 및 유통 한약재 중 중금속이 과다하게 오염된 약재를 선정하여 실제 사람에게 복용되고 있는 한약의 섭취 형태인 탕제를 통해 섭취량을 조사하여 가용 섭취율을 계산함으로써 보다 정확하고 구체적인 필수 자료를 제공함으로써 효율적인 품질 관리를 통해 양질의 한약재가 유통될 수 있도록 과학적 근거 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험

2.1. 분석 기기 및 시약

2.1.1. 분석 기기

시료 분석을 위해 사용한 Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)는 Perkin Elmer사의 Elan 6100 DRC plus로서 분석조건은 Table 1과 같다. 수은 분석을 위해 사용한 Automatic mercury analyzer (AMA)는 Milestone사 AMA254로서 분석 조건은 Table 2와 같다. 실험에 사용된 분쇄기는 HANIL사의 FM-904T(C)을 사용하였다. 분쇄 과정의 오염을 제거하기 위해, 분쇄기를 사용하기 전에 증류수로 3번 세척을 한 뒤, 시료를 1차 분쇄하여 그 시료를 사용하

Table 1. The operating condition of ICP-MS

Descriptions	Conditions
R.F. generator	Free-running type, 40 MHz
R.F. power	1400 W
Coolant gas flow rate	17.0 L/min.
Auxiliary gas flow rate	2.00 L/min.
Nebulizer gas flow rate	1.05 L/min.
Sample uptake flow	1.00 mL/min.
Nebulizer	Concentric type
Spray chamber	Cyclonic type
Torch	Demountable
Interface cones	Platinum
Quadrupole chamber vacuum	Under 1×10 ⁻⁶ torr
Dwell time	600 ms
Pb/Mass	208, 206
Cd/Mass	114, 112
As/Mass	75

Table 2. The operating condition of AMA

Descriptions	Conditions
Wavelength	253.65 nm
Interface filter	254 nm
Bandwidth	9 nm
Detector	Silicon UV photodetector
Working range	0.02~600 ng Hg
Drying Temp.	300 °C
Drying Time	80 sec.
Decomposition Temp.	850 °C
Decomposition Time	150 sec.
Waiting Time	60 sec.
Amalgam-heating Time	12 sec.
Recording Time	30 sec.
Sampling mode	Auto

지 않고 2차 분쇄를 한 시료를 가지고 전처리 과정을 수행하였다.

2.1.2. 시약

본 연구에서 사용한 시약은 모두 분석 시험급(AR 급) 이상이며, 사용한 물은 증류한 후 이온수지를 통과시켜 정제한 것이다. 또한 4종 금속 성분 분석을 위해 전처리에 사용한 HNO₃와 H₂SO₄ 시약(Dong Woo Fine-Chem, Kyeong gi, Korea) 이고 HClO₄는(Jusei, Tokyo, Japan) 사의 GR급 시약(60%) 이다. 5종 금속 성분들의 표준용액은(PE sciex Concord, Ontario, Canada) 사제 10 mg L⁻¹ 를 구입하여 사용하였다.

2.2. 분석 시료

본 연구에 사용된 시료는 국내에서 유통되고 있는 국내 외 한약재 60품목에 대하여 시료 당 10개씩 총 600개를 대상으로 하였다. 시료 구입 직후 17-19 °C에서 보관하고, 균일하게 시료 300 g을 취해 분쇄기로 갈았다. 매우 곱게 분쇄가 된 한약재를 일회용 용기에 넣어, 냉장 보관하여 시료로 사용하였다.

2.3. 실험 방법

2.3.1. 시료 전처리 방법(Acid digestion)

손으로 만졌을 때 매우 곱고 입자가 작아 감지하지 못할 만큼 분쇄된 한약재 시료를 5 g 취해 250 mL 비커에 담아 질산 50~70 mL을 시료에 따라 적정량 넣고, 하루 동안 방치하여 예비분해를 한다. 다음 약 200 °C의 Hot Plate위에 가열 분해, 건고 시키고, 내용물이 미황색이 될 때까지 10 mL 질산을 3~4차례 더 가하고, 수시로 H₂O₂ 2-3방울을 첨가한다. 내용물이 미황색 내지 무색이 되면 잠시 식힌 후에 증류수 50 mL을 넣고 한차례 더 끓여준다. 분해가 끝난 시료용액을 여과한 후 100 mL부피 플라스크에 넣고 100 mL이 될 때까지 증류수로 채운 후 ICP-MS로 분석하였다.^{14,15}

2.3.2. 회수율과 바탕실험

분석 방법에 대한 분석물질의 회수율과 정확성 및 재현성은 시료인 황련-9 에 최종농도 0.05 mg mL⁻¹ 되게 표준용액을 첨가한 총 6개를 모니터링 시와 같은 습식 분해법을 이용하여 전처리 한 후 그 결과를 바탕으로 전처리 시 증금속의 회수율과 정확성 및 재현성을 확인하였다. 한편, 전처리 과정 시 오염을 사전에 파악하기 위해 바탕 실험을 수행하였다. 바탕 실험

은 매번 시료 전처리 과정을 수행할 때마다 시료를 첨가하지 않고 동일한 전처리 과정을 거친 뒤 ICP-MS로 분석하였다. 각 분석물질의 바탕값을 빼어 주어 실제 시료의 농도를 구할 수 있었다.

2.3.3. 탕제의 제조방법

실험에 사용된 탕제기는 대웅 제약 DWP-5000 M 을 사용하였으며 시료 50 g과 물 800 mL를 탕제기 안에 넣고 10 분간 방치한 다음 150 분 동안 탕제를 실시하였다. 150 분이 경과하면 바로 탕제기를 내려 식힌다. 탕액을 식힌 후 감압 여과하고 500 mL 메스 실린더에 탕액을 넣고 정제수로 정용 하였다. 그 액을 흔들어 섞은 다음 10 mL을 취해 위와 같이 습식 분해법을 이용하여 전처리 한 후 10 mL부피 플라스크에 정확하게 맞춰 검액으로 사용하였다.

2.3.4. 분석 방법

납, 카드뮴, 비소는 흙 후드 내에서 산 전처리(Acid digestion) 후 분석 장비인 ICP-MS를 이용하여 최적 조건에서 정량 분석하였다. 수은은 휘발성을 갖는 금속으로서 산 처리를 하면 손실의 가능성이 커지므로 전처리 없이 금 아말감법을 이용하는 자동수은 분석기(automatic mercury analyzer)를 이용하여 0.1 g의 시료를 취해 정량 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시험방법의 유효성 검증

이미 기술한 실험 방법의 유효성을 점검하기 위하여 시료 전처리 시의 회수율과 정확성 및 재현성을 확인하였으며, 이들의 결과는 Table 3에 나타내었다. 6번의 실험 결과, 납의 평균 회수율은 96.7%, 카드뮴은 86.9%, 비소는 91.1%, 정확성은 각각 95.1%, 102.1%, 82.0%, RSD는 각각 3.1, 2.5, 4.4(%)로써 비교적 양호한 결과를 얻었다. 그리고 기기적인 재현성과 회수율을 입증하기 위하여 검량선 직후, 검체 기기 분석 후에 일정 시료 주입주기마다 표준용액으로 확인하여 기기 상태와 오염으로 인해 발생하는 오차를

Table 3. Recovery results for acid digestion method n = 6

	Recovery (%)	Accuracy (%)	RSD (%)
Pb	96.7	95.1	3.1
Cd	86.9	102.1	2.5
As	91.1	82.0	4.4

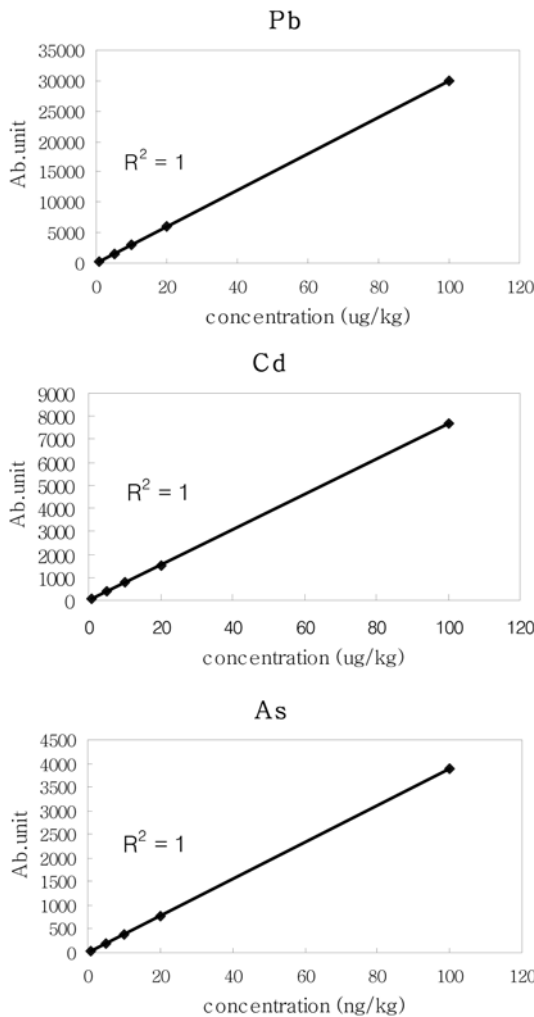


Fig. 1. Calibration curves of ²⁰⁸Pb, ¹¹⁴Cd and ⁷⁵As.

줄이고자 하였다. 전처리 과정시의 오염을 제거하기 위해 바탕실험을 수행하였으며, 각 분석물질의 바탕값은 납은 2.06 mg Kg⁻¹, 카드뮴은 0.10 mg Kg⁻¹, 비소는 0.56 mg Kg⁻¹이었다. 시료의 적량을 위하여 사용된 납, 카드뮴, 비소의 검량선을 조사한 결과는 Fig. 1과 같고, 이들의 R² 값은 각각 R²=1, R²=1, R²=1로 높은 직선성을 보여주었다. 수은의 경우 고농도 분석용 검량선과 저농도 분석용 검량선을 작성하였으며 (Fig. 2), 고농도의 경우 100, 200, 300 ng mL⁻¹의 농도범위이며, 저농도의 경우 1, 5, 10, 20, 30 ng mL⁻¹ 농도범위를 취하였다. 이들의 R² 값은 각각 0.994와 0.9973으로써 고농도의 경우 양호한 직선성을 보였으며, 저농도의 경우 직선성이 약간 떨어지기는 하였으나,

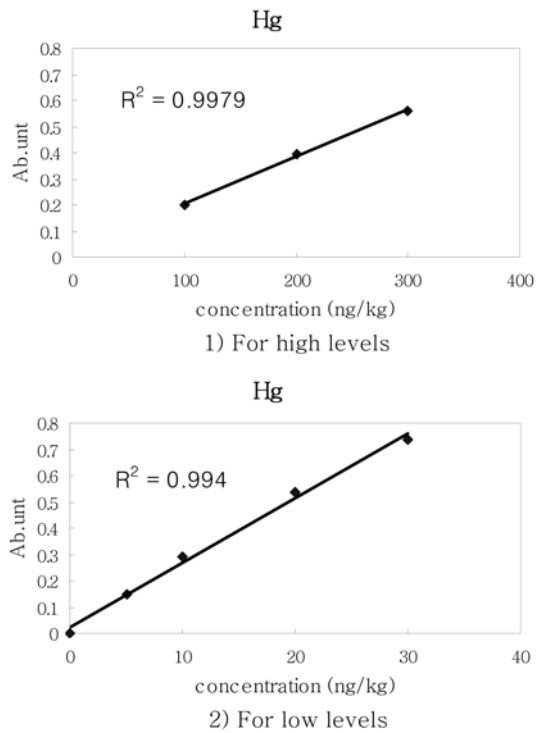


Fig. 2. Calibration curves of Hg.

Table 4. Limits of detection and quantification of each element

	Pb (ug kg ⁻¹)	Cd (ug kg ⁻¹)	As (ug kg ⁻¹)	Hg (ug kg ⁻¹)
LOD	0.02	0.01	0.12	0.27
LOQ	0.06	0.03	0.38	0.82

정량분석에는 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단되어 이 검량곡선을 그대로 사용하였다. Table 4에서는 각 시료들에 대한 검출한계 (LOD)와 정량한계 (LOQ)를 나타내었다.

3.2. 한약재 중 중금속 모니터링 결과

국내에서 유통되고 있는 국·내의 한약재 60품목에 대하여 시료 당 10개씩 총 600개의 시료에 대한 납, 카드뮴, 비소, 수은 네 종류의 중금속 모니터링을 실시하였으며, 이에 대한 모니터링 결과는 Table 5와 같다. 60품목의 시료 중 네 종류의 중금속 모두가 납 5 mg Kg⁻¹, 카드뮴 0.3 mg Kg⁻¹, 비소 3 mg Kg⁻¹, 수은 0.2 mg Kg⁻¹의 허용 한계치 이하인 한약재는 갈근, 강활, 결명자, 길경, 맥문동, 석창포, 감초, 산약, 작약, 진피, 승마, 오가피, 연교, 연자육, 신이화, 익지인, 백

Table 5. Results of concentration range of heavy metals in the oriental herbal medicines.

n = 10

Sample name	Range of concentration			
	Pb (mg Kg ⁻¹)	Cd (mg Kg ⁻¹)	As (mg Kg ⁻¹)	Hg (mg Kg ⁻¹)
Puerariae Radix	0.12-2.80	0.02-0.30	0.02-0.18	0.002-0.02
Osterici Radix	0.28-1.60	0.03-0.30	0.06-0.56	0.008-0.03
Cassiae Semen	0.02-0.27	0.00-0.10	0.01-0.15	0.005-0.09
Platycodi Radix	0.10-2.39	0.03-0.30	0.00-0.93	0.006-0.04
Codonopsis Radix	0.08-0.62	0.01-0.17	0.03-13.64	0.008-0.06
Liriopis Tuber	0.13-0.49	0.07-0.16	0.04-0.43	0.006-0.02
Ledebouriellae Radix	0.33-0.88	0.03-0.56	0.10-1.74	0.003-0.08
Atractylodis Rhizoma Alaba	1.52-3.97	0.29-0.63	0.04-0.39	0.003-0.02
Adenophorae Radix	0.10-4.05	0.12-0.96	0.04-1.40	0.008-0.06
Acori Graminei Rhizoma	0.14-0.93	0.01-0.19	0.04-1.71	0.005-0.06
Bupleuri Radix	0.20-6.84	0.02-0.50	0.08-2.35	0.006-0.02
Achyranthis Radix	0.11-0.86	0.02-0.81	0.00-0.28	0.02-0.03
Atractylodis Rhizoma	0.10-5.66	0.01-0.59	0.02-0.61	0.003-0.03
Alismatis Rhizoma	0.03-0.25	0.11-0.30	0.00-0.24	0.006-0.13
Glycyrrhizae Radix	0.00-0.17	0.00-0.02	0.07-0.27	0.001-0.02
Moutan Cortex Radicis	0.10-0.87	0.03-0.35	0.06-0.35	0.002-0.02
Dioscoreae Rhizoma	0.02-0.39	0.04-0.11	0.02-0.96	0.002-0.02
Polygalae. Padix	0.16-1.59	0.01-0.94	0.28-2.94	0.003-0.05
Paeonia Radix	0.05-0.56	0.02-0.16	0.03-0.27	0.003-0.01
Fraxini Cortex	0.06-0.63	0.00-0.08	0.00-0.35	0.001-0.02
Cnidii Rhizoma	0.06-0.79	0.03-0.60	0.06-0.46	0.003-0.05
Coptidis Rhizoma	0.50-2.63	0.39-0.82	0.09-0.38	0.008-0.03
Cimicifugae Rhizoma	0.10-1.36	0.01-0.06	0.04-0.67	0.008-0.05
Acanthopanax Cortex	0.21-3.24	0.02-0.16	0.02-2.10	0.007-0.03
Forsythiae Fructus	0.05-0.85	0.00-0.04	0.02-2.01	0.004-0.01
Polyporus	0.18-1.06	0.20-0.62	0.07-0.48	0.01-0.06
Raphani Semen	0.05-0.67	0.01-0.56	0.24-2.01	0.007-0.67
Plantaginis Semen	0.06-0.69	0.01-0.18	0.04-0.49	0.01-1.59
Nelumbinis Semen	0.02-0.25	0.07-0.13	0.02-0.26	0.003-0.01
Magnoliae Flos	0.51-2.38	0.03-0.11	0.05-0.58	0.01-0.05
Morindae Officinalis Radix	2.45-5.29	0.09-0.15	0.19-0.42	0.01-0.03
Alpiniae Oxyrhylae Fructus	0.04-0.52	0.01-0.04	0.01-0.28	0.005-0.08
Linderae Radix	0.24-1.52	0.50-1.26	0.01-0.21	0.01-0.03
Junci Medulla	0.31-0.91	0.10-0.30	0.18-0.62	0.03-0.27
Thujae Semen	0.08-0.55	0.05-0.07	0.08-0.85	0.06-0.17
Epimedii Herba	0.14-0.70	0.05-0.29	0.06-0.25	0.007-0.24
Schizonepatae Spica	0.20-4.48	0.02-0.12	0.02-1.74	0.007-0.24
Ethythrinae Cortex	0.04-0.44	0.02-0.10	0.01-0.86	0.004-0.04
Zea mays Linne	0.35-2.43	0.03-0.08	0.13-0.70	0.009-0.15
Uncariae Ramulus Et Uncus	0.52-2.20	0.12-0.50	0.10-1.23	0.008-0.02
Clematis florida	1.17-12.90	0.11-0.27	0.42-2.52	0.001-0.03
Typhae Pollen	0.12-307	0.00-0.03	0.19-1.67	0.004-0.02
Chrysanthemi flos	0.08-1.16	0.02-0.27	0.04-0.27	0.002-0.06
Scrophulariae Radix	0.01-0.65	0.06-0.18	0.05-0.41	0.001-0.08
Aurantii Immaturus Fructus	0.00-1.18	0.00-0.06	0.00-0.19	0.002-0.04

Table 5. Continued

Sample name	Range of concentration			
	Pb (mg Kg ⁻¹)	Cd (mg Kg ⁻¹)	As (mg Kg ⁻¹)	Hg (mg Kg ⁻¹)
Sophorae Radix	0.05-1.56	0.01-0.15	0.03-0.25	0.001-0.04
Zedoariae Rhizoma	0.79-1.58	0.19-0.55	0.08-3.30	0.005-0.05
Citri Reticulatae Viride Pericarpium	0.06-0.55	0.00-0.04	0.00-0.23	0.002-0.02
Drynariae Rhizoma	0.14-2.10	0.06-1.17	0.05-0.61	0.01-0.22
Arctii Fructus	0.00-0.41	0.03-0.15	0.05-1.00	0.002-0.29
Taraxaci Herba	0.38-5.28	0.07-0.17	0.28-1.21	0.008-0.05
Farfarae Flos	0.01-1.96	0.01-0.06	0.08-0.39	0.003-0.07
Pogostemonis Herba	0.44-1.68	0.01-0.03	0.07-0.42	0.001-1.21
Arecae Pericarpium	0.05-0.38	0.02-0.08	0.01-0.19	0.005-0.03
Tsaoko Fructus	0.10-0.34	0.02-0.09	0.01-0.29	0.002-0.09
Artemisiae Capillaris Herba	0.39-1.23	0.17-0.48	0.05-0.18	0.007-0.02
Rubi Fructus	0.17-0.92	0.04-0.07	0.04-0.32	0.003-0.06
Perilla frutescens	0.13-856	0.01-0.09	0.21-1.08	0.003-0.97
Torilis japonica	0.20-1.15	0.04-0.39	0.07-3.50	0.006-0.02
Prunus nakail Levelle	0.00-0.39	0.00-0.01	0.03-0.43	0.01-0.26

자인, 해동피, 옥발, 감국, 현삼, 지실, 고삼, 청피, 포공영, 관동화, 대북피, 초과, 복분자로써 총 29품목이었다.

납의 경우 5 mg Kg⁻¹ 허용 한계치를 초과한 시료는 10개이며, 그 품목은 시호, 창출, 파극(3개 검출), 위령선(2개 검출), 포향, 포공영, 자소자 7품목이다.

카드뮴의 경우 0.3 mg Kg⁻¹의 허용 한계치를 초과한 시료는 모두 69개이며, 그 품목은 방풍(2개 검출), 백출(9개 검출), 사삼(2개 검출), 시호(2개 검출), 우슬(3개 검출), 창출(2개 검출), 택사, 목단피, 윈지, 천궁(2개 검출), 황련(10개 검출), 저령(6개 검출), 내복자(4개 검출) 오약(10개 검출), 조구등(2개 검출), 아출(3개 검출), 골쇄보(3개 검출), 한인진(3개 검출), 사상자(3개 검출) 19품목이다. 이 중 황련과 오약은 10개의 모든 시료에서 카드뮴이 기준치를 초과하였고, 백출은 9개의 시료에서, 저령은 6개의 시료에서, 그 밖의 시료는 4개 이하에서 카드뮴이 기준치를 초과하였다. 따라서, 이들 한약재의 경우 지속적인 모니터링이 필요함을 알 수 있었다.

비소의 경우 3 mg Kg⁻¹의 허용 한계치를 초과한 시료는 3개이며, 그 품목은 당삼(2개 검출), 아출, 사상자 3품목이다. 사상자-3의 경우에는 3.50 mg Kg⁻¹, 아출-7의 경우에는 3.30 mg Kg⁻¹로 나타났지만, 당삼-5의 경우 13.64 mg Kg⁻¹의 비교적 높은 농도를 보였다. 비소의 경우에는 전체적으로 허용한계치를 초과하는 경우가 적어(0.7%) 비교적 안전한 것으로 나타

났다.

수은의 경우 0.2 mg Kg⁻¹의 허용한계치를 초과한 시료는 13개이며, 그 품목은 내복자(3개 검출), 차전자, 등심초, 음양곽, 형개, 골쇄보, 우방자, 광곽향, 자소자(2개 검출), 옥리인 10품목이다. 차전자-4의 경우는 1.59 mg Kg⁻¹, 광곽향-1의 경우 1.21 mg Kg⁻¹로 가장 높은 농도를 보였다. 따라서 초과 농도를 보인 차전자와 광곽향 한약재에서 지속적인 모니터링 대상임을 알 수 있었다.

한편, 산지 별 결과 분석에서 보면, 납의 경우 기준치를 초과한 10개의 시료 중 9개의 원산지가 중국이었고, 카드뮴의 경우 기준치를 초과한 69개의 시료 중 54개의 원산지가 중국이었으나, 시호, 우슬, 한인진의 경우는 기준치를 초과한 모든 한약재가 국산이었다. 비소의 경우 기준치를 초과한 3개의 모든 시료의 원산지가 중국이었으며, 수은의 경우에는 기준치를 초과한 13개의 시료 중 6개 시료가 중국산이었다.

이와 같은 연구 결과로부터, 카드뮴의 경우 많은 한약재에서 허용치보다 높게 나오기 때문에 지속적인 모니터링이 필요할 뿐만 아니라, 오염경로 및 원인 파악이 필요한 것으로 판단된다.

3.3. 한약재 중 중금속 가용 섭취율 실험

국내에서 유통되고 있는 국·내의 한약재 60품목에 대하여 시료 당 10개씩 총 600개의 시료에 대한 모니터링을 실시하였으며, 그 중 연구 대상 중금속 4종 모

Table 6. Results of intake rate of heavy metals in water-boiled drinks

Sample name	Intake rate (%)			
	Pb	Cd	As	Hg
Codonopsis Radix-5	13.9	13.3	24.0	0.77
Atractylodis Rhizoma Alaba-9	14.0	3.16	43.7	40.7
Bupleuri Radix-9	3.18	2.72	10.4	3.89
Atractylodis Rhizoma-5	8.12	7.52	12.4	4.78
Coptidis Rhizoma-2	15.2	9.76	38.5	7.39
Morindae Officinalis Radix-1	2.20	8.76	15.7	1.08
Linderae Radix-2	29.5	12.2	78.7	1.11
Clematis florida-8	1.94	3.51	6.69	1.73
Zedoariae Rhizoma-1	9.73	2.33	21.3	1.27
Perilla frutescens-3	0.01	3.97	9.46	5.13

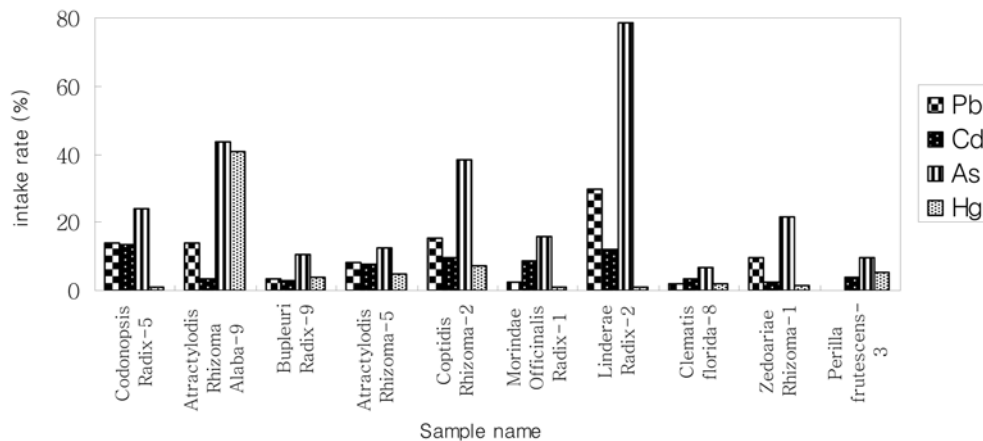


Fig. 3. Graph of intake rate of heavy metals in water-boiled drinks.

두가 대체적으로 높은 농도로 검출된 시료를 중심으로 각각 당제로 만들어 제제 형태별로 제조 전과 후의 농도를 측정하여 이행률을 산정하였다.

모니터링 결과 연구 대상 중금속 4종 모두가 대체적으로 높은 농도로 검출된 10종의 시료 당삼, 백출, 시호, 창출, 황련, 파극진, 오약, 위령선, 아출, 자소자의 가용 섭취율을 조사해보았다. 이에 대한 결과는 Table 6과 Fig. 3과 같다. 납의 가용 섭취율은 0.01%(자소자)~29.5%(오약)의 이행률을 나타내었으며, 평균값은 9.77%이었다. 오약의 경우는 29.5%로 다른 시료에 비해 비교적 높은 이행률을 보였다.

카드뮴의 경우, 가용 섭취율 연구를 위한 이행률이 2.33%(아출)~13.3%(당삼)의 범위로 나타났으며, 평균값은 6.72%이었다. 당삼 13.3%, 오약 12.2%를 제외한 나머지 시료들은 10%내의 값을 보였다.

비소의 경우에는 이행률이 6.69%(위령선)~78.7%(오약)의 범위를 나타냈으며, 평균값은 26.1%로 비교

적 높았다. 오약의 경우 78.7%, 백출의 경우 43.7% 황련의 경우 38.5%로써 평균값보다 높은 가용 섭취율을 보였다.

수은의 경우 이행률이 0.77%(당삼)~40.7%(백출)의 범위를 나타내었으며, 평균값이 6.79%이었다. 수은의 경우는 카드뮴의 경우와 마찬가지로 이행률이 현저히 저하하는 경향을 보였다. 다만, 백출의 경우 40.7%로 다소 높게 나타났으나 그 외의 경우는 모두 10% 내의 비교적 낮은 이행률을 보였다.

결과적으로 본 연구의 조사 대상 중금속 중 납, 카드뮴, 수은은 당제 조제시의 경우 이행률이 현저히 저하되었으나, 비소의 경우 다른 중금속(납, 카드뮴, 수은)에 비해 이행률이 높은 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내에 유통되고 있는 국산, 수입 한

약재 60품목에 대하여 품목당 10개씩 총 600개를 선정하여 사람에게 특히 해를 많이 주는 중금속인 납, 카드뮴, 비소, 수은 4가지의 오염현황을 파악하고, 또한 한약재를 우리가 직접 섭취하는 제제 형태인 당제로 만들어 중금속의 이행률을 산정하였다. 본 연구에서 사용된 600개의 한약재 중 192개는 국산, 나머지는 중국, 북한, 베트남, 인도, 인도네시아 등 수입 한약재이다. 한약재 중금속 모니터링 결과 납의 경우 5 mg Kg⁻¹의 허용 한계치를 초과한 시료는 10개이며, 그 품목은 시호, 창출, 파극천(3개 검출), 위령선(2개 검출), 포향, 포공영, 소자 7품목이었다. 카드뮴의 경우 0.3 mg Kg⁻¹의 허용한계치를 초과한 시료는 무려 69개이며, 그 품목은 방풍(2), 백출(9), 사삼(2), 시호(2), 우슬(3), 창출(2), 택사, 목단피, 원지, 천궁(2), 황련(10), 저령(6), 내복자(4), 오약(10), 조구동(2), 아출(3), 골쇄보(3), 한인진(3), 사상자(3) 19품목이다. 황련과 오약의 경우 모든 시료에서 기준치를 초과함으로써 지속적인 모니터링이 필요하다. 비소의 경우는 3 mg Kg⁻¹의 허용한계치를 초과한 시료가 당삼-5, 아출-7, 사상자-3 총3개로 비교적 안전한 것으로 나타났으며, 수은의 경우는 0.2 mg Kg⁻¹의 허용 한계치를 초과한 시료가 13개이며, 그 품목은 내복자(3), 차전자, 등심초, 음양곽, 형개, 골쇄보, 우방자, 광곽향, 자소자(2), 육이인 10품목이다. 특별히 높은 농도를 보이는 차전자-4(1.59 mg Kg⁻¹), 광곽향-1(1.21 mg Kg⁻¹)에서 지속적인 모니터링이 필요함을 알 수 있다.

모니터링 결과 허용 한계치를 초과한 93개의 한약재 중 72개의 원산지가 중국산임을 감안할 때, 한약재를 수입하고 유통하는 과정에서의 품질평가와 안전관리를 위한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 위의 한약재 중 중금속 모니터링 결과를 바탕으로 좀 더 체계적이고 실질적인 가용 섭취율 실험을 하였으며, 흔히 접하는 제제 형태인 당제로 진행되었다. 당제의 제제 형태에 따른 가용 섭취율을 조사한 결과를 보면, 납의 이행률은 0.01%(자소자)~29.5%(오약)의 범위로 나타났으며, 평균값은 9.77%이었다. 카드뮴의 경우는 이행률이 2.33%(아출)~13.3%(당삼)의 범위로 나타났으며, 평균값은 6.72%이었다. 비소의 경우는 이행률이 6.69%(위령선)~78.7%(오약)로써 상당히 높은 수준을 보였으며, 평균값 또한 26.1%로 다른 중금속에

비해 당제에서의 이행률이 높았다. 수은의 경우는 이행률이 0.77%(당삼)~40.7%(백출)의 범위를 나타내었으며, 평균값이 6.79%을 보였으며, 카드뮴의 경우와 마찬가지로 이행률이 현저히 저하하는 경향을 보여 당제 섭취의 경우 그 위험도가 비교적 안전하다는 결과로 나타났다.

참고문헌

1. M. J. Stewart, J. J. Moar, P. Steenkamp and M. Kokot, *Forensic Science International* **101**, 177-183(1999).
2. E. Ernst, *Pharmacological Sciences* **23**, 136-139(2002).
3. M. Schumacher, M. A. Bosque, J. L. Domingo and J. Corbella, *Bulletin of Environmental Contaminant and Toxicology*, **46**, 320-328(1991).
4. Ten, K. H., L. D. King and H. D. Morris, *Soil Sci. Soc. AM. Pro.*, **35**, 748-752(1971).
5. G. Pstruzzelli, G. Guid and L. Lubrano, *Water Air Soil Pollut.*, **9**, 263-269(1978).
6. S. J. Rhee, Kim, S. O. and W. K. Choe, *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **21**, 601-607(1992).
7. S. Y. Jung, Rhee, S. J. and J. A. Yang, *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **25**, 575-580(1996).
8. M. B. Rabinowits and G. W. Weatherill, *Science*, **182**, 275(1973).
9. S. I. Choi, J. H. Lee and S. R. Lee, *Korean J. food Sci. Tech.*, **26**, 745-749(1994).
10. M. Nordberg, *Environ. Health persp.*, **54**, 13-20(1984).
11. J. V. Lagerweff, *Soil Sci. Soc., America, Madison, Wisconsin*, 593-636(1972).
12. G. Nordberg, *Toxicology and Pharmacology* **30**, 143-163(1999).
13. S. Tong, von, Y.E. Schirnding and T. Prapamontol, *Bulletin of the World Health Organization* **78**, 1068-1077 (2000).
14. P. E. Rasmussen, K. S. Subramanian and B. J. Jessiman, *the science if the total enviro.* **267**, 125-140(2001).
15. E. D. Caldas and L. L. Machado, *food and chemical toxic.* **42**, 599-603(2004).