

## 서울지역 유통한약재의 약용부위에 따른 유해중금속 분포

김동규 · 김복순 · 한은정 · 한창호 · 김옥희 · 최병현 · 황인숙 · 채영주 · 김민영 · 박승국<sup>1, \*</sup>

서울시보건환경연구원, <sup>1</sup>경희대학교 생명과학대학

(2009. 9. 29. 접수, 2009. 10. 27. 승인)

### Distribution of hazardous heavy metals in commercial herbal medicines classified by plant parts used in seoul

Donggyu Kim, Bogsoon Kim, Eunjung Han, Changho Han, Oukhee Kim, Byunghyun Choi,  
Insook Hwang, Youngzoo Chae, Minyoung Kim and Seungkook Park<sup>1, \*</sup>

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, QuaCheon-Si 427-070, Korea

<sup>1</sup>Institute of Life Science and Resources, Kyung Hee University, Yongin-Si 449-070, Korea

(Received September 29, 2009; Accepted October 27, 2009)

**요 약:** 본 연구는 유통한약재에 대한 중금속의 안전성을 약용부위에 따른 유해중금속의 함량으로 평가하였다. 시료는 서울지역에서 포장단위로 구매된 244품목 3152건을 대상으로 ICP-MS와 수은분석기로 분석하였다. 납의 함량( $\text{mg kg}^{-1}$ )은 한약재의 지상부(0.92)가 지하부(0.43)보다 높았다. 그러나 비소는 지하부(0.26)와 지상부(0.18)으로 차이가 있었고, 카드뮴도 지하부(0.13)가 지상부(0.08)보다 높았다. 유통한약재에서 카드뮴의 기준을 초과한 건수가 다른 유해중금속에 비교하여 많았다. 수은은 지상부(0.009)와 지하부(0.008)에서 유의적인 차이가 있었으나, 수은의 기준을 초과한 시료는 없었다( $t$ -test,  $p < 0.05$ ). 원산지 간의 비교에서, 납, 비소, 수은은 국산보다 수입산 한약재가 중금속의 함량이 높았으나, 카드뮴에서는 차이가 없었다( $t$ -test,  $p < 0.05$ ). 납, 비소, 카드뮴, 수은 사이의 상관관계는 납은 비소와 상관관계( $r = 0.386$ )를 보였으나, 다른 부위에서는 관계가 적었다 ( $p < 0.01$ ). 약용부위에 따른 개별중금속의 함( $\text{mg kg}^{-1}$ )은 씨(0.422), 과실부위(0.475)가 적었고, 뿌리(0.825), 뿌리줄기부위(0.828), 버섯부위(0.861)가 다음이고, 잎(1.154), 표피(1.634), 줄기(2.238), 꽃부위(6.241)의 순으로 중금속 오염이 심했다 (ANOVA-test,  $p < 0.05$ ).

**Abstract:** In this study, the safety of commercial herbal medicines was evaluated by determining concentration of hazardous heavy metals. 3,152 samples (244 types) purchased by individual packing unit from market in Seoul, were analyzed using ICP-MS and mercury analyzer. As a result, the content ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) of Pb was higher in the above-ground part (0.92) than underground part (0.43). But in case of As and Cd contents, there is slightly higher in the underground-parts (0.26, 0.13) than the above-ground parts (0.18, 0.08). There were many herbal medicines exceeding regulatory limits of Cd comparing with other metals. The levels of Hg seemed to be different between above-ground part(0.009) and underground part (0.008) but there was no sample exceeding tolerance limits. In the comparison of imported samples with domestic herbal medicines, it was shown that Pb, As, and Hg were measured highly in the imported ones, Cd was not significantly different ( $t$ -test,  $p < 0.05$ ).

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)31-201-2655 Fax : +82-(0)31-204-8116

E-mail : skpark@khu.ac.kr

The significant correlation was observed between Pb and As ( $r=0.386$ ,  $p<0.01$ ) but there was no difference in other parts. The heavy metal contamination of herbal medicines measured in total amount of respective heavy metals ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) was high in Flos (6.241) and Caulis (2.238), and decreased in the order of Cortex (1.634), Herba (1.154), Perithecium (0.861), Rhizoma (0.828), Radix (0.825), Fructus (0.475), and was low in Semen (0.422) (ANOVA-test,  $p<0.05$ ).

**Key words:** heavy metals, herbal medicines, ICP-MS

## 1. 서 론

생약제제 또는 의약품에 사용되는 한약재의 안전성은 자체의 독성을 가지고 있는 부자, 반하, 파두 등과, 외부의 오염원에 인한 유해중금속, 잔류농약, 잔류이산화황 및 곰팡이독소 등에 의해 영향을 받는다. 자체의 독성은 포제기술을 이용하여 약물의 독성과 부작용을 저하시키거나 제거할 수 있으며, 외부의 유해물질은 우수한약재의 재배와 한약의 유통 및 제조관리에 관한 기준(우수한약관리기준)에 따른 품질관리 및 유통, 보관 등의 과학화, 선진화를 통하여 줄일 수 있다.<sup>1-3</sup>

외부의 오염물질 중에서 유해중금속에 의한 한약재의 오염은 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째는, 재배토양 및 수질의 오염 된 경우 토양미생물 중에서 용해성이 높은 것은 축적이 일어나지 않으나, 중금속은 이동성이 적어 토양 중 일정함량에 이르면 식물을 고사시키는 구리, 비소, 아연, 납 등과, 생육에는 비교적 피해가 적지만 오염된 상태로 섭취 때 피해를 주는 카드뮴, 수은 등이 있다. 작물의 중금속 흡수에 영향을 주는 요인으로서는 토양의 pH, 조성 및 특성 등이 있다. 두 번째는 약용작물은 자연환경 속에서 재배 생산되므로 다른 농산물과 마찬가지로 환경오염의 영향을 받으며, 한약재표준제조공정지침을 따르지 않은 불명확한 수확, 수집, 가공, 운반 등의 제조과정에서 품질관리가 되지 않아 우발적으로 오염된 토사 등이 혼입으로 유해중금속에 오염되는 경우이다.<sup>4-7</sup>

식물성 생약의 중금속 허용기준은 처음에 총중금속 100 ppm이하(보건사회부 : '89.1.18.)에서 총중금속 30 ppm이하(보건복지부 : '95.9.20)로 개정되었다. 그러나 총중금속 시험법은 의약품 중에 혼재하는 중금속의 한도시험으로, 산성에서 황화나트륨시액에 의하여 색을 나타내는 금속성혼재물을 말하며 그 양을 납의 양 ppm으로 나타내는 방법으로, 유희수소에 의해 침전이 생길 수 있는 모든 금속이온과 반응한다.<sup>8</sup> 즉 천연물 자체에 함유되어 있는 Cu, Zn, Fe 등과 같은 금속도

침전을 일으켜 유해금속에 포함될 우려가 있다. 따라서 총중금속 양에 의한 생약의 안전성 평가는 완전하다고 볼 수 없다는 보고<sup>9,10</sup> 등이 있어, 「생약등의중금속허용기준및시험방법」(식품의약품안전청 고시 제 2006-17호)에 의해, 개별중금속 함량으로 개정되었다.

한약재의 중금속 관련 연구로는, 한약재 및 한방생약제제의 중금속 함량 모니터링,<sup>11-13</sup> 물 세척에 따른 한약재의 중금속 제거효과,<sup>14</sup> 원료한약재와 탕약에 대한 금속함량의 변화비교<sup>15,16</sup> 등이 있으나, 한약재 및 가공/제제에 대한 개별적인 품목의 모니터링이 대부분으로, 약재의 성질과 효능과약에 중요한 자료가 되는 약용부위에 따른 개별중금속과 관련한 보고는 이루어지지 않았다. 그리고 유통한약재의 중금속은 제조과정에서 품질관리가 되지 않아 오염된 토사 등이 혼입되거나, 약용작물 스스로 토양으로부터 중금속을 흡착하는 능력에 따라 달라질 수 있지만, 식물성 생약의 경우 작물의 특성과 약용부위와는 관계없이 식품의약품안전청 고시에 의해 납 5, 비소 3, 카드뮴 0.3, 수은 0.2  $\text{mg kg}^{-1}$  이하의 일관적인 기준을 적용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 오염된 환경 속에서 생산, 제조된 한약재가 생약제제 혹은 의약품의 원료로 사용될 경우 안전성에 문제가 될 수 있으므로, 한약재의 약용부위에 따른 납, 비소, 카드뮴, 수은의 분포와 국산/수입 한약재의 개별중금속 함량을 비교하였다. 그리고 약용부위에 따른 중금속 간의 상관관계를 조사하여 우수한약관리기준의 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

한약재는 서울지역에서 유통되는 것을 포장단위로 구매하여 시료로 사용하였다. 생약의 명칭과 분류는 약재의 성질과 효능을 파악하는데 중요한 자료가 되며 형태, 산지, 효능, 색채, 약용부위, 효능 등 여러 가지 방법으로 분류할 수 있다.<sup>17</sup> 본 실험에서는 한약재

Table 1. Classification of herbal medicines used in this experiments

Parts used	n <sup>1)</sup>	Latin name (korean name)
Cortex	299	<i>Acanthopanax Cortex</i> (오가피), <i>Cinnamomi Cortex</i> (육계), <i>Eucommiae Cortex</i> (두충), <i>Kalopanax Cortex</i> (해동피), <i>Magnoliae Cortex</i> (후박), <i>Mori Cortex</i> (상백피), <i>Moutan Cortex</i> (목단피), <i>Phellodendri Cortex</i> (황백), <i>Ulmii Cortex</i> (유백피)
Flos	77	<i>Carthami Flos</i> (홍화), <i>Chrysanthemi Flos</i> (감국), <i>Lonicerae Flos</i> (금은화), <i>Schizonepetae Spika</i> (형개)
Fructus	520	<i>Amomi Fructus Rotundus</i> (백두구), <i>Amomi Fructus</i> (사인), <i>Armeniaca Semen</i> (행인), <i>Aurantii Fructus Immaturus</i> (지각), <i>Chaenomelis Fructus</i> (목과), <i>Citri Unshius Pericarpium</i> (진피), <i>Citri Unshius Pericarpium Immaturus</i> (청피), <i>Corni Fructus</i> (산수유), <i>Crataegi Fructus</i> (산사), <i>Forsythiae Fructus</i> (연교), <i>Gardeniae Fructus</i> (치자), <i>Hordei Fructus Germinatus</i> (맥아), <i>Longan Arillus</i> (용안육), <i>Lycii Fructus</i> (구기자), <i>Ponciri Fructus Immaturus</i> (지실), <i>Rubi Fructus</i> (복분자), <i>Schisandrae Fructus</i> (오미자), <i>Zizyphi Fructus</i> (대추)
Herba	181	<i>Agastachis Herba</i> (곽향), <i>Artemisiae Capillaris Herba</i> (인진호), <i>Ephedrae Herba</i> (마황), <i>Leonuri Herba</i> (익모초), <i>Menthae Herba</i> (박하), <i>Perillae Folium</i> (자소엽), <i>Pogostemonis Herba</i> (광곽향), <i>Taraxaci Herba</i> (포공영)
Perithecium	102	<i>Polyporus</i> (저령), <i>Poria Sclerotium</i> (복령)
Semen	265	<i>Areceae Semen</i> (빈랑자), <i>Carthami Tinctorii Seed, Fructus</i> (홍화자), <i>Cassiae Semen</i> (결명자), <i>Castanae Semen</i> (견을), <i>Coicis Semen</i> (의이인), <i>Cuscutae Semen</i> (토사자), <i>Massa Medicata Fermentata</i> (신곡), <i>Nelumbinis Semen</i> (연자육), <i>Persicae Semen</i> (도인), <i>Plantaginis Semen</i> (차전자), <i>Psoraleae Semen</i> (보골지), <i>Raphani Semen</i> (내복자), <i>Thujae Semen</i> (백자인), <i>Trichosanthis Semen</i> (팔루인), <i>Zizyphi Semen</i> (산조인)
Caulis	95	<i>Akebia Caulis</i> (목통), <i>Cinnamomi Ramulus</i> (계지), <i>Lonicerae Folium et Caulis</i> (인동)
Radix	1028	<i>Achyranthis Radix</i> (우슬), <i>Aconiti Lateralis Radix Preparata</i> (부자), <i>Adenophorae Radix</i> (사삼), <i>Angelicae Dahuricae Radix</i> (백지), <i>Angelicae Decursivae Radix</i> (전호), <i>Angelicae Gigantis Radix</i> (당귀), <i>Angelicae Tenuissimae Radix</i> (고본), <i>Araliae Continentalis Radix</i> (독활), <i>Astragali Radix</i> (황기), <i>Aucklandiae Radix</i> (목향), <i>Bupleuri Radix</i> (시호), <i>Clematidis Radix</i> (위령선), <i>Codonopsis Pilosulae Radix</i> (당삼), <i>Cynanchi Wilfordii Radix</i> (백수오), <i>Dipsaci Radix</i> (숙단), <i>Glehniae Radix</i> (해방풍), <i>Glycyrrhizae Radix et Rhizoma</i> (감초), <i>Osterici Radix</i> (강활), <i>Paeoniae Radix</i> (작약), <i>Peucedani Radix</i> (식방풍), <i>Platycodonis Radix</i> (길경), <i>Polygalae Radix</i> (원지), <i>Puerariae Radix</i> (갈근), <i>Rehmanniae Radix Preparata</i> (숙지황), <i>Rhei Radix et Rhizoma</i> (대황), <i>Salviae Miltiorrhizae Radix</i> (단삼), <i>Saposhnikoviae Radix</i> (방풍), <i>Scrophulariae Radix</i> (현삼), <i>Scutellariae Radix</i> (황금), <i>Trichosanthis Radix</i> (팔루근)
Rhizoma	585	<i>Acori Gramineri Rhizoma</i> (석창포), <i>Alismatis Rhizoma</i> (택사), <i>Anemarrhenae Rhizoma</i> (지모), <i>Arisaematis Rhizoma</i> (천남성), <i>Asparagi Tuber</i> (천문동), <i>Atractylodis Rhizoma Alba</i> (백출), <i>Atractylodis Rhizoma</i> (창출), <i>Cimicifugae Rhizoma</i> (승마), <i>Cnidii Rhizoma</i> (천궁), <i>Coptidis Rhizoma</i> (황련), <i>Corydalis Tuber</i> (현호색), <i>Curcumae Longae Rhizoma</i> (강황), <i>Cyperii Rhizoma</i> (향부자), <i>Dioscoreae Rhizoma</i> (산약), <i>Fritillariae Thunbergii Bulbus</i> (철패모), <i>Liriopsis Tuber</i> (맥문동), <i>Pinelliae Tuber</i> (반하), <i>Rhei Undulatai Rhizoma</i> (증대황), <i>Sparganii Rhizoma</i> (삼릉), <i>Zingiberis Rhizoma</i> (건강)
Total	3152	

<sup>1)</sup>Numbers of samples.

표준제조공정지침 및 한약재감별주해<sup>18)</sup>에 의하여 시료를 약용부위에 따라 Table 1과, 원산지에 따라 Table 2와 같이 분류하였다. 시료는 지상부의 표피(9품목 299건), 꽃(4품목 77건), 과실(18품목 520건), 잎(8품목 181건), 버섯(2품목 102건), 씨(15품목 265건), 줄기부위(3품목 95건)이었고, 지하부의 뿌리(30품목 1028건), 뿌리줄기부위(20품목 585건)으로 전체 9부위 244품목 3152건이었다. 검체는 포장단위로 잘 섞고, 초순수로 세척한 분쇄기(DA-280 Gold.A, Daesung ARTLON Co., Korea)에서 분쇄 후 50호(300 μm)의 체로 쳐서

중말의 상태로 기밀용기에 넣고, 냉장 보관하여 실험에 사용하였다.

## 2.2. 납, 비소, 카드뮴 분석

납, 비소, 카드뮴 분석을 위하여 시료 전처리에 Microwave Digestion System (MARS 5 Version 194A01, CEM, North Carolina, USA)을 이용하였다. 시험용액의 조제는 마이크로웨이브 분해 용기에 시료 0.5 g를 정밀하게 달아 넣고 질산(70%, Electronic grade, Dong Woo Fine Chem., Seoul, Korea) 12 mL를 가한 후

Table 2. Herbal medicines classified by its country of origin

Country	n <sup>1)</sup>	Latin name
South Korea	1663	<i>Acanthopanax Cortex, Achyranthis Radix, Aconiti Lateralis Radix Preparata, Acori Gramineri Rhizoma, Adenophorae Radix, Agastachis Herba, Akebia Caulis, Alismatis Rhizoma, Anemarrhenae Rhizoma, Angelicae Dahuricae Radix, Angelicae Decursivae Radix, Angelicae Gigantis Radix, Angelicae Tenussimae Radix, Araliae Continentalis Radix, Arisaematis Rhizoma, Artemisiae Capillaris Herba, Astragali Radix, Atractylodis Rhizoma Alba, Atractylodis Rhizoma, Bupleuri Radix, Carthami Tinctorii Seed, Fructus, Cassiae Semen, Castaneae Semen, Chaenomelis Fructus, Chrysanthemi Flos, Citri Unshius Pericarpium, Citrii Unshius Pericarpium Immaturus, Cnidii Rhizoma, Coicis Semen, Corni Fructus, Corydalis Tuber, Crataegi Fructus, Curcumae Longae Rhizoma, Cynanchi Wilfordii Radix, Cyperi Rhizoma, Dioscoreae Rhizoma, Dipsaci Radix, Eucommiae Cortex, Forsythiae Fructus, Fritillariae Thunbergii Bulbus, Gardeniae Fructus, Hordei Fructus Germinatus, Kalopanax Cortex, Leonuri Herba, Liriopsis Tuber, Lonicerae Flos, Lonicerae Folium et Caulis, Lycii Fructus, Magnoliae Cortex, Massa Medicata Fermentata, Menthae Herba, Mori Cortex, Moutan Cortex, Osterici Radix, Paeoniae Radix, Perillae Folium, Peucedani Radix, Phellodendri Cortex, Pinelliae Tuber, Plantaginis Semen, Platycodonis Radix, Pogostemonis Herba, Polyporus, Ponciri Fructus Immaturus, Poria Sclerotium Poria Sclerotium, Puerariae Radix, Raphani Semen, Rehmanniae Radix Preparata, Rhei Radix et Rhizoma, Rubi Fructus, Saposhnikoviae Radix, Schisandrae Fructus, Schizonepetae Spika, Scrophulariae Radix, Scutellariae Radix, Taraxaci Herba, Trichosanthis Radix, Trichosanthis Semen, Ulmi Cortex, zingiberis Rhizoma, Zizyphi Fructus</i>
China	1276	<i>Acanthopanax Cortex, Achyranthis Radix, Aconiti Lateralis Radix Preparata, Acori Gramineri Rhizoma, Adenophorae Radix, Amomi Fructus Rotundus, Amomi Fructus, Anemarrhenae Rhizoma, Angelicae Dahuricae Radix, Angelicae Decursivae Radix, Arecae Semen, Arisaematis Rhizoma, Armeniacae Semen, Asparagi Tuber, Astragali Radix, Atractylodis Rhizoma Alba, Atractylodis Rhizoma, Aucklandiae Radix, Aurantii Fructus Immaturus, Bupleuri Radix, Carthami Flos, Carthami Tinctorii Seed, Fructus, Cassiae Semen, Chrysanthemi Flos, Cimicifugae Rhizoma, Cinnamomi Cortex, Cinnamomi Ramulus, Citri Unshius Pericarpium, Citrii Unshius Pericarpium Immaturus, Clematidis Radix, Codonopsis Pilosulae Radix, Coptidis Rhizoma, Corydalis Tuber, Crataegi Fructus, Curcumae Longae Rhizoma, Cuscutae Semen, Cynanchi Wilfordii Radix, Cyperi Rhizoma, Dioscoreae Rhizoma, Dipsaci Radix, Ephedrae Herba, Eucommiae Cortex, Forsythiae Fructus, Fritillariae Thunbergii Bulbus, Gardeniae Fructus, Glehniae Radix, Glycyrrhizae Radix et Rhizoma, Kalopanax Cortex, Liriopsis Tuber, Longan Arillus, Lonicerae Flos, Lonicerae Folium et Caulis, Magnoliae Cortex, Menthae Herba, Mori Cortex, Nelumbinis Semen, Osterici Radix, Paeoniae Radix, Perillae Folium, Persicae Semen, Peucedani Radix, Phellodendri Cortex, Pinelliae Tuber, Plantaginis Semen, Platycodonis Radix, Pogostemonis Herba, Polygalae Radix, Polyporus, Ponciri Fructus Immaturus, Poria Sclerotium, Psoraleae Semen, Puerariae Radix, Raphani Semen, Rehmanniae Radix Preparata, Rhei Radix et Rhizoma, Rhei Undulatai Rhizoma, Rubi Fructus, Salviae Miltiorrhizae Radix, Saposhnikoviae Radix, Schisandrae Fructus, Schizonepetae Spika, Scrophulariae Radix, Scutellariae Radix, Sparganii Rhizoma, Taraxaci Herba, Thujae Semen, Trichosanthis Radix, Trichosanthis Semen, Ulmi Cortex, zingiberis Rhizoma, Zizyphi Semen</i>
Vietnam	73	<i>Amomi Fructus, Cinnamomi Cortex, Cinnamomi Ramulus, Longan Arillus, Nelumbinis Semen</i>
Indonesia	43	<i>Agastachis Herba, Amomi Fructus Rotundus, Arecae Semen, Cinnamomi Cortex, Persicae Semen, Pogostemonis Herba</i>
Myanmar	24	<i>Amomi Fructus, Curcumae Longae Rhizoma, Psoraleae Semen, Zizyphi Semen</i>
North Korea	21	<i>Atractylodis Rhizoma Alba, Atractylodis Rhizoma, Lonicerae Flos, Lycii Fructus, Phellodendri Cortex, Pinelliae Tuber, Poria Sclerotium, Rubi Fructus</i>
South Africa	19	<i>Persicae Semen</i>
U.S.A.	18	<i>Massa Medicata Fermentata</i>
Guatemala	7	<i>Amomi Fructus Rotundus</i>
Tailand	5	<i>Longan Arillus</i>
Laos	3	<i>Amomi Fructus</i>

<sup>1)</sup>Numbers of samples.

Hood에서 방치하여 예비분해 후, 용기를 밀폐하고 600 W(혹은 1200 W:용기가 30개 이상일 경우) Power 에서 15분간 200 °C까지 상승시킨 후 5분간 온도를 유지하고, 1분간 210 °C까지 상승시킨 후 5분간 유지하고 다시 1분간 220 °C까지 상승시킨 후 5분간 유지하여 분해하였다. 이를 실온까지 방냉, 탈기하고 용기에 과산화수소(EP-S, Electronic grade, Dong Woo Fine Chem., Seoul, Korea)를 1 mL를 가하여 탈색시킨 후 초순수를 가하여 50 g로 정량하고 여과 후 시험용액으로 하였다. 중금속의 정량은 Inductively coupled plasma-mass spectrometer (Agilent 7500ce, Agilent, Tokyo, Japan)를 사용하여 분석하였으며, 기기분석 조건은 Table 3과 같았다. 기기분석을 위한 검량선은 다원소 표준원액(ICP-MS용 10 µg mL<sup>-1</sup>, Agilent, USA)을 5% 질산용액으로 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10, 20, 50 및 100 µg kg<sup>-1</sup> 농도로 표준용액을 조제하여 사용하였고, 공실험을 하여 시료의 중금속 함량을 구하였다.

### 2.3. 수은 분석

수은은 휘발성을 갖는 금속으로 산으로 전처리 없이 자동시료주입기가 부착된 Mercury analyzer (Model MA-2, Nippon Instruments Co., Japan)를 사용하였다. 시료 50 mg을 정밀히 달아 고온으로 가열 분해하여 수은을 기화시켜 다공성물질의 표면에 금을 코팅한 수은 포집기에 포집, 농축하여 측정하는 가열기화금아

말감법(Combustion-Gold Amalgamation Method)으로 253.7 nm에서 분석하였다. 검량선에 사용된 수은표준 원액은 1000 mg kg<sup>-1</sup> (Kanto Chemical Co., Japan)을 0.001% 시스테인용액으로 2.0, 5.0, 10.0 및 20.0 µg kg<sup>-1</sup>로 조제한 표준용액을 사용하였다. 수은 분석용 시약으로 HG-MHT, HG-BHT (Nippon Instruments Co., Japan)을 사용하였다.

### 2.4. 분석방법 관리

본 연구원은 식품의약품안전청 고시에 따라 생약의 개별중금속을 분석 및 연구를 수행하고 있으며,<sup>19,22</sup> 시험기관자격에 대한 국제규격인 ISO/IEC 17025에 따라 한국인정기구(KOLAS, Korea Laboratory Accreditation Scheme)에서 생약의 개별중금속 중 납, 비소, 카드뮴의 시험장비, 표준물질, 시험요원 등에 대해 국제공인 시험기관 인증을 획득하였고, 이들을 바탕으로 작성한 표준시험방법서(SOP, Standard Operation Procedure)에 따라 실험하였다.<sup>23</sup>

#### 2.4.1. 시료 전처리 및 오염제어

시료 전처리는 유기물과 반응해서 생성되는 matrix 내 방해물질을 줄이기 위하여 질산으로 처리하였다. 염소는 ICP-MS분석 시 비소 및 바나듐의 검출을 어렵게 하는데, 이는 염소가 다량의 방해물질을 생성시키기 때문이다. 특히 원자량 75인 비소의 방해 이온물질인 <sup>40</sup>Ar<sup>35</sup>Cl<sup>+</sup>은 비소와 같은 질량 값을 가지고 있어 동중간섭을 일으킨다. 따라서 방해이온물질을 제거하고 분석효율을 높이기 위하여 도입된 ORS (Octopole Reaction System)는 8개의 전도성 막대로 구성되어 헬륨을 이용하여 방해이온물질을 제거하는 역할을 한다. 즉 Agilent ORS의 헬륨모드는 원자량 75인 <sup>40</sup>Ar<sup>35</sup>Cl<sup>+</sup>, As<sup>+</sup>가 지나갈 때 헬륨이 <sup>40</sup>Ar<sup>35</sup>Cl<sup>+</sup> polyatomic 이온과 충돌하여 <sup>40</sup>Ar<sup>+</sup>와 <sup>35</sup>Cl<sup>+</sup>로 쪼개어지거나, <sup>40</sup>Ar<sup>35</sup>Cl<sup>+</sup> polyatomic 이온이 헬륨과 충돌하여 에너지를 잃고 질량분석기인 사중극자에 들어가지 못하게 되어 비소분석에서 <sup>40</sup>Ar<sup>35</sup>Cl<sup>+</sup>의 영향을 거의 받지 않는다고 보고하였다.<sup>24,25</sup> 본 실험과정에서 중금속의 정량은 ORS가 부착된 ICP-MS를 사용하였다. 분석시료는 대기, 시약 및 초자 그리고 실험자 등 외부 오염원으로부터 오염을 최소화 할 수 있도록 제어해야하며, 전처리 과정에서 발생할 수 있는 외부오염을 사전에 파악하기 위하여 매번 전처리 과정에서 시료를 첨가하지 않고 동일한 전처리 과정을 거친 공실험을 하였고, 각 시료를 분석 후 공실험 값을 빼주어 실제 시료의 중금속 함

Table 3. Operating conditions for ICP-MS

Parameter	Operating condition
R.F. power	1500 W
Argon gas flow rate	
Plasma	15.0 L/min
Auxiliary	0.27 L/min
Carrier	0.85 L/min
He gas flow rate	3.0 mL/min
Interface cones	Platinum
Acquisition parameters	
Points/mass	3
Integration time/mass	0.1 sec
Total acquisition time/replicate	7.28
Replicates	3
Total acquisition time/sample	21.84 sec
Pb/Mass	208
As/Mass	75
Cd/Mass	112

량을 구하였다. 그리고 ICP-MS를 이용한 많은 시료를 분석함에 있어서 기기상태 및 외부 오염으로 인한 오차를 줄이기 위하여 표준시험방법서(SOP)에 따라 일정시료의 분석주기마다 표준용액(10, 100 µg kg<sup>-1</sup>)으로 확인하였다.

2.4.2. 회수율 측정

회수율은 개별중금속의 허용기준에 따라 중금속이 검출되지 않은 바탕시료에 적정농도의 표준용액을 첨가하였다. 작약(*Paeoniae Radix*) 0.5 g에 납 1.0, 10.0 mg kg<sup>-1</sup>, 비소 1.0, 5.0, 카드뮴 0.1, 1.0 그리고 수은 0.01, 0.1의 농도를 첨가한 후 시료와 동일한 조건으로 시험하여 측정하였다. 또한 회수율을 검증하기 위하여 일정농도의 중금속을 함유하고 있는 표준인증물질(Certified Reference material: CRM)을 이용하여 시료와 동일한 전처리 및 측정조건에서 3회 반복 시험하였다. 선택한 표준인증물질은 복숭아 잎을 기본물질로 하여 조제된 미국국립표준연구원(NIST, National Institute of Standards & Technology)의 NIST 1547 이었다. 검출한계(LOD, Limit of detection) 및 정량한계(LOQ, Limit of quantitation)는 반응의 표준편차와 검량선 기울기에 근거하는 방법에 따라 표준용액을 단계별로 3회 반복 측정하여 평균값으로 검량 y를 작성하여 아래의 식에 따라 계산하였다.

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

σ는 반응의 표준편차(the mean standard deviation)  
S는 검량선의 기울기(the individual slope)이다.

2.5. 통계처리

자료의 통계처리는 SPSS package (version 12.0KO)을 이용하여 약용부위의 평균, 표준편차, 범위를 구하였다. 약용부위, 원산지 간의 유의성은 독립표본 t-test, ANOVA-test로 분석하였으며 사후검정으로 Duncan's multiple range test(p<0.05)를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

본 실험에 사용된 ICP-MS 및 수은분석기를 이용한 납, 비소, 카드뮴, 수은의 검출한계는 0.089, 0.011, 0.020, 0.009 µg kg<sup>-1</sup>이었고, 정량한계는 0.272, 0.034, 0.062, 0.026 µg kg<sup>-1</sup>으로 고시에 따른 생약의 개별중금속 기준보다 훨씬 적은 값이었다. 납, 비소, 카드뮴의 검량선은 0.5-100 µg kg<sup>-1</sup>의 농도에서 직선성(r=0.9997)을 보였고, 수은은 2.0-20 µg kg<sup>-1</sup>의 농도에서 r=0.9999를 보였다. 회수율은 작약에 표준용액을 일정농도 첨가하여 측정하였으며, 납 93.6-109.1%, 비소 96.9-97.5%, 카드뮴 106.7-109.4% 그리고 수은 94.8-99.3%를 보였으며, 첨가한 농도가 높을수록 높은 회수율을 나타내었다(Table 4). 또한 회수율을 검증하기 위하여 일정농도의 중금속을 함유하고 있는 표준인증물질(CRM:NIST 1547)을 취하여 시료와 동일한 전처리 및 측정조건에서 3회 반복 측정, 표준물질의 평균 회수율은 납 90.8, 비소 100.5, 카드뮴 97.3 그리고 수은은 96.1% 이었다(Table 5).

한약재의 약용부위에 따른 개별중금속 함량은 Table 6, 국산과 수입 한약재의 비교는 Table 7에 나타

Table 4. Recovery rate of spiked metals in *Paeoniae Radix*

Elements	Addition (mg kg <sup>-1</sup> )	Recovery <sup>1)</sup> (%)	C.V <sup>2)</sup> (%)	LOD <sup>3)</sup> (ug kg <sup>-1</sup> )	LOQ <sup>4)</sup> (ug kg <sup>-1</sup> )
Pb	1.0	93.6	0.97	0.089	0.272
	10.0	109.1	0.35		
As	1.0	96.9	0.15	0.011	0.034
	5.0	97.5	0.17		
Cd	0.1	106.7	1.72	0.020	0.062
	1.0	109.4	0.40		
Hg	0.01	94.8	1.27	0.009	0.026
	0.1	99.3	0.72		

<sup>1)</sup>Mean values obtained from three measurements using a closed vessel microwave digestion. except mercury by combustion-gold amalgamation method

<sup>2)</sup>Coefficient of variance

<sup>3)</sup>3.3×σ/S

<sup>4)</sup>10×σ/S (σ: the mean standard deviation, S : the individual slope)

Table 5. Heavy metals contents in CRM

Elements <sup>1)</sup>	Certified	Measured	Recovery (%)	C.V. <sup>3)</sup> (%)
	Mean± SD (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>2)</sup>	Mean±SD (mg kg <sup>-1</sup> )		
Pb	0.87 ± 0.03	0.79 ± 0.02	90.8	6.3
As	0.060± 0.018	0.060± 0.003	100.5	5.0
Cd	0.026± 0.003	0.025± 0.001	97.3	4.0
Hg	0.031± 0.007	0.030± 0.001	96.1	3.3

<sup>1)</sup>The CRM's of Pb, As, Cd and Hg was Peach leaves (NIST 1547)

<sup>2)</sup>Mean values obtained from three measurements using a closed vessel microwave digestion, except mercury by combustion-gold amalgamation method

<sup>3)</sup>Coefficient of variation

Table 6. Heavy metal contents<sup>1)</sup> in herbal medicines classified by parts used

Group	Pb		As		Cd		Hg		Total	
	n <sup>2)</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	n	mg kg <sup>-1</sup>	n	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	N <sup>3)</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	
Above ground parts	29	0.92±3.59 <sup>§</sup> (ND~87.2)	5	0.18±0.68 <sup>§</sup> (ND~20.0)	58	0.08±0.13 <sup>§</sup> (ND~1.94)	-	0.009±0.012 <sup>§</sup> (ND~0.144)	92/1539	1.194±3.945 <sup>§</sup> (ND~91.83)
Underground parts	4	0.43±0.87 (ND~16.7)	-	0.26±0.35 (ND~2.44)	90	0.13±0.15 (ND~1.78)	-	0.008±0.011 (ND~0.130)	94/1613	0.826±1.097 (ND~17.53)
Total	33	0.67±2.59 (ND~87.2)	5	0.22±0.54 (ND~20.0)	148	0.11±0.14 (ND~1.94)	-	0.009±0.011 (ND~0.144)	186/ 3152	1.005±2.872 (ND~91.83)
Cortex	14	1.35±2.61 <sup>b</sup> (ND~19.6)	-	0.18±0.25 <sup>a-c</sup> (ND~2.41)	4	0.10±0.10 <sup>c</sup> (ND~0.65)	-	0.011±0.010 <sup>c-d</sup> (ND~0.068)	18/299	1.634±2.746 <sup>c</sup> (ND~21.64)
Flos	9	5.34±14.0 <sup>c</sup> (0.01~87.2)	3	0.77±1.61 <sup>d</sup> (0.02~11.9)	2	0.11±0.08 <sup>c</sup> (ND~0.51)	-	0.022±0.024 <sup>f</sup> (0.001~0.144)	14/77	6.241±15.180 <sup>e</sup> (0.09~91.83)
Fructus	1	0.34±0.76 <sup>a</sup> (ND~10.5)	-	0.09±0.15 <sup>a</sup> (ND~2.08)	-	0.04±0.05 <sup>a</sup> (ND~0.29)	-	0.006±0.009 <sup>ab</sup> (ND~0.12)	1/520	0.475±0.852 <sup>a</sup> (ND~11.70)
Herba	2	0.77±1.04 <sup>a</sup> (ND~6.62)	1	0.25±0.45 <sup>c</sup> (0.01~4.00)	15	0.12±0.15 <sup>c</sup> (ND~0.94)	-	0.015±0.008 <sup>c</sup> (0.001~0.057)	18/181	1.154±1.273 <sup>bc</sup> (0.05~6.97)
Perithecium	-	0.64±0.98 <sup>a</sup> (0.01~4.20)	-	0.11±0.17 <sup>ab</sup> (ND~0.79)	10	0.10±0.23 <sup>c</sup> (ND~1.49)	-	0.010±0.014 <sup>c</sup> (0.001~0.132)	10/102	0.861±1.116 <sup>ab</sup> (0.04~5.34)
Semen	-	0.19±0.44 <sup>a</sup> (ND~4.93)	1	0.16±1.23 <sup>a-c</sup> (ND~20.0)	4	0.07±0.08 <sup>b</sup> (ND~0.44)	-	0.004±0.007 <sup>a</sup> (ND~0.048)	5/265	0.422±1.377 <sup>a</sup> (ND~21.20)
Caulis	3	1.80±1.74 <sup>b</sup> (ND~8.11)	-	0.24±0.27 <sup>bc</sup> (0.01~2.07)	23	0.19±0.26 <sup>d</sup> (ND~1.94)	-	0.013±0.009 <sup>de</sup> (ND~0.042)	26/95	2.238±1.855 <sup>d</sup> (0.03~8.82)
Radix	3	0.43±0.89 <sup>a</sup> (ND~16.7)	-	0.27±0.37 <sup>c</sup> (ND~2.44)	26	0.11±0.11 <sup>c</sup> (ND~1.04)	-	0.008±0.011 <sup>b</sup> (ND~0.130)	29/1028	0.825±1.117 <sup>ab</sup> (ND~17.53)
Rhizoma	1	0.42±0.83 <sup>a</sup> (ND~12.8)	-	0.23±0.31 <sup>bc</sup> (ND~2.44)	64	0.17±0.19 <sup>d</sup> (ND~1.78)	-	0.008±0.010 <sup>b</sup> (ND~0.090)	65/585	0.828±1.063 <sup>ab</sup> (0.08~15.98)

<sup>1)</sup>Mean± standard deviation. The same letters (a-c) in the same column are not significantly different at  $p < 0.05$ . Numbers in parenthesis are range. Not Detected ( $\leq 0.001$ ).

<sup>2)</sup>Number of sample exceeded heavy metal standard

<sup>3)</sup>Number of sample exceeded its criteria/Total number of sample analyzed, Herbal standard criterion announced by KFDA (Not more than-Pb:5, As:3, Cd:0.3, Hg:0.2 mg kg<sup>-1</sup>)

<sup>4)</sup>p-value indicates significant differences of individual heavy metal contents between above-ground part and underground part of herbs (t-test,  $< 0.05$ ).

내었다.

납의 함량(mg kg<sup>-1</sup>)은 지상부의 꽃 5.34, 줄기 1.80, 표피 1.35, 잎 0.77, 버섯 0.64, 과실 0.34, 씨부위 0.19

그리고 평균 0.92이었고, 지하부의 뿌리 0.43, 뿌리줄기 부위 0.42 그리고 평균 0.43이었다. 꽃, 줄기, 표피 부위가 유의적인 수준에서 납이 높았는데 이들 부위

Table 7. Comparison of heavy metal contents<sup>1)</sup>

Group	Korea (unit:mg kg <sup>-1</sup> )					China (others) (unit:mg kg <sup>-1</sup> )				
	n <sup>2)</sup>	Pb	As	Cd	Hg	n	Pb	As	Cd	Hg
Above ground parts	24/688	0.39±0.64 <sup>§</sup> (ND~4.32)	0.11±0.23 <sup>§</sup> (ND~4.00)	0.07±0.13 <sup>§</sup> (ND~1.94)	0.007±0.007 <sup>§</sup> (ND~0.065)	68/851	1.35±4.75 (ND~87.2)	0.24±0.88 (ND~20.0)	0.09±0.12 (ND~1.49)	0.011±0.014 (ND~0.144)
Underground parts	45/975	0.34±0.64 <sup>§</sup> (ND~12.8)	0.25±0.36 (ND~2.44)	0.14±0.12 <sup>§</sup> (ND~1.78)	0.007±0.011 <sup>§</sup> (ND~0.126)	49/638	0.56±1.12 (ND~16.7)	0.27±0.33 (ND~2.44)	0.12±0.18 (ND~1.30)	0.009±0.010 (ND~0.130)
Total	69/1663	0.36±0.64 <sup>§</sup> (ND~12.8)	0.19±0.32 <sup>§</sup> (ND~4.00)	0.11±0.13 (ND~1.94)	0.007±0.009 <sup>§</sup> (ND~0.126)	117/1489	1.01±3.68 (ND~87.2)	0.25±0.70 (ND~20.0)	0.10±0.15 (ND~1.49)	0.010±0.012 (ND~0.144)
Cortex	1/81	0.83±0.97 <sup>§</sup> (ND~4.32)	0.16±0.21 (0.01~1.31)	0.10±0.09 (ND~0.41)	0.009±0.006 <sup>§</sup> (0.001~0.029)	17/218	1.54±3.00 (ND~19.6)	0.18±0.26 (ND~2.41)	0.10±0.10 (ND~0.65)	0.012±0.011 (ND~0.068)
Flos	1/16	0.37±0.45 (0.02~1.57)	0.15±0.31 (0.02~1.29)	0.13±0.11 (ND~0.45)	0.015±0.011 (0.001~0.035)	13/61	6.64±15.5 (0.01~87.2)	0.94±1.78 (0.03~11.9)	0.10±0.07 (0.01~0.51)	0.024±0.026 (0.001~0.144)
Fructus	-/325	0.18±0.29 <sup>§</sup> (ND~2.4)	0.05±0.08 <sup>§</sup> (ND~0.59)	0.04±0.05 (ND~0.29)	0.004±0.006 <sup>§</sup> (ND~0.065)	1/195	0.60±1.13 (ND~10.5)	0.15±0.22 (ND~2.08)	0.04±0.05 (ND~0.24)	0.008±0.012 (ND~0.120)
Herba	15/107	0.45±0.54 <sup>§</sup> (ND~3.31)	0.19±0.42 <sup>§</sup> (0.01~4.00)	0.14±0.20 (ND~0.94)	0.013±0.006 <sup>§</sup> (0.002~0.037)	3/74	1.22±1.37 (ND~6.62)	0.34±0.47 (0.01~2.44)	0.10±0.08 (0.01~0.46)	0.018±0.009 (0.001~0.057)
Perithecium	3/33	0.77±1.29 (0.01~4.20)	0.11±0.19 (0.01~0.79)	0.08±0.17 (ND~0.65)	0.008±0.005 (0.002~0.023)	7/69	0.57±0.79 (0.01~3.26)	0.11±0.16 (ND~0.73)	0.11±0.26 (ND~1.49)	0.011±0.017 (0.001~0.132)
Semen	-/64	0.11±0.16 (ND~0.90)	0.04±0.05 (ND~0.24)	0.05±0.05 <sup>§</sup> (ND~0.25)	0.004±0.005 (ND~0.027)	5/201	0.21±0.50 (ND~4.93)	0.20±1.41 (ND~20.0)	0.08±0.09 (ND~0.44)	0.004±0.007 (ND~0.048)
Caulis	4/62	0.90±0.73 <sup>§</sup> (ND~4.21)	0.29±0.32 <sup>§</sup> (0.01~2.07)	0.10±0.26 <sup>§</sup> (ND~1.94)	0.010±0.007 <sup>§</sup> (ND~0.042)	22/33	3.50±1.83 (0.29~8.11)	0.14±0.07 (0.04~0.35)	0.35±0.16 (ND~0.58)	0.020±0.008 (0.001~0.039)
Radix	13/632	0.36±0.53 <sup>§</sup> (ND~4.38)	0.27±0.39 (ND~2.44)	0.12±0.09 <sup>§</sup> (ND~0.60)	0.008±0.012 (ND~0.126)	16/396	0.54±1.26 (ND~16.7)	0.29±0.32 (ND~2.40)	0.09±0.13 (ND~1.04)	0.009±0.009 (ND~0.130)
Rhizoma	32/343	0.29±0.80 <sup>§</sup> (ND~12.8)	0.23±0.31 (0.01~2.42)	0.17±0.16 (ND~1.78)	0.006±0.008 <sup>§</sup> (ND~0.09)	33/242	0.60±0.84 (ND~4.49)	0.23±0.32 (ND~2.44)	0.18±0.23 (ND~1.30)	0.010±0.011 (ND~0.078)

<sup>1)</sup>Mean±standard deviation. Numbers in parenthesis are range. Not Detected (≤ 0.001).

<sup>2)</sup>Number of sample exceeded its criteria/Total number of sample analyzed

Herbal standard criterion announced by KFDA (Not more than - Pb:5, As:3, Cd:0.3, Hg:0.2 mg kg<sup>-1</sup>)

<sup>3)</sup>p-value shows significant differences of heavy metal contents between domestic and imported medicinal herbs (t-test, <0.05).

는 검출범위가 꽃 0.01-87.2, 줄기 ND-8.11, 표피부위 ND-19.6으로 함량분포가 넓었다. 과실, 씨부위는 다른 부위와 비교하여 납이 적었다(ANOVA-test, p<0.05). 이는 꽃, 표피부위가 개별중금속의 함량이 높고, 과실, 씨부위가 다른 부위에 비하여 중금속 함량이 적었다는 보고<sup>19,21</sup>와 유사한 경향을 보였다. 납은 지상부가 지하부보다 유의적인 수준에서 높았다(t-test, p<0.05). 납의 기준을 초과한 시료는 지상부의 표피 14건, 꽃 9건, 줄기 3건, 잎 2건, 과실부위 1건으로 전체 29건, 지하부의 뿌리 3건, 뿌리줄기부위 1건으로 전체 4건으로, 지상부가 지하부보다 납의 오염이 많았다. 국산과 수입 한약재의 비교에서는 0.36, 1.01으로, 국산보다 수입산이 높았고(t-test, p<0.05), 기준을 초과한 시료는 국산 1건, 수입 한약재는 32건이었다. 그리고 국산/수입산의 납 함량에서 유의적인 차이를 보인 부위는 표피 0.83/1.54, 과실 0.18/0.60, 잎 0.45/1.22, 줄기 0.90/3.50, 뿌리 0.36/0.54, 뿌리줄기부위 0.29/0.6으로 수입

산 한약재가 유의적인 수준에서 높았고, 국산/수입산에서 차이를 보이는 약용부위가 비소, 카드뮴, 수은과 비교하여 많았다(t-test, p<0.05).

비소의 함량(mg kg<sup>-1</sup>)은 지상부의 꽃 0.77, 잎 0.25, 줄기 0.24, 표피 0.18, 씨 0.16, 버섯 0.11, 과실부위 0.09 그리고 평균 0.18이었고, 지하부의 뿌리 0.27, 뿌리줄기부위 0.23 그리고 평균 0.26이었다. 비소는 지하부가 지상부보다 높았다(t-test, p<0.05). 비소의 기준을 초과한 시료는 지상부의 꽃 3건, 잎 1건, 씨부위 1건으로 전체 5건이었으며, 지하부에서는 없었다. 국산과 수입 한약재의 비교에서는 0.19, 0.25으로 국산보다 수입산이 많았고(t-test, p<0.05), 기준을 초과한 시료는 국산 1건, 수입 한약재는 4건이었다. 그리고 국산/수입산의 비소 함량에서 차이가 있는 부위는 과실 0.05/0.15, 잎 0.19/0.34, 줄기부위 0.29/0.14으로 수입산 한약재가 과실, 잎부위에서 높았고, 줄기부위는 반대였다(t-test, p<0.05).



Table 8. Correlation coefficients among heavy metal contents

Group	n <sup>1)</sup>	Pb			As		Cd
		As	Cd	Hg	Cd	Hg	Hg
Above ground parts	1539	0.418**	0.160**	0.234**	0.106**	0.134**	0.219**
Underground parts	1613	0.331**	0.354**	0.158**	0.084**	0.315**	0.051**
Total	3152	0.386**	0.145**	0.196**	0.101**	0.182**	0.115**
Cortex	299	0.323**	0.402**	0.160**	0.176**	0.235**	0.202**
Flos	77	0.698**	NS	NS	NS	NS	NS
Fructus	520	0.437**	0.288**	0.092**	0.230**	0.155**	NS
Herba	181	0.282**	NS	0.457**	NS	NS	NS
Perithecium	102	0.231*	NS	NS	0.625**	0.450**	0.294**
Semen	265	0.124*	NS	NS	0.165**	NS	NS
Caulis	95	NS	0.410**	0.569**	-0.247*	NS	0.428**
Radix	1028	0.365**	0.258**	0.165**	0.152**	0.380**	NS
Rhizoma	585	0.257**	0.514**	0.144**	NS	0.159**	0.094*

<sup>1)</sup>Total number of sample analyzed

\*, \*\*=  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ , respectively, NS; Not significant

카드뮴의 함량( $\text{mg kg}^{-1}$ )은 지상부의 줄기 0.19, 잎 0.12, 꽃 0.11, 표피 0.10, 씨 0.07, 과일 0.04 그리고 평균 0.08이었고, 지하부의 뿌리줄기 0.17, 뿌리부위 0.11 그리고 평균 0.13이었다. 카드뮴은 줄기, 뿌리줄기 부위에서 많았으며, 과실, 씨부위가 적었다(ANOVA-test,  $p < 0.05$ ). 지상부보다 지하부가 카드뮴의 함량이 높았다(t-test,  $p < 0.05$ ). 카드뮴의 기준을 초과한 시료는 지상부의 줄기 23건, 잎 15건, 버섯 10건, 씨 4건, 표피 4건, 꽃부위 2건으로 전체 58건이었고, 지하부의 뿌리줄기 64건, 뿌리부위 26건으로 전체 90건이었다. 카드뮴의 경우는 지하부가 지상부보다 오염의 가능성이 높았다. 전체 시료 3152건 중에서 개별중금속의 기준을 초과한 시료 186건 이었으며, 이 중에서 카드뮴 기준을 초과한 것은 148건으로 납, 비소 수은에 비하여 부적합이 많았다. 국산과 수입 한약재의 비교에서 카드뮴의 함량은 0.11, 0.10으로 유의적인 차이는 보이지 않았고(t-test,  $p < 0.05$ ), 카드뮴의 기준을 초과한 시료는 수입 한약재는 81건, 국산은 67건이었다. 그리고 국산/수입산의 카드뮴 함량에서 차이를 보이는 부위는 씨 0.05/0.08, 줄기 0.10/0.35, 뿌리부위 0.12/0.09으로 수입산 한약재가 씨, 줄기부위에서 높았고, 뿌리부위는 반대였다(t-test,  $p < 0.05$ ).

수은의 함량( $\text{mg kg}^{-1}$ )은 지상부의 꽃 0.022, 잎 0.015, 줄기 0.013, 표피 0.011, 버섯 0.010, 과실 0.006, 씨부위 0.004 그리고 평균 0.009이었고, 지하부의 뿌리 0.008, 뿌리줄기부위 0.008 그리고 평균 0.008이었다. 지상부와 지하부는 유의적인 차이가 있었으나(t-test,  $p < 0.05$ ),

수은의 기준을 초과한 시료는 없었다. 국산과 수입한약재의 수은의 함량은 0.007, 0.010으로 국산보다 수입산이 높았다(t-test,  $p < 0.05$ ). 그리고 국산/수입산의 비소 함량에서 차이를 보이는 부위는 표피 0.009/0.012, 과실 0.004/0.008, 잎 0.013/0.018, 줄기 0.010/0.020, 뿌리줄기부위 0.006/0.010으로 수입산 한약재가 많았다(t-test,  $p < 0.05$ ).

약용부위에 따른 개별중금속의 함량( $\text{mg kg}^{-1}$ )은 씨 0.422, 과실부위 0.475로 적었고, 뿌리 0.825, 뿌리줄기 0.828, 버섯부위 0.861이었고, 잎 1.154, 표피 1.634, 줄기 2.238, 꽃부위 6.241의 순으로 중금속의 오염이 높았다(ANOVA-test,  $p < 0.05$ ).

유통한약재의 납, 비소, 카드뮴, 수은의 함량 간의 상관관계는 Table 8과 같았다. 납은 비소와 지상부( $r=0.418$ ), 지하부( $r=0.331$ )에서, 카드뮴과는 지상부( $r=0.160$ ), 지하부( $r=0.354$ )에서, 수은과는 상관관계가 약하였다( $p < 0.01$ ). 즉 납은 한약재의 지상부에서 비소와, 지하부에서 비소, 카드뮴과 상관관계가 있었다. 이는 카드뮴은 납, 구리, 아연광석과 항상 같이 존재한다는 보고<sup>26</sup>와 유사한 경향을 보였다. 비소는 카드뮴과 관계가 약하였고, 수은과는 지하부( $r=0.315$ )에서 관계가 있었다. 카드뮴은 수은과 관계가 약하였다( $p < 0.01$ ). 약용부위에 따른 개별중금속들의 관계는, 납은 표피, 과실, 뿌리, 뿌리줄기부위에서 비소, 카드뮴, 수은과 상관관계를 보였다( $p < 0.01$ ). 비소는 표피, 과실, 버섯, 뿌리부위에서 카드뮴, 수은과 관계를 보였다. 카드뮴은 표피, 버섯, 줄기부위에서 수은과 관계를 보였다( $p < 0.01$ ).

### 감사의 글

본 연구는 서울시 보건환경연구원 강북농수산물검사소의 지원으로 이루어졌으며, 김은주,곽재은, 정삼주, 정보경, 정희정, 김리라 선생님께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 박창호, 강신인, '한약재포제기술', 15, 청문각, 한국, 2006.
2. 식품의약품안전청, 고시 제2009-35호, 2009.
3. 한의약육성법, 법률 제6965호(2003.8.6)
4. 식품의약품안전청, '한약재표준제조공정지침', 3, 2008.
5. 한국보건산업진흥원, '한약품질및유통관리제도 조사연구', 2, 한국, 2000.
6. G. B. Jung, B.Y. Kim, K. S. Kim, J.S. Lee and I. S. Ryu, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, **29**, 158(1996).
7. G. G. S. Holmgren, M. W. Meyer, R. L. Chaney and R. B. Daniels, *American J. Environ. Qual.*, **22**, 335(1993).
8. 김형국, '약전해설서', 346, 파마코리아나, 한국, 2008.
9. S. D. Lee, and K. S. Park, *Korean J. Oriental Preventive Medical Society*, **5**, 31(2001).
10. J. S. Kim, S. W. Hwang, J. M. Kim and J. Y. MA, *Korean J. Yakhak Hoeji*, **45**, 448(2001).
11. J. H. Kim, J. Y. Yang and Y. S. Moon, *Korean J. of the Environmental Sciences*, **16**, 1287(2007).
12. Y. Y. Cha, S. K., Hea, B. C. Cha and S. H. Sea, *Korean J. Oriental Physiology & Pathology*, **21**, 226(2007).
13. D. H. Jung and M. K. Park, *Korean J. of the Environmental Sciences*, **17**, 129(2008).
14. S. H. Lee, H. Y. Choi and C. H. Park, *Korean J. of Biotechnol Bioeng.*, **18**, 90(2003).
15. M. K. Park, *Korean J. of the Env. Sci.*, **16**, 241(2007).
16. S. D. Lee, H. M. Park, J. C. Lee and Y. B, Kook, *Korean J. of Oriental Med.*, **24**, 59(2003).
17. 서부일, 이제현, 최호영, 권동렬, 부영민, '한약본초학', 29, 영림사, 한국, 2006.
18. 한국의약품수출입협회, '한약재감별주해', 15-38, 대영, 한국, 2003.
19. Y. Shin, J. E. Kwak, C. H. Han, Y. S. Hwang, A. S. Park, D. G. Kim, E. J. Han, S. J. Jung, B. S. Kim, B. H. Choi, *Report of Seoul Institute of Health and Environment, Korea*, **43**, 226(2007).
20. J. E. Kwak, Y. Shin, C. H. Han, Y. S. Hwang, A. S. Park, D. G. Kim, E. J. Han, S. J. Jung, B. S. Kim, B. H. Choi and M. Y. Kim, *Report of Seoul Institute of Health and Environment, Korea*, **43**, 129(2007).
21. I. S. Yu and Y. J. Hong, *Report of Seoul Institute of Health and Environment, Korea*, **42**, 62(2006).
22. Y. J. Hong, J. E. Kwak, W. H. Park, Y. S. Hwang, E. J. Kim, A. S. Park, Y. Shin, E. J. Han, J. M. Lee, B. S. Kim and B. Y. Choi, *Report of Seoul Institute of Health and Environment, Korea*, **42**, 286(2006).
23. KOLAS (Korea Laboratory Accreditation Scheme), KT208호.
24. 김복순, 단국대학교 박사학위논문, 58(2007).
25. 영인과학, 'ICP-MS 입문서', 28-39, 한국, 2005.
26. Raymond Niesink, Manfred A. Hollinger, John De Vries, 'Toxicology-Principles and Applications', 17-38, CRC Press, Inc., Florida, USA, 1996.