

식육 및 그 가공품의 중금속 모니터링

황태익 · 안태현 · 김은정 · 이정아 · 강명희 · 장영미 · 김미혜^{1*}
경인지방식품의약품안전청 수입식품분석과, ¹식품의약품안전청 오염물질과

Monitoring Heavy Metals in Meat and Meat Products

Taeik Hwang, Taehyun Ahn, Eun Jung Kim, Jung Ah Lee, Myoung Hee Kang, Young Mi Jang, and Meehye Kim^{1*}

Imported Food Analysis Division, Gyeongin Regional Korea Food and Drug Administration

¹Food Contaminants Division, Korea Food and Drug Administration

Abstract This study was conducted to examine the contents of lead (Pb), cadmium (Cd), arsenic (As), and mercury (Hg) in meat and meat products in Korea. The contents of Pb, Cd, As, and Hg in 466 samples of beef, pork, chicken, duck, ham, and sausage were measured using inductively coupled plasma mass spectrometry or a mercury analyzer. Wet ashing and microwave method were compared, and the recovery and reproducibility of the microwave method were better than those of wet ashing for meat and meat products. The recovery of the microwave method was 98.1% for Pb, 104.6% for Cd, and 103.4% for As, respectively. The best result was obtained through digestion using an acid mixture (HNO₃/H₂O₂, 6:2). Hg content was measured using a mercury analyzer. As a result, the contents of Hg and Cd in samples were lower than those of Pb and As. The average contents of Pb were 0.009 mg/kg in beef, 0.010 mg/kg in pork, 0.006 mg/kg in chicken, 0.007 mg/kg in duck, 0.005 mg/kg in ham, and 0.009 mg/kg in sausage. The average Cd contents were 0.0004 mg/kg in beef, 0.0004 mg/kg in pork, 0.0005 mg/kg in chicken, 0.0012 mg/kg in duck, 0.0015 mg/kg in ham, and 0.0019 mg/kg in sausage. The average As contents were 0.016 mg/kg in beef, 0.004 mg/kg in pork, 0.021 mg/kg in chicken, 0.010 mg/kg in duck, 0.014 mg/kg in ham, and 0.018 mg/kg in sausage. The average Hg contents were 0.713 µg/kg in beef, 0.902 µg/kg in pork, 0.710 µg/kg in chicken, 0.796 µg/kg in duck, 1.141 µg/kg in ham, and 1.052 µg/kg in sausage. Based on the results of the National Health and Nutrition Survey 2005, the levels of dietary exposure to heavy metal contaminants in meat and meat products were compared with the provisional tolerable weekly intake(PTWI) established by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. The average dietary exposure of the general population from meat and meat products was 0.03-0.2% of PTWI for Pb, Cd, As, and Hg, which indicates a safe level for public health at present.

Keywords: heavy metal, lead, cadmium, arsenic, mercury, meats

서 론

중금속은 독성이 강하여 급성 중독을 일으키며 만성적으로 체 내에 쌓여, 신장 및 간 등에 축적되어 신체 기능 저하, 돌연변이유발 및 신경조직에 심각한 손상을 줄 수 있으며(1-4) 주로 토양을 비롯한 환경에서 오염되므로 모니터링을 통한 지속적인 관리가 필요하다.

납은 호흡기나 소화기를 통하여 체내에 흡수되며 흡수된 납은 혈장 및 적혈구와 접촉하여 90-99%가 적혈구와 상호작용을 하며 나머지는 혈장 중 알부민이나 γ -globulin과 결합한다(2,5). 납은 신장, 간, 뇌와 같은 연조직에서 단백질과 쉽게 결합하며(2), 납과 안정된 결합을 형성하는 에틸렌디아민사아세트산(EDTA)은 납의

급성 중독을 경감시키는 효과가 있다(5,6). 카드뮴은 호흡기와 경구를 통해 흡수되며 IARC(International Agency for research on Cancer)에서는 Group 1로 인체 발암 물질로 분류하고 있으며(4), 카드뮴 증기를 흡입하는 경우 일차적으로 발열, 오한, 금속의 맛을 유발하며 호흡이 빨라지고, 무력감, 호흡곤란 증상을 보이며 심한 경우는 급성 화학적 폐렴과 폐수종을 일으킨다(6). 비소는 다양한 형태의 화합물(Fig. 1)로 환경 중에 널리 분포하는 금속물질로서 강한 독성을 가지고 있는 주요 환경오염물질이다(Fig. 1)(6). IARC에서는 무기비소에 대해 인체 발암물질인 Group 1로 분류하고 있으며(4), 특히 폐암, 피부암 및 간암을 일으키며 발암성 뿐만 아니라 피부질환과 심혈관계질환 등 비발암성 독성에 의한 인체에 대한 위해성이 매우 큰 화학물질이다(7). 일반적으로 무기비소화합물이 유기비소화합물에 비해 인체에 대한 독성이 크며 3가 비소화합물이 5가 비소화합물에 비해 독성이 강하다(5). 비소의 인체에 대한 위해성은 이온의 상태나 화합물의 형태에 따라 다른 것으로 알려져 있다(7,8). 수은은 체내에 호흡기나 피부를 통하여 흡수되며 수은 증기에 높은 농도로 노출되면 호흡기계통에 영향을 준다(2,6). 수은 화합물은 생체 내에서도 환경 속에서 금속 수은, 무기 수은, 유기 수은 사이에서 서로 변화하는데 생체 내에서의 대사나 독성은 각각의 화학형에 따라 다르다(2,6). 유기 수은 화합물, 특히 메틸수은은 대단히 이용성이 높기

*Corresponding author: Meehye Kim, Food Contaminants Division, Food Safety Evaluation Department, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Korea Food and Drug Administration, Cheongwon, Chungbuk 361-951, Korea

Tel: 82-43-719-4251
Fax: 82-43-719-4250
E-mail: meehkim@kfdsa.go.kr

Received November 3, 2009; revised June 15, 2011;
accepted June 21, 2011

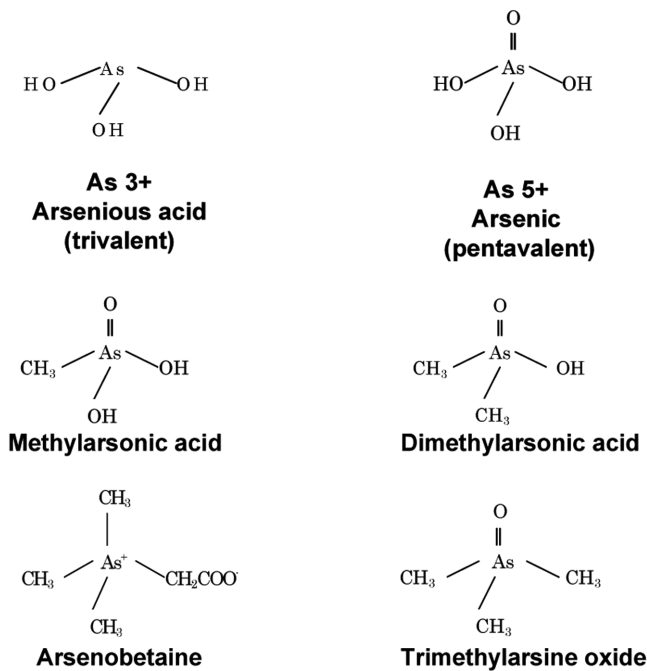


Fig. 1. Examples of structural formula of arsenic species.

때문에 세포막을 통과하기 쉽고 따라서 장관 흡수율도 높아 체내 여러 조직에 분포된다(2,6). 국내에서도 식품 중 중금속에 대한 모니터링 연구가 지속적으로 진행되어 왔으며 2006년에는 10대 농산물로 쌀, 옥수수, 대두, 팥, 고구마, 감자, 배추, 시금치, 파 및 무에 대한 납과 카드뮴의 기준을 신설하는 등 가공식품 뿐만 아니라 농산물을 비롯한 원재료에 대해서도 개별 중금속의 기준을 확대해 나아가고 있는 추세이다. 따라서 국민소득의 증가로 인하여 섭취빈도가 갈수록 높아지고 있는 식육에 대하여 중금속 모니터링을 통한 안전관리가 요구된다.

Codex, EU, 호주 및 뉴질랜드에서는 중금속 중 납과 카드뮴에 대하여 선별적으로 식육, 부산물 및 가공품에 대하여 관리하고 있으며(9) 국내에서도 병통조림식품 중 주석 뿐만 아니라 소고기, 소간, 돼지고기 및 돼지간 등에서 납과 카드뮴의 허용기준을 설정하여 관리하고 있다(10). 경제 성장 및 국민 소득 수준 향상으로 식육 및 식육가공품의 수요가 매년 증가하고 있고, 가공품의 경우 수입 원료가 많은 비중을 차지하고 있어 국민 건강 보호 및 증진을 위해 식육 및 식육가공품의 중금속 오염 실태조사가 요구된다.

본 연구에서는 축산물가공처리법에서 규정된 식육을 목적으로 하는 소고기, 돼지고기, 닭고기, 오리고기와 식육 가공품 중 국내 소비량이 높은 소시지와 햄에 대하여 유해 중금속의 오염실태를 파악하고 식품의 안전성 확보에 필요한 자료를 마련하고자 하였으며, 이를 위해 식육 및 식육가공품에 대한 습식 회화법(황산-질산법)과 마이크로웨이브를 이용한 분해법을 비교하고 이 중 마이크로웨이브를 이용한 분해법을 이용하여 유해 중금속인 납, 카드뮴, 비소 및 수은에 대한 모니터링을 실시하였다.

재료 및 방법

시료

다소비 식품(2005년 한국 국민건강영양조사)을 고려하여 선정된 시료는 2008년 5월부터 11월까지 서울, 경기, 충청, 호남, 강

원, 경북 및 경남으로 구분하여 대도시의 대형 할인 매장 및 재래시장에서 구입하여 아이스박스에 넣어 운반하였다. 소고기의 경우 소비량이 높은 등심 부위로 구매하였고, 돼지고기는 목살을 구매하였다. 닭과 오리는 부분육 또는 한 마리를 통째로 구매하였고 햄과 소시지는 지역별 구분보다는 다양한 제조사를 고려하여 구매하여 소, 돼지, 닭, 오리, 햄 및 소시지 총 466건을 수거하여 분석하였다.

시약 및 초자

분해용 시약으로는 70% 질산(Dongwoo Fine Chem, Korea), 30% 과산화수소수(Junsei chemical, Tokyo, Japan) 및 황산(Junsei chemical)을 사용하였고, 초순수 제조기(Ultra Analytic, Marlow, ELGA, UK)를 이용하여 실험에 사용되는 증류수는 18.2 MΩ 수준으로 정제된 물을 사용하였다. 모든 실험에 사용된 용기는 폴리에틸렌 및 폴리프로필렌 재질을 사용하였으며, 10% 질산에 24시간 침지하고 흐르는 물에 수회 세척 후 초순수로 5회 이상 씻어 사용하였다. ICP-MS 분석을 위한 납, 카드뮴 및 비소 표준액(1,000 mg/kg, Korea Research Institute of Standard and Science, Korea)은 0.5N 질산에 희석하여 사용하였고, 수은 분석을 위한 표준품은 MESS-3(0.091 mg/kg, NRCCNRC, Canada) 인증표준물질을 이용하여 검량선을 작성하였다. 회수율 시험 중 납, 카드뮴 및 비소는 어육의 근육 분말(European reference material-CE278, Institute for reference materials and measurements, Belgium)을 이용하여 측정하였고, 수은은 굴조식 분말(108-04-001, Korea Research Institute of Standard and Science, Korea)을 이용하였다.

시료의 전처리

채취된 시료는 500 g 이상을 취하여 균질기(Hallde VCM-61, AB Hallde Maskiner, Sweden)로 균질화(5,000 rpm, 5 min)한 후 분석하거나, 폴리에틸렌 용기에 담아 냉동(-60°C 이하) 보관 후 실온에서 해동하여 사용하였다. 시료의 분해는 습식 분해법(황산-질산법)과 마이크로웨이브법을 비교하여 그 중 편리하고 효율적인 분해법을 선택하였다.

납, 카드뮴, 비소 및 수은 분석

식품공전(10)에는 전처리법으로 건식 회화법과 습식 분해법으로는 황산-질산법과 마이크로웨이브법을 제시하고 있으며 본 연구에서는 휘발성이 강한 원소에서 낮은 회수율을 보이는 건식 회화법보다 회수율이 우수한 습식 분해법 중 황산-질산법을 변형한 습식 분해법과 마이크로웨이브법을 비교실험하였다.

습식 분해법

지방함량이 높은 식육의 빠른 분해를 위해 식품공전에 수록되어 있는 황산-질산법을 변형하여 전처리하였으며, 그 방법으로는 검체 12g을 분해플라스크에 취해 질산 30mL를 넣고 일정 시간 방치 후 조용히 가열하여 격렬한 반응이 그치면 식힌 다음 황산 5mL를 넣고 다시 가열하였다. 내용물이 암색이 되고 나면 질산과 과산화수소를 2-3mL씩 추가하면서 가열을 계속하여 미황색-무색이 될 때 분해가 끝난 것으로 하였으며 최대한 산(acid)을 날린 후 증류수를 이용하여 50mL로 정용하여 납, 카드뮴 및 비소 분석에 사용하였다.

마이크로웨이브법

납, 카드뮴 및 비소의 경우, 시료 약 1.5-2.0g을 microwave vessel에 취하여 산(acid) 혼합액(질산/과산화수소, 6:2) 10mL를 넣

Table 1. Heating program for the digestion procedure

Step	Time (min)	Temperature (°C)	Power (W)
1 (heating)	10	120	700
2 (holding)	5	120	700
3 (heating)	10	200	700
4 (holding)	20	200	700

은 후 microwave digestion(ETHOS, Milestone S&T Co., Ltd, Sorisole, Italy)을 이용하여 Table 4의 조건으로 시료를 분해하였다. 분해가 끝난 후 가스를 제거하고 증류수로 약 10배가 되게 희석하여 분석에 사용하였다. 식육의 경우 지방 함량이 높아 분해 시 다량의 가스가 생성되어 microwave vessel에 많은 압력을 주게 되므로 예비 산화를 위하여 산 혼합액(질산/과산화수소, 6:2)을 사용하여 분석하였다(11).

수은 분석

수은의 분석은 Direct Mercury Analyzer(Model IT/DMA-80, Milestone S&T)를 사용하여 가열기화금아말감법(combustion gold amalgamation method)으로 수은함량을 측정하였다. 검량선은 표준액보다 사용하기 편리하고 안정된 인증표준물질(0.091 mg/kg, NRCCNRC)을 이용하여 0, 2, 5, 10, 20 ng 농도로 검량선을 작성하였으며 수은 분석에 사용되는 석영 boat는 증류수를 이용하여 초음파 세척 후 빈 boat의 height가 0.000-0.003 이하가 될 때까지 공시험 후 시료분석에 사용하였다. 균질화된 시료 약 0.1 g을 취하여 전처리 없이 곧바로 수은 분석기를 이용하여 분석하였으며 기기 분석조건은 Table 2과 같다.

기기 분석

납, 카드뮴 및 비소는 ICP-MS(Model Elan DRC II, PerkinElmer, Waltham, MA, USA)를 사용하여 분석하였다. 표준곡선과 직선성을 확인하기 위하여 0.5N 질산으로 희석한 1, 5, 10, 25 및 50 µg/kg 농도의 표준용액으로 표준곡선을 구하였으며 각 시료 10건이 끝나고 나면 각 표준용액 10 µg/kg 장비의 상태 등을 중간 점검하면서 분석하였다. ICP-MS의 기기조건은 Table 3와 같고, 모든 실험값은 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences)를 이용하여 평균과 표준편차 등을 계산하였다.

식육 및 식육가공품을 통한 중금속 위해성 평가

본 연구에서 조사된 식육 및 식육가공품의 중금속 함량에 대한 주간 섭취량 평가를 위하여 2005년 국민건강영양조사 결과보고서 중 식육 및 식육가공품의 1인 1일당 섭취량을 이용하여 주간섭취량을 산출(성인체중, 60 kg)하고 JECFA(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)의 주간잠정섭취허용량(Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI)과 비교하여 안전성을 평가하였다.

Table 2. Operating Conditions for Mercury analyzer

Drying temp. (°C)	Drying time (s)	Decomp. ¹⁾ temp. (°C)	Decomp. time (s)	Purge time (s)	Amalgamator heating temp. (°C)	Amalgame time (s)	Recording time (s)
200	180	700	180	78	900	12	42

¹⁾Decomposition

Table 3. Operating conditions for ICP-MS

Parameters	Values
RF power	1100-1300 W
Lens voltage	6-8 V
Nebulizer gas flow (Ar)	0.90-0.95 L/min
Plasma gas flow (Ar)	19 L/min
Auxiliary gas flow (Ar)	1.5 L/min
Dwell time	50 ms
Scanning mode	Peak hopping
Number of replicates	3
Detector	Dual
Analytical masses	⁷⁵ As, ²⁰⁸ Pb, ¹¹¹ Cd

Table 4. Comparison of digestion conditions of Pb, Cd and As using microwave and wet ashing methods¹⁾

Elements	Methods	Spiked Concentration (mg/kg)	Measured Concentration (mg/kg)	Recovery (%)	RSD (%) ²⁾
Pb	Microwave	0.1	0.10	98.1	5.7
	Wet ashing	0.1	0.09	89.3	5.7
Cd	Microwave	0.1	0.11	104.6	0.9
	Wet ashing	0.1	0.08	80.0	6.4
As	Microwave	0.1	0.11	103.4	2.8
	Wet ashing	0.1	0.11	104.0	6.6

¹⁾Samople: Pork

²⁾Relavtive standard deviation, number of samples=6

결과 및 고찰

전처리 방법 비교

중금속 분석을 위한 전처리법 검토는 습식 분해법과 마이크로웨이브법을 비교하였으며, 습식 분해법은 식육의 빠른 분해를 위해 식품공전의 질산-황산법을 수정하여 사용하였고, 마이크로웨이브법은 산 혼합액(질산/과산화수소, 6:2)을 사용하여 시료를 분해하였다. Demirel 등(11)은 식품시료에서 전처리법 비교를 통하여 건식 회화법 보다는 습식 분해법과 마이크로웨이브법이 우수하다고 보고하였고, 산 혼합액을 사용했을 경우 회수율을 높일 수 있는데 질산/과산화수소(6:2), 질산/염산(6:2), 질산/염산(2:6) 및 질산/황산(6:2)을 이용한 분석에서는 질산/과산화수소(6:2) 혼합액의 회수율이 가장 높았으며 동일한 산 혼합액을 사용한 습식 분해법에서도 우수한 회수율을 보였다.

실험결과 두 전처리법에서 비소는 비슷하였고 납과 카드뮴은 마이크로웨이브법의 회수율이 높게 나왔으며(Table 4) 습식분해법의 경우 지방함량이 높은 식육 분해에는 많이 시간이 소요되었다. 따라서 2시간 이내에 분해를 완료할 수 있는 마이크로웨이브법이 본 실험과 같이 많은 양의 시료를 처리해야하는 경우에

Table 5. Summary of results from the validation test for Pb, Cd, As and Hg

Parameters	Elements			
	Pb	Cd	As	Hg
LOD ¹⁾	0.040 µg/kg	0.020 µg/kg	0.030 µg/kg	0.017 µg/kg
LOQ ²⁾	0.120 µg/kg	0.060 µg/kg	0.100 µg/kg	0.051 µg/kg
Linearity (r ²)	> 0.999	> 0.999	> 0.999	> 0.999
Recovery (%)	98.1	104.6	103.4	99.2 ³⁾
RSD (%) ⁴⁾	5.7	0.9	2.8	1.2

¹⁾Limit of detection=3.3 σ/S

²⁾Limit of quantitation=10 σ/S

σ = the standard deviation of the response

S = the slope of the calibration curve

³⁾Recovery test of CRM(Certified reference material)

⁴⁾Relative standard deviation, number of samples=6

는 효율적인 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구의 식육 및 식육 가공품 중 중금속 모니터링에서는 질산과 과산화수소를 사용한 마이크로웨이브법이 적절한 것으로 사료되어 전처리 방법으로 선택하였다.

정량 및 검출한계

납, 카드뮴 및 비소는 1,000 mg/kg 농도의 표준용액을 0.5 N 질산으로 희석하여 1, 5, 10, 25, 50 µg/kg 농도로 제조하여 표준곡선의 직선성을 확인하였다(Table 5). 시료의 희석배수를 10배로 하여 Blank의 표준편차를 이용한 검출한계(Limit of detection, LOD)는 납 0.040 µg/kg, 카드뮴 0.020 µg/kg, 비소 0.030 µg/kg이었고, 정량한계(Limit of quantitation, LOQ)는 납 0.120 µg/kg, 카드뮴 0.060 µg/kg, 비소 0.100 µg/kg이었다(Table 5). 수은은 인증 표준물질을 이용하여 2, 5, 10 및 20 ng으로 반복 측정하여 상관계수 0.999 이상의 검량선을 구하고 이를 이용하여 검출한계 0.017 µg/kg, 정량한계 0.051 µg/kg를 구하였다.

2005년 영국 식품기준청에서는 식이보충용 제품의 금속원소에 대한 조사(12)를 실시하여 검출한계를 납 0.002 mg/kg, 카드뮴 0.001 mg/kg, 비소 0.006 mg/kg 및 수은 0.003 mg/kg으로 보고하였으며 본 실험에서는 이보다 더 좋은 감도를 나타내었다.

Table 6. Recovery of trace metals in meat

Elements	Spiked concentration (mg/kg)	Recovery ± RSD (%) ¹⁾			
		Beef	Pork	Chicken	Duck
Pb	0.05	95.8±8.8	99.8±2.8	87.7±5.0	88.5±3.6
	0.1	92.5±4.6	105.1±0.9	95.8±1.4	103.1±7.6
	0.2	107.5±1.5	100.9±0.9	99.8±1.1	107.6±1.1
	Average	98.6±5.0	100.8±1.5	94.4±2.5	99.7±4.1
Cd	0.05	106.3±6.9	107.0±3.0	101.1±4.5	99.4±2.4
	0.1	103.0±3.6	105.0±0.8	102.3±1.0	106.8±5.1
	0.2	98.2±2.6	102.5±0.1	103.9±0.9	108.5±0.9
	Average	102.5±4.4	104.8±1.3	102.4±2.2	104.9±2.8
As	0.05	105.6±4.1	104.8±1.1	96.6±2.0	99.5±2.5
	0.1	105.3±3.8	101.2±0.8	100.5±1.1	106.5±4.3
	0.2	102.8±2.1	101.0±0.5	103.4±0.6	109.0±0.7
	Average	104.6±3.3	102.3±0.8	100.2±1.3	105.0±2.5

¹⁾Relative standard deviation, number of samples=3

Table 7. Recovery of trace metals in meat products

Elements	Spiked concentration (mg/kg)	Recovery ± RSD (%) ¹⁾	
		Ham	Sausage
Pb	0.05	96.0±5.4	88.1±5.4
	0.1	95.4±6.7	99.2±5.0
	0.2	97.3±1.7	92.0±3.0
	Average	96.2±4.6	93.1±4.4
Cd	0.05	98.6±3.3	88.9±2.4
	0.1	98.8±5.4	97.3±2.7
	0.2	98.7±1.8	94.7±0.6
	Average	98.7±3.5	93.6±1.9
As	0.05	80.9±2.5	82.3±2.5
	0.1	94.8±5.2	95.0±2.2
	0.2	96.1±1.5	96.0±0.8
	Average	89.6±3.2	91.1±1.8

¹⁾Relative standard deviation, number of samples=3

회수율과 표준인증물질 측정

납, 카드뮴 및 비소의 회수율은 시료에 표준용액을 첨가한 방법(Table 6, 7)과 표준인증물질을 이용한 방법(Table 8)으로 측정하였고, 수은의 회수율 측정은 표준인증물질을 이용한 방법(Table 8)을 사용하였다.

납, 카드뮴 및 비소는 검체 유형별 하나의 품목을 대상으로 표준용액을 시료에 첨가하여 최종 시료의 농도가 0.05 g, 0.1, 및 0.2 mg/kg의 3가지 농도가 되도록 회수율 실험을 실시하였다. 검체 1.5 g에 표준용액과 질산/과산화수소(6:2) 혼합액 10 mL를 함께 마이크로웨이브 분해기를 이용하여 분해 후 최종 농도를 맞추어 정용한 후 분석하였다. 각 농도별 3회씩 총 9회 실시하였고 재현성 확인은 회수율 측정에 사용된 검체와 동일하게 분석하였으며(Table 6-7), 모든 시료에서 80% 이상의 회수율과 10% 미만의 상대표준편차(RSD)를 나타내었다.

납, 카드뮴 및 비소를 측정을 위한 표준인증물질(Certified reference material, CRM)은 IRMM(Institute for reference materials and measurements, Belgium)에서 구입한 원소분석용 ERM(Euro-

Table 8. The measurement of CRM¹⁾

Analyte	Certified value (mg/kg)	Measured value ²⁾ (mg/kg)	Recovery (%)	Coefficient of variation (%)
ERM ³⁾ (CE-278)				
Pb	2.00±0.04	1.968±0.072	98.4	3.7
Cd	0.348±0.007	0.329±0.011	94.4	3.5
As	6.07±0.13	6.421±0.097	105.8	1.5
CRM (KRISS ⁴⁾ 108-04-001)				
Hg	0.182±0.006	0.181±0.003	99.2	1.7

¹⁾CRM: Certified reference material

²⁾N=9

³⁾ERM: European reference material, Institute for reference materials and measurements (IRMM, Belgium)

⁴⁾KRISS: Korea Research Institute of Standard and Science

Table 9. Trace metal Concentration of meat and meat products

Meat	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (µg/kg)
Beef	0.009±0.008 ¹⁾ (0.000-0.051) ²⁾	0.0004±0.0004 (N.D.-0.002)	0.016±0.015 (0.001-0.061)	0.713±1.089 (N.D.-8.800)
Pork	0.010±0.008 (0.002-0.067)	0.0004±0.0002 (0.000-0.001)	0.004±0.004 (0.001-0.038)	0.902±1.155 (N.D.-10.354)
Chicken	0.006±0.004 (0.001-0.025)	0.0005±0.0004 (0.000-0.004)	0.021±0.026 (0.002-0.139)	0.710±0.550 (N.D.-2.388)
Duck	0.007±0.005 (0.002-0.027)	0.0012±0.0020 (0.000-0.012)	0.010±0.019 (0.003-0.109)	0.796±0.883 (0.002-4.240)
Ham	0.005±0.003 (0.001-0.018)	0.0015±0.0009 (0.000-0.005)	0.014±0.005 (0.007-0.031)	1.141±0.824 (N.D.-3.000)
Sausage	0.009±0.004 (0.004-0.021)	0.0019±0.0013 (0.000-0.006)	0.018±0.011 (0.007-0.084)	1.052±2.548 (N.D.-17.100)

¹⁾Mean±Standard deviation

²⁾Min-Max

pean reference material)-CE278(Mytilus edulis)로 어육의 근육조직 분말을 이용하였고, 수은 위한 표준인증물질은 한국표준과학연구원서 구입한 굴조직 분말(KRISS, 108-04-001)을 이용하여 측정하였다. 표준인증표준물질을 이용한 회수율을 측정은 9회 이상 반복하였고(Table 8), 납, 카드뮴, 비소 및 수은에서 90% 이상의 회수율과 5% 이하의 CV(변동계수)를 나타내었다.

유통 식육의 중금속 함량

서울을 포함한 7개 지역(서울, 경기, 충청, 호남, 강원, 경북 및 경남)에서 소 103건, 돼지 125건, 닭 100건, 오리 39건, 햄 51건 및 소시지 49건을 수거하였으며 이에 대하여 납, 카드뮴, 비소 및 수은 함량을 측정하였고 그 결과를 Table 9에 나타내었다.

납의 평균함량은 식육 중 소고기 0.009 mg/kg, 돼지고기 0.010 mg/kg, 닭고기 0.006 mg/kg, 오리고기 0.007 mg/kg이며 식육가공품 중 햄 0.005 mg/kg 및 소시지 0.009 mg/kg이었다. 평균값이 모두 0.010 mg/kg 이하로 이는 Codex 및 EU의 허용 기준 0.10 mg/kg 보다 낮은 수치였다. Jung 등(13)은 축산식품 중 납의 잔류범위는 N.D.(Not detected)-5.00 ppm이었고, 가장 높게 검출된 시료는 양념육으로 1.05 ppm이었다. 수입소고기가 0.03 ppm으로 가장 낮았으며, 돼지고기에서는 검출되지 않았고 햄에서는 미량 검출되었으며, 한우고기는 0.14 ppm으로 수입쇠고기보다 높게 검출되었다고 보고 하였다. 2003년 Kim 등(14)은 쇠고기 0.43 mg/kg과 돼지고기 0.55 mg/kg의 함량을 보고하였는데 본 실험 결과는 이 보다 낮은 수치를 보였으며 Kim(9)은 소고기 0.027 mg/kg, 돼지고기 0.059 mg/kg, 닭고기 0.047 mg/kg 및 오리고기 0.073

mg/kg를 보고하였는데 이 또한 본 실험결과 보다 쇠고기, 돼지고기, 닭고기 및 오리고기 모두 높은 수치였다(Table 9). Demirezen 과 Uruc(15)은 소시지 0.135 mg/kg, 살라미 0.135 mg/kg과 식육에서 0.125 mg/kg으로 보고하였고, Abou-Arab(16)은 납 함량에 대하여 소 0.061 mg/kg, 들소 0.052 mg/kg, 엘크 0.040 mg/kg, 양 0.010 mg/kg 및 염소 0.012 mg/kg으로 본 연구와 유사하거나 약간 높은 함량을 보고하였다.

카드뮴은 납과 비소에 비해 전반적으로 낮은 검출량을 보였으며 오리고기, 햄 및 소시지에서 0.001-0.002 mg/kg을 나타내었고 소고기, 돼지고기 및 닭고기에서는 0.001 mg/kg 이하를 보였다(Table 9). Kim 등(14)은 쇠고기와 돼지고기 중 카드뮴 함량은 각각 0.01, 0.02 mg/kg으로 보고하였고, 해외에서는 호주 쇠고기 0.01 mg/kg(17), 일본 육류 0.002 mg/kg(18), 영국 쇠고기 0.005 mg/kg와 영국 돼지고기 0.01 mg/kg(19)을 보고하였다. Jung 등(13)은 원료육 중 카드뮴 함량은 0.03-0.13 ppm의 범위로서 돼지고기에서 0.09 ppm으로 가장 높게 검출되었으며, 수입 소고기가 0.06 ppm으로 낮게 검출되었으며, 가공품 함량은 N.D.-0.18 ppm 범위로 양념육이 0.13 ppm으로 높았고 햄이 미량으로 낮은 함량을 보였다고 보고 하였다. 이집트에서 카드뮴 함량 조사는 소 0.010 mg/kg, 들소 0.006 mg/kg, 엘크 0.010 mg/kg 및 양 0.011 mg/kg으로 본 연구와 마찬가지로 동일한 시료의 납 함량(0.010-0.061)보다 카드뮴의 함량이 낮았음을 알 수 있었다(16). 2006년 터키에서 식육 0.086 mg/kg, 소시지 0.083을 보고하여(15) 이 또한 본 연구보다 높은 함량을 나타내었다. 본 실험에서 나타난 식육 및 식육가공품의 카드뮴 함량은 국내의 기존 연구결과와 해외의 결과

Table 10. Comparison of average weekly intakes of Pb, Cd and Hg from meat and meat products with PTWI¹⁾ established by FAO/WHO²⁾

Elements	PTWI (µg/kg b.w./week ³⁾)	Daily intake of heavy metals ⁴⁾ (µg/person/day)	Total weekly intake ⁵⁾ (µg/kg b.w./week)	PTWI (%)
Pb	25	0.515	0.060	0.2
Cd	7	0.033	0.004	0.1
As	350	0.754	0.088	0.03
Hg	5	0.042	0.005	0.1

¹⁾PTWI: Provisional Tolerable Weekly Intake

²⁾FAO/WHO: Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization

³⁾b.w.: body weight

⁴⁾Daily intake of heavy metals = $\Sigma(\text{Concentration of heavy metals in each food} \times \text{daily intake food (g/person/day)})$

⁵⁾Total weekly intake of heavy metals = $(\text{daily intake of metals per adult (mg/day/person)} \times 7 \text{ days/week})/60(\text{body weight per adult})$.

와 비교하여 낮은 수치로서 국내 식육의 카드뮴 오염도는 낮다고 할 수 있다.

비소는 평균 함량은 식육 중 소고기 0.016 mg/kg, 돼지고기 0.004 mg/kg, 닭고기 0.021 mg/kg, 오리고기 0.010 mg/kg이며 식육 가공품 중 햄 0.014 mg/kg 및 소시지 0.018 mg/kg이었다. Kim(9)의 연구와 함량을 비교해 보면 소고기 0.012 mg/kg, 돼지고기 0.003 mg/kg 및 오리고기 0.010 mg/kg에서 본 실험과 비슷한 함량을 보였으며, 닭고기에서는 0.005 mg/kg으로 낮은 함량을 나타내었다(9).

식육 및 식육 가공품에 대한 수은 함량은 소고기 0.713 µg/kg, 돼지고기 0.902 µg/kg, 닭고기 0.710 µg/kg, 오리고기 0.796 µg/kg, 햄 1.141 µg/kg 및 소시지 1.052 µg/kg를 나타냈다. 수은은 식육 가공품에서 식육보다 높은 수치를 보였(Table 9). Kim(9)의 연구에서는 소고기 0.005 mg/kg, 돼지고기 0.012 mg/kg 및 오리고기 0.003 mg/kg으로 본 실험 보다 높은 함량을 나타내었다. 수은은 오염된 해수에서 자란 어류 특히 메틸수은의 경우 심해성 어류에서 높은 함량을 보이며(20) 식육에 의한 오염도는 실험결과에서 보여주듯이 낮다고 판단된다.

식육 및 식육가공품을 통한 중금속 위해성 평가

식육 및 식육가공품을 통해 섭취되는 중금속의 위해성 평가는 각 중금속의 주간섭취량을 JECFA(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)의 주간잠정섭취허용량과 비교하여 평가하였다. JECFA에서는 주간잠정섭취허용량으로서 카드뮴이 25 µg/kg b.w./week, 수은이 5 µg/kg b.w./week으로 제시하고 있으며, 과거에 납은 25 µg/kg b.w./week, 비소는 350 µg/kg b.w./week으로 권고 하였다.

2005년 한국 국민건강영양조사 결과보고서를 통한 식육 및 식육가공품의 1일 섭취량을 살펴보면, 소고기 16.1 g, 돼지고기 25.39 g, 닭고기 15.2 g, 오리고기 1.2 g, 햄 2.7 g 및 소시지 1.7 g이다(Table 10). 이 자료를 이용하여 본 연구에서 얻어진 납, 카드뮴, 비소 및 수은의 평균 함량으로 식육 및 식육가공품으로부터 섭취하게 되는 납, 카드뮴, 비소 및 수은의 주간 섭취량을 산출하면 Table 10과 같다. 국내에서 유통되는 식육 및 식육가공품을 통하여 섭취되는 중금속 함량을 FAO/WHO에서 설정된 주간잠정섭취허용량인 PTWI(Provisional Tolerable Weekly Intake)와 비교 시 Pb 0.2%, Cd 0.1%, As 0.03% 및 Hg 0.1%로 나타났다(21).

요 약

본 연구에서는 식육의 중금속 기준규격 설정을 위하여 다소비 식품인 소, 돼지, 닭, 오리, 햄 및 소시지에 대하여 중금속 함량을 조사하였다. 국내 유통 중 식육 및 식육 가공품 총 466건을 2008년 5월부터 11월까지 구입하고 납, 카드뮴, 비소 및 수은의 함량을 분석하였다.

시료의 분해를 위해 관련 전처리 방법을 비교하여 검증된 중금속 분석법을 찾고자 하였으며, 이를 근거로 소, 돼지, 닭, 오리, 햄 및 소시지 6종류의 시료에 대하여 납, 카드뮴, 비소 및 수은을 모니터링하고 안전성 평가를 위해, 수집된 자료와 식이섭취량으로 JECFA의 주간잠정섭취허용량과 비교 분석하고자 하였다. 전처리법으로 비교한 습식 분해법과 마이크로웨이브법은 회수율이 모두 80% 이상이며 재현성(RSD)은 10% 미만으로 나타났으나 전처리 시간과 조작의 편리성에서 마이크로웨이브법이 나은 것으로 판단되었다. 따라서 납, 카드뮴, 비소의 경우 산 혼합액을 사용한 마이크로웨이브법으로 시료를 전처리하여 ICP-MS로 분석하였고, 수은은 수은분석기를 사용하여 직접 분석하였다. 전반적으로 낮게 검출된 원소는 카드뮴과 수은이었으며, 납과 비소는 상대적으로 높게 나타났다. 납의 경우 평균함량이 식육은 0.006-0.010 mg/kg이었고, 식육가공품은 0.005-0.009 mg/kg이었다. 카드뮴의 경우 평균함량이 식육은 0.000-0.001 mg/kg이었고, 식육가공품은 0.001-0.002 mg/kg이었다. 비소의 경우 평균함량이 식육은 0.004-0.021 mg/kg이었고, 식육가공품은 0.014-0.018 mg/kg이었다. 그리고 수은 함량은 식육에서 0.710-0.902 µg/kg이었고, 식육가공품은 1.052-1.141 µg/kg이었다. 안전성 평가를 위해 본 연구에서 측정된 모니터링 자료를 이용하여 JECFA(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)의 주간잠정섭취허용량(Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI)와 비교하여 노출량을 평가한 결과, 본 사업에서 검출된 중금속 함량은 비교적 안전한 수준으로 확인할 수 있었다.

문 헌

1. CAC (Codex Alimentarius Commission). Report of the 38th session of the codex committee on food additives and contaminants. The Hague, The Netherlands 24-28 April 2006
2. Korea Food and Drug Administration. Food Safety and Information Serve (Risk Information Part). Available from: <http://www.foodnara.go.kr>. Accessed May 30, 2011.
3. Korea Food and Drug Administration. Food Safety and Information Serve (Food Contaminant Part). Available from: <http://www.foodnara.go.kr>. Accessed May 27, 2011.
4. International Agency for Research on Cancer (IARC). Agents Classified by the IARC Monographs, Volume 1-102. Available from <http://monographs.iarc.fr>. Accessed Mar. 03, 2011.
5. Hiromu S. Genso 111No Sinchisiki. 1st ed. Academy Publishing Co., Seoul, Korea. pp. 173-174, 336-338 (2002)
6. Korea Occupational Safety and Health Agency. Material safety data sheet (lead, cadmium, arsenic and mercury). Available from <http://www.kosha.or.kr>. Accessed May 30, 2011.
7. Choi BS, Kang DW, Lee JY, Park ES, Hong YP, Yang JS, Lee HM, Park JD. Acute toxicity of arsenic in rats and mice. Korean J. Occup. Environ. Med. 15: 323-334 (2003)
8. Mandal BK, Suzuki KT. Arsenic round the world: A review. Talanta 58: 201-235 (2002)
9. Kim SH. Monitoring of heavy metal in domestic meats. Annu. Rep. Korea Food and Drug Administration, Cheongwon, Chungbuk (2007)
10. KFDA, Food Code. Korea Food and Drug Administration. Seoul, Korea. p. 2-1-9 (2010)

11. Demirel S, Tuzen M, Saracoglu S, Soylak M. Evaluation of various digestion procedures for trace element contents of some food materials. *J. Hazard. Mater.* 152: 1020-1026 (2008)
12. Food Standard Agency. Survey of metals and other elements in dietary supplements. December. UK (2005)
13. Jung JH, Hwang LH, Yun ES, Kim HJ, Han IK. A study on the contents of the heavy metals in meat and meat products. *Korean J. Vet. Serv.* 22: 1-7 (1999)
14. Kim MH, Kim JS, Sho YS, Chung SY, Lee JO. The study on heavy metal contents in various foods. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 561-567 (2003)
15. Demirezen D, Uruc K. Comparative study of trace elements in certain fish meat and meat products. *Meat Sci.* 74: 255-260 (2006)
16. Abou-Arab AA. Heavy metal contents in Egyptian meat the role of detergent washing on their levels. *Food Chem. Toxicol.* 39: 593-599 (2001)
17. Australia Food Authority. The 1992 Australian market basket survey a total diet survey of pesticides and contaminants. Australia (1992)
18. Ikebe K, Nishimune T, Tanaka R. Contents of 17 metal elements in food determined by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (meat and meat products). *J. Food Hyg. Soc. Japan* 35: 323-327 (1994)
19. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAFF). Survey of lead and cadmium in foods. Food surveillance paper No. 113. publ HMSO, London, UK. pp. 1-6 (1997), Available from <http://archive.food.gov.uk/maff>. Accessed April 20, 2011.
20. Kim HY, Chung SY, Sho YS, Oh GS, Park SS, Suh JH, Lee EJ, Lee YD, Choi WJ, Eom JY, Song MS, Lee JO, Woo GJ. The study on the methylmercury analysis and the monitoring of total mercury and methylmercury in fish. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 882-888 (2005)
21. Food and Agriculture Organization. Summary of Evaluations Performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). ILSI, Geneva, Switzerland (1994)