


일반인의 납 경구섭취량의 경시적 변화: 2008-2018년 국내자료를 중심으로

문찬석[†] 

부산가톨릭대학교 산업보건학과

Variation in the Estimated Value of Dietary Pb Intake among the General Korean Population: Domestic Research from 2008 to 2018

Chan-Seok Moon[†]

Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan

ABSTRACT

Objectives: The study aims to examine the variation over roughly the past 10 years (from 2008 to 2018) in the estimated daily dietary Pb intake (Pb-D) based on the variations of daily intake amount and Pb content in respective food groups. The following factors were considered: (1) variation of estimated value of Pb-D, (2) Pb contents in each food group and (3) the most influential food group for dietary Pb intake.

Methods: Estimated values of Pb-D were taken from food consumption by the food groups reported in the Korean National Health and Nutrition Survey and the Pb content of each food group as reported in 19 previous publications. Variation from 2008 to 2018 of Pb intake was calculated from daily intake amount and Pb content in each food group.

Results: The survey showed that main Pb intake sources were the food groups 'meats and poultry' and 'fish and shellfish'. These food groups showed gradually increased Pb exposure from 2008 to 2018. Estimated daily Pb intake was 42.18 to 57.68 $\mu\text{g}/\text{day}$ for men and 30.97 to 42.54 $\mu\text{g}/\text{day}$ for women. Both men and women showed slightly increased dietary Pb intake from 2008 to 2018. The food groups 'meats and poultry' and 'fish and shellfish' proved the highest Pb intake food groups. Estimated Pb intake from 'meats and poultry' was 8.47 to 12.98 $\mu\text{g}/\text{day}$ and that of 'fish and shellfish' was 5.63 to 10.10 $\mu\text{g}/\text{day}$.

Conclusion: Over the past ten years, daily Pb intake has slightly increased in men and women. The food groups 'meats and poultry' and 'fish and shellfish' might be the main variation factors of Pb intake.

Key words: Pb, estimated value, dietary intake, variation, food group

I. 서론

우리나라 일반인에 있어 납의 노출 경로는 음용수를 포함한 음식물 섭취와 대기를 통한 호흡으로 알려져 있다.^{1,4)} 납은 유해중금속으로서 과거 제조업 사

업장에서 납을 사용하는 경우 중금속 노출에 관해 많이 연구되어 왔으며, 동시에 일반 생활환경에 의한 일반인 노출의 측면에서도 많은 연구가 되어왔다. 납은 위해성 관점에서 우리나라에 가장 중요하게 관리하는 대표적인 유해중금속이다.^{5,8)} 납의 용도

[†]Corresponding author: Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan, 57 Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan 46252, Korea, Tel: +82-51-510-0633, Fax: +82-51-510-0638, E-mail: csmoon@cup.ac.kr
Received: 16 November 2020, Revised: 23 November 2020, Accepted: 23 November 2020

는 제조업에서 표면 부식을 방지하기 위한 코팅의 원료이며, 축전지, 프린팅, 납땀, 납유리작업 등에서도 사용된다.⁹⁾ 발암성은 A3 등급(실험동물의 고농도 노출에서 발암성을 나타내는 물질)에 속하는 물질로 분류되어 있다. 특히, 신경계 독성과 험합성을 억제시키는 유독성 물질이다.^{10,11)}

대부분의 금속류의 인체 노출은 주로 음식물을 통한 경구섭취에 의해 일어나는 것에 비해, 납은 음식물과 대기 양자의 노출에 의해 영향이 결정되는 특성을 가지고 있다.¹²⁾ 1970-1980년대에 유연 휘발유의 사용 이후 무연휘발유의 대체 사용에 따른 영향이나, 공장 매연 및 고정배출원(Stationary source)의 배출 억제¹³⁾, 환경보전법을 통한 환경유해물 노출에 대한 국가적인 관리 및 환경영향평가를 통한 유해물 노출 관리^{14,15)}가 시행되고 있는 현재의 시점에서 음식물과 대기호흡을 통한 납 섭취량의 경시적 변화를 관찰하여 노출 경로에 따른 실질적인 감소가 이루어지는지에 관한 연구는 중요성을 가지고 있으며, 향후 노출에 대한 연구에 의의를 가진다. 납의 노출에 대한 정보는 최근 대기중의 납에 관한 자료들이 대부분이며, 일반인의 전반적인 납 섭취량 및 역학적인 연구는 거의 없는 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 음식물을 통한 납 섭취량에 관한 최근의 변화를 관찰하고 이와 동시에 음식물 섭취중량의 변화, 식품군별 납 섭취량의 변화 및 음식물을 통한 납 섭취량과 대기호흡을 통한 납 섭취량 비율(rate, %)로서 납 노출경로의 변화를 검토하고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

식품군별 섭취중량은 국민건강영양조사¹⁶⁾ 자료에서 2008, 2010, 2012, 2014, 2016 및 2018년도의 남성과 여성 및 남녀총계의 2005년 추계인구로 연령표준화에 의해 보정된 음식물 평균 섭취중량을 인용하였다. 연령표준화의 경우, 직접표준화방법을 이용하여 산출된 자료를 이용하였으며, 연령표준화의 결과는 연령대별 섭취중량의 평균과 표준인구 비율을 곱한 값을 합산하여 산출된 결과를 인용하였다. 기준 연령구간은 1-9세, 10-18세, 19-29세, 30-39세, 40-49세, 50-59세, 60-69세, 70세 이상으로 구분된 자료이다.¹⁶⁾ 식품군은 18개 식품군으로서 곡류, 감자 및 전분류, 당류, 두류, 종실류, 채소류, 버섯류, 과일류, 해조류,

음료류, 주류, 양념류, 육류, 난류, 어패류, 우유류, 유제품, 기타로 구성하였다(Table 1).

각 식품군별 음식물에 대한 납의 함량은 Table 2에 나타난 18개 납함량에 관한 연구보고서의 개별 식품군의 납 산출 농도 대표치들을 나열하여 그 대표치들의 중위수(median)와 범위(최소치-최대치)를 산출하였다. 이들 보고서는 국내에서 유통되고 있는 식품군들로서, 식품항목별 납의 분석은 적절한 국내의 정도관리 또는 이에 준하는 관리가 이루어지는 기관에서 산출된 결과치를 사용하였다(Table 2).

각 연도별(2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018년) 납의 1일 섭취 추정량의 계산은 국민건강영양조사(2018)에서 산출되었던 각 조사연도의 식품군별 섭취중량에 식품군별 납 함량의 중위수를 곱하여 산출하였다(Table 3). 최종 납 섭취량은 연도별로 남자와 여자로 분류하고, 대기 중 납의 농도는 각 연도의 지역 측정소 별 평균치를 다시 평균하여 각 연도의 대기 중 납 농도를 최종 산출하였다.

III. 결 과

1. 식품군별 1일 섭취중량

보건복지부 질병관리본부의 2018 국민건강통계(국민건강영양조사 제7기 3차년도)에 나타난 2008년에서 2018년까지의 11년간 6회(2008, 2010, 2012, 2014, 2016 및 2018년) 식품항목별 1일 섭취중량을 성별 및 총계로 구분하여 Table 1에 나타내었다. 전체 음식물 섭취중량은 2005년 추계인구로 연령표준화로 보정된 값을 사용하였다. 섭취총중량에서는 2008년 1,320.1 g/day, 2010년 1,506.7 g/day, 2012년 1,439.2 g/day, 2014년 1,583.5 g/day, 2016년 1,577.6 g/day, 2018년 1,505.6 g/day로서 11년간 음식물 섭취 총중량의 뚜렷한 증감 변화는 관찰되지 않았다. 남자군의 경우는 여자군과 비교하여 동일연도 조사에서 2008년 337 g, 2010년 431.9 g, 2012년 387.0 g, 2014년 370.0 g, 2016년 438.1 g 및 2018년 379.5 g으로서 남자가 여자군에 비해 370.0-438.1 g 정도 높은 음식물 섭취중량을 나타내었다. 식품군별 가장 높은 섭취중량은 곡류, 채소류, 음료류, 육류, 과일류의 순이었으며, 이들 식품군의 섭취중량은 조사 연도별로 분류하였을 때도 동일한 경향을 나타내었다. 곡류는 한국인의 주 에너지원으로서 가장 높은 섭취중량으로

Table 1. Daily food intake amount in each food group of general Korean population (g/day)

Food group	Men ⁽⁶⁾						Women ⁽⁶⁾						Total ⁽⁶⁾					
	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Grains and cereals	323.3	347.2	333.7	328.2	329.4	326.8	260.2	278.5	263.7	257.4	255.9	248.4	292.1	313.4	299.1	293.4	293.3	288.4
Potatoes and starch	35.4	31.2	31.5	38.6	31.7	29.3	38.8	35.8	31.7	39.6	38.1	26.6	37.1	33.5	31.6	39.2	34.9	28.0
Sugars and sweet	9.0	10.9	11.7	11.9	11.5	10.8	6.4	8.6	8.9	11.5	10.4	10.3	7.7	9.7	10.3	11.7	10.9	10.6
Pulses	41.8	41.6	41.8	41.1	35.8	37.4	32.0	29.9	30.7	27.5	29.6	26.1	36.9	35.8	36.3	34.4	32.6	31.8
Nuts and seeds	2.5	4.4	5.0	7.2	6.5	4.6	2.9	4.0	4.0	7.4	5.4	5.7	2.7	4.2	4.5	7.3	5.9	5.1
Vegetables	334.0	333.5	317.5	324.1	300.5	283.1	255.0	254.6	250.0	261.3	226.4	212.5	294.7	294.1	283.9	292.9	263.6	248.1
Mushrooms	4.1	5.1	5.1	6.4	6.2	5.8	4.3	4.9	4.7	6.1	6.2	6.3	4.2	5.0	4.9	6.3	6.2	6.0
Fruits	148.1	177.0	162.4	165.5	158.0	118.4	183.1	208.7	182.2	206.3	180.8	140.5	165.2	192.5	172.3	185.6	169.0	129.2
Seaweed	5.3	4.6	4.6	21.5	26.3	25.8	5.4	4.5	5.2	25.2	27.1	22.0	5.4	4.5	4.9	23.3	26.6	23.9
Beverages	78.5	134.1	146.7	197.3	241.6	226.0	60.0	98.5	119.2	156.7	179.4	189.0	69.4	116.7	133.3	177.6	211.8	208.4
Alcoholic beverages	152.1	225.2	169.8	190.0	171.5	151.3	45.0	51.6	45.2	58.2	52.3	67.4	98.6	139.0	107.6	125.1	112.6	109.5
Seasonings	41.8	40.5	40.2	43.2	39.9	41.4	28.7	27.9	28.5	31.2	29.7	29.2	35.3	34.2	34.4	37.3	34.9	35.4
Meats and poultry	104.6	134.2	141.5	135.3	162.0	160.0	64.1	78.9	85.2	89.9	94.5	97.9	84.7	107.1	113.9	113.1	129.2	129.8
Eggs	27.3	32.2	29.3	32.0	35.8	34.4	20.0	22.3	22.2	24.3	27.9	27.6	23.7	27.3	25.8	28.2	31.9	31.0
Fish and shellfish	64.0	67.8	58.6	99.9	109.0	109.6	41.1	44.2	38.9	77.5	82.7	78.8	52.6	55.9	48.8	88.8	96.0	94.4
Milks and dairy products	105.5	118.3	118.1	111.1	118.2	118.5	96.8	126.9	114.3	107.2	101.6	118.1	101.5	122.7	116.4	109.4	110.3	118.3
Fats	9.5	10.3	9.8	10.0	8.4	7.9	6.3	6.7	6.4	7.6	6.4	6.0	7.9	8.6	8.1	8.8	7.4	7.0
Others	0.4	2.7	3.2	2.0	0.3	0.9	0.3	2.4	2.9	0.4	0.3	0.3	0.3	2.5	3.0	1.2	0.3	0.6
Total	1,487.4	1,720.8	1,630.7	1,765.4	1,792.6	1,692.1	1,150.4	1,288.9	1,243.7	1,395.4	1,354.5	1,312.6	1,320.1	1,506.7	1,439.2	1,583.5	1,577.6	1,505.6

Table 2. Pb contents levels in each food group

Food group	Median (µg Pb/g)	Range (µg Pb/g)
Grains and cereals ^{21,37,39)}	0.007	0.005 - 0.390
Potatoes and starch ^{21,37)}	0.080	0.010 - 0.250
Sugars and sweet ²⁵⁾	0.030	0.010 - 0.470
Pulses ^{21,32)}	0.120	0.010 - 0.380
Nuts and seeds ⁴⁵⁾	0.007	ND - 0.239
Vegetables ^{23,24,34,37)}	0.016	0.003 - 0.024
Mushrooms ⁴⁶⁾	0.008	0.002 - 0.030
Fruits ³⁷⁾	0.001	0.001 - 0.001
Seaweed ³³⁾	0.089	0.010 - 0.178
Beverages ^{23,27,29,37)}	0.030	0.007 - 0.040
Alcoholic beverages ⁴⁷⁾	0.0099	ND - 0.038
Seasonings ³⁰⁾	0.003	0.003 - 0.003
Meats and poultry ³⁰⁾	0.100	0.100 - 0.100
Eggs ⁴⁸⁾	0.010	ND - 0.099
Fish and shellfish ^{17,18)}	0.107	0.006 - 4.350
Milks and dairy products ¹⁹⁾	0.040	0.030 - 0.050
Fats	-	-
Others	-	-

Values in median and range were rounded off at the fourth place below the decimal point.

-: No data were available.

서 6회의 조사연도에서 288.4-313.4 g/day이며, 그 다음이 채소류로 248.1-294.7 g/day이며, 음료가 69.4-211.8 g/day, 과일류가 129.2-192.5 g/day의 섭취중량을 나타내었다.

2. 식품군별 납 함량

식품군별 납의 함량을 조사한 논문자료를 토대로 납 함량 결과를 모두 나열한 후 가장 낮은 값과 가장 높은 값을 최소치와 최대치로 하여 범위로 설정하고 대표치로서 중위수(median)를 사용하였다(Table 2). 높은 납 함량의 중위수를 나타내는 식품군은 두류(중위수 0.120 µg/g, 범위 0.010-0.380 µg/g)였으며, 어패류(중위수 0.107 µg/g, 범위 0.006-4.350 µg/g)였으며, 육류 및 가금류(중위수 0.100 µg/g, 범위 0.010-0.380 µg/g), 해조류(중위수 0.089 µg/g, 범위 0.010-0.178 µg/g), 감자 및 전분류(중위수 0.080 µg/g, 범위 0.010-0.250 µg/g)의 순으로 나타났다. 이들 납 함량이 높은 식품군은 식물성 식품의 경우는 두류 및 감

자 및 전분류가 특징적으로 납의 함량이 높은 식품군으로 확인이 되었고 동물성 식품군으로서 어패류와 육류 및 가금류의 식품군이 납의 함량이 높은 것으로 확인되었다. 다만 해조류의 경우는 해산물의 특징으로서 어패류와 함께 높은 납 함량을 나타내는 식품군이었다.

3. 납 섭취 추정량

2008년에서 2018년의 최근 10년간의 납 섭취 추정량에서 볼 때, 남자군의 경우는 음식물을 통하여 점진적인 증가가 관찰되었으며 여성군의 경우에서도 점진적인 증가현상이 관찰되었다(Table 3). 남자의 경우는 1일 섭취량이 2008년에 42.18 µg/day에서 2018년에 57.68 µg/day로서 최근 10년간 15.50 µg/day의 음식물을 통한 납의 섭취량이 증가되었으며, 여자군의 경우는 2008년 30.97 µg/day에서 42.54 µg/day로서 최근 10년간 11.57 µg/day 음식물을 통한 섭취량이 증가되었다. 식품군별 10년간의 경시적 변화에서는, 최근 10년간 증가가 뚜렷한 식품군으로서 남녀 모두 육류 및 가금류(남자군 2008년 10.46에서 2018년 16.00 µg/day로 53%, 여자군 2008년 6.41에서 2018년 9.79 µg/day로 52% 증가), 어패류(남자군 2008년 6.85 µg/day에서 2018년 11.73 µg/day로 71%, 여자군 2008년 4.40 µg/day에서 2018년 8.43 µg/day로 92% 증가), 해조류(남자군 2008년 0.47 µg/day에서 2018년 2.30 µg/day로 389%, 여자군 2008년 0.48 µg/day에서 2018년 1.96 µg/day로 308% 증가)가 확인되고, 음료류(남자군 2008년 2.36 µg/day에서 2018년 6.78 µg/day로 187%, 여자군 2008년 1.80 µg/day에서 2018년 5.67 µg/day로 215% 증가)에서도 점진적인 증가가 관찰되었다. 이외에도 당류, 난류 및 우유류에서도 남녀 모두에서 증가되었다. 그러나 감자 및 전분류, 두류, 채소류에서는 섭취중량의 감소로 인하여 최근 10년간 납 섭취량은 점진적인 감소현상을 나타내었다.

IV. 고 찰

일반인의 납 노출 경로는 과거 1980년대에서 2000년대에 이르기 까지 음식물에 의한 노출과 대기호흡에 의한 노출로 나누어 볼 때, 납의 경우는 거의 절반 정도가 음식물을 통한 노출이며 대도시가 농촌에

Table 3. Time trend of estimated dietary Pb intake ($\mu\text{g Pb/day}$)

Food group	Man										Women										Total									
	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2008	2010	2012	2014	2016	2018						
Grains and cereals	2.26	2.43	2.34	2.30	2.31	2.29	1.82	1.95	1.85	1.80	1.79	1.74	2.04	2.19	2.09	2.05	2.05	2.05	2.02	2.02	2.02	2.02	2.05	2.05	2.02					
Potatoes and starch	2.83	2.50	2.52	3.09	2.54	2.34	3.10	2.86	2.54	3.17	3.05	2.13	2.97	2.68	2.53	3.14	2.79	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24					
Sugars and sweet	0.27	0.33	0.35	0.36	0.35	0.32	0.19	0.26	0.27	0.35	0.31	0.31	0.23	0.29	0.31	0.35	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32					
Pulses	5.02	4.99	5.02	4.93	4.30	4.49	3.84	3.59	3.68	3.30	3.55	3.13	4.43	4.30	4.36	4.13	3.91	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82					
Nuts and seeds	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04					
Vegetables	5.34	5.34	5.08	5.19	4.81	4.53	4.08	4.07	4.00	4.18	3.62	3.40	4.72	4.71	4.54	4.69	4.22	3.97	3.97	3.97	3.97	3.97	3.97	3.97	3.97					
Mushrooms	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05					
Fruits	0.15	0.18	0.16	0.17	0.16	0.12	0.18	0.21	0.18	0.21	0.18	0.14	0.17	0.19	0.17	0.19	0.17	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13					
Seaweed	0.47	0.41	0.41	1.91	2.34	2.30	0.48	0.40	0.46	2.24	2.41	1.96	0.48	0.40	0.44	2.07	2.37	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13					
Beverages	2.36	4.02	4.40	5.92	7.25	6.78	1.80	2.96	3.58	4.70	5.38	5.67	2.08	3.50	4.00	5.33	6.35	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25					
Alcoholic beverages	1.51	2.23	1.68	1.88	1.70	1.50	0.45	0.51	0.45	0.58	0.52	0.67	0.98	1.38	1.07	1.24	1.11	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08					
Seasonings	0.13	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.11	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11					
Meats and poultry	10.46	13.42	14.15	13.53	16.20	16.00	6.41	7.89	8.52	8.99	9.45	9.79	8.47	10.71	11.39	11.31	12.92	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98	12.98					
Eggs	0.27	0.32	0.29	0.32	0.36	0.34	0.20	0.22	0.22	0.24	0.28	0.28	0.24	0.27	0.26	0.28	0.32	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31					
Fish and shellfish	6.85	7.25	6.27	10.69	11.66	11.73	4.40	4.73	4.16	8.29	8.85	8.43	5.63	5.98	5.22	9.50	10.27	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10	10.10					
Milks and dairy products	4.22	4.73	4.72	4.44	4.73	4.74	3.87	5.08	4.57	4.29	4.06	4.72	4.06	4.91	4.66	4.38	4.41	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73					
Fats	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Total	42.18	48.34	47.59	54.95	58.90	57.68	30.97	34.88	34.63	42.53	43.64	42.54	36.64	41.68	41.20	48.86	51.43	50.27	50.27	50.27	50.27	50.27	50.27	50.27	50.27					

Table 4. Time trend in dietary Pb intake, Pb concentration in ambient air and blood Pb concentration

Year of survey	Pb-D* (µg/day)	Pb-A ^{†,43} (µg/m ³)	Pb-B ^{‡,43} (µg/l)	Dietary absorption [§] (µg/day)	Air absorption (µg/day)	Absorption rate food/(air+food) (%)
2008	42.18 (men) 30.97 (women)	0.062	25.5 (man) 17.7 (women)	3.16 (men) 2.32 (women)	0.47	87.05 (men) 83.15 (women)
2010	48.34 (men) 34.88 (women)	0.041	21.6 (man) 14.6 (women)	3.63 (men) 2.62 (women)	0.31	92.13 (men) 89.42 (women)
2012	47.59 (men) 34.63 (women)	0.048		3.56 (men) 2.60 (women)	0.36	90.82 (men) 87.84 (women)
2014	54.95 (men) 42.53 (women)	0.030	22.8 (man) 16.6 (women)	4.12 (men) 3.19 (women)	0.23	94.71 (men) 93.27 (women)
2016	58.90 (men) 43.64 (women)	0.024		4.42 (men) 3.27 (women)	0.18	96.09 (men) 94.78(women)
2018	57.68 (men) 42.54 (women)	0.020	18.7 (man) 13.7 (women)	4.33 (men) 3.19 (women)	0.15	96.65 (men) 95.51 (women)

*estimated values of dietary Pb intake (the present study), [†]Pb concentration in ambient air, [‡]blood Pb concentration, [§]Dietary absorption per capita per a day was assumed as 7.5 %^{12,44}, ^{||}Ambient air absorption per capita per a day was calculated from 15 m³/day for respiration of ambient air and 50% for their uptake^{12,44}

비해 대기호흡을 통한 노출량이 높게 나타난다고 보고하였다.¹²⁾ 그 후 대기를 통한 납의 노출은 1987년부터 사용되기 시작한 무연휘발유의 사용도가 점차 확대되었고, 1993년에 이르러 유연휘발유가 전면 생산 중단되었다. 그 시기에 우리나라는 차량의 집중 현상이 시골지역에 비해 대도시에 높게 나타났다. 대도시의 경우에는 차량의 집중 현상뿐만 아니라 대형 건축물의 건설, 지하철 공사 등으로 인하여 대기 중 분진으로 인하여 대기오염의 정도가 높아지고 이와 함께 분진 중에 함유되었던 납의 농도도 함께 높아지는 현상이 나타났다. 최근의 예를 들면 황사시기에 의한 계절별 납 농도의 증가를 예로 들 수 있다.^{49,50)}

2008년에서 2018년까지의 최근 10년간 음식물을 통한 납의 섭취량의 변화와 대기 중 납 농도의 변화 및 혈중 농도의 증감을 비교한 결과 음식물 섭취량의 경우는 남녀 모두 점진적인 증가가 관찰되었으나, 대기 중의 납의 농도와 혈중 납의 농도는 모두 점진적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다. 음식물을 통한 납 섭취량의 경우 남자군은 2008년 42.18에서 2018년 57.68 µg/day로 37%, 여자군 2008년 30.97에서 2018년 42.54 µg/day로 37% 증가하였다. 대기 중 납 농도는 2008년 0.062 µg/m³에서 최근 2018년

에 0.020 µg/m³으로서 10년간 점진적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다. 이와 함께 혈중 납의 경우에서도 남자군은 2008년 25.5 µg/L에서 최근 2018년에 18.7 µg/L로서 10년간 27% 감소하였고, 여자군은 2008년에서 17.7 µg/L에서 2018년에 13.7 µg/L로 23% 감소하였다. 다만, 생체노출지표로서 혈중 납의 경우는 대기의 납 농도가 감소함으로써 생체내의 납의 노출 부하량도 동시에 낮아지는 것으로 생각되었다. 음식물 중의 납의 요인은 비록 남녀 모두 과거에 비해 37% 증가되었다 하더라도 대기중 납의 노출 요인과 비교하여 보았을 때는 여전히 과거의 연구에서와 동일한 부가적인 요인으로서 납의 노출은 대기 호흡요인의 변동으로 생체 노출 부하가 결정되는 것으로 판단되었다.¹²⁾ 이와 함께 음식물을 통한 납의 섭취량에 의해 들어오는 생체 흡수량은 Table 4에서 보듯이 대기에서 노출되어 생체 흡수되는 양과 비교하였을 때 흡수비(rate, %)로 음식물을 통하는 편이 주 노출요인으로서 87-96%를 차지하고 있음에도 불구하고 혈중 납의 농도는 흡수비로 10-20% 밖에 차지하지 않는 대기를 통한 납의 노출수준과 잘 부합하고 있고, 높은 상관계수를 나타낸다는 점(Table 5)은 향후 계속 연구가 되어야 할 부분으로 판단된

Table 5. Correlation in Pb levels in ambient air and in blood the 2008-2018 survey

Measure	Comparison by:	No. of cases	Regression parameters*		
			α	β	γ (p)
Log10[Pb-B($\mu\text{g/l}$)]	Men	4	1.695	0.242	0.901 (0.099)
	Women	4	1.456	0.181	0.743 (0.257)

* α and β are regression line parameters so that $Y=(\alpha+\beta X)$, where X and Y are logarithm of the values in the 4 times of 2008-2018 survey; γ is the correlation coefficient p is p -value

다.^{12,41,52)} 이에 대한 요인으로서 혈중 농도의 경우는 음식물과 대기를 통한 노출의 농도도 중요하지만 실질적으로 혈액 내에서 농도를 나타내기 위해서는 생체내의 흡수, 분포, 생체 내 변환 및 배설과 같은 동물동력학적 요인에 의해서도 많은 영향을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다. 이와 함께 해가 지나감에 따라 식품내의 납의 함량도 자체적으로 증감할 수 있을 것으로 생각되나 우리나라에서 유통되는 음식물 중에 납의 함량을 명확히 한 논문자료가 본 인용 논문 이외에는 없으므로, 납 섭취 총량의 경우는 실질적인 현장조사 즉, 마켓베스킷 방법(market basket method)¹²⁾이나 음식물 복제법(diet duplicate method)¹²⁾에 의한 실제 납의 농도분석을 통하여 산정을 하는 작업이 차후에 이루어져야 할 것이다.

식품군별 납의 노출량에서 볼 때, 2000년대 이전의 연구에서는 사실상의 육류 및 어패류의 섭취가 높지 않아서 대부분의 경우 곡류 등의 식물성 식품을 통하여 납의 노출이 발생되었으나⁵¹⁾ 최근의 경우에는 과거와 비교하여 동물성 식품을 통한 납의 노출량의 증가가 두드러지게 나타나고 있다. 이는 최근 10년간의 경우 경제적인 요인의 변화와 함께 생활의 변화도 나타나고 있음을 보여주고 있다고 생각된다. 본 연구에서 높은 납 함량을 나타내는 식품군은 두류(중위수 0.120 $\mu\text{g/g}$, 범위 0.010-0.380 $\mu\text{g/g}$), 어패류(중위수 0.107 $\mu\text{g/g}$, 범위 0.006-4.350 $\mu\text{g/g}$), 육류 및 가금류(중위수 0.100 $\mu\text{g/g}$, 범위 0.010-0.380 $\mu\text{g/g}$), 해조류(중위수 0.089 $\mu\text{g/g}$, 범위 0.010-0.178 $\mu\text{g/g}$), 감자 및 전분류(중위수 0.080 $\mu\text{g/g}$, 범위 0.010-0.250 $\mu\text{g/g}$)였다. 그러므로 납 섭취는 사실상 이들 식품군을 하루에 어느 정도 섭취하는가에 따라 납의 섭취량이 크게 변동할 수 있었다. 식물성 식품군인 두류에서는 납의 함량은 높다고 볼 수 있으나 두류는 최근 10년간의 점진적인 섭취량의 감소현상 (Table 1)을 나타내고 있으므로 납섭취의 영향요인으

로서 기여도는 미약하였다. 감자 및 전분류의 경우도 납의 함량을 가지고 있지만 이 식품군 역시 최근 10년간의 변화에서는 점진적인 감소현상을 나타내어 최근의 우리나라 일반인에 있어 납 섭취의 중요 변동 요인으로는 판단되지 않았다. 그러나 동물성 식품군의 경우 육류 및 가금류와 어패류는 최근 10년간 지속적인 음식물 섭취량의 증가가 나타나고 이와 동시에 납의 함량도 높은 음식이므로 향후 지속적인 식생활 패턴의 변화와 함께 이들 식품군은 납의 노출에 중요한 요인으로 작용할 수 있다고 생각되었다. 그러므로 육류 및 가금류와 어패류의 동물성 식품군은 납의 노출에 변동을 줄 수 있는 요인으로서 주의가 필요한 식품군으로 생각된다. 특히 다른 중금속류에서와 마찬가지로 임신부 및 어린이들의 섭취에는 더욱 주의를 기울여야 하고 향후에는 이들 식품군에 대한 국내의 자체적인 섭취량 기준도 마련되어야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

식품군별 섭취증량의 변화에 의해 납의 섭취 추정량을 산출하였다. 최근 10년간의 납 섭취추정량의 경시적 변화는 남자군이 42.18-57.68 $\mu\text{g/day}$ 이었으며, 여자군이 30.97-42.54 $\mu\text{g/day}$ 로서, 점진적인 납 섭취량의 증가가 확인되었다. 남성군과 여성군 모두 동물성 식품군인 육류 및 가금류, 어패류에서 높은 납 섭취가 나타났으며, 이들 식품군은 단위 g당 납의 함량도 높아 납의 노출에 주요 요인이 되는 식품군이다. 최근의 납의 생체 노출의 경로는 과거와는 달리 95% 이상이 음식물 섭취에 의한 경구노출에 의한다.

References

1. Buchet JP, Lauwerys R, Vandevoorde A, and Pycke

- JM. Oral daily intake of cadmium, lead, manganese, copper, chromium, mercury, calcium, zinc and arsenic in Belgium: A duplicate meal study. *Food Chem Toxicol.* 1983; 21: 19-24.
2. Müller M, Anke M. Distribution of cadmium in the food chain (soil-plant-human) of a cadmium exposed area and the health risk of the general population. *Sci Total Environ.* 1994; 156: 151-158.
 3. Ikeda M, Watanabe T, Koizumi A, Fujita H, Nakatsuka H, and Kasahara M. Dietary intake of lead among Japanese farmers. *Arch Environ health.* 1989; 44: 23-29.
 4. Ikeda M, Zhang ZW, Shimbo S, Watanabe T, Nakatsuka H, Moon CS et al. Urban population exposure to lead and cadmium in east and southeast Asia. *the Sci Total Environ.* 2000; 249: 272-384.
 5. International Programme on Chemical Safety. Environmental health criteria 85. Lead-environmental aspects. Geneva. World Health Organization. 1989.
 6. International Programme on Chemical Safety. Environmental health criteria 134. Cadmium. Geneva. World Health Organization. 1992.
 7. International Programme on Chemical Safety. Environmental health criteria 135. Cadmium-environmental aspects. Geneva. World Health Organization. 1992a.
 8. International Programme on Chemical Safety. Environmental health criteria 165. Inorganic lead. Geneva. World Health Organization. 1995.
 9. International Agency for Research on Cancer: Lead and lead compound. IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Human. 1980; 23, 325-415.
 10. IARC. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: Some metals and metabolic compounds. 1980; 23: 315-425.
 11. ACGIH. TLVs and BEIs. Cincinnati, OH. 2010
 12. Moon CS, Zhang ZW, Shimbo S, Watanabe T, Moon DH, Lee CU, et al. Dietary intake of cadmium and lead among general population in Korea. *Environ Res.* 1995; 71: 46-54.
 13. Moon CS and Ikeda M. Pollutant levels in ambient air and blood in Korea. *Environ Health Prev Med.* 1996; 1: 33-38.
 14. Choi BW, Jung JH, Choi WJ, Jeon CJ, Shon BH. Distribution characteristics of ambient heavy metals based on the emission sources and their carcinogenic risk assessment in Ulsan, Korea. *Kor J Env Hlth.* 2006; 32(5): 522-531.
 15. Ministry of Environment, Korea. Environmental Health Act. 2009.
 16. KDCA, Ministry for Health, Welfare and Family Affairs, Korea Health Statistics 2018: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES VII-3). 2018. p.96.
 17. Sheo HJ, Hong S-S, Kim CM. A study on the contents of heavy metals in freshwater fishes of Yeong San river. *J Korean Soc Food Nutr.* 1991; 20(6): 615-620.
 18. Sung DW, Lee YW. A study on the content of heavy metals of marine fish in Korean coastal water. *Kor J Food Hygiene.* 1993; 8(4): 231-240.
 19. Park SO. Studies on the content of minerals and heavy metals in milk and milk products. thesis for master course in graduate school of agriculture & animal science: Kon-kuk University; 1994.
 20. Kim YC, and Han SH. A study on heavy metal contents of the fresh water fish, and the shellfish in Korean. *J Food Hyg Safety.* 1999; 14(3): 305-318.
 21. Kim M, Chang MI, Chung SY, Sho YS, Hong MK. Trace metal contents in cereals, pulses and potatoes and their safety evaluation. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2000; 29(3): 364-368.
 22. Kim IS and Han SH. A study of heavy metal contents in shellfishes of various areas in Jeonbuk. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2000; 29(5): 758-761.
 23. Chun OK, Kim Y, and Han SH. A study on the contents of heavy metals in the commercial processed foods. *J Food Hyg Safety.* 2001; 16(4): 308-314.
 24. Chung SY, Kim MH, Sho YS, Won KP, Hong MK. Trace metal contents in vegetables and their safety evaluations. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2001; 30(1): 32-36.
 25. Chung SY, Kim M, Kim JS, Hong M, Lee JO, Kim CM. Trace metal elements in sugar products and their safety evaluations. *Korean J Food Sci Technol.* 2002; 34(6): 992-997.
 26. Ham HJ. Distribution of hazardous heavy metals (Hg, Cd, and Pb) in fishery products, sold at Garak wholesale markets in Seoul. *J Food Hyg Safety.* 2002; 17(3): 146-151.
 27. Chung SY, Kim JS, Kim EJ, Park SK, Kim M, Hong M, et al. Trace metal contents in tea products and their safety evaluations. *Korean J Food Sci Technol.* 2003; 35(5): 812-817.
 28. Kim JH, Lim CW, Kim PJ, Park JH. Heavy metals in shellfishes around the south coast of Korea. *J Food Hyg Safety.* 2003; 18(3): 125-132.
 29. Kim M, Lee YD, Kim EJ, Chung SY, Park SK, Lee

- JO. Heavy metal contents in beverages consumed in Korea. *Korean J Food Sci Technol.* 2003a; 35(3): 342-346.
30. Kim M, Kim JS, Sho Y-S, Chung SY, Lee JO. The study on heavy metal contents in various foods. *Korean J Food Sci Technol.* 2003b; 35(4): 561-567.
31. Ha GJ, Song JY, and Hah DS. Study on the heavy metal contents in fishes and shellfishes of Gyeong-sangnam-Do coastal area Part 1. *J Food Hyg Safety.* 2004; 19(3): 132-139.
32. Kim M, Lee YD, Park HJ, Park SK, Lee JO. Contents of heavy metals in soybean curd and starch jelly consumed in Korea. *Korean J Food Sci Technol.* 2005; 37(1): 1-5.
33. Mok JS, Park HY, and Kim JH. Trace metal contents and safety evaluation of major edible seaweeds from Korean coast. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2005; 34(9): 1464-1470.
34. Yoo CC, Kim DW. Studies on the heavy metal contents in some vegetables sales on markets in Korea. *Korean J Food Nutr.* 2005; 18(3): 254-264.
35. Hwang YO, and Park SG. Contents of heavy metals in marine fishes, sold in Seoul. *Anal Sci Tech.* 2006; 19(4): 342-351.
36. Kim HY, Kim JC, Kim SY, Lee JH, Jang YM, Lee MS et al. Monitoring of heavy metals in fishes in Korea- As, Cd, Cu, Pb, Mn, Zn, Total Hg. *Korean J Food Sci Technol.* 2007; 39(4): 353-359.
37. Kwon YM, Lee KH, Lee HS, Park SO, Park JM, Kim JM et al. Risk assessment for heavy metals in Korean foods and livestock foodstuffs. *Korean J Food Sci Resour.* 2008; 28(3): 373-389.
38. Mok JS, Shim KB, Cho MR, Lee TS, Kim JH. Contents of heavy metals in fishes from the Korean coasts. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2009; 38(4): 517-524.
39. Zhang Z-W, Moon CS, Watanabe T, Shimbo S, and Ikeda M. Contents of pollutant and nutrient elements in rice and wheat grown on the neighboring fields. *Biol Trace Elem Res.* 1997; 57: 39-50.
40. Watanabe T, Cha CW, Song DB, and Ikeda M. Pb and Cd levels among Korean populations. *Bull Environ Contam Toxicol.* 1987; 38: 189-195.
41. Moon CS, Paik JM, Choi CS, Kim DH, Ikeda M. Lead and cadmium levels in daily foods, blood and urine in children and their mothers in Korea. *Int Arch Occup Environ Health.* 2003; 76: 282-288.
42. Korea Food and Drug Administration. Dietary intake and risk assessment of heavy metals in Korean foods: Final report. 2001. p.77-85.
43. Ministry of Environment, Korea. 2019 Environmental statistics yearbook. 2020. p.124, p.415.
44. Ikeda M.: Biological monitoring of the general population for cadmium. In: Nordberg GF, Herker RFM, Alessio L (eds.) Cadmium in the Human Environment: Toxicity and Carcinogenicity. IARC. Lyon. 1992. p.65-72.
45. Ku EJ. Study on the Content of Heavy Metals and Minerals in Imported Nuts. Thesis for master course. Seoul National University of Science and Technology. 2019. p.19.
46. Cha HA. Hazardous Heavy Metal Contents of Mushrooms from Korean Markets in Seoul. Thesis for master course. Seoul National University of Science and Technology. 2014. p.28.
47. No KM, Kang KM, Baek SL, Choi H, Park SK, Kim DS. Monitoring of Heavy Metal Content in Alcoholic Beverages. *J Fd Hyg Safety.* 2010; 25: 24-29.
48. Lee KS, Park HS, Choi TS, Shin BW, Lee JH. Survey of the heavy metal contents in avian eggs from Korean markets. *Korean J Vet Serv.* 2011; 34; 279-284.
49. Moon CS. High Influential Factor of Cadmium and Lead Exposure in Outdoor Workers. *J Korean Soc Occup Environ Hyg.* 2020; 30: 163-173.
50. Moon CS. Correlation among PM10, PM2.5, Cd and Pb concentration in ambient air and Asian dust storm event. *J Environ Health Sci.* 2020; 46: 532-538.
51. Moon CS, Zhang ZW, Imai Y, Shimbo S, Watanabe T, Moon DW et al. Nutritional evaluation of women in urban and rural areas in Korea as studied by total food duplicate method. *Tohoku J Exp Med.* 1997; 181(2): 245-265.
52. Moon CS. Time Trends in Estimated Dietary Lead Intake from the Variation of Intake Weight Per Food Group. *J Environ Health Sci.* 2011; 37: 258-266.

<저자정보>

문찬석(교수)