

환경 중 납 분석에 관한 국제 정도관리 및 분석 방법 연구

최인자 · 윤충식** · 강태선 · 양원수 · 박동욱** · 박두용***

원진노동환경건강연구소, *대구가톨릭대학교, **한국방송통신대학교, ***한성대학교
(2002, 5. 18 접수)

Study on analytical method and international quality control program for environmental lead

Inja Choi - Chungsik Yoon* - Taesun Kang - Wonsu Yang - Dong Uk Park** - Doo Yong Park***

Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health, Kuri, Korea,

*Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Kyongsan, Korea

**Department of Environmental Health, Korea National Open University, Seoul, Korea

***Department of Industrial Safety Engineering, Hansung University, Seoul, Korea

(Received May 18, 2002)

요 약 : 미국산업위생학회 (American Industrial Hygiene Association, AIHA)와 미국환경보호청 (US Environmental Protection Agency, EPA)에서 실시하는 납 분석 정도관리 프로그램에 가입하여 1999년부터 2001년까지 매년 4회씩 공기, 페인트 칩, 토양 그리고 먼지 중 납을 분석하였다. 분석결과, 총 128개의 시료 중 126개의 결과가 적합 범위에 들어 전체적으로 'proficient' 인정을 받았다. 공기, 페인트 칩, 토양 그리고 먼지 중 납의 농도는 각각 0.0089~0.3956 mg/m³, 0.0500~8.9149%, 29.0~1697 mg/kg 그리고 18.00~900.3 µg/sample 이었다. 다양한 환경시료 중의 납은 각 매트릭스별로 적절한 전처리를 한 다음 불꽃 원자흡수분광광도법으로 불꽃 방법으로 분석하였다. 공기 중 납은 염산으로 추출하였고, 페인트 칩과 토양 시료는 마이크로웨이브와 핫플레이트에서 회화시키는 방법, 두 가지를 모두 이용하였다. 그리고 먼지 시료는 마이크로웨이브 회화법을 이용하였다. 각각의 전처리 방법에 따른 차이는 없었으며, 다양한 환경 시료 중의 납 분석방법으로 적당하였다.

Abstract : In this study, we introduced experience participated in ELPAT (Environmental Lead for Proficiency Analytical Testing) program that is administered by the American Industrial Hygiene Association and EPA. The 126 sample results of total 128 samples met reference value, as a result accepted 'proficient'. The concentration of Pb in air, paint chips, soils and dust wipes are 0.0089~0.3956 mg/m³, 0.0500~8.9149%, 29.0~1697 mg/kg and 18.0~900.3 µg/sample, respectively. The lead in environmental matrix prepared adequate techniques and analysed by flame atomic absorption spectrometry. The lead in air was extracted hydrochloric acid, in paint chips and soils were digested with microwave and hotplate and in dust wipes were prepared microwave digestion. No differences of each preparation techniques was found and all methods were to be proper.

Key words : lead, ELPAT, soil, paint chips, microwave, hotplate, digestion, quality control.

★ Corresponding author

Phone : +82+(0)53-850-3738 Fax : +82+(0)53-850-3736

E-mail : csyoon21c@yahoo.com

1. 서 론

일반적으로 납의 노출 및 건강영향에 대한 관심은 주로 직업적인 노출에 의한 건강상의 영향에 초점을 맞추어 왔다. 지난 수십 년 동안 많은 연구들이 납 제련소, 건전지, 세라믹 및 유리 제조업체 그리고 건설 업체의 작업자 등 작업환경에서의 납 노출에 대하여 다루었다.¹ 납은 유연성, 연성, 부식에 대한 저항성, 낮은 전도율 등의 물리적인 특징 때문에 오랫동안 다양한 분야에서 사용되었으며, 특히 지난 수십 년 동안 유연 휘발유, 납 함유 페인트의 사용은 환경 중 납의 주요 오염원이었다. 한 예로, 가솔린 중의 납은 미세한 입자상 물질로 환경 중으로 배출되어 공기, 먼지 및 토양의 오염을 증가시켰다.²

납은 독성물질로 잘 알려져 있다. 중추신경계, 말초신경계, 적혈세포, 신장, 심장혈관계 그리고 생식기관 등에 독성을 갖고 있는 것으로 알려져 있다.^{2,3} 특히 태아 및 유아의 뇌에 큰 독성을 갖는데, Table 1에서 볼 수 있듯이 초기의 약 10~20 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 수준의 혈 중 납 농도에 노출되어도 지능손실, 집중력 감소, 활동장애 등이 야기될 수 있다.⁴ 그리고 국제암연구센터(The International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 납을 동물 발암성 물질로 규정하였으며, 사람에게 대해서는 발암 가능성 물질(Group 2B)로 분류하고 있다.⁵ 이는 주로 고농도의 납 노출에 대한 연구를 통해서 밝혀졌다.

Table 1. Toxicity of blood lead concentration on blood($\mu\text{g Pb}/\text{dl}$)

Toxicity	$\mu\text{g Pb}/\text{dl}$
Death	100 이상
Sever Brain Damage	
Kidney Damage	50~
Severe Anemia	100
Severe Stomach Cramp	
Damage to Blood Forming System	40
Reduced Vitamin D Metabolizm	30
Impaired Nerve Function	20
Reduced IQ, Hearing, Growth, Behavior Problems	10

그러나 최근 납의 독성에 관한 연구는 지금까지는 안전하다고 생각했던 비교적 낮은 농도의 납 노출에 대한 건강적 영향에 초점을 두고 있다. 미국을 포함한

선진국에서는 어린이의 납 노출에 대한 연구의 중요성이 증가되고 있는데, 과거에는 안전한 것으로 믿었던 저농도 수준에서도 어린이들은 건강에 대한 악영향을 입을 수 있다는 것이 밝혀지고 있다. 어린이들은 다양한 오염원에 의해 납에 노출이 되는데, 주로 칩에 의해 납을 흡수한다. 토양, 먼지, 음용수, 비닐 소형블라인드, 세라믹, 납 함유 페인트, 색유리, 산업적 배출 그리고 장난감 등 다양한 오염원이 생활환경 주변에 있다.^{6,7} 태아의 경우에는 납에 노출된 어머니의 모유 또는 태반 이행을 통해서 노출이 되기도 한다.

미국 CDC(The Centers for Disease Control and Prevention)에 따르면 납이 함유된 페인트가 취학 전 어린이들의 가장 위험한 그리고 가장 일반적인 고농도 납 노출원에 해당된다고 하였다. 또한 어린이들의 납 중독은 오늘날 미국에서 가장 흔한 건강문제의 하나로 보고 있으며 완전히 예방이 가능한 문제로 인식되고 있다. 이러한 문제의 심각성을 배경으로 미국은 1997년에 어린이의 납에 의한 건강손실을 최소화하도록 하기 위해 대통령 특별명령으로 납에 의한 노출 확인 및 평가 그리고 개선을 위한 task force team을 조직하여 대대적이고 전략적인 어린이 납중독 제거 프로그램을 운영하고 있다.⁸ 이는 방대한 과학적 근거에 의거하여 어린이들이 납에 의해 성장저하, 지능저하 등 심각한 건강영향을 받고 있음을 인식하고 납 노출을 줄이기 위한 전략이다.

그러나 우리는 아직까지 어린이의 납 노출에 대한 문제의식이 많이 부족한 현실이다. 더욱이 다양한 환경 시료 중의 납 농도 평가가 제대로 이루어지지 않고 있으며, 측정방법 또한 구체적으로 표준화된 방법이 만들어 있지 않다.

본 연구의 목적은 다양한 환경 중 납 분석의 정도 관리 프로그램인 ELPAT의 경험에 의한 여러 매트릭스 중 납 분석방법을 소개하고, 전통적인 가열에 의한 전처리와 최근에 사용이 증가하는 마이크로웨이브오븐에 의한 전처리 방법을 비교 고찰하는데 있다.

2. 실험방법

2.1 대상물질

ELPAT 프로그램에서 제공되는 공기(여과지 중 납), 페인트 칩, 토양 그리고 먼지(dust wipe) 시료 중 납을 분석하였다. 이 프로그램은 연 4회 각 분기별로 시행되

는데 시료는 각 회당 시료 매트릭스 별로 4개씩 주어진다. 본 연구에서는 ELPAT 프로그램 31회부터 38회까지 8회 동안 시행한 총 128개 분석결과를 이용하였다. 단 전처리 방법의 비교는 31회에서 34회까지의 시료를 이용하여 비교하였다.

2.2 분석방법

모든 시료는 분석 전까지 냉장 보관하였다. 특히 먼지(dust wipes)는 미생물의 성장을 방지하기 위해 반드시 냉장 보관해야 한다.

공기 중 납은 진한 염산으로 추출하였다. 공기시료는 여과지(Cellulose Ester Membrane filter)에 표준용액을 주입시킨 상태로, 이 여과지 중 납을 추출하기 위하여 100ml 비이커에 여과지를 옮긴 다음, 진한 염산(37% HCl, Aldrich)을 5배 희석시킨 용액 20 ml를 첨가하여 하루동안 방치시켰다.

페인트 칩과 토양은 분석 하루 전에 105 °C에서 하루동안 건조시켜서 이용하였다. 이는 시료 중의 수분을 제거하기 위함인데, 최종 농도는 건조무게(dry-weight)를 반영해서 계산하기 때문이다. 페인트 칩과 토양 시료는 두 가지 방법으로 전처리 하여 전처리 방법에 따른 차이를 비교하였다. 첫 번째 방법은 미국 환경보호청(EPA) 공정시험법 SW-846-3501 방법을 응용한 것으로 마이크로 웨이브 오븐을 이용한 회화 전처리 방법이다. 두 번째 방법은 미국 산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health) 공정시험법 NMAM(NIOSH Manual of Analytical Methods) 7082 방법으로 핫플레이트에서 회화시키는 방법이다. 마이크로웨이브 오븐과 핫플레이트 전처리를 위한 시료의 양은 거의 동일하게 하였는데, 페인트 칩과 토양이 각각 약 100, 250 mg수준에서 정확히 취하였다. 마이크로파를 이용한 전처리 시료는 테플론 용기(Teflon vessel)에 시료를 취한 후, 고순도 질산(redistilled 99.999%, Aldrich, USA) 10 ml를 첨가하여 MARS(Microwave Accelerated Reaction System, CEM, USA)으로 회화시켰다. 전처리가 끝나면 증류수로 40 ml 표선까지 희석시켰다. 먼지시료는 테플론 핀셋을 이용하여 테플론 용기에 옮긴 후 같은 방법으로 전처리 하였다.

이때 MARS로 회화시킨 대부분의 용액은 페인트 칩, 토양 그리고 먼지 등의 침전물이 남아있기 때문에 2500 rpm으로 20분 동안 원심분리 시켰다. 원심분리

후 상등액을 취하여 분석용 시료로 이용하였다. 페인트 칩 시료는 농도가 높아서 10배 희석하여 분석용 시료로 이용하였다. 페인트 칩, 토양, 먼지의 마이크로웨이브 전처리 조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Experimental condition of microwave oven(MARS)

Stage	Max. power (W)	% Power	Ramp (min)	Pressure (psi)	Temp. (°C)	Hold (min)
1	1200	100	2:00	300	165	0:00
2	1200	100	3:00	300	175	5:00

핫 플레이트(MGH-320, SIBATA, Japan)를 이용하는 경우에는 100 ml 비이커에 일정량의 시료를 취한 다음, 고순도 질산 5 ml, 과산화수소(35 wt% H₂O₂, Acros, USA) 1 ml를 첨가한 다음 140 °C로 유지하면서 전처리 하였으며 표면 온도계로 온도를 측정하였다. 이 때 비이커는 시계접시로 덮였으며 비이커의 용액이 약 0.5 ml가 될 때까지 가열시킨 다음, 다시 질산 3 ml, 과산화수소 1 ml를 첨가하고, 용액이 모두 증발할 때까지 가열하였다. 용액이 모두 증발하면 증류수 10 ml를 첨가하여 시계접시를 덮지 않은 상태에서 증발시켰다. 용액이 모두 증발하면, 고순도 질산 10 ml를 첨가한 다음 증류수로 40 ml 표선까지 희석시켰다. 이 시료도 침전물을 제거하기 위하여 마이크로파로 전처리 한 시료와 동일한 방법으로 원심 분리시킨 다음, 상등액을 취하여 분석용 시료로 이용하였다.

핫 플레이트와 마이크로웨이브에 의한 전처리 방법에 따른 분석결과의 비교를 위하여 31회부터 34회의 페인트 칩 시료와 토양시료를 이용하였다. 페인트 칩과 토양 시료는 비교적 많은 양에서 소량씩 취할 수 있기 때문에 여러 번 전처리가 가능하지만, 공기와 먼지시료는 각각 1개의 여과지와 tissue (PaceWipe™, USA)가 제공되므로 한 번의 전처리만 가능하므로 전처리 방법의 비교가 불가능하였다.

위와 같이 전 처리한 시료는 불꽃 원자흡수분광광도법(SpectrAA 880, Varian, Australia)으로 217 nm에서 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 정도관리 프로그램의 운용

미국의 환경 중 납 분석 정도관리(ELPAT) 프로그램은 미국 전국각지의 납 노출 평가의 일환으로 운영

되고 있다. 미국의 HUD (US Department of Housing and Urban Development)에서는 페인트, 토양, 먼지 중 납을 평가하는데 있어서 US EPA의 NLLAP (National Lead Laboratory Accreditation Program)의 인증 실험실만이 노출평가를 하도록 규정하고 있다.⁹ 이러한 실험실 인증을 위해 NLLAP의 일부분으로 실시되는 것 중의 하나가 바로 ELPAT 프로그램으로, 미국의 실험기관뿐만 아니라, 전 세계적으로 많은 실험기관이 참여하여 환경 중 납 분석에 관한 정도관리를 받고 있다.

ELPAT 프로그램은 1992년 미국의 AIHA, CDC, NIOSH 및 EPA의 Office of Pollution Prevention and Toxics의 주관으로, 납 제거와 관련이 있는 실험실의 분석능력을 평가하고 개선하기 위해서 시작되었다. 이 프로그램으로 인하여 실험실간의 납 분석방법의 비교를 통하여 다양하게 이용되고 있는 분석방법의 비교 및 평가가 가능하였다. 현재까지 미국과 캐나다를 비롯한 약 260여개 이상의 기관이 이 프로그램에 참여하고 있으며 이는 환경 중 납 분석에 대한 실험실 인정프로그램 (laboratory accreditation program)의 필수적 요소이기도 하다.⁹ ELPAT 프로그램은 일년에 4회씩 실시되고 있으며, 공기, 페인트 칩, 토양 그리고 먼지 중의 납 농도를 분석하는 것이다. 매 회마다 4종의 매트릭스별로 각각 4개씩 총 16개의 시료가 참여실험실로 보내지게 된다. 이러한 프로그램에 1년 이상 참여한 실험실은, 지난 1년 동안의 자료를 종합하여 각 매트릭스 별로 평가를 받는다. 평가 기준은 첫째, 지난 4회 동안 매번 분석결과를 제출하고 그 중 최근 2회의 결과 값이 합격 범위에 들었을 때, 둘째, 4회 동안 분석결과가 3/4 이상이 합격 범위에 들었을 때이며, 이 기준에 적합한 실험실은 인증을 받게 된다. 참가값으로 간주하는 기준 값 (reference value)은 주관기관이 인정하는 우수 참여실험실의 평균값을 사용하며 합격범위는 주관실험실의 평균값±3·SD이다.

시료로 사용되는 페인트 칩, 토양 그리고 먼지 (dust wipes)는 실험실에서 인위적으로 조제하는 것이 아니라, 미국의 여러 주에서 실제 환경 중의 시료를 채취하여 혼합한 다음 고온에서 살균하여 120~150 μm의 미세한 입자로 만들어 사용한다. 공기 중 시료는 납 표준용액을 주입시킨 셀룰로스 에스테르 막 여과지를 이용한다. 각 매트릭스 별 시료의 특징을 Table 3에 정리하였다. 시료는 주관기관인 AIHA 및 EPA의 의뢰를 받아 RTI (Research Triangle Institute, USA)에서 제조하며 참여실

험실로 보내게 된다. 이 정도관리의 특징은 시험법으로 특별히 표준방법을 규정하고 있지 않은 것인데, 미국 EPA 방법이나 NIOSH 방법을 추천한다. 주로 많이 사용되는 전처리 방법은 핫플레이트와 마이크로파를 이용하는데, 핫플레이트에서 회화시키는 방법은 NIOSH 공정시험방법 7082와 7105, EPA의 SW-846-3050A 등이 있고, 마이크로파를 이용한 회화법은 EPA SW-846-3051에서 이용하고 있다. 분석에 이용하는 기기는 Flame AAS, Graphite Furnace AAS, ICP-AES, 그리고 Laboratory X-ray Fluorescence 등이 있다.

Table 3. Characteristics of ELPAT sample

Matrix	Sample	Preparation	Particle Size (μm)	Note
Air	Membrane Cellulose Ester Filter	Injection of standard solution	-	
	North Carolina Ohio	Mechanically ground	120	
Soil	North Carolina New Jersey	Heating 163 °C, 2hr	150	
	North Carolina Milwaukee	Sterilized γ-irradiation	150	Loaded Premoistened PaceWipe™

3.2 정도관리 참여결과와 고찰

본 연구진이 ELPAT 프로그램 31회부터 38회까지 8회 동안 참여한 결과, 공기, 페인트 칩, 토양 그리고 먼지 중 납의 농도는 총 128개의 시료 중 126 (98%)개가 평균±3·SD 범위 안에 들어 전체적으로 ‘proficient’ 인정을 받았다.

Fig. 1, 2, 3, 4는 각 매트릭스 별 납의 합격범위와

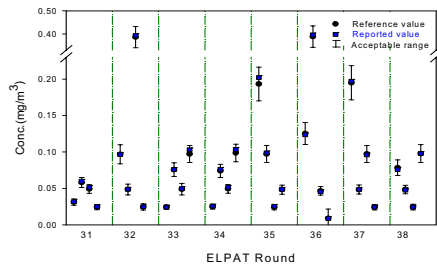


Fig. 1. Lead concentrations in ELPAT airborne samples.

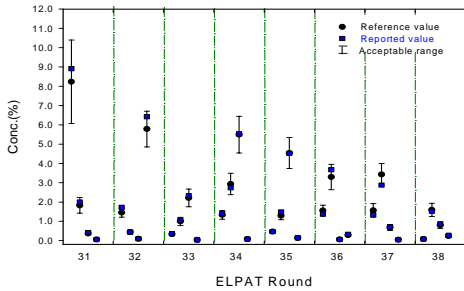


Fig. 2. Lead concentrations in ELPAT paint chip samples.

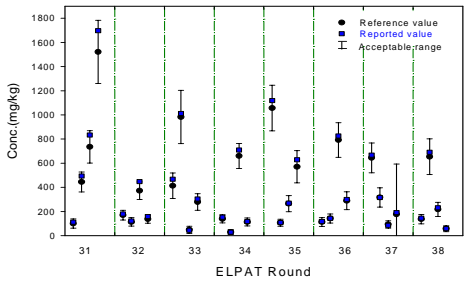


Fig. 3. Lead concentrations in ELPAT soil samples.

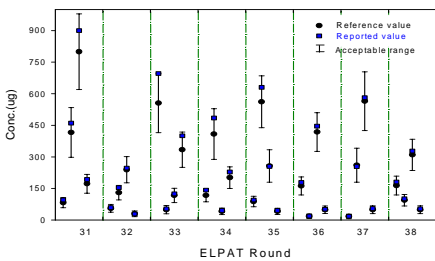


Fig. 4. Lead concentrations in ELPAT dust wipe samples.

분석결과를 나타내고 있다. 공기, 페인트 칩, 토양 그리고 먼지 중 납의 농도범위는 각각 0.008900~0.3956 mg/m³, 0.05000~8.915%, 29.00~1697 mg/kg 그리고 18.00~900.3 μg/sample 이었다. 각각의 Fig.에는 각 회마다 기준값, 실험실의 분석값, 적합 범위를 표시하였다. 대부분의 결과가 기준 값에 근접하고 있음을 알 수 있다.

이러한 기준값과 분석값의 차이는 Z-score를 이용하여 비교할 수 있다. Z-score란 (분석값-기준값)/표준편차의 절대값으로 계산되며, 이 값이 3이하인 경우에만 적합 범위에 들 수 있다. 즉 Z-score가 작을수록 기준값에 가깝다고 볼 수 있다. Fig. 4에 총 128개의 시료에 대한 Z-score를 나타내었다. 페인트 칩 시료는 Z-score가 1이하인 경우는 총 32개 시료 중 13개 (40.6%), 1~2사이가 12개 (37.5%), 2~3사이가 6개 (18.8%) 그리고 3이상이 1개 (3.1%)였고, 토양 시료는 총 32개 시료 중 1이하가 21개 (65.6%), 1~2사이가 8개 (25.5%), 2~3사이가 2개 (6.3%) 그리고 3이상이 1개 (3.1%)였고, 먼지 시료는 1이하가 19개 (59.4%), 1~2사이가 9개 (28.1%) 그리고 2~3사이가 4개 (12.5%)였다. 공기 시료인 경우에는 Z-score가 1이하가 26개 (81.3%), 1~2사이가 6개 (18.7%)로 모두 2이하의 값이었다. Z-score의 분포를 보면, 공기시료는 매우 낮은 값을 보이고 있으며, 토양과 페인트 칩에서 3이상의 값이 나타났다. 그리고 페인트 칩, 토양, 먼지의 경우는 각 시료별 경향을 정확히 파악하기는 힘들지만, 공기와 비교할 때 보다 다양한 분포를 보이고 있다. 이런 이유는 납이 들어 있는 매트릭스가 영향을 주기 때문이라고 추론할 수 있다. Z-score가 가장 작은 공기 시료와 차이가 큰 페인트 칩의 경우, 매질이 복잡한 페인트 칩 시료는 납을 추출하는 과정 또는 분석과정에서 좀 더 오차가 생길 수 있고, 상대적으로 전처리가 쉬운 여과지 매트릭스에서는 추출이 용이하다고 볼 수 있다. 따라서 토양이나 페인트 등의 복잡한 매질 중의 납을 분석하는 것이 여과지에서 분석하는 것보다 어려움이 있으므로 세심한 주의가 필요하다.

실제 환경시료인 먼지 중 납을 채취하는 방법은 여러

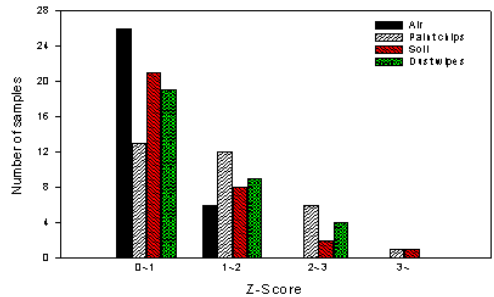


Fig. 5. Distribution of Z-score by sample matrix.

가지가 있으나 보편적으로 많이 사용하는 방법은 물티슈나 거즈를 이용하는 방법이다. 그러나 이 경우 티슈나 거즈에 납이 많이 존재하거나 전처리가 어려우면 사용하지 말아야 한다. 국내 상점에서 손쉽게 구할 수 있는 아기용 물티슈, 거즈를 대상으로 전처리의 용이성(마이크로파 회화법)과 납 함유량을 평가하여 본 결과 전처리가 잘되어 불순물이 남지 않았으며 물티슈와 일반 거즈의 납 함량은 각각 $2.5 \pm 0.4 \mu\text{g}/\text{sheet}$, $< 0.1 \mu\text{g}/\text{sheet}$ 이었다. 따라서 일반적인 물티슈나 거즈를 이용하여 먼지 중의 납 평가에 적용이 가능하다고 판단된다. 단, 시료를 채취하기 전 배경농도를 파악하여야 한다.

3.3 전처리 방법에 따른 결과비교

페인트 칩과 토양의 전처리 방법에 따른 결과는 Fig. 6과 7에 나타내었다. 마이크로 웨이브 오븐에 의한 전처리 방법과 핫플레이트 방법에 의한 분석결과는 모두 적합범위에 들었다. 두 값의 차이는 크지 않았으며, 매트릭스에 의한 차이도 없었다. 그러나 Fig. 6과 7에서 보듯이 마이크로파로 전처리 하여 분석한 농도가 핫플레이트로 전처리 한 분석결과보다 높은 농도경향을 보였다. 이는 여러 가지 오차가 있지만, 특히 핫플레이트로 회화시키는 동안 추출용액이 튀거나 또는 비이커 벽면의 잔류 등으로 인한 손실이 있었기 때문으로 생각된다. 그러나 결과적으로 두 결과 값의 큰 차이는 없었으므로, 토양과 페인트 칩의 전처리 방법으로 마이크로 웨이브 회화법과 핫플레이트 회화법, 두 방법 모두 적합하다고 볼 수 있다. 단지 전처리 과정에 소요되는 시간과 용이함에서 볼 때, 마이크로 웨이브를 이용하는 방법이 시간을 절약할 수 있고 더 간편한 장점이 있다.

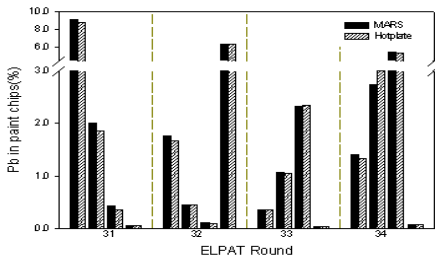


Fig. 6. Comparison of lead concentration level in paint chips by digestion method.

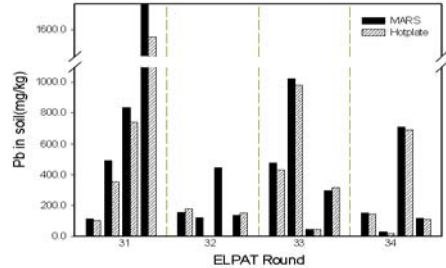


Fig. 7. Comparison of Lead level in soil according by digestion method.

4. 결론

미국의 AIHA와 EPA에서 주관하는 환경 중 납 분석 정도 관리(ELPAT) 프로그램에 총 8회 동안 참여한 결과, 총 128개의 공기, 페인트 칩, 토양 그리고 먼지 시료 중 126개(98%)의 결과 값이 적합 범위에 포함되어 전체적으로 'Proficient' 인정을 받았다. 각각 서로 다른 시료 매트릭스에서 납을 추출하는 방법으로, 여과지는 산 추출법을, 페인트 칩과 토양 그리고 먼지 시료는 마이크로웨이브 오븐에 의한 전처리 방법을 이용하여 좋은 결과를 얻었다. 단지, 페인트 칩이나, 토양, 먼지시료는 전처리 후 침전물의 제거를 위하여 원심분리를 하여 상등액을 사용하는 것이 바람직하다. 특히 페인트 칩과 토양 시료의 전처리방법으로는 전통적인 핫 플레이트 방법과 최근에 많이 도입되고 있는 마이크로웨이브에 의한 방법을 비교하여 그 결과를 비교하였는데, 두 방법 모두 적절하였다.

참고 문헌

- Shilu Tong and Anthony J. McMichael, *J. Environ. Med.*, **1**, 103-110(1999).
- Philip J. Landrigan, Paolo Boffetta and Pietro Apostoli, *American Journal of Industrial Medicine*, **38**, 231-243(2000).
- Todd AC, McNeill FE and Fowler BA, *Environ. Res.* **59**, 326-335(1992).
- Centers for Disease Control and Prevention, U.S. Dept. of Health and Human Services. 1991.

5. IARC. 1999.
6. Leroyer A, Nisse C, Hemon D, Gruchociak A, Salomey JL and Haguenoner JM, *American Journal of Industrial Medicine*, **38**, 281-289(2000).
7. Katarina Osman, Carl Elinder, Andrejs Schutz and Anders Grubb, *J. Environ. Med.*, **1**, 33-38(1999).
8. Paul C. Schlecht, Jensen H. Groff, Amy Feng and Ruiguang Song, *American Industrial Hygiene Association Journal*, **57**, 1035-1043(1996).
9. Curtis A. Esche and Jensen H. Groff, *American Industrial Hygiene Association Journal*, **59**, 592-595(1998).