

Research Article

Open Access

## 폐광산지역 토양에서 중금속과 PAHs 농도 분포 상관관계

기성간,<sup>1,2</sup> 박하승,<sup>1,2</sup> 조래현,<sup>1,2</sup> 최경균,<sup>1,2</sup> 양현,<sup>3</sup> 박정훈<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 환경에너지공학과, <sup>2</sup>전남대학교 토양기술연구소, <sup>3</sup>녹색기술연구소

### Distribution Correlation between Heavy Metals Contaminants and PAHs Concentrations of Soils in the Vicinity of Abandoned Mines

Seong-Kan Ki,<sup>1,2</sup> Ha-Seung Park,<sup>1,2</sup> Rae-Hyeon Jo,<sup>1,2</sup> Kyoung-Kyoon Choi,<sup>1,2</sup> Hyun Yang<sup>3</sup> and Jeong-Hun Park<sup>1,2\*</sup>  
(<sup>1</sup>Department of Environment and energy Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea, <sup>2</sup>Soil Technology Research Institute Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea, <sup>3</sup>Green Institute of Technology, Gwangju 500-757, Korea)

Received: 25 June 2014 / Revised: 10 August 2014 / Accepted: 13 October 2014

Copyright © 2014 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### Abstract

**BACKGROUND:** Heavy metals contamination of soils in the vicinity of abandoned mines in South Korea has been investigated. However, PAHs contamination rarely has been studied. Both heavy metals and PAHs concentrations have been measured in this study.

**METHODS AND RESULTS:** The samples of soil and sediment were collected from the vicinities of three abandoned coal mines and two abandoned metal mines for analysis of heavy metals contaminants and PAHs concentration from April to September 2012. After preparation of these samples following the Korean standard test method for soils, the concentrations of heavy metals contaminants and PAHs were measured using ICP-OES and GC-MS, respectively. It was observed that the concentration of Arsenic was above the concern level based on 'area 1' suggested by Korean soil conservation law, resulting that Arsenic is the main contaminant in these areas. Also Cd, Cu, Pb and Zn were observed as a partial

contaminants. The concentrations of other investigated components including benzo(a)pyrene were less than the concern level.

**CONCLUSION:** The correlation observed between Arsenic (as main contaminant) and PAHs concentrations suggested that the contaminant source and pathway are different for each other. The effect of mine activity on PAHs concentration was rarely observed.

**Key words:** Abandoned, Correlation, Metal, Mines, PAHs

#### 서론

석탄광산이 349개, 금속광산이 988개, 비금속광산이 699개 등 총 2,036개 광산이 전국적으로 분포하고 있는 것으로 알려져 있다(Jung *et al.*, 2010). 이중 비금속광산은 여타 광종에 비해 비교적 부존량이 풍부하고 매장상태가 양호하여 개발이 활발한 편이다. 그러나 금속광산과 석탄광산은 대부분 경제성 및 채산성 문제로 개발이 어려운 여건이며 전체 광산의 90% 이상이 휴광 또는 폐광된 상태로서 자연 방치되어 있는 경우가 대부분이다(한국광해공단, 2010). 휴지하거나 폐광된 광산의 경우 지속적으로 광해를 발생시키는 것으로 추정되고 있다.

\*교신저자(corresponding author): Jeong-Hun Park  
Phone: +82-62-530-1855; Fax: +82-62-530-1859;  
E-mail: parkjeo1@jnu.ac.kr

1992년부터 국내에서는 폐금속광산 주변의 토양 및 수질 오염에 대한 조사 및 연구를 해왔으며, 비소 및 중금속에 의한 오염이 보고되어 왔다(Choi et al., 2010; Yun et al., 2011; Jang et al., 2011). 또한 폐석탄 광산 주변의 퇴적물중금속, 식물중금속, 지표수중금속, 산림복구 토양중금속 및 화학적특성연구 등 주로 중금속에 관한 조사 연구가 수행되어져 왔다(Cho et al., 1996; Kim et al., 1997; Min et al., 1997; Kim et al., 1998; Min et al., 2005; Lee et al., 2006; Park et al., 2007). 광미나 폐석으로부터 유해 금속들이 자연수를 매개로 이동하여 주변 농경지로 유입되어 농작물에 흡수될 경우 이를 섭취한 인간이나 동물에 만성적인 장해를 일으킬 수 있다(Jang et al., 2011).

국내의 경우 폐석탄 광산과 폐금속광산에서 주로 금속성분에 대한 오염연구 중심으로 진행되어 왔으나, 외국의 경우 폐석탄 광산 주변 토양 및 퇴적물에서 PAHs의 오염이 보고되고 있으며, 석탄 입자들이 토양 및 하천 퇴적물의 PAHs 오염원으로 작용하는 것으로 알려져있다(Ovrebø et al., 1995; Micic et al., 2007; Pies et al., 2007; Achten and Hofmann, 2009; Bandowe et al., 2010). 최근에는 중국 한단시(Handan city) 주변의 Jiulong 석탄광산 주변의 폐석에서 PAHs 가 높은 농도(최고 185 mg/kg)로 검출되었고, 이들이 주변을 오염시키는 것으로 알려졌다(Sun et al., 2009). 석탄에서 PAHs의 농도는 탄화 전 유기물의 종류와 탄화과정의 온도, 압력조건 등에 따라 달라지며, 일반적으로 유연탄(bibuminous coal)이 무연탄(anthracite)보다 PAHs의 함량이 많다. 캐나다 유연탄 중에는 PAHs의 농도가 2,400 mg/kg인 것도 있는 것으로 보고되었다(Achten and Hofmann, 2009).

PAHs는 여러 개의 벤젠 고리가 융합한 형태를 가진 방향족 탄화수소로서 화석(석탄, 석유)연료에 함유되어 있으며, 연료가 누출되거나 불완전 연소시 발생되어 주변 환경을 오염시킨다(Zuo et al., 2007; Achten and Hofmann, 2009; Chen et al., 2011). PAHs는 미량으로도 암을 유발시킬 수 있는 발암물질이거나 돌연변이성을 가진 물질이며 인위적으로는 경유, 휘발유 등 화석연료를 사용하는 자동차의 배출가스, 용광로, 산업장의 연기와 매연, 그을린 음식 등에서 발생하고 자연적으로는 화산, 산불, 석탄, 원유 등에서 많이 발생된다.

현재까지 국내 폐광산 주변 지역에 대한 PAHs 농도분석에 대한 연구가 전무하여 본 연구에서는 폐광산 주변 지역에서 토양 시료를 채취하여 중금속과 PAHs의 농도를 분석하고, 거리별 농도분포 및 중금속과 PAHs의 오염도 상관관계를 분석하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 시료채취

조사대상 광산은 비소와 중금속으로 오염된 것으로 보고된 폐금속광산 2개와 폐석탄광산 3개를 선정하였다. 폐석탄

광산은 호남광업과 동양탄광, 갑정탄광 3개 광산이고 폐금속광산은 덕음광산과 영대광산 2개 광산이다. 시료채취 위치는 광산 갱구로부터의 거리(100 m 마다 토양시료 채취), 광해오염의 확인, 접근의 용이성 등을 고려하여 채취하였다. 2011년 4월부터 9월 사이에 호남광업 51 개 시료와 동양탄광 42 개 시료, 갑정탄광 19 개 시료, 덕음광산 41 개 시료, 영대광산 39 개 시료를 각각 채취 하였다. 시료채취 방법은 모삽과 핸드오거 등의 기구를 사용하였고 표층에서 심도 15 cm 이내에서 1 kg의 토양 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 유리병에 담아 실험실로 운반하고 4 °C 이하로 보관하였다.

### 분석항목 및 방법

분석항목은 중금속(As 및 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)과 PAHs이며 중금속 분석은 토양오염공정시험 기준에 따라 왕수를 이용하여 전분해 한 후 여과하고 ICP-OES로 측정하였다. PAHs 분석항목은 유해성을 고려하여 미국 환경청(EPA)에서 정한 16가지의 우선감시물질들을 대상으로 하였고 농도는 16가지 우선감시물질의 총 함량으로 나타내었다. 분석절차는 토양오염공정시험기준의 benzo(a)pyrene의 분석 방법에 따라 분석하였으며 토양시료 10 g에 DCM 100 ml를 넣고 초음파 추출한 뒤 GC-MS로 측정하였다.

광산지역의 주 오염물질인 As와 다른 성분과의 상관관계를 구하고 분석하기 위해 피어슨 상관관계수(Pearson's Correlation Coefficient, r)와 P value 를 이용한 분석 결과를 Table 2에 나타내었다. 상관관계수(r)는 절대값의 범위가  $0 < r < 0.1$ 이면 거의 무시될 수 있는 선형관계,  $0.1 < r < 0.3$  약한 선형관계,  $0.3 < r < 0.7$  보통 선형관계,  $0.7 < r < 1.0$  강한 선형관계로 표현한다(박성현, 2009; 원태연, 2010). P value 값은 0.05 보다 작으면 상관관계가 있다고 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 중금속과 PAHs의 농도 분포

중금속과 PAHs의 농도 분포를 Table 1에 제시하였다. 5개 광산의 As 농도는 호남광업 1.77-226 mg/kg, 동양탄광 6.06-43.2 mg/kg, 갑정탄광 0.00-141 mg/kg, 덕음광산 2.81-49.6 mg/kg, 영대광산 1.64-171 mg/kg 의 범위로 나타났다. 비소의 최고농도는 조사한 5개 광산 모두에서 토양환경보전법의 1지역 우려기준(25 mg/kg)을 초과한 것으로 나타났다. 즉 조사한 모든 광산에서 비소오염이 나타났으며, 이들 광산지역에서 광업활동에 의한 주 오염물질로 분석되었다.

Cd 농도는 호남광업 0.02-0.82 mg/kg, 동양탄광 0.07-0.37 mg/kg, 갑정탄광 0.13-4.63 mg/kg, 덕음광산 0.08-174 mg/kg, 영대광산 0.00-7.74 mg/kg의 범위로 나타났다. Cd의 최고농도가 갑정탄광과 덕음광산, 영대광산에서 1지역 우려기준(4 mg/kg)을 초과하여 나타났다.

Cr 농도는 호남광업 0.07-32.1 mg/kg, 동양탄광 10.9-42.5 mg/kg, 갑정탄광 11.2-45.4 mg/kg, 덕음광산 6.87-22.1 mg/kg, 영대광산 1.74-18.3 mg/kg 범위로 나타났고 폐

**Table 1. Averages of inorganic contaminants and PAHs concentrations in soils or sediments from the vicinity of each mine. The minimum and maximum values are parenthesis**

	As	Cd	Cr	Cu (mg/kg)	Ni	Pb	Zn	PAHs (ug/kg)
Honam (n=51)	24.2 (1.77-226)	0.18 (0.02-0.82)	11.2 (0.07-32.1)	21.1 (7.34-90.3)	17.3 (0.27-57.7)	15.4 (4.59-38.5)	48.9 (19.3-238)	31 (0.00-534)
Dongyang (n=42)	15.3 (6.06-43.2)	0.15 (0.07-0.37)	26.5 (10.9-42.5)	24.3 (10.5-222)	13.0 (3.26-39.2)	16.3 (6.61-25.4)	46.2 (25.2-81.5)	105 (0.00-457)
Gapjeong (n=19)	19.0 (0.00-141)	0.76 (0.13-4.63)	20.3 (11.2-45.4)	24.1 (5.63-101)	18.52 (5.40-89.1)	35.5 (11.2-94.4)	119 (21.5-704)	20 (0.00-270)
Dukum (n=41)	8.34 (2.81-49.6)	5.05 (0.08-174)	15.8 (6.87-22.1)	24.6 (7.84-237)	7.20 (1.83-10.9)	71.1 (16.4-434)	443 (25.0-13,024)	3 (0.00-129)
Youngdae (n=39)	17.7 (1.64-171)	1.14 (0.00-7.74)	9.89 (1.74-18.3)	24.13 (1.47-169)	4.61 (0.98-8.92)	95.0 (2.08-1,155)	156 (7.51-777)	57 (0.00-1,569)

금속 광산에 비해 폐석탄 광산에서 비교적 농도가 높게 나타났다.

Cu 농도는 호남광업 7.34-90.3 mg/kg, 동양탄광 10.5-222 mg/kg, 갑정탄광 5.63-101 mg/kg, 덕음광산 7.84-237 mg/kg, 영대광산 1.47-169 mg/kg 범위로 나타났다. Cu의 최고농도가 동양탄광과 덕음광산, 영대광산에서 1지역 우려기준(150 mg/kg)을 초과하여 나타났다.

Ni 농도는 호남광업 0.27-57.7 mg/kg, 동양탄광 3.26-39.2 mg/kg, 갑정탄광 5.40-89.1 mg/kg, 덕음광산 1.83-10.9 mg/kg, 영대광산 0.98-8.92 mg/kg 범위로 나타났고 폐금속 광산에 비해 폐석탄 광산에서 비교적 농도가 높게 나타났다. Ni의 최고농도가 1지역 우려기준(100 mg/kg)을 초과하여 나타난 지역은 없는 것으로 나타났다.

Pb 농도는 호남광업 4.59-38.5 mg/kg, 동양탄광 6.61-25.4 mg/kg, 갑정탄광 11.2-94.4 mg/kg, 덕음광산 16.4-434 mg/kg, 영대광산 2.08-1,155 mg/kg 범위로 나타났고 폐탄광에 비해 폐금속 광산에서 비교적 농도가 높게 나타났다. 폐금속광산인 덕음광산과 영대광산에서 Pb의 최고농도가 1지역 우려기준 (200 mg/kg)를 초과하여 나타났다. 폐석탄광산에서는 상대적으로 농도가 높지 않았으며 우려기준을 초과한 오염물질이 아닌 것으로 분석되었다.

Zn 농도는 호남광업 19.3-238 mg/kg, 동양탄광 25.2-81.5 mg/kg, 갑정탄광 21.5-704 mg/kg, 덕음광산 25.0-13,024 mg/kg, 영대광산 7.51-777 mg/kg 범위로 나타났다. 덕음광산의 경우 정화시설에서 채취한 퇴적물 1개 시료에서 농도 (13,024 mg/kg)가 높게 나왔다. Zn의 최고농도가 갑정탄광과 덕음광산, 영대광산에서 1지역 우려기준 (300 mg/kg)을 초과하여 나타났다.

PAHs 농도는 호남광업 0-534 ug/kg, 동양탄광 0-457 ug/kg, 갑정탄광 0-270 ug/kg, 덕음광산 0-129 ug/kg, 영대광산 0-1,569 ug/kg 범위로 나타났다. 광산 각각의 평균농도는 3-105 ug/kg, 중앙값은 0-37 ug/kg 범위로 나타났다. 영대광산의 갱구 근처에서 채취한 2개 시료를 제외하면 폐금속 광산에 비해 폐석탄 광산에서 비교적 평균농도가 높게 나

타났다. 일부 지역에서는 평균농도가 PAHs 자연농도(10 ug/kg) 보다는 높게 나왔으나, 중앙값은 산업화된 나라의 시골 PAHs 중앙값(187 ug/kg) 보다는 모두 낮게 나타났다 (Nam *et al.*, 2003).

#### As와 다른 성분들 간의 상관관계

As는 조사한 모든 광산에서 광업활동에 의한 주 오염물질로 나타났으므로, As와 다른 성분들 간의 상관관계를 분석하였다. 분석결과 As와 Cd의 상관관계에서는 호남광업, 덕음광산, 영대광산에서 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 덕음광산과 영대광산에서 Cd는 1지역 우려기준을 초과하는 주 오염물질이었으며, 농도별 상관관계에서 As와 강한 상관관계가 있는 것으로 나타나 As와 Cd의 오염원과 오염경로는 유사한 것으로 판단된다. 호남광업 지역의 시료에서는 Cd의 농도가 우려기준을 초과하지는 않았으나 As와는 상관관계가 있는 것으로 나타나 오염원과 오염경로는 As와 유사한 것으로 판단된다. Cr은 조사한 광산들에서 주 오염물질로 나타나지 않았으며, As와의 상관관계가 낮은 것으로 나타났다. Cu는 동양탄광과 덕음광산, 영대광산에서 1지역 우려기준을 초과한 오염물질이었으며, As와의 농도상관관계에서 동양탄광, 갑정탄광, 덕음광산, 영대광산에서 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 즉 이들 광산에서 Cu는 오염원과 오염경로가 As와 유사한 것으로 나타났다. Ni은 조사한 광산들에서 1지역 우려기준을 초과한 시료가 없었으며, 주 오염물질로 나타나지 않았고 As와의 농도 상관관계에서도 낮은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. Pb는 덕음광산과 영대광산에서 최고농도가 1지역 우려기준을 초과한 오염물질로 나타났는데, As와의 상관관계에서 갑정탄광, 덕음광산, 영대광산에서 강한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 즉 이들 광산에서 Pb는 오염원과 오염경로가 As와 유사한 것으로 나타났다. Zn은 갑정탄광과 덕음광산 영대광산에서 시료의 최고농도가 1지역 우려기준을 초과하여 나타났는데, As와의 상관관계에서 덕음광산, 영대광산에서 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 즉 Zn 역시 이들 광산에서 오염원과 오염경로가 As와 유사

한 것으로 나타났다. 1992년부터 국내에서는 폐광산 주변의 토양 및 수질오염에 대한 조사 및 연구를 해왔으며, 비소 및 중금속에 의한 복합오염이 보고되어 왔으며(Choi *et al.*, 2010; Yun *et al.*, 2011; Jang *et al.*, 2011), 본 연구에서도 대부분의 조사 광산에서 중금속 성분에 있어서 복합오염으로 나타났다.

조사한 모든 광산에서 As와 PAHs의 농도 상관관계에서는 상관관계가 낮거나 음의 상관 관계가 있는 것으로 나타났다(Table 2). 조사한 광산들 중에서 PAHs 농도가 비교적 높게 나온 동양탄광에 대한 PAHs 와 As의 거리별 농도를 Fig.1에 나타났다. As의 경우 갱구에서 멀어질수록 농도가 낮아지는 반면에 PAHs는 그 반대의 현상을 보이고 있다. 상관관계에서도 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 즉 이 광산에서 As와 PAHs의 오염원과 오염경로는 같지 않은 것으로 나타났다. 외국의 경우 석탄 입자들이 토양 및 하천 퇴적물의 PAHs 오염원으로 작용하는 것으로 알려져 있으나(Ovrebo *et al.*, 1995; Micic *et al.*, 2007; Pies *et al.*, 2007; Achten and Hofmann, 2009; Bandowe *et al.*, 2010), 국내의 경우 폐석탄 광산주변에서 석탄입자에 의한

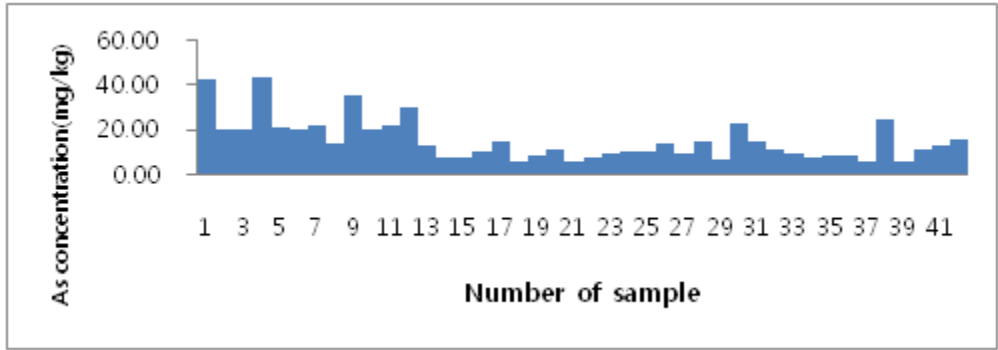
PAHs 오염은 보고된 적이 없으며, 본 연구에서도 탄광주변의 PAHs 오염은 발견되지 않았다. 유연탄에 PAHs의 농도가 무연탄의 농도보다 높은 것으로 보고되어 있는데(Achten and Hofmann, 2009), 본 연구에서 조사한 탄광은 모두 무연탄광이었으며 국내 무연탄의 경우 PAHs의 농도가 매우 낮을 것으로 사료된다.

## 결론

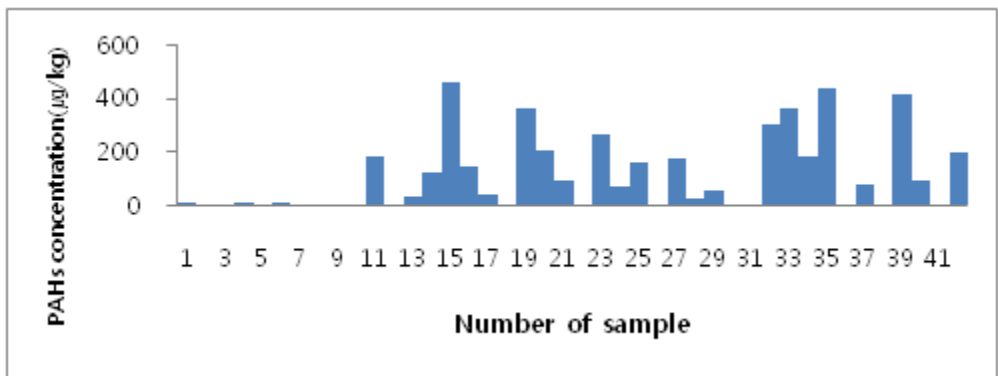
중금속 농도를 분석한 결과 As는 5개 광산 모두에서 Cd는 갑정, 덕음, 영대광산에서 Cu는 동양, 덕음, 영대광산에서 Pb는 덕음, 영대광산에서 Zn는 갑정, 덕음, 영대광산에서 최고농도가 1지역 우려기준을 초과하여 나타났으며, 주 오염물질인 것으로 나타났다. PAHs 농도를 분석한 결과 광산 각각의 평균농도는 3-105  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 중앙값은 0-37  $\mu\text{g}/\text{kg}$  범위로 나타났고 이 값들은 PAHs 자연농도(10  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) 보다는 높게 나왔으나 산업화된 나라의 시골 PAHs 중앙값(187  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) 보다는 낮게 나타났다. 상관관계 분석결과 광산의 주 오염물질인 것으로 나타난 중금속 성분들(Cd, Cu, Pb, Zn)

Table 2. As versus other components correlation for each mine

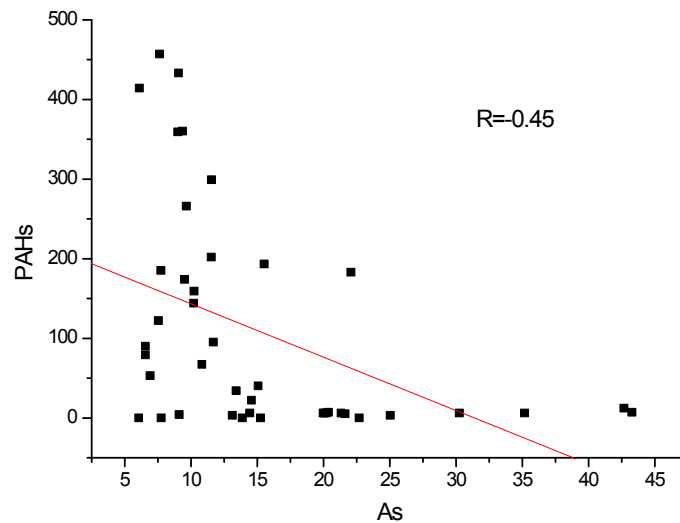
	Abandoned coal mines			Abandoned metal mines	
	Honam	Dongyang	Gapjeong	Dukum	Youngdae
As-Cd Pearson correlation	<b>0.74</b>	0.38	0.27	<b>0.93</b>	<b>0.76</b>
P value	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>	0.26	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>
As-Cr Pearson correlation	0.003	-0.55	-0.02	0.11	0.28
P value	0.98	<b>&lt;0.05</b>	0.92	0.50	0.086
As-Cu Pearson correlation	0.25	0.49	0.57	<b>0.95</b>	<b>0.89</b>
P value	0.07	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>
As-Ni Pearson correlation	0.41	-0.01	0.33	0.23	0.19
P value	<b>&lt;0.05</b>	0.94	0.17	0.15	0.24
As-Pb Pearson correlation	0.12	-0.42	<b>0.87</b>	<b>0.89</b>	<b>0.99</b>
P value	0.38	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>
As-Zn Pearson correlation	0.06	-0.10	0.18	0.53	<b>0.83</b>
P value	0.68	0.51	0.46	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>
As-PAHs Pearson correlation	-0.08	-0.45	-0.12	0.02	0.10
P value	0.59	<b>&lt;0.05</b>	0.60	0.90	0.52



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. As and PAHs concentration in samples collected from Dongyang mine. As the number of sample increases, the distance between sampling point and the mine head increases. (a) As concentration, (b) PAHs concentration, (c) The correlation As vs. PAHs concentration.

은 As와 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 즉 이들은 오염원과 오염경로가 As와 유사한 것으로 광업활동에 의한 오염인 것으로 판단되었다. As와 PAHs의 상관관계를 광산별로 분석한 결과 두 오염물질 간의 상관성은 낮거나 음의 상관관계가 있는 것으로 나타나 두 오염물질의 오염경로가 서로 다

른 것으로 나타났다. 즉, PAHs의 경우 이들 지역에서 농도가 높지 않았으며, 광업활동에 의한 오염은 거의 나타나지 않는 것으로 판단된다.

## Acknowledgment

This study was financially supported by the GAIA project of Korea Environmental Industry & Technology Institute.

## References

- Achten, C., Hofmann, T., 2009. Native polycyclic aromatic hydrocarbons(PAH) in coals - A hardly recognized source of environmental contamination, *Sci. Total Environ.* 407, 2461-2473.
- Chen, Y., Feng, Y., Xiong, S., Liu, D., Wang, G., Sheng, G., Fu, J., 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of Shanghai, China, *Environ. Monit. Assess.* 172, 235-247.
- Cho, K.S., Chang, Y.K., Ryu, H.W., 1996. Chemical Characteristics and Microbial Activity of Streams Contaminated by the Abandoned Coal Mine Drainage, *Korean J. Ecol.* 19, 365-374.
- Choi, K.K., Park, H.S., Oh, D.Y., Kim, K.S., Huh, Y.J., Park, J.H., 2010. Primary Investigation for Evaluation of Abandoned Metal Mine Effect on Yeongsan and Seonjin Watershed, *J. Soil Groundw. Environ.* 15, 81-90.
- Jang, B.K., Park, S.I., Kim, N.S., Jung, K.S., Lee, B.K., Lee, J.W., 2011. Relationship between Heavy Metal Concentrations in the Soil with the Blood and Urine of Residents around Abandoned Metal Mines, *J. Environ. Health Sci.* 37, 348-357.
- Jung, M.H., Kwon, H.H., Kim, T.H., Choi, G.S., Kim, S.L., 2010. Characteristics of Soil Chemical and Microbiological Properties in Abandoned Coal Mine Forest Rehabilitation Areas, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43, 424-429.
- Kim, M.H., Min, E.S., Song, S.H., 1997. Effect of Contamination by the Abandoned Coal Mine Drainage on the Stream Water in Keumsan, *J. Korean For. Soc.* 86, 435-442.
- Kim, M.H., Song, S.H., Min, E.S., Jang, I.S., 1998. Alkali and Metal Element Concentrations in Soil and Plandt from Daesung Coal Mine in Keumsan, *Korean J. Ecol.* 21, 457-466.
- Lee, J.L., Lee, j.Y., Kim, H.J., 2006. A Study on the Fraction and Stabilization of Heavy Metals in the Abandoned Coal Mine of Sediment, *J. Korea Soc. Waste Manage.* 23, 443-453.
- Micic, V., Achten, C., Schwarzbauer, J., Hofmann, T., 2007. Native PAHs in hard coal particles as a possible source of increased PAH concentrations in river sediments, *Geochimica Et Cosmochimica Acta.* 71, A663-A663.
- Min, I.S., Kim, M.H., Song, S.H., 1997. Physio-Chemical Characteristics of Soil, Stream Sediment and Soil Water Contaminated by the Abandoned Coal mine in Keumsan, *J. Korean For. Soc.* 86, 324-333.
- Min, J.G., Park, E.H., Moon, H.S., Kim, J.K., 2005. Chemical Properties and Heavy Metal Content of Forest Soils around Abandoned Coal Mine Lands in the Mungyeong Area, *Korean J. Agric. Forest Meteorol.* 7, 265-274.
- Musa Bandowe, B.A., Shukurov, N., Kersten, M., Wilcke W., 2010. Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) and their oxygen-containing derivatives(OPAHs) in soils from the Angren industrial area, Uzbekistan, *Environ. Pollut.* 158, 2888-2899.
- Nam, J.J., Song, B.H., Eom, K.C., Lee, S.H., Smith, A., 2003. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in South Korea, *Chemosphere* 50, 1281-1289.
- Ovrebo, S., Fjeldstad, P.E., Grzybowska, E., Kure, E.H., Chorazy, M., Haugen, A., 1995. Biological monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbon exposure in a highly polluted area of poland, *Environ. Health Perspect.* 103, 838-843.
- Pies, C., Yang, Y., Hofmann, T., 2007. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in floodplain soils of the Mosel and Saar River, *J. Soils Sediments.* 7, 216-222.
- Park, S.H., Chang, Y.Y., Jeong, J.H., Son, J.H., Park, S.H., 2007. Investigation on the Contamination of the Vicinity of Abandoned Coal Mines Located Near the Obong Dam and Preventive Measures, *J. Environ. Impact Assess.* 16, 143-156.
- Sun, Y.Z., Fan, J.S., Qin, P., Niu, H.Y., 2009. Pollution extents of organic substances from a coal gangue dump of Jiulong Coal Mine, China, *Environ. Geochem. Health* 31, 81-89.
- Yun, S.W., Kang, S.I., Jin, H.G., Jin, H.G., Kim, h.J., Lim, Y.C., Yi, J.M., Yu, C., 2011. An Investigation of Treatment Effects of Limestone and Steel Refining Slag for Stabilization of Arsenic and Heavy Metal in the Farmland Soils nearby Abandoned Metal Mine, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44, 734-744.
- Zuo, Q., Duan, Y.H., Yang, Y., Wang, X.J., Tao, S., 2007. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface soil in Tianjin, *Environ. Pollut.* 147, 303-310.