

ORIGINAL ARTICLE

## 철도레일 부근 토양의 다환방향족 탄화수소 및 중금속 오염도 조사

최현경 · 윤인주 · 신태천<sup>1)</sup> · 김영훈<sup>1)\*</sup>

경상북도 보건환경연구원, <sup>1)</sup>안동대학교 환경공학과

### Investigation of Pollution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heavy Metals in Soil near Railway Rails

Hyun-Kyung Choi, In-Ju Yoon, Tae-Cheon Shin<sup>1)</sup>, Young-Hun Kim<sup>1)\*</sup>

*GyeongSangBukdo Government Public Institute of Health and Environment, Yeongcheon 38874, Korea*

<sup>1)</sup>*Department of Environmental Engineering, Andong National University, Andong 36729, Korea*

#### Abstract

Trains have been a major means of transport in Korea during these past decades. However, train facilities such as stations and repair shops are contaminated with organic and inorganic substances. There is a high probability of train facility contamination with polyaromatic hydrocarbons (PAHs). This study evaluated the PAH and heavy metal contamination of soil near railroads in the Kyungpook area. A total of 18 soil samples were collected from the railroads and analyzed for 16 PAHs and 6 heavy metal species. The contamination level of the top soil was found to be slightly higher than that of the subsoil for contamination with PAHs. The ratio of carcinogenic PAH concentration to the total PAH concentration was relatively high, with a maximum of 0.9. The toxicity equivalent (TEQ) of the PAHs were 500.6 ng/kg in the topsoil and 355.5 ng/kg in the subsoil. The ratio of low molecular PAHs (LPAHs) to high molecular PAHs (HPAHs) ranged from 6.7 to 29.5; this shows that contamination is primarily due to combustion of fuel rather than due to petroleum. The ratio of phenanthrene to anthracene and the ratio of fluoranthene to pyrene also show that contamination occurred due to combustion for transportation. The heavy metal contamination level was lower than the Korean standard, but higher than the background concentration; this indicates that the soil was affected by the operation of the railways.

**Key words** : Organic, Polyaromatic hydrocarbons, TEQ, Soil

#### 1. 서론

토양오염은 수질오염이나 대기오염과 달리 확산과 이송에 의한 희석과 오염제거가 매우 제한적이며 햇볕에 의한 자연정화도 쉽지 않다. 특히 오염물질이 생물학적

또는 화학적으로 분해가 매우 느린 경우, 토양에 잔류하는 기간이 길어 생물체에 농축되어 생태계와 인간에게 좋지 않은 영향을 끼칠 가능성이 높아진다(Lee et al., 2000 ; UNEP, 2003). 또한 토양은 쉽게 재생되는 자원이 아니고 오염이 될 경우 물이나 대기와 달리 오염처리가

Received 8 May, 2018; Revised 6 July, 2018;

Accepted 10 July, 2018

\*Corresponding author: Young-Hun Kim, Department of Environmental Engineering, Andong National University, Andong 36729, Korea  
Phone: +82-54-820-5818  
E-mail: youngkim@andong.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© 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.

복잡하고 높은 비용이 요구된다. 토양오염이 쉽게 발견되는 지역은 거의 모든 산업시설을 포함한다. 특히 공단 지역, 폐광산, 유류저장시설, 철도부지를 포함한 교통시설에서 중금속 및 유류에 의한 오염이 발견되고 있다. 특히 철도시설의 경우 과거 토양오염방지에 대한 의식과 법령이 정비되어 있지 않은 시기부터 오염이 되었으며 오랜 기간 오염이 지속되어 왔다(Kim, 2009).

철도는 과거와 현재 사람과 물류이동을 위한 가장 경제적이고 효율적인 교통수단이다. 특히 과거 도로의 개발이 많지 않았던 때에는 철도교통을 바탕으로 국가 경제가 발전하고, 철도역 부근의 상업이 융성할 정도로 철도는 과거 국가발전에 크게 기여하였다. 공단과 공업시설과 유사하게 철도역사주변은 유류나 중금속으로 오염된 경우가 다수 발견되어 복원이 완료되었거나 추진 중에 있는 경우도 있다. 철도용지의 면적은 1.16억 m<sup>2</sup>로 국토면적의 0.12%를 차지하며, 철도관련 시설 중 토양오염이 발견된 시설은 철도차량기지 및 철도역사 등이 있다. 이들 시설은 철도차량의 유지관리 및 정비를 위해 사용된 시설로 폐기물이 발생하고, 연료용 유류와 유기용제의 사용이 많았던 곳이다. 오염조사에 의하면 이들 지역은 총석유계탄화수소와 중금속으로 오염된 것으로 보고되었다. 철도선로의 경우, 차량의 일상적 운행 외에 다른 오염원인이 없을 것으로 판단되어 광범위한 조사가 수행되지 않았다. 그러나 철도차량의 대부분이 디젤엔진을 감안하면 철도레일부근도 디젤엔진의 운행에 따른 오염이 존재할 가능성이 있다(Jung et al., 2003 ; kim et al., 2007; Shin, 2015). 또한 과거 석탄을 철도는 석탄을 운반하는 주요교통수단이었음을 생각하면 오염가능성이 충분히 있다.

다환방향족 탄화수소는(Polycyclic Aromatic Hydrocabons, PAHs) 방향족 고리가 2개 연결된 나프탈렌부터 2개 이상의 방향족 고리로 연결된 유기화합물질을 총칭한다(WHO, 1987 ; WHO, 1997 ; WHO, 1998). 총 200여 개의 PAHs 중 독성과 발생빈도 등을 고려하여 미국 EPA는 16종에 대한 조사와 관리를 하고 있다(IARC, 1989). 우리나라의 경우 PAHs 의 독성 및 환경적 중요성을 인식하고 있지만, 토양오염에서는 그 독성이 비교적 높은 bezo(a)pyrene만을 관리 대상오염물질로 하여 조사와 관리를 수행하고 있다. bezo(a)pyrene의 우려기준과 대책기준은 각각 1지역 0.7 mg/kg, 2 mg/kg 2지역

2 mg/kg, 6 mg/kg 3지역 7 mg/kg, 21 mg/kg 이다(Ministry of Environment, 2016). PAHs는 다양한 경로를 통하여 환경에 배출되며, 석탄 및 석유류에 포함되어 있는 PAHs가 환경으로 직접 배출되기도 하고 연료의 연소과정에서 배출되기도 한다. 즉 PAHs는 석유류에서 발생한 부분과 연소에 의해 발생한 부분으로 크게 구분 가능하다. 다양한 연소과정에서 배출이 가능하며, 자동차엔진의 불완전연소과정에서도 발생하는 것으로 보고되고 있다. 특히 디젤엔진의 불완전연소배출물에는 PAHs가 다량 포함되어 있는 것으로 연구 보고되고 있다. PAHs는 물에 대한 용해도가 매우 낮아 토양오염에서 우수 등으로 인한 오염의 이동이 쉽지 않으며 토양에 흡착되어 있는 형태로 존재하며 인체에 대해 발암성이 있는 물질로 분류된다. 각각의 PAHs의 독성을 상대적으로 비교하고 총 독성을 고려할 필요가 있으며, 다이옥신에서 2,3,7,8-TCDD를 기준으로 등가독성을 계산하는 것과 유사하게 IARC (1987)에서는 PAHs의 등가 독성을 계산하기 위한 환산계수를 개발하여 발표하였다.

PAHs에 대한 오염조사는 지난 수 십년간 국내외에서 다수의 연구자에 의해 수행되어 왔으며 분석기법 및 전체적 오염경향이 상당히 파악되어 있다. 특히 토양 등 환경매체에 흡착되어 있는 오염물질을 분리 및 분석하기 위한 전처리 방법은 상당히 복잡하고 많은 노동력을 요구하는 작업이나 최근 자동전처리 장치의 개발 및 도입으로 토양시료나 생체시료에 포함된 PAHs의 조사분석 연구가 과거에 비해 용이하게 되었다. Noh et al.(20145)는 ‘국내 토지이용도별 토양 중 다환방향족탄화수소류의 농도 수준 및 분포 특성’에 관하여 연구하였으며, Kang et al.(2010)은 낙동강 하천 퇴적물 등에서 PAHs의 분포에 관하여 연구하였다. Kim et al.(2010)은 태안 기름유출사고 이후 어폐류에 포함된 PAHs의 농도 및 위해성에 대한 조사를 수행하였다. Choi et al.(2012)은 부산도시 지역 토양에서 다환방향족탄화수소류의 분포특성에 대하여 조사하였다. 특히 본연구와 유사성이 있는 철도관련 시설에 대한 조사는 Oa et al.(2009)에 의해 수행되었으며 TPH와 중금속류 몇 종이 환경기준을 초과한 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서는 경상북도지역 주요 철도레일 부근의 토양에 대해 잔류성 유기오염물질의 일종인 PAHs(16종) 및 중금속 농도와 분포특성을 규명하고,



Fig. 1. Soil sampling points.

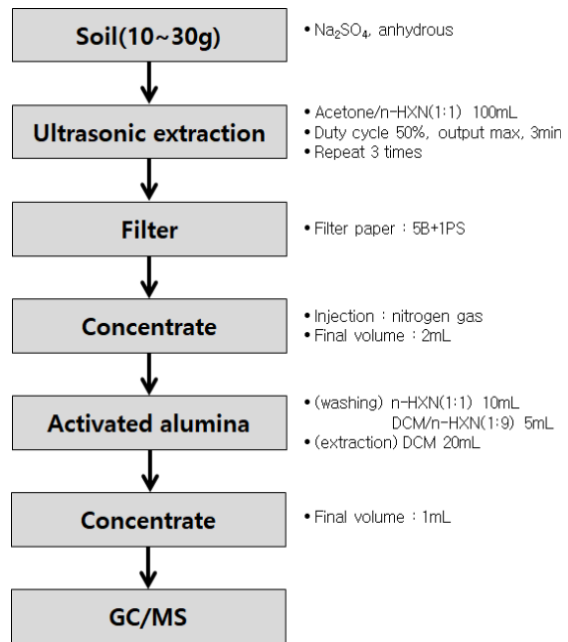


Fig. 2. Analytical procedure for determination of PAHs in soils.

경상북도지역의 철도레일 토양오염도 등을 평가하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 조사지점 선정 및 시료 채취

본 연구에서는 토양 중 PAHs 및 중금속의 오염실태 조사를 위해 경상북도 지역인 영주에서부터 영천까지의 철도역 및 철도레일 부근 17지점(S1~17)을 선정하여 조사하였으며, 대조지점 1지점(C1)을 선정하여 비교 분석하였다. 조사지점의 토양시료는 표토 및 심토를 채취하였으며, 시료채취방법은 Ministry of Environment (2016)에 따랐다.

### 2.2. 중금속 및 PAHs 분석방법

토양 중 중금속 항목(Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, As, Hg)은 왕수 추출 후 ICP(PerkinElmer 8300) 또는 AAs (Agilent 240AA) 분석을 통하여 오염도를 평가하였다. 채취된 토양시료를 직사광선이 닿지 않는 장소에서 풍건시켰다. 건조된 시료는 100 mesh 표준체(눈금간격 0.15

mm)로 체거름하여 시료를 제조하였다. 시료 2 g을 취하여 반응용기에 넣고 염산 14 mL, 질산 4.7 mL를 주입하였다. 흡수용기에 0.5 M 질산 7 mL를 붓고 반응용기에 연결시킨 후, 상온에서 2 시간 이상 정치시켜 토양내의 유기물이 천천히 산화되도록 하였다. 정치 후 반응혼합물의 온도를 서서히 올려 환류조건(130℃)에 도달하도록 하고 2시간 동안 그 상태를 유지시켰다. 분해가 끝나면 반응용기를 냉각시킨 후, 흡수용기내의 내용물을 반응용기에 첨가하고 0.5 M 질산을 반응용기에 주입하였다. Whatman No. 40 여과지로 100 mL 부피플라스크에 여과 후 0.5 M 질산으로 표선까지 채운 후, 분석용 시료로 하였다. 분석을 위해 ICP 및 AAs를 충분히 워밍업시킨 후 분석하였다.

16종류의 PAHs 화합물은 초음파 추출, 알루미나 정제 및 GC/MS 측정 순으로 분석되었으며, 토양시료 추출 전 시료 내 존재하는 수분을 제거하기 위하여 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>를 첨가하였고, Acetone과 n-Hexane 혼합용매(1:1) 100 mL를 주입한 후, 초음파추출기로 3분간 추출하였으며, 총 3회 이상 반복 추출하였다.(최대출력, Duty cycle

**Table 1.** Analytical condition of GC/MS for PAHs

Items	Conditions
Instrument	GC : agilent 7890 MS : agilent 5975
Separation column	agilent DB-5MS (30m×0.25mm×0.25 $\mu$ m)
Oven temperature	80 $^{\circ}$ C(2min) $\rightarrow$ 10 $^{\circ}$ C min $\rightarrow$ 310 $^{\circ}$ C(4min)
Splitless injection	1 $\mu$ L
Ionization	EI 70ev

50%). 5B+1PS여지로 여과하여 추출액은 질소가스를 불어넣어 최종 액량을 2 mL가 되도록 농축하였다. 알루미늄 정제에서는 농축된 시료를 컬럼 기벽에 묻지 않게 주입한 후 n-Hexane 10 mL와 10% Dichloromethane 함유된 n-Hexane 5 mL를 연속적으로 매초 1방울 속도로 유출시켰으며, 이어서 Dichloromethane 20 mL를 매초 1방울 속도로 유출시켰다. 유출액은 농축기로 약 1 mL로 농축하여 분석용 시료로 하였다(Fig. 2). 분석을 위해 GC/MS를 이용하여 PAHs 분석방법은 분석대상화합물의 질량스펙트럼에서 검출되는 이온 중 정량이온과 확인이온을 선정, 모니터링하여 정량·정성하는 방법으

로 본 실험에서는 TIC (Total Ion Chromatography) 정성분석 후 SIM (Single Ion Monitoring) mode로 정량 분석하였다(Table 1).

### 3. 결과 및 결론

#### 3.1. 지점별 오염도

##### 3.1.1 전체 오염도

철도레일 부근 토양 및 간이역 부근의 토양에서 검출된 PAHs의 농도는 아래 Fig. 3과 Fig. 4, Table 2와 같다. 일반적으로 분자량이 작은 즉, 고리의 수가 작은

**Table 2.** Concentration of PAHs in the soil around Kyungbuk area, (ng/kg)

PAHs	Mean	Median	Max	Mini	% above 100 ppb	$\Sigma$ of each PAHs
Naphthalene(NaP)	2.4	ND	10.8	ND	ND	87
Acenaphthylene(Acy)	0.8	ND	13.3	ND	ND	30
Acenaphthene(Ace)	ND	ND	0.0	ND	ND	ND
Fluorene(Fl)	ND	ND	0.0	ND	ND	ND
Phenanthrene(Phe)	10.2	5.9	67.2	ND	ND	367
Anthracene(Ant)	3.9	0.0	62.0	ND	ND	138
Fluoranthene(Flu)	27.4	12.2	207.8	1.6	5.6	985
Pyrene(Pyr)	24.8	10.6	201.5	1.7	5.6	893
Benz(a)anthracene(BaA)	17.3	6.9	157.2	ND	2.8	621
Chrysene(Chr)	19.5	7.2	156.4	ND	5.6	700
Benzo(b)fluoranthene(BbF)	61.1	24.9	400.7	ND	11.1	2200
Benzo(k)fluoranthene(BkF)	25.9	15.4	131.6	ND	2.8	930
Benzo(a)pyrene(BP)	31.8	10.2	267.1	ND	11.1	1145
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene(InP)	41.7	4.7	472.9	ND	8.3	1501
Dibenz(a,h)anthracene(DahA)	4.9	3.9	28.0	ND	ND	177
Benzo(g,h,i)perylene(BghiP)	20.6	7.4	183.4	ND	5.6	741

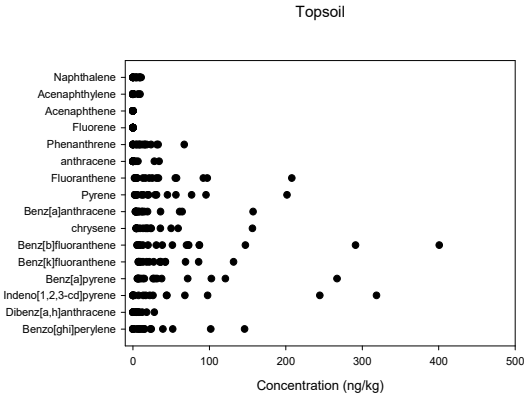


Fig. 3. Concentration distribution of PAHs in the topsoil of railroad around Kyungbuk area.

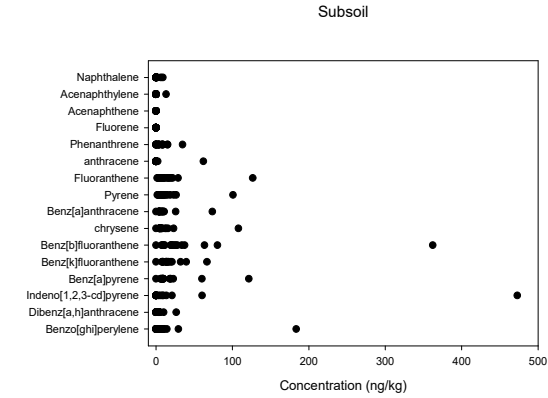


Fig. 4. Concentration distribution of PAHs in the subsoil of railroad around Kyungbuk area.

PAHs의 농도가 낮고 분자량이 큰 PAHs의 농도가 상대적으로 높게 나타났다. 대부분의 PAHs농도는 100 ppb 이하이며 100 ppb를 초과하는 PAHs는 항목구분없이 3.7%이다. 이들의 최고 농도는 불검출 ~ 400.7 ng/kg이며 중간값은 불검출 ~ 24.9 ng/kg이다. 철도레일과 간이역사 부근의 토양 가운데 복토 등에 의한 간섭이 가장 적어 보이는 곳의 시료를 채취하였으나, 시료채취지역의 역사를 정확히 알지 못하며, 이는 수십 년간 노출된 지역의 경우 대기로부터 PAHs를 포함한 분진 등이 침착하였을 가능성이 크다. 복토 등에 의해 새로운 토양이 노출된 경우 상대적으로 오염도가 낮을 것으로 추측된다. 특히 과거에 철도교통량이 많았을 경우가 최근의 적은 통행량에 비해 오염기여도가 높을 것으로 판단된다.

3.1.2. 표토와 심토 비교

표토의 오염도와 심토의 오염도는 Fig.3와 Fig.4를 비교하여 평가할 수 있다. 일반적으로 표토가 심토에 비해 오염도가 높았으며, 이는 오염물질이 지중에서 발생한 것이 아니라 지상 또는 대기에서 기원된 것임을 알 수 있다. 그러나 각 시료의 표토와 심토 오염도를 살펴보면 표토가 오염된 경우, 심토 또한 오염되어 있으므로 오염이 표토에만 국한 하지 않고 토양 하부로 이동했음을 알 수 있다. 이는 PAHs가 물에 대한 용해도가 높지 않고 이동성이 크지 않다는 것을 고려할 때 오랜 기간에 걸쳐 오염이 축적 및 이동된 것으로 판단할 수 있는 근거가 된다.

3.2. 발암성 PAHs

각 PAH 가운데 발암독성이 있는 것으로 알려진 발암성 PAHs 7종(BaA, Chr, BbF, BkF, BP, InP, DahA)의 농도 합인  $\Sigma$ carcPAHs의 값은 최댓값, 최솟값, 산술평균, 중앙값은 각각 1413.9 ng/kg, 불검출, 202.2 ng/kg, 67.6 ng/kg이다. 발암성 PAHs의 총농도와 총PAHs 농도의 비인  $\Sigma$ carcPAHs/ $\Sigma$ t-PAHs는 각 지점별로 다양하며 평균값은 0.70, 최댓값은 0.85로 비교적 높은 값을 보이고 있다.

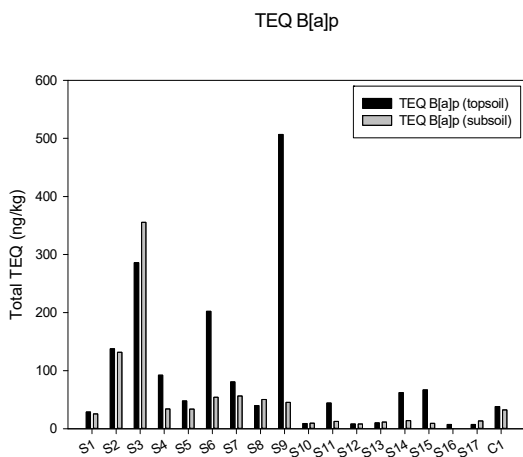
3.3. Toxicity equivalent (TEQ)

각각의 PAH는 상대적으로 상이한 독성값을 갖고 있으므로 각 PAH농도의 합으로 오염도를 평가하는 것은 위해도 측면에서 볼 때 합리적이지 않다. 그러므로 많은 연구자들은 이들 PAHs의 등가 독성을 나타내기 위해 노력했으며 미국 환경보호청을 포함한 다수의 기관에서 등가 독성으로 표시하기 위한 각 물질별 등가계수를 연구하여 발표하였다(Nisbet et al. 1992 ; EPA. 1993; Larsen et al. 1998 ). Table 3은 각 연구기관에서 발표한 등가계수를 정리한 것이다. 본 연구에서는 Nisbet and LaGoy(1992)의 등가계수를 이용하여 각 지점별 그리고 표토와 심토를 구분하여 등가독성(TEQ)를 계산하였다(Fig. 5). TEQ는 각 지점별로 매우 큰 편차를 보이고 있으며, 이는 지점별 오염도가 크게 차이가 나며 철도레일 부근에서 채취하였으나, 토양의 교란 등에 대한 정보가 없어 오염에 노출된 기간, 경사, 식생 등의 다양한 요인에

**Table 3.** Toxicity Equivalent Factors (TEFs) of PAHs

Compound	Toxic Equivalency Factor (TEF)		
	Nisbet and LaGoy, 1992	Larsen and Laresn, 1998	USEPA, 1993
NaP	0.001		
Acy	0.001		
Ace	0.001		
Fl	0.001		
Phe	0.001	0.0005	
Ant	0.01	0.0005	
Flu	0.001	0.05	
Pyr	0.001	0.001	
BaA	0.1	0.005	0.1
Chr	0.01	0.03	0.001
BbF	0.1	0.1	0.1
BkF	0.1	0.05	0.01
BP	1	1	1
InP	0.1	0.1	0.1
DahA	5	1.1	1
BghiP	0.01	0.02	

의해 오염도가 다르게 나타날 수 있다. 표토의 경우 S9 지점이 500.6 ng/kg로 최고이며 심토의 경우 S3 지점에서 355.5 ng/kg로 최대로 나타났다. 표토와 심토의 비교에서는 유사하거나 표토의 TEQ가 높은 것으로 나타났다. 이는 앞서 총 PAH농도 비교에서와 동일한 경향이다.



**Fig. 5.** Total TEQ of each soil sample.

**3.4. LPAHs vs. HPAHs**

PAH의 기원은 크게 석유계 즉 유류기원과 연소의 생성물로 만들어진 연소기원으로 구분할 수 있다. 석유계 기원은 비교적 분자량이 작으며, 고리가 2-3개로 이루어진 PAH가 주를 이룬다. 연소기원의 경우 상대적으로 분자량이 크고 4개 이상의 고리로 이루어져있다(Helfrish et al. 1986 ; Badawy et al. 1993). 본 연구에서는 선행 연구와 유사하게 고리 2-3개로 이루어진 PAH 농도의 합인 Low Molecular PAHs (LPAHs)와 4개 이상의 고리로 이루어진 PAH 농도의 합인 High Molecular PAHs (HPAHs)의 비를 구하여 비교하였다. Table 4에 보는 바와 같이 각 지점별  $\Sigma 6$  LPAHs :  $\Sigma 10$  HPAHs은 최소 6.7이며 최대 29.5이고 평균 12.7로 HPAHs의 비가 상대적으로 매우 높다. 이는 철도레일과 간이역 부근 토양이 석유계 오염원에 의한 오염보다는 연소에 의한 오염 기원의 기여율이 상대적으로 매우 높다는 것을 보여준다. 이러한 경향은 국내의 토지이용도별 PAH 오염도 조사에서도 유사하게 나타났다(Noh et al. 2014). 본진의 경우 디젤, 석유, 석탄, 연소 등의 기원에 대한 추적조사가

**Table 4.** The ratio of Phe/Ant, Flu/Pyr, and  $\Sigma 6$  LPAHs/ $\Sigma 10$  HPAHs for the soil samples

Sites	Phe/Ant	Flu/Pyr	$\Sigma 6$ LPAHs	$\Sigma 10$ HPAHs	$\Sigma 6 L : \Sigma 10 H$
S1	-*	1.06	11.61	100.8	1 : 8.69
S2	26.99	0.93	49.00	877.1	1 : 17.90
S3	0.69	1.14	197.27	2866.8	1 : 14.53
S4	5.31	1.03	27.43	419.3	1 : 15.29
S5	-*	1.17	14.18	246.0	1 : 17.36
S6	12.74	1.21	55.66	943.5	1 : 16.95
S7	539.43	1.26	34.71	515.1	1 : 14.84
S8	-*	1.14	39.39	263.9	1 : 6.70
S9	2.70	1.03	114.34	2108.5	1 : 18.44
S10	-*	1.07	-*	84.4	-*
S11	3.51	1.19	29.69	353.3	1 : 11.90
S12	-*	0.99	-*	70.2	-*
S13	-*	1.07	-*	92.6	-*
S14	-*	1.23	21.42	393.0	1 : 18.35
S15	-*	1.10	8.71	257.0	1 : 29.50
S16	-*	0.94	0.00	33.0	-*
S17	-*	1.10	3.82	112.6	1 : 29.49
C1	-*	0.98	16.89	160.6	1 : 9.52

가능하지만(Debajyoti et al. 2017) 토양의 경우 오염이 토양에 흡착되어 있어 보다 자세한 기원을 파악하는데 한계가 있다. 철도레일부근의 경우 연소에 의한 기원 뿐만 아니라 과거 석탄을 운송함에 의한 기여율이 있었을 가능성을 배제할 수 없다.

오염기원에 관한 연구는 존재하는 PAH의 열역학적 안정성에 의해서도 판단이 가능하다(Hassan et al. 2006). 3개의 고리를 가진 PAH 가운데 phenanthrene이 anthracene에 비해 열역학적으로 안정하며 4개의 고리를 가진 PAH 중에서는 pyrene이 fluoranthene에 비해 열역학적으로 안정하다. 석유계물질의 생성은 열역학적으로 안정한 물질이 선호되고 연소는 고온에서 생성되므로 상대적으로 열역학적 안정성이 선호되지 않는다. 그러므로 Phe/Ant의 비와 Flu/Pyr의 비로 PAH의 기원에 대한 추적이 가능하며 해외의 연구자들에 의하면 Phe/Ant의 비가 10을 초과하거나 Flu/Pyr의 비가 1보다 작은 경우 석유계 기원보다 연소에 의한 기원으로 간주한다. 본 연구에서 계산한 Phe/Ant의 비와 Flu/Pyr의 비가 Table 4에 요약되어 있다. Phe/Ant의 비는 0.69-539

사이로 큰 편차가 있으며 Flu/Pyr의 경우 대부분 1부근으로 편차가 크지 않다 Fig. 6과 7은 각 시료채취 지점별 고리숫자별 오염도를 표시한 것이다. 표토의 경우 전체적 오염도가 낮은 S1, S10, S12, S13, S16, S17의 경우 고리 숫자별 오염도 차이가 크지 않으나, 총 오염도가 비교적 높은 S2, S3, S6, S9의 경우 2개의 고리 PAH 오염도는 매우 낮은 반면에 3-5의 고리를 가진 PAH의 오염 기여도가 상대적으로 높다. 심토의 경우 앞서 설명한 바와 같이 표토에 비해 총오염도는 낮으나 고리 개수별 오염도는 고리수 3-5개의 PAH에 의한 오염도가 높은 것으로 나타났다.

### 3.5. 중금속 오염도

중금속은 선행 국내 철도관련 시설의 토양오염도 조사에서 비교적 오염도가 높은 것으로 발표되어 철도레일 부근토양에 대한 본 조사에서도 중금속 오염도를 측정하였다. 수은, 비소, 니켈, 아연, 구리, 카드뮴, 납 등 총 7종의 대표적 중금속에 대한 오염조사가 이루어 졌으며, 종합적 오염도는 토양환경기준을 초과하지 않아 오염도가 높지 않은 것으로 나타났다. 중금속간 비율로 보아 열차

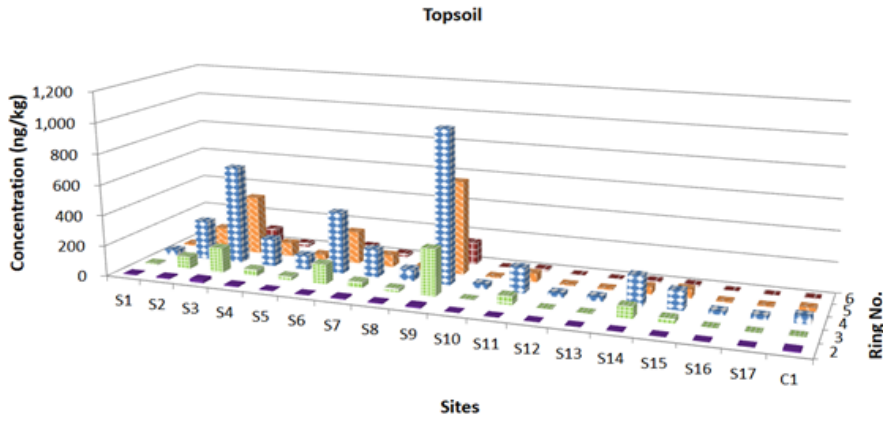


Fig. 6. Number of ring for the each topsoil samples.

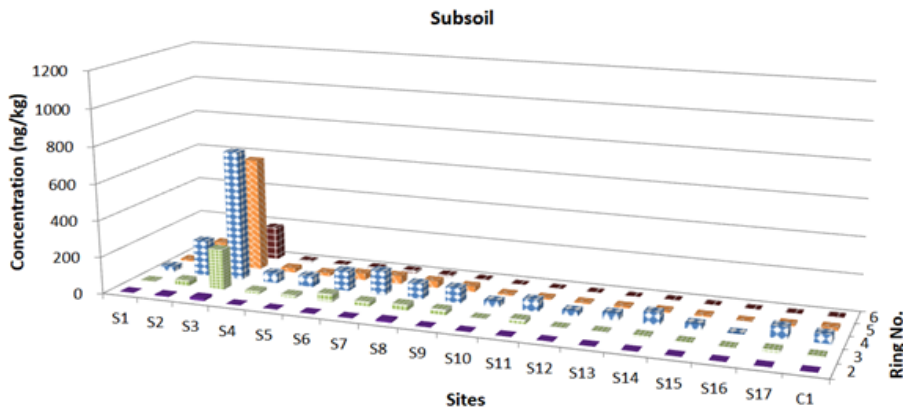


Fig. 7. Number of ring for the each subsoil samples.

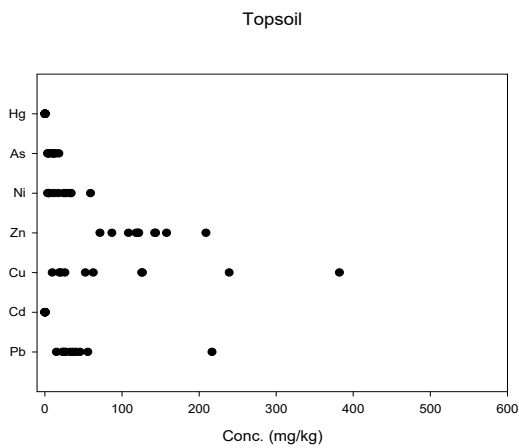


Fig. 8. Concentration distribution of heavy metals in the topsoil of railroad around Kyungbuk area.

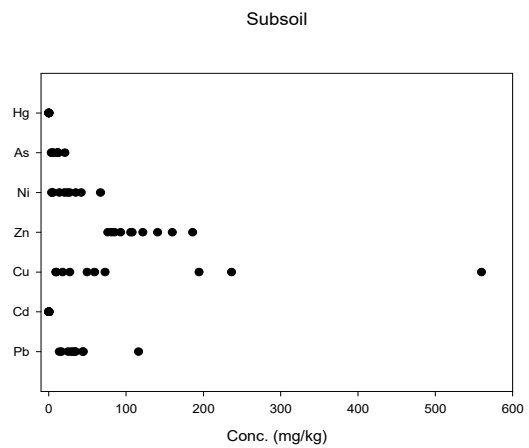


Fig. 9. Concentration distribution of heavy metals in the subsoil of railroad around Kyungbuk area.



운행 등에 의한 외부적 오염이 다소 기여한 것으로 판단된다. 심토의 경우에도 표토와 매우 유사한 오염도 경향을 보여주어 토양상부로부터 오염의 영향을 받은 것으로 판단된다.

4. 결 론

경북지역의 철도레일부근토양과 간이역부근의 토양의 PAH의 오염도와 중금속 오염도를 조사하였으며 총 오염도, 오염기원, 발암성 PAHs의 농도 등에 대한 고찰이 이루어져 다음과 같은 요약된 결론을 얻게 되었다.

1. 미국-EPA에서 관리하는 16개의 PAH항목의 총 농도는 불검출-472.9 ng/kg이며 benzo(a)pyrene의 경우 국내 환경기준을 초과한 지점은 없었다.
2. 오염기원에 대한 분석결과 고리가 2-3개인 PAHs 보다 4-6개의 PAHs가 상대적으로 매우 높은 비율을 차지하여 대부분의 오염은 석유계에 의한 오염이라기보다 연소에 의한 기원이 크다. 이는 철도차량의 운행 등에 의한 연소생성물이 토양에 흡착되어 있는 것으로 판단된다. 표토와 심토에 대해 비교한 결과 표토의 오염도가 다소 높으며 PAHs의 종별 특성은 표토와 심토가 유사하여 동일 오염원임을 알 수 있다.
3. 발암성이 있는 7종의 PAHs의 최대 농도는 1414 ng/kg으로 나타났으며 국내 기준을 초과한 시료는 없었으며,  $\sum$ carcPAHs/ $\sum$ t-PAHs비에서는 최댓값이 0.9로 비교적 높은 값을 나타내고 있다. 이는 토양 중에 발암성이 있는 PAHs 분포가 높다는 것을 알 수 있다.
4. benzo(a)pyrene을 기준으로 한 등가 독성을 평가한 결과 시료채취 지점별 편차가 매우 크며 이는 토양의 노출시간 등 다양한 인자에 의한 것으로 추측된다.
5. 철도시설에 대한 기존의 연구결과에서 중금속에 의한 오염이 발표되었으나 철도레일부근의 토양은 중금속 오염도가 국내환경기준을 만족할 정도로 낮고 상대적 오염도에서 구리와 아연의 농도가 높게 나타났다.
6. 철도역사 뿐 만 아니라 철도레일부근도 오염될 가능성이 높으므로 철도운행 시 화물의 유실 등에 대한 대책이 필요하며 오염된 부지에 대한 추가적인 조사와 복원방안 마련이 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2016학년도 안동대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

Badawy, M. I., Al-Mujainy, I. S., Hernnadez, M. D., 1993, Petroleum derived hydrocarbons in water, sediment and biota from the Mina-Al-Fahal Coastal waters. *Mar Pollut Bull.*

Choi, Y. J., Yoo, E. H., Kim, M. H., 2012, Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) distribution in Busan Soils, *The Annual Report of Busan Metropolitan city Institute of Health & Environment*, 22(1), 216-234.

Debajyoti, R., Abhijit, C., 2017, Polycyclic aromatic hydrocarbons over a tropical urban and a high altitudeHimalayan Station in India: Temporal variation and source apportionment, *Atmospheric Research*, 197, 331-341.

Hassan, A., Moustafa, Y. M., Agrama, A., 2006, Environmental Studying of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the South Area of Manzala Lake Water, 2nd International Conference for Environmental Science and Technology, National water research center Egypt.

Helffrish, J., Armstrong, D. E., 1986. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of southern basin of Lake Michigan, *J Great Lake Res.*

IARC, 1987, verall evaluation of carcinogenicity: an updating of IARC monographs, 1-42.

IARC, 1989, IARC Monographs on the Evauatioin of Caecinogenic Risks to Humans. Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes, *Monographs*, 56, 41-57.

Jung, W. S., Park, D. S., Yang, J. W., 2003, A Basic study on the remediation of railroad oil-contamination soil, *Korean Society for Railway*, 484-490.

Kang, H. H., Lee, I. S., Huh, I. A., Shin, W. S., Hwang, I. S., Kim, Y. H., Hur, J., Shin, H. S., Kim, J. H., Oh, J. E., 2010, Assessment of Distribution Patterns and Sources for PAHs, OCPs, and Co-PCBs in the Surface Sediments from the Nakdong River Basin, Korea, *Korean Society of Environmental Engineers*, 32(7),

- 656-664.
- Kim, H. M., 2009, Experimental Study on the Treatment of Combined Pollution of Oil and Heavy Metals in Railway Site, *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 307-308.
- Kim, P. H., Kim, M. J., Jo, M. R., Lee, D. S., Song, K. C., Byun, H. S., Cho, K. C., Park, K. J., Jun, J. C., Yoon, H. D., 2010, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Hazard Assessment of Shellfish due to Oil Spill Accidents, *Korean journal of fisheries and aquatic sciences*, 43(3), 211-216.
- Kim, T. S., Park, J. G., Yoon, K. J., Eom, I. C., Chung, I. R., Sihm, S. K., Park, J. S., Lee, K. Y., An, Y. J., 2007, Establishment of the Soil Quality Standards for Organic Pollutants(II), *National Institute of Environmental Research*.
- Larsen, J. C., Larsen, P. B., 1998, Chemical carcinogens. In: Hester, R. E., Harrison, R. M.(Eds.), *Air Pollution and Health*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 33-56.
- Lee, D. S., Shin, Y. S., Jo, G. T., 2000, Responding to international joint regulation of persistent organic pollutants, *News & Information for Chemical Engineers*, 18(5), 543-550.
- Ministry of Environment, 2016, *Soil Environmental Conservation Act*.
- Ministry of Environment, 2016, *Soil official testing method in Korea*.
- Nisbet, I. C. T., LaGoy, P. K., 1992, Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclicaromatic hydrocarbons (PAHs), *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 16, 290-300.
- Noh, H. J., Yoon, J. K., Yun, D. G., Yu, S. J., Kim, T. S., Lee, J. Y., 2014, The Influence of Land Use on the Concentration Levels and Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Korea, *J. Soil Groundw. Environ*, 19(6), 59-71.
- Oa, S. W., Lee, T. G., 2009, Investigation of Soil Pollution Status for Railroad Depot, *Journal of the Korean Society for Reilway*, 12(5), 788-792.
- Shin, K. H., 2015, Case study on environmental impact assessment of soil in road and railway projects, *Korea Environment Institute*.
- UNEP, 2003, *Stockholm Convention for the International Regulation of Persistent Organic Pollutants*, United Nations Environment Programme.
- United States Environmental Protection Agency, US EPA, 1993, *Provisional Guidance for Quantitative Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*, EPA/600/R- 93/089.
- WHO, 1987, polynuclear aromatic hydrocabons, In: *Air quality guidelines for Europe*, Copenhagen, World Health Organization Rerional Office for Europe, 105-117.
- WHO, 1997, on-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons, Geneva, *International program on chemical safety*.
- WHO, 1998, elected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons, Geneva, *World Health Organization (Environmental Health Criteria No. 202)*.