

대구 안심연료단지 환경오염물질 노출 평가(Ⅱ) - TSP, PM₁₀, PM_{2.5} 및 중금속 농도분포 및 노출특성 -

정종현¹ · 피영규 · 이준정 · 오인보¹ · 손병현² ·
이형돈³ · 윤미라⁴ · 김근배⁴ · 유승도⁴ · 민영선⁵ · 이관⁵ · 임현술⁵

대구한의대학교 보건학부, ¹울산의대 환경보건센터, ²한서대학교 환경공학과,
³수도권매립지관리공사 자원순환기술연구소 연구개발처, ⁴국립환경과학원, ⁵동국의대 예방의학교실

Exposure Assessments of Environmental Contaminants in Ansim Briquette Fuel Complex, Daegu(Ⅱ) - Concentration distribution and exposure characteristics of TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and heavy metals -

Jong-Hyeon Jung¹ · Young-Gyu Phee · Jun-Jung Lee · In-Bo Oh¹ ·
Byung-Hyun Shon² · Hyung-Don Lee³ · Mi-Ra Yoon⁴ · Geun-Bae Kim⁴ ·
Seung-do Yu⁴ · Young-Sun Min⁵ · Kwan Lee⁵ · Hyun-Sul Lim⁵

Faculty of Health Science, Daegu Haany University

¹*Environmental Health Center, Ulsan University College of Medicine*

²*Dept of Environmental Engineering, Hanseo University*

³*Resource Recirculation Technology Research Center, R&D Division, Sudokwon Landfill Site Management Corporation*

⁴*National Institute of Environmental Research*

⁵*Department of Preventive Medicine, Dongguk University College of Medicine*

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study is to assess airborne particulate matter pollution and its effect on health of residents living near Ansim Briquette Fuel Complex and its vicinities. Also, this study measured and analyzed the concentration of TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and heavy metals which influences on the environmental and respiratory disease in Ansim Briquette Fuel Complex, Daegu, Korea.

Methods: In this study, we analyzed various environmental pollutants such as particulate matter and heavy metals from Ansim Briquette Fuel Complex that adversely affected local residents's health. In particular, we verified the concentration distribution and characteristics of exposure for TSP, PM₁₀, and PM_{2.5} among particulate matters, and heavy metals(Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Fe, Zn, and Mg). In that regard, the official test method on air pollution in Korea for analysis of particulate matter and heavy metal in atmosphere were conducted. The large capacity air sampling method by the official test method on air pollution in Korea were applied for sampling of heavy metals in atmosphere. In addition, we evaluated the concentration of seasonal environmental

*Corresponding author: Jong Hyeon Jung, Tel: 053-819-1418, Fax: 053-819-1412, E-mail: airgas@dhu.ac.kr
Faculty of Health Science, Daegu Haany University. 1 Hannydae-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 712-715
Received: September 10, 2015, Revised: September 16, 2015, Accepted: September 25, 2015

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.

pollutants for each point of residence in Ansim Briquette Fuel Complex and surrounding area. The sampling measured periods for air pollutants were from August 11, 2013 to February 21, 2014. Furthermore, we measured and analyzed the seasonal concentrations(summer, autumn and winter).

Results: The average concentration for TSP, PM₁₀, and PM_{2.5} by direct influence area at Ansim Briquette Fuel Complex were 1.7, 1.4 and 1.9 times higher than reference region. In analysis results of seasonal concentrations for particulate matter in four direct influence and reference area, concentration levels for winter were generally somewhat higher than concentrations for summer and autumn. The average concentrations for Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Fe, and Zn in direct influence area at Ansim Briquette Fuel Complex were 0.0008±0.0004 μg/S m³, 0.0141±0.0163 μg/S m³, 0.0248±0.0059 μg/S m³, 0.0026±0.0011 μg/S m³, 0.0272±0.0084 μg/S m³, 0.4855±0.1862 μg/S m³, and 0.3068±0.0631 μg/S m³, respectively. In particularly, the average concentrations for Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Fe, and Zn in direct influence area at Ansim Briquette Fuel Complex were 1.9, 3.6, 2.1, 1.9, 1.4, 2.6, and 1.2 times higher than reference area, respectively. The continuous monitoring and management were required for some heavy metals such as Cr and Ni. Moreover, the average concentration in winter for particulate matter in direct influence area at Ansim Briquette Fuel Complex were generally higher than concentrations in summer and autumn. Also, average concentrations for TSP, PM₁₀, and PM_{2.5} were from 1.5 to 2.0 times, 1.2 to 1.8 times, and 1.1 to 2.3 times higher than reference area, respectively. In results for seasonal atmospheric environment, TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and heavy metal concentrations in direct influence area were higher than reference area. Especially, the concentrations in C station were a high level in comparison with other area.

Conclusions: In the results, some particulate matters and heavy metals were relatively high concentration, in order to understand the environmental pollution level and health effect in surrounding area at Ansim Briquette Fuel Complex. The concentration of some heavy metals emitted from direct influence area at Ansim Briquette Fuel Complex were relatively higher than reference area. In particular, average concentration for heavy metals in this study were higher than average concentrations in air quality monitoring station for heavy metal for 7 years in Deagu metropolitan region. Especially, the residents near Ansim Briquette Fuel Complex may be exposed to the pollutants(TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and heavy metals, etc) emitted from the factories in Ansim Briquette Fuel Complex.

Key words: briquette fuel complex, exposure assessment, heavy metal, PM₁₀, PM_{2.5}, TSP

I. 서 론

대구 안심연료단지는 1971년 10월 동구 울암동 일대 98,485 m² 부지면적에 조성되었다. 대구지역에서는 유일하게 연탄을 생산하였으며, 수십 년 동안 대상지역의 에너지 활용분야에서 높은 비중을 담당하여 왔다. 과거 대부분의 연탄공장은 철로와 인접한 대도시 주거지역 내에 위치하고 있었으며, 많은 수의 저탄장이 노천에 설치되어 있었다. 이로 인하여 대상지역에서는 바람에 의한 무연탄 및 석탄입자의 확산이 손쉽게 일어났으며, 이러한 조건에서 오랜 기간 동안 연탄 생산 및 조업이 진행되어 왔다. 이러한 문제점으로 인하여 안심연료단지 지역주민들은 1971년부터 현재까지 40여 년 동안 무연탄을 취급(저장, 운반, 연탄제조 등)하는 과정에서 발생한 비산먼지, 침적먼지, 무연탄 및 석탄입자 등과 같은 입자상물질에 의하여 건강상에 악영향을 받아 왔다. 특히 건강한 성인뿐만 아니라 환경오염물질의 노출에 취약한 노약자 및 폐질환자의 경우 무연탄 및 석탄입자 등과 같은 입자상물질에 의해 지속적으로 노출되어 다양한 형태의 호흡기계 질환 및 환경성 질환이 발생하였을 것으로 추정된다(Jeon et al., 1996; Jung et al.,

1996; Cho et al., 1997; Jung et al., 1997; Jung, 2008; NIER, 2010; Jung, 2012; Kang et al., 2012; Jung, 2014; NIER, 2014; Jung et al., 2015).

대기오염물질 배출원이 설치 및 운영되고 있는 각종 공단지역 및 산업시설에서는 미세먼지 함께 다양한 형태의 금속물질이 대기 중으로 배출되고 있다. 특히 기존의 산업공정에 설치되어 가동 중인 대기오염물질 저감장치를 통과한 이후에도 100% 제거되지 않은 미세한 형태의 환경오염물질이 대기 중으로 배출되고 있다(Jung et al., 1996; Jung et al., 1997; Jung, 2008; NIER, 2010; Jung, 2012). 전술한 바와 같이 각종 공단지역 및 산업시설에서 가동 중인 환경오염물질 저감장치를 통과한 이후에도 완전하게 제거되지 않은 나노입자, 10 μm 및 1 μm 이하의 미세한 입자상물질이 대기 중에 부유하고 있다. 환경오염물질 중 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs), 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}), 중금속, 휘발성 유기화합물질(Volatile Organic Compounds, VOCs), 폴리염화비페닐류(Polychlorinated Biphenyls) 등과 같은 유해성대기오염물질(Hazardous Air Pollutants, HAPs)은 인체에 악영향을 미치며, 국지적인 대기환경의 질을 악화시키고 있다(Choi et al., 2006; Jung

2008; NIER, 2010; Jung, 2012; Jung et al., 2012; NIER, 2014).

대기 중 입자상물질에는 여러 가지 화학종이 혼재하고 있다. 화학성분의 집합체로서 여러 종류의 환경오염물질 및 황사와 입자에 포함된 다환방향족탄화수소(PAHs), 중금속(Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Ti, Tl, V, Zn), 기타 유해성대기오염물질(HAPs) 및 각종 양·음이온(Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- 등)이 흡착 또는 혼재되어 지역주민들의 건강에 악영향을 미칠 뿐만 아니라 각종 대기오염 문제를 지속적으로 유발시킨다(Jeon et al., 1996; Jung et al., 1996; Cho et al., 1997; Jung et al., 1997; Jung et al., 2005; Choi et al., 2006; Jung, 2008; NIER, 2010; Do, 2011; Jung, 2012; NIER, 2014).

따라서 이 연구에서는 안심연료단지 주변지역 주민의 건강피해와 환경오염의 실태를 파악하고 관리방안을 마련하기 위하여 입자상물질(TSP, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) 및 중금속물질의 농도분포 및 노출특성을 파악하였다. 본 연구결과는 향후 안심연료단지 주변지역 주민들의 환경오염 노출 실태와 건강영향 문제를 파악하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구 대상지역

대상지역은 1971년 조성 당시 연탄공장 6개와 시멘트공장 1개가 가동되었으며, 현재는 연탄(3개)과 레미콘(1998년 이전에는 시멘트 생산) 공장, 아스콘 및 콘크리트공장 등 6개 업체가 가동 중이다. 현재 연탄생산량은 과거의 8% 수준이며, 1991년 이후부터는 연탄생산량이 감소하였으며, 2004년부터 조금씩 증가하고 있는 추세이고 최근 기준으로 연간 11.7만 톤을 생산하고 있다. 2012년도 기준으로 3개의 공장에서 생산하는 연탄은 연간 3천250만개(11만7천t)이며, 대상지역에서는 3개의 연탄공장이 가동 중이다(Jung, 2014; NIER, 2014; Jung et al., 2015).

Figure 1에서는 안심연료단지 시료채취 위치지점을 나타내었다. 이를 위하여 대구 안심연료단지 주변지역 바람의 방향을 분석하였다. 여름을 제외한 계절



Figure 1. Sampling point of this study

의 탁월풍은 서풍 내지 북서풍이 우세하며 여름철은 남동계열의 바람 빈도가 높았으며, 배출원과 가장 인접한 수성지점에서도 북서풍이 높은 빈도로 확인되었다. 대상지역 주거지역이 연료단지의 주된 풍하측(남~동쪽)에 위치하고 있는 것을 고려하였으며, 안심지역 및 인근지역에 비산먼지 영향이 미칠 수 있음을 파악하였다. 이를 바탕으로 시료채취는 안심연료단지의 동·서·남·북쪽방향으로 총 4개의 지점(A, B, C, D)을 선정하였으며, 참고지역(E) 1개 지점을 선정하여 직접영향권역에서의 측정결과와 비교하였다. 안심연료단지의 북쪽방향에는 대상지역의 일부 주민들이 거주하고 있는 빌라와 주택 등이 위치하고 있다. 또한, 안심연료단지 경계지역으로부터 약 500 m 북쪽지역에는 동서방향으로 경부고속도로가 위치하고 있으며, 안심연료단지의 좌측지역에는 콘크리트 공업사가 위치해 있다. 이와 함께 안심연료단지 경계지역으로부터 동쪽방향으로 약 190 m 지역에는 북남쪽 방향으로 울하천이 흐르고 있으며, 안심연료단지 남쪽방향으로는 반야월로가 위치하고 있고, 경계지역으로부터 동쪽방향으로 약 430 m 떨어진 지점에는 아파트단지가 위치하고 있다(Jung, 2014; NIER, 2014).

2. 시료 채취 및 분석 방법

이 연구에서는 대기질 분석을 위하여 안심연료단

지에서 발생하는 다양한 형태의 환경오염물질 중에서 지역주민들의 건강에 악영향을 미치는 입자상물질과 중금속물질을 측정 및 분석작업을 수행하였으며, 특히 TSP, PM₁₀, PM_{2.5} 및 중금속물질(Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Fe, Zn, Mg) 등을 중심으로 측정 및 분석작업을 수행하였다.

대상지역에서 주민들이 거주하는 지점별로 계절변화에 따른 오염물질의 농도를 파악하는 작업을 수행하였다. 전체적으로 대기오염물질 시료 채취기간은 2013년 8월 11일부터 2014년 2월 21일까지 측정하였으며, 계절에 따른 농도 파악을 위해 여름, 가을, 겨울철로 구분하여 측정하였다. 여름철 측정에서는 장마와 태풍 등 기상현상을 고려하였으며, 시료 채취는 2013년 8월 11일부터 8월 27일까지 수행하였다. 가을철의 시료채취는 비와 눈 등 농도에 영향을 줄 수 있는 기상조건 등을 감안하여 10월 9일부터 10월 22일까지 진행하였다. 겨울철의 시료채취는 2014년 1월 18일부터 2월 21일까지 측정하였으며, 본 연구에서는 입자상물질 중에서 TSP, PM₁₀, PM_{2.5} 및 중금속물질의 농도분포 및 노출특성을 파악하였다(Jung, 2008; NIER, 2010; Jung, 2012; Jung, 2014; NIER, 2014; Jung et al., 2015).

1) 시료채취 방법

대기 중금속의 시료채취는 대기오염 공정시험법을 따른 고용량 공기포집법을 적용하였다. 대기 중 금속 시료채취기는 미국 Tisch社의 TE6070 PM₁₀과 일본 Sibata社의 HV-1000F 하이볼륨에어 샘플러로 유입부 포집효율이 EPA Reference Method RFPS-0202-141을 만족하는 미세먼지(PM₁₀) 분리를 상단에 장착하였다. 적용 흡인유량은 0.8-1.2 m³/분의 범위를 적용하여 누적 유량이 약 1,000-1,400 m³이 되도록 하여 대기오염공정시험법상의 기준을 만족하였다. 특히 Sibata社의 HV-1000F는 모터에 구리 브러시가 없는 형식으로 마모된 브러시의 재비산에 의한 오차를 막을 수 있다. 분석에 사용한 여과재의 종류와 재질은 미국 EPA로부터 고용량 공기의 포집을 위한 표준 여과지로 채택된 제품인 Wathmann사의 QM-A(8인치 x 10인치)와 Sibata社의 석영여지를 적용하였으며, 포집된 여지는 데시케이터에서 항량 보관하였다(Jung et al., 2005; Choi et al., 2006; Jung, 2008;

NIER, 2010; Jung, 2012; Jung, 2014; NIER, 2014; Jung et al., 2015).

2) 시료분석방법

중금속 분석절차는 Figure 2에 자세히 나타내었으며, 대기중금속 시료의 전처리 방법으로 포집 전 여과지를 온도 20°C, 상대습도 50%에서 항량이 될 때까지 보관하였다가 0.01 mg의 감도를 갖는 분석용 저울로서 0.1 mg까지 정확히 달았다. 시료의 처리 방법은 대기오염공정시험방법의 마이크로파 산분해법(Microwave Digestion)으로 미국 환경보호청(US EPA) Methods 3052, EPA Methods 3051a, EPA Methods 3015a를 만족하는 MILESTONE社의 START D를 사용하였다(Choi et al., 2006; Jung, 2008; NIER, 2010; Jung, 2012; Jung, 2014; NIER, 2014; Jung et al., 2015).

시료를 채취한 여과지를 약 1/4정도 분취하여 무게를 달아 전체의 무게에서 해당 비율을 계산하였다. 대기 중금속 시료의 분석기기 및 조건으로 대기중금속 여지내의 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 아연(Zn), 마그네슘(Mg) 등을 정량하기 위해 마이크로웨이브 산분해기로 처리된 대기중금속 용출액을 Varian社의 Varian Liberty II 유도결합플라스마 원자발광분광광도계(Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometer)를 사용하였다(Jung et al., 2005; Choi et al., 2006; Jung, 2008; NIER, 2010; Jung, 2012; Jung, 2014; NIER, 2014; Jung et al., 2015).

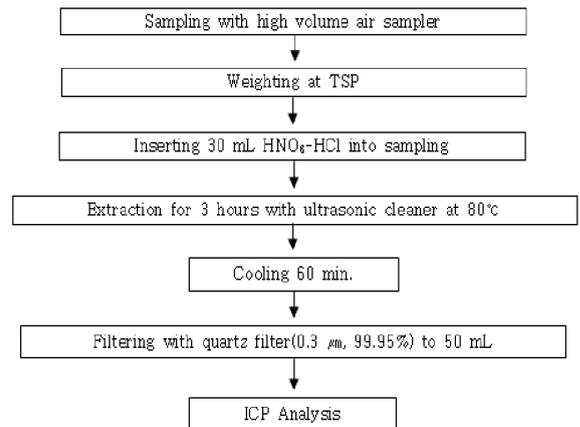


Figure 2. Procedure for trace metal analysis

III. 결과 및 고찰

1. TSP, PM₁₀, PM_{2.5} 농도분포 및 계절별 특성

대구시 및 동구지역의 최근 7년간 대기오염측정망 자료를 계절별로 분석하여 Table 1에 나타내었다. 대상지역의 2007년부터 2013년까지 대기오염측정망 자료를 확인한 결과, 안심연료단지 인근(남서방향 1 km) 지역에 위치하고 있는 율하동의 겨울철 평균 PM₁₀ 농도는 64.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 대구시 전체 54.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 동구 신암동(북서방향 7 km) 48.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높은 수준을 나타내었다. 특히, 율하동 측정망의 PM₁₀ 농도는 안심연료단지 가동시기인 겨울철에 가장 높고, 비가동시기인 여름철은 대구시 평균 수준과 유사한 것으로 나타났다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

Table 2에서는 안심연료단지 직접영향권역 및 참고지역의 계절별 TSP, PM₁₀, PM_{2.5} 농도를 구분하여 나타내었다. 또한, 안심연료단지 TSP와 PM₁₀의 계절별 측정결과는 Figure 3(A)와 Figure 3(B)에 나타내었다. 한편, 우리나라는 2000년까지는 총부유분진(TSP)을 대기환경기준으로 사용하였으나, 2001년부터는 PM₁₀으로 대기환경기준을 교체하여 사용하고

있다(Choi et al., 2006; Jung, 2008; Jung et al., 2009; NIER, 2010; NIER, 2014).

안심연료단지의 직접영향권역과 참고지역의 PM₁₀

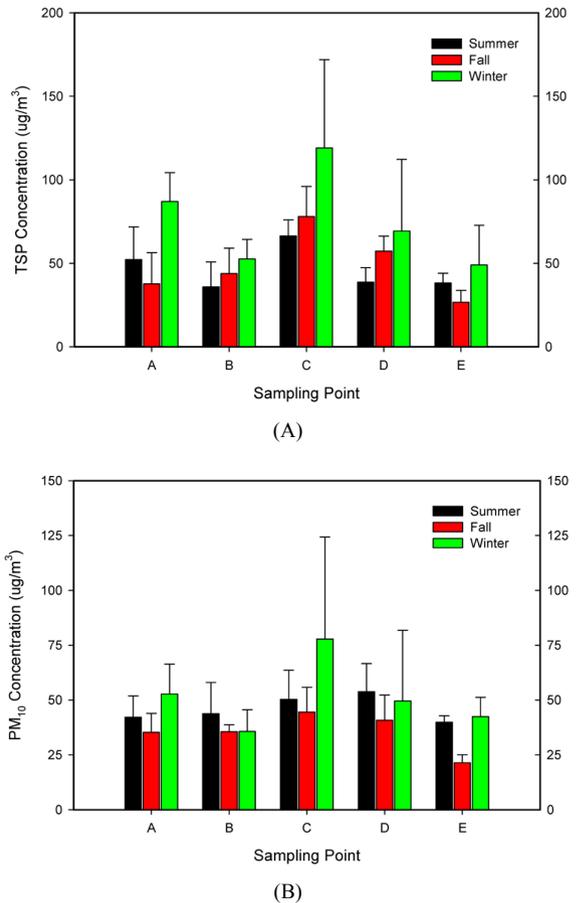


Figure 2. Effect of sampling point on PM₁₀ and TSP concentration in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

Table 1. Concentration of PM₁₀ according to the season in Dongu, Daegu (Unit : $\mu\text{g}/\text{S}/\text{m}^3$)

Area	Seasons	Concentration			
		Spring	Summer	Fall	Winter
Dong-gu	Shinamdong	51.32	35.58	38.85	48.36
	Yulhadong	61.22	38.22	50.61	64.86
Daegu		57.52	38.30	44.74	54.69

Table 2. Concentration of TSP, PM₁₀, and PM_{2.5} of direct exposure area and reference area according to the season in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings (Unit : $\mu\text{g}/\text{S}/\text{m}^3$)

Seasons	TSP(Mean±S.D.*)			PM ₁₀ (Mean±S.D.)			PM _{2.5} (Mean±S.D.)		
	Direct exposure area	Ref. area	Conc. ratio	Direct exposure area	Ref. area	Conc. ratio	Direct exposure area	Ref. area	Conc. ratio
Summer	57.7±6.1	38.2±5.8	1.5	47.5±5.5	39.9± 2.9	1.2	27.8±8.6	17.2±5.7	1.6
Fall	54.2±17.9	26. 6± 7.1	2.0	39.1±4.4	21.4±3.7	1.8	19.9±10.8	8.8±1.5	2.3
Winter	82.0±28.4	49.0±23.7	1.7	54.0±17.5	42.5±8.8	1.3	42.1±8.3	37.1±8.2	1.1
Mean	64.6±22.0	37.9±11.2	1.7	46.8±11.7	34.6±11.5	1.4	39.5±19.8	21.0±14.5	1.9

* S.D. : Standard Deviation

† Conc. ratio : Particulate matter concentrations in the direct exposure area/particulate matter concentrations in the reference area

과 TSP의 계절별 농도를 분석한 결과, 안심연료단지 직접영향권역 4개 지점에서 채취한 TSP 평균농도(64.6±22.0 μg/Sm³)는 참고지역(38.9±11.4 μg/Sm³)과 비교하여 1.7배 높은 수준으로 확인되었다. 또한, 지점별로는 안심연료단지 남쪽방향 100 m에 위치한 C 지점의 농도가 전반적으로 다른 지역에 비해 높은 수준으로 조사되었다. 또한, 본 연구에서 조사된 안심연료단지와 참고지역에서 채취한 계절별 TSP 농도는 전반적으로 겨울(49~119 μg/Sm³)이 가을(41~78 μg/Sm³) 및 여름(36~66 μg/Sm³)에 비해 다소 높은 수준을 나타내었다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

안심연료단지 참고지역 대비 직접영향권역 PM₁₀ 농도를 분석한 결과, PM₁₀ 평균농도(46.8±11.7 μg/S m³)는 참고지역(34.6±11.5)과 비교하여 1.4배 높은 수준으로 확인되었다. 지점별로는 안심연료단지 남쪽방향 100 m에 위치한 C 지점이 전반적으로 다른 지역에 비해 높은 수준으로 조사되었다. 안심연료단지와 참고지역에서 채취한 계절별 PM₁₀ 농도는 TSP와 유사하게 전반적으로 겨울(36~78 μg/Sm³) 및 여름(40~54 μg/Sm³)이 가을(21~45 μg/Sm³)에 비해 다소 높은 수준을 나타내었다(NIER, 2014).

이와 함께 안심연료단지 계절별 PM_{2.5} 측정결과를 확인한 결과, 지점별로는 안심연료단지 남쪽방향 118 m에 위치한 안심연료단지와 참고지역에서 채취한 계절별 PM_{2.5} 농도 역시 TSP 및 PM₁₀과 유사한 분포특성을 나타내었다. 안심연료단지의 직접영향권역 PM_{2.5} 농도를 분석한 결과, PM₁₀ 평균농도는 참고지역과 비교하여 1.9배 높은 수준으로 확인되었다. 직접영향권역 4개 지점에서 채취한 계절별 PM_{2.5} 농도는 TSP, PM₁₀ 농도 경향과 유사하였으며, 전반적으로 겨울(30~48 μg/Sm³)이 여름(22~40 μg/Sm³) 및

가을(13~36 μg/Sm³)에 비해 다소 높은 수준을 나타내었다(NIER, 2014).

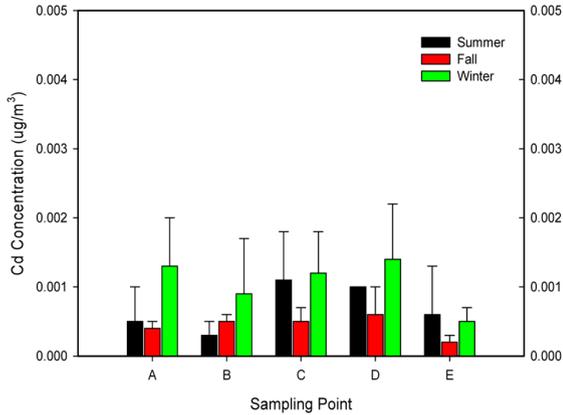
2. PM₁₀ 내 중금속 농도분포 및 계절별 특성

안심연료단지 PM₁₀ 내 중금속 계절별 측정결과를 분석하여 Table 3~7에 나타내었다. Table 3에서는 안심연료단지 직접영향권역과 참고지역의 계절별 카드뮴과 크롬 농도를 나타내었다. 이와 함께 안심연료단지 PM₁₀ 내 카드뮴과 크롬의 계절별 측정결과는 Figure 4(A)와 Figure 4(B)에 나타내었다. 안심연료단지 직접영향권역 4개 지점에서 채취한 계절별 PM₁₀ 내 카드뮴 농도는 전반적으로 겨울이 여름 및 가을에 비해 높은 수준을 나타내었다. 지점별로는 안심연료단지 북쪽방향 192 m에 위치한 D 지점이 전반적으로 다른 지역에 비해 높은 수준으로 조사되었다. 안심연료단지 직접영향권역에서 분석 및 확인된 카드뮴 평균농도는 0.0008±0.0004 μg/Sm³으로 확인되었다. 안심연료단지 참고지역 대비 직접영향권역 카드뮴 평균농도는 참고지역과 비교하여 1.9배 높은 수준으로 확인되었다(NIER, 2014).

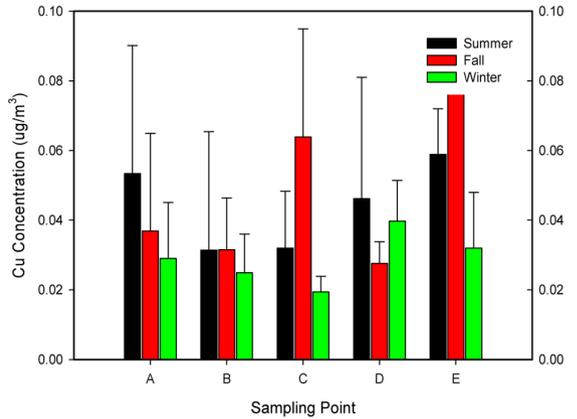
Table 3과 Figure 4에서는 안심연료단지 직접영향권역에서 확인된 크롬의 농도를 나타내었으며, 분석결과 크롬의 평균농도는 0.0141±0.0163 μg/Sm³으로 확인되었다. 특히, 크롬은 상대적으로 높은 농도 수준을 보였으며, 지속적인 모니터링과 관리가 요구되는 수준으로 나타났다. 안심연료단지 계절별 PM₁₀ 내 크롬 농도는 전반적으로 여름(0.011~0.049 μg/S m³)이 가을(0.004~0.030 μg/Sm³) 및 겨울(0.000~0.002 μg/Sm³)에 비해 우세하게 높은 수준을 나타내었다. 지점별로는 역시 안심연료단지 북쪽방향 192 m에 위치한 D 지점이 전반적으로 다른 지역과 비교

Table 3. Concentration of heavy metals(Cd and Cr) of direct exposure area and reference area according to the season in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings (Unit : μg/Sm³)

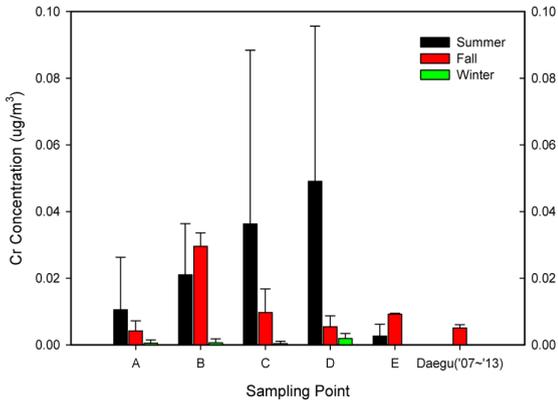
Contents Seasons Sampling site	Cd				Cr			
	Summer	Fall	Winte	Mean	Summer	Fall	Winter	Mean
A	0.0005±0.0005	0.0004±0.0001	0.0013±0.0007	0.0007±0.0005	0.0105±0.0158	0.0042±0.0030	0.0005±0.0010	0.0051±0.0051
B	0.0003±0.0002	0.0005±0.0001	0.0009±0.0008	0.0006±0.0003	0.0210±0.0154	0.0296±0.0040	0.0006±0.0012	0.0171±0.0149
C	0.0011±0.0007	0.0005±0.0002	0.0012±0.0006	0.0009±0.0004	0.0363±0.0521	0.0097±0.0071	0.0004±0.0007	0.0155±0.0186
D	0.0010±0.0000	0.0006±0.0004	0.0014±0.0008	0.0010±0.0004	0.0491±0.0465	0.0054±0.0033	0.0019±0.0015	0.0188±0.0263
Mean	0.0007±0.0004	0.0005±0.0001	0.0012±0.0002	0.0008±0.0004	0.0292±0.0170	0.0122±0.0118	0.0009±0.0007	0.0141±0.0163
Ref. area	0.0006±0.0007	0.0002±0.0001	0.0005±0.0002	0.0004±0.0002	0.0026±0.0036	0.0092±0.0003	0.0000±0.0000	0.0039±0.0047
Mean(Daegu)	0.0002	0.0010	0.0014	0.0012	0.0230	0.0053	0.0053	0.0048



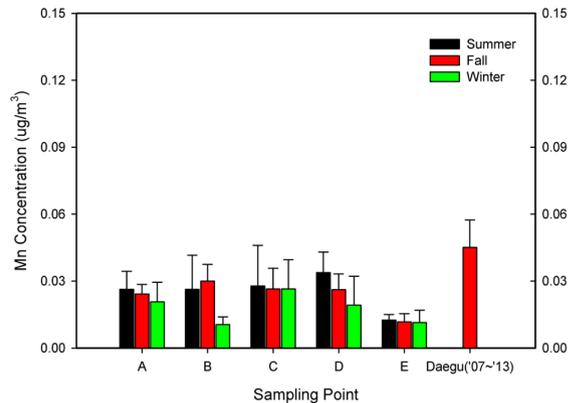
(A)



(A)



(B)



(B)

Figure 4. Effect of sampling point on Cd and Cr concentration in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

Figure 5. Effect of sampling point on Cu and Mn concentration in Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

하여 높은 수준으로 조사되었다. 안심연료단지의 직접영향권역 크롬의 평균농도는 참고지역과 비교하여 3.6배 높은 수준으로 확인되었다(NIER, 2014).

안심연료단지 PM₁₀ 내 구리와 망간의 계절별 측정 결과를 Figure 5(A)와 Figure 5(B)에 나타내었다. 이와 함께 Table 4에서는 안심연료단지 직접영향권역

Table 4. Concentration of heavy metals(Cu and Mn) of direct exposure area and reference area according to season in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings (Unit : $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$)

Contents Seasons Sampling site	Cu				Mn			
	Summer	Fall	Winter	Mean	Summer	Fall	Winter	Mean
A	0.0534±0.0367	0.0369±0.0280	0.0290±0.0161	0.0398±0.0125	0.0263±0.0081	0.0242±0.0043	0.0207±0.0088	0.0237±0.0028
B	0.0314±0.0340	0.0315±0.0149	0.0249±0.0111	0.0293±0.0038	0.0263±0.0153	0.0300±0.0075	0.0105±0.0035	0.0223±0.0104
C	0.0320±0.0163	0.0639±0.0310	0.0194±0.0045	0.0384±0.0229	0.0278±0.0182	0.0265±0.0093	0.0265±0.0131	0.0269±0.0008
D	0.0462±0.0348	0.0276±0.0062	0.0397±0.0117	0.0378±0.0094	0.0338±0.0092	0.0262±0.0070	0.0192±0.0130	0.0264±0.0073
Mean	0.0408±0.0109	0.0400±0.0164	0.0283±0.0086	0.0363±0.0127	0.0286±0.0036	0.0267±0.0024	0.0192±0.0066	0.0248±0.0059
Ref. area	0.0589±0.0131	0.0808±0.0123	0.0320±0.0160	0.0572±0.0244	0.0125±0.0025	0.0117±0.0037	0.0114±0.0056	0.0119±0.0006
Mean(Daegu)	0.0374	0.0658	0.0412	0.0511	0.0259	0.0413	0.0416	0.0383

Table 5. Concentration of heavy metals(Ni and Pb) of direct exposure area and reference area according to the season in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings (Unit : $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$)

Contents Seasons Sampling site	Ni				Pb			
	Summer	Fall	Winter	Mean	Summer	Fall	Winter	Mean
A	0.0031±0.0012	0.0028±0.0014	0.0015±0.0014	0.0025±0.0009	0.0220±0.0058	0.0189±0.0038	0.0282±0.0119	0.0230±0.0047
B	0.0022±0.0010	0.0023±0.0009	0.0016±0.0014	0.0020±0.0004	0.0302±0.0168	0.0200±0.0025	0.0167±0.0084	0.0223±0.0070
C	0.0022±0.0014	0.0049±0.0032	0.0009±0.0003	0.0027±0.0020	0.0304±0.0354	0.0222±0.0110	0.0379±0.0178	0.0302±0.0079
D	0.0038±0.0026	0.0027±0.0006	0.0032±0.0012	0.0032±0.0006	0.0459±0.0316	0.0247±0.0101	0.0289±0.0147	0.0332±0.0112
Mean	0.0028±0.0008	0.0032±0.0012	0.0018±0.0010	0.0026±0.0011	0.0321±0.0100	0.0215±0.0026	0.0279±0.0087	0.0272±0.0084
Ref. area	0.0026±0.0006	0.0009±0.0001	0.0006±0.0011	0.0014±0.0011	0.0270±0.0212	0.0137±0.0054	0.0156±0.0040	0.0188±0.0072
Mean(Daegu)	0.0010	0.0031	0.0020	0.0029	0.0206	0.0282	0.0363	0.0397

과 참고지역의 계절별 구리와 망간 농도를 구분하여 나타내었다. 안심연료단지 계절별 구리 측정결과를 Figure 4(A)에서 확인한 결과, 계절별 PM₁₀ 내 구리 농도는 전반적으로 여름(0.031~0.053 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$) 및 가을(0.028~0.064 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$)이 겨울(0.019~0.040 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$)에 비해 다소 높은 수준을 보였다. 지점별로는 농도는 특이 사항이 없었으며, 오히려 구리의 경우 참고지역에서 다소 높은 수준으로 나타났다(NIER, 2014).

안심연료단지 PM₁₀ 내 망간의 계절별 측정결과를 분석하여 Figure 4(B)에 나타내었다. 일반적으로 망간의 만성중독으로는 신경학적 망간 증후군인 쇠약, 식욕 결핍, 근육통, 무감동, 느린 언어구사, 단조음의 목소리, 무표정한 얼굴 등이 있다. 한편 WHO에 발표한 대기중의 농도는 0.01~0.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NOAEL은 0.03 mg/m^3 , 권고치는 0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{-yr}$ 이다(Choi et al., 2006; Jung, 2008; NIER, 2010; NIER, 2014). Table 4와 Figure 5에서 확인한 결과, 안심연료단지 직접영향권역에서 Mn의 평균농도는 0.0248±0.0059 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 으로 확인되었다. 이와 함께 안심연료단지 계절별 PM₁₀ 내 망간 농도는 전반적으로 여름(0.026~0.034 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$), 가을(0.024~0.030 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$) 및 겨울(0.011~0.027 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$)이 유사하게 나타났다. 또한, 지점별 특이성도 없는 것으로 조사되었다. 안심연료단지 참고지역 대비 직접영향권역 망간 평균농도는 참고지역과 비교하여 2.1배 높은 수준으로 확인되었다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

Table 5는 안심연료단지 직접영향권역과 참고지역의 계절별 니켈과 납 농도를 나타낸 것이다. 안심연료단지 직접영향권역에서 확인된 Ni의 평균농도는 0.0026±0.0011 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 으로 나타났고, 특히, 니켈은 상대적으로 높은 농도 수준을 보여, 지속적인 모니터링

과 관리가 요구되는 수준으로 판단된다. 니켈은 코점막자극, 부비동, 후두암 및 폐암의 위험성이 있으며, Ni(Subsulfide)로서 EPA의 발암등급은 황산니켈로서 A등급이며, 호흡으로 인한 단위 위해도도는 $4.8 \times 10^{-4}(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, 10^{-5} 발암 위해도에서 대기 중 농도는 $2 \times 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 제한하고 있다(Choi et al., 2006; Jung, 2008; NIER, 2010; NIER, 2014).

또한, 안심연료단지 PM₁₀ 내 니켈과 납의 계절별 측정결과를 Figure 5(A)와 Figure 5(B)에 나타내었다. 안심연료단지 계절별 니켈 측정결과를 Table 5와 Figure 6(A)에 나타난 결과, 안심연료단지 계절별 PM₁₀ 내 니켈 농도는 전반적으로 여름(0.002~0.004 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$), 가을(0.002~0.005 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$) 및 겨울(0.001~0.003 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$)이 다소 유사한 수준을 보였다. 지점별로는 안심연료단지 북쪽방향 192 m에 위치한 D 지점과 남쪽방향 118 m에 위치한 C 지점이 전반적으로 다른 지역에 비해 높은 수준으로 조사되었다. 안심연료단지 참고지역대비 직접영향권역 니켈 농도를 분석한 결과, 평균농도는 참고지역과 비교하여 1.9배 높은 수준으로 확인되었다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

안심연료단지 PM₁₀ 내 납의 계절별 측정결과를 분석하여 Table 5와 Figure 6(B)에 나타내었다. 안심연료단지 직접영향권역에서 분석 및 확인된 Pb의 평균농도는 0.0272±0.0084 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 으로 확인되었다. Table 5와 Figure 6(B)에서 안심연료단지 계절별 납 측정결과를 확인한 결과, 안심연료단지 계절별 PM₁₀ 내 납 농도는 전반적으로 여름(0.02~0.05 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$), 가을(0.02 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$) 및 겨울(0.02~0.04 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$)이 유사한 수준을 보였다. 지점별로는 안심연료단지 북쪽방향 192 m에 위치한 D 지점과 남쪽방향 118 m에 위치한

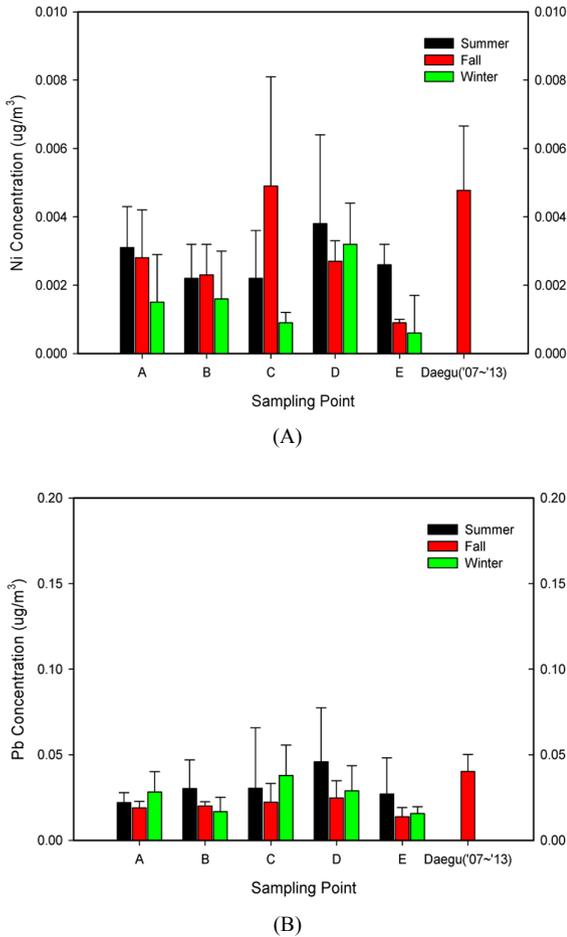


Figure 6. Effect of sampling point on Ni and Pb concentration in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

C 지점이 전반적으로 다른 지역에 비해 다소 높은 수준으로 조사되었다. 안심연료단지 참고지역 대비 직접영향권역 Pb 농도를 분석한 결과, Pb 평균농도

는 참고지역과 비교하여 1.4배 높은 수준으로 확인되었다(NIER, 2014).

Table 6에서는 안심연료단지 직접영향권역과 참고지역의 계절별 철과 아연 농도를 나타내었다. 안심연료단지 직접영향권역에서 분석 및 확인된 철의 평균농도는 $0.4855 \pm 0.1862 \mu\text{g}/\text{S}\text{m}^3$ 으로 확인되었다. 안심연료단지 PM₁₀ 내 철과 아연의 계절별 측정결과를 Figure 7(A)와 Figure 7(B)에 나타내었다. 또한 Table 6에서 안심연료단지 계절별 철 측정결과를 확인한 결과, 안심연료단지 계절별 PM₁₀ 내 철 농도는 여름이 가을 및 겨울에 비해 다소 높은 수준을 나타내었다. 지점별로는 안심연료단지 북쪽방향 192 m에 위치한 D 지점과 남쪽방향 118 m에 위치한 C 지점이 전반적으로 다른 지역에 비해 다소 높은 수준으로 조사되었다. 안심연료단지 참고지역 대비 직접영향권역 철 농도를 분석한 결과, 평균농도는 참고지역과 비교하여 2.6배 높은 수준으로 확인되었다(NIER, 2014).

안심연료단지 PM₁₀ 내 아연의 계절별 측정결과를 분석하여 Table 6과 Figure 7(B)에 나타내었다. 안심연료단지 직접영향권역에서 분석 및 확인된 아연의 평균농도는 $0.3068 \pm 0.0631 \mu\text{g}/\text{S}\text{m}^3$ 으로 확인되었다. 분석결과 안심연료단지 계절별 PM₁₀ 내 아연 농도는 여름이 가을 및 겨울에 비해 다소 높은 수준을 보였다. 지점별로는 가을의 경우 안심연료단지 북쪽방향 192 m에 위치한 D 지점이 가을의 경우 북서방향 112 m에 위치한 B 지점이 전반적으로 다른 지역에 비해 다소 높은 수준으로 조사되었다. 안심연료단지 참고지역 대비 직접영향권역 아연 농도를 분석한 결과, 평균농도는 참고지역과 비교하여 1.2배 높은 수준으로 확인되었다(NIER, 2014).

Table 6. Concentration of heavy metals(Fe and Zn) of direct exposure area and reference area according to the season in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings (Unit : $\mu\text{g}/\text{S}\text{m}^3$)

Contents Seasons Sampling site	Fe				Zn			
	Summer	Fall	Winter	Mean	Summer	Fall	Winter	Mean
A	0.4266±0.1429	0.3664±0.0945	0.2916±0.1525	0.3615±0.0676	0.3731±0.1807	0.2813±0.0572	0.1584±0.1361	0.2709±0.1077
B	0.5682±0.2722	0.6119±0.0932	0.1675±0.0603	0.4492±0.2449	0.3195±0.1703	0.3817±0.0849	0.2436±0.0526	0.3149±0.0692
C	0.6360±0.4960	0.6110±0.1659	0.5045±0.2573	0.5838±0.0698	0.3567±0.1468	0.2837±0.0691	0.2738±0.0386	0.3047±0.0453
D	0.8399±0.2375	0.5102±0.1123	0.2927±0.1992	0.5476±0.2755	0.3457±0.1585	0.3306±0.0619	0.3334±0.1242	0.3366±0.0080
Mean	0.6177±0.1719	0.5249±0.1159	0.3141±0.1399	0.4855±0.1862	0.3488±0.0225	0.3193±0.0474	0.2523±0.0729	0.3068±0.0631
Ref. area	0.1831±0.1060	0.2130±0.0524	0.1683±0.1238	0.1881±0.0228	0.3491±0.0998	0.3281±0.0460	0.1212±0.0951	0.2661±0.1260
Mean(Daegu)	0.6959	1.2470	1.1568	0.9924	-	-	-	-

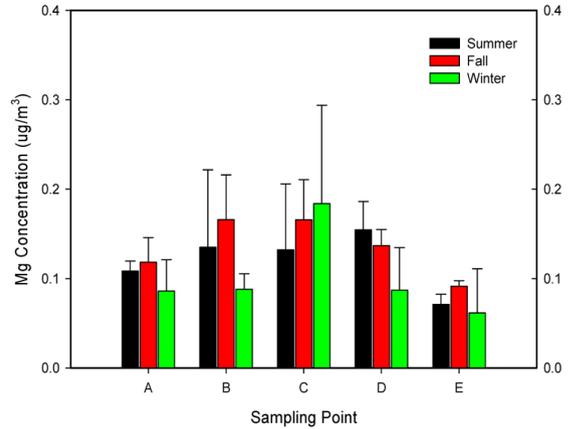
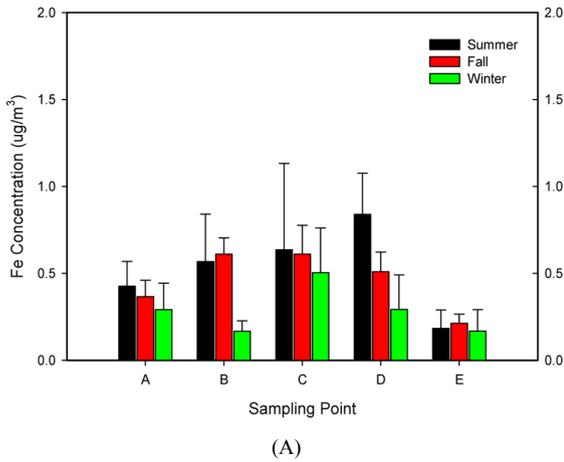


Figure 8. Effect of sampling point on Mg concentration in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

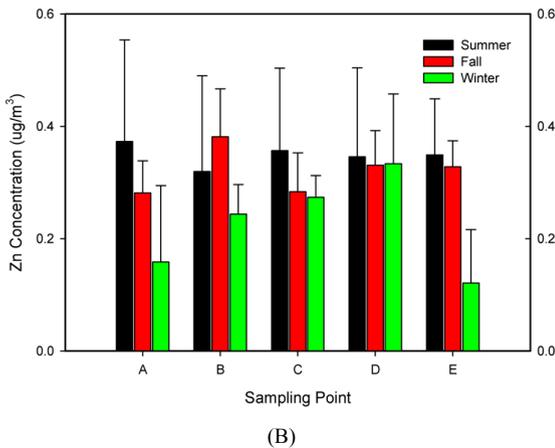


Figure 7. Effect of sampling point on Fe and Zn concentration in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

안심연료단지 직접영향권역의 계절별 마그네슘 농도를 Table 7에 나타내었다. 안심연료단지 직접영향권역에서 분석 및 확인된 마그네슘 평균농도는 0.1340±

0.0320 $\mu\text{g}/\text{S}/\text{m}^3$ 으로 확인되었다. 또한, Figure 8에서는 안심연료단지 PM₁₀ 내 마그네슘의 계절별 측정결과를 나타내었다. 분석결과 안심연료단지 계절별 PM₁₀ 내 Mg 농도는 여름, 가을 및 겨울이 유사한 수준을 보였다. 지점별로는 겨울에 안심연료단지 남쪽방향 1182 m에 위치한 C 지점이 가장 높은 수준으로 조사되었다. 안심연료단지 참고지역 대비 직접영향권역 마그네슘 농도를 분석한 결과, 평균농도는 참고지역과 비교하여 1.8배 높은 수준으로 확인되었다(NIER, 2014).

안심연료단지 직접영향권역에서 분석된 중금속물질의 평균농도는 참고지역과 비교하여 1.9배, 3.6배, 2.1배, 1.9배, 1.4배, 2.6배, 1.2배 높은 수준으로 확인되었다. 특히, 본 연구에서 확인된 일부 계절과 지점에서의 크롬과 니켈 등을 포함한 일부 중금속물질의 농도는 대구지역의 평균치와 비교하여 일부 계절에 상대적으로 높은 농도 수준을 나타내었다. 이는 대상 지역에 위치한 연탄과 관련공정에서 배출되고 있는

Table 7. Concentration of Mg of direct exposure area and reference area according to season in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings (Unit : $\mu\text{g}/\text{S}/\text{m}^3$)

Contents Seasons Sampling site	Mg			
	Summer	Fall	Winter	Mean
A	0.1083±0.0112	0.1183±0.0275	0.0861±0.0349	0.1042±0.0165
B	0.1351±0.0866	0.1658±0.0501	0.0880±0.0174	0.1296±0.0392
C	0.1320±0.0740	0.1657±0.0449	0.1839±0.1099	0.1605±0.0263
D	0.1545±0.0317	0.1368±0.0181	0.0869±0.0477	0.1457±0.0125
Mean	0.1325±0.0189	0.1467±0.0233	0.1193±0.0559	0.1340±0.0320
Ref. area	0.0710±0.0114	0.0913±0.0063	0.0616±0.0492	0.0746±0.0152

것으로 추정되며, 향후 추가적인 환경측정 분석 및 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다(NIER, 2014).

오랜 기간 동안 발생한 대상지역의 환경오염 문제를 해결하기 위하여 선정된 지점에서의 환경오염물질 측정 및 분석작업을 수행한 결과, 일부 계절의 경우 환경보건학적 관점에서 문제가 있는 것으로 판단된다. 하지만 현재의 관점에서 수십 년간 지속되어 온 환경오염 문제를 논의하거나 거론한다는 것은 많은 어려움과 책임이 뒤따른다. 그러나 오래전부터 이 지역에서는 다수의 지역주민들이 환경성 질환 및 호흡기계 질환을 호소하고 있는 실정이므로 과거의 환경오염 노출 수준은 현재의 수준 보다 높았을 것으로 추정된다. 향후 대상지역에서의 미세먼지, 분진류와 각종 중금속물질(Cr 및 Ni)의 발생원을 적극적으로 차단하기 위하여 관련대책을 준비하여야 할 시점이다.

IV. 결 론

이 연구에서는 안심연료단지 주변지역 주민의 건강피해와 환경오염의 실태를 파악하고 관리방안을 마련하기 위하여 입자상물질 및 중금속물질의 농도 분포 및 노출특성을 파악하였다. 이상의 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 대상지역의 최근 7년간 대기오염측정망 자료를 분석한 결과, 율하동의 경우 연평균 PM₁₀ 농도는 51~58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었으며, 대기환경기준 농도(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 초과하는 것으로 확인되었다.

2. 안심연료단지 직접영향권역에서의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5} 평균농도는 참고지역과 비교하여 1.7배, 1.4배, 1.9배 높은 수준으로 확인되었다. 안심연료단지 직접영향권역 4개 지점과 참고지점에서 시료를 채취하여 계절별 입자상물질의 농도를 분석한 결과, 전반적으로 겨울이 가을 및 여름에 비해 다소 높은 수준으로 조사되었다. 안심연료단지 직접영향권역에서의 계절별(여름, 가을, 겨울) 평균농도는 전반적으로 겨울이 가을 및 여름에 비해 다소 높은 수준으로 조사되었다. 또한, TSP, PM₁₀, PM_{2.5} 평균농도는 참고지역과 비교하여 1.5~2.0배, 1.2~1.8배, 1.1~2.3배 높은 수준으로 확인되었다. 계절별 대기환경을 분석한 결과,

직접영향권역에서의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5} 및 중금속 농도는 참고지역과 비교하여 상대적으로 높은 수준으로 조사되었으며, 지점별로는 C 지점이 전반적으로 다른 지역에 비해 높은 수준으로 조사되었다.

3. 안심연료단지 직접영향권역에서 분석 및 확인된 Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Fe, Zn 평균농도는 각각 0.0008±0.0004 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$, 0.0141±0.0163 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$, 0.0248±0.0059 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$, 0.0026±0.0011 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$, 0.0272±0.0084 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$, 0.4855±0.1862 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$, 0.3068±0.0631 $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ 로 확인되었다. 또한, 직접영향권역에서의 Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Fe, Zn 평균농도는 참고지역에 비해 1.9배, 3.6배, 2.1배, 1.9배, 1.4배, 2.6배, 1.2배 높은 수준으로 확인되었다. 특히, Cr 및 Ni 등과 같은 일부 중금속물질은 상대적으로 높은 농도 수준을 나타내었으며, 지속적인 모니터링과 관리가 요구된다. 이와 함께 중금속물질의 분석결과를 대구지역 내 중금속 측정망의 최근 7년간의 중금속 평균농도와 비교한 결과, 상대적으로 높은 농도 수준으로 확인되었다.

4. 안심연료단지 주변지역 환경오염의 수준과 건강영향 문제를 파악하기 위하여 관련연구를 수행한 결과, 일부 입자상물질과 중금속물질은 상대적으로 높은 농도 수준을 나타내었다. 대상지역에서의 미세먼지, 분진류와 특히 일부 중금속물질의 발생원을 적극적으로 차단하기 위한 보다 실질적인 저감대책을 마련하여야 할 시점으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국립환경과학원의 2013년도 지원사업 [대구 안심연료단지 주변지역 주민건강영향조사, No. 2014-11-1480523-001587-01]으로 수행되었고, 일부 연구비를 지원하여 주신 대구광역시청 및 대구광역시 동구청에 감사드립니다.

References

- Choi BW, Jung JH, Choi WJ, Jeon CJ, Shon BH. Distribution characteristics of ambient heavy metals based on the pollution source and their carcinogenic risk assessment in Ulsan. Korea. Korean Society of Environmental Health. 2006;32(5):522-531
- Choi BW, Jung JH, Choi WJ, Shon BH, Oh KJ.

- Characteristics of the distribution of high ambient air pollutants with sources and weather condition in Ulsan. Korean Society of Environmental Health. 2006;32(4):324-335
- Cho SW, Min BC, Jung JH, Jeon YH, Kim DY, Jeong DY. A study on desulfurization by anthracite-bituminous coal blend combustion in a fluidized bed. Korean Society of Environmental Health. 1997;23(3):102-108
- Do HS. Characteristics assessment of trace element concentration in dust by facilities and areas in Daegu, Korea. Daegu Haany University. Ph.D Dissertation. 2011
- Jeon YH, Jung, JH, Shon BH, Cho SW, Oh KJ. A study on adsorption characteristics of SO₂ gas in a fixed bed adsorber. Korean Society of Environmental Engineers. 1996;18(8):961-969
- Jung, JH. A study on health hazard evaluation among residents in fuel complex, Ansim, Daegu. The Korean Society for Preventive Medicine. Fall Conference. 2014:324
- Jung, JH, Choi WJ, Leem HH, Park DS, Shon BH. Health and environmental risk assessment and weathering of stone cultural properties of air pollutants in Gyeongju and its vicinities(I). The Korea Academia- Industrial Cooperation Society. 2009;10(12):3740-3747
- Jung, JH, Cho SW, Lim HS. Distribution characteristics of environmental contaminant at soil in an Industrial Complex Area. Clean Technology. 2012;18(4):200-208
- Jung, JH, Cho SW, Shon BH, Jeon YH, Oh KJ. A study on the use of low-grade domestic anthracite by anthracite - bituminous coal blend combustion in a fluidized bed combustor. Journal of Environmental Science. 1997; 6(3):267-276
- Jung, JH, Cho SW, Shon BH, Kim YS, Oh KJ. A study on contaminant emission and combustion of anthracite - bituminous coal blend in a fluidized bed coal combustor. Korean Society of Environmental Health. 1996;22(3):28-36
- Jung JH. Effects of air pollutants on the health/ environmental risk assessment and weathering of stone cultural properties in Gyeongju and its vicinities. Daegu Haany University. Ph.D Dissertation. 2008
- Jung, JH. Health risk assessments and concentrations of environmental pollutants in an industrial complex. Dongguk University. Ph.D Dissertation. 2012
- Jung, JH, Lee HD, Jeon SB, Yoo JK, Shon BH. Chemical characteristics and particle size distribution of PM₁₀ in Iron and Steel Industrial Complex. The Korea Academia-Industrial Cooperation Society. 2012;13(11):5601-5609
- Jung, JH, Lee HD, Shon BH. Assessment of location of the air quality monitoring stations according to the analysis of wind sector division in Pohang. The Korea Academia-Industrial Cooperation Society. 2012;13(4): 1931-1938
- Jung, JH, Oh IB, Phee YG, Nam MR, Lee HD et al. Effect zone of environmental pneumoconiosis and fugitive dust in an industrial complex and its vicinities. Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene. Summer Conference. 2015:110
- Jung, JH, Phee YG, Shon BH, Yang WH, Kim JY et al. Distribution characteristics of pollutants according to elemental carbon and stable isotope ratio in an industrial complex and its vicinities. Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene. Summer Conference. 2015:111
- Jung, JH, Phee YG, Oh IB, Shon BH, Yoon MR et al. Exposure characteristics of TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and heavy metals in an industrial complex and its vicinities. Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene. Summer Conference. 2015:112
- Kang SW, Shim SH, Jung SH, Jung JH, Lee SS. Mercury emission characteristics from co-combustion of coal and sludge. Korean Society of Atmospheric Environment. 2012;28(2):182-189
- National Institute of Environmental Research(NIER). The monitoring study on exposure level and biomarker of environmental pollutants in the Pohang industrial complex(5th annual report). 2010
- National Institute of Environmental Research(NIER). A study on health hazard evaluation among residents in fuel complex, Ansim, Daegu. 2014;1-491