

대구 안심연료단지 환경오염물질 노출 평가(I)

- 환경성 진폐증 및 비산먼지 영향권역 -

정종현* · 오인보¹ · 피영규 · 남미란 · 황미경² · 방진희¹ ·
전수빈³ · 이상섭⁴ · 유승도⁵ · 김병석⁶ · 유석주⁶ · 이관⁶ · 임현술⁶

대구의대학교 보건학부, ¹울산의대 환경보건센터, ²부산대학교 대기환경과학과,
³부산대학교 사회환경시스템공학과, ⁴충북대학교 환경공학과, ⁵국립환경과학원, ⁶동국의대 예방의학교실

Exposure Assessments of Environmental Contaminants

in Ansim Briquette Fuel Complex, Daegu(I)

- Effect zone of environmental pneumoconiosis and fugitive dust -

Jong-Hyeon Jung* · In-Bo Oh¹ · Young-Gyu Phee · Mi-Ran Nam ·
Mi-Kyoung Hwang² · Jin-Hee Bang¹ · Soo-Bin Jeon³ · Sang-sup Lee⁴ ·
Seung-do Yu⁵ · Byung-Seok Kim⁶ · Seok-Ju Yoo⁶ · Kwan Lee⁶ · Hyun-Sul Lim⁶

Faculty of Health Science, Daegu Haany University

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

²*Division of Earth Environmental System, Pusan National University*

³*Dept of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University*

⁴*Dept of Environmental Engineering, Chungbuk National University*

⁵*National Institute of Environmental Research*

⁶*Department of Preventive Medicine, Dongguk University College of Medicine*

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study is to assess airborne particulate matter(PM) pollution and its effect on health of residents living near Ansim Briquette Fuel Complex in Daegu metropolitan region.

Methods: The California Puff(CALPUFF) dispersion model, version 5.8, which can estimate the dispersion direction and range of airborne PM₁₀ was used to determine the possible areas affected by PM₁₀ pollutants emitted from Ansim briquette fuel complex. The CALPUFF modeling with 200 m grid-cell resolution was performed based on PM₁₀ emissions estimated from the amount of coal consumption in the fuel complex for four months in 2012. The Weather Research and Forecasting(WRF) fields were processed using CALMET to produce CALPUFF-ready meteorological inputs. Also, the distance from Ansim Briquette Fuel Complex to the residence of each environmental pneumoconiosis patient was analyzed. In addition, the affecting region of the pollutants emitted from briquette factories in Ansim Briquette Fuel Complex was determined.

Results: CALPUFF modeling results showed that the highest concentrations of PM₁₀ were found near around the fuel complex. The modeled PM₁₀ distributions were characterized by significant decreases in concentration with distance from the complex. Seasonally, the highest concentration of 45 µg/m³ was calculated in October which was mostly due to the distinct

*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.

variation of amount of emission. Additional modeling with the maximum PM₁₀ emission of about 88 tons per year in 1986 showed that the highest concentration in October was nearly increased by 8 times than the concentration modeled with emission of 2010. As a result of medical examination and interviews for the residents in Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings, 8 environmental pneumoconiosis patients were found. These patients do not have occupational exposure and history. These patients have lived 0.3 ~ 1.1 km area in Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings.

Conclusions: Airborne particles emitted from Ansim Briquette Fuel Complex can contribute to significant increase in PM₁₀ concentration in residential areas near around the complex. Especially, the residents near fuel complex may exposed to the pollutants emitted from the factories in Ansim Briquette Fuel Complex.

Key words: briquette, CALPUFF, environmental, fugitive dust, pneumoconiosis

I. 서 론

안심연료단지에는 40여 년 전부터 연탄공장이 위치하고 있으며, 환경오염물질 배출원인 연탄공장 및 시멘트 가공업체 등이 주거지와 수백 미터 거리에 분포되어 있다. 과거 대부분의 도시에서는 연탄원료의 이동을 위해 주거지를 관통한 철로를 이용하여 이송작업을 진행하였으며, 이러한 철로 이송방식과 화물수송열차는 대부분 도심지역의 통과로 인하여 많은 지역에서 환경오염 관련 민원이 제기되기도 하였다. 연탄원료 하역·저탄·이동 및 해안 항만지역의 수·출입 물자 관련 이송을 위하여 사용된 화물열차는 도심지역 및 주거지역을 관통하는 경우가 많았으며, 특히 연탄원료 야적장 및 항만시설 등의 경우 저탄장이 노천에 설치되어 있는 경우가 많아 바람에 의한 무연탄 및 입자상물질의 확산이 손쉽게 이루어져 왔다(Jeon et al., 1996; Jung et al., 1996; Cho et al., 1997; Jung et al., 1997; Jung, 2008; Jung, 2012; Kang et al., 2012; NIER, 2014; Jung et al., 2015).

최근 대구 동구지역은 혁신도시건설 및 택지개발사업 등과 같은 각종 건축현장 및 건설작업의 영향으로 대기환경 여건이 불리하며, 특히 동구지역 내 안심동 및 반야월 인근지역은 오래전부터 골재 야적장과 연탄 제조 및 시멘트(레미콘) 제조시설이 밀집되어 있어 지역주민들의 체감환경 오염도를 가중시키고 있는 실정이다(Choi et al., 2011) 수십 년 동안 발생한 안심연료단지에서의 환경오염 문제를 현재의 관점에서 거론한다는 것은 많은 어려움이 뒤따른다. 그러나 오래전부터 이 지역에서는 다수의 지역주민들이 호흡곤란과 기침, 가래 등 만성기관지염 증상 및 호흡기계 질환 관련증상을 호소하고 있다. 특히 호흡기계 증상과 만성기관지염 증상을 호소하는 지역주민들이 대부분 20년 이상 대상지역에 거주하고

있다. 각종 언론자료와 지역주민들의 증언에 의하면 과거의 환경오염 노출 수준은 현재 수준 보다 높았을 것으로 추정된다. 하지만 현재의 기준을 적용한 환경오염 노출과 지역주민들의 건강영향과의 인과관계를 규명하기 위한 기초연구는 대단히 어려운 작업일 수밖에 없다(Jeon et al., 1996; Jung et al., 1996; Cho et al., 1997; Jung et al., 1997; Choi et al., 2007; NIER, 2010; Jung, 2012; Jung et al., 2012; Kang et al., 2012; Jung, 2014; NIER, 2014; Jung et al., 2015).

따라서 이 연구에서는 안심연료단지 및 주변지역 주민의 건강피해와 환경오염물질의 영향권역을 파악하기 위하여 대상지역에서의 비산먼지 노출정도를 추정하였다. 이를 위하여 안심연료단지를 중심으로 한 지역의 바람 특성과 CALPUFF(California Puff) 대기확산 모델링을 수행하여 대상지역의 비산먼지 영향권역을 추정 및 평가하였다. 대기확산 모델링을 통해 재현된 비산먼지의 확산범위와 주변의 기여농도 분포를 통해 건강영향을 평가할 수 있는 기초자료로 사용할 수 있다. 이와 함께 이 연구에서는 안심연료단지 지역주민들을 대상으로 건강검진 및 심층조사 작업을 수행하였다(Jung, 2008; Jung, 2012; NIER, 2014; Jung et al., 2015).

향후 연구결과를 바탕으로 안심연료단지 주변지역 주민들의 환경오염물질을 지속적으로 추적 및 관리하기 위한 기초자료로 활용하고자 하며, 국가 정책수립에 필요한 기초자료를 확보하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구 대상지역

이 연구의 대상지역은 대구광역시 동구 안심연료단지 및 주변지역으로 선정하였다. Figure 1에서는

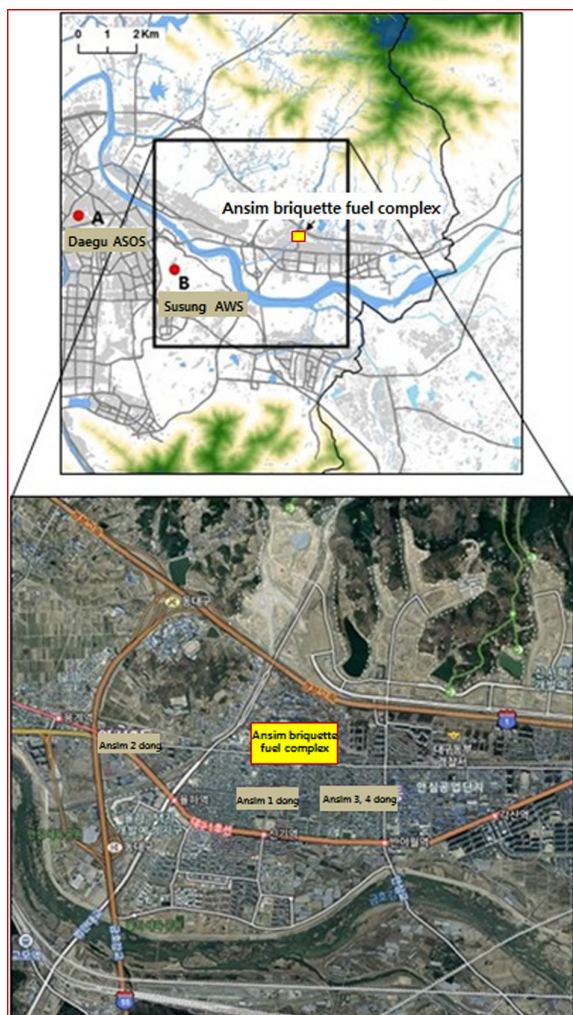


Figure 1. Monitoring site of this study in the Ansim briquette fuel complex and its surroundings. A and B indicates meteorological sites of Daegu ASOS(Automatic Synoptic Observation System and Susung AWS(Automatic weather system), respectively

안심연료단지의 위치와 주변지역의 지형·지리적 특성 및 기상기상 관측지점의 위치를 나타내었다. 안심연료단지는 지리적으로 분지도시인 대구의 도심에서 동쪽으로 약 10 km 부근에 위치하고 있다. 지형적으로 연료단지를 중심으로 북쪽으로 능천산(490 m)와 초례산(633 m)이 있고 남쪽으로 안산(470 m)이 위치하고 있고, 동서 방향으로 가로지르는 골을 따라 금호강(연료단지의 남쪽 1.5 km 부근)이 분포하고 있다. 한편, 대상지역에는 연탄(3개)과 레미콘(1998년

이전에는 시멘트 생산) 공장, 아스콘 및 콘크리트공장 등 6개 업체가 가동 중이다(Jung, 2014; NIER, 2014; Jung et al., 2015).

Figure 1의 A와 B는 기상관측지점(대구기상대 종관기상관측지점(ASOS), 수성 자동기상관측지점(AWS))의 위치이며, 본 연구에서는 이 지점들의 자료를 이용하여 바람분석을 수행하였고, CALPUFF 모델링 결과를 해석하기 위하여 참고자료로 활용하였다.

2. 대기확산 모델링

1) 모델링 영역 및 기간

이 연구에서는 미국의 EPA의 권장 모델의 하나로 선진국에서 기준성 오염물질의 모사에 널리 사용되고 있는 CALPUFF 모델을 사용하였다. 이 모델은 건강 영향평가, 위해성평가, 악취관리방안 연구 등의 환경영향평가, 대기질 감시 시스템연구, 바람길 평가와 같은 다양한 연구에 적용되고 있다. CALPUFF 모델링 시스템은 기상관측자료 및 중규모 기상 모델(WRF 등)의 수행 결과를 처리하는 CALMET과 지형처리프로그램, 오염물질 확산과 농도를 계산하는 CALPUFF, 후처리 프로그램 CALPOST로 구성되어 있다(Scire et al., 2000a, b).

CALPUFF모델의 기상장을 생성하는 WRF 모델링 영역은 초기 입력자료의 해상도와 우리나라 지리적 환경을 고려하여 총 5개의 영역으로 구성하였다. 첫 번째 영역(도메인 1, D1)의 경우, 중국과 일본을 포함하는 39×35 격자(수평해상도 81 km)이며, 영역 2는 한반도를 포함하는 70×55 격자(해상도 27 km),

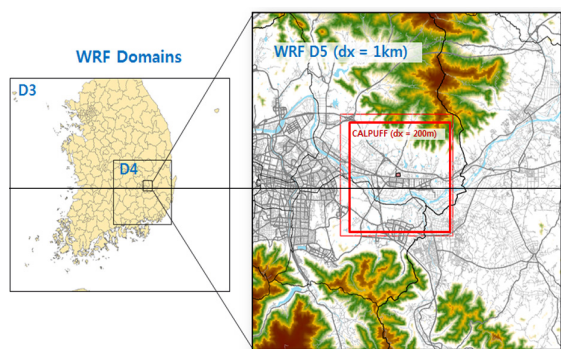


Figure 2. WRF and CALPUFF modeling of this study in the Ansim briquette fuel complex and its surroundings[D3: 64×58(9 km), D4: 52×52(3 km), D5: 24×24(1 km)]

영역 3은 남한을 포함하며 64×58 격자(해상도 9 km)이며, 영역 4는 대구지역을 포함한 수평해상도 3 km로 격자는 52×52이다. 마지막 영역인 D5는 CALPUFF 모델을 수행할 영역을 포함하며 수평해상도가 1 km로 격자는 24×24이다. Figure 2에는 WRF 모델링 영역 3, 4, 5의 지리적 위치와 범위가 나타나 있다.

이와 함께 CALMET/CALPUFF 모델링 영역은 지역 환경(도시환경, 바람조건 등)을 고려하고 안심연료단지으로부터 배출된 오염물질의 확산을 충분히 설명할 수 있는 영역으로 결정하였다. 안심 연료단지 영역을 고려하여 수평해상도는 200 m로 설정하였으며, 격자 45×45이다. 연직적으로 WRF 연직층 중에서 하층 11개 층이다. 특히 1 km 이내 7개 층을 선택하여 대기경계층 내 plume의 확산을 자세히 모의하도록 하였다. 모델링은 인근지역으로의 비산먼지 확산 영향권 평가를 위해 2012년 계절별로 대표 월을 선택하여(1, 4, 7, 10월) 매월 4회로 각각 초기 적응시간(Spin-up time) 2일을 포함하여 수행하였다. 본 연구에서는 2010년과 1986년 배출량 입력자료를 산출하고 CALPUFF 모델링을 각각 수행하여 결과를 비교하였다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

2) 기상 및 모델링 방법

WRF 모델의 개요와 자세한 설명은 사용자 가이드와 논문 등(Skamarock et al., 2008; Wang et al., 2009)에 제시되어 있다. WRF 모델의 입력자료인 초기/경계조건 값은 NCEP FNL 자료(Stunder, 1997)를 사용하였고 고 해상도 지형자료와 토지피복자료는 Shuttle Radar Topography Mission(SRTM) 자료 및 Environmental Geographic Information System(EGIS) 자료를 각각 사용하였다(Kang et al., 2010; Jeong et al., 2011; Lee et

Table 1. Physical option of WRF modeling

Physical option	Scheme
Microphysics	WSM3(dx=81 km, 27 km) WDM6 scheme(dx=9, 3, 1km)
Long wave radiation	RRTM scheme
Shortwave radiation	Dudhia scheme
Cumulus parameterization	Kain-Fritsch scheme(dx=81km, 27km) None(dx=9, 3, 1km)
PBL physics	Yonsei University scheme
Land surface physics	Noah Land-Surface Model

Table 2. Option of CALPUFF modeling

Parameters	Configuration
Puff diffusion	Gaussian
Terrain adjustment method	partial plume path
Stack downwash	yes
Building downwash	Briggs plume rise
Vertical wind shear	yes
Puff split	yes
Aqueous phase transformation	no
Wet removal and dry deposition	yes
Chemical mechanism	no
Puff diffusion coefficient	PROFILE.DAT
Dispersion coefficients	Rural areas: PG ^a Urban areas: MP ^b

al., 2014). WRF 모델링에 적용된 물리옵션은 Table 1과 같다. WRF 모델링 결과는 전처리 모델인 CALWRF (v1.4)를 통해 CMALMET에 입력되고 최종 CALPUFF 입력자료로 변환된다.

Table 2는 CALPUFF 모델링 옵션이 제시되어 있다. 이 연구에서는 puff 해석에 있어 Briggs의 연기상승 및 stack tip downwash를 사용하였다. Puff의 확산계산에서 가장 중요한 변수는 수평 및 수직 방향의 확산 계수로, 여기서는 PG 확산계수를 사용하였다. PG 확산계수는 시골지역은 Pasquill-Gifford 계수, 도시지역은 McElroy Pooler(MP) 확산계수를 이용하는 방법을 적용하였다. 여기서 McElroy Pooler(MP) 확산계수는 Pasquill 대기안정도의 함수이며, 추정식을 바탕으로 계산된 수평/연직 확산계수(σ_y , σ_z)는 CALPUFF 확산식에 입력된다(NIER, 2014).

3. 안심연료단지 비산먼지 배출량 추정

이 연구에서는 CALPUFF 수행을 위한 PM₁₀ 배출량 입력자료로 안심연료단지 연탄생산과 관련한 비산먼지 배출량을 산정하였다. 비산먼지 배출량은 연료단지의 석탄소비량, 야적면적 정보를 바탕으로 배출계수를 적용하여 추정 산정하였다. 과거 석탄생산 및 소비량을 확인한 결과를 Table 3에 상세히 나타내었다.

Table 3. Comparison and variation of briquette fuel production as a function of year in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

Year	Production (Ton)	Year	Production (Ton)
1969	699,120	1983	1,328,956
1970	917,070	1984	1,426,836
1971	888,310	1985	1,459,096
1972	799,741	1986	1,496,705
1973	947,714	1987	1,448,493
1974	1,104,720	1988	1,425,320
1975	1,093,604	1989	1,261,012
1976	1,114,776	1990	1,142,386
1977	1,226,180	1991	933,000
1978	1,264,809	1992	695,000
1979	1,289,098	2009	133,844
1980	1,397,403	2010	126,000
1981	1,389,614	2011	116,800
1982	1,273,401	2012	116,600
		2013	121,000

대상지역은 1970년대부터 지속적으로 소비량이 증가하여 1986년 최대 소비량을 나타내었으며, 이후 시대적 변화와 난방방식의 변화에 따라 연탄소비량의 변화가 유발되었다. 따라서 본 연구에서는 최대 석탄소비량을 나타낸 1986년과 최근 2010년의 비산먼지 배출량을 산정하는 방식으로 진행하였다. 식 (1)은 비산먼지 배출량을 산정하는 식으로, 비산먼지는 주로 야적더미(Pile)에서 풍화작용에 의해 비산되거나 석탄의 야적/하역 시 배출될 수 있다(NIER, 2008; NIER, 2010; NIER, 2014).

일반적으로 야적더미가 풍화되면서 비산먼지가 발생하며 야적더미의 활용빈도, 풍속, 알갱이의 물리적 특성에 의하여 결정된다. 식 (2)와 같이 야적더미에서의 배출량은 야적면적, 배출계수에 의존한다(NIER, 2008; NIER, 2010; NIER, 2014).

$$\text{비산먼지 배출량} = \text{야적더미에서의 배출량} + \text{야적/하역 시 배출량} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{야적더미에서의 비산먼지 배출량(kg/yr)} \\ &= \text{야적면적(m}^2\text{)} \times \text{배출계수(kg/m}^2\text{/yr)} \times \text{제어율} \quad (2) \end{aligned}$$

Table 4는 단지 내 세 곳의 사업장(A, B, C) 야적더미에서의 비산먼지 배출량 산정을 위한 야적더미 면적과 배출계수 및 제어율 정보를 나타내었다. 상기

Table 4. Input data of discharge amount of fugitive dust from open storage yard in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

Industry	Area of open storage yard(m ²)	Discharge coefficient (kg/m ² /yr)	Control rate
A	5,523		
B	9,420	0.148	0.1
C	7,272		

값은 대기환경보전법(1990) 실시 당시의 야적면적자료와 대구지역 비산먼지 배출계수 0.148 kg/m²/yr (NIER, 2008)를 적용한 것이다. 제어율은 야적더미의 야적상태에 따라 결정되며 본 연구에서는 풍화에 의해 비산된 먼지의 90%는 덮개와 가림막에 의해 제어되는 것으로 가정하였다. 또한 비산먼지는 석탄의 하역/야적과정에서 다량 발생할 수 있으며, 식 3을 통해 산정할 수 있다(NIER, 2008; NIER, 2010; NIER, 2014).

$$\begin{aligned} &\text{하역/야적 시 비산먼지 배출량(kg/yr)} \\ &= \text{석탄 출하량(ton/yr)} \times \text{배출계수(kg/longton)} \quad (3) \\ &*long \ ton(L/T) = 1.016 \ ton \end{aligned}$$

여기서 석탄출하량은 각 업체의 연간 석탄소비량 자료를 적용하였다. 배출계수는 입자분포(k=0.35), 평균풍속, 석탄 수분함량(M=4.5)을 고려하여 얻을 수 있다(식 4). 연평균 풍속자료는 대구 ASOS지점의 값(2010년, 2.1 m/s)을 적용하였다. 아래 식 4는 연료단지 내 전체 석탄소비량과 산정된 배출계수 산정식을 나타낸 것이다(NIER, 2008; NIER, 2010; NIER, 2014).

$$\begin{aligned} &\text{배출계수(kg/longton)} \\ &= k * (0.0016) * [(U/5)^{1.3} / (M/2)^{1.4}] \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= 0.35(\text{for PM}_{10}) \\ U &= \text{Mean wind velocity(m/s)} \\ M &= \text{Water content of briquette fuel(\%)} (=4.5) \end{aligned}$$

식1~4를 이용해 산정된 총 배출량은 200 m 간격의 연료단지 대상 격자에 균등하게 배분되어 CALPUFF에 먼오염원 배출량 자료로 입력하였다(NIER, 2008;

NIER, 2010; NIER, 2014).

4. 안심연료단지 건강검진 및 심층조사

연구 대상자는 2012년 기준으로 동구 안심 1~4동에 20년 이상 거주하고 있는 40세 이상 주민들 중 안심연료단지 구역 1.0 km 이내 해당 통에 거주하는 5,348명을 연구대상 지역범위는 안심연료단지 경계로부터 1.0 km 거리까지 선정하였다. 1차 검사에서 총 3,135명이 참가하였고, 이 중 거주 기간을 재조사하여 20년 이상 거주한 2,980명을 최종 대상으로 선정하였다. 연구 대상자는 설문조사와 흉부방사선 검사를 진행하였다. 1차 검사에서 환경성 호흡기계질환이 의심되는 경우 흉부컴퓨터단층촬영 및 폐기능 검사를 포함하는 2차 검사를 실시하였다. 흉부컴퓨터단층촬영은 A종합병원 건강검진센터에서 16 채널 컴퓨터단층촬영 장치(MX 16 EVO, Siemens Medical Systems, Erlangen, Germany)를 사용하였다. 한편, 이 연구에서는 연구 대상자들의 심층조사를 진행하였으며 2차 건강검진 결과 진단이 된 진폐증 환자에 대하여 심층 인터뷰 작업을 수행하였다. 이와 함께 연구 대상자의 거주력, 직업력, 흡연력, 유해인자 및 노출력 등을 확인하였으며, 진폐증 환자의 직업력을 확인하는 작업을 병행하였다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 안심연료단지 비산먼지 배출량 산정

Table 5는 안심연료단지 야적터미에서의 비산먼지 배출량을 업체별(A, B, C)로 구분하여 산정한 결과이다. 각각의 업체마다 배출량이 다소 차이를 나타내었으며, 전체 328.78 kg/yr이 배출되는 것으로 산정되었다. 또한, Table 6에서는 안심연료단지 야적터미에서의 각 세부항목별 비산먼지 배출량과 전체 배출량의 산정결과를 나타낸 것이다. Table 7에서는 안심연료단지에서의 전체 비산먼지의 배출량을 산정하여 나타내었다. 하역/야적 시 발생하는 비산먼지 배출량을 확인한 결과, 석탄생산 및 소비량의 감소와 함께 87,195 kg/yr(1986년)에서 7,797 kg/yr(2010년)로 약 91.1% 감소하였다. 또한, 안심연료단지 비산먼지는 야적터미에서 비산되는 것보다 하역 및 야적 시 배출되는 것이 상당부분을 차지하는 것으로 산정되었

Table 5. Discharge amount of fugitive dust in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

Industry	Production of fugitive dust(kg/yr)
A	81.74
B	139.42
C	107.63
Total	328.78

Table 6. Total discharge amount of fugitive dust in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

		Discharge amount(kg/yr)		
		From open storage yard	Open-air storage and cargo working	Total
Fugitive dust	1986	328.78	87,195.24	87,524.02
	2010		7,797.50	8,126.28

Table 7. Total discharge amount of fugitive dust in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

		Production of briquette fuel(ton)			Quota coefficient
Year	Month	2009	2010	2011	
	1	14,775	18,331	18,661	0.144
	2	9,952	10,376	9,102	0.082
	3	6,936	10,232	8,870	0.072
	4	4,896	7,798	3,856	0.045
	5	5,470	4,816	1,832	0.034
	6	3,047	2,468	1,241	0.019
	7	1,070	1,776	1,103	0.011
	8	1,872	2,258	2,850	0.019
	9	5,880	7,487	9,838	0.065
	10	18,231	23,268	20,949	0.173
	11	20,678	25,441	19,745	0.183
	12	16,919	19,593	18,771	0.154

다. 특히, 연료단지의 총 배출량은 1986년과 2010년에 각각 87,524 kg/yr, 8,126 kg/yr로 산정되었으며 약 90.7% 감소한 것으로 나타났다.

이 연구에서는 배출량의 시간별 변화는 각 물질별 배출량(kg/yr)에 월별, 요일별, 그리고 하루 24시간 동안 매시간별 할당계수를 적용하여 모델링 기간에 대한 시간별 배출량(g/hr)을 고려하였다. Table 8에서는 안심연료단지에서의 월별 석탄생산량과 월별 할당계수를 나타내었다(NIER, 2014).

월별 할당계수는 석탄소비량의 계절적 변동을 고려하여 직접 산정하였으며, 요일별 그리고 시간별 할당계수의 정보는 미국 EPA에서 제공하는 자료를 이용하였다. 월별 할당계수 산정을 위해 최근 3년간(2009~2011년)의 월별 석탄소비량을 참고하여 산정/적용하였다. 이와 함께 Figure 3에서는 안심연료단지의 월별 연탄생산량 추이(2010년, 2013년)를 상세히 나타내었다. Figure 3에서 확인한 바와 같이 3년 동안 유사한 계절적인 변동을 나타내어 할당계수의 적절성을 확인할 수 있다. 계절적 변화특성을 살펴보면 난방기(1~3월과 10~12월)의 연탄소비증가로 석탄소비량의 80% 이상이 집중되어 있다. 11월에 최대값(할당계수 18.1)을 나타내는 반면 6~8월(7월 최소, 1.1%)에 낮은 값을 나타낸다(NIER, 2014).

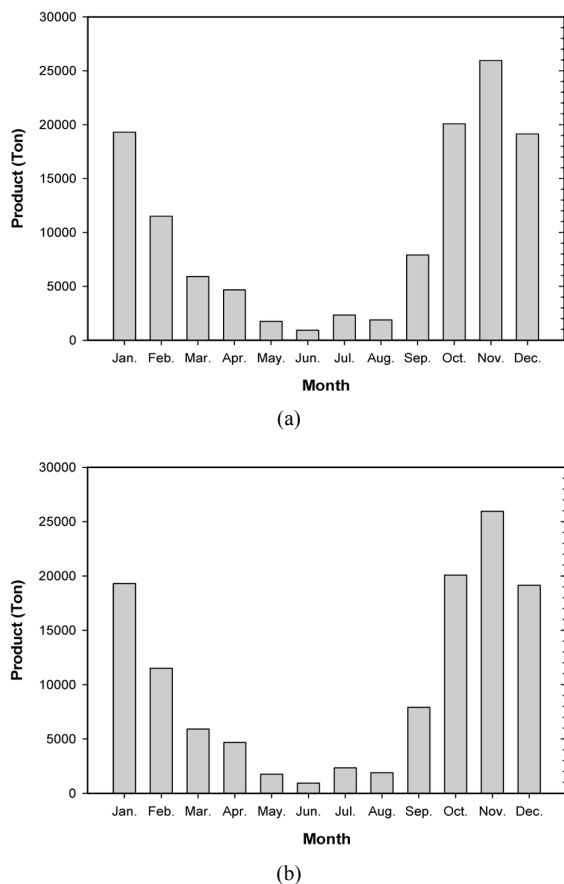


Figure 3. Variation of briquette fuel production as a function of month in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings(a: 2010, b: 2013)

2. 안심연료단지 비산먼지 영향권역 추정 및 평가

1) 대기확산 모델링을 이용한 비산먼지 영향권 추정

(1) WRF-CALMET 모델링 바람장 분석

2012년 4계절을 대상으로 WRF 기상모델을 수행하고 그 결과를 입력하여 CALWRF 전처리 작업을 거쳐 CALMET 모델링을 수행하였다. 모델링 결과로부터 계절평균 수평 바람분포를 표출하고 안심연료단지 및 주변지역의 평균 바람장을 평가하였다. Figure 4와 Figure 5에서는 CALPUFF 모델링 영역의 계절별 평균 바람장과 풍속분포를 나타내었다. 전반적으로 모델 도메인 내 수성 AWS 지점의 계절적 바람분포 변화와 유사하였다(NIER, 2014). 풍향을 확인한 결과 전반적으로 도메인영역에서 북서풍이 우세하나 여름의 경우 북태평양 고기압의 영향에 따라 남동풍이 뚜렷한 경향을 나타내었다. 이러한 풍향의 경우 벡터 평균으로 인해 빈도가 적고 풍속이 약한 바람(특히 주풍과 반대방향의 바람)은 나타나지 않는다. 풍속의 경우 겨울과 봄에 상대적으로 강한 2 m/s 이상의 풍속이 영역에 나타났으며, 가을철에 가장 약한 풍속 분포를 나타내었다. 전체적으로 안심연료단지를 포함한 주변지역에 상대적으로 풍속이 약함을 확인하였으며, 이러한 이유로 안심연료단지 및 인근 지역 내 배출 대기오염물질 축적에 기여할 수 있다(NIER, 2014).

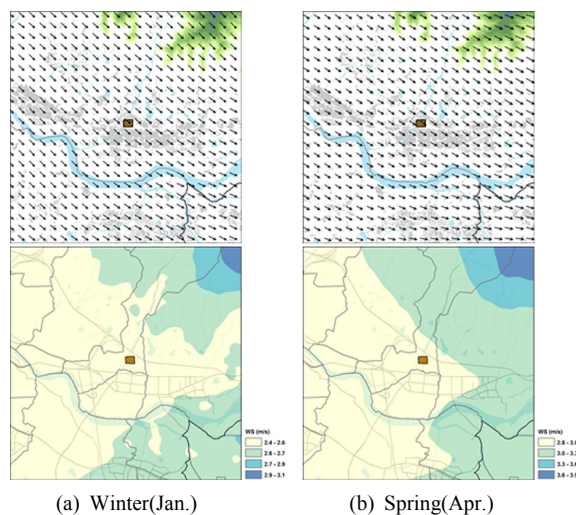


Figure 4. Wind direction and distribution characteristics of the season according to CALMET in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings(Year: 2012, unit: m/s)

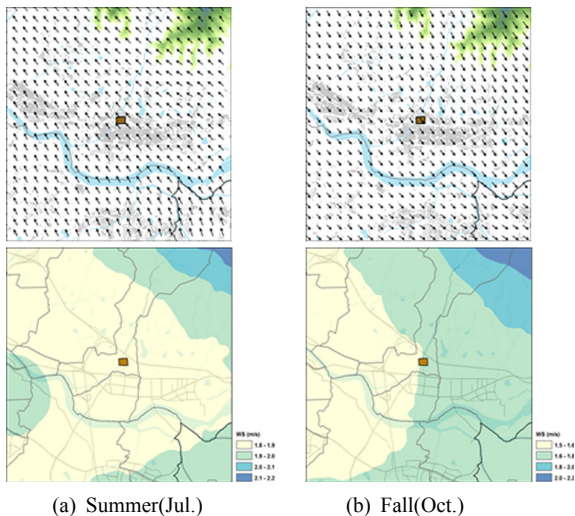


Figure 5. Wind direction and distribution characteristics of the season according to CALMET in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings(Year : 2012, unit: m/s)

계절별로 분석한 결과, 겨울(1월)은 계절풍의 영향으로 전 영역에 북서풍이 우세하였다. 연료단지 영역 인근에는 약 2.5 m/s 평균풍속 지역이 분포하였다. 봄(4월)에는 겨울과 유사하게 전 영역에서 북서풍이 뚜렷하며 2.8 m/s 이상의 비교적 강한 풍속이 나타났다. 반면 여름(7월)에는 북태평양 고기압계의 영향으로 전 영역에 남동풍이 우세하며 연료단지 주변으로 풍속이 약하게(2 m/s 이하) 나타났다. 가을(10월)의 경우 겨울과 유사하게 북서풍이 영역 전반에 우세하나, 풍속이 계절 중 가장 약하며 2 m/s 이하의 약풍이 전 영역에서 뚜렷하였다. 약한 풍속은 연료 단지 내 먼지 비산을 억제시키지만 비산된 먼지의 수송을 제한하여 국지적 농도를 유발시킬 수 있었다(NIER, 2014).

(2) CALPUFF 모델링 농도장 분석

대구산업연료단지에서 비산된 먼지의 확산과 영향권을 분석하기 위해 2010년 기준 PM_{10} 배출량을 입력하여 각 계절별로 CALPUFF 모델링을 수행하였다. 모델이 계산한 PM_{10} 기여농도(월평균) 분포는 Figure 6과 Figure 7에 나타내었다. 또한, 연탄 및 연료 소비량의 변화로 인하여 현재시점의 모델링 결과만으로는 분석의 한계가 있어 석탄 배출량이 가장 많았던 1986년의 PM_{10} 배출량을 고려한 모델링을 추

Table 8. Maximum contribution concentration of PM₁₀ according to the season in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings.

		(μg/m ³)	
Season	Year	2010	1986
Winter(Jan.)		14.7	140.0
Spring(Apr.)		4.1	51.8
Summer(Jul.)		1.4	13.8
Fall(Oct.)		44.7	356.0

가적으로 수행하여 기여농도와 영향권을 비교하였다 (NIER, 2014).

Table 8에서는 계절별로 안심연료단지에서 배출되는 PM_{10} 의 주변지역 최고 기여농도(단지를 제외한 모든 격자를 대상으로 각 격자별 평균농도 중 최고값)를 나타내었다. 배출량의 뚜렷한 변화에 영향을 받아 겨울과 가을에 농도가 높았고, 1986년이 2010년에 비교하여 높게 나타났다. 전반적으로 안심연료단지에서 비산된 먼지의 영향권은 남동/북서지역이며 풍하측 인근 약 1 km 이내 지역에서 기여 농도가 높게 나타났다. 계절적으로 가을에 비산먼지의 확산반경이 가장 넓게 나타났으며 안심3, 4동에 기여농도가 높았다. 농도장은 배출량의 변화에 민감하게 변화하며 지형 및 계절풍의 영향을 받아 확산됨을 확인할 수 있었다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

Figure 6에서는 대기 확산에 따른 안심연료단지에서 배출되는 PM_{10} 의 기여농도(CALPUFF 모델링 결과, 2010년 배출량 기준)의 나타내었으며, 배출 비산먼지의 확산과 기여농도를 확인하였다. 계절적인 확산범위의 변화는 크지만 전반적으로 안심연료단지 1 km 이내에서 고농도가 나타났으며, 남동쪽으로 오염물질이 확산되는 경향이 큰 것으로 조사되었다. 가을과 겨울철에 안심연료단지에서 배출되는 비산먼지의 영향지역이 넓게 나타났고, 특히 가을에 가장 높은 기여농도(최대 $44.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)가 나타났다. 이러한 이유는 계절적인 석탄생산량 변화가 크게 반영된 것으로 해석할 수 있었다(NIER, 2014; Jung et al., 2015). 계절별 기여농도 분포를 확인한 결과, 겨울(1월)은 강한 북서풍의 영향으로 약 2 km 정도까지 확산되나 약 1 km 반경 내에서 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 부근의 기여농도가 모의되었다(최고 착지점농도: $14.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 가을(10월)은 남

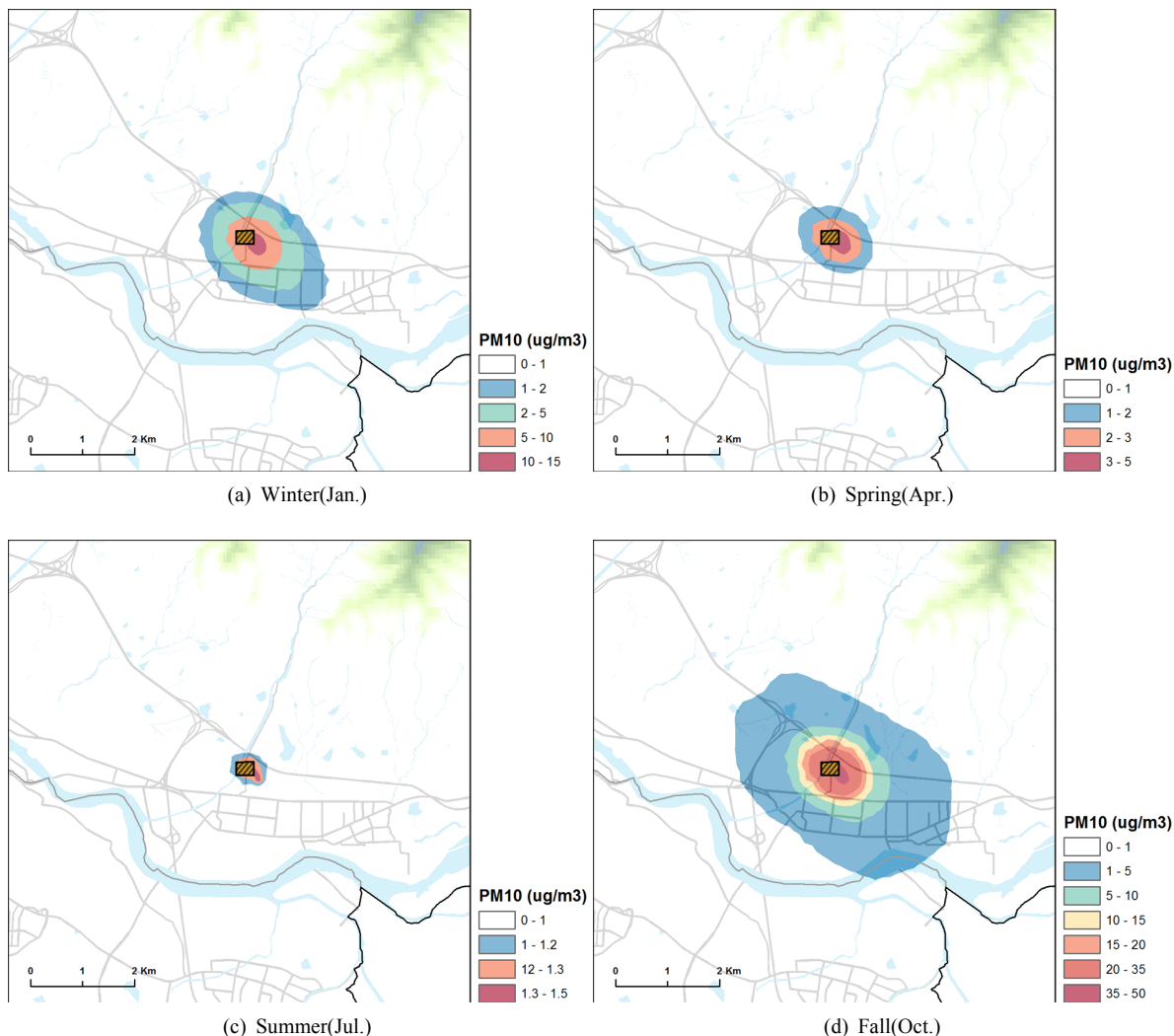


Figure 6. Contribution concentration and diffusion distribution characteristics of PM₁₀ according to CALPUFF modeling in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings (Year: 2010)

동/북서방향으로 비산먼지가 확산되었으며, 가장 넓은 확산범위와 최고 기여농도(44.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 모의되었다. 특징적으로 계절 중 가장 약한 풍속조건임에도 불구하고 높은 석탄소비량(연중 17.3%, 10월 최대)으로 인하여 영향권이 넓고 안심연료단지 인근지역에서 가장 높은 기여농도가 나타났다. 봄(4월)과 여름(7월)은 비산먼지의 확산 반경이 작고 기여농도 수준도 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만으로 낮게 나타났다(NIER, 2014).

Figure 7에서는 대기 확산에 따른 안심연료단지에서 배출되는 PM₁₀의 기여농도(CALPUFF 모델링 결과, 1986년 배출량 기준)의 나타내었으며, 배출 비산

먼지의 확산과 기여농도를 확인하였다. 전반적인 확산모습과 계절적 변동은 2010년 대상 모델링 결과와 유사하였다. 즉 종관풍과 지형의 영향으로 남동·북서지역에서 높은 착지점 농도를 나타내었으며, 가을에 농도수준이 가장 높게 나타났다. 그러나 입력 배출량의 차이로 인해 계산된 기여농도 수준과 확산 반경은 2010년 배출량을 사용한 모델링 결과에 비해 큰 차이를 나타내었다(NIER, 2014). 겨울(1월)은 최고 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 최고착지점 농도가 연료단지 풍하측(남동쪽) 인근에서 나타났고, 비교적 강한 바람의 영향으로 풍하측 약 3 km까지 기여농도가 계산되었다.

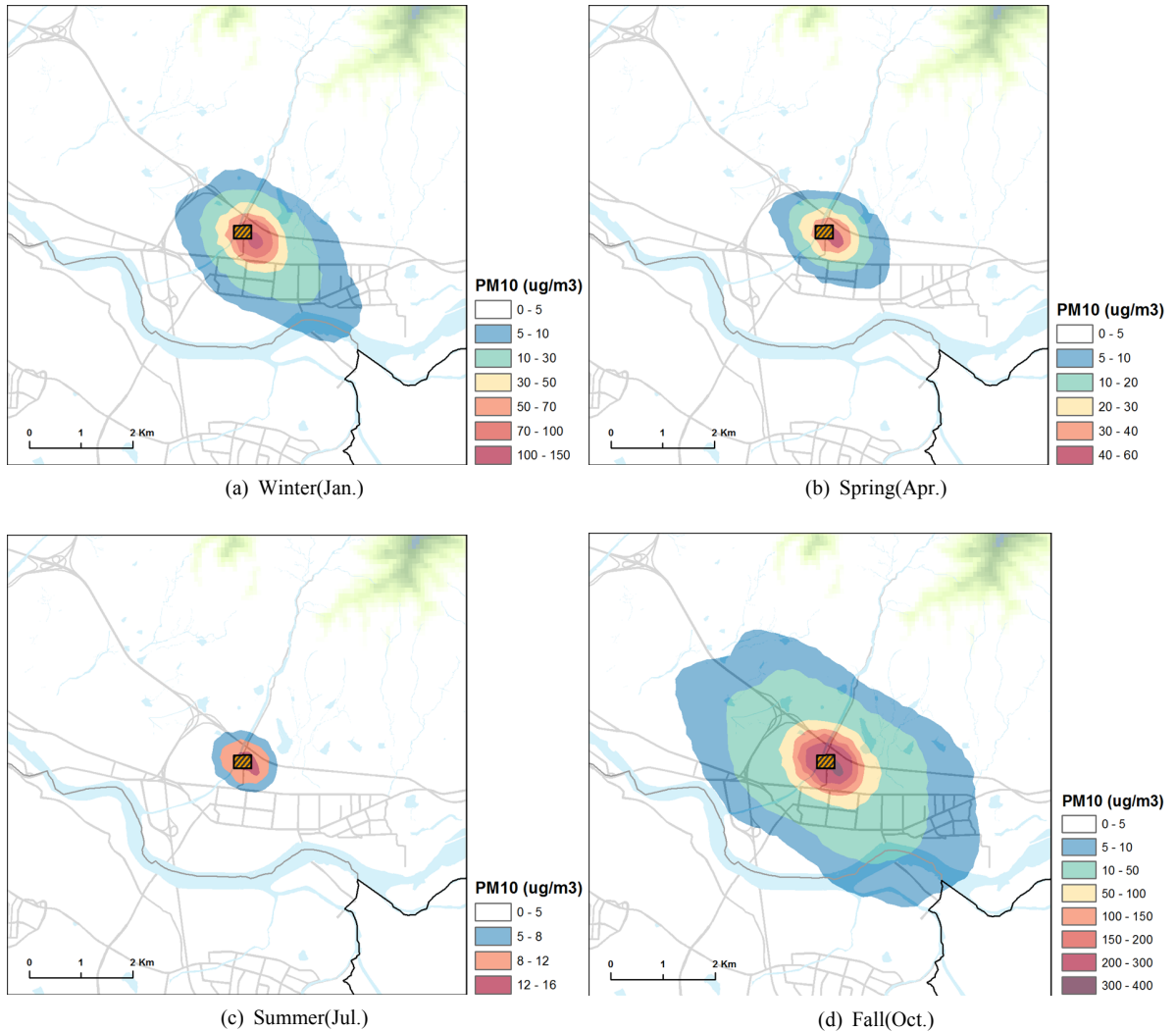


Figure 7. Contribution concentration and diffusion distribution characteristics of PM₁₀ according to CALPUFF modeling in the Ansim Bquette Fuel Complex and its surroundings (Year: 1986)

봄(4월)은 1월과 비교하여 영향반경은 좁아졌고 착지점 농도수준은 낮아졌으며, 고농도지역은 연료단지 인근에 나타났다(최대 기여농도: 51.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 여름(7월)의 경우, 배출량 감소와 함께 안심연료단지 바로 인근지역에만 국소적으로 영향이 나타났다(최고 기여농도: 13.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 가을(10월)의 경우 2010년 모의 결과와 마찬가지로 연중 가장 높은 기여농도(356.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 안심연료단지 인근지역에 나타났으며, 영향권 또한 가장 넓다(NIER, 2014; Jung et al., 2015). 과거와 현재의 배출량을 각각 고려한 모델링 결과를 종합하면, 배출량의 차이로 인해 영향지역의 범위와

노출농도 수준이 크게 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 연료단지에 인접한 특정 지역(특히 안심 3,4동) 연료단지 배출 비산먼지의 영향을 전 계절에 걸쳐 받았음을 예상할 수 있었다. 그러나 배출량의 차이로 인해 현재와 과거의 노출 수준이 크게 다를 것으로 판단된다. 또한 모델링 결과는 비산된 안심연료단지의 추정된 인위적 배출량(현재와 과거)만을 고려한 결과이다. 모의된 농도는 연료단지에서 배출된 비산먼지의 확산에 의한 기여농도로만 해석해야 하며 실제 농도수준과는 다르다(NIER, 2014).

이상 대기확산 모델링 작업을 수행한 결과, 안심연

료단지에서 배출된 비산먼지의 최고 기여농도는 연료단지 인근 지역에서 나타났으며, 배출원에서 멀어질수록 농도가 크게 감소함을 알 수 있었다. 계절적으로 가을철(10월)의 비산먼지 확산범위가 넓고 착지점농도 또한 가장 높았다. 이는 석탄소비량의 계절별 변화가 주된 원인으로 분석되었다. 또한, 과거(1986년) 배출량 적용한 CALPUFF 모델링 작업을 수행한 결과, 확산방향과 계절적 변동은 2010년 경우와 유사하였다. 그러나 과거배출량 적용 시 최고 착지점농도가 약 8배가 증가하였으며(가을) 영향권 역시 넓어졌다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

이 연구의 제한점으로는 이 연구에서 제시한 영향권은 안심연료단지에서 비산된 먼지가 이동하여 특정지역의 농도 상승에 기여함을 의미하는 것을 의미하며, 기여농도로 인한 건강 영향을 직접적으로 평가하는 범위를 의미하는 것은 아니다. 다만 이 연구에서 수행된 대기확산 모델링을 이용한 안심연료단지 주변지역 비산먼지의 영향권 추정은 CALPUFF 모델링을 통해 재현된 비산먼지의 확산범위와 주변의 기여농도 분포를 통해 건강영향을 추정할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

안심연료단지에 위치하고 있는 공장에서 발생하는 환경오염물질은 주변 환경에 일부 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 안심연료단지 주변지역 주민들은 대상지역의 공장으로부터 직·간접적으로 영향을 받고 있는 것으로 추정된다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

3. 환경성 진폐환자 분포 및 특성

이 연구에서는 환경성 진폐증 환자가 거주하고 있는 지역을 거리별로 구분하여 분석하였다. Table 9에서는 일부 진폐증 환자가 거주하고 있는 지역과 안심연료단지 경계와의 거리를 세부적으로 구분하여 나타내었다. Figure 8에서는 환경성 진폐증 환자의 분포지역을 그림으로 구분하여 나타내었다. 특히 이 연구에서는 건강검진작업(2차 검진 포함)과 직업력 확인 작업을 수행하였으며, 확인된 진폐증 일부 환자에 대한 심층 인터뷰를 진행한 결과, 8명의 환경성 진폐증(Environmental pneumoconiosis) 환자가 확인되었다. 이 환경성 진폐증 환자는 직업적 노출이 없는

Table 9. Pneumoconiosis patient and occupational history in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

No.	Residence period (year)	Occupational history	Distance (Km)
1	41	Farm work	0.5
2	20	Farm work/housekeeping	0.7
3	30	Tire marketing	0.4
4	41	Farm work	0.4
5	22	Civilian employee of the army	0.8
6	23	Farm work/apartment guard	1.1
7	40	Farm work	0.7
8	22	Farm work	0.3



Figure 8. Distribution characteristics of environmental pneumoconiosis according to the patients in the Ansim Briquette Fuel Complex and its surroundings

환경성 진폐증 환자로 판단된다. 8명의 환경성 진폐증 사례는 연료단지로부터 0.3~1.1 km 지역에서 확인되었다. 일부 사례를 제외하고 모두 1 km 안쪽에서 확인되었으며, 안심연료단지 주변지역에서 대부분 20년 이상 거주하였다. 일부 사례의 경우 1 km 바깥쪽에 거주하였다. 그러나 영향권 모델에서 추정한 바와 같이 일부 지역은 분진의 농도가 높은 겨울철에 북서풍의 영향을 강하게 받아 1 km 내·외 지역까지 영향을 미친 것으로 판단되며, 이로 인하여 일부 환경성 진폐증에 영향을 미친 것으로 추정된다(NIER, 2014; Jung et al., 2015).

이상의 결과로부터 안심연료단지에 위치하고 있는 공장에서 발생하는 환경오염물질은 주변 환경에 일

부 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 향후 대상 지역에서 가동 중인 환경오염물질의 발생원을 적극적으로 차단하기 위하여 지속적인 공정개선과 행정 지도가 수반되어야 할 시점이다. 또한, 해당 작업장에서 운영 중인 환경오염물질 저감장치의 개선과 함께 실질적인 저감 및 관리방안이 요구되는 시점이다 (NIER, 2014; Jung et al., 2015).

IV. 결 론

이 연구에서는 안심연료단지 주변지역 주민의 건강 피해와 환경오염의 실태를 파악하고 관리방안을 마련하기 위하여 대기확산모델을 이용한 연료단지 주변지역의 비산먼지 영향권 추정 및 평가작업을 수행하였다. 이를 바탕으로 환경성 진폐증 환자가 거주하고 있는 지역을 파악하였으며, 이를 바탕으로 안심연료단지에 위치하고 있는 공장에서 발생하는 환경오염물질이 주변 환경에 미치고 있는 영향권역을 추정하였다. 이상의 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 안심연료단지의 연탄생산량[121,000톤(2013년)]은 최대 연탄생산량[1,496,705톤(1986년)]의 8% 수준인 것으로 확인되었다. 이와 함께 안심연료단지 및 주변지역의 바람분포는 지형과 종관풍의 영향으로 연중 북서풍이 우세하며(여름 제외) 대기정체를 비롯한 약한 풍속의 바람이 뚜렷하였다. 안심연료단지의 석탄소비량이 가장 많았던 1986년과 현재 2010년을 대상으로 비산먼지(PM₁₀) 배출량을 산정한 결과, 과거(1986년)와 현재(2010년) 추정된 배출량은 87,524 kg/yr과 8,126 kg/yr이었다. 과거(1986년) 대비 약 90.7%가 감소한 것으로 나타났다. 또한 하역/야적 시 가장 많은 비산먼지가 발생하는 것으로 산정되었다.

2. 대기확산모델링(2010년 비산먼지 배출량 적용)을 수행한 결과, 최고 기여농도는 안심연료단지 인근 지역에서 나타났다. 거리에 따라 큰 농도 변화를 나타내었으며, 국지적으로 농도차이가 크게 모의되었다. 계절적으로 가을철(10월)의 비산먼지 확산범위가 넓었고, 착지점 농도 또한 가장 높게 모의되었다. 이러한 경향은 석탄생산량의 계절별 변화가 큰 원인인 것으로 판단된다. 또한, CALPUFF 모델링 작업(1986년 비산먼지 배출량을 적용)을 수행한 결과, 확산방향과 계절적 변동은 2010년 경우와 유사하게 나타났

다. 그러나 과거배출량을 적용 시 최고착지점 농도가 약 8배 증가하였으며(가을), 영향권역 또한 넓어졌다.

3. 건강 검진작업 및 확인된 진폐증 일부 환자에 대한 심층 인터뷰를 진행한 결과, 8명의 환경성 진폐증 환자가 확인되었다. 이 환경성 진폐증 환자는 직업적 노출이 없는 환경성 진폐증 환자로 판단된다. 8명의 환경성 진폐증 사례는 연료단지로부터 0.3~1.1 km 지역에서 확인되었다. 환경성 진폐증 환자는 일부 사례를 제외하고 모두 1 km 안쪽 지역에서 확인되었으며, 안심연료단지 주변지역에서 20년 이상 거주하였다.

4. 이 연구를 수행한 결과 대상지역에 위치하고 있는 관련공장에서 발생하는 환경오염물질은 주변지역의 환경과 지역주민들에게 일부 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 특히 대상지역의 영향권 모델에서 추정한 바와 같이 안심연료단지 일부 지역은 분진의 농도가 높은 겨울철에 북서풍의 영향을 강하게 받아 1 km 내·외 지점까지 일부 영향이 미치고 있는 것으로 추정된다. 결론적으로 안심연료단지에 위치하고 있는 연탄공장에서 발생하는 다양한 형태의 비산먼지는 주변지역 환경에 일부 영향을 미치고 있는 것으로 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 SJ, Kim W. Status of benzene exposure and suggested countermeasures for petrochemical works in the Yeosu Industrial Complex. J Korean Soc Occup Environ Hyg 2007;17(4):310-321
- Choi SW, Lee CK. A prediction of the effect fugitive dust emitted from the Ansim flue complex in Dong-gu. Journal of Nakdonggang Environmental Research Institute, Keimyung university, 2011;6:72-85
- Cho SW, Min BC, Jung JH, Jeon YH, Kim DY et al. A study on desulfurization by anthracite-bituminous coal

- blend combustion in a fluidized bed. Korean Society of Environmental Health, 1997;23(3):102-108
- Jeong JH, Oh IB, Ko DK, Kim YK. The Characteristics of Seasonal Wind Fields around the Pohang Using Cluster Analysis and Detailed Meteorological Model. J. Korean Soc. Atmos. Environ. 2011;20(6):737-753 (in Korean with English abstract)
- 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, 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
- Kang WH, Kim YK, Oh IB, Hwang MK, Song SK. Modeling the Impacts of Increased Urbanization on Local Meteorology in the Greater Seoul Area. Journal of Environmental Science. 2010;19(12):1361-1374
- Lee HD, Yoo JW, Kang MK, Kang JS, Jung JH et al. Evaluation of concentrations and source contribution of PM₁₀ and SO₂ emitted from industrial complexes in Ulsan, Korea: Interfacing of the WRF - CALPUFF modeling tools, Atmospheric Pollution Research. 2014;5:664-676
- National Institute of Environmental Research(NIER). Improvement of estimating method with discharge amount of fugitive dust and development of real time measurement method for resuspended dust in road - Report I, II. 2008
- National Institute of Environmental Research(NIER). The monitoring study on exposure level and biomarker of environmental pollutants in the Pohang industrial complex(3rd annual report). 2008
- National Institute of Environmental Research(NIER). Handbook of estimating method for discharge amount of air pollutants in Korea (II). 2010
- 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
- Scire, J.S., Robe, F.R., Fernau, M.E., Yamartino, R.J., A user's guide for the CALMET meteorological model. Earth Tech, Inc.. 2000a. 2000;332
- Scire, J.S., Strimaitis, D.G., Yamartino, R.J., A user's guide

- for the CALPUFF dispersion model. Earth Tech, Inc., 2000b. 2000:521
- Skamarock, W.C., J. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, W et al. Powers. A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Technical Note, NCAR/TN-468+STR. Mesoscale and Micro scale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA. 2008
- Stunder, B. NCEP model output-FNL archive data, Tech. Rep. TD-6141, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD (Available at<http://www.arl.noaa>). 1997
- Wang, W., C. Bruyère, M. Duda, J. Dudhia, D. Gill, H.-C. et al. ARW Version 3 modeling system user's guide Mesoscale and Microscale Division, NCAR: Boulder, USA. 2009