

포항지역 오염물질 보건·환경 위해성 평가 -미세먼지의 발생특성 및 농도분포를 중심으로-

정종현¹, 최원준², 임헌호³, 손병현^{4*}

¹서라벌대학 보건의료행정과, ²한국에너지기술연구원 온실가스연구단,
³부산대학교 대기과학과, ⁴한서대학교 환경공학과

Health and Environmental Risk Assessment of Pollutants in Pohang -Occurrence Characteristics and Concentration Distribution of PM10-

Jong-Hyeon Jung¹, Won-Joon Choi², Heon Ho Leem³ and Byung-Hyun Shon^{4*}

¹Department of Health and Medical Administration, Sorabol College

²Greenhouse Gas Research Center, Korea Institute of Energy Research

³Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University

⁴Department of Environmental Engineering, Hanseo University

요약 본 연구는 포항지역 환경오염물질의 보건·환경 위해성 평가를 위한 기초연구의 일환이며, 이를 위하여 포항시에 소재한 지역대기자동측정 자료를 이용하여 연별, 계절별 PM₁₀ 농도분포에 대한 현황, 기상특성 및 오염물질 농도분포 분석을 수행하였고, 대기확산 모델(CALPUFF)을 이용하여 농도분포 특성에 대해 정성적, 정량적으로 확인하였다. 포항지역의 PM₁₀ 농도분포를 확인한 결과, 포항지역의 계절별 PM₁₀ 평균농도는 봄(75.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>여름(56.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>겨울(53.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>가을(52.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 봄에는 빈번히 발생하는 황사의 영향으로 높은 농도를 나타내었다. 포항지역 오염원별 PM₁₀ 배출량은 점오염원 62%>이동오염원 33%>면오염원 5% 순이며, 점오염원 중 전체 97%가 철강산업인 제철제강업에서 발생되었다. 포항지역은 PM₁₀의 영향을 많이 받고 있는 지역으로 포항철강공단지역에 대한 환경오염물질 원인배출원에 대한 감시체계의 보완 및 집중관리와 함께 포항지역 주민의 건강 보호를 위하여 보건 및 환경에 악영향을 미치는 위해인자 및 오염물질을 원천적으로 차단하는 작업이 지속적으로 수행되어야 할 시점이다.

Abstract The purpose of this study was to investigate the scientific basic grounds for the assessment of health and environmental diseases resulting from air pollutants in Pohang. For this study, we investigated pollutants, weather characteristics and concentration distribution of fine particles (PM₁₀) yearly and each season, using data from Air Quality Monitoring Stations. The properties of concentration distribution and seasonal fluctuation of PM₁₀ were studied qualitatively and quantitatively using CALPUFF, air dispersion model. The average concentration of PM₁₀ for each season was spring(75.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>summer(56.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>winter(53.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)>fall(52.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). In the case of spring, high concentrations appear due to the Asian dust frequently occurring. The contributions of PM₁₀ classified by the types of pollution source in Pohang were point source 62%>mobile source 33%>area source 5%. An important point is that 97% of emissions were produced from the iron manufacture in steel industry. Therefore, it is necessary to control the emission sources of pollutants and to construct an observation system at Pohang steel industrial complex from now on. It's time to control the risk factors for health and environmental disease to protect the health of resident in Pohang and its neighboring areas.

Key Words : Health, Assessment, Pohang, fine particulate matter(PM₁₀), CALPUFF

본 연구는 경북지역환경기술개발센터의 2008년 환경기술연구개발사업(08-1-40-41-3)과 2009년 환경기술연구개발사업(09-2-40-41-9) 지원으로 일부 수행되었고, 이에 감사드립니다.

*교신저자 : 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

접수일 10년 06월 22일

수정일 10년 07월 05일

게재확정일 10년 07월 06일

1. 서론

포항지역의 산업구조는 철강공업과 같은 중화학공업 위주로 구성되어 있어 대기환경의 악화와 공중보건상 위해를 초래하고 있고, 다양한 형태의 환경성 질환 및 호흡기계 질환을 유발할 가능성이 있어 고농도 오존의 발생 및 황사, 산성비, 휘발성 유기화합물질(VOCs), 환경호르몬 및 미세먼지(PM₁₀) 등과 같은 환경오염물질의 체계적인 관리가 필요한 시점이다. PM₁₀의 경우 대기의 복사 강제력에 직·간접적으로 영향을 주어 지구 및 국지적 기상 및 기후에 큰 영향을 주고[1-3], 시정 악화, 산업활동의 장애, 인간의 호흡기 질환 유발, 그리고 식물의 광합성 작용 억제 등 대기환경 및 생태적으로도 많은 나쁜 영향을 미친다고 지적된 바 있다[4,5].

특히, 미국 환경보호청(US EPA)에서는 국가대기질기준(NAAQS, National Ambient Air Quality Standards)의 총부유분진(TSP)을 규제하기 위해 기준을 제정하였고, 1987년 그 기준을 강화하고 인체유해성을 고려하여 2006년 PM₁₀의 장기기준(연평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 삭제하고 PM_{2.5}의 단기기준(24시간평균 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 강화하였다[6]. 우리나라도 1995년 이후 대기환경기준을 TSP에서 PM₁₀으로 더욱 세분화하여 그 기준을 강화하였으며, 2007년부터 PM_{2.5} 기준설정을 위한 연구를 수행하여 PM_{2.5} 장기기준(연평균 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 단기기준(24시간평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 제안하였다.

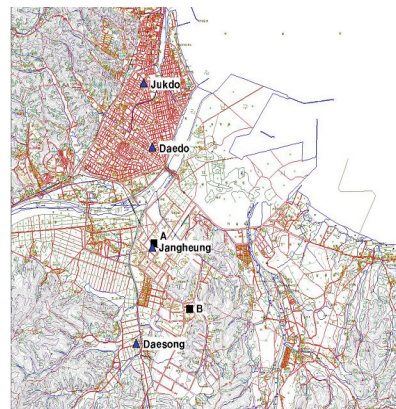
본 연구의 대상지역인 포항시의 경우 지난 2004년까지 PM₁₀ 연평균 농도가 꾸준한 상승세를 보여 포항철강공단이 위치한 장흥동과 대도동의 PM₁₀ 농도가 전국평균을 상회하였으나, 이후 꾸준한 노력으로 감소하는 추세이다. 그러나 아직까지 국가대기환경기준인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하고 있는 실정으므로 효율적인 대기관리 정책수립을 통하여 공단에서 발생하는 PM₁₀ 배출량을 저감할 필요성이 있다. 이를 위해 PM₁₀의 배출현황, 농도분포, 계절별 특성 및 이에 대한 분석이 요구되며, PM₁₀의 농도분포에 매우 중요한 기상환경인 대기유동장의 경우도 매우 다양하고 복잡성을 띠고 있으므로 이에 대한 세밀한 정량적 분석이 필요하다[7-9].

본 연구에서는 포항철강공단에서의 계절별 PM₁₀ 분포와 현황 및 배출원 발생량을 조사하여 포항지역의 대기오염 변화에 따른 객관적이고 효율적인 대기관리 정책수립에 필요한 기초자료를 확보하고자 하며, 또한, CALPUFF[10]. 모델을 활용하여 현재 PM₁₀의 농도분포 분석 및 향후 포항지역의 대기질을 예측하여 PM₁₀의 보건·환경 위해 영향인자 및 저감대책 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 대상지역의 선정 및 분석

본 연구 대상지역인 포항시에는 포항철강공업단지가 위치하고 있으며, 철근·형강·주물 등의 가공업체 외에 건설·운수·하역 등의 지원기업체도 분포하고 있다[11]. 본 연구에서는 대상지역의 PM₁₀을 파악하기 위해 포항지역에 설치된 4개의 대기오염자동측정망 자료(2003~2007년)를 토대로 PM₁₀ 농도분포를 살펴보았다. 또한, 포항철강공단지역의 실제 현황값을 살펴보기 위하여 그림 1에 나타낸 바와 같이 2개 조사지점(동일산업(주)-남구 장흥동(A), 포항철강공단 관리사무소-남구 호동(B))을 선정하였으며, 2008년 6월과 10월 2회에 걸쳐 미국 MET ONE社(BAM-1020)와 Andersen社(FH62C14)의 분석기를 이용하여 PM₁₀을 측정하였다.



[그림 1] 포항지역의 대기오염자동측정망(●)과 PM₁₀ 측정위치(■).

2.2 보건·환경 영향인자 및 농도분포 분석

PM₁₀의 보건·환경 위해성 평가를 위한 기초연구의 일환으로 포항 및 인근 지역 대기오염물질의 직·간접 영향인자를 조사하고, 배출원별 사업장 업종분류 및 기상자료조사 등을 바탕으로 대기질자동측정망의 측정자료를 이용한 지역별, 계절별 PM₁₀ 오염특성을 분석하였다. 공업지역인 장흥동, 상업지역인 죽도동, 그리고 주거지역인 대도동과 대송면에 위치한 4곳의 대기질 자동측정소에서 5년(2003~2007) 동안 관측한 시간별 PM₁₀ 농도를 자료를 이용하여 계절평균 및 연평균 자료를 분석하였다. PM₁₀의 추세성 및 배출량을 살펴보기 위해 공단지역의 배출원을 조사하고 대기보전 정책시스템(Clean Air Policy Support System, CAPSS) 및 PM₁₀ 발생량 산정방법에 따라 오염원별 PM₁₀의 배출량을 산정·비교하였다.

또한, PM₁₀의 농도분포를 분석하기 위하여 CALPUFF 모델을 이용하였다. 이 모델의 대상영역은 수십 m ~ 수백 km까지이고, 비정상상태모델로서 해륙풍 순환과 같은 풍향변화를 나타내는 지역에 유용한 모델이므로 우리나라와 같이 삼면이 바다로 되어 있고 도시나 공단 등이 해안지역에 위치하여 해륙풍의 영향을 받는 경우에 적합한 모델이다[12].

기상 입력자료는 송도동에 위치한 포항기상대 및 5지점의 자동기상관측자료에 대하여 2005년 1월 1일 00LST 부터 2005년 12월 31일 24LST까지의 시간별 수평기상 관측자료 및 연직 관측자료를 입력하였다. 이 자료를 토대로 CALMET¹⁰⁾을 수행하여 대기질 확산모델링에 필요한 3차원 기상 입력자료를 생성하여 계산하였다. 지형 입력자료는 MM5에서 지원하는 USGS DEM (Digital Elevation Model) 상세 지형자료를 적용하였으며, 격자는 포항시를 중심으로 1 km 간격으로 동서방향 50 km(TM 좌표 : 390 km~439 km), 남북방향 50 km(TM 좌표 : 253 km~302 km)로 구성하였다. 배출량 입력자료는 환경부에서 제공하는 CAPSS 자료 및 점·면오염원과 도로·비도로오염원의 배출계수를 이용하여 산정한 배출량을 고려하여 입력하였다[13-16].

3. 결과 및 고찰

3.1 기상분석

포항지역의 2003~2007년 기상자료[17,18] 분석결과, 연평균기온 14.5℃로 온화하고 계절별 평균기온은 봄 13.8℃, 여름 24.1℃, 가을 16.5℃, 겨울 3.8℃로 나타났다. 연평균 총강수량은 1,313.2 mm로, 봄 226.5 mm, 여름 646.9 mm, 가을 348.7 mm, 겨울 91.2 mm 이며, 6,7,8월의 강수량이 전체 강수량의 49.9%로 집중호우의 형태를 보였다. 포항지역의 주풍향은 남서풍 내지 남남서풍이 가장 우세하게 나타났으며, 다음으로 북동풍 내지 북북동풍계열의 바람이 우세하였다. 봄철(3~5월)의 가장 우세한 풍향은 남서풍계열이었으며, 남동 내지 북서풍계열의 바람은 미약하였으며, 무풍상태는 34.97%를 보였다. 여름철(6~8월)의 경우 남남서풍이 우세하였고, 남서풍 및 북동풍계열의 바람도 다소 우세하였다. 남동풍계열과 북서풍계열은 미약하였으며, 무풍상태는 37.16%를 보였다. 가을철(9~11월)의 우세한 풍향은 남서풍으로서 12% 이상이였다. 그러나 남동풍계열 및 북서풍계열의 바람은 미약하였으며 무풍상태는 35.52%로 나타났다. 겨울철(12~2월) 역시 남서풍이 가장 우세한 반면, 북풍 내지 동풍계열은 현저하게 낮은 빈도를 보였으며, 무풍상태(34.06%)도 가장 낮은 경향

을 보였다.

3.2 포항지역 PM₁₀ 영향 분석

3.2.1 포항철강공단 내 PM₁₀ 현황

표 1은 포항철강공단 내 PM₁₀ 현황을 살펴보기 위하여 2008년 6월과 10월, 2회에 걸쳐 PM₁₀을 측정된 결과이다. 표 1에 나타난 바와 같이 6월 제1차 현장조사시 동일산업(주)(A)와 포항철강공단관리사무소(B)에서 측정된 PM₁₀의 농도는 각각 50.5~56.5 μg/m³, 52.6~59.9 μg/m³, 제2차 현장조사 역시 각각 67.3~70.2 μg/m³과 57.6~65.1 μg/m³으로 연간 환경기준(50 μg/m³)은 초과하나 24시간 환경기준(100 μg/m³)은 만족하는 것으로 나타났다. 한편, 동일한 날에 A 지점 측정값을 인근지역인 장흥동 자동측정소의 측정값(제1차 44~60 μg/m³, 제2차 59~77 μg/m³)과 비교시 평균표준편차는 ±3~12%로 6/15일을 제외하고는 비교적 유사한 값을 나타내었다. 그리고, 2007년 측정자료(여름 71.7 μg/m³, 가을 71.4 μg/m³)와 비교시 2008년 측정값은 여름에는 낮아졌고, 가을에는 유사한 것으로 나타났으며[19], 이는 2004년부터 꾸준히 감소하는 경향과 일치하는 것으로 나타났다.

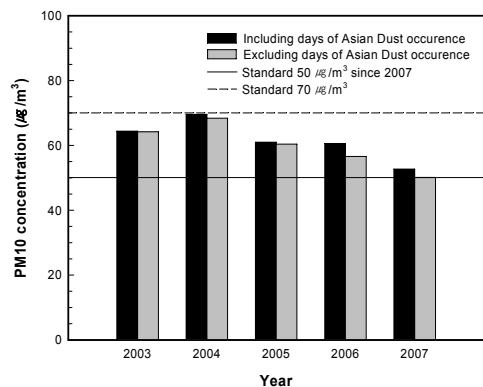
[표 1] 포항철강공단의 PM₁₀ 농도.

위치	1st			2nd		
	6/13-14	6/14-15	6/15-16	10/7-8	10/8-9	10/9-10
A	56.5	50.5	56.4	67.3	69.5	70.2
B	59.9	56.7	52.6	57.6	62.8	65.1
장흥동 ²⁾	60	49	44	71	59	77

2) air quality monitoring network

3.2.2 PM₁₀의 연변화 특성

그림 2는 2003~2007년 포항지역의 황사발생일을 포함한 경우와 제외한 경우의 PM₁₀ 연변화를 나타낸 것이다.



[그림 2] 2003-2007년 사이 포항시의 PM₁₀ 농도 비교.

황사가 포함된 PM₁₀ 농도의 연변화를 보면, 2003년에 64.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2004년에 69.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2005년에 61.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2006년에 60.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2007년에 52.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내어 2010년 현재 국가대기환경기준인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였다. 그러나 자연적으로 발생하는 황사는 인위적으로 저감할 수 없는 사항이므로 환경기준달성여부를 기준으로 황사 발생일을 제외하는 것이 바람직하다고 판단된다. 황사를 제외한 PM₁₀ 농도를 보면, 2003년에 64.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내어 황사를 포함했을 때에 비해 0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 작았으며, 2004년은 68.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도, 2005년은 60.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도, 2006년은 56.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 4.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도, 2007년은 50.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 2.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 작게 나타났다[19]. 즉, 포항지역은 황사를 제외하더라도 2007년 기준으로 50.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타내어 2007년 연평균대기환경기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 나타내어 보건 및 환경에 악영향을 미치는 위해인자 및 환경오염물질을 지속적으로 차단하여야 할 시점으로 판단된다.

3.2.3 PM₁₀의 계절별 특성

표 2와 표 3은 2003~2007년 포항지역의 황사발생일을 포함한 경우와 제외한 경우의 측정소별 PM₁₀의 계절별 변화(봄 3~5월; 여름 6~8월; 가을 9~11월; 겨울 12~2월)를 나타낸 것이다[19].

먼저, 2003~2007년, 5년 동안에 대한 포항지역의 황사 발생일을 포함한 경우와 제외한 경우의 측정소별 PM₁₀ 5년 평균농도에 대해서 황사가 포함된 경우의 측정소별 PM₁₀ 평균 농도는 장흥동에서 76.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 죽도동에서 52.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대도동에서 62.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대송면에서 48.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내었고 황사를 제외한 경우의 PM₁₀ 농도를 보면, 죽도동에서 74.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내어 황사가 포함했을 때에 비해 1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 작았으며, 죽도동은 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대도동은 1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대송면은 3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 작게 나타났다. 2007년 전의 연간평균치(70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 초과한 지역은 본 연구 대상 지역이며 공업지역인 장흥동이었으며, 현재 연간평균치(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 이하인 지역은 주거지역인 대송면으로 48.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내었다. 그리고 봄철이 75.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 다음이 여름(56.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 겨울(53.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었고, 가을이 가장 낮은 52.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 봄철은 빈번히 발생하는 황사의 영향으로 높은 농도를 나타내었고, 여름, 가을, 겨울은 약 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 비슷한 농도분포를 나타내었다. 장흥동의 경우 봄철이 93.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 다음이 여름(71.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 가을(71.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었고, 겨울이 가장 낮은 67.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 죽도동과 대도동의 경우 봄철의 PM₁₀ 농도가 가장 높고, 다음이 겨울, 여름이었고, 가을이 가장 낮았다. 대송면의 경우 역시 봄철의

농도가 67.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 다음이 여름(48.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 가을(41.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었고, 겨울이 가장 낮은 35.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다[19].

여름에는 혼합고가 높아 대기의 확산능력이 강할 뿐만 아니라, 강우량과 강우빈도가 늦여름에 집중됨으로서 오염된 공기를 세정시키는 효과가 있기 때문에 여름의 PM₁₀ 농도는 낮아지는 경향이 있다. 겨울철에는 표면의 냉각효과로 인해 대기가 정체하는 빈도가 높고, 특히 포항지역은 대기환경보전법 시행령에 따라 2007년 10월 이전에는 대기질 규제치가 허술한 0.5% 황 함유 B-C 중유를 자유롭게 사용하는 지역(2009년 1월부터 0.3% 이하 황 함유 B-C 중유)으로 분류되어 포항지역 시민의 건강을 저해하여 왔다. 이에 많은 환경분야 추진정책 중에서 특히 대기관리 및 대기정책 분야의 경우 다수의 문제점을 안고 있는 실정이었다. 따라서 난방을 위한 연료사용의 증가와 여름과 가을철에 비해 혼합고가 낮기 때문에[19] 오염물질의 확산이 어려워 상대적으로 PM₁₀의 농도가 높아진다.

[표 2] 2003-2007년 사이 포항지역의 황사를 포함한 경우의 계절별 PM₁₀ 농도.

위치	용도	계절 평균 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		봄	여름	가을	겨울
장흥	산업	93.9	71.7	71.4	67.4
죽도	산업	70.6	48.5	41.0	49.2
대도	주거	71.4	58.7	56.9	61.7
대송	주거	67.0	48.3	41.6	35.9
Mean		75.7	56.8	52.7	53.6

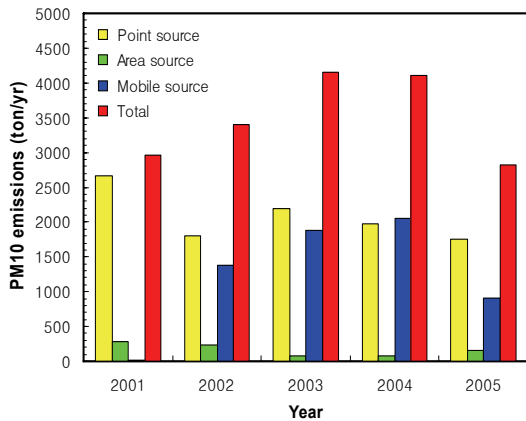
[표 3] 2003-2007년 사이 포항지역의 황사를 포함하지 않은 경우의 계절별 PM₁₀ 농도.

위치	용도	계절 평균 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
		봄	여름	가을	겨울
장흥	산업	88.0	71.7	71.1	67.3
죽도	산업	66.3	48.5	40.9	49.1
대도	주거	66.5	58.7	56.8	61.6
대송	주거	54.1	48.3	41.0	35.8
Mean		68.7	56.8	52.4	53.4

3.3 PM₁₀ 배출량 분석 및 추세

환경부 CAPSS 자료의 년도별(2001~2005년) PM₁₀ 배출량, 점·면오염원 배출량 및 도로와 비도로오염원을 고려한 배출계수를 이용하여 산정한 이동오염원 등 배출원별 PM₁₀ 발생량 변화를 그림 3에 나타내었다. 총배출량은 2001년(총배출량 2959.71 ton/yr, 점오염원 2670.67 ton/yr, 면오염원 279.40 ton/yr, 이동오염원 9.64 ton/yr)에

서 2004년(총배출량 4118.08 ton/yr, 점오염원 1981.01 ton/yr, 면오염원 78.28 ton/yr, 이동오염원 2058.79 ton/yr) 까지 꾸준히 증가하다가 2005년(총배출량 2824.40 ton/yr, 점오염원 1761.55 ton/yr, 면오염원 151.07 ton/yr, 이동오염원 911.78 ton/yr)에는 감소한 것으로 나타났는데, 이는 2005년 이동오염원 배출량의 급감한 것에 따른 영향으로 자동차 등록대수는 꾸준히 증가하는 추세이나 정부의 PM₁₀ 저감대책에 따른 LNG 버스의 도입, 승용차의 LPG 차량 증가로 인한 감소 때문인 것으로 판단된다. 아울러, 점오염원은 저감대책을 통하여 2001년 최고 2670.67 ton/yr에서 2005년 1761.55 ton/yr로 약 1000 ton/yr 감소하였다. 한편, 포항공단 내 PM₁₀ 배출량은 대표적으로 2005년도에 경우 점오염원 62.4%, 면오염원 5.3%, 이동오염원 32.3%의 비율로 나타났다[19].

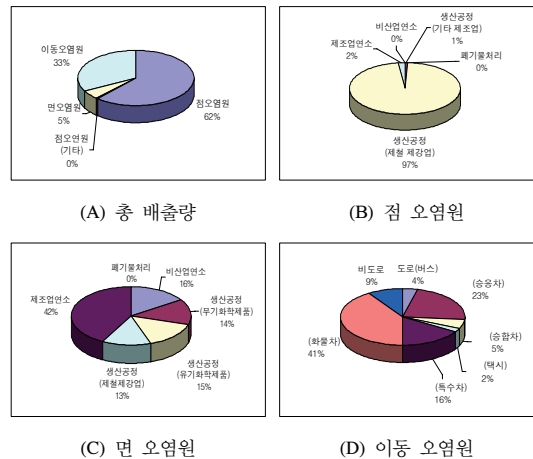


[그림 3] 년도별(2001~2005년) 배출원별 PM₁₀ 배출량.

포항지역 및 철강공단에 대한 발생원별 PM₁₀의 배출량을 살펴보기 위해 대표적으로 2005년도 대기배출량 자료를 통한 점·면·이동오염원의 배출원을 그림 4에 나타내었다. 그림 4(A)에서 보는 바와 같이 점오염원 62%, 이동오염원 33%, 면오염원 5% 순으로 철강공단 내 굴뚝에서 발생하는 PM₁₀의 비중이 가장 큰 것으로 나타났다. 그림 4(B)는 점오염원에 대한 발생원별 배출량을 나타낸 것으로 철강공단 내 PM₁₀ 점오염원 발생원인 제조업연소, 비산업연소, 생산공정, 폐기물처리 중 약 98%가 생산공정에서 배출되고 있었으며, 특히 전체 97%가 제철제강업에서 발생하는 것으로 조사되었다. 그림 4(C)는 면오염원으로 철강공단 내 PM₁₀ 발생원인 제조업연소, 비산업연소, 생산공정, 폐기물처리 중 제조업연소 42%, 생산공정 42%, 비산업연소 16%로 점오염원과 같이 생산공정의 비중이 많이 차지하였으며, 생산공정 중 유기화학제품

15%, 무기화학제품 14%, 제철제강업 13% 순으로 PM₁₀ 발생을 증가시키는 원인인 것으로 조사되었다. 그림 4(D)는 이동오염원에 대한 것으로 화물차에 의한 배출량이 41%로 가장 많은 비중을 차지하였다.

전체적으로 점오염원에 해당하는 제철제강업이 포항 철강공단 내 총 배출량 중 약 62%를 차지하는 것으로 조사되어 그 비중이 매우 큰 것으로 조사되었으며[19], 이에 대한 적극적인 저감대책이 필요한 것으로 판단된다.



[그림 4] 포항지역 배출원별 미세먼지(PM₁₀) 분포

3.3.1 CALPUFF를 이용한 PM₁₀농도 분포

(1) 모델링 검증 및 평가

계절 및 측정소별 CALPUFF를 이용한 대기질 확산모델링 결과를 포항지역 대기자동차측정망에서 측정된 결과와 비교하여 관측한 자료와 비교하여 그 성능을 검증 및 평가하였으며, 그 결과를 표 4에 나타내었다. 표 4에서 확인한 바와 같이 계절별 또는 측정소별로 약간의 차이는 있으나 유사한 경향으로 나타났으며, 속도동의 경우 계절별 모델 예측값(봄 62.9, 여름, 53.0, 가을 40.5, 겨울 35.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)은 측정값(봄 61.1, 여름, 56.4, 가을 41.5, 겨울 28.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 거의 일치하는 것으로 나타났다.

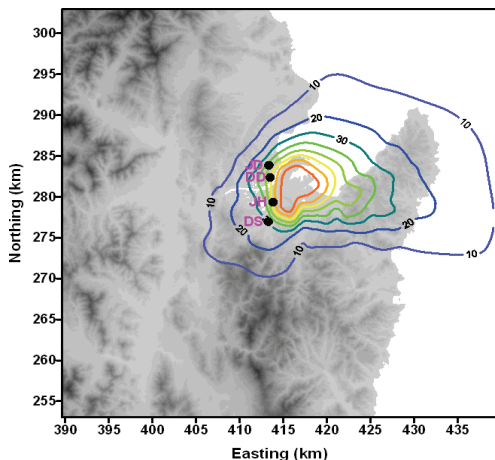
대기질자동차측정망 4지점에서 측정된 2005년 PM₁₀ 연평균 농도와 CALPUFF를 이용한 대기질 확산모델링 예측결과 각각 59.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 52.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 따라서 계절별 또는 측정소별로 약간의 차이는 있으나 전체적으로 모델링이 조금 과소평가함을 알 수 있는 가운데 유사한 경향으로 나타나므로 포항지역의 PM₁₀ 농도분포 분석을 위한 CALPUFF를 이용한 대기질 확산모델링 적용은 적합할 것으로 판단된다[19].

[표 4] 2005년도 포항시의 모델에 의한 예측값과 자동측정망 자료의 PM₁₀ 농도에 대한 비교.

계절	계적평균 (측정값/예측값) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	장흥동	죽도	대도	대송
봄	90.7/79.6	62.9/61.1	78.9/70.3	59.3/45.8
여름	82.8/70.5	53.0/56.4	68.6/63.2	59.3/35.5
가을	77.8/67.0	40.5/41.5	59.7/55.0	48.1/47.4
겨울	48.3/44.6	35.3/28.6	60.3/39.2	32.2/28.4
평균	74.9/65.6	47.9/46.9	66.9/56.9	49.7/39.3

(2) 포항지역 PM₁₀ 농도분포

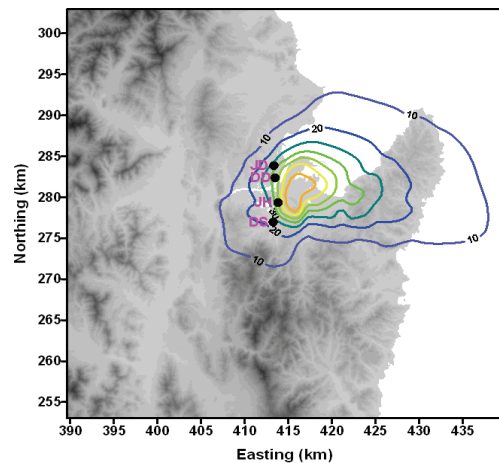
CALPUFF를 이용한 대기질 확산모델링 결과를 토대로 포항지역의 연평균 PM₁₀ 공간분포를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 대부분의 포항지역이 약 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 가운데 포항 도심지역으로는 약 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 분석되었다. 특히, 장흥동 및 기타 지역으로 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 PM₁₀ 고농도 분포 특성을 나타내고 있으며, 장흥동 측정망 북동쪽으로 반경 3.5 km 지역으로는 약 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 PM₁₀ 고농도 분포를 나타내고 있다. 한편, 겨울철의 경우 다른 계절에 비해 PM₁₀ 농도가 낮은 가운데 남동쪽으로 편향되어 확산되는 것으로 분석되었다. 이는 겨울철의 계절풍인 강한 서북서풍이 포항지역에서의 PM₁₀의 확산에 큰 영향을 미친 것으로 분석되었다 [19].



[그림 5] 2005년도 포항지역의 PM₁₀ 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 분포.

(3) 오염원 저감 및 배출량 삭감에 따른 농도분포 예측
포항지역에서 배출되는 PM₁₀의 양을 저감시킴으로써 나타나는 효과를 확인하기 위하여 2005년 기준 PM₁₀ 배출량을 저감하여 모델링을 수행하여 그 결과를 그림 6에

나타내었다. 그림 6에서 확인한 바와 같이 PM₁₀ 농도분포는 그림 5에서 예측한 PM₁₀ 현황 농도분포와 유사한 가운데 포항지역 전반에 걸쳐 약 11~19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 농도 감소를 나타내고 있다. 또한 장흥동 지역대기자동측정망 주변 및 그 북동쪽으로는 다른 지역보다 다소 높은 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 PM₁₀ 농도 분포를 나타내고 있으나 이는 PM₁₀의 현황 농도에 비해 다소 감소된 것으로 분석된다. 다른 계절에 비해 상대적으로 높은 봄철 및 여름철의 경우 장흥동 지역에서부터 북동쪽 방향으로 3 km 내외의 지역은 약 55~70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도의 최고 농도 분포를 나타내었다. 한편, 지역대기질측정망이 위치한 4지점의 연평균 농도 모두 대기환경기준치(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이하로[19] 나타났다.



[그림 6] 2005년도 배출량의 70% 배출시 포항지역의 연간 PM₁₀ 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 분포.

본 연구에서 확인한 바와 같이 포항지역 PM₁₀ 배출량을 2005년 기준 배출량(2824.40 ton/yr)보다 적극적으로 저감할 경우 연평균 환경기준을 만족할 것으로 예상된다. 포항철강공단 및 기타 지역은 PM₁₀의 영향을 많이 받고 있는 지역으로 포항철강공단지역에 대한 환경오염물질 원인배출원에 대한 감시체계의 보완 및 집중관리와 함께 포항지역 주민의 건강 보호를 위하여 보건 및 환경에 악영향을 미치는 위해인자 및 오염물질을 원천적으로 차단하는 작업이 지속적으로 수행되어야 할 시점이다. 산업공정에서 발생된 오염물질과 함께 이동 오염원에 의한 수송 및 가정과 산업체 연료 등 에너지 소비량의 증대로 인하여 대기오염의 관리가 요구되는 포항지역은 이를 저감하기 위한 체계적인 대책을 제시할 시점으로 사료되며, 객관적이고 효율적인 대기관리 정책수립을 위한 구체적인 보완자료의 추가 확보가 요구된다. 또한, 제작차 배출허용기준 강화, 경유차의 천연가스차량 대체, 자동차 배

출가스 검사강화, 경유차 배출가스 저감장치(DPF) 부착 등과[20] 함께 이동오염원 PM₁₀ 배출량을 최대 30~40% 저감하기 위한 적극적인 대책이 필요한 시점이다.

4. 결론

본 연구에서는 포항지역 환경오염물질의 보건·환경 위해성 평가를 위한 기초연구의 일환으로 수행되었고, PM₁₀의 오염특성 평가 및 농도분포 분석을 통하여 보건 및 환경영향 인자를 확인하기 위하여 포항시에 소재한 지역대기자동측정 자료를 이용하여 연별, 계절별 PM₁₀ 농도분포에 대한 현황 및 기상특성을 조사하였고, 대기확산 모델(CALPUFF)을 이용하여 농도분포 특성에 대해 정성적, 정량적으로 확인하였으며, 이상의 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 포항철강공단 주변 현장조사 결과, PM₁₀ 농도는 50.5~70.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 연평균 기준은 초과하나 24시간 평균 기준에는 하회하는 것으로 조사되었다. 포항지역의 대기오염물질 중 PM₁₀ 농도분포를 확인한 결과, 포항지역의 계절별 PM₁₀ 평균농도는 봄(75.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > 여름(56.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > 겨울(53.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) > 가을(52.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 봄에는 빈번히 발생하는 황사의 영향으로 높은 농도를 나타내었고, 여름, 가을, 겨울은 약 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 비슷한 농도분포를 나타내었다. 포항지역은 PM₁₀의 영향을 많이 받고 있는 지역으로 포항철강공단지역에 대한 환경오염물질 원인배출원에 대한 감시체계의 보완 및 집중관리와 함께 포항지역 주민의 건강 보호를 위하여 보건 및 환경에 악영향을 미치는 위해인자 및 오염물질을 원천적으로 차단하는 작업이 지속적으로 수행되어야 할 시점이다.
2. 포항지역 오염원별 PM₁₀ 배출량은 점오염원 62% > 이동오염원 33% > 면오염원 5% 순이며, 점오염원 중 전체 97%가 철강산업인 제철제강업에서 발생되었다. 특히 제철제강업은 포항 철강공단 내 총 배출량 중 62%로 조사되어 그 비중이 매우 크므로 이에 대한 저감대책이 필요하다. 포항지역의 PM₁₀ 농도분포 분석을 위한 CALPUFF 확산모델링 적용은 적합하였으며, 장흥동 및 기타 지역으로 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 고농도 분포 특성을 나타내어 향후 이 지역에 대한 PM₁₀ 저감대책 마련이 요구되었다. 아울러, 포항지역 PM₁₀ 배출량을 적극적으로 저감할 경우, 지역대기질자동측정망 모든 지역에서 연평균 대기환경기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 효과적으로 달성할 것으로 예측

되었다.

참고문헌

- [1] Walko, R. L., Tremback, C. J., Pielke, R. A., Cotton, W. R. : An interactive nesting algorithm for stretched grids and variable nesting ratios. *Journal of Applied Meteorology*, 34, 994-999, 1995.
- [2] Choi, B. W., Jung, J. H., Choi, W. J., Shon, B. H., Oh, K. J. : Characteristics of the Distribution of High Ambient Air Pollutants with Sources and Weather Condition in Ulsan. *Korean Journal of Environmental Health*, 32(4), 324-335, 2006.
- [3] Choi, B. W., Jung, J. H., Choi, W. J., Jeon, C. J., Shon, B. H. : Distribution characteristics of ambient heavy metals based on the pollution source and their carcinogenic risk assessment in Ulsan, Korea. *Korean Journal of Environmental Health*, 32(5), 522-531, 2006.
- [4] Jang, Y. G., Kim, I. S. : Estimation of fugitive dust emission and impact assessment by MKCHANICAL and Fugitive Dust Model on a unpaved road. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 9(4), 257-269, 2000.
- [5] Kim, Y. S., Lee, N. H. : A study on estimation and dispersion analysis of fugitive dust in amount the large scale construction. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 9(3), 257-269, 2000.
- [6] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) Homepage : <http://www.epa.gov/> Accessed June 1, 2010.
- [7] Lee, H. W., Won, G. M., Bae, S. J. : The prediction and evaluation air pollutants concentration around industrial complex by using atmospheric dispersion models. *Journal of the Environmental Sciences*, 8(4), 485-490, 2004.
- [8] Jung, J. H., Shon, B. H., Jung, D. Y., Kim, H. G., Lee, H. H. : Emission properties of hazardous air pollutants in solid waste incinerator. *Korean Journal of Environmental Health*, 29(5), 17-26, 2003.
- [9] Jung, J. H., Jung, M. H., Shon, B. H., Lee, K. J., Seo, J. H. : Weathering and deterioration characteristics of the stone cultural properties in Bulguksa and its surroundings -Dabotap and Three Storied Stone Pagoda at Bulguksa-. *Silla Munhwa*, 31, 107-135, 2008.
- [10] U.S. EPA, User's guide to the building profile input program, EPA-454/R-93-038, 1993.
- [11] Pohang Steel Industry Complex Homepage : <http://www.phsic.or.kr/> Accessed June 1, 2010.

- [12] Koo, Y. S., Kim, Y. K., Song, S. H., Kim, S. T. : A study of odor modeling method using the CALPUFF & ISCST3 models. *Journal of Natural Science*, 9, 115-140. 2002.
- [13] Jang, Y. G., Song, D. W. : Review of air pollution modeling in Korea. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 11(1), 1-14, 1995.
- [14] Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J. M., Holben, B., Dubovik, O., Lin, S. J. : Source and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *Journal of Geophysical Research*, 103(20), 255-273, 2001.
- [15] Chang, Y. S., Arndt, R. L., Carmichael, G. R. : Mineral base-cation deposition in Asia. *Atmospheric Environment*, 30, 2417-2427, 1996.
- [16] Gillette, D. A., Passi, R. : Modeling dust emission caused by wind erosion. *Journal of Geophysical Research*, 93(14), 233-242, 2003.
- [17] Jung, J. H. : 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.
- [18] Monthly weather report : <http://www.kma.go.kr/>, Accessed March 30, 2008.
- [19] Jung, J. H., Choi, W. J., Leem, H. H., Choi, B. W., Jung, J. Y., : A study on the cause investigation of increasing fine particles(PM10) and reduction plans in Pohang steel industrial complex, GENTEC Report(08-1-40-41-3), 2009.
- [20] Han, H. J. : A study emission-cap regulation and emissions trading for air pollution control in Korea, Korea Environment Institute, Seoul, 2002.

정 종 현(Jong-Hyeon Jung) [정회원]



- 1995년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학석사)
- 1999년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학박사)
- 2008년 2월 : 대구한의대학교 보건학과(보건학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 서라벌대학 보건의료행정과 조교수

<관심분야>

보건학, 환경학, 보건·환경역학, 문화재보존과학, 대기

최 원 준(Won-Joon Choi) [정회원]



- 2000년 2월 : 한국해양대학교 환경공학과(공학사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 2008년 10월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 온실가스연구단 연구원

<관심분야>

대기오염제어, 이산화탄소 흡수

임 현 호(Heon-Ho Lim) [정회원]



- 1996년 2월 : 부산대학교 대기과학(공학사)
- 2000년 2월 : 부산대학교 대기과학(공학석사)
- 2006년 2월 : 부산대학교 대기과학(공학박사)
- 2007년 2월 ~ 현재 : 부산대학교 기초과학연구원 전임연구원

<관심분야>

항공기상, 대기모델링, 대기과학

손 병 현(Byung-Hyun Shon) [정회원]



- 1990년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

대기오염제어, 폐기물처리, 이산화탄소 흡수