

## 포항철강공단 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 입경분포 및 화학적 특성

정중현<sup>1</sup>, 이형돈<sup>2</sup>, 전수빈<sup>2</sup>, 유정근<sup>3</sup>, 손병현<sup>4\*</sup>  
<sup>1</sup>대구한의대학교 보건학부, <sup>2</sup>부산대학교 사회환경시스템공학과  
<sup>3</sup>한서대학교 화학공학과, <sup>4</sup>한서대학교 환경공학과

## Chemical Characteristics and Particle Size Distribution of PM<sub>10</sub> in Iron and Steel Industrial Complex

Jong-Hyeon Jung<sup>1</sup>, Hyung-Don Lee<sup>2</sup>, Soo-Bin Jeon<sup>2</sup>, Jeong-Kun Yoo<sup>3</sup>  
and Byung-Hyun Shon<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Health Science, Daegu Haany University

<sup>2</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

<sup>3</sup>Dept. of Chemical Engineering, Hanseo University

<sup>4</sup>Dept. of Environmental Engineering, Hanseo University

**요약** 본 논문은 포항철강공단 및 주변지역의 보건 및 환경영향 인자를 확인하기 위하여 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도와 성분을 측정 및 분석하였다. 또한 지역대기자동측정망 자료를 이용하여 연별, 계절별 PM<sub>10</sub> 농도분포를 조사하였다. 공단지역 내 PM<sub>10</sub>을 측정된 결과, 동일산업에서 측정된 PM<sub>10</sub> 평균농도는 61.3±12.1 µg/m<sup>3</sup>, 철강공단관리사무소에서 측정된 PM<sub>10</sub> 평균 농도는 44.3±8.1 µg/m<sup>3</sup>으로 나타나 대기환경기준을 만족하였다. 공단지역 동일산업과 철강공단관리사무소에서 측정된 PM<sub>10</sub> 중 이차생성 이온인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 분율을 확인한 결과, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 분율이 높게 나타났고, 황산염과 관련된 오염 원인이 철강공단지역에 존재하는 것으로 판단된다. 전체적으로 동일산업 지점에서는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > F<sup>-</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 순으로 나타났고, 철강공단관리사무소 지점에서는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > F<sup>-</sup> 순으로 나타났다.

**Abstract** The fine particulate matter(PM<sub>10</sub>) concentrations and contents were measured to check the health and environment influential factors in Pohang Iron and Steel Industrial Complex and its vicinities. In addition, the PM<sub>10</sub> distribution for each year and season was surveyed using the regional air quality monitoring stations. The measuring on the PM<sub>10</sub> inside the industrial complex showed 61.3±12.1 µg/m<sup>3</sup> for average concentration of PM<sub>10</sub> which was measured by Dongil Industry and 44.3±8.1 µg/m<sup>3</sup> measured by steel manufacturing industry complex management office. Both of them satisfied the environmental air quality standard. The percentage of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> which are the secondary ions created out of the PM<sub>10</sub> in Dongil Industry and steel manufacturing industry complex management office was checked and it was revealed that the percentage of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> was high and it is considered that the pollution source related with the sulfides exist at the industrial complex. They were in order of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > F<sup>-</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in Dongil Industry and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > F<sup>-</sup> in steel manufacturing industry complex management office.

**Key Words** : Health, Environmental, Effect, Risk assessment, PM<sub>10</sub>

### 1. 서론

제철공정, 제강공정 및 관련업종 등이 밀집되어 있는

철강공업단지 및 주변지역에서는 환경오염물질이 지속적으로 발생되고 있다. 특히 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 및 중금속 등과 같은 입자상 물질이 고농도로 다량 배출되어 국지적

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며(No. 2012014771), 연구비를 지원하여 주심에 감사드립니다.

\*Corresponding Author : Byung-Hyun Shon

Tel: +82-10-9669-1368 email: bhshon@hanseo.ac.kr

접수일 12년 07월 30일 수정일 (1차 12년 09년 10일, 2차 12년 10월 17일, 3차 12년 10월 29일) 게재확정일 12년 11월 08일

인 대기 환경질을 악화시키고 있으며, 지역주민들에 대한 공중보건상의 악영향과 위해를 유발시키고 있다[1-4]. 대기오염물질 중 미세먼지는 태양 복사를 흡수 또는 산란시키거나 구름 형성과정에 작용하여 지구 및 국지적 기상 및 기후에 영향을 미친다. 또한 시정악화, 산업활동장애, 체감오염도 악화, 건강 피해, 호흡기 질환 유발, 식물의 광합성 작용 등에 악영향을 유발하여 최근 주요한 사회문제로 대두되고 있다. 우리나라의 경우 1990년대 이후 집중적으로 추진되고 있는 대기오염 규제정책으로 인하여 대기환경 수준이 국지적으로 개선되고 있음에도 불구하고, 환경성 질환의 증가, 의료비용의 증가 및 노동력의 상실 등과 같은 사회 이차 비용의 증가문제가 사회전반에 걸쳐 논의되어야 할 시점이다[2,5].

한편, 미세먼지에 의한 많은 영향들 가운데 인체건강과 관련하여 TRAPCA (Traffic-Related Air Pollution and Childhood Ashma)에서는 매연과 초미세먼지 및 질소산화물 등이 천식과 알레르기에 상관관계가 있음을 확인하였다. 미국 및 유럽 각국에서는 자국의 PM<sub>10</sub> 및 대기오염물질 등을 효율적으로 관리하기 위하여 다양한 대기질 개선 및 관리프로그램을 실행하고 있다. 특히, 미국에서는 대기청정법에 MACT (Maximum Achievable Control Technology) 기준을 2000년부터 설정하여 유해대기오염물질에 대한 효율적 관리와 모니터링을 실시하고 있다[2-3]. 우리나라는 1995년 이후 대기환경기준을 PM<sub>10</sub>으로 더욱 세분화하여 그 기준을 강화하였고, 대기측정망(National Ambient Monitoring Information System), 대기환경정책지원시스템(Clean Air Policy Support System), 대기오염물질 배출량(National Air Pollution Emission) 조사시스템과 대기배출원 관리시스템(Stack Emission Management System) 등을 지속적으로 확충하고 있다[4-9].

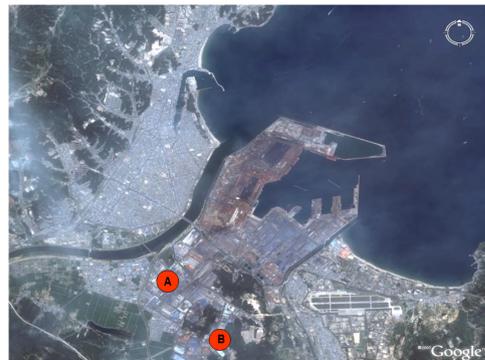
이 연구에서는 포항공단 및 주변지역의 보건 및 환경영향 인자를 확인하기 위하여 PM<sub>10</sub> 농도를 측정하였으며, 대상지역 인근에 소재한 지역대기측정망 자료를 이용하여 연별, 계절별 PM<sub>10</sub> 농도분포와 발생 특성을 조사하였다. 이를 위하여 PM<sub>10</sub> 중의 양이온, 음이온, 중금속 및 미량금속 성분 등을 분석하여 정량하였으며, 이를 토대로 공단지역 PM<sub>10</sub> 저감방안과 정책수립에 필요한 기초자료를 확보하고자 한다.

## 2. 연구대상 및 방법

### 2.1 연구 대상지역

대상지역은 경주시, 영덕군, 청송군, 영천시가 주변을

감싸고 있으며, 면적은 약 8.6 km<sup>2</sup>의 철강공업단지가 자리잡고 있다. 공업단지 내에는 주종인 철근·형강·주물 등의 가공업체 외에 건설·운수·하역 등의 지원기업체가 많이 분포하고 있다. 이 연구에서는 공단지역의 특성을 대표할 수 있도록 지리적 위치와 용도별 특성을 고려하여 그림 1에 나타난 바와 같이 2개 조사지점을 선정하였다. 선정된 관측지점은 동일산업(A)와 철강공단관리사무소(B)로서 남구의 철강산업단지 내에 소재하는 공단지역을 대표하는 지점이다. 시료 채취지점은 철강공단지역에서 발생한 오염물질이 주거지역으로의 이동하는 경로에 위치하고 있다[10].



[그림 1] 대상지역 시료 채취지점.  
[Fig. 1] Sampling point of this study.

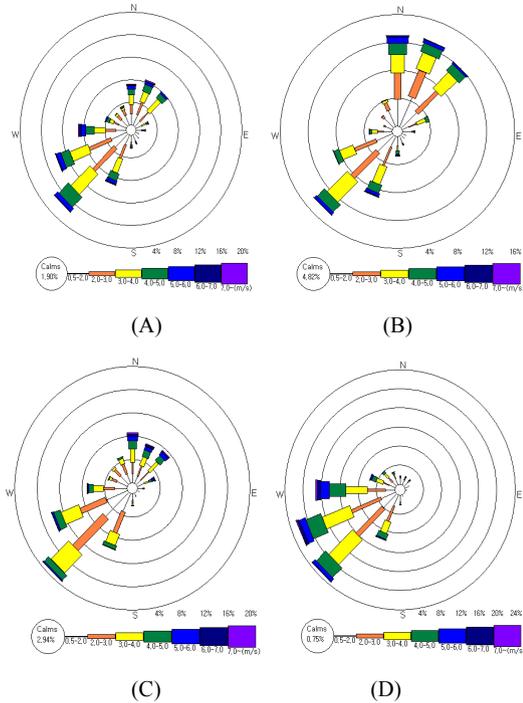
### 2.2 분석방법

PM<sub>10</sub>의 측정은 PM<sub>10</sub> 입자분리장치를 부착한 High Volume Air Sampler(USA Anderson社)를 사용하였으며, 흡인유속을 약 1.0 m<sup>3</sup>/min으로 조정하여 8x10 inch Whatman QM-A Quartz filter에 24시간 시료를 흡인 포집하였다. 포집 여지는 질량분석 후, 미량 금속분석 및 이온성분을 분석하였다. PM<sub>10</sub>의 질량농도를 측정하기 위하여 여과지를 항온, 항습 조건에서 건조기에서 최소 2일간 건조하고, 감도가 0.01 mg인 전자저울로 먼지시료 채취 전·후의 무게를 칭량한 후의 중량차로서 PM<sub>10</sub> 농도를 계산하였다.

PM<sub>10</sub>중의 미량 금속성분을 정량하기 위해 환경대기중 금속시험법을 준용하여 포집된 여지를 전처리하였다. ICP-AES(Varian Liberty II)와 ICP-MS(Varian 820-MS)와 ICP-AES를 이용하여 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 등을 정량하였으며, UV-VIS 흡광광도계(Varian Cary 100)와 이온크로마토그래피(Dionex ICS 1600)를 각각 이용하여 양이온(NH<sup>4+</sup>)과 음이온(F<sup>-</sup>, NO<sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>)을 분석하여 정량하였다[5,8].

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 기상 분석



[그림 2] 계절별 바람장미도. (A) 봄, (B) 여름, (C) 가을, (D) 겨울.  
 [Fig. 2] Wind rose with season. (A) Spring, (B) Summer, (C) Fall, (D) Winter.

이 연구에서는 공단 및 주변지역 국가기상대 자료를 이용하여 최근 10년간(2002~2011)의 기상자료를 확인하였다. 포항시 남구 송도동에 위치한 포항 기상대 자료로부터 분석한 결과 주풍향은 남서풍 내지 남남서풍이 가장 우세하며, 북동풍과 북북동풍계열의 바람이 우세하였다[11]. 그림 2는 계절별 바람장미도를 나타낸 것으로서, 봄철(3~5월)과 여름철(6~8월)은 남남서풍이 우세하였고, 남서풍 및 북동풍계열의 바람도 다소 우세하였다. 대상지역에는 많은 산업체가 분포하고 있으며, 공단 및 인근지역에는 주거지역이 위치하고 있다. 특히 하절기를 포함한 남동 및 남서풍 및 북동풍의 영향으로 철강공단지역에서 발생한 대기오염물질이 주기적으로 주거지역으로의 이동할 것으로 예측된다[12].

#### 3.2 PM<sub>10</sub> 특성분석

##### 3.2.1 PM<sub>10</sub> 측정 및 분석

표 1은 대상지역 측정지점별 PM<sub>10</sub> 측정결과를 나타낸

것이다. 1차 조사기간 동안 A지점에서 측정된 PM<sub>10</sub> 평균농도는 51.5±7.1 μg/m<sup>3</sup>이었고 B지점의 PM<sub>10</sub> 평균농도는 47.9±5.7 μg/m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 24시간 대기환경기준 100 μg/m<sup>3</sup>을 만족하였다. 연속적으로 수행된 2차 조사결과, A지점의 PM<sub>10</sub> 평균농도는 71.1±3.7 μg/m<sup>3</sup>이었으며, B지점의 PM<sub>10</sub> 평균농도는 40.6±7.4 μg/m<sup>3</sup>이었다. 조사기간 동안 A지점에서 측정된 PM<sub>10</sub> 평균농도는 61.3±12.1 μg/m<sup>3</sup>이었고, B지점에서 측정된 PM<sub>10</sub> 평균농도는 44.3±8.1 μg/m<sup>3</sup>이었으며, 24시간 대기환경기준 100 μg/m<sup>3</sup>을 만족하는 것으로 나타났다.

[표 1] 측정지점별 PM<sub>10</sub> 농도. A : 동일산업, B : 철강공단 관리사무소

[Table 1] PM<sub>10</sub> concentrations with sampling point. A: Dongil Industry, B: Steel manufacturing industry complex management office.

| Classification               | A           |                | B           |                |
|------------------------------|-------------|----------------|-------------|----------------|
|                              | 1'st (June) | 2'nd (October) | 1'st (June) | 2'nd (October) |
| PM <sub>10</sub> (Mean±S.D.) | 51.5±7.1    | 71.1±3.7       | 47.9±5.7    | 40.6±7.4       |

##### 3.2.2 PM<sub>10</sub> 중 중량성분과 금속성분 특성

대기 중 크롬과 니켈의 경우, 6가 크롬과 Ni<sub>sub</sub>sulfide의 비율이 약 10% 정도에 해당한다고 평가되기 때문에 실질적으로 총크롬과 총니켈의 연간 권고 기준은 각각 0.0083 μg/m<sup>3</sup>/yr과 Ni 0.0026 μg/m<sup>3</sup>/yr로 나타낼 수 있다. 이 연구에서는 중금속 중 인체에 발암 및 비발암 만성영향을 유발하며, 사업장 배출원에서 발생되고 있는 주요 관심 중금속인 Pb, Cd, Cr<sup>6+</sup>, Cu, Mn, Ni(subsulfide), Zn 등을 대상으로 발암 중금속의 정량적 위해 분류와 농도 기준, 각 항목별 인체에 미치는 위해도 특성을 조사하여 분석하였다. 표 3과 그림 3에서는 측정된 PM<sub>10</sub>와 중금속 분석결과를 국가중금속자동측정망 분석결과 및 G.V.값과 비교하여 나타내었다. 중금속 분석의 경우 1차와 2차에 걸쳐 각각 5회 수행 하여 평균값을 기준으로 Error bar 범위를 나타내었다.

우리나라는 2000년까지는 총부유분진(TSP)을 대기환경기준으로 사용하였으나 2001년부터는 PM<sub>10</sub>으로 대기환경기준을 교체하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 철강공단지역의 보건 및 환경영향 인자를 확인하기 위하여 PM<sub>10</sub>을 채취하여 이중에 포함된 중금속성분을 비롯하여 다양한 성분조사를 수행한 반면, 국가중금속자동측정망의 경우 입경이 10 μm 이상인 먼지까지 포함된 총부유분진(TSP)을 측정하여 분석하였다. 따라서 국가중금속자동

[표 2] 중금속의 정량적 위해 분류와 농도기준[2-3,5,8]  
 [Table 2] Classification and concentration of heavy metals[2-3,5,8]

| Metals           | IRIS, USEPA        |  | IARC, WHO          |  |  | G.V. <sup>f)</sup><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |
|------------------|--------------------|--|--------------------|--|--|--|
|                  | Carcinogenic Group | Unit Risk<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1 a)</sup> | Carcinogenic Group | Unit Risk<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1 d)</sup> | A.C. <sup>e)</sup><br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |  |
| Pb               | B2                 | NA <sup>b)</sup>   | NE <sup>c)</sup>   | NA   | 0.01~2   | 0.5/yr   |
| Cd               | B1                 | $1.8 \times 10^{-3}$                                       | NE                 | -  | $(0.1 \sim 20) \times 10^{-3}$                     | $5 \times 10^{-3}/\text{yr}$                       |
| Cr <sup>6+</sup> | A                  | $1.2 \times 10^{-2}$                                       | 1                  | $(1.1 \sim 13) \times 10^{-2}$                             | $(5 \sim 200) \times 10^{-3}$                      | $8.3 \times 10^{-4}/\text{yr}$                     |
| Cu               | D                  | NA   | NE                 | NA   | -  | -  |
| Mn               | D                  | NA   | NE                 | NA   | 0.01~0.07  | 0.15/yr  |
| Ni(subsulfide)   | A                  | $4.8 \times 10^{-4}$                                       | 1                  | $3.8 \times 10^{-4}$                                       | 1-180  | $2.6 \times 10^{-3}/\text{yr}$                     |
| Zn               | D                  | NA   | NE                 | NA   | -  | -  |

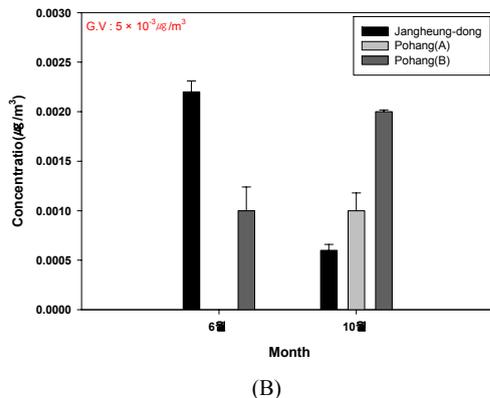
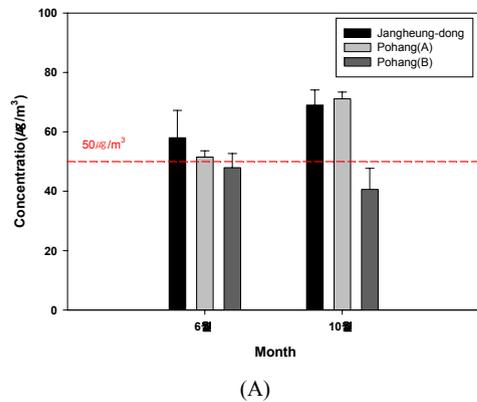
a) Excess lifetime cancer risk associated with breathing 1  $\mu\text{g}$  of a chemical per 1 m<sup>3</sup> of air over a 70-year life span for a 70 kg human, IRIS, EPA  
 b) NA : Not Available , from EPA  
 c) NE : Not Evaluated , from EPA  
 d) Unit Risk from Guideline for Air Quality, WHO, Genova, 2000  
 e) A.C. : Air Concentration  
 f) G.V. : Guideline Value

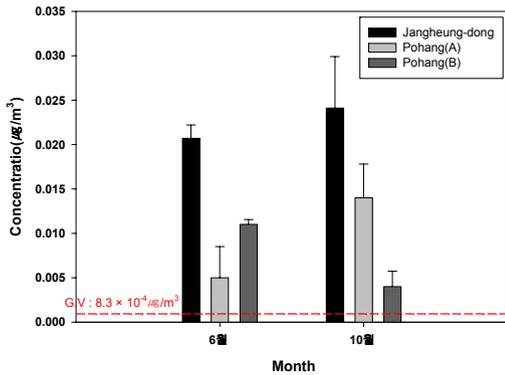
측정망의 중금속성분 및 기타 농도 만을 채취하여 분석한 결과보다 높게 나타남을 예상할 수 있으며, 이를 그림 3에서 확인할 수 있다. A지점과 B지점 및 국가중금속자동측정망인 장흥동측정소에서 조사된 Cd, Cr, Mn, Ni, Pb의 분석치를 비교한 결과, 장흥동측정소에서의 분석치가 대체적으로 높게 나타났다. 반면 A지점은 국가중금속자동측정망 인접 지역에서 채취하였지만 이번 연구에서 측정된 대부분의 중금속 농도가 국가중금속자동측정망 분석결과와 비교하여 다소 낮게 검출되었다. 그러나 PM<sub>10</sub>의 경우 A지점에서 연간 대기환경기준을 상회하는 것으로 나타났다. 이는 이는 6월 및 10월 모두 남서풍이 주풍향을 이루고 있어 자동측정망에서 관측된 높은 농도의 PM<sub>10</sub>이 A지점에 보다 큰 영향을 미쳤기 때문인 것으로 판단된다.

표 2의 G.V.와 그림 3와 표 3의 Cr과 Ni의 분석결과를 비교하면, Cr의 경우 동일산업 10월 측정값은 0.014  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 G.V.를 일부 초과하는 것으로 나타났다. Mn의 경우, 6월달은 G.V. 기준을 초과하지 않았으나 10월 A지점에서 0.371  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 보여 G.V.값을 일부 초과하는 것으로 나타나 이러한 중금속을 저감하기 위해서는 철강공단의 발생원에 대한 배출원 관리가 필요하다. 특히 크롬, 망간, 니켈 등의 주요 중금속은 대상지역의 산업구조상 집중적으로 관리되어야 할 필요성이 있다.

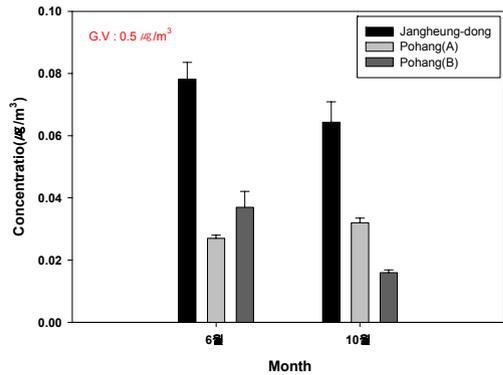
또한, 금속성분의 경우 두 지점 모두 PM<sub>10</sub> 중 가장 많이 함유된 토사나 해염입자와 같은 자연적 발생원과 관련된 Al, Ca, Mg, K, Si 등이 높은 농도를 나타내었다. 또한 두 지점 모두 Fe 농도를 이전 PM<sub>2.5</sub> 측정 연구결과[13]와 10월의 PM<sub>10</sub> 내 평균농도가 약 2.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 공업지역

의 Fe가 높게 나타났다. Mn은 10월의 경우 0.23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 이전연구[13]보다 2.6배 정도 높아 PM<sub>10</sub>에 대한 체계적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.



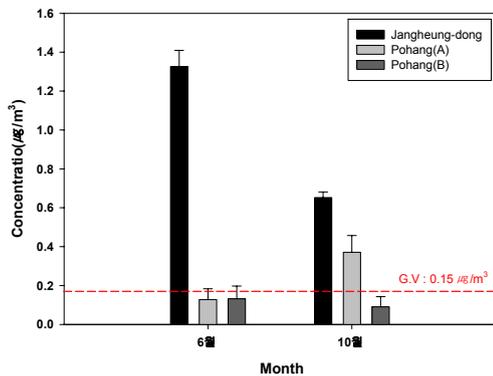


(C)



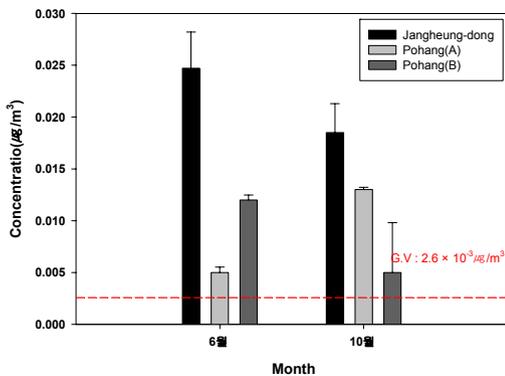
(F)

[그림 3] 철강공단과 자동측정망 PM<sub>10</sub> 및 금속성분 측정 결과 비교. (A: PM<sub>10</sub>, B: Cd, C: Cr, D: Mn, E: Ni, F: Pb)



(D)

[Fig. 3] Comparison of PM<sub>10</sub> and heavy metals in Iron Steel Industry Complex area and air quality monitoring stations. (A: PM<sub>10</sub>, B: Cd, C: Cr, D: Mn, E: Ni, F: Pb)



(E)

[표 3] PM<sub>10</sub> 금속성분 농도의 분포

[Table 3] Distribution of heavy metal concentrations in PM<sub>10</sub>.

| Items | Sampling Points | A(동일산업) |         | B(관리사무소) |         |
|-------|-----------------|---------|---------|----------|---------|
|       |                 | June    | October | June     | October |
| Al    |                 | 0.205   | 0.600   | 0.558    | 0.717   |
| Ba    |                 | 0.374   | 0.077   | 0.313    | 0.075   |
| Ca    |                 | 0.903   | 2.467   | 1.859    | 2.017   |
| Cd    |                 | N.D     | 0.001   | 0.001    | 0.002   |
| Cr    |                 | 0.005   | 0.014   | 0.011    | 0.004   |
| Cu    |                 | 1.542   | 0.172   | 0.076    | 2.358   |
| Fe    |                 | 0.883   | 2.393   | 1.559    | 2.432   |
| K     |                 | 0.094   | 0.269   | 0.184    | 0.293   |
| Mg    |                 | 0.185   | 0.269   | 0.659    | 0.436   |
| Mn    |                 | 0.128   | 0.371   | 0.132    | 0.091   |
| Na    |                 | 0.647   | 2.382   | 1.770    | 2.301   |
| Ni    |                 | 0.005   | 0.013   | 0.012    | 0.005   |
| Pb    |                 | 0.027   | 0.032   | 0.037    | 0.016   |
| Si    |                 | 0.270   | 0.705   | 0.708    | 0.729   |
| Sn    |                 | 0.947   | 2.344   | 1.677    | 0.736   |
| Ti    |                 | 0.007   | 0.047   | 0.030    | 0.029   |
| Zn    |                 | 0.405   | 0.834   | N.D      | 0.569   |
| Hg    |                 | N.D     | N.D     | N.D      | N.D     |
| As    |                 | 0.001   | 0.004   | 0.001    | N.D     |

### 3.2.3 기상변화에 따른 오염도 변화

대기오염 농도는 풍향, 풍속, 강수량, 기온, 대기안정도 등에 영향을 받을 수 있다[7-10]. 고정된 관측지점에서

의 지역적 배출원은 거의 일정하다고 볼 수 있으므로 PM<sub>10</sub> 농도 변화는 기상조건에 의한 영향이 가장 크며, 기온, 풍속, 강수량과 PM<sub>10</sub> 농도는 음의 상관관계를 보이기도 하며, 고정된 관측지점에서는 풍향에 따라 PM<sub>10</sub>의 농도가 달리 나타나기도 한다.

PM<sub>10</sub> 농도에 미치는 기상요소에는 여러 가지가 있지만, 이 연구에서는 가장 큰 영향을 주는 바람을 대상으로 고찰하였다. 국립환경과학원에서 인용한 자료를 활용해 계절별 PM<sub>10</sub> 농도에 따른 풍향빈도를 표 4에 나타내었으며, 풍향은 포항기상대 자료를 활용하였다. 대상지역에서 100 µg/m<sup>3</sup> 이하의 PM<sub>10</sub>을 조사한 결과, 계절별 풍향빈도 측면에서는 봄철 및 여름철의 경우 남남서풍 내지 서풍이 우세하였으며, 가을철 및 겨울철에는 남서풍이 우세한 경향을 보였다. 100 µg/m<sup>3</sup>를 초과하는 고농도 PM<sub>10</sub>인 경우 봄철에는 남서풍이 우세하였고, 여름에는 남남서풍이 우세하였다. 그리고 가을과 겨울철에는 남서풍이 우세한 빈도를 보였다.

또한 계절별 PM<sub>10</sub>의 농도에 따른 풍속빈도를 포항기상대 자료를 이용하여 일평균 주풍향을 기준으로 일평균

농도를 분석하여 표 5에 나타내었다. 그 결과, 100 µg/m<sup>3</sup> 초과 고농도 미세먼지의 경우 2~4 m/s 빈도가 전 계절에서 가장 우세하게 나타났고 봄, 여름 및 가을철에는 0.5~2.0 m/s의 비교적 낮은 풍속대의 바람이 다소 우세하였으며, 겨울철에는 4~6 m/s의 빈도가 높았다.

### 3.3 PM<sub>10</sub> 이온분석

그림 5는 동일산업과 철강관리공단사무소에서 대기 중 PM<sub>10</sub>의 수용성 이온성분을 측정하여 나타낸 것이다. 성분들은 황산염 및 질산염 등과 같은 이차 생성 입자를 형성하는 성분인 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 등이 확인되었다. 수용성이온성분의 연간 평균농도 중 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 다른 이온성분들에 비해 2~3배 가량 높은 농도를 나타내었다. A지점의 PM<sub>10</sub> 중 수용성 이온조성은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 6월 10월에 각각 5.0 µg/m<sup>3</sup>와 21.5 µg/m<sup>3</sup>로 나타나 해염의 우선 영향인자로 평가되었고, 다음으로 Cl<sup>-</sup>가 각각 2.1 µg/m<sup>3</sup>와 9.3 µg/m<sup>3</sup>로 나타나 해염의 두번째 이온성분 항목으로 평가되었다. B지점의 경우 A지점과 마찬가지로 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 다른 이온성분

[표 4] 계절별 풍향빈도 (2003~2009년, 0.5 m/s 이하의 무풍

[Table 4] Wind direction and frequency according to season (from 2003 to 2009, exception of < 0.5 m/s)

| PM <sub>10</sub> 환경 기준   | 계절 | 풍향 |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |   |     |    |     |
|--------------------------|----|----|-----|----|-----|---|-----|----|-----|---|-----|----|-----|---|-----|----|-----|
|                          |    | N  | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
| 100 µg/m <sup>3</sup> 이하 | 봄  | 4  | 4   | 6  | 3   | 1 | 0   | 1  | 1   | 3 | 12  | 12 | 7   | 3 | 3   | 2  | 2   |
|                          | 여름 | 6  | 7   | 9  | 3   | 1 | 1   | 0  | 1   | 4 | 10  | 10 | 4   | 1 | 1   | 2  | 2   |
|                          | 가을 | 6  | 5   | 6  | 2   | 1 | 0   | 0  | 0   | 3 | 12  | 13 | 6   | 3 | 2   | 2  | 3   |
|                          | 겨울 | 1  | 1   | 2  | 1   | 1 | 0   | 0  | 0   | 3 | 13  | 17 | 14  | 6 | 2   | 2  | 1   |
|                          | 평균 | 4  | 4   | 6  | 2   | 1 | 0   | 0  | 1   | 3 | 12  | 13 | 8   | 3 | 2   | 2  | 2   |
| 100 µg/m <sup>3</sup> 초과 | 봄  | 3  | 4   | 8  | 2   | 1 | 0   | 1  | 1   | 3 | 13  | 16 | 8   | 1 | 1   | 1  | 1   |
|                          | 여름 | 2  | 3   | 12 | 4   | 1 | 0   | 1  | 0   | 2 | 16  | 14 | 7   | 1 | 1   | 1  | 1   |
|                          | 가을 | 2  | 2   | 1  | 2   | 1 | 1   | 1  | 0   | 3 | 18  | 24 | 6   | 2 | 1   | 1  | 0   |
|                          | 겨울 | 1  | 1   | 2  | 1   | 0 | 0   | 0  | 1   | 4 | 16  | 23 | 14  | 4 | 1   | 0  | 1   |
|                          | 평균 | 2  | 3   | 6  | 2   | 1 | 0   | 1  | 1   | 3 | 16  | 19 | 9   | 2 | 1   | 1  | 1   |

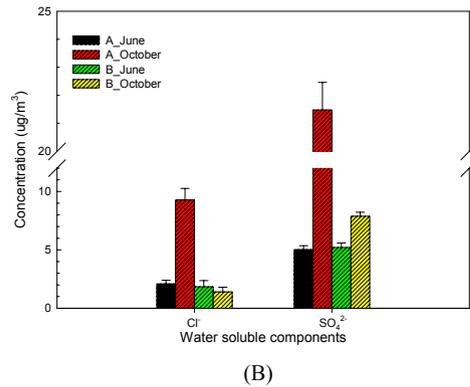
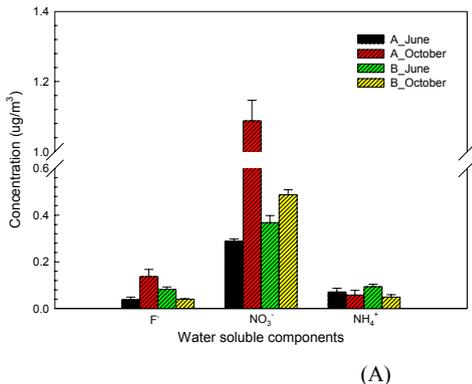
[표 5] 계절별 풍속빈도 (2003년~2009년)

[Table 5] Wind speed and frequency according to season (from 2003 to 2009)

| PM <sub>10</sub> 환경 기준   | 계절 | 풍속         |             |         |         |          |           |
|--------------------------|----|------------|-------------|---------|---------|----------|-----------|
|                          |    | 0.5 m/s 미만 | 0.5-2.0 m/s | 2-4 m/s | 4-6 m/s | 6-10 m/s | 10 m/s 이상 |
| 100 µg/m <sup>3</sup> 이하 | 봄  | 35         | 16          | 36      | 11      | 1        | 0         |
|                          | 여름 | 37         | 22          | 34      | 6       | 0        | 0         |
|                          | 가을 | 36         | 20          | 37      | 7       | 1        | 0         |
|                          | 겨울 | 34         | 13          | 39      | 13      | 1        | 0         |
|                          | 평균 | 36         | 18          | 36      | 9       | 1        | 0         |
| 100 µg/m <sup>3</sup> 초과 | 봄  | 35         | 15          | 36      | 13      | 1        | 0         |
|                          | 여름 | 35         | 19          | 43      | 3       | 0        | 0         |
|                          | 가을 | 36         | 14          | 45      | 4       | 1        | 0         |
|                          | 겨울 | 33         | 9           | 44      | 14      | 0        | 0         |
|                          | 평균 | 35         | 14          | 42      | 8       | 1        | 0         |

에 비해 높은 농도를 나타냈다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 6월 5.2 μg/m<sup>3</sup>, 10월 7.9 μg/m<sup>3</sup>로 나타났고, Cl<sup>-</sup>는 각각 1.8 μg/m<sup>3</sup>과 1.4 μg/m<sup>3</sup>로 나타났다.

철강공단지역 A지점과 B지점의 PM<sub>10</sub> 중 이차생성 이온인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 등의 PM<sub>10</sub>에 대한 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 분율은 높게 나타났으며, 이중 황산염의 오염원이 공단지역에 산재해 있는 것으로 판단된다. 이러한 결과를 청주에서 측정된 다른 연구와 비교한 분석하면[14], 청주시의 경우, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 기여도가 18.6%로 가장 높아 본 연구와 마찬가지로 기여도가 가장 높으나, 평균농도가 8.22 μg/m<sup>3</sup>로 10월에 측정된 21.5 μg/m<sup>3</sup>농도와 큰 차이를 나타내었다. 또한 국립환경과학원[15]의 연도별 대기오염도 변화추이(2001~2009년)에서 청주지역의 SO<sub>2</sub> 평균농도는 0.0048 ppm, 포항은 0.0076 ppm으로 포항지역이 월등히 높은 것으로 나타났다. 특히 조사지역은 해안에 인접한 A지점과 B지점의 미세먼지에서 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 등이 2차 입자로서 황산암모늄 및 질산암모늄과 같은 염을 형성하여 대기 중에 부유하여 미세먼지의 조성에 영향을 미치는 것으로 판단 된다. 이러한 대기중의 NH<sub>3</sub>는 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 등의 화학반응에 의해 변화되어 배출된 황산, 질산, 염산과 반응하여 이러한 물질의 생성을 촉진할 수 있는 중요한 역할을 하게 된다[14]. 이와 함께 석탄의 연소, 난방연료, 목재의 연소에 의한 Methyl Chloride의 방출, Polyvinyl Chloride의 연소, Cleaning solvent로서 Carbon tetrachloride의 사용, 화공약품인 chloroform 등의 사용으로 인한 인공적 배출원에서 발생한 물질이 기여하고 있기 때문에 부분적으로 영향을 받은 것으로 판단된다[16]. 특히 대상지역에서는 연구기간 동안 B-C 중유를 연료로 사용하는 지역으로 규정되어 있었으며, 공단지역 화석연료의 연소 등에 의한 인위적인 오염원이 PM<sub>10</sub> 조성에 영향을 주었던 것으로 판단된다. 전체적으로 A지점의 농도는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>>Cl<sup>-</sup>>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>>F<sup>-</sup>>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 순으로 조사되었고, B지점은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>>Cl<sup>-</sup>>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> >F<sup>-</sup> 순으로 나타났다.



[그림 5] 수용성 이온의 농도 비교. A : 동일산업, B : 철강공단관리사무소

[Fig. 5] Comparison of water soluble ion concentration. A : Dongil Industry, B : Steel manufacturing industry complex management office.

#### 4. 결론

이 연구에서는 철강공단지역의 보건 및 환경영향 인자를 확인하기 위하여 대상지역 PM<sub>10</sub> 발생 특성을 분석하였다. 이를 위하여 PM<sub>10</sub> 중 27종의 금속성분 및 이온성분 중 양이온(Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)과 음이온(F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>) 등을 분석하여 정량하였으며, 이를 토대로 저감대책 방안을 수립하는데 기초자료로 활용하고자 한다. 이상의 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 철강공단 내 PM<sub>10</sub> 측정 및 분석한 결과, 동일산업에서 측정된 PM<sub>10</sub> 평균농도는 61.3 μg/m<sup>3</sup>이었다. 철강공단관리사무소에서 측정된 PM<sub>10</sub> 평균농도는 44.31 μg/m<sup>3</sup>이었다. 환경기준을 만족하는 것으로 나타났으며, 대기환경기준을 준수하였다.
2. 공단지역 동일산업과 철강공단관리사무소 PM<sub>10</sub> 중 이차생성이온인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 등의 PM<sub>10</sub>에 대한 분율을 확인한 결과, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 분율이 높게 나타났으며, 이중 황산염의 오염원이 철강공단지역에 산재해 있는 것으로 판단된다. 전체적으로 동일산업 지점은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > F<sup>-</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 순으로 나타났고, 철강공단관리사무소지점은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > F<sup>-</sup> 순으로 나타났다.
3. 해안에 인접한 채취지점의 PM<sub>10</sub> 중의 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>가 이차입자로서 황산암모늄 및 질산암모늄 등과 같은 염을 형성하여 대기 중에 부유하여 PM<sub>10</sub> 조성에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

## References

- [1] Jung, J. H. : A study on reaction characteristic of SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> simultaneous removal for alkali absorbent/additive in FGD and waste incinerator process. *Pusan National University*, Ph.D Dissertation, 1999.
- [2] 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.
- [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 J. of Environmental Health*, Vol. 32, No. 5, pp. 522-531, 2006.
- [4] 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 J. of Environmental Health*, Vol. 32, No. 4, pp. 324-335, 2006.
- [5] Jung, J. H. : A study on the cause investigation of increasing fine particles (PM<sub>10</sub>) and reduction plans in Pohang Steel Industrial Complex, GENTEC, 2009.
- [6] National Institute of Environmental Research : The monitoring study on exposure level and biomarker of environmental pollutants in the Pohang industrial complex(2nd annual report), 2007.
- [7] Song, X.H., A.V. Polissar, and P.K. Hopke : Source of fine particle composition in the northeastern US, *Atmos. Environ.*, 35(31), 5277-5286, 2001.
- [8] U.S. EPA : Taking Toxics Out of the Air, 3-6, 2000.
- [9] National Institute of Environmental Research : The monitoring study on exposure level and biomarker of environmental pollutants in the Pohang industrial complex(4th annual report), 2009.
- [10] 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.
- [11] Monthly weather report : <http://www.kma.go.kr/>, Accessed March 30, 2010.
- [12] National Institute of Environmental Research : The monitoring study on exposure level and biomarker of environmental pollutants in the Pohang industrial complex(5th annual report), 2010.
- [13] Yoon-Kyeung Heo, Characterization of physical and chemical composition of fine particulate matter in the ambient air of Pohang area, Yeungnam University, M.S. Thesis, pp. 85, 2004.
- [14] Byung-Uk Kang, Hak-Seong Lee, Hee-Kang-Kim, A Seasonal Variation of Acidic Gases and Fine Particle Species in Chongju Area, *Journal of Korea Air Pollution Research Association*, 13(5), pp. 333-343, 1997.
- [15] National Institute of Environmental Research : Annual report of air quality in Korea 2009, 2010.
- [16] Byung-Uk Kang, Hak-Seong Lee, Hee-Kang-Kim, Source Identification of Fine particle (PM<sub>2.5</sub>) in Chongju Using a Chemical Mass Balance Model, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 16(5), pp. 477-585, 2000.

---

### 정 종 현(Jong-Hyeon Jung)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 2008년 2월 : 대구한의대학교 보건학과(보건학박사)
- 2012년 2월 : 동국대학교 의학과(의학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 대구한의대 보건학부 교수

<관심분야>

보건/환경학, 산업보건학, 예방의학, 문화재보존과학

---

### 이 형 돈(Hyung-Don Lee)

[정회원]



- 2009년 8월 : 부산대학교 대기과 학과(이학사)
- 2011년 8월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 2011년 8월 ~ 현재 : 부산대학교 환경공학과(박사과정)

<관심분야>

폐기물처리 및 재자원화, 대기오염제어

---

전 수 빈(Soo-Bin Jeon)

[정회원]



- 2010년 2월 : 부산대학교 환경공학(공학사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 부산대학교 환경공학과 석박사통합과정

<관심분야>

대기오염제어, 이산화탄소 흡수

---

유 정 근(Jeong-Gunn Yoo)

[정회원]



- 1987년 2월 : 고려대학교 화학공학(공학석사)
- 1991년 2월 : 고려대학교 화학공학(공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 화학공학과 정교수

<관심분야>

자원회수, 무기공업화학

---

손 병 현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



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

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수