

# 대구지역 대기 중 PM-10과 PM-2.5의 농도분포 특성 Distribution Characteristics of the Concentration of Ambient PM-10 and PM-2.5 in Daegu Area

도화석<sup>†</sup> · 최수진 · 박민숙 · 임종기 · 권종대 · 김은경 · 송희봉  
Hwa-Seok Do<sup>†</sup> · Su-Jin Choi · Min-Sook Park · Jong-ki Lim  
Jong-Dae Kwon · Eun-Kyung Kim · Hee-Bong Song

대구광역시보건환경연구원  
Public Health and Environment Institute of Daegu Metropolitan City

(2013년 8월 13일 접수, 2013년 12월 20일 채택)

**Abstract :** The three air quality monitoring sites, analysed simultaneously PM-10 and PM-2.5, ie. Ihyeondong in industrial area, Manchondong in residential area, Pyeongnidong in streetside, among 13 air quality monitoring sites in Daegu area, were investigated the concentration distribution characteristics of PM-2.5 and PM-10 in the last 2 years (2011~2012). PM-10 concentrations exceeded annual average reference value (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in Ihyeondong (52.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and Pyeongnidong (60.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) but satisfied in Manchondong (44.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). All PM-2.5 concentrations exceeded EPA annual standard value of the United States (15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in three points, but also exceeded new control annual standard value (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) coming into effect in 2015. Seasonal concentration of PM-10 appeared the order of spring > winter > fall > summer, and in the case of PM-2.5, the order was winter > spring > fall > summer. Monthly concentrations of PM-10 and PM-2.5 were highest in February and lowest in September. Diurnal concentrations of PM-10 and PM-2.5 increased from 7:00 AM, and recorded the highest concentration between 10:00 AM and 11:00 AM. And after 6:00 PM it lowered continuously and tended to show fixed concentrations from evening until early morning. In addition, the concentration of fine particles during the week was higher than the weekend. The fluctuation in industrial area was larger than the residential area. At the PM-2.5/PM-10 ratio, summer was generally high, spring was the lowest. And, when yellow sand occurred, it was 0.32 to 0.42. It was very low compared to 0.54 to 0.64 during non-yellow sand times. This paper for the state and the characteristics of Daegu' fine particles (PM-10, PM-2.5) will be valuable to future researches of fine particles and air pollution management.

**Key Words :** PM-10, PM-2.5, PM-2.5/PM-10 Ratio, Diurnal Variation, Seasonal Variation

**요약 :** 대구지역의 13개 대기오염측정소 중 PM-10과 PM-2.5를 동시에 측정하는 3개 측정소 즉, 공업지역에 위치한 이현동, 주거지역에 위치한 만촌동, 도로변에 위치한 평리동 측정소를 대상으로 최근 2년간(2011~2012)의 자료를 이용하여 PM-10과 PM-2.5의 농도분포 특성을 연구하였다. PM-10 농도는 이현동(52.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )과 평리동(60.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 모두 연평균 기준치인 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였고, 만촌동(44.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )은 기준치를 만족하였다. PM-2.5 농도는 세 지점 모두 미국의 EPA 연간기준치(15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 초과하였으며, 우리나라에서 2015년부터 시행되는 PM-2.5의 연평균기준치(25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )도 초과하는 수준이었다. 계절별 변화를 보면, PM-10은 봄철 > 겨울철 > 가을철 > 여름철 순이었고, PM-2.5는 겨울철 > 봄철 > 가을철 > 여름철 순으로 나타나는 특성을 보였다. 월변화 특성을 보면, PM-10과 PM-2.5 모두 겨울철인 2월에 가장 높고 여름철인 9월경에 가장 낮은 농도를 보였다. 일변화 특성을 보면, PM-10과 PM-2.5 모두 오전 7시부터 증가하여 10시~11시경에 최고 농도를 기록하고 오후 6시까지 하강하여 저녁과 새벽까지 일정한 농도를 나타내는 경향을 보였다. 또한, 주중의 미세먼지 농도는 주말보다 높은 농도를 보였으며, 그 변동 폭은 공업지역이 주거지역보다 크게 나타났다. PM-2.5/PM-10 비는 여름철이 높고 봄철이 가장 낮게 나타났고, 황사발생시 PM-2.5/PM-10 비는 비황사시 0.54~0.64에 비해 0.32~0.42로 매우 낮은 특성을 보였다. 본 자료는 대구 지역의 미세먼지(PM-10, PM-2.5)의 현황과 특성에 대한 연구로써 향후 미세먼지의 연구 및 대기오염 관리에 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

**주제어 :** PM-10, PM-2.5, PM-2.5/PM-10 비, 일변화, 계절변화

## 1. 서론

우리나라 환경부에서는 PM-10 ( $dp \leq 10 \mu\text{m}$ )과 PM-2.5 ( $dp \leq 2.5 \mu\text{m}$ )를 동시에 미세먼지로 표기하고 있고,<sup>1)</sup> 어떤 학자들은 PM-10을 미세먼지, PM-2.5를 초미세먼지라고 하기도 한다. 또한, 먼지는 입경에 따라 크게 2.5  $\mu\text{m}$  이상의 거대입자(coarse particle)와 그 이하인 공기역학적 입경을 가지는 미세입자(fine particle)로 나누어서 분류하고 있다.<sup>2)</sup> 본 연구에

서는 미세먼지는 PM-10과 PM-2.5를 통칭하였고, PM-2.5를 미세입자, PM-10-2.5 ( $2.5 < dp \leq 10 \mu\text{m}$ )를 거대입자로 칭하였다. PM-10-2.5는 PM-10농도에서 PM-2.5농도를 뺀 농도이다. 대기 중 미세먼지는 자연적 및 인위적 요인에 의해 발생되며 시정장에는 물론 중금속 및 각종 유해화학물질을 함유할 수 있어 호흡기질환의 중요한 원인물질로 작용하는 등 인간의 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 또한, 태양복사량을 산란시켜 장기적으로 지구의 기후변화를 초래하고 토

<sup>†</sup> Corresponding author E-mail: dhs2580@daegu.go.kr Tel: 053-760-1208 Fax: 053-760-1355

양이나 연안수에 침적되어 잠재적으로 생태계에 악영향을 줄 수 있다.<sup>3-6)</sup> 미세먼지는 산업 활동뿐만 아니라 우리 생활주변에서 다양하게 만들어진다. 알러지(allergy)를 일으키는 진드기, 각종 질병을 일으키는 박테리아와 바이러스, 각종 동식물의 사체 조각, 봄철에 산을 자욱하게 만드는 꽃가루 등과 같은 생물성 먼지를 비롯하여, 파도가 부서질 때마다 날리는 물방울이 건조되어 생성되는 소금알갱이도 수백 Km를 이동하여 우리 주변에 존재할 수 있다. 또한, 담배연기, 자동차의 매연, 타이어 마모 먼지, 굴뚝연기, 제철소, 시멘트 공장의 먼지, 낙엽과 쓰레기를 태울 때 발생하는 연기 등이 있으며, 말할 때, 걸을 때, 움직일 때, 요리할 때, 책장을 넘길 때에도 먼지가 발생한다. 우리나라 자체의 먼지도 있지만 엄청난 먼지가 외국에서 들어온다. 화산재는 물론이고 중국과 몽골의 사막지역에서 발생하는 황사는 우리나라로 쉽게 건너오며 심지어 하와이를 거쳐 미국 대륙까지도 이동한다. 디젤엔진연료의 연소는 도시지역의 PM-2.5농도에 큰 부분을 차지하며, 제련 등과 같은 인위적인 오염원과 산불 등과 같은 자연적인 오염원에 의해 미세먼지가 대기 중으로 배출된다.<sup>7)</sup> PM-2.5는 대기중의 질소산화물, 황산화물, 암모니아, 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)의 화학반응에 의해 2차 생성된 황산염, 질산염, 비휘발성유기물과 유기탄소(organic carbon; OC) 및 원소탄소(elemental carbon; EC)도 주요 성분이다.<sup>4,8,9)</sup> PM-2.5는 대형발전소나 교통수단 그리고 화석연료의 연소에 의해 생성되며, 장거리 수송되어 농촌지역에 대기질 문제를 일으킬 수 있다.<sup>10)</sup> 미국은 PM-2.5에 대해서 연간기준치 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24시간 기준치 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정하였고,<sup>11)</sup> WHO는 연간 기준치 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24시간 기준치 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 설정하여 기준을 강화하였으나,<sup>12)</sup> 우리나라는 PM-10에 관한 기준치(연간기준치 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24시간 기준치 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )는 마련되어 있으나, PM-2.5에 관한 기준은 아직 없는 실정이며 2015년부터 연평균 기준치 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24시간 기준치 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 규정하여 관리하도록 되어 있다.

본 연구에서는 대구지역에 설치된 대기오염측정망자료를 이용하여 미세먼지에 대한 오염 정도를 파악하였다. 또한 PM-10과 PM-2.5 월변화, 일변화, 주중과 주말, PM-2.5/PM-10 비, 황사 시 특성 등 다각적인 분석을 통하여 대구지역의 미세먼지의 분포특성을 파악함으로써 향후 대기오염대책 수립 시 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구에서 사용한 PM-10, PM-2.5의 측정자료는 2011년 1월부터 2012년 12월까지 2년간의 기간별 평균자료로, 대구지역의 13개 대기오염자동측정소(도로변 2개소 포함)에서 PM-10, PM-2.5를 동시에 관측한 이현동, 만촌동, 평리동, 율하동, 태전동, 갈산동측정소 중에서 2년간의 측정자료를 활용하기 적합하고 지역을 대표할 수 있는 이현동(공업지역),



Fig. 1. Location of the air quality monitoring sites in Daegu area.

만촌동(주거지역), 평리동(도로변) 측정소의 측정자료를 사용하였다. 측정망 자료의 통계처리는 대기오염측망 설치·운영지침에서 제시한 방법을 준용하였다.<sup>13,14)</sup> 즉, 각 측정기간의 유효자료처리비율은 75% 이상으로 하며 측정자료의 선택은 일평균 자료의 경우 24시간 중에서 유효측정시간이 18시간 이상 측정된 자료를 유효자료로 사용하였고, 월평균 자료의 경우 30일 기준으로 540시간 이상, 연평균 자료는 6,570시간 이상의 자료가 존재할 경우 유효한 자료로 하였다. 본 연구에서 사용된 측정자료의 유효자료 처리비율은 PM-10이 평균 98.5%(이현동 97.5%, 만촌동 98.3%, 평리동 99.7%), PM-2.5가 평균 95.3%(이현동 92.8%, 만촌동 96.8%, 평리동 96.4%)로 매우 높은 유효가동율을 보였다.

PM-10과 PM-2.5를 동시에 측정하는 지점으로는 Fig. 1에 나타난 지점 중 공업지역인 갈산동, 이현동, 주거지역인 태전동, 만촌동, 율하동, 도로변지역인 평리동으로 모두 6개 지점이다. 이중 최근 새로이 추가 설치된 갈산동(2011)과 태전동(2012) 측정소의 PM-2.5는 측정자료의 부족, 율하동 측정소의 PM-2.5는 주거지역임에도 불구하고 새로이 도로가 건설되는 요인 등으로 자료의 해석에 문제가 있어 본 연구에서는 반영하지 않았다. 이현동 측정소는 중·소규모의 공장들이 밀집된 대구의 대표적인 공업지역으로 입주업체 중 섬유업체가 절반을 차지하고 있으며 이들 공장에서 배출되는 오염물질이 많은 곳이다. 만촌동은 주택이 밀집된 전형적인 주거지역이고, 평리동측정소는 공단에 인접하여 공단을 출입하는 자동차의 통행이 많은 도로변에 위치하고 있다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. PM-10과 PM-2.5 질량농도의 특성

Table 1은 대구지역 이현동, 만촌동, 평리동에서 2011년부터

**Table 1.** Annual mean values of PM-10 and PM-2.5 concentrations observed at Ihyeondong, Manchondong and Pyeongnidong for 2 years(2011~2012)

Sites	PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	2011	2012	2011~2012	2011	2012	2011~2012
Ihyeondong	54.4±35.9	50.7±26.1	52.5±31.4	35.3±18.8	31.7±15.8	33.5±17.5
Manchondong	45.4±31.3	44.4±22.8	44.9±27.3	23.2±12.8	23.5±11.8	23.4±12.3
Pyeongnidong	62.2±43.4	60.9±35.2	61.5±39.5	38.6±25.6	36.5±24.1	37.6±24.8

터 2012년까지 2년간 측정된 PM-10과 PM-2.5의 연평균 농도를 나타낸 것이다. PM-10 농도의 경우, 공업지역인 이현동과 도로변 지역인 평리동 두 지점은 연평균 기준치인  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였으며, 주거지역인 만촌동은 기준치를 만족하였다. PM-2.5 농도는 세 지점 모두 미국의 EPA 연간기준치( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 훨씬 초과하였으며, 우리나라에서 2015년부터 시행되는 PM-2.5의 연평균기준치( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )도 초과하는 수준이었다. 특히, 평리동과 이현동의 경우는 2년 연평균 농도가 각각  $37.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $33.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 미국 EPA 기준치( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 2.6배, 2.2배, WHO 기준치( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 3.8배, 3.4배로 기준치를 훨씬 초과하였으며, 2015년부터 시행되는 우리나라의 기준치와 비교해도 1.5배, 1.3배 높게 나타났다. 비교적 깨끗한 만촌동의 경우  $23.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 2015년 적용되는 기준치보다는 낮았지만, EPA 기준치를 56%나 초과하고 있어, 향후 PM-2.5 저감에 대한 관리대책과 지속적인 관심이 필요한 것으로 판단된다.

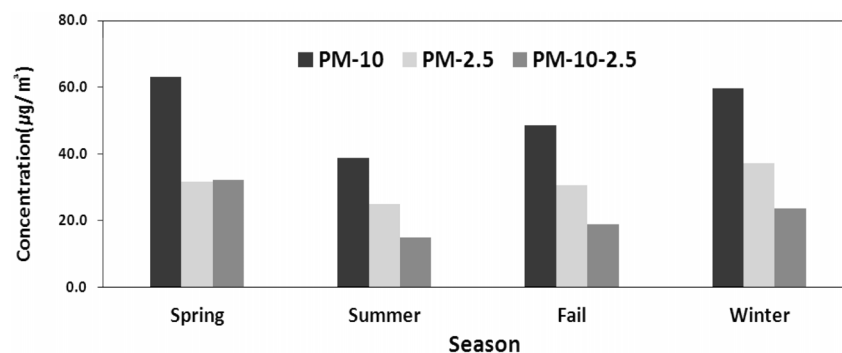
**Table 2**는 대구지역 세 지점의 계절별 PM-10과 PM-2.5의 연평균 농도를 나타낸 것이다. PM-10의 경우 세 지점 중 이현동과 만촌동은 봄철 > 겨울철 > 가을철 > 여름철 순으로 봄철에 가장 높은 농도를 나타내었고, 평리동은 겨울철 > 봄철 > 가을철 > 여름철의 순으로 겨울철에 가장 높은 값을 나타내었다. 봄철에는 편서풍을 타고 중국이나 몽골의 사

막으로부터 불어오는 황사에 포함된 미세먼지의 영향으로 높은 농도를 보인 것으로 사료되며, 평리동의 경우는 이현동이나 만촌동의 경우와는 달리 도로변에 인접해 있어, 황사에 의한 영향보다는 자동차의 배출가스가 미세먼지에 미치는 영향이 크기 때문으로 판단된다. 가장 낮은 농도를 보인 여름철에는 미세입자(PM-2.5)의 경우 불안정한 대기 상태에 의해 상층대기로 유입되어 빗방울을 형성하는 응축핵으로 작용하여 제거되는 rainout 현상과 거대입자의 경우 잦은 강수에 의해 대기 중에서 제거되는 washout 현상에 기인하는 것으로 사료된다.<sup>15,16</sup> PM-2.5의 경우 세 지점 모두 겨울철 > 봄철 > 가을철 > 여름철 순으로 겨울철이 봄철보다 모두 높은 농도를 나타내었다. 여름철 PM-10은 타 계절에 비해 상당히 낮은 농도로 나타났고 특히, 자동차배출가스의 영향을 많이 받는 평리동의 경우는 겨울철의 약 53%, 봄철의 55%, 가을철의 약 68%의 수준으로 낮게 나타났다. 한편, 여름철의 PM-2.5의 농도는 이현동과 만촌동의 경우 봄철과 가을철이 비슷하거나 조금 낮은 농도를 나타내었다. 평리동은 봄철과 가을철에 비해 매우 낮은 농도를 나타내었다. 이는 미세먼지 중의 PM-2.5는 자동차 배출가스와 가스상 오염물질의 변화 등에 영향을 많이 받기 때문인 것으로 판단된다.<sup>17</sup>

**Fig. 2**는 대구지역 세 지점의 평균 PM-10, PM-10-2.5, PM-2.5를 계절별로 나타낸 것이다. PM-10-2.5는 PM-10농도에

**Table 2.** Seasonal mean values of PM-10 and PM-2.5 concentrations observed at Ihyeondong, Manchondong and Pyeongnidong for 2 years(2011~2012)

Sites	PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
	Spring	Summer	Fall	Winter	Spring	Summer	Fall	Winter
Ihyeondong	61.9±41.4	45.3±22.6	47.9±25.8	54.5±29.1	33.8±16.6	30.5±14.5	32.7±17.6	36.8±20.3
Manchondong	54.8±37.9	37.7±16.1	38.4±19.9	48.6±25.9	23.4±11.6	21.3±9.7	21.6±11.4	27.2±15.1
Pyeongnidong	72.5±49.2	39.8±21.6	58.8±34.9	75.3±36.8	37.7±23.8	27.6±16.9	37.5±24.8	47.3±28.2

**Fig. 2.** Seasonal change of PM mass concentration in Daegu for 2 years(2011~2012).

서 PM-2.5농도를 뺀 농도이다. PM-10은 봄철 > 겨울철 > 가을철 > 여름철 순이고, PM-10-2.5는 봄철 > 겨울철 > 가을철 > 여름철 순이며, PM-2.5는 겨울철 > 봄철 > 가을철 > 여름철 순으로 항목별로 다른 양상을 보여주고 있다. 특히 봄철의 PM-10-2.5농도가 다른 계절과는 달리 PM-2.5보다 높은 농도를 나타내었다. 이는 우리나라의 봄철은 중국이나 몽골의 사막으로부터 날아오는 황사에 포함된 거대입자의 영향을 받기 때문으로 사료된다.<sup>18)</sup>

### 3.2. PM-10과 PM-2.5의 월변화 특성

Fig. 3은 대구지역 세 지점에서 PM-10과 PM-2.5농도의 월변화를 나타낸 것이다. PM-10의 경우, 세 지점모두 유사한 월변화 경향을 나타내고 있다. 2월에 가장 높은 농도를 보였고, 봄철에 비교적 높은 농도를 보였으며, 황사의 영향을 받은 5월이 그중 높은 농도를 나타내었다. 그 이후 6월부터 9월까지의 대체적으로 감소하다가 10월에 급격히 증가하는 경향을 보였으며, 그 이후 1월까지의 큰 변동 없이 유지되었다. 세 지점의 2월의 평균 농도는 평리동이 83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 이현동이 66  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 만촌동이 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고, 가장 낮은 8월의 평균농도는 이현동이 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 만촌동 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 평리동 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 2월에 비해 50% 정도 수준으로 낮게 나타났다. 세 지점 모두 유사한 월변화를 보였으나, 평리동이 가장 큰 변화를 보였다. 환경기준(50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 초과한 기간은 공업지역인 이현동 6개월, 도로변지역인 평리동 8개월, 주거지역인 만촌동 4개월이었다. 하지만 만촌동은 연평균 농

도가 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 환경기준을 만족하는 것으로 나타났다. PM-2.5의 경우도 PM-10과 유사한 양상을 나타내고 있다. 2월에 급격히 증가하여 최고농도를 보인 후 9월까지 지속적으로 감소하다가 10월에 급격히 상승하고 그 이후 12월까지 비슷한 농도를 유지하였다. 특히, PM-10의 경우 황사의 영향을 받은 5월에 상승한 반면에 PM-2.5의 경우는 별 영향을 보이지 않아 황사에 의한 영향은 받지 않는 것으로 사료된다. 또한 월 변화 폭은 PM-10에 비해 PM-2.5가 변화폭이 적었으며 특히, 주거지역인 만촌동의 변화폭이 가장 적었다.

### 3.3. PM-10과 PM-2.5 농도의 일변화 특성

Fig. 4는 대구지역 세 지점에서 PM-10과 PM-2.5농도의 일변화를 나타낸 것이다. PM-10의 경우, 이현동은 1시부터 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 농도로 유지하다가 7시경부터 차츰 증가하여 11시에 62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최고농도를 나타내고 18시까지 대체적으로 하강한 후 19시부터 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도로 약간 상승한 후 자정까지 그 농도를 유지하였다. 만촌동은 1시부터 8까지는 43  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 농도를 유지하다가 9시부터 점차 증가하여 11시에 54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최고 농도를 나타내고, 그 이후 점차 하강하여 18시에 43  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 하강한 후 자정까지 그 농도를 유지하였다. 평리동은 1시부터 6시까지 0.58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 농도를 유지하다가 7시부터 점차 상승하여 10시에 79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 아주 높은 농도를 나타내었다. 그 이후 18시까지 지속적으로 하강한 후 19시부터 미미하게 증가하여 자정까지 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 높은 농도를 나타내었고 일변화폭도

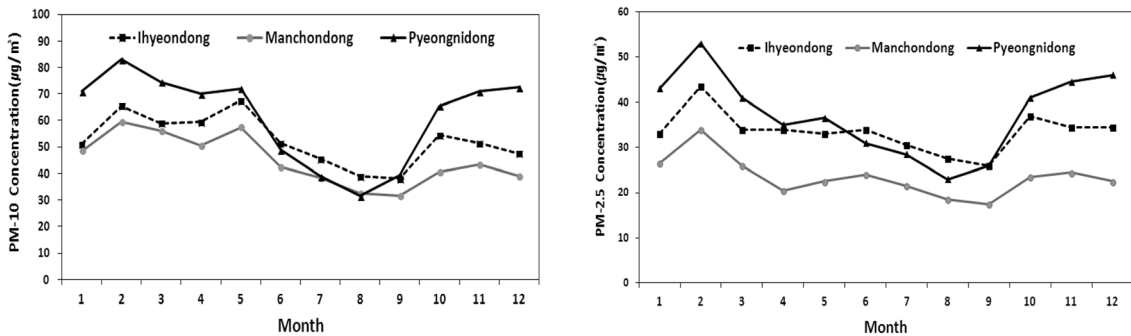


Fig. 3. Monthly variation of average PM-10 and PM-2.5 concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at Ihyeondong, Manchondong and Pyeongnidong for 2 years(2011~2012).

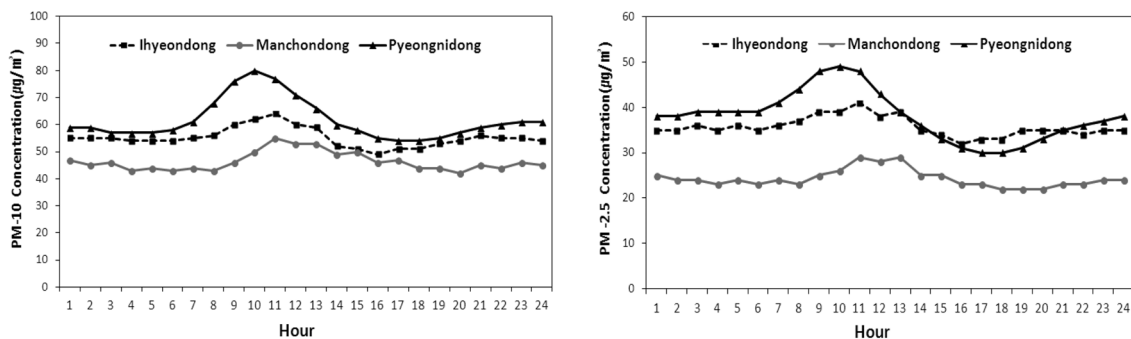


Fig. 4. Diurnal variation of PM-10 and PM-2.5 concentration( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at Ihyeondong, Manchondong and Pyeongnidong for 2 years (2011~2012).

가장 크게 나타났다. 평리동 측정소는 설치장소가 도로변에 설치된 것으로 출근시간 많은 자동차 통행량의 영향을 직접 받아 그 변화폭이 큰 것으로 사료된다.<sup>19)</sup> 그림에는 나타나지 않았지만 이현동의 계절별 최고농도가 발생한 시각이 여름은 오전 9시, 봄은 오전 10시, 가을, 겨울은 오전 11시로 차이가 있었다. 이는 계절별로 출근시간의 차이에 의해 발생하는 것으로 추정된다. PM-2.5의 경우 PM-10과 거의 동일한 일변화 경향을 나타내고 있다. 이현동 PM-2.5는 1시부터 8시까지 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 농도를 유지하다가 9시부터 점차 증가하여 11시에 38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최고 농도를 나타내었고 그 이후 18시까지 점차 감소한 후 자정까지 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 비슷한 농도를 유지하였다. 대표적 주거지역인 만촌동은 1시부터 9시까지 23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 농도를 유지하다가 10시부터 증가하여 11시에 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 최고 농도를 나타내었고 그 이후 16시까지 감소하여 자정까지 23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 농도를 유지하였다. 평리동은 1시부터 7시까지 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  정도의 농도를 유지하다가 8시부터 점차 증가하여 9~10시에 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 최고농도를 나타내었고 그 이후 지속적으로 감소하여 17~18시에 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감소하였다. 그 이후 소폭 상승하여 자정에 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 나타내었고 그 농도는 아침 출근시간 전까지 유지되었다. 세 지점 중 PM-2.5의 일변화폭은 평리동이 PM-10과 마찬가지로 가장 컸고 주거지역인 만촌동이 모든 시간대에 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하의 비교적 낮은 농도를 나타내었다. 공업지역인 이현동과 도로변지역인 평리동은 하루 종일 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상으로 비교적 높은 농도를 유지하였다.

Fig. 5는 대구지역 세 지점의 계절별 PM-2.5농도의 일변화를 나타낸 것이다. 이현동의 경우, 최고농도를 나타낸 시간이 봄철은 9~10시였으며 여름철의 일변화는 크지 않았으나, 다른 계절과는 달리 10~14시 사이에 오히려 떨어지는 경향을 보였다. 가을철과 겨울철은 11시로 계절별로 약간의 차이가 있었다. 이는 부산의 대표적인 공업지역인 장림동의 경우와 비슷한 시간대에 최고농도가 발생하였고,<sup>20)</sup> 미국의 뉴욕이나 중국의 북경에서는 오전 7시부터 9시 사이에 1차 피크가 나타난 것과 비교하면 2시간 늦게 최고농도를 나타내었다.<sup>17,21)</sup> 이러한 결과는 출퇴근시간의 교통량의 증가와 산업활동이 시작되는 시간대이기 때문으로 사료된다. 주거지역인 만촌동은 계절별 큰 차이는 없었으며 아침 9시부터 증가하여 11시에 최고 농도를 나타내고 15시까지 감소한 후 새벽시간대까지 유지되는 경향을 보였다. 도로변 지역인 평

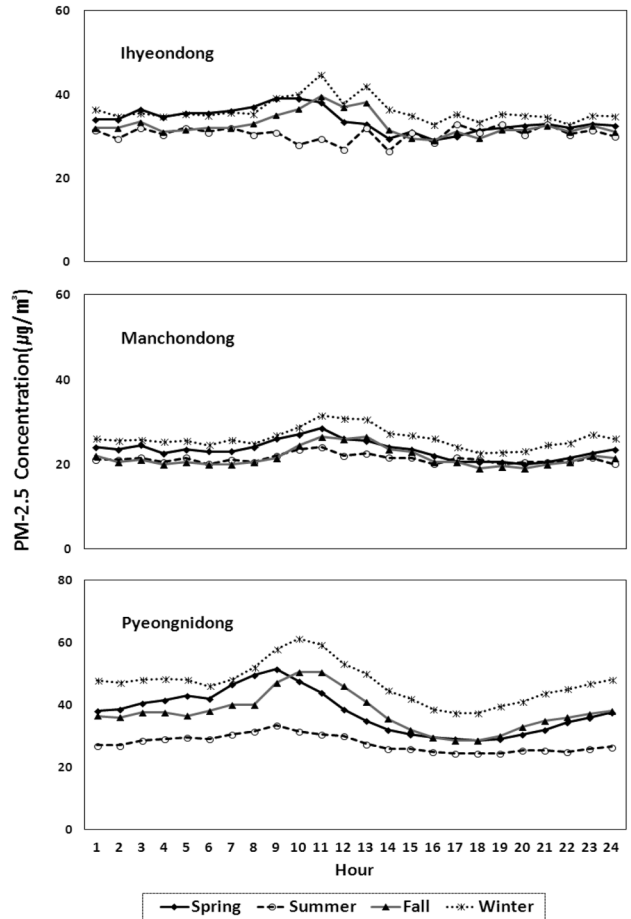


Fig. 5. Diurnal variation of seasonal PM-2.5 concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at Ihyeondong, Manchondong and Pyeongnidong for 2 years(2011~2012).

리동의 경우, 최고농도를 나타낸 시간이 봄철과 여름철은 9시, 가을철과 겨울철은 11시로 나타났고 세 측정지점 중 계절별로 가장 큰 차이를 보였다. 이는 측정지점의 위치가 도로변에 위치하고 있어 자동차의 통행이나 비산먼지, 사업장의 배출원으로부터 배출되는 오염원의 영향을 직접적으로 받고 있기 때문으로 사료된다. 또한 타이완의 타이베이에서는 오전 10시와 오후 1시에 PM-2.5의 피크가 나타나는데 오전의 피크는 아침의 러시아워에 의한 자동차배출량에 의한 것이고 오후의 피크는 약한 풍속과 광화학반응에 의한 것이라고 하였다.<sup>22)</sup>

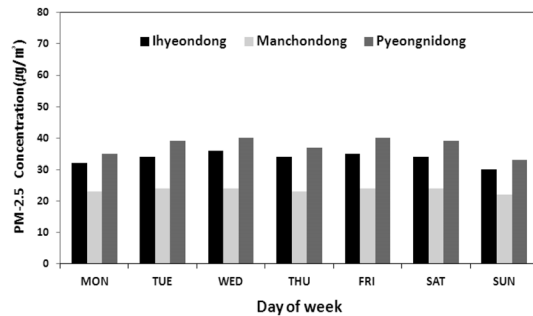
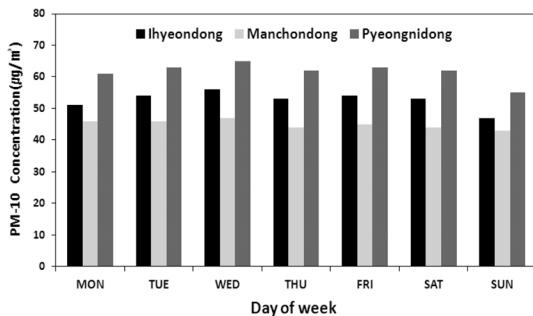


Fig. 6. PM-10 and PM-2.5 concentration variation according to day of week.

### 3.4. PM-10과 PM-2.5 농도의 주중 및 주말 특성

Fig. 6은 대구지역에서 2년간의 PM-10과 PM-2.5의 요일에 따른 농도변화를 나타낸 것이다. PM-10과 PM-2.5 모두 세 지역에서 주말의 농도가 주중보다 낮게 나타났다. 이현동의 일요일 PM-10 농도는  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 수요일의  $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 16.1% ( $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 정도 낮게 나타났다. 주거지역인 만촌동의 경우 일요일이  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 수요일의  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 4.3% ( $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 정도 감소하여 공업지역인 이현동에 비해 주중과 주말의 농도차는 작게 나타났다. 따라서 교통량과 인구활동이 많은 공업지역이 주거지역보다 주중과 주말의 차이가 확실하게 나타났다. 또한, 도로변 지역인 평리동도 일요일이 가장 낮은  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 수요일의  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 15.4% ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 정도 낮게 나타났다. PM-10의 주말 감소효과는 이현동 > 평리동 > 만촌동 순으로 세 지역 모두 일요일이 가장 낮고 수요일이 가장 높은 농도를 나타내었으며, 한주가 시작되는 월요일이 다소 낮았고 그 밖의 요일은 비슷한 농도를 나타내었다.

PM-2.5의 경우, PM-10과 마찬가지로 수요일에 가장 높은 농도(이현동  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 만촌동  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 평리동  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 보였으며 일요일에 가장 낮은 농도(이현동  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 만촌동  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 평리동  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 나타내었다. 주말의 감소효과는 이현동 16.7%, 만촌동 8.3%, 평리동 17.5%로 평리동이 가장 주말 감소효과가 큰 것으로 나타났다. 이는 교통량의 직접적인 영향을 가장 많이 받는 도로변 측정소의 특징을 잘 말해주는 결과이다. PM-10과 PM-2.5의 주말 감소효과는 PM-10 보다 PM-2.5가 더 크게 나타났다. 또한 Lonati 등<sup>23)</sup>은 PM-2.5보다는 PM-10-2.5에서 더 큰 주말 감소효과를 나타낸다고 보고하고 있으며, 이러한 주말 감소효과는 자연적인 원인보다는 인위적인 활동에 의한 것이라고 하였다. Morawska<sup>24)</sup>은 호주 Brisbane 지역에서 교통통행량과 미세먼지농도 사이에는 밀접한 관계( $r=0.86$ )가 있으며, 금요일에 최고농도, 일요일에 최저농도를 나타낸다고 하여, 대구지역에서 일요일에 가장 낮은 농도를 나타내는 것과는 일치하였으나 수요일에 최고농도가 되는 것과는 차이가 있었다.

### 3.5. PM-2.5/PM-10의 비

Table 3은 대구지역 세 지점의 연평균 및 계절별 일평균 PM-2.5/PM-10 비를 나타낸 것이다. PM-2.5/PM-10 비는 PM-10 중에 포함된 PM-2.5의 기여율을 알아보기 위해 나타내었다. PM-2.5는 미세입자로서 인간 및 동물이 호흡을 할 때 허파 깊숙이 흡입되어 치명적인 영향을 주는 입자로 미국을 비롯한 선진국에서는 이미 대기환경기준으로 설정하고 있다. 우리나라도 좀 늦은 감은 있지만 2015년부터 연평균 농도  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 환경기준을 설정해두고 관리할 예정이다. 최근 2년간 PM-2.5/PM-10 비는 이현동이 가장 높은 0.64이었고, 만촌동 0.54, 평리동 0.60으로 나타났다. 세 지점의 평균 PM-2.5/PM-10 비는 2011년이 0.60, 2012년이 0.59로 나타났다. 대구 지역의 공업지역인 이현동과 부산지역의 공업지역인 장림

Table 3. Annual and seasonal mean of PM-2.5/PM-10 ratio at Ihyeondong, Manchondong and Pyeongnidong for 2 years(2011~2012)

Sites	Annual		Season				Mean
	2011	2012	Spring	Summer	Fall	Winter	
Ihyeondong	0.65	0.62	0.57	0.66	0.66	0.66	0.64
Manchondong	0.54	0.54	0.47	0.57	0.57	0.56	0.54
Pyeongnidong	0.62	0.59	0.54	0.66	0.61	0.60	0.60
Mean	0.60	0.59	0.53	0.63	0.61	0.61	-

동의 PM-2.5/PM-10비를 비교해 보면 대구 이현동이 0.64로 부산 장림동의 0.59 보다 조금 더 높게 나타났다. 주거지역 또한 대구의 만촌동이 0.54로 부산지역의 기장읍과 좌동의 0.51 보다 높게 나타났다. 또한 북미에서 측정된 전형적인 PM-2.5/PM-10의 비인 0.60과 비슷한 값을 나타내었다.<sup>25)</sup> Querol<sup>26)</sup>은 공업지역이 주거지역보다 PM-2.5/PM-10 비가 높게 나타났고 특히, 중공업지역이거나 고농도지역일수록 그 비는 높다고 하였다. PM-2.5/PM-10 비가 높다는 것은 일반적으로 질산염( $\text{NO}_3^-$ ), 황산염( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 암모늄( $\text{NH}_4^+$ ) 그리고 유기물 등과 같은 2차 분진 생성에 기인된 것이고, PM-2.5/PM-10 비가 낮다는 것은 1차 먼지나 장거리 수송에 의한 모래먼지에 의한 영향이 크다고 할 수 있다.<sup>27)</sup> 계절별로 보면, 이현동의 경우 여름철, 가을철, 겨울철이 모두 0.66으로 같고 봄철이 0.57로 낮게 나타났고 만촌동은 여름철과 가을철이 같고(0.57), 겨울(0.56), 봄철(0.47)의 순으로 나타났다. 평리동의 경우는 여름철(0.66), 가을철(0.61), 겨울철(0.60), 봄철(0.54)의 순으로 나타났다. 봄철이 모든 지역에서 낮게 나타났으며 여름철이 비교적 높게 나타났다. 이는 봄철의 경우 황사에 의한 거대입자의 영향을 받아 낮게 나타났으며 여름철이 높은 것은 황산염이나 유기화합물과 같은 2차 에어로졸의 기여가 큰 영향을 미치고 강한 바람에 의한 재비산이 약하기 때문이라고 할 수 있다.<sup>28)</sup>

Fig. 7은 PM-2.5/PM-10 비를 좀 더 구체적으로 고찰하기 위하여 월변화와 일변화를 나타낸 것이다. 월변화에서 가장 뚜렷한 것은 3월부터 감소하여 5월의 비가 0.40~0.51로 가장 낮다는 것이다. 이는 계절변화에서 언급한 바 있듯이 황사속의 먼지에는 미세입자보다는 거대입자의 비율이 높기 때문에 상대적으로 비가 내려갔다는 것을 알 수 있다. 세 지점 모두 비슷한 월변화 경향을 보이고 있으며 PM-2.5/PM-10 비의 크기는 이현동 > 평리동 > 만촌동의 순이었으며, 도로변 지역인 평리동의 7월과 8월 PM-2.5/PM-10 비가 각각 0.74, 0.72로 아주 높게 나타났다. 이는 도로와 인접해 있으며 지면으로부터 가장 가까운 곳에 위치한 측정소인 관계로 여름철 강우에 의한 영향으로 비산먼지의 영향을 줄여주고 자동차의 배기가스의 영향을 직접적으로 받은 결과로 사료된다. PM-2.5/PM-10 비의 일변화는 세 지점 모두 비슷한 경향을 보였으며, 평리동의 변화폭이 0.49~0.58로 가장 크고 다음으로 만촌동이 0.48~0.55, 이현동이 0.61~0.65로 가장 변화폭이 낮게 나타났다. 이현동의 경우 일변화가 거의 없는데 이

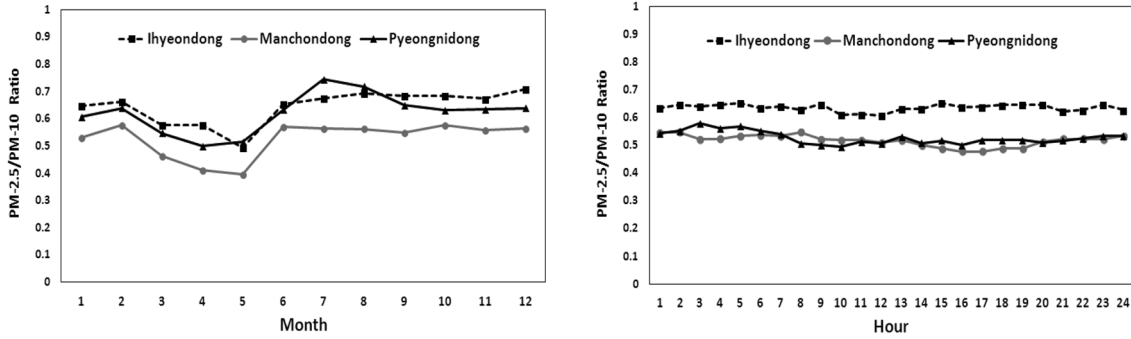


Fig. 7. Monthly and diurnal variation of PM-2.5/PM-10 ratio at Ihyeondong, Manchondong and Pyeongnidong for 2 years(2011~2012).

는 하루 종일 PM-2.5/PM-10비가 일정하다는 것으로 이 비를 변화시킬 만한 요소가 없다는 것을 의미한다. PM-2.5/PM-10 비는 인체에 유해한 입경 2.5  $\mu\text{m}$  이하의 미세먼지의 기여율을 알 수 있다는 면에서 중요한 의미를 가진다고 볼 수 있다. PM-2.5/PM-10 비에 대한 기존 연구의 예를 보면, 비교적 청정지역인 제주도 고산에서 2002년 3월 2일부터 4월 116까지 측정된 자료에서 황사시 0.404, 비황사시 0.503으로 황사 시에 낮은 값을 나타내었다.<sup>29)</sup> 홍콩의 산업과 농촌지역에서 측정된 예를 보면, 산업지역에서는 0.78, 농촌지역에서는 0.53이 나타나 산업지역에서 배출된 오염물질과 자동차 배기가스에 의해 PM-2.5농도가 높게 나타났다.<sup>30)</sup>

### 3.6. 황사발생일의 PM-10과 PM-2.5의 특성

황사발생시의 PM-10과 PM-2.5의 농도를 알아본다는 것은 황사에 포함된 미세먼지의 특성을 규명한다는 측면에서 매우 중요한 의미를 지니고 있다. 다른 지역의 연구에서 황사발생시 거대입자에 대한 미세입자의 비율이 낮다는 연구 결과가 나와 있다.<sup>18,31)</sup> 2011년부터 2012년까지 2년간의 대구지역 황사발생일은 2011년에 12일, 2012년에는 2일로 총 14일이었다.<sup>32)</sup>

Table 4는 2011년부터 2012년까지 2년간 시간별 자료를 이용하여 대구지역에 황사가 발생했을 때의 PM-2.5, PM-10의 농도 및 PM-2.5/PM-10 비, PM-10-2.5/PM-2.5 비를 나타낸 것이다. 황사발생시의 PM-10농도는 평리동이 136.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 만촌동이 110.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮은 농도를 나타내었다. 그리고 PM-2.5는 평리동이 47.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 만촌동이 23.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮게 나타났다. PM-2.5/PM-10 비는 평리동 0.42, 이현동 0.41, 만촌동 0.32로 매우 낮

Table 4. Concentration of PM-2.5, PM-10, PM-2.5/PM-10 ratio and PM-10-2.5/PM-2.5 ratio at yellow sand occurrence (2011~2012) at Ihyeondong, Manchondong and Pyeongnidong for 2 years(2011~2012)

Sites	PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM-2.5 /PM-10	PM-10-2.5/PM-2.5
Ihyeondong	121.1 $\pm$ 98.2	37.4 $\pm$ 17.9	0.41	2.17
Manchondong	110.2 $\pm$ 95.8	23.7 $\pm$ 11.3	0.32	3.48
Pyeongnidong	136.7 $\pm$ 110.2	47.5 $\pm$ 29.9	0.42	1.78

은 값을 나타내었다. 평상시 대구지역의 PM-2.5/PM-10 비는 Table 4에서와 같이 0.54~0.64인데 비해 황사시의 PM-2.5/PM-10 비는 0.32~0.42로 매우 낮은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 박과 임<sup>25)</sup>이 대구에서 2006년 2월부터 4월까지 측정된 PM-2.5/PM-10 비가 비황사기간은 22.5~89.9%(평균 55.4%), 황사기간은 22.7~39.1%(평균 33.0%)로 비황사기간에 비해 상당히 감소하였다는 결과와도 일치한다. 그리고 PM-10-2.5/PM-2.5는 평리동이 1.78, 이현동 2.17, 만촌동 3.48로 만촌동이 가장 높았다. 이 비의 의미는 황사 시에는 입경 2.5  $\mu\text{m}$  이하의 미세입자보다는 PM-10에서 PM-2.5 사이의 크기를 가진 거대입자가 다량 수송되어 대구지역에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

## 4. 결론

대구지역에서 최근 2년간(2011~2012) 대기오염자동측정망에서 측정된 PM-10과 PM-2.5 농도자료를 이용하여, 미세먼지의 계절별, 월별, 시간별 특성과 PM-2.5/PM-10 비 그리고 황사시와 비황사시를 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PM-10의 질량농도는 공업지역인 이현동과 도로변 지역인 평리동은 연평균 기준치인 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였으나, 주거지역인 만촌동은 환경기준치를 만족하였다. PM-2.5의 질량농도는 만촌동은 변화가 없었으며 미국의 EPA 연간기준치를 모든 지점에서 초과하였다. 계절별 변화를 보면, PM-10은 이현동과 만촌동의 경우 봄철 > 겨울철 > 가을철 > 여름철 순이고, 평리동은 겨울철 > 봄철 > 가을철 > 여름철 순이었다. 그리고 PM-2.5는 세 지점 모두 겨울철 > 봄철 > 가을철 > 여름철 순으로 나타났다.
- 2) 월변화 특성을 보면, PM-10은 2월에 가장 높은 농도를 나타내었고, 8월과 9월에 낮은 농도를 나타내었다. PM-2.5도 PM-10과 유사한 월변화 경향을 보였고, 2월에 최고농도를 보인 후 9월까지 지속적으로 하강하다가 10월에 급격히 상승한 후 12월까지 일정한 농도를 보였다.
- 3) 일변화 특성을 보면, PM-10과 PM-2.5 모두 오전 7시부터 증가하기 시작하여 10~11시경에 최고 농도를 보인 후 18

시까지 계속 하강하다가 저녁부터 새벽까지 일정한 농도를 보였다.

4) 요일별 특성을 보면, 주중의 미세먼지 농도는 주말보다 높은 농도를 나타내었으며, 그 변동 폭은 공업지역이 주거 지역보다 크게 나타나 교통량과 인구활동에 의해 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

5) PM-2.5/PM-10 비를 보면, 이현동(0.64) > 평리동(0.60) > 만촌동(0.54) 순으로 나타났다. 계절별로 보면, 이현동은 여름철=가을철=겨울철 > 봄철, 만촌동은 여름=가을 > 겨울 > 봄철, 평리동은 여름철 > 가을철 > 겨울철 > 봄철 순으로 나타나 공통적으로 여름철이 높고 봄철이 가장 낮았다.

6) 황사발생시의 PM-10과 PM-2.5 농도는 평리동이 가장 높았고 만촌동이 가장 낮은 농도를 나타내었다. 그리고 황사발생시 PM-2.5/PM-10 비는 비황사시 0.54~0.64에 비해 평리동이 0.42, 이현동이 0.41, 만촌동이 0.32로 매우 낮게 나타났다.

KSEE

## Reference

1. Korea Ministry of Environment, "Framework Act on Environmental Policy,"(2013).
2. Spengler, J. D. and Thurston, G. D., "Mass and elemental composition of fine and coarse particle in six U. S. cities," *JAPAC*, **33**(12), 1162~1171(1983).
3. Simpson, R. W., "A statistical analysis of particulate data sets in Brisbane, Australia," *Atmos. Environ.*, **26B**(1), 95~105(1992).
4. Do, H. S., "Characteristics assessment of trace element concentrations in dust by facilities and areas in Daegu," Doctorate thesis of Daegu Haany University(2011).
5. Kim, Y. S., No, Y. M., Lee, C. M., Song, M. K., Kim, J. C. and Jun, H. J., "Statistical characteristic of distribution of concentration and heavy metal of PM10 in the subway stations of Seoul," Proceeding of KOSAE spring conference (2006).
6. Gao, Y., Nelson, E. D., Field, M. P., Ding, Q., Li, H., Sherrill, R. M., Gigliotti, C. L., Van Ry, D. A., Glenm, T. R. and Eisenreich, S. J., "Characterization of atmospheric trace elements on PM-2.5 particulate matter over the New York-New Jersey harbor estuary," *Atmos. Environ.*, **36**, 1077~1086 (2002).
7. Fraser, M. P., Yue, Z. W. and Buzcu, B., "Source apportionment of fine particulate matter in Houston, TX, using organic molecular markers," *Atmos. Environ.*, **37**, 2117~2123(2003).
8. Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N., "Atmospheric chemistry and physics," John Wiley & Sons, Inc., p. 1360(1998).
9. Ha, H. S., Lee, C. D., Kim, H. J., Yoo, H. J. and Song, Y. J., "Source characteristics assessment of fine particles (PM-10) a ranges," *Gyeonggi-do Inst. Health Environ. Yearbook*, **12**, 111~122(2010).
10. Wojas, B. and Almqvist, C., "Mass concentrations and metals speciation of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, and total suspended solids in Oxford, Ohio and comparison with those from metropolitan sites in Greater Cincinnati region," *Atmos. Environ.*, **41**, 9064~9078(2007).
11. US Environmental Protection Agency (US EPA), "National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, Final Rule, Federal Register," **62**(138), Part II, EPA, p. 110(1997).
12. WHO, World Health Organization Air Quality Guidelines Global Update, p. 30(2005).
13. Korea Ministry of Environment, "Air Quality Monitoring Network Guideline for Installation and Operation,"(2011).
14. Ju, J. H. and Hwang, I. J., "A study spatial distribution of principal pollutants in Daegu area using air pollution monitoring network data," *J. Kor. Soc. Atmos. Environ.*, **27**(5), 545~557(2011).
15. Lee, T. J. and Kim, D. S., "Estimation of source contribution for ambient particulate matters in Suwon area," *J. Kor. Soc. Atmos. Environ.*, **13**(4), 285~296(1997).
16. Kim, B. H. and Kim, D. S., "Studies on the environmental behaviors of ambient PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Suwon area," *J. Kor. Soc. Atmos. Environ.*, **16**(2), 89~101(2000).
17. DeGaetano, A. T. and Doherty, O. M., "Temporal, spatial and meteorological variations in hourly PM-2.5 concentration extremes in Neww York City," *Atmos. Environ.*, **38**, 1547~1558 (2004).
18. Kim, K. H., Chae, K. H. and Kim, C. H., "The Metallic composition of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in a northeast region of Seoul during the Spring 2001," *J. Kor. Earth Sci. Soc.*, **23** (6), 514~525(2002).
19. Daegu Metropolitan City, Integrated traffic information, <http://car.daegu.go.kr>(2013).
20. Jeon, B. I., "Characteristics of Spacio-Temporal variation for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration in Busan," *J. Environ. Sci.*, **19**(8), 1013~1023(2010).
21. Zhao, X., Zhang, X., Xu, X., Xu, J., Meng, W. and Pu, W., "Seasonal and diurnal variation of ambient PM-2.5 concentration in urban and rural environmental in Beijing," *Atmos. Environ.*, **43**, 2893~2900(2009).
22. Lee, C. T., Chuang, M. T., Chan, C. C., Cheng, T. J. and Huang, S. L., "Aerosol characteristics from the Taiwan aerosol supersite in the Asian yellow-dust periods of 2002," *Atmos. Environ.*, **40**, 3409~3418(2006).
23. Lonati, G., Giugliano, M. and Cernuschi, S., "The role of traffic emissions from weekend and weekdays fine PM data in Milan," *Atmos. Environ.*, **40**, 5998~6011(2006).
24. Morawska, L., Jayaratne, E. R., Mengersen, K., Jamriska, M. and Thomas, S., "Differences in airborne particle and gaseous concentrations in urban air between weekday and weekends," *Atmos. Environ.*, **36**, 4375~4383(2003).
25. Dockery, D. A. and Pope, C. A., "Acute respiratory effects of particular air pollution," *Annual Rev. Public Health*, **15**, 107~132(1994).
26. Querol, X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Viana, M. M., Artinano, B., Salvador, P., Mantilla, E., Garcia Do Santos, S., Fernandez Patier, R., De La Rosa, J., Sanchez, De La Campa, A. and Menendez, M., "Levels of PM in rural, urban and industrial



- sites in Spain,” *Sci. Total Environ.*, **334-335**, 359~376(2004).
27. Duan, F. K., He, K.B., Ma, Y. L., Yang, F. M., Yu, X. C., Cadle, S. H., Chan, T. and Mulawa, P. A., “Concentration and chemical characteristics of PM-2.5 in Beijing, China:2001-2002,” *Sci. Total Environ.*, **355**, 264~275(2006).
28. Tecer, L. H., Suren, P., Alagha, O., Karaca, F. and Tuncel, G., “Effect of meteorological parameters on fine and coarse particulate matter mass concentration in a coal-mining area in Zonguldak, Turkey,” *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **58**, 545~552 (2008).
29. Han, J. S., Moon, G. J., Ahn, J. Y., Gong, J. B., Jeong, D. W., Lee, S. J., Kim, J. E. and Kim, Y. J., “Characteristics of ion and carbon components of PM2.5/PM10 at Gosan in Jeju-do; August in 2002,” Proceeding of KOSAE fall conference, pp. 147~148(2003).
30. Ho, K. F., Lee, S. C., Chan, C. K., Yu, J. C., Chow, J. C. and Yao, X. H., “Characterization of chemical species in PM-2.5 and PM-10 aerosols in Hong Kong,” *Atmos. Environ.*, **37**, 31~39(2003).
31. Park, J. Y. and Lim, H. J., “Characteristics of water soluble ions in fine particles during the Winter and Spring in Daegu,” *J. Kor. Soc. Atmos. Environ.*, **22**(5), 627~641(2006).
32. Korea Meteorological Administration, <http://www.kma.go.kr/weather/asiandust/observeday.jsp>,(2013).