

부산지역 지역용도별 해안과 내륙의 PM10 농도 특성

전 병 일*⁺

Characteristics of PM10 concentration at seashore and inland according to land-use in Busan

Byung-Il Jeon*⁺

요약 : 본 논문은 부산지역의 지역용도별 PM10(입경 10 μm 미만의 크기를 가진 먼지입자) 농도의 특성을 고찰하기 위해 수행되었다. 미세먼지는 배출량, 지형조건 그리고 기상인자에 의해 영향을 받는다. 공업지역의 경우, 내륙인 감전동의 PM10농도는 여름철을 제외한 모든 계절에서 해안인 녹산동보다 높았으며, 1차 peak가 가을철과 겨울철에 명확하게 나타났다. 녹지지역인 경우, 내륙인 대저동의 PM10농도는 해안인 동삼동보다 모든 계절에서 높은 농도를 나타내었다. 상업지역의 경우, 내륙인 전포동에서 primary peak를 나타내는 시각이 계절에 따라 1 시간씩 지연되었으며, 해안인 광복동은 전포동보다 봄철에 높은 농도를 나타내었다. 주거지역의 경우, 내륙인 덕천동과 용수리에서 봄철에 고농도의 PM10(80~90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 6시간동안 지속되어 나타났다.

핵심용어 : PM10 농도, 지역용도, 공업지역, 녹지지역, 상업지역, 주거지역

Abstract : This study was conducted to consider the characteristics of PM10(particulate matter with aerodynamic diameters less than 10 μm) concentration according to land-use in Busan coastal area. Fine particle is affected by emissions, geographical conditions and meteorological factors. In case industrial area, Gamjeondong(inland) PM10 concentration was higher than Noksandong(seashore) at all season except for Summer. Primary peak at Gamjeondong cleared than Noksandong in Fall and Winter. In case green area, Daejeodong(inland) PM10 concentration was higher than Dongsamdong(seashore) at all seasons. In case commercial area, primary peak occurrence time at Jeonpodong lagged one hour according to season and diurnal change of PM10 concentration at Gwangbokdong was higher than Jeonpodong in Spring. In case residential area, high PM10 concentration(80~90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) lasted for six hours during the daytime in Spring at Deogcheondong and Yongsuri(inland).

Keywords : PM10 concentration, land-use, industrial area, green area, commercial area, residential area

1. 서 론

현대사회는 여러 가지 산업과 교통의 발달로 다양한 오염물질이 대기 중으로 배출되고 있다. 그 중에서도 미세먼지에 의한 대기오염은 도심지역의 시정장애와 호흡기질환 등을 유발하여 사회의 주요한 문제로 대두되고 있다(전병일과 황용식, 2008). PopeIII 등(2004)은 입경 10 μm 이하의 미세먼지는 인간의 기관지와 심장혈관계 질병에 심

각한 영향을 미친다는 임상학적인 결과를 발표했으며, 또한 그는 PM10 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때마다 심장혈관계 질병은 약 6 %, 폐암발병률은 약 8 % 높아진다고 하였다(PopeIII 등, 2002).

미세먼지농도는 오염물질 배출량 및 지형 그리고 기상조건 등 다양한 인자와 관련되어 있으며, 특히 기상상태는 배출된 오염물질의 확산 정도를 결정하는 중요한 변수이다. 미세먼지농도의 해석을 위해서 국지기상 및 종관기상 상태를 고려하여

⁺ Corresponding author : bjeon@silla.ac.kr

* 정회원 · 신라대학교 환경공학과 교수

대기오염도를 해석하는 것이 무엇보다도 필요하다 (전병일, 1997; 이정영 등, 2007; DeGaetano 등, 2004). 또한 측정소가 해안에 가까이 위치하고 있느냐 아니면 내륙 쪽에 위치하느냐에 따른 지형적인 조건도 PM10농도에 큰 영향을 미칠 수 있다(Fang 등, 1999, Yang, 2000).

부산지역은 남쪽과 동쪽에 해안을 끼고 있는 전형적인 연안환경의 도시이다. 따라서 연안에 접해 있는 지역과 비교적 내륙 쪽인 지역과는 대기오염 배출환경이 다르고 지형과 기상학적인 배경이 다르다(전병일 등, 1994; 김지아 등, 2007). 동일한 지역용도로 구분된 대기오염측정소라고 하더라도 해안에 가까운 지역에 위치한 지점이 있고 내륙 쪽으로 들어간 지점이 있다. 따라서 PM10 농도는 동일한 미세먼지 배출환경이라도 미세먼지 농도에 영향을 미치는 지형과 기상조건에 의해서 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 부산광역시에서 측정된 PM10농도를 이용하여 용도지역별로 해안과 내륙으로 구분하여 PM10 농도 특성을 고찰하였다. 향후 본 연구의 결과는 부산광역시에서 대기오염자동측정망을 증설하거나 재배치가 필요할 때 참고자료로서 활용될 수 있을 것이다.

2. 자료 및 분석방법

본 연구에서 사용한 부산광역시의 PM10 측정 자료는 2002년 1월부터 2006년 12월까지 5년간이며, 부산지역 19개 대기오염 자동관측망 중 도로변측정소(온천동과 초량동)를 제외한 17개 지점의 미세먼지(PM10)를 공업지역, 녹지지역, 상업지역, 주거지역으로 구분하여 PM10 농도의 특성을 고찰하였다. 본 연구에서의 지역용도 구분은 부산광역시에서 대기오염측정망의 설치시 정해진 것을 그대로 이용하였다. 자동측정자료의 선택은 일평균 자료의 경우, 24시간 중에서 70%(18시간) 이상 측정된 자료를 유효자료로서 취급하였다(Lasen, 1973). 부산 지역 17개 지점에서 위 조건을 만족한 유효자료는 90%이상으로서 지역용도별 PM10농도 특성을 고찰하는데 전혀 문제가

없었다. 부산지역의 대기오염 자동측정소는 Fig. 1과 같다. 공업지역은 3개 지점으로 장림동, 감전동 및 녹산동이며, 녹지지역은 2개 지점으로 동삼동과 대저동, 상업지역은 2개 지점으로 광복동과 전포동 그리고 주거지역은 10개 지점으로 덕천동, 연산동, 대연동, 재송동, 기장읍, 부곡동, 광안동, 북천동, 용수리 및 좌동이다. 각 용도지역별 내륙과 해안지역의 선정은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 공업지역의 경우, 해안은 녹산동, 내륙은 감전동으로 하였고, 녹지지역의 경우, 해안은 동삼동, 내륙은 대저동으로, 상업지역의 경우, 해안은 광복동, 내륙은 전포동으로, 주거지역의 경우, 해안은 좌동과 기장읍, 내륙은 덕천동과 용수리로 선정하여 분석하였다.

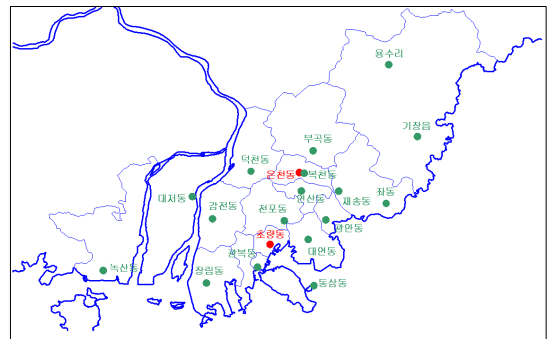


Fig. 1. Air pollution monitoring site in Busan

3. 결과 및 고찰

3.1 용도지역별 PM10의 특성

Fig. 2는 부산지역의 용도지역별 PM10 농도 일변화를 나타낸 것이다. 먼저, 공업지역(장림동, 감전동, 녹산동)의 경우, 봄철의 PM10농도는 타 계절에 비해 월등하게 높은 농도를 나타내었으며, 특히 오전 10시~11시에는 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3 (\pm 50 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ 정도})$ 를 초과하는 고농도 미세먼지를 나타내었으며, 16시경에도 $80 \mu\text{g}/\text{m}^3 (\pm 45 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ 정도})$ 의 2차 peak가 나타났다. 그리고 봄철과 여름철의 PM10 농도는 자정까지 농도가 완만하게 감소하는 경향을 나타내었으나, 가을철과 겨울철은 오후 9시에

약하나마 2차 peak가 나타났다. 녹지지역(동삼동, 대저동)은 봄철의 농도가 가장 높았고 그 외 계절은 모두 비슷한 일변화 경향과 비슷한 농도분포를 나타내었다. 최고농도를 나타낸 시각은 여름철(9시)을 제외한 모든 계절은 모두 오전 11시이었다. 상업지역(광복동, 전포동)은 4계절 모두 비슷한 일변화 경향을 나타내었다. 오전 10시~11시에 최고농도를 나타내었고 이후 완만하게 하강하는 추세를 보였다. 주거지역(나머지 10개 지점)의 경우, 봄철의 농도가 월등하게 높았고 4계절 모두 비슷한 일변화 경향을 나타내었다. 봄철의 경우 오전 10시부터 16시까지 약 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도(의 농도가 일정하게 유지하는 경향을 보였고, 그 이후 자정까지 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 고농도가 나타났다.

용도지역별로 고찰해 본 결과, 네 지역 모두 봄철의 PM10 농도가 가장 높았고 오후와 저녁에 2차 peak가 나타났다. 봄철의 경우, 녹지지역과 주거지역에서 오전의 최고농도 발생 후 오후 내내 고농도 PM10이 약 6시간정도 지속되었다. 여름철의 PM10농도는 상업지역에서 4계절 중 가장 낮게 나타났고 상업지역은 봄철 다음으로 높게 나타났다. 특히 상업지역을 제외한 녹지지역, 상업지역 그리고 주거지역의 여름철 새벽 PM10 농도가 가을철과 겨울철보다 높게 나타났는데, 이는 이른 아침의 NOx의 증가와 오전에 상승하는 오존농도와 관련이 있는 것으로 판단된다 (Gerasopoulos 등, 2006).

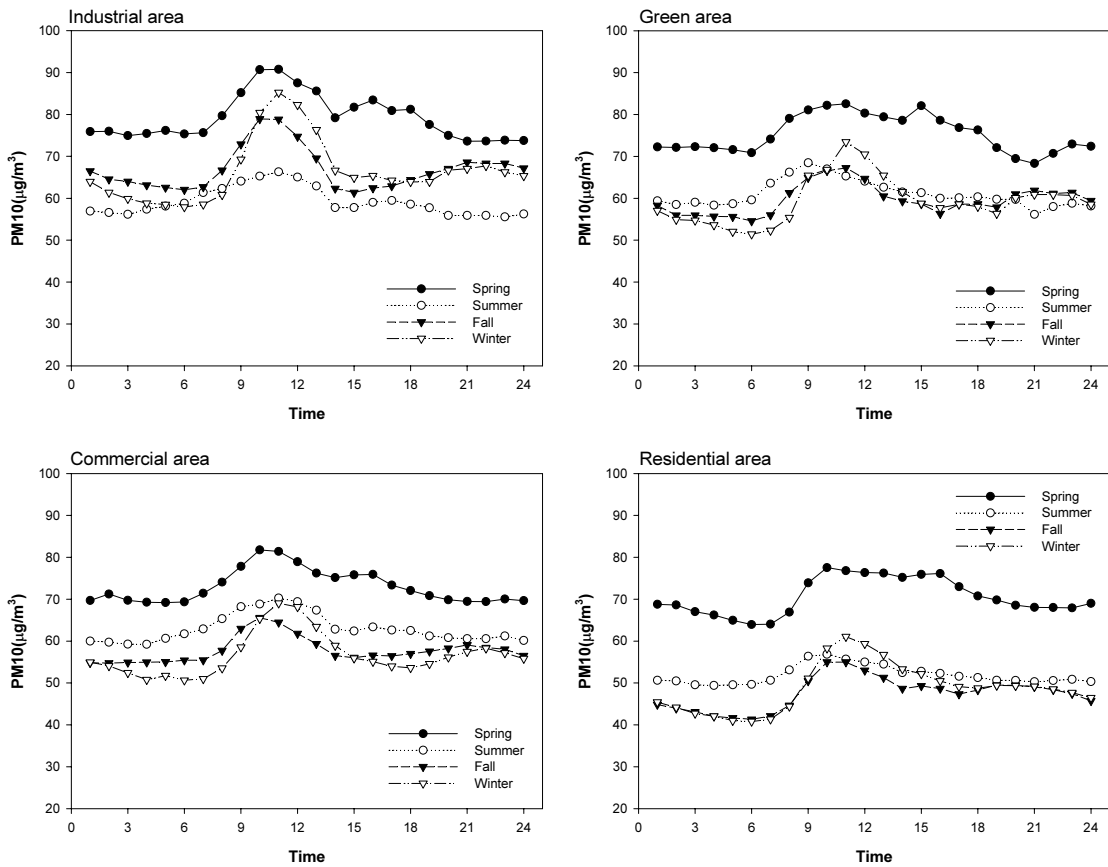


Fig. 2. Diurnal variation of PM10 concentration according to land-use in Busan

3.2 동일한 용도지역에서의 해안지역과 내륙 지역 PM10 농도 특성

3.2.1 공업지역

Fig. 3은 공업지역인 녹산동(해안)과 감전동(내륙)에서 PM10 농도의 일변화를 나타낸 것이다. 녹산동의 연평균 PM10 농도(최근 3년간 평균)는 61.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 감전동(최근 5년간 평균)의 농도는 70.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 감전동이 녹산동보다 약 8.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높았다. 즉 해안의 공업지역보다 내륙의 공업지역이 높은 농도를 보여주었다. 녹산동의 경우, 최고농도는 봄철에 10시, 그 외 계절은 모두 11시에 나타났으며, 2차 peak는 봄철에 15시, 그 외 계절은 21시와 22시경에 나타났으며, 봄철의 농도가 타 계절의 농도에 비해 월등히 높게 나타났다. 감전동의 경우, 최고농도는 여름철(낮 12시)을 제외하고 모두 오전 10시에 나타났으며, 2차 peak는 여름철 17시, 봄철 18시 그리고 가을철과 겨울철은 21시에 나타났다. 특히 가을과 겨울의 PM10농도의 일변화는 뚜렷한 bi-modal 구조를 나타내었다. 감전동은 녹산동에 비해 여름철 PM10 농도는 다소 낮았으나 그 외 계절의 PM10 농도는 모두 높게 나타났다. 녹산동의 여름철 PM10농도는 가을철과 겨울철보다 높았으나, 감

전동의 여름철 PM10농도는 4계절 중 가장 낮게 나타났다. 내륙지역인 감전동의 PM10농도는 해안지역인 녹산동보다 여름철을 제외하고 모든 계절에서 높게 나타났다. 특히 감전동의 가을철과 겨울철의 1차 peak와 2차 peak는 녹산동에 비해 매우 뚜렷하게 나타났다.

3.2.2 녹지지역

Fig. 4는 녹지지역인 동삼동(해안)과 대저동(내륙)에서 PM10 농도의 일변화를 나타낸 것이다. 동삼동과 대저동의 최근 5년간 평균 PM10농도는 52.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 75.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 동삼동이 매우 낮은 농도를 나타내었다. 대저동은 부산지역 17개 측정소 가운데 가장 높은 농도를 나타내어 녹지지역 측정소로서 다소 문제를 나타내고 있다. 해안에 위치한 동삼동의 경우, 모든 계절에서 오전 10~11시경에 최고농도를 나타내고 이후 점차 하강하여 오후 20~21시경에 최소농도를 나타내고 있으며, 일변화 폭도 크지 않는 편이다. 내륙에 위치한 대저동의 경우, 겨울을 제외한(오전 10시) 모든 계절에서 오전 9시에 최고농도를 나타내었으며, 2차 peak는 봄철과 여름철에 15시, 가을철과 겨울철에 각각 20시와 21시에 나타났다. 특히 가을철과 겨울철의 동삼동에서 최소농도를 나타내

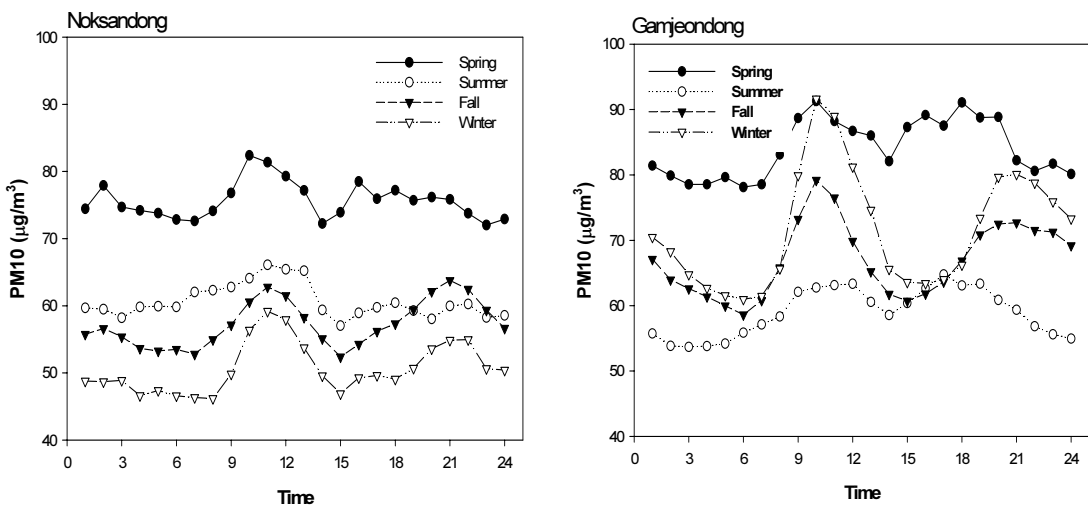


Fig. 3. Diurnal variation of PM10 concentration at seashore(Noksandong) and inland(Gamjeondong) in industrial area

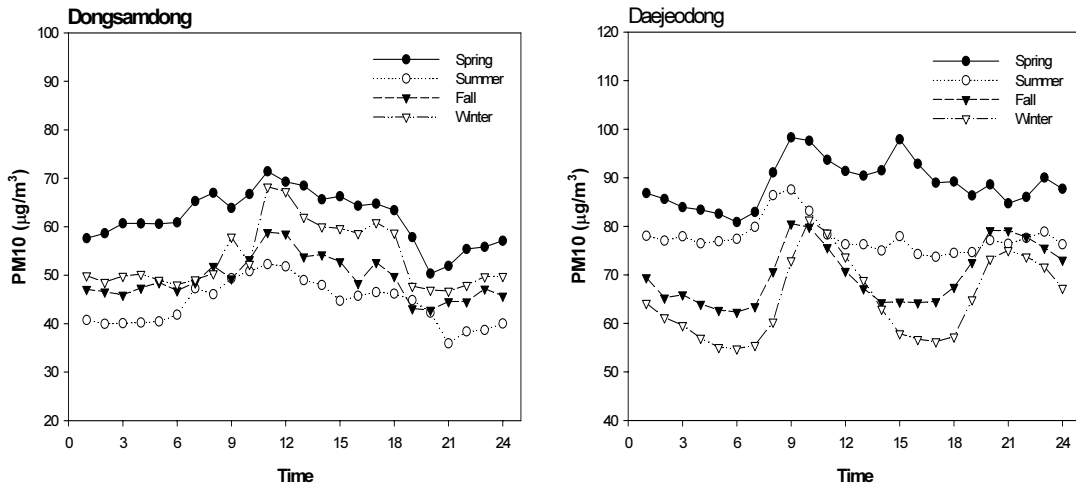


Fig. 4. Diurnal variation of PM10 concentration at seashore(Dongsamdong) and inland (Daejeodong) in green area

었던 오후 20시경에 대저동에서는 2차 peak의 고농도가 나타나는 반대현상이 발생하였다. 이는 매우 흥미로운 현상으로 앞에서 언급한 공업지역인 녹산동과 감전동에서 이와 비슷한 경향이 나타나는 것으로 보아 오후 20시경의 2차 peak는 퇴근시간대의 자동차 배출가스에 의한 영향으로 미세먼지농도가 상승한 것으로 판단된다. 지금까지 대저동이 녹지지역으로 분류되고 있으나, 향후 세밀한 조사를 거쳐 측정소의 지역구분을 재조정할 필요가 있다고 사료된다. 내륙지역인 대저동의 PM10 농도가 동삼동보다 모든 계절에서 높았고, 여름철 농도의 경우, 동삼동은 4계절 중 가장 낮았으나, 대저동은 봄철 다음으로 높게 나타났다.

3.2.3 상업지역

Fig. 5는 상업지역인 광복동(해안)과 전포동(내륙)에서 PM10 농도의 일변화를 나타낸 것이다. 광복동과 전포동의 최근 5년간의 평균농도는 각각 $64.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $60.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 비슷한 농도를 나타내었다. 광복동의 경우, 겨울철(낮 12시)을 제외한 모든 계절에서 오전 11시에 최고농도를 나타내었고 이후 야간까지 완만히 감소하는 경향을 나타내었다. 2차 peak는 봄철과 여름철이 15시에, 가을철과 겨울철이 공업지역과 비슷한 21시

에 나타났다. 전포동의 경우, 최고농도를 나타내는 시각이 여름철은 오전 9시, 봄철과 가을철은 오전 10시 겨울철은 오전 11시로 한 시간씩 지연되는 현상을 나타내고 있다. 이는 계절적인 출근 시간과 잘 연계되며 교통량이 많은 주변환경을 잘 대변하는 것으로 판단된다. 따라서 두 지점의 경우 농도의 일변화는 비슷한 경향을 보여주나, 최고농도를 나타내는 시각에서 차이가 나타나는 점이 특이한 현상이라고 할 수 있다. PM10 농도의 일변화 변동폭의 경우, 봄철은 광복동이 전포동에 비해 뚜렷하였고, 가을철과 겨울철은 전포동이 광복동보다 매우 명확하게 나타났다. 그리고 두 지역 모두 봄철의 2차 peak는 15시경에 뚜렷하게 나타났다.

3.2.4 주거지역

Fig. 6은 주거지역 해안(좌동, 기장읍)과 내륙(덕천동, 용수리)의 PM10농도 일변화를 나타낸 것이다. 비교적 해안에 위치한 좌동과 기장읍의 연평균 PM10 농도는 각각 $43.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $47.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 우리나라의 환경기준치 이하($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)를 나타내 비교적 청정지역으로 분류될 수 있으며, 특히 좌동의 여름철과 가을철의 농도는 각각 $33.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $38.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 매우 낮은 농도를 나

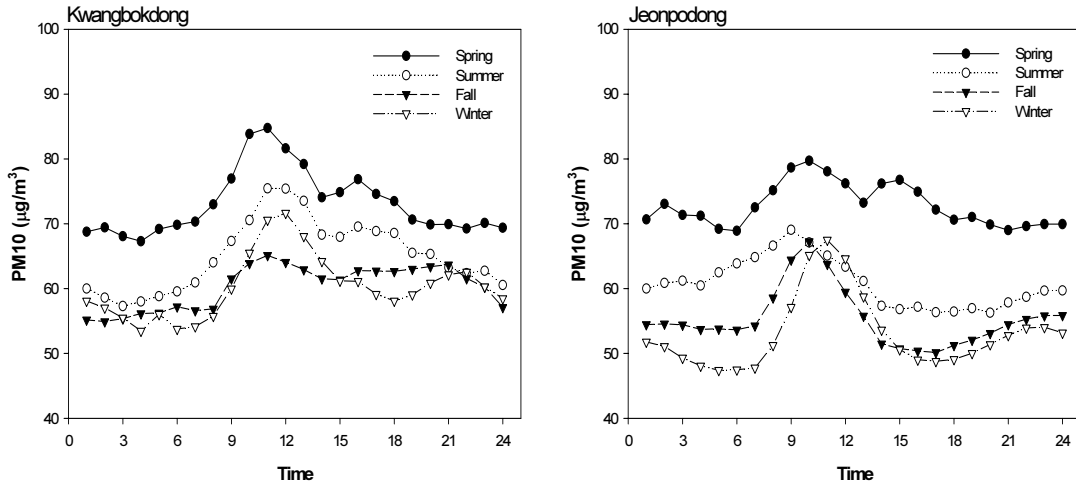


Fig. 5. Diurnal variation of PM10 concentration at seashore(Kwangbokdong) and inland (Jeonpodong) in commercial area

타내었다. 기장읍의 가을철도 $39.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 저농도의 PM10을 보였다. 좌동의 봄철 경우, 새벽과 야간에 높은 농도를 보이는 특이한 경향을 나타내었으며, 그 외 여름, 가을, 겨울철은 오전과 오후에 peak를 나타내는 일반적인 경향을 보였다. 기장읍의 봄철 경우는 좌동과 반대로 주간에는 높은 농도를 보이는 경향을 나타내었으며, 그 외 계절은 좌동과 비슷한 하루 두 번의 peak를 나타내는 bi-modal 형태를 보였다. 주거지역인 좌동과 기장읍의 여름철 PM10농도의 일변화 변동폭은 타 계절에 비해 매우 작았다.

주거지역 중에서 비교적 내륙에 위치한 덕천동과 용수리의 연평균 PM10 농도는 $56.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $52.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 해안지역의 농도보다 높은 경향을 보였다. 덕천동의 여름과 가을철의 평균농도는 각각 $47.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $49.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 환경기준치 이하이었으며, 용수리의 가을과 겨울철의 평균농도도 $46.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $42.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 환경기준치 이하를 나타내었다. 덕천동의 봄철 경우, 오전 11시 최고농도를 나타내고 16시까지 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 고농도를 보이다가 이후 지속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그 외 계절은 오전에 1차 peak를 나타낸 후 일정하게 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 2차 peak는 겨울철(19시경에 약하게 나타

남)을 제외하고는 나타나지 않았다. 용수리의 봄철 경우, 오전 10시에 최고농도를 나타내고 이후 감소하다가 15시에 2차 peak를 나타내고 이후 일정한 농도를 보였다. 그 외 계절은 오전과 오후에 peak가 나타나는 bi-modal 형태를 나타내었다. 결과적으로 주거지역의 해안과 내륙의 뚜렷한 차이는 봄철에 나타났다. 특히 좌동의 새벽과 야간의 농도가 주간보다 높게 나타나는 원인에 대해서는 향후 조사해 볼 만하다.

4. 요약 및 결론

부산지역에서 2002년부터 2006년까지 5년간의 PM10 농도자료를 이용하여 지역용도별(공업, 녹지, 상업, 주거)로 PM10 농도의 특성을 평가하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 부산지역 지역용도별로 고찰해 본 결과, 네 지역 모두 봄철의 PM10 농도가 가장 높았고 오후와 저녁에 2차 peak가 나타났다. 특히 녹지지역과 주거지역에서 오전의 최고농도 발생 후 오후 내내 고농도 PM10이 약 6시간정도 지속되었다. 여름철의 PM10농도는 공업지역에서 4 계절 중 가장 낮게 나타났고 상업지역은 봄철 다음으로 높게 나타났다.

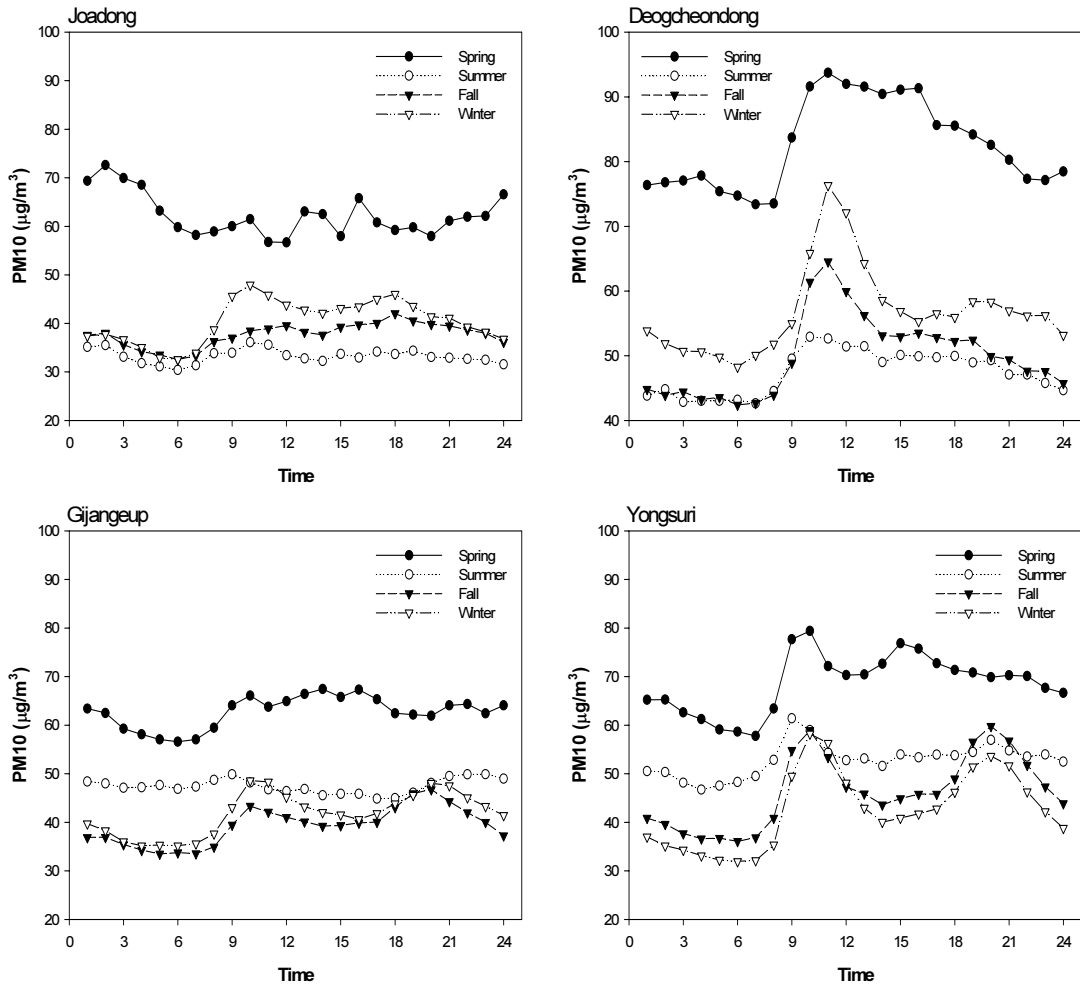


Fig. 6. Diurnal variation of PM10 concentration at seashore(Joadong and Gijangeup) and inland (Deogcheondong and Yongsuri) in residential area

- 2) 공업지역의 경우, 내륙지역인 감전동의 PM10농도는 해안지역인 녹산동보다 여름철을 제외하고 모든 계절에서 높게 나타났으며, 특히 감전동의 가을철과 겨울철의 1차 peak와 2차 peak는 녹산동에 비해 매우 뚜렷하게 나타났다.
- 3) 녹지지역의 경우, 내륙지역인 대저동의 PM10 농도가 동삼동보다 모든 계절에서 높았고, 여름철 농도의 경우, 동삼동은 4계절 중 가장 낮았으나, 대저동은 봄철 다음으로 높게 나타났다.
- 4) 상업지역의 경우, 내륙지역인 전포동은 최고 농도를 나타내는 시각이 계절에 따라 1시간씩 지연되는 현상을 나타내었으나, 광복동은 겨울철을 제외하고 모두 11시에 최고농도가 나타났다. PM10 농도의 일변화 변동폭의 경우, 봄철은 광복동이 전포동에 비해 뚜렷하였고, 가을철과 겨울철은 전포동이 광복동보다 매우 명확하게 나타났다. 그리고 두 지역 모두 봄철의 2차 peak는 15시경에 뚜렷하게 나타났다.
- 5) 주거지역의 경우, 내륙인 덕천동과 용수리는

봄철의 주간에 6시간 정도 80~90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도의 고농도를 나타내었으나, 해안지역인 좌동은 주간이 새벽이나 야간보다 낮은 농도를 나타내었다.

- 6) PM10농도를 분석하여 본 결과, 동일한 지역용도라고 하더라도 시간별, 계절별 차이가 발견되었고, 특히 녹지지역으로 분류된 대저동은 향후 측정소의 재배치가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

김지아, 진형아, 김철희, 부산지역 미세먼지 농도의 시간변동 특성 및 기상인자 분석을 통한 먼지 생성 해석, 한국환경과학회지, 제16권, 제10호, pp. 1157-1167, 2007.

이정영, 한진석, 공부주, 홍유덕, 이종현, 정일록, 종관기상장에 따른 서울지역 미세먼지 농도 변화, 환경영향평가, 제16권 제5호, pp. 351-361, 2007.

전병일, 김유근, 이화운, 해풍이 부산지역의 대기오염농도에 미치는 영향, 한국환경과학회지, 제3권, 제4호, pp. 357-365, 1994.

전병일, 황용식, 최근 5년간 부산지역의 미세먼지 (PM10)농도 특성에 관한 연구, 환경영향평가, 제16권, 제6호, pp. 533-542, 2007.

DeGaetano, A.T., and Doherty, O.M., Temporal, spatial and meteorological variations in hourly PM2.5 concentration extremes in New York City, Atmos. Environ., Vol. 38, pp. 1,547-1,558, 2004.

Fang, G.C., Chang, C.N., Wu, Y.S., Fu, P.P., Yang, D.G., and Chu, C.C., Characterization of chemical species in PM2.5 and PM10 aerosols in suburban and rural sites of

central Taiwan, The Science of the Total Environment, Vol. 234, pp. 203-212, 1999.

Gerasopoulos, E., Kouvarakis, G., Babasakalis, P., Vrekoussis, M., Putaud, J.P., and Mihalopoulos, N., Origin and variability of particulate matter(PM10) mass concentrations over the Eastern Mediterranean, Atmospheric Environment, Vol. 40, pp. 4,679-4,690, 2006.

Lasen, R.I., An air quality data analysis system for interrelating effects, standards, and needed source reduction, JAPCA, Vol. 23, pp. 933, 1973.

PopeIII, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., and Thurston, G.D., Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, Journal of the American Medical Association, Vol. 287, pp. 1,132-1,141, 2002.

PopeIII, C.A., Burnett, R.T., Thurston, G.D., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., and Godleski, J.J., Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease, Circulation, Vol. 109, pp. 71-77, 2004.

Yang, K. L., Spatial and seasonal variation of PM10 mass concentration in Taiwan, Atmos. Environ., Vol. 36, pp. 3,403-3,411, 2000.

- 논문접수일 : 09년 06월 30일
- 심사의뢰일 : 09년 07월 01일
- 심사완료일 : 09년 08월 03일