

ORIGINAL ARTICLE

부산지역 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 주중/주말 특성

전병일* · 황용식¹⁾

신라대학교 환경공학과, ¹⁾부산대학교 환경보건연구소

Characteristics of Weekday/Weekend PM₁₀ and PM_{2.5} Concentrations at Busan

Byung-Il Jeon*, Yong-Sik Hwang¹⁾

Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

¹⁾Institute for Environmental Health, Pusan National University, Busan 626-870, Korea

Abstract

The study investigates weekday/weekend characteristics of PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations and meteorological elements in Busan. The PM₁₀ concentration is highest on Wednesday and Thursday, and lowest on Sunday. On the other hand, the PM_{2.5} concentration is highest on Wednesday and lowest on Sunday. The location where concentrations of weekdays and weekend differ the most is Hwakjang-dong, the industrial area, and where they differ the least is Gijang-up and Joa-dong, the residential area. Fine particle concentration in the industrial area was consistent at dawn and in the morning, but varied in the afternoon and at night. The visibility of Sunday was 0.49 km higher than that of weekdays, and the solar radiation of Sunday was 0.11 MJ/m² higher than that of weekdays. These results indicate that the concentration of fine particles had influence on the change of visibility and solar radiation.

Key words : Weekday/weekend, PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations, Visibility, Solar radiation

1. 서론

미세먼지는 도시지역에 거주하는 사람들의 건강에 매우 중요한 위해요소이며, 임상학적·독성학적으로 미세먼지와 공중위생과는 매우 강한 상관성이 있다. 특히 PM_{2.5}와 PM₁₀과 같은 초미세입자는 PM₁₀의 조대입자보다 건강에 더 위해요소이며(Ostro 등, 2006), 독성물질의 전달자 역할을 하기도 한다(McEntee와 Himmelberger, 2008). 또한 도시의 자동차는 중요한 오염원으로 미세먼지 배출의 50%를 차지하며(Wrobel

등, 2000), 자체 배출물질 뿐만 아니라 타이어와 브레이크 라이닝 마모, 재비산먼지 등을 발생시킨다(Clairborn 등, 1995).

도시 지역은 농촌과 배경지역에 비해 주중과 주말의 대기오염배출 특성이 다르다. 특히 도시지역의 주중은 주말에 비해 산업활동의 증가로 인해 먼지 배출량이 증가한다(Qin 등, 2004). 주중과 주말의 미세먼지 농도 특성에 관한 국외의 연구로서, 호주의 브리즈번(Chan 등, 1997), 미국의 남부 캘리포니아(Qin 등, 2004), 미국 캘리포니아 전체(Motallebi 등, 2003), 영

Received 10 February, 2014; Revised 16 April, 2014;
Accepted 21 April, 2014

*Corresponding author: Byung-Il Jeon, Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea
Phone: +82-51-999-5056
E-mail: bijeon@silla.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

국(Jones 등, 2008)에 대한 연구가 있고, 타이완(Tsai, 2005), 이태리의 밀라노(Lonati 등, 2006), 인도의 캘커타(Karar 등, 2006), 일본 동경(Kanari와 Yamamoto, 1998) 등에 대한 연구가 있으며, 주중의 농도가 주말에 비해 높고 심각하다는 것을 밝혔다.

국내의 연구로는 최 등(2008)이 전국의 주요 도시에서 측정된 PM_{10} 농도를 이용하여 주중/주말 특성을 고찰하여 주중의 농도가 주말보다 높다고 하였고, 그 이유로 주말의 감소된 에어로졸 배출량이 주된 결과라고 하였다. 김 등(2007)은 서울에서 PM_{10} 의 주말효과를 조사한 결과, 일요일이 주중에 비해 $3 \sim 15 \mu g/m^3$ 낮았고, 이는 전체 PM_{10} 평균농도($73 \mu g/m^3$)에 비해 $4 \sim 20\%$ 가량 낮은 수준이라고 하였다. 그리고 박 등(2008)은 인천의 도시지역에서 미세먼지($PM_{2.5}$) 중의 OC와 EC를 측정하여 주중과 주말을 비교한 바 있다. 또한 부산에서의 연구로 이 등(2005)이 2002년 부산 아시안 게임 기간 중 주중과 주말의 PM_{10} 농도 특성을 분석하였고, 전(2010)이 2006년부터 2008년까지 3년간 부산지역 3개 지점에서 측정된 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 의 주중 및 주말 특성을 분석한 바 있으나, 7개 지점으로 확대하여 측정된 자료에 대한 분석과 지역용도별 분석, 주중/주말의 시간별 특성, 기상요소와의 관련성은 아직 없는 실정이다.

따라서 미세먼지의 주중과 주말의 미세먼지 농도 특성을 고찰한다는 것은 도시지역의 미세먼지관리대책과 향후 미세먼지예보기법 개발에 기여를 할 수 있을 것으로 본다. 본 연구에서는 최근 2년간(2011~2012) 부산지역에서 측정된 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 농도 그리고 기상자료(시정, 일사량)를 이용하여 주중/주말의 미세먼지 농도와 기상요소의 특성을 고찰하였다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서 사용한 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 의 측정자료는 측정지점수가 가장 많고 신뢰성이 높은 2011년 1월부터 2012년 12월까지 최근 2년간의 시간별 평균자료이다. 부산지역 19개 자동측정망 중(도로변 2개소 포함)에서 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 를 동시에 측정하는 광복동, 장림동, 학장동, 녹산동, 연산동, 기장읍, 좌동의 7개 지점의 자료를 사용하였다. 미세먼지농도와 기상조건을

고찰하기 위해 부산지방기상청에서 측정한 시정은 미세먼지와 동일한 기간에 3시간 간격의 자료를 사용하였으며, 일사량은 시간별 자료를 사용하였다.

부산에서 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 를 동시에 측정하는 지점은 Fig. 1과 같이 상업지역인 광복동, 공업지역인 장림동, 학장동, 녹산동, 주거지역인 연산동, 기장읍, 좌동으로 총 7개 지점이다. 광복동은 상가 밀집지역으로 상업지역으로 분류되며, 장림동과 학장동 그리고 녹산동은 중·소규모의 공장이 밀집한 공업지역으로 자동차 통행량과 공장에서 배출되는 오염물질이 많은 곳이며, 연산동은 비교적 내륙에 위치하고 인근에 주택과 도심지의 교통량이 많은 지역이고, 기장읍은 남동해안에 위치한 교외지역으로서 주변에 녹지가 풍부하며 최근에는 아파트가 들어서고 있는 추세이며, 좌동은 해운대 신도시에 있으며 주변의 수많은 아파트로 둘러싸여 있는 전형적인 주거지역이다.

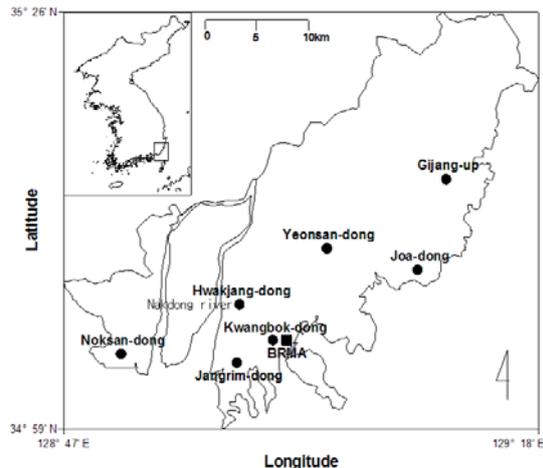


Fig. 1. Automatic air quality monitoring sites(●) and Busan regional meteorological agency(BRMA:■) in Busan.

3. 결과 및 고찰

3.1. PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 농도의 일반적 특성

Table 1은 부산지역 광복동, 장림동, 학장동, 녹산동, 연산동, 기장읍, 좌동에서 2011년부터 2012년까지 2년간 측정된 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 의 연평균농도와 표준편차를 나타낸 것이다. PM_{10} 의 2년간 평균농도는 상업지역인 광복동이 $44.5 \mu g/m^3$ 이었고 공업지역인 장

Table 1. Annual mean and standard deviation values of PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations observed at Kwangbok-dong, Janggrim-dong, Hwakjang-dong, Noksan-dong, Yeonsan-dong, Gijang-up and Joa-dong for 2 years (2011~2012)

| Station | PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | |
|---------------|---|-----------|-----------|--|-----------|-----------|
| | 2011 | 2012 | '11-'12 | 2011 | 2012 | '11-'12 |
| Kwangbok-dong | 45.2±32.7 | 43.7±20.0 | 44.5±27.3 | 27.7±15.8 | 30.1±15.0 | 28.9±15.5 |
| Janggrim-dong | 67.3±35.9 | 61.7±22.9 | 64.6±30.4 | 39.9±18.4 | 37.3±15.6 | 38.7±17.2 |
| Hwakjang-dong | 62.3±33.9 | 58.2±22.0 | 60.2±28.5 | 33.5±17.7 | 35.8±18.8 | 34.7±18.3 |
| Noksan-dong | 52.6±30.9 | 54.0±18.2 | 53.4±25.4 | 34.1±15.4 | 30.6±13.0 | 32.4±14.4 |
| Yeonsan-dong | 42.9±32.2 | 42.2±20.2 | 42.6±26.9 | 28.5±16.1 | 26.8±14.2 | 27.7±15.2 |
| Gijang-up | 32.9±30.1 | 29.5±14.8 | 31.4±24.4 | 17.6±9.6 | 16.5±7.5 | 17.1±8.8 |
| Joa-dong | 32.8±29.1 | 31.3±15.7 | 32.1±23.4 | 19.6±8.8 | 20.6±8.6 | 20.1±8.7 |

림동, 학장동, 녹산동이 각각 $64.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $60.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $53.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 주거지역인 연산동, 기장읍, 좌동이 각각 $42.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $31.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $32.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM₁₀의 연평균 대기환경기준인 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만을 달성하는 지점은 상업지역과 주거지역이었고 공업지역은 모두 기준치를 초과하였다.

PM_{2.5}의 2년간 평균농도는 상업지역인 광복동이 $28.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 공업지역인 장림동, 학장동, 녹산동이 각각 $38.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $34.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $32.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 주거지역인 연산동, 기장읍, 좌동이 각각 $27.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $20.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM_{2.5}의 연평균 대기환경기준(2015년 1월 1일부터 시행)인 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만을 달성한 지점은 주거지역인 기장읍과 좌동뿐이었다. 2012년의 PM₁₀농도는 2011년에 비해 황사발생일이 적어 녹산동을 제외하고 모두 낮게 나타났으나, PM_{2.5} 농도는 그러한 현상이 보이지 않았다. 최근 2년간(2011~2012)의 농도는 2006년부터 2008년까지 3년간의 농도에 비해 장림동은 PM₁₀과 PM_{2.5}가 각각 $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮았으며, 주거지역인 기장읍과 좌동

은 PM₁₀이 각각 $10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $10.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮았다. PM_{2.5}는 각각 $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 낮게 나타나 최근의 부산시 미세먼지 관리대책이 어느 정도 실효성을 거두고 있는 것으로 판단된다(Jeon, 2010). 그러나 WHO 연평균 PM₁₀과 PM_{2.5} 권고기준인 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해서는 매우 미흡한 수준이다(WHO, 2006).

Table 2는 최근 2년간의 부산지역 7개 지점 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도를 계절별로 나타낸 것이다. PM₁₀의 경우, 7개 지점 모두 봄철이 가장 높은 농도를 나타내었고, 녹산동을 제외하고 겨울철이 두 번째 높았으며, 여름철이 학장동을 제외하고 가장 낮은 농도를 나타내었다. 따라서 봄철>겨울철>가을철>여름철 순으로 나타났다. 봄철은 중국이나 몽골의 사막 등지로부터 수송되는 황사에 포함된 미세먼지의 영향으로 높았으며, 여름철은 몬순지역의 잦은 강수와 강한 일사에 의한 대기불안정에 따른 혼합층 고도의 상승에 의한 것으로 판단된다(Jeon과 Hwang, 2007). PM_{2.5}의 경우, PM₁₀과 다른 양상을 보여주었는데, 광복동, 장림동, 학장동은 겨울철>봄철>가을철>여름철의 순으로 거

Table 2. Seasonal mean and standard deviation values of PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations observed at Kwangbok-dong, Janggrim-dong, Hwakjang-dong, Noksan-dong, Yeonsan-dong, Gijang-up and Joa-dong for 2 years (2011~2012)

| Station | 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 |
| Kwangbok-dong | 58.0±43.6 | 38.3±13.9 | 40.3±19.9 | 42.2±17.9 | 31.5±16.5 | 24.6±12.2 | 25.5±14.7 | 33.4±16.0 |
| Janggrim-dong | 72.1±44.2 | 54.1±19.9 | 62.9±25.3 | 69.7±23.6 | 39.6±16.7 | 37.0±16.9 | 37.0±18.1 | 40.8±17.1 |
| Hwakjang-dong | 71.0±41.9 | 54.7±18.8 | 54.5±22.4 | 60.6±21.6 | 36.9±18.3 | 26.8±14.4 | 31.7±17.6 | 43.5±18.3 |
| Noksan-dong | 65.7±38.7 | 47.1±11.5 | 50.5±18.4 | 49.9±19.4 | 35.5±14.4 | 29.7±10.8 | 29.7±13.7 | 34.6±17.2 |
| Yeonsan-dong | 55.6±41.0 | 33.5±13.7 | 39.4±20.7 | 42.0±18.7 | 32.3±16.3 | 26.6±13.1 | 23.2±13.2 | 28.5±16.4 |
| Gijang-up | 45.4±41.6 | 25.3±10.2 | 27.2±13.5 | 29.2±16.3 | 19.8±8.0 | 15.6±7.5 | 16.0±8.9 | 18.2±10.4 |
| Joa-dong | 43.4±37.7 | 25.3±9.1 | 27.9±14.2 | 31.4±16.2 | 20.1±9.4 | 21.8±5.7 | 19.1±8.0 | 19.4±10.9 |

Table 3. Annual and seasonal mean PM_{2.5}/PM₁₀ concentration ratios at Kwang-bokdong, Jangrim-dong, Hwakjang-dong, Yeonsan-dong, Gijang-up, Noksan-dong and Joa-dong for 2 years (2011~2012)

| Station | Annual | | Season | | | | Mean |
|---------------|--------|------|--------|--------|------|--------|------|
| | 2011 | 2012 | Spring | Summer | Fall | Winter | |
| Kwangbok-dong | 0.64 | 0.68 | 0.59 | 0.62 | 0.79 | 0.66 | 0.66 |
| Jangrim-dong | 0.60 | 0.59 | 0.57 | 0.65 | 0.58 | 0.60 | 0.60 |
| Hwakjang-dong | 0.53 | 0.61 | 0.53 | 0.47 | 0.71 | 0.57 | 0.57 |
| Noksan-dong | 0.66 | 0.56 | 0.57 | 0.62 | 0.68 | 0.61 | 0.61 |
| Yeonsan-dong | 0.69 | 0.65 | 0.61 | 0.80 | 0.66 | 0.67 | 0.67 |
| Gijang-up | 0.57 | 0.60 | 0.50 | 0.61 | 0.63 | 0.58 | 0.58 |
| Joa-dong | 0.68 | 0.71 | 0.51 | 0.91 | 0.61 | 0.70 | 0.70 |
| Mean | | | 0.55 | 0.69 | 0.67 | 0.63 | |

울철이 봄철보다 높은 농도를 나타내었다. 그리고 녹산동, 연산동, 기장읍은 봄철이 가장 높았으며, 두 번째가 겨울철이었다. 반면, 좌동은 4계절 모두 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 내외의 농도를 보였고 여름철이 가장 높은 농도를 나타내어 매우 이례적인 현상을 나타내었는데, 이에 대해서는 향후 연구가 필요하다고 사료된다.

Table 3은 부산 지역 7개 지점의 연평균 및 계절별 PM_{2.5}/PM₁₀ 비를 나타낸 것이다. PM_{2.5}/PM₁₀ 비는 PM₁₀ 중에 포함된 PM_{2.5}의 기여율을 알아본다는 의미에서 매우 가치가 있다고 판단된다. 부산지역 7개 지점 중 가장 높은 PM_{2.5}/PM₁₀비를 나타낸 지점은 좌동으로 2011년과 2012년에 각각 0.68과 0.71를 나타내었다. 특히 좌동의 여름철 PM_{2.5}/PM₁₀비가 0.91로 엄청 높게 나타나, 이에 대한 추후 조사가 필요한 것으로 사료된다. 장과 정(2012)에 의하면 좌동의 PM_{2.5}/PM₁₀ 비가 매년 증가하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 상업지역인 광복동과 주거지역인 연산동이 각각 0.66과 0.67를 나타내어 비교적 높은 비를 나타내었다. 공업지역인 장림동, 학장동, 녹산동은 0.60 내외를 나타내었으며, 기장읍이 가장 낮은 비를 보였다. PM_{2.5}/PM₁₀ 비가 높다는 것은 일반적으로 질산염(NO₃⁻), 황산염(SO₄²⁻), 암모늄(NH₄⁺) 그리고 유기물 등과 같은 2차 분진 생성에 기인된 것이고, 비가 낮다는 것은 1차 먼지나 장거리수송에 의한 모래먼지에 의한 영향이 크다고 할 수 있다(Duan 등, 2006). 계절별로 보면, 여름철>가을철>겨울철>봄철 순으로 여름철이 가장 높았고 봄철이 가장 낮았다. 이렇게 여름철이 높은 것은 황산염이나 유기화합물과 같은 2차 에어로졸의 기여가

큰 영향을 미치고 강한 바람에 의한 재비산이 약하기 때문이라고 할 수 있다(Tecer 등, 2008).

3.2. PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 주중/주말 특성

Table 4는 부산지역 7개 지점에서 측정된 PM₁₀과 PM_{2.5}농도를 요일별로 나타낸 것이다. 요일별 특성을 고찰하기 때문에 특정일에 영향을 줄 수 있는 황사발생일은 제외하였다. 부산에서의 황사발생일은 2011년에 6일(3월 19일, 5월 1일~4일, 5월 13일), 2012년에 1일(11월 29일)이었다. 요일별 미세먼지는 자동차 연소에 의한 먼지와 자동차 통행에 따른 도로먼지의 발생, 자동차 자체에 의한 먼지 등의 인위적인 요인을 고찰하는데 매우 유의한 정보를 제공한다(Morawska 등, 2002).

PM₁₀의 경우, 최고농도가 나타난 날은 인위적인 오염원이 가장 축적되는 수요일(광복동, 장림동, 녹산동, 좌동)과 목요일(학장동, 연산동)이었고 주거지역인 기장읍이 월요일에 최고농도를 나타내었다. 가장 낮은 농도는 7개 지점 모두 일요일에 나타났다. 특히 학장동은 목요일이 63.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 일요일이 45.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 그 차이가 18.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 컸다. PM_{2.5}의 경우, 연산동과 기장읍을 제외한 모든 지점이 수요일에 가장 높은 농도를 나타내었고, 가장 낮은 농도는 기장읍과 좌동을 제외하고 모두 일요일에 나타났다. 기장읍과 좌동이 각각 화요일과 금요일에 가장 낮은 농도를 나타내었으며, 두 지점 모두 요일별 편차는 매우 작았다. 가장 큰 주중/주말 차이를 나타낸 지점은 학장동으로 수요일이 37.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 일요일이 28.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 그 차이가

Table 4. Summary statistics for PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at Kwangbok-dong, Jangrim-dong, Hwakjang-dong, Noksan-dong, Yeonsan-dong, Gijang-up and Joa-dong for 2 years (2011 ~2012)

| Site | | PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | | PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | |
|---------------|------|---|------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|--|-------------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| | | Mon | Tue | Wed | Thu | Fri | Sat | Sun | Mon | Tue | Wed | Thu | Fri | Sat | Sun |
| Kwangbok-dong | Mean | 43.3 | 43.4 | 43.9 | 43.8 | 42.6 | 43.2 | <u>40.9</u> | 28.7 | 28.8 | 29.1 | 28.6 | 28.3 | 28.6 | <u>28.1</u> |
| | S.D. | 19.7 | 18.8 | 18.5 | 19.8 | 20.1 | 18.8 | 19.3 | 15.4 | 15.6 | 15.2 | 15.0 | 16.4 | 13.2 | 14.9 |
| Jangrim-dong | Mean | 62.8 | 66.1 | 67.0 | 66.7 | 65.1 | 61.6 | <u>53.3</u> | 38.5 | 40.2 | 40.3 | 39.4 | 39.2 | 37.8 | <u>33.8</u> |
| | S.D. | 25.0 | 26.1 | 23.0 | 24.2 | 20.5 | 24.0 | 20.7 | 17.7 | 20.0 | 17.0 | 16.5 | 14.1 | 17.3 | 15.1 |
| Hwakjang-dong | Mean | 60.4 | 63.2 | 62.3 | 63.7 | 60.8 | 55.7 | <u>45.5</u> | 34.6 | 35.8 | 37.3 | 36.9 | 36.0 | 32.9 | <u>28.1</u> |
| | S.D. | 22.2 | 23.7 | 21.1 | 22.7 | 20.5 | 21.1 | 18.6 | 17.5 | 20.5 | 18.4 | 19.0 | 18.1 | 16.2 | 15.9 |
| Noksan-dong | Mean | 52.0 | 52.4 | 54.2 | 53.9 | 52.3 | 51.8 | <u>47.8</u> | 32.5 | 32.0 | 33.6 | 32.9 | 32.1 | 31.8 | <u>30.1</u> |
| | S.D. | 19.3 | 18.1 | 18.9 | 18.9 | 17.7 | 18.4 | 17.6 | 15.0 | 14.7 | 14.4 | 12.7 | 14.0 | 13.6 | 13.5 |
| Yeonsan-dong | Mean | 41.1 | 41.3 | 42.0 | 43.1 | 41.5 | 40.4 | <u>38.4</u> | 27.6 | 28.2 | 28.1 | 27.7 | 26.8 | 27.3 | <u>26.1</u> |
| | S.D. | 19.3 | 19.6 | 18.3 | 20.4 | 19.3 | 19.3 | 19.0 | 14.9 | 16.6 | 14.5 | 15.0 | 13.8 | 14.3 | 14.2 |
| Gijang-up | Mean | 31.6 | 30.7 | 29.7 | 28.9 | 29.4 | 30.0 | <u>28.7</u> | 17.4 | <u>16.1</u> | 16.9 | 16.6 | 17.4 | 17.3 | 17.1 |
| | S.D. | 16.6 | 15.4 | 13.4 | 13.5 | 15.8 | 15.4 | 15.2 | 8.6 | 7.2 | 8.0 | 8.4 | 10.3 | 8.9 | 9.2 |
| Joa-dong | Mean | 31.0 | 30.6 | 32.1 | 31.2 | <u>29.8</u> | 30.6 | <u>29.8</u> | 20.2 | 20.2 | 20.2 | 20.0 | <u>19.8</u> | 20.0 | 20.0 |
| | S.D. | 16.4 | 15.2 | 14.8 | 15.1 | 15.3 | 14.3 | 14.9 | 8.8 | 9.1 | 7.9 | 9.1 | 9.2 | 7.8 | 8.5 |

Boldface and underline indicates highest and lowest day-of week concentration, respectively

9.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 이와 같이 미세먼지가 일요일에 가장 낮은 것은 승용차나 트럭의 운행이 작아 그에 따른 미세먼지 배출량과 기인물질이 감소하기 때문이다 (Motallebi 등, 2003). 일요일의 미세먼지 농도가 낮은 것은 정부기관, 각종 학교, 산업체 등 휴무로 인한 교통통행량 감소에 의한 것이라고 하였고, 이러한 주말의 교통량 감소는 입자상 오염물질의 배출량 감소뿐만 아니라 타이어 마모와 도로면지의 재비산으로 생기는 배출량을 감소시키기도 하며, 또한 주말의 선오염원으로부터 배출되는 질소산화물이 감소함으로써 2차 오염물질의 생성의 감소에도 기여한다(Hassan 등, 2013).

Table 5는 부산지역 7개 지점에서 측정한 PM₁₀과 PM_{2.5}농도를 주중과 주말로 구분하여 그 특성을 고찰한 것이다. 여기서 주중은 월요일부터 금요일까지로 하였고 주말은 토요일부터 일요일까지로 하였다. PM₁₀의 경우, 주중에 가장 높은 지점은 장림동으로 65.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 그 다음이 학장동(62.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 가장 낮은 지점은 주거지역인 기장읍(30.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었으며, 주말의 경우도 주중과 같은 순서이었다. 주중과 주말의 농도차이를 감소율로 나타내면, 학장동의 주말농도가 주중에 비해

18.5% 감소하여 가장 컸고, 그 다음이 장림동으로 12.3%, 녹산동이 6.0%로 공업지역의 주중/주말 농도차이가 크게 나타났다. 주거지역인 기장읍과 좌동은 5%미만으로 매우 낮았다.

PM_{2.5}의 경우는 PM₁₀과 같이 주중에 가장 높은 농도를 나타낸 지점은 장림동으로 39.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 그 다음이 학장동(36.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 가장 낮은 지점은 주거지역인 기장읍(16.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다. 주중/주말의 농도차이는 학장동이 15.5%로 가장 컸고, 그 다음이 장림동으로 9.4%이었으며, 기장읍의 경우는 주말이 오히려 주중보다 1.8% 높은 농도가 나타났다. PM₁₀과 PM_{2.5} 농도 모두 공업지역에서 주중/주말 농도 차이가 크게 나타나 주중에 미세먼지의 발생원이 주말에는 감소한 것으로 보인다. 특히 주말을 일요일로 한정할 경우, 주중/일요일 차이가 더 크게 나타나, 학장동의 PM₁₀과 PM_{2.5}는 각각 26.6%, 22.2%가 감소하였으며, 모든 지점에서 일요일의 미세먼지가 더 감소한 것으로 나타났다. 그리고 기장읍의 PM_{2.5} 농도가 주중보다 주말이 더 높게 나타낸 것은 매우 이례적이고 이에 대한 조사는 추후 진행되어 할 것으로 사료된다.

영국 런던의 3개 지점(도로변, 도시중심, 교외)의

Table 5. Weekday/weekend differences of PM₁₀ and PM_{2.5} at Kwangbok-dong, Jangrim-dong, Hwakjang-dong, Yeonsan-dong, Gijang-up, Noksan-dong and Joa-dong for 2 years(2011~2012)

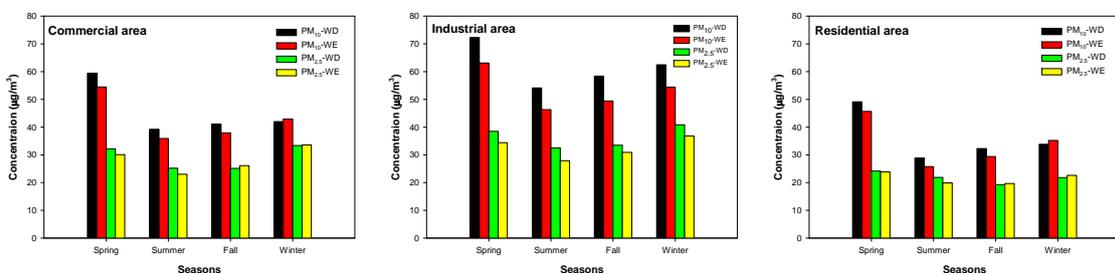
| Site | PM ₁₀ | | | | PM _{2.5} | | | |
|---------------|---|---|----------------------------------|----------------------------------|---|---|--------------------|--------------------|
| | Weekday ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Weekend ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Differ- ence ^a (%) | Differ- ence ^b (%) | Weekday ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Weekend ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Differ- ence(%) | Differ- ence(%) |
| Kwangbok-dong | 43.4±19.3 ^c | 42.0±19.1 | -3.2 | -5.9 | 28.7±15.5 | 28.3±14.1 | -1.4 | -2.3 |
| Jangrim-dong | 65.6±23.8 | 57.5±22.7 | -12.3 | -18.6 | 39.5±17.1 | 35.8±16.3 | -9.4 | -14.5 |
| Hwakjang-dong | 62.1±22.0 | 50.6±20.5 | -18.5 | -26.6 | 36.1±18.7 | 30.5±16.2 | -15.5 | -22.2 |
| Yeonsan-dong | 53.0±18.6 | 49.8±18.1 | -6.0 | -9.8 | 32.6±14.1 | 30.9±13.6 | -5.2 | -7.8 |
| Gijang-up | 41.8±19.3 | 39.4±19.1 | -5.8 | -8.2 | 27.7±14.9 | 26.7±14.2 | -3.4 | -5.6 |
| Noksan-dong | 30.1±15.0 | 29.4±15.3 | -2.3 | -4.4 | 16.9±8.6 | 17.2±9.0 | +1.8 | +1.4 |
| Joa-dong | 31.0±15.3 | 30.2±14.6 | -2.4 | -3.6 | 20.1±8.8 | 20.0±8.1 | -0.4 | -0.4 |

^a(Weekday-Weekend)/Weekday. ^b(Weekday-Sunday)/Weekday. ^cAverage±standard deviation.

PM₁₀과 PM_{2.5} 주중/주말 분석한 결과, 도로변과 도시 중심은 주중이 주말보다 높았으나, 교외지역은 반대로 주말이 주중보다 높게 나타났다(Jones 등, 2008). 미국 남부 캘리포니아의 PM₁₀ 주중/주말 차이는 아침과 오후의 러시아워가 각각 평균 14%와 17%로 오후가 더 높았으며 지역별 차이가 컸다(Qin 등, 2004). 우리나라 대도시의 PM₁₀ 주중/주말 분석에서 1990년대는 3.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2000년대는 4.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 주중이 높았다(Choi 등, 2008). 호주 브리즈번의 미세입자는 주중과 주말에 각각 7.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 6.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 초대입자는 11.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 8.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 각각 22%, 23%가 감소하였다(Chan 등, 1997). 인도 캘커타의 PM₁₀과 TSP 주중/주말 분석결과 각각 7.1%~24.5%와 2.9%~58.4%의 감소가 있었다(Karar 등, 2006). 일본 동경에서 SPM의 주중/휴일 분석에서 휴일농도는 주중에 비

해 17% 감소하였고 도로변 지역은 21%나 감소하였다(Kannari와 Yamamoto, 1998). 일본 나고야에서 대형차 교통량의 영향으로 평일의 PM_{2.5} 농도가 일요일보다 20% 높다고 하였다(Yamagami 등, 2008). Lee 등(2005)은 2002년 9월에 부산에서 열린 아시안 게임 기간 중의 주중과 주중의 PM₁₀은 각각 68.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 65.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 약간 주중이 높았으나, 아시안 게임 전에는 47.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 33.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 주중이 주말에 비해 매우 높은 농도를 보였다.

Fig. 2는 부산지역서 측정된 PM₁₀과 PM_{2.5}농도를 용도지역별로 구분하여 계절별 주중(월~금)/주말(토~일) 특성을 고찰한 것이다. 상업지역은 광복동, 공업지역은 장림동, 학장동, 녹산동, 주거지역은 연산동, 기장읍, 좌동이다. 먼저, 상업지역의 PM₁₀은 겨울철을 제외한 모든 계절에서 주중농도가 주말보다 높았으

**Fig. 2.** WD/WE variation of PM₁₀ and PM_{2.5} at Busan for different seasons(WD : weekday, WE : weekend).

며, PM_{2.5}는 가을철과 겨울철의 주말농도가 주중보다 높게 나타났다. 공업지역의 PM₁₀과 PM_{2.5}는 모든 계절에 걸쳐 주중농도가 주말농도보다 높았다. PM₁₀농도는 모든 계절에서 주중이 주말에 비해 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높게 나타나 주중의 인위적인 활동에 의한 미세먼지 발생이 많았음을 시사한다. 주거지역의 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도는 상업지역과 같이 PM₁₀은 봄철, 여름철, 가을철이 PM_{2.5}는 봄철과 여름철이 주중이 주말보다 높게 나타났다. 따라서 주중/주말 차이를 계절별로 분석한 결과 공업지역은 모든 계절에서, 상업지역과 주거지역은 봄철과 여름철에서 주중농도가 높게 나타났다. 특히 겨울철은 상업지역과 주거지역에서 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 주중보다 주말농도가 높게 나타났다. 이에 대한 원인에 대해서는 좀 더 연구가 필요하리라 사료된다. 이태리 밀라노에서 PM₁₀과 PM_{2.5}의 주중/일요일 분석 결과, 겨울철과 여름철의 일요일 PM₁₀ 농도가 주중보다 각각 17%, 25% 정도 낮게 나타났으며, PM_{2.5} 농도도 각각 18%, 8% 감소되었으며, 조대입자의 감소는 농촌지역보다 도시지역에서 더 크게 나타났다(Lonati 등, 2006).

Fig. 3은 부산지역 7개 지점에서 주중/주말 PM₁₀과 PM_{2.5}농도의 일변화 특성을 나타낸 것이다. 우리나라의 주중과 주말의 자동차 통행특성을 살펴보면, 통행량이 제일 많은 시간은 평일의 경우 출퇴근시간(0700~0900 LST, 1700~1900 LST)에 최고조에 이르나, 주말의 경우 여가·종교활동 등으로 오전에는 0800~1100 LST, 오후에는 1200~1400 LST로 나타났고, 특히 주말 1800 LST까지는 통행량이 집중되어 정체가 지속되고 있다. 또한 주말에는 승용·승합차량의 이용률이 49.7%나 높아져 전체 통행의 절반을 차지하고 주말은 주중에 비해 고정통행(출근, 등교)의 주요 교통수단 중 하나인 대중교통(시내/마을버스, 지하철/전철)의 이용률은 낮아지는 것으로 나타났다(MLIT, 2011)

먼저 광복동 PM₁₀의 경우, 0800 LST까지 거의 주중/주말 농도차이가 없었으나 그 이후부터 1800 LST까지 주중이 주말보다 높았고 가장 큰 차이를 보인 시각은 1200 LST로 4.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. PM_{2.5}의 경우는 오전과 오후는 PM₁₀과 비슷한 패턴을 보였으나 1800~2100 LST에 주말농도가 주중보다 높았다. 공업지역

인 장림동의 PM₁₀과 PM_{2.5} 경우, 새벽시간대(0000~0700 LST)는 주중/주말 차이가 크지 않았으나 그 이후부터 주중농도가 주말농도보다 큰 패턴이 자정까지 유지되었다. 특히 PM₁₀은 1000 LST 이후 주중/주말 차이가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이었고 특히 1100 LST에는 그 차이가 16.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 되었고, 특히 오전시간에 농도차이가 크게 나타났다. 공업지역인 학장동의 PM₁₀과 PM_{2.5} 경우, 장림동과 비슷한 일변화 패턴을 보여주었으나, 농도차이는 장림동보다 크게 나타났다. 특히 PM₁₀은 오전시간보다는 오후시간에 큰 차이를 보였으며 1600~2100 LST에는 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 차이를 나타내었다.

공업지역인 녹산동의 PM₁₀과 PM_{2.5} 경우, 0000~0900 LST까지는 주중/주말 농도 차이가 거의 없으나, 그 이후부터 2200 LST까지 농도차이를 보였다. PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 2000~2100 LST에서의 농도차이가 상대적으로 크게 나타났다. 이는 녹산공단지역에서 산업활동이나 자동차통행량이 증가하는 시간대라고 추정된다. 주거지역인 연산동의 PM₁₀은 0000~0800 LST까지 거의 차이가 없었고 그 이후부터 1700 LST까지 차이가 컸다. 특히 1400 LST에는 그 차이가 13.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 보였다. 그러나 PM_{2.5} 경우는 오전과 오후에 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도의 차이를 보여 큰 변화가 없는 패턴을 보였다. 주거지역인 기장읍의 PM₁₀은 0000~0800 LST까지 거의 차이가 없었고 그 이후 자정까지 주중이 주말보다 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높은 패턴을 보였다. PM_{2.5} 경우는 주중/주말 차이가 거의 없었으며, 오히려 오전(0800~1200 LST)을 제외한 모든 시간대에서 주말농도가 주중보다 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높은 현상을 보였다. 마지막으로 주거지역인 좌동의 PM₁₀과 PM_{2.5}는 오전(0800~1300 LST)에 주중이 주말보다 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높았고 그 외 시간대는 거의 차이 없거나 불규칙하였다.

따라서 주중/주말 농도의 일변화를 살펴본 결과 상업지역과 공업지역은 인위적인 활동이 활발한 오전과 오후에 차이가 크게 나타났으며, 녹산동은 저녁에 차이가 나타나기도 하였다. 주거지역인 기장읍과 좌동은 주중/주말 차이가 크게 나타났다. 이러한 현상은 지역별 교통통행량이나 산업시설의 가동 등 지역적 특색과 관련이 높은 것으로 판단된다(Lonati 등, 2006). 이러한 것은 향후 배출원의 철저한 조사와 관련 활동

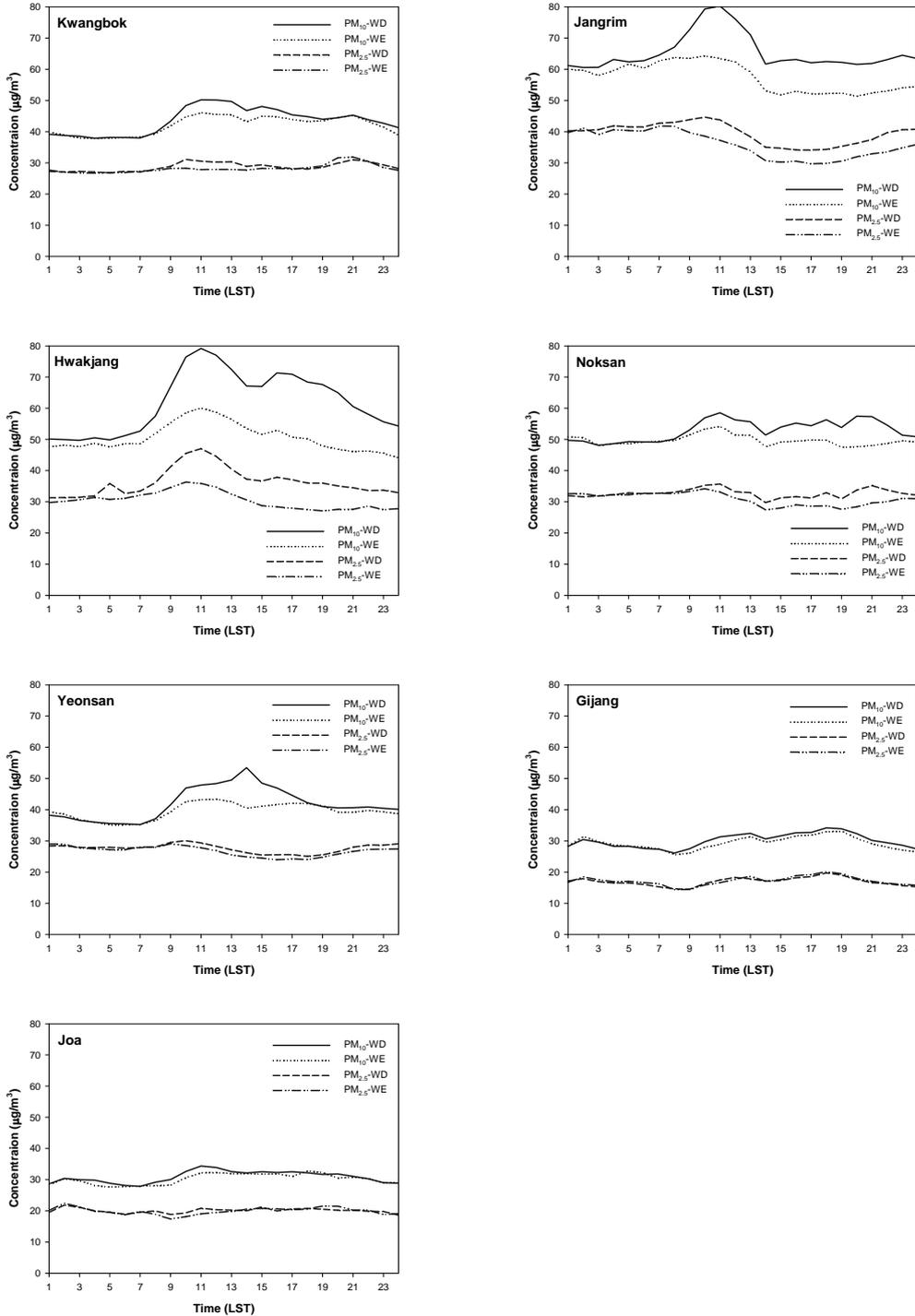


Fig. 3. Diurnal variation of PM₁₀ and PM_{2.5} for weekday/ weekend for 7 sites.

이 수반되면 부산시의 효율적인 대기질 관리가 이루어지리라 본다. 일본 동경에서 평일과 휴일의 대기오염물질배출량을 조사한 결과, 휴일은 평일에 비해 각각 교통량, NO_x, CO, SO_x, SPM이 57%, 86%, 44%, 46%이었다(Kannari와 Yamamoto, 1998). 향후 부산에서도 주중/주말의 미세먼지 특성을 정확하게 고찰하기 위해서는 주중/주말의 교통량조사와 대기오염배출량 조사 및 에너지소비량 조사가 이루어져야 한다고 사료된다.

3.3. 기상요소의 주중/주말 특성

Fig. 4는 2011년 1월부터 2012년 12월까지 2년간 부산지방기상청에서 측정된 시정과 일사량을 주중과 주말로 구분하여 나타낸 것이다. 미세먼지는 도시지역에서 시정장애를 유발하는 주요 체감지표로 알려져 있으며, 태양복사에너지를 산란하여 시정을 악화시키거나 태양복사에너지를 감소시킨다. 인위적인 에어로졸 배출은 직접적이든 간접적이든 운량을 변화시키고, 간접적인 에어로졸 효과는 구름 응결핵의 농도수를 증가시켜 하층의 따뜻한 구름의 응결과 크기를 줄임으로서 두껍고 긴 주기의 구름형성의 원인이 된다(Twomey, 1977; Albrecht, 1989). 미국 남부 캘리포니아의 주중/주말 빛 산란율이 주말의 오전과 오후에 낮은 미세먼지농도로 각각 14%와 17%가 감소되었다(Qin 등, 2004).

시정은 부산기상청에서 3시간 간격으로 1일 8회 측정된 자료를 사용하였고 황사가 발생한 날은 자료에

서 생략하였다. 주중은 월요일부터 금요일까지이고 주말을 토요일과 일요일, 일요일만으로 구분하여 특성을 고찰하였다. 부산의 시정은 대부분 16 km 이상이었으며, 새벽과 오전에 시정이 작고 한낮에 높은 특성을 보여 주었다. 주중과 주말의 최대시정 발생은 1500 LST, 일요일은 1800 LST에 나타났고, 최저시정은 모두 0600 LST에 발생하였다. 시정의 주중/주말 차이는 새벽과 오전에는 주중이, 오후와 야간에는 주말이 시정이 양호하였다. 주중과 주말의 평균시정은 각각 17.72 km와 17.78 km로 주말이 0.06 km 좋았으나 큰 차이는 없었다. 그러나 주중/일요일의 차이는 0300~0600 LST를 제외하고 모든 시간대에서 일요일의 시정이 주중보다 양호하게 나타났다. 일요일의 평균시정이 18.21 km로 주중보다 0.49 km나 크게 나타나 주중의 미세먼지가 시정감소에 어느 정도 역할을 하였다고 볼 수 있다.

부산지방기상청에 매시간 측정된 일사량을 보면, 최대일사량은 1300 LST에 발생하였으며, 주중/주말 차이는 1100 LST까지는 거의 같았고 1200 LST는 주중이 높았으나, 그 후부터는 주말이 주중보다 높은 일사량을 보였다. 주중과 주말의 일평균 일사량은 각각 14.23 MJ/m²과 14.28 MJ/m²로 주말이 0.05 MJ/m² 높았다. 주중/일요일 차이는 특히 1300~1400 LST에 크게 나타났으며, 일요일의 평균 일사량이 14.34 MJ/m²로 주중보다 0.11 MJ/m²이나 높았다. 따라서 주중은 미세먼지로 인해 태양복사에너지가 산란되거나 복사되어 일사량의 감소가 어느 정도 일어났다고 볼 수 있다.

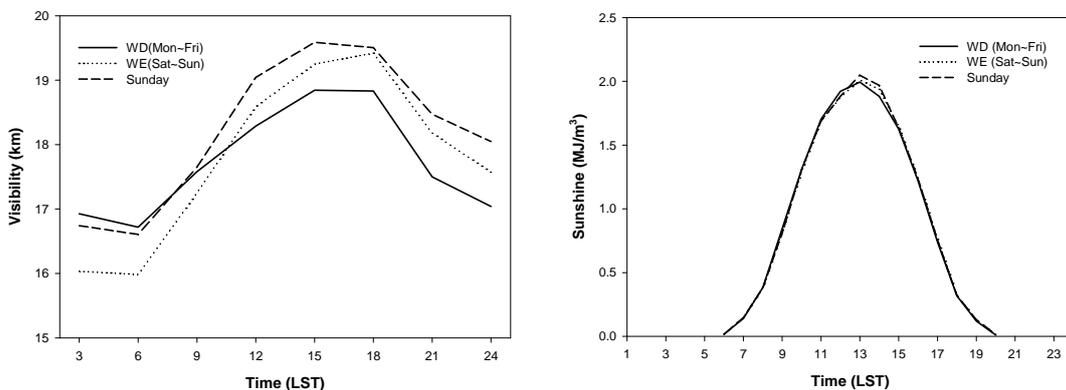


Fig. 4. Diurnal variation of visibility (left) and sunshine (right) at Busan.

4. 요약 및 결론

부산지역에서 최근 2년간(2011~2012) 대기오염 자동측정망에서 측정된 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 농도 자료와 부산지방기상청의 시정과 일사량자료를 이용하여 미세먼지와 기상요소의 주중/주말 특성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 미세먼지 농도의 일반적 특성을 보면, PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 는 공업지역인 장림동과 학장동에서 높았고, 주거지역인 기장읍과 좌동에서 낮은 농도를 나타내었다. 계절별로는 봄철에 PM_{10} 이 모든 지점에서 가장 높았으나 $PM_{2.5}$ 는 광복동, 장림동, 학장동이 봄철보다는 겨울철에 더 높은 농도를 나타내었다. $PM_{2.5}/PM_{10}$ 비는 0.57~0.70의 분포를 보였으며, 좌동이 가장 높은 비를 나타내었다.

나. 미세먼지의 주중/주말 특성을 보면, PM_{10} 은 주중인 수요일과 목요일에 높은 농도를 보였고 일요일에 가장 낮은 농도를 보였다. $PM_{2.5}$ 는 대체로 수요일에 높은 농도를 보였고 일요일에 낮은 농도를 보였다. 주중/주말의 농도차이가 가장 큰 지점은 공업지역인 학장동이었고 기장읍과 좌동에서는 상대적으로 작은 차이를 보였다. 주중/주말의 일변화를 보면, 공업지역에서 새벽과 오전에는 차이를 보이지 않았지만 오후와 야간에 큰 차이를 나타내었다.

다. 시정과 일사량의 주중/주말 특성을 보면, 일요일의 평균시정이 주중보다 0.49 km 정도 좋았으며, 또한 일요일의 일사량이 주중보다 0.11 MJ/m² 정도 높게 나타나 미세먼지 농도가 시정과 일사량의 변화에 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있다.

라. 부산지역의 미세먼지관리 대책 수립과 미세먼지 예보기법 개발에 주중/주말의 농도 특성과 기상학적 관련성을 이용한다면 많은 도움이 되리라고 본다. 또한 향후 주중/주말에 미세먼지 중의 금속성분이나 이온성분을 분석한다면 중국으로 수송되는 기여율을 계산하여 미세먼지관리에 이용할 수 있을 것이다. 마지막으로 부산에서 주중/주말의 미세먼지 특성을 정확하게 고찰하기 위해서는 주중/주말의 교통량조사와 대기오염배출량 조사 및 에너지소비량 조사가 이루어져야 한다고 사료된다.

참 고 문 헌

- Albrecht, B. A., 1989, Aerosols, cloud microphysics and fractional cloudiness, *Science*, 245, 1227-1230.
- Chan, Y. C., Simpson, R. W., McTainsh, G. H., Vowles, P. D., Cohen, D. D., Bailey, G. M., 1997, Characterizations of chemical species in $PM_{2.5}$ and PM_{10} aerosols in Brisbane, Australia, *Atmos. Environ.*, 31, 3773-3785.
- Chang, J. S., Cheong, J. P., 2012, Estimation of the probability of exceeding $PM_{2.5}$ standards in Busan, *J. Kor. Soc., Atmos. Environ.*, 28, 697-705.
- Choi, Y. S., Ho, C. H., Kim, B. G., Hur, S. K., 2008, Long-term variation in midweek/weekend cloudiness difference during summer in Korea, *Atmos. Environ.*, 42, 6726-6732.
- Clairborn, C., Mitra, A., Adams, G., Barnesberger, L., Allwine, G., Kantamaneni, R., Lamb, B., Westberg, H., 1995, Evaluation of PM_{10} emission rates from paved and unpaved roads using tracer techniques, *Atmos. Environ.*, 29, 1075-1089.
- Duan, F. K., He, K. B., Ma, Y. L., Yang, F. M., Yu, X. C., Cadle, S. H., Chan, T., Mulawa, P. A., 2006, Concentration and chemical characteristics of $PM_{2.5}$ in Beijing, China: 2001-2002, *Sci. Total Environ.*, 355, 264-275.
- Hassan, S. K., El-Abssawy, A. A., AbdEl-Maksoud, A. S., Abdou, M. H., Khoder, M. I., 2013, Seasonal behaviours and weekdays/weekends differences in elemental composition of atmospheric aerosols in Cairo, Egypt. *Aerosol Air Quality Res.*, 13, 1552-1562.
- Jeon, B. I., 2010, Characteristics of spacio-temporal variation for PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentration in Busan, *Korean Enviro. Sci. Soc.*, 19, 1013-1023.
- Jeon, B. I., Hwang, Y. S., 2007, Study on characteristics of fine particle(PM_{10}) concentration in Busan for five years, *J. Environ. Impact Assess.*, 16(6), 533-542.
- Jones, A. M., Yin, J., Harrison, R. M., 2008, The weekday-weekend difference and the estimation of the non-vehicle contributions to the urban increment of airborne particulate matter, *Atmos. Environ.*, 42, 4467-4479.
- Kannari, A., Yamamoto, S., 1998, Characteristics of holiday's atmospheric environment in Tokyo, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, 33, 384-390.

- Karar, K., Gupta, A. K., Kumar, Biswas, A. K., Devotta, S., 2006, Statistical interpretation of weekday/weekend differences of ambient particulate matter, vehicular traffic and meteorological parameters in an urban region of Kolkata, India, *Indoor Built Environ.*, 15, 235-245.
- Kim, B. G., Kim, Y. J., Eun, S. H., Choi, M. H., 2007, A weekend effect in diurnal temperature range and its association with aerosols in Seoul, *Atmosphere*, 17, 147-157.
- Lee, B. K., Jun, N. Y., Lee, H. K., 2005, Analysis of impacts on urban air quality by restricting the operation of passenger vehicles during Asian game events in Busan, Korea, *Atmos. Environ.*, 39, 2323-2338.
- Lonati, G., Giugliano, M., Cernuschi, S., 2006, The role of traffic emissions from weekends and weekdays fine PM data in Milan, *Atmos. Environ.*, 40, 5998-6011.
- McEntee, J. C., Himmelberger, Y. O., 2008, Diesel particulate matter, lung cancer and asthma incidences along major traffic corridors in MA, USA: a GIS analysis, *Health Place*, 14, 817-828.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT), 2011, Analysis report for weekend traffic characteristics in 2010, Korea, 6.
- Morawska, L., Jayaratne, E. R., Mengersen, K., Jamriska, M., Thomas, S., 2002, Difference in airborne particle and gaseous concentrations in urban air between weekdays and weekends, *Atmos. Environ.*, 36, 4375-4383.
- Motallebi, N., Tran, H., Croes, B.E., Larsen, L.C., 2003, Day-of-week patterns of particulate matter and its chemical components at selected sites in California, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 53, 876-888.
- Ostro, B., Broadwin, R., Green, S., Feng, W. Y., Lipsett, M., 2006, Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE, *Environ. Health Perspec.*, 114, 29-33.
- Park, S. S., Lee, K. H., Kim, Y. J., Kim, T. Y., Cho, S. Y., Kim, S. J., 2008, High time-resolution measurements of carbonaceous species in PM_{2.5} at an urban site of Korea, *Atmos. Res.*, 89, 48-61.
- Qin, Y., Tonnesen, G. S., Wang, Z., 2004, Weekend/weekday differences of ozone, NO_x, CO, VOCs, PM₁₀ and the light scatter during ozone season in southern California, *Atmos. Environ.*, 38, 3067-3087.
- Tecer, L. H., Suren, P., Alagha, O., Karaca, F., Tuncel, G., 2008, 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, 543-552.
- Tsai, Y. I., 2005, Atmospheric visibility trends in an urban area in Taiwan 1961-2003, *Atmos. Environ.*, 39, 5555-5567.
- Twomey, S., 1977, The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds, *J. Atmos. Sci.*, 34, 1149-1152.
- WHO, 2006, Air quality guideline global update 2005, 175.
- Wrobel, A., Rokita, E., Maenhaut, W., 2000, Transport of traffic-related aerosols in urban areas, *Sci. Total Environ.*, 257, 199-211.
- Yamagami, M., Suzuki, H., Hasegawa, S., Nakashima, H., Hirao, S., Wakamatsu, S., 2008, Emission factor estimate and ambient concentration of elemental carbon in PM_{2.5}, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, 43, 273-283.