

## 부산지역에서의 PM<sub>2.5</sub> 기준치 미달성확률 추정 Estimation of the Probability of Exceeding PM<sub>2.5</sub> Standards in Busan

장재수<sup>1)</sup> · 정장표\*

<sup>1)</sup>한국해양대학교 공과대학 환경공학과, 경성대학교 공과대학 환경공학과  
(2012년 11월 23일 접수, 2012년 12월 4일 수정, 2012년 12월 5일 채택)

Jae-Soo Chang<sup>1)</sup> and Jang Pyo Cheong\*

<sup>1)</sup>*Department of Environmental Engineering, Korea Maritime University  
Department of Environmental Engineering, KyungSung University*

(Received 23 November 2012, revised 4 December 2012, accepted 5 December 2012)

### Abstract

Particulate matter (PM) data collected from the Urban Air Monitoring Network in Busan during the period from 2006 through 2010 were statistically examined and analyzed to estimate the probability of exceeding PM<sub>2.5</sub> 24 hour and annual standard to be implemented from January 1<sup>st</sup>, 2015. For Jangrimdong, Yeonsandong, Kijangeup, and Jwadong where simultaneous measurement of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> was conducted, the probability of exceeding PM<sub>2.5</sub> standards was estimated using PM<sub>2.5</sub> data measured on site. For other areas where there were no measured PM<sub>2.5</sub> data available, the probability of exceeding PM<sub>2.5</sub> standards was statistically estimated using PM<sub>10</sub> measured on site and PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratios obtained from the four stations where both PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> were monitored simultaneously.

At Jangrimdong, Yeonsandong, Kijangeup, and Jwadong, mean value of annual 99 percentile of 24 hr average PM<sub>2.5</sub> for 5 years from 2006 through 2010 was 99.3, 74.5, 57.0, and 62.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively, and the probability of exceeding PM<sub>2.5</sub> 24 hr standard was estimated at 100%. For areas where there were no measured PM<sub>2.5</sub> data available, the estimated probability of exceeding PM<sub>2.5</sub> 24 hr standard was more than 0.82. Mean value of annual average PM<sub>2.5</sub> from 2008 through 2010 was 31.7 and 27.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for Jangrimdong and Yeonsandong, respectively, which exceeded PM<sub>2.5</sub> annual standard of 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mean value of annual average PM<sub>2.5</sub> during the same period for Kijangeup and Jwadong was 19.2 and 20.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively, which satisfied PM<sub>2.5</sub> annual standard. For other areas where there were no measured PM<sub>2.5</sub> data available, the probability of exceeding PM<sub>2.5</sub> annual standard was more than 0.95 except Taejongdae and Kwangahndong. With PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> data measured at 17 Urban Air Monitoring Stations in Busan, the probability of exceeding PM<sub>2.5</sub> standards was estimated to be very high for almost all areas. This result indicates that proper measures to mitigate PM<sub>2.5</sub> in Busan should be investigated and established as soon as possible.

**Key words** : Particulate matter, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, Probability of exceeding standards

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)51-663-4734, E-mail : [jjjung@ks.ac.kr](mailto:jjjung@ks.ac.kr)

## 1. 서 론

대기 중 입자상 물질은 태양복사열을 산란시켜 장기적으로 지구적인 기후변화의 원인이 되고, 입자상 물질에 의한 시정의 악화로 안전한 차량운전 및 항공기 운항에 지장을 초래할 뿐만 아니라, 인체에도 심각한 영향을 초래할 수 있다 (Miller *et al.*, 2007; Gao *et al.*, 2002). 우리나라에서는 이미 1995년부터 PM<sub>10</sub>을 미세먼지로 규정하여 대기환경기준에 포함시켜 2009년 12월말기준, 도시대기측정망 측정소 235개소를 포함한 전국 288개소의 측정소에서 PM<sub>10</sub> 질량농도를 측정, 관리해 오고 있다 (NIER, 2010). PM<sub>2.5</sub>는 입자크기 특성상 폐침착율이 높을 뿐 아니라 발생특성상 인체 위해도가 높은 성분을 많이 함유하고 있어 대기환경기준 설정에 대한 필요성이 꾸준히 제기되어 왔으나 아직 PM<sub>2.5</sub>에 대한 관리는 제대로 이루어지지 않고 있다. 이미 미국, 일본 등을 포함한 여러나라, EU 및 WHO 등에서는 PM<sub>2.5</sub>의 인체위해성을 고려하여 PM<sub>2.5</sub> 대기환경기준을 설정하여 시행해 오고 있다. 이러한 국제적 추세에 발맞추어 우리나라에서도 PM<sub>2.5</sub>의 본격적인 관리를 위해 PM<sub>2.5</sub>에 대한 대기환경기준을 신설한 환경정책기본법 시행령, 개정령을 개정·공포하였고 준비기간을 거쳐 2015년 1월 1일부터 이를 시행할 예정이다. 정부에서는 2015년부터 시행될 PM<sub>2.5</sub> 대기환경기준을 일평균 기준값(단기기준)은 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 연평균 기준값(장기기준)은 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정해 놓았다 (MOE, 2011a).

일반적으로 환경 기준치는 엄격하게 설정될 경우 달성측면에서 그 의미가 퇴색되며, 반대로 너무 완화된 수준으로 설정될 경우, 행정적인 측면에서 달성목표치로서의 의미가 무색해 질 수밖에 없기 때문에 적절한 수준의 환경 기준치 설정은 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 앞으로 시행될 PM<sub>2.5</sub>에 대한 국가대기환경기준치의 적절성 여부를 판단하기 위해 부산광역시 도시대기 자동측정망 측정소들 중에서 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>를 동시에 측정하고 있는 측정소들의 자료를 이용하여 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub>의 농도비 특성을 분석하고, 이를 바탕으로 PM<sub>2.5</sub>의 24시간 기준치인 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 연간 기준치인 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 대한 미달성확률을 통계적 방법으로 산정·평가하였고, 향후 부산시의 미세먼지 관리대책 수립과 PM<sub>2.5</sub> 지역대기환경기

준치 설정을 위한 기본적인 방향을 제시하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 자료

부산지역에 소재하는 총 17개 도시대기 측정소에서 측정된 2006년 1월 1일부터 2010년 12월까지 5년간의 시간별 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 평균 질량농도 자료를 사용하였다. 같은 기간중 17개 측정소 중에서 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>를 동시에 측정한 측정소는 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동뿐이었으며, PM<sub>2.5</sub> 자료는 이 4개의 측정소로부터 측정된 자료를 사용하였다. 측정된 자료는 모두 국립환경과학원에서 1시간 평균값으로 통계 처리되어 데이터베이스화 되어 있으며, 본 연구에서는 이 자료들을 사용하였는데, 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동에서의 연도별 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 총 자료수를 표 1에 나타내었고, 나머지 13개 측정소에서의 연도별 PM<sub>10</sub>의 총자료수를 표 2에 나타내었다. 이 원자료들을 분석정리하고 필요에 따라 통계 처리하여 연구에 사용하였다. 유효자료의 선택은 그림 1에 제시되어 있는 바와 같이 일평균 자료의 경우, 24시간 중에서 75% (18시간) 이상 측정된 자료를 유효자료로 취급하였고, 월평균 자료의 경우는 매월 75% 이상 측정된 자료를 유효자료로 취급하였으며, 연평균 자료는 연간 전체자료수의 75% 이상의 자료가 존재할 경우 유효 자료로 사용하였다 (MOE, 2011b; NIER, 2010).

### 2.2 PM<sub>2.5</sub> 기준치에 대한 미달성확률 산정 방법

일반적으로 PM<sub>2.5</sub> 기준치에 대한 평가 방법은 크게 PM<sub>2.5</sub>에 대한 실측자료가 충분한 경우 직접 PM<sub>2.5</sub>를 실측함으로써 해당 PM<sub>2.5</sub> 기준치의 미달성확률을 산정하는 방법과 PM<sub>2.5</sub>에 대한 실측자료가 불충분하거나 없는 경우 PM<sub>10</sub> 측정자료에 대한 PM<sub>2.5</sub>의 질량농도비와 PM<sub>10</sub>의 자료를 근거로 미달성확률을 산정하는 방법이 있다 (Cheong *et al.*, 2008). 본 연구에서는 PM<sub>2.5</sub> 실측자료가 충분히 존재하는 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동에서는 측정된 자료를 이용하여 PM<sub>2.5</sub> 기준치의 미달성확률을 추정하였으며, 나머지 측정지점에서는 PM<sub>2.5</sub>에 대한 실측자료가

존재하지 않으므로 앞에서 언급한 네 측정지점에서의 실측된 PM<sub>10</sub>에 대한 PM<sub>2.5</sub>의 질량농도비와 나머지 측정지점에서 확보된 PM<sub>10</sub> 측정망 자료를 이용하여 PM<sub>2.5</sub> 기준치의 미달성확률을 통계적으로 산정하는 방법을 선택하였다.

PM<sub>2.5</sub>에 대한 데이터가 없는 지역에서의 PM<sub>2.5</sub> 24시간 기준치의 미달성확률은 그림 2에 나타난 방법을 따라 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동 4개 측정지점에서의 2006년부터 2010년까지의 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub>의

24시간평균 질량농도비의 자료를 근거로 하여 추정하였다. 먼저 24시간평균 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 질량농도비의 누적빈도분포를 작성한 후 이를 바탕으로 식  $PM_{10} = PM_{2.5} \text{ Standard} / (PM_{2.5} / PM_{10})$ 을 이용하여 PM<sub>2.5</sub> 기준치를 초과할 확률에 해당하는 PM<sub>10</sub>농도를 결정하고, PM<sub>10</sub> 농도(x축)에 따른 PM<sub>2.5</sub> 기준치 미달성확률(y축)을 그래프로 만들었다(Pace *et al.*, 1986). 이 PM<sub>2.5</sub> 기준치 미달성확률 그래프에서 각 측정지점에서의 PM<sub>10</sub> 농도에 상응하는 y축 값이 그 지점에서의 PM<sub>2.5</sub> 기준치 미달성확률이다. PM<sub>2.5</sub>에 대한 자료가 없는 지역에서의 PM<sub>2.5</sub> 연평균 기준치의 미달성확률도 위에서 설명한 PM<sub>2.5</sub> 24시간 기준치의 미달성확률 산정 방법과 동일한 방법으로 산정하였다.

**Table 1. Total number of available PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> data.**

Year	PM type	Jangrim-dong	Yeonsan-dong	Kijang-eup	Jwadong
2006	PM <sub>10</sub>	7905	8488	8700	8588
	PM <sub>2.5</sub>	8001	7305	8703	8551
2007	PM <sub>10</sub>	8478	8493	8642	8456
	PM <sub>2.5</sub>	8696	8718	8656	8537
2008	PM <sub>10</sub>	8488	8389	8242	8399
	PM <sub>2.5</sub>	8516	7901	8551	8536
2009	PM <sub>10</sub>	8586	7071	8166	8393
	PM <sub>2.5</sub>	8614	4488	8442	8567
2010	PM <sub>10</sub>	8581	8242	8365	8557
	PM <sub>2.5</sub>	8708	8165	8389	8419

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 질량농도비 24시간 평균치의 분포특성

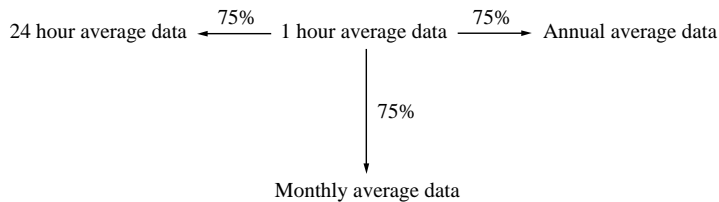
표 3은 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동에서 측정된 2006년부터 2010년까지 5년 동안의 24시간 평균 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 질량농도비를 나타낸 것이다. 시간에 따

**Table 2. Total number of available PM<sub>10</sub> data.**

Year	Hakjang	Kwangbok	Noksan	Taejongdae	Deokcheon	Daeyeon	Cheongryong
2006	8441	8365	8628	8338	7960	8574	8545
2007	8567	8481	8549	8212	8479	8577	7901
2008	8461	8302	8597	8424	8492	8460	8482
2009	8506	8043	8538	8574	8611	8473	8324
2010	8011	8198	8585	8488	8493	8528	8561

Year	Jeonpo	Daejeo	Bugok	Kwangbok	Myeongjang	Yongsoori	-
2006	8322	8628	8560	8387	8411	8294	-
2007	8435	8628	8560	8387	8411	8294	-
2008	8433	8573	8483	8439	8528	8516	-
2009	8444	5772	8548	8420	8484	8545	-
2010	8448	8227	8630	8560	8474	8455	-



**Fig. 1. Annual, monthly, and daily average calculation process.**

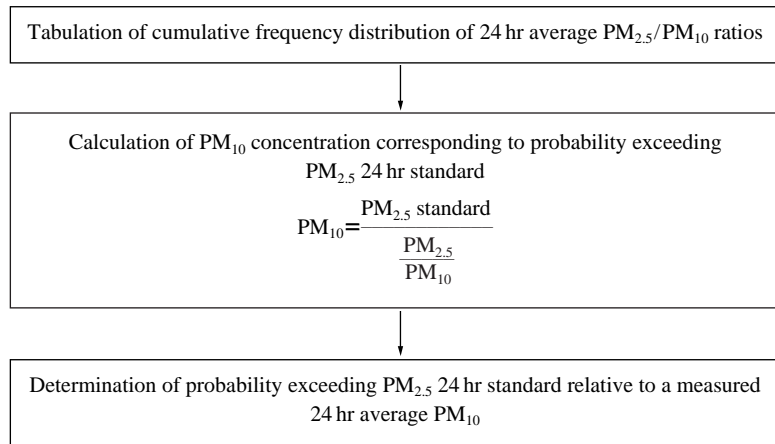


Fig. 2. Procedure for estimating the probability of exceeding PM<sub>2.5</sub> 24 hr standard.

Table 3. Mean PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratios of daily values and standard deviations (S.D.) of the daily PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratios.

	2006	2007	2008	2009	2010	Mean (2006~2010)	S.D.
Jangrimdong	0.618	0.638	0.589	0.497	0.552	0.579	0.127
Yeonsandong*	0.564	0.567	0.608	—	0.680	0.605	0.158
Kijangeup	0.557	0.565	0.554	0.552	0.543	0.554	0.124
Jwadong	0.541	0.564	0.584	0.597	0.633	0.584	0.130

\*No valid data at Yeonsandong in 2009.

른 각 측정지점에서의 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비 변화는 미미한 수준이었고, 5년 동안의 장기 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비 평균값은 기장읍에서 가장 낮은 값인 0.54를 나타내었고, 연산동에서 가장 높은 값인 0.61을 나타내었다. 이는 Park *et al.* (2012)이 2009년도에 서울 은평구 불광동에 위치한 수도권 대기오염집중측정소에서 1년간 측정된 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비의 평균값인 0.44 보다는 약간 높은 수치이며, Han *et al.* (2011)이 2009년도에 인천에서 측정된 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비 0.61~0.68 보다는 다소 낮은 수치이다. 외국의 경우에 있어서는 Chaloulakou *et al.* (2003)이 그리스 아테네에서 측정된 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비의 1년 동안의 평균값으로 0.53을 보고한 바 있으며, U.S. EPA (2003)는 미국 내 여러 지역에서 측정된 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비의 값이 0.3과 0.7에 걸쳐 측정된 것을 보고하였다. PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비는 PM<sub>10</sub> 중에 포함된 PM<sub>2.5</sub>의 기여율을 나타내는 것으로서, PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 비가 높다는 것은 일반적으로 질산염(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 황산염(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 그리고 암모늄(NO<sub>4</sub><sup>+</sup>) 등과 같은 2차 먼지 입자들에 의해 기인하

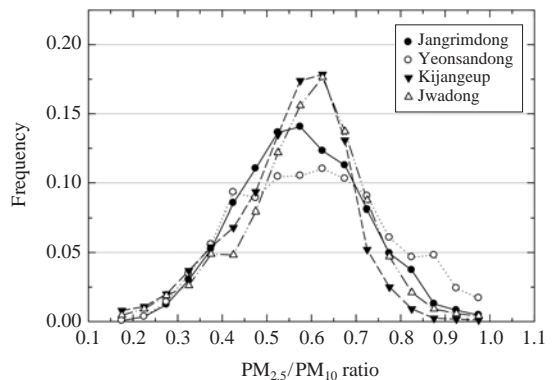


Fig. 3. Frequency distribution of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratios of the daily values (all measurements 2006~2010).

는 바가 크고, PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비가 낮다는 것은 1차 먼지 입자나 장거리 이동된 모래먼지에 의해 기인하는 바가 크다고 할 수 있다(Duan *et al.*, 2006; Jeon, 2010). 본 연구에서 관측된 네 측정지점 간의 5년 동안의 장기 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비 평균값의 차이를 비교

**Table 4. Annual 99 percentile of PM<sub>2.5</sub> 24 hr average.**

	2006	2007	2008	2009	2010	Mean (2006~2010)
Jangrimdong	116.0	105.2	91.5	78.7	85.1	95.3
Yeonsandong*	84.3	68.3	77.0	-	68.6	74.5
Kijangeup	66.7	58.6	61.7	53.8	44.4	57.0
Jwadong	68.4	62.9	67.5	60.3	53.4	62.5

\*No valid data at Yeonsandong in 2009.

**Table 5. Cumulative fraction of 24 hr mean PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> ratios greater than a given value.**

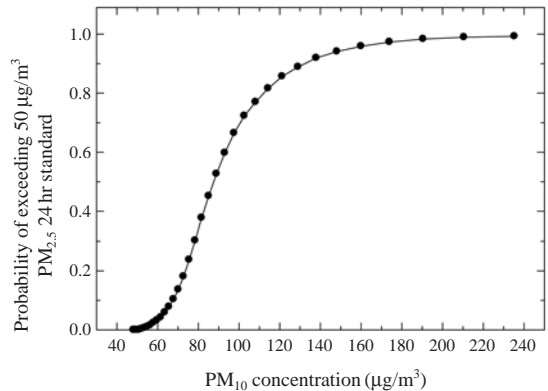
PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> ratio	Fraction	PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> ratio	Fraction
0.213	0.993	0.613	0.378
0.238	0.990	0.638	0.303
0.263	0.984	0.663	0.237
0.288	0.973	0.688	0.181
0.313	0.959	0.713	0.136
0.338	0.941	0.738	0.104
0.363	0.919	0.763	0.078
0.388	0.889	0.788	0.059
0.413	0.857	0.813	0.042
0.438	0.816	0.838	0.032
0.463	0.770	0.863	0.024
0.488	0.723	0.888	0.015
0.513	0.665	0.913	0.010
0.538	0.598	0.938	0.006
0.563	0.527	0.963	0.003
0.588	0.452	0.988	0.000

해 보면 5% 이내의 미미한 수준에서 결정되었다.

그림 3은 네 측정지점에서의 24시간 평균 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비의 빈도분포를 그래프로 나타낸 것이다. 장림동에서는 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비 0.58정도에서 최고 빈도분포를 나타내었지만, 다른 세 측정지점에서는 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비 0.62정도에서 최고 빈도분포를 나타내었다. 이러한 결과는 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비의 빈도분포 자료도 농도비의 연간 평균처럼 측정소 간 차이가 미미하다는 것을 보여주는 것이다.

**3. 2 PM<sub>2.5</sub> 24시간 기준치의 미달성확률 산정**

2015년 1월 1일부터 시행할 예정인 PM<sub>2.5</sub> 24시간 평균치의 대기환경기준은 50 µg/m<sup>3</sup>으로서 24시간 평균치의 연중 99백분위수의 값이 그 기준치를 초과하여서는 아니 된다고 규정하고 있다 (MOE, 2011b). 표 4에 나타난 것처럼 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동에서 측정된 PM<sub>2.5</sub> 24시간 평균값의 연중 99백분위수의 2006년부터 2010년까지 5년 동안의 평균값은



**Fig. 4. Probability of exceeding 50 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2.5</sub> 24 hour standard.**

각각 95.3, 74.5, 57.0, 62.5 µg/m<sup>3</sup>으로서 모두 앞으로 시행할 대기환경기준값인 50 µg/m<sup>3</sup>을 초과 하였다. 따라서, 이들지역에서 향후 시행될 PM<sub>2.5</sub> 24시간평균 대기환경기준치의 미달성확률은 100%로 추정할 수 있다 (Pace *et al.*, 1986).

PM<sub>2.5</sub>에 대한 데이터가 없는 지역에서의 PM<sub>2.5</sub> 24시간평균 기준치의 미달성확률은 2.2절에서 설명한 방법대로 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동 4개 측정지점에서의 2006년부터 2010년까지의 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub>의 24시간 평균 질량농도비의 자료를 근거로 하여 추정해 볼 수 있다. 먼저 24시간평균 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 질량농도비의 누적빈도분포를 작성한 후 이를 바탕으로 식  $PM_{10} = PM_{2.5} \text{ Standard} / (PM_{2.5} / PM_{10})$ 을 이용하여 PM<sub>2.5</sub> 24시간 기준치를 초과할 확률에 해당하는 PM<sub>10</sub> 농도를 결정하고, PM<sub>10</sub> 농도에 따른 PM<sub>2.5</sub> 기준치 미달성확률을 그래프로 만들수 있다. 표 5는 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동의 24시간평균 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 질량농도비의 누적빈도분포를 나타낸 것이고, 그림 4는 표 5와 위에서 제시한 식을 이용하여 만든 PM<sub>10</sub> 농도에 따른 PM<sub>2.5</sub> 24시간 기준치 미달성확률을 그래프로

**Table 6. Coefficient of determination and regression equation between PM<sub>2.5</sub> 24 hr concentrations and PM<sub>10</sub> 24hr concentrations (2006~2010).**

	Jangrimdong		Yeonsandong*		Kijangeup		Jwadong	
	r <sup>2</sup>	Regression eq.	r <sup>2</sup>	Regression eq.	r <sup>2</sup>	Regression eq.	r <sup>2</sup>	Regression eq.
2006	0.767	y=0.62x-0.17	0.637	y=0.64x-4.07	0.728	y=0.48x+2.38	0.585	y=0.41x+4.57
2007	0.843	y=0.70x-4.01	0.508	y=0.48x+3.84	0.707	y=0.45x+3.57	0.668	y=0.43x+4.37
2008	0.751	y=0.51x+3.22	0.599	y=0.59x+0.96	0.692	y=0.44x+3.66	0.733	y=0.48x+3.36
2009	0.852	y=0.56x-3.10	-	-	0.654	y=0.41x+4.27	0.729	y=0.50x+3.06
2010	0.737	y=0.53x+1.28	0.639	y=0.50x+6.85	0.633	y=0.38x+4.39	0.705	y=0.42x+5.27

\*No valid data at Yeonsandong in 2009.

**Table 7. Probability of exceeding 50 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2.5</sub> 24 hr standard.**

Monitoring site	Hakjang	Kwangbok	Noksan	Taejongdae	Deokcheon	Daeyeon	Cheongryong
<sup>(1)</sup> 99 percentile of PM <sub>10</sub> 24 hr averages	147.6	134.9	148.0	115.3	122.6	130.0	118.1
<sup>(2)</sup> Probability	0.940	0.909	0.941	0.822	0.863	0.892	0.839
Monitoring site	Jeonpo	Daejeo	Bugok	Kwangahn	Myeongjang	Yongsoori	-
<sup>(1)</sup> 99 percentile of PM <sub>10</sub> 24 hr averages	138.2	147.1	124.3	119.3	134.5	118.3	-
<sup>(2)</sup> Probability	0.920	0.939	0.870	0.846	0.907	0.840	-

<sup>(1)</sup>Mean of 99 percentiles of PM<sub>10</sub> 24 hr averages (2006~2010), unit: µg/m<sup>3</sup>, <sup>(2)</sup>Probability of exceeding PM<sub>2.5</sub> annual standard

나타낸 것이다.

그림 4를 이용하여 부산지역에서 PM<sub>2.5</sub> 측정 자료가 없는 13개 지점에서의 PM<sub>2.5</sub> 기준치 미달성확률을 추정할 수 있다. 그림 4에서 각 측정지점에서의 PM<sub>10</sub> 24시간평균의 연중 99백분위수의 5년간 평균값에 상응하는 y축 값이 그 지점에서의 PM<sub>2.5</sub> 미달성확률이다. 이 방법은 PM<sub>10</sub> 24시간평균의 연중 99백분위수를 사용하여 PM<sub>2.5</sub> 미달성확률을 추정하는 방법이므로, 먼저 PM<sub>10</sub> 24시간 평균값들의 변화가 PM<sub>2.5</sub> 24시간 평균값들의 변화에 대한 기여를 확인해 보았다. 2006년부터 2010년까지 5년 동안 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub> 자료를 모두 측정된 네 측정지점에서의 5년 동안 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub>간의 결정계수값(r<sup>2</sup>)들을 구하여 표 6에 나타내었다. 연산동에서의 결정계수와 좌동에서의 2006년도의 결정계수를 제외한 나머지 모든 결정계수의 값이 모두 0.63을 초과하며 장림동에서의 2009년도 결정계수는 0.85를 초과하는 등 전체적으로 결정계수가 비교적 높은 수치를 나타내었다.

그림 4를 이용하여 PM<sub>2.5</sub> 24시간평균 기준치 미달성확률을 산정한 결과, 표 7에 나타낸 것처럼, 모든지역에서 기준치 미달성확률은 0.82 이상으로 추정되

었고 여섯 곳에서는 기준치 미달성확률이 0.90보다도 크게 추정되었다. 이는 모든지역에서 PM<sub>2.5</sub> 24시간 기준치를 달성할 확률이 매우 낮다는 것으로, 부산지역에서 앞으로 PM<sub>2.5</sub> 저감에 대한 대책이 시급히 이루어져야 한다는 것을 보여준다.

### 3. 3 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 연도별 농도변화 특성

그림 5와 그림 6은 부산지역 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동에서 2006년부터 2010년까지 5년간 측정된 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 연평균농도를 각각 나타낸 것이다. PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 연평균 모두 2006년부터 점차 감소하는 추세를 보이고 있다. PM<sub>10</sub>의 경우, 장림동은 공업지역의 특성상 연간기준치인 50 µg/m<sup>3</sup>를 매년 초과하는 것으로 나타났고, 연산동은 연평균농도가 점차 감소하여 PM<sub>10</sub> 연간기준치를 만족하고 있다. 기장읍과 좌동은 주거지역으로서 다소 낮은 연평균농도를 보여 매년 연간기준치를 만족하는 것으로 나타났다. 장림동의 경우 2006년도의 농도가 72.2 µg/m<sup>3</sup>로서 이후 급격히 감소하여 부산시의 미세먼지 관리대책이 어느 정도 실효성을 거두고 있는 것으로 여겨진다. PM<sub>2.5</sub>의 경우도 PM<sub>10</sub>과 마찬가지로 장림동의 농

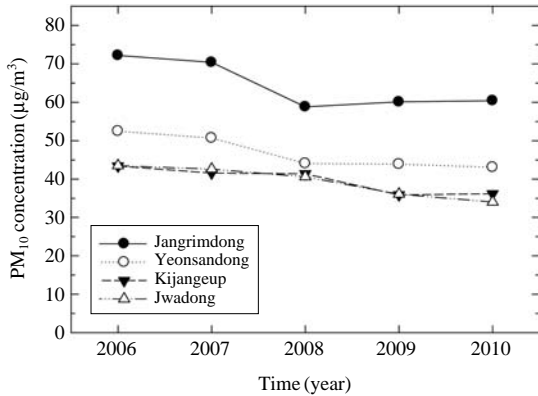


Fig. 5. Annual average concentrations of PM<sub>10</sub>.

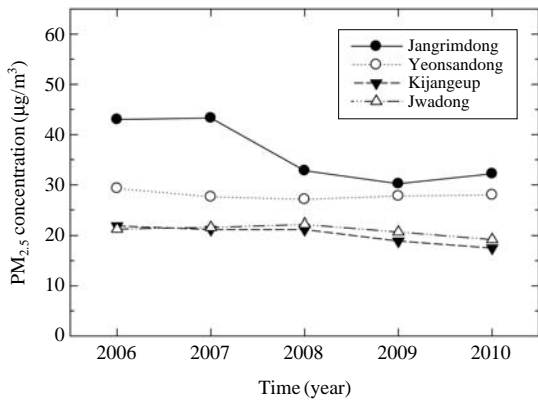


Fig. 6. Annual average concentrations of PM<sub>2.5</sub>.

도가 급격한 감소추세를 보이고 있고, 연산동과 기장읍, 좌동의 경우는 감소추세가 장림동의 경우보다 다소 낮지만 꾸준히 감소추세를 보이고 있다. 장림동과 연산동은 연간기준치인 25 µg/m<sup>3</sup>를 매년 초과하고 있지만, 기장읍과 좌동은 매년 기준치를 만족하고 있다.

3. 4 PM<sub>2.5</sub> 연평균 기준치의 미달성확률 산정

장림동, 연산동에서 측정된 2008년부터 2010년까지 3년 동안의 연평균농도의 평균값은 각각 31.7, 27.6 µg/m<sup>3</sup>으로서 모두 연간 기준값인 25 µg/m<sup>3</sup>을 초과 하였고, 기장읍과 좌동에서 측정된 3년 동안의 연평균농도의 평균값은 각각 19.2, 20.7 µg/m<sup>3</sup>로서 연간 기준값을 만족하였다. 따라서, 이들 지역에서의 PM<sub>2.5</sub>

Table 8. Cumulative fraction of PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> annual mean ratios greater than a given value.

PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> ratio	Fraction
0.463	1.000
0.488	0.950
0.513	0.950
0.538	0.850
0.563	0.450
0.588	0.300
0.613	0.150
0.638	0.050
0.663	0.050
0.688	0.000

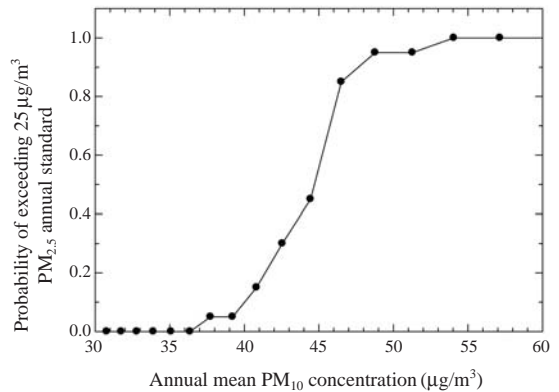


Fig. 7. Probability of exceeding 25 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2.5</sub> annual standard.

연평균 기준치의 미달성확률은 Pace *et al.* (1986)이 제시한 것처럼, 장림동, 연산동에서는 100%, 기장읍과 좌동에서는 0%로 추정할 수 있다.

PM<sub>2.5</sub>에 대한 데이터가 없는 지역에서의 PM<sub>2.5</sub> 연평균 기준치의 미달성확률은 2.2절에서 설명한 방법대로 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동 4개 측정지점에서의 2006년부터 2010년까지의 PM<sub>2.5</sub>와 PM<sub>10</sub>의 연평균 질량농도비의 자료를 근거로 하여 추정해 볼 수 있다.

표 8은 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동의 연평균 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 질량농도비의 누적빈도분포를 나타낸 것이고, 그림 7은 표 8과 2.2절에서 제시한 식을 이용하여 만든 PM<sub>10</sub> 농도에 따른 PM<sub>2.5</sub> 연평균 기준치 미달성확률을 그래프로 나타낸 것이다. PM<sub>2.5</sub> 연평균 기준치 미달성확률을 나타낸 그림 7을 이용하여 부

**Table 9. Probability of exceeding 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{PM}_{2.5}$  annual standard.**

Monitoring site	Hakjang	Kwangbok	Noksan	Taejongdae	Deokcheon	Daeyeon	Cheongryong
<sup>(1)</sup> Annual average of $\text{PM}_{10}$	65.3	58.3	61.1	45.5	56.1	51.5	56.1
<sup>(2)</sup> Probability	1.00	1.00	1.00	0.66	1.00	0.95	1.00
Monitoring site	Jeonpo	Daejeo	Bugok	Kwangahn	Myeongjang	Yongsoori	-
<sup>(1)</sup> Annual average of $\text{PM}_{10}$	56.2	62.8	52.7	43.7	55.5	49.3	-
<sup>(2)</sup> Probability	1.00	1.00	0.96	0.33	1.00	0.95	-

<sup>(1)</sup>Unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , <sup>(2)</sup>Probability of exceeding  $\text{PM}_{2.5}$  annual standard

산지역에서  $\text{PM}_{2.5}$  측정 자료가 없는 13개 지점에서의  $\text{PM}_{2.5}$  연평균 기준치 미달성확률을 추정하였다. 그림 7에서 각 측정지점에서의 연평균  $\text{PM}_{10}$  농도에 상응하는 y축 값이 그 지점에서의  $\text{PM}_{2.5}$  미달성확률이다.  $\text{PM}_{2.5}$  연평균 기준치 미달성확률( $P_f$ )을 산정한 결과, 표 9에서 나타낸 것처럼, 태종대( $P_f=0.66$ )와 광안동( $P_f=0.33$ )을 제외한 나머지 전 관측지점에서  $\text{PM}_{2.5}$  연평균 기준치 미달성확률은 0.95 이상으로 추정되었다. 이들 13개 측정지점의  $\text{PM}_{10}$  연평균 농도는  $54.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 이에 상응하는  $\text{PM}_{2.5}$  연평균 기준치 미달성확률은 100%로 추정되었다.

앞서 언급하였듯이  $\text{PM}_{2.5}$ 의 인체보건학적 영향을 고려하여 우리나라는  $\text{PM}_{2.5}$ 에 대한 국가대기환경기준치를 설정하여 2015년부터 시행할 예정이다. 이처럼  $\text{PM}_{2.5}$ 에 대해 국가적 차원에서 대기환경기준치를 설정하여 규제·관리해 나가고자 하는 정책 방향을 고려할 때, 각 지자체 차원에서도 조속히  $\text{PM}_{2.5}$ 의 관리기반 구축을 통해 현실적 제반여건과 지역적 특성을 반영한  $\text{PM}_{2.5}$ 의 지역대기환경기준치를 설정해 나갈 필요가 있다. 일반적으로 환경기준치는 엄격하게 설정될 경우 달성측면에서 그 의미가 퇴색되며, 반대로 너무 완화된 수준으로 설정될 경우, 행정적인 측면에서 달성목표치로서의 의미가 무색해 질 수밖에 없기 때문에 적절한 수준의 환경기준치 설정 문제가 매우 중요하다. 본 연구에서는 2015년 1월 1일부터 시행할 예정으로 있는  $\text{PM}_{2.5}$  국가대기환경기준치에 대한 부산지역에서의 미달성확률을 살펴보았다.  $\text{PM}_{2.5}$  연평균 기준치와 24시간평균 기준치에 대해 17개 도시측정망에서 2006년부터 2010년까지 5년간 측정된 자료들을 가지고 추정해본 결과 거의 모든 지역에서 기준치 미달성확률이 매우 높게 나왔다. 이는 부산지역에서 앞으로  $\text{PM}_{2.5}$  저감에 대한 대책

이 시급히 이루어져야 한다는 것을 보여주며, 앞으로 부산지역에서  $\text{PM}_{2.5}$  지역대기환경기준치 설정에 중요한 참고 자료가 될 것이다.

#### 4. 결 론

부산지역에서 지난 5년간(2006~2010) 도시대기 자동측정망에서 측정된  $\text{PM}_{10}$ 과  $\text{PM}_{2.5}$  자료들을 정리하고 분석하여 2015년 1월 1일부터 시행될  $\text{PM}_{2.5}$  기준치에 대한 미달성확률을 추정하고 고찰하였다. 장림동, 연산동, 기장읍, 좌동에서 측정한  $\text{PM}_{2.5}$  24시간 평균값의 연중 99백분위수의 2006년부터 2010년까지 5년동안의 평균값은 각각 95.3, 74.5, 57.0, 62.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 모두 앞으로 시행할  $\text{PM}_{2.5}$  24시간 대기환경기준치인 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과 하였고, 이들지역에서 향후 시행될  $\text{PM}_{2.5}$  24시간 대기환경기준치의 미달성확률은 100%로 추정되었다.  $\text{PM}_{2.5}$  자료가 없는 지역에서의  $\text{PM}_{2.5}$  24시간 기준치 미달성확률은, 모든 지역에서 0.82 이상으로 추정되었고 여섯 곳에서는 기준치 미달성확률이 0.90보다도 높게 추정되었다.

장림동, 연산동에서 측정한 2008년부터 2010년까지 3년 동안의 연평균농도의 평균값은 각각 31.7, 27.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 모두  $\text{PM}_{2.5}$  연간기준치인 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과 하였고, 이들 지역에서 향후 시행될  $\text{PM}_{2.5}$  연간기준치 미달성확률은 100%로 추정되었다. 기장읍과 좌동에서 측정한 3년 동안의 연평균농도의 평균값은 각각 19.2, 20.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서  $\text{PM}_{2.5}$  연간기준치를 만족하였고, 이들 지역에서 향후 시행될  $\text{PM}_{2.5}$  연간기준치 미달성확률은 0%로 추정되었다.  $\text{PM}_{2.5}$ 에 대한 데이터가 없는 지역에서의  $\text{PM}_{2.5}$  연평균 기준치의 미달성확률은 태종대, 광안리를 제외한 나머지



전 관측지점에서 0.95 이상으로 추정되었다. 2015년 1월 1일부터 시행할 예정으로 있는 PM<sub>2.5</sub> 연평균 기준치와 24시간평균 기준치에 대해 부산지역 17개 도시측정망에서 2006년부터 2010년까지 5년동안 측정된 자료들을 가지고 추정해본 결과 거의 모든 지역에서 기준치 미달성확률이 매우 높게 나왔다. 이는 부산지역에서 앞으로 PM<sub>2.5</sub> 저감에 대한 대책이 시급히 이루어져야 한다는 것을 보여주며, 앞으로 부산지역에서 PM<sub>2.5</sub> 지역대기환경기준치 설정에 중요한 참고 자료가 될 것이다.

### 참 고 문 헌

- Chaloulakou, A., P. Kassomenos, N. Spyrellis, P. Demokritou, and P. Koutrakis (2003) Measurements of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particle concentrations in Athens, Greece, *Atmos. Environ.*, 37, 649-660.
- Cheong, J.P., S.H. Lee, Y.H. Chang, and S.J. Yu (2008) Calculation of nonattainment probability for PM<sub>2.5</sub> air quality standard, *Proceeding of the 46<sup>th</sup> Meeting of KOSAE*, 524-525.
- Duan, F.K., K.B. He, Y.L. Ma, F.M. Yang, X.C. Yu, S.H. Cadle, T. Chan, and P.A. Mulawa (2006) Concentration and chemical characteristics of PM<sub>2.5</sub> in Beijing, China: 2001-2002, *Sci. Total Environ.*, 355, 264-275.
- Gao, Y., E.D. Nelson, M.P. Field, Q. Ding, H. Li, R.M. Sherrill, C.L. Gigliotti, D.A. Van Ry, T.R. Glenn, and S.J. Eisenreich (2002) Characterization of atmospheric trace elements on PM<sub>2.5</sub> particulate matter over the New York-New Jersey harbor estuary, *Atmos. Environ.*, 36, 1077-1086.
- Han, S., J.-S. Youn, and Y.-W. Jung (2011) Characterization of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> source profiles for resuspended road dust collected using mobile sampling methodology, *Atmos. Environ.*, 45, 3343-3351.
- Jeon, B.-I. (2010) Characteristics of spacio-thermal variation for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration in Busan, *Journal of the Environmental Sciences*, 19(8), 1013-1023. (in Korean with English abstract)
- Miller, K.A., D.S. Siscovick, L. Sheppard, K. Shepherd, J.H. Sullivan, G.L. Anderson, and J.D. Kaufman (2007) Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women, *New Engl. J. Med.*, 356, 447-458.
- MOE (Ministry of Environment) (2011a) Framework Act on Environmental Policy (in Korean).
- MOE (Ministry of Environment) (2011b) Air Pollution Monitoring Network Installation and Operation Guideline (in Korean).
- NIER (National Institute of Environment Research) (2010) Atmospheric Environment Yearbook (2009) (in Korean).
- Pace, T.G., E.L. Meyer, N.H. Frank, and S.F. Sleva (1986) Procedures for Estimating Probability of Nonattainment of a PM<sub>10</sub> NAAQS Using Total Suspended Particulate or PM<sub>10</sub> Data, U.S. Environmental Protection Agency, 5-18.
- Park, S.M., K.J. Moon, J.S. Park, H.J. Kim, J.Y. Ahn, and J.S. Kim (2012) Chemical characteristics of ambient aerosol during Asian dusts and high PM episodes at Seoul Intensive Monitoring Site in 2009, *J. KOSAE*, 28(3), 282-293.
- U.S. EPA (2003) Air Quality Criteria for Particulate Matter, draft report.