

ORIGINAL ARTICLE

서울시 미세먼지 농도의 지역적 특성파악을 위한 연구 - 구별 분포 특성 및 차량등록대수와의 관계 -

박종길 · 최윤정¹⁾ · 정우식^{2)*}

인제대학교 환경공학과/대기환경정보연구센터, ¹⁾선일이엔씨,

²⁾인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

Understanding on Regional Characteristics of Particular Matter in Seoul - Distribution of Concentration in Borough Spatial Area and Relation with the Number of Registered Vehicles -

Jong-Kil Park, Yun-Jeong Choi¹⁾, Woo-Sik Jung^{2)*}

Department of Civil and Environmental Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea

¹⁾ *SUNIL Engineering&Construction, Busan 48059, Korea*

²⁾ *Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea*

Abstract

Average concentration of PM in Seoul metropolitan area satisfied the Korean air quality standard in 2010. Furthermore, concentration of PM in all boroughs across Seoul met the air environment standard in 2012. PM₁₀ concentration was relatively higher in center of Seoul in comparison to the rest, while PM_{2.5} concentration showed exactly the contrary result. We analyzed the effect that PM emissions from vehicles would have on PM concentrations across Seoul. The results showed that average annual PM concentration recently decreased in Seoul although the number of vehicles registered annually continued its upward trend. By contrast, average fine dust concentrations in Seoul showed a decline which suggested that correlation between annual average PM concentrations and number of registered vehicles remained low. However, year-on-year vehicle registration rate recently showed a declining tendency in the same way as the trend of changes in average PM concentrations. Particularly, the upward trend in annual average PM concentrations in 2002 and 2007 was consistent with the increase in vehicle registration rate, suggesting that vehicle registration rate was closely associated with changes in PM concentrations.

Key words : Particular matter, Registered vehicles, Concentration

Received 19 October, 2016; **Revised** 7 November, 2016;

Accepted 8 November, 2016

***Corresponding author** : Woo-Sik Jung, Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea
Phone : +82-55-320-3932
E-mail : wsjung1@inje.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.

1. 서론

경제활동의 증가와 이와 연관된 대도시로의 인구 집중, 그리고 차량의 증가 현상은 지역의 중소도시뿐만 아니라 권역별 대도시지역에서 심각한 대기환경의 악화와 이와 관련된 문제들을 야기하고 있다. 특히, 수도권권에 위치하고 있는 서울지역은 우리나라 최대 도시로써 인구 최대밀집지역이기도 하므로, 최근 큰 관심이 집중되고 있는 미세먼지를 대상으로 많은 연구들이 수행되어오고 있다.

우리나라의 경우에는, 특히, 중국의 황사 발원지로부터 황사에 동반된 미세먼지가 장거리 수송되어 관련된 대기오염이 나타나기도 한다(Ko et al., 2015). 특히, 이들 미세먼지로 인해 인체 심혈관 및 호흡기계 질환을 유발하는 등의 위해성을 일으키며(Shin, 2007) 점차 그러한 피해가 증가하고 있다. 미세먼지와 연관된 대기오염은 일 사망률을 증가시키는 주요 위험인자로(Schwartz, 1994) 알려져 있는데, PM_{10} 농도와 사망자 사이의 연관성에 대한 연구들을 과거부터 지속적으로 수행되어오고 있다(Samet et al., 2000; Bae, 2014; Park et al., 2015).

이상과 같은 선행연구들을 보면 PM_{10} 뿐 아니라 $PM_{2.5}$ 의 농도 증가에 따른 천식 내원자수와 사망자수(호흡기계 질환 포함)가 상관이 있음을 살펴보고 있으나, 이들은 대개 PM_{10} , $PM_{2.5}$ 의 24시간 평균농도 값을 사용하여 일반적인 농도 경향과 천식 내원자수 및 사망자수의 상관성을 파악한 것으로 보건학적인 측면에서는 의미 있는 분석결과가 될 수 있지만, Dimitrova et al.(2012)이 지적하였듯이 관측 모니터링 지점으로부터 반경 3 mile과 5 mile 이내 천식환자 및 사망자수가 차이를 나타내어 미세먼지의 성상 뿐 아니라, 지역적 농도분포에 따라 크게 차이가 있으므로 대기오염 물질의 현황 및 지역적 분포 등 대기환경학적인 측면에서 구체적인 연구가 필요하다는 연구결과가 있는 것처럼, 이러한 관점에서의 여러 연구도 지속적으로 제시되고 있다(Kim, 2006; Lee, 2008; Kim, 2011; Kang, 2015).

이처럼 인간의 건강과 직결되는 고농도 대기오염 문제 해결을 위해 정부에서는 특정 대기오염물질에 대한 대기오염규제지역 설정 및 대기환경개선 실천체

획 수립(ME, 2013) 등 다양한 저감 대책을 실행하고 있으나, 대책을 설정하고 적용하기 위해서는 각 오염물질의 현황과 주요 배출원에 대한 기여율을 파악하는 것도 매우 중요하다. PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 는 크게 자연적, 인위적 요인에 의해 발생하는데, 특히 산업 활동, 디젤 엔진의 화석연료 연소 등과 같은 인위적인 요인에 의해 많이 발생하므로 대기오염물질 농도현황 분석 시 내부 오염 배출원인 차량에 의한 영향도 함께 조사가 이루어져야 한다(Kim and Cho, 2006; Lipfert et al., 2006; Kim, 2013).

따라서 본 연구에서는 서울시를 대상으로 황사나 대도시 대기의 농도에 어느 정도 영향을 미치는지를 살펴보고, 대도시지역에 집중된 교통량에 의해 배출되는 미세먼지가 대도시의 상세 지역에서 공간적 분포와 특성에 따라 어떠한 경향을 보이며 연관성이 있는지 살펴보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 우리나라 서울지역을 대상으로 분석을 수행하였다. 서울은 전국의 지자체 중에서 인구 및 차량등록대수 등 사회문화적으로 다른 지역에 비해 관련 산업 및 경제활동이 가장 활발하고 대규모 인구밀집지역이므로 연구대상지역으로 설정하였다.

2.1. 자료

본 연구에서 사용한 PM_{10} 자료는 환경부에서 제공하는 서울시 도시 대기측정소 25개 지점의 1시간 간격 자료로써 2000년 1월 1일부터 2012년 12월 31일까지의 기간을 대상으로 하였다. $PM_{2.5}$ 농도 자료는 서울시에서 제공하는 동일한 지점의 2005년 11월 1일부터 2012년 12월 31일까지의 일평균 자료와 각 지점의 월평균 자료를 사용하였다. 이때 유효자료가 75% 이상이 되지 않을 경우에는 분석에서 제외하였다.

PM_{10} , $PM_{2.5}$ 농도에 영향을 미치는 요인인 차량과 공장의 영향을 알아보기 위해 2000년부터 2012년까지의 서울시 구별 차량 등록 자료와 광업 및 제조업 현황 자료를 이용하였다. 차량 등록 자료를 보면, 차량의 종류는 승용차, 승합차, 화물차, 특수차로 구분하고 있는데, 이들 각각의 등록비율이 79.1%, 7.4%, 13.4%,

Table 1. Number of Asian dust days (2000-2012)

Year	Month												Sum
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
2000	-	-	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	10
2001	1	-	11	9	4	-	-	-	-	-	-	2	27
2002	2	-	6	6	-	-	-	-	-	-	2	-	16
2003	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	3
2004	-	1	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	6
2005	-	-	1	9	-	-	-	-	-	-	2	-	12
2006	-	-	3	7	1	-	-	-	-	-	-	-	11
2007	-	1	4	2	4	-	-	-	-	-	-	1	12
2008	-	1	3	2	2	-	-	-	-	-	-	3	11
2009	-	1	3	-	-	-	-	-	1	1	-	3	9
2010	1	-	4	1	2	-	-	-	-	-	3	4	15
2011	-	-	3	-	6	-	-	-	-	-	-	-	9
2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Sum	4	4	48	44	19	-	-	-	1	1	8	13	142
Mean	1.33	1.00	4.00	4.40	3.17	-	-	-	1.00	1.00	2.00	2.60	10.92

0.1%로 나타나서, 등록비율이 1%가 되지 않는 특수 차의 자료는 분석에서 제외하였으며, 공장 등록자료에서도 등록비율이 0.03%인 광업은 분석에서 제외하고 전체 공장 등록수의 99.97%에 해당하는 제조업 자료를 분석에 활용하였다.

2.2. 방법

한반도의 경우 봄철에 발생하는 황사사례가 많을 수록 PM₁₀ 농도가 증가하므로(Jung et al., 2013), 본 연구에서는 서울지점(108)을 대상으로 황사기간을 포함한 전체 연구대상기간의 자료를 사용한 경우(전 기간)와 제외한 경우(황사제외 기간)로 나누어 분석을 수행하였다. Table 1은 연구 대상기간동안 월별 황사 일수를 나타낸 것으로 2001년에 가장 많이 발생하였고, 2012년에 가장 적게 발생하였다. 월별로는 봄철에 해당하는 3, 4, 5월에 가장 많이 발생하였고, 여름철에 해당하는 6, 7, 8월에는 황사 발생이 없었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 황사기간 포함 여부에 따른 연평균 PM₁₀ 농도의 지역 분포 특성

지역별 대기오염물질의 농도는 해당 지역 일대의

배출원 및 주변 환경에 크게 영향을 받으므로 본 연구에서는 서울지역에서의 농도 경향 및 특성을 살펴보기 위하여 각 기초자치단체별(구별) 연평균 PM₁₀ 농도 분포를 살펴보았다(Table 2). 표에 나타난 바와 같이, 서울 각 지역 전체를 볼 때, 2010년을 기준으로 미세먼지의 연평균 환경기준인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하거나 미달하는 경향이 비교적 뚜렷하게 구분되는 것을 살펴볼 수 있다. 즉, 서울지역내의 각 구별 농도에 있어, 2000년도 초기에는 대부분의 지역에서 연평균 환경기준을 초과하였으며, 2010년 이후에는 연평균 환경기준을 초과하는 지역이나 빈도가 급격히 적어지는 것을 알 수 있다. 더욱이, 2012년에는 연평균 환경기준을 초과하지 않아서 모든 지역이 대기환경규제기준을 만족하는 것으로 나타나서, 최근으로 올수록 PM₁₀ 농도가 점차 낮아지는 경향을 알 수 있다. 연평균 PM₁₀ 농도의 지역적 분포 특성을 살펴보기 위해 서울 4대문과 내부순환도로 내부를 서울 중심지로 설정하고, 외부를 외곽지역으로 구분하여 비교분석을 수행하였다. 중구, 종로구, 서대문구, 용산구, 동대문구, 성북구, 성동구는 중심지에 해당하며, 나머지는 외곽지역에 해당한다(Fig. 1).

Fig. 2는 2000년부터 2012년까지 서울시 연평균

Table 2. Annual mean PM₁₀ concentration in Seoul (2000-2012)(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Station	Year													Mean
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Jung-gu	56.87	56.12	96.49	79.56	76.86	75	61.23	58.69	53.08	51.8	48.97	47.06	38.9	61.59
Jongno-gu	77.64	-	-	-	65.36	51.27	59.53	58.86	52.2	52.95	40.41	45.62	41.41	54.53
Yongsan-gu	-	-	77.24	65.84	62.12	63.58	56.88	68.11	55.01	56.21	50	48.95	40.13	58.55
Gwangjin-gu	-	79.49	91.54	82.33	63.59	68.55	68.11	-	-	51.72	47.42	47.81	41.46	64.20
Seongdong-gu	80.31	83.81	87.5	77.29	63.32	62.41	55.21	63.01	54.18	55.5	48.51	50.65	42.86	63.43
Jungnang-gu	84.43	83.77	77.21	63.14	57.55	58.67	55.37	66.24	57.96	50.72	49.48	48.78	42	61.18
Dongdaemun-gu	66.74	75.63	71.64	63.75	62.92	46.79	65.09	62.76	49.16	52.79	51.92	47.11	42.62	58.38
Seongbuk-gu	-	62.87	66.66	-	62.77	51.61	51.64	58.11	50.34	48.62	43.75	42.58	37.58	52.41
Dobong-gu	66.91	-	75.61	67.88	63.34	72.26	61.23	66.5	53.38	47.82	44.27	45.11	38.33	58.55
Eunpyeong-gu	46.54	58.21	76.66	73.06	67.03	69.77	69.53	63.62	55.05	54.67	46.95	46.67	39.23	59.00
Seodaemun-gu	55.82	62.06	64.36	65.86	56.17	57.87	56.64	59.33	56.28	55.97	52.81	46.84	37.86	55.99
Mapo-gu	74.23	78.98	78.08	-	-	43.4	52.18	57.97	59.49	53.83	50.72	50.95	42.34	58.38
Gangseo-gu	57.31	64.64	74.75	67.75	60.78	62.3	64.54	60.85	56.45	57.31	48.67	50.38	43.96	59.21
Guro-gu	57.31	58.86	67.65	61.96	57.99	54.86	61.45	59.86	54.92	55.12	51.25	48.94	40.78	56.23
Yeongdeungpo-gu	61.25	-	72.19	67.4	62.99	52.81	54.33	55.02	56.15	51.62	51.7	50.29	44.1	56.65
Dongjak-gu	59.37	59.06	57.27	58.8	56.77	56.6	57.43	60.3	60.76	55.74	48.29	45.96	48.06	55.72
Gwanak-gu	-	-	-	68.89	65.64	53.3	60.3	61.13	56.06	51.26	54.6	49.56	40.08	56.08
Gangnam-gu	78.45	-	-	61.39	53.34	45.43	56.98	59.47	54.34	51.98	52.48	50.38	41.48	55.07
Seocho-gu	47.46	-	71.15	65.02	62.74	61.62	59.09	64.93	55.16	54.83	50.15	50.38	42.97	57.13
Songpa-gu	44.78	-	79.77	68.34	54.82	54.86	60.81	73.9	53.8	51.45	47.24	47.19	39	56.33
Gangdong-gu	72.76	87.68	72.42	64.24	51.65	59.2	62.02	64.45	53.26	52.86	47.99	45.31	39.27	59.47
Geumcheon-gu	65.32	61.25	65.5	63.98	50.76	54.73	62.02	63	56.28	54.89	48.36	43.02	43.26	56.34
Gangbuk-gu	90.52	84.82	79.04	79.44	65.58	55.36	54.41	58.46	55.05	53.88	45.11	40.31	40.77	61.75
Yangcheon-gu	69.83	76.42	73.16	69.8	59.1	56.07	57.53	56.93	53	51.8	51.74	40.84	42.71	58.38
Nowon-gu	70.34	75	77.76	69.19	61.76	53.18	53.59	55.42	57.8	55.39	40.83	42.47	40.77	57.96
Mean	65.91	71.10	75.17	68.41	61.04	57.66	59.09	61.54	54.97	53.23	48.54	46.93	41.28	58.10
Exceeding station	18	17	22	22	24	22	25	24	23	23	15	19	0	19.54

PM₁₀ 농도의 분포를 나타낸 것으로 황사를 포함한 전 기간과 황사를 제외한 기간으로 구분하였다. 먼저 황사를 포함한 전 기간의 경우(Fig. 2a), 연평균 기준을 만족하는 지역은 없었으며, 중구, 용산구, 광진구, 성동구, 중랑구, 동대문구, 도봉구, 은평구, 마포구, 강서구, 강동구, 강북구, 양천구는 서울 전 지역의 평균농도($58.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높은 농도를 나타내었다. 특히, 강북구, 광진구, 성동구, 중구에서 높은 농도를 나타내었는데, 이들 지역은 지리적으로 서울 중심부와 한강

을 기준으로 북쪽에 위치하고 있는데, 강북구를 제외하면, 서울 중심부와 한강도로변에서의 많은 교통량과 관계가 있을 것으로 추정된다. 추후, 관련자료 분석을 수행할 예정이다.

황사기간을 제외한 경우(Fig. 2b, Table 3)에는 전 기간의 분석결과와 유사하게 최근으로 올수록 연평균 기준에 미달하는 지역수가 늘어나는 경향을 알 수 있으며, 2011년 이후에는 기준을 초과하는 지역이 나타나지 않았다.



Fig. 1. Location of each local government in Seoul metro - politan city.
Yellow color indicates the central part of the city.

황사기간을 제외한 기간 동안 서울 전 지역의 평균 농도인 $54.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 지역은 앞서 분석한

황사기간을 포함한 전 기간의 결과에서 나타난 지역이 거의 동일하였으며(마포구는 미달), 강북구, 광진구, 성동구, 중구는 앞서와 마찬가지로 다른 지역에 비해 높은 농도가 나타났다. 반면, 성북구에서는 연평균 기준을 만족하는 $48.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도값을 보였다.

이상의 분석결과를 살펴보면, 황사기간을 제외한 경우에는, 일반적으로 아는 바와 같이, 황사기간을 포함한 경우보다 낮은 농도값을 나타내고 있지만, 서울 각 지역에서 나타나는 농도값의 분포경향은 황사기간의 포함 여부에 관계없이 거의 유사한 경향을 나타내었다. 이러한 결과는, 황사에 의한 농도 기여가 서울 각 지역에서의 농도 분포 경향 자체에는 거의 영향을 주지 않는 것으로 추정되며, 이러한 농도 분포 경향에는 각 지역 자체의 배출원 분포나 지리적, 지형적 특성 등의 다른 요인이 크게 작용하는 것으로 판단된다.

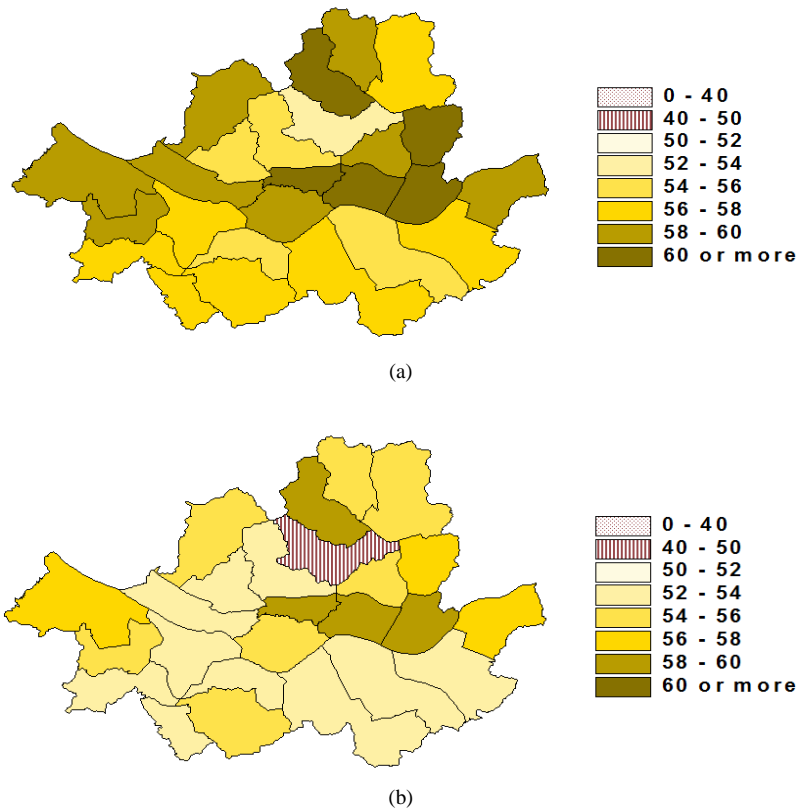


Fig. 2. Distribution of annual mean PM_{10} concentration in Seoul(2000-2012)
(a) all period, (b) removed Asian dust period.

Table 3. Same as Table 2, except in case of removed Asian dust period

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Station	Year													Mean
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Jung-gu	54.72	52.29	85.29	79.19	75.37	69.66	53.94	55.01	51.06	50.64	46.86	43.89	38.71	58.20
Jongno-gu	75.11	-	-	-	63.88	48.66	54.83	56.36	50.64	50.73	47.30	43.74	41.21	53.25
Yongsan-gu	-	-	63.79	65.44	60.64	61.79	50.03	63.10	52.91	53.17	47.94	45.80	39.92	54.96
Gwangjin-gu	-	72.45	74.82	81.93	61.74	63.52	61.76	-	-	48.84	45.33	45.03	41.31	59.67
Seongdong-gu	-	71.16	73.48	76.91	61.72	59.21	-	58.74	52.14	52.50	46.38	47.72	42.66	58.42
Jungnang-gu	85.21	-	62.11	62.85	56.72	54.97	51.38	62.36	56.53	47.89	47.24	45.54	41.79	56.22
Dongdaemun-gu	62.38	67.24	60.17	64.67	61.99	45.60	59.03	59.99	47.71	50.79	49.71	45.64	42.42	55.18
Seongbuk-gu	-	52.80	54.43	-	62.49	48.38	48.88	54.34	48.39	47.08	41.74	39.91	37.38	48.71
Dobong-gu	66.34	-	63.02	67.51	61.69	68.27	55.21	61.74	51.20	44.89	42.09	42.15	38.27	55.20
Eunpyeong-gu	44.79	52.14	66.28	72.61	65.24	65.36	63.67	59.68	52.91	51.70	44.90	43.53	39.02	55.52
Seodaemun-gu	54.87	58.30	59.10	62.78	55.53	56.17	58.33	55.97	51.84	53.00	50.52	43.63	37.58	53.66
Mapo-gu	71.90	62.44	66.16	-	-	40.50	47.29	55.41	57.99	51.81	48.61	47.59	42.12	53.80
Gangseo-gu	56.29	64.14	64.81	67.51	59.97	59.89	60.09	56.50	54.50	53.91	46.71	47.26	43.74	56.56
Guro-gu	46.94	54.74	55.22	61.67	56.87	55.35	59.73	55.87	53.10	52.40	49.10	45.82	40.54	52.87
Yeongdeungpo-gu	59.85	-	59.95	65.79	62.23	49.17	50.03	52.34	54.89	48.68	49.57	47.00	43.87	53.61
Dongjak-gu	57.16	51.83	47.13	58.62	55.20	54.57	53.71	57.35	59.57	53.39	46.94	43.80	42.31	52.43
Gwanak-gu	-	-	-	68.58	64.41	49.90	55.15	58.25	54.53	53.39	52.39	46.45	39.91	54.30
Gangnam-gu	80.54	-	-	61.04	52.41	44.23	53.57	-	53.01	53.55	50.29	47.37	41.65	53.77
Seocho-gu	46.65	-	57.14	65.32	61.26	58.47	53.22	60.56	53.21	51.72	48.04	47.21	42.97	53.81
Songpa-gu	44.40	-	65.07	67.81	53.74	51.30	54.48	68.38	51.94	48.99	45.16	44.46	38.80	52.88
Gangdong-gu	69.91	78.43	62.99	63.87	50.26	55.76	56.93	61.53	52.04	50.97	45.39	42.51	39.08	56.13
Geumcheon-gu	62.02	53.59	56.47	63.65	49.33	52.59	57.29	60.33	55.02	52.79	47.32	41.11	43.14	53.43
Gangbuk-gu	88.54	74.62	76.03	79.02	63.98	53.40	50.40	55.69	53.72	51.79	44.14	37.64	40.71	59.21
Yangcheon-gu	67.67	67.31	64.02	68.26	57.94	53.96	53.83	54.75	51.88	49.57	50.41	40.65	42.55	55.60
Nowon-gu	67.38	66.31	67.79	68.81	60.12	50.25	48.48	52.68	56.32	53.20	39.44	40.48	40.59	54.76
Mean	63.13	62.49	63.88	67.90	59.78	54.84	54.64	58.13	53.21	51.10	46.94	44.24	40.89	54.89
Exceeding station	16	16	21	22	23	18	21	23	22	18	4	0	0	15.70

3.2. 연평균 $\text{PM}_{2.5}$ 농도의 지역 분포 특성

앞서 PM_{10} 농도의 지역별 분포 특성을 살펴본 결과, 황사기간 포함 여부에 따라 농도값 자체의 변화는 분명히 나타났으나, 각 지역별 농도분포 특성은 크게 영향을 받지 않아 유사한 경향을 유지하는 것을 알 수 있었다. 따라서 $\text{PM}_{2.5}$ 농도의 지역별 분포 특성 분석에서는 황사기간을 포함한 연구대상 전체 기간의 자료를 이용하여 연구를 진행하였다.

Table 4와 Fig. 3을 보면, 각 지역별 $\text{PM}_{2.5}$ 농도를

보면 2009년까지 대부분의 지역에서 연평균 환경기준인 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였으나, 2010년부터는 점차적으로 기준을 초과하는 지역이 적어지는 경향을 보였으며, 특히 2012년에는 동작구와 양천구를 제외하고는 기준에 미달하는 것으로 나타나서 PM_{10} 의 경우와 마찬가지로 최근으로 올수록 서울 전역에 걸쳐 $\text{PM}_{2.5}$ 농도가 전반적으로 개선되고 있음을 알 수 있었다. 서울 전 지역에서 $\text{PM}_{2.5}$ 농도분포를 보면, 마포구, 은평구, 동대문구, 성북구를 제외한 지역에서는 연평균

Table 4. Annual mean PM_{2.5} concentration in Seoul (2000-2012)

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Station	Year							Mean
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Jung-gu	-	28.13	27.08	28.80	25.75	25.00	20.10	25.81
Jongno-gu	31.17	32.58	23.92	25.50	22.20	25.00	21.30	25.95
Yongsan-gu	25.20	34.25	27.08	28.80	23.83	24.17	20.30	26.23
Gwangjin-gu	37.83	30.78	26.78	28.40	25.00	25.50	23.22	28.22
Seongdong-gu	30.88	28.50	27.25	28.90	23.92	24.50	21.30	26.46
Jungnang-gu	27.42	31.33	23.17	26.33	24.33	23.58	20.00	25.17
Dongdaemun-gu	29.50	20.08	21.08	29.22	26.75	24.55	20.80	24.57
Seongbuk-gu	27.63	30.83	25.75	26.80	22.58	20.92	18.60	24.73
Dobong-gu	32.33	36.60	27.42	27.00	23.50	24.92	19.00	27.25
Eunpyeong-gu	-	24.83	23.92	28.11	23.33	23.75	19.80	23.96
Seodaemun-gu	-	30.56	23.75	26.20	24.55	23.17	22.13	25.06
Mapo-gu	17.42	24.55	24.67	27.78	26.55	23.42	19.40	23.40
Gangseo-gu	-	32.80	28.75	31.22	25.33	26.75	23.70	28.09
Guro-gu	33.83	31.70	31.82	31.20	26.67	24.67	21.00	28.70
Yeongdeungpo-gu	24.50	23.17	29.75	25.89	25.92	26.75	21.30	25.32
Dongjak-gu	34.17	29.50	23.83	23.22	25.50	24.42	25.50	26.59
Gwanak-gu	29.75	30.75	25.42	29.78	27.42	25.50	21.40	27.14
Gangnam-gu	29.33	32.50	23.44	29.56	27.08	25.42	21.11	26.92
Seocho-gu	28.83	31.45	26.83	28.80	24.67	25.64	20.60	26.69
Songpa-gu	28.30	35.20	26.75	26.90	24.58	24.08	20.60	26.63
Gangdong-gu	33.33	37.78	24.33	23.60	23.70	24.18	19.60	26.65
Geumcheon-gu	36.17	34.50	23.75	21.90	25.75	23.33	22.67	26.87
Gangbuk-gu	28.58	29.00	30.25	30.40	27.00	26.25	23.71	27.89
Yangcheon-gu	26.50	26.33	19.67	23.30	27.33	26.36	26.11	25.09
Nowon-gu	32.64	35.91	30.33	27.20	19.83	21.58	21.40	26.99
Mean	29.78	30.54	25.87	27.39	24.92	24.54	21.39	26.35
Exceeding station	19	22	14	21	11	8	3	14

기준을 초과하는 것으로 나타났는데, 특히 구로구, 광진구, 강서구에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 전체 연구기간동안 서울 전 지역의 연평균 PM_{2.5} 농도인 26.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 지역은 서울시 25개 지자체 중에서 13개 지역으로 나타났는데, 서울 중심지로 설정한 지역 중에서는 성동구 1개 지역 뿐이었고, 나머지 12개 초과지역은 모두 서울 외곽지역으로 나타나서, 앞서 PM₁₀ 지역분포 분석에서 나타난 결과와 반대의 경향을 보였다.

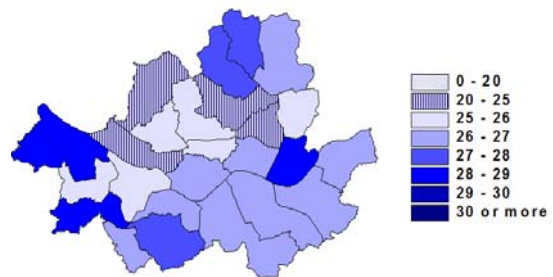


Fig. 3. Distribution of annual mean PM_{2.5} concentration in Seoul (2000-2012).

3.3. 미세먼지 농도와 차량 등록수의 관계

Table 5는 서울시의 연도별 차량등록수를 구별로 나타낸 것이고, Fig. 4는 연구기간동안 서울시에 등록된 차량 유형별 대수와 전년 대비 연도별 차량등록율을 나타낸 것이다. 연도별 차량 등록대수를 보면, 2000년부터 2010년까지 지속적으로 증가하다가 2011년부터는 일부 감소하고 있음을 알 수 있다. 차종별로, 승용차(car)는 매년 등록대수가 지속적으로 증가하는 것을 알 수 있고, 승합차(van)는 매년 감소하고

화물차(tumbrel)은 매년 비슷한 등록대수를 나타내었다. 그러나, 서울시 미세먼지(PM_{10} , $PM_{2.5}$) 농도는 최근으로 올수록 연평균 농도가 전 지점에 걸쳐 낮아지고 있는 점과 비교해 보면, 차량 등록대수와 직접적인 연관성을 찾아보기에는 다소 어려움이 있다. 하지만, 전년도 대비 연도별 차량 등록율을 보면, 전반적으로 최근으로 올수록 매년 등록율이 감소하고 있지만, 2002년과 2007년, 그리고 2010년에는 다른 연도에 비해 차량등록율이 높게 나타나고 있다. 이러한 경향은

Table 5. The number(per 10,000) of vehicles registration in Seoul (2000-2012)

Station	Year													Mean
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Jung-gu	5.27	5.15	5.38	5.24	5.08	5.02	5.08	6.14	6.97	5.28	6.23	6.12	6.46	5.65
Jongno-gu	4.98	5.50	5.87	6.13	6.39	6.57	6.87	7.91	8.24	7.11	4.96	5.19	5.14	6.22
Yongsan-gu	5.80	6.20	6.40	7.25	7.12	7.14	7.15	7.24	7.61	7.59	7.55	7.66	7.61	7.10
Gwangjin-gu	8.46	8.73	9.14	9.27	9.14	9.00	9.02	9.11	9.10	9.35	9.26	9.42	9.45	9.11
Seongdong-gu	7.23	7.77	8.33	8.59	8.61	8.79	8.86	8.95	8.51	8.55	8.72	8.71	8.76	8.49
Jungnang-gu	9.28	9.58	9.98	10.14	10.07	9.93	9.99	10.11	10.17	10.25	10.36	10.39	10.38	10.05
Dongdaemun-gu	7.47	7.91	8.46	8.74	8.67	8.79	8.89	8.93	8.91	8.94	9.09	9.16	9.22	8.71
Seongbuk-gu	8.62	8.87	9.34	9.93	9.88	10.24	10.66	10.82	10.98	11.24	11.55	11.62	11.63	10.41
Dobong-gu	8.17	8.50	8.90	9.23	9.33	9.33	9.30	9.35	9.35	9.40	9.36	9.43	9.36	9.16
Eunpyeong-gu	9.55	9.92	10.51	10.86	10.92	10.79	10.72	10.68	10.72	11.06	11.59	11.85	12.15	10.87
Seodaemun-gu	7.69	8.04	8.32	8.45	8.30	8.19	8.25	8.29	7.99	8.01	7.95	7.79	7.89	8.09
Mapo-gu	9.08	9.41	9.87	10.24	10.41	10.69	10.92	11.03	10.77	10.82	10.99	11.11	11.05	10.49
Gangseo-gu	12.47	13.15	14.20	14.78	15.05	15.79	16.24	16.67	17.22	17.51	18.08	17.90	17.64	15.90
Guro-gu	9.46	10.36	11.06	11.62	11.89	12.14	12.79	13.35	13.57	13.55	13.84	13.35	13.04	12.31
Yeongdeungpo-gu	11.05	11.56	12.67	13.07	13.09	13.31	13.66	14.34	14.62	14.55	14.24	13.74	13.67	13.35
Dongjak-gu	8.22	8.40	8.78	9.34	9.39	9.46	9.51	9.54	9.46	9.55	9.65	9.67	9.86	9.29
Gwanak-gu	9.91	10.49	11.00	11.39	11.54	11.58	11.86	11.92	11.86	11.93	11.91	11.90	11.89	11.47
Gangnam-gu	19.65	20.22	21.36	21.97	22.17	22.92	23.71	24.27	24.38	24.48	25.39	24.62	23.71	22.99
Seocho-gu	14.39	14.72	15.38	15.96	16.07	16.08	16.54	18.10	16.68	16.68	16.98	17.08	17.19	16.30
Songpa-gu	17.83	18.42	19.22	19.08	18.64	18.75	18.87	19.31	20.50	21.13	21.33	21.48	21.34	19.69
Gangdong-gu	11.81	12.19	12.65	12.96	12.80	12.71	12.77	12.91	13.00	13.69	13.93	14.19	13.96	13.05
Geumcheon-gu	6.13	6.42	6.80	7.03	7.01	7.11	7.17	7.12	7.12	7.16	7.25	7.39	7.55	7.02
Gangbuk-gu	6.20	6.55	7.21	7.43	7.34	7.20	7.20	7.16	7.14	7.19	7.38	7.41	7.47	7.14
Yangcheon-gu	11.62	12.24	12.94	13.39	13.60	13.94	14.18	14.43	14.33	14.61	14.61	14.63	14.65	13.78
Nowon-gu	13.55	14.50	15.13	15.29	15.19	15.11	15.16	15.31	15.37	15.47	15.56	15.51	15.38	15.12
Sum	243.87	254.81	268.89	277.40	277.72	280.59	285.38	292.99	294.58	295.11	297.75	297.33	296.45	281.76
Mean	9.75	10.19	10.76	11.10	11.11	11.22	11.42	11.72	11.78	11.80	11.91	11.89	11.86	11.27

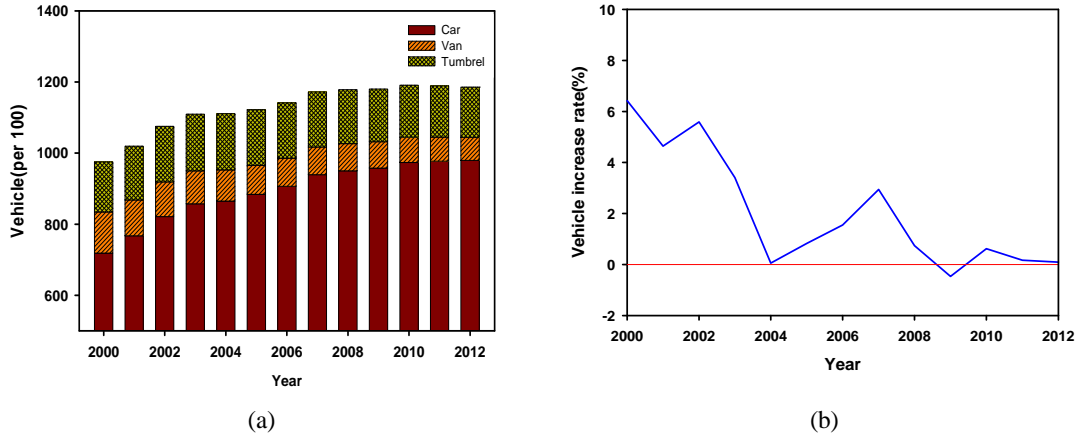


Fig. 4. Annual variations of (a) the number of registered vehicles for each type and (b) that of the increasing rate (2000-2012).

연도별 평균농도를 나타낸 Fig. 5에 나타난 바와 같이 매년 농도가 감소하는 경향을 보이지만, 2002년과 2007년에 농도의 증가가 나타나는 것과 동일한 경향을 보여, 차량 등록율이 서울지역 미세먼지 농도와 일정 부분 연관성이 있을 것으로 사료된다. 이러한 것에 대한 구체적인 원인 분석은 추후 수행되어야 할 것으로 판단되지만, 결국 교통량 증가가 많은 연도에 미세먼지의 농도 증가와 무관하지 않은 것으로 볼 수 있다. 또한, 2010년의 경우에는 2002년과 2007년과 마찬가지로 전년 대비 차량 등록율이 증가하였음에도 불구하고 서울시 미세먼지 농도가 낮아져서 연평균 환경기준 이하의 농도를 보였는데, 이것은 서울시에서 시행중인

미세먼지 저감 대책 사업(시내버스를 천연가스 버스로 교체, 친환경 Green Car 보급, 도로 물청소 등)(ME, 2011)에 의한 효과일 가능성도 있으므로, 차후 관련된 추후 연구가 반드시 필요한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 서울시를 대상으로 미세먼지(PM)의 상세 분포 특성 및 이에 영향을 미치는 여러 영향요인을 살펴보기 위하여 2002년부터 2012년까지 자료를 사용하여 분석을 수행하였다.

먼저, 미세먼지 농도에 영향을 미치는 황사발생일 자료의 포함여부에 따른 농도변화 및 분포특성을 살펴본 결과, 일반적으로 알고 있는 바와 같이, 황사발생일의 자료를 포함한 경우의 미세먼지 농도가 제외된 경우에 비해 높게는 나타났지만, 서울시 각 지역별(구별) 농도분포의 경향은 거의 차이가 나타나지 않았다. 이것은 서울시의 경우, 미세먼지의 공간적 분포 경향 및 형태에 있어서는 황사 발생 여부보다는 해당 각 지역별 배출원의 분포특성 및 지표농도에 영향을 미치는 지리적, 지형적 특성이 더 크게 작용하였음을 알 수 있었다. 황사발생일의 자료 포함여부에 관계없이 최근으로 올수록 서울 각 지역에서의 연평균 농도는 점차적으로 낮아지고 있음을 알 수 있었는데, 특히 2010년 이후에는 연평균 대기환경기준을 만족하는 지역들

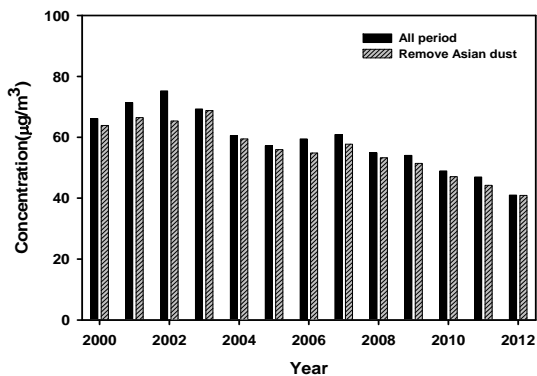


Fig. 5. Annual mean concentration of PM₁₀ at Seoul (2000-2012).

이 늘어나서 서울 전체 평균은 대기환경기준을 만족하였고, 2012년에는 각 지역별 연평균 농도 또한 대기환경기준을 모두 만족하였다. 이와 더불어 $PM_{2.5}$ 의 경우에도 2012년에는 일부 지역에서 연평균 대기환경기준을 약간 초과하였지만, 서울 전체 평균은 대기환경기준에 만족하는 것을 알 수 있었다. 서울시 중심부와 외곽지역에서의 미세먼지 농도 특성을 살펴본 결과, PM_{10} 의 경우에는 중심부가 외곽지역에 비해 비교적 높은 농도경향을 보였다.

서울지역 미세먼지 농도에 영향을 미치는 여러 요인들에 대한 분석을 수행하기 위하여, 본 연구에서는 차량에서 배출되는 미세먼지가 서울지역 미세먼지 농도와 어떠한 관계가 있는지 살펴보기 위하여 2002년부터 2012년까지의 서울시 연도별 차량등록대수 자료를 이용하여 분석을 수행하였다. 분석을 수행한 결과, 전체 차량등록대수는 매년 증가하는 경향을 보였는데, 이것은 최근으로 올수록 서울시 연평균 미세먼지 농도가 낮아지고 있는 결과와는 반대의 경향을 나타내어 차량등록대수 자체와는 연관성이 없었으며, 전년 대비 차량등록율을 살펴본 결과, 연평균 미세먼지 농도 변화경향과 유사하게 최근으로 올수록 낮아지는 경향을 볼 수 있었다. 특히, 2002년과 2007년에 연평균 미세먼지 농도가 증가하는 경향은 차량등록율에서도 동일하게 급격히 증가하는 결과를 보여, 차량등록율이 미세먼지 농도변화와 깊은 연관이 있음을 알 수 있었다.

대도시지역의 미세먼지 농도에 영향을 미치는 요소는 다양할 뿐만 아니라 여전히 요소들간 상호관계도 복잡하여 자연과학적 측면뿐만 아니라 사회경제적 측면을 포함한 다양한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 이 중에서 사회경제적 요인인 차량등록대수에 초점을 맞추어 분석을 수행해 보고자 하였다. 분석에서 나타난 결과에 대한 상세한 요인분석은 차후 연구에서 지속적으로 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 울산녹색환경지원센터 연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

REFERENCES

- Bae, H. J., 2014, Effects of short-term exposure to PM_{10} and $PM_{2.5}$ on mortality in Seoul, *J. Env. Health Sci.*, 40(5), 346-354.
- Dimitrova, R., Lurponglukana, N., Fernando, S., Runger, G. C., Hyde, P., Hedquist, B. C., Anderson, J., Bannister, W., Johnson, W., 2012, Relationship between particulate matter and childhood asthma basis of a future warning system for central Phoenix, *Atoms. Chem. Phys.*, 12, 2479-2490.
- Jung, W. S., Park, J. K., Lee, B. R., Kim, E. B., 2013, Analysis on the PM_{10} transportation route in Gimhae region using the HYSPLIT model, *J. Env. Sci. Int.*, 22(8), 1043-1052.
- Kang, S. N., 2015, Comparative characteristics of the climate elements and PM_{10} in southeast major cities, Master's Thesis, Pusan Nat. Univ., Korea.
- Kim, D. Y., Cho, J. S., 2006, Air pollution in Seoul caused by aerosols, Report of Gyeonggi Res. Ins.
- Kim, U. S., 2011, A Study of building customized management strategies based on local PM_{10} emission inventory in Seoul, Report of Seoul Develop. Ins.
- Kim, Y. P., 2006, Air pollution in Seoul caused by aerosols, *J. Korean Soc. Atmos. Env.*, 22(5), 535-553.
- Kim, Y. S., 2013, PM_{10} and $PM_{2.5}$ source identification study in industrial and commercial region, Ph.D's Thesis, Dong-A Uni., Korea.
- Ko, H. J., Lim, E. H., Song, J. M., Kim, W. H., Kang, C. H., Lee, H. Y., Lee, C. K., 2015, Composition variation of atmospheric fine particulate matters in accordance with air mass transport pathways at background site of Korea in 2013, *J. Korean Soc. Atmos. Env.*, 31(1), 15-27.
- Lee, K. S., 2008, Spacio-temporal analysis of urban population exposure to traffic related air pollution, *J. Eco. Geo. Soc. of Korea*, 11(1), 59-77.
- Lipfert, F. W., Wuzga, R. E., Baty, J. D., Miller, J. P., 2006, Traffic density as a surrogate measure of environmental exposures in studies of air pollution health effects: Long-term mortality in a cohort of US veterans, *Atmos. Env.*, 40, 154-169.
- Ministry of Environment, 2013, Guidelines for action plan of area air quality regulations, 496.

- Park, J. K., Choi, Y. J., Jung, W. S., 2015, An Analysis on the distribution characteristics of PM₁₀ concentration and its relation of the death from Asthma in Seoul, Korea, *J. Env. Sci. Int.*, 24(7), 961-968.
- Samet, J. M., Dominici, F., Curriero, F. C., Coursac, I., Zeger, S. L., 2000, Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S cities, 1987-1994, *The New Eng. J. Med.*, 343, 1742-1749.
- Schwartz, J., 1994, Air pollution and daily mortality : A Review and meta analysis, *Env. Res.*, 64, 36-52.
- Shin, D. C., 2007, Health effects of ambient particulate matter, *J. Korean Med. Association*, 50(2), 175-182.