

ORIGINAL ARTICLE

서울지역 미세먼지 고농도에 따른 천식사망자 사례일의 종관기상학적 분류

최윤정¹⁾ · 박종길¹⁾ · 정우식^{2)*}

선일이엔씨, ¹⁾인제대학교 환경공학과/대기환경정보연구센터,

²⁾인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

Synoptic Meteorological Classification of the Days on Which Asthma Deaths Occurred Due to High PM₁₀ Concentrations in Seoul

Yun-Jeong Choi, Jong-Kil Park¹⁾, Woo-Sik Jung^{2)*}

SUNIL Engineering&Construction, Busan 48059, Korea

¹⁾*Department of Civil and Environmental Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea*

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

Abstract

Asthma deaths in Seoul peaked on the third, fifth, and second days after the PM concentration exceeded the daily average concentration standard. We classified the synoptic meteorological conditions, based on the days involving such cases, into three categories. Type 1 included the meteorological condition likely to cause high air pollution concentrations in the leeward region, the dominant wind direction of which is the northwest. Type 2 included the meteorological condition likely to cause high air pollution concentrations due to the weak wind velocity under stable atmospheric conditions. Type 3 was when the passage low atmospheric pressure and the expansion of high atmospheric pressure occurred at the rear, indicating a meteorological condition likely to cause high air pollution, in certain regions. Type 1 occurred 11 times, with high concentrations of over 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ being observed in the southeastern part of Seoul. Type 2 occurred 24 times, often accompanied by a PM concentration of 100~400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Type 3 occurred 11 times, and was accompanied by several days of yellow dust that accounted for the highest concentrations.

Key words : Synoptic meteorological type, Asthma deaths, PM 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

도시화와 산업화는 인간생활에 큰 도움과 편의성을 제공하였지만, 이로 인해 발생하는 환경변화는 점차적으로 인간의 삶에 불편함을 제공하게 되었다. 특히, 다양한 원인으로 야기되는 대기오염현상은 동식물의 성장과 인간의 건강에 여러 다양한 경로로 피해를 미치고 있다. 그 중에서도 대표적인 호흡기계 질환에 해당하는 천식은 유전적 요인과 환경적 요인이 합쳐져서 생기는 대표적인 알레르기 질환으로, 담배연기 등에 의한 실내오염뿐만 아니라 대기오염과 황사 등의 여러 외부 환경적 요인이 큰 영향을 미치는데, 주로 산업화가 급격히 진행되거나 고도화된 국가에서 많이 발생한다(Akinbami and Schoendorf, 2002; Lin et al., 2005; Eder et al., 2006). 입자상 물질에 의한 대기오염이 일 사망률을 증가시키는 주요 원인(Schwartz, 1994)이 되는데, Pope et al.(1995)은 PM₁₀ 농도가 증가할수록 일 사망률 또한 비례해서 증가한다는 결과를 제시한 바 있으며, Samet et al.(2000)은 PM₁₀ 농도와 호흡기 질환 사망자수와 높은 상관성이 있음을 보였다. 국내에서도 미세먼지 농도와 사망률에 관한 연구결과에서 미세먼지 농도와 일별 사망자 수 사이에 상관성이 있음을 밝힌 바 있으며(Cho et al., 2003; Park et al., 2015), 호흡기와 심혈관 질환과 연관이 높음을 제시하였다(Hong et al., 1999). 또한 Bae(2014)는 15세 미만의 사람에게서 PM_{2.5} 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 천식 입원 위험이 1.05% 증가함을 나타내었으며, Borja-Aburto(1998)는 PM_{2.5} 농도가 증가함에 따라 전체 사망률이 증가하는데, 특히 고령자군(65세 이상)에서 호흡기 질환으로 사망하는 경우가 증가하는 것을 제시한 바 있다. 이와 같이 미세먼지 농도와 천식 사망자수에 있어 상당한 연관성이 있다는 점을 참고해 볼 때, 이들 미세먼지가 배출되어 시, 공간적으로 변화하는 농도 및 분포특성은, 결국 만족스러운 인간생활에 있어 중요한 참고자료가 될 수 있다. 즉, 미세먼지의 시, 공간 분포에 영향을 미치는 기상상태에 대한 정보도출이 기본정보로서 매우 중요하다고 할 수 있다. 그 중에서도 풍향, 풍속은 대기오염 물질의 이류, 확산에 영향을 미치므로 고농도 미세먼지와 사망자가 많이 발생하는 사례 일에 대한 종관기

상학적인 분석이 요구된다.

일반적으로 미세먼지의 지역적 농도 분포 및 변화 경향은 해당 지역 일대의 배출원에 1차적으로 영향을 받지만, 배출된 미세먼지의 확산 및 수송 과정은 주변 일대의 지형 및 지리적 특성, 그리고 풍향, 풍속 등의 기상학적 요인이 크게 영향을 미칠 뿐만 아니라, Park et al.(2015)의 연구에서 고농도 PM₁₀은 천식사망자 발생과 큰 연관이 있음을 제시한 바와 같이, 지역적 고농도 미세먼지 현상은 해당 지역 및 주변 일대에 거주하는 주민들의 건강에 큰 영향을 미친다.

이에 본 연구에서는 2000년부터 2012년까지 서울 지역을 대상으로 고농도 PM₁₀ 및 PM_{2.5}와 천식 사망자 수가 발생할 수 있는 종관 기상학적 유형을 분류하고 각 유형에 따라 나타나는 고농도 PM₁₀과 PM_{2.5}의 분포 및 특성을 살펴보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 자료

본 연구에서 사용한 PM₁₀ 자료는 서울시에 설치된 대기오염측정망 25개소에서 측정된 2000년부터 2012년까지의 1시간 간격 자료이다. PM_{2.5} 자료는 2005년부터 2012년까지의 일평균 자료를 사용하였다. 천식 사망자 수 자료는 통계청에서 제공하는 사망원인 통계자료 가운데 국제 질병 분류코드(ICD-10)가 J45, J46인 천식 관련 사망 전체 코드(J45, J45.0, J45.1, J45.8, J45.9, J46, J46.0)를 사용하였다.

2.2. 사례일의 선정

본 연구에서는 환경기준을 초과하였던 고농도 일과 이로 인해 발생하였던 천식 사망자 수를 분석하여 당시의 종관 기상상태를 분류 및 분석하고자 하였다. 연구기간동안 PM₁₀, PM_{2.5}의 일평균 농도가 각각의 기준을 초과하였을 때를 1회로 정의하여 그 빈도를 나타내었고, 기준 초과일이 발생한 날의 천식 사망자 수를 비교 분석하였다.

Table 1은 PM₁₀의 일평균 기준(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 PM_{2.5}의 일평균 기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과한 일수와 각 해당일에 발생한 연간 천식 사망자수를 나타낸 것이다. 표에 나타난 바와 같이, PM₁₀의 경우 연구기간동안 일평균

Table 1. The number of annual days which exceed the daily mean standard for PM₁₀ and PM_{2.5}

	Year													Sum
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
PM ₁₀	42	62	57	54	34	36	28	41	28	26	14	17	4	443
%	9.48	14.00	12.87	12.19	7.67	8.13	6.32	9.26	6.32	5.87	3.16	3.84	0.90	100
Death	50	87	112	55	29	24	25	28	14	16	7	7	7	461
PM _{2.5}	-	-	-	-	-	*8	33	42	19	25	17	14	4	162
%	-	-	-	-	-	4.94	20.37	25.93	11.73	15.43	10.49	8.64	2.47	100
Death	-	-	-	-	-	7	28	33	12	15	10	7	5	110

* : The data of begins from November 2005

기준을 초과한 날은 총 443일로써 매년 약 35일 발생하는 것으로 나타났으며, 연구기간동안 천식 사망자수는 총 461명으로 나타나 연평균 약 36명의 천식사망자가 발생하는 것으로 나타났다. 기준 초과일수는 2001년에 가장 많이 발생했으며, 다음으로 2002년, 2003년 순으로 나타났고 천식 사망자수는 2002년, 2001년, 2003년 순으로 많이 발생하였다. 연구기간인 13년 동안 상대적으로 기준 초과일수와 천식사망자수가 많았던 연도를 보면, 순위에서 약간 차이가 있지만 2001년, 2002년, 2003년으로 동일하게 나타났다. PM_{2.5}의 경우 연구기간 동안 일평균 기준을 초과한 일수는 총 162일이었고 천식 사망자수는 총 110명으로 나타났다. 연간 일평균 기준을 초과한 일수와 천식 사망자수는 각각 동일하게 2007년, 2006년, 2009년 순으로 많았다.

Table 2는 PM₁₀과 PM_{2.5}의 기준 초과일수와 해당일의 천식 사망자수를 월별로 나타낸 것이다. PM₁₀의 경우 기준 초과일수가 3월에 가장 많았으며 다음으로 2월, 4월 순으로 나타났고 천식 사망자수는 3월, 4월, 2월 순으로 높게 나타났다. PM_{2.5}의 경우에는 기준 초과일이, PM₁₀과 달리, 2월, 1월, 4월 순으로 높게 나타났으며 천식 사망자수는 2월, 1월, 3월 순으로 나타났다. 계절별로 보면, PM₁₀의 기준 초과일 수는 전반적으로 봄철에 발생빈도가 높았으며 PM_{2.5}는 겨울철에 높게 나타났고 여름철에는 기준 초과일수와 천식 사망자수가 감소하였다.

이상의 분석 결과를 바탕으로, 본 연구에서는 PM₁₀의 경우에는 기준 초과일수가 많았던 2001년과 2002년, 2003년 각각의 2월과 3월, PM_{2.5}의 경우에는 2006년과 2007년 각각의 2월을 대상으로 고농도 발생

Table 2. The same as Table 1, except for monthly days

	Month												Sum
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
PM ₁₀	40	59	77	50	43	39	19	4	10	27	41	34	443
%	9.03	13.32	17.38	11.29	9.71	8.80	4.29	0.90	2.26	6.09	9.26	7.67	100
Death	44	57	71	62	54	42	16	2	13	22	41	37	461
PM _{2.5}	21	31	14	16	12	12	4	-	4	12	19	17	162
%	12.88	19.02	8.59	9.82	7.98	7.36	2.45	0.00	2.45	7.36	11.66	10.43	100
Death	17	25	12	9	8	5	4	-	3	8	10	9	110

* : The data of PM_{2.5} begins from November 2005

Table 3. The number of daily Asthma deaths since high PM is occurred

	Lag day							sum
	Lag0	Lag1	Lag2	Lag3	Lag4	Lag5	Lag6	
2001.2	11	15	13	18	15	13	14	99
2001.3	12	19	22	18	18	22	20	131
2002.2	14	12	11	16	13	8	6	80
2002.3	21	18	19	26	17	22	19	142
2003.2	2	4	7	7	10	11	5	46
2003.3	9	9	5	7	6	7	6	49
2006.2	7	4	5	4	2	4	5	31
2007.2	6	10	13	7	7	9	8	60
sum	82	91	95	103	88	96	83	638

이후, 시간의 경과에 따른 일별 천식 사망자 발생 경향을 살펴보았다(Table 3).

고농도의 미세먼지 현상에 따른 천식 사망자 발생은 고농도 발생 당일뿐만 아니라 이후 시간이 지나면서 지속적으로 나타난다(Bae et al., 2008). 따라서 본 연구에서도 위에서 제시한 월들을 대상으로 선행연구(Bae et al., 2008)에서 제시한 바와 같이, 고농도 오염 당일(lag0)에서 6일(lag6)까지 일별 사망자수를 살펴 보았다. 분석을 수행한 결과, 고농도 미세먼지에 의해 발생한 천식 사망자수는 고농도 발생일 이후 3일째(lag3)에 가장 많은 사망자가 발생하였고, 다음으로 5일째(lag5), 2일째(lag2)에 많은 사망자가 나타났다.

따라서 본 연구에서는 위에서 분석대상으로 설정

한 월 중에서 고농도 발생일 이후 3일째와 5일째, 2일째 중에서 가장 많은 일별 사망자가 발생했던 2001년 2월, 3월, 2002년 2월, 3월, 2003년 2월, 2007년 2월을 대상으로 각 월별 고농도 발생일의 지상일기도와 그 전날의 지상일기도를 분석하여 고농도가 발생한 날의 종관 기상학적 유형을 분류하였다(Table 4).

3. 결과 및 고찰

겨울철 고농도 미세먼지 발생일의 종관기상학적 특성은 이동성 고기압의 가장자리 또는 중심에 위치하거나, 대륙성 고기압 가장자리에 위치하여 북서풍 계열의 바람이 유입될 때 고농도 미세먼지가 발생

Table 4. Study period for synoptic weather analysis

	2.1 1800 UTC~2.6 1200 UTC		3.12 1800 UTC~3.14 1200 UTC
	2.18 1800 UTC~2.22 1200 UTC		3.15 1800 UTC~3.20 1200 UTC
2001	2.28 1800 UTC~3.2 1200 UTC	2002	3.20 1800 UTC~3.22 1200 UTC
	3.3 1800 UTC~3.6 1200 UTC		3.22 1800 UTC~3.26 1200 UTC
	3.16 1800 UTC~3.25 1200 UTC		3.29 1800 UTC~3.31 1200 UTC
	2.2 1800 UTC~2.7 1200 UTC		2.15 1800 UTC~2.19 1200 UTC
	2.20 1800 UTC~2.22 1200 UTC	2003	2.23 1800 UTC~2.25 1200 UTC
2002	2.25 1800 UTC~2.28 1200 UTC		2.4 1800 UTC~2.7 1200 UTC
	2.27 1800 UTC~3.2 1200 UTC	2007	2.7 1800 UTC~2.10 1200 UTC
	3.7 1800 UTC~3.9 1200 UTC		2.19 1800 UTC~2.22 1200 UTC

Table 5. Classification by synoptic meteorological type

	Year	Month	Date	Number of days
Type 1	2001	Feb	3-6	11
		Mar	19	
	2002	Feb	22	
		Mar	1-2	
	2003	Feb	19	
2007	Feb	6-7		
Type 2	2001	Feb	20-22	24
		Mar	2, 18, 20, 22	
	2002	Feb	4-7, 27-28	
		Mar	9, 19, 24-26	
	2003	Feb	17, 25	
2007	Feb	4-5, 21-22		
Type 3	2001	Mar	5-6, 21, 23-25	11
	2002	Mar	18, 20-22, 31	

하는데(Jeon, 2012), 봄철 황사 현상이 발생할 때의 종관 기상장을 보면 한반도에 한랭전선을 동반한 지상 저기압이 통과하고 후면의 고기압 영향권에 들면서 황사 현상이 오래 지속된다(Gang, 2003).

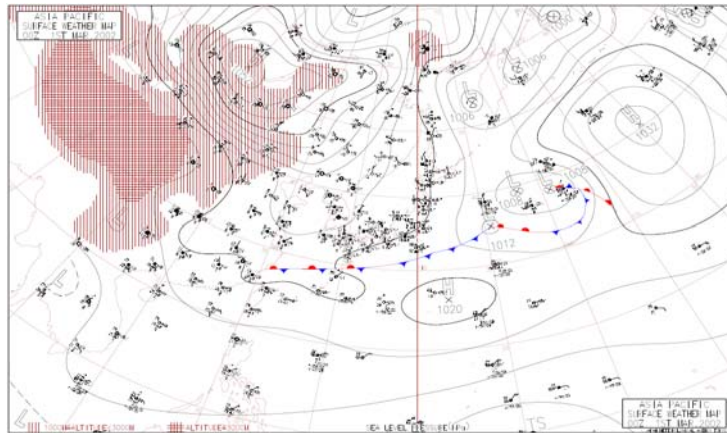
본 연구에서는 이들 선행연구 결과를 참고하여, 앞서 Table 4에 제시한 날의 일기도를 분석하여 3가지의 종관 유형으로 분류하였다. Type 1은 한반도가 대륙성 고기압의 영향권에 놓여서 대기상태는 비교적 안정하지만 북서풍의 유입으로 인해 서울지역의 풍하방향에 고농도 대기오염이 발생 가능한 기상장 유형이다. Type 2는 한반도가 이동성 고기압의 영향권에 놓여서 안정한 대기상태를 보이며 바람 또한 약하게 형성되어 대기의 환기효과가 좋지 않을 수 있는 조건으로 고농도 대기오염이 발생 가능한 기상장 유형이다. Type 3은 한반도 상공으로 저기압이 통과하고 그 후면에서 확장하는 고기압의 영향을 받는 유형이다. 이 유형의 기상조건에서는 점차적으로 대기가 안정되면서 저기압에 의해 상승한 황사 및 미세먼지가 지표 부근 미세먼지 농도에 영향을 주어 고농도 대기오염을 야기할 수 있는 종관 유형이다.

연구대상 기간 동안 Type 1은 11회 발생하였으며(Table 5), Type 1의 대표 종관기상유형인 2002년 3월 1일의 종관일기도를 보면 중국 북부지역에 중심을 둔

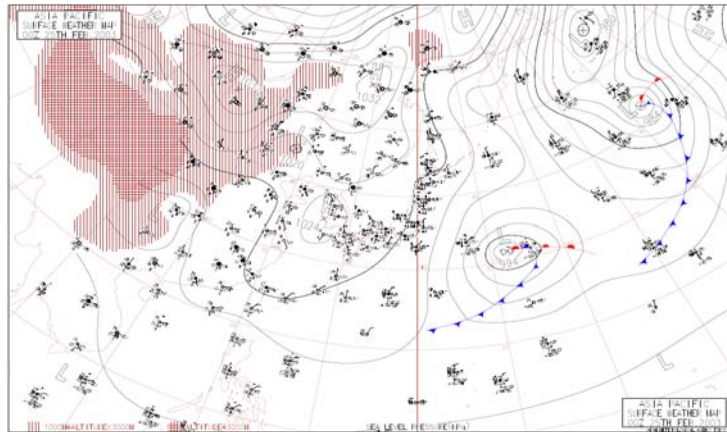
대륙성 고기압의 영향으로 한반도가 고기압권에 속하며, 한반도에 북서풍이 나타나고 있다(Fig. 1a). Type 2는 24회 발생하였으며, Fig. 1b에 나타난 대표 종관 기상일의 일기도를 보면 대륙성 고기압이 약해져 변질되면서 한반도가 이동성 고기압의 영향으로 고농도 대기오염을 야기한 유형이다. Type 3은 11회 나타났으며, Fig. 1c에 나타난 바와 같이, 황사가 한반도에 영향을 미치기 2~3일 전에 황사발원지에서 저기압이 나타나고 그 후면에 고기압이 위치하면서 한반도로 진행하여 고농도 대기오염이 나타난 유형이다.

본 연구에서 분류한 3가지 종관 유형별로 서울시 PM₁₀ 농도 분포가 어떠한 특징을 보이는 살펴보기 위하여 각 유형별(Type 1, Type 2, Type 3)로 농도가 높았던 각각의 3일을 대상으로 PM₁₀농도의 수평분포를 살펴보았다.

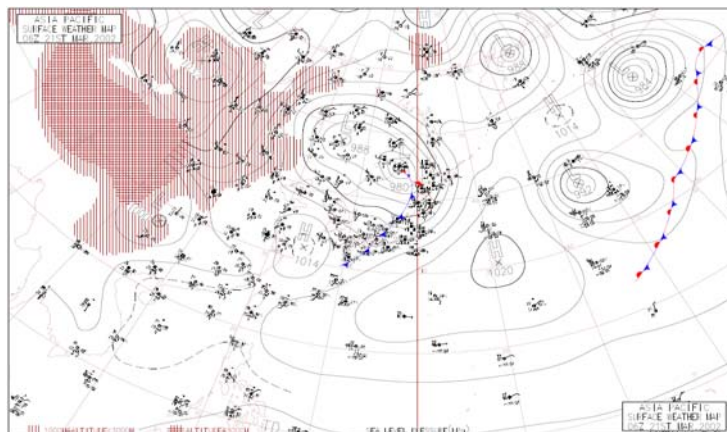
Type 1의 경우(Fig. 2), 중국 북부지역에 고기압 중심이 위치하여 한반도가 북서풍의 영향권에 놓이는 조건으로, 고농도일 이었던 2002년 3월 1~2일의 농도 분포도를 보면, 서울지역에서 풍하측에 해당하는 서울의 남동부 지역이 높은 농도를 보이고 있다. 2001년 3월 19일은 Type 1에서 가장 높은 농도를 나타내었던 사례일 이었으나, 고농도 발생시간대에 서울지역 남동 지역의 PM₁₀ 농도자료가 없어 이 지역에서의 정확한



(a) 0300 UTC March 1, 2002



(b) 0000 UTC February 2, 2003



(c) 0600 UTC March 21, 2002

Fig. 1. Surface weather chart for (a) Type 1, (b) Type 2, (c) Type 3.

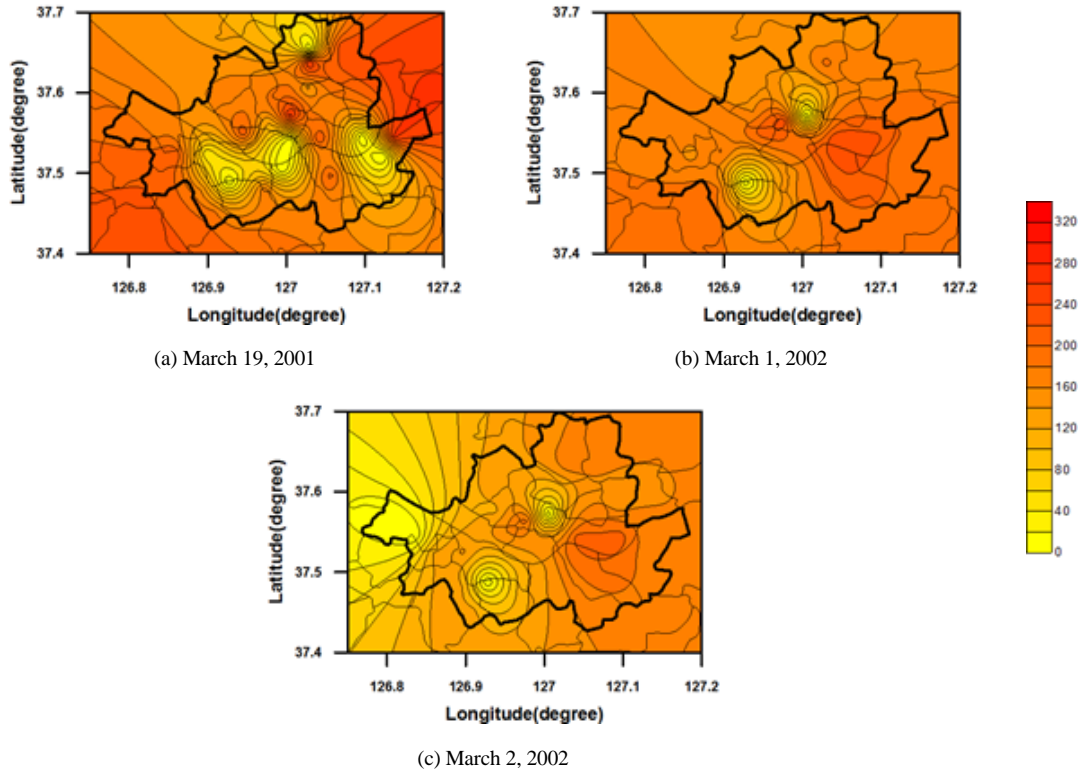


Fig. 2. Daily mean PM₁₀ concentration distribution in cases of Type 1.

농도경향을 알 수가 없다. 하지만 Fig. 3에 나타난 바와 같이, 고농도일 이전 시간대별 PM₁₀ 농도분포 보면, 시간이 지남에 따라 서울 남동쪽 지역에서의 농도가 높아지고 있음을 볼 수 있다.

따라서 한반도가 대륙성 고기압의 영향을 받는 Type 1에 해당하는 기상조건에서는 대륙성 고기압의 장출에 의해 풍하방향인 서울시의 남동부 지역에서 고농도 오염현상이 나타날 가능성이 높을 것을 알 수 있다.

Type 2는 한반도가 이동성 고기압의 영향을 받는 경우로 안정한 대기조건에 의해 지표부근의 PM₁₀의 환기효과가 약하여 서울지역에서의 고농도 PM₁₀ 현상이 나타날 가능성이 있다. Fig. 4를 보면, Type 2의 고농도 사례일 3일 모두 서울의 중심지역에서 높은 PM₁₀ 농도분포 경향을 보이고 있다. Type 3의 고농도 사례일인 2002년 3월 21일, 22일은 황사현상이 나타

난 경우로써 3일 모두 서울의 중심지역과 남동쪽에서 농도가 높게 나타났다(Fig. 5).

종관유형(Type)별 PM₁₀ 농도분포가 서울시 각 지자체(구)별로 어떠한 특징을 나타내는지 정량적으로 알아보기 위해 현행 기상청의 황사 특보단계별 발생 빈도를 조사하였다.

Table 6은 각 종관유형별로 사례일 전체의 PM₁₀ 농도 최소값, 최대값, 그리고 평균 농도값을 나타낸 것이다. 이 중에서 Type 2와 Type 3 유형의 경우, 황사발생일이 있었으므로 황사일을 포함한 전체사례일(all day)에 대한 농도, 황사기간을 제외한 사례일(removed Asian dust day)에 대한 농도, 그리고 황사발생일(Asian dust day)만의 농도로 구분하여 나타내었다.

Table 7~9는 각 종관유형별 일평균 PM₁₀ 농도가 100 µg/m³ 이내, 100~400 µg/m³, 400~800 µg/m³, 800 µg/m³

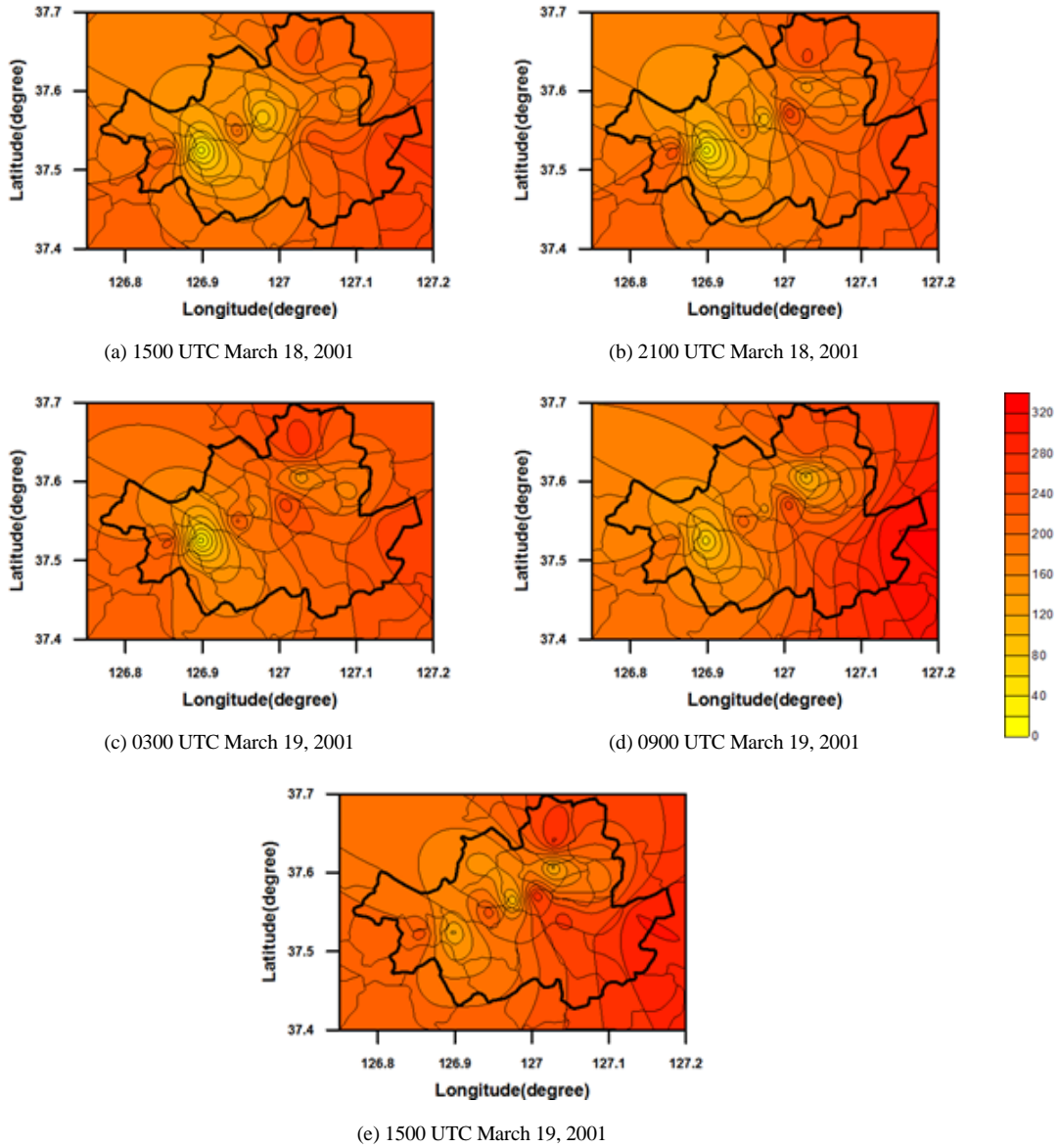


Fig. 3. PM₁₀ concentration at (a) 1500 UTC, (b) 2100 UTC March 18, 2001, (c) 0300 UTC, (d) 0900 UTC, and (e) 1500 UTC March 19, 2001.

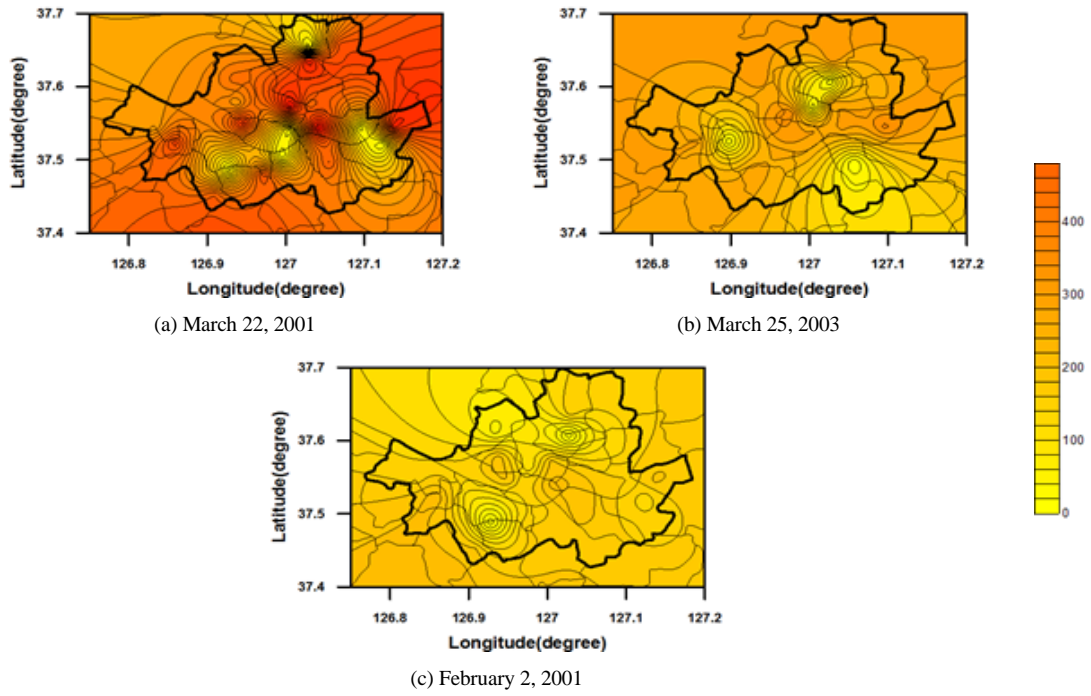


Fig. 4. Same as Fig. 2, except for Type 2.

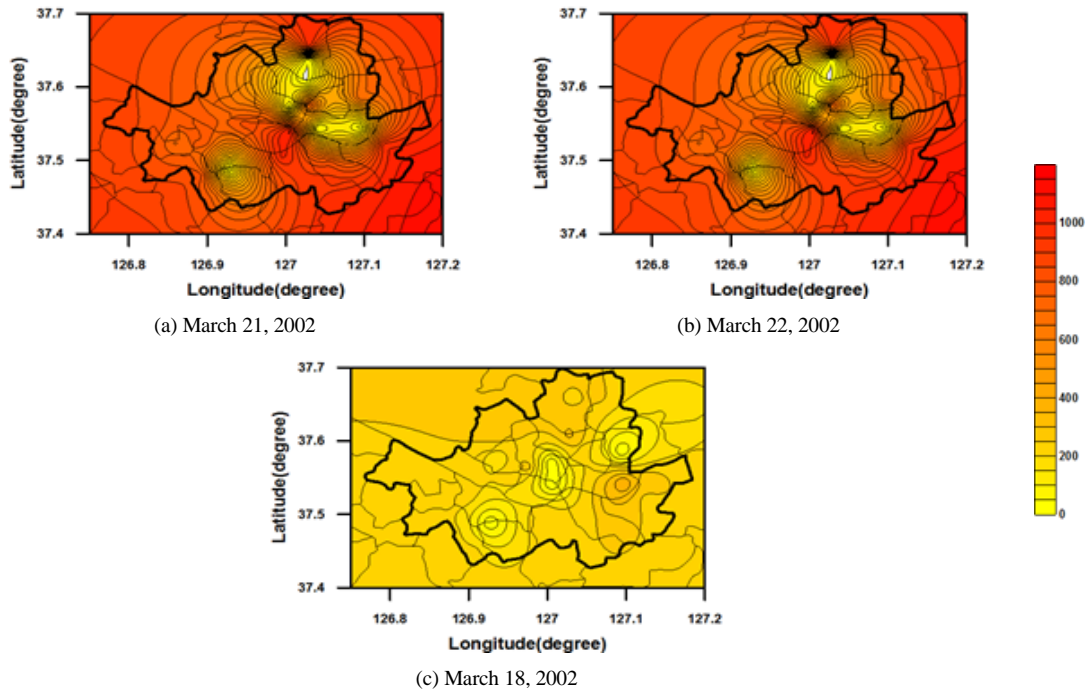


Fig. 5. Same as Fig. 2, except for Type 3.

Table 6. Daily average PM₁₀ concentration for each type

	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	Type 1		Type 2		Type 3		
	All day	All day	Removed Asian dust day	Asian dust day	All day	Removed Asian dust day	Asian dust day
Min	43	22	22	85	44	83	44
Max	270	471	228	471	1153	179	1153
Mean	141.95	140	132	201.4	261.56	129.14	293.34

이상의 4 단계별로 빈도를 서울시 각 지자체별로 나타낸 것이다.

Type 1의 경우(Table 7), 대부분의 지자체에서 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 일평균 기준을 초과하였으나, 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

이상의 고농도는 나타나지 않았다.

Type 2의 경우(Table 8)에도 대부분의 지역에서 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만의 농도를 나타내었으며, 총 24일 중 2001년 3월 22일에 일부 지자체인 종로구,

Table 7. The number of days by concentration range in case of type 1

Station	Concentration range ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						Day
	No data	$0 \leq x < 100$	$100 \leq x < 400$	$400 \leq x < 800$	$800 \leq x$		
North west	Jung-gu	2	3	6	0	0	11
	Seodaemun-gu	0	0	11	0	0	11
	Eunpyeong-gu	0	4	7	0	0	11
South west	Mapo-gu	0	0	11	0	0	11
	Dongjak-gu	0	1	10	0	0	11
	Yeongdeunpo-gu	0	5	6	0	0	11
	Gwank-gu	9	0	2	0	0	11
	Gangseo-gu	1	1	9	0	0	11
	Yangcheon-gu	0	0	11	0	0	11
	Guro-gu	2	1	8	0	0	11
	Geumcheon-gu	0	1	10	0	0	11
South east	Yongsan-gu	1	0	10	0	0	11
	Seongdong-gu	0	0	11	0	0	11
	Seocho-gu	2	5	4	0	0	11
	Gangnam-gu	1	0	10	0	0	11
	Gwangjin-gu	1	0	10	0	0	11
	Gangdong-gu	4	0	7	0	0	11
North east	Songpa-gu	1	4	6	0	0	11
	Jongno-gu	5	0	6	0	0	11
	Dongdaemun-gu	0	0	11	0	0	11
	Seongbuk-gu	5	1	5	0	0	11
	Jungnang-gu	0	0	11	0	0	11
	Gangbuk-gu	1	4	6	0	0	11
	Dobong-gu	0	1	10	0	0	11
Nowon-gu	1	0	10	0	0	11	

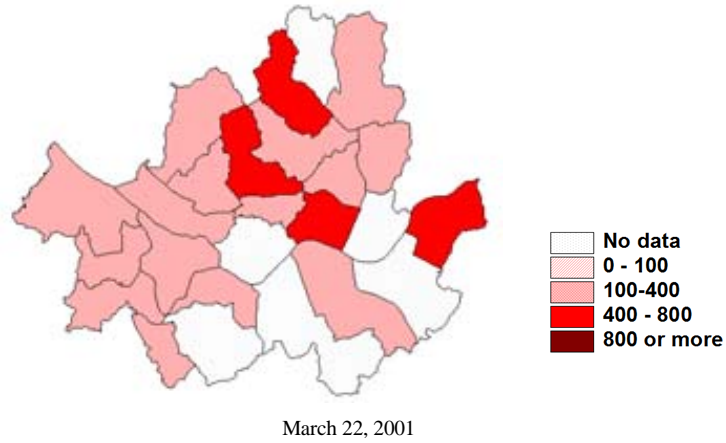


Fig. 6. Distribution of daily average PM₁₀ concentration in case of type 2.

Table 8. Same as Table 7, except of type 2

Station	Concentration range ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					Day	
	No data	$0 \leq x < 100$	$100 \leq x < 400$	$400 \leq x < 800$	$800 \leq x$		
North west	Jung-gu	0	3	21	0	0	24
	Seodaemun-gu	4	5	15	0	0	24
	Eunpyeong-gu	0	7	17	0	0	24
South west	Mapo-gu	4	2	18	0	0	24
	Dongjak-gu	0	8	16	0	0	24
	Yeongdeunpgo-gu	2	8	14	0	0	24
	Gwank-gu	18	0	6	0	0	24
	Gangseo-gu	4	0	20	0	0	24
	Yangcheon-gu	0	3	21	0	0	24
	Guro-gu	4	3	17	0	0	24
	Geumcheon-gu	1	4	19	0	0	24
South east	Yongsan-gu	4	0	20	0	0	24
	Seongdong-gu	0	2	21	1	0	24
	Seocho-gu	3	2	19	0	0	24
	Gangnam-gu	6	2	16	0	0	24
	Gwangjin-gu	7	0	17	0	0	24
	Gangdong-gu	0	1	22	1	0	24
	Songpa-gu	3	2	19	0	0	24
North east	Jongno-gu	13	1	9	1	0	24
	Dongdaemun-gu	6	1	17	0	0	24
	Seongbuk-gu	6	0	17	0	0	24
	Jungnang-gu	0	1	22	1	0	24
	Gangbuk-gu	3	0	21	0	0	24
	Dobong-gu	0	0	24	0	0	24
Nowon-gu	4	1	19	0	0	24	

Table 9. Same as Table 7, except of type 3

Station		Concentration range ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					Day
		No data	$0 \leq x < 100$	$100 \leq x < 400$	$400 \leq x < 800$	$800 \leq x$	
North west	Jung-gu	1	1	7	2	0	11
	Seodaemun-gu	0	3	6	2	0	11
	Eunpyeong-gu	1	1	7	2	0	11
South west	Mapo-gu	0	0	9	1	1	11
	Dongjak-gu	0	2	7	2	0	11
	Yeongdeunpo-gu	0	4	5	2	0	11
	Gwank-gu	11	0	0	0	0	11
	Gangseo-gu	0	2	7	1	1	11
	Yangcheon-gu	0	0	9	2	0	11
	Guro-gu	0	2	7	1	1	11
	Geumcheon-gu	0	0	9	2	0	11
South east	Yongsan-gu	7	0	2	0	2	11
	Seongdong-gu	1	0	9	0	1	11
	Seocho-gu	6	1	2	0	2	11
	Gangnam-gu	0	0	9	1	1	11
	Gwangjin-gu	5	0	5	1	0	11
	Gangdong-gu	0	0	9	2	0	11
	Songpa-gu	7	1	1	1	1	11
North east	Jongno-gu	5	0	6	0	0	11
	Dongdaemun-gu	1	0	9	1	0	11
	Seongbuk-gu	3	0	8	0	0	11
	Jungnang-gu	2	0	9	0	0	11
	Gangbuk-gu	6	0	3	0	2	11
	Dobong-gu	0	0	9	2	0	11
	Nowon-gu	2	0	7	2	0	11

성동구, 강동구, 강북구에서 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 해당하는 농도를 보였다(Fig. 6). 이 유형은 한반도가 이동성 고기압의 영향을 받으므로 미세먼지의 장거리 수송보다는 서울시 내부에서 배출되는 오염원이 위치하는 곳에서 고농도가 나타나므로 서울의 중심에 해당하는 지자체에서 고농도가 나타나 이동성 고기압에 의한 종관기상학적 특성을 잘 반영하고 있음을 알 수 있었다.

Type 3의 경우(Table 9)에는 총 11일 중 2002년 3월 18일과 21일, 22일에 일부 지자체에서 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 구간과, $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 구간에 해당하는 농도값이 나타났으며, 가장 고농도가 나타났던 2002년 3월 21일에 주로 서울의 한강 주변 구, 남동쪽에서 높은 농도분포를 보였다(Fig. 7).

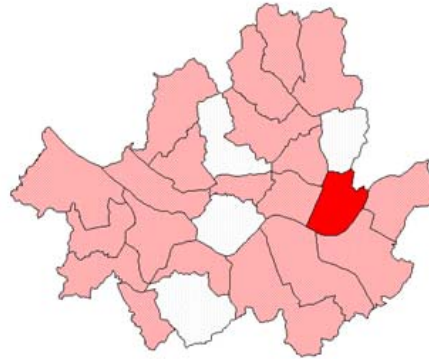
4. 결론

본 연구에서는 서울지역을 대상으로 미세먼지 고농도와 천식 사망자수가 발생한 사례일을 대상으로 기상상황별 특징을 살펴보기 위하여 종관기상학적 유형을 분류하고 유형별 미세먼지 농도분포의 특성을 분석하였다.

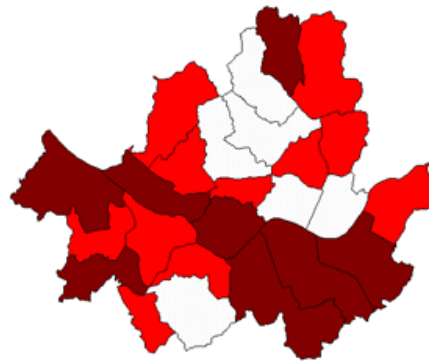
서울지역의 경우, 천식 사망자 발생은 일평균 기준농도값을 초과하는 고농도 현상이 발생한 이후 3일째와 5일째, 그리고 2일째 되는 날에 많이 나타났으며, 이러한 사례를 보인 날들을 대상으로 종관기상학적

유형을 분류한 결과 3가지 유형(Type 1, Type 2, Type 3)으로 나눌 수 있었다.

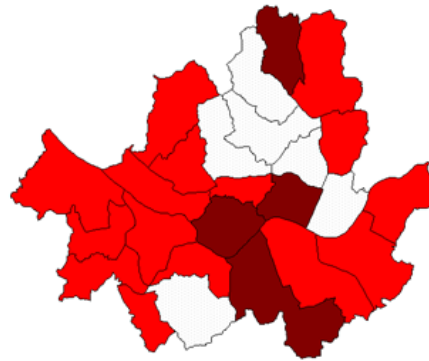
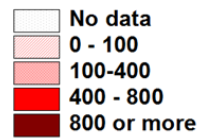
Type 1 유형은 시베리아 고기압 형(Siberian High,



(a) March 18, 2002



(b) March 21, 2002



(c) March 22, 2001

Fig. 7. Same as Fig. 6, except for type 3.

SH type)의 영향으로 한반도 상공의 대기는 안정하나 북서풍이 유입되면서 서울지역의 풍하방향에 위치한 지역에 고농도 대기오염이 발생할 가능성이 있

는 기상조건이며, Type 2 유형은 이동성 고기압 형(Migratory Anticyclone, MA type)의 영향으로 한반도 일대의 대기가 매우 안정하고 바람이 약하여 고농도

대기오염이 일어날 수 있는 기상조건을 보였다. Type 3 유형은 저기압 통과 후 고기압 발달 형(Developing High after passing L\low, DHL type)으로 한반도 상공으로 저기압이 통과하고 그 후면에 고기압이 확장하는 유형으로, 대기는 점차적으로 안정해 지지만 다가오는 저기압에 의해 상승한 미세먼지 및 황사가 확장하는 고기압의 영향으로 하강하며 지역에 따라 고농도 오염을 야기할 가능성이 있는 조건을 보였다.

연구기간동안 Type 1 유형은 총 11회 발생하였으며 강한 북서풍에 의해 서울의 남동부지역에 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상의 고농도 미세먼지 현상이 발생하였으며, Type 2 유형은 총 24회 발생하여, 안정한 대기조건에 의해 미세먼지가 확산되지 못하여 서울시 전역에 고농도 오염을 유발하여 $100 \sim 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도가 주로 나타났으며, $400 \sim 800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 해당하는 농도를 나타내는 경우도 나타났다. Type 3 유형은 총 11회 발생하였는데, 이 유형에 해당하는 사례일 중에서 황사발생일이 많아서 다른 유형에 비해 비교적 높은 농도($800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)가 나타나는 경향을 보였으며, 서울의 한강 일대와 남동부 지역에 고농도 미세먼지 현상을 볼 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상산업지원 및 활용기술 개발사업(KMIPA 2015-8070)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Akinbami, L. J., Schoendorf, K. C., 2002, Trends in childhood asthma : Prevalence, health care utilization and mortality, Official J. Am. Academy of Ped., 110, 315-323.
- Bae, H. J., Ha, J. S., Lee, A. K., Park, J. I., 2008, Age dependencies in air pollution-associated Asthma hospitalization, Korean J. Env. Health, 34(2), 124-130.
- Bae, H. J., 2014, Effects of short-term exposure to PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ on mortality in Seoul, J. Env. Health Sci., 40(5), 346-354.
- Borja-Aburto, V. H., Castillejos, M., Gold, D. R., Bierzwinski, S., Loomis, D., 1998, Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico city, Env. Health Perspectives, 106, 849-855.
- Cho, Y. S., Lee, J. T., Kim, Y. S., Hong, S. C., Kim, H., Ha, E. H., Park, H. S., Lee, B. E., 2003, A Time-series study of ambient air pollution in relation to daily mortality in Seoul, 1998~2001, J. Korean Soc. Atmos. Env., 19(6), 625-637.
- Eder, W., Ege, M. J., Mutiu, V. E., 2006, The asthma epidemic, The New Eng. J. Med., 355, 2226-2235.
- Gang, J. E., 2003, Synoptic meteorological features and their simulations associated with the lasting time of asian dust observed over Korea, Master's Thesis, Pusan Nat. Uni., Busan, Korea.
- Hong, Y. C., Leem, J. H., Ha, E. H., Christiani, D. C., 1999, PM_{10} exposure, gaseous pollutants, and daily mortality in Incheon, South Korea, Env. Health Perspectives, 107(11), 873-878.
- Jeon, B. I., 2012, Meteorological characteristics of the wintertime high PM_{10} concentration episodes in Busan, J. Env. Sci., 21(7), 815-824.
- Lin, M., Steib, D. M., Chen, Y., 2005, Coarse particulate matter and hospitalization for respiratory infections in children younger than 15 years in Toronto : A Case-crossover analysis, Official J. Am. Academy of Ped., 116, 235-241.
- Park, J. K., Choi, Y. J., Jung, W. S., 2015, An Analysis on the distribution characteristics of PM_{10} concentration and its relation of the death from Asthma in Seoul, Korea, J. Env. Sci. Int., 24(7), 961-968.
- Pope, C. A., Bates, D. V., Raizenne, M. E., 1995, Health effects of particulate air pollution : Time for reassessment?, Env. Health Perspectives, 103, 472-480.
- 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.