


황사 발생과 대기 중 PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, Pb 농도의 상관성

문찬석[†] 

부산가톨릭대학교 산업보건학과

Correlation among PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, and Pb Concentrations in Ambient Air and Asian Dust Storm Event

Chan-Seok Moon[†]

Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan

ABSTRACT

Objectives: The study evaluated correlations among monthly PM_{2.5}, PM₁₀, Cd, Pb concentrations and the number of Asian dust days.

Methods: Based on data from ‘The annual report on air quality in Korea from 1999 to 2017’, concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, Pb, and the number of Asian dust days were recalculated to mean, standard deviation, minimum, and maximum. Correlation coefficients were calculated among PM_{2.5}, PM₁₀, Cd, Pb, and Asian dust days.

Results: Asian dust days were correlated only with PM₁₀ among the four factors of PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, and Pb. The four factors of PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, and Pb were very significantly correlated with each other (p<0.01). Their correlation coefficients for PM₁₀ were 0.800 for PM_{2.5}, 0.823 for Cd, and 0.892 for Pb. PM_{2.5} was also correlated strongly with Cd (0.845) and Pb (0.830). Cd had a correlation with Pb of 0.971. The maximums of PM_{2.5}, PM₁₀, and Pb were shown to exceed the atmospheric environmental standard of Korea, which necessitates national continuous exposure control. Based on exposure data, Asian dust days were thought to be an exposure factor for Cd and Pb.

Conclusion: Asian dust might be a factor in Cd and Pb exposure. National exposure controls are required for exposure to PM_{2.5}, PM₁₀, Cd, and Pb.

Key words: Correlation, Asian dust, PM₁₀, Cd, Pb

I. 서론

카드뮴(Cd), 납(Pb)은 과거부터 현재에 이르기까지 환경에서 노출되기 쉬운 중금속으로서 우리나라에서 실시하고 있는 국가 생물학적 모니터링 사업의 대표적인 유해 중금속 노출 모니터링의 항목이며, 식품을 통한 경구 섭취 및 호흡기를 통한 노출로 문제가 되어 온 유해 중금속이다.¹⁾ 대기 중의 Cd와 Pb

는 화력발전소, 소각로 등과 같은 고정 배출원 및 차량과 같은 이동 배출원을 통하여 발생되고 있다. 과거에는 연탄과 같은 가정용 화석연료의 사용에 의해 발생되었으나, 최근에는 가정에서 사용했던 화석연료와 석유(등유)의 사용이 점진적으로 줄고, 고정 배출원의 발생량이 비교적 높게 나타나고 있다.^{2,3)} 우리나라의 각 지역에서 발생하는 연료 연소에 의한 배출원과 함께 최근에는 황사현상도 중금속의 대기

[†]Corresponding author: Department of Industrial Health, Catholic University of Pusan, 57 Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan 46252, Korea, Tel: +82-51-510-0633, Fax: +82-51-510-0638, E-mail: csmoon@cup.ac.kr

Received: 24 August 2020, Revised: 23 September 2020, Accepted: 24 September 2020

오염원으로 관심을 받고 있다. 황사는 주로 3~5월에 많이 발생하고, 편서풍을 타고 중국동부의 산업지역을 통과하는 경우는 이 지역에서 발생된 오염물질과 혼합되어 우리나라에 도달하게 된다. 우리나라에서 황사는 주로 봄철에 나타났으나 최근에는 가을, 겨울철에도 빈번히 발생하고 있다. 황사 일수도 지속적으로 증가하는 추세이며, 특히 중부 지방을 중심으로 강한 황사가 자주 나타난다. 최근 중국의 산업화가 가속되어 황해와 인접한 지역에 개발이 촉진되고 있으며 다량의 오염물질이 우리나라와 근접한 지역에서 발생하여 황사와 함께 우리나라로 이동하고 있는 실정이다. Cd와 Pb는 황사 발원지인 중국의 급속한 산업화로 인해 공업화 과정에서 나타난 환경오염에 근거하고 있다고 보고하는 논문도 있고, 현지의 교통이나 산업배출 등 국내의 지역적 원인에 의한 것으로 보고하고 있는 연구도 있다.^{4,9)} 그러므로 본 연구에서는 우리나라에서 발생하는 황사의 발생과 이시기의 PM₁₀, PM_{2.5} 및 Cd와 Pb 농도의 상관관계를 확인하여 우리나라의 대기 중 Cd와 Pb의 농도와 월중 황사발생일과 상관성에 대해 고찰하고자 한다.

II. 연구방법

1998년에서 2017년까지의 20년간 월별 대기 중 Cd, Pb, PM₁₀, PM_{2.5}이 황사발생이 높을 경우 높아지는지에 관한 상관성을 확인하고 이와 함께 Cd, Pb, PM₁₀, PM_{2.5}간의 상관관계를 확인함으로써 Cd와 Pb이 동일한 노출요인으로 설명이 가능한지 월별 데이터를 통하여 검토하였다. 우리나라 각 지역별 농도 수준에 대한 기하평균치(GM), 기하표준편차(GSD), 최소치(Min) 및 최대치(Max)를 산출하고 우리나라의 월별 평균 황사발생일과 산출된 월별 대기 중 Cd와 Pb 농도 및 PM₁₀과 PM_{2.5}의 GM에 대한 항목 간

상관성을 검토하였다.

대기 중 월별 Cd, Pb의 농도는 1999년에서 2017년까지 19년간의 대기환경연보 내의 측정소별 중금속 오염도 변화추이 데이터를 사용하여 기초데이터를 구축하였다. 대기 중 분진에 대한 지표로서 PM₁₀의 농도는 1998년에서 2017년까지의 20년간 대기환경연보의 지역별 데이터를 사용하였으며, PM_{2.5}의 농도는 2015년에서 2017년까지의 대기 중 데이터가 유효하였기 때문에 3년간의 데이터가 사용되었다(Table 1). 이 연도에 따른 지역별 데이터를 이용하여 월별로 12개의 GM을 도출하였으며, 각 항목별 가장 높게 나타나는 달과 가장 낮게 나타난 달의 GM의 비교에는 t-test를 사용하고, 상기 5가지 항목에 대한 월별 GM의 상관성 검토에는 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient) 및 상관계수에 대한 유의확률을 산출하였다. 기초데이터의 구축 및 통계치의 계산은 MS-Excel을 이용하였다. 상관계수의 도출에는 IBM SPSS Statistics Ver. 25의 상관분석을 사용하였다.

III. 결 과

1. 월별 평균 황사발생일, PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, 및 Pb의 노출 농도

월별 평균 황사발생일, PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, 및 Pb의 노출 농도를 작성하기 위하여 사용된 데이터를 Table 1에 나타내었다. 평균 황사발생일은 1960년에서 2017년까지 각 월별 58개를 사용하여 전체 696개 데이터가 사용되었다. PM₁₀은 1998년부터 2017년까지 전체 58,770개 데이터를 사용하였다. PM_{2.5}는 국가에서 측정망 데이터를 2015년부터 대기환경연보에 보고하였기 때문에 2015년부터 2017년까지 6,100개의 데이터를 사용하였다. Cd와 Pb는 1999년에서 2017년까지의 10,821개 및 11,486개 데이터를 각각

Table 1. Number of subjected monthly data for PM₁₀, PM_{2.5}, Cd and Pb (unit: n)

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	Remark
Asian Dust days	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	696	1960-2017
PM ₁₀	4,810	4,852	4,912	4,945	4,950	4,923	4,824	4,835	4,859	4,915	4,963	4,982	58,770	1998-2017
PM _{2.5}	452	462	486	499	511	512	496	501	519	535	553	574	6,100	2015-2017
Cd	898	901	892	908	910	921	910	887	904	885	905	900	10,821	1999-2017
Pb	949	954	954	952	948	957	953	944	964	969	970	972	11,486	1999-2017

사용하였다(Table 1).

월별 PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, 및 Pb의 기하평균, 기하표준편차, 최소치, 최대치를 계산하고 황사발생일은 1960년부터 2017년까지의 월별 평균 황사발생일 및 최소치와 최대치를 계산하여 Table 2에 나타내었다. 월별 평균 황사발생일은 4월에 평균 2.259회로 가장 높게 나타났고 3월과 5월에 각각 평균 1.414회, 1.241

회로 황사발생의 대부분은 3월, 4월, 5월에 나타났다. 11월과 12월 및 1월과 2월에도 평균 0.259회, 0.310회, 0.190회, 및 0.241회 나타났다. PM₁₀의 월별 기하평균농도는 3월에 69.2 µg/m³로 가장 높은 농도를 보였고, 8월에 36.2 µg/m³로 월중 가장 낮은 농도를 나타내었다. 3월에 나타난 기하평균의 최고치는 8월에 나타난 최저치와 비교하였을 때 약

Table 2. Monthly Asian dust days, PM₁₀, PM_{2.5}, Cd and Pb concentration

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.
Asian dust days						
AM±ASD (days/month)	0.190±0.634	0.241±0.709	1.414±2.209	2.259±3.109	1.241±1.940	0.000
[min.-max.]	[0-4]	[0-4]	[0-11]	[0-11]	[0-7]	[0-0]
PM ₁₀ (µg/m ³)						
GM (GSD)	57.87(1.12)	59.68(1.17)	69.23(1.15)	66.24(1.24)	62.35(1.12)	52.39(1.20)
[min.-max.]	[10-133]	[8-128]	[16-195]	[16-183]	[22-123]	[9-120]
PM _{2.5} (µg/m ³)						
GM (GSD)	29.99(1.12)	30.12(1.08)	29.51(1.23)	27.18(1.05)	25.85(1.00)	20.54(1.14)
[min.-max.]	[16-54]	[14-50]	[16-62]	[15-47]	[11-43]	[5-38]
Cd (µg/m ³)						
GM (GSD)	0.00216(1.63)	0.00177(1.63)	0.00182(1.59)	0.0018(1.60)	0.00172(1.55)	0.00160(1.64)
[min.-max.]	[0.0008-0.0478]	[0.0007-0.0345]	[0.0007-0.0638]	[0.0008-0.0632]	[0.0009-0.0314]	[0.0007-0.0672]
Pb (µg/m ³)						
GM (GSD)	0.0609(1.59)	0.0526(1.64)	0.0533(1.70)	0.0551(1.55)	0.0512(1.51)	0.0440(1.52)
[min.-max.]	[0.0200-0.8554]	[0.0185-0.4384]	[0.0187-0.7191]	[0.0215-0.4549]	[0.0217-0.4681]	[0.0185-0.4566]
	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Asian dust days						
AM±ASD (days/month)	0.000	0.000	0.017±0.131	0.017±0.131	0.259±0.715	0.310±0.883
[min.-max.]	[0-0]	[0-0]	[0-1]	[0-1]	[0-3]	[0-4]
PM ₁₀ (µg/m ³)						
GM (GSD)	41.08(1.21)	36.24(1.17)	39.13(1.21)	48.83(1.21)	54.20(1.19)	55.64(1.16)
[min.-max.]	[11-113]	[0-101]	[0-123]	[0-127]	[12-165]	[11-155]
PM _{2.5} (µg/m ³)						
GM (GSD)	21.01(1.09)	17.04(1.30)	22.64(1.14)	23.11(1.32)	28.77(1.07)	27.00(1.10)
[min.-max.]	[7-35]	[3-38]	[10-49]	[9-53]	[11-54]	[14-50]
Cd (µg/m ³)						
GM (GSD)	0.00131(1.50)	0.00107(1.55)	0.00136(1.71)	0.00146(1.68)	0.00156(1.80)	0.00180(1.41)
[min.-max.]	[0.0007-0.0225]	[0.0005-0.0532]	[0.0006-0.0610]	[0.0007-0.0524]	[0.0006-0.0202]	[0.0009-0.0192]
Pb (µg/m ³)						
GM (GSD)	0.0355(1.57)	0.0302(1.48)	0.0343(1.53)	0.0383(1.66)	0.0419(1.79)	0.0491(1.52)
[min.-max.]	[0.0147-0.3460]	[0.0102-0.3245]	[0.0145-0.3650]	[0.0155-0.3239]	[0.0109-0.2828]	[0.0222-0.3659]

1.91배의 차이를 나타내었다(p<0.05). PM₁₀의 월별 지역측정치 중 최고치(Max.)의 경우에서는 3월에 195 µg/m³로 다른 달과 비교하였을 때에도 최고치 중 가장 높았고, 8월에 101 µg/m³는 다른 달과 비교하였을 때에도 가장 낮은 값을 나타내었다. PM_{2.5}의 월별 기하평균치는, 2월에 30.12 µg/m³로 가장 높은 농도를 보였으며, 8월에 17.04 µg/m³로 월중 최저치를 나타내었다. 3월 최고치는 8월 최저치와 비교하여 약 1.77배 차이를 나타내었다(p<0.05). Cd은 1월에 0.00216 µg/m³으로서 월별 가장 높은 농도를 나타내었으며 8월에 0.00107 µg/m³으로서 가장 낮은 농도를 나타내었다. 최고치의 경우는 0.0638 µg/m³으로서 3월에 가장 높은 농도를 나타내었다. Pb의 경우에서도 1월에 0.0609 µg/m³으로서 연중 가장 높았고 최저치는 8월(0.0302 µg/m³)로 가장 낮게 나타났다. Pb의 최고치는 0.8554 µg/m³로서 1월에 나타났다.

2. 월별 평균 황사발생일, PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, 및 Pb간의 상관성

황사의 발생과 Cd 및 Pb의 관련성을 확인하기 위하여 월별 평균 황사발생일, 월별 Cd, Pb, PM₁₀, PM_{2.5} 농도 간 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 나타내었다(Table 3). 월별 평균 황사발생일은 PM₁₀과 0.759 (p=0.004)으로서 유의한 상관관계를 나타내었으나 PM_{2.5}와는 0.423 (p=0.171), Cd와 0.424 (p=0.170), Pb와 0.568 (p=0.054)로서 PM_{2.5}, Cd 및 Pb와 유의한 상관관계를 나타내지 못하였다. 다만, PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, Pb 4항목 상호간에는 모두 유의하게 높은 상관계수를 나타내었다. PM₁₀의 경우는 PM_{2.5}와 0.800 (p=0.002)이며 Cd와 0.823 (p=0.001), Pb와 0.892 (p=0.000)로서 상관계수 0.8 이상의 유의

하게 높은 상관계수를 나타내었다. PM_{2.5}와 Cd 및 Pb간에는 Cd와 0.845 (p=0.001) Pb와는 0.830 (p=0.001)으로서 Cd 및 Pb와 상호 높은 상관관계가 확인되었다. Cd와 Pb간에는 0.971 (p=0.000)으로 나타나 노출 경향이 이 두 중금속은 거의 동일하게 나타났다.

IV. 고 찰

우리나라의 일반 환경에서 생활하는 일반인의 경우는 황사 현상이 발생하는 11월에서 다음해 5월까지 연중 약 7개월간 많은 시간을 황사에 노출된 상태로 생활을 하게 된다.¹⁶⁾ 이 기간 동안에는 PM₁₀, PM_{2.5}, Cd 및 Pb의 전 항목에서 비황사기간인 6-10월 보다 높은 농도를 나타내었다. 황사내의 금속류에 대한 연구로서 2000년대 초반 이후에 중국의 급속한 산업화로 인해 황사가 사막지대를 통과할 경우 석영(규소)이 높게 나타나고 황토지대를 통과할 경우는 알루미늄이나 철성분이 많은데, 이는 중국의 공업화 과정에서 나타난 환경오염에 근거하고 있다고 보고하였다.^{7,8)} 대부분의 황사 연구에서는 Cd와 Pb의 기원은 황사에 의한 영향보다는 우리나라 현지의 교통이나 산업배출 등 국내의 지역에서 발생하는 원인에 의해 주로 나타나는 것으로 보고하고 있다.^{6,9)} 김 등은 고산지역 PM₁₀의 원소성분을 분석한 결과로서 황사내의 원소 성분들 중 Si, Al, K, Na, Ca, Fe와 미량의 Ba, Sr, Rb, Li 등이 대표적인 지각물질로 주로 조대입자에 분포하는 경향을 보이는 것으로 보고하여 Cd와 Pb는 황사와 관련을 갖고 있지 않음을 간접적으로 보고하였다.¹⁰⁾ 다른 연구보고에서도 Al, Fe, Cu, Cr 등은 주로 조대입자 영역에 분포하고 있고, 본 연구 대상인 Cd와 Pb 이외의 V,

Table 3. Pearson's correlation coefficient among Asian dust days, PM₁₀, PM_{2.5}, Cd and Pb

	Asian dust days	PM ₁₀	PM _{2.5}	Cd	Pb
Asian dust days	1	0.759**	0.423	0.424	0.568
PM ₁₀		1	0.800**	0.823**	0.892**
PM _{2.5}			1	0.845**	0.830**
Cd				1	0.971**
Pb					1

N=12

*p<0.05, **p<0.01

Ni, Mn의 금속류는 주로 미세입자 영역에 분포하는 것으로 보고하였다.^{11,12)} 다만, Pb의 경우는 늦가을과 겨울에 높은 값을 나타내었는데 폐기물을 포함한 화석연료 연소를 그 원인으로 판단하였으며,¹³⁾ Ko 등의 연구에서도 대기 중 Pb는 인위기원 성분으로서 판단하였다.⁹⁾ 그러나 본 연구결과에서와 같이 수년간의 국내 누적 데이터를 통하여 확인한 결과에서는 황사발생일수의 경우는 PM₁₀ (0.759, p=0.004)과 높은 상관성을 나타내고는 있으나 이외의 요인과는 PM_{2.5}가 0.423 (p=0.171), Cd는 0.424 (p=0.170), Pb는 0.568 (p=0.054)로서 상관성을 나타내지 못하고 있는 것을 미루어 볼 때, 황사의 요인에 의해 PM₁₀은 확연히 강한 상관관계를 가지고 등락이 가능함을 짐작할 수 있었다.¹⁴⁾ 그러므로 우리나라 대기의 특성으로서 PM₁₀은 황사발생을 확인할 수 있는 황사 지표로서 활용이 가능함을 추정할 수 있었다. 월별 황사발생일을 제외한 PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, Pb의 4가지 요인은 모두 상호간 유의한 높은 상관성을 나타내고 있는데 본 연구의 초점인 Cd, Pb의 노출은 PM_{2.5}와 상관을 가지고 있고 PM₁₀과도 높은 상관을 나타내었다. 다만 황사발생일과는 상관성을 가지지 않았고 황사발생일은 PM₁₀과 상관성을 나타내고 있으므로 황사발생일과 Cd, Pb 노출 농도간에는 직접적인 상관성은 가지고 있지 않다고 하더라도 PM₁₀이 황사의 지표로 가능하다면 Cd와 Pb 노출에 영향을 주는 요인으로 생각되었다. 그리고 PM_{2.5}, Cd, 및 Pb의 경우는 PM₁₀을 경유하여 황사와 상관성을 나타내는 것으로 확인되고 있어 황사가 Cd와 Pb의 노출에 적어도 독립적인 단일요인은 아니며 혼합된 요인 중 영향을 나타내는 한가지의 요인이라는 추정을 할 수 있었다.^{3,15,16)}

황사는 그 자체적으로 인체 유해 요인이 되고 있다. 안질환 및 호흡기 질환을 비롯한 면역기능 장애에도 관여하고 있으며, 심혈관 및 뇌혈관 장애에도 직접적으로 관여하고 있는 것으로 알려져 있다. 황사에 의하여 기침, 콧물, 인후통, 마른기침, 가래, 발열과 눈의 통증, 충혈 같은 호흡계 증상 및 눈 자극이 발생한다. 미세먼지에 의해 발생하는 심혈관 질환은 산화스트레스 및 염증반응의 증가와 관련을 가지고 있지만 자율신경계의 장애와 혈액의 응고능력에도 관여하고 있다. 미세먼지에 노출되면 폐 탐식세포나 상피세포가 관여하여 급성 염증을 일으키고

케모카인이나 사이토카인 등이 분비되어 선천면역에 관여한다. 코, 인후두 또는 폐 심도 운동 등에서 제거되지 않고 폐포에 부착된 미세먼지는 호산구나 호중구, 탐식세포 등이 작동되고 기도 염증과 염증 매개인자를 증가시켜 폐 질환을 악화시킨다. 미세 먼지는 체내 항산화 물질을 감소시키고 활성산소를 증가시켜 산화스트레스에 의한 염증을 유발하고 기도 내 염증성 손상과 알레르겐 감작을 유발하기 때문에 천식에도 유해한 영향을 주는 것으로 알려져 있다.^{4,17-23)}

PM₁₀의 국내 환경기준은 현재 일평균 100 µg/m³, 연평균 50 µg/m³로 관리하고 있고, PM_{2.5} (초미세먼지)의 경우 일평균 35 µg/m³, 연평균 15 µg/m³로 정하고 있다. 우리나라의 관리 기준은 WHO와 유럽연합의 권고 기준과 비교하여 보았을 때 일평균 25 µg/m³, 연평균 10 µg/m³의 권고기준 및 유럽연합의 연평균 25 µg/m³ 제한치와 비교하여 높게 설정되어 있다. WHO의 PM₁₀ 질량농도 권고기준은 연평균 20 µg/m³, 일평균 50 µg/m³로 설정하고 있고, 유럽연합에서는 각각 40, 50 µg/m³로 하고 있다. 미국의 환경기준은 현재 PM₁₀은 150 µg/m³이고, PM_{2.5}는 연평균 15 µg/m³, 일평균 35 µg/m³으로 관리하고 있다. 미국의 일평균 150 µg/m³의 설정은 우리나라보다 높게 설정된 것으로 보이나, 최근 3년 간 24시간 평균 농도가 150 µg/m³를 1회 이상 초과하면 미달성으로 보기 때문에 우리나라 보다 더 강한 제한으로 보아야 한다.²⁴⁻²⁷⁾ 본 연구결과에서 나타난 최고치의 관점에서 볼 때 PM₁₀은 황사 발생시기인 1월부터 5월 사이에는 각각 133, 128, 195, 183, 123 µg/m³이며 9월부터 12월 사이에는 각각 123, 127, 165, 155 µg/m³로서 일평균 기준치의 23-95% 초과된 값을 나타내었다. 황사 비발생 시기인 6월에서 8월 사이에도 각각 120, 113, 101 µg/m³로서 황사발생시기 보다는 낮은 값이었으나 1-20% 초과된 값을 나타내었다. PM_{2.5} (초미세먼지)의 경우에서도 1월부터 5월까지 47-62 µg/m³로서 기준치 35 µg/m³와 비교하여 34-77% 초과된 값을 나타내었고, 9월부터 12월 사이에는 49-54 µg/m³로서 일평균 기준치와 비교하였을 때 40-54% 초과된 값을 나타내었다. 황사 비발생 시기인 6월에서 8월 사이에도 각각 50-62 µg/m³로서 황사발생시기 보다는 낮은 값이었으나 42-20% 초과된 값을 나타내었다. 그러므로 본 연구결과에서도 볼 때, 우리나라의 PM₁₀과 PM_{2.5}는 일간 측정치에서 황사

시기와 관계없이 연중 초과되고 있으므로 황사에 대한 대기질의 관리뿐 아니라 국내발생원에 관한 국가적 관리도 필요하다.

중금속의 경우 우리나라의 대기환경 기준은 Pb가 연간평균치 0.5 µg/m³로 설정되어 있으며, WHO와 유럽연합에서도 모두 동일하게 연간평균치 0.5 µg/m³로 관리하고 있다. 미국의 경우는 3개월 평균 0.15 µg/m³로 관리하고 있다. 우리나라의 경우 Cd의 대기환경 기준은 아직 설정되어 있지 않고 작업환경에서는 8시간 가중평균치(TLV-TWA) 허용기준으로서 0.01 mg/m³ (10 µg/m³)를 설정하고 있다. 본 연구결과에서 월별 Pb 농도의 최고치에서 볼 때 1월과 3월에서 각각 0.8554 µg/m³ 및 0.7191 µg/m³로서 44-71% 초과하고 있어 황사 요인이 국내발생원과 더불어 부과되어 중금속 역시 국내 대기에서 문제점을 나타내고 있다고 생각된다.

V. 결 론

우리나라의 1998년에서 2017년에 출간된 대기환경보고서의 다년간의 월별 데이터를 근간으로 하여 월별 PM₁₀, PM_{2.5}, Cd, Pb 및 황사일수의 기하평균치 기하표준편차, 최소치와 최대치를 나타내고 노출 상황을 검토하였다. 연구조사 항목들 간에 강한 상관관계를 나타내었으며, 황사요인은 Cd와 Pb의 대기 중 농도를 높이는 영향력 있는 요인으로 나타났다. 우리나라에서 측정된 대기의 월중 최대치의 경우는 대기 환경 기준을 초과하는 경우가 나타나고 있으므로 지속적인 국가적 관리가 필요하다.

References

1. Moon C-S, Yang HR, Nakatsuka H, Ikeda M. Time trend of cadmium intake in Korea. *Environ Health Prev Med.* 2016; 21(3): 118-128.
2. Moon C-S, and Ikeda M. Pollutant levels in ambient air and blood in Korea. *Environ Health Prev Med.* 1996; 1: 33-38.
3. Ryou H, Heo J, Kim S-Y. Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} air pollution, and possible impacts of study characteristics in South Korea. *Environmental Pollution.* 2018; 240: 963-972.
4. Chung Y-S, Kim H-S, Natsagdorj L, Jugder D, Chen S-J. On Yellow Sand Occurred during 1997~2000. *Asia-Pacific J Atmos Sci.* 2001; 37(4): 305-316.
5. Ministry of Environment of Korea. Announcement of Analysis Results of Heavy Metal in Asian Dust in March and April, 2002. p. 2.
6. Lee B-K, Lee HK, Jun H-Y. Analysis of regional and temporal characteristics of PM₁₀ during an Asian dust episode in Korea. *Chemosphere.* 2006; 63: 1106-1115.
7. Hashizume M, Ueda K, Nishiwaki Y, Michikawa T and Onozuka D. Health Effects of Asian Dust Events: A Review of the Literature. *Jpn J Hyg.* 2010; 65: 413-421.
8. Lim DI, Jung SW, Choi MS, Kang SM, Jung HS et al. Historical record of metal accumulation and lead source in the southeastern coastal region of Korea. *Marine Pollution Bulletin.* 2013; 74: 441-445.
9. Ko H-J, Song J-M, Cha JW, Kim J, Ryoo S-B et al. Chemical Composition Characteristics of Atmospheric Aerosols in Relation to Haze, Asian Dust and Mixed Haze-Asian Dust Episodes at Gosan Site in 2013. *J Korean Soc Atmos Environ.* 2016; 32(3): 289-304.
10. Kim K-J, Lee S-H, Hyeon D-R, Ko H-J, Kim H et al. Composition comparison of PM₁₀ and PM_{2.5} fine particulate matter for Asian dust and haze events of 2010-2011 at Gosan site in Jeju Island. *Anal Sci & Tech.* 2014; 27(1): 1-10.
11. Kim K-H, Kang C-H, Lee J-H, Choi KC, and Youn YH. The influence of the Asian Dust on the Spring-time Distribution of Airborne Lead. *J KOSAE.* 2004; 20(6): 833-838.
12. Lee P-K, Youm S-J and Bae B-G. Geochemical Characteristics and Pollution Level of Heavy Metals of Asian Dust in Daejeon Area, 2007 (spring season). *Econ Environ Geol.* 2012; 45(3): 217-235.
13. Byun J-Y, Cho S-H, Kim H-W, Han Y-J. Long-term Characteristics of PM_{2.5} and Its Metallic Components in Chuncheon, Korea. *J Korean Soc Atmos Environ.* 2018; 34(3): 406-417.
14. Ko J-C and Yang J-H. The Investigation of the Particle Size Distribution and the Content of Metal Components in Particulate Matter (PM) from Industrial Complex. *J Korean Soc Environ Tech.* 2018; 19(3): 263-273.
15. Sternberg T and Edwards M. Desert Dust and Health: A Central Asian Review and Steppe Case Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2017; 14: 1342.
16. Moon C-S. High influential factor of cadmium and lead exposure in outdoor workers. *J Korean Soc*

- Occup Env Hyg.* 2020; 30(2): 163-173.
17. Hong Y-C, Pan X-C, Kim S-Y, Park K, Park E-J et al. Asian Dust Storm and pulmonary function of school children in Seoul. *Sci Total Environ.* 2010; 408: 754-759.
 18. Watanabe M, Kurai J, Shimizu E. Definition of Asian dust particles. *Environ Res.* 2014; 134: 188-189.
 19. Kyung SY, Kim YS, Kim WJ, Park MS, Song JW et al. Guideline for the prevention and management of particulate matter/Asian dust particle-induced adverse health effect on the patients with pulmonary diseases. *J Korean Med Assoc.* 2015; 58(11): 1060-1069.
 20. Yang H-J, Kim S-H, Ajang A-S, Kim S-H, Song W-J et al. Guideline for the prevention and management of particulate matter/yellow dust-induced adverse health effects on the patients with bronchial asthma. *J Korean Med Assoc.* 2015; 58(11): 1034-1043.
 21. Higashisaka K, Fujimura M, Taira M, Yoshida T, Tsunoda S et al. Asian Dust Particles Induce Macrophage Inflammatory Responses via Mitogen-Activated Protein Kinase Activation and Reactive Oxygen Species Production. *J Immunol Res.* 2014; 2014: 856154.
 22. Kim I-S, Jang J-Y, Kim T-H, Park J, Shim J, et al. Guidelines for the prevention and management of cardiovascular disease associated with fine dust/Asian dust exposure. *J Korean Med Assoc.* 2015; 58(11): 1044-1059.
 23. Kojima S, Michikawa T, Ueda K, Sakamoto T, Matsui K et al. Asian dust exposure triggers acute myocardial infarction. *European Heart Journal.* 2017; 38: 3202-3208.
 24. EPA. Part 243 Air Quality Standards. 2013. https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-12/documents/il_part_243.pdf.
 25. WHO. Ambient (outdoor) air pollution. 2018. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
 26. Ministry of Environment of Korea. Air quality standard of Korea. 2020. <http://www.me.go.kr/mamo/web/index.do?menuId=586>.
 27. Park M-B, Lee T-J, Lee E-S, Kim D-S. A Comparative Study on the Ambient Air Quality Standard Strength among Korea, the U.S.A. and the EU. *J Korean Soc Atmos Environ.* 2016; 32(6): 559-574.

<저자정보>

문찬석(교수)