

TECHNICAL NOTE

백령도와 수도권의 황사 수송 시간과 바람장 분석

조원기 · 강동환* · 박경덕 · 양민준¹⁾

부경대학교 지질환경연구소, ¹⁾부경대학교 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공

Analysis of Asian Dust Transportation Time and Wind Farm in Baengnyeongdo Island and the Metropolitan Area

Won Gi Jo, Dong-hwan Kang*, Kyeong-deok Park, Minjune Yang¹⁾

Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

¹⁾*Division of Earth Environmental System Sciences, Major of Earth & Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

Abstract

Baengnyeongdo, located within the Asian dust stream, is an ideal place to analyze Asian dust moving into the West Sea due to its low emission of artificial pollutants. Baengnyeongdo is being used to analyze the vertical distribution of dust from the lower atmosphere to the upper layer through remote observation. This study compared the ground concentration of dust between Baengnyeongdo and the metropolitan area, estimated the lag time of transport of Asian dust from Baengnyeongdo to the metropolitan area, and examined the homogeneity of upper winds using the rawinsonde method. The results showed that the cross correlation coefficient was higher and the lag time was shorter for each observation station when the distance from Baengnyeongdo was shorter. The upper wind at Baengnyeongdo is dominated by the west/northwest wind. It is the basis for the correlation of dust concentration between Baengnyeongdo and the metropolitan area located to the east. In the future, upper wind data and Asian dust concentration data over the West Sea and Baengnyeongdo are expected to contribute to research related to the movement and prediction of Asian dust and preparation for Asian dust in the metropolitan area.

Key words : Asian dust, Ground concentration, Cross correlation, Lag time, Rawinsonde

1. 서론

황사(Asian dust)는 중국과 몽골의 사막화 지역에서 강한 바람에 의해 발생하는 먼지 부유 현상이며, 시정 악화 및 호흡기 질환 등을 일으키는 우리나라의 대표적인 대기오염 현상이다. 황사는 호흡기 질환과 심혈관 질환을 유발하거나 악화시키고, 항공기의 운항 지연이나 결

항을 일으키며, 일사량을 감소시켜 농작물 생육에 장애를 일으키는 등 실생활에 부정적인 영향을 끼친다(Lee, 2009). 환경부는 황사피해방지 종합대책을 세우고 기상청에서 황사 관측망 설치 및 황사 예·특보제의 실시를 통하여 황사피해에 대한 대책을 마련하였다.

황사에 대한 관심도가 높아지면서 황사 관측 및 탐지 방법 그리고 황사의 성분 특성에 대하여 연구되어 왔다.

Received 3 February, 2022; Revised 4 May, 2022;
Accepted 20 May, 2022

*Corresponding author: Dong-hwan Kang, Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 48513, Korea
Phone : +82-51-629-7393
E-mail : dhkang@pknu.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.

Table 1. Observation case information (Baeknyeongdo)

Year	Period	Date (Asian dust)	Max Con. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	2017.01.25. ~ 2017.01.29.	01.27.	196
2	2017.04.16. ~ 2017.04.20.	04.18. ~ 04.19.	198
3	2017.04.29. ~ 2017.05.02.	04.30. ~ 05.01.	305
4	2017.05.05. ~ 2017.05.09. (Case 1)	05.05. ~ 05.08.	420
5	2017.05.10. ~ 2017.05.14.	05.12.	294
6	2018.02.08. ~ 2018.02.12.	02.10.	177
7	2018.04.04. ~ 2018.04.08.	04.06.	328
8	2018.11.25. ~ 2018.11.29. (Case 2)	11.27. ~ 11.28.	458
9	2019.04.03. ~ 2019.04.07.	04.05.	175
10	2019.04.29. ~ 2019.05.03. (Case 3)	05.01.	275
11	2019.10.28. ~ 2019.11.01.	10.28. ~ 11.01.	218
12	2020.02.20. ~ 2020.02.24.	02.22.	154
13	2020.04.02. ~ 2020.04.06.	04.04.	213
14	2020.04.20. ~ 2020.04.24.	04.22.	185
15	2020.05.09. ~ 2020.05.13.	05.11.	156
16	2020.10.30. ~ 2020.11.03. (Case 4)	11.01.	158
17	2021.01.11. ~ 2021.01.16.	01.13	228
18	2021.04.14. ~ 2021.04.19.	04.16~17	256
19	2021.05.05. ~ 2021.05.10. (Case 5)	05.07~08	947
20	2021.05.22. ~ 2021.05.27.	05.24~25	221

Kim et al.(2003)은 서울에서 대기질 측정소의 입자상물질을 분석하여 황사 발생빈도와 농도 특성을 연구하였으며, Lee et al.(2012)은 국내에서 관측된 시정과 PM₁₀ 농도 자료를 이용하여 관계를 설명할 수 있는 관계식을 도출하고 황사 농도 추정 방법을 연구하였다. 황사 탐지는 주로 위성과 라이다(lidar)와 같은 원격 장비를 사용하여 수행되었다. 위성은 황사의 수평적인 분포와 발생 고도를 분석하고 라이다는 황사의 연직 분포 및 입경을 분석하는데 장점이 있다. Kim et al.(2008)은 정지기상위성 자료를 이용하여 황사 발생에 따른 휘도온도의 차이로부터 황사의 강도를 표현하는 정량적 황사지수를 개발하였고, Park et al.(2011)은 극궤도 위성인 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)에 적외채널의 밝기온도차를 이용한 황사탐지 방법을 적용하였다. 황사의 성분 특성은 황사를 구성하는 이온과 금속 성분 등을 화학적으로 분석하였고(Shin et al., 2005; Park et al.,

2012; Lee et al., 2014; Song et al., 2015), 황사의 질량 농도, 입경 등을 물리적으로 분석하였다(Oh et al., 2006; Kim et al., 2013; Park et al., 2019).

우리나라에서는 편서풍이 지배적이기 때문에 황사는 중국에서 서해안을 거쳐 한반도로 유입된다. 황사 기류 아래에 있는 백령도는 주변에 인위적인 오염물질의 배출이 적어 서해상으로 유입되는 황사 사례를 확인하고 원격 관측을 통하여 대기 하층부터 상층까지 연직 분포를 연구할 수 있는 최적의 지점이다. Seo et al.(2015)은 SMPS-APS 시스템을 이용하여 고농도 미세먼지 및 황사 사례에 대한 입경분포 특성을 연구함으로써 백령도 상공의 미세먼지 및 황사 입자의 질량농도를 평가하였고, Lee et al.(2013)은 백령도에서 라이다로 관측한 황사의 연직분포 및 이동을 연구하였으며, 황사의 실시간 감시 및 판단에 있어 라이다의 활용을 제시하였다.

본 연구에서는 2017년부터 2021년까지 20개의 황사

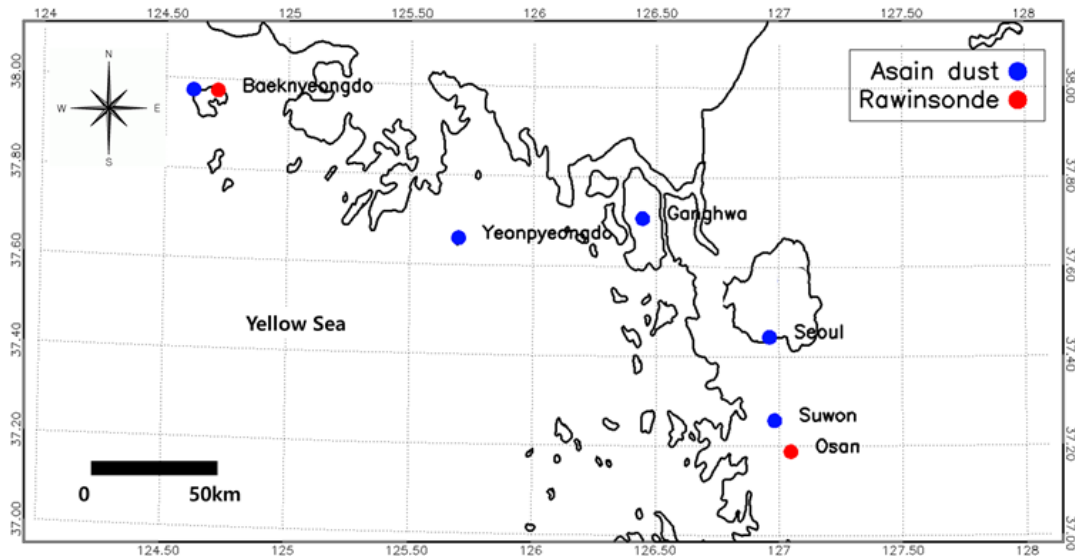


Fig. 1. Observation stations of Asian dust and rawinsonde.

Table 2. Observation stations information (from Baeknyeongdo)

	Distance (km)	Direction (°)	Height (m)
Baeknyeongdo	-	-	36
Yeonpyeongdo	95	120	8
Ganghwa	155	110	48
Seoul	205	110	86
Suwon	215	120	40

사례 중 그해의 최대 농도가 관측된 사례를 대상으로 백령도와 수도권 지역의 지상 황사 농도를 비교하고 백령도에서 수도권까지 황사가 수송되는 데 걸리는 시간을 추정하였으며, 백령도와 오산의 고층 바람장을 활용하여 고층 바람의 균질성과 황사의 수송 속도 및 수송 고도를 고찰하였다.

2. 자료 및 방법

2017년부터 2021년까지 백령도에서 관측된 20개의 황사 사례를 정리하였다(Table 1). 백령도의 황사 사례는 지상 관측소의 1시간 PM₁₀(Particulate Matter, PM) 자료를 바탕으로 Table 1과 같이 선정하였으며, 봄철 황사(Case 1, Case 3, Case 5)와 가을철 황사(Case 2,

Case 4) 사례로 구분하고, 각 사례는 황사 관측일을 포함하여 5일 동안 분석되었다. 황사는 1일 혹은 2일 동안 지속되며, PM₁₀ 농도가 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상일 때 황사가 관측된 것으로 판단한다.

본 연구에서 활용된 관측소는 Fig. 1에 표시하였으며, Table 2는 수도권의 관측소 정보이고 각 관측소와 백령도의 거리와 관측 고도를 정리하였다. Yoon(1990)은 황사가 발원지로부터 한반도까지 수송되는 데 소요되는 시간을 연구하였고, 고비 사막으로부터 55.3시간, 황하 상류역으로부터 43.3시간의 시간이 소요된다고 주장하였다. 본 연구에서 백령도로부터 황사의 수송 시간(Lag time)은 백령도와 수도권 간에 지상 농도의 교차상관분석(Cross correlation)을 통하여 추정하였다.

Table 3. Rawinsonde observation information

Pressure (hPa)	1000	925	850	700	500	400	300	250
Height (m)	140	750	1430	2940	5460	7040	8980	10130

본 연구에서는 백령도와 수도권의 고층 바람의 균질성을 확인하기 위하여 백령도와 오산의 레윈존데(Rawinsonde) 자료를 사용하였다. 지상에서 250 hPa 고도까지의 고도별 평균 풍속을 산출하여 백령도에서 관측된 황사의 수송 속도와 수송 특성을 해석하였다(Table 3).

3. 결과 및 고찰

3.1. 백령도-수도권의 황사 농도 분석

Fig. 2는 5개 사례(Case 1~5)의 관측소별 지상 황사 농도를 나타낸 것이다. 모든 사례에서 지상 황사 농도는 백령도의 농도가 증가하거나 감소한 후에 수도권 관측소의 농도가 백령도와 같은 변화 경향을 나타내며, 이는 황사가 백령도로부터 수도권으로 이동한다는 것을 보여준다. Case 1의 경우 황사는 백령도에서 5월 5일에 관측되었고 서울에서는 6일에 관측되었다. 백령도의 최대 농도는 5월 20시에 $420 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 수도권의 최대 농도는 서울에서 6일 01시에 $338 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. Case 2의 경우 황사는 백령도에서 11월 27일부터 28일까지 관측되었다. 백령도의 최대 농도는 27일 13시에 $458 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 수도권의 최대 농도는 서울에서 27일 21시에 $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. Case 3의 경우 황사는 백령도에서 5월 1일에 관측되었고 백령도의 최대 농도는 1일 20시에 $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. Case 4의 경우 황사는 백령도에서 11월 1일에 관측되었고 백령도의 최대 농도는 1일 12시에 $158 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 서울의 최대 농도는 1일 23시에 $181 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. Case 5의 경우 황사는 백령도에서 5월 7일부터 8일까지 관측되었고 백령도의 최대 농도는 7일 18시에 $947 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 서울의 최대 농도는 8일 01시에 $775 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 봄철 황사는 대체로 황사 강도가 강하고 지속 기간이 길기 때문에 Case 1과 Case 5처럼 지상 농도가 높게 나타나고, 지상 농도의 증감 변화가 여러번 반복되는 결과를 보여준다. 가을철 황사는 봄철 황사에 비해 황사 강도가 약하고 지속 기간이 짧게 나타난다. 지상 황사 농도의 차이를 보면, 농도가 높을수록 백령도와 수도권의 농

도 차이가 작고(Case 1, 2, 5), 농도가 낮을수록 백령도와 수도권의 농도 차이가 크다(Case 3, 4). Case 3과 Case 4에서 수도권에서 황사 농도가 급격히 줄어든 것은 기류의 발산과 황사의 확산에 의해 수도권의 농도가 감소한 것으로 사료된다.

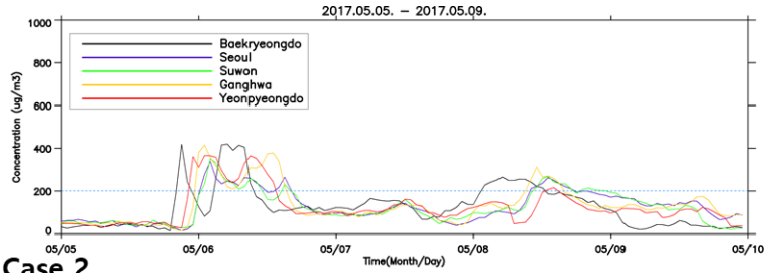
3.2. 백령도-수도권의 황사 수송 시간 분석

Table 4는 백령도와 수도권 관측소의 교차상관계수와 수송 시간을 나타낸 것이다. 백령도와 수도권 관측소의 교차상관계수와 수송 시간은 Fig. 3과 같은 방법으로 산출되었다. Case 1의 경우 교차상관계수는 0.68~0.75 범위이고 강화가 가장 높았으며, Case 2의 경우 교차상관계수는 0.72~0.95 범위이고 연평도가 가장 높고 수원이 가장 낮았다. Case 3의 경우 교차상관계수는 0.47~0.87 범위이고 연평도가 가장 높고 서울이 가장 낮았으며, Case 4의 경우 교차상관계수는 0.36~0.78 범위이고 서울이 가장 높고 수원이 가장 낮았다. Case 5의 경우 교차상관계수는 0.82~0.95 범위이고 연평도가 가장 높고 수원이 가장 낮았다. Fig. 3을 보면 교차상관계수는 모든 사례에서 연평도와 강화에서 높게 나타났고 서울과 수원에서 낮게 나타났다. 수송 시간은 모든 사례에서 연평도에서 가장 빨랐고 백령도와 떨어진 거리와 비례하였다. 봄철 황사와 가을철 황사로 구분하여 비교한 결과, 계절에 따른 수송 시간의 차이는 없었다. 백령도와 수도권 지상 농도의 교차상관분석 결과, 황사가 백령도에서 수도권으로 이동하고 백령도에서의 이격거리에 따라 황사의 수송 시간이 증가함을 알 수 있다.

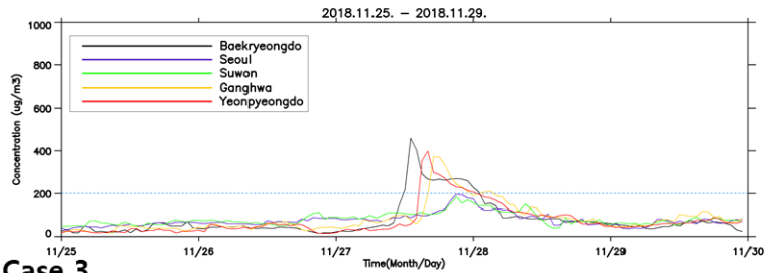
3.3. 백령도와 수도권 바람장을 이용한 황사 수송 특성

고층 대기는 지표와의 마찰과 바람의 변화가 거의 없기 때문에 바람의 균질성과 선형적 변화를 가정할 수 있으며(Park et al., 1998), 고층 바람장을 통하여 백령도 상공의 황사가 어디로 이동하는지 추정할 수 있다. 바람장의 균질성은 기상에 따른 변화량이 적으나 높은 산과 같은 복잡한 지형에서 민감하게 변하지만(Lee et al.,

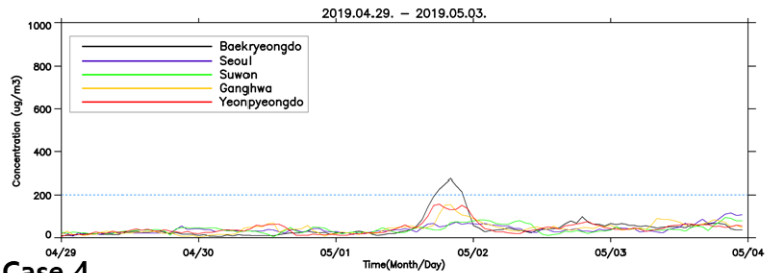
Case 1



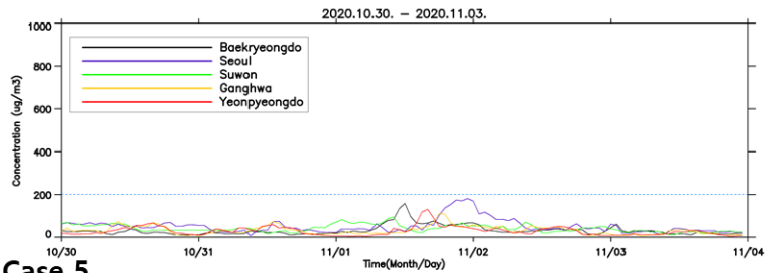
Case 2



Case 3



Case 4



Case 5

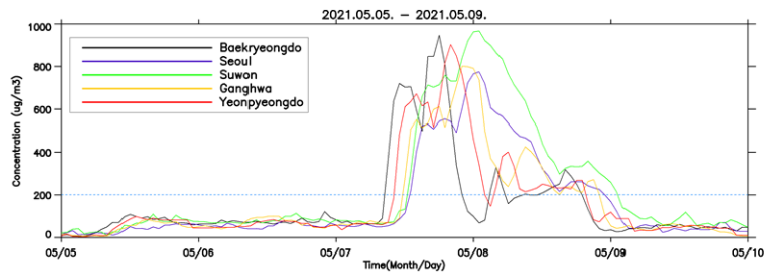
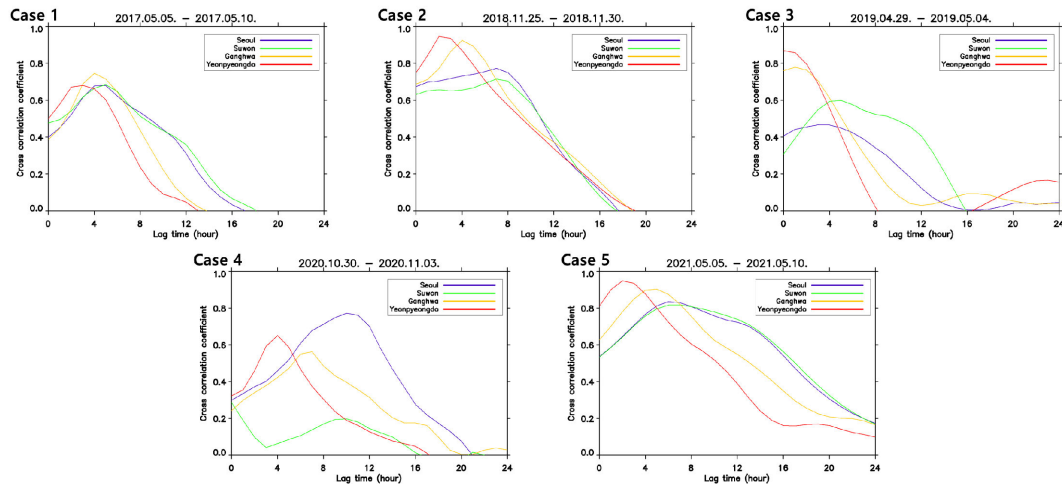


Fig. 2. Ground concentration at the observation stations.

Table 4. Cross correlation coefficient and lag time of observation stations for the Baeknyeongdo

		Yeonpyeongdo	Ganghwa	Seoul	Suwon
Case 1	Coefficient	0.68	0.75	0.68	0.68
	Lag time (h)	3	4	5	5
Case 2	Coefficient	0.95	0.92	0.77	0.72
	Lag time (h)	2	4	7	7
Case 3	Coefficient	0.87	0.78	0.47	0.60
	Lag time (h)	0	1	3	5
Case 4	Coefficient	0.72	0.66	0.78	0.36
	Lag time (h)	4	7	10	0
Case 5	Coefficient	0.95	0.90	0.83	0.82
	Lag time (h)	2	5	6	7

**Fig. 3.** Cross correlation coefficient and lag time of observation stations.

2010), 본 연구에서는 서해안이라는 개방된 지형적 특성과 황사 사례에 악기상이 직접적인 영향을 미치지 않았으므로 바람의 균질성을 가정할 수 있다. Fig. 4와 Fig. 5는 각각 백령도와 오산의 레인존데 바람장이다. 모든 사례에서 백령도는 서/북서풍이 우세하고 고도 1500 m 이하에서는 남서풍과 동풍이 관측되었다. 오산에서도 백령도와 같은 바람 특성이 나타났다. Table 5와 Table 6은 황사가 발생한 시기의 백령도와 오산의 고도별 평균 풍속이고, 백령도와 오산의 풍속 차이는 크지 않았다. 고도 3000 m 이하에서 Case 5는 최대 4 m/s, 나머지 사례는 최대 2.6 m/s의 풍속 차이를 보였으며, 3000 m 이상에

서도 풍속 차이는 4 m/s 이하로 나타났다. 5개 사례와 계절에 대한 백령도와 오산의 바람장을 통해 고층 바람의 균질성을 확인하였으며, Table 2에서 보듯이 수도권은 백령도로부터 동/남동쪽 방향에 위치하고 있으므로, 기상학적인 관점에서 백령도와 수도권에서의 황사 농도와 황사 관측 시간을 설명할 수 있다.

Table 2에서 백령도와 연평도의 거리는 95 km이고, 연평도까지의 황사 수송 시간은 2시간이다. 황사의 수송 속도는 약 13.2 m/s이며, 황사의 수송은 주로 고도 1500 ~ 3000 m에서 이루어지는 것으로 추정할 수 있다. 또한 백령도와 서울의 거리는 205 km이고, 서울까지의 황사

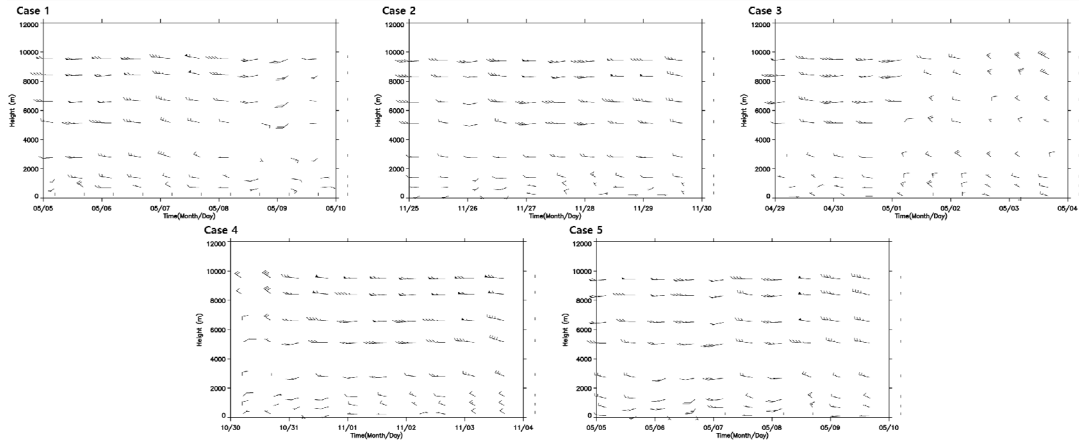


Fig. 4. Rawinsonde wind field at Baeknyeongdo.

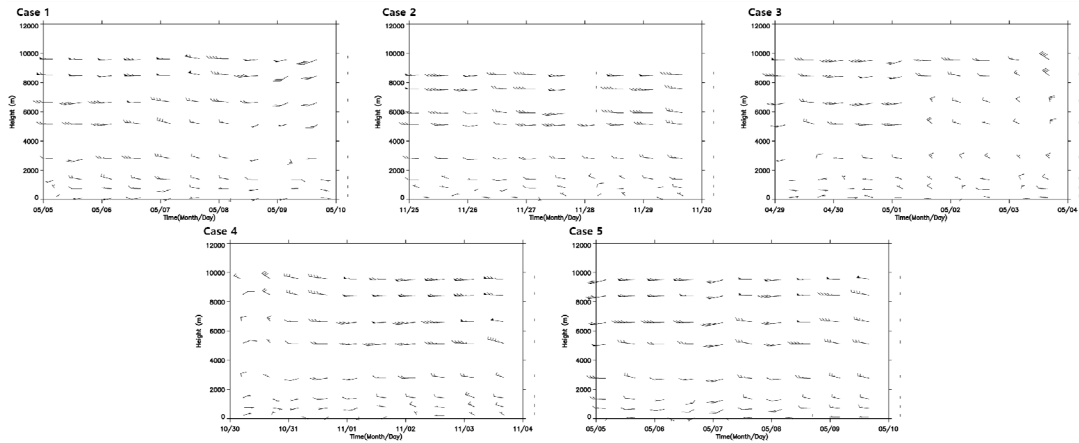


Fig. 5. Rawinsonde wind field at Osan.

Table 5. Averaged wind speed with height at Baeknyeongdo

Height (m)	Wind speed (m/s)				
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
140	-	5.7	5.0	5.5	6.7
750	9.8	5.1	7.4	7.3	15.2
1430	11.9	9.4	7.9	9.5	13.7
2940	14.5	16.2	10.2	14.6	17.4
5460	19.8	22.7	13.7	25.8	28.1
7040	27.1	27.9	20.5	33.8	34.5
8980	37.1	35.8	27.5	43.2	42.7
10130	46.1	40.3	31.8	48.2	46.6

Table 6. Averaged wind speed with height at Osan

Height (m)	Wind speed (m/s)				
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
140	4.3	3.5	2.7	5.2	3.4
750	7.2	5.1	6.0	6.8	11.4
1430	11.5	8.4	5.2	9.5	11.9
2940	15.0	16.5	8.7	13.7	19.6
5460	20.2	23.7	15.8	24.8	30.5
7040	28.9	26.4	20.8	31.7	37.4
8980	41.0	35.0	27.8	42.3	48.8
10130	48.8	40.0	32.2	47.2	53.6

수송 시간은 6시간이다. 황사의 수송 속도는 약 9.5 m/s이며, 황사의 수송은 연평도를 지나 주로 고도 1000 m 이하에서 이루어지는 것으로 추정할 수 있다. 황사가 수송되는 동안 고도가 낮아져 수송 속도가 느려지기 때문에 초기 황사의 수송은 고도 3000 m에서 발생할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 2017년부터 2021년까지 20개의 황사 사례 중 그해의 최대 농도가 관측된 사례에 대하여 백령도와 수도권의 지상 황사 농도와 고층 바람장을 분석하여 황사의 수송 특성을 구명하였다.

(1) 백령도와 수도권의 황사 농도의 교차상관계수는 0.36~0.95 정도로서 상관성을 보이며, 수송 시간은 2~10시간으로 나타났다. 백령도와 수도권 관측소 사이의 거리가 짧을수록 교차상관계수가 높고 수송 시간이 짧다.

(2) 백령도의 고층 바람은 주로 서/북서풍이 관측되며, 수도권과 백령도의 고층 바람은 공간적으로 균질하고 계절에 따라서도 균질하다. 고층 바람의 균질성을 통해 백령도와 수도권 사이의 황사 수송 시간과 속도를 추정할 수 있다.

(3) 백령도의 황사와 수도권의 황사는 연관성이 높아 향후 백령도를 비롯한 서해안의 고층 바람 자료와 황사 농도 자료를 활용한다면 황사의 이동 및 예측 그리고 수도권의 황사와 관련된 연구에 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 “기상청 「기상관측장비 핵심기술 및 관측자료 활용기법 개발」(KMI2021-074010)” 및 “2021년도 교육부의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설 장비진흥센터 사업(2021R1A6C101A415)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- Kim, J. C., 2013, Characteristics of particle size distribution of PM₁₀ by asian dust, J. Korean Soc. Environ. Analy., 16, 266-271.
- Kim, M. J., Kim, Y. J., Sohn, E. H., Kim, K. L., Ahn, M. H., 2008, The study on the quantitative dust index using geostationary satellite, Atmosphere, 18, 267-277.
- Kim, M. Y., Cho, S. J., Kim, K. R., Lee, M. H., 2003, The behaviour of dust concentrations during sand storm in Seoul Area, J. Korean Earth Sci. Soc., 24, 315-324.
- Lee, G. H., 2009, Understanding and preparing for Asian dust, J. Korean Soc. societal Security, 2, 18-27.
- Lee, H. J., Lee, E. H., Lee, S. S., Kim, S. B., 2012, Study on methodology for estimating PM₁₀ concentration of Asian dust using visibility data, Atmosphere, 22, 13-28.
- Lee, S. E., Shin, S. H., Ha, K. J., 2010, The assessment of the spatial variation of the wind field using the Meso-velocity scale and its contributing factors, Atmosphere, 20, 343-353.
- Lee, Y. J., Jung, S. A., Jo, M. R., Kim, S. J., Park, M. K., Ahn, J. Y., Lyu, Y. S., Choi, W. J., Hong, Y. D., Han, J. S., Lim, J. H., 2014, Characteristics of PM chemical

- component during haze episode and Asian dust at Gwang-ju, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 30, 434-448.
- Oh, S. W., 2009, Changes in aerosol characteristics during 2006~2008 Asian dust events in Cheonan, Korea, *J. the Korea Academia-Industrial cooperation Soc.*, 10, 1642-1647.
- Park, J. S., Kim, J. H., Hong, S. J., 2012, Detection of yellow sand dust over Northeast Asia using background brightness temperature difference of infrared channels from MODIS, *Atmosphere*, 22, 137-147.
- Park, S. G., Kim, K. E., Min, K. D., Moon, Y. S., Lee, D. I., 1998, Wind field retrieval by doppler radar on cold frontal system, *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, 34, 306-318.
- Park, S. M., Moon, K. J., Park, J. S., Kim, H. J., Ahn, J. Y., Kim, J. S., 2012, Chemical characteristics of ambient aerosol during Asian dusts and high PM episodes at Seoul intensive monitoring site in 2009, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 28, 282-293.
- Park, S. S., 2019, Change in mass size distributions of ambient aerosol particles during Asian dust storm event in late fall at an urban site of Gwangju, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 35, 502-515.
- Seo, S. J., Lim, Y. J., Seo, Y. K., J, D. H., J, H. J., Lee, M. D., Park, J. S., Hong, Y. D., 2015, Characteristics of particle size distribution during high PM and Asian dust episode of February, 2015 in Baengnyeong Island, *J. Korean Soc. of Urban Environ.*, 15, 241-250.
- Shin, S. A., Han, J. S., Hong, Y. D., Ahn, J. Y., Moon, K. J., Lee, S. J., Kim, S. D., 2005, Chemical composition and features of Asian dust observed in Korea (2000~2002), *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 21, 119-129.
- Song, S. J., Kim, J. E., Lim, E. H., Cha, J. W., Kim, J., 2015, Physical, chemical and optical properties of an Asian dust and haze episodes observed at Seoul in 2010, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 31, 131-142.
- Yoon, Y. H., 1990, On the yellow sand transported to the ocean peninsula, *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, 26, 111-120.
-
- Full-time Researcher. Won-Gi Jo
Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University
brilliantwg@gmail.com
 - Ph.D. Dong-Hwan Kang
Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University
dhkang@pknu.ac.kr
 - Full-time Researcher. Kyeong-Deok Park
Institute of Environmental Geosciences, Pukyong National University
godsla6593@nate.com
 - Professor. Min-June Yang
Division of Earth Environmental System Sciences, Major of Earth & Environmental Sciences, Pukyong National University
minjune@pknu.ac.kr