

2006 ~ 2008년 황사기간 중 천안시 대기 입자의 특성 변화

오세원^{1*}

¹상명대학교 공과대학 환경공학과

Changes in aerosol characteristics during 2006 ~ 2008 Asian dust events in Cheonan, Korea

Oh, Sewon^{1*}

¹Department of Environmental Engineering, Sangmyung University

요 약 황사기간 중 천안시 대기 입자의 특성 변화를 파악하기 위해, Cascade Impactor를 장착한 High Volume Air Sampler를 이용하여 대기 시료를 채취하여, 대기 입자의 입경별 질량농도 및 이온, 금속 성분의 농도를 황사기간과 비황사기간에 비교 측정하였다. 황사기간 중 일평균 TSP, PM10, PM2.5 평균 농도가 각각 214.9, 160.3, 95.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 비황사기간에 비해 각각 평균 3.08, 2.58, 1.95배 증가하였으며, 최대 농도는 TSP, PM10, PM2.5가 각각 850.1, 534.4, 233.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 비황사기간에 비해 각각 12.19, 8.60, 4.76배까지 증가하였다. 황사기간 중 농도의 증가는 미세입자보다는 조대입자에서 현저하였으며, 미세입자와 조대입자 모두 수용성 이온성분의 증가는 미미한 반면, 토양의 주요 구성 성분인 Fe, Al, Ti의 증가가 뚜렷이 관측되어, 토양구성 금속성분이 황사기간 중 입자 농도 증가의 주요 원인 물질임을 확인할 수 있었다.

Abstract Changes in aerosol characteristics during 2006 ~ 2008 Asian dust events in Cheonan were investigated by measuring mass, ion and elemental concentrations of fine and coarse particles. The average mass concentrations of daily TSP, PM10, PM2.5 were 214.9, 160.3, and 95.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ during Asian dust events, which were 3.08, 2.58, and 1.95 times higher than Non-asian dust events. The maximum concentrations of TSP, PM10, and PM2.5 were 850.1, 534.4, and 233.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, which were 12.19, 8.60, and 4.76 times higher, respectively. Increases in ion concentrations were not significant during Asian dust events, but elemental concentrations including soil components such as Fe, Al, Ti increased by 17.1 and 43.4 times for fine and coarse particles, respectively. The results clearly indicate that metallic components from soil constituents were the major components in Asian dusts sampled at Cheonan.

Key Words : Asian dust events, PM10, coarse particles, fine particles

1. 서론

매년 봄철 중국과 몽골의 사막지역 및 황하유역의 토양 성분이 대기 중에 유입되어 발생하는 황사(Asian Dust)는 중국뿐 아니라 한국과 일본에 까지 영향을 미치는 동아시아 지역의 주요 환경문제이다. 이들 지역에서 강한 바람에 의해 대기 중으로 유입되는 토양 입자 중 직경 약 30 μm 이상의 상대적으로 큰 입자는 발생 지역 주변에 침착하나, 이보다 작은 입경의 입자는 입경에 따라

수일에서 수주까지의 대기 체류시간을 가지며, 장거리 이동을 통해 한국과 일본, 심지어는 태평양을 지나 미서부 해안에까지 도달하기도 한다[1-3]. 최근 한국에서 관측되는 황사의 발생일수 및 황사기간 중 입자의 농도가 증가하고 있으며[4-6], 이들 황사가 한국에 도달하기 까지 중국의 산업지역을 통과함에 따라 중금속과 다이옥신과 같은 유해물질의 유입에 대한 우려가 제기되고 있다[7]. 이에 최근 국내에서는 성분 분석을 포함하여 황사의 특성 조사에 관한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다[8-12]. 그러나

본 논문은 상명대학교 2008학년도 교내 연구비 지원에 의해 수행되었음.

*교신저자 : 오세원(sewonoh@smu.ac.kr)

접수일 09년 03월 05일

수정일 (1차 09년 06월 03일, 2차 09년 07월 06일)

게재확정일 09년 07월 22일

이들 연구가 주로 서울을 포함하는 대도시나 특정 집중 측정 지점에 한정되어 있어, 각 지역에서 황사의 특성에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구가 진행된 천안시는 충남 전체 면적의 약 7.4%에 해당하는 636.18km²에 충남 인구의 약 26.5%인 약 531,193명(2006년 기준)이 거주하는 지역으로, 충남지역에서 행정, 산업, 상업의 중심 지역으로 역할을 하고 있는 지역이다. 천안시는 최근 지속적인 산업체의 증가에 따른 대기 오염도의 증가가 예상되고 있으며, 특히 대기 중 입자의 오염도는 특정지점에서는 서울의 오염도와 유사한 수준을 나타내고 있다[13]. 이와 함께 최근 봄철 강도 높은 황사현상으로 인해 대기 입자에 의한 전자산업을 포함하는 산업시설의 피해 및 주민 건강에 대한 우려가 커지고 있다. 이에 본 연구에서는 황사기간 중 천안시 대기 입자의 입경분포, 질량농도 및 성분 분석을 통해 황사가 천안시 대기 입자의 특성 변화에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

2. 연구방법

황사 발생 시 천안시 대기 입자의 특성 변화를 조사하기 위해 2006년 3월부터 2008년5월에 걸쳐 비황사기간(NAD, Non Asian Dust Periods)과 황사기간(AD, Asian Dust Periods)의 천안시 대기 시료를 채취하여 비교 분석하였다. 시료 채취는 천안시 안서동에 위치한 상명대학교 본관 옥상에 절단입경(공기역학경)이 각각 7.2, 3.0, 1.5, 0.95, 0.49 μ m인 5-Stage Cascade Impactor(Andersen, Model235)를 장착한 High Volume Air Sampler(Andersen, GV2360-70)를 이용하였다. 시료의 채취는 High Volume Air Sampler를 통해 대기 시료를 유량 1.16m³/min으로 24시간 유입하여, 대기 시료에 포함된 입자를 입경별로 Glass fiber 여지에 포집하였다. 시료 채취는 비황사기간에 38회, 황사기간에 9회, 총 47회에 걸쳐 수행하였다. 표 1에 시료를 채취한 일자를 상세히 표시하였다. 채취된 대기 입자에 대해서는 입경별 질량 농도와 성분 분석을 실시하였는데, 먼저 입자가 포집된 여지는 측정한계가 0.01mg인 전자저울(Sartorius, Model CP225D)을 이용하여 무게를 측정, 6구간의 입경별 질량 농도를 분석하였다. 이때 수분이 질량 농도에 미치는 영향을 제거하기 위해, 여지의 무게는 여지를 데시케이터에 24시간동안 건조한 후 측정하였다.

질량분석이 완료된 여지는 이후 포집된 입자의 성분 분석이 수행되었는데, 성분 분석은 이온 성분과 금속 성분을 대상으로 포집된 입자를 절단입경 1.5 μ m 이상의

조대입자(PM1.5~)와 1.5 μ m 이하의 미세입자(PM1.5)로 구분하여 진행하였다. 자세한 성분 분석과정을 살펴보면, 먼저 입자가 포집된 각 여지를 2등분 한 후, 각 여지를 조대입자와 미세입자로 나누어 바이알에 넣은 후 초순수 50mL로 수용성 이온성분을 추출하였다. 추출은 초음파 추출기와 200rpm의 진탕기에 각 1시간 동안 바이알을 넣어 수행하였으며, 추출액은 이온크로마토그래피(Dionex, ICS 90)를 이용하여 Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺의 5가지 양이온과 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻의 3가지 음이온의 총 8가지 이온성분을 분석하였다. 양이온과 음이온 분리용 컬럼은 각각 Dionex사의 Ionpac CG12A/CS12A와 Ionpac AG9-HC/AS9-HC를 사용하였다. 이후 나머지 여지는 금속 성분의 분석을 위해, 조대입자와 미세입자로 구분하여 테프론 용기에 넣은 후 질산과 불산을 2:1의 비율로 12mL 주입하여 170 $^{\circ}$ C에서 약 1시간 동안 가열하여 금속 성분을 산에 용해시켰다. 금속성분이 용해된 산용액은 초순수를 첨가하여 총 40mL가 되도록 한 후, 각 20mL씩을 취하여 ICP-AES (Perkin-Elmer Instruments, Optima 3300DV)와 ICP-MS (Perkin-Elmer Corporation, Elan 6000)로 총 10가지의 금속 성분을 분석하였다. 상대적으로 농도가 높은 Fe, Al, Ti은 ICP-AES로, 농도가 낮은 Mn, Cu, Cr, Pb, Ni, As, V는 ICP-MS로 분석하였다. 이온 성분은 황사기간에 9회, 비황사기간에 21회 수행하였으며, 금속성분은 각각 1회, 3회 수행하였다.

[표 1] 2006-2008년 대기시료 채취일

년도	시료채취일	
	황사	비황사
2006	3/13, 3/28, 4/24	5/15, 5/18, 5/24, 7/14, 7/31, 8/14, 10/9, 10/10, 10/30, 11/1, 11/5, 11/6, 11/20, 12/1, 12/6
		1/10, 1/16, 2/22, 3/12, 4/12, 4/30, 5/15, 5/21, 8/21, 8/22, 10/10, 10/22, 10/23, 10/24, 12/3, 12/26
2007	3/31, 4/1, 5/8	1/9, 3/25, 4/1, 4/29, 5/6, 5/26

3. 결과 및 고찰

3.1 입경별 농도 및 입경분포 변화

Cascade Impactor를 통해 황사기간과 비황사기간에 측

[표 2] 황사기간 중 천안시 대기 입자의 입경별 일평균 농도 변화

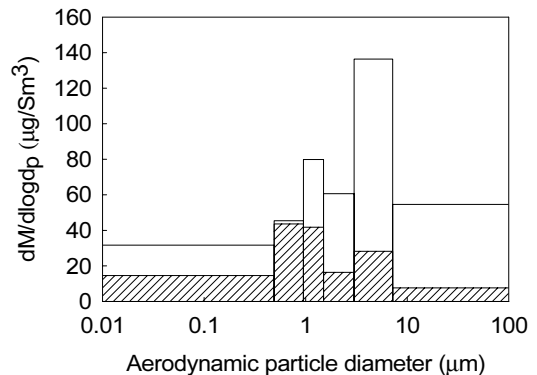
입경	황사			비황사		황사/비황사*
	평균	최대	표준편차	평균	표준편차	
TSP	214.9	850.1	241.9	69.7	29.0	3.08(12.19)**
PM10	160.3	534.4	144.3	62.1	26.0	2.58(8.60)
PM2.5	95.9	233.3	55.5	49.0	22.0	1.95(4.76)
PM2.5~	119.0	616.7	189.0	20.7	10.4	5.75(29.79)
< 0.49 μ m	53.5	101.6	28.6	24.6	10.4	2.18(4.13)
0.49 ~ 0.95 μ m	13.1	30.6	8.3	12.5	9.4	1.04(2.44)
0.95 ~ 1.5 μ m	15.8	51.1	13.9	8.3	5.6	1.91(6.16)
1.5 ~ 3.0 μ m	18.3	68.0	19.4	4.9	2.6	3.71(13.82)
3.0 ~ 7.2 μ m	51.9	238.2	72.0	10.7	5.5	4.84(22.22)
> 7.2 μ m	62.4	360.7	112.5	8.7	4.8	7.18(41.49)

* 분율임.

** () 의 값은 측정된 황사 중 최대 농도와의 분율 임.

정된 대기입자의 각 입경별 일평균 농도의 평균 값과 이를 통해 결정된 일평균 TSP, PM10, PM2.5, PM2.5~(직경 2.5μ m 이상)의 평균 농도를 표 2에 기술하였다. 이와 함께 그림 1에는 황사기간과 비황사기간 대기입자의 입자 분포 변화를 도시하였다. 표 2에 나타난 바와 같이 비황사기간 중 천안시 대기입자의 일평균 TSP, PM10, PM2.5 농도의 평균치는 각각 69.7, 62.1, 49.0μ g/m³으로, 그림 1에서 확인할 수 있듯이 미세영역 입자가 조대영역입자보다 높은 농도로 존재하는 도심지역의 특성을 나타내고 있다[14]. 이들 천안시 대기입자의 농도는 황사기간 중 큰 폭으로 증가하여 TSP, PM10, PM2.5의 일평균 농도 평균치가 각각 214.9, 160.3, 95.9μ g/m³으로, 비황사기간에 비해 각각 평균 3.08, 2.58, 1.95배 증가하였다. 특히 황사측정기간 중 최대 농도를 나타낸 2007년 3월 31일에는 일평균 TSP, PM10, PM2.5 농도가 850.1, 534.4, 233.3 μ g/m³으로, 비황사기간에 비해 각각 12.19, 8.60, 4.76배 까지 급증하였다. 이상의 증가 경향에서 알 수 있듯이 황사에 의한 대기 입자 농도의 증가는 TSP, PM10, PM2.5의 순으로 큰 입경의 입자 범위를 많이 포함할수록 커짐을 알 수 있다. 이는 Cascade Impactor의 각 입경별 농도 변화에서 뚜렷이 확인되어지는데, 0.49 ~ 0.95 μ m 범위의 입경에서는 그 증가가 미미하였으나 이후 입경의 증가에 따라 농도의 증가가 지속적으로 상승하여 직경 7.2μ m 이상 입자의 증가율은 718%에 이르고 있다. 이는 황사에 의해 천안시에 유입되는 입자는 발생원에서부터 이동되

어온 조대영역의 입자가 대부분이며, 기체상 오염물에 의해 새롭게 생성되는 미세영역 입자의 증가는 미미함을 보여주는 것으로서, 미세영역 입자인 PM2.5의 농도는 평균 1.95배 증가한데 비해 조대영역 입자인 PM2.5~의 농도는 5.75배 증가에서 확인할 수 있다. 이에 따라 대기입자의 입경분포도 그림 1과 같이 조대영역의 입자가 과량을 차지하는 분포로 변화하였는데, 미세영역입자와 조대영역입자가 전체 입자에서 차지하는 비가 비황사기간에는 평균 0.703 : 0.297 에서 황사기간에 0.446 : 0.554 로 역전되었다.



[그림 1] 황사기간 중 천안시 대기 입자의 입경분포 변화 (▨ : 비황사, □ : 황사)

[표 3] 황사기간 중 천안시 대기 입자의 입경별 이온 농도 변화

	미세입자*			조대입자**		
	황사	비황사	황사/비황사***	황사	비황사	황사/비황사***
Na ⁺	3.20	2.71	1.18	2.88	1.60	1.80
NH ₄ ⁺	1.99	2.16	0.92	0.27	0.48	0.57
K ⁺	0.85	0.88	0.97	0.31	0.21	1.49
Mg ²⁺	0.18	0.03	5.44	0.36	0.06	6.23
Ca ²⁺	1.24	0.52	2.37	2.10	0.63	3.36
Cl ⁻	1.64	1.13	1.46	2.41	1.07	2.25
NO ₃ ⁻	4.90	4.07	1.20	3.90	2.09	1.87
SO ₄ ²⁻	8.56	7.50	1.14	3.27	1.84	1.78
이온 농도	22.51	19.00	1.19	15.41	7.95	1.94
총 질량 농도	80.02	38.57	2.07	146.33	23.44	6.24

*미세입자는 PM1.5임.

**조대입자는 PM1.5~임.

***값은 비율임.

3.2 입경별 이온성분 변화

비황사기간과 황사기간 중 대기 입자를 미세입자(PM1.5)와 조대입자(PM1.5~)로 구분하여 수용성 이온 성분을 분석한 결과를 표 3에 기술하였다. 표 3에 나타난 바와 같이 비황사기간 중 미세입자에서는 양이온은 Na⁺, NH₄⁺, 음이온은 NO₃⁻와 SO₄²⁻가 주요 성분으로 분석되었으며, 조대입자에서는 이들 성분외에 양이온에서 Ca²⁺도 상대적으로 높은 농도로 검출되었다. 이들 이온성분이 전체 입자 질량에서 차지하는 비율은 미세입자와 조대입자에서 각각 51.1%, 36.2%로, 미세입자에 수용성 이온성분이 상대적으로 높은 비율로 존재하는 것을 알 수 있다. 이는 기계적 과정에 의해 생성되는 조대입자와는 달리 미세입자에는 SO₂, NO_x, NH₃와 같은 기체상 오염물이 SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺로 전환된 2차 입자가 포함되기 때문이다. 이들 수용성 이온성분은 황사기간 중 미세입자 영역과 조대 입자 영역 모두 NH₄⁺를 제외하고 농도가 증가하였으며, 이러한 농도 증가는 미세 입자 영역보다 조대 입자 영역에서 더욱 크게 나타났다. 특히 Mg²⁺와 Ca²⁺가 황사기간 중 크게 증가하였는데, 이는 Mg과 Ca이 주요 토양구성 성분임을 고려 할 때, 황사에 의해 조대입자에 토양성분이 많이 유입되고 있음을 보여준다. 이에 따라 입자내 주요 음이온성분인 SO₄²⁻, NO₃⁻와 염을 형성할 수 있는 입자내 양이온 성분이 증가하게 되고, 이는 기체상 NH₃의 입자상 NH₄⁺로의 전환을 감소시키게 된다. 이에 따라 황사기간 중 NH₄⁺의 농도는 전체 입자농도가 증가함에도 불구하고 오히려 감소하게 된 것으로 사료된다. 수용성 양이온의 이온 성분이 분석된 황사기간 중 미세

입자와 조대입자의 전체 질량은 비황사기간에 비해 각각 2.07, 6.24배 증가하였는데 비해, 수용성 이온성분은 각각 1.19, 1.94배 증가하는데 그쳤다. 이에 따라 황사기간 중 전체 입자질량에서 이온성분이 차지하는 비율은 미세입자에서 51.1%에서 30.3%로, 조대입자에서 36.2%에서 17.2%로 감소하였다. 이는 황사기간 중 대기 입자의 농도 증가에 수용성 이온 성분이 기여하는 바가 미미함을 보여준다.

3.3 입경별 금속성분 변화

비황사기간과 측정기간 중 최대의 농도를 나타낸 황사일에 측정된 금속 성분의 농도를 미세입자와 조대입자로 구분하여 표 4에 기술하였다. 표 4에 나타난 바와 같이 황사기간에 금속성분의 농도는 미세입자와 조대입자에서 모두 크게 증가하였는데, 특히 조대입자에서의 증가가 현저하였다. 이는 황사의 원인 물질인 토양 성분이 주로 조대입자로 유입되며, 이들 토양 성분이 Si, Al, Fe을 포함하는 금속산화물로 구성되어 있기 때문이다. 분석된 Fe, Al, Ti, Pb, Mn, Cu, Cr, Ni, V, As, V, 10개 금속성분의 합계 농도는 미세입자에서 비황사기간에 0.85μg/m³에서 황사기간에 비황사기간에 14.65μg/m³으로 17.1배 증가하였으며, 조대입자에서는 1.50μg/m³에서 65.38μg/m³으로 43.4배 증가하였다. 이는 측정된 황사기간 중 미세입자와 조대입자의 총 질량농도 증가비인 5.5와 32.28보다 큰 비율로, 금속성분이 황사기간 중 대기 입자의 농도 증가의 주요 성분임을 보여준다. 특히 토양의 주요 구성 성분인 Fe, Al, Ti은 조대입자에 황사기간에 38.1 ~ 48.9배

[표 4] 황사기간 중 천안시 대기 입자의 입경별 금속 농도 변화

	미세입자*			조대입자**		
	황사	비황사	황사/비황사***	황사	비황사	황사/비황사***
Fe	8263.74	400.47	20.64	33041.83	760.37	43.46
Al	4947.02	201.61	24.54	29237.25	598.53	48.85
Ti	784.48	124.21	6.32	4506.60	118.25	38.11
Pb	161.49	62.21	2.60	44.78	22.34	2.00
Mn	155.41	35.28	4.41	518.05	26.86	19.29
Cu	49.53	47.12	1.05	33.20	19.19	1.73
Cr	19.04	35.07	0.42	7.40	17.55	0.54
Ni	13.82	7.09	1.95	12.48	2.81	4.44
V	11.38	5.73	1.98	39.95	2.01	19.83
As	4.80	11.67	0.41	4.24	2.22	1.91
금속농도($\mu\text{ g/m}^3$)	14.65	0.85	17.10	65.38	1.50	43.39
총질량농도($\mu\text{ g/m}^3$)	183.26	33.23	5.52	666.81	20.66	32.28

*미세입자는 PM1.5임.

**조대입자는 PM1.5~임.

***값은 비율임.

의 높은 증가를 나타냈다. 반면 황사기간 중 Pb, Cr, As과 같은 유해 중금속의 증가는 미세입자와 조대입자에서 모두 큰 증가를 보이지 않았으며, 총 질량농도의 증가보다 작은 값으로 관측되어, 황사의 이동 중 유해 중금속류의 유입이나 농축은 미미한 것으로 나타났다. 황사 시 측정된 총 Pb의 농도는 206.3ng/m^3 으로 국내 연 평균 기준치인 500ng/m^3 을 만족하였다.

4. 결론

2006 ~ 2008년 황사 기간 중 천안시 대기 입자의 특성 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 황사기간 중 TSP, PM10, PM2.5의 일평균 농도 평균치가 각각 214.9 , 160.3 , $95.9\mu\text{g/m}^3$ 으로, 비황사기간에 비해 각각 평균 3.08, 2.58, 1.95배 증가하였으며, 최대 농도는 TSP, PM10, PM2.5가 각각 850.1 , 534.4 , $233.3\mu\text{g/m}^3$ 으로, 비황사기간에 비해 각각 12.19, 8.60, 4.76배까지 급증하였으며, 미세입자보다는 조대입자에서 현저한 농도의 증가가 관측되었다. 성분 분석 결과, 황사기간 중 수용성 이온성분의 증가는 미미한 반면, 토양의 주요 구성 성분인 Fe, Al, Ti의 증가가 뚜렷이 관측되어, 토양 구성 금속성분이 황사기간 중 대기입자 농도 증가의 주요 물질임을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Zhang X., S. L. Gong, R. Arimoto, Z. X. Shen, F. M. Mei, D. Wang, Y. Cheng, Characterization and temporal variation of Asian Dust aerosol from a site in the Northern Chinese deserts, Journal of Atmospheric Chemistry, 44, pp.241-257, 2003.
- [2] In H. and S. Park, A simulation of long-range transport of Yellow Sand observed in April 1998 in Korea, Atmospheric Environment, 36, pp.4173-4187, 2002.
- [3] Uno I., H. Amano, S. Emori, K. Kinoshita, I. Matsui, N. Sugimoto, Trans-Pacific Yellow Sand transport observed in April 1998, Journal of Geophysical Research, 106, pp.18331-18344, 2001.
- [4] Kim J., Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past 40 years (1965-2004), Atmospheric Environment, 42, pp.4778-4789, 2008.
- [5] Lee B., H. K. Lee, N. Jun, Analysis of regional and temporal characteristics of PM10 during an Asian dust episode in Korea, Chemosphere, 63, pp.1106-1115, 2006.
- [6] Lim J. and Y. Chun, The characteristics of Asian dust events in Northeast Asia during the springtime from 1993 to 2004, Global and Planetary Change, 52, pp.231-247, 2006.

- [7] Ma C. J., S. Tohno, M. Kasahara, S. Hayakawa, Properties of individual Asian dust storm particles collected at Kosan Korea during Ace-Asia, Atmospheric Environment, 38, pp.1133-1143, 2004.
- [8] Kim S., S. Yoon, J. Kim, Columnar Asian dust particle properties observed by sun/sky radiometers from 2000 to 2006 in Korea, Atmospheric Environment, 42, pp.492-504, 2008.
- [9] Park S. and J. Kim, Aerosol size distributions observed at the Seoul National University campus in Korea during the Asian dust and non-Asian dust periods, Atmospheric Environment, 40, pp.1722-1730, 2006.
- [10] 신선아, 한진석, 홍유덕, 안준영, 문광주, 이석조, 김신도, 2000~2002년 우리나라에서 관측된 황사의 조성 및 특성, 한국대기환경학회지, 21(1), pp.119-129, 2005.
- [11] Kim K., C. Kang, J. Lee, K. Choi, Y. Youn, S. Hong, Investigation of airborne lead concentrations in relation to Asian Dust events and air mass transport pathways, Journal of Aerosol Science, 37, pp.1809-1825, 2006.
- [12] Kim K., G. Choi, C. Kang, J. Lee, J. Y. Kim, Y. H. Youn, S. R. Lee, The chemical composition of fine and coarse particles in relation with the Asian Dust events, Atmospheric Environment, 37, pp.753-765, 2003.
- [13] 이현미, 오세원, Dust Monitor를 이용한 천안시 대기 중 PM10, PM2.5 오염 특성 조사, 한국대기환경학회지, 24(3), pp.367-375, 2008.
- [14] 이형배, 오세원, 2006~2007년 천안시 대기 에어로졸의 입경별 농도 및 이온성분 특성, 한국산학기술학회 논문지, 9(5), pp.1349-1353, 2008.

오 세 원(Sewon Oh)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 공업화학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 서울대학교 공업화학과 (공학석사)
- 2001년 5월 : University of Florida, 환경공학과 (공학박사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 환경공학과 부교수

<관심분야>

대기오염제어, 대기오염물 분석