

간척지 인근 농경지에서의 비산 및 부유먼지 확산 모니터링(II): 김제 모니터링

Monitoring of the Fugitive and Suspended Dust Dispersion at the Reclaimed Land and Neighboring Farms: Monitoring in Gim-je

황현섭* · 이인복*,† · 신명호** · 홍세운* · 서일환* · 유재인* · J.P. Bitog* · 권경석* · 김용희*
Hwang, Hyun-Seob* · Lee, In-Bok*,† · Shin, Myeong-Ho** · Hong, Se-Woon* · Seo, Il-Hwan* · Yoo, Jae-In ·
Bitog, Jessie.P.* · Kwon, Kyeong-Seok* · Kim, Yong-Hee*

ABSTRACT

A study on fugitive dusts was conducted at Saemangeum reclaimed land located in Gim-je area. The monitoring result on the fugitive and suspended dust was significantly affected by the farming activities(harvesting and land cultivation) and vehicles passing nearby the measuring points. The concentration of the fugitive dust generated from the reclaimed land was reduced remarkably by the effect of halophyte present on the ground and the tide embankment. Comparing the data collected in 2006 and 2007, the concentrations of TSP and PM10 decreased by 47.4% and 29.5%, respectively. After harvesting operations at paddy field, TSP increased by 22% while PM10 increased by 54%. The concentration of a Cl⁻ which is a representative ion of sea-salt decreased to about 35% in 2007 compared with 2006. This represents that the inside area change and plant covering rate affected on the decrease of fugitive dust. The correlation analysis for the compounds of topsoil at each measuring point shows that near the coastline is more comparable. The canopy of halophyte in the source area also increased which reduced the fugitive dust remarkably. The dust distribution measured by dust spectrometer at the same point shows that most particles are 0.5 μ m to 2 μ m size but not greater than 5 μ m.

Keywords: Dust dispersion; fugitive dust; reclaimed land; saemangeum

I. 서 론

새만금 간척사업으로 네 개의 방조제가 완공되는 2006년 이후에는 침수와 노출이 반복되던 간척지 일부가 대기에 노출되었다. 이 지역의 내부개발이 진행되는 동안 지표가 건조하고 식물의 피복이 빈약하여 비산먼지 발생의 가능성이 있다. 또한, 대단위 간척사업으로 조성되는 임해 토지는 평탄하고, 해풍의

영향을 많이 받는 개방형 지형 조건 때문에 농작물과 생활환경 전반에 있어서 바람의 피해를 직접 받기도 한다. 새만금 간척지에 대한 비산먼지 대책 및 방풍 환경탑 조성 연구의 일환으로 이루어진 1단계 연구 결과 (한국농촌공사, 2005), 새만금 간척지구의 토성은 사질계가 많아 대기에 노출될 경우에는 풍식에 의한 비산 먼지 발생 가능성이 있으므로, 풍식 방지 대책으로서 방풍림의 조성, 지피 식물의 조기 피복, 지하수 조절에 의한 토양 수분 관리 등의 필요성이 제기되었다. 또한, 건조한 상태가 지속되고 바람이 강한 환경조건에서 비산먼지 발생을 억제하기 위해서는 비산 먼지 발생 및 확산의 메커니즘을 정확히 분석하는 연구가 요구된다. 새만금에서 발생하는 먼지의 경우 인위적인 발생보다는 장기적인 자연발생원에 가까우며, 이는 기상요인이나 지형적 조건에 따라서 한정된 공간이나 장소에 집적되어 높은 오염도를 나타낼 수 있다. 새만금을 친환경적으로 개발하고 인근지역의 피해를 최소화하기 위하여, 우선

* 서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과 & 농업생명과학대학 농업생명과학연구원
** 한국농촌공사 새만금 사업단 친환경관리팀
† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4586
Fax: +82-2-873-2087
E-mail address: iblee@snu.ac.kr

2009년 2월 2일 투고
2009년 3월 25일 심사완료
2009년 3월 31일 게재확정

적으로 기상별, 시기별, 지역별 분진 발생량 및 확산범위를 예측하고 확산의 메커니즘을 정확하게 분석하여, 이를 토대로 한 간척지 피복관리, 먼지 확산 예측시스템 개발 등 구체적인 대책수립이 요구된다. 그러나 비산먼지 발생 및 이의 확산에 대한 국내 연구는 먼지의 물리·화학적 특성에 관한 연구에 국한되어 있고 먼지의 환경적 유해성이나 재활용 측면에서의 특성에 초점을 맞추어 진행되었으며, 기상 조건 및 지형 조건에 따른 먼지의 확산 현상에 대한 연구는 부족한 실정이다 (Choi et al., 1998; Park et al., 2003; Heo et al., 2005).

본 연구의 목적은 공기유동분석 등 공학적 접근을 통한 확산 예측 시스템을 구축하는데 있으며, 이를 위한 기초연구로서 현장실험을 통하여 새만금 지역에서의 비산 및 부유먼지의 모니터링을 실시하였다. 새만금 지역의 군산 지역의 결과는 황 등 (2008)의 논문에서 서술하였으며, 본 논문에서 새만금 지역 중 김제지역의 모니터링 결과 및 실시간 입자 측정기의 결과를 중심으로 서술하였다.

II. 실험 장비와 실험 방법

1. 실험 장비

새만금 지역의 기상 인자 조사를 위하여 자동기상관측시스템 (Automatic Weather System, Portlog, USA)를 김제시 광활면 농가 옥상에 설치하였다 (Fig. 1). 측정 지점의 풍향, 풍속, 일사량, 온도, 습도 등을 매 10분 간격으로 측정하였고 이는 실시간으로 데이터 저장 장치에 기록되었다. 김제 지역은 군산 지역과 달리 기상청의 기상대와 관측소가 없어서 직접 설치한 소형 기상대의 관측데이터에 의존하였으며, 군산기상대와 부안 관측소의 기상대 데이터를 참고하여 분석에 활용하였다.

비산 및 부유먼지 포집기 (Universal Sample Pump, PCR8X, SKC, USA)는 대기 중에 비산 및 부유 먼지를 샘플링 펌프를 이용하여 여과지상에 포집하는 방법으로 고용량 포집기와 저용량 포집기가 있는데, 다점 동시 측정을 위하여 저용량 포집기를 사용하였다. 이 방법은 Hwang et al. (2008)의 실험방법과 동일하며 포집된 먼지는 정확도 $1 \mu\text{g}$ 의 전자저울을 이용하여 입자상 물질 전체의 질량농도를 측정하였다. 한 지점에 저용량 포집기를 2대를 설치하여 하나는 총량 (TSP : Total suspended particulate)을, 다른 하나는 흡입밸브 입구에 사이클론을 설치하여 미세먼지 (PM10 : particulate matter less than $10\mu\text{m}$ as an aerodynamic diameter)만을 포집하도록 설치하였다.

또한, 포집된 시료는 서울대학교 농생명과학공동기기원 (NICEM)이 보유한 이온크로마토그래피 (Ion chromatograph: IC, DX-500, Dionex Inc, USA)와 유도결합 플라즈마 (Inductively Coupled



Fig. 1 Weather station installed in Gim-je



Fig. 2 Dust spectrometer on the reclaimed land in Gim-je area

Plasma: ICP, ICPS-7510, Shimadzu Inc, Japan)를 이용하여 화학적 조성을 분석하였다. NICEM에 의뢰하여 분석을 실시하였으며, 이온크로마토그래피 (IC)를 이용하여 음이온 (Cl^- , SO_4^{2-}) 분석을 실시하였고 유도 결합플라즈마 발광광도법(ICP)을 이용하여 양이온 (Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+})의 분석을 실시하였다. 분석된 성분 분석 데이터를 기초로 하여 통계분석프로그램인 SPSS (Ver. 12.0.1, Apache Software Foundation, USA)를 이용하여 체질지에서 발생한 먼지를 분리하고 발생원을 추정하였다. 또한, 발생지 및 측정 지점에서 입자분포를 알아보기 위하여 실시간 입자 측정기 (Dust spectrometer, Grimm 1.108, Germany)를 이용하였다 (Fig. 2). 실시간 입자 측정기는 $0.2 \sim 20 \mu\text{m}$ 입경 범위에서 15채널의 입자 크기별 계수 및 질량농도 측정이 실시간으로 가능하다. 광산란 방식 및 중량측정법으로 동시 측정이 가능하므로 0.001 mg 의 감도로 $0.001 \sim 100 \text{ mg}/\text{m}^3$ 의 범위에 대해 측정이 가능하다. 이 실험에서는 1분 간격으로 각 측정 지점에서 10분간 측정을 수행하였다.

2. 실험 방법

김제 지역의 모니터링은 2006년 9월부터 2007년 11월까지

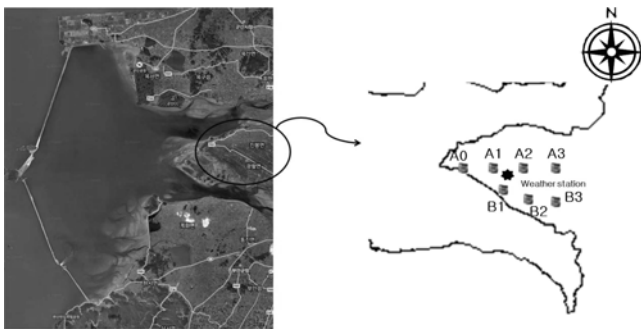
수행되었으며, 각 측정에는 저용량 분진 포집기 2대 (TSP, PM10)를 설치되었다. 실험은 각 지역별로 매월 1회씩 실시하였다. 모니터링은 동시에 7지점을 수행하였으며, 이는 새만금 지역이 광범위하며 풍향 및 지형적 특성이 다르기 때문에 동시에 측정함으로써 기상 영향을 분석하고 각 오염요소의 확산을 정확히 파악하기 위해서이다. 각 측정지점은 군산지역 모니터링과 동일한 방법으로 선정하였다 (Hwang et al., 2008). 측정 지점은 체질지와 내륙의 경계 지점으로 설치가 용이한 김제 광활면 방조제 입구에 위치한 측정 지점 (A₀)을 기준으로 하여 내륙으로 주풍방향 (서풍)과 부풍방향 (북서풍)으로 각 2 km간격으로 주변의 영향이 적고 설치가 용이한 곳을 선정하였으며, 주풍방향으로 각각 A1, A2, A3, 부풍방향으로 B1, B2, B3로 정하였다 (Fig. 3). 설치 높이는 지상에서 약 3m 높이로 별도의 지지시설 없이 전신주에 고정하여 월1회 낮 시간을 중심으로 하여 약 14시간 포집을 실시하였다 (Fig. 4). 포집유량은 흡입 장비의 규정 유량으로 TSP과 PM10 각각 2 L/min, 4 L/min로 설정하였다. 시료 채취 전·후의 필터는 데시케이터에서 24시간 이상 건조를 한 후 최소측정단위 1μg의 저울로 무게를 칭량하였다. 측정시간의 정확한 기상을 알기 위하여 A1과 B1사이에 위치한 김제 광활면 농가의 옥상에 기상대를

설치하여 기상관측을 실시하였다. 또한, 포집장비의 설치를 마친 뒤 동일한 측정들을 대상으로 각 측정 지점에서 포집되는 입자의 입경 분포를 알아보기 위하여 실시간 포집기를 이용하여 입경 분포를 조사하였다. 각 측정지점 외에도 방조제 안쪽의 염생 식물이 없는 지역을 기준으로 새만금 방조제 방향으로 1선 (0m), 2선 (30m), 3선 (1000m)을 선정하여 각 지점에서 입경별 질량농도분포를 측정하였다. 각 지점에서 채취된 시료는 화학분석을 실시하였으며, 분석 방법은 군산모니터링 실시 방법과 동일하게 수행하였다 (Hwang et al., 2008). 확보된 성분 데이터는 통계 프로그램을 이용하여 각 요인간의 상관관계를 분석하고 이를 통하여 발생된 비산 및 부유 먼지를 분류하고 발생원을 추정하고자 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 새만금 지역(김제)의 비산 및 부유먼지 모니터링

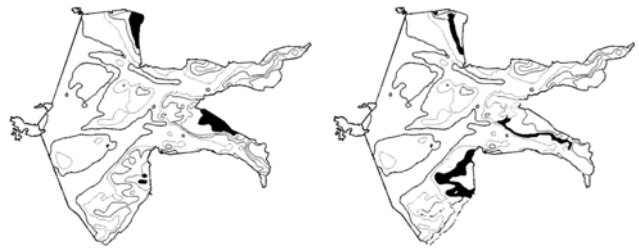
Fig. 5는 비산 및 부유 먼지의 발생이 가능한 위험지역을 보여주는 그림으로 2006년 끝막이 공사이후 체질지 내의 수위가 낮아지면서 한국농촌공사 새만금사업단에서는 Fig. 5 (a)의 검



★ Weather station
 ■ Measuring point
Fig. 3 Measuring points in Gim-je area



Fig. 4 Universal sample pumps installed in position



(a) generation source in 2006 (b) generation source in 2007
Fig. 5 Potential area (shown in black color) of dust generation at Saemangeum reclaimed land

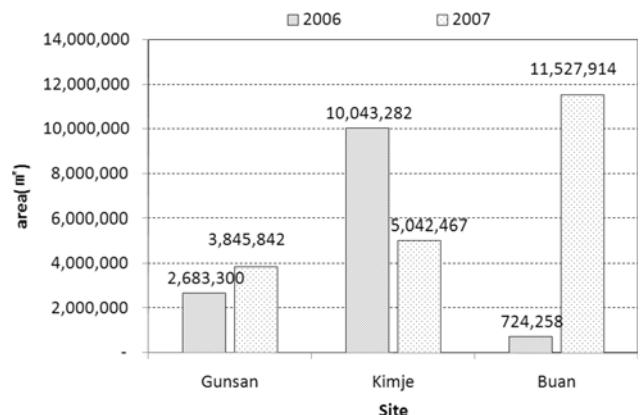


Fig. 6 Comparison of dust potential area in Saemangeum reclaimed land

게 표시된 영역을 위험지역으로 선정하였다. 그러나 방풍 대책의 일환으로 염생 식물 피복이 2006년 하반기부터 시작되면서, 이후 2007년 비산먼지 발생지의 면적은 Fig. 6에서 보는 것과 같이 약 1/2배로 면적이 감소됨과 동시에 방조제로부터의 거리 또한 증가하였다. 이에 염생 식물의 피복으로 인하여 비산 및 부유 먼지의 도약이 저감되는 효과가 나타났다.

끝막이 공사 이후 체질지 내 비산 및 부유 먼지 피해의 대책으로 내부 염생 식물 파종과 여러 종류의 방풍시설들을 설치하였다 (Fig. 7, 8, 9). Fig. 7에서 보는 것과 같이 2006년 위험 지역으로 선정된 지역에 염생 식물의 파종이 이루어졌으며 김제 지역의 경우 군산과 부안 지역보다 상대적으로 넓은 면적에 파종이 이루어졌다. Fig. 8은 김제 광활면 방조제 주변에 염생 식물을 나타낸 것으로 통통마디가 파종되었으며, 생장 및 피복도가 계속적으로 증가되고 있다. 김제 지역의 비산 및 부유먼지의 농도 감소폭이 군산, 부안 지역의 농도 감소폭보다 컸다. 이는 Table 2와 같이 연도별 전체 평균 농도분포를 나



(a) Wind break screen (b) Plating of soil surface



(c) Fence of sand accumulation (d) Coconut screen

Fig. 9 Protection facilities of wind break constructed in Saemanguem area

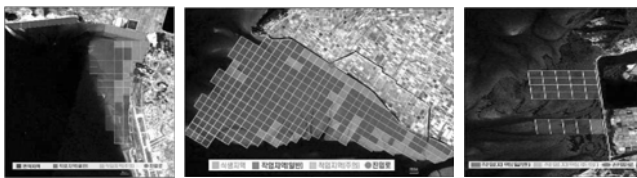
타낸 결과에서도 감소된 것을 확인 할 수 있으며, 2006년에 비하여 2007년도에는 TSP는 평균 47.4 %, PM10은 29.5 %의 감소율을 보였다.

Table 1 Comparison of mean concentration and decrease rate of fugitive dust in 2006 and 2007

	2006 TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2007 TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Decrease rate(%)	2006 PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2007 PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Decrease rate(%)
A0	285.2	144.0	49.5	80.8	105.3	-30.3
A1	226.4	128.8	43.1	174.1	92.5	46.9
A2	222.2	115.0	48.2	137.5	90.0	34.5
A3	176.9	132.0	25.4	140.3	94.0	33.0
B1	206.0	121.0	41.3	133.1	85.5	35.8
B2	313.4	123.5	60.6	135.9	90.3	33.6
B3	305.6	111.0	63.7	170.4	81.8	52.0
Mean	248.0	125.04	47.40	138.87	91.34	29.36

2. 농작업에 따른 비산 및 부유 먼지의 변화

김제 지역은 농경지가 많고 주변에 산이 적은 개활지 형태를 보이며, 이로 인하여 비산 및 부유먼지 포집량은 농작업이나 공사 등의 주변상황에 많은 영향을 받는다. 주변의 시기별 오염원에 따른 영향을 보기 위하여 평상시 (수확전)의 농도 분포와 수확후의 시기를 비교하였다. 이는 각 측정시기의 환경 조건이 다르기 때문에 정확한 비교는 어려웠으나, 경향을 비교하여 보면 Fig. 10과 같다. 2006년과 2007년 유사한 시기를 비교한 것으로 전체적인 농도 분포는 TSP의 경우 수확 후에 약 22%가 증가하였으며, 각 지점별로는 B2, B3에서 약 50~55%의 증가를 보였다. 이 지점은 사방이 논으로 둘러싸여진 지형으로 수확과 같은 농작업 시 영향을 쉽게 받을 수 있다. 이를 평상시 대기 중에 존재하는 농도와 비교하기 위하여 기상청의 관측데이터를 참조하였다. 기상청의 관측 자료는 인근 지역인 군산시가지와 안면도의 데이터를 분석하였다. 기상청에서는 PM10을 관측하고 있으며, 평상시 그 농도는 약 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 군산시의 경우 최대 약 $80\sim 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 보이고 있었다. 이는 차량 및 사람의 통행이 잦은 군산 지점에서 높은 농도를 보였다. 그러나 새만금 지역의 경우 평상시는 유사한 농도를 보이고 있으며, 수확과 같은 농번기의 경우에는 높은 농도를 보이고 있었다.



(a) Gunsan (b) Gim-ie (c) Buan

Fig. 7 Seeding area of Saemanguem in 2006.

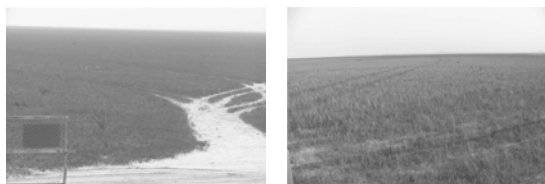


Fig. 8 Seeding area of Gim-je

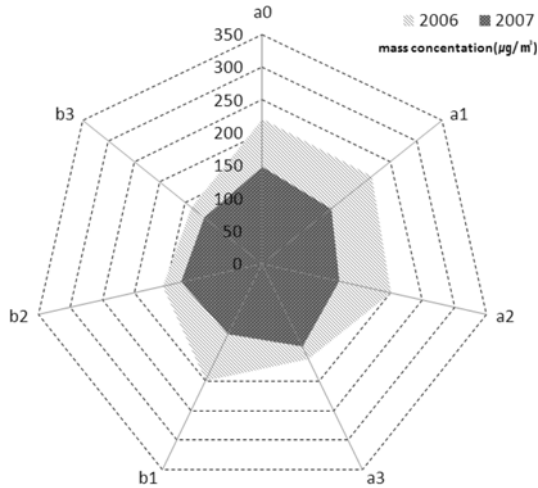


Fig. 10 Comparison of TSP concentration before and after harvesting in 2006

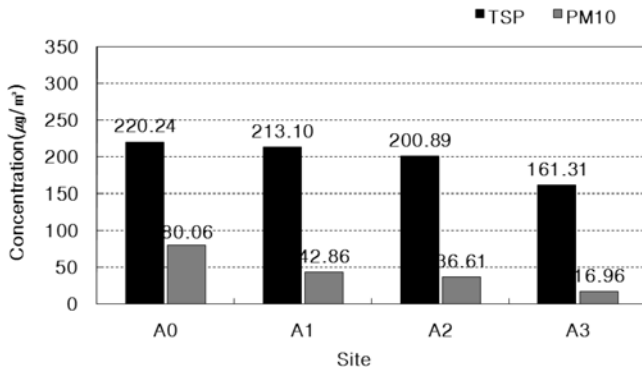


Fig. 11 TSP and PM10 concentration of fugitive dust in Gim-je on Sep.21, 2006 (A group)

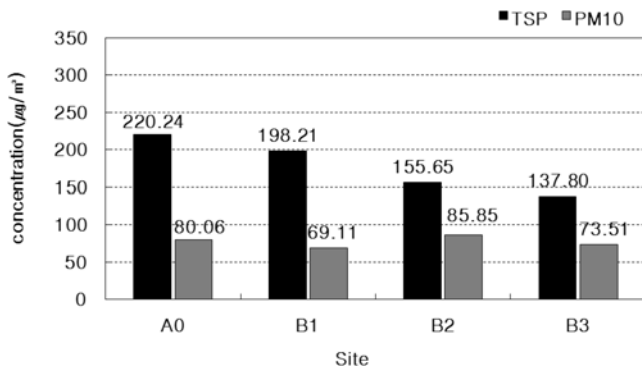


Fig. 12 TSP and PM10 concentration of fugitive dust in Gim-je on Sep.21, 2006 (B group)

수확전후의 변화를 자세히 알아보기 위하여 9월과 10월의 결과를 분석하였다. 이는 약 1개월간의 데이터 분석으로 계절적인 변화는 유사하다고 판단하여 환경요건은 배제하였다. Fig. 12~13은 2006년 9월21일 오전 총14시간 (09:00~22:00)을

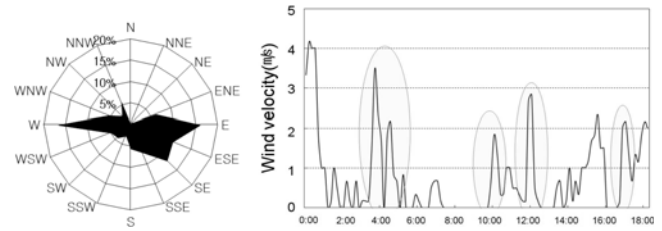


Fig. 13 Wind direction and Wind speed in Gimje on Sep. 21, 2006

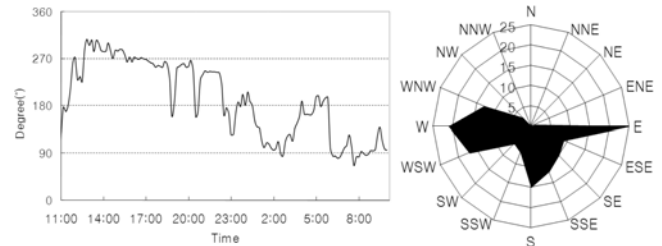


Fig. 14 Wind direction in Gimje on Oct. 18, 2006

포집하였으며, 측정 당시의 평균 풍속은 약 0.8 m/s, 최대풍속은 4.2 m/s이었으며, 주풍계는 서풍계이었다 (Fig. 13). 김제 지역의 TSP의 농도 분포를 보면 A0 측정 지점에서 주풍인 서풍 방향으로 설정하여 측정한 A계열의 경우 160~230 µg/m³, B계열이 135~230 µg/m³을 나타냈으며, 내륙으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 이는 서풍계의 풍계가 불어올 경우 체질지를 통과하면서 경계 (독)에서 높은 농도를 보이면서 내륙으로 갈수록 농도가 낮아지는 것으로 사료된다. PM10은 A계열에서 15.0~80 µg/m³의 범위로 TSP와 마찬가지로 내륙으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으나, B계열은 49~80 µg/m³로 나타났으며 뚜렷한 경향을 보이지는 않았다. 또한, B2지점에서 PM10이 상대적으로 높게 측정되었는데 이는 측정 지점이 위치한 진입구가 비포장으로 되어 있으며, 건조 상태에서 인위적인 발생으로 인하여 순간적으로 포집된 것으로 판단된다. 2006년 10월18일 측정된 결과를 보면, 측점은 9월 실험과 동일한 측정지점에서 모니터링을 실시하였다. 실험 당시의 평균풍속은 1.5 m/s, 최대풍속 3.6 m/s으로 측정되었고, 풍향은 서풍과 동풍이 주를 이루었다(Fig. 14). 서풍계 방향에 맞춰 직선상에 위치한 A계열 측정점 군을 보면 TSP값이 285.2 µg/m³, 226.4 µg/m³, 222.2 µg/m³, 176.9 µg/m³로 내륙으로 갈수록 감소하는 추세를 보였다. 반면에 PM10 값은 80.8 µg/m³, 174.1 µg/m³, 137.5 µg/m³, 140.3 µg/m³로 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 9월과 10월의 풍계로만 비교할 경우 TSP는 서북풍과 서풍계에서 내륙으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, PM10은 서북풍계에서 A계열이 내륙으로 갈수록 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 서풍이 많이 불어올

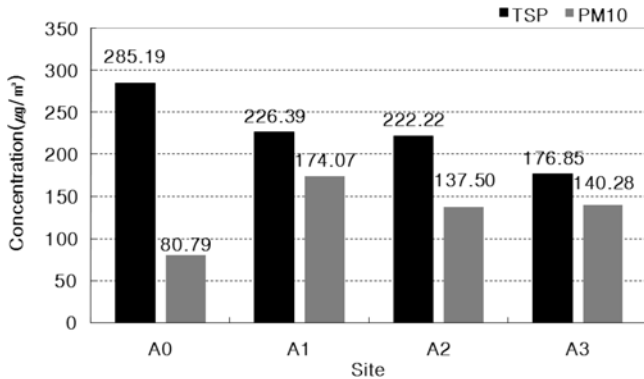


Fig. 15 TSP and PM10 concentration of fugitive dust in Gim-je on Oct. 18, 2006 (A group)

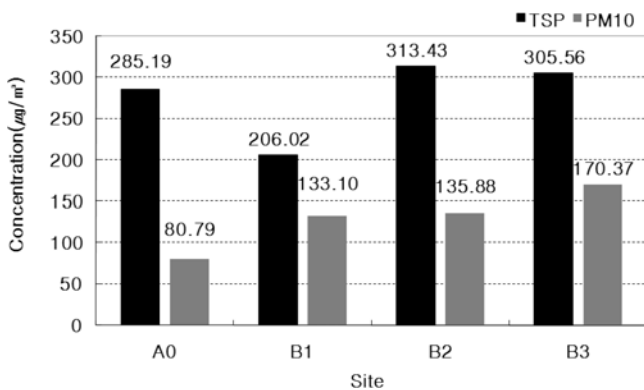


Fig. 16 TSP and PM10 concentration of fugitive dust in Gim-je on Oct. 18, 2006 (B group)

10월의 경우 B계열에서는 경향을 찾아 볼 수 없을 정도로 불규칙적으로 나타났다.

Fig. 16에서 알 수 있듯이 부풍방향에 위치한 B계열의 측정 결과를 보면 TSP값이 내륙에서 불규칙적으로 나타났으며, PM10의 경우 또한, 증가하는 추세를 보였다. 이는 주변의 오염원(수확, 농작업 기계의 운행, 통행량 등)이 많은 시기로 농경지 주위에서 발생된 먼지 들이 내륙으로 갈수록 많이 진 것으로 보인다. 수확 전·수확시기를 비교하여 보면 각 A계열은 TSP 농도가 약 12%가 증가하였으며, PM10의 농도가 약 59% 증가하였다. B계열을 보면, TSP 농도는 33% 증가하였으며, PM10 농도는 약 57%가 증가하였다. 전체적으로 보면, TSP가 22% 증가하였으며, PM10은 54% 증가한 것으로 나타났다. 또한, 각 측정 지점의 수집된 시료로 SEM-EDX분석을 실시한 결과, Si(규소), Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺의 검출빈도가 높게 측정되었다(Fig. 17). 이 중 K⁺(칼리), Ca²⁺(석회)의 경우 비료의 주성분으로 농경지의 토양에서 검출 빈도가 높은 성분으로 간척지와 분리되는 요소로 판단된다. 따라서 수확과 같은 농업 활동이 농도 분석에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

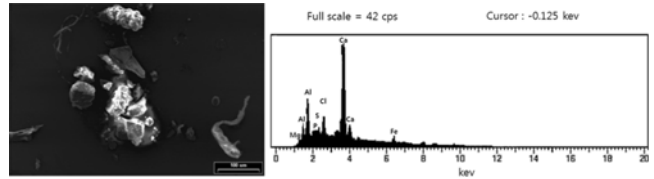


Fig. 17 Image of SEM-EDX analysis after the harvesting season in Gim-je(point B3)

3. 성분 분석 및 발생원 추정

성분분석은 군산 모니터링과 동일한 방법으로 분석을 실시하였다(Hwang et al., 2008). 음이온 분석을 위하여 Cl⁻, SO₄²⁻, NO³⁻의 표준용액을 만들어 이온크로마토그래피를 이용한 음이온 검출시 표준용액으로 사용하였다. 양이온은 유도결합 플라즈마 분광계(ICP)를 사용하여 Ca²⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺를 분석하였다. 해안 지대에서는 해수 성분인 해염 입자가 영향을 미치게 됨으로 해염 인자인 Cl⁻의 농도의 경우 간척지와 인접한 A0 측정지점이 다른 지점에 비하여 높게 나타나고 있으며, 농경지의 영향을 많이 받는 내륙지역(A1, A2, A3등)에서는 서로 유사한 농도 분포를 나타내고 있다. 2006년과 2007년 10월의 시료를 분석한 결과는 Table 3과 4에 나타내었다. 새만금 지역의 사막화가 진행 되면서 제기된 문제가 해염의 피해이다. 이에 염소를 해염 인자로 정하여 이를 분석하였다. 분석 결과

Table 2 IC & ICP analysis of topsoil components of Gimje area on Oct.18, 2006 (mmol/kg)

Point	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺
A0	4.665	0.484	0.098	0.003	0.206	0.075
A1	0.529	0.334	0.063	0.000	0.081	0.082
A2	0.589	0.152	0.062	0.001	0.129	0.088
A3	0.369	0.129	0.039	0.002	0.068	0.070
B1	1.922	0.184	0.033	0.002	0.094	0.091
B2	0.307	0.325	0.027	0.002	0.094	0.076
B3	0.258	0.170	0.017	0.002	0.077	0.060

Table 3 IC & ICP analysis of collected dust components of Gimje area on Oct.30, 2007 (mmol/kg)

Point	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺
A0	2.905	0.571	0.311	0.002	0.103	0.013
A1	0.430	0.705	0.023	0.005	0.194	0.013
A2	0.315	1.059	0.197	0.003	0.144	0.198
A3	0.363	0.684	0.012	0.002	0.069	0.077
B1	0.368	0.503	0.157	0.002	0.118	0.167
B2	0.189	0.648	0.090	0.003	0.113	0.158
B3	0.211	0.662	0.080	0.001	0.021	0.012
outer	0.174	1.241	0.056	0.003	0.109	0.111

Table 4. Correlation analysis of topsoil

	A0	A1	A2	A3	B1	B2	B3
A0	1.000						
A1	0.941	1.000					
A2	0.847	0.925	1.000				
A3	0.844	0.944	0.994	1.000			
B1	0.934	0.957	0.971	0.968	1.000		
B2	0.879	0.882	0.967	0.948	0.976	1.000	
B3	0.869	0.954	0.991	0.998	0.981	0.957	1.000

* Correlation coefficient (P-value) keeps in mind in 0.05 levels

를 보면, 해염인자를 가지는 Cl⁻ (염소)는 내륙으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다. 이러한 경향은 해염 성분 중 하나인 Na⁺ (나트륨)원소에서도 유사하게 나타났다.

2006년의 결과에서 B1의 경우 다른 내륙지점과 비교하여 Cl⁻의 농도가 높게 측정되었다. 이는 Fig. 5 (b)에서 보는 것과 같이 B1 지점이 체절지 경계 (둑)와 인접하고 있어 체절지 영향을 비교적 많이 받기 때문으로 판단되며, 그 농도는 체절지와 가장 가까운 지점인 A₀보다는 낮게 측정되었다. 이후 체절지 내 염생 식물의 피복이 이루어지고 주변의 상황이 변화하게 되면서 2007년의 농도는 약 35 %정도 감소하고 있으며, A₀ 지점에서 약 38 %, B₁지점에서 약 81 %가 감소되는 등 간척지의 인근 지점에서 큰 감소를 보였다. 대기 중 포집한 먼지의 기원을 확인하기 위하여 포집한 시료와 각 측정지점의 토양 시료와 상관성을 SPSS를 이용하여 분석하였다. 그 결과 표토와 포집된 먼지의 유의성 분석에서는 뚜렷한 경향을 찾기 어려웠다. 이는 단기간에 대기 중에서 포집된 먼지는 대기 유동 및 시기에 따라 지속적으로 변화하기 때문에 더 많은 양의 데이터를 대상으로 연구할 필요성이 있다. Table 4와 같이 표토를 대상으로 상관 분석을 실시한 결과를 보면 A₀ 측정지점에서 포집된 먼지를 기준으로 Cl⁻ 원소의 유의성을 분석하였다. 표토는 지면에서 약 10 cm 전후의 토양을 채취하였다. A₀ 측정지점은 간척지와 가장 인접하고 있으며 거의 대부분이 간척지에서 발생된 먼지가 퇴적된 것으로 판단하여 기준으로 정하였다. 그 결과, 간척지와 인접한 측정지점에서 높은 유의성을 보이는 것으로 나타났으며, 이는 오랜 기간 동안 해풍의 영향으로 해염인자를 가지는 먼지들이 표토 층에 퇴적되어 나타난 것으로 판단된다.

4. 비산 및 부유 먼지의 입경 분포

간척지 내 염생 식물에 따른 비산 및 부유 먼지의 분포를 조사하기 위하여 Fig. 18과 같이 염생 식물의 조밀도에 따라 지점을 선정하였으며, 염생 식물의 평균 키 높이는 2선이 30 cm,



(a) First line (b) Second line (c) Third line

Fig. 18 Dust Spectrometer measuring image to the reclaimed land

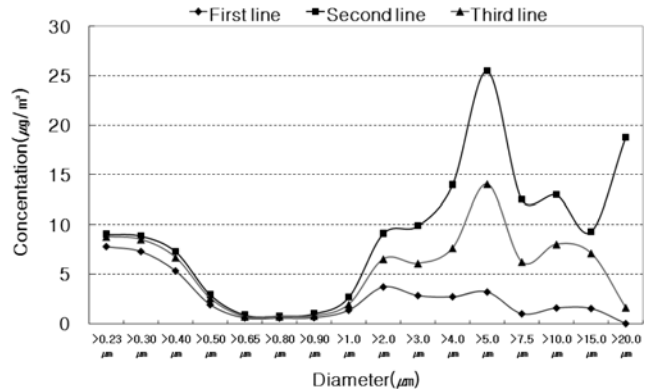


Fig. 19 Concentration distribution by particle size (less than 20 μ m)

3선이 약 65 cm 이었다. 측정 높이는 센서를 바닥에 위치하여 포집 노즐이 지상 20 cm 높이에서 측정하였다.

Fig. 19는 간척지내 염생 식물 분포에 따라 입경별 질량농도 분포를 나타낸 결과이며 대체로 5~7.5 μ m의 입경 분포에서 최대치를 나타내는 결과를 보였다. 각 측정지점을 보면 1선의 경우 간척지내에서 가장 바닷물과 가장 가까운 지역으로 인적이 거의 없는 지역이며, 표면 피막이 형성되어 토양 표면에 충격이나 외력이 작용하지 않는 한 먼지의 발생이 잘 일어나지 않는 것으로 사료된다. 2선과 3선의 경우는 표면의 피막형성이 적은 지역으로 주변에서 비산 및 부유 먼지의 발생이 많은 지역으로, 2선의 경우는 1선 측정지점 이후 발생하여 누적되어 온 먼지들과 주변에서 발생된 먼지가 바람에 의해 재 비산되어 비교적 높은 질량농도 분포를 보이는 것으로 판단된다. 3선의 경우 2선에서부터 분포된 염생 식물의 영향으로 인하여 농도가 감소되는 추세를 보이며 이 효과는 염생 식물의 키가 더 높아질수록 뚜렷해 질것으로 사료된다.

Fig. 20과 21은 검제지역에서 실시한 2006년 10월 18일 실험 수행 시에 각 측정점에서 1.5~2 m 정도의 높이로 약 10분간 측정된 20 μ m 이하 입경별 질량농도분포를 나타내고 있다. 입자별 분포 비율을 보면, 0.5 μ m 이하와 2 μ m 부근, 5 μ m 이상 입자의 농도가 전체 농도에서 큰 부분을 차지하고 있었다. 그

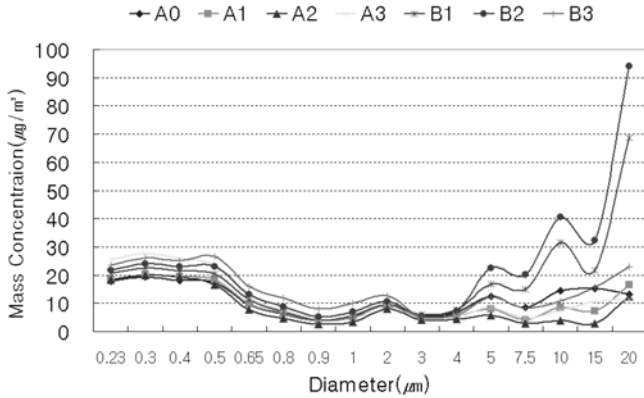


Fig. 20 Dust spectrometer analysis

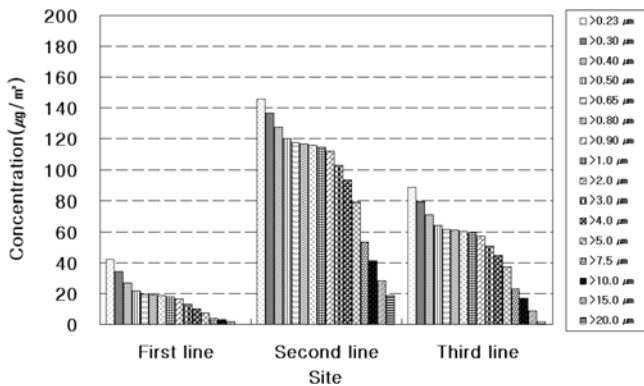


Fig. 21 Concentration distribution measured by the dust spectrometer

리고 TSP는 B1, B2, B3의 경우 다른 측정점에 비해 상당히 크게 나타났는데, 이는 B계열의 측정 주변에 비포장 지면 및 도로 등이 있어 질량 농도의 총량에 영향을 미친 것으로 사료된다. Fig. 20의 분포 곡선에서 특징적인 점은 0.5 μm 이하의 거의 수평으로 일정한 반면, 5 μm 와 10 μm 에서 피크를 보이는 등 측정지점에 따라서 차이를 보였다.

IV. 결 론

본 연구를 통해서 새만금 지역 중 김제의 비산먼지 모니터링 결과를 분석하였다. 비산 및 부유먼지 발생은 직접적으로 영향을 미치는 수확이라든지 농작업, 차량의 통행 등의 자료 수집이 무엇보다 중요한 것으로 분석되었다. 이 자료는 앞으로 공기유동분석 등 공학적 접근을 통한 비산 및 부유 먼지 확산 예측을 위한 기초자료로 활용할 계획이다. 2006년과 2007년 김제지역의 모니터링 결과 및 세부 연구수행 내용은 다음과 같다.

2006년과 2007년 같은 시기의 농도 비교 결과를 보면, 체질지의 면적의 변화하고 방조제부터의 거리가 멀어졌다. 또한,

체질지 내부는 염생식물의 피복으로 현재 피복도는 계속 높아지고 있다. 이로 인하여 발생된 비산 먼지는 염생식물과 방조제(둑)의 영향으로 현저히 감소되는 결과를 보였으며, TSP는 평균 47.4 %, PM10은 29.5 %의 감소율을 보였다. 수확전후의 농도변화를 보면 TSP가 22 % 증가하였고, PM10은 54 % 증가를 보였다.

해염 인자인 염소의 농도는 2006년에 비하여 2007년에 약 35 %가 감소하였으며, 이는 내부 면적변화와 식생이 그 영향으로 보인다. 또한, 각 측정지점의 표토를 대상으로 상관분석을 실시한 결과 이전 해안선에 인접한 지점에서 간척지 인근 표토와 높은 유의성을 보이는 것으로 나타났다. 각 측정지점에서 측정된 비산 및 부유 먼지의 입경별 분포 비율을 보면, 0.5 μm 이하와 2 μm 부근, 5 μm 이상 입자의 농도가 전체 농도에서 큰 부분을 차지하고 있었다.

본 연구는 한국농촌공사 새만금사업단 2006년, 2007년 ‘식생을 이용한 비산먼지 대책을 위한 현장시험연구’의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Choi, J. S., C. J. Jeon, and S. O. Baek, 1998. Measurements of Atmospheric Suspended Particulate Matter and Estimation of Source Contributions to the Particle Concentrations in Kumi Area. *Korean Society of Environmental Engineers* 20(4): 519-532 (in Korean).
2. Heo, H. Y., 2005. A Quantitative estimation of source contributions to the concentrations of ambient PM_{2.5} and PM₁₀ in Incheon. Master's dissertation: Inha University (in Korean).
3. Hwang, H. S., I. B. Lee, M. H. Shin, S. W. Hong, I. H. Seo, J. I. Yoo, and S. K. Lee, 2008. Monitoring of the fugitive and suspended dust dispersion at the reclaimed land and neighboring farms : monitoring in Gunsan. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineer* 50(4): 39-50 (in Korean).
4. Kang, G. U., and S. B. Lee, 2005. Daily Concentration Measurements of Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Fine Particulate for Respiratory Deposition Region. *Korean Journal of Environment Health* 31(5): 387-397 (in Korean).
5. SPO (Saemangeum Project office), 2004. A Study on

- dispersing dust measures and environmental windbreak development. Korea Rural Community & Agriculture Corporation (in Korean).
6. SPO (Saemangeum Project office), 2005. A Study on dispersing dust measures and environmental windbreak development. Korea Rural Community & Agriculture Corporation (in Korean).
 7. SPO (Saemangeum Project office), 2006. A Study on dispersing dust measures and environmental windbreak development. Korea Rural Community & Agriculture Corporation (in Korean).
 8. SPO (Saemangeum Project office), 2007. A Study on dispersing dust measures and environmental windbreak development. Korea Rural Community & Agriculture Corporation (in Korean).
 9. Park, J. S., S. D. Kim, K. C. Choi, J. H. Kim, and T. S. Kim, 2003. The characteristics of Fine Particulate Matters in Urban Atmosphere. *Korean Society of Environmental Engineers*. 2003 KSEE Conference in KAIST: 605-607 (in Korean).