

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2023.56.3.235>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Reductions of Particulate Matters Emission by Soil Surface Management of Potato-Cultivated Fields in Saemangeum Reclaimed Land

Bo-Seong Seo<sup>1</sup>, Kwang-Seung Lee<sup>2</sup>, Haksung Lee<sup>2</sup>, Jin Jung<sup>3</sup>, and BangHun Kang<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Researcher, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>2</sup>Researcher, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>3</sup>Assistant Researcher, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>4</sup>Senior Researcher, Reclaimed Land Agriculture Research Team, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

\*Corresponding author: [ipmkbh@korea.kr](mailto:ipmkbh@korea.kr)

### ABSTRACT

**Received:** August 1, 2023

**Revised:** August 17, 2023

**Accepted:** August 17, 2023

#### Edited by

Woo-Jung Choi,  
Chonnam National University,  
Korea

#### ORCID

Bo-Seong Seo  
<https://orcid.org/0000-0002-2385-1700>

Kwang-Seung Lee  
<https://orcid.org/0000-0002-0132-0765>

Haksung Lee  
<https://orcid.org/0000-0002-6049-7771>

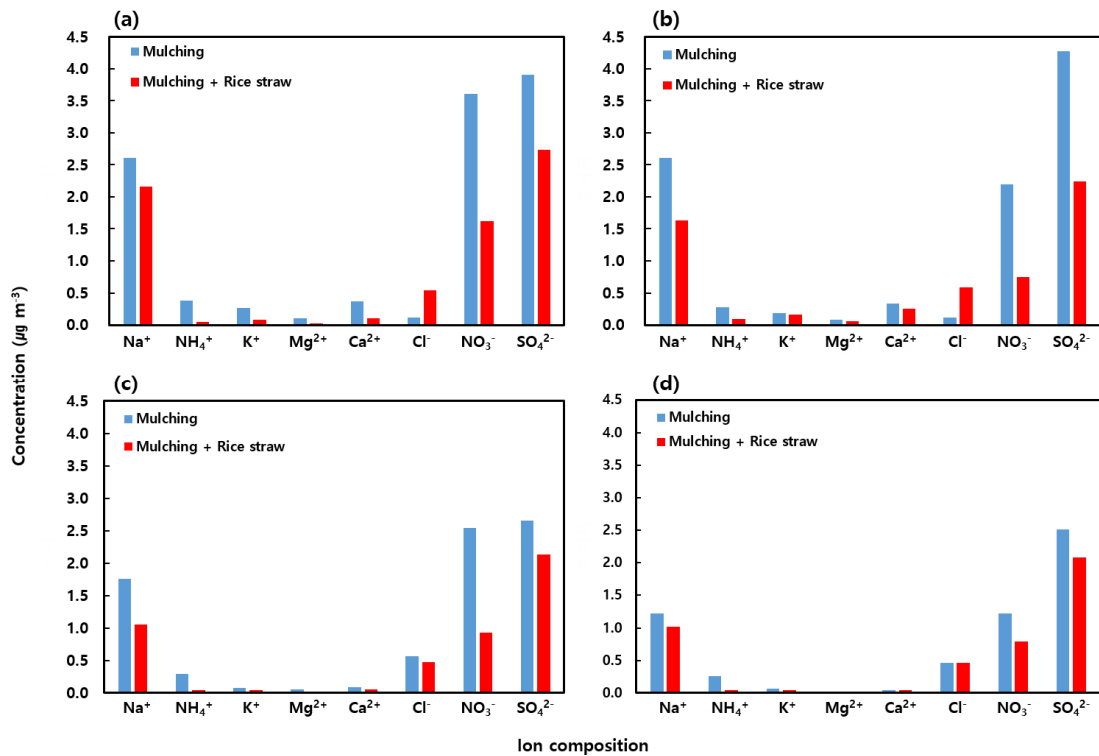
Jin Jung  
<https://orcid.org/0000-0002-8625-943X>

BangHun Kang  
<https://orcid.org/0000-0001-5655-772X>

Concerns on fine dust originated from agricultural lands such as reclaimed tidelands located in the western coastal area of South Korea is increasing. Saemangeum reclaimed land (RTL), which is located in the western coastal area, is inherently susceptible to windblown dust due to the strong westerly winds and relatively flat terrain with few hills or mountains. In addition, Saemangeum RTL has a low organic matter content (<5%) and thus the soils are also susceptible to wind erosion. Therefore, agricultural measures, such as soil surface cover, to reduce wind erosion at the agricultural soils of the RTL need to be implemented. This study was conducted to investigate the effects of soil surface managements on the reduction of particulate matter emissions during the cultivation of spring and fall potatoes (superior) in Saemangeum RTL in 2020. Three treatments were established: control (no surface cover), vinyl mulching cover, and rice straw + vinyl mulching cover. The results showed that vinyl mulching alone was more effective in reducing fine dust emissions than that with vinyl mulching + rice straw cover, probably indicating rice straw can be a fine dust source as rice straw is likely to decompose on the soil surface. The ion composition of fine dust indicated that Na<sup>+</sup> is the dominant ion species that is contrast to that from urban areas, which NH<sub>4</sub><sup>+</sup> is dominant. This study presents a possible reduction of fine dust emissions by using vinyl mulching in the Saemangeum RTL. Further research is necessary to elucidate the mechanisms of the increased fine dust emission by rice straw cover.

**Keywords:** Fine dust, Particulate matter, Reclaimed land, Soil surface managements





Concentrations of ion composition in (a) particulate matter (PM) 10 by vinyl mulching and vinyl mulching combined with rice straw cover during spring potatoes growth period, (b) PM 2.5 by vinyl mulching and vinyl mulching combined with rice straw cover during spring potatoes growth period, (c) PM 10 by vinyl mulching and vinyl mulching combined with rice straw cover during spring potatoes growth period, and (d) PM 2.5 by vinyl mulching and vinyl mulching combined with rice straw cover during spring potatoes growth period in RDA National Institute of Crop Science research site.

## Introduction

2013년 세계보건기구 산하 국제암연구소에서 미세먼지를 1급 발암물질로 분류하였지만 (IARC, 2013), 국내에서는 미세먼지 농도가 매년 꾸준히 증가하고 있어 이에 대한 대책 마련이 시급하다 (ME, 2021). 미세먼지는 대기 중에 존재하는 입자 크기가 작은 부유 물질로, 입자 크기에 따라 입자 지름이 10  $\mu\text{m}$  이하의 경우 미세먼지  $\text{PM}_{10}$ , 입자 지름 2.5  $\mu\text{m}$  이하는 초미세먼지  $\text{PM}_{2.5}$ 로 분류한다 (US EPA, 2019). 과거에는 주로 도시지역의 발전소 연료 연소, 자동차 배기가스 등에 의해 발생하는 미세먼지 해결 중심의 정책이 추진되었지만 (Lee et al., 2018), 최근에는 농업 분야에서 배출되는 미세먼지 문제에 대한 관심도 증가하고 있다 (Kim et al., 2022). 2016년 기준 농축산 분야에서 발생하는 초미세먼지는 약 20.3천 톤인데, 이는 우리나라 전체 발생량의 약 5.8%에 해당한다 (NIER, 2016). 농업분야에서는 대표적으로 화학비료에서 배출되는 암모니아 등의 가스상 물질이 물리화학적 과정을 거쳐 생성되는 미세먼지, 농업잔재물 소각에서 발생하는 미세먼지, 그리고 경운작업과 수확작업에서 발생하는 비산먼지 등이 있다 (Ku, 2020; Shin et al., 2021). 또한, 농업분야에서 발생하는 미세먼지는 논과 밭에 따라 발생량이 다른데, 농기계 작업 과정에서 발생하는 비산먼지의 비율은 논은 67%, 밭은 33%이며 (Han and Kim, 2020), 질소비료 시비에 의해 배출되는 암모니아 가스는 논과 밭에서 각각 17.9%와 12.8%가 배출된다 (Zhang et al., 2013).

최근 전라북도 지역은 벼, 감자 등을 재배하는 농경지와 인접해 있는 새만금간척지에서 진행중인 새만금간척사업(2050년 완공 예정)으로 생성된 농생명용지(9,430 ha)에서 비산먼지가 많이 발생하여, 인근지역의 피해가 지속적으로 보고되면서 사회적인 문제로 대두되고 있다(Kwak et al., 2021). 비산먼지는 농작물 생장에 필요한 햇빛을 차단하여 생산량을 감소시키는데(Shuai et al., 2013; Li et al., 2018), 특히, 식생이 발달하지 않은 초기 간척지에서는 먼지가 염분과 같이 비산되어 농작물 염해 사례도 보고된 바 있다(Hwang et al., 2009). 뿐만 아니라, 새만금간척지는 지표가 건조하고 식물의 피복이 빈약하며, 지리적으로 산이 거의 없는 개활지인데다 편서풍까지 강하게 불어 비산먼지가 발생하기 쉬운 조건을 갖고 있다(Hwang et al., 2008, 2009). 또한, 대부분 점토함량이 5% 이하인 미사질양토와 사질양토로 구성되어 있으며, 토양의 유기물 함량이 낮아 입단 형성이 불량하기 때문에 풍식에 대한 저항성이 낮다(Son and Cho, 2000; Son et al., 2009). 따라서, 새만금간척지에서는 새만금 조성사업이 추진된 이후 미세먼지를 저감하기 위한 토양 수분 관리(Kim, 2005), 풍속 감소를 위한 방풍림 조성(Hwang et al., 2008), 식물 재배를 통해 피복을 증가(Hwang et al., 2009; Kwak et al., 2021) 등 다양한 미세먼지 감축 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

특히, 새만금간척지에서는 국내 가축 사료 자급률 제고와 병행하여 동계 사료작물을 재배하여 작물에 의한 토양표면 풍속 저감을 통해 구름비산과 도약비산의 억제 효과에 대해 연구가 사회적인 주목을 받으며 수행되었다(Park and Lee, 2000; Song et al., 2007). 하지만, 비산먼지 발생 저감 기능이 인정된 토양 피복 처리 효과에 대한 연구는 아직 미흡하다. 따라서, 본 연구에서는 새만금간척지에서 작물 재배와 토양 피복처리가 가능한 봄 감자와 가을 감자를 선정하여(Lee et al., 2021), 토양 피복 방법에 따른 미세먼지 농도를 모니터링하고 먼지 성분 분석을 통해 미세먼지 발생 특성을 평가하였다. 토양 피복 처리에 의해 새만금간척지에서 발생하는 미세먼지 발생이 저감될 것으로 기대하였으며, 미세먼지 성분은 일반 도시와 농촌과는 상이할 것으로 예상된다.

## Materials and Methods

**연구 지역 및 실험 설계** 본 연구는 2020년 새만금간척지 5공구에 위치한 국립식량과학원 광활시험지(35°49'47"N, 126°41'9"E) 내 1 ha 시험 포장에서 수행하였다. 기상 데이터는 시험 포장에서 9.1 km 떨어진 기상청의 진봉지점 관측소에서 측정된 자료를 사용하였는데, 2000년부터 2020년까지의 평균 기온은 12.7°C, 평균 풍속은 2.5 m s<sup>-1</sup>, 평균 강수량은 1,125.5 mm였다. 시험 포장의 재배작물은 간척지 영농 정보서비스(<https://www.nics.go.kr/rcllndIndex/index.do?m=700001408>)를 이용하여 새만금간척지에서 재배 가능한 작물 중 토양 표면 관리기술 적용이 가능한 감자(품종: 수미)를 선정하였으며, 농촌진흥청 표준재배법 노지기준에 준하여 2020년 6월과 11월에 각각 봄 감자와 가을 감자를 재배하였다.

시험 포장 토양은 파종 전에 표토(0 - 20 cm)를 채취하여 풍건한 후, 2 mm 체를 통과한 시료에 대해 pH, EC<sub>1:5</sub>, 유기물 및 유효인산, 교환성 양이온 함량 등을 농촌진흥청 국립농업과학기술원 토양분석법(NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양 EC<sub>1:5</sub>(0.18 dS m<sup>-1</sup>)는 밭 적정기준(2 dS m<sup>-1</sup> 이하)에 적합하였으나, 유효인산과 교환성 칼슘은 각각 28.6 mg kg<sup>-1</sup>과 0.97 mg kg<sup>-1</sup>으로 밭 적정기준(유효인산 300 mg kg<sup>-1</sup>, 교환성 칼슘 5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)보다 낮았다(Table 1). 또한, 유기물 함량(3.54 g kg<sup>-1</sup>)도 일반 농경지보다 낮아 입단 형성이 불량할 것으로 예상되며, 그 결과 비산먼지 발생에 취약할 것으로 판단되었다(Son and Cho, 2000). 토양 피복 처리는 시험 포장 내 0.1 ha(15 m × 66.7 m)의 시험구에 면적당 비닐 피복 처리구, 비닐 피복과 고랑 벚짚 혼합 처리구, 작물 재배를 하지 않는 무처리구로 설정하였다(Fig. 1).

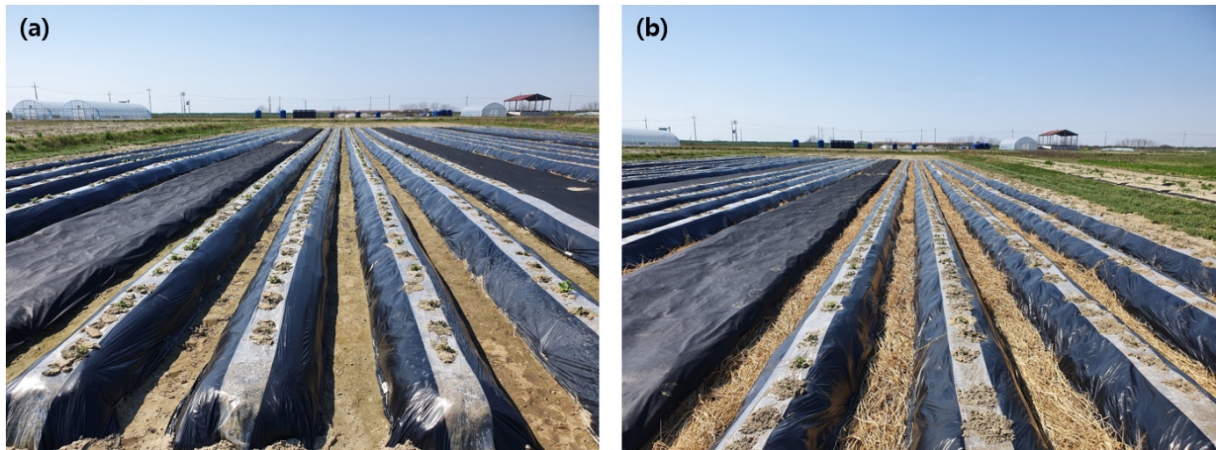


Fig. 1. Images of (a) vinyl mulching cover, and (b) rice straw + vinyl mulching cover.

**미세먼지 채취 및 분석** 각 처리구에서 발생한 미세먼지는 포집기 (SEQ 47/50, SVEN LECKEL Ingenieurburo GmbH, Germany)와 PTFE 여과지 (=47 mm, Pall Co., USA)를 이용하여 흡입 유량은  $23.9 \text{ L min}^{-1}$ 으로 채취하였다. 시료채취 기간은 작물 재배기간 중 5일 동안 12시간 간격으로 채취하였으며, 포집된 미세먼지는 대기오염공정시험기준에 준하여 전자식 데시게이터 (온도  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $35 \pm 5\%$ )에서 48시간 건조 후 마이크로저울 (LF225DR, Shunko Vibra, Japan)을 이용하여  $\text{PM}_{10}$  및  $\text{PM}_{2.5}$ 의 질량을 측정하였다. 또한, 미세먼지에 함유된 양이온 ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ )과 음이온 ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) 함량은 미세먼지에 증류수를 처리하여 이온크로마토그래피 (Ion Chromatography Anion, Dionex, Thermo scientific, USA)를 이용하여 분석하였다.

Table 1. Soil chemical properties in Saemangeum reclaimed tideland in May 2020.

	pH	EC <sup>†</sup> ( $\text{dS m}^{-1}$ )	Avail. $\text{P}_2\text{O}_5$ <sup>‡</sup> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	O.M. <sup>§</sup> ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Exch. cations <sup>¶</sup> ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )			
					$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$
Soil	6.0	0.91	114.3	4.90	1.64	2.77	0.68	0.81

<sup>†</sup>EC: electrical conductivity; <sup>‡</sup>Avail.  $\text{P}_2\text{O}_5$ : available phosphorus; <sup>§</sup>O.M.: organic matter; <sup>¶</sup>Exch. cations: exchangeable cations

**통계분석** 미세먼지 측정기기의 부족으로 동시간대 미세먼지를 측정하지 못하여 피복처리에 따른 미세먼지 발생 저감 효과를 평가하기 위하여 대조구로서 새만금 대기 관측소에서 측정한 미세먼지  $\text{PM}_{10}$ 과  $\text{PM}_{2.5}$  농도를 이용하였으며, IBM SPSS Statistics 27 (IBM Corp., Armonk, New York, USA)를 이용하여 상관분석을 실시하였다. 모든 통계분석은 95% 수준에서 유의성을 검토하였다.

## Results and Discussion

**토양 피복 처리에 따른 미세먼지 저감** 2020년 코로나 19 확산으로 인하여 우리나라의 사회적 거리두기에 따른 교통량 감소와 인접 국가의 산업활동 위축으로  $\text{PM}_{10}$ 의 농도는  $38 \mu\text{g m}^{-3}$ 으로 20년 평균  $\text{PM}_{10}$  대비 약 63.7%이었으며,  $\text{PM}_{2.5}$ 의 농도는 5년 평균 대비 각각 약 77.2%의 수준으로 감소하였다 (Chauhan and Singh, 2020; Kwak et al.,

2021; Air Korea, 2022). 이와 같은 영향으로 연구지역의 미세먼지 농도 또한 높지 않은 수준으로, 새만금 대기 관측소에서 측정된 PM<sub>10</sub> (평균 32.2  $\mu\text{g m}^{-3}$ )은 대기환경기준 (100  $\mu\text{g m}^{-3}$ )보다 낮았다. 하지만, PM<sub>2.5</sub> (평균 22.5  $\mu\text{g m}^{-3}$ )의 경우, 미세먼지 농도가 높지 않은 7월부터 10월 중순까지만 대기환경기준 (35  $\mu\text{g m}^{-3}$ )보다 낮은 수준이었다 (Fig. 2).

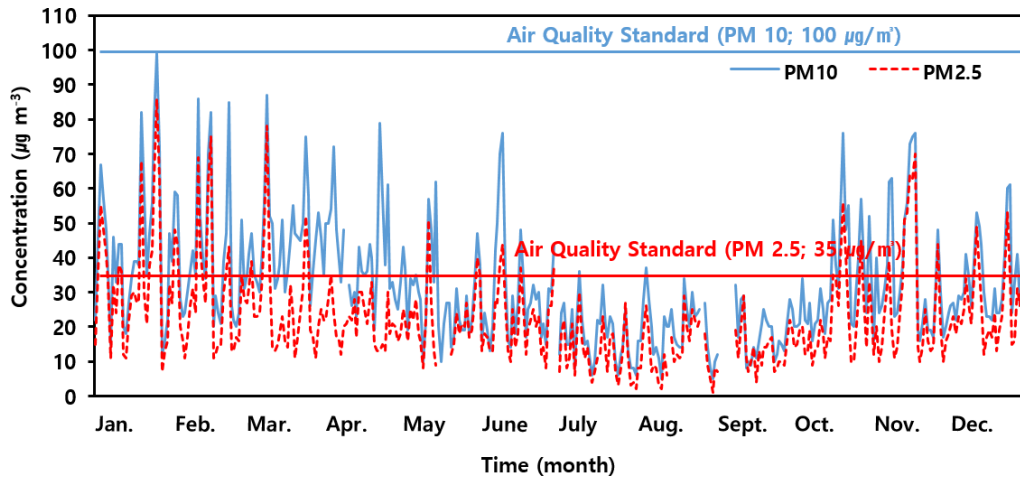
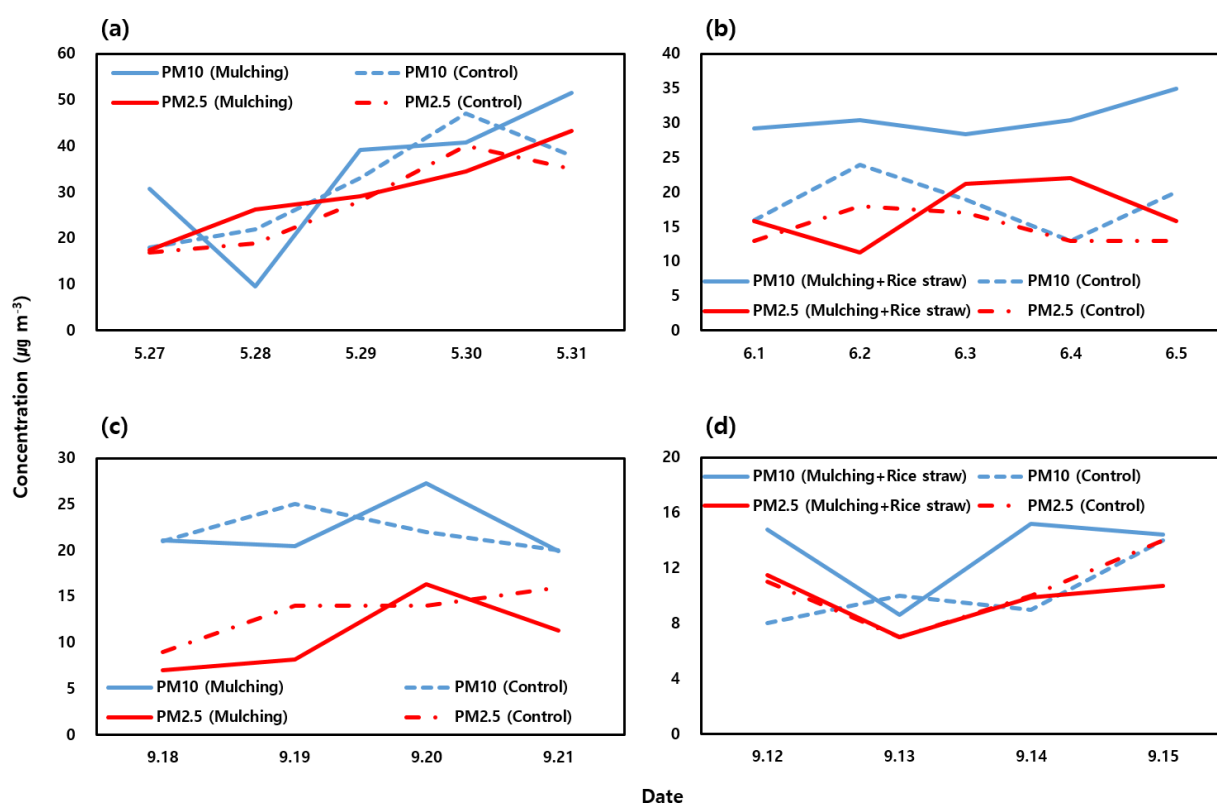


Fig. 2. Temporal variation of daily mean PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration observed at Saemangeum Reclaimed observatory in 2020.

봄 감자 생육기간 중 무처리구의 미세먼지 평균 PM<sub>10</sub> (15.8 - 88.3  $\mu\text{g m}^{-3}$ )과 PM<sub>2.5</sub> (14.2 - 60.9  $\mu\text{g m}^{-3}$ )는 각각 53.6  $\mu\text{g m}^{-3}$ 와 32.5  $\mu\text{g m}^{-3}$ 로, 새만금 대기 관측소에서 측정된 평균 미세먼지 (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2.5</sub>)보다 각각 26%, 23% 높았다 ( $p < 0.001$ ; Table 2). 이는 새만금 대기 관측소의 측정지점이 건물 지상부에 위치하고 있는 반면, 무처리구의 측정지점은 경작지에 근접하게 위치하고 있어 비산먼지에 의해 무처리구의 미세먼지 농도가 상대적으로 높게 나타난 것으로 판단된다. 선행연구결과와 같이 시험지 인근 김제시 광활면에서 측정된 미세먼지 농도는 지표면에서 가까울수록 비산먼지의 도약 및 포행에 의해 높게 발생한 것과 유사한 결과가 나타났다 (Hwang et al., 2008). 반면, 이러한 시료 채취지점의 차이에도 불구하고 비닐 피복 처리구의 미세먼지 PM<sub>10</sub> (평균 32.7  $\mu\text{g m}^{-3}$ )과 PM<sub>2.5</sub> (평균 30.1  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) 농도는 새만금 대기 관측소의 미세먼지 PM<sub>10</sub> (31.6  $\mu\text{g m}^{-3}$ )과 PM<sub>2.5</sub> (27.8  $\mu\text{g m}^{-3}$ )에서 측정된 미세먼지 농도와 차이가 없었으며 통계적으로 유의성이 없었다 (Fig. 3a). 이는 비닐이 토양에 피복처리되면서 토양표면이 노출되지 않아 바람에 의한 풍식의 영향이 감소하면서 미세먼지 발생량이 감소된 것으로 판단된다. 하지만, 토양에 비닐과 벚짚을 혼합한 처리구에서 측정된 미세먼지 평균 PM<sub>10</sub> (28.8  $\mu\text{g m}^{-3}$ )과 PM<sub>2.5</sub> (18.1  $\mu\text{g m}^{-3}$ )의 농도는 새만금 대기 관측소에서 측정된 PM<sub>10</sub> (18.4  $\mu\text{g m}^{-3}$ )과 PM<sub>2.5</sub> (14.8  $\mu\text{g m}^{-3}$ )보다 PM<sub>10</sub>은 56%, PM<sub>2.5</sub>는 22% 높게 측정되었다. 선행연구에서 일반 농경지 토양에 작물을 피복하였을 때 발생하는 먼지가 작물을 피복하지 않았을 때보다 유기물질이 증가하면서 먼지 발생이 약 2배 증가한다는 결과가 보고된 적이 있다 (Baker et al., 2005). 결과적으로 봄 감자 재배기간 동안 미세먼지 발생량을 감소시키기 위해서는 토양에 벚짚과 비닐을 혼합피복 처리보다 비닐 피복 처리를 하면 봄 감자 재배 시 발생하는 미세먼지를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

**Table 2.** Concentrations of particulate matter monitored in RDA National Institute of Crop Science research site during spring potato's growth.

Crop	Monitoring time	Monitoring site	PM	Range ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Mean ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
Spring potato	May 27 - May 31	Control	PM 10	18.0 - 47.0	$31.6 \pm 11.8$
			PM 2.5	17.0 - 40.0	$27.8 \pm 9.9$
		Mulching	PM 10	5.0 - 51.6	$32.7 \pm 15.7$
			PM 2.5	17.5 - 43.3	$30.1 \pm 8.0$
	June 1 - June 5	Control	PM 10	13.0 - 24.0	$18.4 \pm 4.2$
			PM 2.5	13.0 - 18.0	$14.8 \pm 2.5$
		Mulching + Rice straw	PM 10	16.7 - 35.0	$28.8 \pm 6.7$
			PM 2.5	6.7 - 25.0	$18.1 \pm 5.8$
June 8 - June 12	Control	PM 10	14.0 - 76.0	$42.4 \pm 29.3$	
		PM 2.5	10.0 - 44.0	$26.4 \pm 14.9$	
	Fallow land	PM 10	15.8 - 88.3	$53.6 \pm 30.4$	
		PM 2.5	14.2 - 60.9	$32.5 \pm 15.6$	

**Fig. 3.** Changes in concentrations of (a) particulate matter (PM) 10 by vinyl mulching during spring potato growth period, (b) PM 2.5 by vinyl mulching combined with rice straw cover during spring potato growth period, (c) PM 10 by vinyl mulching during fall potato growth period, and (d) PM 2.5 by vinyl mulching combined with rice straw cover during fall potato growth period in RDA National Institute of Crop Science research site.

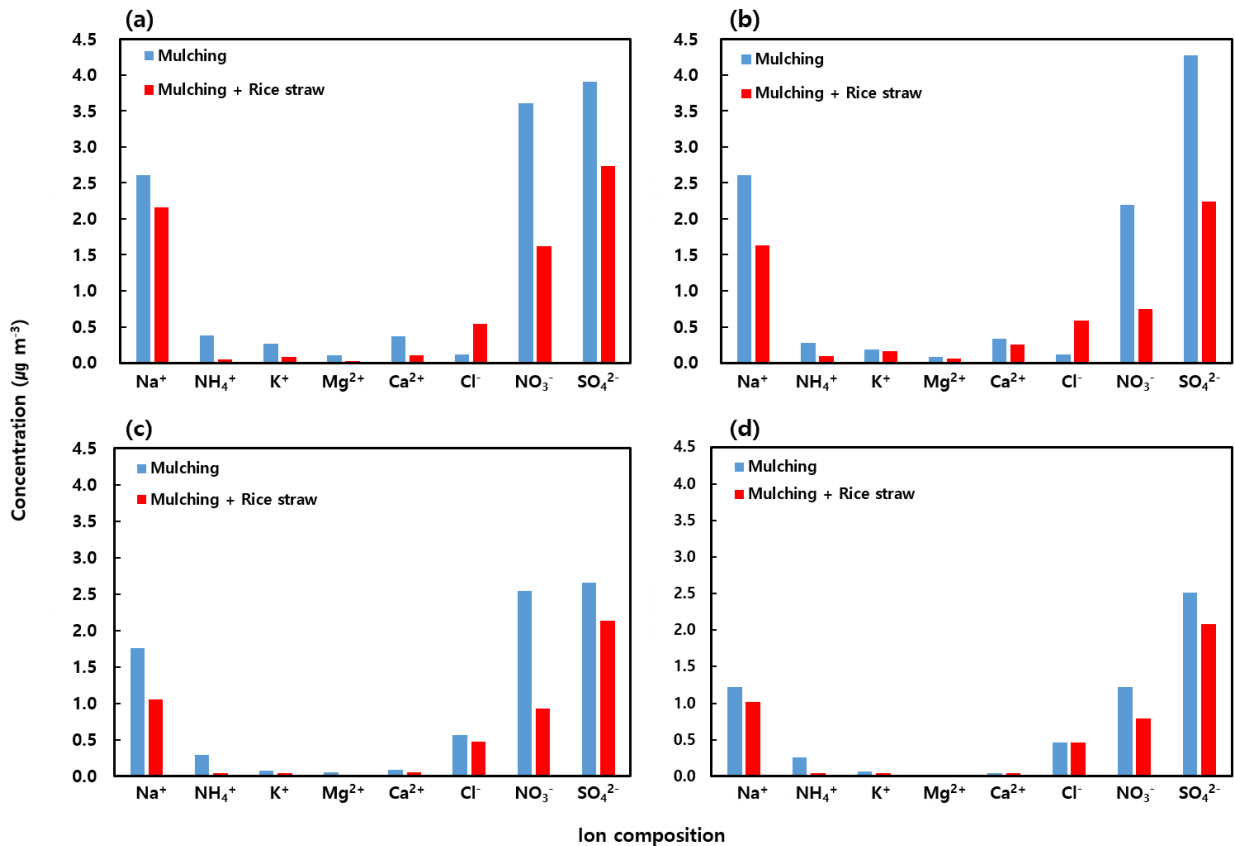
가을 감자 생육기간 중 측정된 미세먼지는 Table 3과 같다. 새만금 대기 관측소에서 측정된 PM<sub>10</sub> (26 - 53  $\mu\text{g m}^{-3}$ )과 PM<sub>2.5</sub> (21 - 49  $\mu\text{g m}^{-3}$ )의 평균 농도는 각각 41.0  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 32.7  $\mu\text{g m}^{-3}$ 이며, 무처리구의 PM<sub>10</sub> (29.2 - 67.6  $\mu\text{g m}^{-3}$ )과 PM<sub>2.5</sub> (14.3 - 45.1  $\mu\text{g m}^{-3}$ )의 평균은 49.2  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 27.5  $\mu\text{g m}^{-3}$ 으로 무처리구의 PM<sub>10</sub>은 봄 감자 생육시기와 유사하게 약 20% 높았다. 반면에 PM<sub>2.5</sub>는 봄 감자 생육 시기와 다르게 약 18% 감소하였다. 토양에 비닐을 피복한 처리구에서 측정된 PM<sub>10</sub>의 평균 농도는 53.3  $\mu\text{g m}^{-3}$ 로 새만금 대기 관측소에서 측정된 값(52.3  $\mu\text{g m}^{-3}$ )과 유사한 수준이었다. 그리고, 토양에 비닐과 볏짚을 혼합한 처리구에서 측정된 미세먼지 PM<sub>10</sub>의 평균 농도는 39.5  $\mu\text{g m}^{-3}$ , PM<sub>2.5</sub>는 21.3  $\mu\text{g m}^{-3}$ 로 PM<sub>10</sub>의 농도는 봄 감자 생육 시기와 유사한 경향으로 새만금 대기 관측소의 측정 농도 보다 41% 높았지만, PM<sub>2.5</sub>는 4.2% 낮았다. PM<sub>10</sub>은 가을 감자 생육시 모든 처리구에서 봄 감자 생육시 발생하는 미세먼지 경향과 유사하게 나타났지만, PM<sub>2.5</sub>는 봄 감자 생육 시기에 측정된 값과 다르게 모든 처리구에서 새만금 대기 관측소 보다 낮았다. 또한, 봄 감자와 가을 감자 재배시기의 비닐과 볏짚 혼합 처리구에서 측정된 미세먼지 농도가 대조구보다 높게 측정된 점을 미루어보아 토양에 비닐과 볏짚을 혼합한 처리구에서 볏짚이 분해되어 작은 유기 입자 (particle organic matter, 53 - 2,000  $\mu\text{m}$ ; Baldock and Skjemstad, 1999)로 비산되어 미세먼지 발생량이 증가되었을 것으로 추측된다. 따라서, 새만금간척지에서 감자 재배시 미세먼지를 저감하기 위해서는 토양에 볏짚과 비닐을 혼합 피복하는 것보다는 비닐을 피복한다면 미세먼지 발생량을 저감할 수 있을 것으로 판단된다.

**Table 3.** Concentrations of particulate matter monitored in RDA National Institute of Crop Science research site during fall potato's growth.

Crop	Monitoring time	Monitoring site	PM	Range ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Mean ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	
Fall potato	November 11 - November 18	Control	PM 10	19.0 - 76.0	52.3 $\pm$ 21.8	
			PM 2.5	10.0 - 70.0	46.5 $\pm$ 20.5	
		Mulching	PM 10	12.9 - 88.0	53.3 $\pm$ 25.0	
			PM 2.5	7.5 - 60.9	38.0 $\pm$ 17.0	
		November 25 - November 30, December 3 - December 4	Control	PM 10	17.0 - 48.0	28.0 $\pm$ 9.3
				PM 2.5	10.0 - 44.0	22.3 $\pm$ 10.0
	Mulching + Rice straw		PM 10	23.8 - 71.8	39.5 $\pm$ 17.6	
			PM 2.5	6.7 - 47.1	21.3 $\pm$ 12.9	
	December 7 - December 14	Control	PM 10	26.0 - 53.0	41.0 $\pm$ 9.0	
			PM 2.5	21.0 - 49.0	32.7 $\pm$ 8.9	
		Fallow land	PM 10	29.2 - 67.6	49.2 $\pm$ 13.4	
			PM 2.5	14.3 - 45.1	27.5 $\pm$ 10.6	

**미세먼지 이온농도 분석** Fig. 4는 봄 감자와 가을 감자 재배 시 토양 피복 처리별 측정된 미세먼지 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 이온 농도 분포를 나타낸 것이다. 봄 감자 재배 시 비닐피복 처리구에서 측정된 PM<sub>10</sub>의 양이온 농도는 Na<sup>+</sup>은 2.61  $\mu\text{g m}^{-3}$ , NH<sub>4</sub><sup>+</sup>은 0.38  $\mu\text{g m}^{-3}$ , K<sup>+</sup>은 0.27  $\mu\text{g m}^{-3}$ , Mg<sup>2+</sup>은 0.11  $\mu\text{g m}^{-3}$ , Ca<sup>2+</sup>은 0.37  $\mu\text{g m}^{-3}$ 으로 나타났으며, 음이온 Cl<sup>-</sup>는 0.12  $\mu\text{g m}^{-3}$ , NO<sub>3</sub><sup>-</sup>은 3.61  $\mu\text{g m}^{-3}$ , SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 3.90  $\mu\text{g m}^{-3}$ 이었다. PM<sub>2.5</sub>는 Na<sup>+</sup>은 2.61  $\mu\text{g m}^{-3}$ , NH<sub>4</sub><sup>+</sup>은 0.28  $\mu\text{g m}^{-3}$ , K<sup>+</sup>은 0.19  $\mu\text{g m}^{-3}$ , Mg<sup>2+</sup>은 0.08  $\mu\text{g m}^{-3}$ , Ca<sup>2+</sup>은 0.33  $\mu\text{g m}^{-3}$ , Cl<sup>-</sup>는 0.11  $\mu\text{g m}^{-3}$ , NO<sub>3</sub><sup>-</sup>은 2.19  $\mu\text{g m}^{-3}$ , SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 4.27  $\mu\text{g m}^{-3}$ 이었다. 비닐피복과 볏짚을 혼합한 처리구에서 측정된 PM<sub>10</sub>의 양이온 농도는 Na<sup>+</sup>은 2,161  $\mu\text{g m}^{-3}$ , NH<sub>4</sub><sup>+</sup>은 0.04

$\mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{K}^+$ 은  $0.08 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 은  $0.03 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 은  $0.10 \mu\text{g m}^{-3}$ 으로 나타났으며, 음이온  $\text{Cl}^-$ 는  $0.53 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{NO}_3^-$ 은  $1.62 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는  $2.73 \mu\text{g m}^{-3}$ 이었다.  $\text{PM}_{2.5}$ 는  $\text{Na}^+$ 은  $1.63 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{NH}_4^+$ 은  $0.09 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{K}^+$ 은  $0.16 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 은  $0.06 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 은  $0.25 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{Cl}^-$ 는  $0.59 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{NO}_3^-$ 은  $0.75 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는  $2.24 \mu\text{g m}^{-3}$ 이었다. 가을 감자 재배 시기의 비닐피복 처리구에서 측정된 미세먼지  $\text{PM}_{10}$ 의 양이온은  $\text{Na}^+$ 은  $1.75 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{NH}_4^+$ 은  $0.29 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{K}^+$ 은  $0.08 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 은  $0.06 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 은  $0.09 \mu\text{g m}^{-3}$ 으로 나타났으며, 음이온은  $\text{Cl}^-$ 는  $0.57 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{NO}_3^-$ 은  $2.54 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는  $2.66 \mu\text{g m}^{-3}$ 이었다.  $\text{PM}_{2.5}$ 는  $\text{Na}^+$ 은  $1.22 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{NH}_4^+$ 은  $0.26 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{K}^+$ 은  $0.07 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 은  $0.02 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 은  $0.04 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{Cl}^-$ 는  $0.46 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{NO}_3^-$ 은  $1.23 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는  $2.51 \mu\text{g m}^{-3}$ 이었다.



**Fig. 4.** Concentrations of ion composition in (a) particulate matter (PM) 10 by vinyl mulching and vinyl mulching combined with rice straw cover during spring potatoes growth period, (b) PM 2.5 by vinyl mulching and vinyl mulching combined with rice straw cover during spring potatoes growth period, (c) PM 10 by vinyl mulching and vinyl mulching combined with rice straw cover during spring potatoes growth period, and (d) PM 2.5 by vinyl mulching and vinyl mulching combined with rice straw cover during spring potatoes growth period in RDA National Institute of Crop Science research site.

생육시기별로 미세먼지의 각 성분 농도를 살펴보면  $\text{PM}_{10}$ 과  $\text{PM}_{2.5}$  모두 양이온은  $\text{Na}^+$ , 음이온은  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 농도가 높았다. 양이온과 달리 음이온의 농도는 일반적으로 도시지역에서 연구한 결과와 유사하게  $\text{SO}_4^{2-}$  농도가 가장 높았다 (Lee et al., 2018). 하지만, 양이온 농도는 도시 지역과 농촌지역에서 조사된 선행연구와 다르게  $\text{NH}_4^+$ 이 아닌  $\text{Na}^+$ 의 농도가 가장 높았다 (Park et al., 2010; Lee et al., 2015; Ryu et al., 2020). 일반적으로 도시 지역에서는 많은 자동차의



운행과 산업활동으로 농촌지역에서는 화학비료 사용과 가축 분뇨에 의해  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{NH}_4^+$ 이 많이 발생하여 농도가 높게 나타나는데 (Lee et al., 2018; Kim et al., 2021), 새만금간척지 토양은  $\text{Na}^+$  함량이 높고  $\text{Ca}^{2+}$  농도가 낮은 간척지 토양 (Lee et al., 2016) 특성과 유사하게 미세먼지의 이온 특성도  $\text{Na}^+$  농도는 높고  $\text{Ca}^{2+}$  농도는 낮게 측정되었으므로 주로 미세먼지가 바람에 의해 토양에서 비산되어 발생하였기 때문으로 추정된다. 또한, 봄 감자 생육시기의 미세먼지  $\text{PM}_{10}$ 의 이온 농도는  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+}$  순으로 높았으며,  $\text{PM}_{2.5}$ 는  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+}$  순으로 높았다. 반면에, 가을 감자의 미세먼지  $\text{PM}_{10}$ 은  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$  순으로 높았다. 새만금간척지의 미세먼지 이온 성분 중  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$ 의 농도가 다른 이온보다 상대적으로 높기 때문에 선행연구가 수행되었던 시화지구에서 비산 및 부유 먼지에 의한 염분에 대한 피해 사례와 같이 새만금간척지에서도 염분에 대한 피해가 발생할 수 있다고 판단된다 (CIES, 1998).

## Conclusions

본 연구에서는 2020년 새만금간척지 광활 시험지에서 봄 감자와 가을 감자 재배시 무처리구와 토양에 비닐 피복 처리구와 비닐과 벚짇을 혼합 피복한 처리구에 따른  $\text{PM}_{10}$ 과  $\text{PM}_{2.5}$ 의 농도를 측정하고 미세먼지의 이온 성분을 분석하였다.  $\text{PM}_{10}$ 은 봄과 가을 감자 재배 시 비닐과 벚짇을 혼합한 처리구보다는 비닐 피복 처리구에서 미세먼지 배출량이 각각 86%과 24% 감소하였다. 하지만, 비닐과 벚짇을 혼합한 처리구에서 발생한 미세먼지는 무처리구와 비슷한 수준이었다. 이는 비닐 피복은 비산먼지 발생을 저감하였지만 토양에 같이 피복된 벚짇이 분해되면서 유기 물질을 생성함으로써 미세먼지 발생을 촉진시킨 것으로 판단된다. 또한, 새만금간척지에서 발생하는 미세먼지의 이온성분은 양이온에서는 선행연구에서 측정되었던 도시지역 및 농촌지역과 다르게 미세먼지 양이온은  $\text{NH}_4^+$ 보다  $\text{Na}^+$  농도가 가장 높았다. 따라서, 새만금간척지의 미세먼지는 토양에서 비산되어 발생하는 미세먼지가 많은 것을 알 수 있으며, 비산먼지에 의한 염해 피해 가능성이 있을 것으로 판단된다. 따라서, 새만금간척지구 농업 활동에 의한 비산먼지와 미세먼지 발생 저감을 위해서는 벚짇보다는 비닐피복이 권장되며, 벚짇 피복에 의한 비산먼지 발생 원인을 해석하기 위한 추가 연구가 필요하다. 더 나아가 농경지에서 발생할 수 있는 미세먼지를 저감하는 다양한 방법들을 개발하는 연구가 필요하다.

## Acknowledgement

This work was carried out with the support of the “Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ014931012021)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Air Korea. 2022. Monthly and annual report of air quality. [https://www.airkorea.or.kr/web/detailViewDown?pMENU\\_NO=125](https://www.airkorea.or.kr/web/detailViewDown?pMENU_NO=125).
- Baker, J.B., R.J. Southard, and J.P. Mitchell. 2005. Agricultural dust production in standard and conservation tillage

- systems in the san joaquin valley. *J. Environ. Qual.* 34:1260-1269.
- Baldock, J. and J.O. Skjemstad. 1999. Soil organic carbon / soil organic matter. p. 159-170. In K.I. Peverill et al. (ed.) *Soil analysis: An interpretation manual*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
- Chauhan, A. and R.P. Singh. 2020. Decline in PM<sub>2.5</sub> concentrations over major cities around the world associated with COVID-19. *Environ. Res.* 187:109634.
- CIES. 1998. Contiguity crops damage cause searching examination study at Sihwa lake: Final report. Citizens Institute for Environmental Studies, Seoul, Korea.
- Han, G.G. and S.M. Kim. 2020. Analysis of air pollutant emissions by tractor operations in 2016. p. 95. In *Proceedings of the KSAM & ARCs 2020 Spring Conference*, Online.
- Hwang, H.S., I.B. Lee, M.H. Shim, S.W. Hong, I.H. Seo, and J.I. Ryu. 2008. Monitoring of the fugitive and suspended dust dispersion at the reclaimed land and neighboring farms: Monitoring in Gunsan. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 50(4):39-50.
- Hwang, H.S., I.B. Lee, M.H. Shin, S.W. Hong, I.H. Seo, J.I. Yoo, J.P. Bitog, K.S. Kwon, and Y.H. Kim. 2009. Monitoring of the fugitive and suspended dust dispersion at the reclaimed land and neighboring farms: Monitoring in Gim-je. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 51(2):59-67.
- IARC. 2013. Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France.
- Kim, G.Y., Y.J. Lee, E.J. Cho, J.I. Lee, E.C. Im, H. Hwang, S.Y. Kim, S.C. Hong, J.H. Kim, and S.J. Park. 2022. Investigation of factors influencing on ammonia emission from soils in agricultural land. *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 44(11):444-452.
- Kim, H.G. 2005. Optimization of fugitive dust control system for meteorological conditions. *J. Korean Soc. Atmos. Environ.* 21(6):573-583.
- Kim, M.W., S.C. Hong, S.Y. Yu, and J.H. Kim. 2021. Evaluation of ammonia emission coefficient according to the use of compound fertilizers when cultivating apples and pears in orchards. *Korean J. Environ. Agric.* 40(4):366-372.
- Ku, H.H. 2020. Measurement of soil surface and plant canopy ammonia fluxes in red pepper field using dynamic chamber method. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(4):643-649.
- Kwak, J.H., S.I. Yun, B.R. Choi, G.Y. Kim, and K.S. Lee. 2021. Winter forage crops reduced fine dust in Saemangeum reclaimed tideland during high concentration of fine dust season. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54(4):588-600.
- Lee, K.B., S.D. Kim, and D.S. Kim. 2015. Ion compositional existence forms of PM<sub>10</sub> in Seoul area. *J. Korean Soc. Environ. Eng.* 37:197-203.
- Lee, K.S., K.H. Jung, J.H. Ryu, and S.H. Lee. 2021. Applicability of conventionally recommended fertilizer rates for potato cultivated in saemangeum reclaimed land in the fall season. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 54(3):289-296.
- Lee, S.H., G.Y. Seo, S.H. Yoon, Y.C. Yang, S.J. Kim, Y.G. Cho, and S.J. Bae. 2018. Characteristics of PM<sub>10</sub> in Gwangju using factor analysis. *J. Environ. Sci. Int.* 27(4):241-250.
- Lee, S.H., H.S. Bae, Y.Y. Oh, S.H. Lee, Y.J. Kim, S. Kim, J.H. Ryu, K.H. Jung, C.G. Lee, J.H. Kim, Y.D. Kim, W.Y. Choi, J.Y. Cho, K.B. Lee, K.H. Lee, and K.D. Park. 2016. Effect of sesbania incorporation as nitrogen source on growth and yield of whole crop barley and reduction of N fertilizer in Saemangeum reclaimed tidal land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(6):751-759.
- Li, Z., C. Xiahong, and T. Xi. 2018. The impact of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) on China's agricultural production from 2001 to 2010. *J. Cleaner Prod.* 178:133-141.
- ME (Ministry of Environment). 2021. Air pollutant emission statistics for 2017. [https://www.air.go.kr/jbmd/sub43\\_detail.do?tabPage=3&detailKey=70026P07&inputSchTxt=&typeSchOption=sj&menuId=POT041#](https://www.air.go.kr/jbmd/sub43_detail.do?tabPage=3&detailKey=70026P07&inputSchTxt=&typeSchOption=sj&menuId=POT041#) (Accessed on April 20, 2021).
- NIAST. 2000. Analysis method of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon,

Korea.

- NIER (National Institute of Environmental Research). 2016. Report: [http://www.rda.go.kr/board/board.do?prgId=day\\_farmprmninfoEntry&dataNo=100000756326&mode=updateCnt](http://www.rda.go.kr/board/board.do?prgId=day_farmprmninfoEntry&dataNo=100000756326&mode=updateCnt).
- Park, G.H., J.G. Cho, and B.S. Ryu. 2010. Evaluation of pollution characteristics and chemical composition of PM<sub>2.5</sub> in ambient air in Busan (II). The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment. 20:154-167.
- Park, K.C. and S.J. Lee. 2000. Shelter effect of porous fences on the saltation of sand particles in an atmospheric boundary layer. *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B* 24:1175-1184.
- Ryu, J.H., Y.Y. Oh, S.H. Lee, K.D. Lee, and Y.J. Kim. 2020. Annual changes of soil salinity of the Saemangeum reclaimed tide land during last 10 years. *Korean J. Environ. Agric.* 39(4):327-333.
- Shin, J.Y., J.E. Oh, H.K. Bong, J.Y. Tak, H.T. Kim, and S.Y. Lee. 2021. Characteristics of PM concentration in major agricultural areas using real-time measuring device. p. 318. In *Proceedings of the KOSAE 64rd Annual Conference 2021*, Jeju, Korea.
- Shuai, J., Z. Zhang, X. Liu, Y. Chen, P. Wang, and P. Shi. 2013. Increasing concentrations of aerosols offset the benefits of climate warming on rice yields during 1980-2008 in Jiangsu Province, China. *Reg. Environ. Change* 13:287-297.
- Son, J.G. and J.Y. Cho. 2000. Effect of organic material treatments on soil aggregate formation in reclaimed tidelands. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(3):201-206.
- Son, J.G., J.K. Choi, and J.Y. Cho. 2009. Chemical properties of soil in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 51:67-73.
- Song, C.K., J.J. Kim, and D.W. Song. 2007. The effects of windbreaks on reduction of suspended particles. *Atmosphere* 17:315-326.
- US EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2019. Particulate matter (PM) basics. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics/> (Last updated on July 18, 2022).
- Zhang, W.F., Z.X. Dou, P. He, X.T. Ju, D. Powlson, D. Chadwich, and F.S. Zhang. 2013. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110(21):8375-8380.