

Reduction of Fugitive Dust by Soil Management Practices for Barley and Reed in Saemangeum Reclaimed Land

Byung-Keun Hyun^{1*}, Cheol-Hyun Ryu², Suel-Bi Lee³, Chan-Wook Lee³, Yo-Sung Song², and Deog-Bae Lee¹

¹Senior Researcher, Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

²Assistant Researcher, Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

³Research Scientist, Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: bkhyun@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 25, 2020

Revised: February 3, 2021

Accepted: February 3, 2021

The Saemangeum reclaimed land has many exposed areas due to the lack of vegetation, and then fugitive dust may be generated by strong winds. To reduce such fugitive dust, barley and reed were tested by various soil management practices (sowing time, irrigation water salt concentration, fertilizer type, fertilizer application method). Summarizing the results are as follows; Wind speeds in the Saemangeum Gwanghwal area in Gimje tend to increase in January - April, decrease in May - August, and slightly increase again in September - December. In particular, strong winds in this area concentrated on March - April. Therefor, it is important to cover the soil surface in March - April. In the first period (April.24 - May.6, 2020) of collecting fugitive dust according to the salt concentration of irrigation water during barley cultivation, 0 dS m⁻¹ and 3 dS m⁻¹ treatment were statistically significant than 6 dS m⁻¹ treatments. However, there was statistically no significant in the 2nd periods (May.12 - June.28, 2020) and 3rd periods (June.28 - July.17, 2020) due to the weak wind speed. The effect of reducing fugitive dust by sowing period of barley was statistically significant in the first periods (April.24 - June.6) compared to June and August when the sowing in February, April, October, and December. The 2nd periods (April.12 - June.28) and 3rd periods (June.28 - July.17) were also statistically significant compared to the sowing in June and August. And, crop growth by fertilizer type, ammonium sulfate fertilizer treatments (ammonium sulfate, fused super phosphate, potassium sulfate) with sulfate root was better than that of urea treatment (urea, fused phosphate, potassium chloride), even if there was no statistical significance. Between the fertilizer treatment methods in the second periods, soil/soil (basal dressing/top dressing) and soil/foliar had statistically significant compared to foliar/foliar. The effect of reducing fugitive dust between fertilizer types and treating fertilizer methods in reeds was statistically not significant.

Keywords: Barley, Dust, Fertilizer type, Reed

Barley growth and fugitive dust by irrigation water salt concentration.

| Treatment | Plant height (cm, Apr.24) | Coverage | | Fugitive dust (g day ⁻¹) | | | |
|---|----------------------------------|----------|----------|--------------------------------------|--|------------------------------------|-----------------|
| | | (Apr.24) | (May.28) | First period (Apr.24 - May.6) | Second period (May.12 - May.28) | Third period (May.28 - June.17) | |
| Irrigation water salt concentration (dS m ⁻¹) | 0 | 43.8 | 59.0 | 75.1 | 0.198b [†] ± 0.013 [§] | 0.041a ± 0.015 | 0.040a ± 0.012 |
| | 3 | 45.1 | 59.9 | 62.1 | 0.230b ± 0.024 | 0.026a ± 0.020 | 0.026b ± 0.007 |
| | 6 | 35.8 | 48.0 | 54.2 | 0.503a ± 0.116 | 0.026a ± 0.020 | 0.035ab ± 0.007 |
| | Mean | | | | 2.77 | 2.52 | 2.10 |
| | Max | | | | 8.96 | 9.08 | 5.90 |
| Wind speed (m s ⁻¹) | No. of 4 - 9 m s ⁻¹ † | | | | 76 | 86 | 161 |
| | No. of 9 - 14 m s ⁻¹ | | | | - | - | 3 |

[†]Duncan's multiple range test data were analyzed by period.

[‡]The numbers of 4-9 m s⁻¹ wind speeds is measured every 10 minutes.

[§]Standard deviation



Introduction

비산먼지에 대한 국립국어원 표준국어대사전 정의를 보면 비산먼지란 “일정한 배출구 없이 바람에 날려 대기 중으로 직접 배출되는 먼지” 라고 명시되어 있다. 다른 말로는 날림먼지, 비산분진이라고도 부르며, 건설업이나 시멘트, 석탄, 토사, 골재 공장 등에서 주로 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나, 농업분야에 한정할 경우에는 비료나 퇴비 등 암모니아로부터 전구되어 발생하는 미세먼지와 구별할 때 토양이 건조해서 강풍에 의해 날리는 먼지를 비산먼지라고 할 수 있다. 비산먼지는 토양입자가 일정한 무게를 가지고 있기 때문에 약한 바람에는 날리지 않고, 강한 바람일 경우에 발생할 수 있다.

새만금간척지의 토성은 미사질양토-세사양토이고 점토함량은 대부분 5%이하로 매우 적은 것으로 보고되었다 (Hwang et al., 2010). 염포통(사질), 문포통(사양질), 광활통(미사사양질), 하사통(사질), 가포통(사양질) 등 5개 토양통이 주를 이루며 대부분 토성속은 사질 내지 사양질 토양이다. 또한, 새만금 간척지 토양은 pH, EC, 교환성 Na 함량이 높은 반면, 유기물과 유효인산함량은 낮다 (Lee et al., 2008; Park et al., 2008). 따라서, 토양입단 형성이 잘 되어 있지 않기 때문에 강풍에 의한 비산먼지가 발생할 수 있는 조건을 가진다 (Son and Cho, 2000). 따라서, 토양의 구조 형성을 통해 단립토양을 입단토양으로 만들어야 풍식에 대한 저항성을 높일 수 있다. 최근 토양분류 측면에서 새만금 간척지 토양의 경우 기존 토양과는 다른 배수등급의 토양이 발견되어 새로운 토양통으로 설정해야 한다는 연구결과가 도출되기도 하였다 (Sonn et al., 2019).

새만금간척지의 인근 농경지에 대한 비산먼지 및 부유먼지 모니터링 결과를 보면 군산지역은 총량 (TSP, Total Suspended Particulate) 농도가 2006년에는 $162.9 \mu\text{g m}^{-3}$, 이었으나, 2007년에는 $107.9 \mu\text{g m}^{-3}$ 으로 66.2%의 감소를 보여 발생면적과 염생식물의 피복 때문에 발생량이 줄어든 것으로 보고되었다 (Hwang et al., 2008). 김제의 경우에는 비산먼지가 염생식물과 방조제(둑)의 영향으로 현저히 감소되었다고 보고되었는데, TSP는 47.4%, PM10은 29.0%가 감소했고, 수확 전후의 농도변화를 보면 TSP는 22.0%, PM10은 54.0% 증가했다고 했다 (Hwang et al., 2009b). 단위면적당 비산먼지량에 대한 포집기 (Universal sample, Pump, PCR8X, SKC, USA)를 통해 측정된 양을 평가한 것이다. 측정지역별로 PM10의 평균농도는 군산지역이 $86.1 \mu\text{g m}^{-3}$, 김제지역 111, 부안지역이 97.8로 나타났으며, 시기별로 농도분포는 봄, 가을, 여름, 겨울 순으로 나타났다 (Hwang et al., 2009a, 2009b). 따라서, 특별히 봄 시기에 토양을 피복할 필요가 있는 것으로 파악된다.

비산먼지는 농작물이나 농작업을 수행하는 사람들에게 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다. 비산먼지 발생을 저감하기 위해서는 건조한 시기에 토양을 습윤상태로 만들거나, 토양표면을 피복하는 등의 방법을 활용할 수 있다 (Lee et al., 2019; Kim, 2005). 새만금지역의 풍향은 북풍과 북서풍계가 빈도가 많았으며, 습도의 경우에도 봄과 겨울철이 낮은 분포를 보였다 (Hwang et al., 2008).

비산먼지 저감을 위해 피복작물을 선발 결과로 나문재, 섬기린초, 갯패랭이, 해국 등을 보고하였다 (Kim et al., 2010; Seong et al., 2019). 곡류인 보리의 경우에는 내염성이 강한 작물로 알려져 있으며 (Kim et al., 1993), 바이오매스 함량이 높은 갈대의 경우에도 간척지에서 내염에 강한 작물로 알려져 있다 (Kim et al., 2013). 보리의 경우에는 토양비옥도 증진을 위해 동절기에 풋거름 작물로 활용하기도 한다 (Yoon et al., 2019)

본 연구는 간척지의 비산먼지를 발생을 저감하기 위해 보리와 갈대에 대해 관개용수 염농도, 비료종류별, 비료사용 방법별, 파종시기별 등 다양한 토양관리방법을 통해 생육 및 피복도에 따른 비산먼지 저감효과를 구명하기 위해 수행하였고 그 결과를 보고하는 바이다.

Materials and Methods

시험지역 및 대상작물 새만금 간척지역인 김제시 광활면 국립식량과학원 시험장에서 시험을 수행하였다. 보리와 갈대의 생육 및 피복에 따른 비산먼지의 수집량을 분석하였다.

처리방법 및 조사항목 보리의 토양처리방법은 ①염농도별 관개용수 3처리 (0, 3, 6 dS m⁻¹). 관개용수는 10톤의 관수통에 NaCl를 넣어 관개용수의 염농도를 맞춘 후, 관개가 필요한 시기에 용수를 관개하였다. ②파종시기별 (2, 4, 6, 8, 10, 12월), ③비종별사용방법별 (토양/토양, 토양/엽면, 엽면/엽면 (1%, 5%, 10%))로 처리하였다. 비료처리방법은 밀거름과 웃거름을 토양/토양, 토양/엽면, 엽면/엽면구로 나누어 처리하였다. 다만, 엽면/엽면 처리구의 경우에는 질소시비량의 1%, 5%, 10%에 맞춰 3개의 구로 세분하여 처리하였다. 비료종류는 요소구 (요소-용성인비-염화加里), 유안구 (유안-용과린-황산加里)로 시비하였다. 갈대의 토양처리방법은 ①비종별사용방법별 (토양/토양, 엽면/엽면 (1%, 5%, 10%))로만 처리하였다. 주요조사 항목은 생육, 피복도 (육안), 수량 등을 조사하였다.

시비량 및 분시방법 보리의 10a당 시비량은 표준시비량 (질소-인산-칼리) 8.8-7.2-3.6 kg를 처리하였다. 비종별사용방법별로 토양/토양 및 토양/엽면 처리는 밀거름/웃거름을 50:50으로 분시하였다. 엽면/엽면 (1%, 5%, 10%) 처리는 생육시기를 고려해 2회 실시하였다. 갈대의 시비량이 없어서 보리의 표준시비량 (질소-인산-칼리)과 동일하게 처리하였다. 보리의 관개수 염농도별 처리 시험구는 15 m² (12.5 m × 1.2 m)로 3반복 하였다. 보리의 파종시기별 처리구는 15 m² (12.5 m × 1.2 m) 단반복 처리하였다. 비종별처리구는 15 m² (12.5 m × 1.2 m) 단반복 처리하였으며, 엽면/엽면 처리구는 15 m² (12.5 m × 1.2 m)를 1/3로 나누어 1%, 5%, 10% 처리구로 하였다. 갈대의 비종별처리구는 15 m² (12.5 m × 1.2 m) 크기로 단반복 처리하였으며, 엽면/엽면 처리는 15 m² (12.5 m × 1.2 m)를 1/3로 나누어 1%, 5%, 10%를 처리구로 하였다.

파종 및 수확 보리의 염농도별 관개용수 시험은 파종을 2019년 12월 20일에 하였고, 수확은 2020년 6월 17일에 하였다. 보리의 파종시기별 시험은 각각의 해당 월에 파종하였고, 수확은 2020년 6월 17일에 하였다. 비종별사용방법별 보리파종은 2020년 2월 14일에 하였고 수확은 2020년 6월 18일에 하였다. 갈대는 2019년 3월에 묘를 이식하였고, 잔사를 6.8일에 수거하여 건물 중을 조사하였다. 처리내용을 요약하면 아래 Table 1과 같다.

Table 1. Experiment treatment and processing contents.

| Crop | Division | Treatment | Area (m ²) | Number of repetitions | Planting/Harvest (2020) |
|--------|-------------------------------------|--|------------------------|-----------------------|--|
| Barley | Irrigation water salt concentration | 3 treatment (0, 3, 6 dSm ⁻¹) | 12.5×1.2 m | 3 repetitions | Planting: 2019.12.20. Harvest: 6.17 |
| | Sowing month | 6 treatment (2, 4, 6, 8, 10, 12 month) | 12.5×1.2 m | Only repeat | Planting: Each treatment is sown in the month Harvest: (Feb planting 6.17, April planting 6.23, October plant 2019. 6.17, December planting 2019.6.17) *June and August treatment is not growing |

Table 1. Experiment treatment and processing contents. (Continued)

| Crop | Division | Treatment | Area (m ²) | Number of repetitions | Planting/Harvest (2020) |
|--------|---|--|------------------------|--|---|
| Barley | Fertilizer type× Fertilizer application method | 10 treatment (Urea G. †) (A.S.G ‡) × (soil/soil) (soil/foliar) (foliar/foliar) *Basal dressing/ top dressing (soil/soil)(soil/foliar) (foliar/foliar) | 12.5×1.2 m | Only repeat foliar/foliar treatment is subdivided into 1%, 5% and 10% | Planting: 214 Harvest: 6.18.-6.19 Fertilizer: 2 times for soil treatment(2.14, 5.6), 2 times for foliar treatment(5.6, 6.5) |
| | | 6 treatment (Urea G. †) (A.S.G ‡) × (soil/soil) (foliar/foliar) *Basal dressing/ top dressing (soil/soil)(foliar/foliar) | | | |
| Reed | Fertilizer type× Fertilizer application method | (Urea G. †) (A.S.G ‡) × (soil/soil) (foliar/foliar) *Basal dressing/ top dressing (soil/soil)(foliar/foliar) | 4.2×1.2 m | Only repeat foliar/foliar treatment is subdivided into 1%, 5% and 10% | Reed transplanting: 2019. 3.26 Fertilizer: 2019.5.13., 2020.5.6 Foliar fertilizer: 5.6, 6.5 Reed residue collection: 6.8 |

† Urea G (urea, fused phosphate, potassium chloride).

‡ A.S. G (ammonium sulfate, fused super phosphate, potassium sulfate).

비산먼지발생량 조사 및 분석 비산먼지발생량은 3시기 동안에 비산먼지를 수집하였다. 1차시기 (4.24 - 5.6), 2차시기 (5.12 - 5.28), 3차시기 (5.28 - 6.17)에 비산먼지를 수집하였으며, 비산먼지 수집기간 중 전체 수집량을 일단 위 (g day⁻¹)로 계산하였다. 비산먼지 수집용기는 플라스틱컵 (직경 7.4 cm)를 이용하였다. 비산먼지 수집용기의 크기가 크지 않기 때문에 보리 및 갈대의 생육에는 지장이 없었다. 풍향을 고려하지는 않았으나, 보리의 경우 파종된 중간 지점에, 갈대의 경우에는 처리구의 중간지점에 비산먼지 수집용기의 상부 1 cm를 남기고 토양 속에 균일하게 묻었으며, 3반복으로 설치하였다. 해당시기에 수집된 비산먼지는 비산먼지 수집용기를 수거한 다음 건조한 후 무게를 측정하였다. 비산먼지 발생량에 영향을 미칠 수 있는 토양수분함량과 풍향은 본 시험에서는 고려하지 못하였다.

풍속자료 분석 풍속자료는 새만금간척지의 광활지역에 설치된 기상대에서 입수된 2018.7 - 2020.10월까지 3년간의 자료를 분석하였다. 풍속자료는 매 10분 간격으로 수집된 자료이다.

통계분석 보리 및 갈대의 처리에 대한 비산먼지량을 통계 분석을 수행했다. 통계분석은 SAS enterprise guide 7.13HF4를 이용하여 일원분산분석을 실시하였다. 처리간의 유의성을 검증하기 위해 Duncan's 다중검정을 실시하였다. 각각의 처리간에는 파종시기, 위치, 면적 등의 구분이 되어 있어 (관개수염농도, 파종시기, 비종 및 비료처리) 처리간의 복합적인 상호작용에 대한 분석을 할 수는 없었다.

Results and Discussion

광활지역 풍속분석 Table 2는 광활 시험지의 월별 평균풍속 (m s⁻¹)이다. 평균풍속은 2018년에는 7월부터 12월 까지 평균풍속은 1.86 m s⁻¹, 2019년은 2.00, 2020년도는 10월까지의 평균풍속이 2.42로 해를 거듭할수록 평균풍속이 강해지는 것으로 나타났다. 연도별로 차이는 있으나 평균풍속이 대개 1월부터 3월 - 4월까지의 높아지다가 5월부터 8월까지의 감소하였으며, 9월부터는 다시 상승하는 패턴을 보였다.

Table 2. Monthly average wind speed (ms^{-1}) in Gwanghwal area.

| Year | Jan. | Feb. | March | April | May | June | July | Aug. | Spt. | Oct. | Nov. | Dec. | Max | Min | Mean | |
|------|--------------------------------|------|-------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| 2018 | Mean | | | no data | | | 1.99 | 2.17 | 1.67 | 1.99 | 1.44 | 2.02 | 8.65 | 0.01 | 1.86 | |
| | No. of 4 - 9 ms^{-1} | | | no data | | | 41 | 133 | 73 | 198 | 64 | 213 | | | | |
| | No. of 9 - 14 ms^{-1} | | | no data | | | | | | | | | | | | |
| 2019 | Mean | 1.83 | 2.24 | 2.86 | 2.26 | 2.32 | 1.81 | 1.86 | 1.48 | 1.66 | 1.74 | 1.91 | 1.98 | 10.45 | 0.01 | 2.00 |
| | No. of 4 - 9 ms^{-1} | 193 | 213 | 414 | 230 | 227 | 74 | 70 | 34 | 86 | 116 | 167 | 163 | | | |
| | No. of 9 - 14 ms^{-1} | 0 | 0 | 8 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 2020 | Mean | 1.97 | 2.20 | 2.80 | 3.11 | 2.46 | 2.19 | 1.97 | 2.10 | 2.20 | 1.79 | | 11.80 | 0.00 | 2.42 | |
| | No. of 4 - 9 ms^{-1} | 303 | 250 | 187 | 127 | 181 | 204 | 219 | 232 | 243 | 246 | | | | | |
| | No. of 9 - 14 ms^{-1} | 2 | 3 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | | | | | |

[†]Wind speed data is for 10 minutes.

그러나, 풍식을 일으키는 바람세기는 바람세기가 세어질수록 더 큰 토립을 운반할 수 있다(Cho et al., 1991). 따라서, 평균풍속 보다는 토립을 운반할 수 있는 풍속으로 구분하여 분석하는 것이 필요하다. 기상청에서는 바람의 세기 구분을 4 m s^{-1} 이하인 경우에는 약한바람, $4 - 9 \text{ m s}^{-1}$ 약간 강한바람, $9 - 14 \text{ m s}^{-1}$ 는 강한바람, 14 m s^{-1} 이상은 매우 강한바람으로 구분하고 있다. Table 2에서와 같이 2018년 7월부터 12월까지의 강한 바람은 없고, $4 - 9 \text{ m s}^{-1}$ 인 약간강한바람이 홀수달 보다는 짝수달에 더 자주 발생하였다. 2019년에는 약간강한바람이 평균풍속과의 패턴과 유사하게 발생한 것을 알 수 있다. 1월부터 3월까지의 증가는 경향으로 4월부터 8월까지의 감소하는 경향이었으며, 그 이후 9월부터는 약간 상승하는 패턴이었다. $9 - 14 \text{ m s}^{-1}$ 인 강한바람은 3월, 5월, 8월에 각각 8회, 6회, 4회 발생했다. 2020년 10월까지의 $4 - 9 \text{ m s}^{-1}$ 인 약간강한바람은 1월부터 4월까지 감소하다가 5월부터 다시 소폭 상승하는 경향을 보였다. 2019년과는 경향이 다르게 나타났다. $9 - 14 \text{ m s}^{-1}$ 는 3월과 4월을 제외하고는 매달 2회 내지 3회 정도 발생하였다. 따라서, 약간 강한바람과 때때로 발생하는 매우 강한 바람이 발생하는 특히 봄철에 토양표면이 작물로 덮여져 비산먼지 발생을 저감할 수 있도록 관리하는 것이 필요하다. Hwang et al. (2009a, 2009b)의 연구결과에서와 같이 시기별로 봄에 비산먼지 농도가 가장 높기 때문에 이 시기에 특히 토양피복이 필요한 것으로 생각된다.

작물별 생육 및 비산먼지량

보리 Table 3은 관개수 염농도별 보리의 생육 및 비산먼지량이다. 보리는 관개수의 염농도가 높아질수록 피복도가 떨어지는 경향이였다. 이 결과는 염농도의 증가에 따라 보리의 청예수량이 로그함수적으로 감소하며, 그 염농도는 4.9로 추정된다(Soh et al., 2009)는 연구결과와 유사하였다. 피복도가 저하됨에 따라서 비산먼지량은 1차시기 (4.24 - 5.6)에는 $0, 3 \text{ dS m}^{-1}$ 관개수염농도 처리구가 6 dS m^{-1} 에 비하여 통계적인 유의성이 있었으며, 2차시기와 3차시기에는 처리간에 유의성이 인정되지 않았다. 이것은 염생식물의 피복 상태가 높을수록 비산먼지의 양이 감소 추세를 보였다는 결과와 일치하였다(Hwang et al., 2008). 비산먼지량은 1차시기 (4.24 - 5.6)가 2차시기와 3차시기에 비해 4배에서 19배 정도 많았다. 1차시기와 2차시기를 비교하면 최대풍속과 $4 - 9 \text{ m s}^{-1}$ 풍속발생횟수는 유사하였으나, 피복도의 차이 때문에 1차시기의 비산먼지량이 현저히 많았던 것으로 생각된다. 3차시기의 $4 - 9 \text{ m s}^{-1}$ 풍속발생횟수가 1차시기에 비해 2배정도 높았으나, 비산먼지 발생량은 작물의 피복도가 더 진행되었기 때문에 적었던 것으로 판단된다. 특히 4월 파종구의 경우에는 기존 10월 - 2월 파종구에 비해 26.7 - 29.3% 수준 정도 밖에 되지 않기 때문에 비산먼지 발생량이 많았다. 따라서, 새만금간척지 농경지는 비산먼지량이 많은 5월 이전에 토양표면이 잘 피복되어 있어야 할 것이다.

Table 3. Barley growth and fugitive dust by irrigation water salt concentration.

| Treatment | Plant height (cm, Apr.24) | Coverage | | Fugitive dust (g day ⁻¹) | | | |
|---|----------------------------------|----------|----------|--------------------------------------|--|------------------------------------|-----------------|
| | | (Apr.24) | (May.28) | First period (Apr.24 - May.6) | Second period (May.12 - May.28) | Third period (May.28 - June.17) | |
| Irrigation water salt concentration (dS m ⁻¹) | 0 | 43.8 | 59.0 | 75.1 | 0.198b [†] ± 0.013 [§] | 0.041a ± 0.015 | 0.040a ± 0.012 |
| | 3 | 45.1 | 59.9 | 62.1 | 0.230b ± 0.024 | 0.026a ± 0.020 | 0.026b ± 0.007 |
| | 6 | 35.8 | 48.0 | 54.2 | 0.503a ± 0.116 | 0.026a ± 0.020 | 0.035ab ± 0.007 |
| | Mean | | | | 2.77 | 2.52 | 2.10 |
| Wind speed (m s ⁻¹) | Max | | | | 8.96 | 9.08 | 5.90 |
| | No. of 4 - 9 m s ⁻¹ † | | | | 76 | 86 | 161 |
| | No. of 9 - 14 m s ⁻¹ | | | | - | - | 3 |

[†]Duncan's multiple range test data were analyzed by period.

[‡]The numbers of 4 - 9 m s⁻¹ wind speeds is measured every 10 minutes.

[§] Standard deviation.

Table 4는 보리의 파종시기별 생육 및 비산먼지량이다. 보리의 초장은 10월, 12월, 2월, 4월 순으로 양호했다. 피복도는 초장과는 유사했으나, 12월구가 10월구에 비해 약간 더 높았다. 6월 파종지의 피복도는 보리가 생육되지 않아나지로 유지되었다. 비산먼지 채취 1차시기에는 10월, 12월, 2월 파종구가 4월, 6월, 8월구에 비해 통계적인 유의성이 인정되었다. 2차시기에는 10월, 12월, 2월, 4월구가 6월과 8월구에 비해 통계적인 유의성이 인정되었다. 3차시기에는 자료의 오류가 있는 6월구를 제외하고는 모든 구에서 통계적인 유의성이 없었다. 1차시기가 2차 및 3차 채취시기에 비해 2배에서 31배까지 비산먼지량이 많았다. 따라서 가능한 봄 시기에 토양표면을 작물로 피복하는 것이 바람직한 것으로 보여진다.

Table 4. Growth and fugitive dust according to sowing month of barley.

| Treatment | Plant height (cm, Apr.24) | Coverage | | Fugitive dust (g day ⁻¹) | | | Remarks |
|------------------------------------|---------------------------------|----------|---------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| | | Apr. 24 | May. 28 | First period (Apr.24 - May.6) | Second period (May.12 - May.28) | Third period (May.28 - June.17) | |
| Feb. | 30.5 | 60.0 | 69.7 | 0.153b ± 0.030 [§] | 0.025b ± 0.004 | 0.052b ± 0.005 | |
| Apr. | 9.5 | 17.6 | 63.4 | 0.435a ± 0.136 | 0.014b ± 0.007 | 0.025b ± 0.005 | |
| Sowing month | June | - | - | 0.478a ± 0.042 | 0.215a ± 0.036 | 0.281a [†] ± 0.027 | bare soil |
| | Aug. | - | - | 0.558a ± 0.120 | 0.206a ± 0.031 | 0.038b [‡] ± 0.010 | bare soil |
| Oct. | 101.0 | 64.0 | 78.0 | 0.122b ± 0.0.20 | 0.032b ± 0.021 | 0.038b ± 0.017 | |
| Dec. | 63.3 | 65.8 | 78.4 | 0.129b ± 0.021 | 0.021b ± 0.006 | 0.025b ± 0.025 | |
| | Mean | | | 2.77 | 2.52 | 2.10 | |
| Wind speed (m s ⁻¹) | Max | | | 8.96 | 9.08 | 5.90 | |
| | No. of 4 - 9 m s ⁻¹ | | | 76 | 87 | 161 | |
| | No. of 9 - 14 m s ⁻¹ | | | - | - | 3 | |

[†]Mean 0.281 (each 0.310, 0.276, 0.257g).

[‡]Duncan's multiple range test.

[§]Standard deviation.

Table 5는 비료종류 (비종)별 및 비료처리방법에 따른 비산먼지량이다. 비료처리에 따른 비산 먼지량은 2차시기 (5.12 - 5.28) 기간에만 엽면 (기비)/엽면 (추비) 처리에 비해 토양/토양, 토양/엽면 처리가 비산먼지량이 적은 것으로 통계적으로 차이가 있었다. 3차시기에는 처리 간에 결과가 혼재되어 통계적인 유의성을 구별하기가 어려웠다. 비료 처리에 따른 결과를 보면 초장은 토양/토양, 토양/엽면처리가 엽면/엽면 처리보다는 초장이 더 큰 것으로 나타났다. 2회 측정된 피복도도 같은 경향이였다. 2차시기에는 토양/토양, 토양/엽면 처리구의 피복도가 엽면/엽면구 피복도의 2배 이상이었으나, 3차시기에는 엽면/엽면 처리구의 피복도가 토양/토양, 토양/엽면 처리구의 피복도에 거의 도달되었고, 비산먼지량에 있어서도 2차시기에 비해 3차시기는 60% 수준에 그쳤다. 엽면/엽면구가 가장 양호하였으나, 토양/토양의 유안구, 엽면/엽면의 요소10%를 제외하고는 유의성이 인정되지 않았다. 비종간 (요소구, 유안구)에 있어서는 초장, 피복도에 있어서 토양/토양, 토양/엽면 처리구에서는 요소구보다는 유안구가 더 양호한 것으로 나타났다. 그러나, 엽면/엽면 처리에서는 일정한 경향을 보이지 않았다. 간척지 토양의 경우에는 pH, EC, Na 함량이 높은 반면, OM, P 등의 함량이 낮아 황산근을 갖는 유안구 (유안-용과린-황산가리)가 요소구 (요소-용성인비-염화가리)에 비해 총체 보리의 생초수량이 더 양호하였다는 연구결과와 유사한 결과로 판단된다 (Shin et al., 2006). 엽면/엽면의 처리구는 해당되지 않았다. 일반 토양에 비해 간척지에서의 엽면시비의 효율성이 높지 않은 것으로 파악된다. 따라서, 엽면시비 방법은 좀 더 세부적인 추가 연구가 필요한 것으로 생각된다.

Table 5. Barley growth and fugitive dust by sowing period.

| Treatment | Plant height (cm, May.6) | Coverage (%) | | Fugitive dust (g day ⁻¹) | | |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------|----------|--------------------------------------|--|------------------|
| | | (May.6) | (May.28) | Second period (May.12 - May.28) | Third period (May.28 - June.17) | |
| soil/soil | Urea G. † | 68.8 | 93.0 | 85.3 | 0.013c [§] ± 0.005 [¶] | 0.015bc ± 0.007 |
| | A.S. G. ‡ | 66.4 | 95.2 | 89.6 | 0.009c ± 0.005 | 0.012c ± 0.003 |
| soil/foliar | Urea. G | 62.9 | 93.3 | 83.1 | 0.012c ± 0.010 | 0.028a ± 0.006 |
| | A.S. G | 64.7 | 94.3 | 87.9 | 0.006c ± 0.001 | 0.020abc ± 0.003 |
| Fertilizer Treatment | Urea 1% | 41.5 | 48.3 | 70.8 | 0.038ab ± 0.010 | 0.019abc ± 0.003 |
| | Urea 5% | 38.1 | 53.3 | 68.2 | 0.029bc ± 0.003 | 0.018abc ± 0.005 |
| foliar/foliar | Urea 10% | 50.8 | 51.7 | 58.9 | 0.036ab ± 0.003 | 0.024ab ± 0.003 |
| | A.S. 1% | 31.8 | 41.0 | 80.2 | 0.054a ± 0.013 | 0.013c ± 0.003 |
| | A.S. 5% | 35.3 | 41.7 | 81.1 | 0.041ab ± 0.010 | 0.012c ± 0.003 |
| | A.S. 10% | 38.3 | 40.0 | 73.7 | 0.055a ± 0.017 | 0.012c ± 0.005 |
| Wind speed (ms ⁻¹) | Mean | | | | 2.52 | 2.10 |
| | Max | | | | 9.08 | 5.90 |
| | No. of 4 - 9 m s ⁻¹ | | | | 87 | 616 |
| | No. of 9 - 14 m s ⁻¹ | | | | - | 3 |

† Urea G (urea, fused phosphate, potassium chloride).

‡ A.S. G (ammonium sulfate, fused super phosphate, potassium sulfate).

§ Duncan's multiple range test data were analyzed by period.

¶ Standard deviation.

갈대 Table 6은 갈대의 토양처리별 생육 및 비산먼지량이다. 토양처리구가 엽면처리구에 비해서는 초장이나 경수가 더 양호하였다. 비종간에는 요소구보다는 유안구가 양호한 것으로 분석되었다. 갈대잔사량을 보면 토양보다는

Table 6. Growth and fugitive dust by treatment of reeds.

| Treatment | Plant height (cm) | | No. crop stems | | Reed residue (kg10a ⁻¹) (Spt.12) | Coverage (May.28) | Fugitive dust (g day ⁻¹) | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|---------|----------------|---------|--|-------------------|--|------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| | (May.6) | (Spt.1) | (May.6) | (Spt.1) | | | 2nd † (May.12 - May.28) | 3rd (May.28 - June.17) | 4th (June.17 - July.17) | 5th (July.17 - Aug.5) | 6th (Aug.7 - Spt.1) | 7th (Spt.1 - Oct.13) |
| | Soil/soil | | | | | | | | | | | |
| Urea. G [†] | 54.4 | 167.1 | 9.2 | 3.4 | 229 | 56.2 | 0.012a [§] ± 0.006 [¶] | 0.010a ± 0.005 | 0.218a ± 0.195 | 0.021ab ± 0.014 | 0.107a ± 0.055 | 0.013a ± 0.009 |
| A.S.G | 59.7 | 185.0 | 9.7 | 2.9 | 338 | 77.4 | 0.009a ± 0.003 | 0.012a ± 0.007 | 0.029a ± 0.016 | 0.017b ± 0.013 | 0.080ab ± 0.040 | 0.012a ± 0.004 |
| Foliar/ foliar | | | | | | | | | | | | |
| Urea 1% | 36.4 | 130.3 | 4.8 | 3.3 | 429 | 33.7 | 0.042a ± 0.041 | 0.016a ± 0.015 | 0.060a ± 0.014 | 0.038a ± 0.013 | 0.052ab ± 0.021 | 0.011a ± 0.007 |
| Urea 5% | 40.6 | 179.6 | 5.4 | 2.3 | 747 | 44.4 | 0.029a ± 0.015 | 0.012a ± 0.003 | 0.140a ± 0.190 | 0.016b ± 0.004 | 0.059ab ± 0.043 | 0.007a ± 0.001 |
| Urea 10% | 49.2 | 185.8 | 8.0 | 2.3 | 632 | 39.4 | 0.042a ± 0.011 | 0.014a ± 0.005 | 0.027a ± 0.004 | 0.026ab ± 0.014 | 0.073ab ± 0.030 | 0.009a ± 0.004 |
| A.S.G1% | 37.2 | 158.3 | 8.2 | 2.7 | 545 | 58.6 | 0.033a ± 0.028 | 0.011a ± 0.003 | 0.053a ± 0.060 | 0.013b ± 0.007 | 0.020b ± 0.001 | 0.004a ± 0.002 |
| A.S.G5% | 53.2 | 173.3 | 6.6 | 1.4 | 729 | 47.8 | 0.034a ± 0.013 | 0.012a ± 0.005 | 0.044a ± 0.046 | 0.011b ± 0.011 | 0.029b ± 0.008 | 0.004a ± 0.002 |
| A.S.G10% | 45.0 | 167.8 | 7.4 | 2.3 | 1037 | 21.4 | 0.044a ± 0.023 | 0.014a ± 0 | 0.055a ± 0.013 | 0.014b ± 0.007 | 0.031b ± 0.014 | 0.012a ± 0.005 |
| Wind speed (ms ⁻¹) | Mean | | | | | | 2.52 | 2.10 | 2.09 | 2.08 | 1.93. | 2.13 |
| | Max | | | | | | 9.08 | 5.90 | 6.97 | 6.03 | 8.46 | 11.80 |
| | No. of 4 - 9 m s ⁻¹ | | | | | | 87 | 161 | 204 | 125 | 224 | 385 |
| | No. of 9 - 14 m s ⁻¹ | | | | | | | 3 | 2 | 1 | 1 | 5 |

[†]Urea G (urea, fused phosphate, potassium chloride).

[‡]A.S. G (ammonium sulfate, fused super phosphate, potassium sulfate).

[§]Duncan's multiple range test data were analyzed by period.

[¶]Standard deviation.

엽면구에서 갈대잔사량이 많았으며, 요소구보다는 유안구의 갈대잔사량이 많았다. 비산면지량은 비종이나 처리방법 간에 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 5차시기 (7.17 - 8.5), 6차시기 (8.7 - 9.1)인 경우에만 엽면처리 유안 10%구가 다른 구에 비해 비산면지량이 적었다. 그러나, 전체적으로는 갈대의 처리구간에는 유의성이 없는 것으로 분석되었다.

Conclusion

새만금간척지는 식생이 조성되지 않은 노출지역의 경우에는 강풍에 의해 비산면지가 발생할 수 있다. 이러한 비산면지 발생을 저감하기 위해서 보리와 갈대의 토양관리 방법별로 시험을 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 김제 새만금간척지 광활지역의 풍속은 1 - 4월까지의 증가하다가 5 - 8월에는 감소하며, 9 - 12월에는 다시 소폭 상승하는 경향이였다. 특히 3 - 4월에 강한 바람이 집중된다. 따라서, 3 - 4월에 토양표면을 피복하는 것이 중요하다.

2. 보리 재배시 관개용수 염농도별 (0, 3, 6 dS m⁻¹)로 비산먼지 포집량은 1차시기 (4.24 - 5.6)에서는 0, 3 dS m⁻¹ 처리구가 6 dS m⁻¹ 처리구에 비해 통계적인 유의성이 있었으나, 2차시기 (5.12 - 5.28)와 3차시기 (5.28 - 6.17)에서는 통계적인 유의성이 인정되지 않았다.
3. 보리의 파종시기별 비산먼지 저감효과는 1차시기에서는 2, 4, 10, 12월 파종이 나지상태인 6, 8월에 비해 통계적 유의성이 있었고, 2차시기와 3차시기에도 6, 8월 파종처리에 비해 통계적 유의성이 있었다.
4. 통계적 유의성은 없었으나, 비종별 (유안구, 요소구)로 보리의 비산먼지 저감효과는 황산근이 있는 유안구 (유안-용과린-황산가리)가 요소구 (요소-용성인비-엽화가리)에 비해 양호하였다. 다만, 비료처리방법별 간에는 2차시기에서는 토양/토양, 토양/엽면구가 엽면/엽면구에 비해 처리구간에 통계적인 유의성이 있었다.
5. 갈대는 비종 및 비료처리방법 처리구간에 비산먼지 발생량의 통계적 유의성은 인정되지 않았다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Improvement of ground cover to mitigate fugitive dust on reclaimed land (Project No. PJ014244)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Cho, S.J., C.S. Park, and D.I. Eom. 1991. Soil science. Yangmoonsa. p304. <https://opendic.korean.go.kr/search/searchResult?query=%EB%B9%84%EC%82%80%EB%A8%BC%EC%A7%80>
- Hwang, S.W., J.H. Jung, J.K. Kang, K.D. Lee, J.H. Yoo, S.H. Yim, J.W. Choi, and, S.J. Kim. 2010. KSSSF Spring academic presentation proceeding. p.349-350.
- Hwang, H.S., I.B. Lee, M.H. Shin, S.W. Hong, I.H. Seo, J.I. Ryu, J.P. Bitog, K.S. Kwon, and Y.H. Kim. 2009a. Monitoring of the Fugitive and suspended dust dispersion an the reclaimed land and neighboring farms: Monitoring in Gimje. 2009. J. of The Korean Soc. of Agri. Engineers. 51(2):59-67.
- Hwang, H.S., I.B. Lee, M.H. Shin, G.Y. Lee, S.W. Hong, I.H. Seo, J.I. Ryu, J.P. Bitog, K.S. Kwon, and Y.H. Kim. 2009b. Monitoring of the Fugitive and suspended dust didpersion an the Saemangeum reclaimed land and neighboring areas. 2009. J. of The Korean Soc. of Agri. Engineers. 51(5):9-17.
- Hwang, H.S., I.B. Lee, M.H. Shin, S.W. Hong, I.H. Seo, J.I. Ryu, and S.K. Lee. 2008. Monitoring of the Fugitive and suspended dust dispersion an the reclaimed land and neighboring farms: Monitoring in Gunsan. 2008. J. of The Korean Soc. of Agri. Engineers. 50(4):39-50.
- Kim, C.S., J.W. Cho, and S.Y. Lee. 1993. Mechanisms of salt tolerance in Crop plants: II . Physiological responses of barley, rye, and Italian ryegrass seedling to NaCl concentration. Korean J. of Crop Science 38(5):391-397.
- Kim, S., J.H. Jeong, J.H. Lee, W.Y. Choil, Y.B. Lee. and I.B. Kim. 2013. Change of Vegetation Characteristics and soil chemical properties at Saemangeum Reclaimed land in Korea. Weed & Turfgrass Science 2(3):260-266.
- Kim, D.Y., S.J. Yim. H.M. Kwon, and J.H. Yim. 2010. Monitoring of Vegetation Coverage for Selecting Plants for Beach Revegetation. Korea Society of Civil Engineer. 30(5B)519-524.
- Kim, H.G. 2005. Optimization of fugitive dust control system for meterological conditions. Journal of Korean Society for Atmospheric Environment. 21(6):573-583.
- Lee, S.B., M.Y. Kim, Y.J. Kim, J.G. Jeon, Y.H. Choi. 2019. Effect of polyacrylamide concentration on flocculation for reclaimed soils. Academic Conference of Korean Society of Agricultural Engineering. p.254.

- Lee, Y.B., J.G. Kang, K.D. Lee, G.H. Gil, J.H. Lee, and J.D. Kim. 2008. Soil physicochemical properties of reclaimed land in Saemangeum. Spring Academic Presentation Proceeding. p.83.
- Park, H.C., Y.K. Shin, J.J. Uhm, B.K. Ahn, J. Ryu, and J.S. Choi. 2008. KSSSF Spring academic presentation proceeding. p.39.
- Seong, P.M., E.J. Song, D.B. Lee, and N.J. Jung. 2019. Academic conference. of Korean crop society. p.35.
- Shin, J.S., W.H. Kim, S.H. Lee, and Y.C. Lim. 2006. Effects of Urea and Ammonium Sulfate Application on Yield and Nutritive Value of Whole Crop Barley in Reclaimed Tideland. Journal of the Korean Society of Grassland Science. 26(1)25-30.
- Soh, Y.M., G.Y. Jeon, J.D. Song, J.H. Lee, and M.E. Park. 2009. Effect of Soil Salinity Variation on the Growth of Barley, Rye and Oat Seeded at the Newly Reclaimed Tidal Lands in Korea. KSSSF 42(6):415-422.
- 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.
- Sonn, Y.K., B.H. Seo, W.R. Goh, S.H. Jeon, B.K. Hyun, and S.G. Yun. 2019. Consideration of Suffix symbol on Soil Taxonomy and World reference base for soil resources classification. Korean J. Soil Sci. Fert. 52(4):345-351.
- Yoon, Y.E., J.H. Kim, and Y.B. Lee. 2019. Evaluation of Barley-hairy vetch mixed cropping as green manure for biomass and nitrogen production. Korean J. Soil Sci. Fert. 52(1):70-75.