

염화칼슘 제설제 고농도 처리에 따른 토양개량제와 참억새 식재 처리가 염류저감 및 생육개선에 미치는 영향*

주진희¹⁾ · 양 지²⁾ · 박선영²⁾ · 윤용한¹⁾

¹⁾ 건국대학교 녹색기술융합학과 교수 · ²⁾ 건국대학교 대학원 녹색기술융합학과 학생

Effects of Soil Amendments and Planting *Miscanthus sinensis* on Salt Reduction and Growth Improvement in Substrate irrigated with High Concentration of Calcium Chloride Deicing Salts

Ju, Jin-Hee¹⁾ · Yang, Ji²⁾ · Park, Sun-Young²⁾ and Yoon, Young-Han¹⁾

¹⁾ Department of Green Technology Convergence, College of Science Technology, Konkuk University, Professor,

²⁾ Department of Green Technology Convergence, College of Science Technology, Graduate School of Konkuk University, Student.

ABSTRACT

Contamination of soil by deicing salt is among the important environment problems due to their toxicity and negative impact to human health and the environment. One of the effective methods for cleaning the soil from deicing salts is desalination using soil amendment-phytoremediation continuum treatment. The purpose of this study was to determine how much of the pH, EC control and Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , and K^+ taken up soil amendments and *Miscanthus sinensis*, and to evaluate the effect of salt reduction and growth improvement as affected by soil amendment in high concentration of calcium chloride (CaCl_2) deicing salts. Results indicated that the addition of soil amendments was decrease the

* 본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2018R1A1A3A04079467)

First author : Ju, Jin-Hee, Department of Green Technology Convergence, College of Science Technology, Konkuk University-Glocal Campus, Professor,
Tel : +82-43-840-3541, E-mail : jjhkcc@kku.ac.kr

Corresponding author : Yoon, Young-Han, Department of Green Technology Convergence, College of Science Technology, Konkuk University-Glocal Campus, Professor,
Tel : +82-43-840-3538, E-mail : yonghan7204@kku.ac.kr

Received : 30 July, 2019. **Revised** : 2 November, 2019. **Accepted** : 30 October, 2019.

EC and pH, also significantly reduce the leaching of Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , a chloride ions related deicing salts, compared to the control for CaCl_2 10 g/L treatment. It also resulted in an enhanced plant growth and higher plant height, leaf length, leaf width, number of leaves, fresh weight and dry weight in Hydroball treatment + *Miscanthus sinensis* planting continuum treatment compared to the treatment that planted *Miscanthus sinensis* only. Therefore, we concluded that soil amendments might be attributed to an accumulation of deicing salts in the roadside soil, resulting in the improvement of *Miscanthus sinensis* growth.

Key words : Chloride-based Salts, Deicing Salt Contamination, Exchangeable Cations, Roadside Soil

I. 서 론

겨울철 가로변 눈이나 얼음을 녹이는 제설제는 도시 내 밀집된 도로망 체계와 대기 중의 비산으로 인해 주변 식생과 토양에 치명적이다(Cunningham et al., 2008). 특히, 가로변 토양은 일반적으로 염도가 높을 뿐 아니라, 강우 시 인근 수계로 이어져 생물 및 인간의 건강까지 부정적인 영향을 미칠 수 있다(William and Rick, 2017). 현재 간척지를 중심으로 자연강우, 관개설비, 멀칭(mulching), 토양개량제를 이용한 방법 등의 제염 방법이 적용되고 있다(Jeon et al., 2017; Kim et al., 2017; Park et al., 2016). 이는 토양 내 염분 농도의 지속적인 관리를 위해 투수성을 높여 배수 성능을 향상시킴으로써 강우 시 제염에 유리한 물리적 구조를 조성하는 것이다. 특히, 토양개량제는 토양의 물리적, 화학적, 생물학적 조건을 개선하기 위하여 사용되며, 무기질계, 유기질계, 고분자계로 구분된다. 이중 무기질계 토양개량제는 일반적으로 다공질의 소재가 많고 표면적이 넓어 토양의 보수성 증가 외에 투수성, 통기성을 개량하는 효과가 유기질계 토양개량제보다 지속적이라는 특징을 가지고 있다(Kim, 2015). 이에 석고, 퇴비, 인산 등(Seo and Yun, 2015)과 석탄회와 골패각 등(Kim et al., 2018)이 염류 제거용 토양개량제로 검증된 바 있다. 하지만 이들 연구는 주로 염화

나트륨(NaCl) 간척지의 작물재배를 위한 토양개량제로서 평가되었기 때문에 염화칼슘(CaCl_2) 제설제의 살포로 인한 가로변 토양에 적용하는데 한계가 있다고 본다. 최근 염화칼슘 제설제 피해저감을 위한 토양개량제로서 목탄(biochar), 석고, 유기산, 두엄, 퇴비 등이 주목되고 있으나(Sean et al., 2013; Shaimaa et al., 2012), 좀 더 다양한 제염용 토양개량제 소재개발이 필요하다고 하겠다.

한편, 참억새(*Miscanthus sinensis*)는 벼과 다년생 식물로서 척박한 환경에서 잘 자랄뿐 아니라, 가을 개화기의 심미적 경관요소로 높게 평가되고 있다(Choung, 2002). 또한 종자번식과 지하경, 포복경, 인경 등 영양번식으로 생산되기 때문에 수평적으로 면적을 확대할 수 있어 각 지역에 광범위하게 분포하고 있다(Park and Choi, 2018). 실제 염화칼슘 제설제 농도별 처리에서 내염성과 제염기능이 높은 것으로 보고되고 있으나 10 g/L의 고농도 처리에서는 생육이 불량한 것으로 나타나(Ju et al., 2019), 토양개량제와의 복합 처리에 따른 생육개선 효과를 살펴볼 필요가 있다.

매년 지속되는 제설제로 발생할 수 있는 가로변 토양의 높은 염도는 식물의 생육에 직접적인 영향을 미치기 때문에(Corsi et al., 2010), 가로변을 완충식생대로 이용하기 위해서는 배수성능의 개선과 염분농도의 지속적인 관리가 필요

하다. 이러한 측면에서 증산능력이 뛰어난 식물로 피복하면 모세관을 통한 염의 상승을 효과적으로 방지할 수 있다고 볼 때(Yeo et al., 2011), 토양개량제-식물 간의 복합적인 제염방법은 장기적인 제염 뿐 아니라 재염화 방지에 보다 효율적인 대책이라고 생각한다.

이에 본 연구는 고농도의 염화칼슘 제설제 처리에서 토양개량제-참억새의 단독 또는 복합처리에 따른 제염 및 생육개선 효과를 살펴봄으로써 단기 제염을 위한 방지 대책 뿐 아니라 저비용이면서 지속가능한 제염 촉진방안을 제시하고자 한다.

II. 연구재료 및 방법

1. 토양 및 식물재료

제설제는 구입이 용이할 뿐 아니라 국내에서 겨울철에 제설제로 보편적으로 살포하고 있는 분말 염화칼슘(Oriental Chemical Industries., Korea)으로 하였다. 토양재료로 염화칼슘 처리 외에 이화학적 변수를 최소화하기 위해 코코피트 74.84%, 질석 15%, 흑운모 5%, 펄라이트 5%, 비료 0.158%, 습윤제 0.002%로 배합된 원예용상토(Hanpanseung, SamHwa GreenTech Co., LTD., Korea)를 사용하였다. 토양개량제는 시중에서 구입이 용이하며, 수경재배 시 정화 및 제염효과가 높을 뿐 아니라(Ju et al., 2019), 입자가 크고 다공질이기 때문에 흡착성이 높은(Paunpassanan et al., 2007; Sarpong et al., 2019), 활성탄(Chacoal Activated, Akuri Pure Chemicals Co., LTD, Japan)과 하이드로볼(주생토원, LTD, Korea) 등 2종류를 사용하였다. 식물재료로는 우리나라 자생초화류 중 환경적응성과 관상가치가 뛰어난 참억새(Choung, 2002)를 공식식물로 정하였다. 2018년 4월에 충남 천안시 병천면에 위치한 농장에서 초장이 약 15cm의 비교적 균일한 크기의 참억새(*Miscanthus sinensis*)를 구입한 후 전공유리온

실에서 30일을 순화시킨 뒤 처리구별로 정식하였다.

2. 실험구 조성방법

고농도 염화칼슘 제설제 처리 수용액 농도는 제설제가 직접적으로 닿는 눈의 염 농도 범위가 0.87~5.00%(Shin et al., 2010)인 것과 여러 번 살포된다는 점을 반영해 10 g/L(1.0%)로 하였다. 무처리인 대조구(Cont.)를 기준으로, 하이드로볼(H), 활성탄(AC), 참억새 식재(P), 하이드로볼 + 참억새 식재(H+P), 활성탄 + 참억새 식재(AC+P) 등 모두 6 처리구를 조성하였다. 토양개량제의 배합비율은 원예용상토 : 토양개량제 = 80 : 20(%)의 부피비율로 섞은 후 사용하였다. 직경 12 cm인 플라스틱 포트 배수구에 여과포를 깔 후 각각 100 g씩 충전하였으며, 각 화분 하부에 지름 15 cm의 플라스틱 받침대로 침출수를 고이게 하였다. 참억새를 식재한 처리구는 정식한 후 초기 활착을 위해 표면흙이 마르지 않을 정도로 1주일간 관수한 후 수용액 외에는 관수하지 않았다. 미리 조제한 고농도 염화칼슘 수용액은 2주 간격으로 1회씩 200 ml씩 총 6회 토양표면에 관수하였다. 각 처리구별로 유리온실 베드위에 3개씩 3반복으로 완전임의배치하였다.

3. 측정항목 및 분석방법

참억새는 4월에 정식한 후 활착이 완료되었다고 볼 수 있는 8월에 염류저감 및 생육개선 효과를 살펴보았다. 토양의 염류도를 구분하기 위한 지표로는 전기전도도와 SAR(나트륨 흡착비)가 가장 널리 사용된다(Cho et al., 2014). 이를 기준으로 토양개량제의 염류저감효과는 토양침출수의 산도, 전기전도도 등과 제설제의 주요성분으로 알려진 4가지 염화물계 치환성양이온(Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+)(Li et al., 2015)를 중심으로 분석하였다. 각 처리구별 침출수를 100 ml씩 채취한 후 5B여과지로 거른 후 산도는 pH

meter (ST-3100, OHAUS CORPORATION, USA), 전기전도도는 EC meter(ST-3100C, OHAUS CORPORATION, Eutech), 염화물계 치환성 양이온은 ICP(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer, Perkin-Elmer OES-5300DV)로 정량하여, 평균값과 표준오차를 산출하였다. 참억새를 식재한 처리구의 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, 건조중 등을 중심으로 생육적 특성을 살펴보았다. 초장은 식물의 기판을 기준으로 가장 끝이 되는 지점을 자로 재었다. 엽장, 엽폭 등은 중간엽을 선택한 후 디지털 캘리퍼스(Digital calipers, Korea)로, 엽수는 완전히 전개된 잎을 육안으로 세었다. 생체중은 각 처리구별로 식물체를 채취하여 증류수로 세척한 후 지상부와 지하부를 각각 분리하여, 건조물은 70°C의 열풍건조기(C-DF, Changshin Scientific Co., Korea)에서 더 이상의 건조무게가 변하지 않을 때까지 건조시킨 후 전자저울(FG-150KAL-H, AND, Korea)로 무게를 잰다. 각 처리구별 수집된 데이터는 PASW Statistics

18(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하여 Duncan 다중검정($p \leq 0.05$)으로 평균 간의 유의성을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양침출수의 이화학적 특성

1) pH, 전기전도도

토양개량제에 따른 침출수 pH를 살펴보면, 대조구(Cont.), 하이드로볼(H), 활성탄(AC) 처리구가 각각 6.16, 5.84, 6.25로, 대조구에 비해 하이드로볼 처리구에서 5.1% 감소한 반면, 활성탄 처리구에서는 1.5% 증가하였다. 참억새 식재에 따른 침출수 pH는 참억새(P), 하이드로볼+참억새(H+P), 활성탄+참억새(AC+P) 처리구가 각각 5.55, 5.36, 5.94로, 참억새 단독 처리구에 비해 하이드로볼+참억새 복합 처리구에서 3.5% 감소한 반면, 활성탄+참억새 처리구에서는 7.0% 증가하였다. 이에 침출수 pH는 활성탄(AC) 처리구에서 가장 높고, 하이드로볼+참억새(AC+P)

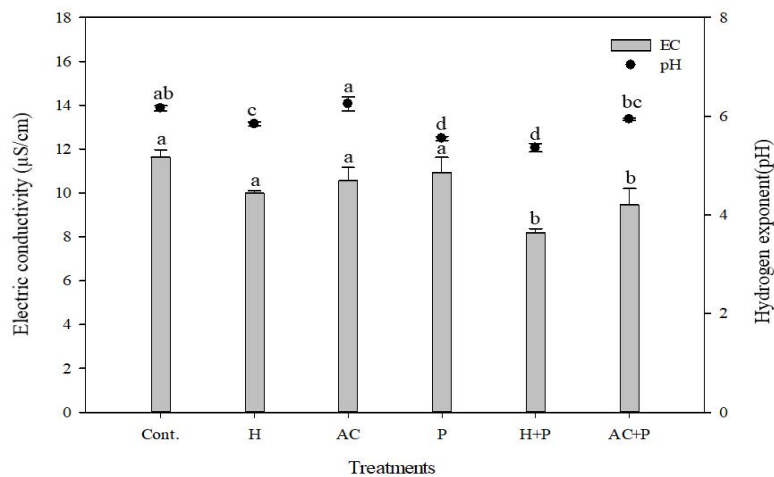


Figure 1. Electric conductivity and hydrogen exponent in the substrate leachate taken from *Miscanthus sinensis* as effected by soil amendment hydroball and active carbon. Vertical bars give the standard error (se) of the mean. Each sampling data column with the same letters was not significantly different at $p \leq 0.05$ ($n = 9$). (Cont.; treatment with 10 g/L CaCl_2 solution, H; Cont. + hydroball treatment, AC; Cont. + active carbon treatment, P; Cont. + *Miscanthus sinensis* planting, H+P; Hydroball treatment + P, AC+P; Active carbon treatment + P).

처리구에서 가장 낮아 토양개량제-참억새 복합 처리가 토양개량제 단독 처리에 비해 pH가 낮아지는 경향을 보였다.

전기전도도 또한 Cont., H, AC, P, H+P, AC+P 처리구에서 각각 11.62, 9.99, 10.57, 10.94, 8.17, 7.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 대조구에 비해 각각 14.0, 9.04, 5.8, 29.7, 36.9% 감소하였다. 이에 Cont. > P > AC > H > H+P > AC+P 순으로 대조구에서 가장 높고, 활성화탄+참억새 처리구에서 가장 낮아 이 또한 토양개량제-참억새 복합 처리구에서 가장 낮은 것으로 조사되었다 (Figure 1 참조).

식물의 생육에 적합한 pH 범위가 5.5~7.0이고 (Jun et al., 2011), 7.5~8 이상으로 높아지면 생육이 억제될 뿐 아니라 암모늄 이온 NH_4^+ 휘발에 의해 질소 손실의 원인이 될 수 있다 (Oh et al., 2018). 처리구별 pH는 생육에 큰 지장이 없는 것으로 보이나, 토양개량제 단독 처리에 비해 토양개량제-참억새 복합 처리구가 좀 더 안정된 pH를 보였다. 한편, 간척지 토양을 전기전도도에 의한 토양염류도 구분에 있어서 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이하는 비염류성, 2~4는 약염류성, 4~8은 중염류성, 8~16은 강염류성, 16이상은 극염류성으로 나뉜다고 볼 때 (Cho et al., 2014), 대부분의 처리구가 중염류성에 속한다고 볼 수 있다. 식물생육에 있어서 2.25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 이상을 고농도라고 할 수 있으며 (Jun et al., 2011), 처리구의 전기전도도 범위는 이보다 2~11배 높은 수치라고 볼 때, 실제 식물이 생육하기가 어려운 범위라 할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 하이드로볼과 활성화탄 토양개량제-참억새 복합 처리구가 대조구에 비해 29.7~36.9% 더 낮게 나타나 고농도 염화칼슘 제설제 피해지역에서는 복합 처리가 단일 처리보다 전기전도도를 좀 더 안정감 있게 낮춰줄 수 있음을 시사하고 있다.

2) 염류계 치환성 양이온 함량

치환성 칼륨(K^+)의 경우 Cont.(287.61 g/ml),

H(272.09 g/ml), AC(393.71 g/ml)로 대조구에 비해 하이드로볼 처리구에서 5.4% 감소한 반면, 활성화탄 처리구에서는 오히려 36.8% 증가하였다. 반면, 참억새(P), 하이드로볼+참억새(H+P), 활성화탄(AC+P) 처리구에서는 234.95, 107.06, 166.82 g/ml로 대조구에 비해 각각 18.3, 62.7, 41.9 % 감소하였다. 이에 AC > Cont. > H > P > AC+P > H+P 순으로 활성화탄 단독처리구에서 가장 높았고, 하이드로볼+참억새 복합 처리구에서 가장 낮았다.

치환성 칼슘(Ca^{2+})은 Cont.(1,164.06 g/ml), H(840.30 g/ml), AC(715.20 g/ml), P(1,011.22 g/ml), H+P(754.01 g/ml), AC+P(505.44 g/ml)로, 대조구에 비해 각각 27.8, 38.5, 13.13, 35.22, 56.58%로 감소되어, 활성화탄+참억새 복합 처리구에서 가장 감소율이 높았다.

치환성 나트륨(Na^+)은 Cont.(152.86 g/ml), H(143.47 g/ml), AC(172.91 g/ml)로, 대조구에 비해 하이드로볼 처리구에서는 6.1% 감소한 반면, 활성화탄 처리구에서는 오히려 13.1% 증가하였다. 한편, 참억새, 하이드로볼+참억새, 활성화탄+참억새 처리구에서 각각 165.42, 143.24, 117.21 g/ml로, AC+P 처리구에서 가장 낮았다.

치환성 마그네슘(Mg^{2+})은 Cont.(96.15 g/ml), H(103.65 g/ml), AC(97.54 g/ml), P(97.88 g/ml), H+P(90.53 g/ml), AC+P(61.04 g/ml)로, H > P > AC > Cont. > H+P > AC+P 순으로 높았다. 이에 대조구에 비해 하이드로볼, 참억새, 활성화탄 단독 처리구에서 각각 소폭 증가한 반면, 하이드로볼+참억새, 활성화탄+참억새 등 복합 처리구에서는 각각 5.8, 36.5% 감소하였다.

한편, 토양침투수 내 염류계 치환성 양이온 함량을 측정 한 결과, 치환성 칼슘 > 칼륨 > 나트륨 > 마그네슘 순으로 치환성 칼슘이 다른 이온에 비해 가장 높은 수치를 보였다. 또한 토양개량제 단독 처리구보다 토양개량제+참억새 복합 처리구가 전반적으로 낮은 경향을 보임으로써 (Figure 2 참조), 활성화탄은 칼슘과 마그네슘 이

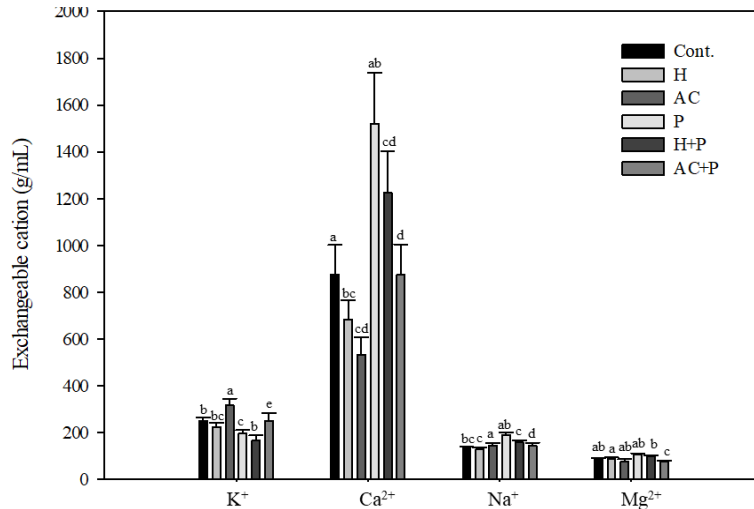


Figure 2. Levels of soil exchangeable cations (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , and Mg^{2+}) in the soil leachate samples taken from *Miscanthus sinensis* as effected by soil amendment hydroball and active carbon. Vertical bars give the standard error (se) of the mean. Each sampling data column with the same letters was not significantly different at $p \leq 0.05$ ($n=15$). (Cont.; treatment with 10 g/L $CaCl_2$ solution, H; Cont. + hydroball treatment, AC; Cont. + active carbon treatment, P; Cont. + *Miscanthus sinensis* planting, H+P; Hydrball treatment + P, AC+P; Active carbon treatment + P).

온을, 하이드로볼은 나트륨과 칼륨 이온을 더 많이 흡착하는 것으로 조사되었다.

실제 활성탄(activated carbon)은 화학적 또는 물리적 방법에 의해 흡착성을 높인 분상 또는 입상의 탄소로, 수중에 존재하는 유해한 물질들을 흡착하는 방식에 널리 활용되고 있다. 특히, 수경재배 시 염소를 흡착해 개운죽(*Dracaena braunii*)의 생육 및 생리적 측면에 긍정적인 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(Ju et al., 2019). 하이드로볼 또한 800°C 전후의 온도에서 점토를 구운 다공질의 소재로(Jang et al., 2010), 토양 내 치환성양이온의 흡착 및 방출의 균형을 조절하는 식재재료로 사용되고 있어(Binner et al., 2017), 추후 제염효과 및 생육개선을 위한 토양개량제로서 적용가능성이 높다고 할 수 있다.

2. 생육적 특성

고농도 염화칼슘 제설제 처리에 따른 참억새의 초장을 살펴본 결과, P(45.84 cm), H+P(54.81 cm), AC+P(38.01 cm)으로 참억새 단독 처리구

에 비해 하이드로볼+참억새 복합 처리구에서는 약 20% 증가한 반면, 활성탄+참억새 처리구에서는 약 17% 유의적으로 감소하였다.

엽장은 P, H+P, AC+P 처리구가 각각 26.33, 27.94, 27.50 cm로 유의적 차이가 없는 한편, 엽폭은 0.47, 0.69, 0.50 cm로, 하이드로볼+참억새 처리구에서 가장 높았다. 엽수의 경우, P(20.9개), H+P(21.4개), AC+P(10.2개)로 H+P > P > AC+P 순으로 높아 활성탄+참억새 복합 처리구가 참억새 단독 처리구보다 좀 더 높은 수치를 보였다(Table 1, Figure 3 참조).

결과를 정리하면, 참억새의 초장, 엽장, 엽폭, 엽수 등 외형적인 생육에 있어서 하이드로볼이 활성탄 토양개량제 처리에 비해 효과가 높아 제염 및 생육개선에 긍정적인 효과가 있는 것으로 보인다.

토양 염농도가 높을수록 생육 및 생산성이 저조한 이유는 염류집적에 의해 토양 내 삼투압의 증가로 염이 물 분자를 끌어 당겨 식물의 수분 흡수가 저해되기 때문이다. 이에 따라 수분결핍

Table 1. Plant height, leaf length, leaf width, and number of leaves of the *Miscanthus sinensis* as affected by soil amendment hydroball and active carbon in the high deicing salts accumulation substrate (CaCl₂ 10 g/L).

Treatments	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves
P ^y	45.84 b ^z	26.33 a	0.47 b	20.90 a
H+P	54.81 a	27.94 a	0.69 a	21.40 a
AC+P	38.01 c	27.50 a	0.50 b	10.20 b

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

^y P; *Miscanthus sinensis* planting, H+P; Hydrball treatment + P, AC+P; Active carbon treatment + P.

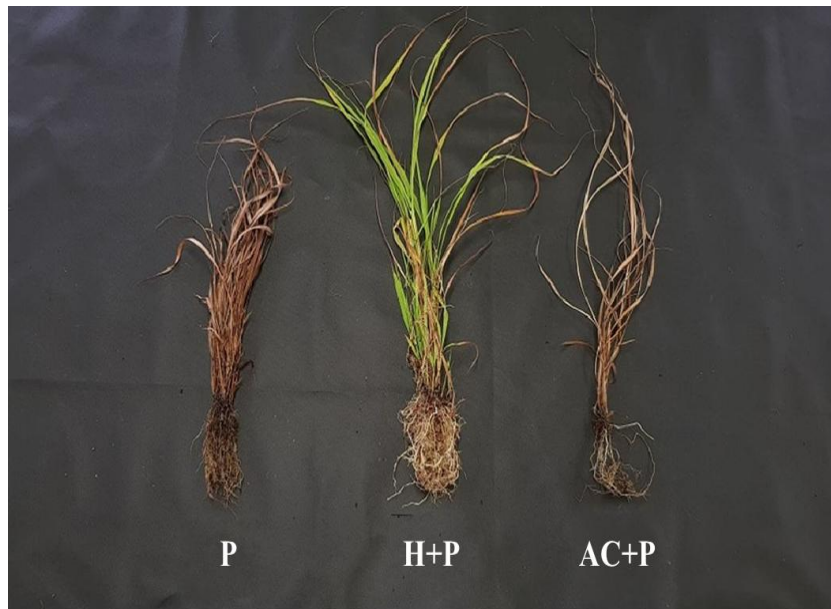


Figure 3. Effect on growth of the *Miscanthus sinensis* as affected by soil amendment hydroball and active carbon in the high deicing salts accumulation substrate (CaCl₂ 10 g/L). P; *Miscanthus sinensis* planting, H+P; Hydrball treatment + P, AC+P; Active carbon treatment + P.

은 물론 특정이온의 비정상적 과다 흡수에 의한 이온 특이적 효과, 그리고 이 두 가지 원인이 복합적으로 작용한 현상으로 설명되고 있다. 특히, 과다한 Na⁺의 흡수는 다른 양분의 흡수도를 저해함으로써 양분 결핍을 야기하기도 하는데 고염도에서는 Na⁺와 K⁺간 길항작용으로 생육저해를 받기도 한다(Lee et al., 2013). 고농도 염화칼슘 제설제 처리 하에서 참억새 생육의 생육은 하이드로볼이 대조구보다 개선효과가 비교적 뚜렷한데 비해, 활성탄은 오히려 생육이 좀 더

저조한 결과를 보였다. 이는 하이드로볼이 활성탄에 비해 입자가 크고 다공질로 되어 있어 (Paunpassanan et al., 2007), 토양 내 투수성을 높일 뿐 아니라 과다한 염류계 치환성양이온을 흡착해 참억새 생육개선에 긍정적인 효과를 준 것으로 해석된다.

지상부의 생체중은 P(6.92 g), H+P(8.10 g), AC+P(2.15 g), 건물중은 P(2.60 g), H+P(3.52 g), AC+P(0.99 g)으로 하이드로볼+참억새 처리구에서 가장 높게, 활성탄+참억새 처리구에서 가

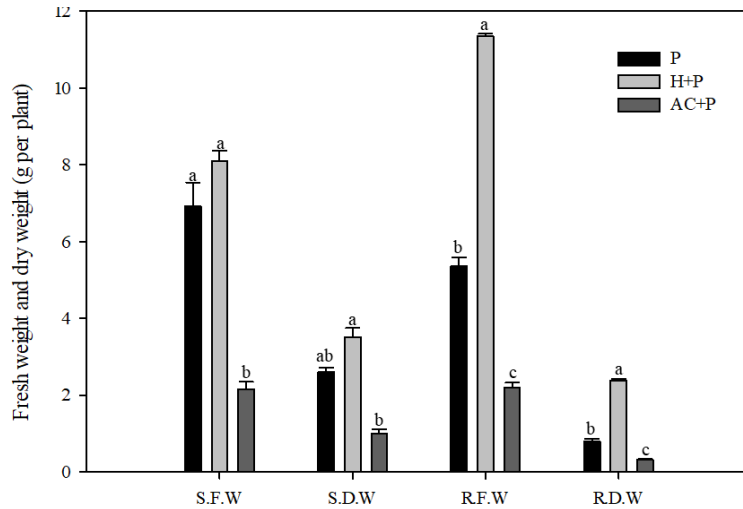


Figure 4. Fresh weight and dry weight of *Miscanthus sinensis* as affected by soil amendment hydroball and active carbon in the high deicing salts accumulation substrate (CaCl_2 10 g/L). Vertical bars give the standard error (se) of the mean. Different letters in one measurement indicate statistically significant difference at $p \leq 0.05$ by Duncan multiple range test. (P; *Miscanthus sinensis* planting, H+P; Hydroball treatment + P, AC+P; Active carbon treatment + P., S.F.W; shoot fresh weight, S.D.W; shoot dry weight, R.F.W; root fresh weight, R.D.W; root dry weight).

장 낮았다. 이는 생체중의 경우 참억새 단독 처리구를 기준으로 H+P 처리구가 약 17% 증가한 반면, AC+P 처리구에서는 69% 감소한 결과이다. 지하부 생체중의 경우, P(5.36 g), H+P(11.35 g), AC+P(2.20 g), 건물중은 P(0.80 g), H+P(2.39 g), AC+P(0.32 g)로 하이드로볼+참억새 복합 처리구가 참억새 단독 처리구에 비해 1~2배 높은 수치이다. 특히, 하이드로볼 토양개량제 처리는 지상부보다 지하부에서, 생체중보다 건물중에서 그 차이가 비교적 뚜렷하게 나타났다(Figure 4 참조).

이렇듯 고농도 염화칼슘 처리에서 지상부보다는 지하부의 현존량이 높았던 이유는 지상부의 엽면적을 감소함으로써 증산율을 억제하는 반면 뿌리의 수분흡수력을 확장 시킴으로써 염스트레스에 대한 참억새의 생육적 반응이라고 해석된다. 일반적으로 염 스트레스에 의해 식물의 잎, 줄기, 뿌리의 생체중 및 건물중이 감소되는 것이 일반적이나(Ju et al., 2016), 하이드로볼 토양개량제 처리구에서는 참

억새 단독 처리구보다 생육이 양호한 결과를 보여주고 있어, 제염효과를 극대화하고 식물의 생육을 개선하기 위해서는 토양개량제-식물 식재를 복합 처리한 복원기술 현장적용이 바람직할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 고농도 염화칼슘 처리에서 토양개량제 단일처리와 내염성 자생초화류와의 복합 처리에 따른 염류저감과 생육개선 효과를 알아보기 위해 토양 내 침출수 및 참억새의 생육을 분석하였다. 염화칼슘 10 g/L의 고농도 수용액을 처리한 대조구(Cont.)를 기준으로, 하이드로볼(H), 활성탄(AC) 등 토양개량제 단일 처리구와 참억새 식재(P), 하이드로볼 + 참억새 식재(H+P), 활성탄 + 참억새 식재(AC+P) 등 토양개량제-참억새 복합 처리구 등 총 6가지 처리구를 조성하였다. 토양에 수용액을 총 3회, 2주 간격으로 토양표면에 관수 한 후 토양침출수의 산

도, 전기전도도, 염화물계 양이온(Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+}) 등을 분석하였다. 또한 참억새의 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 지상부 및 지하부 생체중과 건물중 등 생육특성을 조사하였다.

토양침출수 pH는 AC > Cont. > AC+P > H > P > H+P 처리구 순으로 활성탄 처리구에서 가장 높고, 하이드로볼+참억새 처리구에서 가장 낮은 반면, 전기전도도는 Cont. > P > AC > H > H+P > AC+P 순으로 대조구에서 가장 높고, 활성탄+참억새 처리구에서 가장 낮았다. 토양침투수 내 염류계 치환성 양이온 함량을 측정된 결과, 치환성 칼슘(Ca^{2+}) > 칼륨(K^+) > 나트륨(Na^+) > 마그네슘(Mg^{2+}) 순으로 분석되어 치환성 칼슘이 다른 이온에 비해 가장 높은 수치를 보였다. 또한 토양개량제 단독 처리구보다 토양개량제+참억새 이중 처리구가 고농도 염화칼슘 제설제를 처리한 대조구에 비해 유의적으로 낮은 경향을 보였다. 특히, 나트륨과 마그네슘 이온은 활성탄+참억새 처리구에서, 칼륨과 칼슘은 하이드로볼+참억새 처리구에서 가장 낮았다.

참억새의 초장, 엽장, 엽폭, 엽수 등 외형적인 생육에 있어서 하이드로볼이 활성탄 토양개량제 처리에 비해 긍정적인 효과가 있는 것으로 분석되었다. 지상부와 지하부의 생체중과 건물중 모두 하이드로볼+참억새 복합 처리구에서 가장 높았고 지상부보다 지하부에서, 생체중보다 건물중에서 그 차이가 비교적 유의적으로 뚜렷하였다.

이에 고농도의 염화칼슘 제설제 처리에서는 토양개량제 단일 처리보다는 토양개량제-참억새의 복합 처리구에서, 하이드로볼이 활성탄보다 염류저감 및 생육개선 효과가 뚜렷하다는 것을 알 수 있다. 억새류는 열악한 환경조건에 적응력이 강하고 일반 초본류에 비해 생육이 빨라 조기 녹화에 유리할 뿐 아니라 미적 요소를 가지고 있어 최근 공원과 정원에 필수적인 소재로 각광받고 있다. 이러한 추세로 볼 때, 참억새의 활용도는 높아질 것으로 보이며, 특히 고농도

제설제 오염지라고 할 수 있는 가로변의 경우 하이드로볼+참억새 복합 처리구에서 제염 및 생육개선 효과가 더 있을 것으로 보인다. 이러한 결과는 대표적인 제설제 오염지인 가로변에 토양개량제-식물을 통한 soil-plant continuum(SPC) 관리방안에 있어서 현장적용 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- Binner, I.·S. Dultz·M. Schellhorn and M. K. Schenk. 2017. Potassium adsorption and release properties of clays in peat-based horticultural substrates for increasing the cultivation safety of plants. *Applied Clay Science* 145, 28-36.
- Cho, M. K.·B. J. Lee·S. H. Mun·H. S. Kim and J. Y. Sung. 2014. Comparative study of soil salinity distribution in the two different reclaimed area. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment proceeding*. 2014, 160-161. (In Korean)
- Choung, Y. S. 2002. Distribution and performance of *Miscanthus sinensis* community in Mt. Mindung, Kangwon Province, Korea. *Korean J. Ecol.* 25(1), 33-37. (In Korean with English summary)
- Corsi, S. R.·D. J. Graczyk·S. W. Booth and K. D. Richards. 2010. A fresh look at road salt: aquatic toxicity and water-quality impacts on local, regional, and national scales. *Environ. Sci. Technol.* 44, 7376-7382.
- Cunningham, M. A.·E. Snyder·D. Yonkin·M. Ross and T. Elsen. 2008. Accumulation of deicing salts in soils in an urban environment. *Urban Ecosyst.* 11, 17-31.
- Jang, H. S.·S. G. Lee·J. H. Moon and C. H. Park. 2010. Growth of *Syngonium podophyllum* in

- drainless containers fitted with drainage layers. Korean Journal of Horticultural & Technology 28(2), 192-199. (In Korean with English summary)
- Jeon, J. H. · D. G. Kim · T. J. Kim · Y. H. Son and H. Y. Um. 2017. Assessing change in characteristics of reclaimed soil with soil conditioner treatment and field monitoring. Korean Society of Agricultural Engineers proceeding 2017, 176-176. (In Korean)
- Ju, J. H. · X. Hui · J. Y. Park · E. Y. Choi and Y. H. Yoon, 2016. Evaluation of salt tolerance of *Liriope plantyphylla* and *Pachysandra terminalis* to deicing salt (CaCl₂) concentration in winter. Korean J. Environ. Ecol. 30(4), 651-657. (In Korean with English summary)
- Ju, J. H. · H. M. Son · W. T. Kim and Y. H. Yoon. 2019. Effects of activated carbon on growth and physical responses of indoor plant *Dracaena braunii* to alleviate salt-induced stress in water culture. Journal of Environmental Science International 28(3), 321-328. (In Korean with English summary)
- Ju, J. H. · J. Yang · S. Y. Park and Y. H. Yoon, 2019. Assessing effects of calcium chloride (CaCl₂) deicing salt on salt tolerance of *Miscanthus sinensis* and leachate characterization. J. KILA. 47(4), 61-67. (In Korean with English summary)
- Jun, H. J. · M. S. Byun · S. S. Liu and M. S. Jang. 2011, Effect of nutrient solution strength on pH of drainage solution and root activity of strawberry 'Sulhyang' in hydroponics, Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29(1), 23-28. (In Korean with English summary)
- Kim, W. T. 2015. Compare physicochemical properties of topsoil from forest ecosystems damage patterns. Korean J. Environ. Ecol. 29(6), 923-928. (In Korean with English summary)
- Kim, T. J. · D. G. Kim · J. H. Jeon and Y. H. Son. 2018. Permeability improvement of reclaimed soils by mixing ratio bottom ash and oyster shell. Korean Society of Agricultural Engineers proceeding 2018, 218-218. (In Korean)
- Kim, J. S. · D. G. Kim · I. K. Lee · J. H. Lee · Y. S. Lee · J. S. Chae and S. G. Park. 2017. The change of longitudinal salt movement in the soil according to the materials and place of salt movement prevent at Saemangum reclaimed land from the sea. J. KILA. 45(1), 117-126. (In Korean with English summary)
- Lee, S. B. · K. M. Cho · P. Shin · C. H. Yang · N. H. Back · K. B. Lee · S. H. Baek and D. Y. Chung. 2013. Effect of soil salinity on growth, yield and nutrients uptake of whole crop barley in newly reclaimed land. Korean J. Environ Agri. 32(4), 332-337. (In Korean with English summary)
- Li, F. · Y. Zhang · Z. Fan and K. Oh. 2015. Accumulation of de-icing salts and its short-term effect on metal mobility in urban roadside soils. Bull. Environ. Contm. Toxicol. 94: 525-531.
- Mun, H. T. · B. K. Park and J. H. Kim. 1997. Response of plants and changes of soil properties to added acid-soil ameliorants. Korean J. Ecol. 20(1), 43-49. (In Korean with English summary)
- Oh, Y. Y. · J. T. Lee · H. C. Hong · J. H. Kim · W. D. Seo · S. Kim · J. H. Ryu · S. H. Lee and Y. J. Kim. 2018. The selection of proper resource and change of salinity in *Helianthus tuberosus* L. cultivated in Saemangeum reclaimed tidal land. Korean J. Environ Agri. 37(2), 73-78. (In Korean with English summary)

- Paunpassanan, D.·W. Sunanta·T. Sakdiphon·S. Ponlayuth and A. Arquero. 2007. Adsorption behavior of potassium ion on planting materials. *Chinese Journal of Chemistry* 25(9), 1229-1232.
- Park, S. G. and S. H. Choi. 2018. A study on the growth environment characteristics of the *Miscanthus sinensis* community and the presumed economic value of the *Miscanthus sinensis* community landscape conservation. *Proc. Korean Soc. Environ. Ecol. Con.* 28(1): 29-30. (In Korean)
- Park, B. B·J. K. Byun·M. S. Cho·S. H. Han·M. H. Jung·S. B. Kim and K. K. Bae. 2016. The effects of soil improvements on growth and tissue nutrient concentrations of *Fraxinus rhynchophylla* and *Pinus densiflora* seedlings in a nursery. *J. Korean Env. Res. Tech.* 19(2), 41-54. (In Korean with English summary)
- Ra, D. G.·E. S. Kim·C. J. Cheong·S. C. Jung and G. D. Lee. 2008. Comparison of methylene blue adsorption by activated carbon. *J. of Korean Society for Environmental Technology* 9(1), 75-79.
- Sarpong, K. A.·A. Amiri·S. Ellis·O. J. Idowu and C. E. Brewer. 2019. Short-term leachability of salts from Atriplex-derived biochars. *Science of the Total Environment* 688, 701-707.
- Sean, C. T.·F. Susan·G. Nigel·G. Matthew·L. Rebecca·M. Ntasha·M. Sarah·M. Jessica·P. Alexandre and W. Carolyn. 2013. Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. *Journal of Environmental Management* 129: 62-68.
- Seo, D. H. and S. I. Yun. 2015. Effect of gypsum, compost, and phosphate on removal of salts in a reclaimed tidal land soil. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment proceeding.* 2015, 323-323. (In Korean)
- Shaimaa, H. A. E.·M. A. M. Mostafa·T. A. Taha·M. A. O. Elsharawy and M. A. Eid. 2012. Effect of different amendments on soil chemical characteristics, grain yield and elemental content of wheat plants grown on salt-affected soil irrigated with low quality water. *Annals of Agricultural Science* 57(2): 175-182.
- Shin, S. S.·S. D. Park·H. S. Kim and K. S. Lee. 2010. Effects of calcium chloride and eco-friendly deicer on the plant growth. *Korean Society of Environmental Engineers* 32(5): 487-496. (In Korean with English summary)
- Sung, J. Y.·M. K. Cho·Y. T. Son·I. J. Lee and T. H. Lee. 2018. A study on the correlation between E_{Ce} and Ionic Concentrations of reclaimed soil. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment proceeding.* 2018, 237-237. (In Korean)
- William, I. H. and A. R. Rick. 2017. Impact of road deicing salts on the early-life growth and development of a stream salmonid: Salt type matters. *Environmental Pollution* 223, 409-415.
- Yeo, J. K.·H. N. Shin·H. C. Kim and K. S. Woo. 2011. Growth characteristics and adaptability of three-year-lod poplar clones in a reclaimed tidal flat. *Journal of Agriculture & Life Science* 45(5), 17-23. (In Korean with English summary)