

염화칼슘 제설제 처리농도에 따른 참억새의 내염성 및 침출수 평가[†]

주진희* · 양지** · 박선영** · 윤용한*

*건국대학교 녹색기술융합학과 교수 · **건국대학교 대학원 녹색기술융합학과 대학원생

Assessing Effects of Calcium Chloride (CaCl₂) Deicing Salt on Salt Tolerance of *Miscanthus sinensis* and Leachate Characterizations

Ju, Jin-Hee* · Yang, Ji** · Park, Sun-Young** · Yoon, Yong-Han*

*Professor, Dept. of Green Technology Convergence, Konkuk University

**Graduate Student, Dept. of Green Technology Convergence Graduate School, Konkuk University

ABSTRACT

The purpose of this research is to evaluate the salt tolerance of the *Miscanthus sinensis* and to characterize the content of pigments in the leachate in relation to calcium chloride (CaCl₂) deicing salt. *Miscanthus sinensis* were cultured at five different concentrations of calcium chloride deicing salt, 0, 1, 2, 5, and 10 g·L⁻¹ (referred to Cont. C1, C2, C5, and C10) for four months. The salt tolerance and leachate while growing *Miscanthus sinensis* on soil which was artificially contaminated by calcium chloride deicing salt. Soil chemical properties (pH, E.C., Ca²⁺, Na⁺, K⁺, and Mg²⁺) and plant growth parameters (plant height, leaf length, leaf width, number of leaves, shoot fresh weight, root fresh weight, shoot dry weight, an root dry weight) were evaluated. Soil pH decreased, while electrical conductivity significantly decreased ($p \leq 0.05$) with a higher concentration of deicing salt 0 g·L⁻¹ (Cont.). The increase in the concentration of chloride-based exchangeable cations, along with the increase in the deicing salt treatments, were observed in Ca²⁺ > Na⁺ > K⁺ > Mg²⁺. Notably the Ca²⁺ exchangeable cations were 83~90% higher than the others. The growth of *Miscanthus sinensis* significantly increased ($p \leq 0.05$) with the concentration of deicing salt higher than 1 g·L⁻¹ (C1) when compared to 0 g/L (Cont.), except for the 10 g·L⁻¹ (C10) treatment. The results determined that the contamination of soil by deicing salt could negatively impact the soil and *Miscanthus sinensis* was a tolerant species for the deicing salts. Further research will be focused on soil improvement additives and the stable stimulated plant growth of *Miscanthus sinensis* and a formulation on that basis for the soil-plant continuum.

Key Words: Calcium Chloride, Deicing Salts, Miscanthus sinensis, Salt Tolerance, Roadside Soil

[†]: 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2018R1A1A3A04079467).

Corresponding author: Yong-Han Yoon, Professor, Dept. of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju-si 27478, Korea, Tel.: +82-43-840-3538, E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

국문초록

본 연구는 염화칼슘(CaCl_2) 처리농도에 따른 토양침출수 및 참억새의 생육 특성을 평가해 제설제 살포로 인한 토양의 화학적 변화를 분석하고, 참억새(*Miscanthus sinensis*)의 내염성을 살펴봄으로써 제설제의 대표적 피해지역인 가로변 식생 관리방안에 적용하고자 한다. 염화칼슘 처리농도는 0(Cont.), 1(C1), 2(C2), 5(C5), 10 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (C10) 등 총 5가지로 수용액을 조제해 참억새를 정식한 화분 토양에 1회 0.2L씩 2주 간격으로 총 6회 관주한 후 생육과 침출수의 특징을 분석하였다. 참억새를 식재한 토양침출수의 산도는 염화칼슘 처리농도가 높을수록 점차 완만하게 낮아진 반면, 전기전도도는 유의적으로 급증하는 경향을 보였다. 또한 염화물계 치환성 양이온의 함량은 전반적으로 증가하였으며, 치환성 칼슘 > 칼륨 > 나트륨 > 마그네슘 순으로 치환성 칼슘이 다른 이온에 비해 약 83~90% 높은 수치를 보였다. 참억새의 초장은 C10 처리구를 제외하고, C1~C5 처리구까지 유의적인 차이가 없었으나 엽장은 C5 처리구부터, 엽폭은 농도가 증가할수록 좁아지는 경향이 뚜렷했다. 반면, 엽수는 C10 처리구를 제외하고 C1~C5 처리구가 대조구에 비해 많아졌다. 참억새의 지상부와 지하부 생체중과 건물중 모두 C10 처리구를 제외하고 대조구에 비해 염화칼슘 처리농도가 높을수록 증가되었으며, 지상부 보다는 지하부의 증가세가 높았다. 이러한 결과로 볼 때, 가로변 염화칼슘 제설제의 지속적인 살포는 토양 내 산도 및 전기전도도, 염화물계 치환성 양이온에도 영향을 미칠 수 있음을 예측할 수 있다. 또한 참억새는 C10 처리구를 제외하고, 대조구에 비해 지상부 및 지하부의 생육이 양호해 제설제로 오염된 가로변 토양에서도 현장적용이 가능할 것으로 본다.

주제어: 염화칼슘, 제설제, 참억새, 식물재배정화기법, 가로변

1. 서론

제설제란 겨울철 눈이나 얼음을 녹이는 화학약품으로, 종류로는 염화칼슘(CaCl_2), 염화나트륨(NaCl), 염화마그네슘(MgCl_2), 염화칼륨(KCl) 등이 있다(William *et al.*, 2015). 이중 염화칼슘은 염화나트륨보다 염소이온이 낮고, 발열량이 높아 단기간에 눈을 녹일 뿐 아니라, 가격이 저렴하다는 장점을 가지고 있어 국내에서는 1980년 중반부터 사용하기 시작하여 그 사용량이 꾸준히 증가되고 있다(Kim and Lee, 2014). 염화칼슘의 칼슘(Ca^{2+})과 염소(Cl^-)이온은 식물의 필수영양소임에도 불구하고, 그 사용량이 과도할 경우, 가로변 주변의 토양을 염류화 시킴으로써 주변 식생과 환경에 악영향을 주는 것이 사실이다. 특히 토양 내 특정 양이온의 증가를 유도할 수 있어(Stephanie and David, 2005), 한계량 이상을 식물이 흡수할 경우, 생리장애, 영양불균형, 삼투압포텐셜 감소 등의 직접적인 영향을 줄 수 있다(Nisha *et al.*, 2013). 이에 국내에서는 산딸나무(*Cornus kousa*) (Sung *et al.*, 2009), 산벚나무(*Prunus sargentii*) (Sung *et al.*, 2010), 복자기(*Acer triflorum*) (Kwon *et al.*, 2014), 사철나무(*Euonymus japonica*), 영산홍(*Rhododendron indicum*), 회양목(*Buxus koreana*) (Ju *et al.*, 2016a), 맥문동(*Liriope platyphylla*)과 수호초(*Pachysandra terminalis*) (Ju *et al.*, 2016b), 벚나무(*Prunus serrulata*) (Je and Kim, 2016), 스트로브잣나무(*Pinus strobus*) (Je and Kim, 2017) 등에 대한 생육적 내성 및 적응반응을 살펴보았다. 한편, 최근 도로변 식생형 LID(Low impact development) 시설 내 식물들의 내염성 정도를 평가한 결과,

목본류는 영산홍(*Rhododendron indicum*) > 조팝나무(*Spiraea prunifolia* var. *simpliciflora*) > 메타세콰이어(*Metasequoia glyptostroboides*) 순으로, 초본류는 애기별꽃(*Pratia pedunculata*) > 매발톱꽃(*Aquilegia japonica*) > 천수국(*Tagetes erecta*) > 등근잎비름(*Sedum makinoi*) > 비비추(*Hosta longipes*) > 패랭이꽃(*Dianthus chinensis*) > 맥문동(*Liriope platyphylla*) 순인 것으로 조사되었다(Choi *et al.*, 2018). 하지만 염화칼슘 관련 내염성 수준 탐색이 목본류에 집중되어 있고, 현황조사에 그치고 있어, 제설제로 오염된 가로변 토양을 제염시킬 뿐 아니라 경관성을 향상시킬 수 있는 내염성 초본류에 대한 탐색은 지속될 필요가 있다(Liang *et al.*, 2018).

참억새(*Miscanthus sinensis*)는 벼과의 다년생 식물로서 척박한 환경에서 잘 자랄 뿐 아니라, 가을 개화기의 심미적 경관 요소로 높게 평가되고 있다(Choung, 2002). 또한 참억새군락은 유성생식과 동시에 지하경, 포복경, 인경 등 영양생식으로 생산된 라메트(ramet) 또는 모듈 수의 증가를 통해 수평적으로 면적을 확대할 수 있기 때문에 각 지역에 광범위하게 분포하고 있다(Choung, 1993; Park and Choi, 2018). 이외에도 참억새군락의 우점도 증가는 수분이용효율과 생산성 측면에서 지상에 탄소축적량 증가에 기여할 수 있다고 보고 있기 때문에(Lee, 2004), 건조한 척박지의 재생이나 에너지 자원으로 활용되고 있다(Choung, 2002). 뿐만 아니라, 참억새는 토양 내 중금속을 뿌리로 흡수하는 제거능이 높아(Kim *et al.*, 2000; Arduini *et al.*, 2006), 제설제로 오염된 가로변 토양을 정화하기에 적합한 수종이라 판단되나, 이와 관련된 자료는 부족한

실정이다.

이에 본 연구에서는 염화칼슘(CaCl_2) 처리농도에 따른 토양 침출수 및 참억새의 생육 특성을 평가해 제설제 살포로 인한 토양의 화학적 변화를 분석하고 참억새의 내염성을 살펴봄으로써 제설제의 대표적 피해지역인 가로변 식생관리방안에 적용하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 2018년 4월부터 10월까지 유리온실 내에서 수행하였으며, 실험기간 동안 환경조건은 평균온도 12.87°C , 최고온도 54.0°C , 최저기온 4.02°C , 상대습도 62.7%, 일조시간 248.9 hr.로, 전반적으로 덥고 건조한 상태를 보였다.

1. 식물 및 토양재료

가로변 제설제 오염지역을 정화하기 위한 수종을 탐색함에 있어 우리나라 주요 야생초화류 중 환경적응성과 관상가치가 뛰어난 참억새(Choung, 2002)를 공시식물로 선정하였다. 2018년 4월에 충남 천안시 병천면에 위치한 농장에서 초장이 약 15 cm의 비교적 균일한 크기의 참억새(*Miscanthus sinensis*)를 구입한 후 전공유리온실에서 30일을 순화시켰다. 토양재료로 염화칼슘 처리 외에 이화학적 변수를 최소화하기 위해 코코피트 74.84%, 질석 15%, 흑운모 5%, 펄라이트 5%, 비료 0.158%, 습윤제 0.002%로 이루어진 인공배합토(Hanpanseung, SamHwa GreenTech Co., LTD., Korea)를 사용하였다. 염화칼슘은 구입이 용이할 뿐 아니라, 국내에서 거울철에 제설제로 보편적으로 살포하고 있는 분말 염화칼슘(CaCl_2 , Oriental Chemical Industries., Korea)을 이용하였다.

2. 처리구 조성

염화칼슘 처리농도 기준은 서울시 주요 가로변 토양의 염 농도 범위가 0.02~0.80%(Kim *et al.*, 2002)인 것과 제설제가 직접적으로 닿는 눈의 염 농도 범위가 0.87~5.00%(Shin *et al.*, 2010)을 감안해, 0(Control), 1(0.1%), 2(0.2%), 5(0.5%), 10 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (1.0%) (이하 Cont., C1, C2, C5, C10로 표기)로 총 5가지 농도별로 수용액을 조제하였다. 직경 10 cm, 높이 9 cm인 플라스틱 화분 배수구멍을 여과포로 깔고, 그 위에 인공배합토 100 g을 채운 뒤 참억새를 정식하였다. 염화칼슘 수용액은 미리 정식한 참억새 토양 상부에 각 처리구별로 0.2 L씩 2주 간격으로 총 6회 관주하였다. 토양침출수 채취를 위해 화분 하단에 직경 15 cm, 높이 3.5 cm의 플라스틱 받침대를 두어 화분 배수구멍을 통해 나온 침출수가 고이게 하였다. 각 처리구별로 3개씩 3반복으로 완전임의 배치하였으며, 생육과 침출수 채

취를 위해 화분의 표면흙이 마르지 않게 실험기간 동안 관수하였다.

3. 측정 및 분석 방법

참억새의 내염성과 제염효과를 살펴보기 위해, 정식 후 3개월이 경과한 8월에 생육과 토양침출수를 조사하였다. 토양침출수를 통해 참억새의 제염효과를 알아보기 위해 산도, 전기전도도, 제설제의 주요 성분으로 알려진 4가지 염화물계 치환성양이온(Na^+ , Ca^{2+} , Mg^+ , K^+)(Li *et al.*, 2015) 등을 중심으로 분석하였다. 각 처리구별 침출수는 100 mL씩 피펫으로 코니컬 튜브에 채수한 후 5B여과지로 거른 뒤 산도는 pH meter(ST-3100, OHAUS Corp., USA), 전기전도도는 EC meter(ST-3100C, OHAUS Cor., USA)로, 염화물계 치환성양이온은 유도결합플라즈마 원자방출분광기(OES-5300DV, Perkin-Elmer, USA)로 분석하여 평균값과 표준오차를 산출하였다. 채수 이후 분석까지 모든 운반 및 저장은 아이스박스과 냉장고를 이용하여 저온상태를 유지하였다. 생육적 특징으로는 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, 건조중 등을 중심으로 측정하였다. 초장은 식물의 기반을 기준으로 가장 끝이 되는 지점을 자료재었다. 엽장, 엽폭 등은 중간엽을 선택한 후 디지털캘리퍼스(Digital caliper 500-181, Mitutoyo, Japan)로, 엽수는 완전히 전개된 잎을 육안으로 세었다. 생체중은 각 처리구별 식물체를 증류수로 세척한 후, 지상부와 지하부를 각각 분리하여, 건물중은 70°C 의 열풍건조기(C-DF, Changshin Scientific Co., Korea)에서 더 이상의 건조무게가 변하지 않을 때까지 건조시킨 후 전자저울(FG-150KAL-H, AND, Korea)로 무게를 잴다. 각 처리구별 수집된 데이터는 PASW Statistics(Ver. 18, SPSS Inc., USA) 프로그램을 사용하여 Duncan 다중검정($p \leq 0.05$)으로 평균 간의 유의성을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 처리구별 토양침출수의 특성

염화칼슘 농도처리별 참억새를 식재한 토양침출수의 산도는 Cont.(6.7), C1(6.3), C2(6.0), C5(5.9), C10(5.7)로, 염화칼슘 처리농도가 높을수록 점차 완만하게 낮아졌다. 반면, 전기전도도의 경우, Cont.($0.8 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$), C1($1.7 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$), C2($3.6 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$), C5($6.9 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$), C10($13.6 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)으로 유의적으로 급증하는 경향을 보였다(Figure 1 참조). 산도에 대한 이러한 결과는 염화칼슘이 물에 녹으면 Ca^{2+} 와 2Cl^- 로 이온화되기 때문에, 염소이온(Cl^-)이 물 분자에서 수소이온(H^+)과 결합하여 염화수소, 즉 강산성인 염산(HCl)을 생성하게 됨으로써(Soh *et al.*, 2015), 대조구보다 낮은 산도를 보이는 것으로 해석된다.

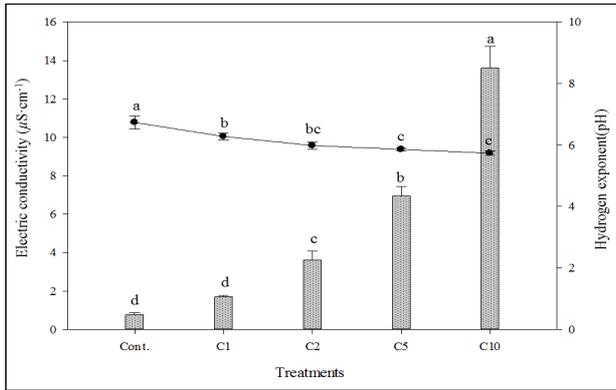


Figure 1. Hydrogen exponent and electric conductivity in the leachate from substrate grown *Miscanthus sinensis* under different calcium chloride (CaCl_2) deicing salt concentrations. Cont.; non-treatment, C1, C2, C3, C5, and C10; CaCl_2 1, 2, 5, and 10 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. Vertical bars give the standard error (SE) of the mean. Each sampling data column with the same letters was not significantly different at $p \leq 0.05$.

Legend: ■ EC ● pH

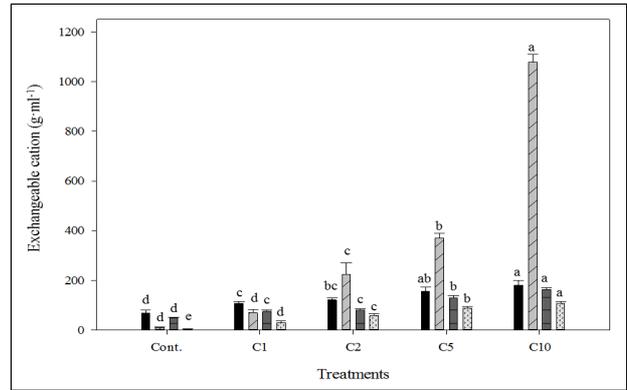


Figure 2. Concentrations of chloride-based exchangeable cations (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , and Mg^{2+}) in the leachate from substrate grown *Miscanthus sinensis* under different calcium chloride (CaCl_2) treatments. Cont.; non-treatment, C1, C2, C3, C5, and C10; CaCl_2 1, 2, 5, and 10 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. Vertical bars give the standard error (SE) of the mean. Different letters indicate treatments are significantly different at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Legend: ■ K^+ ■ Ca^{2+} ■ Na^+ ■ Mg^{2+}

참역새는 제주도의 세립질의 치밀한 염기성암인 현무암을 모암으로 한 화산회토에서 잘 자라는 수종으로서, 특히 pH 7.0~9.5의 범위의 매우 강알칼리를 나타내는 척박한 토양인 사문암 토양에서 중급속의 뿌리 흡수율이 높고 내성이 강한 수종으로 보고되고 있다(Kim *et al.*, 2000). 뿐만 아니라, 산성 토양에서 참역새의 생장이 큰 저해를 받지 않아 농업단지 주변 지역 중원식생이 파괴된 지역에 대부분 참역새가 우점하고 있는데, 그 생장이 매우 왕성한 것으로 관찰됨으로써(Mun *et al.*, 1997), 생육산도의 범위가 매우 광범위한 것으로 해석된다. 전기전도도는 토양 내 함유된 이온과 염의 농도를 알 수 있는 지표로, 염화칼슘의 처리농도가 높아지면서 토양침출수에 이온들의 함량이 높아져 전기전도도가 증가한다는 것을 알 수 있다. The Korean Institute of Landscape Architecture(2013)에 의하면 0.2 미만(상급), 0.2~1.0(중급), 1.0~1.5(하급), 1.5 이상(불량)이라고 볼 때, C1 처리구부터 전기전도도 항목에서 토양 등급이 불량으로 평가됨에 따라 일반적인 식물생육에 부정적인 영향을 줄 수 있으나, 참역새는 C10 처리구를 제외하고 현존량이 증가되는 결과를 보이고 있다(Figure 3 참조). 이에 참역새가 상당량의 유기물(organic matter)을 토양에 축적시켜 토양단면도 중 A층의 두께가 참역새의 생산량과 밀접하게 관련이 있다고 볼 때(Lee, 2004), 내염성 수종으로 토양정화뿐만 아니라, 총 유기물축적량을 증가시키는 역할도 할 수 있으리라 사료된다.

토양침투수 내 염류계 치환성 양이온 함량을 측정한 결과, 치환성 칼륨(K^+)은 Cont.(69.0 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C1(107.4 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C2(120.4 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C5(155.2 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C10(180.7 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)로

대조구에 비해 각각 0.5, 0.7, 1.2, 1.6배로 증가되었다. 치환성 칼슘(Ca^{2+})은 Cont.(10.4 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C1(69.2 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C2(224.3 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C5(693.7 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C10(1,078.5 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)로 대조구에 비해 5.6, 20.5, 65.5, 102.4배로 급증하였다. 치환성 나트륨(Na^+)은 Cont.(48.8 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C1(74.2 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C2(80.7 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C5(129.6 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C10(162.3 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)로 대조구에 비해 0.5, 0.7, 1.7, 2.3배로 완만하게 증가되었다. 치환성 마그네슘(Mg^{2+})은 Cont.(2.7 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C1(29.5 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C2(57.7 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C5(87.9 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), C10(106.4 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)로 대조구에 비해 9.6, 19.7, 30.5, 37.2배로 증가하였다(Figure 2 참조). 이는 염화칼슘 처리농도가 높아질수록 염화물계 치환성 양이온의 함량이 전반적으로 증가한다는 것을 알 수 있으며, 치환성 칼슘 > 칼륨 > 나트륨 > 마그네슘 순으로 치환성 칼슘이 다른 이온에 비해 약 83~90% 높은 수치를 보이고 있다. 특히, 염화칼슘에 함유된 염소이온이 양이온에 따라 $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ 순으로 토양에서 식물체 내 확산 속도가 달라질 수 있어(Kim and Lee, 2014), 제설제의 살포는 토양 내 화학적 특성에 영향을 직접적으로 미칠 수 있음을 알 수 있다. 뿐만 아니라, 실제 가로변 토양으로부터 제설제의 염류 이동성 및 유효도는 식물별 생리특성에 영향을 받을 수 있으므로 염류 허용한계치(tolerance level)는 상이할 것으로 본다.

2. 처리구별 참역새의 생육 특성

염화칼슘 처리에 따른 참역새의 초장을 측정한 결과, Cont.(52.8 cm), C1(49.9 cm), C2(47.7 cm), C5(44.7 cm), C10(30.5

cm)로 대조구에 비해 각각 5.6, 9.7, 15.4, 42.2% 감소되었다. 엽장은 Cont.(30.2 cm), C1(27.6 cm), C2(26.1 cm), C5(17.3 cm), C10(16.5 cm), 엽폭은 Cont.(0.6 cm), C1(0.6 cm), C2(0.4 cm), C5(0.5 cm), C10(0.5 cm)로 엽장은 대조구에 비해 처리농도가 높을수록 약 8.6~45.5%, 엽폭은 5.2~18.9%로 엽장의 감소폭이 엽폭보다 큰 것으로 조사되었다. 반면, 엽수의 경우 Cont.(32.8개), C1(44.3개), C2(44.2개), C5(40.3개), C10(26.2개)로 처리농도가 가장 높은 C10 처리구에서 대조구에 비해 약 20% 감소한 것을 제외하고, C1, C2, C5 처리구에서 각각 35, 34, 22%로 증가하였다(Table 1 참조). 따라서, 초장은 C10 처리구를 제외하고, C1~C5 처리구까지 유의적인 차이가 없는 반면에, 엽장은 C5 처리구부터, 엽폭은 농도가 증가할수록 좁아지는 경향이 뚜렷했다. 반면, 엽수는 C10 처리구를 제외하고 C1~C5 처리구가 대조구에 비해 많아지고 있음을 알 수 있다(Table 1 참조).

이러한 결과는 참억새는 해안사구의 안정화와 더불어 내륙화의 초기단계의 우점종(Song and Cho, 2007)으로, 염화칼슘 제설제 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 농도처리까지는 어느 정도 외형적 형태를 유지하는 것으로 보여진다. 또한 고농도인 C10 처리구를 제외하고, 엽수가 대조구에 비해 증가하는 경향을 보이고 있는데, 이는 라메트의 일부인 땅속줄기(rhizome)의 상태가 내염성과 지상부의 생장과 긴밀하게 연관되었음을 밝히고 있어(Agnieszka *et al.*, 2014), 염 스트레스에 따른 참억새의 라메트(ramet) 증가가 지상부의 수평생장을 유도하는 것으로(Choung, 1993) 사료된다.

염화칼슘 처리농도에 따른 지상부의 생체중은 Cont.(7.5 g), C1(9.1 g), C2(10.3 g), C5(10.8 g), C10(10.1 g), 건물중은 Cont.(3.0 g), C1(3.5 g), C2(3.5 g), C5(4.3 g), C10(3.9 g)으로 C10 처리구를 제외하고 점차 지상부의 무게가 증가하였다. 이는 생체중의 경우 C2와 C5 처리구에서 대조구보다 각각 약 37, 45%, 건물중의 경우 약 17, 46% 증가된 수치이다. 지하부 생체중의 경우, Cont.(16.4 g), C1(17.4 g), C2(28.0 g), C5(28.0 g), C10(12.4 g), 건물중은 Cont.(3.1 g), C1(3.7 g), C2(6.1 g), C5(5.8 g), C10(4.4 g)으로 C10 처리구를 제외하고 증가하는 경향을 보였다. 이는 생체중의 경우, C2와 C5 처리구의 역사가 대조구에 비해 각각 약 71, 71%, 건물중에 있어서는 각각 약

99, 90%가 증가된 수치로, 생체중에 비해 건물중이 더 뚜렷한 증가세를 보였다(Figure 3, 4 참조). 이러한 결과는 참억새의 지상부와 지하부 모두 C10 처리구를 제외하고 대조구에 비해 염화칼슘 처리농도가 높을수록 증가된다는 것을 보여주고 있으며, 지상부보다는 지하부의 증가세가 현저하게 높음을 알 수 있다. 염화칼슘 처리농도가 높아질수록 참억새의 잎이 짧아지고 지상부의 길이생장이 억제됨에도 불구하고, 지하부가 발달하는 이유는 엽면적을 감소해 증산율을 억제하는 반면, 뿌리의 수분흡수력을 확장시킴으로써 한계농도 이하의 염류토양에서도 생육이 가능케 하기 위한 반응(Agnieszka *et al.*, 2014)인 것으로 해석된다.

일반적으로 염 스트레스에 의해 식물의 잎, 줄기, 뿌리의 생체중 및 건물중이 감소되는 것이 일반적이나(Ju *et al.*, 2016b), 참억새는 C10 처리구를 제외하고 대조구보다 높은 경향을 보이고 있다. 이러한 결과는 참억새가 벼과식물 중 지하경을 갖는 식물로서 지하부의 생산력이 높은 수종으로, 식물체의 지

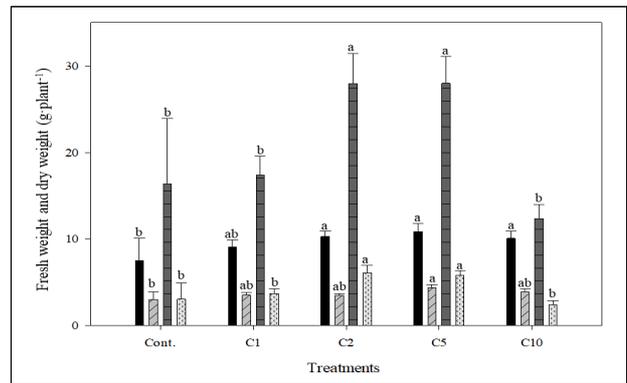


Figure 3. Fresh weight and dry weight of *Miscanthus sinensis* grown under different calcium chloride (CaCl_2) treatments. Cont.; non-treatment, C1, C2, C3, C5, and C10; CaCl_2 1, 2, 5, and $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ respectively. S.F.W; shoot fresh weight, S.D.W; shoot dry weight, R.F.W; root fresh weight, R.D.W; root dry weight. Vertical bars give the standard error (SE) of the mean. Different letters indicate treatments are significantly different at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Legend: ■ S.F.W □ S.D.W ▒ R.F.W ▤ R.D.W

Table 1. Growth parameters of the *Miscanthus sinensis* grown under different calcium chloride (CaCl_2) deicing salt treatments

Treatment ^y	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves
Cont. ^y	52.8±11.12 ^{az}	30.2±4.76 ^a	0.6±0.14 ^a	32.8±11.03 ^{ab}
C1	49.9±8.19 ^a	27.6±3.95 ^a	0.6±0.14 ^{ab}	44.3±10.04 ^a
C2	47.7±8.63 ^a	26.1±2.98 ^a	0.46±0.08 ^c	44.2±9.78 ^a
C5	44.7±9.78 ^a	17.3±6.24 ^b	0.5±0.08 ^{bc}	40.3±7.58 ^a
C10	30.5±11.23 ^b	16.5±7.25 ^b	0.5±0.08 ^{bc}	26.2±5.48 ^b

^z Data are the mean±SE from the nine replicates. Different letters indicate treatments are significantly different at $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

^y Cont.; non-treatment, C1, C2, C3, C5, and C10; CaCl_2 1, 2, 5, and $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ respectively.



Figure 4. Growth performance of *Miscanthus sinensis* grown under different calcium chloride (CaCl_2) treatments after four months. Cont.; non-treatment, C1, C2, C3, C5, and C10; CaCl_2 1, 2, 5, and $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively.

상부 및 지하부의 건물중이 생산성과 관련성이 높다고 볼 때 (Choung, 1993), 제설제로 오염된 가로변 토양에서 식물자체의 현존량을 증가시킬 수 있음을 예측할 수 있다.

IV. 적요

염화칼슘(CaCl_2) 제설제를 처리한 토양침출수의 산도는 처리농도가 높을수록 점차 완만하게 낮아진 반면, 전기전도도는 유의적으로 급증하는 경향을 보였다. 또한 염화물계 치환성 양이온의 함량이 전반적으로 증가하였으며, 치환성 칼슘 > 칼륨 > 나트륨 > 마그네슘 순으로 치환성 칼슘이 다른 이온에 비해 약 83~90% 높은 수치를 보였다. 참억새의 초장은 염화칼슘 $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 농도로 처리한 C10 처리구를 제외하고, C1~C5 처리구까지 유의적인 차이가 없는 반면, 엽장은 C5, C10 처리구에서 짧아지고, 엽폭은 농도가 증가할수록 좁아지는 경향이 뚜렷했다. 엽수는 C10 처리구를 제외하고, C1~C5 처리구에서 대조구에 비해 많아졌다. 참억새의 지상부와 지하부 생체중과 건물중 모두 가장 고농도로 처리한 C10 처리구를 제외하고 대조구에 비해 염화칼슘 처리농도가 높을수록 증가되었으며, 지상부보다는 지하부의 증가 경향이 더욱 현저하였다. 이러한 결과는 가로변 염화칼슘 제설제의 지속적인 살포는 토양 내 산도 및 전기전도도, 염화물계 치환성 양이온에도 영향을 미칠 수 있음을 보여준다고 하겠다. 한편, 참억새는 C10 처리구를 제외하고 대조구에 비해 지상부 및 지하부의 생육이 양호해 제설제로 오염된 가로변 토양에서도 식물재배정화기법 수증으로 적용이 가능할 것으로 판단된다. 더불어 제설제는 토양의 화학적 특성을 변화시킬 수 있어 식물의 생육에 영향을 주게 되기 때문에 추후 내염성 식물과 토양개량제간 제염효과를 높일 수 있는 토양-식물 이행성(Soil-Plant Continuum: SPC) 관리방안 관련 연구가 또한 필요하다고 본다. 한편, 토양침출수 채취 시 양이

온들이 용기 벽면에 흡착될 수 있으며 실험 전처리 및 분석 오차로 인해 토양유출수만으로 정확한 염류계 치환성 양이온의 유출량을 결정하기는 어렵다. 따라서 염해를 효과적으로 방지하고 식물의 생육을 개선하기 위해서는 좀 더 세밀한 연구가 향후 지속적으로 이뤄져야 할 것이다.

References

1. Arduini, L., L. Ercoli, M. Mariotti and A. Masoni(2006) Response of *Miscanthus* to toxic cadmium applications during the period of maximum growth, *Environ. Exp. Bot.* 55: 29-40.
2. Agnieszka, P., D. Franciszek, K. Janusz, T. Maria, M. Maciej, G. Krzysztof and Z. Grzegorz(2014) Tolerance of *Miscanthus × giganteus* to salinity depends on initial weight of rhizomes as well as high accumulation of potassium and proline in leaves, *Ind. Crop. Prod.* 52: 278-285.
3. Choung, Y. S.(1993) Comparative study on the growth dynamics of some grasses, *Korean J. Ecol.* 16(3): 329-339.
4. Choung, Y. S.(2002) Distribution and performance of *Miscanthus sinensis* community in Mt. Mindung, Kangwon Province, Korea, *Korean J. Ecol.* 25(1): 33-37.
5. Choi, H. S., J. S. Hong, F. K. F. Geronimo and L. H. Kim(2018) Implications of CaCl_2 application to plants in LID facilities, *Water Science and Technology* 78(5): 1045-1053.
6. Je, S. M. and S. H. Kim(2017) Growth and physiological responses of *Pinus strobus* to CaCl_2 , *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 45(3): 1-8.
7. Je, S. M. and S. H. Kim(2016) Effect of CaCl_2 on gas exchange and stomatal responses in the leaves of *Prunus serrulata*, *J. Korean For. Soc.* 105(3): 303-308.
8. Ju, J. H., J. Y. Park, H. Xu, E. Y. Lee, K. H. Hyun, J. S. Jung, E. Y. Choi and Y. H. Yoon(2016a) Growth and physiological response of three evergreen shrubs to de-icing salt (CaCl_2) at different concentration in winter: Focusing on *Euonymus japonica*, *Rhododendron indicum*, and *Buxus korean*, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 44(2): 122-129.
9. Ju, J. H., H. Xu, J. Y. Park, E. Y. Choi and Y. H. Yoon(2016b) Evaluation of salt tolerance of *Liriope platyphylla* and *Pachysandra terminalis* to deicing salt (CaCl_2) concentration in winter, *Korean J. Environ. Ecol.* 30(4): 651-657.
10. Kim, M. H., S. H. Song, E. S. Min and I. S. Jang(2000) Heavy metal pollutions of the top soil, plants and stream water from the serpentinite area, Chungnam, *Korean J. Environ. Ecol.* 14(2): 119-126.
11. Kim, K. R., H. H. Lee, C. W. Jung, J. Y. Kang, S. N. Park and K. H. Kim(2002) Investigation of soil contamination of some major roadsides in Seoul II. Major roadsides in Gangdong-, Gwangjin-, Nowon-, Seodaemum- and Seongdong-gu, *J. Korean Soc. Agri. Chem. Biotechnol.* 45(2): 92-96.
12. Kim, L. S. and D. W. Lee(2014) Effect of chloride-deicers on growth of wheat, barley and spinach, *Korean J. Environ. Agric.* 33(4): 350-357.
13. Kwon, M. Y., S. H. Kim and J. H. Sung(2014) The responses of growth and physiological traits of *Acer triflorum* on calcium chloride (CaCl_2) concentration, *Korean J. Environ. Ecol.* 28(5): 500-509.
14. Lee, J. S.(2004) A study on change of an accumulated organic matter contents according to successional stage on temperate grassland, *Korean J. Environ. Biol.* 22(3): 381-386.
15. 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.
16. Liang, W., X. Ma, P. Wan and L. Liu(2018) Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochem. Biophys. Res. Commu.* 495: 286-291.
 17. 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.
 18. Nisha, K., Y. Kuldeep, B. Neetu and A. Ashok(2013) AM fungi ameliorates growth, yield and nutrient uptake in *Cicer arietinum* L. under salt stress. *Russian Agricultural Science* 39(4): 321-329.
 19. Park, S. G. and S. H. Choi(2018) A study on the growth environment characteristics of the *Miscanthus sinensis* community and the pre-summed economic value of the *Miscanthus sinensis* community landscape conservation. *Proc. Korean Soc. Environ. Ecol. Con.* 28(1): 29-30.
 20. Shin, S. S., S. D. Park, H. S. Kim and K. S. Lee(2010) Effect of calcium chloride and eco-friendly deicer on the plant growth. *Korean Society of Environmental Engineers* 32(5): 487-498.
 21. Stephanie, L. N. and D. B. David(2005) Alleviation of salt-induced stress on seed emergence using soil additives in a greenhouse. *Plant and Soil* 268: 303-307.
 22. Soh, J. W., S. Y. Soh and S. Y. Nam(2015) pH variance model depending on phosphate ion form. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 33(6): 854-859.
 23. Song, H. S. and W. Cho(2007) Diversity and sonation of vegetation related micro-topography in Sinduri coastal dune, Korea. *Kor. J. Env. Eco.* 21(3): 290-298.
 24. Sung, J. H., S. M. Je, S. H. Kim and Y. K. Kim(2009) Effect of calcium chloride (CaCl₂) on the characteristics of photosynthetic apparatus, stomatal conductance, and fluorescence image of the leaves of *Cornus kousa*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 11(4): 143-150.
 25. Sung, J. H., S. M. Je, S. H. Kim and Y. K. Kim(2010) Effect of calcium chloride (CaCl₂) on chlorophyll fluorescence image and photosynthetic apparatus in the leaves of *Prunus sargentii*. *Jour. Korean For. Soc.* 99(6): 922-928.
 26. The Korean Institute of Landscape Architecture(2013) *Landscape Architecture Design Standard*. Seoul: Kimoonang.
 27. Willam, R. T., G. Bahram and P. Nandana(2015) Road slat application planning tool for winter de-icing operations. *J. Hydrol.* 524: 401-410.

Received : 12 July, 2019

Revised : 12 August, 2019 (1st)

26 August, 2019 (2nd)

Accepted : 26 August, 2019

3인익명 심사필