

ORIGINAL ARTICLE

가로변 반송 염해정도에 따른 토양 및 식물체 내 염류이온의 계절별 변화

이재만¹⁾ · 박선영¹⁾ · 윤용한 · 주진희*

건국대학교 녹색기술융합학과, ¹⁾건국대학교 대학원 녹색기술융합학과

Seasonal Variations of De-icing Salt Ions Harvested from Soils and Plants according to the Salt Damage of *Pinus densiflora* f. *multicaulis* on Roadsides

Jae-Man Lee¹⁾, Sun-Young Park¹⁾, Yong-Han Yoon, Jin-Hee Ju*

Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

¹⁾Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Graduate School of Konkuk University, Chungju 27478, Korea

Abstract

This study was conducted to analyze seasonal variations of de-icing salt ions harvested from soils and plants according to salt damage of *Pinus densiflora* f. *multicaulis*, a evergreen conifer, on roadsides. *Pinus densiflora* f. *multicaulis* was divided into three groups referred to SD, ND, and WD (serious salt damage (SD) = 71–100%, normal salt damage (ND) = 31–70%, and weak salt damage (WD) = 0–30%) based on the degree of visible foliage damage, and measured acidity (pH), electrical conductivity(EC), and de-icing salt ions (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , and Mg^{2+}) harvested from soils and plants. The results indicated that acidity, electrical conductivity, and de-icing salt ions of soils and plants were significantly affected by seasonal variation and salt damage. In addition, a strong positive liner relationship was observed in plants between the concentration of de-icing salts and salt damage in spring, while the relationship among seasonal variation and salt damage in soil were not significant. The results from this study has important implications for the management of conifer species in relation to salinity and roadsides maintenance.

Key words : Exchangeable cation, pH, *Pinus densiflora* f. *multicaulis*, Soil salinity, Soil chemical characteristics

1. 서론

최근 한파의 발생 빈도가 증가하면서 이상기후로 인

한 폭설과 강설 피해를 줄이기 위해 겨울철 도로 관리용으로 염화칼슘($CaCl_2$)과 염화나트륨($NaCl$)과 같은 염화물계 제설제의 사용량이 늘어나고 있다. 특히 초본식물

Received 20 February, 2020; Revised 11 March, 2020;

Accepted 12 March, 2020

*Corresponding author: Jin-Hee Ju, Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Konkuk University, Chungju 27478, Korea
Phone : +82-43-840-3541
E-mail : jjhkce@kku.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 경우 염소이온에 대해 내성을 보이지만 침엽수종들은 내성이 약한 것으로 알려져 있으며, 이 중 염화칼슘은 염화나트륨에 비해 더 많은 염소이온을 함유하고 있어 도로 주변 식물의 생장 장애, 가지 고사, 갈변 등의 피해를 일으킬 수 있다(Kim and Lee, 2014). 또한 토양 내 염 축적은 삼투압 증가, 지상부의 수분 흡수 방해, 엽록소 함량 감소, 생리적 변화, 조기 낙엽, 황화현상과 같은 다양한 피해를 발생시킨다(Choi and Chiang, 2017). 이에 염화칼슘 처리에 따른 가로수 생장 및 생리적 반응의 조사(Kwon et al., 2014), 콘크리트(Na and Lee, 2014), 농작물(Lee, 2015), 수경식물(Son et al., 2017), 가로변 식물(Ju et al., 2019) 등이 진행되어 왔다. 한편, 우리나라의 가로수는 낙엽 활엽수인 느티나무와 은행나무가 주를 이루고 있으며, 이러한 수종과 가로변 토양 내 염화물계 계절별 추이를 살펴본 연구가 진행된바 있으나(Kim et al., 2012), 상록 침엽수인 반송에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 제설제 주요 피해지인 가로변에 식재된 반송의 염해 정도에 따라 토양 및 식물체 내 염류이온의 계절별 변화를 살펴봄으로써, 제설제 피해지역의 가로변 식생 관리방안을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료 채취

본 연구는 2018년 4월부터 10월까지 수행하였으며 충청북도 충주시 건대 사거리부터 단호사까지 가로변의 반송 식재지를 선정하였다. 중앙분리대에 식재된 반송(*Pinus densiflora* for. *multicaulis*)을 가시적 염해 정도에 따라 SD (Serious salt damage), ND (Normal salt damage), WD (Weak salt damage) 세 구역으로 나누었다. 선정된 대상지의 반송은 69개의 식재지에 각 5~6주로, 총 350 주가 식재된 것으로 조사되었다. 총 3 km의 가로변에 식재된 반송의 생육 특성인 수고, 수관폭, 근원 직경, 총 생수(개)를 전수 조사한 결과, 평균 수고는 1.55 m, 평균 근원직경은 15.76 cm, 총생수 2.35개, 수관폭(장) 1.93 m, 수관폭(단) 1.64 m인 것으로 조사되었다. 토양 및 식물체 채취는 선정된 식재지에 있는 반송 하부 토양의 중심부를 기점으로 동서남북 총 5군데의 깊이 10 cm 이상의 깊이에서 토양 시료를 500 g씩, 식물체의 경

우 반송의 잎을 식재지 당 50 g씩 채취하였다.

2.2. 토양 및 식물체 분석

토양 시료는 드라이 오븐에서 72시간 105°C로 건조시킨 후, 2 µm 체에 걸러내었다. 식물체는 드라이 오븐에 72시간 동안 70°C로 건조한 후 분쇄기를 이용하여 분쇄시켰다. 토양 화학성 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법(NAAS, 2010)에 따라 진행하였다. pH와 EC측정은 토양시료 5 g과 식물체 0.5 g을 증류수 비율을 1:5로 하여 30분간 진탕한 후 5B여과지(Adventec filter paper No. 5B, 110mm)로 여과하여 pH meter(ST3100, OHAUS, JAPAN) 및 EC meter(ST3100, OHAUS, JAPAN)를 이용하여 측정하였다. 치환성 양이온 중 제설제 성분 함유되어 있는 K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺이온을 선정하였다. 염류계 치환성 양이온 함량은 CH₃COOH와 NH₄OH (pH7.0)로 추출한 액을 ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer, Perkin-Elmer OES-5300DV, USA)를 사용하여 분석하였다.

2.3. 통계분석

측정된 모든 데이터는 IBM SPSS Statistics 25(SPSS Inc, Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 통계 분석하였다. 토양 화학성(pH, EC, K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺)은 5% 수준에서 일원배치분산분석 DMRT (Duncan's Multiple Range Test)를 실시하였고, 계절별 변화와 토양 및 식물체 내 화학성분간 상관관계를 검토하였다. 또한 SigmaPlot 12.3(Systat, San Jose CA, USA)를 이용하여 그래프로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양

3.1.1. 토양산도(pH)

봄철의 토양산도(pH)는 6.86(SD) > 6.82(ND) > 6.58 (WD) 순으로, 2013년의 전국 밭토양 평균 토양산도보다(Kong et al., 2015) 약 0.6 정도 높은 6.8 수준인 것으로 분석되었다. 여름철의 토양산도는 7.12(SD) > 6.95(ND) > 6.78(WD) 순으로 나타났으며, 중성에 가까운 것으로 조사되었다. 가을철의 토양산도는 6.66(SD) > 6.49(WD) > 6.25(ND) 순으로, 약한 산성을 보였다 (Fig. 1).

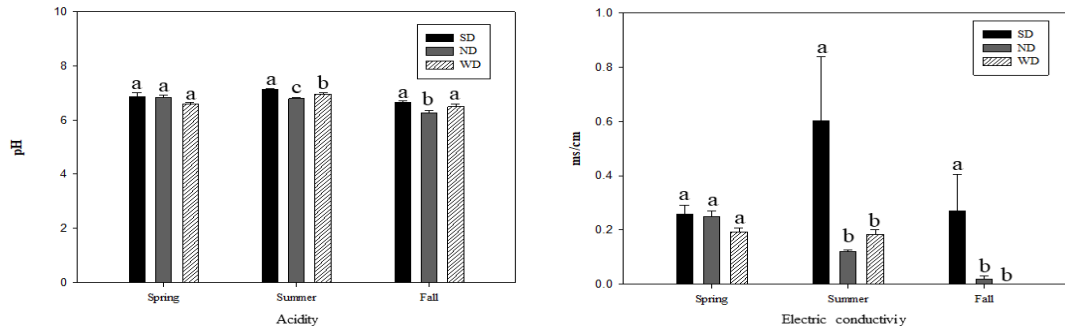


Fig. 1. Seasonal change of acidity and electric conductivity harvested from soil according to salt damage of *Pinus densiflora* f. *multicaulis* on roadside. Different letters in each bar show significant difference between SD, ND, and WD ($p < 0.05$ by DMRT). Vertical bars represent mean \pm standard error. SD; serious salt damage, ND; normal salt damage, WD; weak salt damage.

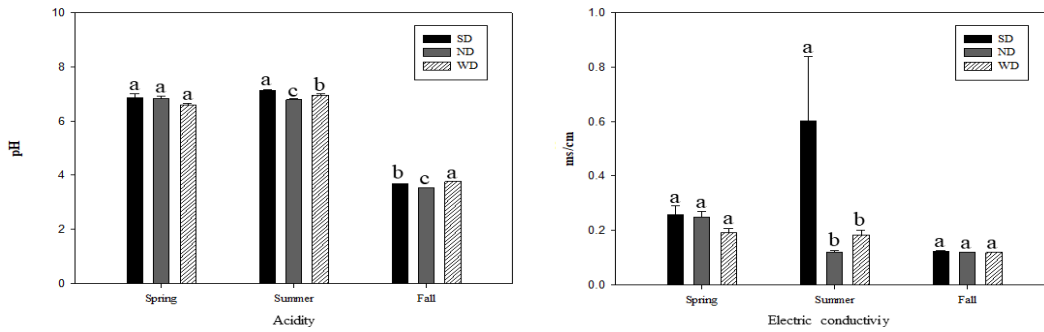


Fig. 2. Seasonal change of acidity and electric conductivity harvested from plants according to salt damage of *Pinus densiflora* f. *multicaulis* on roadside. Different letters in each bar show significant difference between SD, ND, and WD ($p < 0.05$). Vertical bars represent mean \pm standard error. SD; serious salt damage, ND; normal salt damage, WD; weak salt damage.

3.1.2. 전기전도도(EC)

봄철의 토양 전기전도도(EC)는 0.3(SD) = 0.3(ND) > 0.2(WD) ms/cm 순으로 나타났으며, 여름철의 경우 0.6(SD) > 0.1(WD) = 0.1(ND) ms/cm 순으로 분석되었다. 가을철에는 0.3(SD) > 0.0(WD) = 0.0(ND) ms/cm 순으로 WD와 SD간의 차이가 뚜렷하지 않았는데, 이는 토양 EC가 자연강우에 의해 감소되기 때문인 것으로(Lee et al., 2013) 해석된다.

3.2. 식물체

3.2.1. 산도(pH)

식물체 내 봄철, 여름철 산도는 토양의 봄철, 여름철 토양산도와 유사한 경향을 보였다. 가을철 식물체 내 산

도는 3.77(WD) > 3.68(SD) > 3.53(ND) 순으로 산성을 나타내었다(Fig. 2). 토양의 산성화는 식물 뿌리의 독성 물질인 알루미늄 등의 용해를 유발하는데, 이는 인, 몰리브덴, Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 과 같은 영양소의 결핍을 초래하기 때문이다(Zhou et al., 2014). 일반적으로 pH가 낮아지면, 치환성 양이온의 함량이 감소하는 것으로 알려져 있으며(Cho et al., 2016), 이는 토양에서 양이온을 지속적으로 제거하기 때문에 토양 산성화를 유발할 수 있음을 보여주고 있다.

3.2.2. 전기전도도(EC)

식물 전기전도도의 봄철의 경우 0.3(SD) = 0.3(ND) > 0.2(WD) ms/cm 순으로 나타났으며, 가시적 염해정도

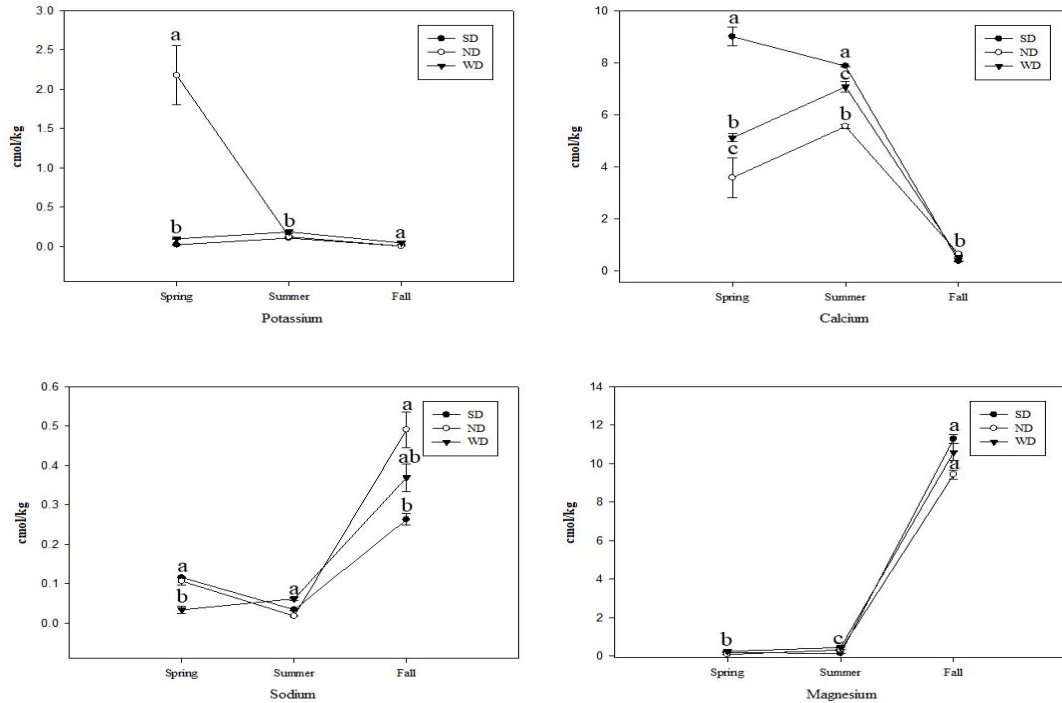


Fig. 3. Seasonal change of de-icing salt ions (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , and Mg^{2+}) harvested from soil according to salt damage of *Pinus densiflora* f. *multicaulis* on roadside. Different letters in each bar show significant difference between SD, ND, and WD ($p < 0.05$). Vertical bars represent mean \pm standard error. SD; serious salt damage, ND; normal salt damage, WD; weak salt damage.

와 비례하는 결과를 보였다. 여름철에는 $0.6(SD) > 0.2(WD) > 0.1(ND)$ ms/cm 순으로, 가을철에는 SD, ND, WD에서 각각 0.1 ms/cm로 염해정도에 따른 차이가 뚜렷하지 않았다.

3.3. 염류계 치환성 양이온의 계절별 변화

3.3.1. 토양

봄철의 칼륨이온(K^+)은 $2.17(ND) > 0.09(WD) > 0.02(SD)$ cmol/kg 순으로, 여름철에는 $0.18(WD) > 0.12(ND) > 0.10(SD)$ cmol/kg 순으로, 가을철에는 $0.04(WD) > 0.004(SD) > 0.002(ND)$ cmol/kg 순으로 감소되는 경향을 보였다(Fig. 3.).

봄철의 칼슘이온(Ca^{2+})은 $9.0(SD) > 5.11(WD) > 3.57(ND)$ cmol/kg 순으로, 여름철에는 $7.87(SD) > 7.07(WD) > 5.55(ND)$ cmol/kg 순으로, 가을철에는 $0.54(ND) > 0.43(WD) > 0.31(SD)$ cmol/kg 순으로 점

점 감소하였다.

봄철의 나트륨이온(Na^+)은 SD, WD, ND 구간이 각각 0.11, 0.10, 0.09 cmol/kg으로 감소되었다. 여름철에는 $0.06(WD) > 0.03(SD) > 0.01(ND)$ cmol/kg 순으로 WD에서 가장 높게 나타났다. 가을철에는 $0.42(ND) > 0.31(WD) > 0.22(SD)$ cmol/kg 순으로 나타났다.

봄철의 마그네슘이온(Mg^{2+})은 $0.24(WD) > 0.17(SD) > 0.08(ND)$ cmol/kg 순으로, 여름철에는 $0.43(WD) > 0.31(ND) > 0.13(SD)$ cmol/kg 순으로 봄철, 여름철 모두 WD에서 가장 높았다. 한편, 가을철에는 $9.48(SD) > 8.97(WD) > 7.93(ND)$ cmol/kg 순으로 SD에서 가장 높게 나타났다.

3.3.2. 식물체

봄철의 칼륨이온(K^+)은 $16.16(SD) > 16.01(ND) > 15.35(WD)$ cmol/kg 순으로, 염해정도가 높을수록 증가

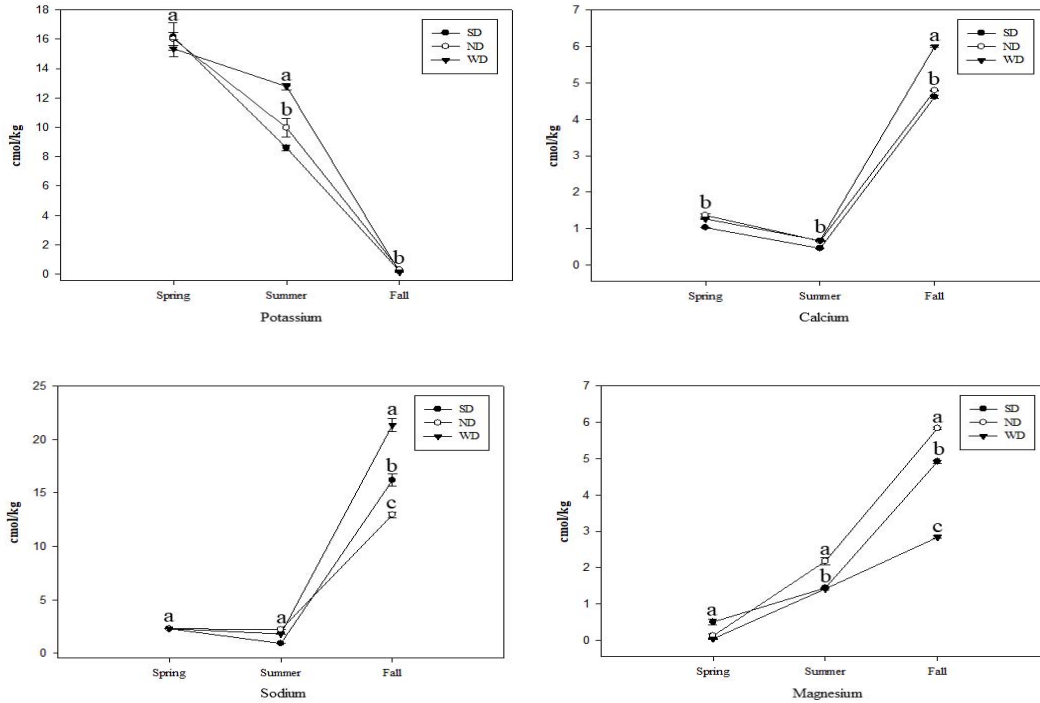


Fig. 4. Seasonal change of de-icing salt ions (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , and Mg^{2+}) harvested from plants according to salt damage of *Pinus densiflora* f. *multicaulis* on roadside. Different letters in each bar show significant difference between SD, ND, and WD ($p < 0.05$). Vertical bars represent mean \pm standard error. SD; serious salt damage, ND; normal salt damage, WD; weak salt damage.

하였다. 여름철에는 12.77(WD) > 9.96(ND) > 8.60(SD) cmol/kg 순으로 나타났다. 한편, 가을철에는 0.27(ND) > 0.20(SD) > 0.12(WD) cmol/kg 순으로 감소되었다. 이는 서울시 도로변의 칼륨이온 농도(Kim et al., 2002) 보다 약 5.0 cmol/kg 높게 나타난 결과이다.

봄철의 칼슘이온(Ca^{2+})은 1.36(ND) > 1.26(WD) > 1.02 (SD)cmol/kg 순으로 감소하였으며, 여름철은 0.66(WD) > 0.65(ND) > 0.45 cmol/kg 순으로 WD에서 높게 나타났다. 가을철은 5.99(WD) > 4.78(ND) > 4.60(SD) cmol/kg 순으로, 여름철과 가을철 칼슘이온은 가시적 염해증상과 반비례하는 경향을 보였다.

봄철의 나트륨이온(Na^+)은 WD, ND, SD 구간별 차이가 뚜렷하지 않았다. 여름철에는 2.22(ND) > 1.80(WD) > 0.92(SD) cmol/kg 순으로, 가을철은 21.35(WD) > 16.18(SD) > 12.95(ND) cmol/kg 순으로 감소되었다.

봄철의 마그네슘이온(Mg^{2+})은 0.50(SD) > 0.12(ND) > 0.04 cmol/kg 순으로 SD에서 높게 나타났으며 염해 정도와 비례한 결과를 보였다. 여름철에는 2.17(ND) > 1.44(SD) > 1.41(WD) cmol/kg 순으로, 가을철에는 5.83(ND) > 4.91(SD) > 2.83(WD) cmol/kg 순으로 증가하는 경향을 보였다. 이는 계절별 가로변 토양 내 pH가 낮아짐에 따라(Fig. 1), 마그네슘이온이 지속적으로 증가한 것으로(Kim et al., 2019) 생각된다.

3.4. 토양 및 식물체의 화학성 상관성 분석

3.4.1. 토양 및 식물체의 산도 및 전기전도도 상관성 분석

반송의 염해정도에 따른 토양 및 식물체 내 화학성과 계절간의 상관성을 분석한 결과, 산도는 여름에서 -0.413으로 가장 높은 부의 상관관계를 보였으며, 전기전도도는 가을에 -0.436으로 가장 높은 부의 상관관계를

Table 1. Partial correlation coefficient between seasonal variation and main soil and plants chemical characteristics (pH and EC) according to salt damage of *Pinus densiflora* f. *multicaulis* on roadside.

Season	Salt Damage	pH			Season	Salt Damage	EC		
		Spring	Summer	Fall			Spring	Summer	Fall
Spring	-.349	.247	.242	.169	Spring	-.357	.012	.716**	.773**
Summer	-.413*	.112	1.000**	.268	Summer	-.385*	-.201	1.000**	.989**
Fall	-.039	-.131	.625	.398	Fall	-.436*	-.014	.021	.019

* : Indicate significant at the 0.05 level

** : Indicate significant at the 0.01 level

Table 2. Partial correlation coefficient between seasonal variation and main soil and plants de-icing salt ions (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , and Mg^{2+}) according to salt damage of *Pinus densiflora* f. *multicaulis* on roadside.

Season	Salt Damage	K^+			Season	Salt Damage	Ca^{2+}		
		Spring	Summer	Fall			Spring	Summer	Fall
Spring	.025	.103	-.353	-.316	Spring	-.227	-.827**	-.958**	.951**
Summer	.830**	-.163	.871**	.703**	Summer	-.733*	-.637	-.953**	.918**
Fall	.732*	.810**	-.885**	-.741*	Fall	.664	.175	-.406	.315

Season	Salt Damage	Na^+			Season	Salt Damage	Mg^{2+}		
		Spring	Summer	Fall			Spring	Summer	Fall
Spring	-.876**	-.320	-.503	.609	Spring	.248	.083	-.359	.138
Summer	.447	-.809**	.308	.953**	Summer	.689*	-.937**	-.721*	-.962**
Fall	.949**	.608	-.951**	-.426	Fall	.205	-.874**	-.990**	-.854**

* : Indicate significant at the 0.05 level

** : Indicate significant at the 0.01 level

가지는 것으로 분석되었다. 계절별 가로변 토양에서 식물체로의 이행성에 있어 산도 및 전기전도도는 상관성이 비교적 낮은 것으로 해석된다.

3.4.2. 계절별 염류계 치환성 양이온의 상관성 분석

반송의 염해정도에 따른 토양 및 식물체 내 염류계 치환성 양이온과 계절간의 상관성을 분석한 결과, 칼륨이온(K^+), 마그네슘이온(Mg^{2+})의 경우 봄철, 여름철, 가을철 모두 정의 상관관계가 성립되었다. 칼륨이온(K^+)은 여름철에서 0.830로 가장 높은 정의 상관관계를, 마그네슘이온(Mg^{2+}) 또한 여름철에서 0.689로 정의 상관관계

를 보였다. 이외에도 칼슘이온(Ca^{2+})은 여름철에서 -0.733로 가장 높은 부의 상관관계를, 나트륨이온(Na^+)은 가을철에 0.949로 가장 높은 정의 상관관계가 있는 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구는 대표적인 제설제 피해지인 가로변에서 반송의 염해정도에 따라 토양 및 식물체 내 염류이온의 계절별 변화를 살펴봄으로써, 가로변 식생 관리방안을 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다. 가로변에 식재

된 반송의 가시적 염해정도에 따라 SD (Serious salt damage), ND (Normal salt damage), WD (Weak salt damage) 세 구간으로 나누어 토양 및 식물체 내 산도, 전기전도도, 염류계 치환성 양이온함량을 조사하였다.

토양산도(pH)의 경우 봄철, 가을철은 약한 산성을, 여름철은 중성의 경향을 보였으며, 사계절 모두 염해정도가 심한 SD 구간에서 높은 수치를 보였다. 토양 전기전도도(EC)의 경우 또한 SD 구간에서 가장 높게 나타났다. 식물체 산도(pH)는 봄철, 여름철에는 확연한 차이를 보이지 않았으나, 가을철은 산성을 띠었다. 식물체 전기전도도(EC)의 경우 봄철은 염해정도가 심할수록 증가하였으나, 가을철은 큰 차이를 보이지 않았다. 토양의 계절별 염류계 치환성 양이온의 경우 염해정도에 따른 상관성은 뚜렷하지 않았으나, 식물체의 경우 칼륨이온, 마그네슘이온 등이 봄철에 염해정도와 정의 상관성을 보여주고 있다.

이에 가로변 반송의 염해정도는 토양 및 식물체의 산도 및 전기전도도와 직접적인 관련성이 높은 것으로 판단된다. 또한 토양 및 식물체 염류계 치환성 양이온의 계절별 변화와 염해정도는 밀접한 관계는 있으나 다양한 요인과 불균형으로 염해에 영향을 미친다고 본다. 본 연구는 반송의 가시적 염해정도를 기준으로 토양 및 식물체 내 염류이온의 계절별 변화를 살펴보기 때문에 기상요인과 다양한 외적 요인을 통제하지 못하는 한계점을 가진다. 따라서 향후 이와 관련된 환경요인을 통제할 수 있는 환경에서의 연구를 진행함으로써, 제설제 피해지역의 환경 복원에 기여할 것이라 사료된다.

감사의 글

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

REFERENCES

Choi, Y., Chiang, M. H., 2017, Effect of jasmonic acid and NaCl on the growth of spearmint (*Mentha spicata* L.), *Journal of Bio-Environment Control*, 26(2), 133-139.
 Cho, Y. I., Kang, H. S., Jeon, E. C., 2016, The effects of reactive nitrogen (nr) compounds on the acidification

in soil and water environment ecosystems and the mitigation strategy, *Korean J. Ecol. Environ.*, 49(1), 1-10.
 Ju, J. H., Yang, J., Park, S. Y., Yoon, Y. H., 2019, Assessing effects of calcium chloride (CaCl₂) deicing salt on salt tolerance of *Miscanthus sinensis* and leachate characterizations, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture.*, 47(4), 61-67.
 Kim, K. R., Lee, H. H., Jung, C. W., Kang, J. Y., Pank, S. N., Kim, K. H., 2002, Investigation of soil contamination of some major roadsides in Seoul -II. major roadsides in gangdong, gwangjin, nowon, seodaemun and seongdong gu, *J. Korean Soc Agric.*, 45(2), 92-96.
 Kim, S. H., Sung, J. H., Cho, J. H., 2012, Growth and physiological responses of *Ginkgo biloba* and *Zelkova serrata* to calcium chloride treatment, *Joint Journal of Forestry Science Announcement*, 12(0), 236-238.
 Kim, S. I., Lee, D. W., 2014, Effect of chloride-deicers on growth of wheat, barley and spinach, *Korean J. Environ. Agric.*, 33(4), 350-357.
 Kim, Y. H., Kong, M. S., Lee, E. J., Lee, T. G., Jung, G. B., 2019, Status and changes in chemical properties of upland soil from 2001 to 2017 in Korea, *Korean J. Environ Agric.*, 38(3), 213-218.
 Kong, M. S., Kang, S. S., Chae, M. J., Jung, H. I., Sonn, Y. G., Lee, D. B., Kim, Y. H., 2015, Changes of chemical properties in upland soils in Korea, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 48, 588-592.
 Kwon, M. Y., Kim, S. H., Sung, J. H., 2014, The responses of growth and physiological traits of *Acer triflorum* on calcium chloride (CaCl₂) concentration, *Korean J. Environ. Ecol.*, 28(5), 500-50.
 Lee, D. W., 2015, Effect of EFD-1 and PC-10 deicers on growth of wheat, barley and spinach, *Korean J. Environ Agric.*, 34(1), 30-37.
 Lee, K. B., Kang, J. G., Lee, K. D., Lee, S. H., Hwang, S. A., Hwang, S. W., Kim, H. K., 2013, Soil characteristics of newly reclaimed tidal land and its changes by cultivation of green manure crops, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 46(2), 129-135.
 Na, O. P., Lee, J. S., 2014, Prediction of chloride penetration into concrete pavement under deicing chemicals, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 14(2), 77-83.
 NAAS (National Academy of Agricultural Science),

- 2010, Method of soil chemical analysis, Rural Development Administration., Wanju, Korea.
- Son, H. M., Park, J. Y., Yoon, Y. H., Ju. J. H., 2017, Growth response in hydroponic cultured *Dracaena braunii* grown under various chloride ion concentrations, J. Environ. Sci. Int., 26(9), 1081-1086.
- Zhou, J., Xia, F., Liu, X., He, Y., Xu, J., Brookes, P. C., 2014, Effects of nitrogen fertilizer on the acidification of two typical acid soils in South China, Journal of soils and sediments, 14(2), 415-422.

-
- Master's course. Jae-Man Lee
Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Graduate School of Konkuk University
offense90@naver.com
 - Ph'D course. Sun-Young Park
Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Graduate School of Konkuk University
wripark@naver.com
 - Professor. Yong-Han Yoon
Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Konkuk University
yonghan7204@kku.ac.kr
 - Professor. Jin-Hee Ju
Department of Green Technology Convergence, College of Science and Technology, Konkuk University
jjhkke@kku.ac.kr