

염화칼슘과 친환경 제설제가 식물의 생장에 미치는 영향

Effects of Calcium Chloride and Eco-Friendly Deicer on the Plant Growth

신승숙[†] · 박상덕* · 김호섭** · 이규송***

Seung Sook Shin · Sang Deog Park · Ho Seop Kim · Kyu Song Lee

강릉원주대학교 방재연구소, *강릉원주대학교 토목공학과, **강릉원주대학교 수충부 및 토석류 방재기술 연구단
***강릉원주대학교 생물학과

Institute for Disaster Prevention, Gangneung-Wonju National University

**Department of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National University*

***Research center for River Flow Impingement and Debris Flow, Gangneung-Wonju National University*

****Department of Biology, Gangneung-Wonju National University*

(2010년 4월 8일 접수, 2010년 5월 24일 채택)

ABSTRACT : This article presents an effect of deicer such as CaCl₂(calcium chloride) and EFD(Eco-Friendly Deicer) composed by organic acids on the survival and growth of plant. Pine and bush clover which are main natural species on the road side, and young radish and kidney bean which are cultivation species used in this test that responses of survival and growth were analyzed as grade concentration of deicers. Bush clover showed the most sensitive survival response among 4 species to the deicer. Pine growth didn't have statistical significance as the kind of deicers and concentration variation, but growths of bush clover and kidney bean showed growth inhibition in concentration more than 3% of CaCl₂ and EFD1. The results of survival and growth for CaCl₂(calcium chloride) demonstrated that young radish and pine are tolerant species and bush clover and kidney bean are sensitive species. Although EFD1 manufactured by chemical showed the negative effect on the survival and growth of plants, EFD2 made with waste compost was confirmed that it has the positive influence to the survival and growth of the both sensitive and tolerant plant species for chloride.

Key Words : Eco-friendly deicer, Calcium chloride, Pine(*Pinus densiflora*), Bush clover (*Lespedeza cyrtobotrya*), Young radish, Kidney bean

요약 : 기존 제설제인 염화칼슘(CaCl₂)과 유기산 제설제 EFD(Eco-Friendly Deicer)가 식물의 생존과 생장에 미치는 영향을 파악하였다. 도로주변의 주요 자생종인 소나무와 참싸리 그리고, 재배종인 열무와 강낭콩 유식물에 대하여 제설제의 농도 구배에 따른 생존과 성장반응을 분석하였다. 네 종중에서 참싸리는 제설제에 가장 민감한 생존반응을 보였다. 소나무의 생장은 제설제 종류와 농도변화에 통계적 유의성을 보이지 않았다. 참싸리와 강낭콩의 경우는 CaCl₂와 EFD1의 3%이상의 농도에 성장저해를 보였으나, EFD2에 대해서는 생장이 양호했다. CaCl₂에 대한 생존 및 성장반응으로 확인된 염에 대한 내성이 있는 식물은 열무와 소나무이었고, 민감한 식물은 참싸리와 강낭콩이었다. 화학약품으로 제조한 EFD1은 식물생장의 저해영향이 컸지만, 음식물쓰레기를 활용한 EFD2는 염에 내성이 약한 식물들에게도 생존 및 생장의 피해가 적음을 확인하였다.

주제어 : 친환경 제설제, 염화칼슘, 소나무(*Pinus densiflora*), 참싸리(*Lespedeza cyrtobotrya*), 열무, 강낭콩

1. 서론

겨울철 도로 위에 내리는 눈을 제거하기 위해 현재 세계적으로 널리 쓰이고 있는 제설제는 염화나트륨(NaCl)과 염화칼슘(CaCl₂)과 같은 염화물계 제설제이다. 그러나 이러한 제설제는 염소이온(Cl⁻)을 다량으로 포함하고 있어 대량 살포시 심각한 부식현상과 환경오염의 원인이 되고 있다. 염화물이 물속에 녹아 강이나 호수에 흘러 들어가면 수중생태계의 파괴와 음용수의 오염을 일으킬 수 있다.¹⁾ 또한 염화물은

가로수나 도로변의 식물 생육에 영향을 미치고 육상군집의 구성에 영향을 미칠 수 있다. 제설제로 인한 염화물은 대기에서 분진의 형태로 식물과 직접 접촉하거나 토양에 녹아 들어 식물의 뿌리로 흡수되어 생장에 영향을 미친다. 토양 속에 농축된 CaCl₂는 식물 뿌리와 접촉하여 전반적인 성장장애, 가지 등과 같은 특정부분의 고사 등을 유발하고, 심한 경우에는 식물 자체의 고사를 일으키기도 한다.²⁾

제설제의 이러한 피해 때문에 미국의 연방 도로국(Federal Highway Administration)에서는 1980년대 초에

[†]Corresponding author : E-mail : cewsook@hanmail.net Tel : 033-640-2417 Fax : 033-646-1391

대체 제설제로서 CMA (Calcium Magnesium Acetate)를 개발하였다.³⁾ CMA가 다양한 금속의 부식에 미치는 영향을 연구한 결과 금속교각, 자동차 차체 등의 부식을 저감하는 효과가 있음이 확인되었다.⁴⁾ Salcedo et al과 McCrum은 CMA가 NaCl보다 교각구조 금속에 대한 부식율을 상당히 줄인다는 것을 입증했다.^{5,6)} 그러나 상용화된 CMA는 높은 생산 단가로 인해 범용화하기에는 경제적인 문제가 제기되었다. 따라서 효과가 좋으면서 경제성이 있는 대체 제설제의 개발 필요성이 대두되었다. 유기성 폐기물로부터 당을 추출, 유기산 발효에 이용하는 연구는 원료의 단가를 낮출 수 있는 좋은 방안으로 검토되고 있다. Mathew는 프로피온산을 주 유기산으로 하는 발효공정을 통해 저공해 제설제로서 CMP(Calcium Magnesium Propionate)를 생산하는 방법을 개발하였다.⁷⁾ 음식물 쓰레기나 식품공장 또는 농산, 임산물 처리 시 발생하는 여러 가지 폐기물에서 추출한 프로피온산 박테리아(*Propionibacterium acidipronici*)를 이용하여 유기산을 발효시킨 후 CMO (Calcium Magnesium Salt of Organic acids)를 생산하는 방법의 개발은 유기산의 생산원가를 절감시켰다.^{8,9)} Ca와 Mg는 토양 생물이나 식물의 영양 염류로 이용되며, 유기산은 박테리아에 의해 생분해 되어 환경오염의 위험이 거의 없는 새로운 제설제로 인정받고 있다.

Hanes는 NaCl 함량이 높은 토양에서 자란 식물의 세포조직에 보통의 토양조건에서 자란 식물보다 많은 이온이 축적되는 것을 확인하였다. Minnesota의 도로변에서 생육하는 식물세포 조직에서는 0~32의 다양한 ESP(Exchangeable Sodium Percentage) 수치가 확인되었다. 보통 식물 종의 ESP 내성은 4까지이지만 이에 대한 내성은 식물마다 다양하여 최고 ESP 45까지 내성을 가지는 종들도 있었다(Hanes, 1976). 대부분의 초본은 높은 농도의 나트륨과 염소에 대한 내성이 큰 것으로 확인되었고, 많은 목본 종들도 다양한 내성을 가지지만 특히 침엽수종은 제설염에 대한 내성이 아주 약한 것으로 확인되었다. 또한 어린 식물일수록 염에 노출되었을 때 받는 영향이 더 커지는 것이 확인되었다. 염에 의한 식물의 피해는 잎이 말라 떨어지거나, 줄기나 작은 가지는 말라 죽거나 전체 식물체가 고사하는 것으로 나타났다. 식물체내에 염이온이 축적되어 독성농도에 이르면 세포내 영양소의 균형이 깨지게 된다. 영국의 Gibbs and Burdekin은 런던에서 식물이 짙이 트면서 고사하는 것의 결정적인 이유가 염에 의한 것이라고 보고했는데, 이러한 영향은 식물의 발육 정지기 이후에도 영향을 미치는 것으로 확인되었다. Simini and Leone는 염을 함유한 토양에서 콩의 성장이 감소하였지만, 이 식물을 염이 적은 토양에 옮겨 심으면 다시

잘 성장하는 것을 확인하였다.¹²⁾ Hanes는 고농도의 나트륨도 식물에 해롭지만 염소이온의 축적이 일어나면 더욱 해롭다는 것을 밝혔다.¹⁰⁾ CaCl₂는 자연 상태에서 금속에 대한 부식율이 아주 크고, NaCl보다 환경적인 피해도 더욱 심한 것으로 알려져 있는데, 그 이유는 CaCl₂가 NaCl보다 단위중량당 염소를 더 많이 포함하고 있기 때문이다. CaCl₂가 도로주변의 식물들에게 피해를 주는 주요 원인은 식물세포에 독성을 줄 정도의 염소가 축적되기 때문이다. CMA용액을 초본이나 목본에 관개하거나 살포한 실험에서 식물의 생장에 미치는 피해가 경미하다는 사실이 보고되었다.^{13,14)} 다양한 초본과 교목 종에 대한 CMA의 처리실험에서 일정농도 이상의 CMA는 실내실험에서 식물에 피해를 입히는 것으로 확인되었지만, 동일농도를 야외에 처리했을 경우 식물의 활력에 미치는 영향이 적다는 것이 확인되었고, 동물성 플랑크톤과 물고기 실험에서도 산소를 고갈하지 않는다면 일정 수준의 CMA 농도 처리에서 생존율이 높음이 확인되었다.¹⁵⁾

유기산을 발효시켜 만든 제설제가 환경에 미치는 영향에 대한 연구는 많지 않으나, 음식물쓰레기나 유기성 폐기물의 재활용 및 자원화 과정에서 음식물쓰레기 내에 포함되어 있는 염분이 식물에 미치는 영향은 검토되었다. 배 등은 음식물 쓰레기 염분농도가 퇴비화 및 식물성장에 미치는 영향에 대한 연구를 통하여 염분 농도가 습랑기준 1%까지는 영향이 적으며, 2, 3%에서 영향이 나타나기 시작하여 6%에서는 크게 나타남을 확인하였다.¹⁶⁾ 또한 염분함량이 퇴비화에 미치는 영향을 고려했을 때 3%까지는 그다지 크지 않음을 보였으나, 염분함량이 3% 이상에서는 유기물 분해효율을 저하시키는 요인으로 작용함을 확인했다. 또한 상추성장에 있어서 음식물쓰레기와 화학비료 처리를 비교한 결과 음식물쓰레기를 사용한 경우의 상추 생중량이 화학비료를 사용한 경우보다 2~3배 더 컸음을 보여, 식물 성장에 있어서, 음식물쓰레기의 퇴비효과를 긍정적으로 평가하였다.⁹⁾ 이 등은 고속도로 휴게소의 음식물쓰레기의 발효 공정에서 생성한 유기산을 추출하여 저공해 제설제를 개발하였고, 식물의 발아와 성장 그리고 수중어류에 미치는 영향에 대한 연구를 통하여 긍정적인 결과를 얻은 바 있다.⁸⁾ 식물성장 실험에서 제설제 CMA, CMP, CMO, NaCl, CaCl₂에 대한 플라물라꽃, 토마토 및 양배추의 변색정도의 변화를 관측한 결과 유기산제설제가 염화제설제보다 덜 유해하다는 것을 확인하였으나, 식물 생존 및 성장상태를 평가하지는 않았으며, 통계분석이 이루어지지 않았다. 양 등은 음식물쓰레기를 이용한 친환경성 액상유기산 제설제를 개발하고 이를 실용화하기 위한 연구를 수행하였는데, 음식물쓰레기 발효액의 고액분리를 위한 정

밀어과 분리막 장치와 농축을 위한 역삼투 장치를 사용하여 유기산 제설제 EFD(Eco-Friendly Deicer)를 개발하였다.^{17,18)} EFD 제설제는 용빙성능의 평가 결과 습염식 제설제의 용빙성능과 큰 차이가 없음이 확인되었고^{19,20)} 식물생장에 저해효과가 크지 않음을 보였다.²¹⁾

본 연구에서는 개발한 제설제가 환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 기존에 사용되는 제설제인 CaCl₂와 저염화물계 친환경 제설제인 EFD가 도로 주변의 산지 식생에 많이 분포하는 자생종인 소나무와 참싸리 그리고, 도로 주변의 경작지에서 흔히 볼 수 있는 재배종인 열무와 강낭콩의 생존 및 생장에 미치는 영향에 대해 검토하고, 통계적인 분석을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 제설제

제설제가 식물의 생장에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 기존 제설제인 염화칼슘(CaCl₂)과 새롭게 개발한 제설제인 EFD1과 EFD2를 준비하였다. EFD1은 고농도의 유기산을 화학약품으로 제조한 화학적 제설제로서, 제조에 사용한 화학성분과 농도에 대한 자료는 Table 1과 같으며 pH 범위는 6.5~7.0이다. EFD2는 오페수 슬러지와, 음식물쓰레기를 직접 이용하여 만든 고농도 유기산을 함유하는 액상형 친환경 제설제이며, ICP-OES(Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer)와 IC(Ion chromatograph) 이용하여 분석한 화학적 성분은 Table 2와 같다.

2.2. 식물의 선정

실험에 사용한 식물은 소나무(*Pinus densiflora*), 참싸리(*Lespedeza cyrtobotrya*), 열무(신곶단이), 강낭콩(아시아 얼룩이) 이었다. 소나무는 도로 인근 지역에 많이 서식하는 식물로서 성체가 되기까지 10년 이상이 걸리며, 단기간

Table 1. Composition and ratio of mixed chemicals to manufacture deicer, EFD1

Mixed chemicals	Weight (g)	Ratio (%)
KOH	1,030	27.91
Acetic acid	1,400	37.94
Propionic acid	700	18.97
NaCl	385	10.43
H ₂ O	175	4.74
Total	3,690	100.00

Table 2. Composition and ratio of chemical component to Eco-Friendly Deicer, EFD2 (ICP and IC)

Chemical components	Concentration (mg/L)	Ratio (%)
Na	3,754.27	27.28
NH ₄	978.78	7.11
K	3,161.60	22.97
Ca	735.79	5.35
Mg	170.60	1.24
Cl	3,899.52	28.33
SO ₄	833.18	6.05
NO ₃	17.63	0.13
PO ₄	197.84	1.44
Mn	ND	-
Fe	2.76	0.02
Al	0.42	0.00
Pb	0.05	0.00
Cu	ND	-
Cd	ND	-
Zn	9.77	0.07
Ni	0.63	0.00
Cr	ND	-
Total	13,762.84	100.00

ND : not detected(<0.05 mg/L)

에 성장이 빠르지 않아 실험을 수행하는데 많은 시간이 소요된다. 따라서 강원도 사천면 노동리 도로 주변의 산지에서 비교적 생장이 빠른 2~3년생의 자연생 유묘를 현장에서 채집하여 실험에 사용하였다. 도로변이나 훼손지의 복원을 위해 많이 파종하는 참싸리는 녹화복원용으로 야생에서 채집된 종자를 구입하여 저온 냉장 조건에서 보관 한 후 실험에 사용하였다. 도로변의 경작지에 재배하는 식물중의 하나인 열무(상품명:신곶단이열무)는 잎의 색이 약간 짙으며 반입성으로 빨리 자라므로 초기생육이 빠르며, 고온에도 잘 견디는 편이라 수량성이 좋아서 실험용 식물로 선정하였다. 아시아 얼룩이 강낭콩 종자는 시중에서 구입하여 실험에 사용하였다. 파종 후 68일 정도면 수확할 수 있는 중생종으로 초기 성장이 왕성하고 비덩굴성이며, 파종시기가 서리가 내리지 않은 4~5월경이어서 본 생장 실험에 적합한 종자 이었다.

2.3. 실험방법

야외에서 식물재배를 위하여 강릉원주대학교 구내에 비닐 하우스를 설치하였다. 소나무를 심기 위한 pot는 직경 10 cm 크기의 둥근 모양의 화분을 그리고 참싸리, 열무 및 강낭콩을 재배하기 위해서는 각각의 구획이 5 cm×5 cm로 구분된 구획구분용 pot를 준비하였다. 식재할 기질로는 영양분이 함유된 상토를 준비하였는데, 실험에 사용한 상토의 이화

학적 특성은 Table 3과 같다. 실험에 들어가기에 앞서 소나무는 한 개의 pot당 한 개의 묘목을 심고, 비닐하우스에서 한 달 정도 순화재배 하였다. 파종 식물은 비닐하우스에서 20일간 종자 발아시킨 후, 각 식물의 모종을 균등한 상태로 재배하기 위해 성장상태가 가장 양호한 개체를 선발하여 큰 pot에 옮겨 심고, 10일간 순화재배 하였다. 식물의 상태가 안정되면, 준비한 세 종류의 제설제(CaCl₂, EFD1 및 EFD2)를 5가지 농도 구배(0%, 1%, 2%, 3%, 5%)로 제조한 후, 각각의 처리용액 100 mL를 공시식물체에 살포한 후 1일 간격으로 생존 및 성장 상태를 조사하였다(Fig. 1). 제설제 처리용액의 첫 번째 살포 후 10일 경과 시점에 2차 살포하였다. 제설제 처리이외에 실험기간 동안 식물이 마르지 않도록

물을 공급하였다. 생존의 기준은 식물의 모든 잎이 녹색을 잃은 경우 고사한 것으로 판단하였다. 열무와 강낭콩은 실험시작일로부터 20일이 경과한 후 수확하였고, 소나무와 참싸리는 22일째에 처리용액을 3차로 살포한 후 42일째 수확하였다. 수확한 식물의 뿌리와 줄기를 구분하여 길이를 측정하였고, 뿌리와 줄기를 분리한 상태로 건조하여 뿌리 및 줄기 건조 중량을 측정하였다. 식물의 크기와 건조중량에 대한 제설제 처리농도의 영향을 평가하기 위해 일원분산분석(One-Way Analysis of Variance)을 SYSTAT 10 프로그램을 이용하여 분석하였다. 처리구간의 평균값의 차이를 파악하기 위한 사후분석은 Tukey 검정(P<0.05)을 이용하였다.

Table 3. Physico-chemical properties of vermiculite for the plant growth experiment

Characteristics	Item	Unit	Guarantee range
Physical properties	Water content	%	40-55
	Water holding capacity	%	55-65
	Density	kg/L	0.2-0.4
Chemical properties	pH(1:5, v/v)	-	5.5-7.0
	E.C.(1:5, v/v)	ds/m	below 1.2
	Nitrogen (Ammonite +Nitrate)	mg/L	200-300
	Phosphorus(P ₂ O ₅)	mg/L	200-300
	Cation Exchange Capacity(CEC)	mg/L	above 10
Toxic substance	As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu	mg/L	less than the standard amount
	Herbicide component	-	Non detection
Biological properties	Disease germ	-	Nothing



Fig. 1. Condition of pine(*Pinus densiflora*), bush clover(*Lespedeza cyrtobotrya*), young radish and kidney after first spraying of deicers.

3. 결 과

3.1. 식물 생존에 미치는 제설제의 영향

세 종류 제설제의 처리농도별 네 종류의 공시식물 생존율의 변화를 시간경과에 따라 나타낸 것이 Fig.2~4이다. 실험에 사용한 식물 중에서 제설제 CaCl₂에 대한 생존적인 면을 고려한 내성이 가장 큰 식물은 열무이었고, 가장 민감한 식물은 참싸리였다(Fig. 3과 4). 참싸리는 제설제 처리에 따라 매우 빠른 생존반응을 보였고, 농도구배에 따라 뚜렷한 차이를 나타내었다. 소나무는 CaCl₂ 처리농도에 따른 큰 차이가 없었고, 콩은 5%에서 생존율이 낮았는데, 그 반응은 단기적으로 나타나지 않고 2차 처리가 끝난 10일 이후에 빠르게 생존율이 낮아졌다. 따라서 제설제 CaCl₂에 대한 생존반응의 내성은 열무, 소나무, 콩 및 참싸리의 순이었다. 제설제 EFD1에 대한 생존반응을 비교하면, 소나무는 농도구배에 따른 차이가 크지 않았고, 다른 세 종은 고농도의 처리에 의해 생존율이 현저하게 떨어짐이 확인되었고, 반응이 매우 빨랐다. 제설제 EFD1에 대한 생존반응의 내성은 소나무, 콩, 열무 및 참싸리의 순이었다. EFD2에 대한 생존반응은 모든 식물에서 내성을 나타내는 것으로 확인되었다. EFD2에 대한 상대적인 내성은 열무, 콩, 참싸리 및 소나무의 순이었다. 제설제 처리에 따른 소나무의 생존반응은 큰 차이를

나타내지 않았다. 그 이유는 종자로부터 발아한 어린 단계의 다른 식물에 비해 발달상태가 양호한 2~3년생 유묘를 실험에 사용했기 때문에 상대적으로 외부적인 처리에 대한 내성이 컸던 것으로 보인다. 제설제 처리에 따른 참싸리의 생존반응을 비교하면, 참싸리의 생존은 CaCl₂와 EFD1에 대해서는 민감하게 반응하였으나 EFD2에 대해서는 민감하게 반응하지 않았다. 열무의 생존은 EFD1에 대해서만 민감하게 반응하였고, CaCl₂와 EFD2에 대해서는 민감하게 반응하지 않았다. 콩의 생존반응은 CaCl₂와 EFD2의 고농도 처리에서만 민감하게 반응하였고 EFD2에 대해서는 민감하게 반응하지 않았다. 결론적으로 EFD2는 기존 제설제인 CaCl₂에 비해 식물의 생존율에 미치는 영향이 적었다고 할 수 있는데, 특히 기존 제설제인 CaCl₂에 매우 민감하게 반응하는 참싸리의 생존율을 크게 향상시킨다고 할 수 있다.

3.2. 식물 생장에 미치는 제설제의 영향

세 종류의 제설제의 처리에 대하여 2~3년생 소나무 유묘는 단기간의 처리에 의하여 성장반응의 차이가 없는 것으로 확인되었다(Table 4와 Fig. 6). 따라서 일정 시점까지 발달한 소나무는 제설제에 대한 내성이 있다고 할 수 있다. 참싸리는 제설제 CaCl₂와 EFD1의 처리농도에 따라 성장저해가 현저하게 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 새로이

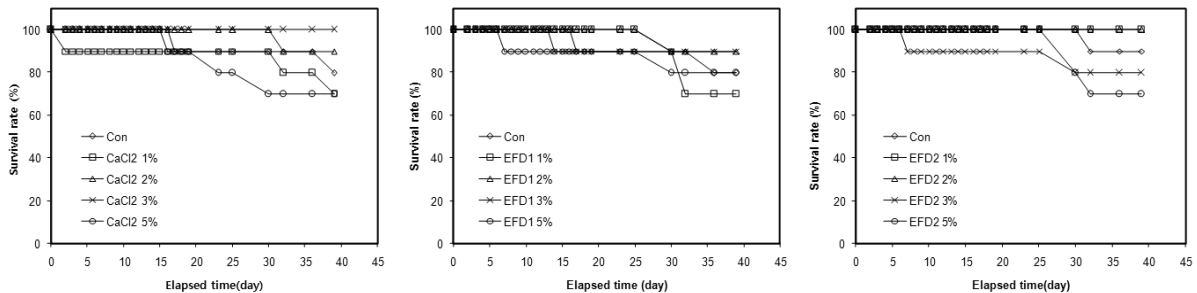


Fig. 2. Changes of the survival rate of the pine(*Pinus densiflora*) according to elapsed time with different doses of deicers.

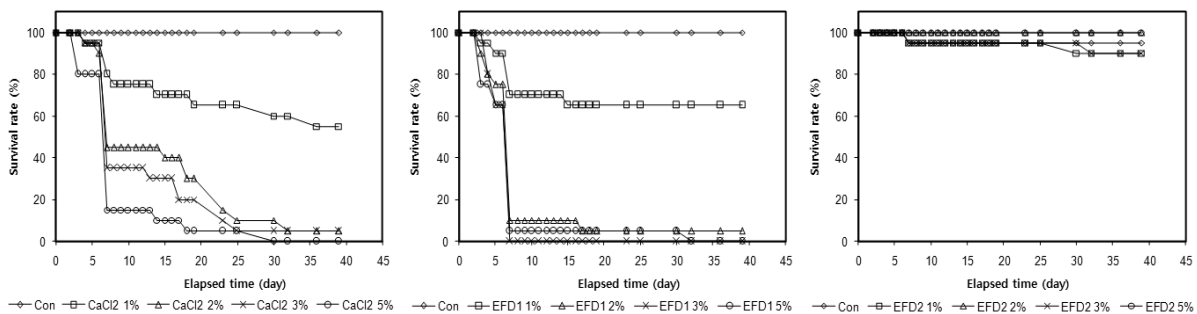


Fig. 3. Changes of the survival rate of the bush clover(*Lespedeza cytobotrya*) according to elapsed time with different doses of deicers.

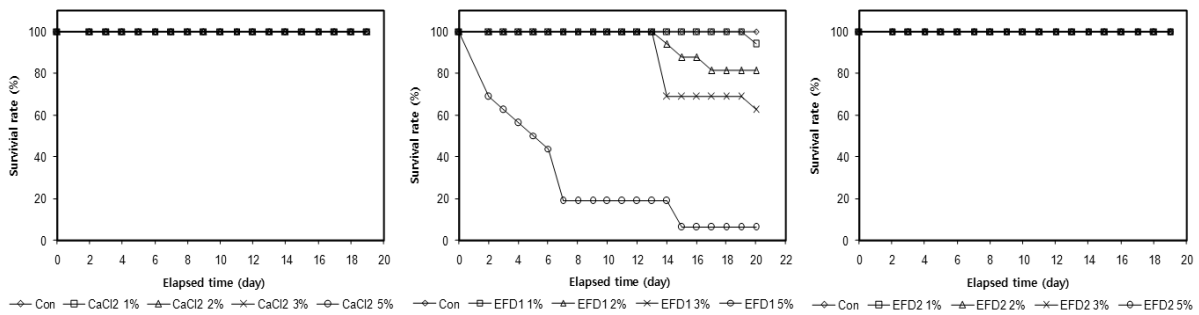


Fig. 4. Changes of the survival rate of the young radish according to elapsed time with different doses of deicers.

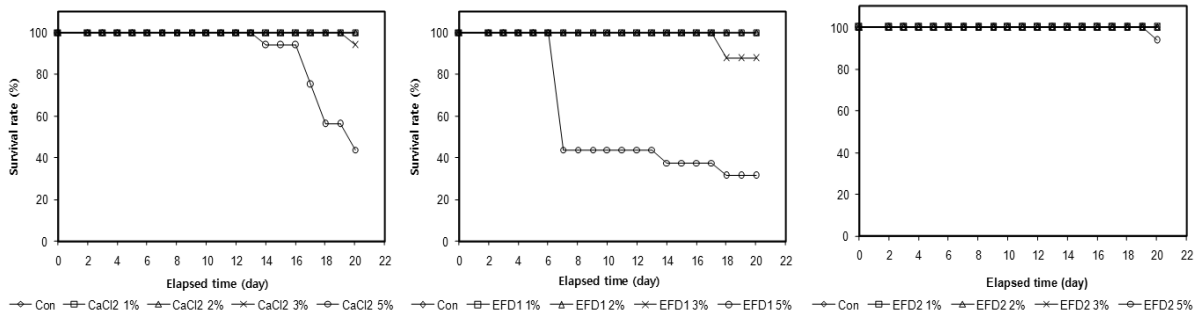


Fig. 5. Changes of the survival rate of the kidney bean according to elapsed time with different doses of deicers.

개발한 EFD2의 처리농도에 따른 약간의 성장둔화 경향은 있었지만 대조구와 통계적인 유의성이 인정되지 않은 것으로 보아 생장에 현저한 변화를 주지 않은 것으로 보인다. 다만 5%의 EFD2는 뿌리의 길이 생장에 약간의 영향을 주는 것으로 분석되었다(Table 5와 Fig. 7). 열무는 CaCl₂의 농도 증가에 따라 건중량은 다소 감소하는 반면, 길이생장은 농도 3%내에서 증가하였다. 고농도의 CaCl₂에 대하여 건중량과

다소 감소하였지만 길이생장에는 큰 영향을 받지 않았고, EFD1에 대해서는 농도구배에 따라 건중량과 길이생장 모두 현저한 영향을 받았다. 그러나 EFD2에 대해서는 건중량과 길이생장에 거의 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다(Table 6과 Fig. 8). 콩은 CaCl₂와 EFD1의 처리농도에 따라 성장저해가 현저하게 일어나는 것을 확인할 수 있었는데, 길이생장보다는 건중량에 미치는 영향이 더욱 뚜렷하였다. 그

Table 4. Growth response of the shoot and root of young pine(*Pinus densiflora*) according to the concentration gradient of the deicers. Numerals represent average \pm standard deviation

Measured items	Parts of Plant	Deicer types	Concentration				
			0%	1%	2%	3%	5%
Biomass (D.W. mg)	Shoot	CaCl ₂	539 \pm 246 ^{ab}	753 \pm 378 ^{ab}	1010 \pm 556 ^a	516 \pm 293 ^b	571 \pm 365 ^{ab}
		EFD1	721 \pm 475 ^a	823 \pm 582 ^a	721 \pm 595 ^a	858 \pm 509 ^a	544 \pm 246 ^a
		EFD2	784 \pm 613 ^{ab}	1284 \pm 422 ^a	881 \pm 499 ^{ab}	535 \pm 262 ^b	486 \pm 280 ^b
	Root	CaCl ₂	244 \pm 135 ^a	442 \pm 403 ^a	500 \pm 270 ^a	294 \pm 113 ^a	566 \pm 307 ^a
		EFD1	519 \pm 237 ^a	477 \pm 281 ^a	470 \pm 229 ^a	467 \pm 201 ^a	372 \pm 273 ^a
		EFD2	538 \pm 303 ^{ab}	689 \pm 273 ^a	394 \pm 155 ^b	378 \pm 168 ^b	312 \pm 129 ^b
Length (mm)	Shoot	CaCl ₂	141 \pm 24 ^{ab}	145 \pm 24 ^{ab}	150 \pm 39 ^a	111 \pm 18 ^b	131 \pm 18 ^{ab}
		EFD1	124 \pm 33 ^a	135 \pm 24 ^a	129 \pm 21 ^a	125 \pm 22 ^a	119 \pm 18 ^a
		EFD2	128 \pm 28 ^b	167 \pm 28 ^a	125 \pm 23 ^b	119 \pm 18 ^b	102 \pm 21 ^b
	Root	CaCl ₂	141 \pm 34 ^{ab}	188 \pm 73 ^{ab}	212 \pm 47 ^a	168 \pm 50 ^{ab}	160 \pm 39 ^{ab}
		EFD1	199 \pm 47 ^a	169 \pm 51 ^a	155 \pm 57 ^a	192 \pm 48 ^a	154 \pm 44 ^a
		EFD2	222 \pm 61 ^a	207 \pm 36 ^a	176 \pm 46 ^a	166 \pm 40 ^a	167 \pm 50 ^a

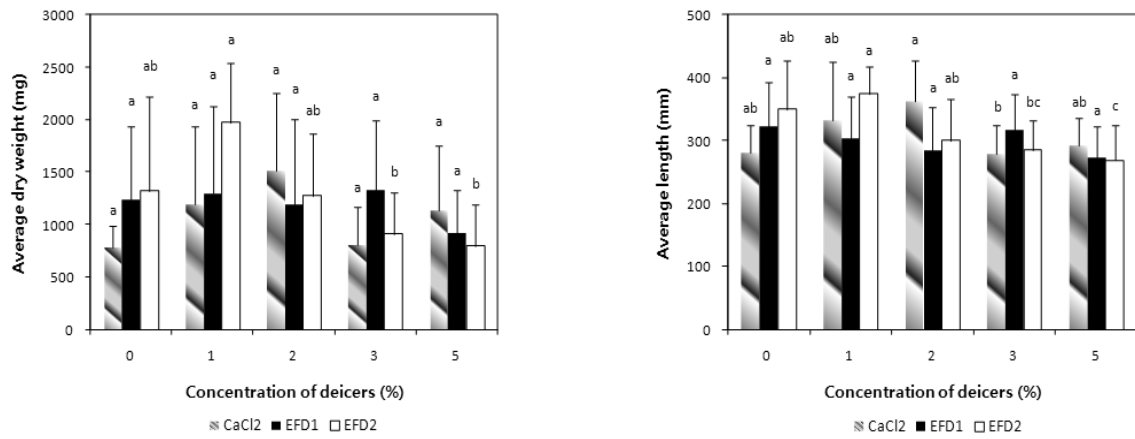


Fig. 6. Growth response of the total plant of young pine(*Pinus densiflora*) according to the concentration gradient of the deicers.

Table 5. Growth response of the shoot and root of bush clover(*Lespedeza cyrtobotrya*) according to the concentration gradient of the deicers. Numerals represent average \pm standard deviation

Measured items	Parts of Plant	Deicer types	Concentration				
			0%	1%	2%	3%	5%
Biomass (D.W. mg)	Shoot	CaCl ₂	51 \pm 23 ^a	19 \pm 31 ^b	1 \pm 4 ^c	1 \pm 2 ^c	0 \pm 0 ^c
		EFD1	27 \pm 22 ^a	15 \pm 17 ^b	0 \pm 0 ^c	0 \pm 0 ^c	0 \pm 0 ^c
		EFD2	75 \pm 54 ^a	55 \pm 37 ^{ab}	44 \pm 32 ^b	46 \pm 24 ^{ab}	36 \pm 25 ^b
	Root	CaCl ₂	81 \pm 20 ^a	27 \pm 39 ^b	4 \pm 16 ^c	3 \pm 13 ^c	0 \pm 0 ^c
		EFD1	42 \pm 23 ^a	19 \pm 19 ^b	0 \pm 0 ^c	0 \pm 0 ^c	0 \pm 0 ^c
		EFD2	72 \pm 47 ^a	56 \pm 34 ^a	62 \pm 40 ^a	50 \pm 35 ^a	58 \pm 37 ^a
Length (mm)	Shoot	CaCl ₂	78 \pm 16 ^a	35 \pm 36 ^b	4 \pm 17 ^c	3 \pm 12 ^c	0 \pm 0 ^c
		EFD1	58 \pm 22 ^a	29 \pm 25 ^b	0 \pm 0 ^c	0 \pm 0 ^c	0 \pm 0 ^c
		EFD2	82 \pm 30 ^a	74 \pm 22 ^a	64 \pm 22 ^a	70 \pm 13 ^a	63 \pm 21 ^a
	Root	CaCl ₂	140 \pm 33 ^a	53 \pm 54 ^b	6 \pm 25 ^c	5 \pm 23 ^c	0 \pm 0 ^c
		EFD1	105 \pm 36 ^a	67 \pm 58 ^b	0 \pm 0 ^c	0 \pm 0 ^c	0 \pm 0 ^c
		EFD2	130 \pm 35 ^a	115 \pm 31 ^{ab}	119 \pm 33 ^{ab}	122 \pm 34 ^{ab}	98 \pm 24 ^b

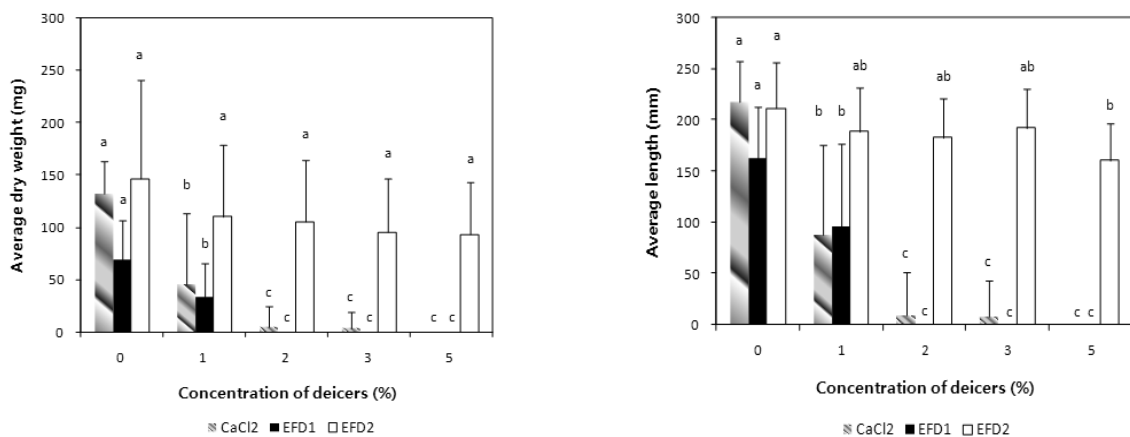


Fig. 7. Growth response of the total plant of bush clover(*Lespedeza cyrtobotrya*) according to the concentration gradient of the deicers.

Table 6. Growth response of the shoot and root of young radish according to the concentration gradient of the deicers. Numerals represent average \pm standard deviation

Measured items	Parts of Plant	Deicer types	Concentration				
			0%	1%	2%	3%	5%
Biomass (D.W. mg)	Shoot	CaCl ₂	1133 \pm 174 ^a	1074 \pm 262 ^{ab}	1109 \pm 168 ^a	1063 \pm 318 ^{ab}	831 \pm 281 ^b
		EFD1	956 \pm 204 ^a	783 \pm 330 ^{ab}	572 \pm 398 ^{ab}	484 \pm 442 ^b	3 \pm 10 ^c
		EFD2	1004 \pm 288 ^a	1251 \pm 289 ^{ab}	1115 \pm 273 ^a	1142 \pm 265 ^a	1184 \pm 325 ^a
	Root	CaCl ₂	521 \pm 182 ^a	435 \pm 151 ^a	351 \pm 85 ^{ab}	276 \pm 96 ^b	233 \pm 86 ^b
		EFD1	375 \pm 80 ^a	328 \pm 151 ^a	181 \pm 117 ^b	159 \pm 138 ^b	1 \pm 5 ^c
		EFD2	567 \pm 156 ^a	444 \pm 129 ^{ab}	365 \pm 69 ^b	445 \pm 116 ^{ab}	478 \pm 95 ^{ab}
Length (mm)	Shoot	CaCl ₂	133 \pm 11 ^{bc}	146 \pm 16 ^{ab}	147 \pm 12 ^{ab}	153 \pm 19 ^a	128 \pm 19 ^c
		EFD1	127 \pm 16 ^a	110 \pm 39 ^a	91 \pm 48 ^a	66 \pm 54 ^b	3 \pm 11 ^c
		EFD2	123 \pm 10 ^a	133 \pm 15 ^a	136 \pm 14 ^a	135 \pm 21 ^a	128 \pm 12 ^a
	Root	CaCl ₂	146 \pm 36 ^{ab}	159 \pm 36 ^{ab}	177 \pm 41 ^a	161 \pm 42 ^{ab}	125 \pm 28 ^b
		EFD1	149 \pm 37 ^a	162 \pm 58 ^a	127 \pm 67 ^a	98 \pm 83 ^a	8 \pm 30 ^b
		EFD2	151 \pm 33 ^a	147 \pm 35 ^a	164 \pm 43 ^a	145 \pm 37 ^a	133 \pm 21 ^a

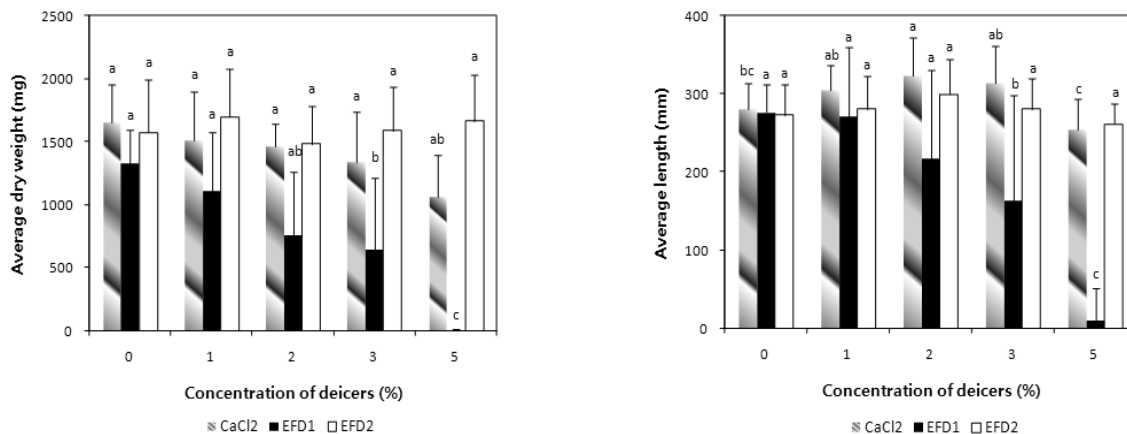


Fig. 8. Growth response of the total plant of young radish according to the concentration gradient of the deicers.

Table 7. Growth response of the shoot and root of kidney bean according to the concentration gradient of the deicers. Numerals represent average \pm standard deviation

Measured items	Parts of Plant	Deicer types	Concentration				
			0%	1%	2%	3%	5%
Biomass (D.W. mg)	Shoot	CaCl ₂	1073 \pm 293 ^a	786 \pm 318 ^b	724 \pm 228 ^{bc}	538 \pm 229 ^c	101 \pm 135 ^d
		EFD1	996 \pm 208 ^a	1059 \pm 258 ^a	822 \pm 244 ^a	806 \pm 413 ^a	169 \pm 274 ^b
		EFD2	941 \pm 292 ^a	938 \pm 181 ^a	1088 \pm 233 ^a	911 \pm 325 ^a	852 \pm 412 ^a
	Root	CaCl ₂	399 \pm 106 ^{ab}	439 \pm 303 ^a	251 \pm 91 ^b	161 \pm 70 ^{bc}	83 \pm 110 ^c
		EFD1	395 \pm 118 ^a	438 \pm 123 ^a	311 \pm 111 ^a	326 \pm 195 ^a	59 \pm 115 ^b
		EFD2	411 \pm 115 ^a	431 \pm 134 ^a	458 \pm 143 ^a	397 \pm 161 ^a	379 \pm 194 ^a
Length (mm)	Shoot	CaCl ₂	242 \pm 32 ^a	230 \pm 23 ^a	219 \pm 30 ^a	186 \pm 57 ^b	61 \pm 73 ^c
		EFD1	252 \pm 34 ^a	242 \pm 22 ^a	237 \pm 23 ^a	197 \pm 84 ^a	55 \pm 85 ^b
		EFD2	240 \pm 29 ^{ab}	244 \pm 25 ^{ab}	268 \pm 19 ^a	241 \pm 35 ^{ab}	212 \pm 67 ^b
	Root	CaCl ₂	169 \pm 33 ^a	171 \pm 35 ^a	189 \pm 26 ^a	159 \pm 67 ^a	67 \pm 81 ^b
		EFD1	174 \pm 35 ^a	199 \pm 43 ^a	177 \pm 43 ^a	153 \pm 75 ^a	46 \pm 74 ^b
		EFD2	163 \pm 42 ^a	175 \pm 30 ^a	193 \pm 41 ^a	178 \pm 40 ^a	171 \pm 66 ^a

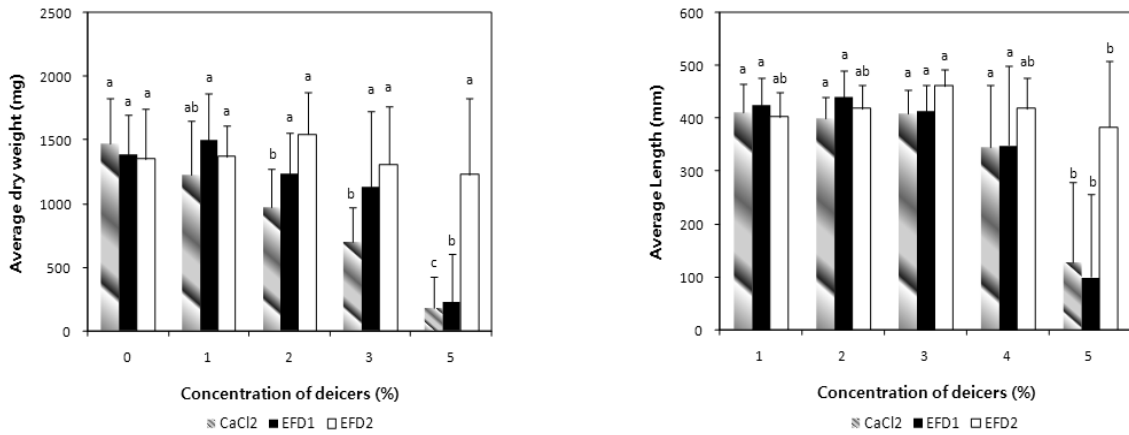


Fig. 9. Growth response of the total plant of kidney bean according to the concentration gradient of the deicers.

러나 EFD2에 대해서는 건중량과 길이생장 모두 큰 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다(Table 7과 Fig. 9). 결론적으로 성장반응을 통하여 소나무는 기존 제설제인 CaCl₂에 대한 내성이 큰 것으로 보이며, 참싸리는 매우 민감한 종으로 판단되었고, 열무와 콩은 고농도에서 성장저해를 받는 종으로 판단되었다. EFD1은 기존 제설제보다 식물의 생장에 대한 저해가 더 큰 것으로 확인되었고, EFD2는 성장 저해가 고농도에서도 크게 나타나지 않는다는 것을 확인하였다.

4. 고찰

제설제를 다량 살포하는 산간도로 주변의 산지에 넓게 분포하는 소나무와 참싸리, 그리고 도로주변의 경작지에서 흔히 재배하는 열무와 강낭콩의 대하여 제설제 CaCl₂에 대한 생존과 성장반응을 살펴본 결과 2~3년생 소나무 유식물과 열무는 염에 대한 내성이 있는 식물로 그리고 참싸리는 민감한 식물로 확인되었다. 콩은 중간정도의 내성을 보였다.

제설제가 아니더라도 자연에서는 염분에 노출된 지역이 다수 분포하고, 그러한 환경에는 독특하게 적응한 식물들이 분포하고 있기 때문에 염에 대한 내성기작에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔다. 고농도의 염에 대하여 적응을 하여 이러한 환경에 대한 내성이 큰 식물들을 염생식물(halophyte)라고 하고, 이들은 염분이 많은 환경에서 자생하면서 자신의 생활사를 완료한다. 또한 염에 대

한 어느 정도의 내성을 가지지만 염이 적은 환경에서 보다 잘 생존하고 성장하는 식물을 임의 염생식물(facultative halophyte)라 하고, 염에 대한 내성이 없는 식물을 비염생식물이라고 한다. 임의 염생식물이나 비염생식물은 염에 대한 독성으로 인하여 염농도의 구배에 따라 생존, 성장 저해, 잎의 탈색, 건중량 감소 등의 징후를 보이기 시작하는 염 농도의 역치를 갖는 것이 보통이다.²²⁾ 작물 중에서 옥수수, 양파, 굴, 피칸, 상추, 그리고 콩은 염에 심한 감수성을 나타내며, 목화과 보리는 중간 정도의 내성을 나타낸다. 그리고 사탕무와 대추야자는 내성이 아주 큰 것으로 알려져 있다.²³⁾ 본 연구에서 염화칼슘의 농도 구배에 의한 생존과 성장반응을 검토한 결과, 열무의 내성이 크고 콩의 내성이 중간으로 평가된 결과는 이러한 보고와 어느 정도 일치하는 것이라 할 수 있다. Larcher은 주요 자생 목본과 초본을 대상으로 염성토양과 염분살포에 대한 상대적인 민감도를 정리하였다.²⁴⁾ 염에 민감한 것으로 알려진 활엽수와 침엽수의 독성을 나타내는 염화물 함량의 역치는 건중량 대비 염의 농도가 각각 0.3~0.5%와 0.2~0.4% 이고, 염에 내성이 있는 활엽수와 침엽수의 그 것은 각각 0.8~1.6%와 0.6%이었다^{25~28)} 본 실험의 공시재료인 참싸리는 활엽관목으로 염에 대한 감수성이 매우 컸고, 침엽수인 소나무는 염화물에 대한 내성이 컸는데, 이것은 활엽수와 침엽수의 독성을 나타내는 염화물의 역치 결과와는 상반된 결과이다. 이러한 이유는 참싸리가 활엽수이기는 하나, 소나무에 비해 상대적으로 어린 상태이고, 성장상태가 같은 활엽수나 침엽수라고 하더라도 종에 따른 내성 차이가 매우 크게 나타나기 때문

이다.²⁴⁾ Robidoux는 NaCl, NaF_o, CMA 제설제를 이용하여 대형 중생식물인 큰다닥냉이, 보리, 붉은김의털, 그리고 왕포아풀에 대해 독성 실험을 수행하였는데, 종합적으로 CMA가 가장 독성이 적었고, NaF_o와 NaCl의 독성은 비슷한 것으로 평가되었다.²⁹⁾ 또한 제설제에 민감한 식물은 켄터키블루그래스임을 밝혔다. 또한 제설제의 독성은 인위적이 토양보다 자연적인 토양에서 더 작다는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 고농도 유기산 화학약품을 이용하여 만든 인위적인 친환경 제설제 EFD1은 오히려 식물의 생존과 생장에 가장 치명적인 영향을 끼친 것으로 확인되었다. 그러나 음식물 쓰레기의 유기산을 활용하여 만든 친환경 제설제인 EFD2는 실험에 사용한 모든 식물의 생존 및 생장에 있어서 가장 피해가 적은 제설제로 확인되었고, 저농도의 살포는 퇴비 효과를 나타내 일부 식물의 생장에 긍정적으로 작용하였다. 음식물쓰레기를 재활용하여 제설제를 개발하는 측면은 환경오염 저감효과와 환경오염 처리비용 및 제설제 원료비 절감에 따른 경제적인 효과가 상당히 크다. 또한 용빙성능 평가에 있어서,²⁰⁾ 저염물계 친환경 제설제인 EFD가 기존 습염식 제설제와 대등한 수준의 초기 용빙성능을 보였다.²⁰⁾ 현장살포 실험에서 용빙성능을 검토한 결과 전반적인 용빙성능이 습염식 제설제의 용빙 성능에 비해 큰 차이가 없음을 확인함으로써, 제설제로서의 활용 가치도 있음이 입증되었다. 본 연구결과 음식물 쓰레기를 활용하여 만든 친환경 제설제 EFD2는 식물의 생존과 생장에 있어서 기존의 제설제 CaCl₂보다 피해가 적음을 확인할 수 있었다.

한국도로공사는 선진외국에서 사용하는 습염살포식 제설작업방법을 도입하여 고체소금을 염화칼슘용액(30%농도)에 7:3의 중량비로 섞어서 운영 실험한 결과에서 습염살포의 효율성이 높다는 것을 제시하였으며, 실험에서의 적설량에 따른 제설제의 사용 농도는 1.19~7.96%범위였다.³⁰⁾ 그러나 실제 상주시사의 2002~2004년에 습염살포 제설제 사용량을 파악한 결과, 강설량에 따른 제설제 사용 농도는 약 0.5~0.8%범위로 높지 않았다.³¹⁾ 실제 제설 작업을 위해 제설제 사용뿐만 아니라 제설기로 눈을 밀어내는 방법을 사용하기 때문에 강설량에 의한 제설제의 농도는 더 낮아질 것으로 보인다. 용해한 물이 제설제와 함께 토양에 침투하여 식물의 뿌리에 의해 흡수되는

경우라면, 현재 사용하는 제설제의 농도는 식물 생장에 미치는 영향이 크지 않을 것으로 판단되나, 대기의 분진 형태로 식물의 잎이나 줄기에 직접적으로 접촉되는 경우에는 고농도의 제설제로 인해 피해가 있을 것으로 보인다. 따라서 도로 주변의 식물 종을 고려한 제설제 종류의 합리적인 사용과 제설제 살포시의 적절한 방법이 필요하다.

5. 결론

제설제가 환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 기존에 사용되는 제설제인 CaCl₂와 새롭게 개발한 저염화물계 친환경 제설제인 EFD1과 EFD2가 자생종인 소나무와 참싸리 그리고, 재배종인 열무와 강낭콩의 생존 및 생장에 미치는 영향을 분석하였다. 실험에 사용한 EFD1은 고농도의 유기산 화학약품을 처리하여 제조한 화학적 제설제이고, EFD2는 오페수 슬러지, 음식물쓰레기를 직접 이용하여 고농도 유기산을 함유하는 액상형 친환경 제설제이었다. 제설제에 대한 식물의 생존과 성장반응은 야외에 설치한 비닐하우스에서 이루어졌고, 농도구배는 0%, 1%, 2%, 3% 및 5%의 제설제 처리용액을 이용하였다. 기존 제설제 CaCl₂에 대한 네 종의 식물 생존과 성장 반응 실험 결과 열무는 염에 대한 내성이 큰 식물로 판명되었고, 참싸리는 민감한 식물로 판명되었다. EFD1은 기존 제설제보다 독성이 더 큰 반면, EFD2는 기존 제설제인 CaCl₂보다 공시식물에 대한 생존과 성장 반응의 피해를 줄일 수 있었다. 또한 EFD2는 내성이 있는 식물이나 감수성이 있는 식물 모두에 긍정적인 영향을 주는 것으로 평가되었다.

KSEE

사 사

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술 연구개발사업(C104A1000016-04A0200-01610)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관련된 관계자분들에게 감사드립니다.

참고문헌

1. Transportation Research Board, Highway Deicing, Special report, National Research Council, Washing. D.C. (1991).
2. Jones, P. H., Jeffrey, B. A., Watler P. K., Uhtchon, H., Environmental impact of road salting - state of the art, The Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation and Communicaitons, R. R., **237** (1986).
3. Dunn, S. A. and Schenk, R. V., Alternative Highway Deicing Chemicals, Bjorksten Research Corp., Report No. FHWA/RD-79/108, March (1980).
4. Locke, C. E. and Kennelley, K. J. Corrosion of Highway Structural Metals by CMA, University of Oklahoma, Report No. FHWA/RD-86/064 (1986).
5. Salcedo, R. N., and Jensen, W. N. "Corrosivity Tests Pit Road Salt vs. CMA," *Public Work*, **118**(11), 58~61, 90~91 (1987).
6. McCrum, R. L., Corrosion Evaluation of Calcium Magnesium of Corrosion Engineers Corrosion/89, Paper No.127, New Orleans, Louisiana (1989).
7. Mathews, A. P., Personal communication to Dr. R. O. Hahn, Kansas Value Added Center (KVAC), and proposal to KVAC on biomass-based deicer (1989).
8. 이용은 외 "고속도로 휴게소의 음식물찌꺼기를 이용한 저공해 제설제 연구," 연구보고서, 도로연구소, 한국도로공사 (1999).
9. Lee, J. J., Park, R. D., Kim, Y. W., Shim, J. H., Chae, D. H., Rim, Y. S., Sohn, B. K., Kim, T. W., and Kim, K. Y., "Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth," *Biores. Technol.*, **93**, 21~28 (2004).
10. Hanes, R. E. Effects of De-Icing Salts on Water Quality and Biot, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC., **88** (1976).
11. Gibbs, J. N., and Burdekin. D. A., "De-icing Salt and Crown Damage to London Plane," *AB Academic*, **7**(3), 227~237 (1983).
12. Simini, M., and I. A. Leone., "The Response of Dormant Norway and Sugar Maples to Somulated De-icing Salt Spray," *J. Arboricult.* **12**(1), 1~5 (1986).
13. Chollar, B. H., Federal Highway Administration Research on Calcium Magnesium, Acetate, and Alternative Deicer, Public Road, **47**, 113~118 (1984).
14. Horner, R. R., Environmental Monitoring and Evaluation of CMA, Transportation Research Board. Washington DC. (1988).
15. Horner, R. R. and Brennerb, M. V. "Environmental evaluation of calcium magnesium acetate for highway deicing applications," *Resources, Conservation and Recycling*, **7**(1-3), pp. 213~237 (1992).
16. 배재근, 주요섭, 박정수, "음식물쓰레기 염분농도가 퇴비화 및 식물생장에 미치는 영향," 폐기물자원화, **10**(4), 103~111 (2002).
17. 양은익 외 "친환경성 액상유기산 제설제 개발 및 실용화," 연구 보고서, 한국건설교통기술평가원, 건설교통부 (2007).
18. 이진우, 김종오, 정종태, 신승숙, 친환경 유기산 제설제 제조 및 식생에 미치는 영향, Korean Geo-Environmental Conference, 1~6 (2008).
19. 이승우, 우창완, 김종오, 박희문, "친환경 제설제인 CMO의 성능 평가 분석, 한국도로학회 논문집," **7**(3), 53~62 (2005).
20. 이경배, 이승우, 유형목, 박희문, "친환경 제설제의 용빙성능 평가, 한국도로학회 논문집," **10**(1), 15~26 (2008).
21. 신승숙, 박상덕, 조재용, 이규송, 친환경 제설제가 식물 생장에 미치는 영향, 대한토목학회 정기학술대회, 3794~3797 (2007)
22. Taiz, L. M and Zeiger, E., Plant physiology, Sinauer Associates Inc., 23 Plumtree Road, Sunderland, MA 01375 USA (2002).
23. Greenway, H., and Munns, R. "Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes," *Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.* **31**, 149~190 (1980).
24. Larcher, T., Physiological plant ecology, Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg (1995).
25. Sucoff, E. Effect of deicing salts on woody vegetation along Minnesota roads. In: Techn. Bull. 303, Forestry Ser. 20. Agricultural Experiment Station, Minnesota, 3~49 (1975).
26. Meyer, F. M., Bäume in der Stadt. Ulmer, Stuttgart (1978).
27. Carter, T. R., Poter, J. H., and Parry, M. L., "Some implications of climatic change for agriculture in Europe," *J. Exp. Bot.* **43**, 392~400 (1992).
28. Däßler, H. G. Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. Ursachen - Wirkungen - Gegenmaßnahmen, 4. Aufl. Fischer, Jena (1991).
29. Robidoux, P. Y., and Delisle, C. E., Ecotoxicological Evaluation

-
- of Three Deicers (NaCl, NaFo, CMA) - Effect on Terrestrial Organisms, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **48**, 128~139, (1999).
30. 조서연, “습염살포 제설작업 소개” 대한토목학회지, **51**(5), 16~19 (2003).
31. 서진원 외 “콘크리트 노출 바닥판의 적용 및 유지관리에 관한 연구” 연구보고서, 도로교통기술원, 한국도로공사 (2004).