

## 유채의 출아 검정을 통한 제설제의 작물 영향 평가

임수현<sup>1</sup> · 유혜진<sup>1,2</sup> · 이찬영<sup>3</sup> · 공유석<sup>3</sup> · 이병덕<sup>4</sup> · 김도순<sup>5,†</sup>

### Evaluation on the Effects of Deicing Salts on Crop using Seedling Emergence Assay of Oilseed Rape (*Brassica napus*)

Soo-Hyun Lim<sup>1</sup>, Hyejin Yu<sup>1,2</sup>, Chan-Young Lee<sup>3</sup>, Yu-Seok Gong<sup>3</sup>, Byung-Duk Lee<sup>4</sup>, and Do-Soon Kim<sup>5,†</sup>

**ABSTRACT** The increasing use of deicing salts has caused various environmental problems, including crop damage along the motorway where deicing salts are sprayed during winter. Deicing salts used on roads have been reported to negatively affect crops, but little information is known about their impact on crops. A seedling emergence assay was conducted to evaluate the effects of deicing salts on crops using oilseed rape (*Brassica napus*) as a model plant. We tested five chloride deicing salts consisting of NaCl, CaCl<sub>2</sub>, or MgCl<sub>2</sub> and 1 non-chloride deicing salt (SM-3) at a range of concentrations (25, 50, 100, 200, and 400 mM), and untreated control. Regardless of deicing salts, they significantly delayed and reduced seedling emergence of oilseed rape with increasing salt concentration. Non-linear regression analysis of seedling emergence with a range of salt concentrations by fitting to the log-logistic model revealed that the chloride deicing salts reduced seedling emergence more than the non-chloride deicing salt SM-3. The GR<sub>50</sub> value, the concentration causing 50% seedling emergence, of SM-3 was 47.1 mM, while those of the chloride deicing salts ranged from 30.7 mM (PC-10) to 37.5 mM (ES-1), showing approximately 10 mM difference between non-chloride and chloride deicing salts. Our findings suggest that seedling emergence assay is a useful tool to estimate the potential damage caused by deicing salts on crops.

**Keywords** : *Brassica napus*, crop damage, deicing salts, NaCl, oilseed rape, seedling emergence assay

**제설제**는 눈을 녹이고 눈의 어는점을 낮춰 녹은 눈이 얼지 않고 액체상태로 유지하도록 하는 목적으로 겨울철 다양한 도로에 사용되고 있으며 그 사용빈도와 사용량이 증가하는 추세이다(Lee *et al.*, 2015a; Lee *et al.*, 2018). 제설제는 염소이온이 함유된 염화물계 제설제와 염소이온이 함유되지 않은 비염화물계 제설제로 구분하며, 대표적인 염화물계 제설제에는 염화나트륨(NaCl), 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>), 염화마그네슘(MgCl<sub>2</sub>)이 있다. 국내는 물론 전 세계적으로 가

장 많이 사용되는 제설제는 염화물계 제설제인 염화나트륨인데 이는 가격이 저렴하고 초기 용설이 느리나 시간이 경과할수록 염화칼슘보다 용설 지속효과가 좋기 때문에 유럽, 북미 등 대부분 국가에서 염화칼슘보다 널리 사용되고 있다(Lee *et al.*, 2015a). 염화나트륨은 작물의 염해를 가장 크게 유발하는 요인으로 알려져 있어 제설제로서 사용시 주의가 필요한데 염화칼슘은 비료로도 사용되어 작물에 미치는 영향이 상대적으로 적은 것으로 알려져 있다. 그러나

<sup>1</sup>서울대학교 농업생명과학대학 농업생명과학연구원 선임연구원 (Senior Researcher, Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea)

<sup>2</sup>(주)팍한농 작물보호연구소 선임 (Senior, FarmHannong Co., Ltd., Nonsan 33010, Korea)

<sup>3</sup>한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (Principal Researcher, Korea Expressway Corporation, Korea Expressway Corporation Research Institute, Hwaseong 18489, Korea)

<sup>4</sup>한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원 (Chief Researcher, Korea Expressway Corporation, Korea Expressway Corporation Research Institute, Hwaseong 18489, Korea)

<sup>5</sup>서울대학교 농업생명과학대학 농업생명과학연구원 교수 (Professor, Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea)

†Corresponding author: Do-Soon Kim; (Phone) +82-2-880-4542; (E-mail) [dosoosoonkim@snu.ac.kr](mailto:dosoosoonkim@snu.ac.kr)

<Received 25 November, 2020; Revised 29 January, 2021; Accepted 3 February, 2021>

국내에서는 염화칼슘을 전량 수입에 의존하고 있어 가격이 비싸 사용량이 크게 증가하지는 못하고 도리어 감소하고 있는 추세이다. 이러한 각 염화물계 제설제의 장단점을 보완하기 위해 염화나트륨과 염화칼슘을 일정비율(7:3)로 혼합하여 사용하고 있다. 특히 염화나트륨 단독 살포 시 도로에서 타이어에 의해 비산될 우려가 있으나 염화칼슘과 혼합하여 사용 시 염화칼슘의 용해 속효성으로 염류의 비산을 감소시킬 수 있어 국내 고속도로에서는 주로 염화나트륨과 염화칼슘을 혼합하여 살포하고 있다.

겨울철 제설 및 제빙을 위한 염화물계 제설제의 사용으로 제설제 입자나 수용액이 도로 주변의 토양과 식물 등에 유입되어 토양 및 주변 식생에 큰 영향을 미칠 수 있다. 나트륨과 칼슘의 경우 토양에 강하게 흡착됨에 따라 토양 중의 다른 중금속과 치환되어 중금속이 지하수 속으로 용출될 가능성이 있다(Lee *et al.*, 2015b). 또한 토양의 이온 농도 증가로 토양의 염도를 증가시키고 삼투포텐셜을 감소시키게 되며 (Lee *et al.*, 2015b) 이는 토양 내 염화물계 제설제에서 비롯된 이온 함량을 높여 식물의 세포조직에 이온 축적이 더 많이 일어나게 한다. 식물 체내에 염 이온이 축적되어 독성 농도가 임계치 이상에 도달하면 세포 내 영양소의 균형이 파괴되어 출아한 식물이 고사하게 된다(Gibbs & Burdekin, 1983; Shin *et al.*, 2010). 식물체내 염소 이온의 축적 역시 식물의 생리 및 생장을 현저하게 억제시킬 수 있는데 염화칼슘이 처리된 도로주변 식물들에게 나타나는 피해는 염소의 축적에 의한 것이 큰 요인 중 하나라고 알려져 있다(Shin *et al.*, 2010). 염화칼슘 내 칼슘의 환경 영향은 상대적으로 적지만 염소 이온은 물에 녹아 원거리까지 이동이 가능하여 칼슘에 비해 넓은 범위까지 영향을 미칠 우려가 있다. 식물체 내의 과다한 염소 이온 농도는 식물의 흑반증을 유발하기도 하며, 식물 잎 끝과 가장자리가 마르면서 고사하게 하는 원인이 되기도 한다(Lee *et al.*, 2015b). 이와 같이 작물이 염화물계 제설제에 노출될 경우 생리장애 및 수량피해가 예상되는데 최근 제설제의 사용이 증가

하면서 고속도로변에 재배중인 작물의 피해사례가 증가하고 있다(Lee, 2013; Ahn *et al.*, 2019). 염화물계 제설제의 문제를 해소하기 위해 기존의 염화물계 화합물의 함량을 줄이고 유기산을 추가한 제설제와 염화물계 화합물이 전혀 포함되지 않은 비염화물계 제설제가 친환경 제설제로 등록되어 사용되고 있다. 그러나 기존의 염화물계 제설제는 물론 새롭게 개발된 친환경 제설제가 작물에 어떤 영향을 미치는지에 대한 정량적인 연구 사례는 제한적이어서 겨울철 도로변에서 농경지로 유입된 제설제가 잠재적 작물에 미칠 피해를 예측하기 어려운 실정이다. 그 동안 수행된 제설제의 고속도로변 식물에 미치는 영향 연구는 주로 수목류 및 일부 초본류를 대상으로만 제한적으로 실시되었으며 제설제의 종류별 작물에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 수행되지 않고 있다(Lee *et al.*, 2015b). 따라서 본 연구는 국내에서 사용되는 대표적인 염화물계 제설제, 친환경 제설제로 등록된 염화물계 및 비염화물계 제설제를 대상으로 유채의 출아에 미치는 영향을 평가하여 제설제 종류 별 작물에 미치는 영향을 구명하여 잠재적 피해 유발 가능성을 비교평가하고자 수행되었다. 아울러 제설제의 작물에 미치는 피해를 조기에 판단할 수 있는 방법으로서 유채의 출아 반응 평가법의 활용가능성도 평가하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 공시 재료 및 포트실험

동계기간 사용된 제설제가 농경지로 유입되어 작물에 영향을 미치는 경우를 고려하여 동계작물로 많이 재배되고 있는 유채(*Brassica napus* cv. Sunmang)를 선정하여 식양토로 충진된 15 cm × 21 cm 크기의 사각 플라스틱포트에 파종 심도 0.5 cm로 100립씩 파종하였다. 종자를 파종한 직후 제설제를 균일하게 처리하였고, 실험용 포트는 경기도 수원에 위치한 서울대학교 농업생명과학대학 실험농장 유리온실에 배치하였다.

**Table 1.** Composition and product source of deicing salts tested in this study.

Deicing salts	Composition	Manufacturer
NaCl	NaCl 100%	Chemicals Duksan Corp, Korea
CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub> 100%	Chemicals Duksan Corp, Korea
NaCl+CaCl <sub>2</sub>	NaCl 70%, CaCl <sub>2</sub> 30%	Chemicals Duksan Corp, Korea
ES-1	NaCl 41.5%, CaCl <sub>2</sub> 48.5%, Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1.0%, Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> 2.0%, Molasses 7.0%	Sindo Chemical Ltd., Korea
PC-10	NaCl 60%, MgCl <sub>2</sub> 36%, H-200 4%	Hankook Chem. Ltd., Korea
SM-3	Starch extracted from Corn	Rotor Ltd., Korea

### 제설제 처리 및 출아조사

국내에 제설용으로 사용되는 5종의 염화물계 제설제와 1종의 식물성 제설제를 선정하여(Table 1) 무처리와 5수준의 처리 농도(25, 50, 100, 200, 400 mM)로 처리하였다. 300 mL의 물에 목표 농도에 맞게 제설제를 녹여 희석한 후 유채가 파종된 포트에 물뿌리개를 이용하여 살포하였다. 농도별로 3반복으로 처리된 포트는 완전임의배치법으로 30°C (주간)/20°C (야간)의 조건으로 관리되는 유리온실에 배치하였다. 토양 전기전도도(Soil electrical conductivity; Soil EC)는 제설제 처리 1일 후 휴대용 토양 전기전도도 측정기(FieldScout Direct Soil EC meter, Spectrum Technologies, Inc., USA)를 사용하여 측정하였다. 파종 및 제설제 처리 후 2일 간격으로 20일차까지 출아개체수를 조사하였다.

### 통계분석

유채의 출아율은 분산분석(ANOVA)과 비선형회귀분석을 통해 분석되었다. 유채 종자의 파종 후 일수(t)에 따라 누적 출아율(y)의 증가는 Gompertz 모델(식 (1))을 통해(Gompertz, 1825; Kim *et al.*, 2006; Yook *et al.*, 2019) 분석되었다. 식 (1)에서 C는 최대누적출아율(%), b는 출아곡선의 기울기, m은 최대누적출아율(C)의 50%에 도달하는데 소요되는 일수를 말한다.

$$y = \frac{C}{e^{-b(t-m)}} \quad (1)$$

제설제 농도(x)의 증가에 따른 유채의 최대누적출아율(C)

의 감소는 Streibig (1980)의 log-logistic model인 표준약량 반응식(식 (2))을 통해 분석되었다. 식 (2)에서 C<sub>0</sub>는 무처리 조건에서 최대누적출아율, GR<sub>50</sub>는 C<sub>0</sub>를 50% 감소시키는 제설제의 농도, B는 반응곡선의 기울기를 말한다.

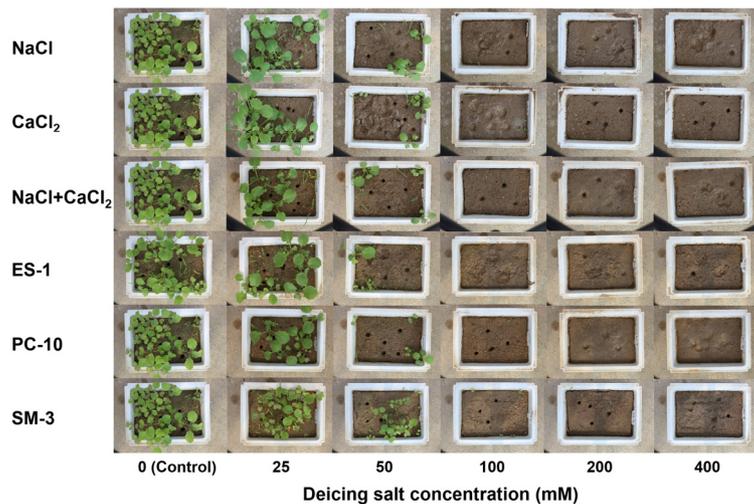
$$C = \frac{C_0}{1 + \left[ \frac{x}{GR_{50}} \right]^B}, \quad (2)$$

모든 통계분석은 SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 수행되었다.

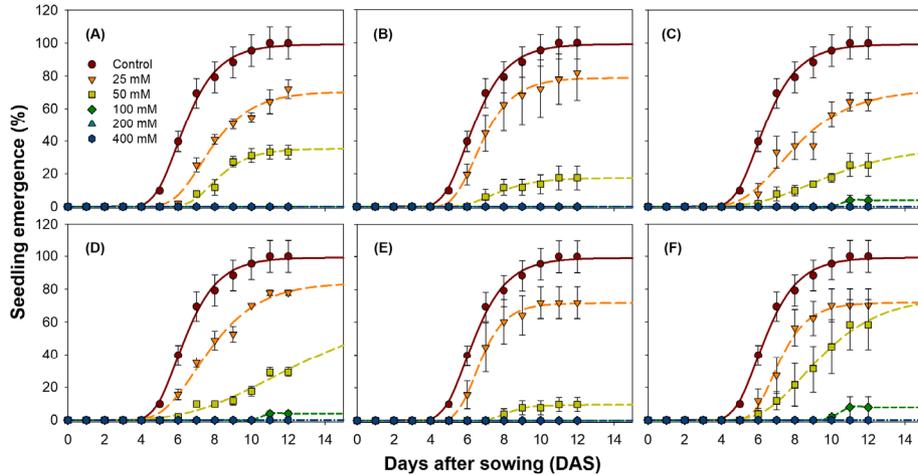
### 결과 및 고찰

#### 제설제가 유채 출아에 미치는 영향

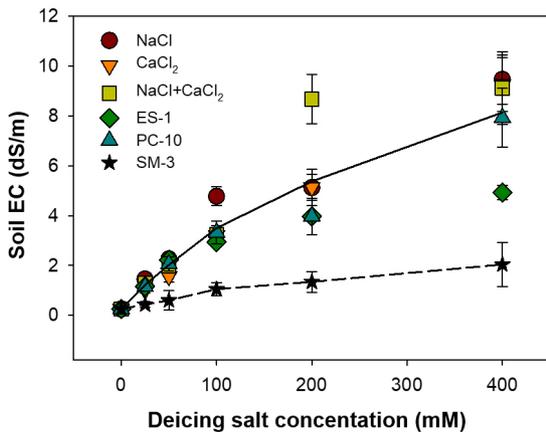
제설제가 유채 출아에 미치는 영향을 평가하기 위해 처리 후 시간의 경과에 따라 누적출아율을 조사하고 Gompertz 모델에 적용하여 비선형회귀분석을 수행한 결과, 유채 출아는 모든 제설제 처리구에서 농도에 비례하며 현저히 감소함을 확인하였다(Fig. 1, Fig. 2). 제설제 200 mM 이상에서는 제설제의 종류와 무관하게 유채가 전혀 출아하지 못했으며, 100 mM에서는 NaCl+CaCl<sub>2</sub>, ES-1, SM-3에서만 5% 전후의 낮은 출아가, 50 mM에서도 현저한 출아 감소가 확인되었다(Fig. 1). 제설제 종류간 유채의 출아에 미치는 영향이 크지는 않았지만 50 mM 농도에서 비염화물계 제설제인 SM-3의 출아율이 가장 높았고, 염화물계 제설제인 NaCl, ES-1, NaCl+CaCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, PC-10 순으로 출아율이 낮았다



**Fig. 1.** *Brassica napus* plants at 15 days after sowing and treatment of deicing salts, NaCl, CaCl<sub>2</sub>, NaCl+CaCl<sub>2</sub>, ES-1, PC-10, and SM-3, at a range of concentrations, 0, 25, 50, 100, 200, and 400 mM.



**Fig. 2.** Cumulative seedling emergence (%) of *Brassica napus* treated with deicing salts, NaCl (A), CaCl<sub>2</sub> (B), NaCl+CaCl<sub>2</sub> (C), ES-1 (D), PC-10 (E), and SM-3 (F), at a range of concentrations, 0, 25, 50, 100, 200, and 400 mM. The linear lines, symbols, and vertical lines represent fitted values by the Gompertz model, observed values, and standard errors with 3 replications, respectively.



**Fig. 3.** Electrical conductivity (EC) of soil treated with deicing salts, NaCl, CaCl<sub>2</sub>, NaCl+CaCl<sub>2</sub>, ES-1, PC-10, and SM-3, at a range of concentrations, 0, 25, 50, 100, 200, and 400 mM. Measurement was made at one day after deicing salt treatment. Vertical line indicates standard error of 3 replicates.

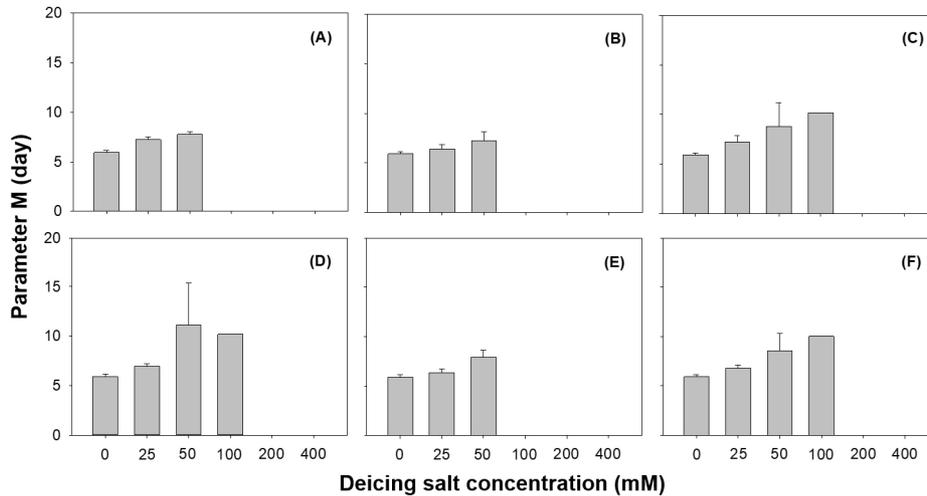
(Fig. 2). 따라서 염화물계 제설제 5종과 비염화물계 제설제인 SM-3 간에는 유채의 출아율에 미치는 영향에 있어 유의적 차이가 확인되었으나 비염화물계의 경우 그 차이가 매우 미미하였다.

제설제 처리 직후 토양 전기전도도(soil EC)를 측정한 결과 염화물계 제설제의 경우 50 mM에서 토양 EC가 1.57 ~ 2.26 dS/m, 100 mM에서 2.94 ~ 4.78 dS/m이었으며, 반면에 비염화물계 제설제인 SM-3는 50 mM에서 0.60 dS/m, 100 mM에서 1.05 dS/m이었다(Fig. 3). 일반적으로 토양 EC가

4 dS/m 이상인 경우 염류토양으로 분류하는데 본 연구에서 염화물계 제설제 농도가 100 mM에서는 토양 EC가 2.94 ~ 4.78 dS/m이었으나 유채가 거의 출아를 하지 못했고, 토양 EC 1.57 ~ 2.26 dS/m 수준인 50 mM 처리구에서도 심각한 출아억제가 관찰되어 유채의 출아가 제설제에 매우 민감하게 반응함을 확인할 수 있었다. 동계기간 제설 목적으로 처리된 제설제가 물에 녹아 이온 상태로 농경지로 유입될 경우 토양의 염류농도를 증가시켜 삼투포텐셜을 감소시키고, 이로 인해 작물의 물의 흡수를 저해하게 된다. 특히 유채의 출아 및 초기생장기에 물의 흡수가 필수적인데 염류 농도 증가로 인해 물의 흡수가 저해될 경우 출아 및 초기 생장이 심각하게 저해되는 것으로 알려져 있다(Farhoudi *et al.*, 2007; Rauf *et al.*, 2007; Mohammadi, 2009). 흥미롭게도 비염화물계 제설제인 SM-3의 경우 염화물계 제설제에 비해 토양 EC가 낮았으나 유채의 출아 억제 정도가 크고, 특히 토양 EC가 1.05 dS/m인 100 mM에서 출아율이 7.8%, 1.34 dS/m인 200 mM에서 전혀 출아를 못한 점을 고려할 때 비록 SM-3가 옥수수 추출성분으로 조성된 제설제라고 하나 유채에 대한 안전성은 높지 않은 것으로 판단된다.

**제설제가 유채 출아속도에 미치는 영향**

유채 종자를 파종한 후 일자별 누적출아율을 Gompertz 모델과 비선형회귀분석을 통해 분석하고 최대누적출아율의 50%에 도달하는 일수(M)를 계산하였다. M값은 유채의 출아 속도와 관련된 지표로서 제설제 처리 농도의 증가에 따라 증가하였는데 이는 제설제가 유채의 출아 속도를 지연시킴



**Fig. 4.** Parameter M, the time required for 50% of the maximum cumulative seedling emergence rate of *Brassica napus* treated with deicing salts, NaCl (A), CaCl<sub>2</sub> (B), NaCl+CaCl<sub>2</sub> (C), ES-1 (D), PC-10 (E), and SM-3 (F), at a range of concentrations, 0, 25, 50, 100, 200, and 400 mM. Vertical line indicates standard error of 3 replicates.

**Table 2.** Analysis of variance (ANOVA) for the parameter M, the time required for 50% of the maximum cumulative seedling emergence rate of *Brassica napus* treated with deicing salts at a range of concentration.

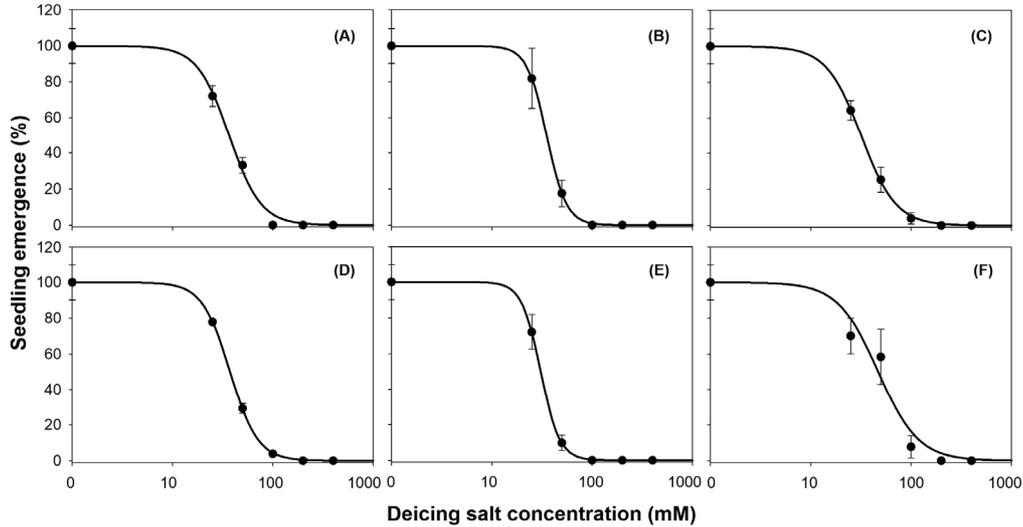
Source of variation	DF	SS	MS	VR	F prob.
Deicing salts	5	38.844	7.769	1.55	0.211
Concentrations	5	388.432	77.686	15.48	<0.001
Residual	25	125.453	5.018		
Total	35	552.729			

을 시사한다(Fig. 4). 무처리에서 M은 5.9일이었으나 50 mM에서는 7.2 ~ 11.2일로 무처리 대비 1.3 ~ 5.3일이 증가하였으나 제설제간 유의적 차이 없이 제설제 처리가 출아를 현저히 지연시킴을 확인하였다(Table 2). 100 mM에서 출아가 확인되었던 NaCl+CaCl<sub>2</sub>, ES-1, SM-3을 비교하면 무처리에서 100 mM로 제설제 농도에 비례하여 M 값이 증가하였으나 이들 제설제간의 유의적 차이는 없었다(Table 2). 혐미롭게도 비염화물계 제설제인 SM-3이나 유기산이 포함된 염화물계 제설제인 ES-1과 PC-10의 출아지연 효과가 NaCl 또는 CaCl<sub>2</sub>로 구성된 제설제와 별 차이가 없었다는 것이다.

Lee *et al.* (2008)과 Shin *et al.* (2010)의 연구에 의하면 유기산이 함유된 제설제도 농도에 따라 식물의 생육에 영향을 준다고 하였다. 따라서 본 연구의 결과는 비염화물계 제설제 SM-3가 비록 옥수수의 추출성분으로 조성되었고 토양 EC는 낮게 유지하였으나 그 성분이 유채의 출아를 억제하였음을 시사한다. 비록 그 성분을 확인할 수는 없었으나 추후 연구를 통해 유채 출아를 억제시킨 원인을 명확히 규명할 필요가 있다.

**제설제의 유채 출아 억제 효과 비교**

제설제의 유채 출아 억제 효과 비교를 위하여 제설제 농도에 따른 누적 출아율을 조사하여 log-logistic 모델에 적용하여 비선형회귀분석을 실시한 결과, 제설제 종류간 유채 출아에 미치는 영향의 차이를 확인할 수 있었다(Fig. 5). 유채 출아를 50% 억제하는 GR<sub>50</sub> 값은 제설제 종류별 차이가 있었는데, 염화물계 제설제 PC-10과 NaCl+CaCl<sub>2</sub>의 GR<sub>50</sub> 값이 각각 30.7 mM과 31.8 mM로 다른 염화물계 제설제의 GR<sub>50</sub>값보다 적어 이들 제설제가 유채의 출아를 더 억제한다고 할 수 있다(Table 3). 그러나 염화물계 제설제의 GR<sub>50</sub> 값의 차이가 크지 않아 유채의 출아에 미치는 염화물계 제설제간의 차이는 크지 않은 것으로 판단되었다. 비염화물계 제설제 SM-3는 GR<sub>50</sub>값이 47.1 mM로 염화물계 제설제에 비해 유채의 출아에 미치는 영향이 적은 것으로 판단되었다. 제설제 농도 증가에 따른 출아율 감소 정도는 log-logistic 모델의 기울기(B)로 확인할 수 있는데 염화물계 제설제는 2.51 ~ 4.59로 비염화물계 제설제 SM-3의 2.16보다 커서 염화물계 제설제 농도가 높아질수록 출아 억제의 효과가 더 큼을 확인할 수 있었다(Table 3, Fig. 5). SM-3의



**Fig. 5.** Seedling emergence (%) of *Brassica napus* in response to deicing salts, NaCl (A), CaCl<sub>2</sub> (B), NaCl+CaCl<sub>2</sub> (C), ES-1 (D), PC-10 (E), and SM-3 (F), at a range of concentrations, 0, 25, 50, 100, 200, and 400 mM. Vertical line indicates standard error of 3 replicates.

**Table 3.** Estimated parameters of non-linear regression analyses in germination rate for *Brassica napus* seeds treated with deicing salts. The values in parentheses indicate standard errors.

Deicing salts	Parameter estimates		R <sup>2</sup>
	GR <sub>50</sub> (mM)	B	
NaCl	36.6 (1.82)	2.73 (0.35)	0.988
CaCl <sub>2</sub>	35.2 (3.38)	4.42 (1.22)	0.992
NaCl+CaCl <sub>2</sub>	31.8 (1.97)	2.51 (0.40)	0.997
ES-1	37.5 (0.77)	3.13 (0.17)	0.998
PC-10	30.7 (1.65)	4.59 (0.91)	0.997
SM-3	47.1 (6.99)	2.16 (0.67)	0.954

경우 옥수수에서 추출한 성분으로 만들어진 제설제이기 때문에 작물에 직접적으로 영향을 주는 염화물이 포함되어 있지 않고 토양 EC의 증가도 적어서 유채의 출아에 미치는 영향이 매우 적을 것으로 기대하였으나 본 연구에서는 기대보다 높은 출아 억제효과가 확인되었다. 이는 SM-3의 성분 가운데 직접적으로 유채의 발아 및 출아에 영향을 미치는 성분이 있기 때문으로 생각되며, 추후 연구를 통해 보다 구체적인 원인 규명이 필요하다.

**제설제가 작물에 미치는 영향**

본 연구에서 확인한 염화물계 제설제의 유채 출아에 미치는 영향은 기존의 여러 연구에서도 보고된 바가 있다 (Farhoudi *et al.*, 2007). 또한, Hosseini *et al.* (2006), Rauf

*et al.* (2007), Mohammadi (2009)와 Bybordi *et al.* (2010)은 다양한 농도의 염해 조건에서 작물의 출아 연구를 통해 염류 농도가 증가함에 따라 출아율이 현저히 감소함을 확인하였다. 염해에 의한 출아 감소는 토양에 집적된 염분에 의한 토양의 삼투포텐셜의 감소로 인한 종자의 수분 흡수 저해, 종자내로 흡수 축적된 나트륨과 염소 이온에 의한 이온 독성에 의한 것으로 알려졌다. Meneses *et al.* (2011)은 염분이 식물의 생리적 생화학적 과정을 억제함으로써 식물의 구조발달에도 크게 영향을 미친다고 하였다. 이와 같이 본 연구에서 평가한 5종의 염화물계 제설제의 경우 NaCl, CaCl<sub>2</sub> 또는 MgCl<sub>2</sub>를 함유하고 있어서 이들이 눈을 녹인 후 용해된 상태로 농경지로 유입될 경우 토양의 삼투포텐셜을 저하시켜 종자의 물 흡수를 저해하여 종자 발아를 억제하고, 유채 종자에 흡수 집적되어 이온독성을 유발하여 유채의 출아를 억제한 것으로 판단된다.

염화물계 제설제간의 작물에 미치는 영향을 비교하기 위해 밀, 보리, 시금치 등의 작물을 대상으로 평가한 결과 이들 작물의 출아 및 생육 억제는 NaCl > CaCl<sub>2</sub> > NaCl+CaCl<sub>2</sub>의 순서로 알려졌다(Kim *et al.*, 2014; Lee, 2015), 그러나 본 연구에서는 비록 그 차이가 크지는 않았지만 반대의 경향을 보여주었다. 이는 작물의 종류에 따라 제설제에 대한 반응이 다를 수 있음을 시사한다. 따라서 제설제가 작물에 미치는 영향을 평가할 경우 어느 한 특정 작물만을 대상으로 평가해서는 안되고 작물별로 영향 평가가 수행되어야 한다.

염화물계 제설제의 유채 출아 저해는 삼투포텐셜의 감소와 이온상태로 흡수된 Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> 등의 이온 축적 등으로 수

분흡수 장애, 체내 생리 및 생화학적 반응 억제에 기인한 것으로 이해할 수 있다. 그러나 비염화물계 제설제 SM-3의 비교적 낮은 농도에서 높은 출아 억제는 SM-3가 토양 EC를 높게 증가시키지 않고 삼투포텐셜을 현저히 감소시키지는 않았지만 다른 요인에 의해 유채의 출아를 억제시킨 것으로 사료된다. SM-3가 처리된 토양에 배추를 정식한 경우 배추의 생육이 다른 염화물계 제설제를 처리한 경우 보다 현저하게 억제되었다는 보고(자료 미 제시)를 고려할 때 SM-3의 알려지지 않은 구성 성분이 배추과 작물의 생육을 저하시킴을 시사한다. 따라서 비록 제설제가 비염화물계 성분으로 구성되었다고 해서 작물이나 고속도로 주변 식생에 안전하다고 단정해서는 안되며 반드시 작물에 대한 영향평가를 통해 그 안전성 유무를 판단해야 한다.

## 적 요

겨울철 제설제 사용이 증가함에 따라 제설제가 사용된 고속도로변의 농작물에 대한 피해사례가 증가하고 있다. 국내 다양한 제설제가 제설 목적으로 사용되고 있지만 작물에 미치는 영향에 대한 연구는 제한적이다. 따라서 본 연구는 국내에서 사용되는 6종의 제설제가 유채의 출아에 미치는 영향을 비교하여 작물에 미치는 제설제의 영향을 비교 평가하고자 수행되었다. NaCl, CaCl<sub>2</sub> 또는 MgCl<sub>2</sub>으로 구성된 5개의 염화물계 제설제와 1개의 비염화물계 제설제(SM-3)를 유채 파종 직후 6 처리농도(0, 25, 50, 100, 200, 400 mM)로 처리한 후 출아개체수를 조사하였다. 유채의 출아는 제설제 종류에 관계없이 제설제 농도가 증가함에 따라 현저히 감소하였는데 비염화물계 보다 염화물계 제설제 처리구에서 높은 출아억제가 확인되었다. 제설제 농도에 따른 출아율을 log-logistic 모델에 적용하여 비선형회귀 분석을 실시한 결과 50% 출아를 억제하는 농도인 GR<sub>50</sub> 값이 비염화물계인 SM-3는 47.1 mM이고, 염화물계 제설제는 30.7 mM (PC-10)에서 37.5 mM (ES-1)로 비염화물계 제설제와 염화물계 제설제간 9.6 mM ~ 16.4 mM의 차이를 보였으나 염화물계 제설제간 차이는 크지 않음을 확인하였다. 본 연구의 결과는 유채의 출아 특성 평가가 작물에 대한 제설제의 잠재적 피해를 예측할 수 있는 유용한 평가방법임을 시사한다.

## 사 사

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원의 지원을 받아 수행되었음.

## 인용문헌(REFERENCES)

- Ahn, C. S., S. O. Park, J. H. Noh, and S. H. Kim. 2019. Sentence 2016da233538, 233545 judgment. Supreme Court. 8p.
- Bybordi, A. 2010. The influence of salt stress on seed germination, growth and yield of canola cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38(1) : 128-133.
- Farhoudi, R., F. Sharifzadeh, K. Poustini, M. T. Makkizadeh, and M. Kochak Por. 2007. The effects of NaCl priming on salt tolerance in canola (*Brassica napus*) seedlings grown under saline conditions. *Seed Science and Technology* 35(3) : 754-759.
- Gibbs, J. N. and D. A. Burdekin. 1983. De-icing salt and crown damage to London plane. *Arboricultural Journal* 7(3) : 227-237.
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. In a letter to Francis Baily, Esq. FRS &c. *Philosophical transactions of the Royal Society of London* (115) : 513-583.
- Hosseini, H. and M. P. Rezvani. 2006. Effect of water and salinity stress in seed germination on Isabgol (*Plantago ovata*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 4(1) : 15-22.
- Kim, D. S., Y. W. Kwon, and B. W. Lee. 2006. Mathematical description of seedling emergence of rice and *Echinochloa* species as influenced by soil burial depth. *Korean Journal of Crop Science* 51(4) : 362-368.
- Kim, S. I. and D. W. Lee. 2014. Effect of chloride-deicers on growth of wheat, barley and spinach. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 33(4) : 350-357.
- Lee, B. D., Y. S. Gong, and H. T. Kim. 2015a. Performance evaluation for environment certificated deicers and revision of quality specification for deicers. *Korea Expressway Corporation Research Institute* 127p.
- Lee, C. Y., B. D. Lee, and H. S. Kim. 2018. A study on evaluation method for impact by snow and ice control chemicals. *Korea Expressway Corporation Research Institute* 166p.
- Lee, J. W., J. O. Kim, J. T. Jung, and S. S. Shin. 2008. Production and effect of vegetation on eco-friendly organic acid deicer. *Journal of the Korean Geo-Environmental Society* pp. 321-326.
- Lee, D. W. 2015. Effect of EFD-1 and PC-10 deicers on growth of wheat, barley and spinach. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 34(1) : 30-37.
- Lee D. W., Y. G. Cho, J. N. Kim, W. H. Cha, Y. J. Hwang, S. Y. Lim, M. J. Han, and C. R. Jung. 2015b. Study on the effects of soil and crop plants by de-icers. *Rural Development Administration* 131p.
- Meneses, C. H. S. G., R. D. L. A. Bruno, P. D. Fernandes, W. E. Pereira, L. H. G. D. M. Lima, M. M. D. A. Lima, and M. S. Vidal. 2011. Germination of cotton cultivar seeds under water stress induced by polyethyleneglycol-6000. *Scientia Agricola*

- 68(2) : 131-138.
- Mohammadi, G. R. 2009. The influence of NaCl priming on seed germination and seedling growth of canola (*Brassica napus* L.) under salinity conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 5(5) : 696-700.
- Lee, P. J. 2019. *Environmental Dispute Mediation Case Book (Whole)*. National environmental dispute resolution commission. pp. 1991-2000.
- Rauf, M., M. Munir, M. ul Hassan, M. Ahmad, and M. Afzal. 2007. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *African Journal of Biotechnology* 6(8) : 971-975.
- 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. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 32(5) : 487-498.
- Simini, M. and I. A. Leone. 1986. The response of dormant Norway and sugar maples to simulated de-icing salt spray. *Journal of Arboriculture* 12(1) : 1-5.
- Steribig J. C. 1980. Models for curve-fitting herbicide dose response data. *Acta Agriculturae Scandinavica* 30(1) : 59-64.
- Tester, M. and R. Davenport. 2003. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. *Annals of Botany* 91(5) : 503-527.
- Yook, M. J., J. S. Lim, J. H. Chung, and D. S. Kim. 2019. *Miscanthus* seed germination enhanced by gibberellin treatment. *Weed and Turfgrass Science* 8(4) : 299-307.