조경수목의 제설제 피해저감을 위한 엽면코팅제 처리효과 분석

- 엽록소 형광분석법을 중심으로 -

권희범* · 김태진**

*한국도로공사 · **한경대학교 조경학과

Evaluation of the Coating Liquid Sprayed on Landscape Plants to Prevent De-icing Stresses

- Focus on Chlorophyll Fluorescence Analysis -

Kwon, Hee-Bum* · Kim, Tae-Jin**

*Korea Expressway Corporation
**Dept. of Landscape Architecture, Hankyong National University

ABSTRACT

This study examined the de-icing agents' stresses on *Pinus strobus* and *Pinus thunbergii* by chlorophyll fluorescence analysis. The assumption of this study was that photosynthetic efficiency was changed by de-icing agents applied onto highways in winter by altering the concentration of the de-icier, types of de-icer and leaf surface coating liquid application. The practical purpose of this study was to investigate the de-icing agents stresses on *Pinus strobus* by the highway area where de-icing agents were used frequently and to discover out minimizing stratages to prevent further damages.

For this simulation study, a sample plot was established in Bogae-myeon, Anseong, Gyeonggi-do and *Pinus strobus* and *Pinus thunbergii* were planted for the examination in April, 2005. Five types of de-icing agents - NaCl, $CaCl_2$, T product(NS40:low chloride de-icer type), NaCl+$CaCl_2$ and T product+$CaCl_2$ - were selected and the their concentration was altered to 0%, 5%, and 9%. Five types of de-icing agents were applied to both trees treated by a leaf surface coating liquid and trees not treated by leaf surface coating liquid.

For the fluorescence analysis, the leaf surface coating liquid, which was diluted by 10 times, was sprinkled onto the two tree species three days prior to gathering samples. Sample leaves from the two tree species were gathered at 10 o'clock in the morning of mid-August, 2006 and brought to the laboratory within three hours to be dipped in different concentrations (0%, 5%, or 9%) of the five de-icing agents for two minutes. Then the leaves were placed on the filter paper dipped in each solution on a petri dish, sealed with polyethylene film and kept in a growth chamber at 22℃ for 72 hours. Out of the growth chamber, the leaves were treated with a chlorophyll fluorescence reaction analyzer for 30 minutes to measure the initial light acceptance rate(Fo), maximum light acceptance rate(Fv/Fm), light acceptance usage($F'q/F'm$) and optical electron delivery coefficient(qP).

As a result, *Pinus strobus*' initial light acceptance rate(Fo) decreased as T product and NaCl increased in concentration,

Corresponding author: Tae-Jin Kim, Dept. of Landscape Architecture, Hankyong National University, Sekjung-Dong 67, Ansung-Si, Gyeonggi-Do, 456-749, Korea, Tel.: +82-31-670-5214, E-mail: landinfo@hknu.ac.kr

and $CaCl_2$ did not reduce much with the eaf surface coating liquid application. Maximum light acceptance rate(Fv/Fm) and light acceptance usage(F′ q/F′ m) decreased sharply as T product and NaCl increased in concentration and NaCl+$CaCl_2$ and T product+$CaCl_2$ did not reduce much with leaf surface coating liquid application. Optical electrons delivery coefficient (qP) decreased as T product increased in concentration on trees without the leaf surface coating liquid application and all other de-icing agents did not show much reduction.

As for *Pinus thunbergii*, the initial light acceptance rate(Fo) decreased as T product increased in concentration, but the maximum light acceptance rate(Fv/Fm) was not reduced much by changes in concentration. Light acceptance usage(F′ q/F′ m) decreased as NaCl increased in concentration and optical electron delivery coefficient(qP) decreased as NaCl increased in concentration in both with and without leaf surface coating liquid application.

In conclusion, it was possible to plant *Pinus strobus* if spraying leaf surface coating liquid or cleaning deicing salt to prevent the damage caused by deicing agents was more economical than replacing the trees. If not, it was better to plant *Pinus thunbergii*. Another way to decrease the deicing agents stresses of landscape plants would be planting the trees further away from the roads even though it might take longer period to display its planting functions.

Key Words: De-icer, Highways, Salt Stress, Photosynthesis, Maximum Light Acceptance Rate(Fv/Fm)

Ⅰ. 서론

근년의 기상은 강원도지방과 서해안지방을 중심으로 많은 눈이 내리고 있으며, 게릴라성 폭설현상이 특징이라 할 수 있다. 우리나라의 10개 주요 도시에서 5개년 평균 강설일수는 13일 정도이며, 강설량은 50cm를 나타내고 있다. 이에 따라 제설제 사용과 사용량, 제설방법의 변화를 가져왔다. 겨울철 도로를 주행하는 차량의 안전을 도모하기 위하여 살포하는 제설제가 최근에 심각한 환경문제를 야기하고 있다. 또한, 기후변화에 따른 잦은 폭설로 인하여 염화물의 집중살포가 고속도로변 식재 수목의 고사율을 높일 뿐 아니라 황엽 발생을 초래하여 도로경관을 해치고 있다.

고속도로에서 제설제의 사용은 2001년까지 염화칼슘($CaCl_2$)과 모래를 혼합 살포하였으나, 마찰제인 모래 사용으로 인한 재수거 작업 및 비용 문제와 폐모래 처리비용 등의 각종 폐해 발생과 염화칼슘 수급 불균형에 따른 공급 지연, 가격 상승 등 신속한 제설작업 수행에 여러 가지 어려움이 있어 2002년부터 염화칼슘과 소금(NaCl)을 혼합한 용액화 살포 방식(Pre-wetted Salt Spraying)을 사용하고 있다(조서연, 2003).

본 연구는 고속도로의 제설 피해로부터 가장 많이 노출되어 있으나, 내염성이 약한 수종인 스트로브잣나무(*Pinus strobus*)와 그 대체수종으로서 육안관찰 상 피해가 적게 나타나는 곰솔(*Pinus thunbergii*), 두 수종을 연구대상으로 하였다. 스트로브잣나무는 신초 발아 시기인 4~5월에 특히 황엽현상이 많이 발생하고 있는 반면에 곰솔은 황엽현상이 거의 나타나고 있지 않기 때문에 기존 문헌에 나타난 것처럼 두 수종이 내염성에 있어서 차이가 있음을 간접적으로 확인해볼 수 있었다.

제설제의 종류는 염화물계인 염화칼슘, 소금, 염화마그네슘($MgCl_2$)과 초산염계인 CMA(Calcium Magnesium Acetate), 초산칼륨, 산화칼슘계, 초산바륨, 초산나트륨과 알콜/글리콜계인 EG(Ethylene Glycol), PG(Propylene Glycol)로 구분(http://www.antisnow.co.kr/product)하며, 고속도로와 일반도로에서 주로 사용하는 제설제는 염화물계에 속하는 소금과 염화칼슘이다.

1980년 중반에 접어들어 염화칼슘을 이용한 제설방법이 도입되었으며, 점차 염화칼슘의 순도를 높여 모래와 혼합 살포하는 제설방법이 개발되었고, 장비 또한 꾸준한 연구개발로 향상된 제설방안을 찾을 수 있었다. 하지만 고속도로 연장이 증가됨에 따라 염화칼슘의 소요량은 많아졌고, 생산단가도 높아져 수급상의 어려움이 생기게 됨에 따라 2001년을 기준으로 제설제 사용 방법을 다양화하였다(한국도로공사, 1999). 현재 주로 사용하는 용액화 살포 방식의 제설제는 염화칼슘을 용액화한 것에 소금을 혼합하여 사용하고 있다. 이에 따라 이전에 제설 위주의 방법에서 2002년부터는 제설효과가 곧바로 나타나는 방식, 재료획득이 용이한 자재선택, 인력이 적게 소요되는 방법 등을 고려한 효율 위주의 방법을 택하고 있다.

실제로 실험실 조건에서 시험한 결과, 적설량별 평균치에 대한 제설효과는 소금+염화칼슘용액>소금>소금+염화칼슘>염화칼슘용액>모래+염화칼슘>염화칼슘>염화칼슘+염화칼슘용액 순으로 나타났다고 발표되었다(이영배, 2004). 이렇게 소금이 염화칼슘보다 제설효과가 우위에 있다는 이러한 선행연구 결과에 따라 소금사용량은 급속히 증가하였다. 현재 우리나라 고속도로 중 민자고속도로를 제외한 고속도로에 식재된

수목은 2005년 말을 기준으로 총 289종 11,902,897주이며, 교목이 1,575,586주로서, 이들 중 스트로브잣나무가 327,245주이며, 곰솔은 104,018주이다. 교목 중 이들 두 수종이 차지하는 비율은 각각 20.8%, 0.07%로서 스트로브잣나무가 가장 많이 식재되어 있다(한국도로공사, 2006). 매년 제설제 살포로 인한 수목 피해를 줄이고자 제설기간이 끝나는 봄철 엽면 세척작업 등을 시행하고 있으나, 제설제 피해를 사전에 예방하는 대책으로서 엽면 코팅제의 살포를 고려해볼 수 있다. 따라서 본 연구는 향후 제설제 살포 피해 예방방법으로서 엽면 코팅제 살포효과를 실험적으로 검증하는 것을 목적으로 수행하였다. 이의 검증방법은 조경식물 분야의 연구에서는 일반화 되어 있지 않으나 작물생리 분야에 널리 활용되고 있는 엽록소 형광반응측정 기법을 도입하였다. 엽록소 형광분석 관련 선행연구 방법론들은 다음과 같다.

권영명 등(2003)은 식물의 잎을 빛이 없는 어두운 곳에서 암적응시키면 엽록체 전자 전달계의 전자 전달체들이 대부분 산화 상태가 되는데, 여기에 빛을 비추면 엽록소가 가지고 있는 에너지는 크게 네 가지 경로로 소실된다. 첫째는 광자의 형태로 재 방출되어 바닥상태로 되돌아오는 경로로서 이를 형광이라 부른다. 둘째는 들뜬 에너지가 직접 열로 전환되어 바닥상태로 되돌아 가는 경로이다. 세 번째는 인광의 형태로 방출되는 것이고, 네 번째는 광화학 반응을 일으키기 위해 사용되는 경로이다. 엽록소 형광반응분석이란 이들 네 가지의 경로 중에 첫번째 경로에 해당하며, 형광 유도 과정을 통하여 광합성의 활성 정도를 형광 세기의 변화로 간접 측정할 수 있다.

Glynn and Geoffrey(1997)은 오리나무속의 한 종인 *Alnus cordata*(Italian alder)에 대해 농도별 소금물(0%, 2%, 4.5%, 7%) 분사와 농도별 소금물(Waterlogged, W+2%, W+4.5%, W+7%)에 침수시킨 후 잎을 형광 분석한 결과 엽록소 형광을 이용하면 수목의 스트레스 내성 정도를 계통 분류할 수 있으며, 종과 생태적 형질에 따라 내성 수종을 알 수 있다고 주장하였다. Glynn and Gillian(2001)은 엽록소 형광반응에 의한 산사나무속의 내한성과 내염성 측정 비교에서 5가지(0%, 2%, 6%, 9%, 6%+−7℃)의 소금농도와 4가지(−1℃, −3℃, −7℃, −7℃ +6%)의 각기 다른 온도에서 산사나무속 6종을 형광 측정하여 수종별로 상대적인 내성을 파악하였다. Glynn and Gillian (2003)은 엽록소 형광반응을 이용한 단풍나무속 잎의 소금 내성 비교에서 시료별 소금 농도를 0%, 2%, 6%, 9%로 하여 실험한 결과, 유전형질에 따라 형광반응의 양은 달랐으며, 내염성의 정도를 파악하여 수종별 나열이 가능하다고 밝혔다.

이러한 국내외의 선행연구 결과를 바탕으로 본 연구의 목적은 첫째, 제설제로 인한 조경수목의 스트레스를 저감하는 수단으로 현장에서 살포되고 있는 W사의 증산억제제(엽면코팅제 함유)가 실제로 얼마나 효과를 나타내는지를 검증하는 데 있다. 둘째, 공시수목의 종류별로 살포되는 제설제의 농도별, 종류별 엽면 코팅제의 처리효과 정도를 분석하는데 있다. 셋째, 조경수목에 미치는 제설제의 영향을 사전에 저감할 수 있는 유지관리기법의 적용 가능성과 그 한계를 확인하여 도로변 제설제가 살포되는 지역의 조경수목 피해를 최소화하는 관리기술의 토대를 마련하는데 연구의 목적을 두었다.

II. 연구의 내용 및 방법

1. 연구내용

1) 실험대상지 및 실험구 설계

내염도의 미세한 차이를 비교분석하고자 제설제 농도와 살포방법 등, 제설요인의 통제가 가능하도록 실험개시 1년 6개월 전인 2005년 3월, 경기도 안성시 보개면 지역에 그림 1과 같이 모사실험포지를 조성하였다. 모사실험을 실시한 이유는 고속도로 현지실험을 할 경우, 엽면에 비산 부착된 제설제 만의 피해뿐 아니라 바람, 미세 먼지, 매연, 당 년의 적설량, 식재방식 등의 복합적인 원인이 작용하고 있으므로, 외부영향요인의 통제가 곤란하여 엽면 코팅제의 살포효과만을 검증하기 어려울 것으로 판단하였기 때문이었다.

모사실험구는 그림 1과 같은 형태로 No. 1 ~ No. 4까지 4개의 반복구를 두었으며, 각 반복구의 규모는 약 130m^2(40평)으로 조성하였다. 이 중 스트로브잣나무와 곰솔 두 종류는 각 반복구당 5개체씩 단열 방향으로 열식하였다. 반복구에 조성된 10개의 단열 방향 식재 수종 중 나머지 7열은 후속실험을 위한 활엽수 및 침엽수 7종과 관목 4종, 지피실험구 등으로 혼합 배치되었으며, 각 반복구당 스트로브잣나무와 곰솔의 식재열은 주변 특정수종의 영향을 받지 않도록 10열 가운데 임의의 열에 배치하였다.

2) 공시수목 선정

본 연구에 사용한 공시수목은 한국도로공사(2006) 자료의 검토를 통해 제설제 피해가 심하게 나타나 가장 많이 이식된 수종인 스트로브잣나무를 선정하였으며, 다른 한 종은 곰솔로 선정하였다. 곰솔은 스트로브잣나무와는 대조적으로 내염성이 강하고 해안지역에서 잘 견디는 내조성 수종이므로 스트로브잣나무와 대조되는 특성을 고려하여 비교 목적으로 선정하였다. 모사실험포지에는 평균수고 2.5m 규격의 스트로브잣나무와 곰솔을 20개체(5개체씩 4개의 반복구) 식재하였고, 표본은 이들 20개체 중 4개의 반복구마다 각기 다른 수종에서 잎을 무작위로 추출하였다.

3) 실험방법 선정

제설제에 의한 수목 영향 정도를 측정하는 방법의 선정은 수목의 활력을 결정하는 주된 요인이 잎에 있음을 전제로 하여

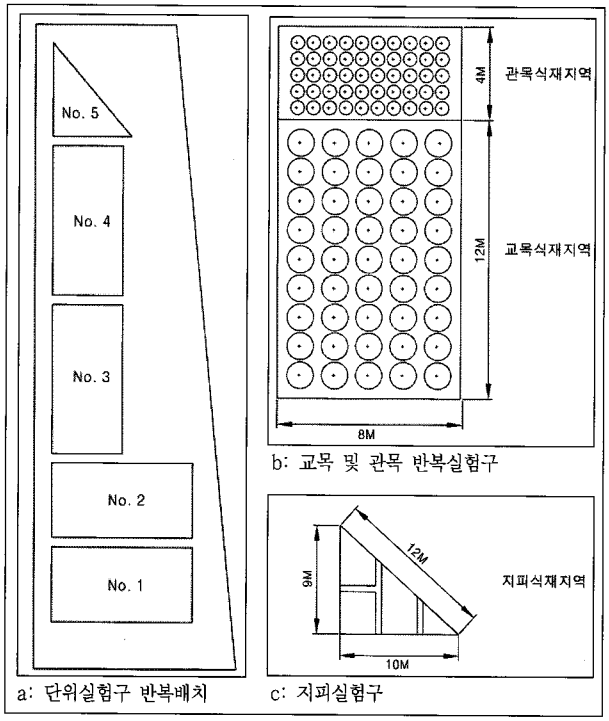


그림 1. 모사실험포지 설계

두 수종에 대한 내염성 정도를 잎의 엽록소 형광분석을 통해서 찾고자 하였다. 엽록소 형광분석법은 식물 잎의 광합성에 대한 공간적인 해석 및 시각적인 해석을 가능하게 하며, 정량적이고 비파괴적인 방법(http://emmc.chonnam.ac.kr/pds/manual/엽록소형광측정.hwp)으로 측정이 가능함에 따라, 농작물의 환경 스트레스 연구나 수목의 내염성 관련 연구 등 여러 분야에서 사용하고 있다. 이러한 배경에서 본 연구는 스트로브잣나무, 곰솔을 대상으로 엽록소 형광반응측정기[1]를 이용하여 제설제 농도별, 종류별, 엽면 코팅제 처리별 살포효과에 대한 광합성 반응정도를 측정하였다.

2. 연구방법

1) 제설제의 종류 및 농도 구배

공시 제설제는 표 1과 같이 소금, 염화칼슘, 저염화물계 제설제(NS40), 소금+염화칼슘, NS40+염화칼슘으로 하였으며, 제설제 농도구배는 0%, 5%, 9%로 하였다.

2) 엽면 코팅제 선정

제설제 피해 방지를 위한 약제 선정은 파란핀유를 농도에 따라 잎의 표면에 살포함으로써 피막을 형성하여 수분증산억제나 동해방지의 효과를 나타내는 것으로 효능을 표시한 W사의 엽면 코팅제를 사용하였다. 이 약제는 피막형성에 의한 염화물 부착을 방지하므로 20~25일 주기로 재 살포하여 손상된 피막을 복구하여야 한다고 제시되어 있어 본 실험에서는 W사의 엽면 코팅제의 피막형성 유효기간이 지나지 않도록 살포 후 3일 이내에 실험을 시행하였다.

3) 전처리 및 측정방법

엽면 코팅제 처리효과를 비교하고자 모사실험지에서 2006년 8월 중순경 엽 시료채취 3일전에 10배 희석한 엽면 코팅제를 살포한 후 전처리용 엽 시료를 채취하였다. 공시수목의 잎은 전처리 시험 당일 오전 10시에 채취한 후 3시간 이내에 실내 실험실로 가져와 제설제별(5종의 제설제), 농도별(0%, 5%, 9%)로 조제한 용액에 2분간 담근 후 꺼내어 세균배양용 접시에 걸름 종이를 놓고 폴리에틸렌 필름으로 밀봉 처리하여 22℃의 배양기(Growth chamber)에서 72시간 암 상태를 유지하였다.

분석에 사용된 스트로브잣나무와 곰솔의 엽 개체수는 5처리(제설제)×3처리(제설농도)×2처리(엽면 코팅제 처리, 엽면 코팅제 무 처리)×5반복=150 개체를 대상으로 실험에 사용하였

표 1. 제설제별 시험용액 조제 현황

제설제	화학식 및 조성	순도(%)	기타
소금	NaCl	85	- 수분함량 11% 이하
염화칼슘	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	100	
NS40	(CH_3COONa-$MgCl_2 \cdot 6H_2O$(40%)-CH_3COONa-NaCl(60%))	100	- 외관: 염화나트륨과 염화마그네슘의 결정에 유기산을 함유시킨 것으로 과립 상태 - 입도: 5mm 체질시 잔류중량 2% 미만, 1.2mm 체질시 잔류중량 90% 이상 - pH: 7~10 - 안정성 및 반응성: 평형상태에서 화학적으로 안정
소금+염화칼슘	NaCl+30% $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (7:3, w/w)	-	- 시험용액 조제용과 30% 염화칼슘용액 조제 - 염화칼슘 파우더 30g을 증류수에 녹여 100ml로 함
NS40+염화칼슘	[(CH_3COONa-$MgCl_2 \cdot 6H_2O$(40%)-CH_3COONa-NaCl(60%))] +30% $CaCl_2 \cdot 2H_2O$(7:3, w/w)	-	

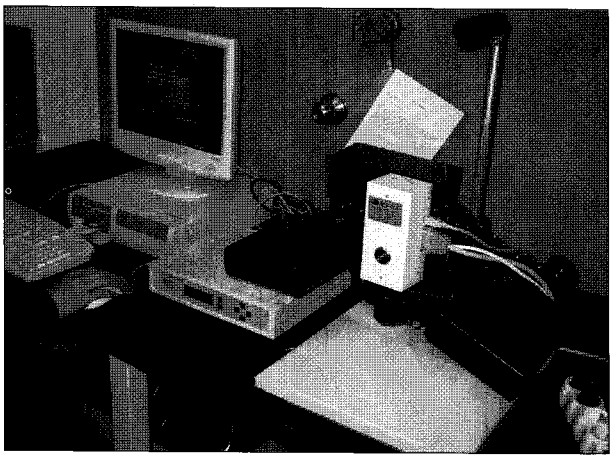


그림 2. 엽록소 형광반응측정 시스템

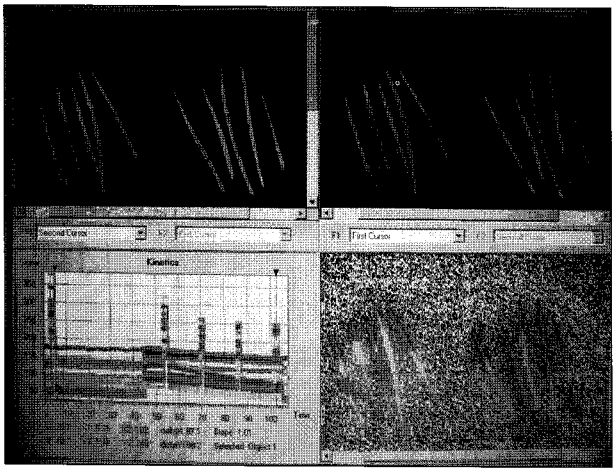


그림 3. 엽록소 형광반응 사진(예)

다. 암처리된 잎을 엽록소 형광반응분석기(Imaging flurometer, Fluor Cam)[1]에 넣고 30분간 작동하여 제설제별 초기수광율(Fo)[2], 최대수광율(Fv/Fm)[3], 수광이용율(F′q/F′m)[4], 광전자전달계수(qP)[5]를 측정하였다.

분석결과의 통계적 유의성을 알아보기 위해 최대수광율(Fv/Fm)값에 대해서는 통계 패키지 SAS Ver. 8.2(SAS Institite Inc., 2000)를 활용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 또한, 대조구와 각 제설재들 사이의 유사성을 검정하고자 Duncan의 사후검정(Walles-Duncan Test)을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 농도별, 제설제별 최대수광율(Fv/Fm) 비교

1) 농도별 비교

최대수광율은 식물의 잎이 광합성을 수행할 수 있는 잠재력을 의미하므로, 식물의 광합성 활성 지표로 사용하는 기준이 된다. 그림 4에서 최대수광율(Fv/Fm)은 스트로브잣나무의 경우, 제설제 농도가 0%, 5%, 9%의 변화에 따라 전체적으로 감소하였다. 이는 스트로브잣나무가 제설제 농도에 매우 민감하다는 것을 나타내었다. 곰솔의 경우, 최대수광율은 제설제 농도증가에도 불구하고 감소량이 매우 적었다. 이러한 결과를 통해 볼 때 곰솔은 제설제 농도에 민감하지 않다는 것을 알 수 있었다.

2) 제설제별 비교

제설제 종류에 따른 최대수광율 값은 스트로브잣나무의 경우 소금 제설제는 0%에서 5%까지는 변화가 없다가 5%에서 9%로 농도를 높임에 따라 0.139로 값의 차이를 가장 많이 나타냈으며, NS40은 처리 농도가 5%에서 9%로 높아짐에 따라 0.103의 값으로 2순위의 차이를 나타냈고, 염화칼슘은 5%에서 9%로 높아짐에 따라 0.099로 3순위의 변화가 나타났다(그림 5a 참조). 제설제를 혼합한 나머지 2종의 제설제(NS40+염화칼슘, 소금+염화칼슘)의 최대수광율 값의 변화는 농도 차에 따른 변화가 적었다.

곰솔의 경우, 제설제 종류에 따른 최대수광율 값은 소금 제설제는 농도가 5%에서 9%로 높아짐에 따라 0.04, NS40+염화칼슘은 0.036으로 약간의 차이를 나타내고 있을 뿐이며, 나머지 제설제 3종에 대해서는 차이 값이 극히 적었다. 따라서 곰솔은 전체적으로 최대수광율에 큰 변화가 없으며, 따라서 내염성이 강함을 알 수 있었다(그림 5b 참조).

2. 엽면코팅제 처리효과 비교

1) 최대수광율(Fv/Fm)

엽면 코팅제 무 처리구의 농도별 최대수광율 변화는 스트로브잣나무의 경우, 그림 5a와 같이 농도가 0%에서 5%까지는 변화가 없다가 5%에서 9%로 높아지면서 소금 제설제>NS40>염화칼슘 제설제의 순으로 최대수광율의 차이가 약간 나타나기 시작했다. 배합방식에 따른 제설제의 반응은 혼합제의 경우가 단일제에 비해서 농도 증가에 따른 최대수광율 감소 폭이 비교적 적은 것으로 나타났다. 곰솔의 경우, 그림 6b와 같이 농도증가에 따른 변화가 거의 나타나지 않았다.

엽면 코팅제 처리구에 대한 농도별(0%, 6%, 9%) 최대수광율 변화에서는 그림 6a와 같이 소금+염화칼슘 혼합 제설제가 0.312로 감소하여 가장 큰 변화를 나타냈으며, 소금 제설제가 두 번째인 0.261, NS40은 세 번째인 0.179의 차이를 나타내고 있다. 엽면 코팅제 처리 시 소금+염화칼슘>소금>NS40>NS40+염화칼슘>염화칼슘 순으로 스트로브잣나무의 광합성 감소량에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

곰솔의 경우, 그림 6b와 같이 엽면 코팅제 처리에 따른 농도별,

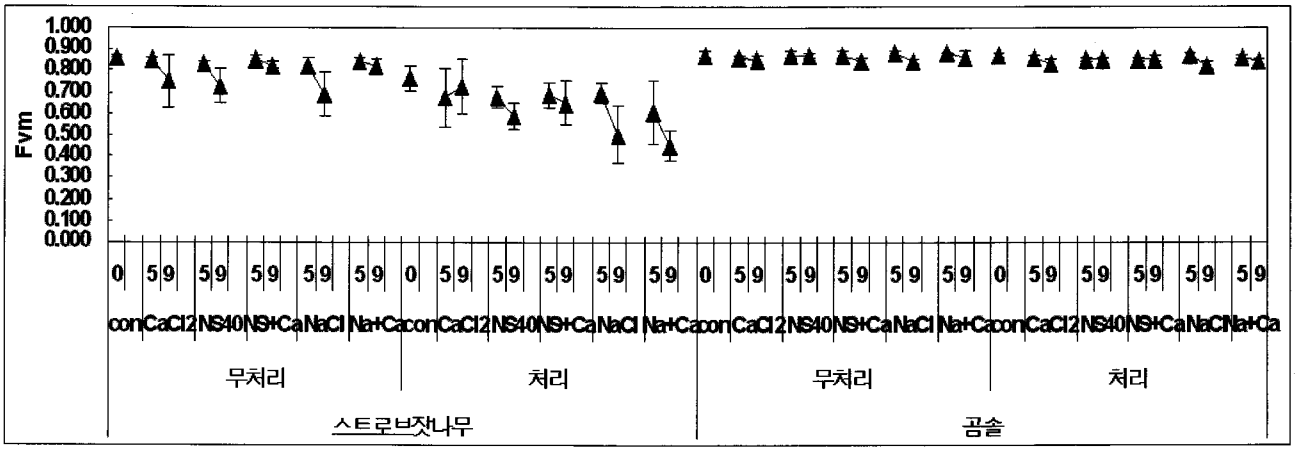
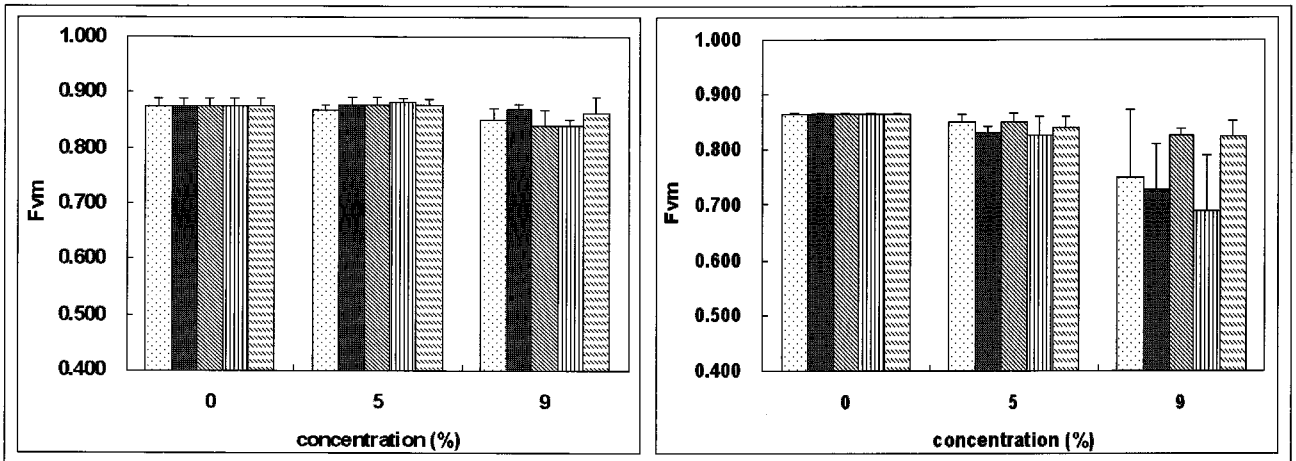


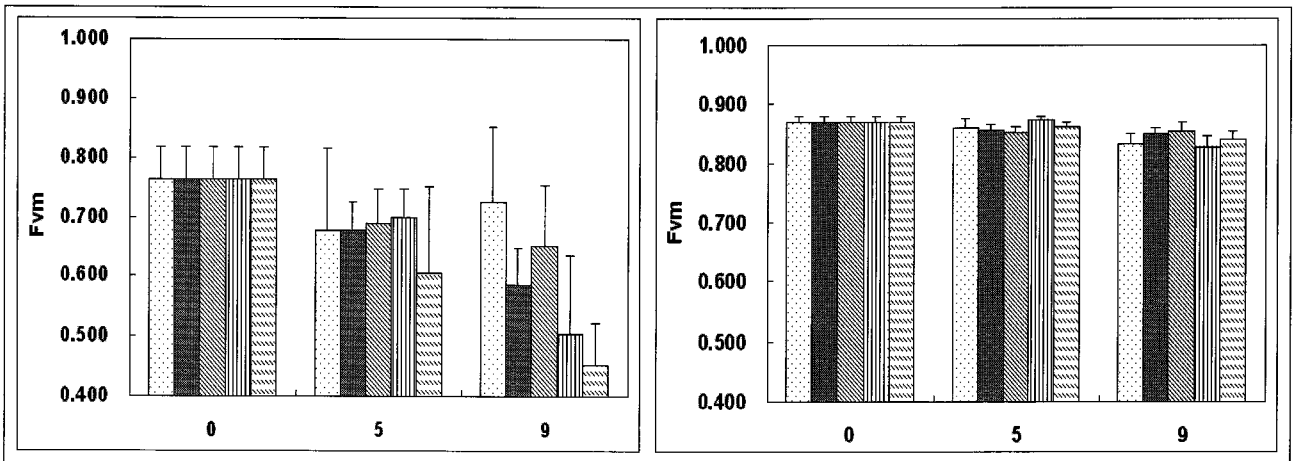
그림 4. 농도별, 제설제별, 처리별 최대수광율(Fv/Fm) 비교



a: 엽면코팅제 무처리된 스트로브잣나무 b: 엽면코팅제 무처리된 곰솔

그림 5. 제설제별 최대수광율(Fv/Fm) 비교

범례: $CaCl_2$(염화칼슘), NS40(저염화물계 제설제), NS40+$CaCl_2$(저염화물계 제설제+염화칼슘), NaCl(소금), NaCl+$CaCl_2$(소금+염화칼슘)



a: 엽면코팅제 처리된 스트로브잣나무 b: 엽면코팅제 처리된 곰솔

그림 6. 엽면 코팅제 처리시의 최대수광율(Fv/Fm) 비교

범례: T-$CaCl_2$, T-NS40(저염화물계 제설제), T-NS40+$CaCl_2$, T-NaCl, T-NaCl+$CaCl_2$

제설제 별 변화가 거의 없었다. 이는 엽면 코팅제 처리가 곰솔과 같은 내염성 수종에는 효과를 나타내지 않는다는 것을 알 수 있다.

제설제 종류 및 농도 변화에 따른 차이를 보고자 최대수광율(Fv/Fm)에 대한 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과, 표 2, 표 3과 같이 나타났다. 스트로브잣나무의 경우, 처리구와 무처리구 모두에서 유의한 차이를 보였으나 곰솔의 경우, 처리구에서만 유의한 차이가 나타났다. 최대수광율 값에 대두한 제설제간, 농도 간 차이는 스트로브잣나무, 곰솔 두 수종 모두 처리구가 무 처리구에 비해 그 차이를 뚜렷이 나타냈으나 곰솔의 경우, 제설제간, 농도간 처리구의 차이값이 0.04 수준으로 매우 적었다.

Duncan의 사후검정(Walles-Duncan Test) 결과, 제설제 농도(특히, 9% 이상) 요인이 대조구와 뚜렷이 구분되었다. 동일 농도 조건에서는 제설제 종류별로 소금, 소금+염화칼슘, NS40+염화칼슘 방식의 제설제가 대조구와 뚜렷한 차이를 보였다. 위의 내용을 종합할 때, 제설제 살포농도의 영향이 크다는 것을 알 수 있으며, 제설제 유형별로는 소금을 단독으로 살포하는 방식이나 염화칼슘용액을 다른 제설제와 혼합하는 방식의 제설제 사용이 비교적 수목에 스트레스를 많이 주는 요인임을 알 수 있다.

2) 광전자전달계수(qP)

스트로브잣나무의 경우, 엽면코팅제 처리 시 광전자전달계

표 2. 스트로브잣나무의 엽면 코팅제 처리 유무에 따른 최대수광율(Fv/Fm) 분산분석 (ANOVA) 결과

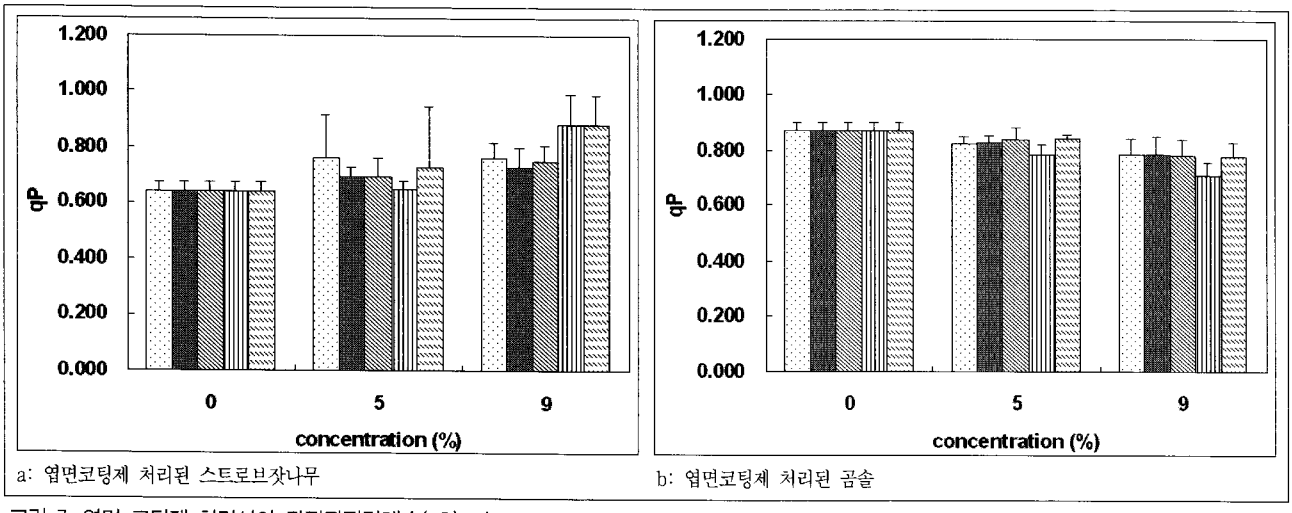
제설제 종류별 / 처리유무별	Control	NaCl		NS40		NS40+$CaCl_2$		NaCl+$CaCl_2$		ANOVA
	0%	5%	9%	5%	9%	5%	9%	5%	9%	
처리구*	0.764^{a*}	0.692^{ab}	0.480^{c}	0.678^{ab}	0.580^{bc}	0.672^{ab}	0.612^{b}	0.620^{b}	0.456^{c}	F Value: 8.65, Pr > F: <0.0001
무처리구**	0.866^{a*}	0.746^{abc}	0.71^{c}	0.826^{abc}	0.726^{bc}	0.850^{a}	0.816^{abc}	0.850^{a}	0.814^{abc}	F Vale: 3.12 Pr > F: <0.0089

*: 1%의 유의수준에서 Duncan의 사후검정 결과 유의성 있음, **: 5%의 유의수준에서 Duncan의 사후검정 결과 유의성 있음

표 3. 곰솔의 엽면 코팅제 처리에 따른 최대수광율(Fv/Fm) 분산분석 (ANOVA) 결과

제설제 종류별 / 처리유무별	Control	NaCl		NS40		NS40+$CaCl_2$		NaCl+$CaCl_2$		ANOVA
	0%	5%	9%	5%	9%	5%	9%	5%	9%	
처리구*	0.872^{a*}	0.872^{a}	0.830^{d}	0.854^{abc}	0.848^{bcd}	0.850^{bcd}	0.838^{cd}	0.862^{ab}	0.842^{cd}	F Value: 7.37 Pr > F: <0.0001

*: 1%의 유의수준에서 Duncan의 사후검정 결과 유의성 있음.



a: 엽면코팅제 처리된 스트로브잣나무 b: 엽면코팅제 처리된 곰솔

그림 7. 엽면 코팅제 처리시의 광전자전달계수(qP) 비교

범례: T-$CaCl_2$, T-NS40(저염화물계 제설제), T-NS40+$CaCl_2$:, T-NaCl, T-NaCl+$CaCl_2$

수 변화는 그림 7a와 같이 최대수광율(Fv/Fm)과는 다른 반응을 보이고 있다. 즉, 앞에서 분석한 엽면 코팅제 처리 시 최대수광율의 변화값이 대부분 감소하였으나 광전자전달계수는 제설제 5종 모두에서 농도가 높아짐에 따라 광전자전달계수 값이 증가하였다. 특히, 농도가 0%에서 9%로 높아짐에 따라 소금+염화칼슘이 0.241, 소금이 0.239 로 증가폭이 높았다. 염화칼슘은 0.118, NS40+염화칼슘은 0.109, NS40은 0.082로 가장 작은 변화를 보였다. 이는 엽면 코팅제 살포에 대한 효과가 소금(+염화칼슘)>염화칼슘>NS40의 제설제 순으로 높다(그림 7a 참조). 또한 스트로브잣나무에 있어서 엽면 코팅제 살포가 잎에 피막을 형성하여 최대수광율(광합성 효율)을 낮추는 부정적 요소로 작용하고 있으나, 광전자 역할은 더욱 활성화 되어 있음을 알 수 있었다. 이는 엽면 코팅제가 잎 내부의 광합성 효율을 낮추어 최대한 외부 환경압에 견딜 수 있도록 에너지 소모를 최소화하는 역할을 하는 것으로 판단되었다. 따라서 이러한 원리로 엽면 코팅제 살포가 스트로브잣나무에 제설제 스트레스 감소에는 어느 정도 효과가 있음을 알 수 있었다. 곰솔의 경우, 그림 7b와 같이 처리 농도가 0%, 3%, 9%로 높아짐에 따라 소금의 광전자전달계수가 0.1 이내의 수치로 저하되었으나, 나머지 제설제에 대해서는 엽면 코팅제 처리 및 농도에 상관없이 광전자전달계수 값의 변화가 적었다. 결과적으로 광전자전달계수 분석을 통해 볼 때에도 역시, 곰솔은 엽면코팅제 처리 시에 광합성 효율에 미치는 영향이 적다는 것을 알 수 있었다.

Ⅳ. 결론

본 연구는 염화물계 제설제의 비산에 의한 수목피해를 예방하기 위해 현장에서 시행하고 있는 증산억제제(엽면 코팅제)의 실제효과를 검증하기 위하여 제설제 농도별, 종류별 수목의 광합성 능력에 미치는 영향 정도를 엽록소 형광반응 척정법을 통하여 측정하였다. 그 결과, 엽면 코팅제 처리효과는 광합성 분석 값에서 최대 2배까지 감소되는 경향을 보였다. 반면에 광전자전달계수 분석 값은 엽면 코팅제 처리시 반대로 그 값이 증가하는 현상을 보였다. 이러한 반대 현상을 종합해볼 때 엽면 코팅제 처리를 했을 경우의 광합성 반응은 공시식물을 긴축상태로 최소의 광합성을 유지하기 위한 일종의 방어기작으로 해석할 수 있었다. 내염성이 강한 곰솔의 경우, 엽면 코팅제 처리에 따른 광합성 반응의 변화량은 거의 나타나지 않았다. 일반적으로 제설제의 농도 증가에 따라 공시식물재료의 광합성 능은 전반적으로 감소되는 것으로 나타났으나, 제설제 종류별로, 공시수종별로 그 차이가 있었다. 제설제 종류에 있어서는 소금을 단독으로 살포했을 때와 염화칼슘과 다른 제설제를 혼합제로 살포하였을 때 광합성능 감소가 커 수목에 스트레스를 많이 주는 것으로 해석해볼 수 있었다.

본 연구에서 사용된 엽면 코팅제는 통상 증산억제제로 사용되는 약제인데, 물리적으로 잎 표면을 도포함으로써 증산억제 효과 뿐 아니라, 광합성을 최소화하도록 조절하는 생화학물질이 가광합성 기작에 관여하여 식물체내 에너지 소모를 최소화하는 현상을 나타내는 것으로 해석해볼 수 있었다 . 따라서 본 실험에서 적용한 W사의 엽면코팅제 처리효과는 동절기 과도한 염분축적으로 인한 탈수현상을 억제하고 체내 광합성 기능을 최소상태로 운용하게 함으로써 제설제 살포로 인한 탈수 예방과 체내 수분 유지를 도와주는 데 기여하는 것으로 볼 수 있었다. 그러나 본 연구에서 실시한 엽면 코팅제 사전처리효과 검증만으로 제설제 피해 수목의 생육 스트레스를 줄일 수 있는 예방책이 될 수 있는 지에 대해서는 아직 의문의 여지가 남아 있다. 따라서 제설제 살포 이후 적용할 수 있는 염분세척제 살포효과 등 여타의 관리기법에 대해서도 추가분석을 할 필요가 있다. 또한, 본 연구를 더욱 진전시켜 엽면 코팅제 처리 이후 장기간의 생육상태 모니터링 결과와 엽면 코팅제의 약효감쇠기간을 고려한 적정 살포횟수와 살포시기별 효과를 검증하는 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

주 1. 엽록소 형광반응분석기는 열역학 제1법칙과 아인슈타인의 에너지 등식 기본원리를 바탕으로 형광과 광합성 사이의 상대 값을 얻는다.

주 2. 암처리 후 빛을 비추면 형광이 순간적으로 증가하였다가 일정한 값을 유지한다. 이때 반응 중심은 모두 빛 에너지를 받을 준비가 되어 있는 상태(열린 상태)를 말하며, 암적응, 최소형광량이라고 한다.

주 3. 광합성이 최대 효율로 운영될 때의 광계2에서 광화학반응에 대한 양자수율이라 하며, 양자수율은 광화학반응으로 사용된 양자수를 흡수된 전체 양자수로 나눈 값을 말한다.

주 4. 광계2에서 빛을 흡수하여 광화학으로 사용할 때의 효율 평가.

주 5. 광계2에서 발생한 광전자가 반응 중심에서 광화학적 반응에 작용하는 역할을 전자가 처리함으로서 이를 광전자전달계수라고 한다.

인용문헌

1. 권영명, 고석찬, 김준철, 문병용, 박민철, 박훤범, 박인호, 이영숙, 이일하, 이준상, 이진범, 이춘환, 전방욱, 조성호, 홍주봉(2003) 최신 식물생리학. 아카데미서적. pp. 140-175.
2. 이영배(2004) 고속도로. 한국도로공사 학술지 69(2): 318-333.
3. 조서연(2003) 습염살포 제설작업 소개. 대한토목학회지 51(5): 16-19.
4. 한국도로공사(1999) 한국도로공사30년사. 한국도로공사 홍보실.
5. 한국도로공사(2006) 조경업무시행계획. p. 11, pp. 22-24.
6. Percival, Glynn C. and Geoffrey R. Dixon(1997) Detection of salt and waterlogging stresses in *Alnus cordata* by measurement of leaf chlorophyll fluorescence. Journal of Arboriculture 23(5): 181-190.
7. Percival, Glynn C. and Gillian A. Fraser(2001) Measurement of the salinity and freezing tolerance of crataegus genotypes using chlorophyll fluorescence. Journal of Arboriculture 27(5): 233-245.
8. Percival, Glynn C. and Gillian A. Fraser(2003) Gavin Oxenham. Foliar salt tolerance of acer genotypes using chlorophyll fluorescence. Journal of Arboriculture 29(2): 61-65.
9. http://emmc.chonnam.ac.kr/pds/manual/엽록소형광측정.hwp
10. http://www.antisnow.co.kr/product/

원 고 접 수: 2007년 10월 22일
최종수정본 접수: 2008년 1월 8일
3인익명 심사필