

남부지역 도시녹지의 난대상록활엽수 동해피해 특성

정수영¹ · 이광수¹ · 유병오¹ · 박용배¹ · 주남규¹ · 김형호² · 박준형^{1*}

¹국립산림과학원 남부산림자원연구소, ²경상대학교 산림환경자원학과(농업생명과학연구원)

Freezing Injury Characteristics of Evergreen Broad-Leaved Trees in Southern Urban Area, Korea

Su Young Jung¹, Kwang Soo Lee¹, Byung Oh Yoo¹, Yong Bae Park¹, Nam Gyu Ju¹,
Hyungho Kim² and Joon Hyung Park^{1*}

¹Southern Forest Resources Research Center, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Korea

²Department of Forest Environmental Resources, Gyeongsang National University
(Institute of Agriculture and Life Science), Jinju 660-701, Korea

요약: 최근 기후변화로 인해 관심이 증대되는 도시 녹지 내 난대상록활엽수의 동해피해 현황을 조사하여 그 특성을 분석하였다. 각 개체목의 주요 부위별 피해빈도를 분석한 결과, 줄기 피해는 동백나무가 59.6%로 가장 낮았으며, 후피향나무가 83.3%로 가장 많은 피해를 입은 것으로 나타났다. 피해도는 지역별로 진주지역이 가장 피해가 심하였으며($p<0.001$), 식재구역의 경우 생태공원이 가장 높은 피해도를 보였다($p<0.001$). 식재 환경별로 수하식재지($p<0.01$), 단목식재($p<0.001$), 평탄지($p<0.001$) 및 유기물이 많은 곳($p<0.05$)에서 피해도가 낮았다. 생육인자와 피해도와 간의 상관분석 결과 수고, 수관폭의 상관계수가 각각 -0.432, -0.470으로 피해도와 부의 상관관계로 나타났다. 따라서 효율적인 난대상록활엽수의 도시녹지 조성을 위해서는 수종, 입지환경 특성을 충분히 고려하여야 할 것으로 사료된다.

Abstract: The aim of this study was to investigate the damage characteristics induced by winter freezing of evergreen broad-leaved trees distributed in urban area of warm temperate forest zone, which are gaining increased interest recently as climate change. The results of the study indicated that, as for 'stem injury', *Camellia japonica* Linné (59.6%) had the weakest damage, while *Ternstroemia gymnanthera* Sprague (83.3%) had the most severe damage. By the visual evaluation of freezing injury according to the characteristics of plantations environment, the observations of single planting ($p<0.01$) in planting method had weaker damage than those of group planting, the observations of under tree ($p<0.001$), plain ($p<0.001$), and organic matter plenty ($p<0.05$) in plantations characteristics had significant differences with relatively weaker damage than the observations of open space, slop, and scarcity, respectively. Tree height (-0.432) and crown width (-0.470) among growth factors were negatively correlated with the severity of damage, respectively. Therefore, the selection of tree species is vital for the successful creation of these urban forested area by making considerations of planting environment, and further research on evergreen broad-leaved trees is needed in this aspect.

Key words: shigometer, freezing injury visual evaluation, evergreen broad-leaved tree, urban area trees

서론

도시의 녹지공간은 경관적 기능을 비롯해 소음감소, 열섬현상완화 및 대기정화 등의 긍정적인 효과로 그 중요성이 나날이 커지고 있다. 이러한 도시 녹지공간의 조성을 위해 다양한 목본과 초본식물들이 활용되고 있으며, 도시 녹화의 주요 소재가 되고 있다. 그 중 난대상록활엽수는

기후변화로 난대수종 분포지가 북상하고 있음에 따라 자원 가치가 높아지고 있을 뿐만 아니라, 겨울철에도 낙엽이 지지 않아 관리적인 측면에서도 도시 녹지의 소재로서 가치가 매우 높다. 하지만 주로 난대기후에 서식하는 특성 때문에 대부분이 온대기후대에 속한 우리나라의 경우 난대상록활엽수의 서식환경보다 다소 낮은 기온으로 인해 동해피해에 노출되어 있다고 볼 수 있다.

수목의 동해(Freezing injury)는 일반적으로 가을부터 단계적으로 저온에 순화되어 피해 발생은 줄어든다. 그러나

*Corresponding author
E-mail: asd747@naver.com

급격하게 기온이 떨어지게 되어 수목이 순화되지 않은 상태에서 빙점 이하의 온도에 노출되거나 순화된 수목이라도 빠른 속도로 빙점 이하의 온도에 노출되면 식물은 동해를 입으며, 이때 추위에 견디는 능력의 차이가 수종별로 나타나는데 이를 내한성이라 한다(Lee, 2011). 이처럼 최근 녹지 조성에 많이 활용되는 남부지방의 난대상록활엽수는 내한성을 잘 고려하여 식재·관리되어야 동해피해를 줄일 수 있다.

상록성 수목에 대한 겨울철 동해피해는 직접적인 온도의 영향에 의한 동해와 수분흡수의 부족 및 증산량의 과다로 인한 겨울철 건조(Winter desiccation)가 주요 원인으로 작용한다(Kozlowski et al., 1991). 반면, 늦겨울 또는 초봄에 발생하는 저온에 갑자기 식물이 피해를 받는 경우가 대부분이며, 건조피해의 경우는 겨울철 내내 지속되어 온 탈수와 함께 유화의 개시로 가속화되는 수분손실의 과다, 토양 동결로 인한 수분흡수의 부족과 함께 수분의 불균형에 의한 피해로 비교적 느린 진행과정을 거치거나 차고 건조한 바람에 의해 잎의 건조가 오기 때문에 피해가 발생하게 된다(Sul and Bang, 2002).

이러한 동해피해에 관한 연구는 주로 배, 포도, 복숭아 등 과수를 중심으로 이루어져 왔다(Lim et al., 2005; Kwon et al., 2006; Seo et al., 2010). 과수 이외에 일반 수목에 대해서는 철쭉류, 차나무의 내한성 평가에 관한 연구(Sul and Bang, 2002; Heo et al., 2010)와 식재지에서 동해 피해 현황을 기반으로 동해의 원인구명에 초점을 둔

연구(Kim et al., 1979)가 있었으나, 도시 녹지의 관리적인 측면에서 필요한 수목 동해에 대한 연구가 부족한 실정이다.

지난 2010년 겨울은 유난히 심한 한파가 찾아 왔으며, 12월 24일부터 1월 31일까지 39일간 전국적으로 긴 한파가 지속되었다. 장기간 한파로 평균기온은 -0.4°C 로 평년기온 0.8°C 보다 1.2°C 가량 낮았다. 하지만 강수량은 평년과 비슷한 수준을 보였다. 이러한 기상현상에 의해 곳곳에서 동해피해가 속출하였으며, 특히 난대상록활엽수의 생육환경으로 좋은 조건을 갖춘 남부지역에서도 피해가 크게 나타났다.

따라서 이 연구는 동해피해가 많이 발생한 경남 서부지역의 도시 내 가로수 길, 생태공원, 주택정원에 식재되어 있는 주요 난대상록활엽수인 동백나무(*Camellia japonica* Linné), 아왜나무(*Viburnum odoratissimum* var. *awabuki* Zabel ex Rumphler), 종가시나무(*Quercus glauca* Thunb. ex Murray), 홍가시나무(*Photinia glabra* Maxim.), 후박나무(*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc), 후피향나무(*Ternstroemia gymnanthera* Sprague)를 대상으로 동해피해 현황 및 피해특성을 분석하고, 생육특성과 식재환경과의 관계를 구명하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

동해피해의 현황은 경남 진주, 사천, 통영지역의 가로수 길, 주택정원, 등산로, 생태공원 등에 식재된 난대상록활

Table 1. The descriptions of meteorological data in each study site.

Climate factors	Region	2010		2011	
		Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
Mean temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Jinju	6.7 (7.7)*	1.7 (2.0)	-3.1 (-0.1)	2.6 (2.1)
	Sacheon	9.2 (10.0)	3.8 (4.3)	-1.5 (1.8)	4.2 (3.7)
	Tongyoung	10.1 (11.2)	4.6 (5.5)	-0.7 (3.1)	5.0 (4.9)
Minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Jinju	-0.6 (1.6)	-4.5 (-4.0)	-10.0 (-5.8)	-4.1 (-3.9)
	Sacheon	3.6 (5.4)	-1.0 (-0.3)	-6.2 (-2.4)	-0.7 (-1.0)
	Tongyoung	5.2 (7.0)	0.2 (1.3)	-4.9 (-0.8)	1.0 (0.7)
Precipitation (mm)	Jinju	4.5 (45.0)	22.8 (19.2)	0.0 (32.9)	87.6 (43.0)
	Sacheon	8.9 (54.1)	35.9 (23.4)	0.0 (32.9)	115.5 (60.8)
	Tongyoung	0.5 (39.8)	31.2 (21.1)	0.0 (29.8)	87.3 (40.8)

*30yr average value in 1980~2010yr

엽수종을 대상으로 조사를 실시하였다. 조사대상지의 기후환경자료는 기상청 통계자료를 이용하였으며, 입지 및 생물환경자료는 현장조사를 실시하였다. 조사구역은 도시 인근에서 자연을 쉽게 접할 수 있도록 수목전시 및 교육·학습을 목적으로 만들어진 소규모 생태공원과 인근 등산로, 가로수길, 주택정원 등으로 구분하여 2011년 2월부터 4월까지 조사하였다. 지역별 조사지 개소 수는 진주시의 생태공원 4개소, 등산로 1개소, 가로수길 1개소, 사천시의 생태공원 1개소, 가로수길 2개소, 주택정원 1개소, 통영시의 생태공원 2개소, 가로수길 3개소, 주택정원 1개소이다.

각 지역의 월별 평균기온과 최저기온 및 강수량은 동해를 발생시키는 기후적인 요소로 분류할 수 있었다(Table 1). 2011년 1월 평균기온은 진주 -3.1°C, 사천 -1.5°C, 통영 -0.7°C로 30년 평년값인 진주 -0.1°C, 사천 1.8°C, 통영 3.1°C에 비해 낮게 나타났다. 또한 2011년 1월 최저기온은 진주시 -10°C, 사천 -6.2°C, 통영 -4.9°C로 평년값의 최저기온진주 : -5.8°C, 사천 : -2.4°C, 통영 : -0.8°C보다 추위가 심했던 것으로 나타났다. 2011년 1월 강수량이 평년값에 미치지 못하였으며, 겨울 내 총 강수량도 부족하였다.

입지환경은 식재유형(노지식재, 수하식재), 식재방법(단목식재, 군상식재)로 구분하였으며, 경사는 평탄지를 5 이하, 경사지는 5 초과로 분류하였고, 유기물량의 경우 낙엽층 두께를 측정하여 3 cm초과는 많음, 그 이하는 적음으로 분류하였다(Table 2). 동백나무는 진주, 사천, 통영지역에서 나타났으며, 가로수길, 주택정원, 생태공원, 등산로

등에 주로 식재되어 있었으며, 아왜나무는 진주의 생태공원과 등산로, 사천의 주택정원, 통영의 주택정원에 식재되어 있었다. 종가시나무와 후박나무, 후피향나무는 진주와 통영의 생태공원과 등산로 가로수길, 홍가시나무는 진주 지역의 생태공원 및 등산로, 사천의 가로수길, 통영의 생태공원 등 다양한 환경에 조성되어 있었다.

2. 피해현황 조사

조사지역의 식재지별 생물현황은 근원경, 수고, 수관폭을 측정하였으며, 식재지 내 조사대상목의 식재환경 및 방법에 대해 조사하였다.

본 연구에서 피해율은 전체 조사본수와 피해목 본수를 이용해 산출한 비율을 의미하며, 피해도는 하나의 개체목 내에서 입은 피해를 일정 기준에 의한 양적평가를 실시한 것으로 정의 한 후 조사를 진행하였다. 그에 따라 피해율은 잎과 줄기부위에 피해가 조금이라도 있는 나무는 피해목으로 분류하여 그 빈도에 따른 비율을 산정하였다. 잎의 피해도는 수관부 전체의 잎과 갈변된 잎이 수관부에서 차지하는 비율을 시각적으로 측정하였으며, 줄기부위의 경우 조경용으로 사용되는 난대상록활엽수의 줄기와 가지의 구분이 어려운 다간 형태가 많아서 가장 크고 주된 줄기를 선택하고 수고를 기준으로 가지 끝부터 지면의 근원부까지를 줄기로 가정하여, 수고의 비율에 따라 변색된 부위를 시각적으로 수고 대 피해부위의 길이비를 이용해 줄기 피해도를 산출하였다(Figure 1). 그 기준은 피해전부

Table 2. The site characteristics of sampling plots for evergreens in urban area.

Species	Region	Site	Plantation area	Planting method of trees	Local topography	Content of organic matter
<i>C. japonica</i>	Jinju	Ecological park Hiking road	Open space Under tree	Single	Slope	Plenty
	Sacheon	Street Forecourt	Open space	Single	Flatness	Scarcity
	Tongyoung	Street Forecourt	Open space	Single Group	Flatness	Scarcity
<i>V. odoratissimum</i>	Jinju	Ecological park Hiking road	Open space Under tree	Single	Flatness	Scarcity Plenty
	Sacheon	Forecourt	Open space	Single	Flatness	Scarcity
	Tongyoung	Forecourt	Open space	Group	Flatness	Scarcity
<i>Q. glauca</i>	Jinju	Ecological park	Open space	Single	Flatness	Scarcity
	Tongyoung	Ecological park	Open space	Single	Flatness	Scarcity
<i>P. glabra</i>	Jinju	Ecological park Hiking road	Open space	Single	Flatness	Scarcity
	Sacheon	Street	Open space	Group	Flatness	Scarcity
	Tongyoung	Ecological park	Open space	Group	Flatness	Scarcity
<i>M. thunbergii</i>	Jinju	Ecological park Hiking road	Open space	Single	Flatness	Scarcity
	Tongyoung	Street	Open space	Single	Flatness	Scarcity
<i>T. gymnanthera</i>	Jinju	Ecological park Street	Open space Under tree	Single	Slope Flatness	Scarcity Plenty
	Tongyoung	Street	Open space	Single	Flatness	Scarcity

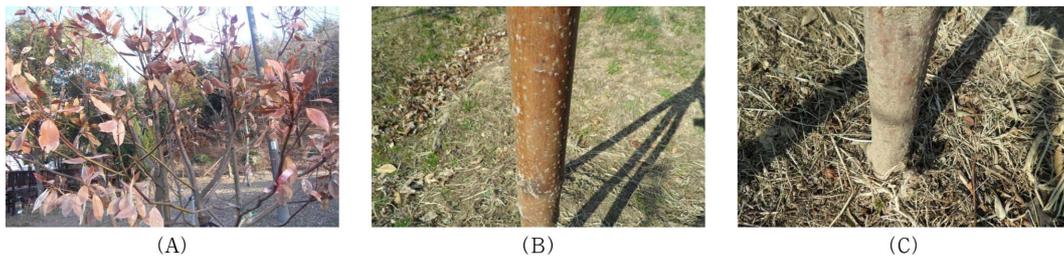


Figure 1. Trees damage was measured by visual evaluation of freezing injury about leaf and stem part.
A: Discolored leaf and withered branch (Top), B: Discolored stem (Middle), C: Not discolored stem. (Bottom).

0점, 10% 미만 1점, 10~50% 2점, 50~90% 3점, 90~100% 4점 및 완전고사 5점을 적용하였다(Walker et al., 2008).

또한 부위별 피해정도를 알아보기 위해 수세진단기(Shigometer: OZ-93, OSMOSE, USA)를 이용하여 수목활력을 측정하였다. 형성층의 사활여부를 판단하는 장치로서 형성층의 수분량에 따라 전류의 흐름이 달라지는 원리를 이용하여 전기저항치를 측정할 수 있다. 환경이나 수종에 따른 편차가 크지만, 수종별로 피해정도의 차이가 클 경우 수치적인 차이가 나타날 수 있기 때문에 수종별 활력측정 및 동일수종 내 부위별 활력측정에 활용하였다.

3. 피해율 및 피해도 분석

피해현황은 3개 지역에서 조사한 자료를 이용하여 조사대상지내에서 수종별, 지역별, 식재지별 동해피해율을 분석하였다. 이를 통해 각 수종간, 지역간 동해피해율 차이를 비교·분석하였으며, 또한 잎과 줄기로 나누어 부위별 피해율을 분석하였다. 피해도는 수종별, 지역별, 식재구역에 따른 피해 심도의 차이를 ANOVA분석(Analysis of variance, ANOVA)으로 구명하였으며, 입지환경에 따른 피해도의 차이는 독립표본 T 검정(Independent t-test)분석을 통해 비교하였다. 또한 생장상태와 피해도의 관계를 알아보기 위해 Pearson의 상관관계분석(Pearson's correlation analysis)을 실시하였다. 상관관계분석은 근원경, 수고, 수관폭의 측정치와 시각적 피해도 측정자료를 활용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 동해 현황 및 피해 유형

Table 3에 나타난 조사 대상지 내 생장특성 중 동백나무는 근원경 1.6~20.4 cm, 수고 0.7~4.5 m, 수관폭 0.5~3.8 m의 크기로 분포하였으며, 아왜나무는 근원경 4.3~22.9 cm, 수고 2.0~3.2 m, 수관폭 0.6~3.3 m, 종가시나무 근원경 7.4~11.0 cm, 수고 3.7~5.0 m, 수관폭 1.1~3.2 m로 나타났다. 홍가시나무의 생장은 근원경 2.8~18.1 cm, 수고 1.1~5.0 m, 수관폭 0.5~2.5 m이며, 후박나무 근원경

1.8~17.5 cm, 수고 1.2~4.0 m, 수관폭 0.3~2.8 m, 후피향나무 근원경 2.4~19.0 cm, 수고 1.0~4.9 m, 수관폭 0.5~4.2 m로 나타나 다양한 크기의 수목이 식재되어 있는 것으로 나타났다.

주요 난대상록활엽수종의 수종별, 지역별, 식재구역에 따른 피해목의 개체 수 및 피해율은 Table 4에 나타나 있다. 전체적으로 사천지역의 주택정원에 식재된 동백나무는 피해가 전혀 없었으며, 통영의 후박나무 가로수는 약 55.6%만이 피해를 입었지만, 이들 두 지역을 제외한 대부분의 조사지에서 수종과 구역에 관계없이 100%에 가까운 피해율이 나타나고 있다. 이러한 현상은 난대 상록활엽수의 분포가 최한월 기온에 영향을 받는다고 하였으며, 최저 기온의 범위를 기초로 상록활엽수의 적정생육환경을 분류하고 있다(Woodward, 1987). 그리하여 겨울철 건조가 지속되는 가운데 갑작스럽게 빙점이하로 온도가 하강하면 동해가 일어나는 점을 기인해 볼 때(Sakai, 1980), 11월~2월 사이 강수량이 평년보다 적으며, 특히 1월 강수량이 전혀 없을 정도로 가물고 기온이 급 하강하여 난대수종의 피해율이 전체적으로 높아진 것으로 사료된다.

주요 동해 유형은 잎 부위에서 대부분 80% 이상 피해를 입은 것으로 판단되고, 갈변하는 증상이 우선적으로 나타났으며, 줄기의 변색 현상은 차 순으로 나타났다. 기존 보고에 따르면 난대상록활엽수종의 뿌리에 동해피해가 일어난 후 3개월 까지 직접적으로 동해를 입은 잎 이외에 간접적인 추가피해에 의해 변색되거나 떨어지는 잎이 증가하므로 시간이 경과할수록 잎의 갈변현상이 심해질 수 있다(Rosen et al., 1985). 하지만 현 피해지에서 완전 고사목의 경우 진주지역 후피향나무 33.3%, 동백나무 2.8% 이외에는 관찰되지 않아 동해피해에 의한 고사율은 낮게 나타났다. 이는 뿌리의 피해발생량이 적은 것으로 사료되어 앞서 언급한 현상과 다소 상이한 것으로 보인다.

수종별로 전체 조사본수 중 잎이 갈변된 본수를 나타내는 잎 피해율은 전체적으로 큰 차이가 없었으나, 줄기피해의 경우 동백나무의 피해율이 59.6%로 가장 낮게 나타났으며, 종가시나무 67.9%, 후박나무 71.4%, 홍가시나무 75.8%, 아왜나무 77.8%, 후피향나무 83.3% 순으로 나타났다.

Table 3. The growth characteristics of evergreen broad-leaved trees distributed in urban area.

Species	Region	Site	Root-collar diameter(cm)	Height(m)	Crown width(m)
			$\frac{\text{Mean} \pm \text{S.D.}}{\text{Min.}^* \sim \text{Max.}^{**}}$	$\frac{\text{Mean} \pm \text{S.D.}}{\text{Min.} \sim \text{Max.}}$	$\frac{\text{Mean} \pm \text{S.D.}}{\text{Min.} \sim \text{Max.}}$
<i>C. japonica</i>	Jinju	Ecological park	10.0 ± 2.3	3.0 ± 0.4	1.6 ± 0.1
		Hiking road	$1.6 \sim 20.4$	0.7 ~ 3.0	0.5 ~ 2.5
	Sacheon	Street	10.1 ± 7.5	2.5 ± 1.5	1.7 ± 1.6
		Forecourt	$4.6 \sim 20.1$	1.5 ~ 4.5	0.7 ~ 3.8
	Tongyoung	Street	10.0 ± 2.3	3.0 ± 0.4	1.6 ± 0.1
		Forecourt	$3.0 \sim 12.5$	2.5 ~ 3.5	1.5 ~ 1.8
<i>V. odoratissimum</i>	Jinju	Ecological park	5.5 ± 1.2	2.8 ± 0.4	2.4 ± 0.5
		Hiking road	$4.3 \sim 6.7$	2.2 ~ 3.2	1.9 ~ 2.9
	Sacheon	Forecourt	20.5 ± 2.6	3.0 ± 0.3	2.8 ± 0.4
			$18.4 \sim 22.9$	2.7 ~ 3.2	2.4 ~ 3.3
	Tongyoung	Forecourt	6.6 ± 0.1	3.5 ± 1.1	0.9 ± 0.8
			$6.5 \sim 6.7$	2.0 ~ 4.0	0.6 ~ 2.0
<i>Q. glauca</i>	Jinju	Ecological park	10.9 ± 0.4	4.0 ± 0.4	3.0 ± 0.2
		Hiking road	$10.5 \sim 11.0$	3.7 ~ 4.3	2.9 ~ 3.2
	Tongyoung	Ecological park	7.7 ± 0.2	4.5 ± 0.4	1.4 ± 0.2
			$7.4 \sim 7.9$	4.0 ~ 5.0	1.1 ~ 1.6
<i>P. glabra</i>	Jinju	Ecological park	8.2 ± 5.2	2.6 ± 1.0	2.5 ± 1.1
		Hiking road	$2.5 \sim 18.1$	1.4 ~ 4.2	1.2 ~ 4.0
	Sacheon	Street	6.6 ± 0.1	2.0 ± 0.2	1.0 ± 0.2
			$6.5 \sim 6.6$	1.8 ~ 2.0	0.8 ~ 1.2
	Tongyoung	Ecological park	9.5 ± 6.0	3.1 ± 2.1	1.5 ± 1.1
			$4.0 \sim 14.9$	1.1 ~ 5.0	0.5 ~ 2.5
<i>M. thunbergii</i>	Jinju	Ecological park	5.7 ± 2.3	2.7 ± 0.8	1.5 ± 0.7
		Hiking road	$1.8 \sim 10.6$	1.2 ~ 3.8	0.3 ~ 2.8
	Tongyoung	Street	12.2 ± 7.6	3.4 ± 0.5	2.3 ± 0.4
			$2.0 \sim 17.5$	3.0 ~ 4.0	1.9 ~ 2.8
<i>T. gymnanthera</i>	Jinju	Ecological park	7.2 ± 3.0	1.8 ± 0.6	2.3 ± 0.3
		Street	$2.4 \sim 13.3$	1.0 ~ 4.9	0.5 ~ 4.2
	Tongyoung	Street	15.5 ± 4.1	1.2 ± 0.3	2.7 ± 0.1
			$11.5 \sim 19.0$	3.9 ~ 4.5	2.6 ~ 2.8

Note) S.D. : Standard deviation, Min.*Minimum, Max.**Maximum

Figure 1에 나타난 수종별 피해목의 줄기 높이에 따른 전기저항치 측정결과에 따르면 줄기 상부가 가장 높게 나타나고 중단부, 하단부 순으로 나타났다. 이는 동해피해를 입으면 우선적으로 수목 중단부의 잎, 가지들이 우선적으로 피해를 입는 것을 알 수 있으며, 중간부위의 줄기, 최하단 근주부의 줄기 순으로 활력이 떨어져 전기저항치의 부위별 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 난대상록활엽수종의 동해피해가 일어날 경우 가장 취약한 잎에

서 우선적으로 증상이 발현하고, 그 외 줄기부위의 피해, 고사현상의 순으로 피해증상이 나타나는 것으로 판단된다.

2. 동해 피해도

피해도의 시각적 척도를 적용하여 지역별, 수종별, 식재 구역별로 분석해 본 결과는 Table 5에 나타나 있다. 지역별 차이는, 진주의 피해도가 1.83점으로 가장 높게 나타났으며, 사천 1.67점, 통영 1.44점 순으로 나타났다. 이들 지

Table 4. The freezing injury rate according to each species and region.

Species	Region	Site	Number of trees	Freezing injury rate(%)			
				Leaf	Stem	Death	
<i>C. japonica</i>	Jinju	Ecological park	12	100.0	25.0	0.0	
		Hiking road	107	97.2	61.7	2.8	
	Sacheon	Street	6	100.0	100.0	0.0	
		Forecourt	3	0.0	0.0	0.0	
	Tongyoung	Street	9	100.0	66.7	0.0	
		Forecourt	9	100.0	66.7	0.0	
	Sub mean			146	95.9	59.6	2.1
	<i>V. odoratissimum</i>	Jinju	Ecological park	9	100.0	100.0	0.0
Hiking road			3	100.0	100.0	0.0	
Sacheon		Forecourt	6	100.0	100.0	0.0	
Tongyoung		Forecourt	9	100.0	33.3	0.0	
Sub mean			27	100.0	77.8	0.0	
<i>Q. glauca</i>		Jinju	Ecological park	16	81.3	62.5	0.0
	Tongyoung	Ecological park	12	100.0	75.0	0.0	
	Sub mean			28	89.3	67.9	0.0
	<i>P. glabra</i>	Jinju	Ecological park	6	100.0	100.0	0.0
Hiking road			12	100.0	100.0	0.0	
Sacheon		Street	9	100.0	11.1	0.0	
Tongyoung		Ecological park	6	100.0	100.0	0.0	
Sub mean			33	100.0	75.8	0.0	
<i>M. thunbergii</i>		Jinju	Ecological park	9	100.0	66.7	0.0
	Hiking road		24	100.0	100.0	0.0	
	Tongyoung	Street	9	55.6	0.0	0.0	
	Sub mean			42	90.5	71.4	0.0
<i>T. gymnanthera</i>	Jinju	Ecological park	9	100.0	100.0	33.3	
		Ecological park	15	100.0	100.0	0.0	
		Street	6	100.0	100.0	0.0	
	Tongyoung	Street	6	100.0	0.0	0.0	
	Sub mean			36	100.0	83.3	8.3

Note) Freezing injury rate within each plot = (Number of trees with the damage value of higher than one point, allocated to the surveyed trees with the least of freeze injury, in the visual evaluation scale / Total Number of trees) × 100

Table 5. The visual evaluation of freezing injury according to region, site, and species.

Factors		Number of trees	Mean	S.D.	F-value
Region	Jinju	228	1.83 ^a	0.66	7.73**
	Sacheon	24	1.67 ^{ab}	0.77	
	Tongyoung	48	1.44 ^b	0.49	
Site	Street	45	1.59 ^{bc}	0.78	9.08**
	Forecourt	27	1.30 ^c	0.25	
	Ecologic park	94	1.82 ^a	0.58	
	Hiking road	146	1.50 ^c	0.70	
Species	<i>C. japonica</i>	146	1.92 ^a	0.69	8.34**
	<i>V. odoratissimum</i>	27	1.44 ^{bc}	0.31	
	<i>Q. glauca</i>	28	1.75 ^{ab}	0.45	
	<i>P. glabra</i>	33	1.25 ^c	0.61	
	<i>M. thunbergii</i>	42	1.73 ^{ab}	0.45	
	<i>T. gymnanthera</i>	36	1.58 ^{abc}	0.62	

Note) Damage rate by visual evaluation scale: 0 = no damage, 1 = <10%, 2 = 10~50%, 3 = 50~90%, 4 = >90%, and 5=all dead. **: p<0.01

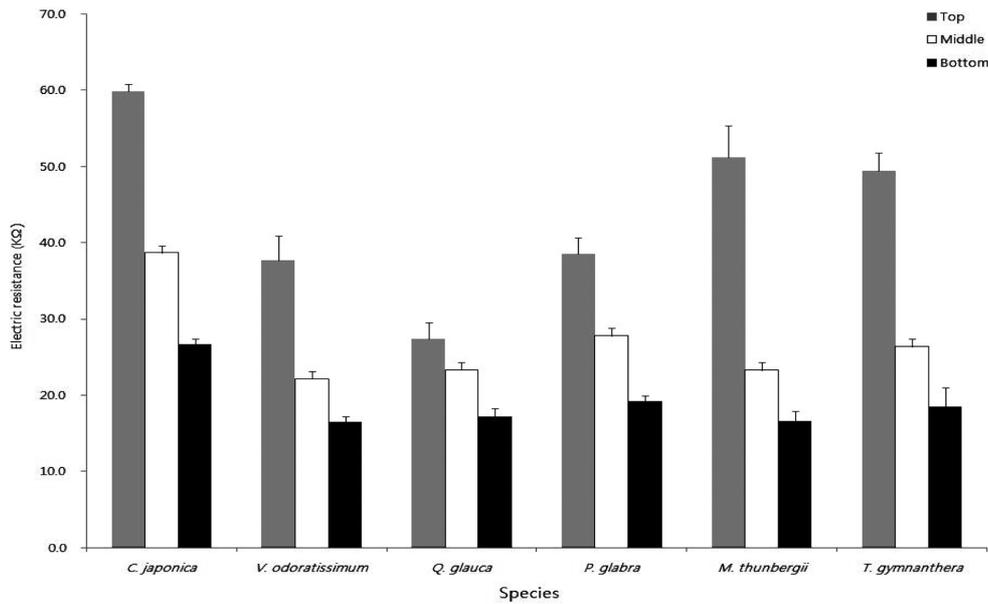


Figure 2. The comparison of electric resistance according to stem part and species. Vertical bars show standard errors of the mean.

역의 2011년 겨울 최저기온은 1월에 진주가 -10.0°C , 사천 -6.2°C , 통영 -4.9°C 로 관측되었다(Table 1). 앞서 언급한 바와 같이 빙점이하의 온도에 노출되었을 경우 발생하는 동해의 특성상 최저기온이 피해도의 지역별 차이를 나타낸 다양한 원인 중 하나일 것으로 판단된다.

식재 구역별 차이는 생태공원에서 1.82점으로 가장 높은 피해도가 나타나는 경향을 보였으며, 가로수 길 1.59점, 등산로 1.50점, 주택정원 1.30점 순으로 구역 간 유의적 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 생태공원의 특성상 겨울바람이 노출된 넓은 지역에서 넓은 식재간격을 두고 단목단위로 식재되어 있거나, 공원의 경관을 위해 군상으로 식재한 작은 나무들의 피해도가 높은 원인이 된 것으로 판단된다. 담장에 의해 바람 노출이 적은 주택정원의 경우 피해도가 낮게 나타나는 것이 이를 뒷받침하고 있다.

수종별 차이는 홍가시나무의 피해도가 가장 낮게 나타났으며, 주로 단목으로 식재되는 동백나무의 피해도가 가장 높은 것으로 나타났다. 동백나무의 경우 줄기피해목의 비율은 타 수종에 비해 낮은 비율로 나타났지만, 주로 직경이나 수고가 작은 나무들이 군상으로 심어진 경우가 많다. 이에 따라 크기가 작은 식재목이 동해를 입게 될 때 피해도가 높게 나타나 피해목 본수비율과는 상이한 결과가 나타난 것으로 보인다. 따라서 수종별 동해심도는 내한성보다 식재목의 크기나 환경의 영향이 더욱 크게 작용하는 것으로 사료된다.

한편 Figure 1에 나타난 피해목의 줄기 높이에 따른 수목활력 측정치의 수종별 평균 비교 결과에 따르면 동백나무($41.7 \text{ k}\Omega$)의 전기저항치가 가장 높은 것으로 나타났

며, 아왜나무($25.5 \text{ k}\Omega$) 종가시나무($22.7 \text{ k}\Omega$), 홍가시나무($28.5 \text{ k}\Omega$)의 활력이 비교적 양호한 것으로 나타났다($p < 0.05$). 이는 동일한 수종은 아니지만 같은 기간인 3~5월에 조사된 신갈나무와 졸참나무의 전기저항치는 15~28 $\text{k}\Omega$ 인 것을 감안해 볼 때(Chae et al., 2012), 동백나무의 수목활력도는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 부위별로는 줄기 상부가 가장 높게 나타나고 중단부, 하단부 순의 경향이 나타났다. 이는 동해피해를 입으면 우선적으로 수목 상단부의 잎, 가지들이 우선적으로 피해를 입을 것을 알 수 있으며, 중간부위의 줄기, 최 하단 근주부의 줄기 순으로 활력이 떨어져 전기저항치의 부위별 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 난대사록활엽수종의 동해피해가 일어날 경우 가장 취약한 잎에서 우선적으로 증상이 발현하고, 그 후 수목 상단부 가지피해를 시작으로 줄기부위의 피해, 고사현상의 순으로 피해증상이 나타나는 것으로 판단된다.

식재환경에 따른 피해도 결과는 Table 6에 나타나있다. 수하식재지 피해도 1.41점에 비해 노지식재지에서 1.82점으로 높게 나타났으며, 식재방법은 단목식재 1.66점에 비해 군상식재 1.89점으로 유의적인 차이가 인정되었다. 이는 단목식재의 경우 군상식재에 비해 바람에 노출이 심할 수 있지만, 식재되는 나무의 크기의 차이를 감안해 볼 때, 군상식재지의 작은 나무들이 피해도가 높게 나타난 것으로 사료된다. 차광효과에 따른 생육반응은 무차광 조건에 50% 차광조건의 생육상태가 양호하다는 본 연구와 유사한 결과가 보고된 바가 있으며(Kim, 2010), 이는 차광처리가 수분손실을 줄이고 체내수분함량을 회복시켜 동절

Table 6. The visual evaluation of freezing injury according to plantations characteristics.

Factors			N	Mean	S.D.	t	p
Planting method	Planting method of trees	Single	182	1.66	0.58	-2.95	0.004
		Group	130	1.89	0.74		
	Plantation area	Open space	264	1.82	0.68	5.71	0.001
		Under tree	48	1.41	0.41		
Plantations environment	Local topography	Plain	171	1.61	0.58	-4.48	0.001
		Slope	141	1.94	0.70		
	Content of organic matter	Scarcity	72	1.62	0.60	1.97	0.048
		Plenty	240	1.48	0.66		

Table 7. Growth factors correlation with a visual evaluation of freezing injury.

Variable	Root-collar diameter(cm)	Height (m)	Crown width (m)	Estimates obtained by visual evaluation
Root-collar diameter(cm)	1.000			
Height	0.396**	1.000		
Crown width	0.465**	0.720**	1.000	
Estimates obtained by visual evaluation	-0.243**	-0.432*	-0.470**	1.000

Note) * $p < 0.01$, ** $p < 0.001$

기동안 피해를 줄 일수 있다는 Sul and Bang(2002)의 연구결과와 유사하였다.

한편 평탄지가 1.61점, 경사지가 1.94점으로 경사지가 높게 나타났으며, 지표면 유기물양의 차이 비교에서는 유기물 많은 곳이 1.48점으로 적은 곳 1.62점에 비해 동해피해가 적은 것으로 나타났다. 겨울철 수목의 동해는 건조 때문인 것을 기인할 때 수분 소실량이 많은 경사지에 비해 평탄지의 피해가 적고, 지표면의 낙엽과 같은 유기물에 의해 토양수분의 소모가 적은 지역이 동해에 강한 것으로 사료된다. 따라서 월동 후 생존율은 지면의 보습과 뿌리부위의 상태가 영향을 미치며, 이를 높이기 위해서 근원부의 건전한 생육환경이 조성되어야 한다(Kim, 2010).

3. 생육인자와 동해 피해도와의 관계

겨울철 수목의 동해 피해도와 생육상태와의 Pearson의 상관분석을 실시하였다(Table 7). 생육인자인 수고, 수관폭의 상관계수가 -0.432, -0.470으로 부의상관관계가 나타나, 수고가 크고, 수관폭이 큰 성장상태가 우수한 수목의 피해가 적은 것으로 나타났다($p < 0.01$). 수목의 크기가 클수록 뿌리가 발달하여 작은 크기에 비해 체내수분공급이 양호하여 내한성이 뛰어난 것으로 판단된다. 따라서 크고 근계발달이 우수한 나무가 동해에 잘 버티고 우수한 것으로 사료된다.

줄기피해가 발생하였다. 전체 고사하는 경우는 드물게 나타나 잎, 줄기 이외 뿌리의 피해가 발생하지 않는 한 고사하지 않는 것으로 사료된다. 수종별로 잎 피해율은 유사하게 나타났지만, 줄기 피해율은 동백나무>종가시나무>후박나무>홍가시나무>아왜나무>후피향나무 순으로 나타났다. 지역별로 동해피해도가 높은 곳은 진주>사천>통영 순으로 나타났으며, 빙점이하의 온도에 노출되었을 경우 발생하는 동해피해의 특성상 최저기온과 겨울철 한건풍이 동해피해도의 지역별 차이를 나타낸 다양한 원인 중 중요요인인 것으로 판단된다. 식재 구역은 생태공원>가로수>주택정원 순으로 유의적 차이가 인정되었으며, 바람노출이 적은 주택정원에 비해 생태공원이나 가로수처럼 겨울바람이 노출된 넓은 지역에 주로 단목단위로 넓은 간격으로 식재되어 피해도가 높은 것으로 판단된다. 피해도와 생육인자인 수고, 수관폭에 대해 상관계수가 음의 값이 나타난다.

난대상록활엽수 녹지는 식재환경이나 생육상태 등을 고려하여 조성·관리하면 동해를 어느 정도 줄일 수 있는 방법이 될 수 있다. 하지만 주요 난대상록활엽수의 동해에 의한 갈변현상이 일어난 개체수가 80% 이상으로 대부분이 피해를 입은 점을 감안 해볼 때, 이러한 관리적인 노력보다 기후 환경적인 영향이 큰 것으로 나타났다.

References

Chae, Y.G., Seo, D.J., Kim, H.Y., Kim, Y.J., and Kim, J.G. 2012. Change of tree vitality of *Pinus densiflora* in the Baeck-

결 론

동해피해는 잎이 가장 먼저 피해가 발생하며, 그 이후

- dudaegan area. Proceedings of the 2012 Annual meeting of the Korean Forest Society 151-154.
- Heo, N.K., Lee, K.J., Kim, H.Y., Leem, S.H., Ham, H.J., Kim, K.H., Lee, C.H., and Han, S.S. 2010. Analysis on growth and features of varieties collected in Korea and abroad for growing tea trees with cold hardiness at high altitudes. Korean Tee Society 16(2): 96-104.
- Kim, J.S., Lee, S.G., Lee, S.B., and Kim, J.M. 1979. Studies on the frost damage and their mechanism of some principal forest trees. The Korean Breeding Society 11(2): 91-119.
- Kim, M.H. 2010. Effects of different light conditions on wintering in evergreen ground covers. Journal of Agriculture & Life Science 44(6): 61-67.
- Kozłowski, T. T., P. J. Kranmer and S. G. Pallardy. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic press, N.Y. pp. 123-302.
- Kwon, E.Y., Jung, J.E., Chung, U.R., Lee, S.J., Song, G.C., Choi, D.G., and Yun, J.I. 2006. A thermal time-driven dormancy index as a complementary criterion for grape vine freeze risk evaluation. The Korean Journal of Agricultural & Forest Meteorology 8(1): 1-9.
- Lee G.J. 2011. Physiology of tree. Seoul national university press. pp. 514.
- Lim, B.S., Jung, D.S., Yun, H.K., Hwang, Y.S., and Chun, J.P. 2005. Symptoms of Freezing Injury and Mechanical Injury-induced Fruit Rot in 'Niitaka' Pear Fruit (*Pyrus pyrifolia* Nakai) during Low Temperature Storage. The Korean Society for Horticultural Science 23(3): 282-286.
- Rosen, P.M., Good, G.L., and Stepponkus, P.L. 1985. Desiccation injury and direct freezing injury to evergreen azaleas: A comparison of cultivars. Journal of American Rhododendron Society 39(4): 46-55.
- Sakai, A. 1981. Freezing resistance of broad-leaved evergreen trees in the warm- temperate zone. Low Temperate of Science Service B(38): 1-14.
- Seo, Y.H., Park, Y.S., Jo, B.W., Kang, A.S., Jung, B.C., and Jung, Y.S. 2010. Regional distribution of peach freezing damage and chilling days in 2010 in Gangwon province. The Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology 12(4): 225-231.
- Shin, C.S. 2011. Cold tolerance assessment of *lagerstromemia indica* and *Pyracantha angustifolia* with dormant branches. Journal of the Korean of Landscape Architecture 39(6): 118-125.
- Shin, H.C., Park, N.C., and Hwang, J.H. 2006. Ever-green broad-leaved tree of korea. Korea Forest Research Institute. pp. 218.
- Sul, J.H. and Bang, K.J. 2002. The research of injury during hardening and de hardening on three rhododendron. Journal Korea Institute Interior Landscape Architecture 1(5): 79-85.
- Walker, D.J., Romero, P., Hoyos, A. and Correal, E. 2008. Seasonal change in cold tolerance, water relations and accumulation of cations and compatible solutes in *Atriplex halimus* L.. Environmental and Experimental Botany 64(2008): 217-224.
- Woodward, F.I. 1987. Climate and plant distribution, Cambridge university press, Cambridge. pp. 174.

(2014년 2월 27일 접수; 2014년 8월 13일 채택)