J. Korean Soc. People Plants Environ. Vol. 19 No. 2: 71-78, April 2016
http://dx.doi.org/10.11628/ksppe.2016.19.2.71

ISSN 1226-9778(Print)
ISSN 2287-8238(Online)

도시녹화를 위한 국내 남부지역 상록활엽수의 내한성 비교 평가

김정민[1] · 최수민[2] · 허근영[1,3]*

[1]경남과학기술대학교 도시시스템공학과, [2]국립산림과학원 남부산림연구소, [3]경남과학기술대학교 조경학과

Comparative Assessment on Cold Tolerance of Broad-leaved Evergreen Trees grown in Southern Region for Urban Greening

Jung-Min Kim[1], Su-Min Choi[2], and Keun-Young Huh[1,3]*

[1]*Dept. of Urban System Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea*
[2]*Southern Forest Resources Research Center, National Institute of Forest Science, Jinju 52817, Korea*
[3]*Dept. of Landscape Architecture, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Korea*

Abstract

This study was carried out to investigate and assess the cold tolerance of 24 species broad-leaved evergreen trees in southern region, South Korea, and propose the selection for urban greening responsive to the climate change. The cold stressed impact of each species was measured and calculated by the electrolyte leakage (EL) method, and then the lethal temperature was predicted by the non-linear regression analysis. The scattered plots and fitted curves of most species tended to show sigmoidal response curve. On assessing the EL values and sigmoidal response curve pattern with different temperature, the differences were obviously showed among all the species. Also, among the species within the same family, the differences were obviously showed. The maximum temperature difference among the species was over 10℃. Between *Ilex rutunda* and *Ilex integra* within the same family, *Aquifoliaceae*, it was over 10℃. The results indicate that there are significant differences in cold tolerance among different species in the same region, which are not affected by any environmental factors but affected by any genetical factors. Thus it is valuable to assess the cold tolerance on most broad-leaved evergreen trees in southern region, South Korea. As a result, *Euonymus japonicus*, *Trachelospermum asiaticum*, *Dendropanax morbiferus*, *Ilex integra*, *Machilus thunbergii*, *Ilex* x *wandoensis*, *Cinnamomum japonicum*, *Distylium racemosum*, and *Castanopsis sieboldii* may have better cold tolerance and survive the region closer to middle region, South Korea compared to the others.

Key words : *climate change, electrolyte leakage, genetical factor, lethal temperature, plant selection*

Ⅰ. 서론

기후변화로 인하여 상록활엽수의 생육가능 지역이 확대되고 있다. 겨울철 도시의 경관향상과 생태건전성을 위해서 상록식물의 활용이 증대될 것으로 예측된다(Kim et al., 2010). 변화하는 환경에 적응 가능하고 다양한 이용자의 요구에 부합하는 상록의 조경수 소재 발굴이 필요하다(Kim et al., 2014). 국내 남부지역은 온난다습한 기후의 영향으로 다양한 상록식물들이 생육하고 있으므로 기후변화에 대응할 수 있는 관상용 또는 조경용 상록활엽수 선발이 가능할 것이다.

내한성은 조경용 상록활엽수 선발에서 가장 중요한 고려사항 중의 하나이다. 겨울철 다양한 지역별 온도조건 그리고 기후변화로 인한 극심한 온도변화에 적응할 수 있는 상록활엽수의 선발이 필요하다. 식물의 내한성 평가에는 전해질 용출법(electrolyte leakage method), TTC 환원법(2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride reduction), 재생 검사(regrowth test) 등이 이용되어 왔으며(Kim, 2006), 이 가운데 전해질 용출법은 비교적 짧은 시간에 간편하게 온도 스트레스에 대한 식물의 치사 온도를 예측할 수 있다. 그러나 전해질 용출법은 식물의 내한성을 과대평가하는 경향이 있으며, 이것은 초본과 목본식물의 차이, 전해질 용출 측정 대상 부위의 차이, 최대 전해질 용출 측정을 위한 온도처리 방법의 차이, 전해질 용출량을 통하여 저온 치사 온도를 예측하는 통계적 기법의 차이 등에서 발생할 수 있다고 추론된다(Anderson et al., 1988; Cardona et al., 1997; Dunn et al., 1999; Fry et al., 1993; Iles and Agnew, 1995; Kim and Huh, 2015; Kim et al., 2010; Kim et al., 2014; Maier

Received on February 29, 2016. Revised on March 23, 2016. Accepted on March 30, 2016.
***Corresponding author:** sumoto@gntech.ac.kr

et al., 1994).

이와 관련하여 Kim et al.(2014)은 국내 남부지역 상록활엽수인 돈나무(*Pittosporum tobira*)를 가지고 선행연구들에서 제기된 문제점들을 보완하는 연구를 수행하여 내한성 평가 모델을 제안하였다. 따라서 본 연구는 기후변화에 대응하여 광범위한 지역에서 도시녹화에 활용 가능한 상록활엽수를 선발하기 위한 연구의 일환으로서 국내 남부지역에서 생육하는 몇 가지 상록활엽수들에 대하여 Kim et al.(2014)의 내한성 평가모델을 활용하여 내한성 비교 평가를 수행하고 활용 가능한 상록활엽수를 제안하고자 수행되었다.

Ⅱ. 연구방법

1. 식물재료

도시녹화를 위해 활용되고 있거나 앞으로 가능성이 높을 것으로 예상되는 국내 남부지역에서 생육 중인 상록활엽수들 중에서 감탕나무과(*Aquifoliaceae*) 중 먼나무(*Ilex rotunda*), 완도호랑가시나무(*Ilex* x *wandoensis*), 감탕나무(*Ilex integra*) 3종, 노박덩굴과(*Celastraceae*) 중 사철나무(*Euonymus japonicus*), 녹나무과(*Lauraceae*) 중 후박나무(*Machilus thunbergii*), 생달나무(*Cinnamomum japonicum*) 2종, 두릅나무과(*Araliaceae*) 중 황칠나무(*Dendropanax morbiferus*), 목련과(*Magnoliaceae*) 중 태산목(*Magnolia grandiflora*), 물푸레나무과(*Oleaceae*) 중 구골나무(*Osmanthus heterophyllus*), 광나무(*Ligustrum japonicum*) 2종, 보리수나무과(*Elaeagnaceae*)중 보리장나무(*Elaeagnus glabra*), 인동과(*Caprifoliaceae*)중 아왜나무(*Viburnum odoratissimum* var. *awabuki*), 장미과(Rosaceae) 중 다정큼나무(*Raphiolepis indica* var. *umbellata*), 조록나무과(*Hamamelidaceae*) 중 조록나무(*Distylium racemosum*), 차나무과(*Theaceae*) 중 후피향나무(*Ternstroemia gymnanthera*), 차나무(Camellia sinensis), 애기동백나무(*Camellia sasanqua*), 동백나무(*Camellia japonica*), 비쭈이나무(*Cleyera japonica*) 5종, 참나무과(*Fagaceae*) 중 구실잣밤나무(*Castanopsis sieboldii*), 졸가시나무(*Quercus phillyraeoides*) 2종, 층층나무과(*Cornaceae*) 중 금식나무(*Aucuba japonica* for. *Variegata*), 식나무(*Aucuba japonica*) 2종, 협죽도과(*Apocynaceae*) 중 마삭줄(*Trachelospermum asiaticum*) 총 14과 24종을 식물재료로 선발하였다(Shin et al., 2006).

2. 실험방법

시료의 채취는 2011년 2월 7일부터 2월 23일까지 경남 진주시에 소재한 경남과학기술대학교와 국립산림과학원 남부산림자원연구소 본원 및 종보전원에서 실험 당일에 실시하였고, 시료의 분석은 Kim et al.(2014)의 실험방법에 따라서 진행하였으며, 다음과 같았다.

시료는 엽위별 변이성을 최소화하기 위하여 각 개체별 상위 3엽의 잎을 채취하여 각 개체별 0.5g의 표본조직을 처리별 5반복으로 취하였다. 채취한 표본조직을 50mL Conical Tube에 넣고 마개를 제거한 후 냉각기(CLN-50U, 2003, NIHON FREEZER Co., Ltd., JAPAN)에 4시간 동안 저온 처리하고, 상온에서 30분간 순화한 후 탈이온 2차 증류수를 각각의 시험관에 30mL씩 넣은 후 마개로 밀봉하여 진탕기(NB-101M, 2002, N-BIOTEC, INC., Korea)에서 120rpm으로 18시간 동안 처리하며, 전기전도도 측정기(Conductivity Meter 47C, 2001, ISTEK, Inc., Korea)를 사용하여 침출액의 전기전도도를 측정하였다. 이 때, 전해질 용출 평가를 위한 저온 스트레스 온도는 0℃, -5℃, -10℃, -15℃, -20℃, -25℃로 하였고, 저온 치사 온도는 -50℃과 -55℃ 사이로 하였다(Kim et al., 2014).

3. 전해질 용출량 분석

처리 온도별로 수집된 시료의 전기전도도 측정값들은 해당 온도에서의 저온 스트레스 또는 치사에 의한 전해질 용출량(electrolyte leakage, EL)을 산출하기 위한 정량적 측정값들이며(Ingram, 1985; Ingram and Buchanan, 1981, 1984; Martineau et al., 1979), Eq. 1에서 전자는 $EC_{cold\text{-}stressed(t)}$값에 그리고 후자는 $EC_{cold\text{-}killed(-50\sim-55℃)}$ 값에 대입되었다. 각 처리에 대한 EL(%)값은 $EC_{cold\text{-}killed(-50\sim-55℃)}$ 값에 대한 $EC_{cold\text{-}stressed(t)}$값의 비를 백분율로 산출하는 방법으로 도출되었다(Kim et al., 2014).

$$EL(\%) = \frac{EC_{cold\text{-}stressed(t)}}{EC_{cold\text{-}killed(-50\sim-55℃)}} \times 100 \quad \text{(Eq. 1)}$$

저온 치사 상태에서의 식물조직 전해질 용출량을 최대 용출량으로 보았을 때, Eq. 1으로 얻어진 EL(%)값은 각 온도 처리에 의해 세포막에서 유도된 피해의 정도를 의미하므로 이 값을 통하여 저온에 대한 저항성을 분석하였다(Ingram, 1985). 처리 온도와 EL(%)과의 관계는 많은 선행 연구에서 S자 반응 곡선(sigmoidal response curve)을 나타냈고, 이 곡선의 중심점인 변곡점은 최대 용출량에 대하여 50% 이상의 전해질 용출이 나타나기 시작하는 지점으로서 식물과 처리 간을 비교하는데 가장 결정적인 부분이 되며, 이 지점에서의 온도를 통하여 치사 온도가 예측되었다. 따라서 각 식물에 대한 치사 온도를 예측하고 식물 간 비교를 위하여 본 연구에서는 S자 함수의 기본식인 Eq. 2에 최소 EL값(z), 변곡점에서의 기울기 및 온도를 매개 변수로 하고, 처리 온도를 독립 변수로 대응시킨 함수를 Eq. 3과 같이 적용하였다.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad \text{(Eq. 2)}$$

$$EL_p = z + \frac{(100\text{-}z)}{1+e^{-k(T\text{-}Tm)}} \quad \text{(Eq. 3)}$$

EL_p = predicted EL value
z = baseline level of electrolyte leakage
T_m = temperature at the inflection point
k = function of slope at the inflection point
T = treatment temperature
e = 2.718

4. 자료의 분석

온도 처리에 대한 전해질 용출 함수에 적합한 반응곡선과 매개변수는 SAS(SAS version 6.12, 1989, SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 비선형 회귀분석 모델에서 최소제곱법 중 Marquardt 법으로 산출하였으며, 적합한 반응곡선에 대한 95% 신뢰 한계가 함께 계산되었다(Huh and Seo, 1996; Kim, 2003; Kim and Choi, 2004; Song et al., 1993; Sung, 1998, 2001).

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 전해질 용출 반응

저온 처리에 따른 24종 상록활엽수의 전해질 용출량을 측정한

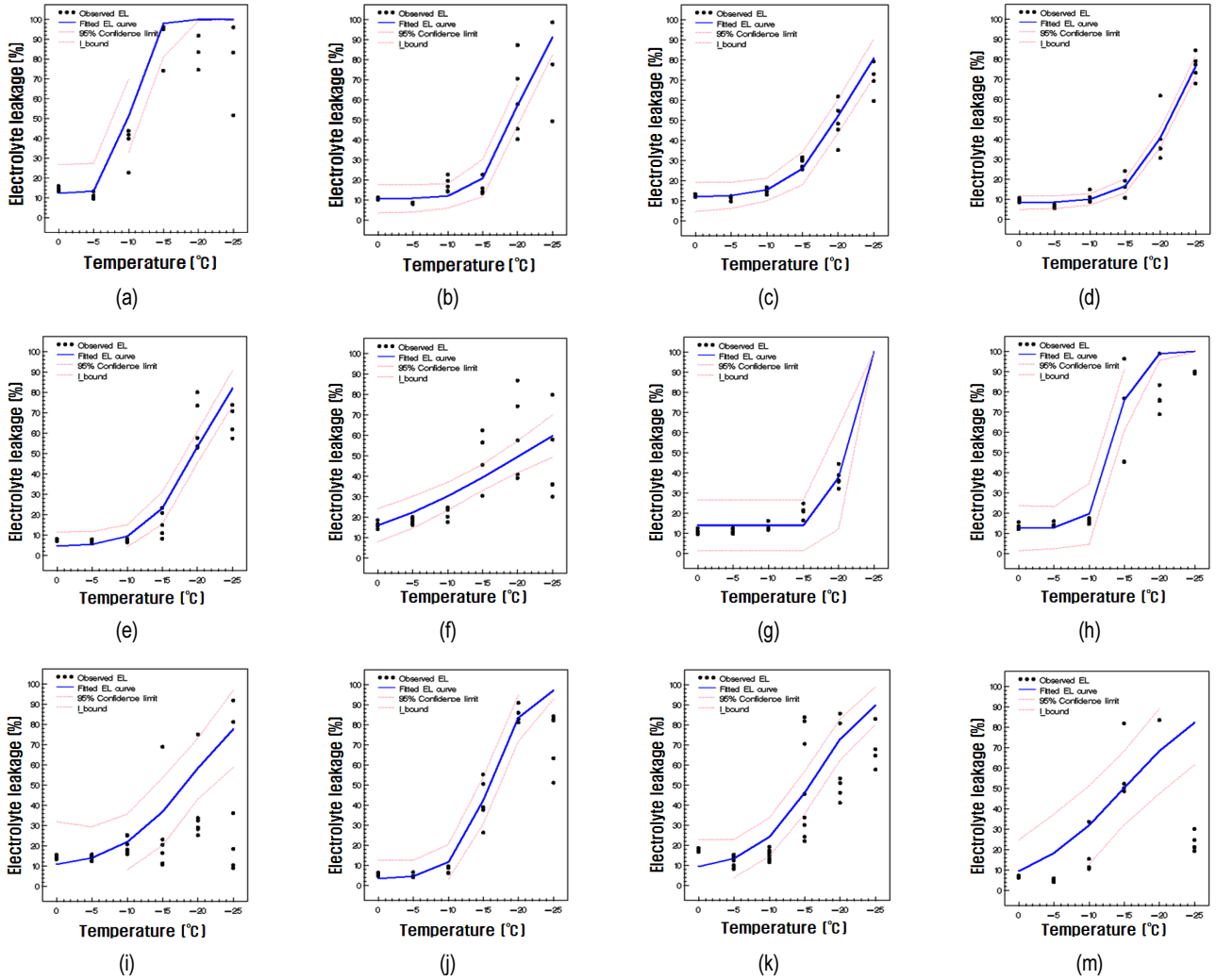

Fig. 1. Scattered plot and fitted electrolyte leakage (EL) curve for *Ilex rotunda* (a), *Ilex* x *wandoensis* (b), *Ilex integra* (c), *Euonymus japonicus* (d), *Machilus thunbergii* (e), *Cinnamomum japonicum* (f), *Dendropanax morbiferus* (g), *Magnolia grandiflora* (h), *Osmanthus heterophyllus* (i), *Ligustrum japonicum* (j), *Elaeagnus glabra* (k), *Viburnum odoratissimum* var. *awabuki* (m).

결과 전반적으로 처리 온도가 낮아질수록 그 값이 증가하였고, 전해질 용출량과 처리 온도와의 관계를 비선형회귀를 통하여 분석한 결과 도출된 함수들은 Fig. 1과 Fig. 2와 같았으며, 이 결과들은 선행 연구들의 결과들과 유사하게 S자 반응곡선의 형태를 나타냈다(Anderson et al., 1988; Cardona et al., 1997; Kim et al., 2014; Kim et al., 2010; Maier et al., 1994; McKellar et al., 1992).

감탕나무과(*Aquifoliaceae*) 중 먼나무(*Ilex rotunda*)는 Fig. 1-a와 같이 -5℃ ~ -10℃ 사이에서 전해질 용출량이 급격하게 증가하는 경향을 나타냈고, 완도호랑가시나무(*Ilex* x *wandoensis*)는 Fig. 1-b와 같이 -10℃에서부터 전해질 용출량이 증가하기 시작하여 -15℃ ~ -20℃ 사이에서 급격하게 증가하는 경향을 나타냈으며, 감탕나무(*Ilex integra*)는 먼나무와 완도호랑가시나무와 비교하여 상대적으로 전해질 용출량이 급격하게 증가하지는 않았고 더 낮은 온도에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되었다. Shashikumar and Nus(1993)는 총 전해질의 50% 이상이 용출될 것으로 예측되는 온도를 내한성의 기준 온도로 정의하였다. 노박덩굴과(*Celastraceae*) 중 사철나무(*Euonymus japonicus*)는 Fig. 1-d와 같이 -15℃까지 전해질 용출량이 완만하게 증가하였고, -15℃ ~ -20℃ 사이에서 급격하게 증가하는 경향을 나타냈으며, -20℃ ~ -25℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 녹나무과(*Lauraceae*) 중 후박나무(*Machilus thunbergii*)는 Fig. 1-e와 같이 완도호랑가시나무와 유사한 경향을 나타냈으며, -20℃ ~ -25℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 생달나무(*Cinnamomum japonicum*)

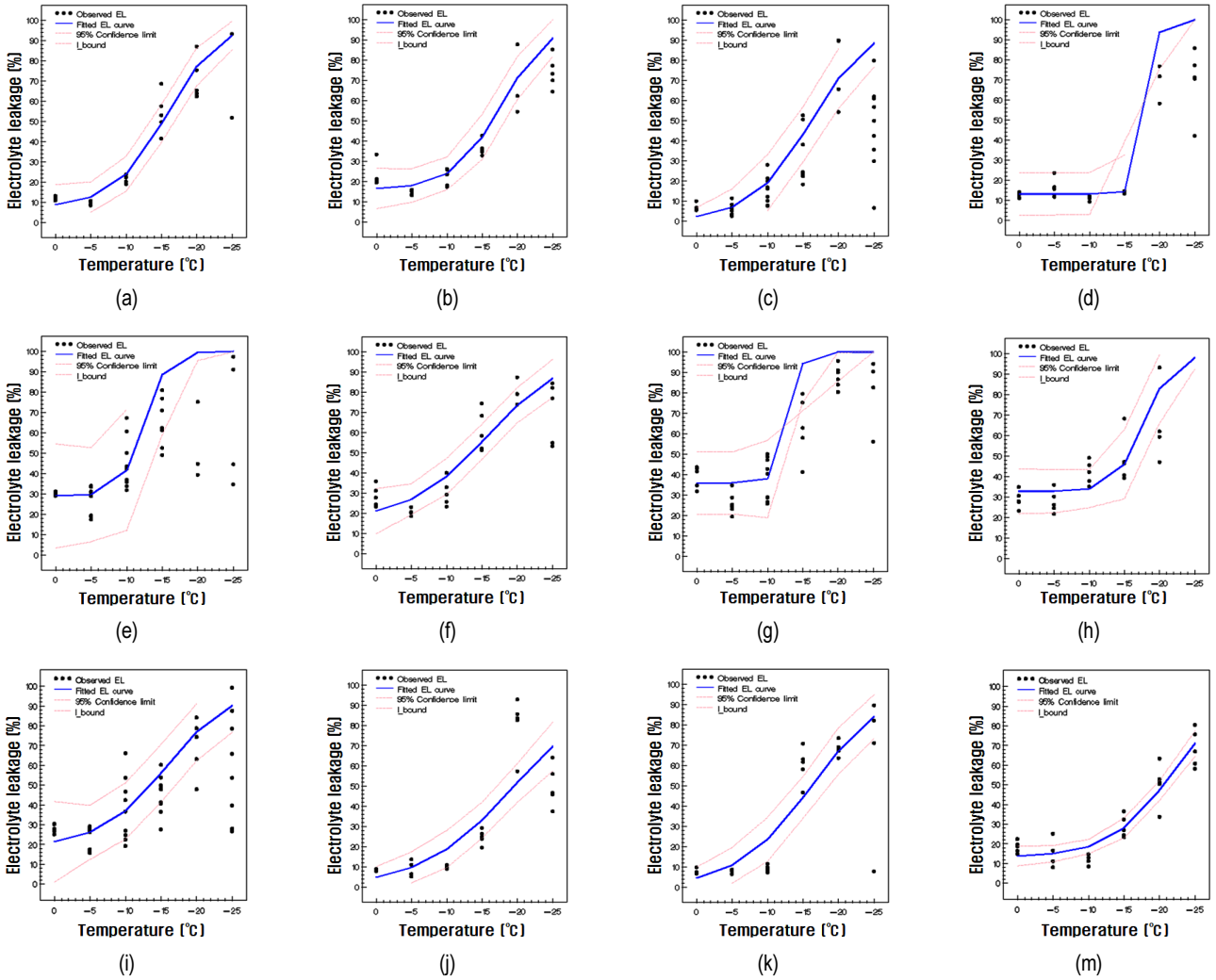

Fig. 2. Scattered plot and fitted electrolyte leakage (EL) curve for *Raphiolepis indica* var. *umbellata* (a), *Distylium racemosum* (b), *Ternstroemia gymnanthera* (c), *Camellia sinensis* (d), *Camellia sasanqua* (e), *Camellia japonica* (f), *Cleyera japonica* (g), *Castanopsis sieboldii* (h), *Quercus phillyraeoides* (i), *Aucuba japonica* for. Variegata (j), *Aucuba japonica* (k), *Trachelospermum asiaticum* (m).

는 Fig. 1-f와 같이 뚜렷한 S자 곡선을 나타내지 않았지만, 후박나무와 유사하게 -20℃ ~ -25℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 두릅나무과(*Araliaceae*) 중 황칠나무(*Dendropanax morbiferus*)는 Fig. 1-g와 같이 -15℃까지 전해질 용출량이 거의 증가하지 않는 경향을 보였으며, 그 이후부터 급격히 증가하여 -20℃ ~ -25℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 목련과(*Magnoliaceae*) 중 태산목(*Magnolia grandiflora*)은 Fig. 1-h와 같이 -10℃까지 전해질 용출량이 거의 증가하지 않는 경향을 보였으며, -10℃ ~ -15℃ 사이에서 급격히 증가하여 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 물푸레나무과(*Oleaceae*) 중 구골나무(*Osmanthus heterophyllus*)는 Fig. 1-i와 같이 상대적으로 전해질 용출량이 점진적으로 증가하였고, -15℃ ~ -20℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 광나무(*Ligustrum japonicum*)는 Fig. 1-j와 같이 태산목과 유사한 경향을 나타냈다. 보리수나무과(*Elaeagnaceae*)중 보리장나무(*Elaeagnus glabra*)는 Fig. 1-k와 같이 구골나무와 유사한 경향을 나타냈으며, -15℃를 전후로 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 인동과(*Caprifoliaceae*) 중 아왜나무(*Viburnum odoratissimum* var. *awabuki*)는 Fig. 1-m과 같이 뚜렷한 S자 곡선을 나타내지 않고 점진적으로 전해질 용출량이 증가하였으며, -15℃를 전후로 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다.

장미과(*Rosaceae*) 중 다정큼나무(*Raphiolepis indica* var. *umbellata*)는 Fig. 2-a와 같이 보리장나무와 유사한 경향을 나타냈으며, -15℃를 전후로 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 조록나무과(*Hamamelidaceae*) 중 조록나무(*Distylium racemosum*)는 Fig. 2-b와 같이 보리장나무, 다정큼나무와 유사한 경향을 나타냈으며, -15℃ ~ -20℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 차나무과(*Theaceae*) 중 후피향나무(*Ternstroemia gymnanthera*)는 Fig. 2-c와 같이 보리장나무, 다정큼나무, 조록나무와 유사한 경향을 나타냈으며, -15℃를 전후로 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 차나무(*Camellia sinensis*)는 Fig. 2-d와 같이 황칠나무와 유사하게 -15℃까지는 전해질 용출량의 변화가 거의 없었으며, -15℃ ~ -20℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 애기동백나무(*Camellia sasanqua*)는 Fig. 2-e와 같이 0℃에서부터 전해질 용출량이 상대적으로 높았으며, -10℃ ~ -15℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 동백나무(*Camellia japonica*)는 Fig. 2-f와 같이 0℃에서부터 전해질 용출량이 상대적으로 높았으며, -15℃를 전후로 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 비쭈이나무(*Cleyera japonica*)는 Fig. 2-g와 같이 애기동백나무와 유사한 경향을 나타냈으며, -10℃ ~ -15℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 참나무과(*Fagaceae*) 중 구실잣밤나무(*Castanopsis sieboldii*)는 Fig. 2-h와 같이 애기동백나무, 비쭈기나무와 유사한 경향을 나타냈으며, -15℃ ~ -20℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 졸가시나무(*Quercus phillyraeoides*)는 Fig. 2-i와 같이 0℃에서부터 전해질 용출량이 지속적으로 증가하였으며, -15℃를 전후로 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 층층나무과(*Cornaceae*) 중 금식나무(*Aucuba japonica* for. Variegata)는 Fig. 2-j와 같이 상대적으로 0℃에서는 전해질 용출량이 낮았으며, 지속적으로 증가하여 -15℃ ~ -20℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 식나무(*Aucuba japonica*)는 Fig. 2-k와 같이 금식나무와 유사한 경향을 나타냈으며, -15℃를 전후로 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 협죽도과(*Apocynaceae*) 중 마삭줄(*Trachelospermum asiaticum*)은 Fig. 2-m과 같이 -15℃까지는 전해질 용출량이 완만하게 증가하였으며, -20℃ ~ -25℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다.

국내 남부지역에서 생육하고 있는 14과 24종의 상록활엽수들에 대한 전해질 용출 반응을 종합적으로 살펴보면, 종(species)간에도 내한성에 차이를 가지고 있었으며, 동일한 과(family)에 속하는 종간에도 내한성의 차이를 나타냈다. 예를 들면, 종간 비교에서 먼나무, 태산목 등은 -10℃ ~ -15℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였지만, 사철나무, 마삭줄 등은 -20℃ ~ -25℃ 사이에서 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 이것은 종간 내한성 차이가 대략 10℃ 정도임을 의미한다. 또한 동일한 과(family)에 속하는 종간 비교에서 감탕나무과 중 먼나무는 -10℃를 전후로 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였지만, 사철나무는 -20℃를 전후로 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하였다. 이것은 동일한 과(family)에 속하는 종간 내한성 차이가 대략 10℃ 정도임을 의미한다.

2. 예측 치사 온도

국내 남부지역에서 생육하고 있는 14과 24종 상록활엽수들의 예측 치사 온도를 평가하기 위해서 Eq. 3을 통하여 S자 반응곡선의 변곡점에 해당하는 온도(T_m)를 산출하였고(Ingram, 1985; Ingram and Buchanan, 1981, 1984; Kim et al., 2010, Kim et al., 2014; Martineau et al., 1979), 비교 평가를 위해서 Table 1에서 변곡점에 해당하는 온도(T_m)를 기준으로 내림차순으로 서열화하여 나열하였다. 여기서, 변곡점에 해당하는 온도(T_m)는 최대 전해질 용출량의 50% 이상이 용출되기 시작하는 온도로서 많은 선행연구들에서 예측 치사 온도로 평가되었고, 식물의 내한성 평가에 유용한 척

Table 1. Predicted lethal temperature for 24 species broad-leaved evergreen trees in southern region, South Korea.

Family	Korean name Scientific name	Predicted lethal temperature (℃)	Confidence interval (95%)	
			Minimum	Maximum
Aquifoliaceae	먼나무 *Ilex rotunda*	-10.28 ± 0.59	-11.50	-9.06
Theaceae	애기동백나무 *Camellia sasanqua*	-12.40 ± 1.94	-16.30	-8.48
Theaceae	비쭈기나무 *Cleyera japonica*	-12.98 ± 2.39	-17.78	-8.17
Magnoliaceae	태산목 *Magnolia grandiflora*	-13.56 ± 0.79	-15.19	-11.96
Caprifoliaceae	아왜나무 *Viburnum odoratissimum* var. *awabuki*	-14.95 ± 2.32	-19.71	-10.18
Theaceae	동백나무 *Camellia japonica*	-15.74 ± 2.02	-19.88	-11.61
Fagaceae	졸가시나무 *Quercus phillyraeoides*	-15.78 ± 2.71	-21.23	-10.32
Rosaceae	다정큼나무 *Raphiolepis indica* var. *umbellata*	-15.79 ± 0.99	-17.82	-13.77
Oleaceae	광나무 *Ligustrum japonicum*	-15.97 ± 0.68	-17.37	-14.58
Theaceae	후피향나무 *Ternstroemia gymnanthera*	-16.19 ± 1.16	-18.53	-13.85
Cornaceae	식나무 *Aucuba japonica*	-16.22 ± 1.06	-18.40	-14.04
Elaeagnaceae	보리장나무 *Elaeagnus glabra*	-16.38 ± 1.37	-19.15	-13.62
Hamamelidaceae	조록나무 *Distylium racemosum*	-17.76 ± 1.02	-19.87	-15.65
Fagaceae	구실잣밤나무 *Castanopsis sieboldii*	-17.85 ± 1.16	-20.22	-15.47
Theaceae	차나무 *Camellia sinensis*	-18.19 ± 2.92	-24.19	-12.20
Oleaceae	구골나무 *Osmanthus heterophyllus*	-19.13 ± 2.67	-27.50	-13.75
Cornaceae	금식나무 *Aucuba japonica* for. Variegata	-19.60 ± 1.20	-22.05	-17.14
Aquifoliaceae	완도호랑가시나무 *Ilex* x *wandoensis*	-19.80 ± 0.59	-21.01	-18.28
Lauraceae	후박나무 *Machilus thunbergii*	-19.86 ± 0.66	-21.21	-18.51
Arliaceae	황칠나무 *Dendropanax morbiferus*	-20.24 ± 0.19	-20.62	-19.85
Lauraceae	생달나무 *Cinnamomum japonicum*	-20.26 ± 1.89	-24.13	-16.40
Aquifoliaceae	감탕나무 *Ilex integra*	-20.61 ± 0.74	-22.12	-19.09
Celastraceae	사철나무 *Euonymus japonicus*	-21.82 ± 0.32	-22.47	-21.16
Apocynaceae	마삭줄 *Trachelospermum asiaticum*	-21.96 ± 0.60	-23.20	-20.72

도로 활용되어왔다(Anderson et al., 1988; Cardona et al., 1997; Kim, 2006; Kim et al., 2010; Maier et al., 1994; McKellar et al., 1992; Shashikumar and Nus, 1993). 따라서 상대적으로 변곡점에 해당하는 온도(T_m)가 낮을수록 내한성이 더 높다는 의미를 가진다.

먼저 먼나무의 예측 치사 온도는 평균 -10.28±0.59℃이고, 95% 수준에서 신뢰구간은 -11.50 ~ -9.06℃를 나타냈다. 이것을 안정적인 식물의 생존이란 측면에서 통계분석 결과를 해석하자면, 먼나무의 경우는 95% 신뢰수준에서 생존 가능한 최저온도가 -9.06℃라고 할 수 있고, 만약 -9.06℃ 이하의 온도가 4시간 이상 지속되는 장소라면 생존이 불가능하다는 것을 의미한다. 반면에 사철나무의 예측 치사 온도는 평균 -21.82±0.32℃이고, 95% 수준에서 신뢰구간은 -22.47 ~ -21.16℃를 나타냈다. 먼나무의 경우와 동일하게 이것을 안정적인 식물의 생존이란 측면에서 통계분석 결과를 해석하자면, 사철나무의 경우는 95% 신뢰수준에서 생존 가능한 최저온도가 -21.16℃라고 할 수 있고, 만약 -21.16℃ 이하의 온도가 4시간 이상 지속되는 장소라면 생존이 불가능하다는 것을 의미한다.

그와 같은 기준에서 내한성을 비교 평가한다면, 먼나무, 애기동백나무, 비쭈기나무는 일중 최저온도가 -10℃ 수준으로 4시간 이상 지속되는 지역에서는 생존할 수 없으며, 분석된 14과 24종 상록활엽수들 중에서 상대적으로 낮은 내한성을 가진다고 평가할 수 있다. 반면에 마삭줄과 사철나무는 일중 최저온도가 -20℃ 수준으로 4시간 이상 지속되는 지역에서도 생존할 수 있으며, 분석된 14과 24종 상록활엽수들 중에서 상대적으로 높은 내한성을 가진다고 평가할 수 있다. 종간에 최대 내한성 차이를 정량적으로 평가하자면, 비쭈기나무와 먼나무와 사철나무의 평균 예측 치사 온도 차이는 11.54℃이며, 비쭈기나무와 사철나무의 95% 신뢰수준에서 생존 가능한 최저온도 차이는 12.99℃라고 할 수 있다. 동일한 과(family)에 속하는 종간에도 최대 내한성 차이를 정량적으로 평가하자면, 감탕나무과의 종간 평균 예측 치사 온도 차이는 10.33℃이며, 95% 신뢰수준에서 생존 가능한 최저온도 차이는 10.03℃라고 할 수 있다.

예측 치사 온도를 통하여 종합적으로 내한성을 비교 평가해 볼 때, 앞서 평가한 것처럼 국내 남부지역의 동일한 지역에서 생육하는 14과 24종 상록활엽수들 중에서도 상대적 내한성 차이가 10℃ 이상을 나타냈고, 동일한 과(family)에 속하는 종간에도 감탕나무과는 내한성의 차이가 10℃ 이상을 나타냈다. 이것은 비록 동일한 지역에서에서 생육하는 여러 종(species)의 상록활엽수들 간에서도 내한성의 차이가 뚜렷함을 의미하며, 또한 각각의 상록활엽수는 번식되고 생육하는 과정에서 부여된 환경에 적응된 내한성을 가지기보다는 유전적 특성으로 부여된 내한성을 장기적으로 보전하고 있음을 의미한다. 따라서 국내 남부지역에서 생육하는 보다 많은 상록활엽수 종들(species)을 대상으로 내한성을 평가해 볼 필요가 있다. 마지막으로, 내한성이 우수한 상록활엽수들을 제안한다면, 95% 신뢰수준에서 생존 가능한 최저온도가 -15℃ 이상인 사철나무, 마삭줄, 황칠나무, 감탕나무, 후박나무, 완도호랑가시나무, 생달나무, 조록나무, 구실잣밤나무이며, 이들은 중부와 남부의 중간지역 도시들에서 인위적 저온처리가 아닌 외부 온도조건으로 생존 가능성을 평가할 필요가 있다고 본다.

Ⅳ. 적요

본 연구는 기후변화에 대응하여 광범위한 지역에서 도시녹화에 활용 가능한 상록활엽수를 선발하기 위한 연구의 일환으로서 국내 남부지역에서 생육하는 14과 24종 상록활엽수들에 대하여 내한성 비교 평가를 수행하고 활용 가능한 상록활엽수를 제안하고자 수행되었다. 먼저 저온 처리에 따른 24종 상록활엽수의 전해질 용출량을 측정한 결과 전반적으로 처리 온도가 낮아질수록 그 값이 증가하였고, 전해질 용출량과 처리 온도와의 관계를 비선형회귀를 통하여 분석한 결과 도출된 함수들은 S자 반응곡선의 형태를 나타냈다. 전해질 용출 반응을 종합적으로 비교 평가하면, 종(species) 간에도 내한성에 차이를 가지고 있었으며, 동일한 과(family)에 속하는 종간에도 내한성의 차이를 나타냈다. 예측 치사 온도를 통하여 종합적으로 내한성을 비교 평가하면, 앞서 평가한 것처럼 국내 남부지역의 동일한 지역에서 생육하는 14과 24종 상록활엽수들 중에서도 상대적 내한성 차이가 10℃ 이상을 나타냈고, 동일한 과(family)에 속하는 종간에도 감탕나무과는 내한성의 차이가 10℃ 이상을 나타냈다. 이것은 비록 동일한 지역에서에서 생육하는 여러 종(species)의 상록활엽수들 간에서도 내한성의 차이가 뚜렷함을 의미하며, 또한 각각의 상록활엽수는 번식되고 생육하는 과정에서 부여된 환경에 적응된 내한성을 가지기보다는 유전적 특성으로 부여된 내한성을 장기적으로 보전하고 있음을 의미한다. 따라서 국내 남부지역에서 생육하는 보다 많은 상록활엽수 종들(species)을 대상으로 내한성을 평가해 볼 필요가 있다. 내한성이 우수한 상록활엽수들을 제안한다면, 사철나무, 마삭줄, 황칠나무, 감탕나무, 후박나무, 완도호랑가시나무, 생달나무, 조록나무, 구실잣밤나무이며, 이들은 중부와 남부의 중간지역 도시들에서 외부 온도조건으로 생존 가능성을 평가할 필요가 있다고 본다.

Ⅴ. References

Anderson, J.A., M.P. Kenna, and C.M. Taliaferro. 1988. Cold hardiness of 'Midiron' and 'Tifgreen' bermudagrass. HorScience 23:748-750.

Cardona, C.A., R.R. Duncan, and O. Lindstrom. 1997. Low temperature tolerance assessment in Paspalum. Crop Sci. 37:1283-1291.

Dunn, J.H., S.S. Bughrara, M.R. Warmund, and B.F. Fresenbug. 1999. Low temperature tolerance of zoysiagrasses. HortScience 34(1): 96-99.

Fry, J.D., N.S. Lang, R.G.P. Clifton, and F.P. Maier. 1993. Freezing tolerance and carbohydrate content of low temperature-acclimated and non-acclimated centipedegrass. Crop Sci. 33:1051-1055.

Huh, M.H. and H.S. Seo. 1996. SAS Regression analysis. Freedom Academy, Seoul, South Korea.

Iles, J.K. and N.H. Agnew. 1995. Seasonal cold-acclimation patterns of *Sedum spectabile×telephium* L. 'Autumn Joy' and *Sedum spectabile* Boreau. 'Brilliant'. HortScience 30(6):1221-1224.

Ingram, D.L. 1985. Modeling high temperature and exposure time interaction on Pittosporum tobira root cell membrane thermostability. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110:470-473.

Ingram, D.L. and D. Buchanan. 1981. Measurement of direct heat injury of roots of three woody plants. HortScience 16:769-771.

Ingram, D.L. and D.W. Buchanan. 1984. Lethal high temperatures for roots of three citrus rootstocks. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 189-193.

Kim, C.R. 2003. SAS statistical analysis. Data Research & Communications, Seoul, South Korea.

Kim, H.G. and S.H. Choi. 2004. The theory and practice of statistical data analysis. KyungMoon Publishers, Seoul, South Korea.

Kim, I. 2006. Development of shallow-extensive green roof system for urban greening. Ph D Diss., Gyeongsang National Univ., Jinju, South Korea.

Kim, I. and K.Y. Huh. 2015. Heat tolerance assessment of Sedums for extensive green roof system. J. Korean Soc. People Plants Environ. 18:387-394.

Kim, I., K.Y. Huh, and M.R. Huh. 2010. Cold tolerance assessment of Sedum Species for shallow-extensive green roof system. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28:22-30.

Kim, I., K.Y. Huh, H.J. Jung, S.M. Choi, and J.H. Park. 2014. Modeling methodology for cold tolerance assessment of *Pittosporum tobira*. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 32:241-251.

Maier, F.P., N.S. Lang, and J.D. Fry. 1994. Evaluation of an electrolyte leakage technique to predict St. Augustinegrass freezing tolerance. HortScience 29(4):316-318.

Martineau, J.R., J.E. Specht, J.H. Williams, and C.Y. Sullivan. 1979. Temperature tolerance in soybeans. I. Evaluation of a technique for assessing cellular membrane thermostability. Crop Sci. 19: 75-78.

McKellar, M.A., D.W. Buchanan, D.L. Ingram, and C.W. Campbell. 1992. Freezing tolerance of avocado leaves. HortScience 27(4): 341-343.

Shahikumar, K. and J.L. Nus. 1993. Cultivar and winter cover effects on bermudagrass cold acclimation and crown moisture content. Crop Sci. 33:813-817.

Song, M.S., Y.J. Lee, S.S. Cho, and B.C. Kim. 1993. Statistical data analysis using SAS. Freedom Academy, Seoul, South Korea.

Sung, N.G. 1998. Statistical data analysis using SAS for windows. Freedom Academy, Seoul, South Korea.

Sung, N.G. 2001. SAS/STAT Regression analysis. Freedom Academy, Seoul, South Korea.