배롱나무와 피라칸사 겨울 휴면지의 내한성 평가†

신창섭

충북대학교 산림학과

Cold Tolerance Assessment of *Lagerstroemia indica* and *Pyracantha angustifolia* with Dormant Branches

Shin, Chang-Seob

Dept. of Forest Science, Chungbuk National University

ABSTRACT

This study was conducted to check danger of the cold injury by reviewing the lowest temperature by regions and the cold tolerance of *Lagerstroemia indica* and *Pyracantha angustifolia*. The cold tolerance of the samples treated at low temperature was evaluated by measuring electrical conductivity and observing browning of the cambium.

It was proved that the lethal temperature of *L. indica* is below −17.1℃, and that of *P. angustifolia* is below −18.9℃. The frequency of the lowest temperature went down below −17.1℃, was 7 times in Daejeon, 55 times in Cheongju and 72 times in Suwon for the last 45 years. In Daejeon, it has happened only once since 1975. The temperature dropped below −18.9℃ 45 times in Cheongju and 32 times in Suwon during the same period, but it has not happened at all since 1991. It appears that the rising coefficient of the lowest temperature increases, as the latitude gets higher.

As a result, *L. indica* and *P. angustifolia* which were planted in the central region of Korea, are considered in danger from freezing injury because the temperature can get very low intermittently in winter. But, the risk of freezing has reduced gradually as the lowest temperature raises each year.

Key Words: Cambium Browning, Climate Change, Electrical Conductivity, Cold Injury, Lethal Temperature

국문초록

배롱나무와 피라칸사의 내한성과 지역별 최저기온을 분석하여 동해에 대한 위험을 검증하고자 하였다. 저온 처리한 시료의 내한성은 전기전도도의 측정과 형성층의 갈변도 관찰로 평가하였다. 배롱나무는 −17.1℃ 이하에서, 피라칸사는 −18.9℃ 이하에서 동해 피해가 클 것으로 분석되었다. 지난 45년간 최저기온이 −17.1℃ 이하로 하강된 횟수는 대전 총 7회 중 1975년도 이후에는 1회, 청주 총 55회, 수원 총 72회로 기록되고 있다. −18.9℃ 이하로 기온이 하강된 횟수는 청주 45회, 수원 32회로 나타났으나, 1991년 이후에는 하강되지 않았다. 또한 위도가 높아질수록 최저기온 상승계수는 크게 나타났다.

†: 본 연구는 2009학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

Corresponding author: Chang-Seob Shin, Dept. of Forest Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea, Tel.: +82-43-261-2538, E-mail: sinna@chungbuk.ac.kr

따라서 중부지역에 식재된 배롱나무와 피라칸사는 동절기 간헐적으로 나타날 수 있는 기온 강하에 의한 부분적인 동해 피해가 예상되기 때문에 위험할 수 있으며, 최저기온의 상승 추세에 따라 동해 피해 위험은 점진적으로 감소될 것이다.

주제어: 형성층 갈변, 기후변화, 전기전도도, 동해, 치사온도

Ⅰ. 서론

근래에 기상이변이 속출하는 원인으로 지구온난화를 들고 있다. 실제로 우리가 체감하는 겨울철 온도도 과거와 비교하면 많이 상승되었음을 느낄 수 있다.

IPCC(The Intergovernmental Panel on Climate Change) 제 4차 보고서(http://www.ipcc.ch/)에 따르면 1900년 이후 기온은 지구 평균 기온은 0.76도 상승하였으며, 2100년 지구 평균 기온 변화는 온실가스 배출량에 따라 1.1~6.4℃ 상승할 것으로 전망하고 있다. 또한 전 지구 평균온도가 1.5~2.5℃ 상승하면 전 세계 동·식물의 20~30%가 멸종위기에 처하게 될 것으로 예측하고 있다. 평균기온이 2℃ 상승하면 등온선은 약 400km 정도 북상하게 된다. 우리나라 산림대의 예를 보면 연평균기온 13~14℃ 대에 분포하는 난대림 수종(상록활엽수)과 12~14℃ 사이에 분포하는 온대남부 수종(낙엽활엽수), 10~12℃ 사이에 분포하는 온대중부 수종(낙엽활엽수)들 간의 연평균온도 차이는 2℃ 내외에 불과하다. 우리나라 연평균 기온도 1912~2008년 동안 6개 관측지점(서울, 인천, 강릉, 대구, 목포, 부산)의 평균기온은 1.7℃ 상승하여 전 지구 평균기온 상승폭(0.74±0.03℃)보다 매우 높다. 또한 가을철 종료일은 늦어지고 봄철 개시일은 빨라져 겨울철 지속기간이 약 22~49일 짧아졌다(국립기상연구소, 2009). 따라서 관상가치가 높은 일부 난·온대성 수종들이 온대중부지역에도 조경수로 많이 식재되고 있다. 그러나 불규칙하게 찾아오는 혹한으로 식물의 내한성 한계 이하의 온도로 기온이 하강하면 이를 견디지 못하는 식물들은 한순간에 동사될 수 있다. 특히 냉해보다 동해는 얼음이 물리적인 장애를 일으킬 수 있기 때문에 메카니즘이 복잡하고 피해도 심하게 나타난다. 즉, 갑작스런 혹한으로 세포내 결빙이 일어나면 그 세포는 대부분 죽게 된다(Asahina, 1956; Ashworth, 1992). 동해나 냉해의 원인은 한계점 이하의 온도 하강, 온도변화 냉각 속도, 식물의 생리적 변화시기와 다른 갑작스러운 기온변화 등에 따라 피해가 다르게 나타날 수 있다. 특히 과수의 경우 동해나 냉해에 의해 피해가 발생하면 수확에 큰 영향을 미치기 때문에 사과, 감나무, 포도, 감귤 등 과수의 내한성에 대한 연구는 많이 이루어져 왔다(송기철 등, 2000; 문종열과 이정명, 1986). 그러나 지구온난화에 따른 기온상승으로 점차 북상하고 있는 난·온대성 조경 수종들의 내한성에 대한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구는 근래 일부 중부지역에 조경수로 식재되고 있는 배롱나무(*Lagerstroemia indica*)와 피라칸사(*Pyracantha angustifolia*)의 동해에 대한 안전성 여부를 파악하기 위하여 내한성을 검증하고자 하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 공시재료

내한성 실험에 이용된 수종은 배롱나무(*Lagerstroemia indica*)와 피라칸사(*Pyracantha angustifolia*)이다. 배롱나무는 7월에 개화하고 개화기간이 길기 때문에 목백일홍이라고 불리어지는 관상가치가 높은 조경수목이다. 종명의 indica는 인도를 의미하며, 우리나라보다는 위도상으로 낮은 따뜻한 지역이 원산지로 중부지역에서 자연상태로 월동하기는 어려운 것으로 알려져 있다. 피라칸사는 5월에 흰꽃이 산방화서로 송이지어 피고 가을에 빨갛게 익는 열매는 관상가치가 매우 높은 수종이다. 그러나 내한성이 다소 약한 것으로 알려져 중부지역에서는 조경수로 많이 이용되지 않았다.

그러나 지구온난화에 따른 기온상승으로 근래에 배롱나무, 피라칸사, 대나무, 남천, 식나무 등 난·온대성 수종들이 종종 조경수로 이용되고 있는데, 이들 수종 중 관상가치가 높아 이용도가 높은 배롱나무와 피라칸사를 공시수종으로 선택하였다.

식물은 늦여름에서 저온의 가을을 거치면서 내한성이 증대되기 때문에 내한성이 증대된 시료를 공시재료로 이용하기 위하여 2011년 1월에 전남 순천 지역에 식재되어 있는 근원 직경 5cm 이상의 나무에서 직경 0.5~1cm 사이의 일년생 가지를 채취하였다. 채취된 시료를 20cm 길이로 조제한 후 보습재료를 충진하여 zipper bag에 넣고 밀봉한 다음 1~3℃의 저온에 저장하고 실험에 이용하였다.

2. 온도변화 설정

식물 조직의 내한성은 검정에 이용하는 냉각속도에도 영향을 받는데, 냉각 속도가 시간당 8~15℃를 넘으면 조직의 내한성이 과대평가될 수 있다(Proebsting and Sakai, 1979). 따라서 보통 자연적인 온도변화에 근접하는 시간당 1~2℃의 냉각속도를 이용하여 실험한다.

그러나 본 실험에서는 자연의 온도변화에 근접한 저온처리를 하기 위하여 HOBO Pro V2(Onset Computer, USA)를 이용하여 청주지역에서 2010년 12월 16일부터 2011년 3월 15일까지 5분마다 기온변화를 측정하였으며, 동절기 3개월간 관측된 매시간별 온도와 일일 최저 온도로 기록된 07:30분 온도와의 회귀식을 구하였다. 각 시간대별 설정 온도는 회귀식을 이용하여 최저온도와 시간별 변화 온도 값을 구하였다.

3. 내한성 실험 방법

식물은 온도 스트레스시 세포막의 반투과성막이 손상되어 세포 내의 전해질이 용출된다(Bowers 1994). 동해란 물질이동 통제 기능을 가진 세포막에 손상이 생긴다는 것을 의미하고, 그 손상정도는 전해질 유출로 반영되며, 이는 다시 조직의 피해 정도를 반영한다. 따라서 동해 정도를 측정하는 객관적인 방법으로, 저온에 노출시킨 조직을 배양한 용액으로부터 전해질 유출량이나 전기전도도를 측정할 수 있다(Emmert and Howlett, 1952; Fensom, 1966). 이 외에도 과수에 많이 이용되어온 동해 검정방법은 육안판별법, 열분석법, 핵자기공명법, 적외선 영상온도 기록법 등이 있다(오성도, 2004). 본 연구에서는 해부현미경을 이용한 갈변도 변화와 전기전도도 측정법에 의해 동해 정도를 판별하고자 하였다.

공시재료의 동해발생 온도를 검정하기 위하여 최저온도 -13℃, -15℃, -17℃, -19℃, -21℃, -23℃ 처리구로 구분하여, 자연상태 기온변화에 기초한 온도 설정으로 2시간마다 온도에 변화를 주어 저온처리하였다.

육안에 의한 동해 여부 검정을 위하여 저온처리한 시료를 10일 동안 2℃의 저온에 보습저장한 후 수피와 형성층 조직을 육안으로 관찰하여 갈변도에 따라 동해 여부를 판별하였다.

동해 발생에 따른 전해질 용출을 검정하기 위하여 CyberScan Con 110(EUTECH Instruments, Singapore)을 이용하여 전기전도도를 측정하였다. 전도도 측정을 위해 저온 처리한 시료 1g씩을 채취하여 50mL 캡시험관에 30mL의 탈이온 2차 증류수와 함께 넣었다. 이 시험관을 약 30분 동안 그대로 두었다가 진탕기(NB-101M, N-BIOTEC, INC., 2002)에서 160rpm으로 18시간 동안 처리하고 전도도를 측정하였다. 시료 침지액의 초기 전도도를 측정 후 건조기에서 80℃로 6시간 동안 열처리를 하였다. 건조기에서 꺼낸 후에는 실온이 될 때까지 약 30분 간 두었다가 다시 160rpm 진탕기에서18시간 동안 처리하기를 3반복으로 실시하여 침출액의 최종 전기 전도도를 측정하였다(김인혜 등, 2010). 열처리에 의해 식물이 죽은 상태에서의 전해질 용출량이 최대일 것으로 가정하였을 때, 시료에 대한 각각의 처리 후 전기전도도 값은 세포막 파괴에 의한 피해 정도를 의미하므로 이 값을 통하여 저온에 대한 피해 정도를 분석(Anderson *et al.*, 1988; Cardona *et al.*, 1997; Iles and Agnew, 1995; Shashikuma and Nus, 1993) 할 수 있다.

$$\text{Electrolyte leakage}(\%) = \frac{\text{Initial electrolyte leakage}}{\text{Final electrolyte leakage}} \times 100 \quad \text{식 1}$$

따라서 열처리에 의해 모든 세포를 파괴시킨 시료 침출액의 전기전도도에 대한 저온처리 후 시료 침출액의 전기전도도의 비를 백분율로 산출하여 동해에 의한 피해 정도를 판별하였다.

4. 지역별 연중 최저기온 분석

기온의 변화는 계절과 일별 시간에 따라 큰 폭으로 변화된다. 연중 최저 기온과 최고 기온과의 편차는 약 50℃ 정도로 매우 크며 일일 변화도 동절기에는 20℃ 이상으로 큰 차이가 나기도 한다.

식물은 겨울을 맞기 전에 순화기간을 거치면서 동해 위험에 대한 준비를 하지만, 한계 이상의 저온에서는 동해 피해를 받을 수밖에 없다. 따라서 지난 45년 동안의 기상청 자료를 이용하여 최저 기온 값과 반복성, 지구온난화에 따른 최저 기온의 변화 등을 분석하고, 공시 수종의 동해 위험성을 검토하고자 하였다.

Ⅲ. 결과

1. 온도변화 설정

HOBO Pro V2를 이용하여 청주지역에서 2011년 12월 16일부터 3월 15일까지 5분마다 기온변화를 측정한 결과, 일몰 시간대인 18시 이후 시간당 1~2℃ 정도씩 기온이 서서히 하강하여 일출 직전인 07:30분경에 최저 온도로 하강하고, 일출 후에는 시간당 2~3℃ 정도로 기온이 상승되었다. 따라서 본 실험에서는 자연의 온도변화와 유사한 온도변화를 실험에 적용하기 위하여 동절기 3개월간 관측된 매시간별 온도와 최저온도로 기록된 07:30분 온도와의 회귀식을 구한 결과는 Table 1과 같이 나타났다. 도출된 시간대별 회귀식을 이용하여 최저온도에 대한 시간별 온도 값을 Table 1과 같이 구하고, 최저온도 -13℃, -15℃, -17℃, -19℃, -21℃, -23℃일 때의 각 시간대별 온도를 적용하여 시료를 저온에 노출시켰다.

Table 1과 같이 2시간마다 설정 온도에 변화를 주어 시료를 저온에 노출시킨 후 2℃의 저온 저장고에 보습 저장한 후 분석에 이용하였다.

Table 1. Hourly regression formula based on the lowest temperature

Time	Regression formula	Setting temperature(℃)					
		−13	−15	−17	−19	−21	−23
01:00	y=0.7517x + 0.2524	−9.5	−11.0	−12.5	−14.0	−15.5	−17.0
03:00	y=0.8524x + 0.0934	−11.2	−12.9	−14.6	−16.3	−18.0	−19.7
05:00	y=0.9085x + 0.0387	−11.8	−13.6	−15.4	−17.2	−19.0	−20.9
07:00	y=0.9794x + 0.1816	−12.9	−14.9	−16.8	−18.8	−20.7	−22.7
07:30	y=x	−13.0	−15.0	−17.0	−19.0	−21.0	−23.0
09:00	y=0.914 x + 1.2481	−10.6	−12.5	−14.3	−16.1	−17.9	−19.8
11:00	y=0.7556x + 3.5023	−6.3	−7.8	−9.3	−10.9	−12.4	−13.9
13:00	y=0.615x + 4.9987	−3.0	−4.2	−5.5	−6.7	−7.9	−9.1
15:00	y=0.585 x + 5.2328	−2.4	−3.5	−4.7	−5.9	−7.1	−8.2
17:00	y=0.5958x + 4.0924	−3.7	−4.8	−6.0	−7.2	−8.4	−9.6
19:00	y=0.6146x + 1.8442	−6.1	−7.4	−8.6	−9.8	−11.1	−12.3
21:00	y=0.5908x + 0.7981	−6.9	−8.1	−9.2	−10.4	−11.6	−12.8
23:00	y=0.6348x + 06487	−7.6	−8.9	−10.1	−11.4	−12.7	−14.0

2. 내한성 실험

1) 갈변도 변화

식물체를 저온에 노출시킨 후 상온까지 천천히 해빙하고, 육안으로 갈변정도를 확인하여 동해 여부를 평가할 수 있다. 육안 판별과 전기전도도(Fensom, 1966) 사이에는 높은 상관관계(Nesbitt et al., 2002; Rajashekar et al., 1982)가 있기 때문에 육안 판정에 의한 평가도 상당히 유효할 것으로 판단되어 저온

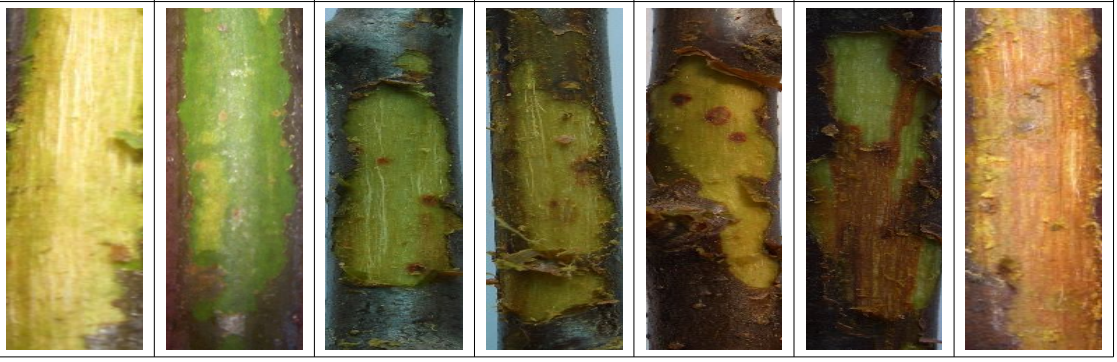
Setting temperature	−2℃	−13℃	−15℃	−17℃	−19℃	−21℃	−23℃
Measured temperature	−2℃	−12.8℃	−15.2℃	−17.1℃	−18.9℃	−20.6℃	−23.3℃
Lagerstroemia indica							
Pyracantha angustifolia							

Figure 1. Effect of low temperature on the bark and cambium of *P. angustifolia* and *L. indica*

에 노출시켰던 시료를 육안으로 관찰하고 촬영하였다(Refer to Figure 1).

저온 처리시 시료와 함께 HOBO Pro V2를 넣어 실제 온도 변화를 관찰한 결과, 설정온도와 ±0.4℃ 이내에서 약간의 차이가 있었다(Refer to Figure 1).

Figure 1과 같이 배롱나무와 피라칸사 두 수종 모두 최저온도 -12.8℃에 노출된 경우, 육안으로 관찰된 사부조직에 큰 변화가 없는 것으로 나타남으로써 동해 피해는 없는 것으로 판단되었다.

최저온도 -15.2℃에 노출된 경우, 배롱나무는 사부조직에 미세한 작은 점으로 갈색의 변화가 발견되었으며, 피라칸사도 부분적으로 작은 갈색반점이 관찰되었다. 그러나 대부분의 조직에는 변화가 없는 것으로 나타남으로써 일일 최저 기온이 -15℃로 하강해도 두 수종 모두 동해 피해에 의해 식물이 고사되지는 않을 것으로 판단되었다.

최저온도 -17.1℃에 노출된 경우, 배롱나무와 피라칸사 두 수종 모두 전반적으로 갈색변화가 심화되었으며, 최저온도 -18.9℃에 노출된 경우의 배롱나무는 미세한 갈색 반점이 더 많이 나타남으로써 전체적으로 갈색 변화가 심화되어 동해가 심각하게 우려되었다. 피라칸사도 최저온도 -18.9℃에 노출된 경우 갈색반점이 더 크게 나타났으며, 전체적으로도 갈변 정도가 심화되어 부분적인 동해가 예상되었다.

최저온도 -20.6℃에 노출된 경우, 배롱나무는 전체적으로 갈변이 심화되어 회복되기 어려울 것으로 판단되었고, 피라칸사도 갈변 부분이 50% 이상으로 나타남으로써 동해 정도가 심각하다고 판단되었다. 그러나 처리구별로 조직의 피해율을 계량화 할 수 없어, 전해질 용출에 따른 전기전도도를 측정하여 동해 정도를 계량화 하였다.

2) 전기전도도 측정

동해란 혹한으로 세포내 결빙이 일어나 세포막에 손상이 생김으로써 그 세포가 죽게 되는 것을 의미한다. 순화가 덜 된 상태에서 저온에 노출되거나 한계점 이상의 혹한에 의해 세포막에 손상이 생기면 전해질이 유출되므로 그 정도를 알아보기 위해 전기전도도를 측정하였다. 전기전도도 측정 결과, Table 2와 같이 -2℃에 보관된 시료의 전기전도도가 80℃의 고온에 6시간 노출시켜 고사된 시료의 전해질 용출에 의한 전기전도도 대비 12.5~16.1%로 측정되었다. -2℃에 보관된 시료는 동해와 무관할 것으로 판단되어, 형성층 부분을 현미경과 육안으로 관찰한 결과, Figure 1과 같이 눈에 띄는 변화를 관찰할 수 없었다. 따라서 -2℃에 보관된 시료의 경우 전기전도도에 나타난 값은 동해에 의한 세포막 손상 때문이 아니라, 시료의 조제시 손상된 세포막으로부터 용출된 전해질에 의해 나타난 전기전도도 값으로 판단된다.

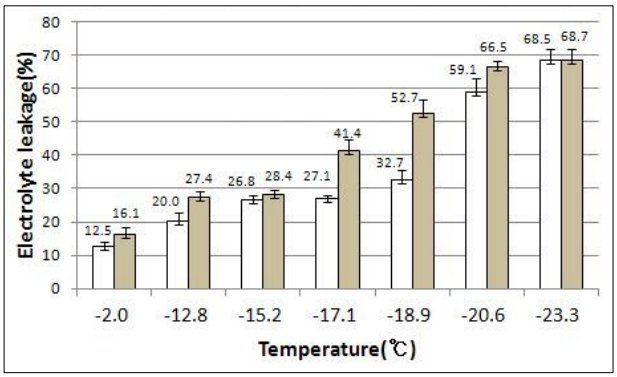


Figure 2. Differences of electrolyte leakage percentage on low temperature treatments in *P. angustifolia* and *L. indica*

범례: □ *P. angustifolia*, ▨ *L. indica*

많은 선행 연구에서 저온처리에 의해 나타나는 전해질 용출에 의한 전기전도도의 변화는 S자 반응곡선으로 나타났으며, S자 곡선의 변곡점은 전해질 최대용출량의 50% 이상 전해질 용출이 일어나는 부분으로 이 지점이 치사온도로 예측되었다(Anderson *et al.*, 1988; Cardona *et al.*, 1997; Iles and Agnew, 1995; Ingram and Buchanan, 1981; Shashikuma and Nus, 1993).

배롱나무와 피라칸사를 저온에 노출시켰을 경우 Figure 1과 Figure 2에서와 같이 두 수종 모두 최저 온도 -15.2℃에 노출된 경우까지는 전해질 최대 용출량의 30% 미만으로 부분적인 동해피해가 예상되기는 하지만, 전체가 고사될 정도는 아니라고 판단되었다. 그러나 배롱나무의 경우, -17.1℃에 노출시켰을 때 41.4%로 급격하게 증가되었으며, -18.9℃에서는 52.7%로 동해에 의한 전체적인 고사가 일어날 수 있을 것으로 판단되었다.

반면에 피라칸사의 경우, -18.9℃까지는 전해질 최대 용출량의 30% 내외로 서서히 증가되어 부분적인 동해피해가 예상되기는 하지만, -20.6℃에서는 59.1%로 급격히 증가되어 동해에 의해 전체적인 고사가 일어날 수 있을 것으로 판단되었다(Refer to Figure 2).

3. 지역별 연중 최저기온 분석

Figure 3에서와 같이 연중 가장 춥다는 절기인 대한 때의 기온변화를 보면, 근래 90년 동안 매년 큰 차이를 보이고 있으며, 20~30년 단위로 상승과 하강의 리듬이 있는 듯이 보인다. 이처럼 우리나라는 대부분 지역이 4계절이 뚜렷하기 때문에 여름과 겨울의 온도 편차는 매우 클 뿐만 아니라 연도별, 지역적으로도 온도변화는 큰 차이를 보이고 있다(Refer to Figure 4, Figure 5).

식물의 분포는 온도에 따라 큰 차이를 보이는데, 이는 식물의 내한성과 내서성에 의한 영향이 크다고 할 수 있다. 즉, 식물

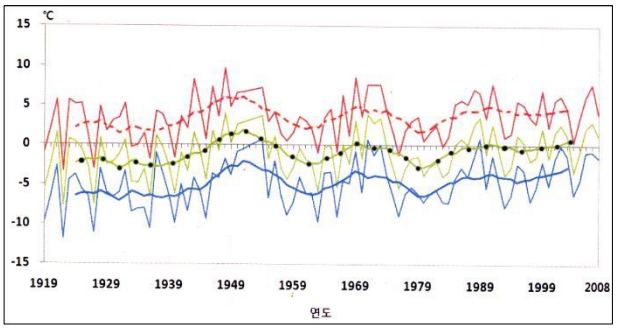


Figure 3. Variation of temperature around 21 January for 90 years in Korea

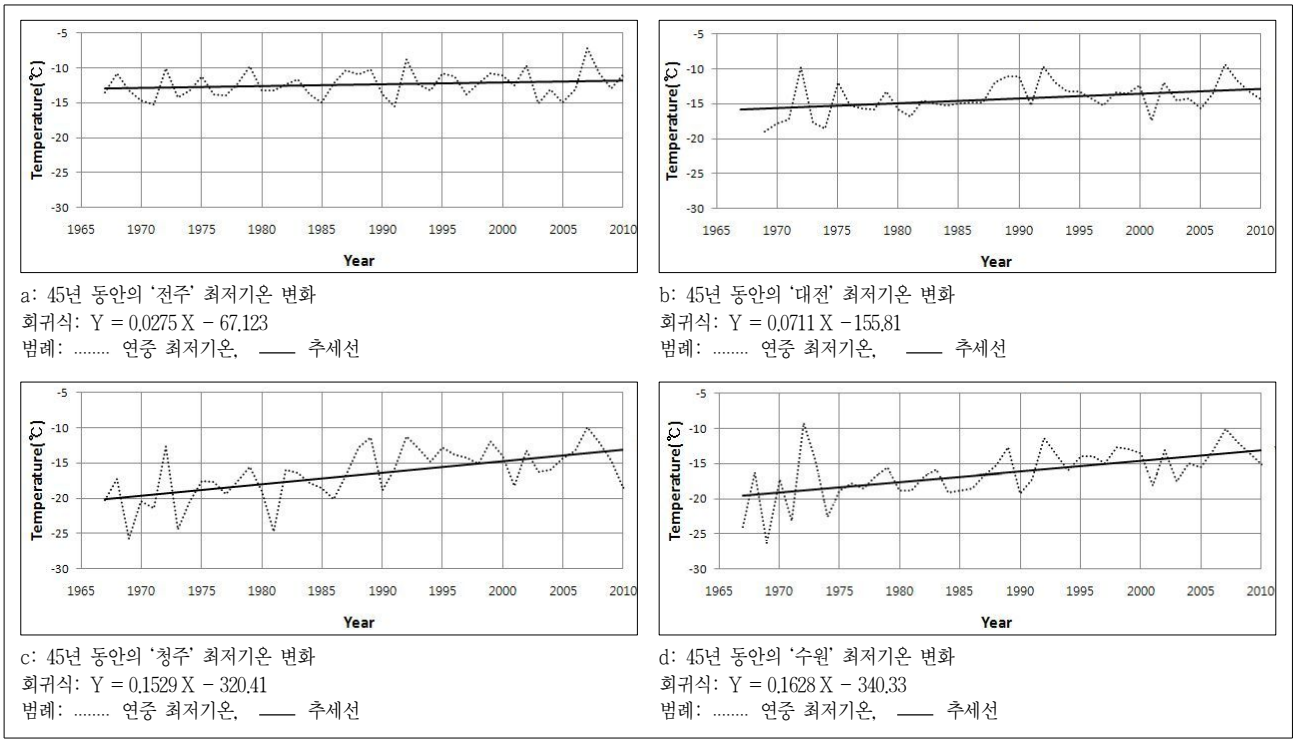
출처: 국립기상연구소(2009)

범례: ..... '대한' 때 최고기온, —●— 평균기온, —— 최저기온

은 한계 이하와 이상의 온도에서는 생육이 쇠퇴하거나 도태될 수밖에 없기 때문이다. 또한 지구온난화에 따라 최저 기온은 점점 높아지고 있기 때문에, 과거에는 남부지역에만 식재되던 수종들이 점진적으로 북상하고 있다. 그러나 간헐적으로 나타나는 혹한에 노출되면 평소에는 잘 생육하던 수종(*L. indica*와 *P. angustifolia*)이 전체적으로 일시에 고사될 수 있기 때문에, 지난 45년 동안의 기상청 자료를 통하여 위도차이에 따른 지역별, 연도별 최저기온 변화를 분석하였다.

Figure 4에 나타난 바와 같이 전주, 대전, 청주, 수원 등 네 지역 모두 연도별 최저 기온은 점차 상승하는 것으로 나타났으며, 지역별 최저 온도의 변화 경향은 위도가 높은 지역일수록 최저기온 상승률이 높아지는 것으로 나타났다.

식물의 동해 피해는 최저기온과 깊은 관계가 있으므로 지역별 최저 기온 변화를 분석한 결과, 1967년부터 2011년까지 45년 동안 대전의 경우 −18.9℃ 이하로 기온이 하강된 횟수는 1969년도에 1회로 기록되고 있다. 또한 −17.1℃ 이하로 기온이 하강된 횟수는 총 7회이며, 그 중 1975년도 이후에는 단 1회(2001년) 뿐인 것으로 기록되어 있다. 그러나 대전보다 위도상으로 약 20분 정도 북쪽에 위치한 청주의 경우 −20.6℃ 이하로 기온이 하강한 횟수는 총 13회이나 1974년도 이후 37년 동안은 −20.6℃ 이하로 기온이 하강한 적이 없는 것으로 기록되고 있다. −18.9℃ 이하로 기온이 하강된 횟수는 45년 동안 20회로 기록되어 있고, 1990년도에 1회 이후로는 그 이하로 기온이 하강된 기록은 없다. 그러나 −17.1℃ 이하로 기온이 하강된 횟수는 총 55회이며, 그 중 1990년도 이후에도 7회 하강된 것으로 기록되고 있다. 대전보다 위도상으로 약 52분 정도 북쪽에 위치한 수원의 경우 −20.6℃ 이하로 기온이 하강한 횟수는 총 11회로 청주보다 적고, 1974년도 이후 37년 동안은 −20.6℃ 이하로 기온이 하강한 적이 없는 것으로 기록되고 있다. −18.9℃ 이하로 기온이 하강된 횟수는 45년 동안 32회로 기록되어 있고, 1990년도에 1회 이후로는 그 이하로 기온이 하강된 기록은 없다. 그러나 −17.1℃ 이하로 기온이 하강된 횟수는 총 72회이며, 그 중 1990년도 이후에도 6회 하강된 것으로 기록되고 있다(Refer to Table 2, Figure 5).



a: 45년 동안의 '전주' 최저기온 변화
회귀식: Y = 0.0275 X − 67.123
범례: ..... 연중 최저기온, —— 추세선

b: 45년 동안의 '대전' 최저기온 변화
회귀식: Y = 0.0711 X −155.81
범례: ..... 연중 최저기온, —— 추세선

c: 45년 동안의 '청주' 최저기온 변화
회귀식: Y = 0.1529 X − 320.41
범례: ..... 연중 최저기온, —— 추세선

d: 45년 동안의 '수원' 최저기온 변화
회귀식: Y = 0.1628 X − 340.33
범례: ..... 연중 최저기온, —— 추세선

Figure 4. Tend to change of the lowest temperature by region

Table 2. The frequency of the lowest temperature for 45 years

Region	Frequency less than the temperature below							
	From 1967 to 2011				After 1990			
	-15℃	-17.1℃	-18.9℃	-20.6℃	-15℃	-17.1℃	-18.9℃	-20.6℃
Jeonju	4	0	0	0	3	0	0	0
Daejeon	37	7	1	0	7	1	0	0
Cheongju	132	55	20	13	19	7	1	0
Suwon	171	72	32	11	23	6	1	0

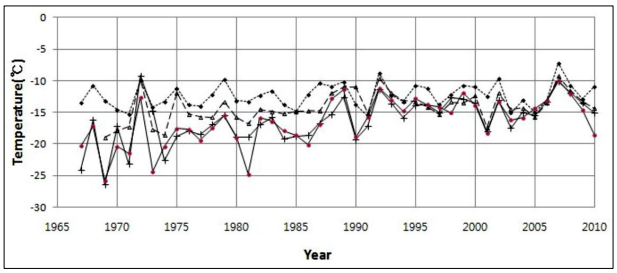


Figure 5. Variation of the lowest temperature for 45 years

범례: Jeonju, Daejeon, Cheongju, Suwon

Ⅳ. 고찰

지구온난화와 더불어 우리나라의 최저 기온도 점차 상승함에 따라 내한성이 낮아 남쪽 지역에서 주로 식재되던 관상가치가 높은 수종들이 점차 북상하여 심겨지고 있다. 그러나 식물은 한계점 이하의 기온에서 일시에 동해를 입어 회복될 수 없는 상태로 갈 수 있기 때문에 중부지역에서 일부 식재되고 있는 배롱나무와 피라칸사의 내한성 평가와 45년간의 기상 기록을 분석하여 동해에 대한 안전성 여부를 검증하고자 하였다.

갈변도 관찰 및 전기전도도 실험결과, 배롱나무와 피라칸사는 최저 온도 -15.2℃ 이하에서 부분적으로 약간의 동해가 예상되기는 하지만, 이듬해 봄 새로운 유상조직의 발달로 충분히 회복될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 배롱나무는 -17.1℃에 노출시켰을 때 전해질 최대 용출량의 41.4%로 크게 증가되어 -17.1℃ 이하에서 동해 피해가 매우 클 것으로 예상되며, -18.9℃ 이하에서는 회복 불능의 상태로 동해피해가 나타날 것으로 보인다. 피라칸사는 배롱나무에 비하여 다소 내한성이 높은 것으로 나타났으며, 최저기온 -18.9℃에서 전해질 최대 용출량의 32.7%, -20.6℃에서 59.1%로 크게 증가되었다. 즉 피라칸사는 -18.9℃ 이하에서 부분적인 동해 피해가 크게 증가되고, -20.6℃ 이하에서는 회복 불능의 상태로 동해피해가 나타날 것으로 보인다.

지난 45년간의 지역별 최저 기온 빈도는 대전의 경우 -17.1℃ 이하로 기온이 하강된 횟수가 7회였으며, 그 중 1975년도 이후는 단 1회로 기록되고 있고, -18.9℃ 이하로 하강된 기록은 없다. 청주와 수원의 경우 -17.1℃ 이하로 기온이 하강된 횟수는 55~72회로 나타났으며, 1990년도 이후에도 6~7회로 기록되어 있다. -18.9℃ 이하로 기온이 하강된 횟수는 청주 45회, 수원 32회로 나타났으며, 1991년 이후에는 두 지역 모두 -18.9℃ 이하로 기온이 하강되지 않은 것으로 기록되어 있다. 최저기온이 -20.6℃ 이하로 기온이 하강한 횟수는 청주 13회, 수원 11회로 나타났으며, 1974년도 이후 37년 동안 두 지역 모두 최저기온이 -20.6℃ 이하로 기온이 하강한 적이 없는 것으로 기록되고 있다.

이상의 결과를 종합해 보면 배롱나무와 피라칸사는 대전지역까지는 동해 피해없이 생육이 가능할 것으로 판단되지만, 청주 이북의 중부지역에서는 동절기 간헐적으로 나타날 수 있는 동해에 부분적인 피해가 예상되고, 전체적인 고사를 유발할 수 있는 심각한 피해도 완전히 배제할 수는 없다. 따라서 청주 이북지역에서 배롱나무와 피라칸사 식재시 아직까지는 겨울철 보온대책이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 청주와 수원지역의 최저기온 상승추세선의 상수값이 각각 0.1529, 0.1628로 분석되어, 점진적으로 최저기온이 상승하는 것으로 나타남으로써 앞으로 동해 피해 위험은 점차 감소될 것이다.

인용문헌

1. 국립기상연구소(2009) 기후변화 이해하기 Ⅴ: 입춘에서 대한까지. 동진문화사. p. 124.
2. 김인혜, 허근영, 허무룡(2010) 저토심·저관리형 옥상녹화 시스템을 위한 *Sedum*속 식물의 내한성 평가. 원예과학기술지 28(1): 22-30.
3. 문종열, 이정명(1986) 과수의 동해발생 및 내한성에 관한 연구. J. Kor. ean Soc. Hort. Sci. 27(2): 157-166.
4. 오성도(2004) 과수 온도 생리. 길모음. p. 364.
5. 송기철, 최인명, 조명동(2000) '캠벨얼리' 포도의 수체관리와 내한성. 원예과학기술지 18(3): 387-390.
6. Anderson, J. A., M. P. Kenna and C. M. Taliaferro(1988) Cold hardiness of Midiron and Tifgreen bermudagrass. HortScience 23: 748-750.
7. Asahina, E.(1956) The freezing process of plant cells. Low Temperature Science 10: 83-126.
8. Ashworth, E. N.(1992) Formation and spread of ice in plant tissues. Horticultural Review 13: 215-245.
9. Bowers, M. C.(1994) Environmental effects of cold on plants. In: Plant-Environment Interactions. Marcel Dekker, Inc. New York. pp. 391-411.
10. Cardona, C. A., R. R. Duncan and O. Lindstrom(1997) Low temperature tolerance assessment in Paspalum. Crop Science 37: 1283-1291.
11. Emmert, F. H and F. S. Howlett(1952) Electrolytic determinations of the resistance of 55 apple varieties to low temperatures. Proceeding of American Society for Horticultural Science 60: 311-318.
12. Fensom, D. S.(1966) On measuring electrical resistance *in situ* in higher plants. Canadian Journal of Plant Science 46: 169-175.
13. 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: 1221-1224.
14. Ingram, D. L. and D. Buchanan(1981) Measurement of direct heatinjury of roots of three woody plants. HortScience 16: 769-771.
15. Nesbitt, M. L., R. C. Ebel, D. Findley, B. Wilkins, F. Woods and D. Himelrick(2002) Assays to assess freeze injury of satsuma mandarin.

HortScience 37: 871-877.
16. Probsting, E. L. Jr. and A. Sakai(1979) Determining T50 of peach flower buds with exotherm analysis. HortScience 14: 597-598.
17. Rajashekar, C. B., M. N. Westwood and M. J. Burke(1982) Deep supercooling and cold hardiness in genus *Pyrus*. Journal of the American Society for Horticutural Science 107: 968-972.
18. Shashikumar, K. and J. L. Nus(1993) Cultivar and winter cover effects on bermudagrass cold acclimation and crown moisture content. Crop Science 33: 813-817.
19. http://www.ipcc.ch/(2007)

원 고 접 수 일: 2011년 11월 20일
심 사 일: 2011년 12월 16일(1차)
2011년 12월 26일(2차)
게 재 확 정 일: 2011년 12월 27일
3인익명 심사필