

헤데라 헬릭스 식물의 적외선 열영상에 의한 저온 및 한풍피해에 관한 연구

성부근

대구대학교 관광경영학과

An Analysis Method on Injury Symptoms Utilizing Infrared Thermal Imaging under the Freezing Stress of *Hedera helix* L.

Seong, Bu-Geun

Dept. of Tourism Management, Daegu University

ABSTRACT

The experiments, which analyze the injury symptoms and diagnose growth conditions utilizing IRVT and analyzing each parts of *H. helix* L., had been held under a low temperature. Greenhouse and outdoor growing Genus *hedera* had been prepared and compared with each Genus *hedera*'s peak and bottom leaves' surface temperature under the experimental categories -6°C and -12°C . As results, analyzing the surface thermal property of peak part leaves' of outdoor growing Genus *hedera*, at experimental categories -6°C , -12°C were ranged from $-2^{\circ}\text{C} \sim -7^{\circ}\text{C}$ and $-2^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}$. On the other hand, the surface thermal property of bottom part leaves at experimental categories -6°C , -12°C were ranged $-2^{\circ}\text{C} \sim -11^{\circ}\text{C}$ and $-1^{\circ}\text{C} \sim -12^{\circ}\text{C}$. It appears that the thermal properties of leaves' surface on -6°C peaks and -12°C bottoms were more broadband than bottoms and peaks. It means that the peaks were more sensitive than bottoms, as like $-2^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}$, $-1 \sim -12^{\circ}\text{C}$. Moreover, as similar results had seen to leaves surface temperature added to cold wind conditions. How the cold wind damaged the outdoor growing Genus *hedera*, analyzed the surface thermal property by IRVT data under 0°C , -2°C , -4°C condition, it resulted to -6.2°C , -6.8°C , -7.5°C . It appeared more $3.5 \sim 6.2^{\circ}\text{C}$ low temperature than experimental setting point. In addition, each parts thurnal property of peaks and bottoms was not similar, it referred to each parts' sensitivities of low temperature were different on the peak and bottom leaves surface temperature.

Key Words: Cold Wind Damage, Genus *hedera*, Infrared Video Thermography(IRVT), Plant Surface Temperature, Sensitivity of Low Temperature

국문초록

*Hedera helix*의 저온에서의 피해 및 생육진단을 위하여 적외선서모그래피에 의해 측정된 적외선 열영상으로 부위별 체표면온도를 해석하였다. 노지재배품 첨단부와 기부의 엽신에 대한 실험설정온도 -6°C 구와 -12°C 구의 온도분포를

Corresponding author: Bugeun Seong, Dept. of Tourism Management, Daegu University, Daegu 712-714, Korea. Tel.: +82-53-850-4576, Fax: +82-53-850-6259, E-mail: richroot@daegu.ac.kr

각각 비교해보았다. 결과 노지재배품 침단부의 -6°C 실험구에서의 엽면온도는 $-2^{\circ}\text{C} \sim -7^{\circ}\text{C}$ 의 분포를, -12°C 실험구에서는 $-2^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}$ 까지의 범위에 분포하고 있었다. 한편 노지재배품 기부의 엽면온도는 -6°C 실험구에서의 엽면온도는 $-2^{\circ}\text{C} \sim -11^{\circ}\text{C}$ 의 분포를, -12°C 실험구에서는 $-1^{\circ}\text{C} \sim -12^{\circ}\text{C}$ 까지의 범위에 분포하고 있었다. 이를 보면 -6°C 실험구에서는 침단부쪽이, -12°C 실험구에서는 기부쪽이 보다 광범위한 온도분포를 보여 주었다. 이는 대체적으로 기부 쪽보다는 침단부 쪽의 엽신이 저온감수성이 높은 것을 의미한다. 한풍피해를 규명하기 위하여 노지재배품의 평균엽면온도를 측정할 결과 0°C 실험구에서 -6.2°C , -2°C 실험구에서 -6.8°C , -4°C 실험구에서 -7.5°C 를 나타내어 각각의 설정온도(공기온도)보다도 $3.5 \sim 6.2^{\circ}\text{C}$ 저온이었으며 부위별로 온도가 다른 점으로 보아 저온감수성이 상이한 것으로 추론하였다.

주제어: 헤데라속 식물, 적외선 서모그래피, 식물체 표면온도, 저온감수성, 한풍피해

1. 서론

1. 연구의 배경

헤데라속 식물은 유지관리노력이 적게 들면서도 번식이 빨라 대면적의 녹지조성에 적합하여 세계적으로 많이 식재되는 조경식물 중의 하나이나 잦은 기상이변으로 저온에 의한 피해가 늘어나고 있어 이에 대한 연구의 필요성이 높아지고 있다.

조경식물 생육의 양호, 불량성이나 생리장애, 기상피해의 유무나 정도 등에 대한 생육진단은 생육량이나 광합성속도의 측정을 비롯하여 그 목적, 대상식물에 따라 다양한 방법으로 측정해왔다. 그러나 조경식물의 경우 과일 등 수확을 목적으로 재배함이 목적이 아니므로 생육량의 양호, 불량을 정량적으로 판정함이 곤란하다. 또한 생리장애나 기상피해의 발현 및 피해 정도를 정량화함도 곤란하다. 따라서 첨단과학기술을 구사하여 휴양경관조성식물의 생육진단기술을 확립함은 관련 학문분야의 중요한 과제의 하나라고 할 수 있다.

적외선 열영상으로 물성상태를 진단하는 기술이 다양한 학문, 기술영역에서 시도되고 그 성과를 올리고 있다. 조경분야에서도 도시의 히트아일랜드현상의 규명, 녹지의 존재효과 혹은 옥상녹화효과의 실증 등에도 활용되고 있다.

본고에서는 저온상태에서의 헤데라속 식물의 저온피해증상의 진단, 피해발현 메커니즘 규명을 위한 적외선 열영상의 유효성과 가능성에 대해서 실험한 결과를 기술코자 한다.

2. 식물의 저온피해와 진단수법

식물의 저온장애진단을 위한 종래의 연구는 생리기능의 정량화수법이 아니라 식물체에 발현하는 가시장애 정도나 생육량 혹은 이들을 포함한 경험적 지견에 의해 판정해왔다. 벼를 비롯한 작물이나 과수 등의 농작물은 저온피해가 생산량의 감량과 직결되므로 오래 전부터 다양한 연구가 이루어져 왔다. 그러나 조경식물의 경우, 이와 달리 저온피해연구는 등한

시되어왔다.

지구온난화와 환경문제 등이 널리 거론되면서 이런 문제해결에 일조할 가능성이 있는 조경식물의 생육에 대한 정확한 진단과 진단결과에 바탕한 처방에 따른 건전생육의 유지가 한층 요구되고 있다. 이와 관련하여 조경식물의 저온영역에서의 피해메커니즘규명과 예방을 위해 성부근(2012a)은 선행 연구를 행하였다. 선행실험은 장기간에 걸쳐, 공시식물의 양생과 저온설정이 가능한 인공환경기상실 등의 실험설비를 갖춘 조건에서 행하였다. 특히 식체현장에 바로 활용할 수 있는 실용적 기술이 바람직한 조경식물분야의 특성상, 보다 간편하면서 유효한 저온피해진단기술이 요구됨에 따라 적외선 열영상에 의한 저온피해진단해석을 시도하였다.

3. 연구의 목적

1) 식물체 표면온도에 의한 최저치사온도 등의 표시 필요성
지금까지 식물의 최저치사온도 등은 공기온도로 표시해온 것이 일반적이었으나, 최근 적외선 열영상 기술 향상에 따라 Workmaster and Wisniewski(1999), Pearace(2002), Pearce and Fuller(2001), Wisniewski(1997), Wisniewski et al.(1997) 등의 최신 연구성파로 식물체 표면온도로 표시함의 타당성을 지적할 수 있게 되었다. 본래 저온피해를 입지 않은 공기온도에서도 바람요인이 더해지면 식물체 표면온도가 공기온도보다 낮아져, 저온피해가 발생한 실험결과로 보아서 앞으로는 식물의 최저치사온도 등은 공기온도뿐만 아니라, 식물체 표면온도로 표시함이 타당하다는 성부근(2012b)의 연구결과를 보고한 적이 있다.

2) 식물체 표면온도의 정량화

식물체 표면온도는 정확히 파악하기가 간단하지 않은 어려움이 있었다. 측정결과를 가지고 설명하자면, 일정하게 설정한 인공환경기상실 속에서도 식물체 표면온도는 한결같지 않았고 다양한 분포현상을 보였다. 또한 식물체부위에 따라서도 온도 분포가 달랐으며, 바람 등 환경요소가 더해지면 식물체 표면온

도는 특정온도역에서는 격심한 변화를 보여주는 것도 알 수 있었다. 식물의 체표면온도는 한 장의 엽면에서도 복잡다기한 현상을 보였다. 이렇게 다양한 온도분포를 정확히 파악할 수 있음은 적외선 열영상기가 고성능이었기 때문에 가능했다.

단, 식물부위 혹은 1매의 엽면의 상이한 온도분포의 의미는 보다 많은 연구를 통해서 밝혀야 할 과제이다. 식물조직체의 구조와 형태의 미묘한 차이로 인한 것뿐만 아니라, 식물체 부위별 저온저항성의 차이, 저온피해를 입는 방식의 차이, 눈에 보이지 않는 동결피해 진행상태의 차이와 정도 등이 상이한 온도분포로 나타나는 것으로 추찰된다.

3) 열전대, 적외선방사온도계의 한계

엽면온도 등 식물체 표면온도측정의 가장 일반적 기기였던 열전대측정수법은 특정 1개소만 측정할 수 있었으며, 적외선방사온도계는 단위면적당 평균온도만 측정 가능했으므로 이 두 가지 측정방법은 식물체 표면온도의 분포특성을 포함한 정확한 온도상태를 계측하는 기기로서는 불충분했다고 판단된다.

4) 적외선 열영상의 유효성검증

식물체 표면온도의 측정기기로서의 적외선 열영상의 유효성을 정리하면 비파괴온도측정이 가능하고, 원격조작에 의한 측정이 가능하며, 단일점이 아니라 측정대상물 전체표면에 관한 온도정보를 종합적 수치로 얻을 수 있고, 온도정보는 실시간으로 얻을 수 있으며, 측정된 화상은 디지털화 것으로 모든 온도 정보는 수치화되어 있기 때문에 해석소프트로 다양한 형태의 해석이 가능한 점을 들 수 있다.

II. 재료 및 방법

1. 실험방법

1) 공시재료

실험에는 노지와 온실에서 재배육성한 2년생 유묘 *H. helix* L.를 공시하였다. 공시식물은 삼목한 묘목을 10.5cm의 육묘용 비닐포트에 옮겨, 온실에서 그대로 육묘한 묘(온실재배품)와 7개월 후, 옥외로 옮겨, 노지에서 육묘한 묘(노지재배품) 2가지를 준비하였다. 온실재배품과 노지재배품은 생육상태에서 분명한 차이를 보였다. 즉, 온실재배품은 노지재배품에 비해서 짙은 녹색을 띠고, 경엽은 부드러우며, 형태적으로 연약한 양상을 보였다.

2) 실험장치

실험은 인공적으로 저온상태를 제어할 수 있는 인공환경기상실(코이트하니웰 공업사 제작)에서 행하였다. 인공환경기상

실의 규격은 가로, 세로, 높이 170cm×200cm×190cm이며, 실내조도는 온도조건이 -15~-5℃시에는 5,000LUX, -5~-20℃시에는 15,000LUX로 구현된다. 실내조도에 연동된 광합성유효광량속밀도는 $82.3\mu\text{mols}^{-1}\text{m}^{-2}$ 이며 광주기(photoperiod)는 명·암 12시간 주기로 교체되며, 습도는 80% 내외로 설정하였다. 소정의 온도에 달한 공시식물은 5℃로 설정한 인접 인공환경기상실 내에서 해동시킨 후, 단계적으로 온도를 높여 재생 정도를 관찰하였다.

3) 인공환경기상실의 온도설정

인공환경기상실의 온도조건을 14℃부터 2일마다 2℃ 단위로 내려, -6, -8, -10, -12, -14, -16, -18℃의 7단계 온도조건을 실험구로 설정하고, 각 실험구마다 48시간 동결해동 후의 재생상태를 관찰하여 내한성의 정도를 판정하였다. 각 실험구마다 4포트(개체)를 공시하였다.

4) 공시식물의 피해·고사 판정방법

인공환경기상실에 설정한 조건하에서의 공시식물의 생육상태 혹은 저온상태에 따른 저온피해 발현상황은 육안으로 관찰하였다. 또한 각 저온조건하에서의 생존(저온내성)의 유무에 대해서는 동결해동후의 경엽의 생존상태 및 신엽의 재생상태로 판정하였다.

2. 적외선 열영상에 의한 식물체표면측정 및 해석

1) 기기조작 및 측정방법

적외선 열영상의 측정에 임하면서 가장 유의할 점은 측정대상물이 전도, 대류 등 열역학적인 원리를 항상 고려하여 측정환경을 갖추어야 한다는 점이다. 적외선 열영상은 측정대상물의 열을 영상으로서 촬영하여 측정하는 기기이므로 열역학이나 적외선 메커니즘에 반하는 경우 정확한 열영상 촬영이 곤란하게 된다. 따라서 주변물체로부터 열이 전도되면 측정대상물의 온도상황이 크게 왜곡된다든지, 물체의 윤곽이 희미하게 된다든지 하여 형태판별이 어렵게 된다. 이렇게 되면, 열영상 촬영후 해석시 측정노력을 헛되게 할 가능성이 커진다. 이런 현상이 발생하지 않도록 엄격하게 측정관리를 해야 한다.

2) 적합기종의 선정

적외선기종에는 각각의 측정대상이나 측정환경에 적합한 기종이 있으며, 주로 검출소자의 소재에 따라 달라지지만 저온환경에 처해 있어 저온으로 추정되는 물체의 측정은 NEC三榮(株)(2000)에 따른 HgCdTe(수은카드뮴텔레레) 검출소자에 大政謙次編(1995)의 액체질소냉각방식을 갖춘 기종이 적당하다. 위의 조건에 근접한 냉각식과 비냉각식의 2기종으로 측

정을 시도하였으나, 비냉각식은 측정대상물의 윤곽이 희미해지거나, 초점이 맞지 않는 등의 현상이 발생하여 정확한 온도의 해석, 파악에 방대한 노력과 숙련을 요하는 등, 저온상태의 식물체 표면온도를 신속히 측정하는데 적합하지 않은 기종이라고 할 수 있다. 한편, 냉각식의 경우 이런 현상이 발생하지 않아 0℃ 이하의 저온영역측정에 활용하였다.

3) 데이터의 해석과 종합방법

(1) 저온에서의 측정환경을 갖춘다. 예를 들어, 전도, 반사등이 발생하지 않도록 한다. 측정결과 상세는 사례 1과 2로 설명키로 한다.

(2) 측정은 해당기기취급서의 조작매뉴얼에 따라 측정하고 메모리에 측정결과를 수록한다.

(3) 메모리에 수록한 화상데이터는 부속 소프트웨어 불러들여 해석을 행한다.

(4) 해석결과는 메모리에 보존한다. 이로서 한 사이클의 해석이 완료된다.

3. 헤데라속 식물의 저온피해와 적외선 열영상에 의한 식물체표면의 메커니즘의 분석

성부근(2012a), 성부근(2012b)의 선행 실험결과를 사례로 하여 저온에 의한 가지장애와 적외선 열영상에 의한 식물체 표면온도와의 관계분석을 시도하였다.

1) 실험 1: 상이한 재배육성조건과 내한성과의 관계규명실험
본 실험은 헤데라속 식물의 노지재배품과 온실재배품과의 저온저항성 및 동일개체의 침단부 엽신과 기부 엽신의 저온피해발현의 차이를 식물체 표면온도와의 관계로 밝히기 위한 실험으로서 인공환경기상실에서 행하였다.

(1) 측정방법

적외선 열영상 촬영시 엽신표면의 실온을 정확히 촬영하기 위하여 표면을 흑색도색한 두께 1cm의 유리판(가로 40cm×세로 30cm) 1장을 인공환경기상실의 벽면에 부착하고, 4개체에서 각각 1매씩 떼어낸 잎을 지체하지 않고 유리판에 붙인 다음 비냉각식 적외선서모그래프 TVS-600을 이용하여 엽면온도의 측정을 행하였다(그림 1, 그림 2 참조).

(2) 해석방법

TVS-600부속 소프트웨어 TVR-KS2000을 이용하여 엽면온도에 대한 해석을 행하고 그림 3 및 표 1과 같은 결과를 얻었다. 노지재배품 침단부의 엽면온도해석결과는 표 1과 같으며, 데이터 파일의 확장자는 CSV형식이다. 파일내용은 X, Y좌표에



그림 1. 적외선 열영상 측정대상물 *H. helix* L.의 엽면온도를 측정하기 위해 본체로부터 절취한 엽신을 흑색도색한 유리판에 갖다 붙인 모양. 상단4매는 노지재배품의 침단부 엽신, 하단4매는 온실재배품의 침단부 엽신

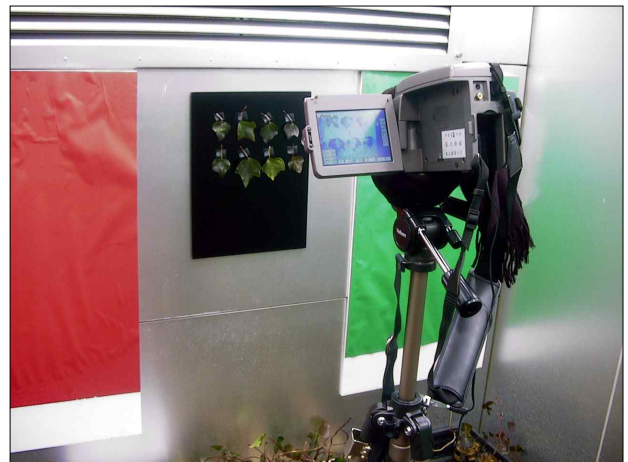


그림 2. 적외선 열영상 측정광경 상이한 재배육성조건에 따른 공시식물의 측정광경(TVS-600)

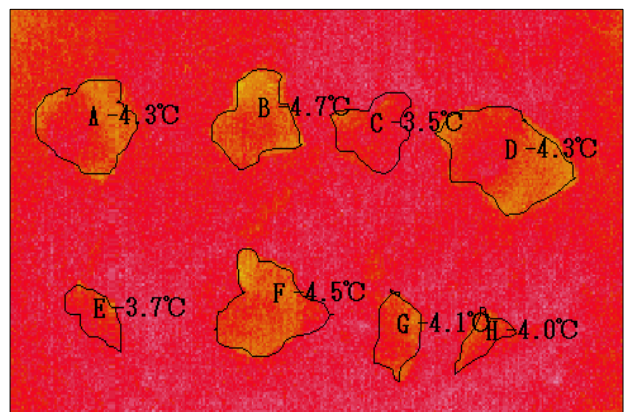


그림 3. 적외선 열영상에 의한 엽면온도해석도 네가티브 사진과 모양이 다른 것은 열로서 대상을 취하였기 때문이다. 또한 서멀 노이즈(thermal noisy)가 더해짐으로서 일부 엽신윤곽이 끊긴 곳도 볼 수 있다(E, G, H)

표 1. 엽면온도해석결과

계측영역	重心X	重心Y	면적	최소	평균	최대	편차
A다각형의 해석	51.3	57.4	1444	-6.5	-4.3	-2.0	0.8
B다각형의 해석	134.6	55.4	1115	-6.8	-4.7	-2.8	0.7
C다각형의 해석	192.6	60.4	869	-5.8	-3.5	-2.3	0.6
D다각형의 해석	257.4	71.8	1959	-6.8	-4.3	-2.3	0.8

¹⁾ 인공환경기상실설정온도-6℃, 48시간 경과한 시점에 그림 1에서 보는 것 처럼 유리관에 엽신을 갖다 붙이고, TVS-600(일본 아비오닉스 사제, 비냉각 2차원 FPA(마이크로보로메터), Longwave 8~14um)로 측정 및 해석결과.
²⁾ 표 1은 그림 1 상단의 *H. helix* L. 노지재배품 첨단부 엽면온도해석 결과임.

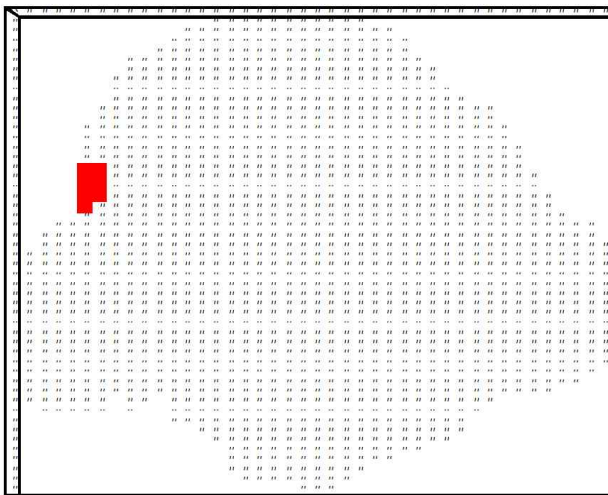


그림 4. *H. helix* L. 노지재배품 첨단부엽면온도분포 해석도

세로 3열로 표시되어 있는데, 이를 X, Y좌표대로 재구성하면 측정된 엽면형태로 온도분포를 알 수 있다. CSV파일로 재구성한 엽면온도분포도는 그림 4와 같은데 데이터의 시각적 요약방법으로서 中立堅(1998)의 간엽도(幹葉圖)표시수법과 형태적으로 극히 유사하다.

이를 보면 액티브 방사형온도계는 한 점, 한 점 측정하는 방식으로서는 얻기 어려운 온도정보와 화상을 얻을 수 있었다. 또한, 이는 저온현미경으로 관찰시 볼 수 있는 세포구조와는 다른 엽면온도분포를 식물 엽신 형태로 표면온도를 알 수 있으므로, 이를 활용하면 저온피해가능성이 있는 곳과 없는 곳의 판정이 어느 정도 가능할 것으로 생각된다. 또한, 이런 분석을 설정 온도구마다 촬영한 것을 오버랩하면, 피해 부위와 피해확산모양과 속도, 피해비율 등을 디지털데이터의 이점을 살려 정밀도 높은 분석이 가능해질 것으로 생각된다.

(3) 측정결과에 바탕한 고증

엽면온도분석에 의해 생성되는 CVS파일을 열어보면 X, Y 좌표와 온도수치로 구성됨을 알 수 있다. 그러나, 온도수치의 숫자, 즉 면적(셀의 숫자)은 수백에서 수천에 이르기 때문에

수작업으로 단시간에 많은 데이터를 처리하기는 곤란하다.

때문에 계산소프트에 의한 관수를 작성하여 방대한 숫자의 온도수치를 1℃ 단위로 그 면적과 온도출현의 비율을 계산하는 방법을 취하였다. 이 방법으로 인공환경기상실의 온도를 -6℃와 -12℃ 설정시의 기부와 첨단부의 엽면온도분포를 출현한 엽면온도역의 비율로 표시하였다(표 2 참조).

이 방법에 의한 계산결과에 의하면, 노지재배품 첨단부와 기부의 엽신에 대한 실험설정온도 -6℃구와 -12℃구의 온도분포를 각각 비교해 보았다. 결과 첨단부의 -6℃실험구에서의 엽면온도는 -2℃~-7℃의 분포에서 -12℃실험구에서는 -2℃~-15℃까지의 범위에 분포하고 있었다. 한편 노지재배품 기부의 엽면온도는 -6℃실험구에서의 엽면온도는 -2℃~-11℃의 분포를 -12℃실험구에서는 -1℃~-12℃까지의 범위에 분포하고 있었다. 이를 보면 -6℃실험구에서는 첨단부쪽이, -12℃실험구에서는 기부쪽이 보다 광범위한 온도분포를 보여 주고 있음을 알 수 있다.

이는 노지재배품의 경우 기부 쪽 보다는 첨단부쪽의 엽신이 저온감수성이 높은 것을 의미한다. 이러한 경향은 대체적으로 온실재배품에서도 볼 수 있는 것으로 보아, 첨단부의 저온감수성이 높다는 일반적 인식을 증명하는 결과가 되었다. 이상과 같이 엽면부위별로 상세한 온도분포를 파악할 수 있었으나, 피해부위, 피해정도 등과의 관련성이 있는지에 대해서는 향후의 연구과제라고 할 수 있다.

표 2. *H. helix* L.노지재배품의 기부와 첨단부의 엽면온도역별 온도의 출현비율(%)

구분	엽면온도의 출현비율(%)			
	기부	첨단부	기부	첨단부
엽면온도역(℃)	-12℃구	-12℃구	-6℃구	-6℃구
-1~-2	6.1	0.0	0.0	0.0
-2~-3	5.6	0.1	0.1	5.5
-3~-4	10.0	0.6	4.9	29.0
-4~-5	17.2	3.2	20.8	35.8
-5~-6	21.6	3.8	15.0	27.6
-6~-7	20.2	5.2	17.1	2.1
-7~-8	10.7	10.3	18.2	0.0
-8~-9	6.9	29.5	16.3	0.0
-9~-10	1.0	23.9	6.9	0.0
-10~-11	0.5	14.7	0.7	0.0
-11~-12	0.1	5.8	0.0	0.0
-12~-13	0.0	2.4	0.0	0.0
-13~-14	0.0	0.4	0.0	0.0
-14~-15	0.0	0.1	0.0	0.0
합계	100.0	100.0	100.0	100.0

엽면온도분포를 1℃ 단위로 계산

2) 실험 2: 환풍에 의한 저온피해메커니즘규명실험

본 실험은 저온환경에 처한 식물에 바람의 유무로 인한 영향을 노지재배품과 온실재배품 각각의 저온저항성 및 동일개체의 엽면과 액아결절점의 저온피해발현의 상이점을 식물체 표면온도와와의 관계로서 밝히기 위하여 인공환경기상실 내에서 행하였다. 식물체 표면온도의 측정은 냉각식 TH-5202를 활용하였다.

(1) 측정방법

인공환경기상실 벽면에 광택을 소거시킨 NT라셔지(흑색)를 바른 두께 0.7cm의 스티로폼판(가로 50cm×세로 91cm) 3매를 부착시켰다. 또한, 전도현상도 극력 억제하기 위하여 벽면 양쪽에 길이 173cm의 폴2개를 벽면에 걸쳐게 하고, 폴 사이에 검은 색 실을 사용하여, 일정간격을 두고 아래와 위쪽의 폴에 걸쳐 매었다. 이렇게 설치한 검은 색 실에 공시식물의 가지를 얽히게 하여 바람을 맞았을 경우 흔들리지 않도록 조치하였다.

(2) 해석방법

TH-5202 부속의 해석 소프트웨어 TH71-703을 활용하여, 엽면 온도해석을 행하여, 그림 5와 표 3의 결과를 얻을 수 있었다.

(3) 측정결과에 바탕한 고증

송풍실험구에서의 노지재배품의 평균엽면온도 측정결과 0°C 실험구에서 -6.2°C, -2°C 실험구에서 -6.8°C, -4°C 실험구에서 -7.5°C를 나타내어 각각의 설정온도(공기온도)보다도 3.5~

표 3. 부위별온도해석결과

재배조건 실험온도(°C)	엽면		액아결절점	
	노지재배품	온실재배품	노지재배품	온실재배품
0	-6.2	-6.5	-5.5	-5.9
-2	-6.8	-6.9	-6.3	-6.3
-4	-7.5	-7.8	-7.0	-7.0

H. helix L. 송풍실험구의 부위별 평균체표면온도

6.2°C 저온이었다(표 3 참조).

또한, 인공환경기상실의 설정온도가 저온역으로 내려가면서 엽면온도와와의 차이는 좁혀지기는 했지만, 송풍실험구에서의 환풍에 의한 체표면온도 저하는 명백함이 밝혀졌다. 또한 무풍실험구에서의 노지재배품 액아결절점의 체표면온도는 엽면온도보다 0.1~1.0°C, 온실재배품의 경우는 0.2~0.6°C 높은 것으로 나타났다. 이는 저온에 노출된 공시식물의 체표면온도분포가 부위별로 상이함을 의미한다. 즉, 부위에 따라서 저온감수성이 상이함이 분명해진 것이다.

III. 결론과 과제

이상과 같이 조경식물로 많이 사용되는 *H. helix* L.를 대상으로 다양한 저온조건을 설정하여 저온피해와 적외선 열영상에 의한 체표면온도와의 인과관계분석을 시도하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 다른 부위보다 낮은 체표면온도를 나타내는 부위는 저온 감수성이 높다(체표면온도가 실험구설정온도보다 저온상태가 됨을 의미)고 할 수 있으며 저온피해의 정도는 반대로 약간 적었다. 이 점은 적외선 열영상에 의한 식물체 표면온도측정으로 식물개체부위 혹은 1매의 엽신에서도 저온피해 진행 정도의 예측도 가능함을 의미한다.

2. 적외선 열영상에 의한 식물체 표면온도의 측정은 비파괴적, 원격측정 및 해석수법으로서 저온피해규명에 활용할 수 있는 것으로 나타났다.

3. 적외선 열영상 측정 및 해석수법활용으로 식물생리현상, 저온으로 인한 가시장해(흑반, 유침상반, 동결반)와 온도분포와의 상관관계규명과 관련되는 기초연구 심화를 기대한다. 아울러 이번 연구검토에서 밝혀진 적외선 열영상의 성능을 이용한 조경식물의 저온피해 해석과 관련하여 향후 가능한 연구과제로서는 다음과 같은 것들을 생각할 수 있다.

1) 녹화용 식물의 동해피해 정도와 동해 메커니즘의 신속한 규명을 위해, 최근 Wisniewski, Pearace 등의 연구성과를 바탕으로 빙핵활성화균(INA Active Bacteria)를 활용하여, 피해발생속도를 강제로 빠르게 하여 열영상으로 해석하는 신속측정

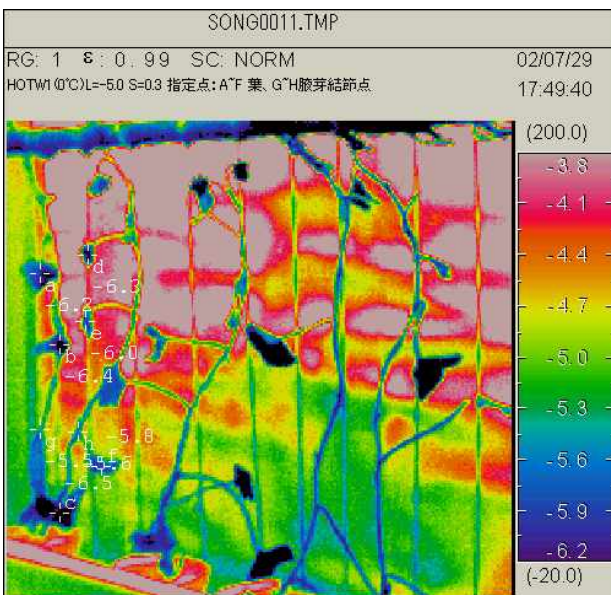


그림 5. 송풍실험구의 적외선 열영상해석도
인공환경기상실 설정온도 0°C, 평균풍속 3.4ms⁻¹, 환풍온도-3.3°C, 평균엽면온도-6.2°C

법의 개발

- 2) 적설한랭지의 골프장에서 문제가 되고 있는 적설의 유무와 다소에 의한 잔디동해발생메커니즘의 예찰
- 3) 조경식물의 품종간 내한성의 차이검증
- 4) 한풍해 방지 자재 효과의 검증
- 5) 열에너지효과를 위한 잔디지붕의 동계보온효과검증 등에도 적외선 열영상의 해석수법이 유효할 것으로 생각된다.

인용문헌

1. 성부근(2012a) 휴양경관조성식물의 열내성에 관한 연구. 한국산림휴양학회지 16(2): 125-131.
2. 성부근(2012b) 휴양경관조성식물의 열내성에 관한 연구2. 한국산림휴양학회지 16(4): 투고중.
3. Ann, B., A. Workmaster, J. P. Palta and M. Wisniewski(1999) Ice nucleation and propagation in cranberry upright and fruit using infrared video thermography. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124: 619-625.
4. Pearace, R. S.(2002) Plant freezing and damage. Annals of Botany 87: 417-424.
5. Pearace, R. S. and M. P. Fuller(2001) Freezing of barley studied by infrared video thermography. Plant Physiology 125: 227-240.
6. Wisniewski, M.(1997) The use of infrared video thermography to study freezing in plants. In Paul H. Li et al, Plant Cold Hardiness New York: Plenum Press, pp.311-316.
7. Wisniewski, M., S. E. Lindow and E. N. Ashworht(1997) Observation of ice nucleation and propagation in plant using infrared video thermography. Plant Physiology 113: 327-334.
8. NEC三榮(株)(2000) SAN EI REPORT No.127.
9. 大政謙次ら編(1995) 植物の計測と診断. 東京: 朝倉書店.
10. 中立堅一(1998) らくらく生物統計學. 東京: 中山書店.

원 고 접 수 일: 2012년 11월 25일
 심 사 일: 2012년 12월 6일(1차)
 2012년 12월 13일(2차)
 계 재 확 정 일: 2012년 12월 19일
 3인익명 심사필