

## 한국 남부지방 난온대성 상록활엽수의 동해피해\* - 전라남도 광양시 중마동의 후박나무를 중심으로 -

이기원<sup>1)</sup> · 김도균<sup>2)</sup>

순천대학교 대학원 조경학과<sup>1)</sup>, 순천대학교 조경학과<sup>2)</sup>

## Freezing Injury of Evergreen Broad-Leaved Trees in Warm-Temperature in the Southern Region in Korea\*

-A Case of *Machilus Thunbergii* Siebold & Zucc. on the Jungma-dong,  
Gwangyang-city, Jeollanam Province-

Lee, Ki-Won<sup>1)</sup> · Kim, Do-Gyun<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Suncheon National University.

<sup>2)</sup> Dept. of Landscape Architecture, College of Life Science and Natural Resources,  
Suncheon National University.

### ABSTRACT

This study was carried out to clarify the climatic factors of the freezing injury for the judgement on the adaptation areas of evergreen broad-leaved trees. We surveyed and analyzed the climatic factors of the freezing injury to *Machilus thunbergii* Siebold & Zucc. on the streets with the analyzation of planting grounds, soil conditions and the surrounding buildings. This study showed that only the minimum air temperature factor out of the other climate elements, which were the annual precipitation; the average annual temperature; the average monthly temperature of January; the average monthly minimum temperature of January; the average temperature of the coldest month; the warmth index and the coldness index, was matched up with the previous theories and reports on the freezing damages on the evergreen broad leaved trees and *Machilus thunbergii* Siebold & Zucc. The freezing injury of

\* 본 연구는 ‘이기원 · 김도균(2012) 광양시 후박나무 가로수 생장특성. 한국환경생태학회 학술논문집 22(1): 110-114’의 학술발표내용을 수정 또는 보완 한 것임.

**First author** : Lee, Ki-Won, Dept. of Landscape Architecture, Suncheon National University, Korea,  
Tel : +82-61-750-3870, E-mail : wolfkiwon@naver.com

**Corresponding author** : Kim, Do-Gyun, Dept. of Landscape Architecture, College of Life Science and Natural Resource,  
Suncheon National University, Korea,  
Tel : +82-61-750-3871, E-mail : doaha@sunchon.ac.kr

**Received** : 26 December, 2016. **Revised** : 26 February, 2017. **Accepted** : 21 February, 2017.

*Machilus thunbergii* Siebold & Zucc was occurred when the mean minimum temperature of the coldest month(TMC) in winter season fell down below  $-4.1^{\circ}\text{C}$  and the temperature fell down below  $-9.2^{\circ}\text{C}$ . The freezing damage on *Machilus thunbergii* Siebold & Zucc surrounded by high buildings were less than those surrounded by low buildings or at non buildings.

Key Words : *Microclimate, Extreme temperature, Warmth index, Coldness index, Mean minimum temperature of the coldest month*

## I 서 론

조경식재에 있어서 수종 선정의 기본은 식재 대상지역의 기후환경에 적응 가능한 수종을 선정하는(Oh and Kim, 2006) 것이다. 최근에는 식재 지역의 기후에 부적응할 것 같은 수목도 식재 기술의 발달과 수목 유지관리 능력에 의하여 충분히 생장 가능하게 할 수 있다는 주장에 따라 대단위로 식재하고 있다. 그 대표적인 것은 남부지방에 난온대성 상록활엽수의 식재이다.

온대성 상록활엽수는 사계절 푸른 잎을 가진 나무로 유용한 것이 많아 우리나라 사람들은 관상, 조경, 식용, 약품, 관광자원, 목재생산 등으로 선호도가 높다(Oh and Kim, 2006). 이러한 특성으로 남부지방에서는 지역의 정체성이 있고 희귀한 식생경관을 조성하기 위하여 1970년대 후반부터 정원, 공원, 도시녹지, 가로수, 방풍림, 방화수, 완충림, 조림 등에 대규모적으로 식재하고 있으나 식재 이후 겨울철 불규칙적인 저온 발생으로 동해피해가(HO, 2011; Kim and Park, 2015) 반복적으로 속출하고 있다. 난온대성 상록활엽수의 생육에 밀접한 조건은 기온(Ha and Lee, 1993)으로, 연평균 기온, 연평균 최저기온, 한랭지수, 연평균 강수량 등 기온과 강수량의 요인과 매우 밀접한 관계가(Kira, 1976) 있다. 그동안 남부지방에서 난온대성 상록활엽수가 식재 이후 겨울철에 불규칙적으로 발생하는 저온에 의해 늦겨울과 이른 봄철에 동해피해로 생장 불량 또는 고사하는 것으로 관찰

되어 왔다.

이처럼 겨울철에 발생하는 저온에 의하여 난온대성 상록활엽수가 동해 피해를 받아 생장이 불량하거나 고사하게 되면 대부분이 기상이변 또는 천재지변 등으로 간주하고, 또 다시 상록활엽수를 대량으로 식재하여 동해피해를 받는 악순환이 되풀이 되고 있다. 상록활엽수가 식재 이후 대단위로 생장이 불량하거나 고사하게 되면 녹지의 기능을 다하지 못하고, 오히려 가로경관을 황량하게 할 뿐만 아니라 식재에 관련된 관청, 실무자, 기업, 재배농가에서는 물질 및 정신적 피해가 크다. 겨울철 저온에 의한 상록활엽수 동해피해를 최소화하기 위해서는 동해피해 발생 현상들을 제대로 파악해야 한다. 상록활엽수의 동해 피해 현상을 이해하기 위해서는 구체적인 자료들이 필요하지만 기존의 자료들은 대부분 경험적인 것들을 적용하고 있고, 조사된 기상 및 기후자료들이 식재지에 일치하지 않기 때문에 현장에서는 오히려 혼란을 초래하는 사례도 많으므로 보다 정확히 파악할 수 있는 연구가 필요하다.

난온대성 상록활엽수의 분포 또는 생장에 영향을 미치는 기온인자에 대한 기존의 연구는 Kira(1976)는 연평균강수량; Kira(1976), Seo(1997), Oh and Kim(1997), Yu and Kang(1999), Kim(1987)과 Yang and Shim(2007)은 연평균기온; Koo *et al.*(2001)과 Lee(2008)은 1월평균기온; Koo *et al.*(2001)은 1월평균최저기온; Ha and Lee(1993)는 최한월일평균최저기온; Ha and

Lee(1993)는 최한월일평균최저기온; Kira(1945), Yim(1977)과 Yang(2001)은 온량지수; Kira(1976), Yim(1970), Cha(1979, Yang and Kim(1972), Ha and Lee(1993)와 Lee(2008)는 한랭지수라고 하였다. 후박나무의 생장 범위에 대해서는 Seo(1997)는 극한기온, Yang and Shim(2007)은 온량지수가 영향을 미친다고 하였다. Kong(2005)는 식물의 지리적 분포한계는 평균기온보다는 극한기온이 결정적일 수 있고, 특히 난대성 상록활엽수에게는 겨울철 최저기온이 중요하다고 하였다. 이와 같은 기존의 연구들은 상록활엽수 생장에 어떤 변수와 어떤 값이 결정적으로 영향을 미치는가에 대하여 연구자별로 다르다. 그 원인은 대부분의 연구 자료가 식생 분포지와 기후측정 장소의 거리에 따른 오차가 심하고, 기존 관측자료 획득의 기간이 짧으며, 관측소가 공간적으로 비균질하게 분포한(Park *et al.*, 2013) 기후자료를 분석하여 지역 및 지형 등의 미기상 특성 등의 다양한 차이를 반영하지 못하고(Kang *et al.*, 2013) 있기 때문이다.

최근에도 상록활엽수가 기후요인에 의하여 대단위로 동해피해를 받아 생장이 불량하거나 고사되고 있음에도 불구하고 여러 행정기관에서는 정책적으로 상록활엽수의 식재 범위를 넓히고 있고, 상록활엽수 식재 가능 범위에 대한 이견이 많아 조경식재 및 가로수식재 수종선정에 문제가 되고 있다. 반면, 상록활엽수의 동해피해에 대한 연구는 부족한 실정으로(Jung *et al.*, 2014) 어떤 기온인자가 상록활엽수 생장에 결정적인 영향을 미치는가에 대한 연구가 시급한 실정이다.

따라서 본 연구는 상록활엽수 적응 가능한 지역을 판단하기 위한 기온과 동해에 대한 기초연구로서 전남 광양시에 가로수로 식재된 후박나무에 겨울철 동해 피해를 발생시키는 기상인자와 식재지반유형, 토양환경, 주변의 건물 등이 동해피해에 미치는 영향을 파악하는데 그 목적이 있다. 본 연구를 통하여 후박나무 생장에 영

향을 미치는 환경요인을 규명할 수 있고, 상록활엽수 가로수식재, 조경식재, 산림녹화, 생태복원 등에서 적지적수의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 조사지 개황

조사지 대상지는 지리적으로 한반도 남해중부에 인접하여 있고, 북위 34° 56'~26°73', 동경 127°41'~45° 27'이며, 행정구역상으로 전라남도 광양시 중마동 일원이다. 조사지 주변의 지형은 반경 15km 이내에 산, 반도, 섬으로 위요되어 있으며, 북쪽에는 가야산(해발고 497m)이 있고, 동쪽은 경남 남해군이 있으며, 서쪽과 남쪽은 여수반도가 둘러싸여 있다. 조사지는 광양만(灣)만에 인접하여 있으며, 3km 주변에는 가야산 줄기와 금호도 및 광양제철소로 위요되어 있다. 해발고는 5~140m 이내이며, 북쪽은 높고, 남쪽은 낮다(Figure 1).

조사 대상지는 중마동은 1980년 초부터 광양제철소와 연관단지, 광양항, 초남공업단지 등의 대규모 공업단지가 조성됨에 따라 가야산 하부능선과 광양만 갯벌에 1990년대 초부터 신도시 택지가 조성되었고, 도시건물은 1990년 말부터 건축되기 시작하였으며, 2000년대 초에 저층 또는 14층~20층 규모의 아파트가 대량으로 건설되었다. 조사 대상지의 식재지반은 절토구역, 성토구역 그리고 원래 바다매립구역으로 구분된다. 식재지반의 구조는 절토구역은 가야산 자락의 낮은 구릉지를 깎은 심토 지반이고, 성토구역은 낮은 구릉지에 절토한 흙으로 2m 이상 돋은 지반이며, 바다매립구역은 바다 갯벌 위에 절토지에서 발생한 산의 심토를 매립한 지반이다. 후박나무 가로수 식재 도로는 왕복 4차선이다.

조사 대상지는 위와 같이 사면이 산으로 둘러싸여 따뜻한 미지형이 형성되어 있고, 연평균강수량이 1,382.4mm로 다우지역이며, 연평균기온



Figure 1. Study sites

은 13.7°C(Kim, 2006)로 겨울철 쓰시마난류와 황해난류(Kim, 1987)가 따뜻하기 때문에 상록 활엽수가 적응할 것이라는 주장에 의하여 도시 녹지나 가로수로 상록활엽수를 많이 식재하고 있다. 그러나 상록활엽수는 식재 이후 2~5년마다 불규칙적으로 겨울철에 동해피해가 발생되어 도시녹지관리에 어려움을 겪고 있다.

## 2. 연구내용

본 연구는 전남 광양시 중마동 일원에 가로수에 식재한 후박나무의 생육환경이 성장상태에 미치는 영향에 대하여 조사·분석을 하였다. 생육환경 조사는 기상환경, 식재기반유형, 건물높이, 토양환경을 조사 하였다. 후박나무 성장특성 조사는 생존율, 동해피해발생시기, 동해피해증상, 수고생장, 수관생장, 생존율, 수목 활력도를 조사 하였으며, 수목 피해도는 잎의 변색, 낙엽정도, 신초생장, 수관감소, 소지상태를 조사하였다.

## 3. 연구방법

### 1) 조사지 구획

조사지 구획은 가로수 식재지반의 유형에 따라 절토구역, 성토구역, 바다매립구역으로 구분하였다. 절토지반은 I구역과 II구역이고, 성토지반은 III구역과 IV구역이며, 바다매립지반은 V구역으로 구획하였다(Figure 2). 절토지반 및 성토지반은 1989년에 조성 되었고, 바다매립지반은 1993년에 조성되었다. I구역은 해발고 31~35m로 남북방향으로 주변에 건물이 거의 없다. II구역은 해발고 35~50m로 동서방향으로 1~3층 건물이 산재하여 있다. III구역은 해발고 50~55m로 14~20층 고층 아파트 및 상가가 밀집되어 있다. IV구역은 해발고 10~15m로 주변의 건축물들은 1~4층 규모의 건축물들이 산재하여 있다. V구역은 개펄에 객토를 1.5m 이상 성토한 곳으로 해발고 5~10m이며, 1~5층 건물들이 산재하여 있다.

### 2) 조사수목

조사대상 수목은 가로수로 식재된 후박나무 (*Machilus thunbergii* Siebold & Zucc.)로 하였다. 조사대상 후박나무는 제주도에서 1996년부터 2003년 사이에 수고 H3.5.0m x R8cm 400주, H4.0m x R10cm를 가로수로 반입하여 도시 가로 옆의 보도블록 가장자리에 식재간격 6m로 총 3.5km 식재되었던 것이다. 조사대상 수목은 각 구역에서 도로 좌우양측에서 각 30주씩 총 150주를 선발하였고, 생존율 조사는 300주를 대상으로 하였다.

### 3) 생육환경 조사

기상 및 기후요인조사는 연평균강수량, 연평균 기온, 1월평균기온, 1월최저평균기온, 온량지수, 한랭지수를 조사·분석하였다. 기상 및 기후자료 조사는 현지 내에 기상 및 기후측정 시설이 없기 때문에 대상지로부터 가장 근접하여 있는 여수기상대(Figure 1)의 1992년부터 2011년까지 20년간 수집된 자료(Korean Meteorological Administration, 2011)를 이용하였다. 여수기상대는 조사지로부터 남측으로 약 23km 떨어져 있다. 온량지수(Warmth Index; WI)는 월평균기온이 5°C 이상인 달에 대해 월평균기온과 5°C의 차를 1년 동안 합한 값으로 계산하였다. 한랭지수(Coldness Index; CI)는 식물 성장에 요구되는 생리적 최적기온인 5°C 이하인 월평균기온에서 5°C를 뺀 값의 총계로  $CI = -\sum(5-t)$ , ( $t$ =월평균 기온)로 계산하였다. 최하월최저기온(Mean minimum temperature of the coldest month; TMC)은 월평균기온이 가장 낮은 달의 최저기온을 조사하였다.

본 연구에서는 토양의 물리·화학적 특성을 조사하기 위해 함수율, 토양산도(pH), 전기전도도( $EC_{1:5}$ ), 치환성 칼륨( $K^+$ ), 치환성칼슘( $Ca^{++}$ ), 치환성 마그네슘( $Mg^{++}$ ), 유기물함량(Organic Matter; O.M)을 분석하였다. 토양시료 채취는 2012년 2월에 각 식재구역에서 토양깊이에 따른 토양상태를 파악하기 위하여 수직적으로는 5~10cm, 20~30cm,

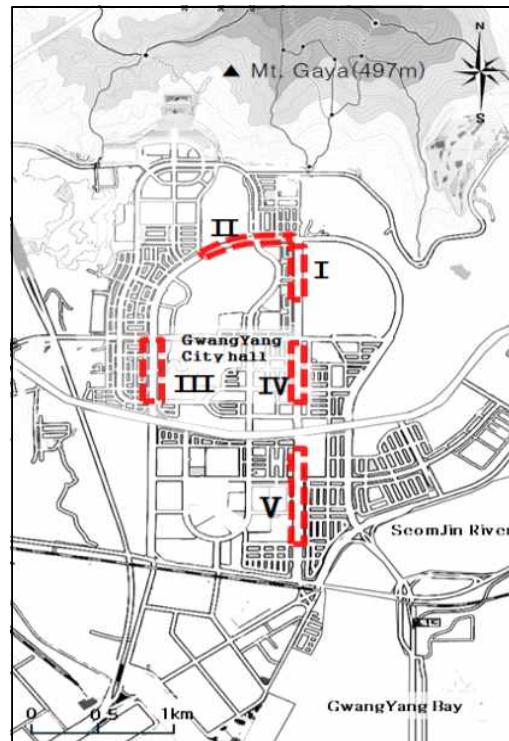


Figure 2. Sites of research area

40~50cm 3층(Oh and Kim, 2006)으로 하고, 수평적으로 식재구역별로 6곳에서 채취한 것을 골고루 혼합하여 토양성분분석 시료로 사용하였다. 토양시료의 성분분석은 광양시 농업기술센터에 의뢰하여 분석하였다. 연구대상지 식재지반의 평가는 The Korean Institute of Landscape Architecture(1999) 조경설계기준에 따라 상급, 중급, 하급, 불량 4등급으로 하였다.

주변건물이 후박나무 성장에 어떻게 영향을 미치는가를 파악하기 위하여 주변 건물높이를 조사·분석 하였다. 건물높이는 건물이 없는 곳은 무건축지, 건물이 1~5층은 저층건물, 건물 14~20층은 고층건물로 구분하여 조사하였다. 수목 생존율 파악은 조사일 현재 생존해 있는 개체수를 파악하여 백분율로 환산하였다. 수고 생장은 수고 측정봉(Measuring Rod)를 이용하여 도장지는 제외하고, 지상에서 수관정상까지 수직거리를 측정하였다. 수관생장은 직경테이

**Table 1.** Survey criteria of freezing injury of *Machilus thunbergii* Siebold & Zucc

Survey Items	Criteria of Tree Damage
Discoloration of leaves ( $x_1$ )	according to degree of discoloration of tree leaves: normalness(0: 0~25%), slightness(1: 26~50%), seriousness(2: 51~75%), extreme(3: 76~100%)
Shoot growth ( $x_2$ )	according to degree of shoot growth damage on the very top of stem in this year: normalness(0: 0~25%), slightness(1: 26~50%), seriousness(2: 51~75%), extreme(3: 76~100%)
Twig growth ( $x_3$ )	according to degree of twig growth damage: normalness(0: 0~25%), slightness(2: 26~50%), seriousness(3: 51~75%), extreme(4: 76~100%)
Crown decrease ( $x_4$ )	according to degree of crown decrease: normalness(0: 0~25%), slightness(2: 26~50%), seriousness(3: 51~75%), extreme(4: 76~100%)

※ A partially modify the tree injury index(Park *et al.*(1983; 1993); Lee *et al.*(1990))

프(Diameter Tape)를 이용하여 주간으로 부터 동, 서, 남, 북 방향으로 길이를 측정하여 평균값으로 조사·분석 하였다.

#### 4) 동해피해조사

후박나무 동해피해 발생 시기 분석은 식재 이후 동해가 발생한 식재 이후 5년 이후인 2000년부터 2012년까지 12년간으로 하였다. 동해가 처음 발생한 2000년에는 식재 이후 5년이 지나서 이식 충격 효과가 배제되어 수목의 동해를 파악하는데 문제가 되지 않을 것으로 판단되었다. 동해피해발생 시기는 연구자, 식재담당자, 전문가의 기록과 보도 자료들을 조사하였다. 후박나무 동해피해조사는 Park *et al.*(1983; 1993)과 Lee *et al.*(1990)의 수목피해도지수를 부분 수정하여 잎의 변색, 신초생장, 수관감소, 소지상태를 조사하였다(Table 1).

후박나무 성장상태와 동해피해 상태 조사를 위한 예비조사는 2010년 11월 5일부터 2011년 4월 24일과 2011년 9월 10일부터 10월 17일까지 2회 하였다. 본 조사에서 수목 생존율, 수고생장, 수관생장, 활력도는 11월 2일 조사 하였으며, 동해피해 증상 파악을 위한 조사는 동해피해가 발생하기 이전인 2011년도 11월 2일 늦가을과 저온피해가 끝나는 이듬해 이른 봄인 2012년 2월 29일 조사하였다.

#### 5) 통계분석

식재기반유형, 건물높이와 수고생장, 수관생장, 생존율, 수목피해도를 분석하기 위하여 일원변량분석(Analysis of variance; ANOVA)과 Scheffe에 의한 사후분석을 하였다. 본 연구의 수집된 자료의 분석은 통계프로그램인 SPSS win 18 프로그램을 사용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 토양환경

식재지반별로 토양성질의 차이가 있는지를 통계학적으로 ANOVA 분석을 하였으나 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 2). 조사대상지의 후박나무 식재지반유형별 토양함수율은 평균  $32.0 \pm 8.31\%$ 이었고, 성토지반>절토지반>바다매립지반 순으로 각각 34.3%, 33.5%, 25.0%이었다. 토양반응은 평균  $pH_{1.5} 7.3 \pm 0.3$ 으로 최대  $pH_{1.5} 7.9$ , 최소  $pH_{1.5} 6.8$ 이었으며, 바다매립지반>절토지반>성토지반 순으로 각각  $pH_{1.5} 7.5$ ,  $pH_{1.5} 7.4$ ,  $pH_{1.5} 7.0$ 이었다. 토양염분도를 나타내는 전기전도도(electronic conductivity; EC)는 대상지내에서 평균  $EC_{1.5} 0.35 \pm 0.10$  dS/m, 최대  $EC_{1.5} 0.52$  dS/m, 최소  $EC_{1.5} 0.21$  dS/m로 바다매립지반>절토지반>성토지반 순으로 각각  $EC_{1.5} 0.44$ ,  $0.34$ ,  $0.29$ 이었다.

**Table 2.** Characteristic of soil condition at planting area of *Machilus thunbergii* Siebold & Zucc. on the Jungma-dong, Gwangyang-si, in Jeonnam Province, Korea. - 아래의 Average와 Fill-up사이의 수직 두 줄 선을 Division-Average 사이로 옮김

Division	Average	Fill-Up Ground	Cuted Ground	Reclaimed Land
Soil Water Content(%)	32.0±8.3	34.3	33.5	25.0
pH1:5	7.3±0.3	7.0	7.4	7.5
EC1:5(dS/m)	0.35±0.10	0.29	0.34	0.44
K <sup>+</sup> (cmol+/kg)	0.24±0.05	0.24	0.24	0.25
Ca <sup>++</sup> (cmol+/kg)	6.60±1.22	6.82	6.51	6.65
Mg <sup>++</sup> (cmol+/kg)	0.64±0.15	0.73	0.61	0.67
Organic Matter(%)	8.9±1.3	8.1	9.5	7.9

치환성칼륨(K<sup>+</sup>)은 평균 0.24±0.05 cmol<sup>+</sup>/kg이었고, 최대 0.32 cmol<sup>+</sup>/kg, 최소 0.15 cmol<sup>+</sup>/kg이었다. 치환성칼슘(Ca<sup>++</sup>)은 평균 6.60±1.22 cmol<sup>+</sup>/kg이었고, 최대 9.29 cmol<sup>+</sup>/kg, 최소 4.13 cmol<sup>+</sup>/kg이었다. 치환성마그네슘(Mg<sup>++</sup>)은 평균 0.64±0.15 cmol<sup>+</sup>/kg이었고, 최대 1.01 cmol<sup>+</sup>/kg, 최소 0.38 cmol<sup>+</sup>/kg이었다. 토양유기물(O.M.)은 평균 8.9±1.3%이었고, 최대 9.8%, 최소 0.9%이었다.

조사대상지 내 후박나무 식재기반유형별 토양환경이 차이가 있는지 파악하기 위하여 분산분석(Analysis of variance; ANOVA)을 수행한 결과에서 전기전도도(EC<sub>1:5</sub>), 함수율, 토양산도(pH), 유기물, 치환성양이온(K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>) 등은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

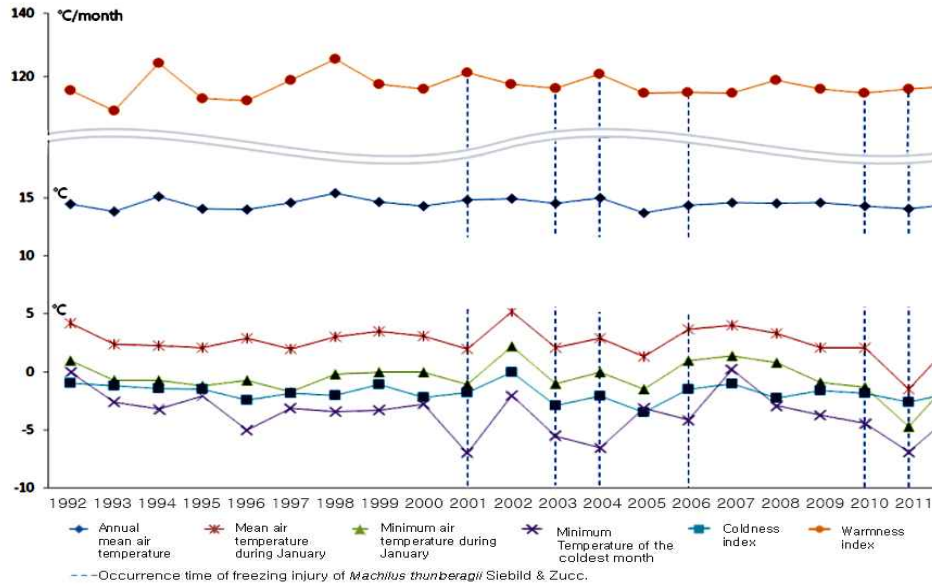
조사 대상지의 토양성질의 적합성은 조경식재 토양평가기준(The Korean Institute of Landscape Architecture, 1999)에서 모두 중급 이상으로 나타나 모든 식재기반유형에서 후박나무 생장 저해에 영향을 미칠 정도의 토양은 아닌 것으로 평가되었다. 조사대상지의 식재기반 유형별로 구분하여 토양환경을 조사.분석한 결과 통계학적으로 식재기반별로는 유의한 차이가 나

지 않은 것은 택지지반조성 과정에 대상 부지에서 절토된 토양을 성토와 바다매립재로 사용하여 토양이 유사하기 때문일 것이다. 바다매립지반은 원래는 개펄이었지만 택지개발 과정에서 1.5m 이상 잡석과 마사토 등으로 성토하여 토양의 차이는 크지 않은 것으로 추정되었다. 바다매립지반이 다른 지반보다 EC가 다소 높으나 조경수목에 영향을 크게 미치는 정도는 아니며, 특히, 후박나무는 내염성이 강하기 때문에 이 정도의 토양염분이 수목 생장에 크게 영향을 미치는 것으로 아닐 것으로 생각되었다. 따라서 식재기반 유형별 토양환경이 후박나무 생장에 크게 영향을 미치지 않았을 것이라고 판단되었다.

## 2. 기후 · 기상과 후박나무 동해 발생

### 1) 동해피해 발생 시기

후박나무 동해피해 발생 시기 조사는 식재 이후 이식충격 효과를 배제하기 위하여 식재 이후 5년 이후인 2000년부터 2012년 봄까지 조사하였다. 그 결과 후박나무 동해피해는 식재 이후 2001년, 2003년, 2004년, 2006년, 2010년, 2011년 총 6회로 나타났다(Figure 3). 동해피해의 시기는 주로 겨울철인 12월~2월 중순경에 나타났으며, 시계열적 그래프에서 후박나무의 동해피해의 발생은 겨울철에 일시적 최저기온이 발생할 때였다. 기존의 이론이나 연구들은 상록활엽수나 후박나무의 분포 또는 생장을 결정 기온요인이 강수량, 연평균기온, 1월평균기온, 1월최저평균기온, 최한월최저기온, 온량지수, 한랭지수 등이라고 하였다. 그러나 본 조사지에서 후박나무 동해피해에 이들 기존의 최한월최저기온을 제외한 기온요인들과는 일치하지 않았고, 기온이 -6.5°C에서도 동해가 발생하였지만 그보다 더 낮은 온도에서도 동해가 발생하지 않기도 하지만 -9.2°C 이하일 경우에는 동해피해가 발생하였다.



**Figure 3.** Annual mean air temperature, Mean air temperature during January, Minimum air temperature during January, Minimum temperature of coldest month, Coldness index and Warmness index at Yeosu Meteorological Station in Jeonnam Province, Korea.

## 2) 강수량

조사지의 연평균 강수량은 1992년부터 2011년까지 20년간 기상자료를 분석한 결과 연강수량은 평균 1,437.7mm(Figure 4)이었다. 난온대성 상록활엽수는 연평균강수량이 900~1,500mm 정도의 범위에서 분포(Kira, 1976)한다는 이론에 비하여 조사대상지의 연강수량은 후박나무 생장에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 후박나무 식재 이후 생장에 지장을 초래할 만한 연평균강수량이 1,000mm 이하로 가뭄이 발생한 시기는 2001년과 2008년 두 차례 있었으나 가뭄 발생시에는 관수를 하였고, 가뭄 발생이 여름철 고온기이었기 때문에 동해가 발생하지는 않았다.

## 3) 기온

조사 대상지의 1992년부터 2011년까지 20년간 기상자료를 분석한 결과 연평균 기온은 14.5°C

이었다(Figure 3).

대상지에서 동해피해 발생 총 6회 중에서 연평균기온이 가장 높은 해는 2004년 15°C이었고, 가장 낮은 해는 2011년 14°C이었다. 1월평균기온은 2.6°C이었고, 1월최저평균기온은 -0.5°C이었다. 조사대상지에서 6번의 동해가 발생한 것 중에서 최한월최저기온이 가장 높은 것은 2006년에 -4.1°C이었고, 가장 낮은 기온은 -7°C이었다. 온량지수(Warmth Index; WI)는 평균 117°C·month이었고, 한랭지수(coldness index; CI)는 평균 -1.78°C/month이었다(Figure 4).

본 조사지 대상지 연평균기온은 14.5°C로 기존의 상록활엽수의 분포 가능 연평균기온 11~15°C(Kira, 1976), 13.9°C(Yang and Shim, 2007), 12.9°C(Yu and Kang, 1999), 12.2°C(Seo, 1977), 10°C(Oh and Kim, 1997) 보다 높은 시기에도 동해피해가 6차례 발생되어 대부분 일치하지 않았다. 이것으로 보아 후박나무의 생장에 영향



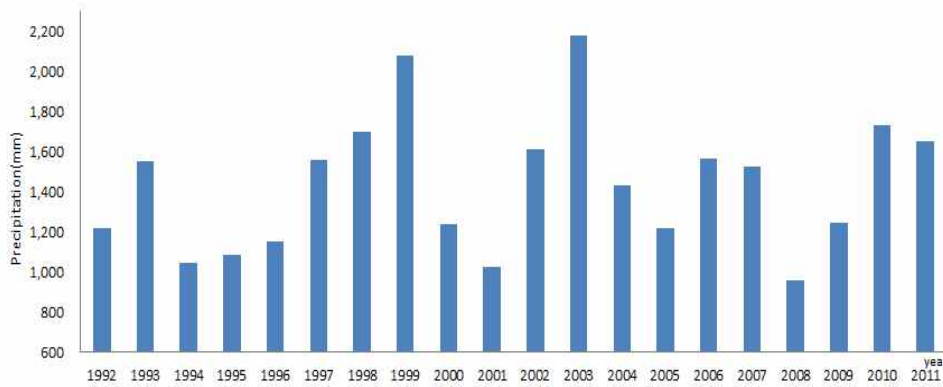


Figure 4. Annual total precipitation at Yeosu Meteorological Station in Jeonnam Province, Korea.

을 미치는 연평균 기온은  $14.5^{\circ}\text{C}$  보다 더 높을 것이며, 본 대상지에서는 기존의 연평균기온으로 후박나무의 동해 발생을 예측하기는 곤란한 것으로 생각되었다.

Koo *et al.*(2001)은 상록활엽수 분포에 중요한 인자로서 분포가능 1월평균기온은  $-4^{\circ}\text{C}$ 이라고 하였다. 그러나 조사대상지의 후박나무 동해 피해는 1월평균기온  $-4^{\circ}\text{C}$  보다  $6.6^{\circ}\text{C}$  더 높은 1월평균기온  $2.6^{\circ}\text{C}$ 에서도 6차례 발생하였다. 그러므로 본 조사지의 후박나무의 동해피해는 Koo *et al.*(2001)가 주장한 상록활엽수 분포를 결정하는 1월평균기온  $-4^{\circ}\text{C}$ 의 기준으로 판단하기는 곤란하다고 생각되었다. 대상지에서 동해피해 발생 년도는 총 6회 중에서 1월최저평균기온이 가장 높은 해는 2006년  $1^{\circ}\text{C}$ 이었고, 낮은 해는 2011년  $-4.7^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. Koo *et al.* (2001)은 상록활엽수 분포를 결정하는 중요한 인자는 1월최저평균기온  $-9^{\circ}\text{C}$ 라고 하였다. 그러나 조사대상지의 1월최저평균기온은  $-9^{\circ}\text{C}$  보다  $8.5^{\circ}\text{C}$  더 높았지만 동해 피해가 발생하였다. 따라서 상록활엽수 분포 기준인 1월최저평균기온  $-9^{\circ}\text{C}$ 로 본 조사지의 후박나무 동해피해를 판단하기는 곤란하였고, 후박나무의 동해피해는 1월최저평균기온이  $1^{\circ}\text{C}$  보다 더 높을 것으로 보인다.

최한월최저기온이 가장 높은 것은 2006년에  $-4.1^{\circ}\text{C}$ 이었고, 가장 낮은 기온은  $-7^{\circ}\text{C}$ 이었다. 조

사대상지 후박나무 동해피해가 최한월최저기온  $-4.1^{\circ}\text{C}$  이하에서도 발생하였다. 상록활엽수 분포에 중요한 요인인 최한월최저기온  $-5.95^{\circ}\text{C}$  (Yun *et al.*, 2011b)와는 일치하지 않았고, 최한월최저기온  $-3.3^{\circ}\text{C}$  이상인 지역에서 후박나무의 출현확률이 높다(Yun *et al.*, 2011a)는 것과 거의 일치하였다. Yun *et al.*(2011a)은 상록활엽수 분포가 최한월최저기온(TMC)  $-5.95^{\circ}\text{C}$  이상으로 강수량  $826.5\text{mm}$  이상인 기후조건에서 높은 분포확률을 나타낸다고 하였다. 조사대상지는 최한월최저기온이  $-4.1^{\circ}\text{C}$ 이고, 연평균강수량이  $1,437.7\text{mm}$ 로 Yun *et al.*(2011a)이 주장하는 상록활엽수 분포 기온보다 높고 강수량이 많았지만 동해피해가 발생하였다.

본 조사지에서 6번의 동해피해가 발생하였던 것 중 여수기상대 원시자료에 의하면 동해가 발생하였던 해의 기온은 2001년, 2003년, 2004년, 2006년, 2010년, 2011년에 각각  $-7.2^{\circ}\text{C}$ ,  $-9.9^{\circ}\text{C}$ ,  $-9.2^{\circ}\text{C}$ ,  $-6.5^{\circ}\text{C}$ ,  $-10.4^{\circ}\text{C}$  이었고, 동해가 발생하지 않은 해의 최저기온은 2002년, 2005년, 2007년, 2008년, 2009년에 각각  $-4.1^{\circ}\text{C}$ ,  $-7.9^{\circ}\text{C}$ ,  $-6.4^{\circ}\text{C}$ ,  $-7.0^{\circ}\text{C}$ ,  $-7.4^{\circ}\text{C}$  이었다. 조사대상지의 후박나무 동해피해 발생은 최저 기온이  $-6.5^{\circ}\text{C}$  정도 부터 발생하였으나 이보다 더 낮은  $-7.0^{\circ}\text{C} \sim -7.9^{\circ}\text{C}$ 에서도 동해피해가 발생되지 않기도 하였다. 그렇지만 조사기간 동안 기온이  $-9.2^{\circ}\text{C}$  이하일

경우에는 동해피해가 대부분 발생하였다. 이것으로 보아 후박나무의 생육 생육한계 극한기온이  $-16^{\circ}\text{C}$ (Seo, 1997)라고 것 보다는 더 높은  $-6.5^{\circ}\text{C} \sim -9.2^{\circ}\text{C}$ 에서도 동해피해가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 Kong(2005)이 주장한 “식물의 지리적 분포한계는 평균기온보다는 극한기온이 결정적일 수 있고, 특히 난대성 상록활엽수에게는 겨울철 최저기온이 중요하다”는 것과 같다.

상록성 수목에 대한 겨울철 동해피해는 직접적인 온도의 영향에 의한 동해와 수분흡수의 부족 및 증산량의 과다로 인한 겨울철 건조(Winter desiccation)가 주요 원인으로 작용한다(Kozłowski *et al.*, 1991; Jung *et al.*, 2014 re-cited). 늦겨울 또는 초봄의 동해피해는 너무 이른 유화(Dehardening)로 인해 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; Jung *et al.*, 2014 re-cited). 이처럼 본 조사대상지의 후박나무 동해피해가 발생하지 않은 해의 최저기온이 동해피해가 발생한 해의 최저기온 보다 더 낮은 것은 조사대상지와 기온측정 기상대가 23km 정도 떨어져 있어 강우, 강설, 바람, 해안의 기류 등의 체감온도와 현지내 토양수분, 증산량, 겨울철 건조, 일기온의 변화 등에 따른 수목 생리적 현상들이 복합적으로 영향을 미쳐서 현지의 체감온도와 다를 수 있기 때문일 것이다. 그러므로 특정 기온 요인에 의해 동해피해를 판단하기는 어려우며, 이에 대한 보다 면밀한 분석을 위해서는 현지 내에 기상 측정 장치를 통한 후속 연구가 필요하다.

본 조사 대상지의 20년간 온량지수는  $117^{\circ}\text{C}/\text{month}$ 로 후박나무군락의 분포지역의 온량지수

$103 \sim 117^{\circ}\text{C}/\text{month}$ (Yang and Shim, 2007)이라는 기존의 이론으로는 생장 가능한 범위이지만 동해피해가 발생하였다. 따라서 기존의 상록활엽수 및 후박나무 분포 온량지수로는 판단하는 것은 곤란하다고 생각 되었다.

상록활엽수 분포의 결정요인인 한랭지수  $-15^{\circ}\text{C}\cdot\text{month}$ (Yang and Kim, 1972),  $-10^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}\cdot\text{month}$ (Kira, 1976),  $-10^{\circ}\text{C}/\text{month}$ (Yim, 1970; Cha, 1979)에 비하여 대상지의 20년간 한랭지수 조사 결과  $-10^{\circ}\text{C}/\text{month}$  보다  $8.22^{\circ}\text{C}/\text{month}$  더 높았지만, 후박나무는 동해피해가 발생하였다(Figure 4). Lee(2008)은 상록활엽수 군락의 식생분포와 환경변수와의 관계에서 한랭지수와 최한월(1월)평균기온이 유의한 변수라고 하였고, Ha and Lee(1993) 여러 요소 중 상록활엽수의 생육과 관계있는 것이 최한월 기온과 한랭지수라고 하였는데 대상지 후박나무 동해에는 일치하지 않았다. 이것은 상록활엽수 수종에 따라 내한성이 달라(Lee, 2011) 분포역이 다르기(Kim, 1987) 때문일 것이다. 따라서 본 조사대상지에서 한랭지수로 후박나무 동해피해를 판단하기는 곤란한 것으로 생각되었다.

이와 같이 상록활엽수의 적응 가능 기온에 대하여 연구자별로 일치하지 않다. 본 조사대상지의 기온은 기존의 이론상으로 보면 상록활엽수 생장이 충분히 가능한 기온대라고 볼 수 있지만 본 조사기간 동안에 겨울철 저온에 의하여 후박나무의 동해피해가 6차례 발생하였다. 기존의 이론이나 보고서에 나타난 상록활엽수 생장이나 분포에 영향을 미친다는 연평균기온, 1월평균기온, 1월평균최저기온, 최한월최저기온, 한랭지수, 온량지수 등의 기온 요인 중에서 본 연구 대상지의 후박나무 동해발생에 영향을 미치는 것은 최한월최저기온과 기온이  $-9.2^{\circ}\text{C}$  이하일 때 로 판단되었다. 비록 조사대상지가 겨울철 쓰시마난류와 황해난류의 영향이 미치는(Kim, 1987) 한반도 남해 중부의 광양만에 위치하여 있고, 북쪽의 가야산과 동쪽의 남해 그리

고 서쪽과 남쪽에 여수반도로 둘러싸여 사면이 산으로 위요되어 있는 겨울철에도 따뜻한 위치에 있을지라도 불규칙적으로 발생하는 저온에 의하여 상록활엽수인 후박나무가 동해피해를 받고 있다. 따라서 본 연구 대상지 후박나무의 동해피해에 크게 영향을 미치는 것은 극한기온인 최저기온인 것으로 생각되며, 난온대상록활엽수림대와 온대림의 접이지대에 있는 미지형에 의해 미기후나 미기상이 잘 조절될 것 같아도 이 지역은 후박나무 생장에 적합한 기후대가 아닌 것으로 판단되었다.

### 3. 후박나무 동해피해

#### 1) 후박나무 동해피해의 발생

후박나무 동해발생 이전인 전년도 늦가을 2011년도 11월 초순과 4개월 이후인 이듬해 늦겨울인 2012년 2월 하순의 후박나무 성장상태를 조사·분석하였다. 겨울철 저온 발생에 의한 후박나무 동해피해가 가시적으로 나타나는 순서는 잎변색, 신초피해, 소지피해, 수관감소 순으로 나타났다. 잎의 변색은 7일에서 15일 후에 나타나고, 신초, 소지피해는 15일 이후부터 45일 이상 지난 다음에 가시적으로 나타났다. 수관의 감소는 대부분 인위적 전정에 의하여 감소되고, 자연낙지에 의한 수관의 감소는 수개월 이후에 나타난다. 후박나무가 1월이나 2월에 동해피해를 받아도 3월말이나 4월 중순까지도 잎의 색이 변하고 신초와 소지가 마르는 현상이 나타났다.

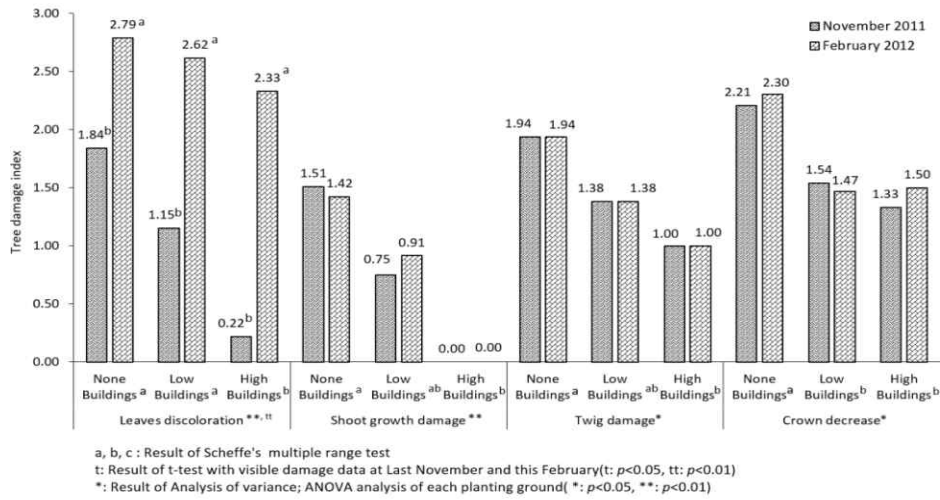
식물의 잎이 변색하는 것은 생장의 저해요인이 발생되었을 때 나타나는 것이다. 상록활엽수는 1월평균기온  $-4^{\circ}\text{C}$ , 1월평균최저기온  $-9^{\circ}\text{C}$  이하이면 동해 피해를 받는다(Koo *et al.*, 2001). 동해의 원인은 식물체의 온도가  $0^{\circ}\text{C}$  이하로 내려가면 세포막의 벽 표면에 결빙현상이 일어나며, 이 얼음은 세포 내의 수분을 빨아내어 얼게 해서 점점 커지며, 세포액은 점점 탈수가 계속되어 마침내 원형질분리가 일어나기 때문이다(Ha, 2016). 동

해발생시 후박나무가 어떻게 해서 잎이 변색되는 것은 생리적 기작에 대해서는 향후 보다 심도 있는 생리학적 실험이 필요하다.

후박나무가 동해피해가 가시적으로 줄기나 가지 보다 잎에서 먼저 변색되는 것은 주요 동해 유형은 잎 부위에서 대부분 80% 이상 피해를 입은 것으로 판단되고, 갈변하는 증상이 우선적으로 나타났으며, 줄기의 변색 현상은 차순으로 나타났다(Jung *et al.*, 2014)는 것과 유사하다. 후박나무가 동해피해를 받아 가시적으로 잎의 변색이 먼저 나타나는 것은 수목이 동해피해를 받으면 생리학적으로 먼저 잎이 변색되기(Ha, 2016) 때문이다.

동해피해에 의한 후박나무 신초와 소지의 색깔 변화가 느린 것은 생리적으로 조직 내부의 변화가 외부로 느리게 진행되기 때문이다. 후박나무의 신초, 소지 그리고 수관감소 현상이 늦가을과 늦겨울에 큰 차이가 나지 않는 것은 앞에 언급한 바와 같이 생리적으로 조직의 변화가 느리게 진행되고 가시피해도 조사 기간 동안에 뚜렷하게 나타나지 않았기 때문이다. 난대상록활엽수종의 동해피해가 일어날 경우 가장 취약한 잎에서 우선적으로 증상이 발현하고, 그 외 줄기부위의 피해, 고사현상의 순으로 피해증상이 나타나기(Jung *et al.*, 2014) 때문일 것이다. 따라서 동해피해를 가시적으로 측정하는 여러 가지 항목 중에서 가장 먼저 인지할 수 있는 것은 잎의 변색도인 것으로 판단되었다.

전년도 늦가을과 이듬해 늦겨울의 후박나무 동해 가시피해에 대하여 통계학적으로 t-test한 결과 잎의 변색은 유의수준 0.01 이내에서 차이가 있었고, 나머지 신초생장, 소지생장, 수관의 감소 피해는 차이가 없었다(Figure 5). 후박나무 동해피해의 증상이 가시적으로 발현하는 순서는 맨 처음 잎의 변색 현상이 나타나고, 그 다음으로 신초생장피해와 소지생장피해가 나타나며, 수고·수관폭의 감소 순이었다. 잎의 변색, 신초생장피해와 소지생장의 피해는 수목 생리



**Figure 5.** Frost damage index of *Machilus thunbergii* Siebold & Zucc of building heights as the street trees on Jungma-dong in Gangyang city, Jeonnam Province, Korea.

적으로 변하는 것이었지만 수고와 수관폭의 감소는 동해피해 부분을 인위적으로 정지 또는 전정을 하였기 때문이다. 겨울동안 잎의 변색도는 늦가을과 이듬해 늦겨울까지 통계학적으로 유의한 차이가 있고, 늦가을에서 이듬해 늦겨울까지 약 4개월 동안에 1.6배 더 증가하였다는 것은 겨울철 저온에 의한 스트레스와 동해피해가 심하였다는 것을 의미한다.

후박나무의 잎변색도는 2011년 11월 초순 늦가을에는 평균 1.52이었고, 2012년 2월 하순 늦겨울에는 평균 2.49로 겨울 시작인 늦가을과 이듬해 늦겨울 잎 변색도의 차이는 평균 0.97로 약 1.6배 정도 더 변색하였다. 겨울철 후박나무 잎의 변색도가 2.49 정도라면 후박나무 잎 표면 고유의 왁스층이 심하게 훼손된 것으로 겨울철 동해피해에 의하여 잎이 변색되어 생리적으로 광합성 작용이 둔화되는 것을 뜻하는 것이다. 이것이 심하면 광합성 작용이 정지되어 위조현상이 나타나며, 관상 가치가 매우 낮아진다. 도시 가로수가 심미적으로 아름다움을 느낄 수 있기 위해서는 잎의 색상이나 질감이 고와야 하는데 겨울철 동해피해를 받아 색깔이 퇴색하고 질감이 거칠어지면 시민들의 정서에도 불리한 영

향을 미칠 수 있기 때문에 잎의 변색이 되지 않도록 하는 것이 중요하다.

조사 대상지의 후박나무는 2011년 1월에 기온이  $-10.3^{\circ}\text{C}$ 로 하강하였을 때 동해피해에 의하여 잎이 변색되었을 것으로 추정되었다. 후박나무의 동해 피해 잎의 변색은 초기에는 붉은 적색으로 변하다가 3월 중순경에는 누렇게 변하다가 4월경에는 옅은 황백색으로 변하였다. 조사지 저온 발생 이전인 늦가을 후박나무 잎의 변색이 평균 1.52이었다는 것은 잎의 변색이 26~50% 정도 변색한 것을 의미한다. 후박나무 잎 고유의 색상이 짙은 녹색임에 비하여 봄, 여름, 가을에도 잎의 변색도가 크다는 것을 알 수 있다.

조사지 후박나무 신초의 동해피해도는 늦가을에는 1.22이었고 이듬해 늦겨울에는 신초생장 피해는 평균 1.26이었으며, 소지생장의 동해피해는 평균 1.79~1.80, 수관감소 피해는 평균 1.91~1.92이었다. 저온 발생에 의한 후박나무 동해피해가 가시적으로 신초 1.22~1.26이고, 소지 1.79~1.80, 수관감소 1.91~1.92 이라는 것은 평상시에도 20~40% 정도로 심하게 스트레스를 받는 정도를 의미한다. 후박나무의 잎 변색, 신초생장 피해, 소지생장 피해, 수관의 감

소 지수가 크고, 여러 해 동안 겨울철에 반복적으로 동해피해 받아 수형이 기형화 되어 식생경관이 불량하여 관상 가치가 없고, 가로수 기능을 발휘하기 곤란하게 된다.

후박나무의 소지생장은 작년가지의 줄기마름 형태로 부분적인 수관 동해형으로 소지생장의 피해는 남쪽이 북쪽 보다 많이 나타났다. 저온 발생에 의하여 동해피해가 수목의 북쪽 보다는 남쪽에 더 많이 발생하는 것은 수목의 동해피해가 따뜻한 양지에 있는 수목 그리고 북쪽보다는 남쪽에서 더 많이 피해가 나타난다(Ha, 2016) 것과 일치하는 것이다. 소지와 수관감소는 작년 겨울철 저온 피해로 대부분 진정이 되어서 자연 상태를 파악하기는 어려웠으나 자연 상태의 저온에 의한 소지의 동해 피해는 더 클 것이다. 후박나무는 불규칙적이지만 반복적으로 동해가 발생하는 것으로 나타났다.

Ha(2016)는 식물의 저온 피해가 빈번하게 발생하는 지역은 사계절이 뚜렷하고, 그 차가 큰 지역에서 발생한다고 하였는데 조사 대상지는 사계절이 뚜렷하고, 겨울에는 대륙성 기후의 영향으로 3한4온이 뚜렷하며, 기온차가 큰 지역이기 때문에 동해발생이 자주 발생하였을 것이다. 후박나무의 잎의 변색, 신초생장, 소지생장, 수관감소가 계속적으로 불량하게 되면 수목의 전체적인 생장이 불량해지게 되므로 동해 피해를 최소화할 수 있는 방안이 모색되어야 할 것으로 생각되었다. 난대상록활엽수종의 뿌리가 동해피해를 입어서 3개월 이후 까지도 시간이 흐름에 따라 잎이 변색되거나 떨어지는 것이 증가한다(Rosen *et al.*, 1985)는 보고가 있는데 본 연구에서 뿌리부분이 동해를 받았는지는 조사하지 않았기 때문에 그 진위를 파악할 수 없었으므로 향후 이에 대한 심도 있는 연구가 필요하다.

## 2) 식재지반별 동해피해

식재지반별 후박나무의 동해피해는 통계학적으로 ANOVA분석 결과 잎의 변색, 신초생장피

해, 수관의 감소 모두 유의수준 0.01 수준에서 차이가 있었고, 소지생장 피해는 유의수준 0.05 이내에서 차이가 있는 것으로 나타났다. 식재지반별 후박나무의 잎의 변색, 신초생장 피해, 소지생장 피해, 수관감소에 대한 가시적 피해도가 겨울 시작 이전인 늦가을에는 바다매립지반>절토지반>성토지반 순으로 나타났다. 대상지의 후박나무 동해의 피해가 식재지반별로 다르게 나타나는 것은 수종, 식재된 위치, 근계의 특징, 배수 정도, 그리고 식물에 지장을 줄 정도의 기후 등과 같은 요인에 의해 동해를 입기(Ha, 2016) 때문일 것이다. 식재지반별 후박나무의 잎 변색, 신초생장 피해, 소지생장 피해, 수관의 감소가 바다매립지반이나 절토지반에서 높고, 성토지반에서 낮은 것은 식재지의 미기상에 의해 차이가 있는 것으로 추정된다.

수목의 동해피해는 북서쪽이 터진 곳이나 북서쪽의 경사면, 높은 지역에서 많이 발생한다(Ha, 2016). 절토지반은 가야산 허리 낮은 부분에 위치하여 지형이 동서 방향으로 터져 있어 겨울철 북서풍을 조절해줄만한 큰 건물이나 구조물 등이 없기 때문에 겨울철 저온 발생시 북서풍의 영향을 크게 받았기 때문일 것이다. 바다매립지에서 동해피해가 높은 것은 평탄지역으로 주변 건물에 의해 위요되어 있어 동해피해를 크게 받은 것으로 추정된다. 바다매립지반이 평탄지임에도 동해피해가 큰 것은 겨울철 수목의 동해는 경사지에 비해 평탄지의 피해가 적다(Jung *et al.*, 2014)와는 다르고, 동해가 발생하기 쉬운 조건으로 지형이 오목한 곳이다(Ha, 2016)는 것과는 일치한다. 바다매립지반에서 동해피해가 큰 것은 보다 구체적 실험이 필요하다.

## 3) 건축물 높이에 따른 동해피해

후박나무 동해피해의 건물높이에 따른 차이를 통계학적으로 ANOVA 분석 결과 저온 발생 이전인 늦가을과 저온 발생 이후인 늦겨울 모두 유의수준 0.01 이내에서 차이가 있는 것은 잎의

변색과 신초생장피해 이었고, 유의수준 0.05 이내에서 차이가 있는 것은 소지생장 피해와 수관 감소였다. 전년도 늦가을까지 후박나무 식재지 주변 건축물 높이에 따른 잎의 변색도, 신초생장 피해, 소지생장피해, 수관감소의 크기는 모두 무건축물>저층건물>고층건물 순이었다. 작년 늦가을과 이듬해 늦겨울 동안 주변 건물높이에 따른 차이가 통계학적으로 t-test 결과에서 잎의 변색도는 유의수준 0.05에서 차이가 있었고, 나머지 신초생장 피해, 잔가지 생장피해, 수관감소의 차이는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

후박나무가 겨울철 저온 발생시 단 한 번의 동해로 완전히 고사하는 것은 극히 드물고, 여러 해 동안 불규칙하게 반복되는 동해피해에 의하여 시나브로 생장이 불량해져서 인위적으로 제거하기 때문에 생존율로 동해피해를 판단하기는 곤란하였다. 동해피해에 후박나무가 고사하는 것이 극히 드물다는 것은 동해피해에 의한 고사율은 낮다(Jung *et al.*, 2014)와 유사하다.

난온대 상록활엽수를 난온대 기후대 이외의 지역에 식재하면 냉해나 동해를 받아 생육이 불량하거나 고사하는 경우가 많다(Park, 2001). 조사지의 후박나무가 동해피해로 생존율이 49% 정도라는 것은 기상 및 기후에 부적응하고 있다는 것을 의미한다. 절토지반에서 생존율이 높은 이유는 후박나무가 동해피해를 받아 수형이 불량해지는 하였지만 완전히 고사한 것은 아니고, 아직 사람들의 이용 낮은 지역이기 때문에 수형이 불량한 채로 잔존해 있기 때문이다. 따라서 수목의 동해피해를 수목의 생존율로 평가하기는 곤란하다. 후박나무 주변의 건물 높이별 생존율이 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것은 고층건물이 미기상 또는 미기후를 형성하여 후박나무 생장에 영향을 미쳤을 것으로 추정되었다.

#### 4. 후박나무의 생장

##### 1) 후박나무 생존율

조사지의 후박나무 생존율은 총 300주 중

147주가 고사하여 생존율은 49%로 나타났다. 후박나무 생존에 크게 영향을 미치는 것은 자연적 요인, 생물적 요인, 인위적 요인 등이 있다. 조사 대상지의 후박나무는 가뭄, 시비, 병해충 등을 상시적으로 관리하기 때문에 그 피해는 적고, 생존율에 지대한 영향을 미치는 것은 동해 피해이었다.

후박나무가 동해피해로 고사해 가는 과정은 저온 발생시 10~20일 사이에 잎 가장자리가 황색으로 변색되기 시작하고, 20~40일 정도에는 잎 전면이 옅은 황백색으로 변하여 잎이 말라 생장이 정지되어 밑으로 처지며, 40일 정도 지난 다음에는 작년의 신초지가 정단부에서부터 줄기 방향으로 말라 들어가면서 잎의 낙엽이 시작된다. 동해피해가 심한 경우에는 3~4년 전의 소지가 대량으로 고사하기도 한다. 이러한 후박나무의 잎변색과 소지가 고사하게 되어 잎 따기 또는 고사지 제거로 수관 폭이 좁아지고, 수형이 기형으로 변화하다가 도시 식생 경관과 가로수로서의 기능 저해를 초래하기 정도가 되면 후박나무를 제거하고, 다른 수종으로 대체 식재하기 때문에 동해 피해가 반복될수록 생존율이 낮아지고 있다.

식재기반유형별 후박나무 생존율의 차이는 통계학적으로 분산분석(ANOVA) 결과 유의수준 0.01 이내에서 유의한 차이가 있었다(Table 3). 식재기반유형별 생존율은 절토지반>바다매립지반>성토지반 순으로 각각 56.1%, 43.3%, 33.3%이었고, 절토지반에서 가장 높게 나타났다. 후박나무 주변건물 높이별 생존율의 차이를 통계학적으로 분산분석(ANOVA) 결과 유의한 차이가 있었다(Table 3). 후박나무 주변건물 높이별 생존량은 고층건물이 건축물이 없는 곳이나 저층건물이 있는 곳 보다 현저하게 생존율이 높았다. 후박나무가 겨울철 저온 발생시 단 한 번의 동해피해로 완전히 고사하는 것은 극히 드물고, 여러 해 동안 불규칙하게 반복되는 동해피해에 의하여 시나브로 생장이 불량해져서 인

**Table 3.** Survival rate, height and crown of of *Machilus thunbergii* Siebold & Zucc of planting grounds and building height as the street trees of planting grounds on Jungmadong in Gangyang city, Jeonnam Province, Korea.

Division		Survival rate(%)	Height (m)	Crown (m)
Planting ground types	Cutting ground	56.1 <sup>c</sup>	4.2 <sup>b</sup>	3.8 <sup>b</sup>
	Filled up ground	33.5 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>
	Reclaimed land	43.3 <sup>b</sup>	4.9 <sup>c</sup>	4.0 <sup>b</sup>
	P-value	<0.01	<0.01	<0.01
Building height	None buildings	45.9 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>
	Middle buildings	47.4 <sup>a</sup>	4.6 <sup>ab</sup>	4.0 <sup>b</sup>
	High buildings	84.2 <sup>b</sup>	5.0 <sup>a</sup>	4.6 <sup>c</sup>
	P-value	<0.05	<0.01	<0.01

a, b, c : Result of Scheffe's multiple range test

위적으로 제거하기 때문에 생존율로 동해피해를 판단하기는 곤란하였다. 동해피해에 후박나무가 고사하는 것이 극히 드물다는 것은 동해피해에 의한 고사율은 낮다(Jung *et al.*, 2014)와 유사하다.

난온대 상록활엽수를 난온대 기후대 이외의 지역에 식재하면 냉해나 동해를 받아 생육이 불량하거나 고사하는 경우가 많다(Park, 2001). 조사지의 후박나무가 동해피해로 생존율이 49% 정도라는 것은 기상 및 기후에 부적응하고 있다는 것을 의미한다. 절토지반에서 생존율이 높은 이유는 후박나무가 동해피해를 받아 수형이 불량해졌지만 완전히 고사한 것은 아니고, 아직 사람들의 이용 낮은 지역이기 때문에 수형이 불량한 채로 잔존해 있기 때문이다. 따라서 수목의 동해피해를 수목의 생존율로 평가하기는 곤란하다. 후박나무 주변의 건물 높이별 생존율이 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것은 고층건물이 미기상 또는 미기후를 형성하여 후박나무 생장에 영향을 미쳤을 것으로 추정되었다.

## 2) 수고생장

대상지의 후박나무는 식재 당시인 1996년에는 수고가 평균 4.0m~4.5m이었으나 2012년에는 평균 4.15m로 거의 성장하지 못하였거나 -0.45m 정도 더 낮아진 것으로 나타났다. 후박나무 식재 당시 수고는 4.0m~4.5m로 식재 이후 약 16년간 정상적으로 성장하였다면 수고는 최소한 6~8m 이상의 장년목으로 성장해야 하지만 조사지의 후박나무는 평균 4.15m 지나지 않을 정도로 거의 정상적으로 자라지 못하였다.

식재기반유형별 수고 생장의 차이는 통계학적으로 분산분석(ANOVA) 결과 유의수준 0.01 이내에서 유의한 차이가 있었다(Table 3). 후박나무 식재지의 식재기반유형별 수고생장은 바다매립지반>절토지반>성토지반 순으로 각각 4.9m, 4.2m, 3.4m이었다. 바다매립지는 지반하부에 염분이 잔존하기 때문에 후박나무 생장에 지장을 초래할 것으로 예상하였으나 오히려 수고생장은 다른 지반들 보다 더 크게 나타났다. 바다매립지는 객토를 매립을 하여 근권부에 염분이 거의 없고, 다른 토양성분들도 다른 식재지반과 유사하여 후박나무생장에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 보인다.

후박나무 가로수의 수고생장이 건물높이별로 차이가 있는지 파악하기 위하여 통계학적으로 분산분석(ANOVA)을 수행한 결과 유의수준 0.01 이내에서 유의한 차이가 있었다(Table 3). 후박나무식재지 주변의 건물높이에 따른 수고생장은 고층건물>저층건물>무건축물 순으로 각각 5.0m, 4.6m, 3.4m이었다. 후박나무의 수고생장이 고층건물 주변에서 가장 높게 나타난 것은 미기후가 형성되어 후박나무 생장에 유리하였을 것으로 추정되었다.

## 3) 수관생장

후박나무의 수관폭은 식재당시 1996년에는 평균 3.0m~3.5m이었으나, 2012년 조사 당시의 평균 수관은 3.7m로 식재당시에 비하여 0.7~

0.2m 더 커졌다. 후박나무의 수관은 식재당시 1996년에는 평균 3.0m~3.5m이었으나, 2012년 조사 당시의 평균 수관은 3.7m로 식재당시에 비하여 0.7~0.2m 더 커졌지만 식재 이후 16년간 정상적으로 성장하였다면 최소한 4.0~7.0m 정도 성장하였을 것이나 수고생장의 경우와 마찬가지로 생장이 매우 저조한 것이다. 수고생장과 수관생장 피해의 주요 원인은 주지한 바와 같이 겨울철 동해 피해에 의하여 피해 가지들을 정지 또는 전정하기 때문이다.

식재기반유형별 수관생장의 차이는 통계학적으로 분산분석(ANOVA)을 수행한 결과 유의한 차이가 없었으나(Table 4) 식재기반유형별 후박나무의 수관생장은 바다매립지반>절토지반>성토지반 순으로 각각 2.0m, 1.9m, 1.7m이었다. 후박나무 가로수의 수관생장이 건물높이별로 차이가 있는지 파악하기 위하여 통계학적으로 분산분석(ANOVA) 결과 유의수준 0.05 이내에서 차이가 있었다(Table 4). 후박나무식재지 주변의 건물높이에 따른 수관생장은 고층건물>저층건물>무건축물 순으로 각각 2.3m, 2.0m, 1.7m이었다. 후박나무가 건물에 높은 절토지역에서 다른 곳 보다 수고생장, 수관생장이 더 크고, 수목 피해율이 낮은 것은 주변의 높은 건축물들이 겨울철 북서풍의 찬 기류를 조절하는 국지기상이 영향을 미치기 때문으로 추정되었다.

이와 같이 조사 대상지의 후박나무가 성장 가능한 기온대 인지를 파악하기 위하여 후박나무 성장 적응 가능한 기온에 대한 기존의 이론과 대상지 후박나무 동해피해 발생기온을 분석하였다. 현실적으로 후박나무 적응 가능한 기온에 대한 연구 자료가 많지 않기 때문에 일반적인 상록활엽수 적응 기온으로 많이 적용하고 있다. 그러나 본 연구 결과 후박나무의 식재 적지 분석에 있어서 일반적인 상록활엽수의 적응 기온을 기준으로 하기는 곤란하다고 생각되었다. 조사 대상지가 우리나라 남해안에 위치하여 이론적으로 상록활엽수가 자생할 수 있고, 식재 가

능한 지역이고, 지형적으로도 겨울철 미기상을 잘 조절할 수 있는 산과 바다로 둘러싸인 곳임에도 불구하고 겨울철 저온에 의하여 후박나무가 동해 피해가 불규칙적으로 자주 발생하였다. 이것은 그동안 많은 연구자들이 보고한 상록활엽수의 분포 가능 지역과 적응 범위와 일치하지 않는 기후인자가 많은데 보다 더 많은 사례들을 조사하여 기존 이론들의 타당성을 검토해 볼 필요가 있음을 시사하는 것이다.

이러한 동해피해는 단 한 번의 동해피해로 생장이 불량하게 되거나 고사되기도 하지만 대부분은 불규칙적으로 반복되는 동해피해에 의하여 점차적으로 수형이 불량해져 결국 제거되고 있다. 조사 대상지는 한반도 남해중부 지방에 위치하여 사계절이 뚜렷하고, 기온의 차이가 커서 후박나무 저온피해가 큰 것으로 생각되었다. 미기상에 대한 식물의 성장 반응은 더 정밀한 생리적 실험을 통하여 규명하여야 할 것으로 생각되었다.

대상지의 후박나무는 불규칙적으로 동해 피해가 발생하여 인위적 보호 없이 자연 상태로 온전한 생장은 어려울 것으로 예상되었다. 가로수로서 관상 가치와 기능을 온전하게 발휘하기 위해서는 가로수가 동해 피해를 받지 않도록 월동보호를 하여야 한다. 대상지 후박나무의 동해 피해를 예방하기 위하여 수피보호, 토양보온재 덮기, 월동피막재 등은 부분적으로 동해피해를 예방할 수 있지만, 그 수량이 많은 녹지대에서는 매년 많은 노동력과 유지관리비가 상승하여 속수무책인 경우가 많다. 식물의 적응 기후대를 잘못 이해하면 엄청난 재산상의 손실과 식생경관이 불량해질 수 있으므로 식재 수목 선정시 동해피해를 고려한 식재 적지 선정과 동해에 강한 수종 선정이 필요하다.

#### IV. 결 론

본 연구는 전남 광양시 중마동 일원에 가로수



로 식재된 후박나무의 동해피해 상태를 파악하기 위하여 후박나무 생존율, 동해피해시기, 동해피해의 증상, 수고 및 수관생장과 수목생장에 영향을 미치는 토양환경과 기후환경요인을 조사·분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

조사지 토양은 전기전도도 평균 EC1:5 0.35 dS/m, 평균 pH1:5 7.38, 평균  $K^+$  0.24cmol/kg,  $Ca^{++}$  6.60cmol/kg,  $Mg^{++}$  0.64cmol/kg, 유기물 8.92%, 함수율 32.0% 로 후박나무 생장에 지장을 초래할만한 요인은 발견되지 않았다.

후박나무 동해피해는 조사기간 내에 6회 발생하였으며, 평균 2년에 1회 정도 불규칙하게 발생하는 것으로 나타났다. 대상지는 동해피해가 자주 나타나기 때문에 후박나무 식재와 관리에 면밀한 검토가 필요하다. 대상지 후박나무 동해피해 발생은 기존연구들의 기상 및 기후 인자들 중에서 상록활엽수 분포 가능 연평균기온  $10^{\circ}C$  또는  $15^{\circ}C$ , 1월평균기온  $3.7^{\circ}C$ , 1월최저평균기온  $1^{\circ}C$ , 온량지수  $121^{\circ}C/month$ , 한랭지수  $-2.9^{\circ}C/month$ , 최한월최저기온  $-5.59^{\circ}C$  보다 더 높은 온도에서도 동해가 발생하여 일치하지 않았고, 후박나무 적응 가능 기온 인자는 최한월최저기온  $-3.3^{\circ}C$ 라는 것과 극한 기온에 의해 생장이 제한된다는 이론만이 일치하였다.

조사대상지의 후박나무 동해피해 발생은 최저 기온이  $-6.5^{\circ}C$  정도부터 발생하였으나 이보다 더 낮은  $-7.0^{\circ}C \sim -7.9^{\circ}C$ 에서도 동해피해가 발생되지 않기도 하지만 기온이  $-9.2^{\circ}C$  이하일 경우에는 동해피해가 대부분 발생하였다. 동해피해 유발은 특정 기온이 결정적인 요인이 될 수도 있지만 다른 여러 가지 요인들이 복합적으로 영향을 미치기 때문에 동해피해 기온 인자를 판단할 때는 주의를 요한다.

본 연구 조사 대상지는 이론적으로 후박나무가 자생 또는 적응 가능한 지역과 조건이었지만 그동안 많은 연구자들이 보고한 상록활엽수의 분포 가능 지역과 적응 범위와 일치하지 않는 기후인자가 많은데 보다 더 많은 사례들을 조사

하여 기존 이론들의 타당성과 상록활엽수의 적응 분포지에 대하여 재검토가 필요함을 시사하였다.

후박나무 동해피해의 증상이 가시적으로 발현하는 순서는 맨 처음 잎의 변색, 신초생장피해, 소지생장피해, 수고·수관폭의 감소 순이었다. 후박나무의 동해피해는 식재지반과 건물높이에 따라 차이가 있었다. 후박나무 동해피해는 바다매립지반>객토지반>성토지반 순이었다. 후박나무 식재지반별 동해피해 차이는 토양환경에 의한 차이라기보다는 저온발생지 지형적 미기상 형성이 더 큰 영향을 미치는 것으로 추정되었다. 후박나무 식재지 주변 건물높이에 따른 동해 피해도는 무건축지>저층건물>고층건물 순으로 나타나 주변에 건축이 있을 때 미기상이 조절 효과가 있는 것으로 나타났으나 높은 건축물들이 동해피해를 완전히 차단하지는 못하는 것으로 보인다. 후박나무가 건물이 높은 절토지역에서 다른 곳 보다 수고생장, 수관생장이 더 크고, 수목피해율이 낮은 것은 주변의 높은 건축물들이 겨울철 북서풍의 찬 기류를 조절하는 국지기상이 영향을 미치기 때문으로 추정되었다.

후박나무 생존율은 49%이었고, 식재지반유형별로 차이가 없었다. 조사대상지에서 후박나무 생존율에 지대한 영향을 미치는 것은 동해피해이었으나 단 한 번의 동해피해로 완전히 고사하는 것은 극히 드물고, 여러 해 동안 불규칙하게 반복적으로 발생하는 동해피해에 의하여 시나브로 생장이 불량해져서 인위적으로 제거하기 때문에 생존율로 동해피해를 판단하기는 곤란하였다. 기상변화에 따른 후박나무 동해피해가 민감하게 반응하고 있으며, 인위적 관리의 한계가 있으므로 후박나무 식재시에는 자연 상태에서도 적응 가능한 식재 적지를 선정하는 것이 중요하다.

본 연구를 통하여 기상변화에 따라 후박나무 동해 피해가 크게 발생하고 있고, 후박나무 생장에 지장을 초래하는 동해는 기존의 일반적인

상록활엽수와 후박나무 적응 기온으로 파악하기 곤란하며, 국지적 기상이 영향을 미치기 때문에 상록활엽수의 적응지역 판단은 수종과 지역의 특성에 따라 판단해야 함을 시사하였다. 연구는 기상측정 장비가 현지로부터 23km 떨어져 있어 현지의 기상 및 기후를 면밀하게 적용하지 못하였고, 시기적으로 단기간에 조사된 것으로 후박나무 적응 가능한 온도와 동해 발생시 생리적 기작을 정밀하게 파악하는데 한계가 있었다. 식재적지를 판단하기 위해서는 향후 기온 변화에 따른 후박나무의 생리적 반응을 실내실험과 현장조사를 통하여 규명할 수 있는 보완적 연구가 필요할 것으로 생각되었다.

### 인 용 문 헌

- Cha J.H. (1979) Climate and vegetation in Korea. Seoul. Seomundang. p276.
- Ha T.K. and J.H. Lee (1993) 39th National Science Exhibition. p34.
- Ha Y.M. (2016) Management of non-contagious growth disorder of trees. *In*: New management of landscape architecture. Seoul. Munundang. pp238-259.
- Ho G.A. (2011) First time ever experienced freezing injury during 30 years of cultivating the landscaping trees-shocked the farming industry. Korea Landscape Architecture Newspaper(20<sup>th</sup> April 2011): <http://latimes.kr/news/articleView.html?idxno=9450>
- Jung S.Y. · K.S. Lee · B.H. Yoo · Y.B Park · N.G. Ju · H.H. Kim and J.H. Park (2014) Freezing injury characteristics of evergreen broad-leaved trees in Southern Urban Area, Korea. J. Korean For. Soc. 103(4): 528-536.
- Kang Y.J. · K.M. Song · H.J. Hyeun and J.H. Pak (2013) A study of fitness ability of evergreen broad-leaved trees in the Korean Peninsula. The Journal of Korean Institute of Forest Recreation. pp. 359-362.
- Kim D.G. (2006) Tree-ring growth characteristics of *zelkova serrata* makino after replanting on the reclaimed land from the sea in Gwangyang Bay. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 33(6): 40-50.
- Kim H. and B.J. Park (2015) Physiological responses of three evergreen broad-leaved trees to drought stress. Journal Of Korean Society For People, Plants, And Environment 18(5): p73.
- Kim J.H. (1987) Phytosociological study on evergreen broad-leaved fores of Korean Peninsula. Ph.D. Dissertation of the Graduate School of Koonkuk University. p115.
- Kira (1945) A new Classification of Climate in Eastern Asia as the basis for Agricultural Geography. Horticultural Institute. Kyoto Univ. Kyoto.
- Kira T. (1976) Terrestrial ecosystems—an introduction (Handbook of ecology). Kyôritsu Shuppan, Tokyo 2: 12-47 (in Japanese)
- Kong W.S. (2005) Selection of vulnerable indicator plants by global warming. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences 41 (2-1).
- Koo K.A. · W.S. Kong and C.K. Kim (2001) Distribution of evergreen broad-leaved plants and climatic factors. Journal of the Korean Geographical Society 36(3): 247-257.
- Korean Meteorological Administration (2011) A white paper of climate in Korea. p97.
- Kozłowski, T. T. · P. J. Kranmer and S. G. Pallardy (1991) The physiological ecology of woody plants. Academic press, N.Y. pp. 123-302.
- Lee D.G (2008) Ch2. Forest vegetation and weakness of the future climates in North Korea.

- In: A study of northern limit of evergreen broad-leaved in western areas in Korea. South-North Korea Environmental Forum. Korea Environment Institute. pp. 19-40.
- Lee G.J. (2011) Physiology of tree. Seoul national university press. p.514.
- Lee K.J. · C.H. Oh · C.H. Ryu and K.K. Oh (1990) Studies on the planting of Gaepo citizen's woods(I) -The evaluation of tree planting. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 18(3): 71-84.
- Oh K.K. and Y.S. Kim (1997) Restoration model of evergreen broad-leaved forests in warm temperate region(IV) -Vegetation structure of the case study areas-. Korean Journal of Environment and Ecology 11(3): 334-351.
- Oh K.K. and D.G. Kim(2006) Ecological revegetation engineering. Gwangilmoonwhasa. Seoul.
- Park C.N. (2009) Expansion plan of evergreen broad-leaved for landscape planting. Forest Science Information 219: 2-3.
- Park H.S. (2001) Condition of landscape tree planting in Korea. landscaping trees 60(1): 24-26.
- Park I.H. · K.J. Lee and J.C. Jo (1993) Plot size for investigating forest community structure(I) -Adequate number of plots of tree stratum in a mixed deciduous forest community at Sobaeksan Area. Journal of Applied Ecology 6(2): 163-167.
- Park J.C. · K.C. Yang and D.H. Jang (2013) The movement of evergreen broad-leaved forest zone in the warm temperate region due to climate change in South Korea. Journal of Climate Research 5(1): 29-41.
- Park J.J. · J.B. Kim · J.O. Bea · D.H. Kim · J.K. Oh · D.H. Kang · I.H. Park and K.J. Lee (1983) Studies on the relationship between the accumulation of environmental contaminants and tree growth in the industrial estate. National Environmental Protection Institute·Yeongnam University. Report of National Environmental Protection Institute 5: 237-260.
- 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.
- Seo H.W. (1997) Reproductive growth and seed germination of *Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc. The M.S. Thesis of Graduate School of Suncheon National University.
- 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): 7985.
- The Korean Institute of Landscape Architecture (1999) Design standards for landscape architecture. Seoul: Munundang.
- Yang I.S. and W. Kim (1972) Conspectus relation between the distribution of evergreen broad-leaved trees and the climatic factor in Southern area of Korea. Korean Journal of Plant Taxonomy 4(1): 11-18.
- Yang K.C. and J.K. Shim (2007) Distribution of major plant communities based on the climatic conditions and topographic features in South Korea. Korean Journal of Environmental Biology 25(2): 168-177.
- Yang, KC (2001) Classification of Major Habitats Based on the Climatic Conditions and Topographic Features in Korea. Thesis for the Degree of Ph.D. Department of Biology Graduate School Chung-Ang University.

- [Korean Literature]
- Yim Y.J. (1970) On the distribution of woody plant species in relation to the climatic conditions in Korea. The Research Journal of Incheon National University of Education 5: 315-336.
- Yim, Y.J. (1977a) Distribution of forest vegetation and climate in the Korea Peninsula(IV) -Zonal distribution of forest vegetation in relation to thermal climate. Japanese Journal of Ecology 21: 269-278.
- Yim, YJ (1977b) Distribution of forest vegetation and climate in the Korean Peninsula III. Distribution of tree species along the thermal gradient. Japanese J. of Ecology, 27, pp. 177-189.
- Yu S.T. and S.G. Kang (1999) A study on the necessity of introduction of evergreen broad-leaved trees as street trees. Administrative Policy Workshop of Daegu Metropolitan City 11: 363-383.
- Yun J.H., J.H. Kim, K.H. Oh and B.Y. Lee (2011b) Distributional change and climate condition of warm-temperate evergreen broad-leaved trees in Korea. Korean Journal of Environment and Ecology 425(1): 47-56.
- Yun J.H., K. Nako, C.H. Park and B.Y. Lee (2011a) Potential habitats and change prediction of *Machilus thunbergii* Siebold & Zucc. in Korea by climate change. Korean Journal of Environment and Ecology 25(6): 904-907.