

인천해안지역의 난온대성 상록활엽수 겨울철 생장에 영향을 미치는 미기후 요인

김정철* · 김도균**

*시흥시청 공원계획팀장 · **순천대학교 조경학과 교수

A Study on Wintering Microclimate Factors of Evergreen Broad-Leaved Trees, in the Coastal Area of Incheon, Korea

Kim, Jung-Chul* · Kim, Do-Gyun**

*Team Leader, Division of Parks Planning, Siheung City Hall

**Professor, Dept. of Landscape Architecture, Sunchon National University

ABSTRACT

This study investigated the feasibility of wintering evergreen broad-leaf trees in the Incheon coastal area through a climate analysis. The coldest monthly mean air temperature ranged from $-2.9^{\circ}\text{C} \sim -1.6^{\circ}\text{C}$. The warmth index of the coastal area of Incheon ranged from $98.89^{\circ}\text{C} \cdot \text{month} \sim 109.03^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$, while the minimum air temperature year ranged from $-13.9^{\circ}\text{C} \sim -3.6^{\circ}\text{C}$. This proved that the Incheon coastal area was not suitable for evergreen broad-leaf trees to grow as the warmth index ranges from $101.0^{\circ}\text{C} \cdot \text{month} \sim 117.0^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$, and the temperature year-round is -9.2°C or higher. This suggests the coastal areas of Incheon is not suitable for the growth of evergreen broad-leaf trees, however some evergreen broad-leaf trees lived in some parts of the area.

Wind speed reduction and temperature effect simulations were done using Landschaftsanalyse mit GIS program. As a result of the simulations of wind speed reduction and temperature effects affecting the evergreen broad-leaf trees, it was discovered that a coastal wind velocity of 8.6m/sec was alleviated to be $5\text{m/sec} \sim 7\text{m/sec}$ when the wind reached the areas where evergreen broad-leaf trees were present. It was also discovered that species that grew in contact with buildings benefited from a temperature increase of $1.1^{\circ}\text{C} \sim 3.4^{\circ}\text{C}$ due to the radiant heat released by the building.

Simulation results show that the weather factors affecting the winter growth damages of evergreen broad-leaved trees were wind speed reduction and local warming due to buildings. The wind speed reduction by shielding and local warming effects by buildings have enabled the wintering of evergreen broad-leaved trees. Also, evergreen broad-leaved trees growing in the coastal area of Incheon could be judged to be gradually adapting to low temperatures in winter.

This study reached the conclusion that the blockage of wind, and the proximity of buildings, are required for successfully wintering evergreen broad-leaf trees in the coastal area of Incheon.

Key Words: Warmth Index, Winter Cold Wave, Wind Velocity, Freezing Resistance, Wintering

Corresponding author: Do-Gyun Kim, Professor, Dept. of Landscape Architecture, College of Life Science and Natural Resource, Sunchon National University, Jeonnam 57922, Korea, Tel +82-61-750-3871, E-mail: doaha@sunchon.ac.kr

국문초록

본 연구는 인천해안지역의 난온대성 상록활엽수 겨울철 생장에 영향을 미치는 미기후 요인을 시뮬레이션 기법을 통해 도출하였다.

인천 해안지역 서구 오류동~남동구 고잔동의 온량지수는 $98.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{month}\sim 109.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{month}$ 이었고, 1월 평균기온 $-2.9^{\circ}\text{C}\sim -1.6^{\circ}\text{C}$, 최한월 최저기온 $-13.9^{\circ}\text{C}\sim -3.6^{\circ}\text{C}$ 수준으로, 상록활엽수 분포기준인 온량지수 $101.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{month}\sim 117.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{month}$, 최한월 최저기온 -9.2°C 이하로 상록활엽수가 생장하기 부적합한 지역으로 나타났다. 상록활엽수가 생장하는 공간에 도달하는 풍속의 저감 정도와 가온효과에 대한 시뮬레이션을 실시한 결과, 상록활엽수 생장공간에서는 겨울 북서풍이 건축물 등에 의해 해안풍속이 8.6m/sec 에서 도달풍속은 $5\sim 7\text{m/sec}$ 로 완화되었고, 건축물 1m 이내에서는 건축물 복사에너지의 영향으로 $1.1^{\circ}\text{C}\sim 3.4^{\circ}\text{C}$ 가량의 가온효과가 나타났다. 시뮬레이션 결과, 상록활엽수의 겨울철 생장파괴에 영향을 미치는 기후요소는 풍속으로, 차폐에 의한 풍속저감과 함께 건축물에 의한 국부적 가온효과가 상록활엽수의 겨울생장이 가능한 것으로 추정되었다. 또한 인천 해안지역에 생장하고 있는 상록활엽수는 중부지방의 겨울철 저온에 점진적으로 식물이 적응하는 순화의 과정으로 판단할 수 있었고, 기온이 -18.0°C 이하의 겨울 한파에 견디는 내동능력과 바람에 의한 증발산을 견딜 수 있는 동건해(凍乾害)에 내성이 상록활엽수 겨울 생장을 좌우하는 것으로 나타났다.

주제어: 온량지수, 겨울한파, 풍속, 내동도, 월동

1. 서론

1. 연구배경 및 목적

난온대성 상록활엽수(이하 '상록활엽수'라고 한다)는 따뜻한 난온대 지방에 자연 분포하고, 사계절 관상적 가치가 커, 도입을 선호하는 기능성 조경소재(Shin *et al.*, 2014)이다. 인천지방은 겨울철 적응이 어려워 조경식재나 해안림 등으로 식재하는 것이 제한적이었다.

최근 지구 온난화와 강수량 증가, 계절길이 변화 등 기후변화 징후(Research Institute of Climate Change Countermeasure, 2010)가 나타나고, 한반도 난온대성 상록활엽수의 북상(Yun *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2015; Kim, 2016)을 예측하고 있다. 또, 인천 연안지역은 해류의 영향으로 일부 상록활엽수 생장이 가능을 예측하는(Kwon, 2013) 연구에 따라 10여 년 전부터 인천 지방에도 상록활엽수를 식재해 오고 있다.

이렇게 식재된 상록활엽수는 대부분 생장이 불량하거나 고사하였으나, 인천 해안지역에서 일부 종들은 겨울 한파에도 생장하고 있는 것으로 관찰되었다.

인천 해안지역의 상록활엽수가 부분적으로 도입되거나 또는 대부분 적응하지 못하고 고사하거나 퇴화되는 것은 겨울철 기온, 바람 등의 기후 요인 때문으로 추정되어 왔다. 그러나 인천 해안 지역 상록활엽수의 겨울철 생장에 어떤 기후 요인에 의해 겨울 생장을 유지해 왔는지에 대한 연구자료를 찾아보기 어렵다.

이처럼 상록활엽수의 도입 가능성에 대한 추측성 이론만 대두되는 상황에서 인천 해안지역의 조경식재, 해안림조성 등 조경현장에서는 겨울철 상록활엽수 생장에 영향을 미치는 환경

요인이 무엇인지에 대한 연구결과가 도출되기를 원하고 있다.

지금까지 상록활엽수의 적응성에 영향을 미치는 기후요인을 파악하는 연구방법으로 과거부터 최근까지 기후자료를 통한 변화양상의 예측기법이 활용되었다. 최근에는 컴퓨터를 활용한 시뮬레이션 예측기법을 통해 도시공원 조성에 따른 미기후 변화를 예측(Kim *et al.*, 2010)하거나, 도로 등 구조물에 의한 바람장의 변화예측 기법(Lim *et al.*, 2011)이 제시되었다.

이러한 시뮬레이션 기법의 도입은 실제 공간 내에 존재하는 다양한 환경 변수의 간섭을 배제할 수 있어 상록활엽수의 겨울 생장 영향 요인을 거시적으로 파악할 수 있는 과학적 방법으로 생각된다.

본 연구를 통해 인천 해안지역에 상록활엽수 도입가능 여부에 대한 추측성 논란을 불식시키고, 상록활엽수 도입을 위한 식재 공간환경 조성에 실질적인 자료를 제공할 수 있을 것이다.

2. 연구범위

연구의 공간적 범위는 인천광역시 서구 오류동에서 남동구 고잔동까지 이어지는 해안가 지역으로 하였다.

세부적인 범위는 도서지역을 제외하고 해안선에서 내륙으로 2km 이내에 식재된 상록활엽수의 분포를 조사하였다(Figure 1 참조).

인천 해안지역에 생장하고 있는 상록활엽수 조사대상 수종은 우리나라 온대남부 해안지역에 주로 분포하는 것으로 알려진 동백나무(*Camellia japonica*), 호랑가시나무(*Ilex cornuta*), 광나무(*Ligustrum japonicum*)등을 대상으로 하였다.

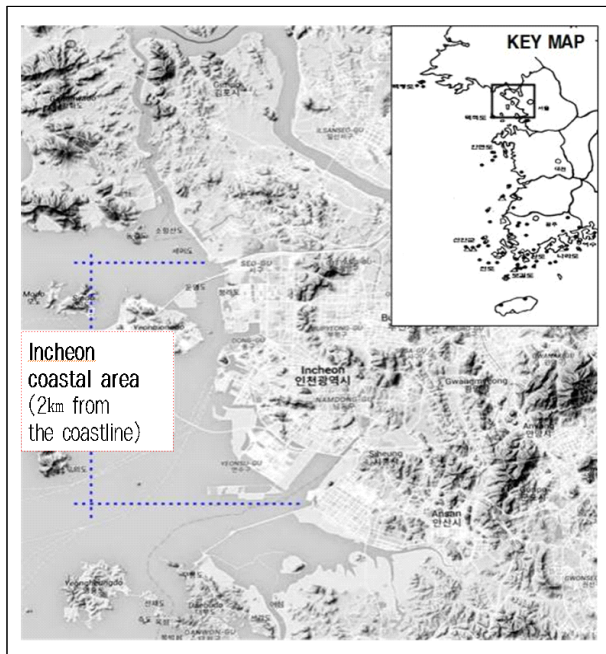


Figure 1. Scope of research

II. 연구방법

1. 인천 해안지역 기후 분석

기상 및 기후 자료는 인천기상대와 인천·시흥지역 자동기상관측점(AWS)의 1997년에서 2017년까지의 자료를 이용하였다. 분석대상은 월최저기온, 월평균기온, 연평균기온 등으로 기상청 기후자료를 분석하였다.

2. 인천 해안지역 상록활엽수 분포와 월동특성

1) 인천 해안지역 상록활엽수 분포현황 조사

인천 해안지역에 생장 중인 상록활엽수 현황조사를 위해 해안정선에서 내륙방향으로 2km 범위 내의 수림과 공원, 가로녹지, 개인정원 등에 식별이 가능한 상록활엽수를 조사하였다.

2) 상록활엽수 겨울철 생장피해 분석

상록활엽수 겨울철 생장 피해조사는 2017년 2월과 2018년 2월, 총 2회 실시하였다. 대상 수목은 식재 이후 5년이 경과하여 이식충격 없이 안정적으로 생장 중인 수목으로 하였다.

겨울철 생장피해 측정은 수목피해도조사표(National Institute of Environmental Research, 1988; Lee *et al.*, 1991)의 수목피해도지수와 상록활엽수 동해피해도 조사(Lee and Kim, 2017)의 피해도지수를 부분 수정하여 잎의 마름, 잎의 피사, 잎의 낙엽, 잎의 처짐현상, 어린가지 피해, 수관 감소, 수세 등을 가시판단에 의한 방식으로 하였다.

피해도 산정은 수목피해도조사표(National Institute of Environmental Research, 1988; Lee *et al.*, 1991), 상록활엽수 동해피해도 조사(Lee and Kim, 2017)를 응용하여 현지측정한 각 항목의 피해정도를 수치화하여 다음과 같은 식으로 산출하였다.

$$Y = (X11+X12+X2+X3+X4+X5+X6)/25 \times 100 \quad (\text{식 1})$$

이 식의 최대값은 25로, 계산된 수목의 겨울철 생장피해 분석 결과값을 백분율로 표기하였다(Table 1 참조).

3. 상록활엽수 생장지점 공간환경 시뮬레이션

1) 상록활엽수 공간환경 분석을 위한 기준 설정

상록활엽수의 겨울철 생장 피해는 최저기온과 바람에 의한 겨울철 건조(winter desiccation)가 주요 원인이다(Kozlowski *et al.*, 1991). 따라서 최근 한파가 -16°C 까지 강하하여 상록활엽수의 생장피해가 심각할 것으로 예상되었던 2018년 1월 26일의 시간대별 기상자료중 기온, 풍속, 풍향을 기준자료로 설정하였다(Table 2 참조).

이것은 평년 겨울의 기온보다 급격히 낮은 저온에서도 상록활엽수가 고사없이 인천지역에서 생장 가능한 공간환경 특성을 파악할 수 있는 기준자료로 활용할 수 있을 것이다.

2) 상록활엽수 생장 공간환경 특성 분석

인천 해안지역에 생장 중인 상록활엽수 주변의 공간환경 특성을 분석하였다. 1:1,000 수치지형도를 기반으로 상록활엽수의 생장에 영향이 클 것으로 예측되는 공간환경 특성을 추출하였다.

공간환경의 유형화를 위해 위도 특성, 바람 유동 특성, 주변 장애물 특성 등으로 구분하였다. 그러나 토양요소는 대상지 대부분이 해안 매립지역임에 따라 식재지반 여건이 유사하고, 상록활엽수의 겨울철 생장피해에 영향이 미미할 것으로 판단되어 유형설정에서 제외하였다.

3) 공간환경 기류시뮬레이션

식재지 공간환경의 예측을 위해 Landschaftsanalyse mit GIS 프로그램(Stefan and Blaschke, 2007)을 활용하였다.

대상지 기후 Date를 독일 미기후 BUGS-Projekt에서 사용된 컴퓨터모델인 ENVI-met 프로그램(Bruse and Fleer, 1998)을 Autodesk Flow Design에 결합하여 사용하였고, 대상지 기온과 바람에 대한 영향분석을 통해 상록활엽수 생장에 영향을 미치는 공간환경 요인을 파악하였다.

(1) 해안과의 거리 및 주변 환경에 따른 풍속 분석

상록활엽수가 생장하고 있는 지점의 기류시뮬레이션은 3단

Table 1. Criteria for frost damage of evergreen broad-leaved trees

Division		Evaluation standard	Evaluation index
Rate of damaged leaves (X1)	Leaf blight(X11)*	Leaves tip dry in the cold wind	(0)No damage, (1)Minor damage: dry 5%~10%, (2)Moderate damage: dry 10%~30%, (3)Severe damage: dry 30%~50%, (4)Serious damage: dry 50%~100%
	Foliar necrosis (X12)*	Degeneration of Leaf Surface Cuticle Layer	(0)No damage, (1)Minor damage: leaf area 5%~10%, (2)Moderate damage: leaf area 10%~30%, (3)Severe damage: leaf area 30%~50%, (4)Serious damage: leaf area 50%~100%
Defoliation ratio(X2)*		Degree of deciduous leaves	(0)Minor damage: 20%이하, (1)Moderate damage: 21%~40%, (2)Severe damage: 41%~60%, (3)Serious damage: 61%~80%, (4) Nearly wither: 81%~100%
Leaf laxity(X6)*		Melting of leaf tissue in cold wind	(0)No damage, (1)Damage
Condition of little branches(X3)*		Frost damage of twigs	(0)No damage, (2)Minor damage(1/4), (3)Moderate damage(2/4), (4)Serious damage(~4/4)
Condition of crown(X4)**		Changing type of tree by frost damage	(0)Natural type of tree, (1)Minor damage, (2)Moderate damage, (3)Severe damage, (4)Nearly wither
Vitality of tree(X5)*		Check health by visual judgment	(0)Hearty growth, (2)Moderate healthy, (3) Weak, (4)Nearly wither

* Investigation for damage of air pollution(National Institute of Environmental Research, 1988; Lee *et al.*,1991) application

** Investigation for frost damage of Evergreen broad-leaved trees(Lee and Kim, 2017) application

Table 2. Incheon meteorological weather data of 2018. 1. 26.(coldest time)

Time	Direction of the wind (16direction)	Wind speed (m/sec)	Temperature (℃)	Time	Direction of the wind (16direction)	Wind speed (m/sec)	Temperature (℃)	Time	Direction of the wind (16direction)	Wind speed (m/sec)	Temperature (℃)
02:00 AM	360	7.5	-14.9	05:00 AM	340	8.6	-16.2	08:00 AM	360	7.6	-17.1
03:00 AM	360	7.8	-15.3	06:00 AM	360	5.9	-16.5	09:00 AM	360	7.2	-16.8
04:00 AM	360	7.6	-15.8	07:00 AM	360	8.1	-16.9	10:00 AM	360	6.5	-16.2

Data : <http://sts.kma.go.kr>

계의 과정으로 진행하였다.

첫 번째 단계로는 GIS자료 입력을 위해 2018년 최한일의 기상자료 적용과 미기후 인자를 추출하였다(Lee, 2012).

두 번째 단계로는 미기후 분석을 위해 지표면 근처 공기층의 미기후에서 본 연구에 영향을 줄 수 있는 풍속을 기류 시뮬레이션하였다. 미기후적 계획 모델을 작성하기 위해 건축물과 도로 폭, 건축물의 크기, 지형 등을 3D 모델로 구축한 다음, 대상지의 기후자료를 Landschaftsanalyse mit GIS(Stefan and Blaschke, 2007) 프로그램에 입력하였다.

세 번째 단계로 Autodesk Flow Design을 사용하여 상록활엽수가 성장하고 있는 지점의 풍속을 기류 시뮬레이션하였다.

(2) 기류시뮬레이션 풍속의 등급화

기류 시뮬레이션을 통해 도출된 각 지점의 풍속을 등급화하여 비교하였다. 각 등급 단위는 1m/sec 단위로 하여 시뮬레이션 결과의 오차를 줄였다.

(3) 건축물에 의한 주변 공기의 온도 변화 분석

건축물에 대한 온도영향을 파악하기 위해 실화상열화상카메라(FLUKETi105)로 겨울철 건축물 각 부분에서 발산되는 온도를 측정하였다.

건축물 복사열에 의한 주변 공기의 온도변화는 열전도도에 기인한 열유속밀도 계산식에 의해 건축물 인접 공기의 온도변화량을 산출하였다.

열 흐름을 열전도체의 단면적과 관련지어, 열유속밀도는 $j_Q = \frac{Q}{A}$ 로 계산하였고, 온도변화량은 건물 내부 온도와 열유속 밀도에 따른 건축물과의 거리를 통해 $T(x) = T_s - \frac{T_s - T_\infty}{l}x$ 으로 계산하였다.

또, 방출된 열에너지가 미치는 영향범위 파악을 위해 열전도도를 감안하였다. 건축물에서 열이 방출되어 공기 중에 전달될 때 전도율이 크게 저하되나, 건축물과 인접된 부분에서는 0.35W/m·K~1.30W/m·K의 열이 공기 중에 전달된다. 이러한 열전도도를 반영하여 건축물과 포장면 주변 공기 온도변화를 시간대 별로 예측하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 기후 및 한파분석을 통한 상록활엽수 생장 가능성

1) 인천 해안지역 기후와 상록활엽수 생장 가능성

인천 해안지역의 연평균기온은 $11.7^{\circ}\text{C} \sim 12.7^{\circ}\text{C}$ 이었으며, 지역별로 해안에서 거리와 도시화 정도에 따라 최한월 최저기온, 1월 평균기온 등에서 차이가 있었다(Table 3 참조).

1월 평균기온은 $-2.9^{\circ}\text{C} \sim -1.6^{\circ}\text{C}$ 로 송도, 남동공단 등 매립된 도시화 지역의 기온이 높았고, 최한월 최저기온도 도시화가 진행된 지역이 $-5.4^{\circ}\text{C} \sim -3.6^{\circ}\text{C}$ 로 높았다. 반면, 도심권 외곽의 고잔동(시흥AWS)의 최한월 최저기온은 -13.9°C 로 자연지역 해안은 겨울한파에 피해 가능성이 높았다.

인천 해안지역 주요 지점별 온량지수는 $98.9^{\circ}\text{C} \cdot \text{month} \sim 109.0^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 이었다.

10년 단위 온량지수의 변화추이는 $94.9^{\circ}\text{C} \cdot \text{month} \sim 107.5^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 로 증가하고 있었으며, 특히 1990년도 이후로는 온대남부 식생대의 기준값인 $100.0^{\circ}\text{C} \cdot \text{month}$ 이상으로, 온대중부 식생대 기후에서 온대남부 식생대 기후로 점차 바뀌고 있는 것으로 나타났다(Figure 2 참조).

상록활엽수가 인천 해안지역에 생장 가능성을 종합하면, 연평균기온 $12 \sim 20^{\circ}\text{C}$ (吉良龍夫, 1976), 1월 평균기온은 $-4.0 \sim -0.5^{\circ}\text{C}$ (Koo *et al.*, 2001), 최한월 최저기온은 -16.0°C (Seo, 1997) $\sim -9.2^{\circ}\text{C}$ (Lee and Kim, 2017)인 기존 연구에 비추어 볼 때 인천 해안지역은 도시화로 인한 도시열섬 또는 온실효과의 영향을 받는 것으로 판단되었다.

그러나 Kong(2005)은 식물의 지리적 분포한계는 평균기온보다는 극한기온의 영향이 크고, 상록활엽수의 분포는 겨울철 최저기온이 중요하였다. 인천 해안지역에 상록활엽수가 안정적으로 생장할 수 있다고 판단하기에는 신중한 필요가 있는 것으로 보인다.

2) 겨울한파 주기와 상록활엽수 생장 가능성

인천지역 기상관측이 시작된 1904년부터 2018년까지 인천지

역 최한월 최저기온 중 가장 낮은 해는 1931년 -21.0°C , 1915년 -20.9°C , 1917년 -19.5°C 이었다.

발생 주기는 1915년, 1917년, 1931년 등 일정한 주기를 갖지 않았고, 지구의 대기순환 변동성에 따라 일정한 주기없이 불규칙하였다(Figure 3 참조).

상록활엽수의 생장피해가 예상되는 최한월 최저기온이 -16.0°C 이하(Seo, 1997)인 연도는 49개 년도(42.9%)이었고, 최한월 최저기온이 -20.0°C 이하로 강하(降下)하는 해도 1915년, 1931년, 1986년, 2001년으로 4회 나타났다(Kim, 2018). 1990년대 이후 최한월 최저기온이 -16.0°C 이하로 강하한 겨울은 8개 년으로 과거보다 온난화 되는 것으로 파악되었다.

상록활엽수는 생리적으로 $-0.0^{\circ}\text{C} \sim -18.0^{\circ}\text{C}$ 이하(酒井昭, 1982)로 기온이 강하할 경우, 한파에 의한 동해 피해가 발생하여 수목생장이 어려움에 따라, -18.0°C 이하의 한파에 상록활엽수의 상당한 피해가 있어 왔다.

2. 인천 해안지역 상록활엽수 분포 및 생장상태 분석

1) 인천 해안지역에 분포하는 주요 상록활엽수

겨울한파 등 척박한 기후 환경에도 불구하고, 인천 해안지역

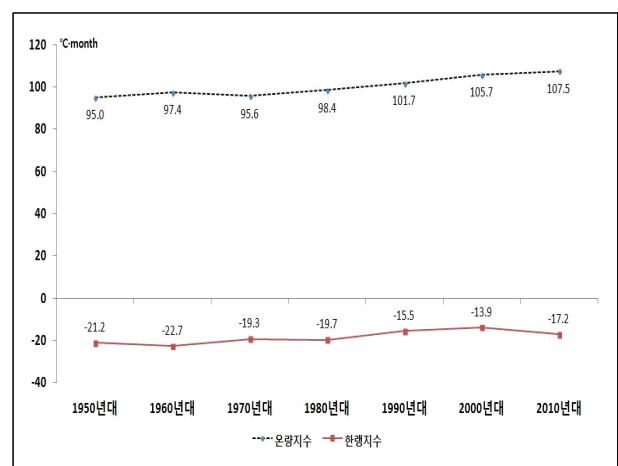


Figure 2. A ten-year change in warmth index of Incheon

Table 3. 20-year average climate of Incheon coastal area(1997~2017)

Location		Average temperature for the year ($^{\circ}\text{C}$)	Average temperature for January ($^{\circ}\text{C}$)	Yearly minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Warmth index (WI)	Coldness index (CI)	Annual precipitation (mm)
Incheon	Gongchon-dong	12.5	-2.5	-5.4	108.13	-17.64	1,357.9
	Yeongjong-do	11.7	-2.9	-5.2	98.89	-19.03	1,271.1
	Songdo	12.3	-1.6	-3.6	103.60	-15.91	1,220.1
	Namdong complex	12.7	-1.7	-4.4	108.46	-15.98	1,230.3
Siheung	Get-Gol AWS	12.7	-2.0	-13.9	109.03	-16.10	1,186.6

Data : <http://sts.kma.go.kr>

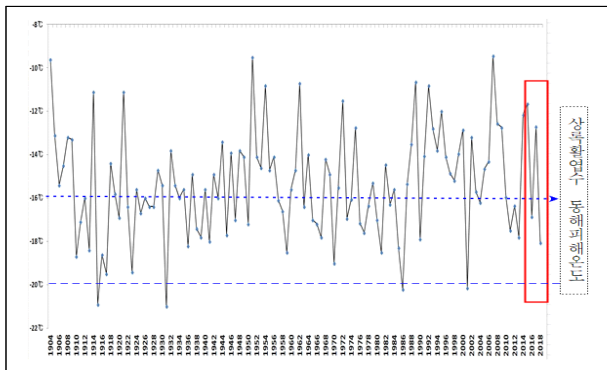
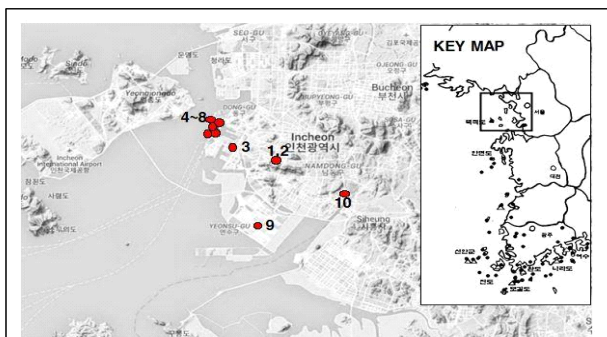


Figure 3. Yearly minimum temperature distribution in Incheon for 114 years

에 생장 중인 주요 상록활엽수는 해안정선(海岸汀線)에서 내륙방향으로 항만, 신도시, 공원 등 갯벌 매립지에 위치하였다 (Figure 4 참조). 수종은 동백나무(*Camellia japonica*), 호랑가시나무(*Ilex cornuta*), 광나무(*Ligustrum japonicum*)로 총 635주 생장하고 있었다.

2) 상록활엽수 생장공간 특성과 생장피해

인천 해안지역에 상록활엽수가 생장하고 있는 각 공간환경 특성을 분석한 결과는 Table 4와 같다.



No.	Species of trees	Number	Distance of seaside	Location
1	<i>Camellia japonica</i>	1	8,000m	Munhag Highschool
2	<i>Camellia japonica</i>	1	8,000m	Munhag Highschool
3	<i>Ligustrum japonicum</i>	500	800m	Chukhang-daero
4	<i>Ligustrum japonicum</i>	30	100m	Sunwood timber
5	<i>Ligustrum japonicum</i>	50	200m	Wolmi Park outskirts
6	<i>Ilex cornuta</i>	7	200m	Wolmi Park open space
7	<i>Camellia japonica</i>	9	200m	Maritime High school
8	<i>Ilex cornuta</i>	8	540m	Wolmi Park open space
9	<i>Camellia japonica</i>	15	1,500m	Incheon tower-daero
10	<i>Camellia japonica</i>	14	1,000m	Nursery of Susan-dong
Total		635		

Figure 4. Distribution of evergreen broad-leaf tree

10개 공간 중 7개 공간에서 건축물 또는 산림의 남쪽에 위요되어 생장하고 있었다. 위요된 공간은 해안정선(海岸汀線)에서의 이격 거리가 일정하지 않았으나, 건축물 등에 의해 북서풍을 막아주는 공간구조이었다. 모든 생장공간의 일조여건이 양호하였고, 포장 특성은 잔디포장 3개소, 콘크리트 등 포장공간 5개소, 자연토양 2개소였다.

각 공간의 특성을 종합하면, 북쪽 또는 북서쪽에 한파를 막아주는 건축물 등 위요물에 인접하여 상록활엽수가 생장 중이었다. 이는 위요없이 북서풍에 직접적으로 노출되거나, 건축물에서 방출되는 복사열 영향이 없는 No. 10의 동백나무는 해안에서 1km~2km 이내의 개방된 공간에 식재되어 지속적인 겨울철 생장 피해로 완전히 고사하였다.

이와 같이 겨울철 북서풍에 노출되거나, 건물복사열에 의한 영향이 없는 지역에 식재되었던 상록활엽수가 인천 해안지역에서 고사하여 분포하지 않는 사실과 연관성이 높은 것을 확인할 수 있었다.

동백나무가 식재된 유형A의 생장 피해도는 2017년 8%에서 2018년 12%로 가장 낮았다. 해안에서 8km 이상 떨어져 있고 건축물로 완전히 위요된 대조공간으로 설정된 곳이었다. 유형B 지역은 해안에서 1km~2km 인접한 지역으로 2017년 피해도 8%에서 2018년 48%로 비교적 큰 피해를 입었다. 유형F 지역은 해안에서 1km~2km 떨어진 지역에 건축물 위요 없는 개방공간으로, 2018년 피해도가 56%로 크게 증가하였다.

호랑가시나무가 생장 중인 유형C, E의 생장 피해도는 2018년 각각 12%, 64%로 해안거리와 위요 특성에 따라 피해도 차이가 크게 나타났다.

광나무는 전반적으로 생장 피해도가 높아 내동해성(耐凍害性)과 내건성(耐乾性)이 약한 것으로 나타났다.

조사대상지역은 공간의 위요 특성에 따라 피해도 차이가 커서 2018년 겨울에 각각 68%, 64%, 92%로 해안가, 개방공간에서 피해가 심하였다.

3. 시뮬레이션을 통한 상록활엽수 월동 미기후 요소

1) 겨울철 한파의 풍속 영향 시뮬레이션

겨울철 최저온도에도 건축물, 산림 등 위요에 의한 상록활엽수에 도달 풍속이 어느 정도 완화되는지 시뮬레이션을 통해 분석하였다(Table 5 참조).

동백나무가 생장하는 공간의 유형은 4개로 건축물과 1m 이내로 연결하고 위요된 공간, 건축물이 2m 인접하며 위요된 공간, 건축물 100m이상 이격된 해안도시, 건축물의 차폐없는 해안의 미개발 지역이었다.

각 공간유형에 도달하는 풍속과 생장 피해도는 No.1, No.2가 5등급(4.1m/sec~5.0m/sec)에 피해도 12~16%, No.7이 7등급

Table 4. Evergreen broad-leaf tree growth space characteristics and frost damage

No.	Species of trees	Number	NW Obstacle	Distance from obstacle	Characteristic	Bright sunshine	Planting style	Paving	Distance from coast	Code	Characteristic of code	Frost damage		
												2017.2.	2018.2.	Variation
1	<i>Camellia japonica</i>	1	Building	1m	Surrounded by buildings	Sunny place	Planting of independence	Con'c	8,000m	A	More than 2km from coast (Surrounded by buildings)	8%	12%	+4%
2	<i>Camellia japonica</i>	1	Building	1m	Surrounded by buildings	Sunny place	Planting of independence	Con'c	8,000m			8%	16%	+8%
3	<i>Ligustrum japonicum</i>	500	Open	50m	Wind way	Sunny place	Community planting	Asphalt	800m	D	Wind paths within 1 km of the coast	24%	64%	+40%
4	<i>Ligustrum japonicum</i>	30	Building	35m	Surrounded by buildings	Sunny place	Community planting	Con'c	100m	E	Open space within 1 km of the coast	24%	92%	+68%
5	<i>Ligustrum japonicum</i>	50	Forest	1m	Surrounded by forest	Sunny place	Community planting	Soil	200m	C	Forest within 1 km of the coast	20%	68%	+48%
6	<i>Ilex cornuta</i>	7	Open	-	-	Sunny place	Planting of independence	Lawn	200m	E	Open space within 1 km of the coast	16%	64%	+48%
7	<i>Camellia japonica</i>	9	Building	2m	Surrounded by buildings	Sunny place	Planting of independence	Asphalt	200m	B	Building within 1 km of the coast	8%	48%	+40%
8	<i>Ilex cornuta</i>	8	Forest	2m	Surrounded by wall	Sunny place	Community planting	Lawn	540m	C	Forest within 1 km of the coast	4%	12%	+8%
9	<i>Camellia japonica</i>	15	Open	-	Open	Sunny place	Planting of independence	Lawn	1,500m	F	Open space within 1~2km of coast	12%	56%	+44%
10	<i>Camellia japonica</i>	14	Open	-	Open	Sunny place	Planting of independence	Soil	1,000m	G	Open space within 1~2km of coast	50%	100%	+50%
Derive a factor			Wind	Wind	Wind	Temperature	-	Temperature	Wind					

Table 5. Evergreen broad-leaf tree frost damage and wind speed of growth space

No.	Species of trees	NW obstacle	NW obstacle	Distance from obstacle	Distance from coast	Code	Frost damage			Wind speed(rating)	
							2017.2.	2018.2.	Variation	Coastal wind speed	Arrival wind speed
1	<i>Camellia japonica</i>	Building	1m	Surrounded by buildings	8,000m	A	8%	12%	+4%	9	5
2	<i>Camellia japonica</i>	Building	1m	Surrounded by buildings	8,000m		8%	16%	+8%	9	5
7	<i>Camellia japonica</i>	Building	2m	Surrounded by buildings	200m	B	8%	48%	+40%	9	7
9	<i>Camellia japonica</i>	Open	-	Undeveloped	1,500m	F	12%	56%	+44%	9	9
10	<i>Camellia japonica</i>	Open	-	Undeveloped	1,000m	G	50%	100%	+50%	9	9
3	<i>Ligustrum japonicum</i>	Open	50m	Wind paths	800m	D	24%	64%	+40%	9	8
4	<i>Ligustrum japonicum</i>	Building	35m	Surrounded by buildings	100m	E	24%	92%	+68%	9	7
5	<i>Ligustrum japonicum</i>	Forest	1m	Surrounded by forest	200m	C	20%	68%	+48%	9	7
6	<i>Ilex cornuta</i>	Open	-	-	200m	E	16%	64%	+48%	9	7
8	<i>Ilex cornuta</i>	Forest	2m	Surrounded by wall	540m	C	4%	12%	+8%	9	6

(6.1m/sec~7.0m/sec)에 피해도 48%, No.9가 9등급(8.1m/sec~9.0m/sec)에 피해도 56%, No.10이 9등급(8.1m/sec~9.0m/sec)에 피해도 100%이었다. 즉, 도달풍속이 저감됨에 따라 동백나무의

무의 생장 피해도 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

광나무가 생장하는 공간의 유형은 3개로 산림에 위요된 공간, 도로변 중앙분리대, 창고건축물과 35m 떨어진 공간이었다.

각 공간유형에 도달하는 풍속과 생장 피해도는 No.3이 7등급(6.1m/sec~7.0m/sec)에 피해도 68%, No.4가 7등급(6.1m/sec~7.0m/sec)에 피해도 64%, No.5가 8등급(7.1m/sec~8.0m/sec)에 피해도 92%이었다.

공간에 도달한 풍속과 생장 피해도 간에 상관성이 나타나지 않았으나, 피해도가 적게 나타난 공간이 해안에서 800m이상 떨어진 도심에 위치함에 따른 열섬효과가 영향을 주었을 것으로 추정할 수 있었다.

호랑가시나무가 성장하는 공간의 유형은 2개로 해안가 개방된 공간과 공원 내 산림으로 위요된 공간으로, No.6은 풍속 7등급(6.1m/sec~7.0m/sec)에 피해도 64%이었다.

반면, No.8은 풍속 6등급(5.1m/sec~6.0m/sec)에 피해도 12%로 위요에 의한 풍속 저감이 상록활엽수의 겨울철 생장피해에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

상록활엽수를 수종의 구분 없이 풍속 저감과 겨울철 생장 피해도에 대한 상관성을 검토한 결과는 Figure 5와 같았다.

$R^2=0.5881$ 이었고, 회귀식은 $y=3.4369x+5.1716$ 로 상록활엽수가 생장 중인 공간에 동일한 기온 상황에서도 풍속이 저감됨에 따라 겨울철 생장 피해도가 감소하는 것으로 나타났다.

2) 건축물 및 포장에 따른 기온영향 시뮬레이션

(1) 건축물 연접 식재공간의 기온영향 시뮬레이션

건축물과 연접한 식물이 받을 수 있는 복사에너지에 대한 시뮬레이션 결과, 건축물과 1m 이내만 복사에너지의 영향을 받는 것으로 나타났다.

건축물 각 요소에서 외부로 방출되는 에너지는 지붕에서 약 15%, 벽면 25%, 창문 25% 가량 방출되며, 이들은 또 다시 공기 중에서 10%~20% 정도 손실되었다(Figure 6 참조).

이와 같이 건축물의 열전도 및 복사에너지 방출로 인해서 건축물 주변 공기는 대기온도와 차이가 있었다. 겨울철 난방하는 건축물에서 외부로 방사되는 복사에너지는 주변의 기온에 영

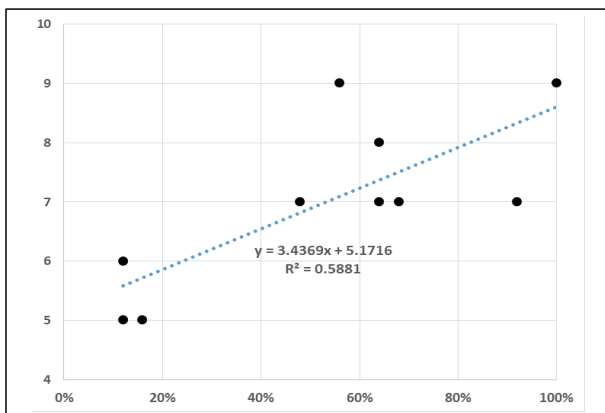


Figure 5. Correlation between wind speed and frost damage

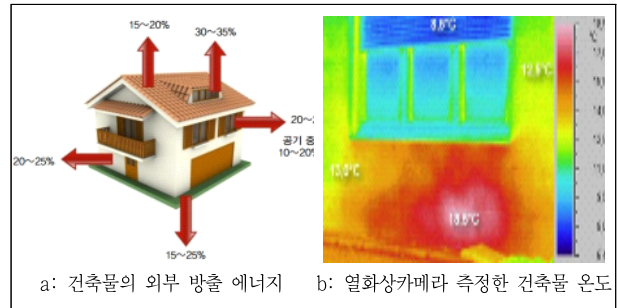


Figure 6. The amount of heat released from the building in winter (outdoor temperature -18°C)

향을 주며, 열화상카메라로 측정한 결과, Figure 6과 같이 창문에서 8.5°C , 건축물 외벽에서 12.5°C 의 열방출을 확인할 수 있었다(Kim, 2018). 연구 대상지 내 건축물과 연접하여 식재된 상록활엽수에게 직접적 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 기반으로 건축물연접 부위의 온도변화를 시뮬레이션한 결과, 겨울철 건물 복사열에 의한 건물연접 식재공간의 온도는 약 1.1°C ~ 3.4°C 정도 높았다(Figure 7 참조). 이것으로 보아 건축물에 연접한 상록활엽수는 겨울철 생장피해를 적게 받을 가능성이 높았다.

그러나 건축물에서 방출된 복사에너지는 열전도도가 극히 낮은 공기층($0.026\text{W/m}\cdot\text{K}$)을 통해 식물체에 전달됨에 따라 방열체에서 1m 이내에서 전달되는 것으로 파악되었다.

이를 바탕으로 동백나무의 건축물 연접거리와 겨울철 생장 피해도와 상관성을 분석한 결과는 Figure 8과 같았다.

$R^2=0.9897$ 로 건축물과의 거리가 1m 이상 이격될수록 피해도가 증가하는 추세로 회귀식은 $y=0.34x-0.2$ 이었다.

(2) 포장면 연접 식재공간의 기온영향 시뮬레이션

아스팔트나 콘크리트 포장면의 복사열이 상록활엽수에 생장에 영향을 미치는지를 시뮬레이션으로 분석한 결과, 영향성이

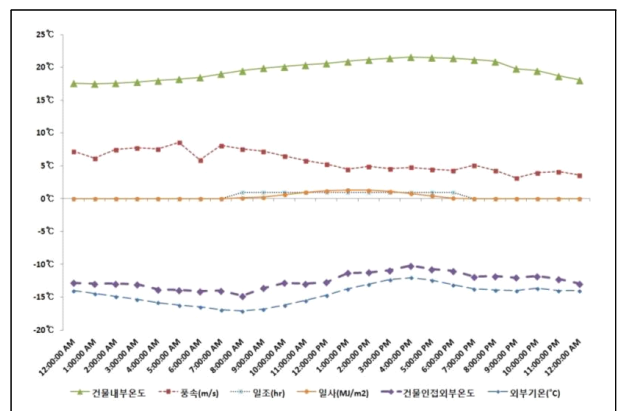


Figure 7. Temperature change around the architecture by time (2018/01/26)

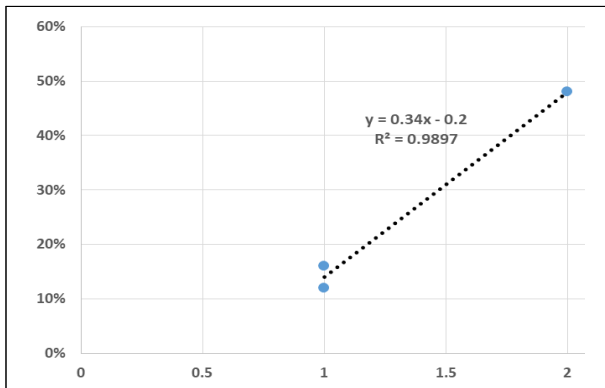


Figure 8. Correlation between building distance and frost damage of *Camellia japonica*

없는 것으로 나타났다.

도로포장은 낮 동안 태양광을 저장하고, 밤 동안에 복사열을 방출하여 포장면과 인접한 공기에 미세한 영향을 미치는 것으로 파악되었다.

겨울철 그늘이 없는 도로면의 24시간 온도 차이는 11.0℃로 온도변화가 컸다. 오후 늦은 시간에는 낮 동안 노면에 축적된 열이 방사되면서 5℃까지 상승하였으나(Figure 9 참조), 건축물과 같이 난방이 계속되지 않기 때문에 일몰이후 5시간 이내에 급격한 온도저하로 -6.0℃까지 내려갔다.

이에 따라 주간에는 도로 표면에 인접한 기온과 외부기온의 차이는 최대 1.0℃이었으나, 일몰이후 -17.0℃~-11.0℃로 낮아지고, 저온 지속시간도 12시간 이상 지속됨에 따라 포장면에 의한 온도효과는 없는 것으로 나타났다.

3) 최저기온과 성장상태의 상관성

인천 해안지역의 상록활엽수 생장지 주변 환경에 따른 기온 영향 시뮬레이션 도출값은 건축물 1m 이내의 공간에서는 -16.0~-13.7℃이었다. 이것은 건축물에 인접한 공간이 주변보다 따

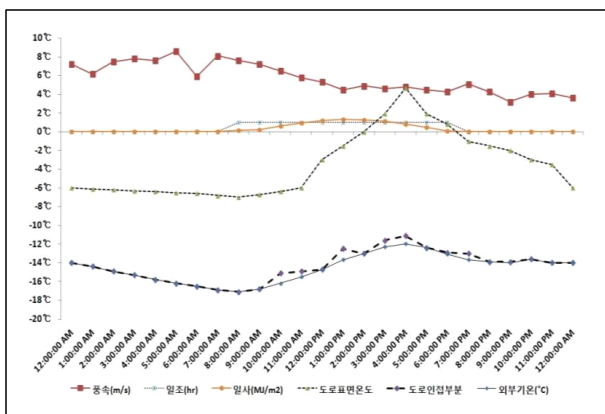


Figure 9. Temperature change around the road surface by time (2018/01/26)

뜻하다는 것을 의미하였다(Table 6 참조).

상록활엽수의 생장에 영향을 줄 수 있는 온도효과는 상록활엽수가 건축물에 인접하여 식재되었을 경우에만 산출이 가능하였다.

도로에서 방출하는 열에너지는 일조시간에만 미세한 영향을 줄 수 있으나, 일몰 이후에는 외부기온과 동일한 온도분포로 도로표면 복사열에 의한 온도효과를 “0”으로 판단하는 것이 타당할 것이다.

광나무가 건축물에 의한 풍속의 저감에도 불구하고, 생장피해가 높게 나타난 이유는 수목의 겨울철 생장피해와 연관된 내동도(耐凍度)로 분석 가능하였다.

상록활엽수의 내동성과 관련된 연구는 우리나라와 기후특성이 유사한 일본의 酒井昭(1982)에 의해 식물의 내동성과 한랭적응에 대한 연구결과(Table 7 참조)가 있었다. 광나무의 내동온도는 -13.0℃ 정도로, 2018년 1월 26일 외기온도가 -17.1℃까지 급격히 내려가 생장 피해도가 높은 것과 일치하는 결과이었다.

즉, 인천 해안지역 겨울철 상록활엽수의 적응은 기온이 -18.0℃ 이상으로 유지될 수 있는 공간환경과 바람에 의한 증발산을 억제할 수 있는 풍속저감 요소가 중요한 영향 인자로 판단되었다.

IV. 결론

본 연구는 인천 해안지역의 상록활엽수 생장에 영향을 미치는 겨울철 미기후요인에 대하여 시뮬레이션 기법으로 생장공간별 환경특성을 파악하였다.

1. 인천 해안지역은 온량지수 98.9℃·month~109.0℃·month, 최한월 최저기온 -13.9℃~-3.6℃ 수준으로, 지역 규모의 기후 관점에서 일반적인 상록활엽수가 생장하기 부적합한 지역으로 나타났다.
2. 1904년에서 2018년까지의 지난 114년간 기후자료 분석 결과, 인천 해안지역의 연최저기온이 -16.0℃ 이하로 내려가는 해는 49개 년도로 나타났다. 이와 같이 인천지방에 연최저기온이 불규칙하게 자주 발생하는 것은 상록활엽수의 생장을 제한하는 주요 요인으로 보인다.
3. 이처럼 인천 해안지역에 상록활엽수의 생장을 제한하는 기후여건에도 불구하고, 동백나무, 호랑가시나무, 광나무 등이 일조 양호, 복서풍 차단, 건축물 인접한 공간에 635주 이상 생장하고 있었다.
4. 인천 해안지역에서 상록활엽수가 생장하고 있는 공간의 지형, 건축물의 위요 조건을 반영한 풍속 시뮬레이션 결과, 겨울철 한파의 풍속이 8.6m/sec에서 5m/sec~7m/sec 수준으로 낮아지는 것으로 나타났다. 건축물 주변의 복사 온도 시뮬레이션 결과, 건축물에서 1m 이내에서는 1.1℃~

Table 6. Evergreen broad-leaf tree temperature effect prediction of Incheon coastal area

No.	Species of trees	Distance from building	Outdoor temperature	Building emission temperature	Estimate temperature	Cold hardiness temperature	Possible damage
1	<i>Camellia japonica</i>	1m	-17.1℃	1.1℃~3.4℃	-13.7℃~-16℃	-18℃	Wintering Possible
2	<i>Camellia japonica</i>	1m	-17.1℃	1.1℃~3.4℃	-13.7℃~-16℃	-18℃	Wintering Possible
9	<i>Camellia japonica</i>	-	-17.1℃	-	-17.1℃	-18℃	Critical Temperature
10	<i>Camellia japonica</i>	-	-17.1℃	-	-17.1℃	-18℃	Critical Temperature
8	<i>Ilex cornuta</i>	-	-17.1℃	-	-17.1℃	-18℃	Critical Temperature
6	<i>Ilex cornuta</i>	-	-17.1℃	-	-17.1℃	-18℃	Critical Temperature
3	<i>Ligustrum japonicum</i>	-	-17.1℃	-	-17.1℃	-13℃	Frost Damage
4	<i>Ligustrum japonicum</i>	35m	-17.1℃	-	-17.1℃	-13℃	Frost Damage
5	<i>Ligustrum japonicum</i>	-	-17.1℃	-	-17.1℃	-13℃	Frost Damage

Table 7. Cold hardiness of evergreen broad-leaf tree(℃)

Species of trees	Cold hardiness			Collection	Distribution
	Leaf	winter bud	Branch		
<i>Ligustrum japonicum</i>	-13.0	-13.0	-15.0	Kashima (鹿島)	West Tokai mo
<i>Ilex cornuta</i>	-10.0	-8.0	-8.0	Nagoya (名古屋)	West Kansai
<i>Camellia japonica</i>	-13.0	-13.0	-13.0	Irozaki (石廊崎)	South Izu Peninsula
<i>Camellia japonica</i>	-18.0	-18.0	-18.0	Natsu haku peninsula (夏泊半島)	South Natsu haku peninsula

Source : Cold tolerance and cold adaptation of plants : physiology and ecology of winter(Sakai, 1982)

3.4℃ 가온효과가 있었다.

- 인천 해안지역에 성장하고 있는 상록활엽수는 중부지방의 겨울철 저온에 점진적으로 식물이 적응, 순화되어 생장이 가능한 것으로 보인다.
- 겨울철 상록활엽수 생장은 겨울한파에 견디는 내동능력과 바람에 의한 증발산을 견딜 수 있는 동건해에 내성능력에 영향을 받음에 따라, 인천 해안지역에 상록활엽수를 도입할 경우 건축물과 인접하여 북서풍을 막을 수 있는 미기후 공간환경을 형성해줄 필요가 있다.
- 인천해안지역에 상록활엽수의 식재 가능성을 검토할 때에는 기존의 이론인 최한월 최저기온이나 온량지수 이외에도 식재지 미기후 요인인 풍속 저감에 대한 검토가 필요하였다.

본 연구에서는 기상청 자료에 의한 기후특성, 시물레이션 기법을 활용한 생장공간의 풍속저감 및 가온효과 여부 등을 통해 인천 해안지역에서 상록활엽수의 식재시 월동 가능 영향요소를 파악할 수 있었다. 그러나 연구대상 범위에 비해 몇몇의 상

록활엽수만 식재 이후 생장을 유지함에 따라, 소수의 생장공간 미기후 특성이 인천지역 전체의 상록활엽수 생장 가능 특성으로 대변해야 하는 한계점이 있었다.

인천 해안지역에 도입될 상록활엽수가 겨울철 어떤 미기후 요인에 의하여 생장이 가능한지를 보다 정밀하게 파악하기 위해서는 상록활엽수 식재지 현지에 기온, 바람, 증발산, 토양변화를 실측하고 분석하는 심층적 연구가 지속되어야 할 것이다.

References

- Bruse, M. and H. Fleer(1998) Simulating surface -plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. Environmental Software and Modelling 13: 373 -384.
- Kim, B. D.(2016) Distributional Changes of Forest Vegetation Zones and Broad-Leaved Evergreen Species of Lauraceae due to Climate Change in Korea. Ph.D. Dissertation, Graduate School of Yeungnam University.
- Kim, D. W., J. K. Kim and E. H. Jung(2010) An analysis of micro-climate environmental changes followed by establishment of an urban park- Focused on the junggu in Daegu city. Journal of the Urban Design Institute 11(2): 77-94.
- Kim, J. C.(2018) A Feasibility Study on Planting Evergreen Broad-Leaved Trees in the Coastal Area of Gyeonggi Bay, in Korea. Ph.D. Dissertation, Graduate School of Sunchon National University.
- Kong, W. S.(2005) Selection of vulnerable indicator plants by global warming. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences 42(2-1): 263-273.
- Koo, K. A., W. S. Kong and J. K. Kim(2001) Distribution of evergreen broad-leaved plants and climatic factors. Journal of the Korean Geographical Society 36(3): 247-257.
- Kozłowski, T. T., P. J. Kranmer and S. G. Pallardy(1991) The Physiological Ecology of Woody Plants. Academic Press, N.Y.: 123-302.
- Kwon, J. O.(2013) Possibility of introducing evergreen broad-leaved trees in Incheon. Reach of Incheon 7(2013): 87-111.
- Lee, J. Y.(2012) "Gruenflaechen und Wasserflaechen in Stadtgebieten - Ein landschaftsoekologischer Vergleich in Korea und Deutschland zur Aspekte der Gestaltung, Nutzung und des Managements". Dissertationsprojekt: TU Dortmund.
- Lee, K. J., C. H. Ryu and S. H. Kim(1991) A study on the judgment

- of tree damage by environmental pollution sources. Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 1991 Academic Paper Collection 2: 20-22.
11. Lee, K. W. and D. G. Kim(2017) Freezing injury of evergreen broad-leaved trees in warm-temperature in the southern region in Korea. The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology 20(1): 77-96.
 12. Lim, I. H., E. J. Hwang and J. H. Ryu(2011) A study on the effects of high embankment road on the microclimatic environment. Korean Society of Disaster & Security 4(1): 29-37.
 13. National Institute of Environmental Research(1988) Development of Environmental Pollution Biomarker Method. National Institute of Environmental Research Report(Han sang-wook).
 14. Park, S. G., Y. J. Myeong, S. G. Ju and G. S. Back(2015) Range analysis of possible planting of evergreen broad-leaved trees for landscaping in Korea. Korean. Journal of Environment and Ecology, 2015 Spring Academic Paper Collection: 114-115.
 15. Research Institute of Climate Change Countermeasure(2010) The climate change policy proposals composition Kangwon roadside tree. Research Institute of Climate Change Countermeasure Report: 1-223.
 16. Sakai, A.(1982) Cold Tolerance and Cold Adaptation of Plants : Physiology and Ecology of Winter. Academic Publishing Center, Tokyo, 1-469.
 17. Shin, H. C., J. H. Yeun, S. M., Choi, Y. B. Park, K. O. Choi, J. H. Lee and E. J. Jin(2014) Development of landscaping tree for indoor cultivation, using evergreen broad -leaved species. National Forest Research Institute Report 14-17: 1-170.
 18. Soe, H. W.(1997) A Study on the Reproductive Growth and Seed Germination of *Machilus thunbergii*. Master's Dissertation, Graduate School of Suncheon National University.
 19. Stefan L. and B. Thomas(2007) Landscapsanalyse Mit GIS. Stuttgart: UTB GmbH.
 20. Yun, J. H., K. Nakao, C. H. Park and B. Y. Lee(2011) 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.
 21. 吉良龍夫(1976) 陸上生態系概論(講座2:12-47). 東京: 共立出版.
 22. [Http://sts.kma.go.kr](http://sts.kma.go.kr)

Received : 17 July, 2019

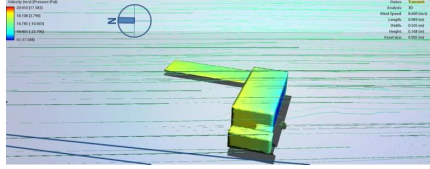
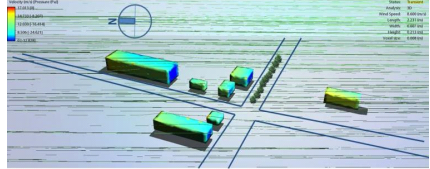
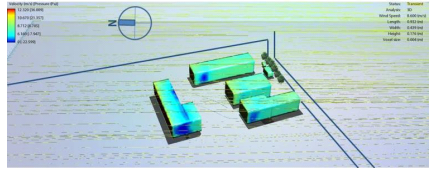
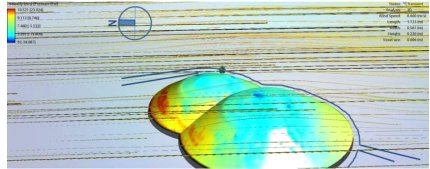
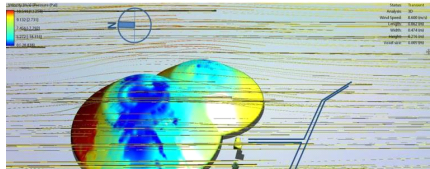
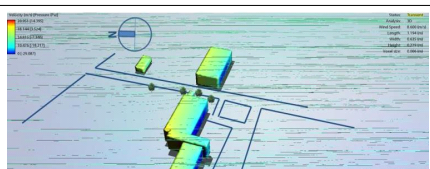
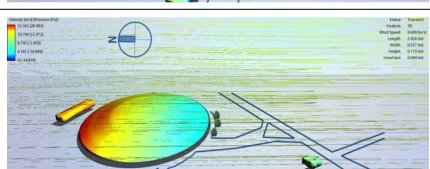
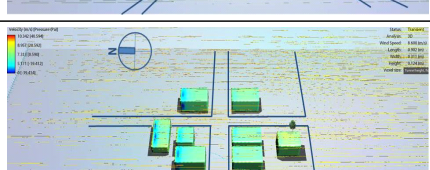
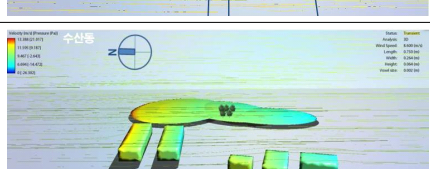
Revised : 27 August, 2019 (1st)

: 23 October, 2019 (2nd)

Accepted : 23 October, 2019

4인익명 심사필

Appendix : Wind speed simulation of evergreen broad-leaf tree growth area

Site	Part	Wind on the coast	Space of planting	Simulation
1, 2	Wind direction	N(360-16directions)	N(20-16directions)	
	Average wind speed(m/s)	5.6	2.7	
	Maximum wind speed(m/s)	8.6	4.9	
3	Wind direction	N(360-16directions)	N(360-16directions)	
	Average wind speed(m/s)	5.6	3.8	
	Maximum wind speed(m/s)	8.6	7.4	
4	Wind direction	N(360-16directions)	N(360-16directions)	
	Average wind speed(m/s)	5.6	3.6	
	Maximum wind speed(m/s)	8.6	6.8	
5	Wind direction	N(360-16directions)	N(360-16directions)	
	Average wind speed(m/s)	5.6	3.1	
	Maximum wind speed(m/s)	8.6	6.1	
6	Wind direction	N(360-16directions)	N(360-16directions)	
	Average wind speed(m/s)	5.6	3.5	
	Maximum wind speed(m/s)	8.6	6.8	
7	Wind direction	N(360-16directions)	N(360-16directions)	
	Average wind speed(m/s)	5.6	4.4	
	Maximum wind speed(m/s)	8.6	6.5	
8	Wind direction	N(360-16directions)	N(360-16directions)	
	Average wind speed(m/s)	5.6	5.3	
	Maximum wind speed(m/s)	8.6	7.3	
9	Wind direction	N(360-16directions)	N(360-16directions)	
	Average wind speed(m/s)	5.6	5.6	
	Maximum wind speed(m/s)	8.6	8.5	
10	Wind direction	N(360-16directions)	N(360-16directions)	
	Average wind speed(m/s)	5.6	5.6	
	Maximum wind speed(m/s)	8.6	8.5	