

# 공동주택 단지 내 식재유형에 따른 온도저감 효과 연구

## A Study on the thermal comfort change according to the Planting Type in housing complex

문 수 영\*  
Moon, Soo Young

장 대 희\*\*  
Jang, Dae Hee

### Abstract

The rapid urbanization caused drastic temperature changes in Korea. Excessive urbanization and development result in unpredictable and abnormal climate change all over the world. These changes are reflected in Korean government policy and research about cities, such that various research endeavors have been undergone recently. There are lots of ways to improve the urban environment; the easiest way to solve the urban heat effect problem is to make green spaces within the city. Even though we can't enlarge green spaces over the city limitlessly, it is desperately need for a methodology to efficiently create green space in limited area. Based on awareness of issues as mentioned earlier, we would like to propose landscaping method that can increase thermal comfort in the same area. For this study, simulating the change of temperature, mean radiant temperature, PMV were done due to number of species planted in apartment complex. To increase the reliability of the simulation, first above all, field measurement for temperature change was performed in apartment complex, where residential building are arranged in the form of □. And based on this data, Envi-met simulation was performed varying 1-7 kinds of species divided by grass, shrubs, arbor (deciduous, conifers) planted in apartment complex. As a result, there was a change less than 1°C with the increasing number of species in daytime, but the average radiation temperature about 6-7°C was reduced. In addition, PMV index was improved by more than 0.5 point. Thermal comfort indicator improved significantly depending on the number of species during the day, on the other hand, there were no significant changes at night. As a consequence, this study has shown that not single-species planting but mixed planting varied the number of species would improve the thermal comfort in the same area of landscaping space at daytime.

키워드 : 공동주택단지, Envi-met 시뮬레이션, 기온, 평균방사온도, PMV

Keywords : Housing complex, Envi-met Simulation, Atmosphere Temperature, Mean Radiant Temperature, PMV,

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근 40년간 한반도는 지역 평균으로 약 0.6°C 기온이 증가하였으며, 지역별로 대구 0.84°C, 서울 0.68°C, 포항 0.58°C, 울산 0.58°C 등으로 증가되는 경향이 나타났다. 또한 이 가운데 약 0.4°C가 도시화에 의하여 증가한 것으로 추정되고 있다(김맹기 외 2, 1999). 환경부(2008)에 따르면 지난 세기 동안 한반도의 연평균 기온이 1.5°C/100년으로 지구평균(0.6°C±0.2/100년)보다 높게 나타나고 있으며, 1990년대 이래로 연평균기온 상승경향이 최대를 보이고 있다고 밝히고 있다. 기후 시나리오에 따르면 현재(1971-2000년)에 비하여 2080년대의 기온은 약 5°C(남한

평균) 증가하며, 강수량은 약 17% 증가할 것으로 예측하고, 이러한 기후 변화의 여러 가지 요인 중 가장 큰 요인이 무분별한 도시 개발로 인한 녹지의 훼손이라 할 수 있다. 우리나라 도시 면적의 40% 이상이 포장률이 70%가 넘는 생태적 불모지이고, 생태계 파괴 및 기후변화의 직접적 원인을 제공하고 있다는 점(한국건설기술연구원, 2008)에서 도시 공간을 보다 기후친화적이며 동시에 생태적으로 건전하게 만드는 것이 반드시 필요하다.

도시의 환경을 개선하는 방법 중 가장 쉬우면서도 열섬문제를 해결할 수 있는 것은 녹지를 조성하는 것(Mcpherson, 1998)이다. 다양한 여건으로 인해 모든 도시에 녹지를 확장하여 열섬 등의 도시환경 문제를 해결할 수는 없지만, 인간의 생활 터전이며 가장 쾌적한 공간이어야 할 주거지에 녹지를 확장하고 더불어 효율적으로 조성하는 것은 매우 절실하다. 이러한 필요 의식은 국가 정책 및 도시와 관련된 연구에도 반영되어 최근 다양한 분야에서 이상기후에 대응하기 위한 연구가 활발하게 진

\* 주저자, 한국건설기술연구원 공공건축연구본부 미래건축 연구실 수석연구원(symoon@kict.re.kr)

\*\* 교신저자, 한국건설기술연구원 공공건축연구본부 미래건축 연구실 수석연구원(zzan1113@kict.re.kr)

행되고 있다. 하지만 주거단지 내에 녹지를 조성하는 방법론 제시에는 보다 많은 연구가 필요하다.

본 연구는 주거단지 내 녹지의 식재 방법을 이용하여 단지 내 온도저감을 도모하고 열 쾌적성을 개선하는 방법을 Envi-met 시뮬레이션을 통하여 찾고자 하는 연구이다. 이를 위하여 동일한 조정 면적에 식재를 할 때 식재 유형 변화에 따라 기온과 열 쾌적성에 미치는 영향을 찾아내어 단지 내 온도저감에 효율적인 조정 식재 방법을 찾고자 한다.

### 1.2 연구의 범위

#### 1) 대상지 선정

일산 주엽동 일대 평지에 위치한 주거단지 중 건축물이 2차로 배치되어 바람의 영향을 적게 받는 주거단지 1곳을 골라 계측기를 설치하였다. 본 대상지는 주거단지 내 주차장 확보를 위해 단지 내부 공간에 지상 주차장을 설치하고 추가로 필요한 수요는 지하주차장으로 충족시키는 형태로 최근의 친환경 주거단지의 조성기법과는 다소 차이가 있으나 많은 주거지가 이와 같은 형태로 여전히 조성되고 있어 본 대상지를 연구대상으로 선정하였다.


구분	Site	대상지 사진
소속 단지명	강선마을 5단지	
중점측정 대상지 면적(m <sup>2</sup> )	11,945	
중점측정 녹지면적(m <sup>2</sup> )	5,242	
단위면적 당 녹지면적(m <sup>2</sup> )	0.43	
중점측정지 녹지율(%)	43.89	

그림 1. 대상지 현황

#### 2) 현장측정 자료 수집

선정한 대상지에 녹지 배치에 따른 온도변화 차이를 검토하기 위해 자동 온습도 계측기를 설치하여 기온과 습도를 측정하였다. 대상지의 조정 공간 한 곳과 불투수 포장 공간 한 곳을 선정하여 각 공간에 인접하여 배치되어 있는 나무에 계측기를 달아 2주간 측정하였고, 두 계측기에서 도출한 데이터를 여러 가지 관점에서 분석하였다. 측정에 사용한 자동 온·습도 측정 장치는 Fourier사의 Microlog Compact Data Logger(Class 1 range -40℃~80℃/0-100%, 오차범위 ±0.2℃/±2%)를 사용하였으며, 직달 일사로 인한 온도영향을 최소화하기 위하여 동풍이 원활하게 제작된 새집을 활용하여 설치하였다. 측정 간격은 3분간격으로 측정하였으며, 2010년 9월 17일부터 9월 30일까지 2주간 현장자료를 모아 Origin8.0과 Matlab R2008a, SPSS 18을 사용하여 분석하였다.

#### 3) 결과분석을 위한 시뮬레이션 수행

본 연구에서 사용한 기후 시뮬레이션 모델인 Envi-met은 독일의 Bruse(1999)가 개발한 미기상 수치모델로 사용자가 지정한, 일정 조건하에 공간에서 나타날 수 있는 기상 변화를 시뮬레이션을 통해 보여준다. 현장 측정처럼

모든 변수를 반영하여 기상변화를 보여줄 수 없지만 일정 조건에서 예측 가능한 기상 변화 추이를 보여준다는 면에서 다양한 연구에 활용되고 있다. 본 연구에서는 식재 유형 변화에 따른 Envi-met 시뮬레이션 결과값 중 기온(Air Temperature), 평균방사온도(Mean Radiant Temperature) 그리고 열쾌적지수(PMV)를 중심으로 분석한다.

### 2. 선행연구 고찰

Envi-met을 이용한 주요 연구 경향을 살펴보면 주로 3가지로 나눌 수 있다. 개발 전 상황에 대하여 개발 후 변화를 예측하는 연구와 특정 공간에 대한 실측 자료를 바탕으로 Input Data를 입력한 대상 공간에 변화를 줄 경우 나타나는 변화 예측 연구 그리고 실측을 바탕으로 Envi-met을 활용하여 대상지의 기후변화나 쾌적성에 대한 분석을 수행하는 연구 등이 있다.

개발 전 상황에 대하여 개발 후 변화를 예측하는 연구로는 정우식(2006)이 개발에 따른 지형변화가 바람장에 미치는 영향을 Envi-met으로 수행하였고, Hien(2007)이 Envi-met을 활용하여 대학 캠퍼스 신축관련 사업에서 개발 전 현황과 개발 후, 환경적으로 개선했을 때 변화를 모의하는 연구를 수행하였다. Chen(2009)은 주거단지 내 측정을 통해 Envi-met 결과치와 대조하여 보정한 후 단지 내 포장 및 호수의 깊이를 변형하여 나타나는 변화를 연구를 수행하였다. Son(2009)은 주거단지의 배치와 포장 종류에 따라 풍속과 쾌적한 공기온도에 영향을 준다는 것을 Envi-met 시뮬레이션을 통해 도출하였다.

환경부(2009)는 도시조성에 탄소배출 저감을 위한 방법론을 연구하는 프로젝트 중 Envi-met을 이용하여 개발 전후에 대한 환경변화 수행하였고, 문수영(2010)은 도시 이용계획 수립 방법에 따른 미기후 변화 연구를 Envi-met을 이용하여 비교 수행하였다.

특정 공간에 대한 실측 자료를 바탕으로 Input 자료에 변화를 줄 경우 나타나는 변화 예측 연구로, Spangenberg et al(2008)은 측정을 통해 Envi-met 결과치와 대조하여 보정하고 Urban Canopy 지역에 식생 분포를 가상으로 변형시킴에 따라 나타날 수 있는 온습도, 바람, MRT등의 변화 예측하였다. 오규식(2009)은 Envi-met을 이용하여 주거단지 배치 유형별 온도차와 바람의 변화 시뮬레이션을 수행하고 회귀분석으로 온도편차를 도출하려 하였다. 고은아(2010)는 공동주택단지 배치 변화를 통한 바람장 변화를 Envi-met으로 시뮬레이션 하고, 실측자료를 수치 모델과 대조하여 정당성을 확립하였다.

실측 후 Envi-met을 활용하여 대상지의 기후변화 등을 산출하는 연구로 김민경(2009)은 Envi-met을 이용하여 대기오염 측정망 주변의 바람 변화를 분석하고 모델 사용의 정당성을 실측 자료를 이용하여 입증하였다. Winston et al(2011)은 Envi-met으로 도시공간 내 심야 시간대 PCI(Park Cool Island, 녹지의 냉섬효과)의 수직·수평적 효과를 검증하였다.

이 외에도 Envi-met과 유사한 수치모형 프로그램인

CFD, UCSS, CityGreen 등을 활용한 연구가 다수 있다. CFD, UCSS 등 기후모델을 활용하는 방법(윤성환(2009), 여인애(2007) 외 다수), 녹피면적과 알베도 변화에 따라 탄소 및 에너지 저감 효과를 CityGreen이라는 프로그램을 활용한 연구(W.D.Solecki, 2005) 등은 시간과 비용을 절약할 수 있고 다양한 변화를 간편하게 분석할 수 있으나 Envi-met과 마찬가지로 사용자의 숙련도에 따라 결과 값이 다르게 나타날 수 있고 현장의 모든 변수를 반영하기 어렵기 때문에 실측치와 대조 시 신뢰도가 떨어질 수 있는 단점이 있다. 기상관련 모델 외에도 열환경 평가를 위한 모델을 활용하여 공간조성 변화에 따라 실외 쾌적감 변화에 대한 연구를 황효근(2009), 윤성환(2009) 등이 수행하였다.

### 3. 연구방법론 및 분석조건 설정

#### 3.1 연구 방법론 설정

분석 대상의 현장에서 측정된 자료를 바탕으로 특정 일시와 가장 가까운 기상 자료를 도출하고 이에 대한 다양한 분석을 수행하는 것이 모델을 이용하는 연구 방법이라 할 수 있다(Bruse, envi-met.com bulletin board). 측정을 통해 도출한 자료와 Envi-met의 결과를 맞추기 위해서는 대상지 내부에 영향을 주는 식생, 포장면, 건물의 범위를 파악하고 도출하는 것이 필요하다. 이를 위해 다음과 같은 방법론을 설정하였다.

- ① 측정 대상지 항공사진 판독과 현장 답사를 통해 식생을 분류한다.
- ② 측정 대상지를 포함한 아파트 단지 전체와 일부 주변의 건축물 높이, 식생 분포 현황, 포장 현황 등을 개략적으로 모델링하여 온도분포를 파악한 후 측정 대상지 내부에 영향을 미칠 수 있는 기류의 흐름을 파악한다.
- ③ ②의 결과를 바탕으로 대상지를 중심으로 대상지 내부에 영향을 미칠 수 있는 범위보다 넓은 지역을 포함하여 모델링한다.
- ④ ③의 결과에서 기류 흐름을 파악하고, 대상지 내부에 영향을 미칠 수 있는 범위를 추출하여 재 모델링한다.
- ⑤ 실측 자료와 ④에서 추출한 결과 비교를 통해 측정 지점 기온에 영향을 주는 대상지 주변 범위를 도출한다.
- ⑥ 실측자료와 앞서 시뮬레이션 결과 자료를 SPSS를 활용하여 통계적으로 검증하여 시뮬레이션의 자료가 오차범주 내에 속하는지를 검증한다.

위 과정을 통해 Envi-met을 연구에 활용할 수 있는 가능성을 도출하고 이를 바탕으로 녹지배치에 따라 나타나는 기후적 변화를 분석하고자 하였다.

대상지에 대한 정확한 시뮬레이션을 수행하기 위하여 대상지 실측 시 수집한 기온과 습도 자료를 입력하여 일부 주변 공간을 포함하여 시뮬레이션을 수행하였다. 실측 시 기온이 가장 높게 나타난 14시를 기준으로 대상지를

포함한 주거단지를 전체 시뮬레이션을 수행한 결과 그림 2와 같이 높은 기온이 대상지 내부에 국한되어 나타나고 대상지와 접한 도로의 일부분에 주변보다 높은 온도를 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

이에 현장측정을 수행한 대상지의 기온에 영향을 미치는 구간을 해당 단지 내 도로와 주변의 녹지로 가정하고 그림 3과 같이 식생을 구분하여 모델링을 수행하였다. 대상지의 측정 지점과 그 주변의 녹지를 모델링한 것을 실측 시 가장 높은 기온 분포를 보인 14시와 일몰 이후 본격적으로 식물의 냉기가 발현되는 22시, 그리고 다음날 동 트기 직전인 익일 04시에 대한 온도분포를 도출한 결과 그림 4와 같은 분포를 나타내었다.



\* 밝은색이 분포할수록 온도가 높게 나타남  
그림 2. 대상지를 포함한 주거단지의 온도분포

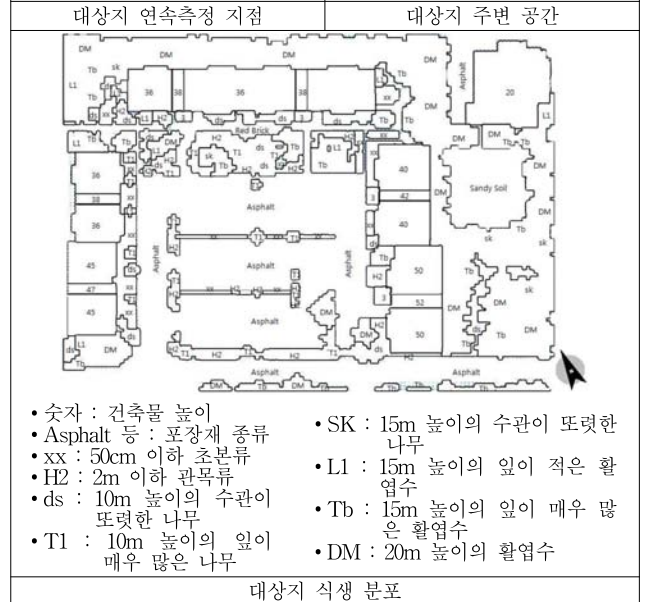
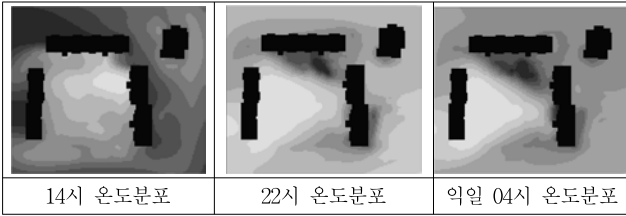


그림 3. 분석 대상지의 엔비메트 식생 모델링 자료



\*밝은색이 분포할수록 온도가 높게 나타남  
그림 4. 분석 대상지의 시간별 온도분포

여기서 주목할 것은 단지 내부의 온도 분포에 ㄷ자로 둘러싸인 건축물 외부에 조성된 녹지에서 형성된 냉기가 ㄷ자 내부에 큰 영향을 미치지 못하고 건축물 주변으로 흩어지는 양상을 볼 수가 있었다. 이에 단지 내부에 영향을 줄 수 있는 범위를 그림 5와 같이 Site1a, Site1b, Site1c와 같이 설정하여 모델의 Input 데이터를 설정하고 실측치와 대조하는 방법으로 실측 변형 모델링을 위한 범위를 구하였다. 그 결과 Site1b가 실측치와 가장 유사한 온도분포를 나타내었고, Site1b를 Input data(입력자료)로 설정하였다.

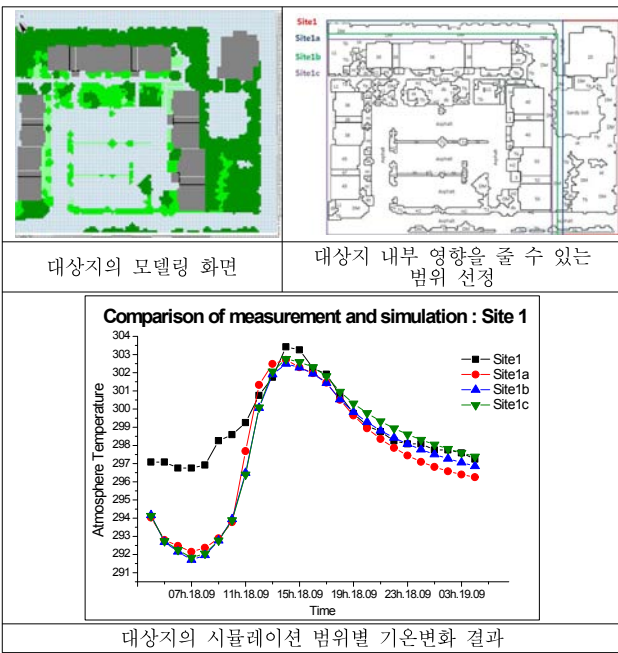


그림 5. 대상지의 Input자료와 측정 자료와 비교 범위 추출

### 3.2 식재유형에 따른 시뮬레이션 방향 설정

식물의 종류를 초본, 관목, 교목으로 나누고 교목의 경우 침엽수와 활엽수, 각 나무의 높이, 잎의 무성함, 수관의 또렷함 등으로 구분하여 식재 중 자료를 구축하였다.

이들 식물 정보 중 우리나라 도심 내에서 자주 볼 수 있는 식물종을 도출하기 위하여 고양시(2008)와 시흥시(2009) 비오톱 지도 자료 중 식생현황 목록을 통해 식재종을 도출하고 이 중에서 Envi-met의 식재종 목록과 대조하여 가장 유사한 종류를 선정하였다. 초본의 경우 50cm 높이의 초본(xx)과 18cm 높이의 식재(lg) 두 가지 종류를 선정하였다. 공동주택 단지 내에 도시농업이 확산되고 있는 추세를 감안하여 옥수수 작물(m) 한 종 역시 선정하

였다. 관목의 경우 2m 내외의 높이인 H2 모델을 유사종으로 선정한다. 교목의 경우 주거단지 내 자라는 나무의 높이가 산지 등 자연에 심었을 때 보다 훨씬 적게 자라는 것을 감안하여 20m 이상의 모델은 DM 한 개의 종에 대해서만 시뮬레이션을 수행하였다. 침엽수의 경우 Envi-met에서 제공하는 주거단지 내 침엽수 모델인 16m 높이의 침엽수(co)를 선정하였고, 활엽수의 경우 10m, 12.5m, 15m 등 높이별 식재를 선정하고 이 중 잎의 무성한 수종(Tb, 15m), 잎이 다소 빈약한 수종(I1, 15m), 12.5m 높이의 활엽수(wm), 10m 내외의 수관이 또렷한 수종(ds) 등 총 11종을 선정하였다. 그리고 대상지에 식재를 단일 종으로 바꾸고 11종의 식재 변화에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 그리고 11종의 시뮬레이션 결과를 기온과 평균방사온도 측면에서 시간대별로 전체평균을 도출하여 그래프를 산출하였다(그림 6).

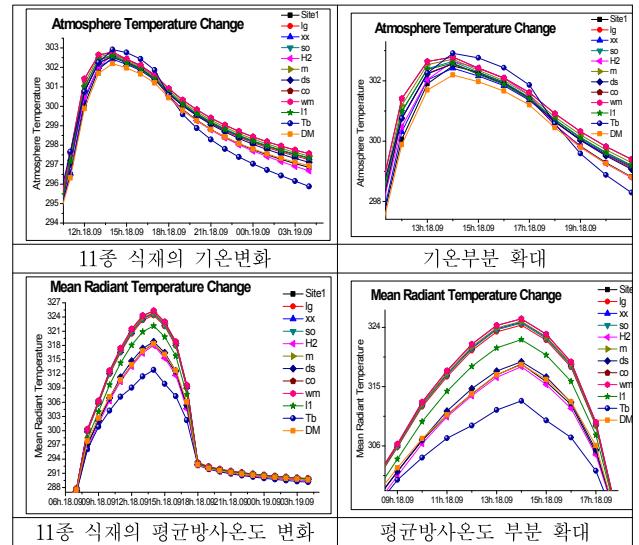


그림 6. 11종 식재에 대한 기온과 평균방사온도 변화

11종 식재 변화에서 기온의 경우 시간대 별로 대상지 내 변화가 식재의 변화에 따라 큰 차이가 나타나지 않는 경향을 보인다. 14시를 전후한 시간대를 부분 확대한 그래프에서도 식재에 따라 가장 높은 온도분포를 보이는 식재와 가장 낮은 온도분포를 보이는 식재의 차가 1K범위를 벗어나지 않는 경향을 보여주고 있다. 그러나 평균방사온도의 경우 식재 종류에 따라 큰 차이를 보이는 경향이 나타난다. 15m 높이의 잎이 무성한 활엽수 종인 Tb 종의 경우 가장 낮은 온도 분포를, 20m 높이의 활엽수인 DM과 10m 높이의 활엽수인 ds, 2m 높이의 관목류인 H2가 유사한 온도분포로 Tb보다 약간 높은 온도분포를 보이고 있다. 그 다음으로 15m 높이의 잎이 다소 빈약한 I1이 앞선 두 종류보다 높은 온도 분포를 보이고, 나머지 초본류, 옥수수과류, 침엽수류와 앞서 언급된 종을 제외한 활엽수류가 동일한 온도 분포를 보이고 있다. 이러한 경향을 미루어 짐작할 때 11종의 모델 중 유사한 온도 변화 경향을 보이는 것을 변형 시뮬레이션에 모두 사용하기보다 대표종류를 선정하여 시뮬레이션을 수행하는

것이 더 효과적인 것을 알 수 있다.

초본류의 경우 50cm와 18cm 내외의 높이 종이 같은 온도변화 경향을 나타내고 있고, 두 가지 높이 중 중 주 거단지 내에서는 초본을 잔디처럼 짧게 가꾼다는 점을 감안하여 18cm 높이의 식재종인 lg를 식재변형 시물레이션을 위한 대표 종으로 선정하도록 한다. 관목류 H2와 침엽수 co는 그대로 대표 종으로 활용하도록 한다. 도심 내에서는 20m정도로 높은 수목이 잘 자라지 않는 점을 감안하여 DM종은 시물레이션에서 제외하고 10m 높이의 ds가 DM과 온도변화와 동일한 점을 감안하여 10m 높이의 활엽수인 ds를 시물레이션 종으로 선정한다. 그리고 15m 높이의 잎이 무성한 Tb종과 잎이 다소 적은 l1이 평균방온도에서 두드러진 온도 변화를 나타내고 있으므로 시물레이션 대표 종으로 선정한다. 10m 높이의 활엽수와 15m 높이의 활엽수 사이의 중간 높이인 wm은 앞선 활엽수를 제외한 나머지 식생과 동일한 온도변화를 나타내고 있으므로 대표 종으로 선정한다. 식재유형 시물레이션을 수행할 대표 종으로 선정한 식재 총 7종은 아래의 표와 같다.

표 1. 시물레이션에 사용한 대표수종 선정

명칭	시물레이션 대표 수종 설명
lg	18cm 내외의 초본류 (잔디, 클로버 등)
H2	2m 내외의 생울타리로 활용 가능한 관목류 (회양목 등)
ds	10m 내외의 수관이 또렷한 활엽수 (목련 등)
wm	12.5m 내외의 활엽수 (은행나무 등)
l1	15m 높이의 잎이 적은 활엽수 도심 내 많은 조경수 (상수나무 등)
Tb	15m 높이의 잎이 매우 많은 활엽수 (플라타너스 등)
co	16.5m 내외의 침엽수 (향나무 등)

\*비오톱 조사에서 수종 별 도시 내 실재 키를 기준으로 구분함

위에서 선정한 7가지 종류의 식재를 식재 수가 늘어남에 따라 그리고 식재를 어떤 종류로 혼식함에 따라 온도변화가 나타나는지에 대해 살펴보기 위해 다음 표 2와 같이 식재배합을 구성하고 시물레이션을 수행하였다.

표 2. 수종변화에 따른 시물레이션을 위한 식재구성

구분	식재구성	비고
1종 식재	lg /H2 /co /ds /wm /l1 /Tb	
2종 식재	1lg + 1Tb	초본이 포함된다 가정 하에 식재를 구성함
	1lg + 1co	
	1lg + 1H2	
	1lg + 1ds	
	1lg + 1l1	
3종 식재	1lg + 1wm	초본과 관목이 포함된다 가정 하에 식재를 구성함
	1lg + 1H2 + 1ds	
	1lg + 1H2 + 1Tb	
	1lg + 1H2 + 1l1	
	1lg + 1H2 + 1wm	
	1lg + 1H2 + 1co	
	1lg + 1co + 1ds	
1lg + 1co + 1Tb		
1lg + 1co + 1l1		
1lg + 1co + 1wm		
4종 식재	1lg + 1H2 + 1co + 1Tb	초본, 관목, 침엽수가
	1lg + 1H2 + 1co + 1l1	

구분	식재구성	비고
	1lg + 1H2 + 1co + 1ds	포함된다는 가정 하에 식재를 구성
	1lg + 1H2 + 1co + 1wm	
5종 식재	1lg + 1H2 + 1co + 1Tb + 1l1	초본, 관목, 침엽수가 포함된다 가정 하에 식재를 구성
	1lg + 1H2 + 1co + 1Tb + 1ds	
	1lg + 1H2 + 1co + 1Tb + 1wm	
	1lg + 1H2 + 1co + 1l1 + 1ds	
	1lg + 1H2 + 1co + 1l1 + 1wm	
	1lg + 1H2 + 1co + 1ds + 1wm	
6종 식재	1lg+1H2+1co+1ds+1Tb+1l1	초본, 관목, 침엽수가 포함된다 가정 하에 식재를 구성
	1lg+1H2+1co+1ds+1l1+1wm	
	1lg+1H2+1co+1Tb+1wm+1l1	
7종 식재	1lg+1H2+1co+1ds+1Tb+1l1 +1wm	선정한 7가지 식재가 모두 포함됨

#### 4. 식재유형 변화에 따른 온도변화 결과 분석

##### 4.1 현장 측정자료와 시물레이션 자료의 통계적 검증

고정식 측정을 통해 수집한 자료와 Envi-met을 통해 구축한 자료의 차이를 시간대 및 대상지별로 검증하기 위하여 SPSS를 이용한 회귀분석을 수행하였다. 현장에서 측정된 자료와 시물레이션 대상지에서 도출한 자료를 SPSS 18을 이용하여 분산분석(ANOVA Test)을 수행하였다. 가설을 현장측정결과와 시물레이션 결과는 다를 것이다'라고 설정하고 95% 신뢰구간을 두고 분산분석을 수행한 결과 유의확률이 0.245로 설정한 가설은 기각된다. 즉, 각각 도출한 대상지의 시물레이션 결과는 실측 자료와 차이가 없다고 볼 수 있다.

분산분석 결과를 통해 독일에서 만들어진 기후 모델이 국내에서도 활용이 가능하다는 것을 실측자료와 비교를 통하여 검증하였다. 이를 바탕으로 선정한 대상지 내 자료를 바탕으로 식재 수에 의한 변화를 시물레이션을 통해 도출하였다.

##### 4.2 식재유형 변화에 따른 온도변화 관계

###### 1) 단일식재

현실적으로 주거단지 내에 단일식재를 하는 일은 없지만, 한 종의 식재를 수행할 때 기존의 단지에 비해 어떤 온도변화를 나타내는지에 대해 알아보기 위하여 분석을

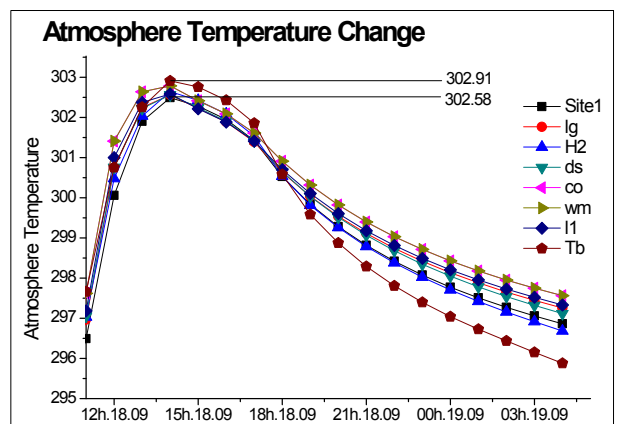


그림 7. 단일식재에 의한 기온 변화

시행하였다. 단일식재에 의한 온도변화 결과는 시뮬레이션 방향 도출을 위한 예비 시뮬레이션 자료 중 선정된 7가지 중에 대한 변화를 종합한 자료로서 아래 그림 7~8과 같다.

그림 7에서 기존 대상지의 온도 변화에서 가장 급격하게 온도가 상승하는 시간대인 14시에서 가장 높은 기온 분포를 보이는 잎이 매우 무성한 15m 활엽수(Tb)와 가장 낮은 온도 분포를 보이는 잎이 비교적 적은 15m 높이의 활엽수(I1)의 온도 차이는 0.33K로, 낮 시간대에는 식재 종류로 인한 온도 차이가 크게 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 일몰 이후 시간대에서 온도 저감 효과는 가장 높은 온도 분포를 보이는 12.5m의 활엽수(wm)와 가장 낮은 온도 분포를 보이는 잎이 매우 많은 15m 활엽수(Tb)와의 온도 차이가 2K 이상 차이가 나타나는 것을 보아 식재 종에 따라 일몰 이후 기온의 저감 효과가 있음을 알 수 있었다.

선정한 식재의 평균방사온도 변화를 살펴보면, 해가 떠 있는 일조 시간에 온도차이가 나타나고 일조 이전이나 일몰 이후에는 온도 차이가 거의 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 온도가 가장 높게 분포하는 것은 12.5m 높이의 활엽수(wm)와 16.5m 높이의 침엽수(co)이고, 가장 낮은 분포를 보이는 것은 15m의 잎이 매우 무성한 활엽수(Tb)임을 알 수 있다. 평균방사온도의 변화는 잎이 매우 무성한 활엽수의 경우 낮 시간 동안 주거단지 내에 그림자를 길게 형성하여 일조시간 동안 태양열이 잘 전달되지 않도록 하여 다른 나무보다 온도저감에 효과적이라는 기존의 연구결과와 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

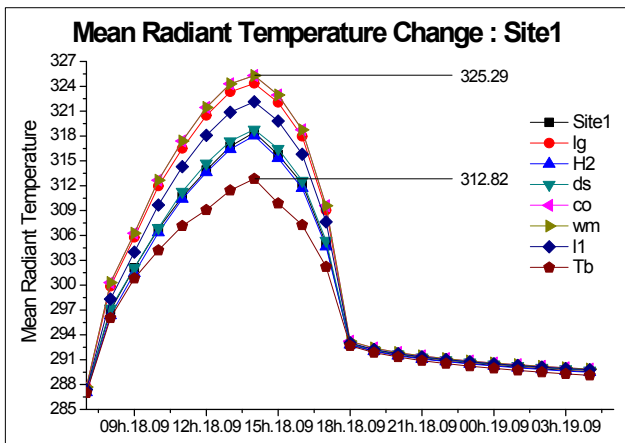


그림 8. 단일식재에 의한 평균방사온도 변화

즉, 식재종으로 인한 차이가 기온에서는 크게 나타나지 않으나 열쾌적성과 관련이 높은 평균방사온도에서는 크게 변화가 나타난다는 것을 알 수 있다.

2) 초본과 수목1종 식재

초본과 수목 중 한 가지 종류만 식재를 한다는 가정 하에 수행한 시뮬레이션에서 초본과 그 외 하나의 수목을 1:1로 배합하여 모델링을 수행하였다(표 2의 2종 식재 참조). 초본과 수목 1종의 모델링 자료를 시뮬레이션 한 결과 기온, 평균방사온도 변화는 다음 그림 9~10과 같다.

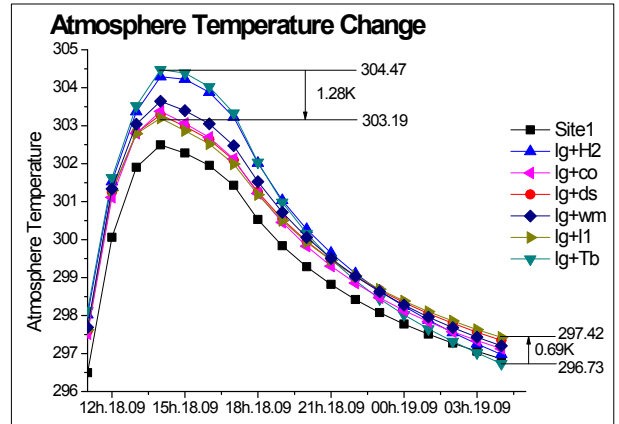


그림 9. 초본과 수목 1종 식재시 기온 변화

기온의 경우 14시를 기준으로, 현재 식재된 공간을 대상으로 모델링한 결과보다 모두 높은 기온 분포를 보이고 있고 일몰 이후에도 마찬가지로의 분포를 보여주고 있다. 초본과 수목을 1:1로 혼식하였지만 단일 식재 종에서 나타난 온도 분포 경향이 그대로 2종 식재에서도 나타나고 있다. 14시를 기준으로 잎이 매우 많은 15m 활엽수(Tb)가 높은 온도분포를 보이고 12.5m의 활엽수(wm)가 낮은 온도분포를 보이다가 일몰 이후에는 두 식재종의 온도 분포 경향이 반대로 나타나고 있다.

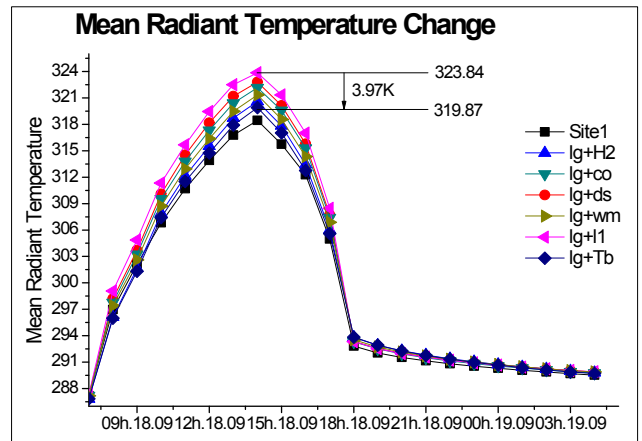


그림 10. 초본과 수목 1종 식재시 평균방사온도 변화

평균방사온도의 경우 1종 식재와 달리 2종 식재를 수행한 것 보다 현재 다양한 식생 종류로 구성된 현재의 대상지가 낮은 온도분포를 보여주고 있다. 그리고 2종 식재 결과 중 잎이 매우 많은 15m 활엽수(Tb)가 가장 낮은 온도분포를 보이고 있는 것은 1종 식재와 마찬가지로이지만, 가장 온도 분포가 높게 나타나는 종은 잎이 적은 15m의 활엽수 종류로 나타났으며, 14시의 쾌적성을 감안할 때 이러한 배식은 그리 효율적이지 못한 식재 구성임을 추론할 수 있다.

3) 초본과 관목 혹은 침엽수, 활엽 1종 식재

초본과 2m 내외의 관목 혹은 침엽수를 기본으로 한 구성에 활엽수를 1종 선정하여 3종 식재를 수행하였다(표 2

의 3종 식재 참조).

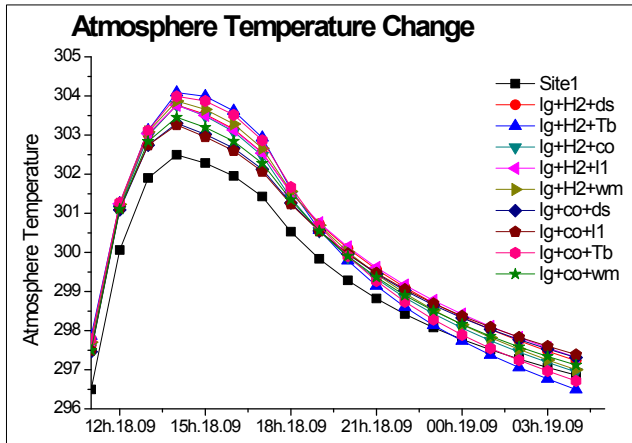


그림 11. 초본과 관목 혹은 침엽수, 활엽 1종 식재 시 기온변화

기온 모델링 결과 기존의 실측 대상지를 모델링한 결과 보다 온도 분포가 약 1K정도 높게 나타나고 있고, 14시를 기준으로 볼 때, 3종 배식의 모델링 결과가 큰 온도차를 나타내지 않고 있다. 일몰 이후에 나타나는 변화에서 초본과 관목, 잎이 매우 많은 15m 활엽수의 배합(lg+H2+Tb)에서 온도 저감이 가장 많이 나타나고 있고, 초본과 관목, 잎이 적은 활엽수의 배합(lg+H2+1)에서 온도저감이 상대적으로 낮게 나타나고 있다. 초본과 침엽수 그리고 활엽수 1종으로 구성된 배합에서는 두드러지게 온도가 높게 혹은 낮게 분포하는 경향이 나타나지 않았다.

평균방사온도의 변화의 경우 기존 대상지의 모델링과 유사한 온도분포를 보이고 있고, 14시를 기준으로 가장 낮은 온도 분포의 그래프와 가장 높은 온도 분포의 그래프 사이 온도차이가 3K 내로 평균방사온도에서 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 일조시간을 기준으로 가장 낮은 온도분포를 보이는 식재 배합과 가장 높은 온도분포를 보이는 식재 배합이 모두 기온에서 가장 낮은 온도분포를 보이는 식재배합(lg+H2+Tb)과 가장 높은 온도분포를 보이는 식재배합(lg+co+1)과 일치하는 경향을 보여주고 있다.

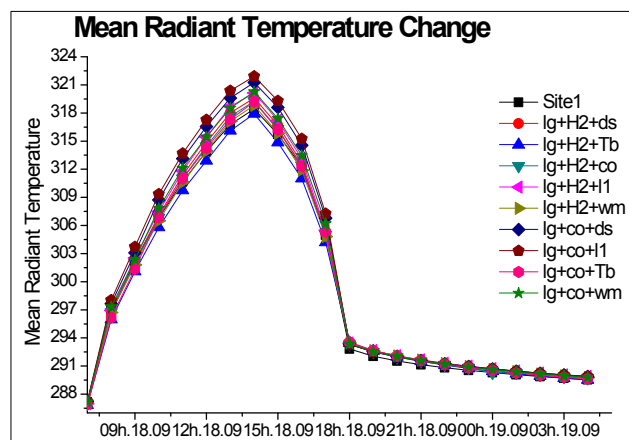


그림 12. 초본과 관목 혹은 침엽수, 활엽 1종 식재 시 평균방사온도변화

4) 초본과 관목, 침엽수, 활엽 1종 식재

초본과 관목, 침엽수를 기본으로 식재한 후 높이가 서로 다른 활엽수 1종을 식재하고 이에 따른 기온, 평균방사온도 변화를 시뮬레이션 하였다(표 2의 4종 식재 참조).

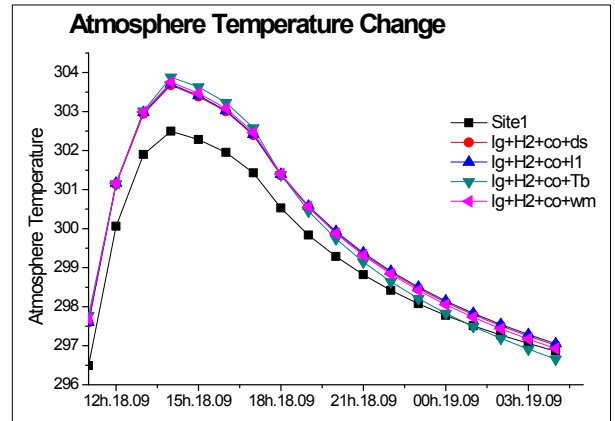


그림 13. 초본과 관목, 침엽수 그리고 활엽 1종의 기온변화

기온 시뮬레이션 결과 가장 더운 14시를 기준으로 기존의 대상지를 바탕으로 모델링한 결과 보다 약 2K정도 높은 기온 분포를 보이고 있다. 앞선 모델링에서와 큰 차이는 아니지만 마찬가지로 잎이 매우 많은 15m 높이의 활엽수(Tb)중이 낮 시간에는 기온이 높은 것으로 나타나다가 일몰시간 이후에는 급격하게 기온이 떨어지는 것으로 나타났다. 나머지 활엽의 경우 낮과 밤 시간대에 비슷한 기온 분포를 보이고 있다.

평균방사온도의 경우 앞 선 시뮬레이션의 결과처럼 잎이 매우 많은 15m 높이의 활엽수가 분포한 배식이 가장 낮은 온도분포를 보이고 있고, 잎이 비교적 적은 활엽수의 배식이 가장 높은 온도분포를 보이고 있다. 앞선 시뮬레이션에서처럼 가장 높은 온도분포를 보인 배식과 가장 낮은 온도분포를 보인 배식의 차이가 크게 나타나지는 않지만, 활엽수의 잎의 양이 많은 수종의 배합이 단지 내 평균방사온도를 저감 시키는데 기여하는 것을 알 수 있다.

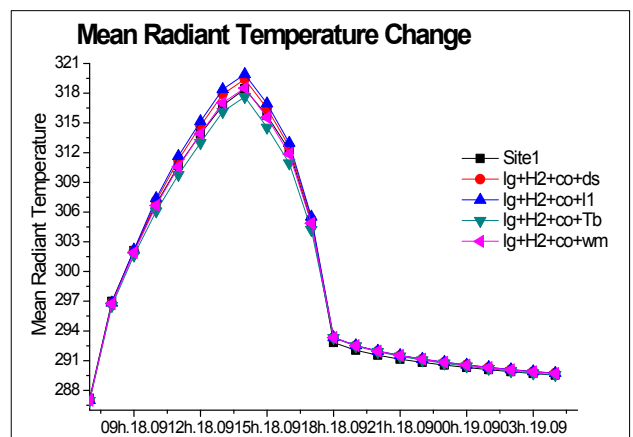


그림 14. 초본과 관목, 침엽수 그리고 활엽 1종의 평균방사온도 변화

5) 초본과 관목, 침엽수, 활엽 2종 식재

앞선 모델링에서 활엽수의 종류를 1가지로 변화시킨 모델링 결과를 바탕으로 활엽수의 종류를 2가지로 늘려 시뮬레이션을 수행하였다(표 2의 5종 식재 참조).

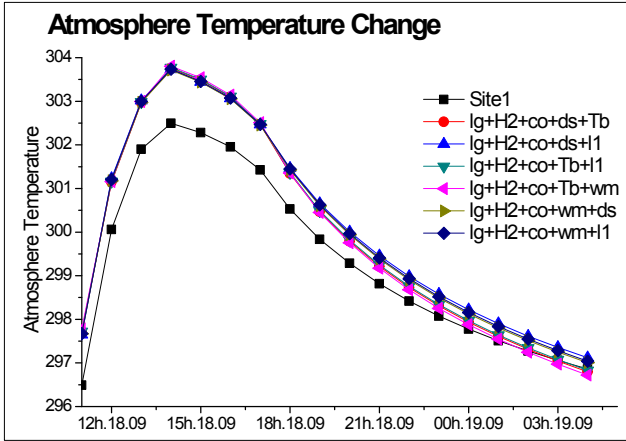


그림 15. 초본과 관목, 침엽수, 활엽 2종 식재 시 기온변화

기온의 경우 2가지 변형되는 활엽수의 종류와 상관없이 가장 더운 14시를 기준으로 최저와 최고 온도분포의 차이가 거의 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 그리고 현재 관측한 대상지를 모델링한 수치와의 간격도 앞선 4)에서 수행한 시뮬레이션 결과보다 비교적 좁아진 것을 알 수 있다.

일몰시간 이후의 변화에서도 활엽수 2종의 변화에 따른 온도차가 거의 나타나지 않는 경향을 보여주고 있다. 그러나 잎이 매우 많은 15m의 활엽수와 잎이 많은 12.5m의 활엽수를 조합하여 식재한 공간이 다른 공간에 비하여 비교적 온도 분포가 낮게 나타나는 것으로 보아 일몰 이후 식재의 기온 저감효과에는 잎이 많은 활엽수가 적은 활엽수 보다 좋다는 것을 추측할 수 있다.

평균방사온도(그림 16)에서도 마찬가지로 활엽수 2종의 변화에 따른 온도변화 중 가장 높은 온도분포와 가장 낮은 온도분포 차이가 3.4의 시뮬레이션 결과 보다 비교적 좁게 나타나는 것을 알 수 있다. 즉, 3.4의 시뮬레이션 보다 활엽수의 종이 하나 추가됨에 따라 온도와 평균방사온도에서 최고, 최저로 나타나는 온도분포의 차이가 좁아지는 것을 알 수 있었다.

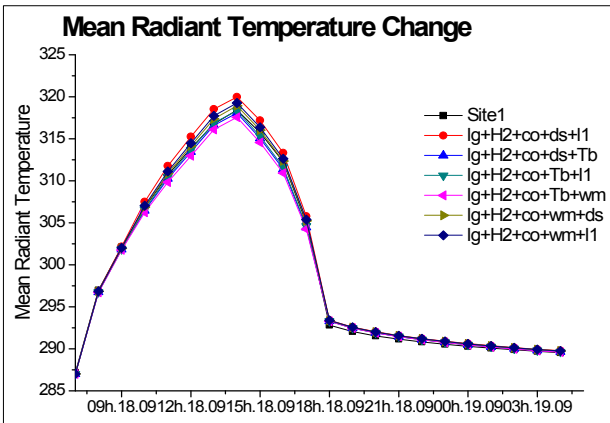


그림 16. 초본과 관목, 침엽수, 활엽 2종 식재 시 평균방사온도 변화

앞선 분석과 종합해 볼 때, 초본과 관목, 침엽수가 1종 식 배식이 되었을 경우 활엽수의 종류가 늘어나면 식재의 종류에 상관없이 기온, 평균방사온도 등의 변화가 거의 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

6) 초본과 관목, 침엽수, 활엽 3종 및 활엽 4종 식재

앞선 시뮬레이션 결과에서 추정된 바와 같이 식재한 활엽수의 종류를 증가시키에 따라 온도 변화 차이가 크게 나타나지 않는다는 가설을 검증하기 위하여 초본, 관목, 침엽수를 식재한 바탕에 활엽수의 종류를 3종과 4종으로 모델링을 수행하였다(표 2의 6종 및 7종 식재 참조).

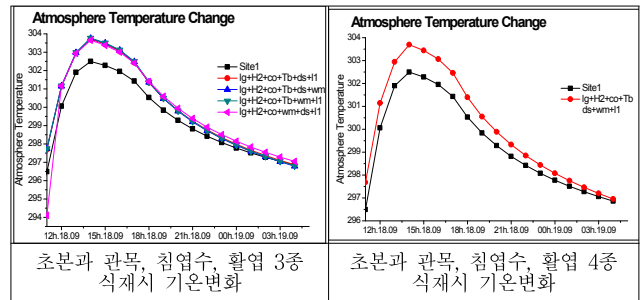


그림 17. 초본과 관목, 침엽수, 활엽 3종 및 활엽 4종 식재 시 기온 변화

초본과 관목, 침엽수가 조성된 공간에 활엽수를 3종 심었을 경우와 모델링 대상이 되었던 활엽수 4종을 모두 심은 경우 기온변화를 보면 그림 17과 같이 나타난다. 가장 기온이 높은 시간대인 14시를 기준으로 기존의 대상지 모델링 결과와 온도 차이가 2K미만으로 차이가 나고, 활엽수 배식 종류를 달리하더라도 온도변화에 큰 차이가 나타나지 않는다.

평균방사온도에서도 활엽수의 종류가 3종 이상으로 늘어남에 따라 최고 온도와 최저 온도분포의 차이가 거의 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

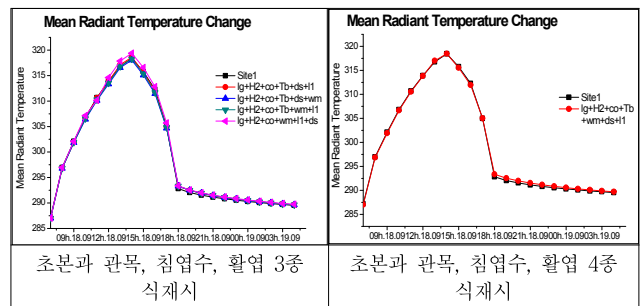


그림 18. 초본과 관목, 침엽수, 활엽 3종 및 활엽 4종 식재 시 평균방사온도 변화

4.3 식재유형 변화에 따른 열 쾌적성 변화

앞선 분석에서 식재의 수를 점차적으로 늘림에 따라 14시의 온도 분포에서 최고일 때와 최저일 때의 차이가 적어지는 경향을 보였다. 이에, 수종 수 변화에 따라 기온, 평균방사온도, PMV의 변화를 도출하였다.



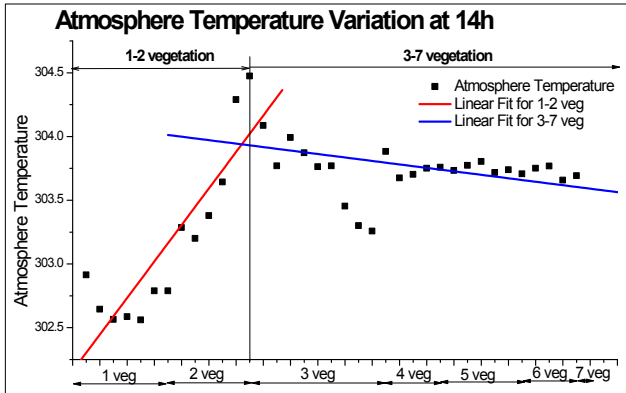


그림 19. 수종 수 변화에 따른 기온변화(14시)

14시 기온변화의 경우(그림 19), 수종을 1종에서 2종까지 식재할 경우 수종에 따라 기온이 상승하는 경향을 보이다가 3종 이상 식재할 경우 식재의 수가 늘어남에 따라 온도가 점차 낮아지는 경향을 보여주고 있다. 22시의 경우 1종의 식재까지는 수종에 따라 기온이 오르는 경향을 보이다 2종 이상 식재 시 기온이 점차적으로 낮아지는 경향을 보인다.

그러나 14시와 22시 모두 수종의 수를 늘림에 따라 동시간대의 기온이 점차적으로 낮아지는 경향을 보이지만, 그 기울기는 매우 완만한 경향을 보여주고 있다. 즉, 기온에서는 수종의 수를 3종 이상 수를 늘릴 경우 동시간대에 기온은 수종 수에 따라 낮아지는 경향을 보이기는 하지만, 그 차이가 그리 크게 나타나지는 않는다는 것을 알 수 있다.

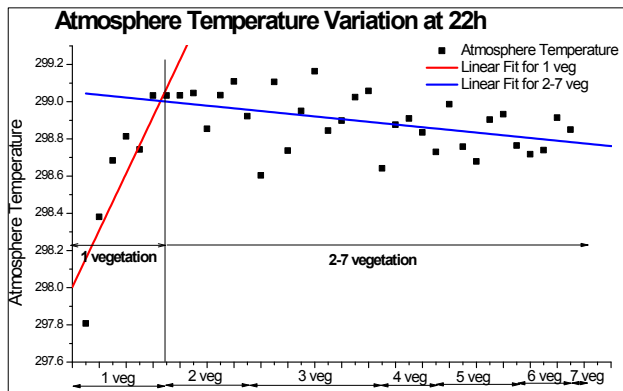


그림 20. 수종 수 변화에 따른 기온변화(22시)

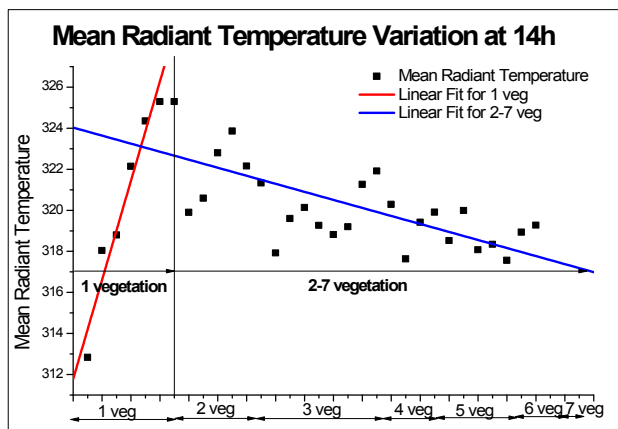


그림 21. 수종 수 변화에 따른 평균방사온도 변화(14시)

평균방사온도의 변화를 살펴보면, 14시의 온도 변화가 1종 식재의 경우 수종에 따라 온도가 올라가는 경향을 보이지만, 2종 이상의 식재시 기온과 마찬가지로 온도가 내려가는 경향을 보이고 있다.

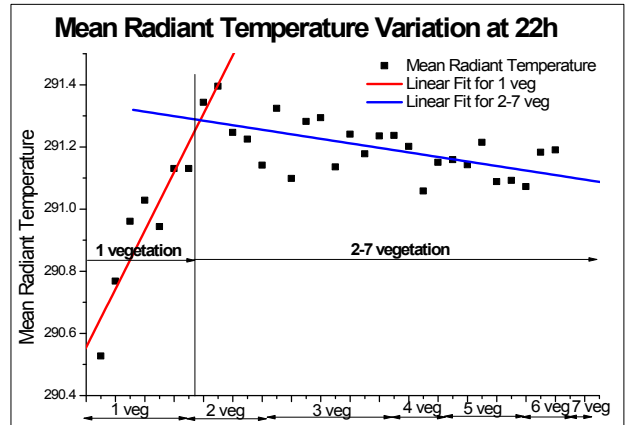


그림 22. 수종 수 변화에 따른 평균방사온도 변화(22시)

그러나 식재 양이 증가됨에 따라 기온이 저감되는 기울기는 완만하게 나타났지만, 평균방사온도가 저감되는 기울기는 기온과 다르게 급격하게 나타나고 있다. 2종 식재에 가장 높은 온도분포와 7종 식재의 온도분포가 7K정도 나타나고 있다. 22시의 경우, 14시와 마찬가지로 식재 수가 늘어남에 따라 평균방사온도가 점차적으로 저감되는 경향을 보여주고 있다. 저감 기울기는 14시 보다는 다소 완만하게 나타나지만 저감되는 경향을 확인할 수 있다.

기온과 평균방사온도의 변화를 비교해 볼 때, 기온의 경우 식재수를 증가시킴에 따라 동시간대 온도가 점차적으로 저감하기는 하지만 그 변화가 크게 나타나지 않고, 평균방사온도의 경우 식재수를 증가시킴에 따라 온도가 급격하게 저감되는 경향을 보여주고 있다.

기온과 평균방사온도의 변화를 토대로 인체 열쾌적 지수를 나타내는 PMV를 산출해본 결과 그림 23~24와 같은 변화를 보여준다. 앞선 분석의 평균방사온도 경향과 유사하게 식재수를 증가시킴에 따라 가장 더운 14시에 쾌적성이 급격하게 개선되지만 22시에서는 식재 수 증가

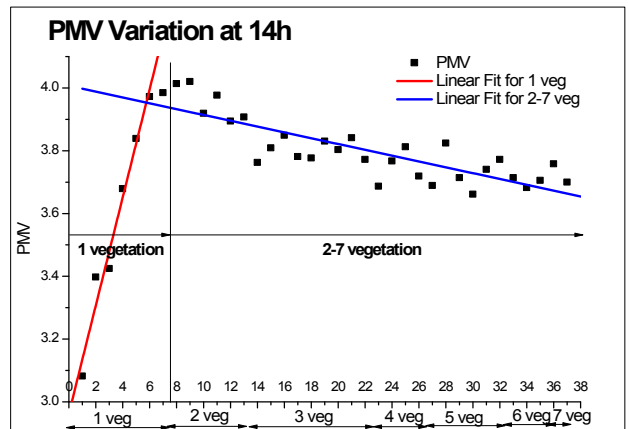


그림 23. 수종 수 변화에 따른 PMV 변화(14시)

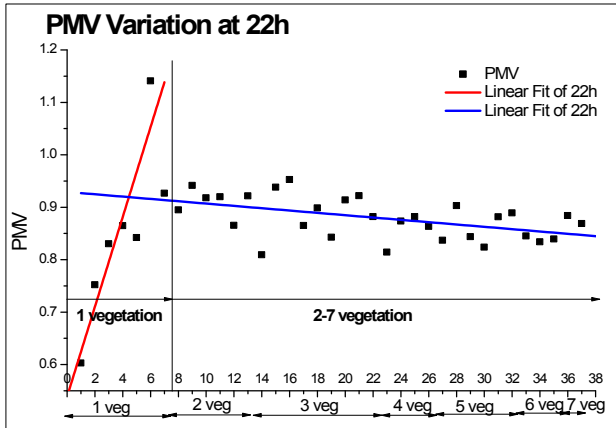


그림 24. 수종 수 변화에 따른 PMV 변화(22시)

에 따라 쾌적성의 개선이 크게 나타나지는 않는다. 즉, 가장 더운 14시에 인체가 느끼는 쾌적성을 개선하기 위해서는 같은 면적에 식재를 하더라도 식재 종의 수를 다양하게 변화시킬 필요가 있다.

기온과 평균방사온도의 변화와 마찬가지로, 식재수의 종류를 다양하게 할 경우 낮 시간 열 쾌적성이 눈에 띄게 개선되지만 밤 시간 열쾌적성 변화에는 크게 영향을 주지 않은 것을 알 수 있었다. 즉, 낮 시간대 열쾌적성 개선을 위해서 동일한 면적에 식재를 할 경우 초본, 교목, 야교목, 교목을 잘 혼합하여 다양한 종류의 식재를 할 필요가 있다는 것을 본 연구의 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

**5. 결론 및 향후 연구방향**

본 연구는 주거단지 내 녹지의 다양한 식재유형의 적용을 통하여 단지 내 온도저감을 도모하고 열 쾌적성을 개선하는 방법을 시뮬레이션 분석을 통하여 찾고자 하였다.

이를 위하여 동일한 조경 면적에 식재를 할 때 식재 유형 변화에 따라 기온과 열 쾌적성에 미치는 영향을 찾아내어 단지 내 온도저감에 효율적인 조경 식재 방법을 모색하였으며, 그 결과를 간단하게 요약하면 다음과 같다.

단지내 적용하는 식재종 구성에 따라 온도 차이가 2K 이상의 일몰 이후 기온 저감 효과가 있었으며, 활엽수 잎의 양이 많은 식종의 배합이 단지 내 평균방사온도를 저감 시키는데 기여하는 것을 알 수 있다. 잎이 매우 많은 15m의 활엽수와 잎이 많은 12.5m의 활엽수를 조합하여 식재한 공간이 다른 공간에 비하여 비교적 온도 분포가 낮게 나타나는 것으로 보아 일몰 이후 식재의 기온 저감 효과에는 잎이 많은 활엽수가 적은 활엽수 보다 좋다는 것을 예측할 수 있었으며, 가장 더운 14시에 인체가 느끼는 쾌적성을 개선하기 위해서는 같은 면적에 식재를 하더라도 식재 수종을 다양하게 변화시킬 필요가 있음을 과학적 분석결과에 기반하여 제안할 수 있었다.

현재 연구는 실측을 바탕으로 Envi-met 시뮬레이션을 이용하여 식재수의 변화를 통해 단지 내 기온, 평균방사온도와 열쾌적성이 변화하는 경향을 분석한 연구이다. 실

측에서 실측 데이터와 Envi-met 시뮬레이션 결과치가 일치하고 있음을 검증 후 수행한 시뮬레이션이지만, 향후 실제 단지에 동일한 조건으로 실험을 수행하여 위의 결과를 재검증하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

**참고문헌**

1. 고은아(2010), Envi-met에 의한 바람길 해석 및 건물배치 계획, 한밭대학교 석사논문
2. 김맹기 외 2(1999), 최근 40년간 한반도 도시화에 따른 기온 증가량 추정, 한국기상학회지 제35권 제1호, 118-126
3. 김민경 외 4(2009), Envi-met 모델을 이용한 도심지역 대기오염측정망 주변의 바람장 분석, 한국환경과학회지 제18권 제9호, 941-952
4. 문수영 외 2(2010), 환경생태계획의 도시기후 변화 대응 가능성 연구, 한국생태환경건축학회 논문집 Vol.10, No.6, 11-19
5. 여인애 외 1(2007), 도시구조 유형별 기온 형성 특성에 관한 연구, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집 828-831
6. 오규식 외 2(2009), 열환경 향상을 위한 아파트 주동배치계획, 한국환경복원학회지 제12권 제2호, 83-94
7. 윤성환 외 1(2009), 공동주택의 주동형상 및 배치유형에 따른 여름철 옥외 열환경 예측평가, 대한건축학회 제25권 9호, 321-328
8. 정우식 외 2(2006), 개발에 따른 지형변화가 국지 바람장에 미치는 영향분석-Envi-met 모형을 이용한 수치모의, 한국대기환경학회지 제22권 6호, 888-903
9. 황효근 외 1(2009), 공동주택 단지 내 지반특성 및 지반 구성에 따른 열적 특성에 관한 연구, 한국태양에너지학회 제29권 5호, 88-97
10. 고양시(2008), 친환경 도시건설(경관생태관리·생태지도 작성) 연구보고서, 한국건설기술연구원
11. 시흥시(2009), 시흥시 생태현황도 제작(2단계) 최종보고서, 한국건설기술연구원
12. 한국건설기술연구원(2008), 도시기후 영향 최소화 생태도시 건축기술 개발 기획보고서, 한국건설기술연구원
13. 환경부(2008), 한반도 및 동아시아 기후변화 추세분석 및 원인 규명, 연세대학교 산학협력단
14. 환경부(2009), 저탄소 녹색도시 만들기 - 탄소감축량 추산에 의한 고강뉴타운 저탄소 설계지침 적용
15. BRUSE, M.(1999), Modelling and Strategies for improved urban climates, International Conference on Urban Climatology & International Congress of Biometeorology in Sydney.
16. Spangenberg, J. et al(2008), Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of sao paulo, Rev. SBAU. Piracicaba V3.N2
17. Mcpherson, E.G. et al(1988), Impacts of vegetation on residential heating and cooling, Energy and Buildings Vol.12, 41-51
18. Solecki, W. D. et al(2005), Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey, Environmental Hazards 6, 39-49
19. Son et al 4(2009), A Study on Planning Methods of Apartment Complex for a Sustainable Residential Environment, International Journal of Humanities and Social Sciences 3:1

20. Winston T.L. et al(2011), Observing and modeling the nocturnal park cool island of an arid city : horizontal and vertical impacts, Theor Appl Climatol 103, 197-211
21. Wong Nyuk Hien et al(2007). GIS-based greenery evaluation on campus master plan, Landscape and Urban Planning 84, 166-182
22. Zhuolun Chen et al(2009), Sensitive analysis of landscaping effects on outdoor thermal environment in a residential community of hot humid area in china, The 7th International conference on Urban Climate

#### Acknowledgement

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(도시기후 변화 대응 생태단지 조성 기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

This research was supported by a grant from a Strategic Research Project (Technology on Developing Eco-Housing estate that Countermeasures Urban Climate Changes) funded by the Korea Institute of Construction Technology.

투고(접수)일자: 2011년 12월 26일

수정일자: (1차) 2012년 4월 2일

(2차) 2012년 4월 22일

게재 확정일자: 2012년 4월 24일