韓國環境復元技術學會誌 18(6) : 15～25(2015)
J. Korean Env. Res. Tech. 18(6) : 15～25(2015)
DOI : http://dx.doi.org/10.13087/kosert.2015.18.6.15
ISSN 1229-3032

옥상녹화시스템의 현열유동에 따른 동적온도모형 검증을 위한 모니터링 연구*

박은희[1] · 김태한[2] · 박상연[1] · 장성완[3]

[1] 상명대학교 일반대학원 환경자원학과 · [2] 상명대학교 환경조경학과 · [3] 에코앤바이오(주)

A Study on Monitoring to Investigate Dynamic Temperature Model by Sensible Heat Flux of Green Roof System*

Park, Eun-hee[1] · Kim, Tae-han[2] · Park, Sang-yeon[1] and Jang, Seong-wan[3]

[1] Dept. of Environmental Resources, Graduate School, Sang Myung University,
[2] Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University, [3] Eco&Bio.

ABSTRACT

The growth of impermeable layers in the city center due to today's urban development is emerging as a major cause of urban heat island effects as well as recurring inland flood damages. In order to cope with such disasters caused by climatic changes, an artificial ground afforestation system is suggested as a fundamental solution that addresses both water environment and heat environment. For the afforestation system to replace the current disaster prevention facilities, quantitative performance verification through related numerical analysis models and actual survey monitoring is necessary. Therefore, this study seeks to propose the performance predication method for the heat environment of the afforestation system by looking into correlations between measurements by physical vegetation indicators such as LAI and FVC and forecasts from FASST, a vegetation canopy model used by US Corps of Engineers.

Key Words : *Green roof, Heat flow algorithm, Plant canopy model, LAI, FVC, Vegetation Index.*

* 본 연구는 환경부의 차세대 에코이노베이션 기술개발사업 "인공지반부 도시생태계적응, 관리 기술개발(과제번호: 416-111-016)"의 지원으로 수행되었습니다.

First author : Park, Eun-hee, Dept. of Environmental Resources, Graduate School, Sang Myung University, Tel : +82-41-623-0410, E-mail : hum87@naver.com

Corresponding author : Kim, Tae-han, Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University, Tel : +82-41-550-5303, E-mail : taehankim@smu.ac.kr

Received : 23 July, 2015. **Revised** : 22 December, 2015. **Accepted** : 19 October, 2015.

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

최근 기상이변에 의한 다양한 기후재해는 현대도시의 생태적 기능성 저하에 따른 것으로 개발에 의한 도심 불투수층 증가가 주요 원인으로 제시되고 있다. 2010년 서울시 biotope 조사에 의하면 시의 불투수면적율은 65.3%에 이르고 있으며 기존 도심지의 건전한 수순환체계 교란으로 도시관망 부하율이 가중되고 있다. 이로 인하여 매년 도심 저지대를 중심으로 내수피해가 반복적으로 발생되고 있다.

또한 도심 불투수면 증가는 도시열섬화를 유발하며 열환경 측면의 기상재해를 동반한다. 기상청 연구에 따르면 서울 권역의 강우특성은 상승기류 및 전운량 증가에 높은 상관관계를 보이는 열섬현상에 의한 기온상승에 의해 집중호우 발생빈도가 높아지고 있다는 연구결과가 보고되고 있다.

한편, 기후변화재해는 단순히 사회간접자본 설비위주의 평면적인 해결방안 보다는 수환경, 열환경을 포괄하는 근원적 문제접근이 필요하다. 여기서 인공지반 녹화시스템은 효과적인 방안으로 해석되고 있으나 기존 의 수해방재설비를 대체하기 위해서는 정량지표를 기반으로 한 객관적인 성능 제시가 요구된다.

녹화시스템의 주요 정량화 요소인 식생지표 관련연구는 주로 디지털 카메라 데이터와 원격탐사 모델에 기초하여 FVC 평가 방법에 관한 연구(HU, 2007), NDVI, SMA, TGDVI 등 원격센싱 모델을 기반으로 건조지역의 FVC 비교방법 평가연구(Jiapaer, 2011) 등이 보고되고 있다.

한편, 생태적 기작과 연동된 녹화시스템의 정량적 열수지 해석은 모니터링과 수치해석모형 연구로 구분된다. 이 중 모니터링 연구는 광합성 특성이 서로 다른 식물들을 경량 모듈형 옥상녹화시스템에 식재하여 식물에 따른 온열환경 개선효과와 열수지를 정량화한 연구(Kim, 2013), 옥상녹화 조건에 따른 온도저감 효과를 분석하기 위해 토심, 토질, 모듈사용여부, 식생 등 변화를 두어 유형별로 실험구를 조성하고 온도변화를 측정한 연구(Lee et al., 2005) 등이 있다.

이와 더불어 수치해석 모형연구는 일본 건설성에서 개발된 도시기후시뮬레이션시스템을 사용하여 도심지의 기후개선효과를 정량화 한 연구(Park, 2011), 열 · 환기 수치해석 프로그램인 Simheat을 활용하여 옥상녹화 시스템의 열환경 조절효과를 모의 평가한 연구(Jo, 2008), FASST 모델을 바탕으로 식생캐노피의 식물 증발산, 열유동 등을 모의하고 실측평가한 연구(D.J. Sailor. 2008), FASST를 이용하여 식생캐노피모델과 연동한 저관리형 옥상녹화의 식생관련지표가 건물 내부 기온에 미치는 영향을 도출한 연구(Kim. 2012)등이 보고되고 있다.

여기서 국내연구는 실측 중심의 모니터링 연구가 주를 이루었고 성능예측을 위한 수치해석 관련연구는 건설환경분야에서 진행되고 있으나 실측과 병행된 모형연구는 미비한 상황이다. 더불어 연구진행에서 모형에 대한 구체적인 해석과 관련지표에 대한 원단위 자료가 현재 제시되지 않아 후속연계연구가 원활하게 이루어지고 있지 않다.

따라서 본 연구는 수치해석모델과 실측 모니터링 자료를 검증하여 녹화시스템의 성능을 정량적으로 예측하기 위한 연구접근방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 식생의 열환경 측면에서 엽면적지수(LAI), 식생피복비율(FVC) 등의 물리적 식생지표를 계측하고 수치화하여 구축한 식생 캐노피 모델로 모의한 미기상 환경과 실측 모니터링의 상관관계를 검증하고자 한다.

II. 이론적 고찰

1. 물리적 식생지표

녹화시스템의 성능 정량화를 위해 식생층에 대한 객관적인 지표는 필수적인 요인이다. 이는

가변적인 생태환경을 물리적으로 해석하기 위해 사용되며 정규화식생지수(NDVI), 엽면적지수(LAI), 식생피복비율(FVC) 등이 대표적이다.

1) **엽면적지수**(Leaf Area Index)

LAI는 단위 면적당 엽면적 산정방법에 따라 총 엽면적의 1/2에 해당하는 한쪽 엽면의 합에 대한 비율인 단면 엽면적지수(one-side LAI)와 유입되는 광원에 의해 형성되는 수관층 음영면적의 합에 대한 비율인 수평투영 엽면적지수(Horizontally Projected LAI)로 구분된다. 또한 측정방법에 따라 대상 식생의 잎을 전량 채집하여 계측하는 방법, 기존에 개발된 상대 생장식을 적용하여 산출하는 방법과 Decagon ceptometer, Li-Cor LAI-2000, DEMON, TRAC와 같은 상업적 광학측정기기를 이용하는 간접측정방법이 보편화 되어있다(Chen et al., 1997). 식물을 대상으로 하는 이러한 실측위주의 방법들은 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 실험적 접근과 물리적 모델을 통한 보완방안이 제시되고 있다.

2) **식생피복비율**(Fractional Vegetation Cover)

식생피복비율(FVC)는 단위 면적당 식생에 의한 음영면적에 대한 비율을 의미하며, 식생캐노피의 중요한 구조적 물성치이다. FVC는 총량적 측면에서 식생현황을 계측하는 지표로 활용되며, 토양과 식생층 간에서 발생하는 방사율과 온도를 규명하는데 활용된다. 일반적으로 해당 공간대비 식생피복 면적비를 산정하므로 0~1까지의 범위가 적용되며 이는 물리적 미기상 모의를 위한 지표로 적용된다.

FVC는 주로 농업, 임업, 환경관리, 토지이용, 수문학, 자연재해 모니터링, 식생 및 토양층의 역학적 모니터링 등에서 이용되고 있다.

2. 식생층의 현열유동

일반적으로 녹화시스템이 적용되는 구조물 표면은 식생과 토양의 기작으로 더욱 복합적인 전열교환현상이 발생하게 된다. 이러한 물리적 현상을 예측하기 위해서는 잠재적 증발산(PET)을 유추하는 것이 필요하며 여기에 다양한 모형들이 제시되었다. 미공병단에서 개발된 FASST (Fast All-Season Soil STrength)는 이러한 요구에 대응하는 이상적인 수치해석 모형으로 결빙과 적설 조건도 포함한 녹화된 토양의 물수지를 바탕으로 에너지평형모델을 제공한다. 한편, 기존 BATS, SiB와 같은 식생캐노피모델에서 발전된 단일차원모델로 녹화시스템을 식생층과 육성층으로 이원화하고 서로 다른 두 개의 방정식을 통해 단일 결과식을 제시한다.

1) **식생층의 에너지 균형**

녹화시스템의 식생층 전열교환 현상은 주변 대기, 토양층과 4가지 유형의 복합적인 에너지 교환으로 이루어져 있다. 이는 우선 유입되는 단파, 장파 태양복사를 식생에서 반사, 흡수, 방출하는 현상(③), 토양표면과 식생사이에서 반복적으로 발생하는 다중반사에 의한 복사교환(④), 엽면과 주변대기 간에 이루어지는 현열(⑤)과 잠열(⑥)의 열유동으로 정리할 수 있다. FASST는 이와 같은 식생층의 물리적 전열교환 현상을 다음과 같은 산식으로 해석하고 있다.

$$F_f = \sigma_f \left[I_s^{\downarrow}(1-\alpha_f) + \varepsilon_f I_{ir}^{\downarrow} - \varepsilon_f \sigma T^4 \right] \quad \cdots\cdots ①$$

$$+ \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_1} \left(T_g^4 - T_f^4 \right) \quad \cdots\cdots ②$$

$$+ H_f \quad \cdots\cdots ③$$

$$+ L_f \quad \cdots\cdots ④$$

여기서 F_f는 식생층 전열유동, H_j는 엽면 현열 유동, L_f는 엽면 잠열 유동을 나타내며 σ는 슈테판 볼츠만 상수(5.699×10-8 W/m² · ℃K⁴), σ_f는 FVC을 나타낸다. $I_s^{\downarrow}$는 총 유입 단파복사량(W/m²), $I_{ir}^{\downarrow}$는 총 유입 장파복사량(W/m²)이

며 σ_f는 식생캐노피 알베도, T_g는 지표면 온도(Kelvin), T_f는 엽면 온도(Kelvin)을 의미한다. ε_f는 식생캐노피 방사율, ε_g는 지표면 방사율, ε_1은 방사율 방정식으로 다음과 같이 표현된다.

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_f + \varepsilon_g - \varepsilon_f \cdot \varepsilon_g$$

2) 엽면의 현열유동

FASST는 LAI와 FVC의 물리적 식생지표를 적용하여 엽면과 주변대기간의 현열유동에 대하여 다음과 같이 정리하고 있다(Deardorff, 1978).

$$H_f = (1.1 LAI \rho_{af} C_{p,a} C_f W_{af})(T_{af} - T_f)$$

H_f는 식생층의 현열유동, LAI는 엽면적지수, ρ_{af}은 식생층의 공기밀도(kg/m^3), $C_{p,a}$는 정압하 공기비열(1005.6J/kgK), C_f는 전체 열교환 효율, W_{af}는 식생캐노피 내 풍속(m/s), T_{af} 식생캐노피 내 기온(Kelvin), T_f 엽면 온도(Kelvin)를 의미한다. 여기서 식생캐노피 내의 기온(T_{af})은 엽온, 기온, 지표면 온도와 FVC간의 다음과 같은 상관식으로 해석된다.

$$T_{af} = (1-\sigma_f)(T_a) + \sigma_f(0.3 T_a + 0.6 T_f + 0.1 T_g)$$

T_{af}는 식생캐노피 내 기온(Kelvin), σ_f는 FVC, T_a는 기상계측높이 기온(Kelvin), T_f는 엽면 온도(Kelvin), T_g 지표면 온도(Kelvin)를 의미한다.

상기 식생층의 현열 관계식에서 식생층 내의 풍속은 다음과 같이 대상지 풍속변수와 FVC간의 상관관계 해석으로 정리되고 있다.

$$W_{af} = 0.83 \sigma_f W \sqrt{C_{hn}^f} + (1-\sigma_f) W$$

여기서 W_{af}는 식생층 내 풍속(m/s), σ_f는 FVC, W는 식생층 상부의 풍속(m/s), C_{hn}^f 식생층의 근접중성화 전달계수를 의미한다.

3. DHP(Digital Hemispherical Photographs)

식생관련 모델을 운용하기 위해 물리적 식생지표를 정량화 계측하는 것은 필수적인 사항이다. 디지털 전천사진(DHP)은 초광각 카메라 렌즈를 활용하여 식생 간극비율 측정하고 물리적 식생지표 도출을 가능하게 한다(Jonckheere et al., 2004; Weiss et al., 2004). 이와 관련하여 일반 광학장비를 이용하여 신뢰성 있는 원단위 데이터 구축이 가능한 Hemiview, SCANOPY, GLA, Can-Eye 등과 같은 프로그램들이 소개되고 있다. 이러한 프로그램은 이미지 분류 프로세스, 해석소요시간, 이미지 처리용량 등에서 차이를 보인다 (Demarez et al., 2008; Garrigues et al., in press).

이 중 CAN-EYE V6.1는 프랑스 국제 농업 연구소(INRA)산하 EMMAH(Mediterranean Environment and Agro hydro System Modelisation) 연구실에서 개발된 소프트웨어이다. CAN-EYE는 일반렌즈 및 어안렌즈를 통해 촬영된 트루컬러 이미지로부터 식생캐노피의 구조적 특성을 추출하는데 사용된다. 여기서 물리적 식생지표로는 LAI, ALA(Average Leaf inclination Angle), FAPAR(Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation), fCOVER (Vegetation Cover Fraction), Bidirectional & mono-directional gap fraction 등을 유추할 수 있다.

또한 CAN-EYE는 동시에 다량의 이미지 처리가 가능하며 개별 RGB 이미지와 이진변환으로 표현한다. 여기에 적용되는 이미지 유형에 따라 도출할 수 있는 물리적 식생지표가 제한된다(Table 1).

여기서 fCOVER는 피복비율(Cover Fraction)을 의미하고 천저향에서 식생으로 피복된 토양의 면적비율을 의미하며 다음과 같이 정리하고 있다.

$$f\,Cover = 1 - P_0(0)$$
$$FVC = 1 - f\,Cover$$

Table 1. Plant Index Available depend on Image Type in Can-Eye V.6.1.

Image Type	Camera system	Plant Index
DHP (Digital Hemispherical Images)	fish-eye + camera system	LAI ALA FAPAR fCOVER
57.5° Image	camera inclined at 57.5°	LAI mono-directional gap fraction at 57.5°
Nadir Image	vertical camera	fCOVER

전천 이미지를 사용할 경우, 정확한 천저향 이미지 값 도출이 어려움에 따라 피복비율은 천정각 범위이상을 수렴하여야 한다. 따라서, CAN-EYE에서 천정각의 기본범위을 0~10°로 설정하고 있으며 사용자는 분석프로세스를 시작하는데 있어 적용되는 어안렌즈의 물성치와 연동된 CAN-EYE 매개변수를 설정할 때 해당 범위를 조정하여야 한다.

III. 연구의 내용 및 방법

1. 대상지 개요

대상지는 상명대학교 천안캠퍼스 상록관 옥상으로 1984년 6월 29일 준공한 4층 벽돌조의 학교 설립 초기 건물이다. 옥상부 면적은 719.16m²로 우레탄 방수마감으로 처리되었으며 평균 132cm의 난간벽이 형성되어있다. 건물은 중심축이 진북에서 12° 동편으로 기울어져 있으며 맞은편에는 상록관과 유사한 3층 벽돌조의 청록관이 위치해 있다. 현재 태양광발전설비의 전력변환효율 최적화를 위한 환경변수 연구를 위해 조성된 Pre-Testbed가 구축되어 있다. 실험구에는 500mm × 500mm × 100mm의 녹화모듈 총 199개와 별도의 관수시스템이 구비되지 않은 49.75㎡의 저관리 유니트형 옥상녹화시스템이 1.5kW급 태양광발전설비와 함께 시공되었고, 대조구는 동급 태양광발전설비 만 설치되어 있다.

Figure 1. Pre-Testbed in Cheonan Campus of SangMyung University.

2. 연구방법

본 연구는 물리적 식생지표를 도출하여 토양, 식생캐노피와 주변대기의 온도 간에 형성되는 상관관계를 유추하기 위해 FASST의 식생층 전

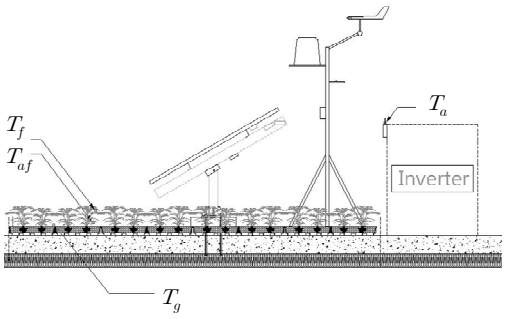

Figure 2. Green roof vertical cross-section and indicating allocation of the air temperature at instrument height(T_a), foliage temperature(T_f), air temperature with in the canopy(T_{af}), ground surface temperature(T_g) sensor.

열유동모형 중에서 엽면 현열유동 모델을 검증하고자 한다.

이를 위해 모델을 적용한 모의결과와 Pre-Testbed에 구축된 계측 센서에 의한 실측자료간의 유의성을 도출하려한다. 모델검증을 위해 식생캐노피 내 기온, 기상계측고의 기온, 엽면 온도, 지표면 온도 측정을 위한 센서를 실험구내에 설치하였다(Figure 2).

3. 대표기간 선정

선행 현열유동 모델을 검증하기 위한 실측기간은 2013년 10월 중 일사량이 가장 양호한 9일로 하였으며, 1일(24시간)동안, 10분단위로 모니터링 된 데이터를 사용하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 표면온도저감 식생모델

Pre-Testbed의 식생모델 중에서 최대 지표면 냉각효과를 보이는 식생종을 선별하기 위해 2013년 10월 9일 모델별 표면온도 비교 모니터링을 수행하였다. 식생모델은 돌나물(Sedum sarmentosum Bunge), 섬기린초(Sedum kamtschaticum Fischer var. takesimense (Nakai) M. Park), 수호초(Pachysandra terminalis) 총 3종이 우선 선별되었고 모니터링은 24시간 동안 10분 간격으로 데이터로거를 통해 개별 식생모델의 표면온도 변화와 대조구의 비녹화면 표면온도변화를 비교 수집하였다.

모니터링 결과, 대조구인 비녹화면의 최고온도는 45.70°C(12시 40분), 최저온도는 16.90°C (6시 20분)로 기록되었고 일평균온도는 26.06°C 였다. Pre- Testbed의 섬기린초 식재표면의 최고온도는 29.90°C(11시 50분), 최저온도는 16.20°C (6시 20분), 일평균온도는 20.34°C로 기록되었다.

반면, 수호초 식재표면의 최고온도는 32.80°C (12시 40분), 최저온도는 16.10°C(6시 20분), 일평균온도는 21.46°C 였다. 마지막으로 돌나물 식재표면의 최고온도는 33.80°C(12시 40분), 최저온도는 16.00°C(23시 50분), 일평균온도는 21.24°C으로 측정되었다.

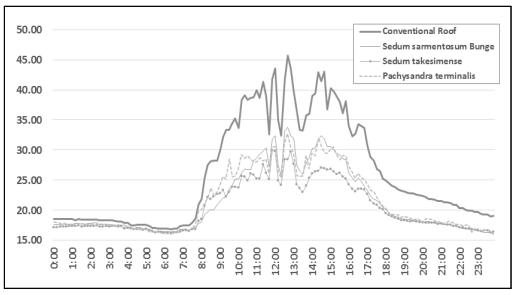

Figure 3. Comparison of ground surface temperature by foliage.

비교결과 비녹화면에 비해 가장 높은 표면냉각효과를 보이고 온도편차가 가장 적은 수종으로 섬기린초가 선정되었다.

2. 식생모델의 현열유동 모니터링

선정된 섬기린초의 미기상 모니터링에 사용되는 영역별 온도센서를 Pre-Testbed에 구축한 후 식생층의 현열유동이 표면온도 저감에 미치는 영향을 계측하였다. 2013년 10월 24일 비녹화면과 Pre-Testbed의 표면온도차이를 비교 모니터링한 결과, 비녹화면의 최고온도는 32.90°C (11시 50분, 12시 30분), 최저온도은 10.20°C(23시 50분), 일평균온도는 18.08°C로 기록되었다.

반면, 섬기린초 식재표면의 최고온도는 27.70°C (12시 40분), 최저온 9.60°C(6시 30분), 일평균은 15.61°C로 기록되었다.

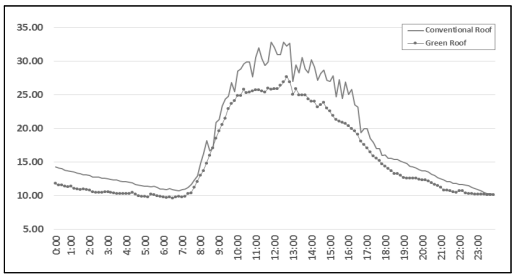

Figure 4. Comparison of surface temperature in Conventional Roof and Green roof.

3. DHP를 활용한 물리적 식생지표 산출

본 연구는 식생층 현열유동 검증에 FASST를 적용한 전산모의를 진행하기위한 체계적인 FVC 산출방법을 제시하고 있다. FVC는 초광각 렌즈필터를 사용하여 DHP 이미지를 제작한 후 CAN-EYE V6.1를 통해 fCOVER 산정한 후 FVC로 변환하였다.

이를 위해 실험구에서 섬기린초 식생군을 선정하여 촬상소자 1/3.2inch, 초점거리 35mm 인 일반 광학장비를 이용하여 F/2.4, 853×838, 150DPI의 이미지를 5반복 촬영하였다. 이를 CAN-EYE상에서 이미지 보정작업과 식생-토양구역 구분작업을 거쳐 fCOVER를 도출하게 된다(Figure 5, 6).

이렇게 산출된 fCOVER를 FVC로 변환한 결과, 5개의 섬기린초 식생군의 FVC 최대값은 0.88, 최소값은 0.78을 기록하였고 평균 0.81을 나타냈다(Figure 7).

4. 실측모니터링에 따른 모델 검증

FVC에 따른 식생층 현열유동 변화가 지표면 온도와 식생캐노피내 기온에 미치는 영향을 유추하기 위해 FASST 모형과 실측모니터링 간의 비교분석을 진행하였다. 모니터링은 2013년 10월 24일, 24시간동안 10분 간격으로 기록하였다.

1) 표면온도 저감성능부문 모델검증

산출된 FVC의 최대, 최소, 평균값을 FASST 모형에 적용한 후 표면온도 모의와 표면온도 실측치를 비교하였다.

표면온도 모니터링의 최고온도는 27.70°C(12시 30분), 최저온도는 9.60°C(6시 20분), 일평균 온도는 15.57°C였다.

반면 FVC에 따라 표면온도를 모의 한 결과 FVC 0.78인 경우 최고온도 54.50°C, 최저온도 -3.49°C, 일평균온도 14.69°C를 기록하였고, FVC

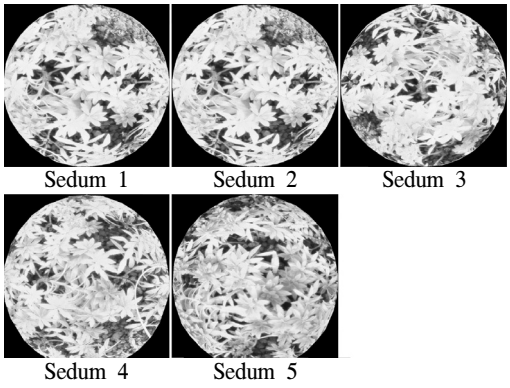

Figure 5. Image Retouching and Mask Section.

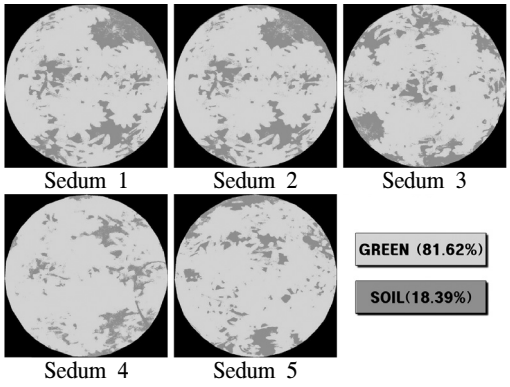

Figure 6. Classification of Green and Soil Area.

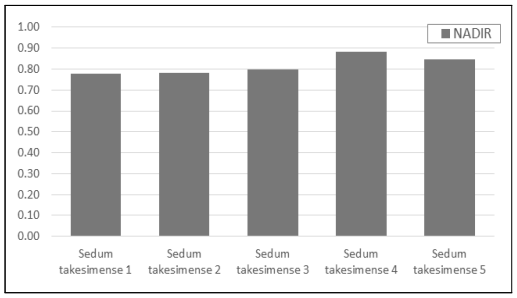

Figure 7. FVC of Plant Model.

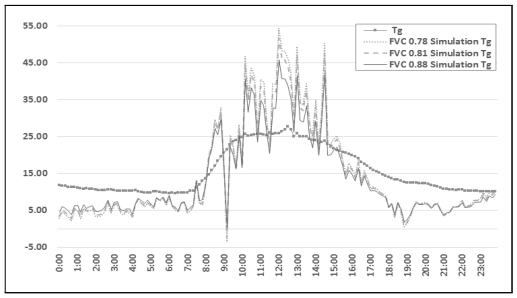

Figure 8. Comparison of ground surface temperature by FVC.

0.81인 경우 최고온도 51.68°C, 최저온도 -2.26°C, 평균온도 14.32°C를 나타냈다. 마지막으로 FVC 0.88인 경우 최고온도 45.86°C, 최저온도 0.29°C, 평균온도 13.57°C로 예측되었다.

2) 식생층 내 기온 저감성능부문 모델검증

동일한 조건에서 식생캐노피 내 기온을 실측한 결과 최고온도는 27.50°C(12시 20분), 최저온도는 8.30°C(23시 50분), 일평균은 14.33°C로 기록되었다.

상기 FVC 조건을 적용하여 식생캐노피 내 기온을 모의 한 결과 FVC 0.78인 경우 최고온도 25.39°C, 최저온도 8.00°C, 평균온도 13.88°C를 나타냈고, FVC 0.81인 경우 최고온도 25.50°C, 최저온도 8.02°C, 평균 온도 14.32°C였다. 마지막으로 FVC 0.88인 경우 최고온도 25.76°C, 최저온도 8.07°C, 평균온도 13.57°C로 산출되었다.

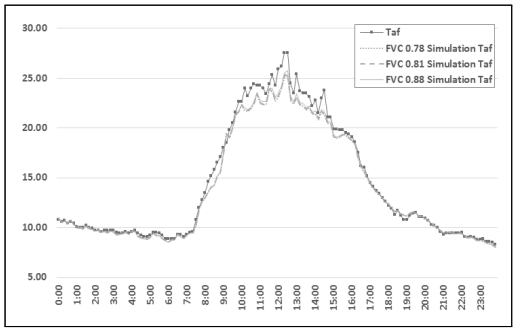

Figure 9. Comparison of air temperature with in the canopy by FVC.

5. 유의성 분석

실측 모니터링과 FASST 모형을 통한 모의결과에 대한 유의성을 분석한 결과는 다음과 같다.

표면온도 모의결과의 FVC 최저값 0.78과 평균값 0.88에서는 r=0.887로 동일한 상관관계를 보였고, FVC 최고값 0.88에서는 r=0.888의 상관관계를 나타냈다(Table 2).

반면 식생캐노피 내 기온 모의결과는 보다 높은 유의성을 기록하였다. FVC 최저값 0.78과 평균값 0.997에서는 r=0.997로 동일한 상관관계를 보였고, FVC 최고값 0.88에서는 r=0.998의 상관관계를 나타냈다.

유의성 분석 결과, 물리적 지표인 FVC는 식생층의 현열유동을 결정하는 영향력 있는 지표임을 검증할 수 있었다.

V. 결 론

본 연구는 인공지반 녹화시스템이 기존의 방재설비를 대체하기 위해서 엽면적지수(LAI), 식생피복비율(FVC) 등의 물리적 식생지표를 수치화하여 열환경 측면의 성능을 예측하였다. 또한 이를 바탕으로 FASST의 식생 캐노피 모델에서

Table 2. Significance analysis of ground surface temperature.

	T_g	FVC 0.78 Simulation T_g	FVC 0.81 Simulation T_g	FVC 0.88 Simulation T_g
Ground surface temperature (T_g)	1			
FVC 0.78 Simulation ground surface temperature	0.887	1		
FVC 0.81 Simulation ground surface temperature	0.887	1.000	1	
FVC 0.88 Simulation ground surface temperatur	0.888	0.998	0.999	1

Table 3. Significance analysis of air temperature with in the canopy.

	T_{gf}	FVC 0.78 Simulation T_{gf}	FVC 0.81 Simulation T_{gf}	FVC 0.88 Simulation T_{gf}
Ground surface temperature (T_{gf})	1			
FVC 0.78 Simulation air temperature with in the canopy(Kelvin)	0.997	1		
FVC 0.81 Simulation air temperature with in the canopy(Kelvin)	0.997	1.000	1	
FVC 0.88 Simulation air temperature with in the canopy(Kelvin)	0.998	1.000	1.000	1

유추한 미기상 환경과 실측 모니터링 자료의 상관관계를 도출하였다. 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) Pre-Testbed의 식생모델 중에서 섬기린초가 식재표면의 최고온도 29.90°C(11시 50분), 최저온도 16.20°C(6시 20분), 일평균온도 20.34°C를 기록하여 비녹화면에 비교했을 때 가장 우수한 표면온도 저감효과를 나타냈다.

2) 선정된 섬기린초 식생군 중에서의 산출된 FVC 최대값은 0.88, 최소값은 0.78로 도출되었으며, 5개 표본의 평균값은 0.81으로 산출되었다.

3) 섬기린초 식생군의 표면온도를 실측한 결과 최고온도는 27.70°C, 최저온도는 9.60°C, 일평균온도는 15.57°C로 측정되었으며, FVC에 따른 표면온도 모의결과 표면온도 실측 결과의 경향과 유사하게 예측되었음을 확인할 수 있었다.

4) 동일한 조건에서 식생캐노피 내 기온을 실측한 결과 최고온도는 27.50°C, 최저온도는 8.30°C, 일평균은 14.33°C로 기록되었으며 상기 FVC 조건을 적용하여 모의 한 결과 최고온도, 최저온도, 일평균온도 모두 실측 온도와 매우 근접한 수치로 산출되었다.

5) FASST 모형을 실측값과 비교 검증한 결과 표면온도의 유의성은 0.88이였고, 식생캐노피 내 기온의 유의성은 0.99를 기록하였다. 따라서 해당모델이 실측 모니터링과 유의성을 가지는 것으로 판단된다.

본 연구는 물리적 식생지표인 FVC에 따른 식생층 현열유동 변화가 지표면 온도와 식생캐노피 내 기온에 미치는 영향을 유추하기 위하여 물리적 식생지표를 계측하고 수치화하여 열환경 측면의 성능을 예측하는 방법을 제시하고자 하였다.

그러나 모니터링의 실측기간이 단기적이며, 물리적 식생지표와 미기상 열환경 모형에 국한된 검증으로 향후 수환경 모형 검증 및 장기 모니터링을 통한 보완 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 2014년도 차세대 에코이노베이션기술 개발사업 ‘인공지반부 도시생태계 적응, 관리 기술개발’의 지원으로 수행되었습니다.

References

Andrés Vuna · Anatoly A. Gitelson · Anthony L. Nguy-Robertson and Yi Peng. 2011. Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. Remote Sensing of Environment 115. 3468-3478.

Bae CY · Park C · Kil SH · Choi lK and Lee DK. 2012. Analysis of Urban Runoff with LID Application. Korea Planners Association. 47(6): 39-47.

Bonhomme, R. · Varlet Granger, C. and Chartier, P. 1974. The use of photographs for determining the leaf area index of young crops. Photosynthesis 8, 299-301.

CAN-EYE V6.1 USER MANUAL.

Chen, J. M · P. M. Rich · T. S. Gower · J. M. Norman and S. Plummer. 1997. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques and measurements. Journal of Geophysical Research, 102(29): 429-444.

Climate Change Infomation Center(www.climate.go.kr).

Climate Change Scenario Web Provision System User Manual.

D. J. Sailor. 2008. A green roof model for building energy simulation programs. Energy and Buildings 40(8): 1466-1478.

Guang Zheng and L. Monika Moskal. 2009. Retrieving Leaf Area Index(LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. Sensors. 2719-2745.

Guli Jiapaer · Xi Chen and Anming Bao. 2011. A comparison of methods for estimating fractional vegetation eover in arid regions. Agricultural and Forest Meteorology 151. 1698-1710.

HU Zhen-qi · HE Fen-qin · YIN Jian-zhong · LU Xia · TANG Shi-lu · WANG Lin-lin and LI Xiao-jing. 2007. Journal of China University of Mining & Technology 17(1): 116-120

Huber, W. C. and Dickinson, R. E. (1988). “Stormwater management model, ver. 4, part a; user’s manual.”, EPA-600/3 -88/001a, U. S. EPA.

Jang SC. 2006. A Study on rainfall runoff effect analysis of green-roof system based on U-Ee stream basin. University of Seoul Industry Graduate School. Department of Civil Engineering. Dissertation (Master).

Jo HJ. 2008. Quantification of thermal insulation performances of green roof system for the propagation, Pusan National University Industry Graduate School, Department of Architecture. Master’s Thesis.

Jonckheere, I. · Fleck, S. · Nackaerts, K. · Muysa, B. · Coppin, P. · Weiss, M. and Baret, F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. Agricultural and Forest Meteorology 121: 19-35.

Kim MK · Han MS · Baek SG · Lee WS · Kim YH and Kim S. 2012. Production Technique of Observation Grid data of 1km Resolution. Journal of climate research. 7(1): 55-68.

Kim JH. Climate Change Response Plan, Underground Water Custodial Guard Introduction for Future Water Resources, Agriculture and Fishery Department Environment -155: 104-116.

Kim JY. Assessment of MODIS LAI products with field measurements and NDVI based on Landsat data, Seoul National University Graduate School of Environmental Studies, Department of Environmental Planning.

Doctorate Thesis.

Kim SC. 2013. Analysis of heat Budget in Extensive Modular Green Roof System, Chungbuk National university Graduate School, Department of Horticulture. Master's Thesis.

Kim TH. 2012. A study on thermal simulation for extensive green roof system using a plant canopy model, The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology15(2): 137-147.

Kim YH · Yeo CG · Seo GS and Song JW. 2011. Estimation of Regional Probable Rainfall based on Climate Change Scenarios. Korean Society of Hazard Mitigation. 11(3): 29-35.

Lee DK · Yoon SW · Oh SH and Jang SW. 2005. The Effect of Temperature Reduction as Influenced by Rooftop Greening, The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology18(5): 34-44.

Lee DK · Oh SH · Yoon SW and Jang SW. 2006. A Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Reduction and Delay, The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology. 9(6): 117-122.

Martı'ez, B. · Baret, F. · Camacho-de Coca, F. · Garcı'-Haro, F. J. · Verger, A. and Melia', J. 2004. Validation of MSG vegetation products. Part I. Field retrieval of LAI and FVC from hemispherical photographs. In: Proceedings of the Remote Sensing for Agriculture, Ecosystem and Hydrology, SPIE. Gran Canarias 5232. 57-68.

Ministry of Environment / Next Generation EI Technology Development Business, City Ecosystem Adaptive Management Technical Development: Artificiality Regional, Second Year Report.

Park SJ. 2011. The improvement of thermal environment by increasing green coverage ratio, Pusan National university Graduate School, Department of Architecture, Master's Thesis.

Rob James. Modeling LIDs using PCSWMM and EPA SWMM 5, CHI.

Sung JH · Kim BS · Kang HS and Cho CH. 2012. Non-stationary Frequency Analysis for Extreme Precipitation based on Representative Concentration Pathways (RCP) Climate Change Scenarios. Korean Society of Hazard Mitigation. 12(2): 231-244.