

컴퓨터 시뮬레이션을 통한 도로 방향별 가로수 식재 형태에 따른 여름철 열환경 저감 효과 비교·분석

임현우* · 조상만** · 신지환* · 박수국**

*제주대학교 일반대학원 원예학과 조경학 연구실 석사과정 ·

**제주대학교 생명자원과학대학 생물산업학부 원예환경전공 · 아열대농업생명과학연구소 · 친환경농업연구소 부교수

I. 서론

악화되는 도시 열환경을 해결하고자 하는 연구가 다양한 측면에서 진행되고 있다. 특히, 국내에서는 주로 공간 계획적 측면에서 토지피복, 토지이용 등의 공간특성과 지표온도 및 열섬 현상 사이의 상관관계를 파악하였으며, 이는 도시 열환경 개선 대상지 파악과 공간결정에 있어 유용하게 활용될 수 있다. 그러나, 이는 열환경 개선 방안에 대해 국지적 규모에서의 공간 구성비율(녹피율, 건폐율, 토지피복, 토지이용) 등의 정량적인 데이터만 제시할 뿐 구체적인 공간 설계 방안을 결정하는데 있어 한계점이 있다. 그러므로, 보다 세부적인 계획과 설계 방법을 마련하는 데 있어, 이러한 정량적인 데이터에 추가적으로 공간구조에 대한 분석이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 도시의 가장 대표적인 공간인 가로에서 도로방향과 가로수 식재형태모델별로 조성되는 열환경을 분석해 보고자 한다.

II. 연구방법

공간형태에 따른 기상요소 및 열환경의 변화를 확인하기 위해, 전 세계적으로 도시 미기후와 인간 열환경 분석에서 가장 많이 이용되고 있는 CFD 모델인 ENVI-met Version 4.4.5(<https://www.envi-met.com>)를 활용하였다(Lenzholzer and Brown, 2016). 시뮬레이션을 진행하기 위해 필요한 공간입력자료는 제주특별자치도 내 도시지역을 대상으로 도로 폭과 건물 높이를 조사하였으며, 가로수 식재가 가능한 지역을 구별하기 위해 인도가 있는 도로만을 대상으로 분석을 진행하였다. 수목의 경우, 수고, 수관폭, 엽면적지수, 식재간격을 변수로 선정하였다(Table 1 참조). 이하 수목에 대한 표기는 수고, 수관폭, 엽면적지수, 식재간격 순으로 약어로 표기하였다. 도로차선, 도로방향, 수목변수를 토대로 192개의 시뮬레이션을 진행하였다.

기상입력자료는 제주시 건입동에 설치된 ASOS 자료의 2001년부터 2019년까지의 여름철 기온, 상대습도, 풍속의 평균값과 가장 유사한 2011년 7월 23일의 기상자료를 활용하였다. ENVI-met 시뮬레이션을 통해 계산된 기상자료는 RayMan Pro, Version

Table 1. Spatial input data variables

Area		Variable
Road	Road type (number of lanes)	2 lane : Road width = 15m, Building height = 8m(H/W = 0.53) 4 lane : Road width = 25m, Building height = 12m(H/W = 0.48) 6 lane : Road width = 35m, building height = 20m(H/W = 0.57)
	Road direction	N-S (0°), NE-SW (45°), E-W (90°), NW-SE (135°)
Tree	Height (m)	6 (Low), 10 (High)
	Crown width (m)	7 (Narrow), 9 (Wide)
	Leaf area index (LAI)	1.5 (Sparse), 3.0 (Dense)
	Planting distance (m)	8 (Narrow), 12 (Wide)

2.2(Matzarakis *et al.*, 2010) 프로그램을 활용하여, 인간 열환경지수인 PET(physiological equivalent temperature; Höppe, 1999)와 UTCI(universal thermal climate index; Bröde *et al.*, 2012)를 계산하여 분석을 진행하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 기상요소

주·야간 평균값을 살펴보았을 때, 기온과 상대습도에서는 각 시나리오별로 큰 차이를 보이지 않았다. 기온의 경우, 주·야간 모두 2차선 도로에서 풍향의 수직방향으로 위치한 북서-남동방향 도로를 제외한 모든 도로에서 LWDN에서 가장 낮은 값을 보였고, HNSW 또는 LNSW에서 가장 높은 값을 보였다. 동일 도로폭, 도로방향 내 수목식재형태별 편차는 주간 0.01~0.16°C, 야간 0.02~0.07°C의 미비한 차이를 보였다. 상대습도에서는 기온과 반대로 대부분의 도로에서 주·야간 모두 LWDN에서 가장 높은 값을 보였으며, HNSW 또는 LNSW에서 가장 낮은 값을

을 보였다. 식재형태변화별 편차는 주간 0.26~0.86%, 야간 0.1~0.34%로 기온과 마찬가지로 큰 차이를 보이지 않았다. 풍속의 경우 대부분의 도로에서 HNSW에서 높은 풍속값, LWDN에서 낮은 풍속값을 보였다. 또한, 풍향과 도로방향에 따라 변화하는 패턴을 보였으며, 풍향과 평행한 도로에서의 수목에 의한 변화가 가장 컸고, 풍향과의 각도가 커질수록 수목의 영향은 줄어들었다. 평균복사온도의 경우, 주간 도로별 수목에 따라 1.39~3.03°C의 편차를 보였으며, 2차선 동-서방향의 남측 인도에서는 수목별 최대 11.27°C의 차이값을 보였다. 시간별로 살펴보았을 때, 동측 방면에 위치한 인도(북동, 동, 남동)에서는 시나리오별 오전시간대(08:00~09:00)에 적은 차이를 보이나 서서히 차이가 증가하여 오후시간대(16:00~17:00)에 최대 차이를 보였고, 서측 방면에 위치한 인도(북서, 서, 남서)에서는 오전시간대(08:00~09:00)에 시나리오별 최대 차이를 보이고 이후 차이가 줄어드는 경향을 보였다. 동-서 방향의 북측, 남측 인도에서는 시나리오별 차이값이 오전시간대(08:00~09:00)에 큰 값을 보이고, 이후 서서히 감소하다 12:00이후 차이가 다시 증가하여 오후시간대(16:00~17:00)에 다시 큰 차이값을 보였다.

2. 인간 열환경지수

인간 열환경지수인 PET와 UTCI에서는 평균복사온도와 유사하게 수고가 낮을수록, 수관폭이 넓을수록, 수관밀도가 높을수록, 식재간격이 좁을수록(LWDN), 주간에는 낮은 값을 보였다. 시나리오별 PET 평균값을 비교해 보면, 주간 4차선 동-서 방향 도로의 남측 인도에서 평균 1.39°C의 편차로 수목식재 시나리오별 차이값이 가장 크게 나타났고, 최대값과 최소값을 보인 시나리오 간 차이는 평균 5.18°C로 열지각에서 약 1 단계 정도의 차이를 보였다. 야간에는 주간과 반대로 수고가 낮고, 수관폭이 넓고, 수관밀도가 높고, 식재간격이 좁은 식재형태(LWDN)에서 가장 높은 값을 보였지만, 편차가 평균 0.1~0.2°C로 모든 방향에서 적은 차이를 보였고, 최대값과 최소값의 차이도 평균 0.43~0.83°C로 적은 차이를 보였다. UTCI에서도 주간 동-서 방향 도로 남측 인도에서 평균 0.8°C의 편차로 시나리오별 가장 큰 편차를 보였고, 최대값과 최소값을 보인 시나리오 간 2.99°C의 평균 차이를 보였다.

PET와 UTCI의 시간대별 차이도 평균복사온도와 유사한 패턴을 보였다. 서측 방면에서는 오전시간대(08:00~09:00)에 큰 차이를 보였으며, 동측 방면에서는 오후시간대(16:00~17:00)에 큰 차이를 보였다. 또한, 동-서 방향의 북측, 남측 인도에서도

오전시간대(08:00~09:00)에 큰 차이를 보이며, 정오까지 서서히 차이값이 줄어들었고, 다시 증가하여 오후시간대(16:00~17:00)에 큰 차이값을 보였다. 각 인도 별 시나리오 간 최대 차이값은 PET의 경우 5.90~11.90°C로 약 1~2 단계 정도의 열지각 차이를 보였으며, UTCI에서는 3.2~4.8°C의 차이로 열스트레스 범위에서 약 0.5 단계 정도의 차이를 보였다.

IV. 결론

본 연구에서는 도시의 열환경 완화에 중점을 둔 가로수 식재 방법에 있어 각 도로 방향의 변화에 따른 열지각 효과의 차이를 분석해 보고자 했다. 연구 결과에 따르면 도로의 방향의 가장 큰 영향은 도로변 건물에 의한 태양복사에너지 차단효과인 것으로 보이며, 건물에 의한 영향이 커질수록 수목에 의한 영향은 줄어들게 된다. 이를 잘 활용하여 건물의 그림자 효과에 의해 수목의 태양복사에너지 차단이 거의 없는 경우, 지구복사에너지 방출과 환기작용에 용이하게 풍속저감이 적은 수종을 심는 것이 열환경 저감에 있어 유리할 것이다. 반면에, 건물에 의해 풍속이 크게 차단되는 지역의 경우 그늘 제공에 유리한 수종을 선택해 식재하는 등의 전략적인 식재방식을 도입하면, 가로수를 통한 보다 나은 열환경 저감효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 그러나, 본 연구에서는 종횡비(aspect ratio)를 0.48~0.57로 도시화된 지역에 비해 낮은 값으로 설정하였기 때문에, 도시화된 지역과 비교하였을 때, 지구복사에너지 방출의 방해, 태양복사에너지 차단효과 등 건물의 영향이 과소 평가되었을 수 있으며, 각 도로의 방향을 4방향으로만 나누었기 때문에 도로 방향의 세부적인 영향을 설명하는데 한계점이 있어, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Bröde, P., D. Fiala, K. Blazejczyk, I. Holmér, G. Jendritzky, B. Kampmann, B. Tinz and G. Havenith(2012) Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology* 56: 481-494.
2. Höppe, P. R. (1999) The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology* 43: 71-75.
3. Lenzholzer, S. and R. D. Brown(2016) Post-positivist microclimatic urban design research: a review. *Landscape and Urban Planning* 153: 111-121.
4. Matzarakis, A., F. Rutz and H. Mayer (2010) Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the rayman model. *International Journal of Biometeorology* 54(2): 131-139.