

# 도시 열 저감을 위한 가로수 계획 시뮬레이션

박채연\* · 이동근\*\*

\*서울대학교 협동과정 조경학 · \*\*서울대학교 조경·지역시스템학부

## I. 서론

도시열섬과 기후변화로 인하여 도시의 열 쾌적성은 점차 나빠지고 있다(Kong *et al.*, 2017). 열 쾌적성을 높이기 위한 방안으로 도시 녹화 그 중에서도 가로수와 같은 수목 식재가 많이 대두되고 있다(Lee and Mayer, 2018; Lee *et al.*, 2016; Zölch *et al.*, 2016). 그동안 많은 선행연구에서 수목이 일사량을 감소시키고, 지표면의 온도를 감소시켜 보행자의 열 쾌적성을 높일 수 있다는 것을 밝혔다. 하지만 이러한 연구에서는 수목이 크고 일면적 혹은 잎의 밀도가 클수록 열을 많이 저감시킬 수 있다는 것을 밝혔을 뿐이지, 실제 식재 계획에 도움이 되는 결과를 제공해주진 못했다(Krayenhoff *et al.*, 2014; Morakinyo and Lam, 2016; Ryu *et al.*, 2016). 따라서 본 연구에서는 식재 설계에 도움이 될 수 있는 의사결정 지원 도구의 일환으로 도시 열 쾌적성 향상을 위한 가로수 계획 시뮬레이션을 제안하고자 한다. 또한, 이를 이용하여 주요 설계 변수라고 선정된 수목의 규모와 식재 간격이 변함에 따라 열 쾌적성이 어떻게 변화하는지 계산하였다.

## II. 연구방법

### 1. 평균 복사 온도 모델

열 쾌적성을 대표하는 변수로 평균 복사 온도(Mean Radiant Temperature: MRT)를 선정하였으며, 가로수를 포함한 도시 캐노피의 복사열 교환 과정을 매시간 모의하여 보행자의 MRT를 계산하는 multilayer MRT(MMRT) 모델을 구축하였다. 이 모델은 도시 캐노피 요소 별로 형태 계수를 산정하여 단파복사열과 장파복사열을 계산하고, 최종적으로 보행자가 갖게 되는 복사열을 계산한다. 캐노피의 수직적 층을 분화시켜 층별 건축물 및 수목 밀도를 고려할 수 있는 multilayer urban canopy model을 이용했기 때문에 도시의 수직적 이질성을 반영하는 점에서 차별성을 지닌다(Krayenhoff *et al.*, 2014; Martilli *et al.*, 2002).

모델의 도메인은 그림 1과 같다. 건물과 도로로 이루어진 협곡이며, 한 블록을 걸어가는 보행자의 평균 복사열을 계산한다. 3차원 협곡 형상을 2차원으로 압축시켜 계산하기 때문에 이 때

건축물과 수목이 10개의 수직 층별로 다른 입력 값을 갖게 된다.

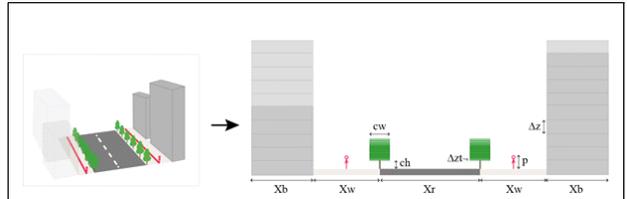


그림 1. 3차원 도시 협곡을 압축해서 표현한 2차원 모델 도메인

모델의 입력 자료로는 건축물과 도로의 형태, 수목의 형태, 기상자료가 있다. 가로수 계획에 활용되기 위해서는 다양한 계획적인 변수를 적용할 수 있어야 한다. 본 모델에서는 가로수의 높이, 수관 너비, 엽면적밀도(Leaf Area Density), 식재 간격을 변수로 입력할 수 있기 때문에 다양한 수목 형태에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 본 모델에서 수목의 MRT 저감 효과는 단파복사열 및 장파복사열 차단(intercepting)과 반사(reflecting)작용으로 이루어진다. 본 모델에 대한 자세한 설명은 Park *et al.* (2018)을 참고하면 된다.

### 2. 가로수 계획 시뮬레이션

본 연구에서는 수목의 규모를 서울시 가로수 데이터를 분류하여 small, medium, large, huge로 구분하였다. 또한, 대상지역은 15m 도로와 25m 도로의 경우로 분류하였다. 수목 규모별로 식재 간격을 1m씩 감소시켰을 때 나타나는 보행자 복사열 저감 효과를 분석하였다.

도시 계획에 도움이 되는 자료를 얻기 위해서는 특정한 시점을 대상으로 하는 것이 아니라, 여름철 전체 기간 동안의 가로수 효과를 보는 것이 필요하다. 본 연구에서는 2017년 6월에서 8월 기간 중 전운량이 50% 미만인 날을 열 환경이 악화될 수 있는 날로 정한 후 그 날에 대한 평균적인 가로수 MRT 저감량을 산정했다.

## III. 연구결과 및 고찰

가로수의 규모와 식재 간격을 변화시키면서 MRT 저감량을

본 결과, 규모가 클수록 그리고 식재 간격이 좁을수록 MRT 저감량이 크게 나타났다. 또한, 가로수 규모가 작은 경우에는 간격을 좁힐수록 그 효과가 기하급수적으로 증가하였다. 이는 하늘로부터 입사되는 단파복사열을 기하급수적으로 차단할 수 있기 때문인 것으로 나타났다. 따라서 작은 가로수를 식재할 경우에는 최대한 간격을 좁히는 것이 MRT 저감에 효과적인 것을 확인하였다. 그러나 가로수 규모가 큰 경우에는 가로수 간격이 좁을수록 선형적으로 MRT 저감 효과가 증가하기 때문에 설계자가 상황에 맞게 식재 간격을 선정하는 것이 바람직할 것이다. 향후에는 도시 내 수목을 식재함에 있어서 열 환경을 고려한 식재계획을 수립해야 할 것이며, 이는 MMRT와 같은 시뮬레이션을 통한 정량적 효과를 기반으로 수립될 수 있을 것이다.

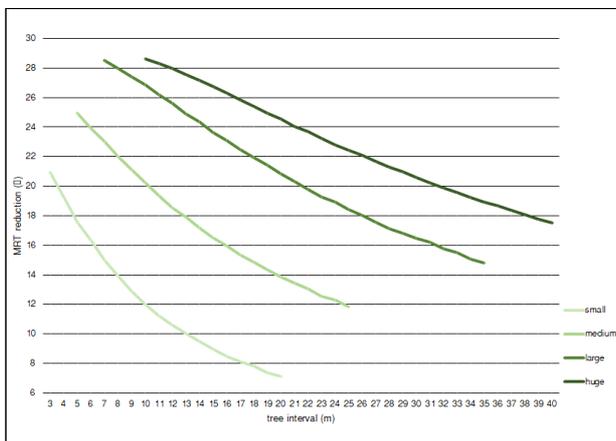


그림 2. 가로수 규모(색)와 식재 간격(x축)에 따른 MRT 저감량(y축)

## 참고문헌

1. Kong, L., K. K. L. Lau, C. Yuan, Y. Chen, Y. Xu, C. Ren and E. Ng(2017) Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society* 31: 12-25. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.018>.
2. Krayenhoff, E. S., A. Christen, A. Martilli and T. R. Oke(2014) A multi-layer radiation model for urban neighbourhoods with trees. *Boundary-Layer Meteorology* 151(1): 139-178. <https://doi.org/10.1007/s10546-013-9883-1>.
3. Lee, H. and H. Mayer(2018) Maximum extent of human heat stress reduction on building areas due to urban greening. *Urban Forestry and Urban Greening* 32: 154-167. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.010>.
4. Lee, H., H. Mayer and L. Chen(2016) Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, 148 (October 2017): 37-50. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004>.
5. Martilli, A., A. Clappier and M. W. Rotach(2002) An urban surface exchange parameterisation for mesoscale models. *Boundary-Layer Meteorology* 104(2): 261-304. <https://doi.org/10.1023/A:1016099921195>.
6. Morakinyo, T. E. and Y. F. Lam(2016) Simulation study on the impact of tree-configuration, planting pattern and wind condition on street-canyon's micro-climate and thermal comfort. *Building and Environment* 103(May): 262-275. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.025>.
7. Park, C. Y., D. K. Lee, E. S. Krayenhoff, H. K. Heo, S. Ahn, T. Asawa, A. Murakami and H. G. Kim(2018) A multilayer mean radiant temperature model for pedestrians in a street canyon with trees. *Building and Environment* 141: 298-309. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.058>.
8. Ryu, Y. H., E. Bou-Zeid, Z. H. Wang and J. A. Smith(2016) Realistic representation of trees in an urban canopy model. *Boundary-Layer Meteorology* 159(2): 193-220. <https://doi.org/10.1007/s10546-015-0120-y>.
9. Zölch, T., J. Maderspacher, C. Wamsler and S. Pauleit(2016) Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry and Urban Greening* 20: 305-316. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011>.