

Local Climate Zone(LCZ)에 따른 여름철 열환경 분석[†]

- 경기도 수원시 만석공원 일대 -

조상만* · 임현우* · 공학양** · 신영규** · 최낙훈*** · 박수국****

*제주대학교 일반대학원 원예학과 박사과정 · **국립환경과학원 환경자원연구부 자연환경연구과 환경연구관 · ***국립환경과학원 환경자원연구부 자연환경연구과 전임연구원 · ****제주대학교 생명자원과학대학 생물산업학부 원예환경전공 조경학연구실 부교수

I. 서론

도시 그린인프라지역은 심리적인 측면뿐만 아니라 물리적인 측면인 열쾌적성을 향상시키며(Klimn *et al.*, 2015), 공원 및 나무와 같은 도시 녹화는 열환경을 효과적으로 개선시킬 수 있다(Bowler *et al.*, 2010). 도시 열환경 개선과 관련하여, 도시구조형태에 따른 열섬현상 분석을 위해 지역기후구역(local climate zone, LCZ)이라는 분류법이 개발되었다(Stewart and Oke, 2012).

이에 따라 본 연구는 경기도 수원시 장안구의 만석공원 일대를 대상으로 여름철 미기후 자료를 측정하여, 그린인프라와 그레이인프라의 열환경 특성을 LCZ로 분류하여 비교·분석해 보고자 한다.

II. 연구방법

미기후 자료 측정은 여름철 2021년 7월 25일 주간 12:00~16:00(4시간), 야간 21:00~01:00(4시간) 동안 경기도 수원시 장안구의 만석공원 일대와 권선구 호매실동의 호매실 수변공원을 연구대상지로, 수원한일타운아파트 지점(High APT, LCZ 4), 공원 인근 빌라 지점(Villa area, LCZ 2), 상업지역 지점(Commercial area, LCZ 2), 인근 산림지역 지점(Forest, LCZ A), 만석공원 잔디 지점(Lawn area, LCZ D), 공원 중심부 지점(Park center, LCZ EB), 공원 수변지역 지점(Waterside, LCZ G), 공원 인근 수원종합운동장 주차장 지점(Transportation, LCZ E), 호매실 수변공원 잔디밭 지점(LCZ D)에서 관측하였다.

미기후 자료는 기온, 상대습도, 풍속을 매 1분 단위, 태양 및 지구복사에너지는 매 5초 단위로 측정하였다. 분석에는 지점 간 최대 차이를 보이는 맑은 시간대의 자료만을 이용하였다. 측정된 미기후 자료를 이용해 인간 열환경지수를 구하기 위하여 RayMan Pro, Ver. 2.2를 이용하여 physiological equivalent temperature(PET; Höpfe, 1999)와 universal thermal climate

index(UTCI; Bröde *et al.*, 2012)를 산출하였다. 9개 지점의 열환경 비교분석을 위해 Microsoft office excel 2019와 IBM SPSS Statistics Ver. 24를 이용하였다.

III. 연구결과

1. 미기후 요소

주간시간 동안 기온은 27.3~39.3°C로 맑은 시간대 그린인프라지역이 평균 33.1°C, 그레이인프라지역이 평균 34.9°C의 값을 보였고, 상대습도는 32.4~96.4%으로 그린인프라지역이 평균 48.6%, 그레이인프라지역이 평균 39.1%의 값을 보였다(Table 1 참조). 풍속은 0~3.6 ms⁻¹으로 산림지역에서 수목의 영향으로 평균 0.3 ms⁻¹로 가장 낮은 값을 보였으며, 상업지역이 0.6 ms⁻¹으로 낮은 값을 보였다. 나머지 지점은 1.0~2.0 ms⁻¹의 풍속을 보였다. 평균복사온도는 32.1~65.9°C로 그린인프라지역이 평균 50.6°C, 그레이인프라지역이 평균 63.7°C의 값을 보였다.

야간시간 동안 기온은 27.3~32.5°C로 그린인프라지역이 평균 29.5°C, 그레이인프라지역이 평균 31.0°C의 값을 보였고, 상대습도는 51.6~73.1%로 그린인프라지역이 평균 62.5%, 그레이인프라지역이 평균 55.7%의 값을 보였다(Table 2 참조). 풍속은 0~2.8 ms⁻¹으로 산림지역에서 평균 0 ms⁻¹로 가장 낮은 값을 보였으며, 주차장에서 평균 1.6 ms⁻¹으로 가장 높은 값을 보였다. 평균복사온도는 23.3~31.5°C로 그린인프라지역이 평균 25.6°C, 그레이인프라지역이 평균 28.9°C의 값을 보였다.

2. 인간 열환경지수

주간시간 동안 PET는 31.3~53.1°C로 그린인프라지역이 평균 40.6°C, 그레이인프라지역이 평균 47.7°C의 값을 보여, 그린인프라지역이 그레이인프라지역보다 평균 7.1°C 낮은 값을 보였다(Table 1 참조). 이 차이는 PET의 열 지각(thermal perception)

[†]: 본 연구는 국립환경과학원의 '국토-환경계획 통합관리를 위한 공간환경정보 및 그린인프라 적용 연구(NIER-2021-01-01-009)'의 지원으로 수행되었음.

단계로 약 1.2단계의 차이를 보여주는 것으로 나타났다. UTCI는 32.0~44.5°C로 그린인프라지역이 평균 38.0°C, 그레이인프라지역이 평균 42.1°C의 값을 보여, 그린인프라지역이 그레이인프라지역보다 평균 4.1°C 낮은 값을 보였다. 이 차이는 UTCI의 열 스트레스(grade of physiological stress) 단계로 약 0.7단계의 차이를 보여주는 것으로 나타났다.

야간시간 동안 PET는 26.0~32.5°C로 그린인프라지역이 평균 28.0°C, 그레이인프라지역이 평균 29.9°C의 값을 보여, 그린인프라지역이 그레이인프라지역보다 평균 1.9°C 낮은 값을 보였다 (Table 2 참조). 이 차이는 PET의 열 지각 단계로 약 1/3단계의 차이를 보여주는 것으로 나타났다. UTCI는 28.5~33.2°C로 그린인프라지역이 평균 29.8°C, 그레이인프라지역이 평균 31.4°C의 값을 보여, 그린인프라지역이 그레이인프라지역보다 평균 1.6°C 낮은 값을 보였다. 이 차이는 UTCI의 열 스트레스 단계로 약 1/4단계의 차이를 보여주는 것으로 나타났다.

Table 1. Mean±standard deviation values of the locations on July 25 daytime

Data	Location	Mean±standard						
		T_a (°C)	RH (%)	u (ms ⁻¹)	T_{air} (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)	
20210725 daytime	Grey infrastructure	High APT	34.6±1.4 ^f	41.4±1.8 ^g	2.0±0.6 ^f	62.5±1.2 ^f	45.8±2.0 ^f	41.3±1.7 ^{cd}
		Villa area	36.3±0.7 ^f	36.1±1.8 ^f	1.0±0.3 ^f	63.7±1.0 ^f	49.6±1.4 ^f	43.4±0.8 ^f
		Commercial area	35.7±0.5 ^f	37.4±1.9 ^f	0.6±0.3 ^f	63.7±1.5 ^f	50.3±1.6 ^f	43.0±0.7 ^f
		Park center	33.8±0.4 ^f	40.6±1.7 ^{cd}	1.8±0.6 ^f	64.0±1.3 ^f	46.0±1.3 ^f	41.0±0.8 ^f
	Green infrastructure	Transportation	34.4±0.5 ^f	40.0±2.2 ^f	1.8±0.6 ^f	64.7±1.2 ^f	47.0±1.4 ^f	41.7±0.7 ^{cd}
		Forest	31.1±0.4 ^f	56.7±2.2 ^f	0.3±0.2 ^f	32.7±0.4 ^f	32.2±0.5 ^f	32.7±0.4 ^f
		Waterside	33.7±0.3 ^f	47.0±2.8 ^f	1.7±0.6 ^f	57.7±1.1 ^f	43.5±1.3 ^f	40.0±0.8 ^f
		Lawn area	34.3±0.3 ^f	42.0±2.0 ^f	1.3±0.2 ^f	61.4±0.8 ^f	46.2±0.8 ^g	41.4±0.4 ^{cd}
		Homesil park	33.6±0.4 ^f	43.2±1.9 ^f	1.5±0.5 ^g	60.5±0.7 ^f	44.9±1.4 ^f	40.4±0.6 ^f

Table 2. Mean±standard deviation values of the locations on July 25 nighttime

Data	Location	Mean±standard						
		T_a (°C)	RH (%)	u (ms ⁻¹)	T_{air} (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)	
20210725 Nighttime	Grey infrastructure	High APT	29.9±0.6 ^f	61.0±2.7 ^f	0.8±0.3 ^f	29.4±0.7 ^f	29.3±0.8 ^f	31.1±0.6 ^f
		Villa area	31.5±0.6 ^f	53.7±1.5 ^f	0.4±0.3 ^f	29.2±0.7 ^f	30.6±0.7 ^f	31.9±0.6 ^f
		Commercial area	31.5±0.6 ^f	54.2±1.3 ^f	0.3±0.3 ^f	29.8±0.9 ^f	31.0±0.8 ^f	32.0±0.7 ^f
		Park center	31.1±0.6 ^f	54.7±1.4 ^f	1.3±0.5 ^f	28.4±1.0 ^f	29.5±0.9 ^f	31.1±0.8 ^f
	Green infrastructure	Transportation	31.0±0.8 ^f	55.0±1.2 ^f	1.6±0.4 ^f	27.8±1.0 ^f	29.2±0.9 ^f	30.8±0.8 ^f
		Forest	28.1±0.3 ^f	69.1±1.2 ^f	0.0±0.0 ^f	27.7±0.4 ^f	29.0±0.4 ^f	29.7±0.4 ^f
		Waterside	30.2±0.5 ^f	60.8±2.0 ^f	1.0±0.4 ^f	24.4±0.6 ^f	27.5±0.6 ^f	30.0±0.6 ^f
		Lawn area	30.1±0.6 ^f	57.5±1.7 ^{cd}	0.6±0.4 ^f	24.7±0.7 ^f	27.6±0.7 ^f	29.7±0.7 ^f
		Homesil park	29.3±0.7 ^f	60.8±2.8 ^f	0.4±0.3 ^f	23.6±0.7 ^f	26.8±0.7 ^f	29.0±0.6 ^f

3. 지역기후구역(LCZ) 분류

대상지 9지점에 대해서 LCZ를 이용하여 분류하였다. 미기후 요소와 인간 열환경지수(PET, UTCI) 평균값을 호메실공원 잔디밭(LCZ D)의 평균값을 기준으로 변환하였다(Figure 1 참조). 그 결과 PET는 상업지역(LCZ 2)이 호메실 수변공원 잔디밭(LCZ D)보다 112.2%로 가장 높게 나타났으며, 그레이인프라지

역들은 호메실 수변공원 잔디밭(LCZ D)보다 모두 높게 나타났고, 수변지역(LCZ G)과 산림지역(LCZ A)에서 각각 96.9%, 71.8%로 낮은 값을 보였다. PET level 기준에 의한 '더움'은 78% 이상, '매우 더움'은 91.4% 이상으로, 산림지역(LCZ A)만 '더움'에 속하고, 다른 모든 지점들은 '매우 더움'으로 나타났다. UTCI에서는 빌라(LCZ 2)가 107.6%로 가장 높게 나타났으며, 그레이인프라지역들은 LCZ D보다 모두 높게 나타났고, LCZ G와 LCZ A 지점은 99.0%, 81.1%로 낮은 값을 보였다. UTCI level 기준에 의한 '강한 열스트레스'는 79.3% 이상, '매우 강한 열스트레스'는 94.2% 이상으로, LCZ A만 '강한 열스트레스'에 속하고, 다른 모든 지점들은 '매우 강한 열스트레스'에 속하는 것으로 나타났다.

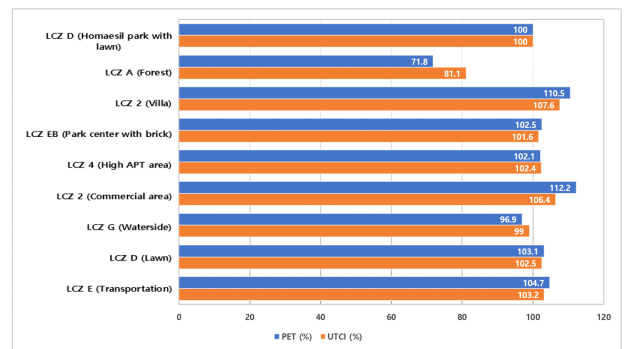


Figure 1. PET (%) and UTCI (%) comparison of the locations in Manseok park area of Suwon-si

IV. 결론

본 연구에서 측정된 미기후 요소와 인간 열환경지수 비교 결과, 그린인프라지역이 그레이인프라지역보다 PET는 주간 동안 1.2단계, UTCI는 주간 동안 0.7단계의 열환경 개선효과를 나타내었다. 주간 PET, UTCI level 기준은 산림지역에서만 '더움', '강한 열스트레스'에 속하고, 다른 모든 지점은 '매우 더움', '매우 강한 열스트레스'에 속하는 것으로 나타났다. 야간 동안 PET는 1/3단계, UTCI는 1/4단계의 열환경 개선효과를 보이는 것으로 나타났다.

참고문헌

- Bowler, D., L. Buyung-Ali, T. Knight and A. Pulin(2010) Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* 97: 147-155.
- Bröde, P., E. Krüger, F. Rossi and D. Fiala(2012) Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology* 56(3): 471-480.
- Höppe, P. R.(1999) The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal

- environment, *International Journal of Biometeorology* 43(2): 71-75.
4. Klimn, W., B. Heusinkveld, S. Lenzholzer, M. Jacobs and B. van Hove(2015) Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in the Netherlands, *Building and Environment* 83: 120-128.
 5. Stewart, I. D. and T. R. Oke(2012) Local climate zones for urban temperature studies, *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(12): 1879-1900.