

Local Climate Zones 분류에 따른 인간 열환경 분석

- 수원시를 대상으로 -

임현우*, 조상만*, 박수국**

*제주대학교 일반대학원 원예학과 박사과정, **제주대학교 생명자원과학대학 생물산업학부 원예환경전공 부교수

1. 서론

Local climate zones(LCZ; Stewart and Oke, 2012)는 도시 형태에 대한 도시 열섬현상과 같은 도시의 열환경을 이해하는 데 유용한 분류 기법으로 개발되었다. LCZ는 토지 피복 특성을 기반으로 정의되며, 도시 지역의 열과 복사 특성을 반영하는 범주로 분류하는데 사용된다. 도시 기후 연구에서 LCZ의 사용이 증가하고 있음에도 불구하고, 실측을 통한 LCZ와 관측된 열환경 사이의 특성을 이해하기 위한 사례연구가 부족하다. 본 연구는 도시 내 열환경에 대한 실측 데이터를 활용하여, LCZ와 관측된 열환경 사이의 관계를 조사함으로써 이러한 격차를 해결하는 것을 목표로 한다.

2. 연구방법

연구 대상지는 대한민국 경기도 수원시를 중심으로 2017년 수원시 중심부에 위치한 팔달구 내 5지점, 2018년 권선구 내 9지점, 2019년 영통구 및 용인시 기흥구 내 8지점, 2021년 수원시 장안구 내 8지점을 조사하여 총 30지점에 대한 기상자료 측정을 진행하였다. 각 지점에 대한 LCZ 분류는 Table 1과 같다. 기상자료의 측정은 12:00-16:00 4시간 동안 진행하였다. 지상 1.2m 높이에서 기온, 상대습도, 풍속, 태양 및 지구복사에너지를 측정하여 열생리학적 지표인 PET(physiological equivalent temperature; Höppe, 1999)와 UTCI(universal thermal climate index; Bröde et al., 2012)를 산출하여 분석에 활용하였다.

Table 1. Classification of local climate zones at measurement points

Year	Site	Location	Aspect ratio	Building surface fraction (%)	Impervious surface fraction (%)	Height of roughness elements (m)	Local climate zones (LCZ)	Description
2017	Paldal-gu	High-rise APT	4.0	16.5	67.8	76.5	LCZ 4	Open high-rise
		Low-rise APT	0.7	19.3	51.9	15.0	LCZ 5	Open mid-rise
		Commercial area	0.8	40.8	100.0	12.9	LCZ 2 _B	Compact mid-rise with scattered trees
		Park (brick)	0.0	0.0	100.0	0.0	LCZ E _B	Paved with scattered trees
		Park (lawn)	0.01	2	25.1	10	LCZ D	Low plants
2018	Gwonseon-gu	High-rise APT	1.4	18.4	50.9	48.1	LCZ 4	Open high-rise
		Commercial area	1.0	37.0	72.7	18.2	LCZ 2	Compact mid-rise
		Residential area	0.8	23.2	56.1	12.3	LCZ 6	Open low-rise
		Parking lot	0.0	0.0	100.0	0.0	LCZ E	Paved
		Bare ground	0.0	0.0	> 90	0.0	LCZ F	Bare soil
		Forest	0.0	0.0	0.0	14.0	LCZ A	Dense trees
		Watershed	0.0	0.0	0.0	0.0	LCZ G ₀	Water with low plants
		Rice field (wet)	0.0	0.0	0.0	0.0	LCZ D _w	Low plants with wet ground
Rice field (dry)	0.0	0.0	0.0	0.0	LCZ D _d	Low plants with dry ground		
2019	Yeongtong-gu and Giheung-gu, Yongin-si	High-rise APT	2.8	20.4	59.9	53.1	LCZ 1 _B	Compact high-rise with scattered trees
		Low-rise APT	0.7	25.2	63.5	16.6	LCZ 2 _B	Compact mid-rise with scattered trees
		Commercial area	0.9	36.0	84.2	11.9	LCZ 2 _E	Compact mid-rise with paved
		Residential area	0.9	19.1	48.1	12.0	LCZ 6	Open low-rise
		Parking lot	0.0	0.0	100.0	0.0	LCZ E	Paved
		Forest	0.0	0.0	0.0	>20	LCZ A	Dense trees
		Watershed	0.0	0.0	0.0	0.0	LCZ G	Water

Table 1. Continued

Year	Site	Location	Aspect ratio	Building surface fraction (%)	Impervious surface fraction (%)	Height of roughness elements (m)	Local climate zones (LCZ)	description
2021	Jangan-gu	Transportation (parking lot)	0.0	0.0	100.0	0.0	LCZ E	Bare rock or paved
		Lawn in a park	0.4	0.0	0.0	6.8	LCZ D	Low plants
		Waterside	0.0	0.0	0.0	0.0	LCZ G	Water
		Commercial area	1.4	48.9	97.3	9.2	LCZ 2	Compact mid-rise
		High APT area	1.2	20.5	67.7	55.6	LCZ 4	Open high-rise
		Park center with brick	0.0	0.0	100.0	0.0	LCZ E _B	Bare rock or paved surrounded by scattered trees
		Villa	1.6	42.9	91.6	9.0	LCZ 2	Compact mid-rise
Forest	0.0	0.0	0.0	> 20	LCZ A	Dense trees		
Reference site		Park with lawn	0.0	0.7	3.9	9.5	LCZ D	Low plants

3. 결과

3.1 공간별 열환경

측정된 자료는 측정 일자가 다르므로 각 수치별 직접 비교는 불가능하다. 따라서 각 측정 일자별 호매실 공원(LCZ D)을 기준으로 각 지점별 수치를 백분율하여 비교하였다(Figure 1 참조). PET와 UTCI 모두 LCZ G와 LCZ D 중 논으로 사용되는 지점, LCZ A에서 100% 이하의 값을 보였으며, LCZ E, LCZ F와 LCZ 1-6 까지는 모두 100% 이상의 수치를 보였다. PET와 UTCI에 대한 등급 열지각, 열스트레스 단계에 맞추어 PET는 6단계, UTCI는 4 단계로 분류하였을 때, PET의 경우 건축공간에 해당하는 LCZ 1-6 은 모두 4 이상의 등급으로 좋지 못한 열환경을 보였고, 오픈스페이스에 해당하는 LCZ E와 LCZ F 또한 4 이상의 등급을 보였다. LCZ A와 LCZ G는 3 이하의 등급을 보였으며, LCZ G는 2-3 등급, LCZ A는 1등급의 열환경을 보였다. LCZ D의 경우 2-6 등급으로 넓은 범위에 분포해 있는데, 이 중 논으로 사용되는 공간의 경우 수(水)공간이 포함되어 있기 때문에 상대적으로 낮은 등급을 보였으며, 나머지 측정지점의 경우 LCZ E, LCZ F와 함께 오픈스페이스의 열환경적 공통점이 확인되었다. UTCI의 등급분류 또한 PET와 거의 유사한 형태를 보였으며, 차이점은 LCZ A와 LCZ G가 같은 등급으로 분류되며, 오픈스페이스에 대한 등급이 전체적으로 건축공간보다 한 단계 낮은 형태의 결과를 보이는 것으로 확인되었다.

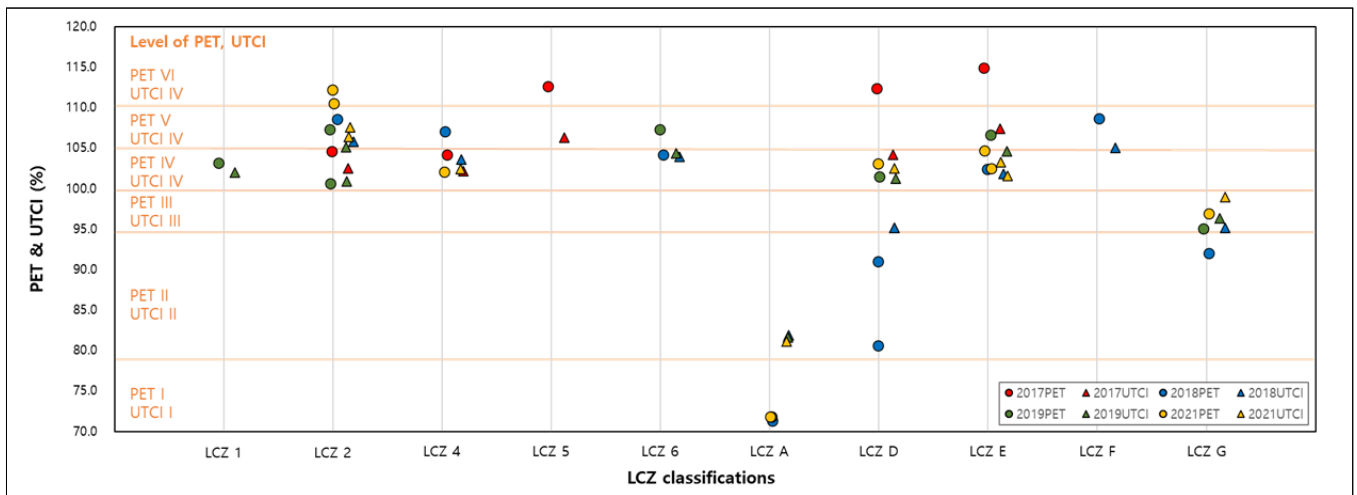


Figure 1. The human thermal sensation classes by local climate zones

3.2 공간 요인별 고찰

모든 측정지점에 대한 sky view factor(SVF)와 PET, UTCI의 상관관계를 보면 PET의 경우 $R^2=0.2195$, UTCI의 경우 $R^2=0.2881$ 로 전체적인 수치는 낮은 상관성을 보이지만, SVF가 0.7 이하인 지점들에서의 상관관계는 PET $R^2=0.8752$, UTCI $R^2=0.8884$ 로 상대적으로 높은 상관성을 보이며, SVF가 증

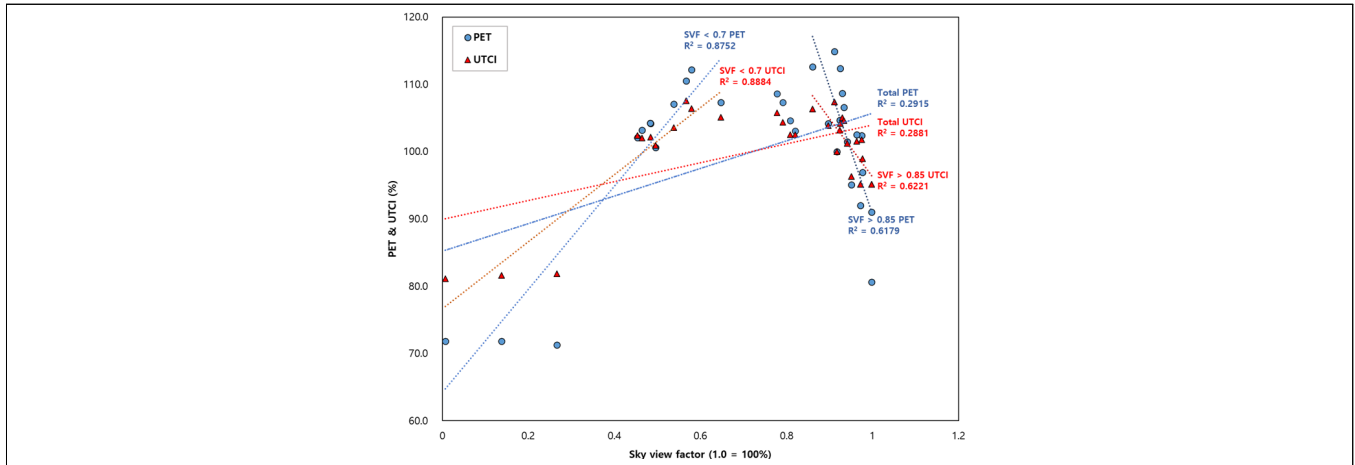


Figure 2. The correlation between PET and UTCI with sky view factor

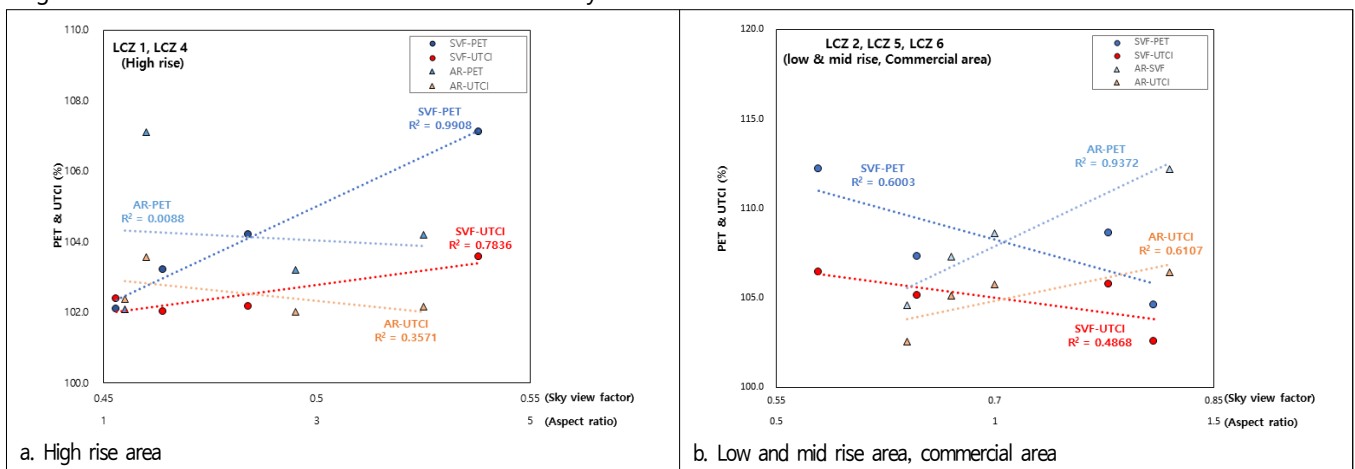


Figure 3. The correlation between the sky view factor and the aspect ratio on PET and UTCI in the built-up area

가할수록 PET, UTCI가 증가하는 경향을 보였다(Figure 2 참조). 또한, SVF가 0.85 이상인 지점에서는 PET와의 $R^2=0.6179$, UTCI와의 $R^2=0.6221$ 로 SVF가 증가할수록 PET, UTCI가 감소하는 경향을 보였다. SVF가 증가함에 따라 하늘공간으로부터 오는 1차적인 복사에너지량이 커짐에 따라 PET, UTCI가 증가할 수 있지만, SVF가 약 0.85 이상인 경우 바람 등의 영향을 통한 환기작용이 크게 작용하여 PET, UTCI가 감소할 수 있으며, 약 0.7 이하인 공간에서는 이러한 효과가 미비한 것으로 해석할 수 있다. 그리고, 0.7-0.85의 SVF에서 상관성이 매우 낮게 나타나는 것은 건물의 배치, 풍향, 태양 방위각에 따라 효과가 달라질 수 있음을 의미한다. 건축공간에서 보았을 때, 고층건물지역에 해당하는 LCZ 1, LCZ 4의 경우 SVF는 PET에서 $R^2=0.9908$, UTCI에서 $R^2=0.7836$ 로 높은 상관성을 보였지만, SVF와 유사한 지표로 사용되는 건물높이와 도로폭의 비율인 aspect ratio는 PET에서 $R^2=0.0088$, UTCI $R^2=0.3571$ 로 낮은 상관성을 보였다(Figure 3a 참조). 반면 중저층 건물지역에 해당하는 LCZ 2, LCZ 5, LCZ 6에서 상업지역으로 분류되는 지점들을 보았을 때, SVF는 PET에서 $R^2=0.6003$, UTCI에서 $R^2=0.4868$ 의 수치를 보인 반면, aspect ratio는 PET $R^2=0.9372$, UTCI $R^2=0.6107$ 로 고층 건물지역과 반대되는 경향을 보였다(Figure 3b 참조). 이는 건축 특성과 관련지어 해석할 수 있다. 고층건물지역의 경우 타워형 아파트 형태로 aspect ratio 수치 산출이 적합하지 않기 때문에 SVF를 통한 분석이 적합한 것으로 판단되며, 중저층 건물지역, 특히 상업지역으로 분류되는 지점들의 경우 건물과 도로의 배치가 거리협곡의 형태를 보이며, 이러한 형태에서는 SVF보다 aspect ratio를 통한 분석이 더 적합한 것으로 보인다. 추가적으로 도시전체적인 분포를 보았을 때 도시 중심에 가까운 팔달구에서의 측정값이 도시 외곽, 근교지역에서의 측정값보다 더 높은 PET와 UTCI 수치를 보였다(Figure 1 참조). 이를 통해 LCZ 유형 분류와 함께 도시 내 위치 정보 또한 열환경 분석에 있어 중요한 정보로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

1. Bröde, P., E. L. Krüger, F. A. 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.
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(2): 71-75.
3. 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.