

캠퍼스 공간구조에 따른 인체 열쾌적성 특성 분석

이현정* · 정대영** · 진진형*** · 송영배****

*독일 프라이부르크대학교 산림·환경과학과 · **고려대학교 대학원 환경계획·조경학 전공 ·
고려대학교 대학원 환경생태공학부 · *협성대학교 도시공학과

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

'친환경적 공간'의 조성은 환경문제를 이해하고 해결할 수 있는 하나의 대안으로 인간과 자연의 조화를 꾀하는 '생태적 지속가능성'의 실천적 공간이라 할 수 있다. 환경오염의 저감, 바이오 기후의 개선 등은 '친환경적 공간'을 위한 대표적인 노력이라 할 수 있으며, 반드시 환경적 수용능력을 충족시킬 수 있는 범위 내에서 이루어져야 한다. 이러한 노력들의 결과는 인간에게 '쾌적성'을 제공하기 위함이며, 궁극적으로는 인간의 삶의 질을 향상시키는 역할을 한다.

친환경적 공간 조성의 일례로 최근 대학가에서는 '에코 캠퍼스(Eco-campus)' 혹은 '친환경 캠퍼스'란 용어들이 많이 쓰이고 있다. 이는 단순히 대학캠퍼스를 녹색으로 치장하고 물리적 환경을 가꾸는 것만을 의미하는 것이 아니라, 캠퍼스 이용자의 삶의 질 향상에도 기여할 수 있는 지속가능한 공간을 대학 캠퍼스 내에 실현하고자 함을 내포한다.

특히, 고밀의 도시공간 내에 위치한 대학캠퍼스의 경우 지역 사회에서 도시오픈스페이스로서의 중요한 역할을 할 수 있도록 쾌적한 공간으로 조성될 필요가 있다.

이에 본 연구는 도심 내 위치한 대학캠퍼스의 공간 구조별 쾌적성 분석을 수행하고 이를 바탕으로 친환경공간으로써의 캠퍼스 역할을 개선할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구범위

1) 공간적 범위

본 연구는 도심 내 위치한 고려대학교 인문계 캠퍼스를 대상으로 캠퍼스 공간구조에 따른 인체 열쾌적성을 평가하였다. 21.35km²의 면적을 가진 고려대학교 인문계 캠퍼스는 적절한 녹지 공간을 배치하여 고밀의 주거 및 상업지역의 열쾌적성을 개선하는 역할을 수행하고 있다.

2) 내용적 범위

캠퍼스 공간구조에 따른 열쾌적성 평가는 다음과 같이 3단계로 구분하여 수행하였다. 첫째, 캠퍼스의 미기상 및 바이오기상 측정, 둘째 캠퍼스 공간 구조 및 특성 분석, 셋째 열쾌적성 모델링 및 평가이다.

2. 연구방법

1) 기상환경 측정

연구대상지에서 인체 열쾌적성에 영향을 미치는 바이오기상과 연구대상지의 전반적인 기후특성을 파악하기 위해 각각 지상 2m와 10m에 고정기상관측장치를 설치하였다. 또한 캠퍼스 공간구조에 따른 기상요소와 미세규모의 환경 변화의 차이를 분석하기 위해 전형적인 여름철 일기 특성이 나타난 2009년 7월 31일에 이동기상관측을 수행하였다.

캠퍼스 공간구조를 고려하여 20개의 이동기상관측 지점을 선정하고 일출 후 기온의 변화가 발생하기 시작하는 오전 7시부터 일몰 후 지면이 냉각되는 오후 9시까지 2시간 간격으로 이동기상관측을 수행하였다. 이동관측시간은 시간변화에 따른 온도변화를 최소화하여 온도보정에 따른 오차를 줄이기 위해 30~40분 내에 수행하였다.

고정기상관측은 AWS(Automatic Weather Station, 자동기상관측소, Vantage Pro II, Davis inc.)를 이용하여 온도, 습도, 기압, 자외선량, 일사량, 강우량, 풍향, 풍속을 측정하였다. 이동관측시 각 지점에서 1분 동안 온도와 습도를 측정된 값의 평균



그림 1. 연구대상지역 및 이동기상관측 지점

값을 기록하였다.

2) 공간구조 분석

캠퍼스 내 공간구조 특성을 파악하기 위해 건물유형, 배치구조, 토지피복, 수목 조사를 수행하였다. 특히, 이동관측지점의 공간구조를 세밀하게 분석하기 위해 Fish-eye photos(Canon 5D, Sigma 8mm F4 Fisheye lens)를 이용하여 SVF(Sky View Factor, 천공률)를 산출하였다.

3) 인체 열쾌적성 분석 및 평가

인체 열쾌적성과 관련한 열교환메커니즘에 영향을 미치는 주요 인자는 T_a (대기 중 온도), VP(증기압), v (풍속), T_{mrt} (평균복사온도)이다(Wolfgang Kusch *et al.*, 2004).

인체 열쾌적성의 평가는 EN-ISO 7730(ISO, 2005)을 근거로 PMV(Predicted Mean Vote, 예상온열감)와 PET(Physiologically Equivalent Temperature, 생리학적 상당온도)지수를 이용하여 수행하였다. PMV 지수는 인체가 체감하는 열특성을 -3.5에서 +3.5사이의 수치로 평가하는 반면 PET지수는 온도(°C)단위를 이용한다. 따라서 인체-생기상 용어에 익숙하지 않은 도시 및 지역계획가들이 활용하기 편리한 지수이다(Andreas Matzarakis and Helmut Mayer, 1999).

열쾌적성 분석 툴은 RayMan Pro 모델(Andreas Matzarakis, 2009)을 이용하였다. 열쾌적성 평가를 위한 입력자료는 물리적으로 대상지역의 경위도와 SVF, 기상요소로는 온도, 습도, 풍속, 운량이다(Andreas Matzarakis *et al.*, 2006).

III. 결과 및 고찰

1. 대학 캠퍼스 기상환경

고정형 및 이동형 기상측정장비를 이용하여 캠퍼스 공간 구

표 1. 열쾌적성지수 범위

PMV	PET	열쾌적성	생리학적 스트레스 상태
-3.5	4°C	매우 추움	극심한 저온 스트레스
-2.5	8°C	추움	심한 저온 스트레스
-1.5	13°C	서늘함	중간정도 저온 스트레스
-0.5	18°C	약간 서늘함	약한 저온 스트레스
0.5	23°C	쾌적함	열적 스트레스 없음
1.5	29°C	약간 따뜻함	약한 고온 스트레스
2.5	35°C	따뜻함	중간정도 고온 스트레스
3.5	41°C	더움	심한 고온 스트레스
		매우 더움	극심한 고온 스트레스

자료: Matzarakis and Mayer, 1998: 140-143

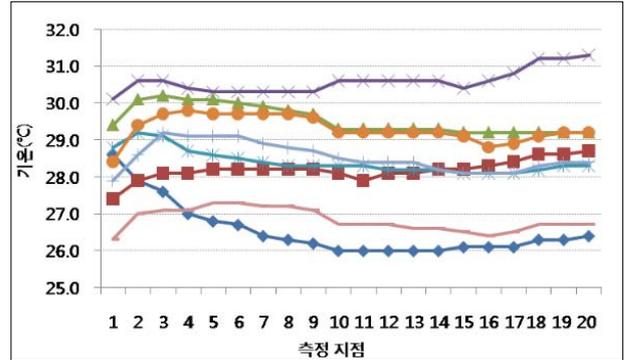


그림 2. 각 지점별 시간대별 온도분포(2009년 7월 31일)

범례: 7:00, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 18:00, 21:00

조별 20개 지점을 관측한 결과는 그림 2와 같다.

일출 후 온도가 상승하기 시작하는 오전 7시의 경우 26.0~28.6°C(평균 26.5°C)의 온도분포를 보였으며, 각 지점별 온도차가 최대 2.6°C까지 발생하였다. 이후 본격적으로 가온이 시작되는 오전 9시와 11시의 경우 각각 27.4~28.7°C(평균 28.2°C), 29.2~30.2°C(평균 29.6°C)의 분포를 보였다. 오전 7시의 각 지점별 온도분포와 비교하였을 때, 태양복사에너지가 증가됨에 따라 각 지점별 온도차가 1°C 전후로 감소했다. 오후 1시의 경우 각 지점별로 최대 온도값(30.1~31.3°C, 평균 30.6°C)을 보였으며, 일몰 시간인 오후 7시를 기점으로 온도가 감소하기 시작해서 오후 9시경(26.3~27.3°C, 평균 26.8°C)에는 오전 7시와 유사한 온도분포를 보였다. 그림 2에서 오후 3시의 기온이 오전 11시와 오후 5시에 비해 낮은 값을 보인 이유는 강우에 의한 냉각효과 때문이다.

2. 공간특성 분석

캠퍼스 측정 지점별 공간특성을 파악하기 위해 공간구조(건물 높이, 배치)와 인체 열환경에 영향을 미치는 높이인 지상 1.1m에서의 SVF(Sky View Factor)를 분석하였다. 공간구조는 평균복사온도의 형성에 영향을 미치는 건물과 토지피복 특성을 고려하였으며, SVF는 태양복사의 입사에 영향을 미치는 건물과 수목의 높이 및 개방 정도를 측정 및 분석하였다. 그림 3은 2번 지점과 14번 지점의 Fish-eye photo이며, RayMan Pro 모델을 이용해서 정량화된 값을 계산할 수 있다(Helmut Mayer *et al.*, 2008).

3. 열쾌적성 평가

RayMan Pro 모델을 이용하여 분석한 각 측정지점별 쾌적도는 다음과 같다.

전체 측정지점에 대한 평균복사온도(T_{mrt})의 분석 결과, SVF값이 낮은 지점의 온도가 개방된 광장지점에 비해 최대

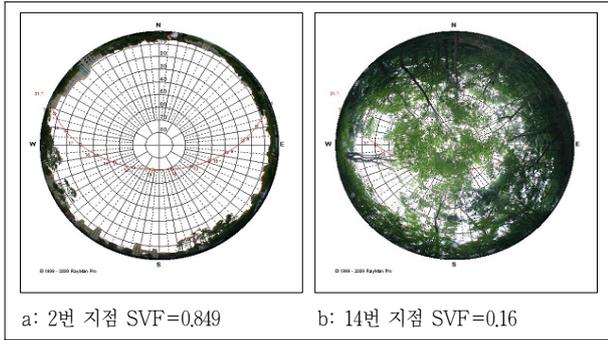


그림 3. SVF 계산을 위한 Fish-eye photo

표 2. 공간특성 분석 결과

유형	피복특성	SVF(범위, 평균)	해당지점	
개방 (open)	광장	잔디/콘크리트혼재	0.633~0.849, 0.716	2, 9, 15, 18, 20
	건물 (1면 위요)	콘크리트	0.647	8
반개방 (semi-close)	도로	아스팔트	0.508~0.518, 0.513	1, 3, 12, 19
	건물 (2면 위요)	콘크리트	0.495~0.562, 0.53	7, 10, 13, 16, 17
폐쇄 (close)	건물 (3면 이상위요)	콘크리트	0.334~0.378, 0.361	4, 5, 6, 11
	수목	토양/콘크리트 혼재	0.16	14

7.4°C(오전 11시) 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 수목과 건물에 의한 태양복사열의 차단에 기인한다(Helmut Mayer *et al.*, 2008).

2번 지점(중앙광장)의 경우, 기온이 가장 높게 나타나는 오전 11시~오후 3시 사이에 PMV 2.3~2.7, PET 32.8~35.5°C로 심한 고온스트레스를 받는 것으로 분석되었다. 반면 수목이 우거진 14번 지점의 경우 동일한 시간대에 PMV 1.5~2.1, PET 28.2~31.4°C로 중간 정도의 열적 스트레스를 받는 것으로 나타났다.

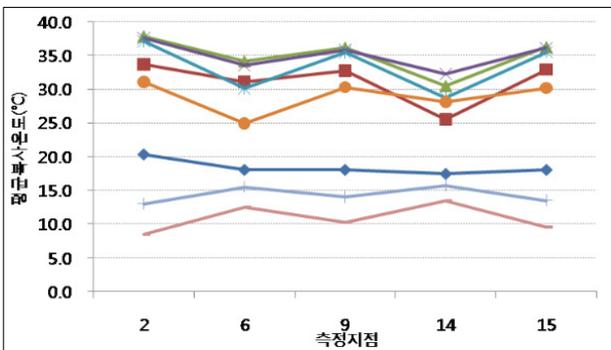


그림 4. 주요 지점별 평균복사온도 (Tmrt)

범례: 7:00, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 18:00, 21:00

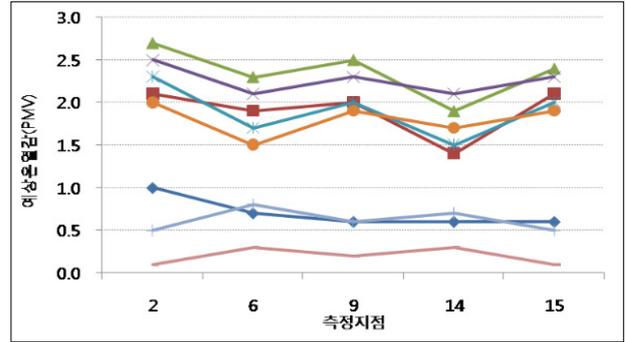


그림 5. 주요 지점별 PMV(Predicted Mean Vote)

범례: 7:00, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 18:00, 21:00

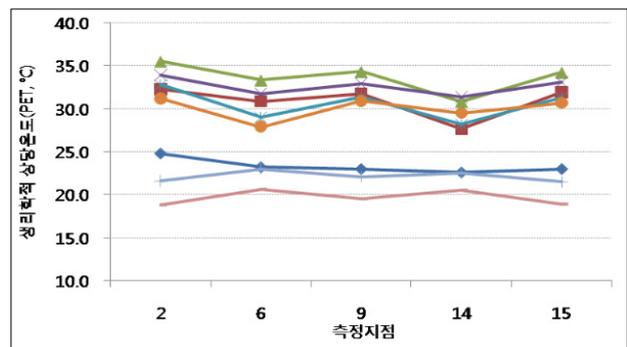


그림 6. 주요 지점별 PET(Physiologically Equivalent Temperature)

범례: 7:00, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 18:00, 21:00

캠퍼스 공간 구조 및 특성 유형에 따른 측정된 기온자료와 열쾌적성 평가 자료를 종합하면 표 3과 같다.

표 3. 공간특성에 따른 열쾌적성 평가 결과

유형	피복특성	SVF(범위, 평균)	해당 지점	기온(최대, 평균, 최소)	PMV/PET(°C)	
개방 (open)	광장	잔디/콘크리트혼재	0.633~0.849, 0.716	2, 9, 15, 18, 20	31.3, 28.5, 26.1	2.7/35.5, 1.6/28.4, 0.1/18.8
	건물 (1면 위요)	콘크리트	0.647	8	30.3, 28.6, 26.3	2.5/34.4, 1.5/28.3, 0.2/19.6
반개방 (semi-close)	도로	아스팔트	0.508~0.518, 0.513	1, 3, 12, 19	30.6, 28.6, 26.0	2.5/34.1, 1.5/28.0, 0.2/19.5
	건물 (2면 위요)	콘크리트	0.495~0.562, 0.53	7, 10, 13, 16, 17	30.8, 28.3, 26.0	2.4/34.0, 1.5/27.9, 0.1/19.2
폐쇄 (close)	건물 (3면 이상위요)	콘크리트	0.334~0.378, 0.361	4, 5, 6, 11	30.6, 28.7, 26.0	2.4/33.5, 1.4/27.5, 0.2/19.9
	수목	토양/콘크리트 혼재	0.16	14	30.6, 28.3, 26.0	2.1/31.4, 1.3/26.7, 0.3/20.5

IV. 결론

실제 인체가 느끼는 열적 쾌적성 또는 불쾌적성은 기존의 평가방식인 기온과 습도 등의 단순 기상자료만으로 평가하기는 어려우며, 이외에 인체를 둘러싼 물리적 환경요소와 생리적 요소 자료를 종합적으로 고려해야만 정확한 평가가 가능하다.

본 연구에서는 캠퍼스를 대상으로 측정된 기상자료와 공간 분석 자료를 종합하여 공간특성별 인체가 느끼는 열쾌적성을 정량적으로 평가하였다. 분석결과, 개방형보다는 수목이 식재된 공간구조에서 쾌적성이 개선되는 것으로 나타났는데, 이는 통풍보다는 복사열을 차단하는 열대건조기후대(hot dry climate region)의 건축공간특성을 반영한다. 이와 달리 온난다습기후대(warm humid climate region)에서는 통풍을 고려한 개방형 공간구조가 열쾌적성을 높이는데 더욱 적합하다. 따라서 덥고 건조한 미기후특성을 반영하는 도시에서는 건물과 수목의 적절한 배치를 이용하여 그늘을 조성하고, 태양복사열의 입사를 차단하고 장파복사열을 감소시키는 환경을 조성할 경우, 평균 복사온도가 감소하여 소규모 공간에서의 열적 쾌적성이 개선된다.

본 연구에서 제시한 정량적인 열쾌적성 평가 방법과 연구결과를 도시 공간계획 및 조경 설계에 활용할 경우 도심에서 녹

지의 기온저감 효과를 이끌어내 쾌적하고 생태적으로 지속가능한 도시환경 조성에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

인용문헌

1. Matzarakis, Andreas(2009) RayMan Pro, University of Freiburg.
2. Matzarakis, Andreas, Frank Rutz and Helmut Mayer(2006) Modelling the Thermal Bioclimate in Urban Areas with the RayMan Model. The 23th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland: Passive and Low Energy Architecture, pp. II-449.
3. Matzarakis, Andreas and Helmut Mayer(1999) Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. International Journal of Biometeorology 43: 76-84.
4. Matzarakis, Andreas and Helmut Mayer(1998) Investigations of urban climate's thermal component in Freiburg, Germany. 13th Conference on Biometeorology and Aerobiology, Albuquerque, USA: American Meteorology Society, pp. 140-143.
5. Mayer, Helmut, Stefanie Kuppe, Jutta Holst, Florian Imbary and Andreas Matzarakis(2008) Human Thermal Comfort Below the Canopy of Street Trees on a Typical Central European Summer Day, 5th Japanese & German Meeting on Urban Climatology, Freiburg, Germany: Meteorological Institute, Albert-Ludwigs-University of Freiburg, pp. 211-219.
6. ISO(2005) EN-ISO 7730 Ergonomics of the Thermal Environment, Geneva: International Organization for Standardization.
7. Kusch, Wolfgang, Hwang Young, Fong, Gerd Jendritzky and Ingo Jacobsen(2004) Guidelines on Biometeorology and Air Quality Forecasts, WMO, No. 1184, pp. 3-6.