

大學 캠퍼스內 野外空間의 여름철 微氣候에 관한 研究

A study on the Thermal Environment of Open Spaces on Campus during Summer

徐 應 喆*

Suh, Eung-Chul

Abstract

Microclimate of open spaces on campus tends to be important because it is related with people's comfort and it can influence their behaviors in outdoor during summer. Climatic components for 4 points, concrete paving, lawn, landscaped pergola and nearby forest on university campus were measured and evaluated. The results show that the air temperatures on paving such as concrete and lawn under the direct solar radiation were higher than the temperatures of canopied spaces such as pergola and nearby forest by up to 7°C during summer. Characteristics of temperatures on lawn were similar to those on concrete paving. After evaluation, concrete surface was worst among 4 points, while landscaped pergola was the most effective facility in terms of thermal comfort during summer.

키워드: 미기후, 캠퍼스 환경, 쾌적성, 야외환경
Key words: microclimate, campus, open space

1. 서론

노천극장, 피콜라, 잔디광장, 야외 계단 등 대학 캠퍼스 야외공간은 학생복지시설로 새롭게 인식되고 있고 이러한 공간들은 학생들의 야외 수업 장소로 때로는 인근 지역주민들의 휴식장소로서 이용되기도 한다. 사계절이 뚜렷한 우리나라에서 이들 시설들은 계절 및 날씨 그리고 설치된 장소의 특성 등에 따라 이용률이 다르게 나타날 수 있으나 여태까지 이러한 시설들은 설치와 공급에만 초점이 맞추어졌고 국지적 장소에 따른 평가에 바탕을 둔 시설의 설치는 이루어지지 못했다. 일반적으로 온도, 습도, 등 물리적 환경은 인간

의 행태에 영향을 끼친다. 예컨대 실내외에서 추위를 느끼는 겨울철에는 햇볕을 쉽게 찾을 수 있는 곳으로, 여름철에는 시원하거나 바람을 느낄 수 있는 곳으로 사람들이 이동하기 마련이다. 따라서 추운 계절에 더 많은 햇볕을 얻을 수 있고 여름철 시원한 그늘을 얻을 수 있는 방법과 이를 이용한 시설의 설치가 필요하다.

주변지역과 다르게 나타나는 국지적 기후현상을 미기후라 하고 이 현상은 대상규모와 무관하게 존재하는 것으로 알려지고 있다. 예컨대 도시에는 도시만의 도시기후가 존재하여(이현영 역, 1989) 고온성, 저습성 등 주변지역과 다른 기후특성을 나타내고, 보다 작은 규모의 계곡에도 계곡만의 미기후가 존재하여 기온과 바람 등 기상요소가 주변지역과 다르게 나타난다.

대학 캠퍼스 규모에서도 단지의 지형적 특성,

* 정희원, 대구대 부교수, 공학박사

** 이 연구는 1999년 대구대학교 학술연구비 지원에 의해 이루어졌음.

자연성 유무 그리고 일사행태 등에 따라 임의 지점에서의 국지기상이 존재할 수 있다. 이 국지기상은 지역적 기후의 대표 값과 다르게 나타날 수 있어 임의의 지점에서 기상요소는 단지 내 다른 지점의 기상요소와 다르게 나타날 수 있다. 일반적으로 아스팔트면, 콘크리트포장 등 포장 면을 포함하는 공간 구조체의 상이한 열성이 고온성을 낳게 하는 주요 원인으로 인식되고 있고 이러한 국지적 고온성은 대기로의 에너지 회석이 쉽게 이루어지지 않기 때문에 지표 특성이 기온에 그대로 반영되어 미기후로 나타나는 것으로 파악되고 있다. 즉 지표면의 표면온도는 잔디, 아스팔트 등 지표면의 구성재료에 따라 다르게 나타나고 이 표면온도는 수직적으로 대기의 밀도차이와 수평적 바람의 방향에 따라 기온으로 나타나고 나아가 상공에서 이 기온차이가 회석되어 보다 광역적인 대기특성으로 나타난다(Oke,1982).

미기후의 중요성이 인식되면서 그동안 지표면 구성재료에 따른 지표면 온도특성에 대한 연구(Landsberg,1981: Robinette,1977: Suh,1995)가 이루어졌으며 지표특성에 따른 기온차이에 대한 연구(Yoshino,1981)와 보다 규모가 큰 지역의 미기후 특성에 대한 연구가 이루어져 포장재료에 따른 미기후의 변화가 주목되기 시작하였으나 환경설계나 식재설계 등에 구체적으로 적용된 사례는 많지 않았다.

미기후는 첫째, 작게는 건물의 실내기후를 위해 크게는 도시의 생태적인 지속가능성을 위해 중요하다. 건물의 실내기후는 외기온에 직접적인 영향을 받고 건물의 냉난방 시 냉난방 부하는 외기온의 함수로 나타나기 때문이다. 예컨대 도시의 고온성은 건물의 냉방수요를 불러일으키고 이 냉방에너지의 소모로 말미암아 결과적으로 도시의 에너지소비는 다시 증가된다(Ca 외,1998). 이렇게 소비되는 에너지는 또 다른 기온상승을 유발하므로 고온성이 에너지소비 측면에서 악순환의 고리로 나타난다.

둘째, 건물의 내부와 다르게 기후조절이 어려운 야외환경에서 미기후는 인간에게 직접적인 영향을 미친다. 예컨대 불쾌감을 느끼는 외기온은 여름철 보행인에게 불쾌감을 제공하는 요인으로 나타날 수 있는 등 외 기온은 인간의 행태에 영향을 주고 있다(Nakamura, 1988).

이 연구에서는 대학 캠퍼스 내 야외공간의 온열환경을 파악하고자 조성된 잔디면, 콘크리트 포장면, 퍼골라(pergola:그늘시렁), 숲 등을 대상으로 해당 공간의 기온, 일사량, 풍속 등의 기후 요소를 측정, 평가하여 바람직한 야외공간조성을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 측정 대상지 선정

대학 캠퍼스는 인공성과 자연성이 상존하며 다른 환경에 비해 야외공간이 풍부하고 다양하게 제공되고 있다. 일반적으로 기상현황은 기상요소의 특성을 말함이나 캠퍼스 내에서도 국지적 기상요소가 지형과 주변환경에 따라서 달라질 수 있다. 예컨대 수변(水邊) 공간주변은 물의 열적 특성으로 주변공간에서 기온 완화효과가 예상되고, 건물 군(群)에 둘러싸인 공간은 바람의 양과 향이 지역적 수치와 다르게 나타날 수 있어 그 공간만의 다른 미세한 기상 특성을 지닐 수 있다.

따라서 도시 내 건물밀도가 높은 지역에 위치하는 캠퍼스는 캠퍼스 밖의 기상특성에 영향을 받는 미기후가 불가피하게 존재할 수 있기 때문에, 이 연구에서는 연구 대상지가 도심에 위치하지 않고 캠퍼스 내 건물밀도가 비교적 낮은 대구대학교 자연자원대 내의 야외공간들을 측정의 대상으로 하였다.

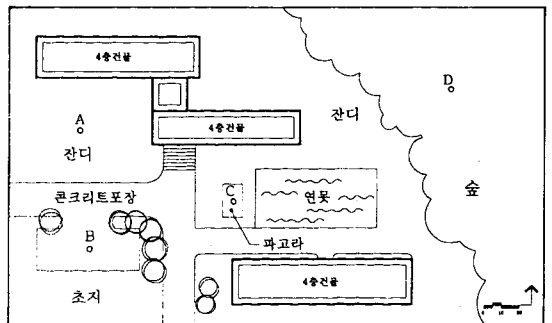


그림 1. 측정지 위치(A: 잔디, B: 콘크리트, C: 퍼골라, D: 숲)

2.2 측정

2.2.1 측정기구

기온과 상대습도는 미국의 Onset Computer Corporation의 HOBO H8 Pro Series를, 풍속은 일본의 TSI Corporation의 VelosiCALC를 이용하여 매 30분마다 측정하였다. 측정기간중의 일사량은 연구 대상지 인근에 위치한 대기기상대의 일사량자료를 참고하였다. 식재공간의 식물의 울창함을 정량적으로 파악하고자 울폐도(鬱閉度) 측정은 독일의 Grube KG model을 이용하였다.

2.2.2 측정 및 연구기간

우리나라의 여름은 장마와 고온 다습한 기후로 이루어진 몬순기후 특성을 보이고 있고 최고기온은 장마가 끝날 무렵인 7월 말과 8월 초에 나타난다(김성삼 외, 1976). 이 연구를 위한 기상 측정은 여름철 야외공간의 온열환경을 파악하고자 1999년 7월 19일부터 7월 30일까지 12일 동안 수행되었다. 이 기간동안은 7월 22일과 26일 각각 73mm와 41mm의 강우량을 보이는 등 장마성 일기와 여름철 고온성이 반복되는 장마성 여름이었다. 연구 목적상 고온 다습한 여름철 기상이 연구대상이 되어야 하기에 전날(23일)의 강수량(8mm)에도 불구하고 비교적 충분한 일사량과 높은 습도의 여름철 기상의 전형을 보일 수 있다는 판단에서 측정기간 12일(7월 19일 - 7월 30일) 중 강우가 없었고 쾌청했던 7월 24일과 흐렸던 25일 이틀 동안만을 연구대상기간으로 하였다.

2.2.3 측정방법

대학캠퍼스의 옥외환경은 보행로, 주차장, 광장, 수경공간, 나무가 식재된 오픈 스페이스 등 종류가 다양하지만 미기후 측면에서 몇 가지로 유형화하여 건물 및 캠퍼스의 기능을 보완하기 위한 보행로, 주차장 등의 기능성 위주의 공간과, 자연을 이용해 경관의 심미적 특성을 살리기 위한 잔디광장, 퍼골라 등 자연성 확보 공간으로 대별할 수 있다. 이 연구에서는 캠퍼스 내 나지(裸地) 환경의 전형으로 콘크리트 포장면과 잔디면을 측정 대상공간으로 설정하였고 자연을 이용하여 녹음을 조성한 환경의 전형으로 수령 40년 생의 소나무로 밀실하게 이루어진 숲과, 인위적으로 등나무로 조성된 퍼골라를 선정하여

측정대상으로 하였다. 퍼골라 밑 측정점의 울폐도는 등나무로 인해 0.98이었으며 바닥은 투수성 콘크리트 블록 포장으로 이루어졌다. 수령 40년 생 소나무 숲 속 측정점의 울폐도는 0.91로 비교적 울창하였다. 이들 연구 대상공간은 온 습도 및 풍속 등 측정요소 외 기상요소가 비교적 동일해야 하므로 그림 1에서와 같이 네 측정점을 200m이내에 위치시켰다.

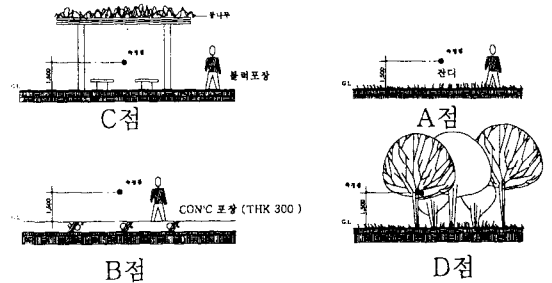


그림 2. 각 측정점들의 단면

각 측정점마다 지표면 기온 특성을 근접 지점에서 알아보기 위한 지표면 0.5m 상부지점과, 인간이 쉽게 느낄 수 있는 높이(김성삼외, 1976)로서 지표면 1.5m 상부지점을 측정 대상으로 하여 이 지점에서의 매 30분마다의 기온과 상대습도를 측정하였다. 기온은 각 측정점으로 부터 직달일사와 주변환경으로부터 장파복사의 영향을 배제하고자 알루미늄 호일(Aluminum foil)로 측정기(sensor)의 상부(30cm X 30cm) 및 측면을 차폐하였다. 풍속은 측정점들의 대표 값으로 매 30분마다의 평균 풍속이 측정되었고 일사량은 인근 대기기상대의 기상자료를 참고하였다

3. 결과 및 고찰

3.1 미기후 평가

연구기간인 7월 24일과 25일 이틀 간 풍속이 최고 2.1m/sec, 최저 0.2m/sec로 비교적 양호하였고 쾌청했던 7월 24일은 정오의 시간당 일사량이 측정기간 중 최대치인 2.72MJ/m2를 보였고 25일은 정오의 최고 일사량이 0.57MJ/m2로 흐렸다.

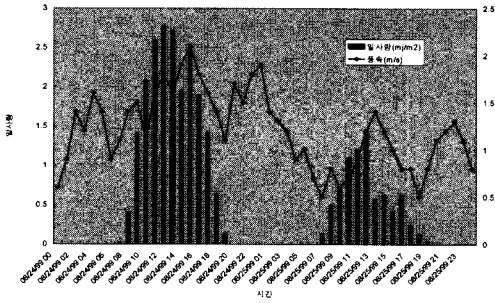


그림 3. 연구기간중의 일사량 및 풍속

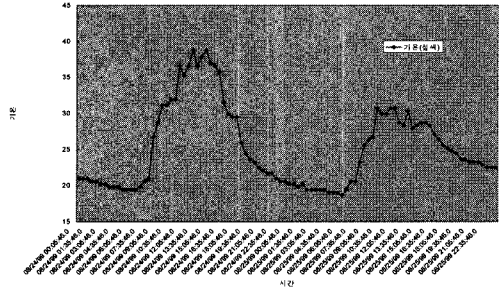


그림 5. 콘크리트면 위(0.5m) 기온 및 습도

3.1.1 나지(裸地)의 미 기후 평가

그림 4와 그림 5는 연구기간 동안 콘크리트 포장 면 위 1.5m높이 그리고 0.5m높이의 측정점에서 측정된 기온과 1.5m에서 측정된 습도(상대습도)를 보여주고 있다. 쾌청한 첫째 날, 21°C로 출발한 0.5m와 1.5m에서의 기온은 일출과 함께 하부(0.5m)의 기온이 높아지면서 오후 2시 36분에 0.5m높이의 최고기온이 39°C를 넘어 같은 시각 1.5m높이에서 측정된 일 중 최고기온 33.6°C보다 5.4°C높게 나타났고 일몰후 두 지점이 같은 값으로 수렴하였다. 전날(23일)의 경우에 따라 일출전 95%에 이르렀던 상대습도는 일출과 더불어 낮아져 최고기온을 보인 2시 30분경에 37.8%를 보였고 일몰 후 자정쯤에 90%로 다시 높아졌다. 흐렸던 둘째날 최고기온은 전날에 비해 0.5m 높이에서는 8.3°C 그리고 1.5m 높이에서는 4.7°C 낮은 30.3°C와 33.6°C를 보였고 이 최고기온은 일사량이 최고치를 보인 정오에 나타났다. 둘째날의 상대습도는 정오 무렵 60%로 낮아졌으나 오후 다시 높아져 자정 무렵 95%에 이르렀다.

그림 6과 그림 7은 이를 동안 잔디면 위 0.5m 높이 그리고 1.5m 높이의 측정점에서 측정된 기온과 1.5m에서 측정된 습도를 보여주고 있다. 쾌청한 첫째날, 20.6°C로 출발한 0.5m와 1.5m에서의 기온은 일출과 함께 하부(0.5m)의 기온이 높아지면서 오후 3시경에 0.5m높이의 최고기온이 43°C에 이르러 같은 시각 1.5m높이에서 측정된 최고기온 30.7°C보다 12.3°C 높게 나타났고 일몰 후에도 0.5m 지점의 기온이 다소(0.8°C차이) 높았다. 첫날 0.5m에서의 최저기온과 최고기온의 차이는 23.6°C이었다. 전날(23일)의 경우에 따라 일출 전 95%에 이르렀던 상대습도는 일출과 더불어 낮아져 최고기온을 보인 3시경에 43.5%를 보였고 일몰 후 자정에 95%로 다시 높아졌다. 흐렸던 둘째날 최고기온은 전날에 비해 0.5m높이에서는 9.8°C 그리고 1.5m 높이에서는 4.4°C 낮은 33.2°C, 26.3°C를 보였고 이 최고기온은 일사량이 최고치를 보인 정오에 나타났다. 둘째날의 상대습도는 정오 무렵 73.4%로 낮아졌으나 오후 다시 높아져 자정 무렵 97%에 이르렀다.

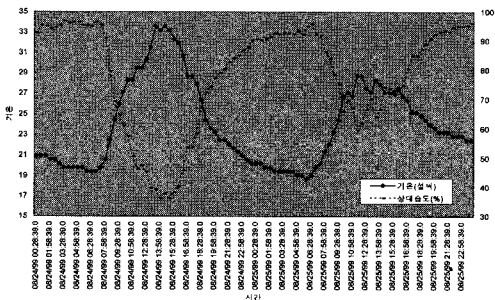


그림 4. 콘크리트면 위(1.5m) 기온

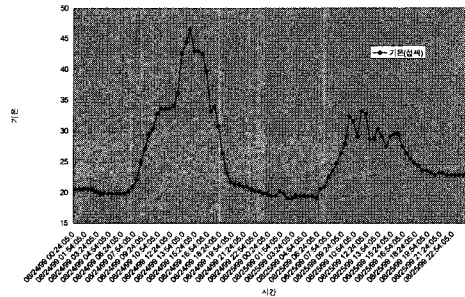


그림 6. 잔디면 위(0.5m) 기온

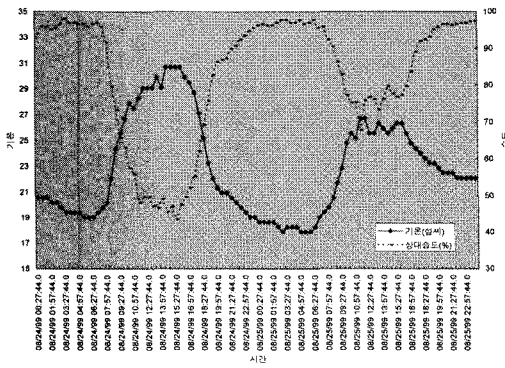


그림 7. 잔디면 위(1.5m) 기온 및 습도

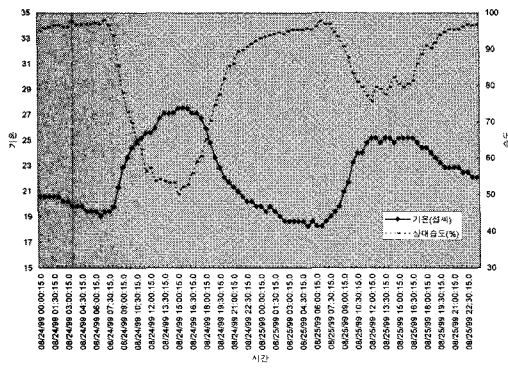


그림 8. 피콜라 밑(1.5m) 기온 및 습도

그림 9는 이틀 동안 숲 속 1.5m 높이의 측정 점에서 측정된 기온과 습도를 보여주고 있다. 쾌청한 첫째날, 19.8°C로 출발한 1.5m에서의 기온은 일출과 함께 기온이 높아지면서 오후 4시경 최고기온이 28.7°C로 나타났고 점차 낮아지다가 자정 무렵 18.3°C까지 내려갔다. 첫날 1.5m에서의 최저기온과 최고기온의 차이는 10.4°C이었다. 전날(23일)의 강우에 따라 일출 전 99.8%에 이르렀던 상대습도는 일출과 더불어 낮아져 최고기온을 보인 3시 30분 경에 57.3%를 보였고 일몰 후 자정에 99.5%로 다시 높아졌다. 흐렸던 둘째날 최고기온은 전날에 비해 1.5m 높이에서는 3.1°C 낮은 25.6°C를 보였고 이 최고기온은 일사량이 최고치를 보인 정오에 나타났다. 둘째날의 상대습도는 정오 무렵 81.2%로 낮아졌으나 오후 다시 높아져 자정 무렵 99.8%에 이르렀다.

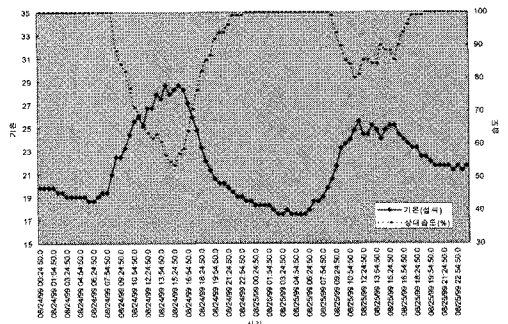


그림 9. 숲 속(1.5m) 기온 및 습도

3.1.2 읍지의 미기후 평가

그림 8은 이틀 동안 피콜라 밑 1.5m 높이의 측정 점에서 측정된 기온과 습도를 보여주고 있다. 쾌청한 첫째날 20.5°C로 출발한 1.5m 높이에서의 기온은 일출과 함께 높아지면서 오후 3시에서 4시까지 27.5°C의 최고기온을 나타내고 일몰 후 다시 낮아졌다. 첫날 1.5m에서의 최저기온과 최고기온의 차이는 7.7°C이었다. 전날(23일)의 강우에 따라 일출 전 95%에 이르렀던 상대습도는 일출과 더불어 낮아져 최고기온을 보인 3시경에 50.2%를 보였고 일몰 후 자정 무렵에 93%로 다시 높아졌다. 흐렸던 둘째날 최고기온은 전날에 비해 2.3°C 낮은 25.2°C를 보였고 이 최고기온은 일사량이 최고치를 보인 정오에 나타났다. 둘째날의 상대습도는 정오 무렵 77.6%로 낮아졌으나 오후 다시 높아져 자정 무렵 97%에 이르렀다.

3.1.3 포장면의 종류에 따른 미기후 특성

쾌청한 24일의 경우 다섯 측정 점에서의 최고기온은 콘크리트 포장면, 잔디면, 숲 그리고 피콜라 순이었다. 1.5m의 높이에서 측정된 낮 동안의 최고기온은 오후 3시 콘크리트 면에서의 34.5°C로 낮 동안 최저기온인 피콜라 밑의 기온 27.5°C보다 7°C가 높았다. 구름낀 둘째날의 최고기온도 같은 순서로 나타났으나 쾌청했던 첫날과는 다르게 숲이 피콜라보다 낮게 나타났다. 최저기온도 같은 순서로 나타났으나 이른 새벽에는 같은 값으로 수렴하였다. 각 측정 점에서 일중 최고기온과 최저기온의 차이도 동일한 순서로 나타났다. 쾌청한 첫날을 기준으로 일사량

과 비교하여 모든 측정점의 최고기온은 일사량이 최대인 시점과 3시간 정도의 시간지체효과가 있어 각 포장면에서 오후 3시와 4시 사이에서 최고기온을 보였고 일출이 시작되기 직전인 6시경에 최저기온을 보였다. 밤 동안 숲의 저온성어 눈에 떠나 일사가 시작되면서 기온이 수직상승하여 낮 동안은 퍼골라 밑의 기온이 오히려 낮았다. 파골라의 저온성은 상부의 덩굴식물이 손쉽게 일사에 노출되고 숲보다 바람의 移流가 증발 및 증산작용이 용이하게하여 기온 완화효과가 있는 것으로 판단된다. 일중 최저기온과 최고기온의 차이는 퍼골라가 가장 작았고 숲, 잔디, 콘크리트면의 순으로 컸다.

표 1. 쾌청일 일중 최저, 최고기온 특성

| | 콘크리트면 | 잔디면 | 퍼골라 밑 | 숲 속 |
|---------|-------|------|-------|------|
| 최고기온(℃) | 33.6 | 30.7 | 27.5 | 28.7 |
| 최저기온(℃) | 21 | 20.6 | 20.5 | 19.8 |

흐린날의 경우 1.5m의 높이에서 측정된 네 종류의 포장면에서의 기온은 콘크리트 포장면, 잔디면 퍼골라, 그리고 숲 순이었다. 그림 3의 일사량을 고려하면 일사가 기온을 좌우하는 가장 중요한 요소임을 알 수 있었다. 낮 동안의 최고기온과 최저기온의 편차(콘크리트면 기온과 숲 기온)는 쾌청한 날의 편차(7℃)보다 작은 3.6℃를 보였다.

4. 결론

캠퍼스내의 야외공간은 크기와 성격이 다양하고 입지적 특성에 따라 미기후가 다르게 나타날 수 있다. 이미 조성된 네 종류의 야외공간의 온열환경을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 사람이 쉽게 기온을 느낄 수 있는 1.5m의 높이에서 기온은 포장 유형에 따라 콘크리트, 잔디, 숲, 퍼골라 순으로 기온이 내려갔다. 직달 일사에 노출된 나지 환경에서 콘크리트면 위의 기온은 쾌청했던 첫날 낮

동안 4 시간 넘게 30℃를 넘는 고온성을 보였다.

2. 퍼골라와 숲은 비슷한 기온을 보였고 특히 퍼골라는 쾌청했던 첫날 경우도 낮동안 최고기온이 28℃를 초과하지 않는 등 쾌적한 환경으로 나타났다. 숲속은 일출전과 일몰 후 상대습도가 100%에 육박하였다.
3. 일사는 기온과 습도를 좌우하는 가장 중요한 인자였다. 청명한 날에 비해 흐린날 모든 측정점에서 기온이 최고 5.5℃(콘크리트면), 최저 2.3℃(퍼골라)떨어졌다. 또한 나지의 경우 콘크리트면에서 일사의 영향으로 포화상태에 가깝던(95%) 상대습도가 38%선까지 떨어졌으나 일몰 후 다시 포화점에 접근하였다.
4. 지표상태에 따라 기온차이가 나타나 1.5m 높이에서 기온이 가장 높았던 콘크리트면 위와 가장 낮았던 퍼골라 밑의 기온차이가 최고 7℃이었고 이 현상은 낮 동안만 지속되었다.
5. 퍼골라가 낮동안 인근 숲보다 저온성을 보이고 있고 이는 퍼골라 밑이 숲속보다 통기성이 좋기에 바람에 의한 대류성 증발 증산작용이 활성화되어 낮동안 저온성을 띠는 것으로 생각된다.
6. 측정점이 지면에 가까울수록 지표특성이 기온에 잘 반영되어 일사가 지속되는 동안 높은 고온성을 띠었다. 0.5m 높이에서 콘크리트면과 잔디면의 기온은 낮동안 3시간 이상 인체의 체온보다도 높았다. 따라서 이러한 환경에서는 그늘이 제공되지 않는 한 벤치 등 야외시설의 이용도가 낮을 것으로 생각된다.
7. 직달 일사에 노출된 두 종류의 나지의 경우 0.5m 지점의 기온이 1.5m 지점의 기온보다 높았으며 특히 잔디면의 기온차이가 콘크리트면의 기온차이보다 높았다.

참 고 문 헌

1. 대구기상대, 기상자료, 2000
2. 김성삼외, 한국의 기후, 일지사, 1976
3. 이현영 역, 도시기후학, 대광 문화사, 1989
3. 최기수 역, 조경학 개론, 명보 출판사, 1985
4. ASHRAE, Fundamentals HANDBOOK, Atlanta,

1995

5. Brown, R. D., Gillespie, T. J., *Microclimatic Landscape Design*, John Wiley & Sons, 1995
7. Ca, V.T., Asaeda, T., Reduction in Air Conditioning Energy caused by A Nearby Park, *Energy & Buildings* 29, 1998, pp83-92
8. Chung, T. M., Tong, W. C., Thermal Comfort Study of Young Chinese People in Hong Kong, *Building & Environment*, Vol.25, No.4, 1990, pp317-328
9. Cleugh H. A., Suburban-Rural Energy Balance Comparison in Summer for Vancouver, B. C., *Boundary Layer Met.*, Vol.36, 1986, pp351-369
10. Landsberg, H.E., *Urban Climate*, 1981
11. Nakamura Y., Wind, Temperature and Stability Conditions in an East-West Oriented Urban Canyon, *Atmospheric Env.*, Vol.22 No12, 1988, pp2691-2710
12. Oke T. R., The Energetic Basis of the Urban Heat Island, *Quart. J. Met. Soc.*, Vol.108, 1982, pp22-53
13. Robinette, R.M., *Landscaping Planning for Energy Conservation*, Environmental Design Press, 1977, pp45-55
14. Suh, E. C., The Behavior and Surface Temperatures of Various Pavements in Outdoor Spaces, *Proc. of 29th ANZAScA Conf.* 1995, pp38-42
15. Tan S. A., Influence of Pavements on the Thermal Environment of Outdoor Spaces, *Bldg. & Env.*, Vol.27 No3, 1992, pp289-295
16. Yoshino, M.M., Change of Air Temperature Distribution due to Urbanization in Tokyo and its surrounding region, *Sci. Report of Geosci., Univ.of Tsukuba, Sec.A*, Vol.2, 1981, pp45-60
17. <http://user.chollian.net/~ygh911/ds.html>