

도시의 열섬현상과 건물에너지 소비

이 태 원

머리말

도시지역은 '열섬(urban heat islands)'이라고 부르게에 충분하고 이는 건물에서의 에너지소비량에 직접적으로 영향을 미친다. 그렇다면 이 지역에서는 하절기의 냉방수요가 어느 정도 더 증가하고, 동절기의 난방에는 또 어떤 영향을 미치는가?

도시환경은 수많은 원인에 의해 미기후가 변화되는 데, 그 종합적인 결과가 열섬효과라고 불리는 것으로 나타난다. 도시의 기후는 다른 농촌지역보다 더 따뜻하고 바람도 덜 부는 것이 일반적이다. 그러나 도시의 기후변화는 매우 다양하고 해당지역의 지형, 풍속 및 도시지형 등 많은 인자들에 의해 발생된다.

열섬현상에 관한 대부분의 연구는 무더운 지역의 하절기 기후에 대해 수행되어 왔고, 따라서 온화한 기후지역에 대한 연구자료는 거의 없으며, 이를 극복하기 위해 영국 건축연구소(BRE, Building Research Establishment)과 Brunel 대학의 연구자들은 런던지역을 대상으로 하절기의 열섬현상에 대해 연구를 수행하여 왔다.

기온의 변화는 그것이 곧바로 건물의 에너지소비에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 건물의 사용자에게 있어서는 특히 중요하다. 심야의 냉방을 포함하여 하절기에 냉방을 위해 소비되는 에너지는 증가하는 반면, 동절기에 난방의 수행을 위한 에너지소비는 냉방에 비해 그 양은 적겠지만 감소하게 된다. 그러나 열섬현상에 따른 냉방수요의 증가가 난방수요의 감소에 의해 상쇄되는 정도는 여러 가지 인자에 따라 크게 달라진다.

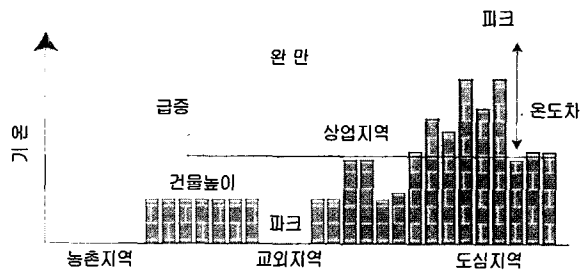
도시지역의 형태와 구조는 실제로 농촌지역과는 크게 다르며 이는 그 지역을 출입하는 열의 흐름방식도

바뀌게 한다. 도시지역에서는 일단 취득된 태양복사열이 쉽게 가워지고 이는 다시 도시활동에 의해 배출되는 열과 함께 저장되는 반면, 반사와 공기냉각을 통한 열확산방식은 농촌지역의 경우보다 효과적이지 못하다.

열섬효과

앞에서 기술한 도시와 농촌지역에 대한 열섬효과의 차이는 농촌지역으로부터 도시지역까지 거슬러 올라가면서 측정된 온도(기온)분포에 의해 확인할 수 있다. 그림 1은 바람이 가볍게 부는 맑은 날에 측정된 대도시 지역의 온도를 공간의 변화에 따라 도시한 것이다. 즉 맑고 바람이 잔잔한 날 저녁에 측정된 기온은 도시의 경계지역에서 급격히 상승한 후 교외지역에서는 완만한 상승을 보여주다가 도심지역에서 다시 약간 상승함으로써 최고치에 이르는 것을 볼 수 있다.

열섬현상에 따라 최고기온이 발생하는 위치는 일정하지는 않으나 보통은 도심지역인 경우가 많다. 그러나 이는 날마다 같지는 않으며 바람이 부는 날에는 바람의 하류방향으로 이동된다. 또한 일부 도시에서는 지리적 중심에서의 열섬현상 강도가 오히려 감소하는



[그림 1] 대규모 도시에서 공간의 변화에 따른 온도차

이 태 원 한국건설기술연구원 (twlee@kict.re.kr)

경우도 있는데, 이는 호수나 공원과 같이 기온을 낮춰주는 인자에 의한 경우가 많다.

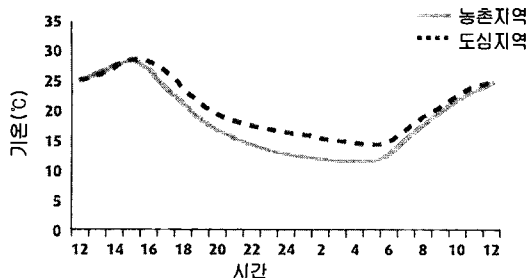
도시와 농촌지역의 기온차이는 하루 중에서도 시간에 따라 큰 차이를 보여준다. 그림 2는 앞에서와 같은 이상적인 조건하에서 주간 도시와 농촌지역의 기온차이를 도시한 것으로, 일반적으로 일출 전에는 농촌지역보다 도시지역의 기온이 더 높음을 볼 수 있는데, 이는 야간에 도시지역의 냉각율이 상대적으로 낮기 때문이다. 이와 같은 현상은 도시의 건물군이 그 지역의 열용량을 증대시킬 뿐만 아니라 복사냉각효율도 떨어뜨리는데 일차적인 원인이 있다.

한편 일출 후에는 태양에너지가 농촌지역에서는 이슬을 증발시키는 반면 도시지역에서는 구조물을 즉시 가열시키기 시작한다. 이슬이 모두 증발되고 나면 농촌지역의 표면은 상대적으로 적은 열용량으로 인해 도시지역보다 더 빠른 속도로 가열되기 시작한다.

시간이 증가함에 따라 두 지역의 기온은 점점 더 가까워져서 하절기의 경우 인간의 도시활동에 따른 열 발생이 시작되면서 교차하게 된다. 일몰시 또는 그 이전에 농촌지역의 표면은 급격히 냉각되는데 그때의 냉각율은 이슬이 생성됨에 따라 잠열이 방출되면서 감소하는 반면, 도시지역은 상대적으로 천천히 냉각되는 경향을 보임으로써 도시와 농촌지역의 기온차이는 증가하기 시작한다.

열섬효과의 강도가 최대가 되는 시점은 일정하지는 않으나 일반적으로는 일몰 후 수시간 후에 발생한다.

그러나 이러한 시나리오는 일반적인 것이 아니며, 도시의 기온에 영향을 미치는 다양한 인자들로 인해 각각의 도시는 그들만의 유일한 특성을 지니게 된다.



[그림 2] 도시와농촌지역에서 시간에 따른 기온차이

또 풍속이 5 m/s 이상이 되면 도시지역의 기온은 보다 균일해져서 열섬현상은 인식할 수 없게 된다.

도시기후에 대한 세밀한 조사가 1960년대에 런던에서 수행되었으며, 런던의 경우 하절기 주간에는 보통 주위의 농촌지역보다 4℃까지 기온이 상승한다는 것을 규명한 바 있다.

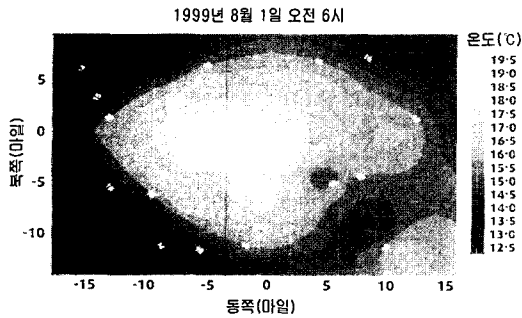
본 연구는 런던의 기온, 도시의 열섬현상과 공간변화 및 공기조화에 미치는 영향을 규명하고자 하는 것이며, 그 일환으로 런던지역의 열섬현상을 파악하기 위한 실험장치를 설치하였다. 런던의 중심인 Bloomsbury를 관통하는 8개의 횡단면에 따라 약 70 곳에 측정장소를 설정하고, 매시간의 기온을 동시에 측정, 기록하였다. 1999년 여름에 측정을 시작하여 2000년 여름까지 계속하여 자료를 수집하였다.

실험결과

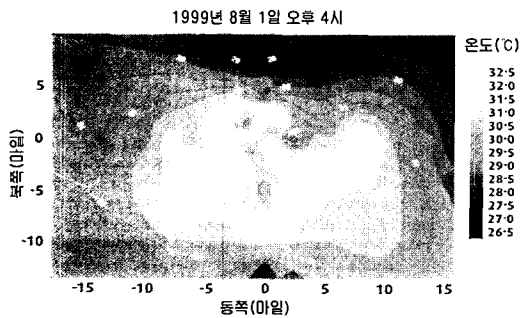
초기의 결과는 런던의 열섬현상의 강도가 시간과 공간에 따라 크게 변화하는 것을 보여주었다. 즉 중심지역의 기온이 런던의 서부 농촌지역보다 경우에 따라 7℃ 정도 높기도 하고 낮기도 하였다. 그러나 대표적인 값들은 이보다 변화가 적어서 1999년 5월 31일부터 8월 31일 사이의 런던의 하루 평균기온은 기준이 되는 농촌지역보다 1.8℃ 정도 높았다.

런던은 야간에는 도심의 기온이 농촌지역보다 더 높은 반면 주간에는 더 낮은 전형적인 열섬현상 지역임을 보여주고 있다.

하절기(8월 1일)의 아침(6시)과 오후(16시)에 런던지역 기온분포의 예를 그림 3과 4에 각각 도시하였다. 여기서 등온선의 간격은 0.5℃이고 온도분포대의 색은 두 그림에서 서로 다르다. 실험을 수행한 날 북서쪽에서 측정한 풍속은 0~2 m/s로 낮았다. 이른 아침 6시경에 가장 온도가 높은 런던 중심지역과 농촌지역 사이에 5~6℃의 기온차가 있음을 볼 수 있다. 같은 날 오후 4시경 농촌지역은 도시지역보다 더 빠르게 가열됨으로써 지역의 온도분포는 보다 균일해짐을 보여주고 있다. 그럼에도 불구하고 지역에 따라 특히 북쪽 지역에서 3~5℃의 기온차를 볼 수 있다.



[그림 3] 런던 지역의 이른 아침 온도 분포



[그림 4] 런던 지역의 늦은 오후 온도 분포

냉방부하에 미치는 영향

하절기에 도심의 열섬현상은 공기조화를 수행하는 건물이나 그렇지 않은 건물 모두에 다음과 같은 영향을 미치게 된다.

- 외기온도의 상승에 따른 냉방용 에너지소비의 증가
- 야간 자연냉각능력의 감소
- 유난히 더운 기간에 냉방수요의 폭등과 최대전력수요의 증가
- 큰 실내 외 온도차 하에서의 운전에 따른 냉방기의 효율저하
- 기온 및 풍속의 분포 등 도시환경의 변화 및 그에 따른 수동형 냉방설계의 효과 저하

영향의 감소방안

도시의 열섬현상의 강도를 완화시키는 방법으로 일반적으로 알려진 2가지가 있다. 그 하나는 도시구조물의 반사율을 높이는 것이고 또 다른 하나는 나무와 같은 식물의 양을 증가시키는 것이다. 이들 2가지 방법은 각각 태양복사의 흡수를 줄이고 증발에 의한 냉각을 증가시켜 준다. 도시지역의 흡수율은 농촌지역의 경우보다 더 크다. 표면들은 보다 더 흑체에 가깝고 또 도심 건물사이의 협곡으로 인해 입사된 후 반사되는 복사에너지량을 흡수할 기회도 더 많다. 따라서 태양복사에 대한 도시지역의 반사율은 지붕재료를 보다 밝은 색상으로 구성함으로써 증가하게 된다.

한 모델연구결과는 미국 로스앤젤레스시 도시지역의 반사율을 0.13에서 0.26으로 증가시키는 경우 도심지역의 하절기 낮기온은 2~4°C 정도 낮아질 것이며 또 이에 따라 최대전력소비 또한 0.6~1.2 GW 정도 낮아질 것으로 예측하고 있다.

나무는 직달일사로부터 그늘을 제공함으로써 보행자의 쾌적감을 향상시키고 지표면에 흡수되는 복사량도 감소시켜 주고, 모든 식물의 증발산은 직접 공기를 냉각시킨다. 동경에서 수행된 실측 및 이론연구에 의하면 공원으로 부터 상업지역으로 이송되는 시원한 공기에 의해 13시부터 14시 사이의 냉방에너지를 거의 15% 정도까지 줄일 수 있음이 밝혀졌다.

유럽의 도시들을 대상으로 하여 열섬현상이 에너지 소비에 미치는 영향과 해결방법들이 최근의 문헌들에서 다루어지고 있고, 또 현재 연구가 계속 진행되고 있으며 여기서는 다양한 시나리오를 검토하기 위해 여러 곳에 위치하고 있는 대표적인 건물에 대한 열 유동해석이 시도되고 있다. 이러한 현장측정과 전산해석결과를 이용하여 열섬현상에 대해 냉방용 에너지수에 미치는 영향을 줄이는 방법을 제시하는 지침서가 제작될 예정이다. ☉