

열섬(Heat Island)현상과 농공학회에의 기대



박 종 화
충북대학교 지역건설공학과

1. 머리말

최근 들어 매스미디어에서 열섬효과와 열대야에 대한 화제가 자주 대두되고 있다. 한여름 대도시나 중소도시를 걸을 때 「이 더위를 어떻게 할 수 없을까?」 하는 생각을 많이 할 것이다. 실제로 서울의 연평균기온은 과거 40년간 약 2℃ 상승하였으며, 7~8월의 평균기온은 과거 30년간 약 1~1.8℃ 상승하였다(기상청). 한편 지구온난화에 따른 기온은 과거 100년간 세계적으로 평균 약 0.6℃ 상승 하였으며, 앞으로 100년 동안은 1.4~5.8℃ 범위에서 높아질 것으로 예측되고 있다. 특히 올 여름과 같이 「열섬화」 한 우리나라의 대도시는 벌써 앞으로 100년 지구온난화에 필적하는 기온상승을 경험한 것과 같다.

열섬현상과 열대야 문제에 대한 국내의 동향은 최근 들어 급진전을 보이고 있으며 관련 기술의 개발과 적용을 위한 준비가 체계적으로 마련되어 가고 있다. 이러한 시점에서 우리 농공분야에 있어서도 이와 관련된 기술의 개발과 적용을 위한 준비가 필요한 시점에 와 있다. 이에 열섬현상에 대하여 알아보고 다양한 규모로 발생하는 열섬현상에 대해 어떻게 대처하는 것이 좋을 것인지에 대하여 검토하였다.

2. 열섬(Heat Island)현상이란?

도시의 경우 고밀도의 에너지가 소비되고 도시의 지면 대부분은 콘크리트나 아스팔트 등의 건조한 물질로 덮여있기 때문에 수분 증발에 의한 온도저하가 없고 낮에 축적된 일사열을 야간에 방출하기 때문에 야간 기온이 내려가지 않는 상태가 된다. 그 결

과 도시의 기온은 주위의 교외보다 높고 등온선을 그리면 도시를 중심으로 섬과 같은 동심원 분포를 나타내는 것으로부터 열섬(Heat Island)현상이라 부르고 있다(그림 1). 도시지역에서 기온이 상승하는 모습을 등온선으로 나타내면 모습이 해양중의 섬을 등고선으로 표현한 것과 같다는 것에서 유래한다.

온도가 가장 높은 지역은 도심부의 인구가 집중되어 있는 변화가에서 나타난다. 단 고층빌딩가는 낮 동안에 태양고도가 낮으면 지상은 빌딩의 그늘이 저 기온이 올라가지 않아 주변보다 저온이 되어 냉섬(Cool Island)을 만드는 경우도 있다.

열섬이 가장 두드러지게 나타나는 것은 바람이 적고 맑은 밤이다. 낮 동안은 도시와 시외의 기온차가 적어 최고기온의 분포에서는 열섬이 거의 보이지 않는 경우가 있다. 바람이 약한 때는 도시의 기온과 건축밀도(예를 들면 건평율) 사이에 밀접한 관계가 있어 건물이 밀집되어 있을수록 기온이 높다.

도시안의 기온분포는 바람의 영향을 강하게 받는다. 바람이 없을 때는 가장 높은 온도를 나타내나 바람이 있으면 고온대는 전체적으로 바람 아래쪽으로 미끄러지는 형태가 된다. 미끄러진 거리는 풍속이 강할수록 크고 한계풍속을 넘으면 열섬은 깨져서 도시 안팎의 기온차는 없어진다.

열대야는 더위를 나타내는 지표로 사용되는 것으로 일 최저기온이 25℃ 이상이면서 최고기온이 30℃ 이상인 무더운 여름밤에 나타나는 현상을 말한다. 즉, 그림 1과 같이 한낮에 뜨겁게 달아오른 지표의 열기는 해가 지면서 급격히 냉각이 되어 지표면의 대기가 식어야 하나 주변 상공 대기의 온도가 지표면 대기온도보다 더 높아 위로 상승하지 못하고 지표면을 달구었던 열기와 함

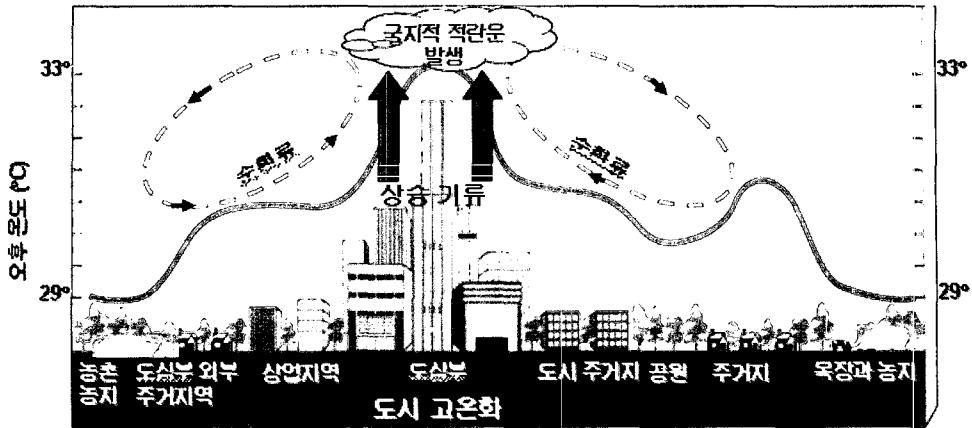


그림 1 열섬현상과 국지적 집중호우 발생 개념도

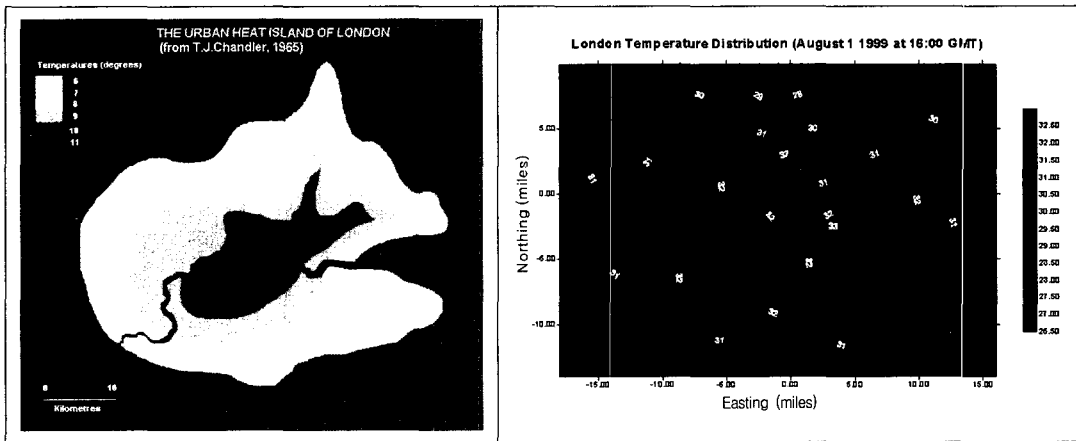


그림 2 영국 런던의 기온분포도(열섬을 형성)

계 정체되면서 밤에도 25°C 이상의 고온현상이 지속되는 일종의 밤의 대기역전(정체)현상을 말한다. 일반적으로 기상대에 따르면 열대야 발생일수는 서울이 약 9일, 광주 17일, 대구 18일 정도로 나타난다고 한다.

3. 열섬과 지구온난화

지구온난화현상은 이산화탄소 등 온실효과 가스가 증가하여 지구 전체적으로 열이 방출되지 않아 장기적으로 지구 전체의 기온이 높아지게 되는 현상이다. 이에 반해 열섬현상은 에너지 소비 증가만이 아니라 지표면의 건조화와 건물의 밀집 등의 원인에 의해 국소적 또는 단기적인 현상이다.

주요 도시의 최근 10년간 기온변화를 보면 온도상승 경향에 있으며 1년 동안의 기온상승율은 0.01~0.04°C를 보이고 있다. 지구온난화는 최근 100년에 약 0.5°C진행되고 있는 것으로 보고되고 있어 이것을 상회하는 속도이다.

4. 도시화 단계와 열섬

열섬현상이 처음으로 관측된 것은 19세기에 런던에서부터이다. 1807~1816년의 데이터로부터 도시지역의 온도가 주변의 농촌지역과 비교하여 고온이 되는 것으로 나타났다. 산업혁명 시기에 안개의 도시 런던에서 처음으로 발견되었다는 점이 흥미롭다(그림 2). 그 후 세계의 많은 도시에서 열섬현상이 관측되고 우리나라의 도시에서도 90년대 이후 열대야와 함께 자주 발생하는 현상이 되고 있다.

열섬의 형태는 도시화의 진행에 따라 표 1과 같이 변화하는 특징을 보인다.

5. 열섬의 원인

열섬의 형성은 결국 열수지와 물수지의 변화에 기인하나 실제로는 다음과 같은 여러 요인이 복잡하게 작용하여 나타나는 것으로 보고되고 있다.

표 1 도시화의 단계와 열섬의 출현

도시화 단계	인간활동에 따른 열유입	자연계의 개변			도시온도의 출현	열섬타입
		대 기	지 표 면	대 지		
0	유입 없음	변화 없음	변화 없음	변화 없음	없음	없음
I	겨울밤에 대기로 유입	약간 변화	변화	거의 변화 없음	겨울 밤(대기)	일차적
II	사계절을 통하여 대기로 유입 (특히 겨울에 큼)	변화 큼	인공적 개변 큼	지하수위 저하	겨울과 여름 밤(대기), 여름철(대지)	저열형
III	사계절을 통하여 대기로 유입 큼	변화 큼	인공적 개변 큼	지하수위 저하가 큼	사계절을 통하여 밤과 낮(대기), 여름철(대지)	열오염형(대기), 비열오염형(대지)
IV	사계절을 통하여 대기와 대지로 유입 큼	변화 큼, 인공 공간 확대	인공적 개변 큼	지하수위 저하가 큼, 인공공간 지하로의 확대가 큼	사계절을 통하여 밤과 낮 (대기, 대지)	열오염형

- 1) 도시지역의 에너지 소비에 따른 연소열(예 : 냉방용품 등 건조설비)
- 2) 미세먼지와 다른 대기오염물질에 의한 온실효과
- 3) 도시 구조물에 의한 마찰계수 증가에 따른 상공 대기의 열 교환 감소
- 4) 도시 구성물질의 열용량 크기가 가져오는 축열효과(건물, 도로, 공원, 산림, 하천 등)
- 5) 불투수면 증가에 따른 증발산량의 감소
- 6) 고층빌딩의 건설에 따른 천공비나 대기오염에 의한 방사수지의 변화

6. 열섬과 도시 규모

열섬과 도시 규모의 관계를 아는 것은 앞으로 도시 대기환경을 유지하는데 중요하다. 그러나 적절한 도시 규모를 결정하는 것은 자연적, 사회적, 인문적요소로 볼 때 곤란하다. 도시의 규모는 도시의 구조와 기능 등 여러 가지 요소에 의해 좌우되는 것으로 공업도시와 상업도시에서는 도시 활동의 내용이 다르기 때문이다. 그러나 일반적으로 도시 규모를 인구수로 나타내는 경우가 많은데 그 이유는 인구수에 따라 인간 활동에 필요한 수평적 수직적 공간이 확보되어야 하기 때문으로 도시 에너지 배출량이 인구에 비례하는 것으로 생각하기 때문이다.

그림 3과 같이 Oke(1982)는 북미와 EU의 도시에 대하여 최대 열섬강도와 인구의 대수분포 관계를 도시한 결과 1차식으로 표현됨을 밝혔다. 여기서 회귀식의 기울기가 북미와 EU가 서로 달리 나타난다는 점이다. 즉 도시를 형성하고 있는 문화와 풍토

표 2 열섬의 원인

<p>온도상승 열적 이상치를 일으키는 열수지항의 변화</p> <p>가. Canopy층</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 단파장 방사의 흡수 증가 ② 천공으로부터 장파장 방사의 증가 ③ 장파장 방사 손실의 감소 ④ 인공 열원 ⑤ 전열 Flux의 증가 ⑥ 증발산의 감소 ⑦ 전 난류 열수송량의 감소 <p>나. 도시 경계층</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 인공 열원 ② 아래층으로부터의 현열류의 증대 ③ 현열류의 증대: 상층으로부터 유입 ④ 단파장 방사의 흡수 증대 	<p>열수지 변화의 원인이 되는 도시화의 특징</p> <ul style="list-style-type: none"> 도시 건물사이의 공간 기하 <ul style="list-style-type: none"> - 표면적과 묵함 반사의 증대 대기오염 - 많은 흡수와 재반사 도시 건물 사이의 공간 기하 <ul style="list-style-type: none"> - 천공율의 감소 건물과 자동차 등으로부터의 열 배출 건축과 도로 물질 - 열용량의 증대 건축과 도로 물질 - 불투수성의 증대 도시 건물 사이의 공간 기하 - 풍속의 감소 <p>공육 등으로부터의 배출</p> <p>Canopy 열섬 - Canopy층 및 옥상으로 부터의 열 Flux의 증대</p> <p>열섬 조도 - 난류에 의한 유입 증대</p> <p>대기오염 - 에어졸의 흡수 증대</p>
---	---

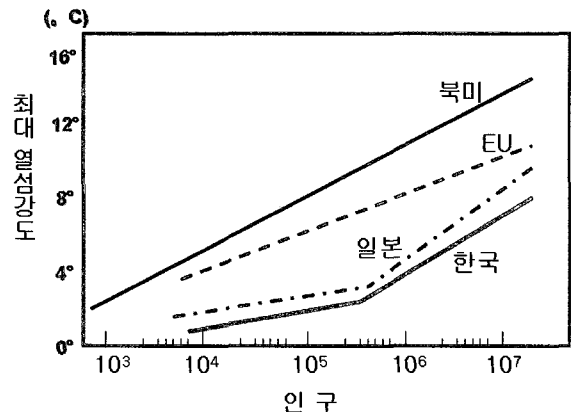


그림 3 최대 열섬강도와 인구와의 관계

에 따라 열섬도 다르게 나타난다는 것이다. 우리나라와 일본의 경우는 인구 30만명 규모의 도시를 경계로 회귀 직선이 달라지는 경향을 보이는 것이 특징이다(吉野,1998).

7. 바람에 의한 열섬의 이동과 확산

도시에 형성되는 열섬의 강도와 출현지역은 일반 바람의 풍속 U 와 주변의 지리적 조건의 영향을 받아 변화한다. 도시 열섬이 생기기 위한 바람의 최대풍속 U_c (한계풍속이라 함, $U > U_c$ 일 때 열섬은 발생하지 않음)에 대하여 다음 표와 같이 바람강도와 도시 규모의 관계가 있음을 알 수 있다.

또한 바다 바람 등의 국지풍이 많은 지역은 열섬의 출현이 시간에 따라 다르게 나타난다. 이와 같이 열섬을 이동하고 확산하기 위해 <바람 길>을 이용하는 것은 큰 효과가 있는 것으로 생각된다.

표 3 열섬이 발생하는 한계 풍속 (有田, 2000)

도시(나라)	인구(관측년)	바람의 한계 풍속 U_c [m/s]
런던(영국)	8,500,000(1956~61)	12
몬트리올(캐나다)	2,000,000(1967~68)	11
브레멘(독일)	400,000 (1933)	8
해밀턴(캐나다)	300,000(1965~66)	6~8
리딩(영국)	120,000(1951~52)	4~7
구마다니(일본)	50,000(1956~57)	5
파로알토(미국)	33,000(1951~52)	3~5

8. 열섬현상의 문제점

고온이기 때문에 야외활동에 지장이 생기고 일반 가정의 경우 야간에 냉방이 필요한 지역에서는 냉동기의 장시간 운전에 의해 더 많은 폐열량 증가를 불러오고 이는 다시 기온상승을 촉진시킨다. 기온상승은 상대습도 저하를 불러오며 이는 토양으로부터의 수분증발량이 증대하므로 식물에 있어서는 과욕한 건조상태가 되어 적절하게 물을 공급해주어야만 한다.

2004년 7월 전력소비량은 51,264MW로 전년 동기 대비 8.4%증가를 보였다. 여름철에 기온이 1℃ 상승할 경우 전력수요는 전국적으로 약 100만kW(원자력발전소의 경우 년/7,757 백만kwh정도의 발전용량에 상당) 정도 증가하며, 수도권은 전국 전력수요의 약 40%를 차지하므로 수도권의 전력수요는 약 40만kW 증가한다. 이것은 우리나라 원자력 발전소의 1기당 설비용량이 70만kW 이하인 것이 6대, 95만kW 6대, 100만kW

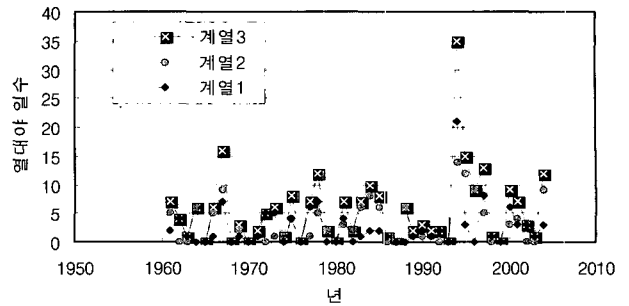


그림 4 서울의 열대야 일수 (계열1:7월, 계열2:8월, 계열3:계)

7대가 있으므로 이 전력량은 원자력 발전소 1기분의 발전용량에 상당한다. 산업자원부의 시산에 의하면 7~9월중 기온이 1℃ 낮아질 경우 냉방용 전력요금이 우리나라 전체에서 연간 어느 정도 절감되는지는 명확하게 계산할 수는 없으나 계략적으로 「전력수요 감소량(100만kW)×8시간×90일×전기요금 단가(75원)=540억원」 절감하는 경제효과를 가져오는 것으로 추정된다(산업자원부). 로렌스 버클리 국립연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL)는 미국 주요도시에서 열섬완화책을 강구하는 경우 전력 절약에 의한 경제효과를 약5000억원으로 추정하고 있다.

열대야 일수의 증가도 두드러지고 있다. 서울의 열대야 일수(그림 4)는 최근 10년 동안 출현빈도가 급격하게 증가하는 경향에 있으며 2004년의 경우 12일을 기록하고 있다. 최근 10년 동안의 열대야 발생일수는 92일을 기록하여 그 이전의 발생일수의 2~4배를 나타내고 있어 이에 대한 각 분야의 대책마련이 요구되고 있다.

겨울동안에는 열섬화가 진행되면 이것과 또 다른 문제가 발생한다. 도시 상공에 역전층이 형성되어 뚜껑을 덮어놓은 듯한 상태가 되어 대기오염이 심각해지는 문제를 안게 된다. 이와 같이 열섬현상은 도시의 에너지절약문제와 쾌적성, 건강면에서 심각한 영향을 미치고 있다.

9. 열섬의 억제방법

에너지 절약의 추진은 에너지 자원의 절약만이 아니라 지구온난화의 방지와 동시에 열섬방지도 효과가 있을 것이다. 또한 녹지와 수면의 보전과 정비를 통해 쾌적한 농촌과 도시 만들기를 추진하여 열섬현상을 완화하는 방법을 찾아야 될 것이다.

도시중의 소규모 녹지 또는 논 등은 열섬현상을 완화하는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 수목과 작물의 증산기능에 더하여 직사광선을 피하고 막아주는 나무와 작물의 그늘, 나무와 작물사이를 통과하는 바람, 습한 토양이 녹지주변의 기온을 낮추는

표 4 열섬 억제방법의 레

방 법	효 과
• 도시로부터의 폐열량 억제	주택과 건물의 단열 기밀화, 도료의 개량에 의한 냉방부하 삭감이 효과적
• 지표면의 녹지면적의 확대	나무나 식물의 수분증발작용 및 그늘제공은 주위의 온도를 낮춰주어 여름철 도시의 고온화를 억제. 도시에 바람길을 만들어 시가지에 시원한 바람이 공급될 수 있도록 함으로써 공조부하를 줄일 수 있음.
• 보수성 도로나 블록의 이용	다공질 보수성 세라믹 블록 포장 등에 의해 보수의 수분증발에 의해 대기냉각효과를 기대
• 건물 옥상의 온도상승 억제	건물의 옥상녹화, 태양전지 패널 설치 등으로 옥상 온도상승을 억제하여 대기의 가열과 실내로의 열 유입을 억제

것으로 생각된다.

또한 건물 등의 옥상에 정원이나 식물재배를 통하여 콘크리트에서 흡수하여 방출하는 열에너지를 최소화할 수 있는 방법, 농촌관광사업을 추진하는 과정에서 저수지나 농업용 도로 등에 보수성 도로나 주차장을 마련하는 방법 등 앞으로 적용해 갈 방법에 대한 연구가 우리 농공인들에게 요구되고 있다.

10. 맺음말

서울을 비롯한 대도시는 도시개발에 따라 산과 나무와 하천이 급격하게 감소해 가고 있다. 이로 인해 에너지 소비가 급격히 늘어나면서 열섬현상과 열대야가 늘어가는 추세에 있다. 도시화에 따른 문제를 최소화하기 위해서는 도시의 녹음을 늘리고 수변을 풍부하게 하는 방법, 도시주변의 농경지와 숲을 효율적으로 활용하는 방법 등이 열섬을 방지하는 방법일 뿐 아니라 도시와 농촌

의 자연환경을 복원하는데도 기여할 것으로 생각된다. 자연과 사람과의 접촉이 적어지고 성장과정에서 인격을 도야할 수 있는 중요한 기회를 잃어가고 있는 현실에서 우리는 농정정책에서 제시하고 있는 농촌관광 등의 성과를 거두기 위해서는 열섬과 열대야 문제에 대해 어느 정도의 해법을 제시할 수 있는 방법마련과 기술개발이 필요할 것이다.

도시에는 녹음을 늘리는 방법마련을 중심으로 수변을 풍부하게 하고 빗물이 침투할 수 있는 방법을 모색하고 바람이 원활하게 소통하는 도시와 농촌계획과 길을 만드는 도시와 농촌의 환경디자인과 함께, 농촌의 풍부한 자원을 지키고 활용하는 방법 제시로 우리의 환경을 지키고 가꾸어 가야 할 것이다. 이것이 도시와 농촌 만들기의 키워드라고 생각한다.

참 고 문 헌

1. 기상청 홈페이지, <http://www.kma.go.kr/weather/index.jsp>
2. 산업자원부 홈페이지, <http://www.mocie.go.kr/>
3. 吉野正敏編, 都市環境學事典, 朝倉書店, 1998.
4. 有田正光編, 大氣圈の環境, 東京電氣大學出版局, 2000.
5. R.L. Knowles, Energy and Form: An Ecological Approach to Urban Growth, The MIT Press, USA, 1977.
6. Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL), Heat Island Group, <http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/>
7. T.R. Oke, The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society108, pp. 1 - 24, 1982.
8. H. Taha, Urban climate and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat, Energy and Building 25, 1997.
9. U. Wienert, W. Kuttler, Statistical analysis of the dependence of urban heat island intensity on latitude, in: Fourth Symposium on Urban Environment, 2001