

# 지구온난화와 열섬현상

## Global Warming and Heat Island Effect

박종화

(jhpak7@cbnu.ac.kr)

충북대학교 지역건설공학과 교수

### ■ 지구온난화

지구 표면의 대기나 해양의 평균 온도는 “지구의 평균기온” 또는 “지상 평균기온”이라고 하며, 지구 전체의 기후변화를 나타내는 명확한 지표로 이용되고 있다. 기온의 통계는 19세기부터 시작된 과학 기온의 관측을 바탕으로 잡히기 시작하였다. 관측 이래 지구의 평균기온은 변동하면서도 상승 경향을 보이고 있으며, 1906년부터 2005년까지 100년간 0.74°C (오차:  $\pm 0.18^\circ\text{C}$ ) 상승하였다<sup>6),7)</sup>. 20세기 후반의 기온 상승 속도는 가속 경향이 관측되고 있다<sup>7)</sup>. 이와 같이 지구온난화는 지구 표면의 대기나 해양의 평균 온도가 장기적으로 상승하는 현상을 말한다.

지구온난화는 자연적인 요인과 인위적인 요인으로 구분할 수 있다. 20세기 후반의 온난화는 인간의 산업 활동 등에 따라 배출되는 인위적인 온실가스 주원인이 되어 발생한다는 설이 유력하다. 2007년 2월 유엔 기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental

Panel on Climate Change; 이후 IPCC)이 발행한 제4차 평가보고서(AR4)에 의해 엄청난 양의 학술(과학)적인 연구결과가 집약되어 보고되었다<sup>7)</sup>. 그 결과 “인위적 온실가스가 온난화의 원인이 되는 확률은 90%를 넘는다.”고 보고 하였다. 이러한 보고가 현재 세계 운동의 기초가 되고 있다.

AR4에서 제시한 결과에 따르면 2100년 평균기온은 1.8~4°C (최대 추정 6.4°C) 상승하고, 해수면은 평균 38.5cm (최대 59cm) 상승할 것으로 보고하고 있다<sup>7)</sup>. 지구온난화의 영향 요인은 “인위적인 온실가스의 방출, 특히 이산화탄소와 메탄의 영향이 크다”라고 보고 한 바 있다. 인위적인 토지이용에 의한 반사율 저하, 배기가스 등의 에어로졸과 연기 같은 온실 효과 가스 이외의 원인도 있다. 반면에 태양복사의 변화 기여량은 인위적인 요인의 수% 정도에 지나지 않고, 자연 요인만으로는 현재의 기온 상승을 설명할 수없는 것으로 지적되고 있다.

지구온난화는 기온과 수온을 변화시켜 해수면 상승,

강수량(또는 강설량)의 변화와 그 패턴 변화를 일으키는 것으로 생각되고 있다. 홍수와 가뭄, 혹서와 태풍 등의 심각한 기상 이변을 증가시킬 수 있고 생물종의 대규모 멸종을 일으킬 가능성도 지적되고 있다. 이와 같이 지구온난화는 지구 전체의 기후와 생태계에 큰 영향을 미칠 것으로 예측되고 있다. 그러나 개별 특정 현상을 온난화와 직접 연결하는 것은 매우 어렵다. 지구온난화에 따른 자연 환경의 변화는 인간 사회에도 큰 영향을 미치고 있다. 담수자원의 고갈, 농업과 어업 등에 대한 영향이 식량문제의 심화나 생물상의 변화를 가져올 수 있다는 우려가 커지고 있다. 2~3°C 이상 평균기온의 상승하면 모든 지역에서 서식환경 변화에 따른 이익 감소나 비용 증가 가능성이 매우 높은 것으로 예측되고 있다(AR4). 지구온난화를 방지하면 금세기 말에 5~6°C의 온난화가 발생하여 “세계 GDP의 약 20%에 해당하는 손실 위험이 있다”고 스텐보고는 제시하고 있다<sup>7)</sup>.

이와 같이 지구온난화는 대기와 해양의 평균온도 상승뿐만 아니라 생물내 생태계의 변화와 해수면 상승에 따른 해안선 침식 등 기온상승에 따른 이차적인 문제를 발생시킬 수 있다.

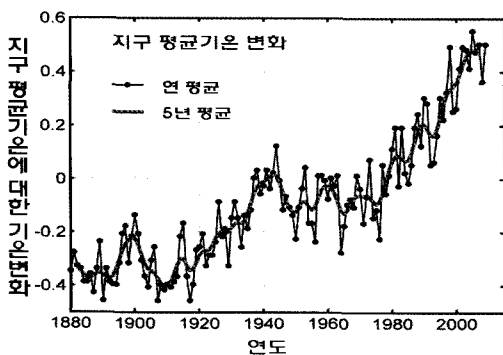
현재는 지구온난화가 미래의 인류와 환경에 미칠

수 있는 악영향을 고려하여 다양한 대책이 마련되어 실행되기 시작하였다. 이러한 지구규모의 문제와 밀접한 관련을 가지고 있는 현상중 하나로 열섬 현상이 있다.

### ■ 열섬현상이란?

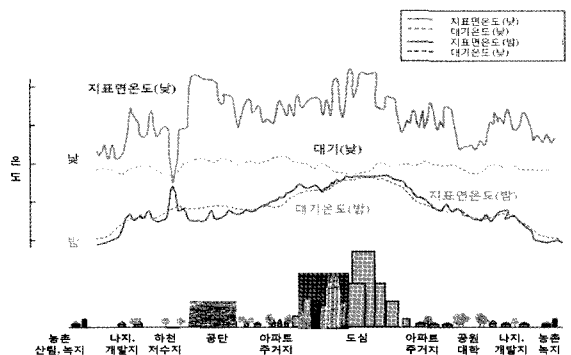
“열섬(Heat Island)”이라는 단어는 Urban Heat Island(UHI)에서 왔으며, 이것은 등온선을 그리면 도시의 기온이 주변의 교외 지역에 비해 섬처럼 고온을 나타낸다고 하여 열섬현상이라 부르고 있다(그림 2)<sup>3),12)</sup>. “도시의 기온이 교외에 비해 상승하고 있다”는 것이 처음으로 발견된 것은 1850년대 런던에서이다. 영국의 기상연구가인 류크 하워드(Luke Howard)는 런던이 산업혁명으로 도시가 발달하면서 런던의 기온이 주변 지역보다 높아지고 있다는 것을 발견하였다<sup>8)</sup>. 이후 유럽을 비롯한 미국, 일본을 중심으로 세계 대도시의 기온상승이 관찰되면서 “Urban Heat Island (UHI)”라고 불리게 되었으며, 우리나라에서도 1980년대에 열섬이라는 말이 사용되기 시작하였다<sup>3)</sup>.

이러한 도심의 비정상적인 온도상승의 주요 원인은



자료) <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

그림 1. 지구표층 평균기온 자료중 1961~1990년의 평균기온에 대한 기온변화



참조) EPA Heat Island Effect: Basic Information  
<http://www.epa.gov/hiri/about/index.htm#1>

그림 2. 열섬현상과 온도분포 변화 관계



그림 3. 청주지역의 지표면온도 분포<sup>13)</sup>

여러 요인이 있으나 도시화에 따른 환경 변화를 들 수 있다<sup>9)</sup>. 원래 흙이나 식물로 덮여 있던 지역이 주택지와 상업지구, 공업지대로 변화하면서 포장이 되고 건물이 지어졌고 생활과 생산에 사용된 열이 많이 방출되게 되고 구조물이 열의 소통을 방해하면서 열이 도심에 축적된다. 도시에서는 지역에 따라 공업단지 등을 중심으로 수~수십km 이상 광범위하게 고온지역이 나타나고 결과적으로 주변지역의 기후변화를 가져오고 있다<sup>9)</sup>. 또한 열섬현상으로 형성된 고온은 자연 환경에 영향을 주게 되고 이는 주민 생활과 건강에도 영향을 미치기 때문에 최근 문제시 되고 있다. 열섬 방지 또는 저감 대책을 실시하지 않으면 인구집중이 있는 도시에서는 예외 없이 일어나는 현상으로 도시 규모가 클수록 열섬의 영향도 큰 경향이 있다. 우리나라도 서울을 중심으로 공업화가 진행된 거의 모든 도시에서 나타나고 있으며 청주지역에서도 그림 3과 같이 열섬현상이 관측되고 있다<sup>10),13)</sup>.

### ■ 열섬의 관측과 평가 방법

열섬의 모습을 높은 정밀도로 정량적으로 평가하기 위해서는 많은 관측점과 기상관측 시스템이 있어야 가능하다. 그러나 우리나라의 경우 관측점이



그림 4. 원격탐사(RS)를 이용한 지구온난화와 열섬현상 관측

너무 적기 때문에 기상관측을 통한 열섬 모습을 파악하는 데는 역부족이다<sup>11)</sup>. 이러한 문제점 해결 방법으로 최근 들어 발사되어 운영되고 있는 인공위성이 유용하게 활용되고 있다. 현재 열섬의 정도와 상황을 파악하는 데 가장 널리 사용되고 있는 방법이 원격탐사(Remote Sensing; RS)이다. 가시광선 센서와 근적외선 센서는 물론 열적외선 센서를 탑재한 인공위성은 도시와 그 주변부의 식생정보와 표면온도 등을 관측하는 것으로 저렴한 비용으로 다양한 해상도로 효과적으로 넓은 지역의 데이터를 얻고 있다(그림 4). 일반적으로 도시화 전후의 위성 데이터를 이용하여 도시와 교외 지역의 기온변화를 비교하여 열섬의 진행 상황을 평가하고 있다. 원격탐사방법 이외에도 여름 일수, 한여름의 폭염 일수, 열대야, 겨울의 기간 변화도 간접적으로 온도 변화를 알 수 있어 유용하게 활용되고 있다. 한편 정량적인 지표는 아니지만 첫눈, 첫 얼음, 눈 내린 일수 같은 계절 현상 및 꽃의 개화시기, 단풍, 매미의 첫 울음 같은 생물에 의한 계절변화도 열섬 영향을 알 수 있는 단서로 이용되고 있다.

### ■ 열섬현상의 원인과 영향

열섬현상의 원인은 다양하나 무엇이 있을까? 먼저

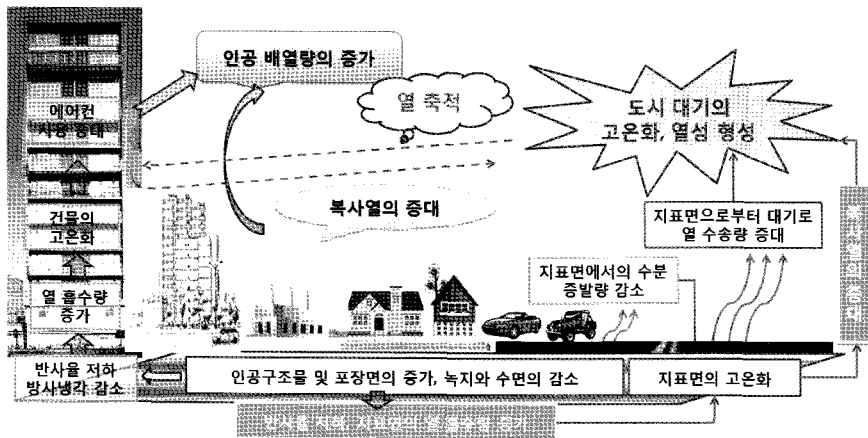


그림 5. 열섬현상 발생 개념도

경지 및 녹지의 감소와 유수지 등의 매립으로 아스팔트와 콘크리트로 포장이 되면 강우의 침투량이 줄어들고 흙의 보수력이 떨어지며 지표면을 통한 증발과 증산량이 감소한다. 또한 포장된 아스팔트 및 건축물의 콘크리트는 빛의 반사를 줄이고 열을 축적하게 되어 태양에너지의 열 흡수율을 증가시킨다. 이렇게 데워진 구조물은 에어컨 등 냉방기기를 이용하게 되므로 인공 배열이 늘어나게 되고 산업 활동에 의한 공장의 가동, 가정용 에어컨과 가전기 기 및 정보화 기기를 비롯한 자동차 등의 인공 배열 등은 도시의 온도를 높게 된다. 도심과 하천주변에 건설된 고층건물들은 산과 하천의 바람 흐름을 막아 데워진 공기가 도심에서 체류하도록 하고 시원한 바람의 흐름을 막아 도시의 열을 식히지 못하게 한다. 이와 같이 열섬이 진행될수록 냉방 수요는 증가하게 되고 그것이 배열의 증가를 초래하여 열섬현상은 더욱 가속화된다. 열섬현상에는 토지이용의 변화와 건축물의 기여가 큰 비중을 차지하는 한편 배열에 의한 효과는 국소적인 것으로 추정되고 있다.

열섬현상의 원인은 도시의 지형, 토지이용형태, 도시 규모와 구조, 도시가 위치하는 교외 환경 및 지역의 기후 조건 등 지역성이 강한 것과 인공적인 변화를 들 수 있다. 이를 정리해 보면 ① 불투수면

(콘크리트나 아스팔트 피복) 증가에 따른 증발산량의 감소 ② 도시 구조물의 영향에 따른 상공 대기의 열교환 감소 ③ 도시지역의 에너지 소비에 따른 연소열(예: 에어컨, 전열기기) ④ 도시 건물, 도로, 공원, 숲, 하천의 열용량 크기가 가져오는 축열 효과 ⑤ 미세먼지와 다른 대기오염물질에 의한 온실효과 ⑥ 고층빌딩 건설에 따른 천공비나 대기오염에 의한 방사수지의 변화 등을 들 수 있다(그림 5).

열섬현상으로 발생할 수 있는 영향은 무엇이 있을까? 먼저 도시의 평균기온이 상승하여 한파의 위험이 감소하는 한편 여름철 온도상승의 위험은 증가할 것이다. 그리고 올해에 자주 발생하고 있는 것처럼 여름을 중심으로 열섬에 의한 고온과 기류의 변화가 대기 오염은 물론 광화학 스모그를 증가시켜 대기 순환의 변화는 물론 집중호우 등의 극지현상의 변화를 가져와 기후변화의 특징이 많아진다. 도시화의 가속은 도심지를 피복하게 되고 도심지의 축열은 여름철 냉방에 많은 전력 수요의 증가를 가져오고 공조 배열의 증가는 열섬현상을 가속화할 것이다. 또한 도시의 기온상승은 수자원의 수요 증가는 물론 증발량 증가에 따른 자원 감소와 에너지 소비 증가를 가져올 것이고 생물과 농업에 미치는 영향과 월동 해충의 증가와 겨울 저온에 노출되어야

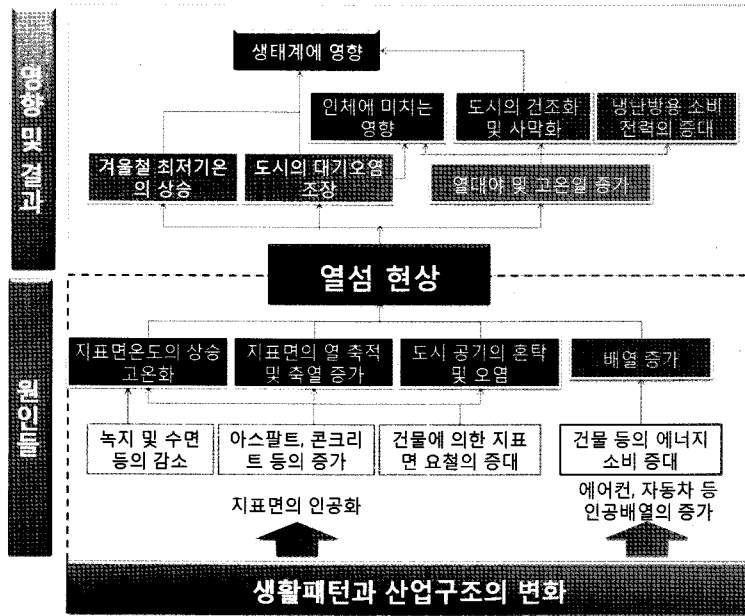


그림 6. 열섬 현상의 원인과 영향

하는 농작물과 여름의 고온에 약한 농작물이 입는 피해가 증가할 것이다. 여름철 고온이 사람과 동물에게 미치는 영향은 열사병의 위험 증대, 잠 못 이루는 밤 등에 의한 수면장애 스트레스 등이 있을 것이다. 이러한 다양한 영향은 직간접적으로 사회적으로 영향을 미치고 있으며 건강 피해로 인한 경제적 손실은 물론 전력 수요 증가로 인한 에너지 부담 증가 등 사회적 비용부담 증가도 문제가 될 것이다(그림 6).

### ■ 열섬현상 저감 대책

그림 3과 같이 청주지역의 지표면온도를 관측하였을 경우 일정 구간에 쿨 스팟(Cool Spot)이라고 할 수 있는 시원한 공간이 존재한다. 그곳이 바로 숲과 공원을 비롯한 녹지이다. 도시에 분포하는 공원과 녹지는 기온 상승 폭이 작은 냉기가 모여 있는 곳이라 하여 이른바 “시원한 섬; Cool Island” 또는 쿨 스팟

이라고도 한다. 이러한 녹지는 사람의 휴식공간 제공은 물론 양호한 경관을 형성하고 산소를 공급하며 자연의 냉기를 생성하여 공급하는 환경조정 기능도 갖는다. 예를 들어 충북대 녹지의 경우는 여름 평균 기온이 주변보다 약 2~3°C 낮다는 관측 결과가 나왔다. 도심에서 이러한 녹지의 감소는 에어컨과 다른 자연의 녹색이 제공하는 시원함을 얻을 수 없게 된다는 점이다. 도시 녹지 활용을 통한 주변 지역의 열 환경 개선 가능성을 생각할 경우, 녹색, 물, 바람 등 자연의 잠재력은 도시 환경을 개선하는 요소로서 중요한 역할을 한다. 이 이외에도 태양광의 흡수량을 줄이는 방법이나 배열을 줄이는 방법 그리고 냉각 효과를 높일 수 있는 방법을 사용하여 다양한 완화 조치가 취해지고 있다. 열섬저감 대책에 대해 정리해 보면 다음과 같다(표 1).

### ▶ 도로나 공터, 건축물 표면의 녹화

녹화는 우리에게 많은 이점을 주고 있다. 가로수의

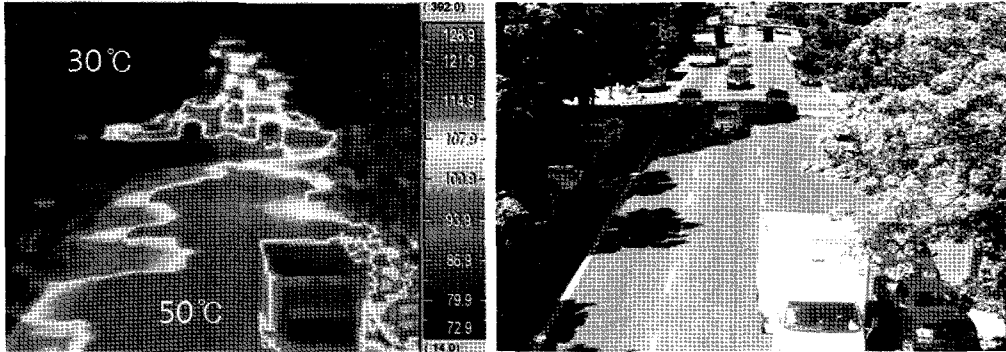


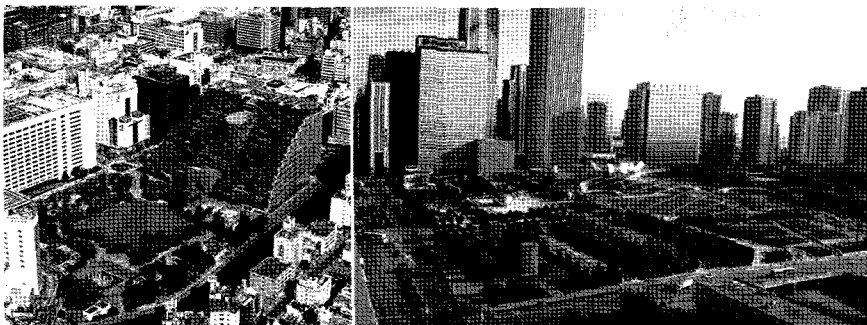
그림 7. 녹화에 따른 여름철 기온의 저감<sup>9)</sup>

경우 한 여름에 그늘을 제공하여 더위를 피할 수 있게 한다. 그림 7은 녹화의 온도상승 억제 효과를 보여주는 그림으로 아스팔트 도로의 경우 도로 표면온도가 50°C이나 그늘의 온도는 30°C로 그늘 유무에 따라서 20°C의 온도 차를 보인다. 이러한 차이는 도로만이 아니고 건물에서도 알 수 있다. EU, 미국, 일본 등 많은 나라에서 여름철에 쉽게 데워지고 잘 차가워지지 않는 옥상과 벽면에 녹화를 하는 곳이 많아지고 있다<sup>9)</sup>. 일본의 경우 옥상녹화를 권장하여 보조금을 지급하거나 의무화 하고 있다. 옥상 녹화와 벽면 녹화를 하는 주요 목적은 무엇일까? 먼저 단열성을 향상시켜 열섬 현상의 대책으로 활용하고 있다. 다음으로 건물의 내구성을 향상시켜 건물을 보호하고 방음효과를 높여주고 보수력을 증가시킨다. 식재된 나무들은 대기오염 물질을 흡수 또는 흡착하기도 하며 경관을 좋게 한다. 일반가정

에서는 발의 대용으로 이용하기도 하고 생태계를 회복해 주는가 하면 기업과 지역의 이미지를 향상시켜주는 역할도 하고 있다(그림 8).

▶ 물가의 정비, 습지와 저수지 등 보호 및 확장

도심에서 사라져가는 농경지 때문에 목적이 소멸되는 저수지 등의 유효 활용 및 농경지는 도시의 기온을 낮춰주는 중요한 역할을 하고 있다(그림 9). 도시 주변에 위치한 논과 하천 및 저수지의 경우도 한 여름철에 도심에 비해 약 3~4°C 낮은 기온분포를 보여 도시의 온도를 낮추는데 크게 기여하고 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 도시를 흐르는 하천과 강에 녹화를 실시하여 수변과 녹지 활용을 통한 바람 길을 형성하여 도심 기온을 낮추는데 활용할 필요가 있다. 수변을 활용한 “바람길” 확보는 수상 및



ACROS Fukuoka

Millennium Park, Chicago, Illinois

그림 8. 도심속의 녹색지붕

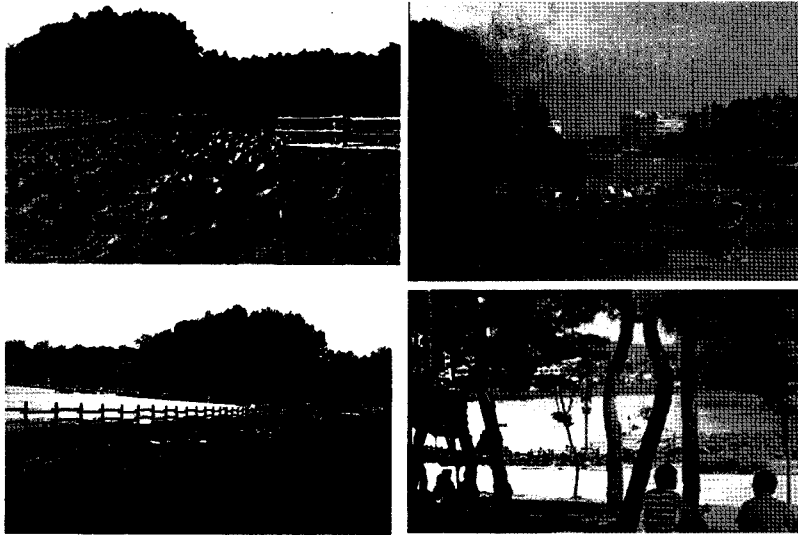


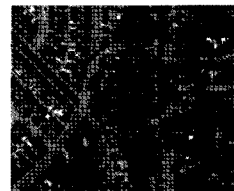
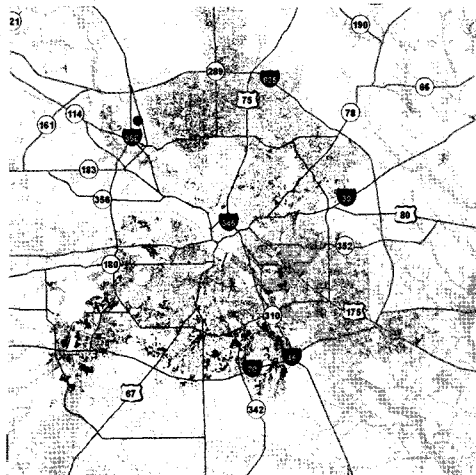
그림 9. 저수지의 활용 사례(오창저수지)

교외에서 차가운 공기를 도심으로 흐르게 하고 뜨거운 공기를 이동 또는 배제하는데 매우 중요하다. 우리나라의 경우는 청계천이 바람길 기능을 발휘하여 도심의 뜨거운 공기를 배제하여 시민의 쉼터는 물론 열섬현상 완화에 기여하고 있다.

이 이외에 도로에 투수성 포장이나 보수성 포장 및 차열성 포장을 채용하여 도심에 피복된 지역의 온도상승을 줄이는 방법이나 하수재이용을 이용한 살수와 드라이 미스트 등 새로운 냉각 장치의 설치

방법도 있다. 인공 배열의 억제방법으로는 자동차 등 운송기기와 건축물에 지역 열난방 시스템의 보급 등도 유용한 방법으로 제시되고 있다(표 1 참조).

그림 10은 미국 달라스의 도시계획에서 근본적인 대책으로 교외에 인구 분산에 의한 도심의 과밀 해소와 녹지 조성은 물론 바람길 조성, 교통의 흐름을 고려한 도로계획을 적용한 예를 제시한 그림이다<sup>2)</sup>. 이와 같이 열섬현상은 도시화와 밀접하게 관련되어 있는 만큼 본격적인 대책은 도시계획 단계에서부터



Trees planted early in the development process are the future tree canopy for Dallas.



그림 10. 도심속의 녹색지붕

표 1. 열섬 대책 방법 및 특성

대책 방향	대책 분야	대책 분야	대책 분야			대책 실시 기간		
			건물	시가	도시	단기	중기	장기
냉각 작용의 재이용	바람의 활용	(1) 산과 하천을 활용한 건물 배치의 개선		○			○	○
		(2) 하수처리수의 이용		○		○	○	
	물의 활용	(3) 빗물의 이용	○	○		○	○	
		(4) 물뿌리기 시행	○	○		○		
		(5) 저수지·농업 용수로의 보전		○	○	○	○	
		(6) 수면의 확대		○	○			○
	녹지의 활용	(7) 도로 등 가로수 녹화		○		○	○	○
		(8) 공원·녹지의 정비		○	○	○	○	○
		(9) 농지의 보전		○	○	○	○	
		(10) 도시 하천 호안의 녹화		○	○	○	○	
		(11) 녹지 공간 확보로 생태계 네트워크 구성			○			○
건물·지표면의 고온화 억제	도시·가로수·건물 녹화	(12) 옥상·벽면 녹화	○			○	○	
		(13) 도로·부지 녹화(학교 및 주차장 포함)	○	○		○	○	
	건물 옥상·벽면의 고온화 억제	(14) 고 반사성 마감, 광촉매 활용	○			○	○	
		도로 등 지표면의 고온화 억제	(15) 보수성·투수성 포장		○	○	○	○
		(16) 반사율 향상		○	○	○	○	○
	인공배열의 저감	에너지 절감 설비의 도입 등	(17) 고효율 에너지 절약형 기기의 도입	○			○	○
(18) 기기의 고효율 운전			○			○		
(19) 생산설비의 에너지 절약			○			○	○	
에너지 절약 건축물의 보급		(20) 건물의 단열·차열 향상	○			○	○	○
		(21) 자연 통풍·환기·일사 차폐	○			○	○	
에어컨 등 공조 기기의 배열 대책		(22) 고효율 공조 기기의 도입	○			○	○	
		(23) 물냉각에 의한 배열 현열의 잠열화	○			○	○	
		(24) 도시 배열 처리 시스템 구축	○	○			○	○
에너지 공급 시스템의 선택		(25) 지역 냉난방 시스템 도입		○			○	○
		(26) 신재생 에너지의 활용	○	○		○	○	○
		(27) 태양에너지 이용	○			○	○	
자동차, 교통 대책		(28) 하이브리드 등 저연비차 보급			○	○	○	
		(29) 교통대책·물류의 효율화			○	○	○	
		(30) 공중교통 이용 촉진			○	○	○	○
에너지 절약 실천	(31) 가정에서 에너지절약 실천	○			○			
	(32) 직장에서 환경 관리	○			○			
	(33) 자동차 이용의 억제			○	○	○		
	(34) 친환경 운전 추진			○	○			



다양한 관점에서 검토하여 적용해야 큰 효과를 거둘 수 있다.

## ■ 맺는말

지구온난화는 이산화탄소 등 온실가스가 증가하여 지구 전체적으로 열이 방출되지 않아 장기적으로 지구 전체 기온이 높아지는 현상이다. 반면에 열섬 현상은 지표면의 피복변화와 구조물 등의 원인에 의해 에너지 소비가 증가되면서 국지적으로 단기간에 나타나는 현상을 의미한다. 지구온난화와 도시화에 따른 열섬현상은 우리 모두의 예지를 모아 준비하고 대응해 가야 할 것이다. 도심주변에서 점점 사라져가고 있는 농경지와 저수지 등 농업용 수리 시설은 선조들의 삶을 지탱해온 중요한 기반으로 지금까지 다양한 기능을 발휘하여 왔다. 그러나 지금은 도시화와 산업화에 밀려 주택단지와 공장 등 다른 형태로 토지이용과 피복이 변화하여 환경에 부담을 주고 있다. 다시 한번 도심주변의 농경지와 저수지 등 수변공간을 활용한 공익적 기능 발휘 방법을 찾아보고 적용해 간다면 시민들이 좀 더 쾌적한 공간과 환경에서 생활할 수 있지 않을까? 최근 들어 환경문제로 대두되고 있는 열섬현상에 대해 이해할 수 있는 기회가 되었으면 한다.

## 참고문헌

1. 권성일, 김진수, 오광영, 송철민, 박종화, 2008. 겨울철 도시부와 도시 교외부의 기온변화 특성, 50(2), pp.3~11.
2. 박종화, 2004. 열섬(Heat island)현상과 농공학회에의 기대, 한국농공학회지 46(4), pp.25~29.
3. 박진기, 나상일, 박종화, 2010. 청주시 무심천 주변의 열환경 특성 분석, 충남대학교 농업과학연구, 37(1), pp.81~86.
4. <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.
5. [http://files.harc.edu/Projects/DallasUHI/UHI\\_Basics.pdf](http://files.harc.edu/Projects/DallasUHI/UHI_Basics.pdf).
6. <http://www.epa.gov/heatisland>.
7. <http://www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm>.
8. <http://www.greenroofs.org/washington/index.php?page=millenium>.
9. IPCC (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
10. IPCC (2007). "Summary for Policymakers", Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>.
8. Luke Howard, 1818-20, The climate of London, deduced from Meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis, Vol. 2, London.
9. Oke, T. R., 1973. City size and the urban heat island, Atmos. Environ., 7, pp.769~779.
10. Park, J.K., Na, S.I., and Park J.H., 2010. Summer-Time Thermal Environment Characteristics in the Central Korea Using Landsat TM Data, Proc. of SPIE, Remote sensing, 7824, pp.78241x~782406.