

도시 열섬화 방지를 통한 CO₂ 감축 효과 연구

A study of CO₂ reduction effect by preventing heat island

박은하¹ · 오충현²

¹동국대학교 대학원 바이오환경과학과, ²동국대학교 바이오환경과학과

서론

인구 집중으로 인구밀도는 높아지고, 개발에 따라 녹지의 면적이 점점 줄어드는 반면에 에너지 사용량이 급격히 증가하는 도시에서는 농촌과는 확연히 다른 기후의 특성을 보이고 있다. 특히 우리나라에서 가장 인구밀도가 조밀한 서울의 경우 2010년 현재 전체면적이 605.25km²이고 인구는 약 10,456,051명으로 우리나라 전체의 약 20%에 이르는 인구가 전 국토의 0.6%에 불과한 면적에 집중되어있다. 이와 같은 인구의 도시집중으로 유한한 생태자원의 무리한 이용, 즉 한계수용능력을 벗어난 이용이 불가피하게 되었다. 이로 인해 서울시는 전력소비의 증가, 스모그현상의 가중, 도시 열섬 등의 문제를 안고 있다.

서울에서 도시열섬문제가 부각된 것은 1970년대 후반의 일이다. 이현영(1975)에 의하면 당시 서울의 왕십리 등의 부도심지역이 겨울철 기준으로 외곽지역에 비해 10℃이상 높았다. 이후 이태영(1986)은 기상청 관측자료를 분석한 결과, 서울의 기온이 주변 변두리 지역보다 뚜렷하게 높아 도시열섬의 존재가 분명하게 나타났다. 또한 서울시정개발연구원(2001)의 인공위성 영상을 활용한 온도분포에 의하면, 서울은 1970년대 이후 지속적으로 서울시청주변, 왕십리 부도심, 신설동 및 청량리, 신촌, 강남, 영등포 등과 같은 도심 및 부도심 지역이 연중 교외지역에 비해 높게는 10℃ 이상 높은 기온분포를 보이는 것으로 밝혀졌다.

미국의 경우에도 지난 40년 동안 도시의 온도가 평균 1.1~2.2℃가 올랐고 이로 인해 냉방소비전력이 1.5~2% 상승하였다(미국에너지관리청). 이처럼 도시열섬현상에 의한 여름철 평균기온의 상승으로 에너지 소비량이 증가하면 화석연료 사용의 증가로 CO₂배출량이 늘어나게 된다. 이로 인해 온난화현상이 심화되어 도시열섬현상이 가속화되는 악순환이 되풀이된다.

반면에 도시 내 지역특성에 따라 숲이나 녹지가 발달한 지역에서는 특정지역의 기온이 낮게 형성되는 도시냉섬현상이 나타난다(이강국, 2007). 즉, 도시녹지와 기온과는 부의 상관관계를, 나지·포장지는 정의 상관관계를 보인다(윤용한, 2008). 따라서 도시열섬현상의 대응방안으로 도시녹지를 확충하는 것이 중요하다.

이와 더불어 도시녹지는 이산화탄소의 흡수원으로서 기후변화 대응을 위한 중요한 대책으로 작간접적 탄소감축의 효과를 보인다.

본 연구는 서울시의 토지이용별 온도를 측정하여 도시녹지의 열섬저감효과를 규명하고 도시녹지의 열섬저감량 산정을 통해 CO₂감축효과를 정량화하기위해 수행되었다.

연구 방법

1. 연구의 내용 및 범위

서울시 열섬지역 현황조사를 위해 2009년 6월 24일부터 8월 28일 사이의 온습도의 변화를 측정하였다. 서울시 전역에서 상업 및 업무지역과 주거 밀집 지역을 열섬대상지역으로, 공원과 산림지역을 냉섬대상지역으로 총 15개 지점의 변화를 측정하여 도시녹지에 의한 열섬저감현상을 규명하였다. 또한 이를 통한 CO₂감축효과를 정량화하기 위한 산정과정을 연구하였다(table 1).

2. 연구 방법

1)서울시 열섬지역 현황조사

자동온습도데이터로거인 MicroLog Compact Data Logger를 이용하여 20분 간격으로 온습도 데이터를 수집하였다. 데이터로거는 그늘과 바람에 의한 차이를 최소화하고 사람

Table 1. Data Logger install spot

class	spot	note
cool island	seoul forest	high-density planting region
	sunyudo park	sunyudo park
	asian park	pine forest beside athletic facilities
	Chunggye creek	a willow around ogansugyo
	surak mountain	valley
forest	nam mountain	behind dongguk-university cafeteria
	gwanak mountain	around sadang cultural road 7
	around cheongnyangni station	exit no.4 in cheongnyangni station
heat island	around wangsimni station	exit no.3 in wangsimni station
	commercial and business area	yeongdeungpo
	mapo	front of bank in yeongdeungpo station
	around seoul city hall	exit no.5 in gongduk station
	Teheranno	in front of plaza hotel
	residential area	sanggye jugong apartment complex np.7
	seocho rainbow apartment	platanus in playground
		tulip tree in front of 10-11

의 간섭에 의한 오류가 발생하지 않도록 통풍이 되는 나무 상자를 보호 장치로 사용하여 지상으로부터 2.5m 높이에 설치하였다.

2) 도시열섬저감을 통한 CO₂ 감축량 산정

녹지 확충을 통한 도시열섬 완화효과를 정량화하기위해 녹지용적량에 의한 기온저감효과를 제시하였고 이를 여름철 에너지소비 절감량으로 환산하여 CO₂ 감축량을 추정하였다.

① 녹지용적량 추정

도시녹지에 의한 기온조절과정은 식물의 증산작용을 통해 이루어진다. 광합성 시 열린 기공으로 잎에 포함되어있던 수분이 증발되는데 이 과정에 대기 중의 열에너지가 잠열(latent heat)로 소비되기 때문에 대기온도를 저하시키는 역할을 한다(Niino and Kanda). 따라서 녹지에 의한 도시열섬현상 완화효과를 정량화하기 위해 녹지의 증산량을 추정하였다. 이를 위해서는 수목의 총엽면적과 같은 지표가 필요하나 수목의 엽면적 측정은 매우 어렵기 때문에 수목이 차지하는 공간의 용적을 이용하여 추정하였으며 독일의 녹지용적계수(Grünvolumenzahl)를 활용하여 녹지의 용적을 이론적으로 등급화 하였다. GVZ는 m²당 평균적인 녹지 용적으로 1m²당 몇 m³의 녹지가 있는지 계량적으로 알 수 있는 정량적 수치이다. 산정 기준은 table. 2와 같다.

서울시 현재 녹지용적량을 산정하기 위해 2010도시생태 현황도의 비오톱 유형을 이용하였다. 시가화지역을 제외한

Table 2. GVZ according to planting

type	GVZ		
	minimum	middle	maximum
1. grass/lawn	0.10	1.56	3.00
2. grass/lawn/shrub	2.35	4.25	7.00
3. shrub	1.00	3.75	7.00
4. shrub/tree	8.75	19.25	30.00
5. grass/lawn/shrub/tree	9.00	19.50	30.00
6. tree	5.00	17.00	26.00

Bund Deutscher Architekten BDA

조경녹지비오톱(E), 경작지비오톱(G), 산림지비오톱(H)을 활용하였으며 세부적으로 각 비오톱의 특성에 맞는 녹지용적계수를 적용하였다. 또한 서울시 2010업무계획, 공원녹지기본계획 등에서 제시된 확충지역 및 목표치를 기준으로 새로운 녹지 조성이 가능한 비녹지면적의 녹지확충량을 산정하여 현재 서울시의 녹지용적량과 비교하였다.

② 녹지용적당 온도변화

녹지용적의 변화에 따른 기온저감효과를 계량화하기 위해 윤용한(2002)의 녹지용적량과 기온을 일기변화의 관점으로 부터 회귀분석 등에 의해 해석한 결과를 이용하였다. 기온저감효과가 가장 뚜렷한 맑은 날의 평균값을 이용하면 녹지용적의 1m³ 증가에 따라 0.00042℃의 기온저감효과가 있다. 이때 관측점을 중심으로 직경 50m범위 내에서의 녹지용적의 기온저감효과가 발생한다. 따라서 관측점을 중심으로 직경 50m의 면적일 때 1℃ 기온저감효과를 얻기 위해 필요한 녹지용적은 1.2m³/m²이다.

다만 이 연구는 일본에 소재한 대상지에서 이루어졌으며 순수한 녹지내의 기온저감효과를 파악하기 위해 녹지주변의 용도지역이 녹지 내에 미치는 기온의 영향이 거의 없는 시가지조정구역을 대상으로 이루어진 것으로 향후 서울의 토지이용별 다양한 대상지에 대한 연구가 필요하다.

③ 온도변화에 따른 CO₂ 감축량

녹지확충으로 인한 1℃ 기온저감효과를 냉방에너지 절감량으로 환산하여 table 3과 같이 CO₂ 감축량을 산정한 후 비용효과를 계산하였다. 이때 1tCO₂당 45000원은 유럽연합(EU) 집행위원회가 탄소배출 업종을 작성할 때 적용하는 가격이다.

table 3은 2010년과 2020년의 서울시 총 에너지사용량(서울시정개발연구원, 2001)과 냉난방 부문 에너지 사용량, 온도변화 1℃에 따른 6.6%의 에너지 절감효과(건설기술연구원, 2009)와 이에 따른 CO₂ 감축량 및 절감금액을 산정한 내용이다.

Table 3. reduction of CO₂

class	2010	2020
Energy consumption (1000toe)	13,639	17,798
Air conditioning and heating sector (1000toe)	7,060	9,011
decrease in temperature(℃)	1	1
energy saving(1000toe)	$7,060 \times 0.66 \times 4 / 12 = 1,553$	$9,011 \times 0.66 \times 4 / 12 = 1,982$
reduction of CO ₂ (ton)*	179,550	229,168
reduction of money(won)**	8,079,746,400	10,312,548,840

* CO₂emission/1toe : 0.1156tC/TOE(electricity)

**energy price/1tCO₂: 45000won

Table 4. 2009년 서울시 15개 지역 기온관측 결과

spot	minimum temp. (℃)	maximum temp. (℃)	gap of temp.(℃) [max-mimi]	mean temp.(℃)
seoul forest	18.00	31.34	13.34	24.45
sunyudo park	18.67	33.00	14.33	24.85
asian park	18.34	31.34	13.00	24.94
Chunggye creek	19.00	33.67	14.67	25.41
surak mountain	17.00	29.00	12.00	22.64
nam mountain	17.67	30.34	12.67	23.62
gwanak mountain	16.67	31.34	14.67	23.21
around cheongnyangni station	18.67	35.67	17.00	26.08
around wangsimni station	19.00	38.34	19.34	26.55
yeongdeungpo	19.34	36.67	17.33	26.53
mapo	19.34	37.34	18.00	26.28
around seoul city hall	19.34	36.34	17.00	26.42
Teheranno	19.00	37.34	18.34	26.67
sanggye jugong apartment complex np.7	18.34	33.00	14.66	25.41
seocho rainbow apartment	19.00	36.34	17.34	25.97

결과 및 고찰

1. 서울시 열섬현상 현황

측정기간 중 왕십리역 주변에서 2009년 8월 16일 16:00에 38.34℃도의 최고온도를 기록하였으며, 같은 시각 각 지점의 기온을 비교하면 수락산이 26.34℃로 12℃의 기온차가 난다.

관측 기간 중 최저기온을 기록한 날은 2009년 7월 3일이었으며, 15개 지점 중 관악산이 16.67℃로 가장 낮은 기온을 나타냈으며, 열섬지역인 영등포역 주변 상업지구가 20.67℃로 가장 높은 기온을 나타냈다.

관측된 온도분포에 의하면 토지이용별로 상업지역, 주거지역, 공원, 산림 순으로 온도가 낮아진다. 이는 최고온도와 최저온도, 평균온도 모두에서 관측되어진다.

2. 도시열섬 대응방안으로서 녹지의 탄소 감축량 산정

1) 서울시 현재 녹지 현황에 따른 탄소감축량

2010서울시 도시생태현황도를 기준으로 비오톱유형을 이용해 녹지용도를 구분하고, 용도별로 다음 table. 5와 같이 GVZ 기준을 적용하여 녹지용적량을 산출하였다.

2010년 현재 서울시 녹지용적량 1,370,506,565m³에 서울시 전체면적을 적용한 결과 녹지용적은 2.26m³/m²로 산정되었다. 1℃ 기온저감효과에 필요한 녹지용적계수 1.2m³/m² 임을 감안하면 2010년 현재 서울시 녹지용적량은 전체 시

Table. 5 green volume of green area on seoul in 2010

major category	code	green area(m ²)	GVZ	green volume(m ³)
Landscape or Green Area Biotpe	E1	7541593.361	8.75	65,988,942
	E2	8503735.912	8.75	74,407,689
	E3	2142848.644	0.10	214,285
	E4	-	-	-
	E5	82539.31663	9	742,854
	E6	244677.9584	8.75	2,140,932
	E7	-	-	-
Farmland Biotope	G1	7124761.648	0.10	712,476
	G2	8471031.021	0.10	847,103
	G3	968057.3901	5.00	4,840,287
	G4	-	-	-
	G5	1645892.881	5.00	8,229,464
Forest Biotope	H1	40074171.32	9.00	360,667,542
	H2	16855192.63	9.00	151,696,734
	H3	19492333.27	9.00	175,430,999
	H4	55680559.45	9.00	501,125,035
	H5	1895822.849	9.00	17,062,406
	H6	655654.7106	9.00	5,900,892
	H7	4178083.666	0.10	417,808
	H8	-	-	-
	H9	-	-	-
	H10	-	-	-
	H11	9012.847188	9.00	81,116
total				1,370,506,565

Table. 8 reduction of CO₂

class	2010	2020
Energy consumption (1000toe)	13,639	17,798
Air conditioning and heating sector (1000toe)	7,060	9,011
decrease in temperature(℃)	1.9	2.0
energy saving(1000toe)	1,553×1.9=2,951	1,982×2.0=3,964
reduction of CO ₂ (ton)*	341,101	458,238
reduction of money(won)**	15,349,541,400	20,620,728,000

* CO₂emission/1toe : 0.1156tC/TOE(electricity)

**energy price/1tCO₂: 45000won

Table. 6 reduction of CO₂

class	2010
Energy consumption (1000toe)	13,639
Air conditioning and heating sector (1000toe)	7,060
decrease in temperature(℃)	1.9
energy saving(1000toe)	1,553×1.9=2,951
reduction of CO ₂ (ton)*	341,101
reduction of money(won)**	15,349,541,400

* CO₂emission/1toe : 0.1156tC/TOE(electricity)

**energy price/1tCO₂: 45000won

가지 면적에 대해 1.9℃의 기온저감효과를 가진다.

1℃ 기온저감에 따라 2010년 여름철 냉난방부문 에너지 절감량은 1,553,000toe이다. 따라서 서울시에서 현재 녹지 용적량을 통한 1.9℃ 기온저감효과는 341,101ton의 CO₂감축효과가 있다. 이에 따른 절감금액은 15,349,541,400원에 해당한다.

2) 향후 서울시 녹지 확충에 의한 탄소감축량

서울시 공원녹지기본계획과 서울시 학교 공원화 사업에 의해 2006년에서 2009년까지 조성된 공원화 학교의 개소수의 추세를 분석한 결과를 반영하여 공원녹지 확충량을 추정하였다. 여기에 GVZ 풀/잔디/관목/교목 기준 최소값 9.00을 적용하여 확충되는 녹지용적량을 계산하였다. 산정 결과는 table 7과 같다.

2010년 현재 녹지용적량에 이를 반영하여 2020년 서울시 녹지용적량을 1,433,835,065m³으로 계산하였고 여기에 서울시 전체면적을 적용하여 녹지용적계수를 2.37m³/m²로

Table. 7 expansion green volume in 2020

class	2020
park and green area(m ³)	10×665,600×9.00=59,904,000
school forest(m ³)	10×500×76×9.00=3,424,500
total(m ³)	63,328,500

산정하였다.

1℃ 기온저감효과에 필요한 용적계수 1.2m³/m²에 의하면 확충된 2020년 서울시 녹지용적량은 2.0℃의 기온저감효과를 보인다. 1℃ 기온저감에 따라 2020년 여름철 냉난방 부문 에너지 절감량은 1,983,000toe이다. 따라서 서울시 현재 녹지용적량을 통한 2.0℃ 기온저감효과는 458,238ton의 CO₂감축효과가 있다. 이 경우 절감금액은 table 8과같이 20,620,728,000원에 해당한다.

결론

서울과 같은 대도시에서 도시열섬현상이 심각하다. 본 연구는 녹지에 의한 도시열섬 완화효과를 규명하고, 이로 인한 냉방기 사용량 감축에 따른 CO₂감축량을 산정하였다.

그 결과 2010년 여름에는 341,101tCO₂의 CO₂ 감축효과와 약 150억원의 비용절감효과를 기대할 수 있었고 2020년 여름에는 458,238t CO₂의 CO₂감축효과와 약200억원의 비용절감효과를 기대할 수 있었다. 따라서 이와 같은 효과를 높이기 위해 지속적인 녹지 확충이 필요하다. 다만, 본 연구는 녹지에 의한 냉방기사용저감량만을 산정하였을 뿐 실제 다양한 열섬완화로 인한 효과는 산정하지 않았다. 따라서 냉방기 사용 저감량 외 난방기 사용 저감량, 녹지의 환경정화기능으로 인한 효과, 녹지 내 휴식 공간 확보로 인한 효과 등을 포괄적으로 산정할 수 있다면 그 효과는 더욱 높아질 것이다.

인용문헌

- 구해정, 2007, 서울시 도시 열섬 구조의 변화에 관한 연구. 기후연구 2(2):67-78
- 기상청, 2009, 열대야 보도자료
- 김운수, 2001, 기후변화 협약 이행에 따른 서울시 대응방안 연구, 시정개발연구원
- 김운수·김학렬, 2001, 서울시 기상특상을 고려한 도시계획 기법연구(II), 서울시정개발연구원
- 류을렬·윤용한, 2006.12, 충북주요도시열섬현상저감대책

- 변번설·이병준, 2002, 쾌적한도시환경을위한녹지확보방안, 한국환경정책평가연구원
- 서울그린트러스트, 2009, 도시열섬현상과 도시숲의 역할
- 서울시, 2010, 서울시 통계 연보
- 서울시정개발연구원, 2005, 서울시 도시생태현황도
- 송인주, 2008, 도시립실태조사, 서울시정개발연구원
- 이동근·윤소원 역, 1999, 비오토프의이해, 대운
- 이석만·최유진, 2008, 서울시 기후지도 제작(2차년도), 시정개발연구원
- 이태영, 1998, 서울특별시, 도시생태분야 정책수립을 위한 워크샵 보고서, 84쪽
- 이현영, 1986, 서울의 도시기온에 관한 연구. 이화여자대학교 대학원 박사학위논문
- 이현영, 1975, 서울 도시기온에 관한 연구
- 전영우 외, 1999, 숲이 있는 학교-학교 숲 가꾸기 매뉴얼(우리강산 푸르게푸르게 총서3), 이채
- C. A. Federer(1976) Trees Modify the Urban Microclimate
- Dong Hyuk Choi·Gyoung Seok Choi·Jae Sik, 2009, The Performance Field-Application of Natural Ventilation System, Architecture & Urban Research Information Center pp. 0689~0694
- Gene W. Grey, Frederick J. Deneke(1986) Urban Forestry. Krieger Publishing Company
- <http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/PUBS/PAINTING>
- <http://www.kesis.net/co/CO1303R.jsp>
- Kim In-Ho·Choi Suk-Jin·Lee Soo Hyun, 2000, A Study on the Activation Strategy and State of School Forest Movement, The Environmental Education, 13(1), pp.111~121
- Lee, Kang-Guk·Hong, Won-Hwa, 2007, The Study on the Heat Island and Cool Island According to Trend toward Higher Temperature in Urban - Case Study of Taegu Metropolitan City - 大韓建築學`會論文集 計劃系 23(8)
- Yong Han Yoon·Bong Ju Park Won Tae Kim·Sun Young Park, 2008, Factor Analysis of the Relation Between Land Cover Ratio of Green Spaces and Temperature, Journal of the Environmental Sciences 17(5) pp.485~491