

# 도시기후와 도시생태<sup>1</sup>

이현영<sup>2</sup>

## Urban Climate and Urban Ecology<sup>1</sup>

Hyoun-Young Lee<sup>2</sup>

### 서론

인류는 수천 년간에 걸쳐 환경을 변화시켜 왔으나 그것이 환경에 미치는 영향을 심각하게 고려하기 시작한 것은 최근의 일이다. 근대화와 더불어 급격한 인구증가와 산업화는 에너지, 식량 및 생활공간의 수요를 증대시켰고 이러한 현상은 대기권을 포함하는 생태계의 균형에 위협을 주고 있다. 더욱이 다수의 인구가 도시에 집중하여 이미 선진제국의 도시인구가 70%를 증가하고 있고, 인구학자의 예측에 의하면 20세기말에는 세계인구의 대부분이 도시에 거주하게 될 것으로 추정되고 있다. 그러므로 도시화로 인해 나타나는 환경적, 특히 기후변화의 잠재성을 고려할 때 도시기후는 인간활동이 환경에 미치는 결과를 관찰할 수 있는 실험실의 역할을 하며, 도시기후에 관한 연구결과는 지구규모의 기후변화에 대처하며 대기문제로 인한 도시민의 피해를 가급적 최소화시키는 데도 이용할 수 있을 것이다. 한국에서도 1980년대이래 급속한 도시화가 진행되면서 서울을 비롯한 몇몇 도시들은 이미 megalopolis화되어 학계는 물론 도시와 관련된 일에 종사하는 모든 사람들이 도시기후에 관심을 기울여야 할 때가 되었다.

### 도시기후의 형성원인 및 특성

한 지역의 기후조건은 일반적으로 일기도상에 나타나는 대규모 기상패턴에 의하여 지배되지만 지표면의 물리적 특성이 다르면 대기경계층에서 국지적 기상조건이 다소 변화되어 서로 다른 날씨가 나타나게 된다. 그러므로 동일한 종관조건하에 있을지라도

도시와 그 주변의 농촌간에 뚜렷한 기후적 차이가 나타날 수 있다. 즉, 식생의 피복이 탁월한 농촌의 표면이 투수성이 큰데 반하여 도시에서는 복사열의 흡수와 열저장력이 월등한 벽돌 또는 콘크리트로 건축된 빌딩군, 그리고 아스팔트로 포장된 도로와 같이 대부분의 지역이 불투수성 표면으로 덮여 있으므로 도시와 농촌간의 기후요소값의 상당한 차이가 나타난다.

도시화가 국지 또는 지역기후에 미치는 영향에 대한 연구결과가 이미 상당히 보고되고 있으며 이러한 현상이 머지않아 전지구적으로 나타날 수 있을 것이라는 것도 예측할 수 있다. 표 1은 Landsberg가 주로 미국지역에서 연구된 결과를 토대로 하여 도시와 주변 농촌지역간의 기후요소값의 차를 보여준다.

### 수도권의 도시화와 도시기후의 형성

도시화과정에서 나타나는 현저한 현상으로는 인구성장과 이에 따른 산업화 그리고 토지이용의 변화를 들 수 있으며 이러한 변화는 토지이용을 결정하는 정부의 정책과 더불어 도시의 지표면의 변화를 초래한다. 사례지역인 수도권(Seoul Metropolitan Region)은 17개의 위성도시를 가지고 있으며, 인구는 1,800만명(1994)을 넘어서 한국 인구의 42%를 수용하고 있다.

도시지역의 산업체의 집중은 인구유입을 유발하여 서울을 비롯한 몇몇 도시로 집중하는 경향을 보이고 있다. 정부에서는 인구 분산을 위하여 서울에 새로운 공장을 건립하는 것을 억제하였을 뿐 아니라 기존의 산업체들도 농촌지역으로 이주할 것을 권장

1 1997 환경생태학회 심포지움 발표문

2 건국대학교 이과대학 지리학과 Dept. of Geography, College of Science, Kon-Kuk Univ., Seoul, Korea

하여 왔다. 이러한 정부의 노력은 서울의 공업인구를 감소시키는 데는 상당한 효과를 보았다. 서울의 경우에는 그 증가율이 2.3%에 그치고 있으나 수도권 인구의 평균 증가율이 18.4%인 것은 위성도시의 급속한 성장을 입증해준다. 특히 수도권에 산재한 중소기업체를 수용하여 서울의 인구분산을 도모하는 동시에 서해안개발의 거점을 확보하기 위하여 개발된 안산(당시 명칭은 반월공업단지)의 최근 20년간의 인구증가율은 119.7%의 높은 증가율을 보이고 있다(그림 1).

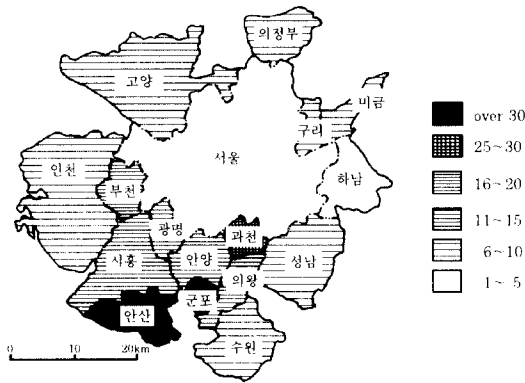


그림 1. 수도권지역의 인구증가율(1980~1994)

### 1. 토지이용의 변화와 열섬현상

한국은 최근 20여년 동안 국토개발 및 관리계획에 의하여 토지이용이 제어되어 왔는데 초기에는 상당한 효과를 보았으나 최근 20년간(1972-1992)에는 Green Belt를 제외한 녹지와 상당 면적의 경작지들이 공장부지 또는 주거지역으로 전용되었다. 즉, 도시적 토지이용이 3.9%에서 38.4%로 급증한 데 반하여 투수층은 94%에서 64%로 감소하였다. 그나마 녹지대는 Green Belt로 보호되기 때문에 46.2%에서 43.8%의 비교적 낮은 비율로 감소되었으나 농업적 이용은 45%에서 16%로 격감하였다(그림 2). 그 결과 수도권에서는 Green Belt를 제외한 지역이 거의 도시화되었고 최근에는 일부 몰지각한 사람들에 의해 Green Belt까지 잠식되고 있다. 따라서 앞으로의 도시발달은 고층건물의 건축에 의하여 수직적으로 발달할 수밖에 없고 이러한 추세는 도시대기에 보다 심각한 영향을 미칠 수 있다(이현영, 1995).

도시화 과정에서 가장 뚜렷하게 나타나는 기후현상은 기온의 상승추세이다. 농촌의 지형은 비교적 평탄하고, 지표면은 투수성이 큰 토양이나 식생으로 덮여있다. 그러나 도시의 표면 즉, 도로나 건물의 지붕의 자재들은 대부분 불투수성이며 열의 흡수력과 저장력이 큰 물질로 구성되어 있다. 뿐만 아니라 공

표 1. 도시와 주변 농촌지역간의 기후요소값의 차

기후요소		농촌환경에 대한 비율	기후요소		농촌환경에 대한 비율
오염물질	응결핵	10배 이상	상대습도	연평균	6% 이하
	분진	10배 이상		겨울	2% 이하
	가스혼합물	5~10배 이상		여름	8% 이하
복사	전천	0~10% 이하	기온	연평균	0.5~3.0℃ 이상
	자외선(겨울)	30% 이하		겨울 최저(평균)	1.0~2.0℃ 이상
	자외선(여름)	5% 이하		여름 최고	1.0~3.0℃ 이상
	일조시간	5~15% 이하		난방도일	10% 이하
구름	운량	5~10% 이상	강수	연강수량	5~15% 이상
	안개(겨울)	100% 이상		5mm이하 강수일수	10% 이상
	안개(여름)	30% 이상		강설(도심) (풍하지역)	5~10% 이상
풍속	연평균	20~30% 이하	뇌우		10% 이상
	1시간 최대 정온	10~20% 이하 5~20% 이상			10~15% 이상

\* Landsberg, 1981.

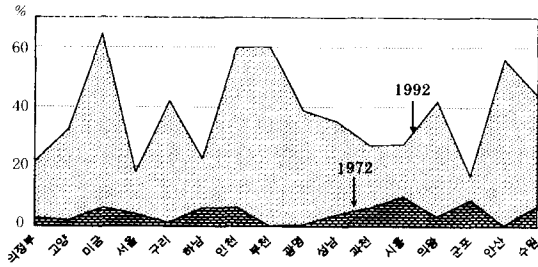


그림 2. 수도권지역의 토지변화(1972~1992)

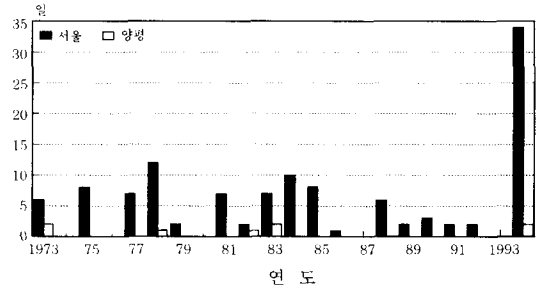


그림 3. 수도권지역의 열대야 출현빈도

장과 냉·난방시설 그리고 교통수단에서부터 배출되는 각종 에너지의 방출은 같은 종관조건하일지라도 도시지역과 주변의 농촌지역에 기온차를 나타나게 한다. 도시의 아스팔트, 콘크리트, 벽돌 및 석재는 태양복사열을 많이 흡수하고 저장하기 때문에 일몰 후에 농촌지역에서는 복사냉각이 빠르게 진행되는데 비해 도시에서는 서서히 열이 손실되는 까닭에 야간에도 농촌보다 높은 온도를 유지한다. 도시의 등온선은 도심에 중심을 둔 폐곡선으로 나타나는데 이러한 현상을 열섬이라 하며, 적외선 사진으로 인식할 수 있다. 열섬은 일반적으로 바람이 없는 날에 현저하고 구름이 끼거나 바람이 강하게 부는 날에는 사라지는 경향이 있다.

열섬의 강도에 영향을 미치는 요소로 토지이용, 인구, 교통량 및 산업입지계수 등 다양한 변수를 생각할 수 있으나 한국의 경우에는 도시의 규모(인구) 및 토지이용이 높은 상관을 보이고 있으며(이현영, 1993) 수도권의 위성도시의 발달로 말미암아 그 지리적 범위가 점차 넓어지는 경향이 있다.

수도권의 기온 상승은 주변의 소도시 또는 농촌지역에 비하여 일최저 기온이 25℃ 이상인 소위 열대야의 출현빈도 및 강도를 높임으로써 도시생태 내지는 주민의 생활에 영향을 미치고 있다(그림 3). 즉, 도시지역에 철 이른 꽃을 피우고, 겨울철에 난방비를 절감시키기도 하지만 여름철에는 과도한 냉방비를 지출하게 한다. 예년에 비하여 이례적으로 더웠던 1994년의 경우를 보면 서울에서 7월과 8월 2개월 동안에 냉방시설 사용에 의한 전기 사용료로 평년보다 약 13억원을 더 지출하였다.

2. 수문환경의 변화와 도시의 건조화

서울의 연강수량은 도시화가 활발히 진행된 1970년대 이래 증가추세를 보이고 있는데 이는 다른 도시

의 연구결과와 마찬가지로 주로 대류성 강수의 증가에 기인한다. 소나성 강수의 분포는 도심지역과 여름철에 서울의 탁월풍인 남서풍의 바람 그늘인 북동쪽에 걸쳐 등강수선을 이루고 있다(이현영, 1988). 이는 도심지역에서 낮동안에 가열된 불투수층의 광장이나 건물군에 의하여 형성된 소규모의 저기압이 그 지역으로 풍하지역으로 이동하며 비를 내리기 때문으로 생각된다.

또한 미우일수(일강수량 1mm 미만)와 호우일수(일강수량 80mm 이상)의 패턴은 미우와 에어로졸간에 상관관계가 있음을 입증하고 있다. 미우일수가 가장 많은 지역은 서울의 부심인 영등포와 구로공업단지에서 북쪽으로 약 4km 떨어진 대방동에서 관측되었다. 공업지대로부터 배출된 응결핵이 구름방울을 형성하여 미우를 내린 것으로 추정된다.

그림 4는 1974년과 1992년의 수도권을 관통하는 한강 지류의 분포도이다. 도시화가 진전됨에 따라 하천이 복개되어 복류를 하거나 또는 하천 직선화 작업에 의하여 유로가 매복됨에 따라 하천의 하계망이 단순화 되면서 대기중의 수분 공급원이 줄어들었다. 또한 불투수층인 지표면에서는 폭우시에 대부분의 빗물이 하수관을 통하여 하천으로 유입되기 때문에 식생을 통한 증발산이나 증발할 수 있는 수분이 토양수 등에 함양되기가 어렵고 홍수시 하천의 유량이 첨두수위에 도달하는 시간이 단축되므로 내수 범람에 의한 도시지역의 홍수를 일으키는 원인이 되기도 한다.

3. 도시산업 및 교통의 발달과 대기오염

그림 5는 수도권의 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>의 분포도이다. 도시에서 배출되는 오염물질 가운데 수도권에서 특히 문제가 되는 것은 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO 그리고 HC 등이 다. 1970년대 말까지만 해도 서울의 SO<sub>2</sub> 배출량이

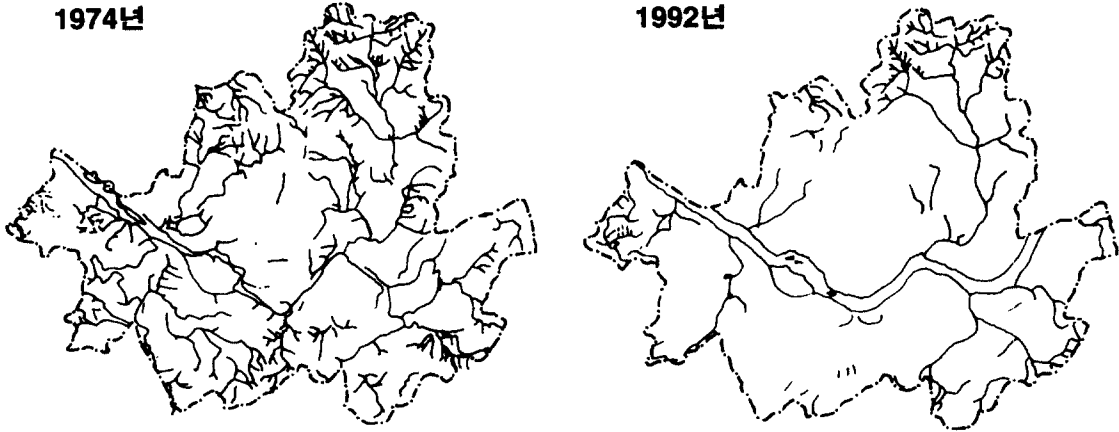


그림 4. 1974~1992년간의 수도권의 하계망의 변화(성효현, 1996)

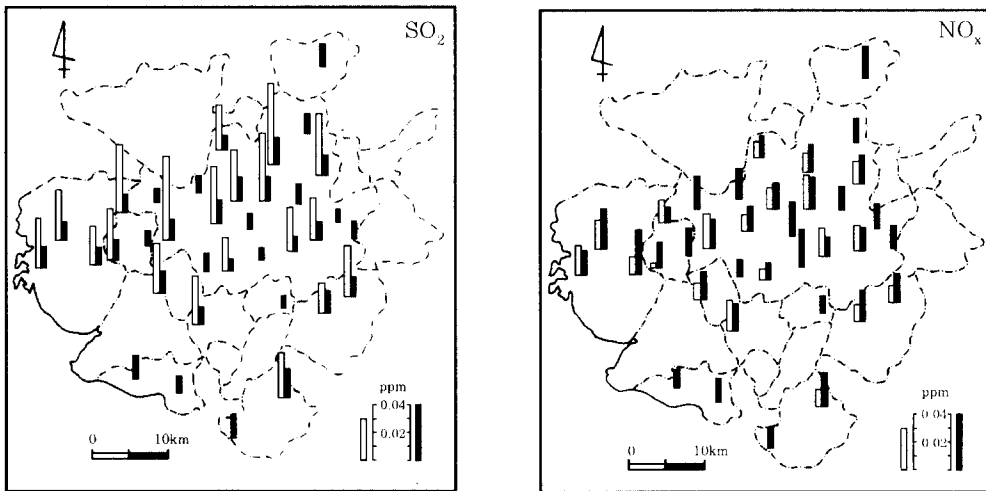


그림 5. 수도권지역의 대기오염물질 (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) 농도변화

세계 제3위라는 오명을 갖기도 했으나 탈유황 연료 사용이 의무화되면서 SO<sub>2</sub>와 분진(TSP)의 농도는 감소추세를 보이고 있다. 그러나 NO<sub>x</sub>의 농도는 자동차 보급의 증가로 오히려 서서히 증가추세를 보이고 있다. 비교적 국지풍이 강하게 불게 되면 오염된 공기를 확산시킬 수 있으나 대기가 정체되어 바람이 약할 때는 역전층이 형성되면서 자연적 정화기능은 크게 떨어지게 된다. 그리하여 도시상공에는 dome 형태의 오염된 대기층이 형성되면서 시정이 악화되고, 경우에 따라서는 며칠씩 이러한 상태가 계속되

며 도시민의 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

## 도시생태의 개선 방안

환경에 대한 고려가 없이 무작위적으로 행해지는 도시개발은 국지기후에 바람직하지 못한 영향을 미치고, 나아가 도시생태에 악영향을 미친다. 그러므로 도시화로 인한 국지기후의 변화는 인류의 활동이 도시생태에 미치는 악영향을 저감시키고, 위대한 오

표 3. 도심과 도시공원의 기온(℃)비교 (1984)

일 시간	1월 18일		1월 22일	
	도심의 기온	도시공원의 기온	도심의 기온	도시공원의 기온
08:00	-7.0	-9.0	-9.5	-10.5
14:30	-1.0	-3.5	-2.5	-5.5

\* 이현영, 1985.

염을 최소화시키기 위하여 보다 깊은 연구가 필요하다. 도시화와 더불어 나타나는 가장 심각한 기후문제는 승온효과, 건조화 그리고 대기오염을 들 수 있으므로 오염된 공기를 정화하고 승온된 대기를 냉각시키는 방안을 생각해 보고자 한다.

도시의 기온을 낮추기 위해서는 녹지공원, 옥상정원, 잔디 주차장, 가로수의 확대 등을 고려해 볼 수 있다. 표 2는 도심에 위치하는 고궁인 덕수궁과 서울의 난핵의 중심지점인 롯데백화점 정문 앞에서 겨울철의 기온을 비교한 것인데 두 지점간의 직선거리는 600m 정도이다. 이 결과는 도시내의 공원녹지가 문화적인 측면에서 뿐 아니라 시가지의 기온상승을 완화시키고 대기를 정화시키는 등 주거환경에 질적 향상에 기여하는 바를 보여준다. 그러므로 도시내 녹지의 보전과 더불어 열섬의 핵이 되는 도시의 옥외주차장에 전면 콘크리트 대신 투수성 block을 이용하여 부분적으로 포장을 한다면 지면기온은 상당히 낮아질 수 있을 것이다. 그리고 토양수 및 식물에 저장된 수분은 증발 또는 증발산을 통하여 쾌적한 대기환경을 유지하는데 기여할 뿐 아니라 도시의 하수관을 통하여 급속하게 유출되는 빗물 등 표면유출수(runoff)를 서서히 흘러가게 함으로써 하천의 홍수위에 도달하는 시간을 지체시키는 역할을 할 수도 있다.

대기오염을 저감시키는 방안은 두 가지 측면에서 생각해 볼 수 있다. 그 하나는 오염된 공기를 확산시키는 것이고 또 다른 하나는 정화시키는 것이다. 전자의 경우, 공기의 확산은 그 지역의 대기의 흐름이 관건이다. 독일의 Frankfurt, Wiesbaden 및 Stuttgart지역에서 조사한 바에 의하면 도시대기를 환풍시킬 만큼 바람이 없을지라도 도시 내외의 온도차에 기인하는 대기의 이동이 나타난다. 열적외선 사진과 현지측정에 의하면 정온인 날에는 복사냉각 현상이 도시외곽으로부터 시작되어 주변지역의 냉각된 공기가 가로망 또는 하천을 따라 유입되고 있다. 즉, 도로의 방향과 도로의 폭은 교통량의 조절 뿐만

아니라 농촌의 신선한 공기를 유입시키는데 큰 역할을 한다. 그러므로 국지기후를 고려한 도시계획은 대기오염을 저감시키는데 기여할 수 있다.

식생이 도시의 오염물질을 상당히 제거할 수 있다는 것은 이제는 잘 알려진 사실이다. 식물의 잎의 기공은 탄소동화작용을 하기 위하여 열려 있을 때 아황산가스 또는 질소산화물 등 유독가스도 흡수한다. 보고된 바에 의하면 가로수가 도열된 가로는 가로수가 없는 거리에 비하여 대기오염 농도가 대체로 1/3 정도라고 한다.

쾌적하고 능률적인 생태도시 건설을 계획할 때는 도시의 자연환경을 고려하여 공공시설의 입지선정을 신중히 해야한다. 도시계획과 운영이 합리적으로 이루어진다면 도시는 쾌적한 촌락환경과 크게 다르게 되지 않을 것이다. 그러므로 도시문제의 해결을 위해서는 도시를 구성하고 있는 요소와 관련된 모든 분야 즉, 도시계획, 토목공학, 생태학, 기후학, 지리학 등의 전문가들이 함께 문제를 검토하고 계획하는 학제간의 협력이 필요하다. 즉, 도시의 기온분포의 패턴, 탁월풍과 도로망 및 구조물의 배열, 도시공원과 가로수의 적정 수종을 이해한다면 도시의 쾌적한 환경을 유지하기 위하여 비싼 대가를 치르지 않아도 될 것이다. 또한 도시의 행정책임자는 쾌적한 도시환경을 보전하기 위하여 제도 및 업무수행에 유연하여야 할 것이다.

## 인용문헌

- 성효현(1994) 서울의 도시지역 성장과 자연환경. Proceedings: 서울의 자연환경과 지리적 개념, 서울학연구소.
- 이현영(1985) 서울의 都市氣溫에 關한 研究. 이화여자 대학교 대학원, 이화지리총서 I: 1-104.
- 이현영(1988) 서울과 그 周邊地域의 夏季降水. 대한지리학회 37: 1-15.

- Lee, Hyoun-Young(1993) An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat islands, Atmospheric Environment Part B: Urban Atmosphere, 27B (1), 1-13, Pergamon Press.
- Lee, Hyoun-Young(1995) Potential Effects of Land-Use Change on the Local Climate. Journal of Korea Society of Remote Sensing, 11(3): 83-100.
- Stummer, G.(1939) Klimatische Untersuchungen in Frankfurt am Main und seinen Vororten, Ber. Meteorol. Geophys. Inst., Univ., Frankfurt, 5.